

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

6(202)
2013

ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ И ПРИКЛАДНОЙ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

Издается с ноября 1995 г.

УЧРЕДИТЕЛЬ
Издательство "Новые технологии"

СОДЕРЖАНИЕ

МОДЕЛИРОВАНИЕ И ОПТИМИЗАЦИЯ

Орехов Э. Ю. Генерация задач для тестирования эвристических алгоритмов прямоугольного раскроя-упаковки 2

ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ И СЕТИ

Асратян Р. Э., Лебедев В. Н. Применение технологии прокси-серверов в распределенных системах 7

Аряшев С. И., Корниленко А. В., Зубковская Н. В., Саяпин П. В. Повышение производительности подсистемы памяти методом буферизации данных. 11

ПРОГРАММНАЯ ИНЖЕНЕРИЯ

Гайнуллин Р. Ф., Брагин Д. Г. Анализатор диаграммных языков для Microsoft Visio 18

Поляков С. Д. Применение стандартизованных моделей качества при разработке требований к компьютерным системам 22

Клейменова Е. М., Скобелев П. О., Ларюхин В. Б., Майоров И. В., Косов Д. С., Сиимонова Е. В., Царев А. В., Феоктистов А. Л., Полончук Е. В. Интеллектуальная система "Smart Projects" для оперативного управления ресурсами в проектах НИР и ОКР в реальном времени 27

БЕЗОПАСНОСТЬ ИНФОРМАЦИИ

Моисеев В. С., Тутубалин П. И. Вероятностная динамическая модель функционирования программных средств активной защиты мобильных распределенных АСУ 37

Боровский А. С., Тарасов А. Д. Автоматизированное проектирование систем физической защиты на основе функциональной и структурно-логической потоковых моделей 43

ГЕОИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ И СИСТЕМЫ ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЯ

Бердников С. В., Архипова О. Е., Лычагина Ю. М. Концепция комплексной информационной справочной системы для управления морским природопользованием и освоением прибрежных зон Баренцева и Белого морей 49

Иванова К. Ф. Оценка прогнозной модели долгосрочного температурного распределения в деятельном слое почвы 54

Бекирова Л. Р. Вопросы оптимизации трансформации сигналов цветности при слиянии спутниковых черно-белых и цветных изображений 60

ПРИКЛАДНЫЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ

Васин Н. Н., Куринский В. Ю. Расширение функциональных возможностей систем видеонаблюдения 63

Агаев Ф. Г., Асадов Х. Г., Халафов Р. В. Метод оптимальной оценки степени биоразнообразия в экологических системах 66

ИНФОРМАЦИЯ

Встречи в Китае 69

Contents 70

Приложение. Кухаренко Б. Г. Алгоритмы анализа компонент гиперспектральных изображений

Главный редактор
СТЕМПКОВСКИЙ А. Л.
Зам. гл. редактора
ДИМИТРИЕНКО Ю. И.
ФИЛИМОНОВ Н. Б.

Редакционная коллегия:

АВДОШИН С. М.
АНТОНОВ Б. И.
БАРСКИЙ А. Б.
БОЖКО А. Н.
ВАСЕНИН В. А.
ГАЛУШКИН А. И.
ГЛЮРИОЗОВ Е. Л.
ДОМРАЧЕВ В. Г.
ЗАГИДУЛЛИН Р. Ш.
ЗАРУБИН В. С.
ИВАННИКОВ А. Д.
ИСАЕНКО Р. О.
КАРПЕНКО А. П.
КОЛИН К. К.
КУЛАГИН В. П.
КУРЕЙЧИК В. М.
КУХАРЕНКО Б. Г.
ЛЬВОВИЧ Я. Е.
МАЛЬЦЕВ П. П.
МЕДВЕДЕВ Н. В.
МИХАЙЛОВ Б. М.
НЕЧАЕВ В. В.
ПАВЛОВ В. В.
ПУЗАНКОВ Д. В.
РЯБОВ Г. Г.
СОКОЛОВ Б. В.
УСКОВ В. Л.
ФОМИЧЕВ В. А.
ЧЕРМОШЕНЦЕВ С. Ф.
ШИЛОВ В. В.

Редакция:
БЕЗМЕНОВА М. Ю.
ГРИГОРИН-РЯБОВА Е. В.
ЛЫСЕНКО А. В.
ЧУГУНОВА А. В.

Информация о журнале доступна по сети Internet по адресу <http://novtex.ru/IT>.
Журнал включен в систему Российского индекса научного цитирования.
Журнал входит в Перечень научных журналов, в которых по рекомендации ВАК РФ должны быть опубликованы научные результаты диссертаций на соискание ученой степени доктора и кандидата наук.

УДК 004.023 + 519.163

Э. Ю. Орехов, канд. физ.-мат. наук, доц.,
e-mail: orekhov@bk.ru,

Уфимский государственный авиационный
технический университет

Генерация задач для тестирования эвристических алгоритмов прямоугольного раскроя-упаковки

Предложена и обоснована процедура построения равномерного генератора индивидуальных задач массовой задачи прямоугольного раскроя-упаковки, используемая для оценки качества работы и сравнения эвристических алгоритмов решения соответствующих массовых задач.

Приведен конкретный пример использования одного из генераторов для сравнения двух эвристических алгоритмов решения массовой задачи прямоугольного раскроя-упаковки, определяемой набором непрерывных параметров.

Ключевые слова: *массовая задача прямоугольного раскроя-упаковки, эвристический алгоритм, статистическая оценка характеристики качества, равномерная генерация индивидуальных задач*

Введение

При решении NP-трудных задач комбинаторной оптимизации, возникающих в результате различных конкретных интерпретаций проблемы раскроя-упаковки, широко применяют эвристические алгоритмы (эти алгоритмы будем называть эвристическими алгоритмами раскроя-упаковки), основанные на общих и специфических для данной проблемы эвристиках, а также использующие эффекты взаимодействия различных эвристик [1].

Определение эффективности эвристического алгоритма, предназначенного для решения задач определенного класса, актуально как с точки зрения пользователя, получающего возможность оценить затраты на отыскание решения задачи, так и для разработчика, получающего возможность целенаправленного конструирования эвристического алгоритма на основе оценивания эффективности различных эвристик и их комбинаций. Сама же процедура определения эффективности эвристического алгоритма всегда должна содержать два

обязательных элемента: заданный набор критериев эффективности и собственно способ их оценивания.

Сложившаяся к настоящему времени практика оценки эффективности эвристических алгоритмов раскроя-упаковки такова.

Набор критериев эффективности содержит критерии двух типов:

- временные критерии работы алгоритма (такие как минимальное, максимальное и среднее время выполнения алгоритма на заданном множестве задач);
- количественные критерии качества получаемого алгоритмом решения задачи (например, длина занятой части полубесконечной полосы при упаковке в нее определенного набора объектов).

Кроме того в работе [9] использована экспертная оценка в баллах по шкале от 1 до 10.

В дальнейшем внимание будет уделено тестированию эвристических алгоритмов с точки зрения именно критерия качества получаемого им решения.

Способы оценивания критериев качества эвристических алгоритмов раскроя-упаковки основаны на тестировании интересующего алгоритма на некоторой конечной выборке задач данного класса с последующей интерпретацией полученных результатов. При этом тестовая выборка обычно формируется одним из следующих способов [2].

1. *Элементы тестовой выборки представляют собой задачи, возникающие в ходе протекания определенного реального процесса;* такие выборки используются, например, в [13, 14].

Одной из проблем, связанных с использованием выборок указанного типа для тестирования, является их зачастую недостаточный объем. Способ решения этой проблемы предложен в работе [4], где показано, что вероятность ошибки процедуры, определяющей лучший из имеющихся эвристических алгоритмов по среднему значению заданного критерия качества получаемого решения, экспоненциально убывает с ростом объема выборки тестовых задач.

2. *Элементы тестовой выборки представляют собой задачи, специально отобранные экспертами.* Как правило, это такие задачи из рассматриваемого класса, которые наиболее "труднорешаемы" для уже опробованных алгоритмов. Примерами являются библиотека задач прямоугольного раскроя-упаковки [6], а также набор контрольных задач трехмерной упаковки в контейнеры [16]. В работе [10] отмечается факт наличия большого числа доступных библио-

тек задач в рассматриваемой области, а также факт создания авторами алгоритмов собственных библиотек, которые доступны не всегда; приведен перечень таких библиотек со ссылками на их авторов.

Подход к тестированию и сравнению эвристических алгоритмов раскроя-упаковки на основе использования имеющихся библиотек либо наборов примеров из работ авторов — разработчиков алгоритмов решения задач, идентичных либо аналогичных представляемому, является в настоящее время наиболее распространенным [8—15].

3. *Элементы тестовой выборки получены путем так или иначе организованной случайной генерации задач интересующего класса*; примеры таких случайных генераторов описаны в работах [6, 7].

Примеры использования случайных генераторов при тестировании эвристических алгоритмов раскроя-упаковки представлены в работах [8, 14, 17]. Отметим также, что некоторыми авторами используется выборка задач, случайно отобранных из имеющихся известных тестовых наборов [9, 12, 18].

Резюмируя изложенное, отметим, что во всех рассмотренных случаях имеются две основные проблемы:

- понятие класса решаемых задач и репрезентативности выборки оказываются не связанными друг с другом;
- отсутствует единый, общепринятый подход к оценке качества эвристических алгоритмов и их тестированию, когда каждый исследователь использует собственные показатели качества алгоритма и процедуры их оценки; это приводит к проблемам, связанным с сопоставимостью результатов, полученных разными авторами.

Попытка решения указанных проблем предпринята в [2]. Предложенный в этой работе подход основан на понятиях конечной массовой задачи, индивидуальной задачи, параметризации массовой задачи, критерия качества эвристического алгоритма на индивидуальной задаче и, наконец, характеристики качества данного эвристического алгоритма на данной конечной массовой задаче.

Интерпретация этой характеристики как функции распределения некоторой случайной величины позволяет сформулировать задачу ее статистического оценивания и решить эту задачу на основе *равновероятной* генерации точек области параметрического пространства данной массовой задачи, взаимно однозначно соответствующих индивидуальным задачам этой массовой задачи.

Приведенный в работе [19] пример равновероятного генератора для массовой целочисленной задачи линейного раскроя-упаковки показывает, что построение такого генератора является, вообще говоря, технически непростой задачей.

В работе [3] этот же подход рассмотрен в ситуации, когда массовая задача представлена набором непрерывных параметров. В этом случае задача ста-

стистического оценивания характеристики качества эвристического алгоритма решается на основе *равномерной* генерации точек области параметрического пространства данной массовой задачи, взаимно однозначно соответствующих индивидуальным задачам этой массовой задачи.

В настоящей работе предложена и обоснована процедура построения равномерного (для непрерывной массовой задачи прямоугольного раскроя-упаковки) генератора индивидуальных задач. Этот генератор пригоден для оценки качества работы и сравнения эвристических алгоритмов решения соответствующих массовых задач.

Способ равномерной генерации задач прямоугольного раскроя-упаковки

В работе [21] предложен способ случайной равномерной генерации индивидуальных задач определенной там массовой задачи прямоугольного раскроя-упаковки в предположении, что как ширина, так и длина любого упаковываемого прямоугольника, выражаемые действительными числами, не превосходит меньшего размера (ширины) заготовки, в которую происходит упаковка данного набора прямоугольников.

Рассмотрим обобщение задачи на случай, когда ширина любого упаковываемого прямоугольника не превосходит ширины заготовки, а длина любого упаковываемого прямоугольника не превосходит длины заготовки, т. е. упомянутая массовая задача рассматривается в следующей постановке [20].

Имеются одинаковые прямоугольники (заготовки) R размерами $A \times B$, $A \leq B$, в которые нужно упаковать без перекрытия набор прямоугольников $\{r_1, \dots, r_n\}$ (прямоугольник r_i имеет размеры $c_i \times d_i$, $a \leq c_i \leq d_i \leq b$, $0 \leq a \leq A$, $b \leq B$) так, чтобы число использованных заготовок оказалось наименьшим.

При заданных A, B, n, a, b индивидуальная задача определяется заданием размеров n упаковываемых прямоугольников, т. е. заданием набора пар действительных чисел $\{(c_1, d_1), \dots, (c_n, d_n)\}$.

Рассмотрим вначале случай, когда в определение массовой задачи добавлено дополнительное условие $d_i \neq d_j$, $i \neq j$, $i = 1, \dots, n$, $j = 1, \dots, n$, т. е. все упаковываемые прямоугольники имеют различные длины. Тогда, поскольку любая перестановка пар $\{(c_1, d_1), \dots, (c_n, d_n)\}$ соответствует одной и той же индивидуальной задаче, то для идентификации конкретной индивидуальной задачи достаточно ранжировать пары в порядке возрастания наибольших (в каждой паре) чисел. Таким образом, множество всех индивидуальных задач ставится во взаимно однозначное соответствие точкам области D , определяемой как

$$D = \{(x_{11}, x_{12}), \dots, (x_{n1}, x_{n2})\}.$$

Здесь

$$\left\{ \begin{array}{l} a \leq x_{11} \leq \min(x_{12}, A); \\ a \leq x_{12} < x_{22}; \\ a \leq x_{21} \leq \min(x_{22}, A); \\ a \leq x_{22} < x_{32}; \\ \dots\dots\dots \\ a \leq x_{i1} \leq \min(x_{i2}, A); \\ a \leq x_{i2} < x_{i+12}; \\ \dots\dots\dots \\ a \leq x_{n-1,1} \leq \min(x_{n-1,2}, A); \\ a \leq x_{n-1,2} < x_{n2}; \\ a \leq x_{n1} \leq \min(x_{n2}, A); \\ a \leq x_{n2} \leq b, \end{array} \right. \quad (1)$$

где a — наименьший, а b — наибольший допустимые размеры упаковываемого прямоугольника; x_{i1} — меньший размер (ширина), а x_{i2} — больший размер (длина) упаковываемого прямоугольника, имеющего ранг i при ранжировании упаковываемых прямоугольников в порядке возрастания их длин.

Таким образом, задача сводится к случайной равномерной генерации точек области D , т. е. к получению независимых реализаций системы случайных величин $X = (X_{11}, X_{12}, \dots, X_{n1}, X_{n2})$, имеющей плотность вероятности

$$w(x) = w(x_{11}, x_{12}, \dots, x_{n1}, x_{n2}) = \begin{cases} c, & \text{если } x \in D; \\ 0, & \text{если } x \notin D. \end{cases} \quad (2)$$

Постоянная c определяется из условия

$$\int_D w(x) dx = 1,$$

которое с учетом определения (1) области D можно записать в виде

$$c \int_a^b dx_{n2} \int_a^{\min(x_{n2}, A)} dx_{n1} \int_a^{x_{n2}} dx_{n-12} \int_a^{\min(x_{n-1,2}, A)} dx_{n-11} \dots \dots \int_a^{x_{22}} dx_{12} \int_a^{\min(x_{12}, A)} dx_{11} = 1. \quad (3)$$

Обозначив $2n$ -кратный интеграл в левой части (3) через $I_n(b)$ и последовательно вычисляя интегралы, входящие в $I_n(b)$, получим

$$I_n(b) = \begin{cases} \frac{(b-a)^{2n}}{2^n \cdot n!}, & \text{если } b \leq A; \\ \frac{(A-a)^n}{2^{2n} \cdot n!} \left(b - \frac{A+a}{2}\right)^n, & \text{если } b > A, \end{cases}$$

следовательно, из (3) получим

$$c = \begin{cases} \frac{2^n \cdot n!}{(b-a)^{2n}}, & \text{если } b \leq A; \\ \frac{2^{2n} \cdot n!}{(A-a)^n \left(b - \frac{A+a}{2}\right)^n}, & \text{если } b > A. \end{cases} \quad (4)$$

Для задания способа случайной равномерной генерации индивидуальных задач в соответствии с формулой (2), где c определяется соотношением (4), необходимо определить набор условных плотностей вероятностей каждой компоненты случайного вектора X , что можно сделать, зная закон распределения этого вектора (2):

$$W_{11}(x_{11}/x_{12}, x_{21}, x_{22}, \dots, x_{n1}, x_{n2}) = \begin{cases} \frac{w(x_{11}, x_{12}, x_{21}, x_{22}, \dots, x_{n1}, x_{n2})}{w_{12}(x_{12}, x_{21}, x_{22}, \dots, x_{n1}, x_{n2})}, \\ \text{если } a \leq x_{11} \leq \min(x_{12}, A); \\ 0 & \text{в противном случае,} \end{cases}$$

$$\begin{aligned} \text{где } w_{12}(x_{12}, x_{21}, x_{22}, \dots, x_{n1}, x_{n2}) &= \\ &= \int_a^{\min(x_{12}, A)} w(x_{11}, x_{12}, x_{21}, x_{22}, \dots, x_{n1}, x_{n2}) dx_{11}; \end{aligned}$$

$$W_{i1}(x_{i1}/x_{i2}, x_{i+1,1}, x_{i+1,2}, \dots, x_{n1}, x_{n2}) = \begin{cases} \frac{w_{i1}(x_{i1}, x_{i2}, x_{i+1,1}, x_{i+1,2}, \dots, x_{n1}, x_{n2})}{w_{i2}(x_{i2}, x_{i+1,1}, x_{i+1,2}, \dots, x_{n1}, x_{n2})}, \\ \text{если } a \leq x_{i1} \leq \min(x_{i2}, A); \\ 0 & \text{в противном случае,} \end{cases}$$

где

$$\begin{aligned} w_{i1}(x_{i1}, x_{i2}, x_{i+1,1}, x_{i+1,2}, \dots, x_{n1}, x_{n2}) &= \\ &= \int_a^{x_{i2}} w_{i-12}(x_{i-12}, x_{i1}, x_{i2}, x_{i+1,1}, x_{i+1,2}, \dots, x_{n1}, x_{n2}) dx_{i-12}; \\ w_{i2}(x_{i2}, x_{i+1,1}, x_{i+1,2}, \dots, x_{n1}, x_{n2}) &= \\ &= \int_a^{\min(x_{i2}, A)} w_{i1}(x_{i1}, x_{i2}, x_{i+1,1}, x_{i+1,2}, \dots, x_{n1}, x_{n2}) dx_{i1} \end{aligned}$$

для $i = 2, \dots, n$;

$$W_{i2}(x_{i2}/x_{i+1,1}, x_{i+1,2}, \dots, x_{n1}, x_{n2}) = \begin{cases} \frac{w_{i2}(x_{i2}, x_{i+1,1}, x_{i+1,2}, \dots, x_{n1}, x_{n2})}{w_{i+1,1}(x_{i+1,1}, x_{i+1,2}, \dots, x_{n1}, x_{n2})}, \\ \text{если } a \leq x_{i2} < x_{i+1,2}; \\ 0 & \text{в противном случае} \end{cases}$$

для $i = 1, \dots, n-1$;

математического ожидания числа использованных заготовок (контейнеров). В экспериментах принято $A = B = 30$, $a = 1$, $b = 30$, n — число сгенерированных индивидуальных задач (во всех случаях равно 100) для каждой массовой задачи, определяемой набором конкретных значений параметров A , B , a , b , n . Результаты экспериментов [23] приведены в таблице.

Число генерируемых прямоугольников	Среднее число используемых контейнеров			
	Алгоритм "первый подходящий"	Алгоритм "следующий подходящий"	Алгоритм "нижний левый"	Метод динамического перебора
20	7,8	7,56	8,03	7,7
50	16,3	17,9	18,41	14,2
100	33,2	34	35,3	29,1
200	62,15	64,98	69,4	58,37
500	157,7	161,94	166,14	—
1000	309,3	320,4	327,4	—

Приведенные результаты экспериментов свидетельствуют о преимуществе исследованной реализации метода динамического перебора.

Список литературы

1. **Норенков И. П.** Эвристики и их комбинации в генетических методах дискретной оптимизации // Информационные технологии. 1999. № 1. С. 2—7.
2. **Орехов Э. Ю., Орехов Ю. В.** Об оценке качества эвристического алгоритма на конечной массовой задаче // Информационные технологии. 2011. № 7. С. 28—33.
3. **Orekhov E. Yu., Orekhov Yu. V.** Definition and Statistical Estimation for the Quality Characteristic of a Heuristic Algorithm Solving a Continuous Problem. // Proc. of the 12th International Workshop on Computer Science and Information Technologies. Moscow — Saint-Petersburg, Russia, September 13—19, 2010. V. 2. P. 160—161.
4. **Chen C.-H., Wu S. D., Dai L.** Ordinal comparison of heuristic algorithms using stochastic optimization // IEEE Trans. on Robotics and Automation. 1999. V. 15, N 1. P. 44—56.
5. **Bortfeld A.** A genetic algorithm for the two-dimensional strip packing problem with rectangular pieces // Eur. J. Oper. Res. 2006. V. 172 (3). P. 814—837.
6. **Schwerin P., Waechter G.** The bin-packing problem: A problem generator and some numerical experiments with FFD packing and MTP. // International transactions in operational research. 1997. V. 4, N 5/6. P. 337—389.
7. **Burke E. K., Kendall G., Whitwell G.** A new placement heuristic for the orthogonal stock-cutting problem // Oper. Res. 2004. V. 52. P. 655—671.
8. **Leung S. C. H., Zhang D.** A new heuristic approach for the stock-cutting problems // World Academy of Science, Engineering and Technology. 2009. V. 53. P. 688—693.
9. **Ahmad A.-R., Basir O., Imam M. H., Hassanein K.** A placement algorithm for efficient generation of superior decision alternatives in layout design // Proc. of the Fifth Int. Conf. on Operations and Quantitative Management. — Seoul, Korea. Oct. 25—27. 2004. P. 122—124.
10. **Ntene N., van Vuuren J. H.** A survey and comparison of level heuristics for the 2D oriented strip packing problem // Preprint submitted to Elsevier Science. 2006. Febr. 1. 27 p.
11. **Chen M., Huang W.** A two-level search algorithm for 2D rectangular packing problem // Computers & Industrial Engineering. 2007. V. 53. P. 123—136.
12. **Hopper E., Turton B. C. H.** An empirical investigation of meta-heuristic and heuristic algorithms for 2D packing problem // Eur. J. Oper. Res. 2001. V. 128. P. 34—57.
13. **Kendall G.** Applying meta-heuristic algorithms to the nesting problem using the no fit polygon // A thesis submitted to the University of Nottingham for the degree of doctor of philosophy. University of Nottingham, Nottingham School of Computer Science and Informational Technology. 2000, Oct.
14. **Whitwell G.** Novel heuristic and metaheuristic approaches to cutting and packing // A thesis submitted to the University of Nottingham for the degree of doctor of philosophy. University of Nottingham, Nottingham School of Computer Science and Informational Technology. 2004, Sept.
15. **Lodi A., Martello S., Vigo D.** Heuristic algorithms for the three dimensional bin packing problem // Eur. J. Oper. Res. 2002. V. 141. P. 410—420.
16. **Martello S., Pisinger D., Vigo D.** The three-dimensional bin packing problem // Oper. Res. 2000. V. 48. P. 256—267.
17. **Mukhacheva E. A., Belov G. N., Kartack V. M., Mukhacheva A. S.** Linear one-dimensional cutting-packing problems: numerical experiments with the sequential value correction method (SVC) and a modified branch-and-bound method (MBB) // Pesquisa Operacional. 2000. V. 20. N 2. P. 153—168.
18. **Boddoohi M., Benson M.** Variable rectangle strip cutting heuristic analysis — a real world implementation // University of North Carolina — Wilmington. 2009. Oct. SE Decision Sciences Institute. 2009.
19. **Orekhov E. Yu., Orekhov Yu. V.** Equiprobable Generation of the IntegerOne-Dimensional Cutting-Packing Problem // Proc. of the 5th International Workshop on Computer Science and Information Technologies. Ufa, Russia, September 16—18, 2003. V. 2. P. 41—42.
20. **Орехов Э. Ю., Орехов Ю. В.** Обобщение способа случайной равномерной генерации задач прямоугольного раскроя-упаковки // Принятие решений в условиях неопределенности: Межвуз. науч. сб. Вып. 2. Ч. 2. Уфа: УГАТУ, 2005. С. 189—192.
21. **Орехов Э. Ю., Орехов Ю. В.** Случайная равномерная генерация задач прямоугольного раскроя-упаковки // Принятие решений в условиях неопределенности: Межвуз. науч. сб. Вып. 2. Ч. 1. Уфа: УГАТУ, 2005. С. 70—73.
22. **Бусленко Н. П.** и др. Метод статистических испытаний (метод Монте-Карло). М.: Физматгиз, 1962. 332 с.
23. **Литовченко Д. М.** Сравнение эффективности алгоритмов двумерного раскроя-упаковки // Актуальные проблемы в науке и технике. Т. 1. Информационные и инфокоммуникационные технологии. Сб. научных тр. 7-й Всероссийской зимней школы-семинара аспирантов и молодых ученых. Уфа: УГАТУ, 2012. С. 80—83.

УДК 004.738

Р. Э. Асратян, канд. техн. наук, вед. науч. сотр.,
e-mail: rea@ipu.rssi.ru,

В. Н. Лебедев, канд. техн. наук, зав. лаб.,
Институт проблем управления
им. В. А. Трапезникова РАН

Применение технологии прокси-серверов в распределенных системах

Рассматриваются методы организации информационного взаимодействия в распределенных системах, основанные на применении технологии прокси-серверов. Описываются важные направления применения этой технологии в разработках систем на базе Web-технологии и архитектуры .NET. Приводятся примеры применения технологии прокси-серверов для решения таких задач, как организация взаимодействия между удаленными частными сетями и защита SOAP-сообщений в информационных запросах.

Ключевые слова: распределенные системы, Интернет-технологии, информационная безопасность

Введение

Технология прокси-серверов (ПС) существует почти столько же, сколько существует Интернет, и всегда рассматривалась как важное дополнение Web-технологии [1, 2]. Совсем не случайно идея взаимодействия через "сервера-посредника" была упомянута в стандарте на протокол HTTP: именно в применении к этому протоколу она оказалась особенно эффективной и востребованной. Практически сразу появились самые различные применения этой технологии: от безопасного подключения частных сетей к Интернету и кэширования сетевых данных до фильтрации информационных запросов и "анонимизации" их источников. В данной работе мы будем рассматривать только ПС, ориентированные на протокол HTTP.

За прошедшие годы "рейтинг" протокола HTTP никогда не падал, а непрерывно возрастал. Изначально спроектированный для поддержки электронной прессы и массовых коммуникаций, он довольно рано нашел применение в организации технологического удаленного взаимодействия в архитектуре "клиент—сервер", а после появления технологии

.NET [2, 3] занял доминирующие позиции в разработках распределенных систем.

Все это время технология ПС также оставалась вполне востребованной. Работая на уровне HTTP и будучи совершенно прозрачной для любых "надстроек", она одинаково успешно использовалась как для организации обращения к новостным сайтам, так и для вызовов методов удаленных Web и WCF-сервисов.

В последние годы наблюдается новая волна интереса к технологии ПС не только у администраторов, но и у разработчиков распределенных систем. Это обусловлено повышением требований к таким системам, связанных с обеспечением информационной безопасности, и работой в сложной мульти-сетевой среде. Разработчики все чаще сталкиваются с ситуацией, требующей включения дополнительной функциональности в средства удаленного взаимодействия, но с обязательным соблюдением прозрачности дополнительных средств для клиентских и для серверных компонентов. В целом ряде случаев эта функциональность может быть эффективно реализована на уровне специализированного сервера-посредника.

В данной работе мы хотели бы рассказать об опыте применения данного подхода на двух конкретных примерах. Эти примеры отличаются друг от друга и решаемыми задачами, и платформами реализации, и языками программирования (C++, C#). Их объединяет только одно: ключом к решению в каждом случае является технология ПС, оснащенных дополнительной функциональностью.

Читатели, знакомые с технологией ПС, могут пропустить следующий раздел, в котором мы предельно коротко рассмотрим принципы их организации и функционирования.

Принципы работы прокси-серверов

Прокси-серверами называются серверы-посредники, включаемые между клиентами и серверами в тех случаях, если прямое TCP-соединение [4, 5] между ними невозможно (например, в ситуации, когда клиент находится в частной сети предприятия, а серверы вне нее) или же, если требуется обработка HTTP-запроса/HTTP-ответа, которую невозможно или затруднительно реализовать в клиенте или на сервере (например, в ситуации, когда программное обеспечение клиента и сервера находятся вне контроля разработчика).



Рис. 1. Базовая структура прокси-сервера

Наиболее специфичная черта ПС заключается в том, что он объединяет в себе функциональность клиента и сервера одновременно: в отношении обслуживаемого клиента он играет роль сервера, а в отношении обслуживающего сервера — роль клиента. Базовая структура ПС проиллюстрирована на рис. 1 (компоненты, обеспечивающие дополнительную функциональность, не показаны на рисунке). Его функционирование подчиняется следующим общим правилам.

- Процедура "Приемник соединений" обеспечивает "серверное" поведение ПС: прослушивание входящих запросов на соединение на специальном выделенном порте (системный вызов listen), открытие нового (первичного) TCP-соединения с клиентом (вызов ассерт) и порождение параллельной программной "нити" для обработки каждого входящего соединения. Вся дальнейшая обработка соединения выполняется в рамках программной "нити".
- Блок "Обработчик первичного соединения" обеспечивает считывание HTTP-запроса (заголовок и тела запроса) из первичного соединения, разбор заголовка запроса и извлечение URL (Интернет-имени) адресуемого ресурса из тела запроса.
- Блок "Обработчик вторичных соединений" обеспечивает "клиентское" поведение ПС: запрос и установление нового (вторичного) соединения с адресуемым сервером (системный вызов connect), передачу HTTP-запроса серверу, прием HTTP-ответа от сервера через вторичное соединение и, наконец, передачу его клиенту через первичное.

Программные компоненты, обеспечивающие дополнительную функциональность, обычно логически включаются между обработчиками первичных и вторичных соединений. Важно отметить, что в "поле зрения" ПС целиком попадают все HTTP-запросы и HTTP-ответы (и заголовки, и тела), что обеспечивает возможность содержательной дополнительной обработки.

Взаимодействие между удаленными частными сетями

В последние годы наблюдается все больший рост интереса к методам построения территориально

распределенных систем, ориентированных на работу в сложной мультисетевой среде, включающей множество частных локальных сетей предприятий, соединенных ведомственными и интернациональными глобальными сетями. Главными проблемами, которые приходится решать разработчикам подобных систем, являются проблемы межсетевой маршрутизации информационных запросов и защиты данных от несанкционированного доступа.

Именно из соображений защиты владельцы информационных ресурсов обычно "прячут" их в частных локальных сетях, защищенных от внешней атаки. Однако в данной ситуации возникают две проблемы: проблема недоступности ресурсов из-за пределов частной сети и проблема неоднозначности IP-адресов, так как в разных частных сетях они могут повторяться.

Первая из этих проблем обычно решается с помощью технологии виртуальных частных сетей (VPN) [6, 7], обеспечивающей построение защищенных каналов взаимодействия между удаленными частными сетями через общедоступную глобальную сеть. Фактически эта технология позволяет связать две (или более) удаленные локальные сети в одну территориально распределенную частную сеть с единым жестким администрированием, гарантирующим уникальность IP-адресов в пределах всей распределенной сети. Однако при наличии большого числа частных сетей, принадлежащих различным организациям, требование жесткого централизованного администрирования становится практически нереализуемым.

Очевидно, что общепринятые средства маршрутизации данных в сети на уровне IP-пакетов [4, 5] могут оказаться несостоятельными, если не гарантирована уникальность IP-адресов серверов и клиентов в пределах всей совокупности взаимодействующих частных сетей. Идея рассматриваемого подхода заключается в создании специальных каналов межсетевого взаимодействия в мультисетевой среде, основанных на маршрутизации запросов по символическим именам узлов и ресурсов [8]. Эти каналы базируются на технологии специализированных ПС — серверов-посредников, обеспечивающих последовательную передачу информационных запросов из сети в сеть и оснащенных средствами маршрутизации и защиты данных (рис. 2). Ключевым моментом в работе канала является высокоуровневая маршрутизация запросов по символическим именам информационных ресурсов, что позволяет осуществлять доступ, даже если различные ресурсы имеют одинаковые IP-адреса.

Как видно на рисунке, частные сети имеют в своем составе специализированные ПС, функционирующие на "пограничных" узлах и выполняющие функции межсетевых маршрутизаторов. Каждый запрос, направленный из одной частной сети в другую, проходит, по крайней мере, через два ПС и че-

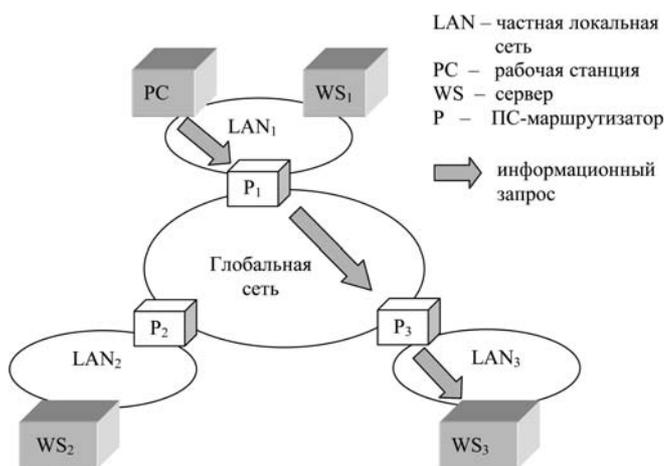


Рис. 2. Маршрутизация запросов между частными сетями

рез два этапа маршрутизации. Из ближайшего PC запрос сначала передается в удаленный PC по глобальной сети, а уже потом — к адресуемому информационному ресурсу. На каждом этапе маршрутизация проводится на основе символического имени адресуемого ресурса, содержащегося в HTTP-заголовке запроса, с помощью двух таблиц маршрутизации: "глобальной", связывающей имя ресурса с адресом удаленного PC, и "локальной", связывающей имя ресурса с его URL в частной сети.

Предположим, например, что в LAN₂ имеется Web-сервис <http://192.168.0.20/persondb/service.asmx>, а в LAN₃ имеется Web-сервис <http://192.168.0.20/persondb/person.asmx> (т. е. обоим сервисам соответствует один и тот же IP-адрес). Предположим, что эти сервисы анонсированы для "внешних" пользователей под символическими именами <http://mysys.kaluga.person.ws> и <http://mysys.omsk.person.ws> соответственно. Для организации доступа к сервисам по этим именам в локальную таблицу маршрутизации для LAN₂ следует внести строку, связывающую символическое имя с URL:

<http://mysys.kaluga.person.ws>

<http://192.168.0.20/persondb/service.asmx>,

а в таблицу маршрутизации для LAN₃ — аналогичную строку:

<http://mysys.omsk.person.ws>

<http://192.168.0.20/persondb/person.asmx>

Предположим, что PC P₂ соответствует IP-адрес 193.232.208.2 в глобальной сети, а PC P₃ — IP-адрес 193.232.208.3. В этом случае в глобальную таблицу маршрутизации (все PC используют одну и ту же глобальную таблицу для обработки "исходящих" запросов) должны быть добавлены две строки, связывающие символические имена с адресами PC:

http://mysys.kaluga.* 193.232.208.2

http://mysys.omsk.* 193.232.208.3

Легко заметить, что в обеих строках использованы усеченные символические имена, оканчивающиеся символом "*". Такая нотация обеспечивает маршрутизацию множества имен одной строкой.

В данном случае, например, любой запрос к ресурсу с именем, начинающимся с <http://mysys.kaluga.>, будет перенаправлен в LAN₂.

Если в этих условиях последует обращение от рабочей станции из LAN₁ к Web-сервису <http://mysys.omsk.person.ws>, то PC P₁ перенаправит этот запрос в PC P₃ (в соответствии с глобальной таблицей маршрутизации). Последний обеспечит вызов адресуемого сервиса по его действительному адресу в LAN₃ <http://192.168.0.20/persondb/person.asmx> и передачу результата запроса обратно в рабочую станцию через P₁. Обращение же к сервису <http://mysys.kaluga.person.ws> будет обработано совершенно аналогично с той лишь разницей, что в этом случае будет задействован сервис в LAN₂. Как видно из данного примера, совпадение IP-адресов двух сервисов не мешает доступу к ним от удаленных рабочих станций.

Отметим три важных обстоятельства.

- При изменении URL информационного ресурса в частной сети достаточно внести соответствующую коррекцию в локальную таблицу маршрутизации, чтобы никто из "внешних" клиентов не заметил этого изменения.
- Для защиты информационных ресурсов от внешних атак взаимодействие между PC должно быть построено на одной из безопасных сетевых технологий. Например, здесь может быть использован протокол HTTPS или уже упоминавшаяся технология VPN (в данном случае — HTTP-взаимодействие "поверх" безопасных протоколов IPsec или PPTP) [6, 7].
- Однажды созданная система каналов межсетевое взаимодействия может быть использована различными распределенными системами, работающими в одной и той же сетевой среде.

Безопасность взаимодействий и защита SOAP-сообщений

По мере проникновения информационных технологий в сферы государственного управления и бизнеса все больше возрастают требования к средствам обеспечения информационной безопасности. Это в полной мере относится и к сетевым технологиям и организации удаленного взаимодействия в распределенных системах. В связи с этим были разработаны несколько международных стандартов, касающихся защиты и удостоверения подлинности XML-документов вообще и, в частности, запросов к Web- и WCF-сервисам и их ответов (так называемых SOAP-сообщений [2, 3]). В последние годы эти стандарты начинают все более широко использоваться в разработках распределенных систем.

В качестве примера можно привести СМЭВ — систему межведомственного электронного взаимодействия, обеспечивающую информационный обмен между органами государственного управления на основе технологии Web-сервисов. Обеспечение информационной

безопасности в СМЭВ основано на стандарте 200401 международного консорциума OASIS и стандарте XMLDSIG международного консорциума W3C, описывающих форматы и правила внедрения электронной подписи в SOAP-сообщения. Причем подпись организации помещается в заголовок сообщения, а подпись исполнителя — в его тело. Формат SOAP-сообщения с электронной подписью, внедренной в его заголовок, проиллюстрирован на рис. 3 (предполагается, что soap и wsse — префиксы пространств имен <http://schemas.xmlsoap.org/soap/envelope/> и <http://docs.oasis-open.org/wss/2004/01/oasis-200401-wss-wssecurity-secext-1.0.xsd> соответственно).

Каждая организация, стремящаяся подключить своих клиентов к информационным ресурсам СМЭВ или экспортировать в СМЭВ собственные информационные ресурсы (Web-сервисы) должна так или иначе решить проблему формирования электронных подписей в "своих" SOAP-сообщениях и проверки электронных подписей у "чужих" в соответствии с принятыми стандартами.

Формирование подписи тела SOAP-сообщения в его заголовке и проверка такой подписи могут быть проведены только программной компонентой, способной "увидеть" сообщение целиком. Поэтому решение указанной задачи может быть найдено путем размещения этого компонента в специализированном ПС, выполняющем роль посредника между клиентскими рабочими станциями и Web-сервисами организации, с одной стороны, и СМЭВ — с другой. Таким образом обеспечивается полная разгрузка клиентов и сервисов организации от каких-либо "забот", связанных с формированием и проверкой электронных подписей в заголовках SOAP-сообщений. Эффективность данного решения заключается в его независимости не только от структуры

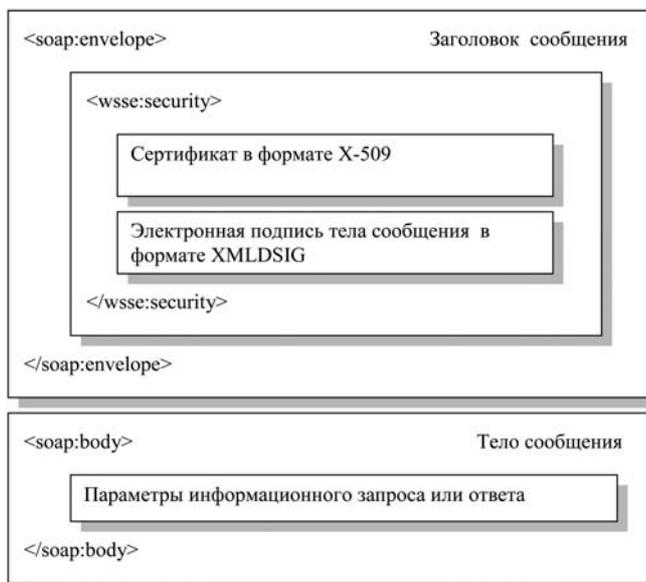


Рис. 3. Размещение электронной подписи в SOAP-сообщении

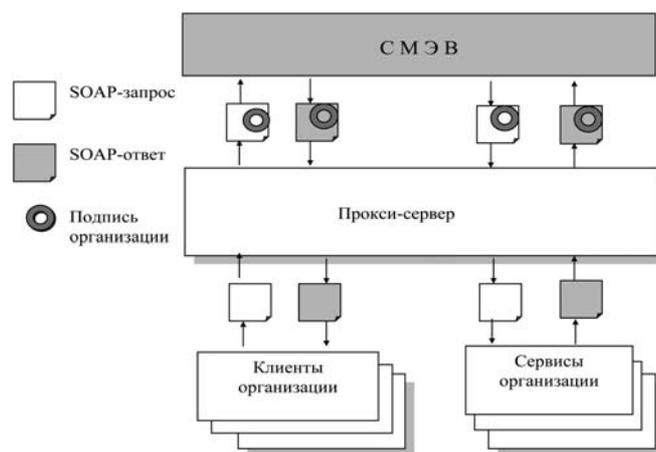


Рис. 4. Обработка потока SOAP-сообщений в ПС

вызовов и логики работы тех или иных Web-сервисов, но и от систем программирования, задействованных в разработках серверов и клиентов.

Принципы обработки потока SOAP-сообщений (запросов и ответов) в ПС проиллюстрированы на рис. 4. В данном случае ПС играет роль шлюза, обеспечивающего корректное подключение организации к СМЭВ. Как видно из рисунка, и поток запросов, направленный от клиентов организации в СМЭВ, и поток запросов, направленный из СМЭВ в сервисы организации, обрабатываются по аналогичным правилам. Эти правила включают формирование электронной подписи для исходящих SOAP-сообщений и проверку электронной подписи у входящих. Причем выполнение этих функций никоим образом не зависит от структуры тела сообщения (см. рис. 3), т. е. от набора параметров в обращении к конкретному сервису. Важно отметить, что, как и в предыдущем примере, в данном случае ПС должен быть оснащен механизмом маршрутизации запросов — перенаправления каждого входящего запроса в тот или иной сервис в зависимости от URL в HTTP-заголовке.

Заключение

Разумеется, возможности применения ПС в разработках распределенных систем не исчерпываются примерами, рассмотренными в данной статье. На этих примерах авторы попытались показать, что возникшая полтора десятилетия назад технология ПС и в наши дни не потеряла своей актуальности, но может быть использована в сочетании с самыми передовыми сетевыми технологиями для решения самых разных задач в разработках распределенных систем.

В каждом из рассмотренных примеров потребовалась разработка нового специализированного ПС, что, конечно же, было связано с определенными трудозатратами. Однако опыт применения рассмотренного подхода показывает, что при наличии опыта

сетевого программирования эта задача является вполне разрешимой даже для небольшого коллектива разработчиков (в каждом из примеров объем ПС не превышал нескольких тысяч строк исходного кода).

ПС маршрутизатор реализован на языке C++ одновременно для двух платформ: в форме службы для Win32 [6] и в форме "демона" для UNIX FreeBSD [9]. ПС, обеспечивающий взаимодействие со СМЭВ, реализован на языке C# для среды Win32 с применением сертифицированных криптосредств. Хотелось бы подчеркнуть, что рассмотренные технические решения и их реализации не привязаны жестко к конкретному проекту, но представляются достаточно общими для многократного использования в разработках распределенных систем.

Список литературы

1. **Фролов А. В., Фролов Г. В.** Глобальные сети компьютеров. М.: Диалог-МИФИ, 1996. 256 с.
2. **Шапошников И. В.** Web-сервисы Microsoft .NET. СПб: БХВ-Петербург, 2002. 336 с.
3. **Мак-Дональд М., Шпунта М.** Microsoft ASP.NET 3.5 с примерами на C# 2008 и Silverlight 2 для профессионалов. М.: Вильямс, 2009, 1408 с.
4. **Джамса К., Коуп К.** Программирование для Интернет в среде Windows. СПб: Питер, 1996. 659 с.
5. **Снейдер Й.** Эффективное программирование TCP/IP. Библиотека программиста. СПб.: Символ-Плюс, 2002. 320 с.
6. **Андреев А. Г., Безубов Е. Ю., Емельянов** и др. Widows 2000: Server и Professional. СПб.: БХВ-Санкт-Петербург, 2001. 1055 с.
7. **Хант К.** TCP/IP. Сетевое администрирование. СПб.: Питер, 2007. 816 с.
8. **Асратян Р. Э., Лебедев В. Н.** Организация защищенного http-взаимодействия в мульти-сетевой среде // Управление большими системами. М.: РАН, 2012. Вып. 36. С. 285—300.
9. **Келли-Бутл С.** Введение в Unix. М.: ЛОРИ, 1995. 596 с.

УДК 004.451.27

С. И. Аряшев, канд. техн. наук, зав. отд.,
А. В. Корниленко, канд. техн. наук, зав. сект.,
Н. В. Зубковская, науч. сотр.,
П. В. Саяпин, мл. науч. сотр.,
НИИСИ РАН, г. Москва,
e-mail: nvnikolina@mail.ru

Повышение производительности подсистемы памяти методом буферизации данных

Рассматриваются методы повышения производительности подсистемы памяти 64-разрядных суперскалярных микропроцессоров со встроенными системными контроллерами. Предложен набор необходимых тестовых ситуаций для измерения производительности этих микропроцессоров.

Ключевые слова: производительность подсистемы памяти, буферы данных, кэш-память, контроллер внешней памяти, оценка производительности

Организация доступа к памяти является одним из основных факторов, определяющих производительность вычислительной системы [1]. Во многих задачах подсистема памяти может стать узким местом, так как более 25 % инструкций в вычислительном коде — это команды чтения и записи. Например, в операционной системе Linux основные операции — это функции копирования и сохранения-восстановления контекста, которые почти полностью состоят из команд чтения и записи и требуют интенсивного обмена с внешней памятью.

Для повышения производительности механизма доступа к памяти используют многоуровневую кэш-память, хранящую ранее использованные данные. Но в случае необходимости считывания массива новых данных наличие кэш-памяти никак не повлияет на скорость чтения. Следовательно, требуются механизмы предварительного вычитывания данных из памяти с расчетом на то, что они в ближайшем времени понадобятся процессорному ядру. Данное соображение продиктовано тем, что обычно программа выполняется с младших адресов с инкрементированием, и так же, начиная с младших адресов, читаются данные при их обработке. Ранее такие работы уже успешно проводили [2], однако с появлением новых технологических норм и микросхем памяти проблему следует заново решать на новом техническом уровне.

Свой вклад в повышение быстродействия вносит и буферизация сохраняемых данных как на уровне системного контроллера, так и на уровне кэш-памяти. При использовании однопортовой кэш-памяти второго уровня с кодом Хсяо (L2) в микропроцессоре с конвейерной организацией становится невозможной обработка подряд идущих команд загрузки/сохранения без остановок конвейера (блокировок), так как операция записи в L2 занимает три такта. На первом такте вычитывается старое значение, на втором такте проверяется наличие ошибок и на третьем такте, а в случае обнаружения и исправления корректируемой ошибки на четвертом, происходит запись. В большинстве случаев это делает невозможным непрерывную обработку запросов на загрузку/сохранение и возникает необходимость в механизме промежуточного сохранения данных до записи их в L2, по-

звляющем на последующих тактах выполнять обращение к L2.

Эффективность механизма доступа к памяти оценивается, начиная с этапа моделирования будущей микросхемы (модели на уровне регистровых передач или RTL-модели). Необходимость этого обусловлена тем, что на первых этапах разработки механизм будет реализован неоптимально. В результате может получиться так, что хороший алгоритм не приведет к положительному эффекту ввиду наложенных на него ограничений. Кроме того, на этапе RTL-модели затраты на изменение логики минимальны.

При оценке производительности подсистемы памяти на этапе RTL-модели возникают сложности с использованием существующих программ [3–5]. Это связано с тем, что предназначенные для запуска на готовых микросхемах тесты могут идти на RTL-модели неприемлемо длительное время. Кроме того, неизбежно будут задействованы и другие блоки, которые могут повлиять на результат измерения. В связи с этим требуется разработка удобного и точного механизма исследования производительности подсистемы памяти, позволяющего контролировать определенные ситуации. Такая тестовая система описана в данной работе.

Для повышения эффективности считывания данных, а также эффективности работы с L2 в высокопроизводительных микропроцессорах используют механизм буферизации данных на разных уровнях подсистемы памяти [6–8].

Описываемый механизм буферизации данных был реализован и отлажен на ряде RTL-моделей микропроцессоров, разработанных в НИИСИ РАН. Все они — суперскалярные 64-разрядные микропроцессоры со встроенным системным контроллером и двухуровневой кэш-памятью. Кэш-память

первого уровня (L1) — отдельные кэши для команд и данных объемом по 16 Кбайт каждый. Используется ассоциативная функция отображения: кэш-память состоит из четырех секций по 128 строк. Строка каждой секции содержит четыре двойных слова данных по 8 байт. Быстродействие L1 составляет 1 такт на чтение и 2 такта на запись. Кэш-память второго уровня (L2) — совмещенный кэш команд и данных размером 256 Кбайт прямой адресации, состоящий из 8192 строк. Каждая строка содержит четыре двойных слова данных по 8 байт. Быстродействие L2 составляет 4 такта на чтение и 6 тактов на запись.

Кэш-память данных первого уровня обрабатывает одновременно две операции загрузки/сохранения и при промахе передает их последовательно в кэш-память второго уровня. Следующая операция при промахе не передается в кэш-память второго уровня до завершения предыдущей. Как только ядро процессора получает подтверждение того, что предыдущий запрос попал в очередь обработки, запрос передается в системный контроллер, не дожидаясь прихода данных. Это позволяет выполнить дополнительное ускорение подсистемы памяти.

В микропроцессорах, разрабатываемых в НИИСИ РАН, реализовано до семи буферов различной сложности (рис. 1, табл. 1):

- буфер предварительного вычитывания данных в системном контроллере, в него помещаются требуемые данные, а также данные по инкрементированным адресам (L-buff1);
- буфер для сохраняемых данных в системном контроллере на два двойных слова с возможностью "склейки" (S-buff1);
- буфер для сохраняемых данных при обратной записи в системном контроллере на четыре кэш-линии (WB S-buff2);

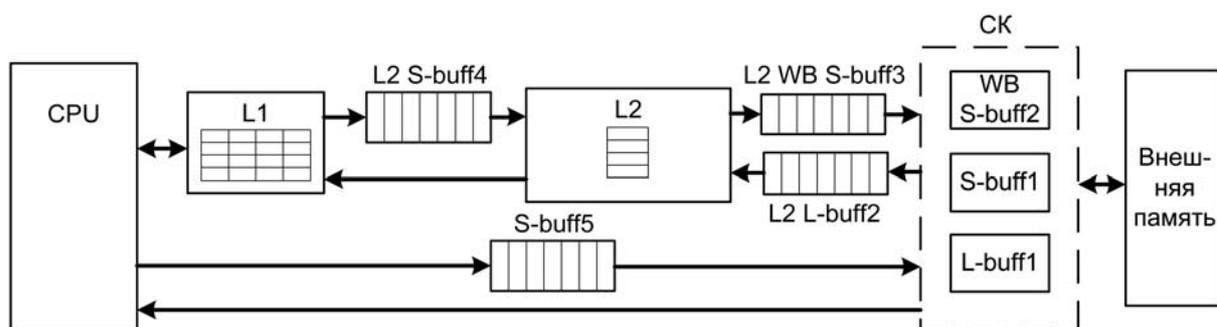


Рис. 1. Механизм прохождения запросов по иерархии памяти: СК — системный контроллер; S-buff — буфер для сохраняемых данных; L-buff — буфер для загружаемых данных; WB — буфер для обратной записи

Характеристика буферов данных

Буфер	L-buff1			S-buff1	WB S-buff2		L2 L-buff2	L2 S-buff4		L2 WB S-buff3
Версия буфера	v1	v2	v3		v1	v2		v1	v2 склейка	
Число буферов	1	2	4	1	1	1	2	2	2	1
Разрядность буфера	128	512	1024	128	512	1024	128	128	128	512

- буфер для загружаемых данных в L2, где выполняется анализ числа промахов в L1 и L2 (L2 L-buff2);
- буфер для сохраняемых данных в L2, он используется только при попадании в L1. Данные записываются сначала в буфер, что позволяет начать обработку следующего запроса на загрузку/сохранение, а потом в L2. Также может быть реализована "склейка" двух подряд идущих запросов по соседним адресам ячеек памяти. Данные по этим адресам разместятся в одном буфере, а затем выгрузятся в память за один такт (L2 S-buff4);
- буфер для сохраняемых данных при обратной записи в L2 на две кэш-линии (L2 WB S- buff3);
- буфер для сохраняемых данных при некэшируемых обращениях и промахах в L2 на четыре двойных слова (S-buff5 — вклад в производительность подсистемы памяти в данной статье не рассматривается).

Буферизация системного контроллера

Контроллер памяти в составе системного контроллера работает на более низких частотах, чем ядро микропроцессора, и его задержки, ввиду более низкой частоты, а также задержки на синхронизацию при чтении данных отражаются на производительности подсистемы памяти. Для нивелирования этих задержек системного контроллера реализованы перечисленные ниже буферы.

Буфер предварительного вычитывания данных L-buff1. L-buff1 v1 — простейший буфер-накопитель на уровне системного контроллера. Здесь при однократном обращении к памяти за одним 64-разрядным словом считываются два слова. Использование такого буфера даст выигрыш в производительности только для некэшируемых непрерывных обращений к памяти, так как при кэшируемом обращении данные будут помещены в кэш-память первого уровня, откуда, при необходимости, они будут считаны за один такт.

L-buff1 v2 — более сложный буфер, при котором выигрыш заметен как для некэшируемых, так и для кэшируемых обращений к памяти, за счет размера буфера, превышающего размер кэш-линии. Число буферов доведено до двух с расчетом, что один понадобится для загружаемых данных, второй — для инструкций. Таким образом, исключается затирание уже начитанных данных инструкциями и, наоборот, при том какой-либо специализации буферов по типу считываемой информации не существует, так как процессор, выставляя запросы системному контроллеру, не разделяет данные и инструкции. Помимо накопления данных здесь введен важный для уменьшения времени доступа к памяти механизм предварительного считывания. Его суть в том, что избыточные данные считываются в буфер не после обращения за ними, а перед этим, с расчетом, что они понадобятся в будущем.

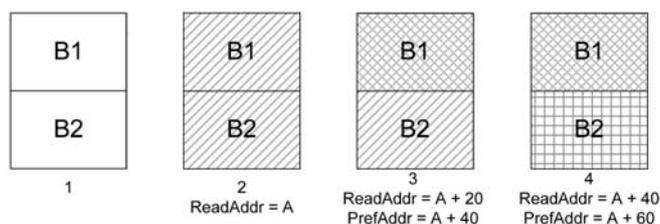


Рис. 2. Работа буфера памяти с предварительным считыванием данных

Алгоритм работы одного буфера для 64-разрядной шины данных ядра процессора проиллюстрирован на рис. 2. На первоначальном этапе (1) буфер памяти не заполнен и имеет флаг пустого. При приходе запроса от ядра процессора на чтение кэш-линии по адресу A (2) происходит заполнение всего буфера данными, соответствующими двум кэш-линиям с немедленной отдачей содержимого B1 ядру процессора. При приходе запроса по адресу следующей кэш-линии $A + 20$ (3) ядру отдаются заранее начитанные данные из B2, а памяти выставляется запрос на предварительное чтение по адресу $A + 40$, предполагая, что следующий запрос придет именно по этому адресу. Полученными данными переписывается B1. При приходе запроса по адресу $A + 40$ (4) процесс повторяется, только предварительное считывание данных выполняется в половинку B2. При несовпадении следующего выставленного адреса с тем, по которому были заранее прочитаны данные, машина состояния буфера возвращается к этапу 1. Кроме того, буфер памяти сравнивает адреса, по которым происходит запись в память, с теми, данные по которым он хранит, чтобы не отдать ядру процессора накопленные данные, в то время как они были уже переписаны каким-либо внешним устройством или самим ядром микропроцессора. В подобной ситуации буфер тоже возвращается к этапу 1.

L-buff1 v3 — буферы с тем же алгоритмом, но увеличенного объема.

Буфер для сохраняемых данных. Кроме операции чтения из памяти, ядро процессора осуществляет также запись в память. По своей природе это записи двух типов: от команд сохранения и от обратной записи кэш-линии в память. Операция сохранения позволяет проводить запись в память слов размером от 1 до 8 байт, а при обратной записи в память записываются четыре слова по 8 байт.

Команда сохранения представляет собой одиночную запись, однако в системном контроллере предусмотрен механизм отслеживания размера и адреса подряд идущих записей. Когда контроллер памяти занят выполнением предыдущих операций, поступившее слово заносится в регистры буфера S-buff1. Если к моменту прихода второго запроса на запись по следующему адресу от ядра процессора контроллер памяти все еще занят, происходит

склейка и обращение в память на запись сливается в одно. Это приводит к уменьшению числа запросов на запись к контроллеру памяти и, следовательно, к уменьшению общей загруженности тракта ОЗУ.

Буфер для сохраняемых данных при обратной записи. С развитием архитектуры разрабатываемых микропроцессоров сброс линии кэша в память начал происходить не четырьмя отдельными словами, а целым пакетом. Так уменьшается время как передачи данных от ядра в системный контроллер, так и скорость выполнения записи. Поскольку обычно тактовая частота ядер выше частоты памяти, то во избежание ожидания при отправлении следующей посылки, пока произойдет сброс в память, в системном контроллере реализован буфер WB S-buff2 для хранения нескольких посылок от ядра процессора по мере записи их в память. Были реализованы как два, так и четыре FIFO хранения записей, что также увеличило производительность подсистемы памяти на запись.

Буферизация кэш-памяти второго уровня

Буферизация системного контроллера приводит к ускорению готовности запрашиваемых данных, но для получения максимального положительного результата требуется, чтобы и ядро микропроцессора не простаивало при операциях сохранения и подготавливало данные при загрузках. Для решения этой задачи в ядре реализованы следующие буферы.

Буфер L2 S-buff4 для сохраняемых данных в L2. Буфер L2 S-buff4 для записи на уровне L2 позволяет избежать блокировок после выполнения операции сохранения в тех ситуациях, когда обращения в память следуют непрерывно. Буфер хранит часть физического адреса, данные, биты, указывающие на часть строки памяти, подлежащей замене, биты четности для кода Хсяо. Совокупность данных, находящаяся в буфере, называется ячейкой. Буфер L2 S-buff4 включает в себя две ячейки. Каждая ячейка может хранить 128 бит данных, т. е. половину строки L2. Это ограничение связано с тем, что за один такт в память данных L2 возможна запись не более чем 128 бит.

В случае попадания в L2 запись будет происходить не сразу в память данных L2, а в буфер, что позволит на этом такте начать обработку следующего запроса. При освобождении памяти данных L2 буфер будет выдавать хранящуюся в нем информацию. Буфер v2 дополнен механизмом "склейки" (L2 S-buff4 v2), который позволяет объединять данные от двух и более разных запросов по соседним адресам в одной ячейке (при условии, что все эти запросы идут в одну половину строки L2). Это позволяет сократить число тактов записи, в отличие от буфера L2 S-buff4 v1, в котором подобные обращения обрабатываются за два и более тактов.

Буфер L2 S-buff4 также позволяет сократить время обработки запроса для ситуации обратной записи

в условиях большой плотности следования команд сохранения. При поступлении запроса на загрузку/сохранение с промахом в L2, требующего обратной записи в память, в случае отсутствия буфера S-buff4 необходимо сначала выполнить запись всех данных от предыдущих запросов на сохранение и только затем считать из L2 данные для обратной записи. Буфер L2 S-buff4 позволяет отложить запись данных в L2 от предыдущих команд сохранения и немедленно считать данные для обратной записи. Если хотя бы в одной ячейке буфера находятся данные по адресу обратной записи, буфер напрямую выдает их на шину, минуя стадию записи в память данных L2. Затем ячейка помечается как недействительная для того, чтобы избежать лишней записи в память данных L2.

Буфер обратной записи L2 WB S-buff3. Буфер обратной записи L2 WB S-buff3 включает в себя две ячейки. Каждая ячейка содержит данные строки L2 для обратной записи и соответствующий ей адрес в основной памяти. Буфер позволяет не блокировать следующие запросы при единичной обратной записи. При этом, если заполнены обе ячейки, поступление следующих команд загрузки/сохранения задерживается до того момента, пока данные от первого запроса не будут записаны в основную память.

Буфер для загружаемых данных в L2 L-buff2. Буфер для загружаемых данных в L2 L-buff2 используется для предварительного вычитывания данных и инструкций. Вычитывание данных происходит в двух случаях: либо в кэш-памяти данных первого уровня обрабатываются два не попавших запроса, либо по результатам анализа адресов операций загрузки буфер выставляет запрос на считывание данных из памяти.

При поступлении подряд двух запросов, не попавших в кэш-память данных первого уровня, первый запрос обрабатывается стандартным путем, а второй передается в L-buff2. Сначала проверяется наличие необходимых данных в L2, если попадания не происходит, то L-buff2 начинает считывание данных из основной памяти. Считывание данных из памяти происходит только один раз, т. е. буфер не входит в режим предварительной выборки данных.

При отсутствии второго запроса буфер самостоятельно анализирует адреса операций загрузки. При трех идущих подряд операциях загрузки по соседним адресам ячеек памяти с промахом в L2 (операции загрузки могут быть разделены сохранениями по другим адресам) после обработки последней буфер выставляет запрос на считывание данных из памяти по следующему адресу. Начитав данные, L-buff2 ожидает запроса от процессора на загрузку данных. Если адрес следующего запроса совпадает с адресом данных, считанных в L-buff2 (ситуация попадания в буфер предварительного считывания), то происходит выдача данных и одновременно запись в L2. Затем буфер снова вычисляет

адрес и выставляет запрос на считывание данных из памяти. При несовпадении адреса данных, считанных буфером, и адреса на загрузку данных (ситуация промаха в буфер предварительного считывания) данные в буфере помечаются как недействительные и вычисления следующего адреса и выставления запроса на предварительную выборку данных не происходит. Далее буфер снова начинает анализировать поступающие запросы и считать число промахов в L2. Вычисление следующего адреса и выставление запроса на предварительную выборку данных происходит после двух подряд не попавших следующих запросов (первым запросом считается запрос, вызвавший промах в буфер предварительного считывания).

Аналогичный механизм реализован в L2 L-buff2 для запросов от инструкций, за тем исключением, что при попадании в буфер данные не записываются в память данных L2. Запросы от команд загрузки более приоритетные, поэтому при прочих равных условиях предварительная выборка данных будет выполняться для операции загрузки.

Система тестирования

Чтобы гарантировать корректность и оптимальность реализации буферов памяти, необходим механизм, позволяющий контролировать производительность. Такой механизм должен оценивать ускорение доступа к памяти при наличии буферов по сравнению с доступом в память без их использования. Кроме того, должна проводиться оценка скорости обращения в L1 и L2.

В тестах производительности учитываются промах/попадание в кэш-память и в буферы данных. А именно, для команд загрузки/сохранения реализованы следующие ситуации:

- обращение в кэш первого уровня;
- обращение в кэш второго уровня;
- обращения с обратной записью;
- при промахе в кэш (и некэшируемом обращении):
 - ◆ непрерывное обращение;
 - ◆ обращение с шагом 32 байта (что соответствует размеру кэш-линии);
 - ◆ обращение с шагом 128 байт (что соответствует случайному доступу, так как не попадает в буферы данных).

Для запросов с промахом в кэш-память, а также при некэшируемом обращении измерения проводятся при нескольких значениях частоты памяти и процессора: при одинаковой частоте памяти и процессора; при частоте процессора в 2 и в 4 раза больше частоты памяти.

Таким образом, создана база тестов со всеми описанными ситуациями, где каждый тестовый случай оформлен в виде отдельной директории, содержащей исходный тест и вспомогательные файлы для компиляции. Такая дискретность необходима для того, чтобы разработчик имел возможность за-

пустить моделирование только интересующей его ситуации. Для минимизации трудозатрат, а также для возможности быстрого получения тестовых программ с новыми требуемыми ситуациями, база тестов строится на основе общего для всех случаев ядра, где происходит подготовка ко всем интересующим ситуациям. Сами тесты представляют собой набор параметров, указывающих на то, какую именно подготовку нужно реализовать для данного теста. Как правило, параметры, характеризующие тестовую ситуацию, либо принимают значения "истина/ложь", либо имеют числовой эквивалент. Это позволяет автоматически перебрать параметры для каждого теста, а также дать тестовой директории уникальное имя, характеризующее реализованную ситуацию.

В результате прохождения тестов на RTL-модели получаем время выполнения команд загрузки/сохранения в тактах. Так как рассматриваемый микропроцессор суперскалярный [9] все вспомогательные команды (инкрементации адреса и счетчика циклов, а также команда перехода) можно расположить в коде программы таким образом, чтобы они выполнялись параллельно с командами загрузки/сохранения. При достаточном числе повторений цикла, помещенного в кэш-память инструкций, это позволяет легко определить точное число тактов на инструкцию загрузки/сохранения.

После любых изменений, внесенных в проект, должна быть перезапущена вся база тестов, независимо от того, было ли это изменение сделано для повышения производительности или для исправления ошибки, так как существует ненулевая вероятность того, что разработчик, отлаживая одну ситуацию, внес дополнительную задержку, существенно замедлившую выполнение другой.

Следовательно, возникает необходимость в отлаженном механизме регрессионного процесса измерения производительности, результатом которого была бы, например, наглядная таблица с возможностью ее сравнения с предыдущими данными. Такая таблица содержит название теста, характеризующее реализованную в нем ситуацию, а также число тактов, требуемое на ее выполнение. В качестве вспомогательного инструмента для сравнения результатов был использован инструмент отслеживания ошибок *Trac* [10]. Результаты измерения производительности выдаются в *wiki*-формате и сохраняются на странице в *Trac* со ссылкой на ревизию тестируемого проекта в системе контроля версий. Таким образом, разработчик может увидеть итог прохождения тестов и при необходимости сравнить текущий результат с одним из предыдущих. Благодаря наличию ссылки на проект в системе контроля версий существует возможность увидеть, какие именно изменения в проекте привели к полученному результату. Кроме того, предусмотрен механизм, выдающий отчет об отличии полученных данных от эталонных. Эталонными данными

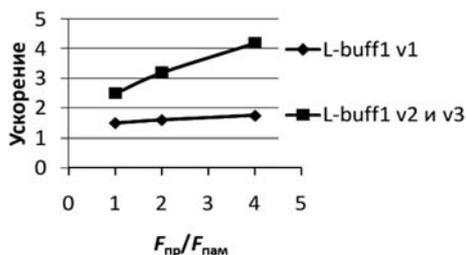


Рис. 3. Ускорение для некашируемых непрерывных чтений при использовании буферов системного контроллера

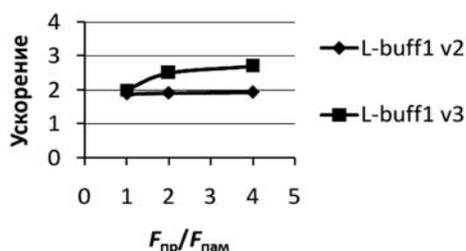


Рис. 4. Ускорение для кэшируемых непрерывных чтений при использовании буферов системного контроллера

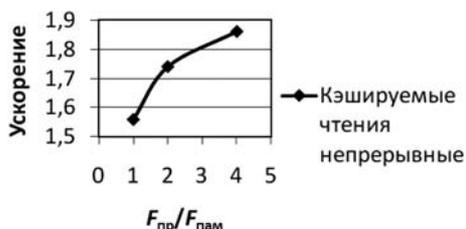


Рис. 5. Ускорение чтения данных при использовании буферов для чтения L2 L-buff2

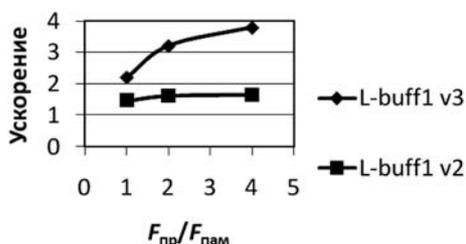


Рис. 6. Ускорение копирования данных при использовании буферов системного контроллера

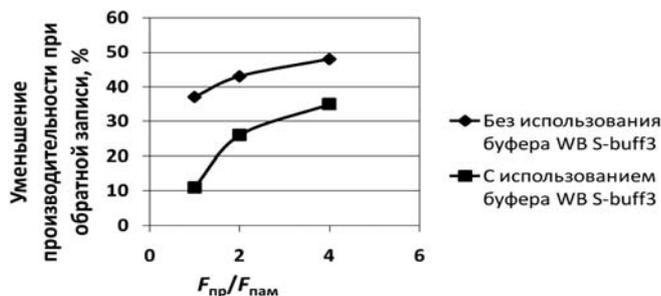


Рис. 7. Уменьшение производительности при обратной записи на копировании данных

может быть как максимально хороший результат, полученный ранее, так и желаемый результат, которого стремится добиться разработчик.

Зная время выполнения команд, можно рассчитать вклад введенных в проект оптимизаций. Например, эффект от использования буфера на уровне системного контроллера наглядно виден на рис. 3, 4. По оси X отложено отношение частоты процессора $F_{пр}$ к частоте памяти $F_{пам}$. По оси Y — ускорение доступа к запрашиваемым данным по сравнению с доступом без использования буфера. Увеличение эффективности работы буфера при увеличении отношения частот объясняется тем, что при попадании в буфер обращения к памяти вообще не происходит. Соответственно, не требуется обращения к контроллеру памяти на частоте $F_{пам}$, что исключает потерю времени на синхронизацию запроса.

Введение буфера для записи на уровне L2 (L2 S-buff4) дает прирост производительности в 2 раза. Механизм "склейки" повышает производительность еще в 1,3 раза для непрерывно следующих команд сохранения.

При непрерывной записи буфер S-buff1 даст выигрыш в производительности только в сочетании с механизмом "склейки", так как после первых же двух записей буфер начнет сбрасывать содержимое в память, освобождая место для новых данных. Добавление же "склейки" в данном случае повысит производительность непрерывных обращений на сохранение данных в 2 раза, поскольку на две команды сохранения происходит одно обращение к памяти.

Эффект от использования буферов для чтения на уровне L2 показан на рис. 5.

Помимо длительности команд загрузки/сохранения, для оценки производительности подсистемы памяти необходимо также измерять скорость копирования данных. Для этого реализованы следующие ситуации:

- копирование без обратных записей;
- копирование без обратных записей в разные банки памяти;
- копирование с обратной записью только от команд загрузки;
- копирование с обратной записью только от команд сохранения;
- копирование с обратной записью от команд загрузки и сохранения;
- копирование с предварительной выборкой данных в кэш-память.

Результатом измерения скорости копирования является число мегабайт, передаваемых за одну секунду. На рис. 6 показано ускорение для копирования данных при использовании буферов системного контроллера.

На рис. 7 показано уменьшение производительности при обратной записи на копировании данных по сравнению с копированием без обратной записи. Без использования буферов WB S-buff2 и L2 WB S-buff3

при обратной записи происходит 4 обращения к памяти на запись, поэтому можно наблюдать уменьшение в производительности до 50 %. При использовании буферов WB S-buff2 и L2 WB S-buff3 при обратной записи происходит только одно обращение к памяти, а выигрыш в производительности составляет от 13 до 26 % в зависимости от отношения частоты процессора к частоте памяти.

Таким образом, введение механизмов буферов памяти позволяет ускорить загрузку и сохранение процессором данных по сравнению с непосредственным обращением к памяти по каждому запросу, что увеличивает быстродействие вычислительной системы более чем в 2 раза. А рассмотренный подход к измерению производительности, примененный к тестированию RTL-моделей микропроцессоров, позволяет оценить вклад различных методов оптимизации доступа к памяти, обнаружить задержки в выполнении команд загрузки/сохранения, а также показать необходимость введения дополнительных механизмов повышения производительности подсистемы памяти еще на стадии разработки RTL-модели.

Результаты измерений подтверждены на готовых микросхемах 1890BM5Ф [11] (реализованы буферы: L-buff1 v1, S-buff5) и 1890BM6Я (реализованы буферы: L-buff1 v2, S-buff1, WB S-buff2 v1, L2 S-buff4 v1, S-buff5). Быстродействие подсистемы памяти микросхемы 1890BM6Я увеличилось на 60 % по сравнению с быстродействием подсистемы памяти микросхемы 1890BM5Ф, что подтверждено тестами Арех-Мар.

Список литературы

1. **Cragon H. G.** Memory Systems and Pipelined Processors // Boston: Jones and Bartlett Publishers. 1996. 576 p.
2. **Бобков С. Г., Булгаков В. Ю.** Влияние опережающего считывания из оперативного запоминающего устройства на скорость выполнения программ // Вопросы кибернетики. 1992. С. 44–59.
3. **McCalpin J.** Stream: Sustainable Memory Bandwidth in High Performance Computers. URL: <http://www.cs.virginia.edu/stream/>.
4. **SPEC.** URL: <http://www.spec.org/>
5. **Strohmaier E., Shan H.** Apex-Map: A Synthetic Scalable Benchmark Probe to Explore Data Access Performance on Highly Parallel Systems // Proc. of Euro-Par 2005 Parallel Processing. Lisbon, Portugal, 2005. P. 114–123.
6. **Саяпин П. В.** Буфер для операций сохранения в кэш-памяти второго уровня с помехоустойчивым кодированием // Научная сессия НИЯУ МИФИ-2010. XIII Международная телекоммуникационная конференция студентов и молодых ученых "Молодежь и наука". Тезисы докладов. В 3-х ч. Ч. 1. М.: НИЯУ МИФИ, 2010. С. 79–80.
7. **Аряшев С. И., Николина Н. В.** Влияние буферизации данных на производительность подсистемы памяти // Электроника, микро- и нанoeлектроника // Под ред. В. Я. Стенина. М.: НИЯУ МИФИ, 2011. С. 164–167.
8. **Аряшев С. И., Корниленко А. В.** Оптимизация работы с памятью на уровне системного контроллера // Электроника, микро- и нанoeлектроника / Под ред. В. Я. Стенина. М.: НИЯУ МИФИ, 2011. С. 176–179.
9. **Аряшев С. И., Барских М. Е., Бычков К. С.** Методы повышения производительности суперскалярного RISC-процессора // Проблемы разработки перспективных микроэлектронных систем — 2005: Матер. конф. / Под общ. ред. А. Л. Стемпковского. М.: ИППМ РАН, 2005. С. 214–221.
10. **Trac** Integrated SCM & Project Management. URL: <http://trac.edgeworks.org/>.
11. **Бобков С. Г.** Методика проектирования микросхем для компьютеров серии "Багет" // Информационные технологии. 2008. № 3. С. 2–7.

ИНФОРМАЦИЯ



С 1 по 3 октября 2013 в Москве, в ЦВК "Экспоцентр" состоится 2-я международная форум-выставка передовых информационных технологий

"ИТ СТРАТЕГИИ ЛИДЕРСТВА"

Тематическая направленность выставки:

- IT решения по управлению корпоративной информацией
- Инфраструктура и системы хранения данных
- Технологии управления, обучения и подготовки кадров

Контактная информация:

Тел.: (812) 320-8098, 320-0141 Факс: (812) 320-8090

E-mail: itcom@restec.ru, ict-dep@restec.ru

УДК 519.711

Р. Ф. Гайнуллин, аспирант, инженер-программист,
 ООО "Креативная разработка",
 e-mail: r.gainullin@gmail.com,
Д. Г. Брагин, аспирант,
 e-mail: dmbragin@gmail.com,
 Ульяновский государственный
 технический университет

Анализатор диаграммных языков для Microsoft Visio

Описывается использование автоматных графических грамматик, предназначенных для контроля диаграмм, построенных в соответствии с методологиями IDEF и UML. Приводится описание архитектуры разработанного расширения для программного продукта Microsoft Visio, позволяющего определять синтаксические и семантические ошибки, допущенные при построении диаграмм.

Ключевые слова: графические языки, автоматные грамматики, синтаксические и семантические грамматики

Введение

При концептуальном проектировании автоматизированных систем (АС) широкое применение находят различные графические спецификации: сети Петри, диаграммы переходов состояний, блок-схемы, диаграммы и др. В сфере разработки программного обеспечения особое место заняли методологии Rational Unified Process (RUP) и Structured Analysis and Design Technique (SADT). При проектировании в соответствии с данными методологиями активно используются графические спецификации UML и IDEF.

В практике проектирования АС используются универсальные и специализированные графические редакторы (например, MS Visio и DIA). Применение универсальных редакторов сводится к созданию неформализованных схем и диаграмм, чаще всего в демонстрационных целях. К таковым можно отнести Microsoft Visio и Dia. Специализированные редакторы входят в состав инструментальных средств реализации той или иной технологии. Так, редакторы Rational Suite, Visual Paradigm for UML, ArgoUML ориентированы на методологию UML. Примерами редакторов семейства графических спецификаций IDEF являются BPWin, ERWin, Business Studio. Общим недостатком как универсальных, так и специализированных редакторов является либо полное отсутствие, либо ограниченность инструментов анализа и контроля построенных диаграмм.

RV-грамматика

В основу разработанного анализатора положен аппарат авторских RV-грамматик [1, 2].

RV-грамматикой языка L (G) называется упорядоченная пятерка непустых множеств

$$G = (V, \Sigma, \tilde{\Sigma}, R, r_0),$$

где $V = \{v_e, e = \overline{1, L}\}$ — вспомогательный алфавит (алфавит операций над внутренней памятью);

$\Sigma = \{a_t, t = \overline{1, T}\}$ — терминальный алфавит графического языка, являющийся объединением множеств его графических объектов и связей (множество примитивов графического языка);

$\tilde{\Sigma} = \{\tilde{a}_t, t = \overline{1, T}\}$ — квазитерминальный алфавит, являющийся расширением терминального алфавита;

$R = \{r_i, i = \overline{1, I}\}$ — схема грамматики G (множество имен комплексов продукций, причем каждый комплекс r_i состоит из подмножества P_{ij} продукций $r_i = \{P_{ij}, j = \overline{1, J}\}$);

$r_0 \in R$ — аксиома RV-грамматики (имя начального комплекса продукций), $r_k \in R$ — заключительный комплекс продукций.

Продукция $P_{ij} \in r_i$ имеет вид

$$\tilde{a}_t \xrightarrow{\Omega_\mu[W_v(\gamma_1, \dots, \gamma_n)]} r_m,$$

где $W_v(\gamma_1, \dots, \gamma_n)$ — n -арное отношение, определяющее вид операции над внутренней памятью в зависимости от $v \in \{0, 1, 2, 3\}$;

Ω_μ — оператор модификации, определенным образом изменяющий вид операции над памятью, причем $\mu \in \{0, 1, 2\}$;

$r_m \in R$ — имя комплекса продукции-преемника.

В качестве внутренней памяти предлагается использовать стеки для обработки графических объектов, имеющих более одного выхода (чтобы хранить информации о связях-метках), и эластичные ленты для обработки графических объектов, имеющих более одного входа (чтобы отмечать число возвратов к данному элементу диаграммы, а следовательно, число входящих связей диаграммы). Ленты позволяют считывать данные из ячеек без уничтожения их содержимого, а ячейки лент могут работать в режиме счетчика целых положительных чисел.

Построение RV-грамматики реализуется в две фазы: синтез и анализ. Синтез RV-грамматики состоит из следующих этапов.

1. Определяется терминальный алфавит контролируемого графического языка, описывается

расположение меток, выявляются семантические различия для связей, имеющих общее графическое представление, строится алфавит квазитермов.

2. Строится матрица допустимых паросочетаний для квазитерминального алфавита.

3. Определяются отношения над внутренней памятью, обеспечивающие эффективный контроль связности графических объектов.

4. По матрице допустимых паросочетаний строится граф автомата RV-грамматики, вершинам которого поставлены в соответствие имена комплексов продукций, а дугам — квазитермы и операции над внутренней памятью. Помимо графовой формы RV-грамматика может быть представлена в табличной и аналитической формах. Анализ осуществляется в два этапа:

- устраняются недетерминированности и неопределенности;
- проводится минимизация RV-грамматики, заключающаяся в исключении эквивалентных комплексов продукций и последующей корректировки индексов комплексов.

Грамматика языка Use Case

Use Case-диаграммы предназначены для описания проектируемой системы (или ее части) с точки зрения взаимодействия пользователя (актора) с вариантом использования системы (прецедентом).

В табл. 1 представлена RV-грамматика диаграмм Use Case языка UML после минимизации.

Таблица 1

RV-грамматика диаграмм Use Case

Комплекс	Квазитерм	Комплекспреемник	RV-отношение
r_0	R_I	r_3	$W_1(e^{t(1)})/W_3(e^{t(1)}) == 0 \parallel e^{t(2)} == 0$
	R_E	r_4	$W_1(e^{t(1)})/W_3(e^{t(1)}) == 0 \parallel e^{t(2)} == 0$
	R_G	r_5	$W_1(e^{t(1)})/W_3(e^{t(1)}) == 0 \parallel e^{t(2)} == 0$
	R_I	r_6	—
	R_E	r_7	—
	R_G	r_8	—
r_1	R_A R_G	r_2 r_5	— —
r_2	C	r_0	—
r_3	C	r_0	—
r_4	C	r_0	—
r_5	C	r_0	—
	A	r_1	—
r_6	C	r_0	$W_1(e^{t(1)})/W_3(e^{t(1)}) == 0 \parallel e^{t(2)} == 0$
r_7	C	r_0	$W_1(e^{t(1)})/W_3(e^{t(1)}) == 0 \parallel e^{t(2)} == 0$
r_8	C	r_0	$W_1(e^{t(2)})/W_3(e^{t(1)}) == 0 \parallel e^{t(2)} == 0$
	A	r_1	—

Например, операция

$$W_1(e^{t(1)})/W_3(e^{t(1)}) == 0 \parallel e^{t(2)} == 0$$

означает, что в ячейку t первой ленты записывается указатель на текущий элемент при условии, что в ячейках t первой или второй ленты пусто.

После окончания разбора необходимо провести операцию контроля

$$* = W_2(e^{t(1)}, e^{t(2)})/W_3(e^{t(1)} < > 0 \&\& e^{t(2)} < > 0),$$

т. е. одновременное считывание указателей на элемент в ячейке t первой и второй ленты при условии, что в этих лентах ячейки не пусты.

В результате должны остаться пустые ленты.

Грамматика языка IDEF3

Методология IDEF3 — это методология графического моделирования, предназначенная для опи-

Таблица 2

RV-грамматика диаграмм IDEF3

Комплекс	Квазитерм	Комплекспреемник	RV-отношение
r_0	U	r_1	—
	L	r_2	$W_1(\text{inc}(m^{t(7)}))$
r_1	Relp	r_5	—
	rel _{OF}	r_6	—
r_2	rel _p	r_5	—
r_3	S	r_0	$W_2(b^{4m})$
	I_{AND}	r_0	$W_2(b^{1m})/W_3(m^{t(1)}) == k^{t(2)}$
	I_{OR}	r_0	$W_2(b^{2m})$
	I_{XOR}	r_0	$W_2(b^{3m})/W_3(m^{t(5)}) == k^{t(6)}$
	no_label	r_k	—
r_4	I_{OR}	r_0	$W_2(b^{2m})$
r_5	U	r_1	—
	L	r_2	$W_1(\text{inc}(m^{t(7)}))$
	AND	r_3	$W_1(I^{t(1)}, k_{in}^{t(2)}, I^{1m(k)})/W_2(e^{t(1)}) \&\& (W_3(k_{in} > 0, k_{out} > 0) \&\& (W_3(k_{in} == 1) \parallel W_3(k_{out} == 1))) (W_3(k_{in} == 1) \parallel W_3(k_{out} == 1)))$
	<u>AND</u>	r_3	$W_1(\text{inc}(m^{t(1)}))/W_3(k^{t(2)} > 1)$
	OR	r_4	$W_1(I^{t(3)}, k_{in}^{t(4)}, I^{2m(k)})/W_2(e^{t(3)}) \&\& (W_3(k_{in} > 0, k_{out} > 0) \&\& (W_3(k_{in} == 1) \parallel W_3(k_{out} == 1)))$
	<u>OR</u>	r_3	$W_1(\text{inc}(m^{t(3)}))/W_3(k^{t(4)} > 1)$
	XOR	r_3	$W_1(I^{t(5)}, k_{in}^{t(6)}, I^{2m(k)})/W_2(e^{t(5)}) \&\& (W_3(k_{in} > 0, k_{out} > 0) \&\& (W_3(k_{in} == 1) \parallel W_3(k_{out} == 1)))$
<u>XOR</u>	r_3	$W_1(\text{inc}(m^{t(5)}))/W_3(k^{t(6)} > 1)$	
r_6	U	r_1	—
r_k			—

сания и документирования информационных потоков в системе, взаимоотношений между процессами обработки информации и объектами, являющимися частью этих процессов.

В табл. 2 представлена RV-грамматика языка IDEF3 после минимизации [3].

Операция $W_1(\text{inc}(m^{(5)}))/W_3(k^{(6)} > 1)$ означает увеличение значения в ячейке t пятой ленты при условии, что анализ данного перекрестка может быть продолжен (число исходящих связей элемента больше 1). В правилах переменная k_{in} означает число входных связей; k_{out} — число исходящих связей; b, e, m, k — переменные, извлекаемые из элементов памяти.

Реализация анализатора диаграммных языков

В качестве практического применения предлагаемого подхода к анализу диаграммных языков было реализовано расширение для программного продукта Microsoft Visio. Общая структура системы представлена на рис. 1.

Для анализа языков IDEF и UML реализовано два отдельных анализатора, что обусловлено спецификой данных графических нотаций.

На практике используются два варианта создания расширения для Microsoft Visio:

- создание компонента согласно технологии Component Object Model;
- создание встраиваемого в документ макроса на языке Visual Basic for Application (VBA).

Разработка макроса на языке VBA занимает меньше время, но ограничена по функциональности. Поэтому для разработки анализатора был выбран вариант создания СОМ-компонента, так как он обеспечивает более широкие возможности по работе как с объектами самого Visio, так и со сторонними библиотеками и самой операционной системой в целом.

Подключение компонента в самом Microsoft Visio осуществляется из пункта меню Сервис — Настройки — Панели инструментов.

RV-грамматика графического языка хранится в формате XML. Первая секция файла грамматики описывает структуру внутренней памяти, используемой данной грамматикой. Параметры для каждого элемента памяти — это уникальный идентификатор и тип элемента памяти (0 — стек, 1 — эластичная



Рис. 1. Общая структура системы анализа и контроля

```

<memory>
  <storage id="1" type="0" />
  <storage id="2" type="1" />
  <storage id="3" type="1" />
  <storage id="4" type="0" />
</memory>
  
```

Рис. 2. XML-описание внутренней памяти

лента). В листинге 1 (рис. 2) приведена внутренняя память автомата, состоящая из двух стеков с идентификаторами 1, 4 и двух эластичных лент 2, 3.

Далее идет секция с описанием продукций грамматики, каждая составляющая которой отражает строку табличной формы RV-грамматики. Параметры продукции currentState и nextState отражают соответственно текущее и следующее состояния автомата, term — соответствующий графический примитив. Далее идет список операций записи значений во внутреннюю память. Каждая операция записи содержит информацию об идентификаторе элемента памяти storageId и заносимом значении value. Для элемента памяти "эластичная лента" необходим номер ячейки key, в которую осуществляется запись. После списка операций следует условие выполнения этих операций, параметры у которого те же, что и параметры операций записи. Для примера приведем типичную продукцию, xml-описание которой представлено в листинге 2 (рис. 3).

```

<production>
  <currentState>1</currentState>
  <nextState>2</nextState>
  <term>A</term>
  <operations>
    <operation storageId="2" key="t" value="1"/>
    <operation storageId="3" key="t" value="k"/>
    <operation storageId="4" value="t"/>
  </operations>
  <conditions>
    <condition storageId="2" key="t" value="0" />
  </conditions>
</production>
  
```

Рис. 3. XML-описание продукции RV-грамматики

Алгоритм работы анализатора состоит из следующих шагов.

1. Проектировщик строит диаграмму в среде проектирования Visio.

2. С помощью разработанного расширения диаграмма преобразуется в XML-описание, которое содержит все элементы диаграммы и связи между ними. Описание не содержит информации о расположении элементов, так как данная информация не используется при разборе.

Ошибки IDEF

Синтаксические ошибки	
Недостаточное число исходящих связей из элемента с фиксированным минимальным числом выходов	
Лишняя исходящая связь из графического объекта	
Лишняя входящая связь в графический объект	
Семантические ошибки (IDEF3)	
Зависание (F4 никогда не выполнится)	
Неопределенность (F4 никогда не выполнится)	
Дедлок (F4 никогда не выполнится)	

Разработаны грамматики для пяти типов диаграмм нотации UML (Активности, Вариантов использования, Компонентов, Классов, Последовательности) и трех типов диаграмм языка IDEF (IDEF0, IDEF1X, IDEF3). Для нотации UML диагностируется 30 ошибок (17 синтаксических и 13 семантических), для IDEF — 28 ошибок (16 синтаксических и 12 семантических). Некоторые синтаксические и семантические ошибки приведены в табл. 3 (UML) и табл. 4 (IDEF).

Заключение

Развитием предлагаемой системы является создание единого универсального анализатора диаграммных языков, предоставляющего возможность добавления определенной графической нотации, ее грамматики и последующего анализа. Также ведутся работы по расширению предлагаемого подхода на другие программные средства и платформы.

Работа выполнена в рамках гранта РФФИ № 13-07-00483.

Список литературы

- Афанасьев А. Н., Гужавин А. А., Кокаев О. Г. и др. Контроль информации в системах автоматизации проектирования. Саратов: Изд-во Саратовского университета, 1985. 136 с.
- Шаров О. Г., Афанасьев А. Н. Синтаксически-ориентированная реализации графических языков на основе автоматных графических грамматик // Программирование. 2005. № 5. С. 56—66.
- Брагин Д. Г. Анализ IDEF3 диаграмм на основе автоматных графических грамматик // Сб. науч. тр. "Информатика, моделирование, автоматизация проектирования". Ульяновск: УлГТУ, 2011. С. 67—74.

3. Анализатор принимает на вход XML-описание построенной диаграммы.

4. XML-описание преобразуется во внутреннее представление для работы анализатора. Внутреннее представление содержит описание диаграммы, аналогичное входному XML-файлу. Происходит дополнительная обработка входной информации, необходимой для работы с RV-анализатором.

5. Последовательно, считывая элемент за элементом, анализатор проводит анализ и контроль диаграммы.

6. По результатам анализа и контроля формируется список ошибок.

7. Список преобразуется в XML и возвращается в среду проектирования.

8. По полученному списку в Visio отмечаются типы и местоположения синтаксических и семантических ошибок, обнаруженных анализатором.

Основные результаты

Достоинствами предлагаемого подхода анализа и контроля диаграммных языков являются:

- универсальность;
- линейные затраты времени в зависимости от числа элементов диаграммы (подтверждается экспериментом);
- эффективность нейтрализации ошибок (предложен алгоритм, позволяющий "накапливать" возможные комплексы-продолжатели и обеспечивающий полный контроль диаграммы без пропуска ее блоков и фрагментов).

Таблица 3

Ошибки UML

Синтаксические ошибки		
Отсутствие связи	Связь actor-case Связь actor-actor Связь case-case	
Недопустимая связь	Связь включения/расширения для actor, отношение ассоциации между классами	
Вход связи в связь	Любой тип связи, входящей в другой тип связи	
Семантические		
Кольцевые связи	Включение класса А классом В и одновременное расширение класса В классом А	
Взаимоисключающие связи	Одновременное расширение и включение класса В классом А	

С. Д. Поляков, канд. техн. наук, доц.,
e-mail: palyakov_ed@mail.ru,
Московский государственный
технологический университет "СТАНКИН"

Применение стандартизованных моделей качества при разработке требований к компьютерным системам

Приведены результаты анализа нового международного стандарта ИСО/МЭК 25010, а также других действующих стандартов в области качества информационных систем и программного обеспечения. На основе стандартизованных моделей качества предложен новый методический подход при формировании требований к компьютерным системам. Приведены функциональные компоненты процессов разработки требований к компьютерным системам, модели требований и оценки качества компьютерных систем, применение которых позволит повысить качество, безопасность и конкурентоспособность продукции информационных технологий на международном и российском рынках.

Ключевые слова: компьютерные системы, требования, обеспечение качества, безопасность, конкурентоспособность, стандартизованные модели качества, международные стандарты, функциональные компоненты, модели требований к качеству, модели оценки качества

Современный этап развития общества характеризуется огромным потенциалом накопленных знаний, возможностей и опыта в различных сферах человеческой деятельности. В техносфере наблюдается количественное и качественное насыщение передовыми научно-техническими достижениями, оригинальными техническими и технологическими решениями в области разработки, производства и эксплуатации различных технических объектов. Дальнейшее развитие общества и технического прогресса возможно только на основе принципиально новых системных решений и прорывных технологий. Центральным компонентом этого процесса должна стать концентрация, обработка, обобщение и локализация накопленных знаний, технического и технологического потенциала на основе применения системного подхода и современных средств информационных технологий.

Сегодня существуют различные группы систем в тех или иных областях экономики. Комплексное информационное обеспечение и управление этими системами осуществляется прикладными компьютерными системами (ИСО/МЭК 25010). Любая техническая, банковская система или система безо-

пасности включают в себя в качестве подсистемы прикладную компьютерную систему.

Внедрение средств информационных технологий в настоящее время является основным видом деятельности организаций наряду с процессами проектирования и разработки нового изделия, производством и обслуживанием продукции. В современных условиях без применения высококачественных и безопасных компьютерных систем невозможно в любых областях экономической деятельности добиться конкурентоспособного преимущества поставщиков при реализации продукции и услуг, ликвидировать барьеры в торговле на региональном и международном уровне. В связи с этим особенную остроту приобретает вопрос комплексного обеспечения качества и безопасности компьютерных систем [1].

Современная индустрия разработки программного обеспечения располагает огромным опытом создания различных компьютерных систем (КС). Этот опыт в основном реализован и доступен через систему международных и национальных стандартов в области информационных технологий. Однако методики применения стандартизованных подходов, изложенных в этих нормативных документах, по существу остаются не доступными или не разработанными.

В настоящей статье автором предложен общий методический подход при разработке требований к КС на основе применения стандартизованных моделей качества в соответствии с новым комплексом международных стандартов в области качества КС (серия стандартов ИСО/МЭК 25000).

Первыми в цепочке процесса разработки жизненного цикла определяются требования, поскольку вопрос оптимизации их разработки, последующего применения и оценки соответствия этим требованиям в настоящее время приобретает особую актуальность для обеспечения качества.

Анализ действующих стандартов в области качества компьютерных систем

Международный стандарт ИСО/МЭК 25010 определяет модели качества КС, структуру компонент КС и их взаимосвязь с моделями качества (рис. 1). Выделяется модель качества продукта, модель качества данных и модель качества в использовании.

Модель качества данных определена международным стандартом ИСО/МЭК 25012.

Модель качества в использовании применяется к прикладной КС, которая может быть системой предприятия, встроенной системой или крупномасштабной системой управления.

Модель качества продукта (целевая компьютерная система и программное обеспечение) пред-

ставляет собой иерархическую структуру характеристик и подхарактеристик.

Характеристиками этой модели являются: функциональная пригодность, производительная эффективность, совместимость, удобство и простота использования, надежность, защищенность, сопровождаемость, переносимость (ИСО/МЭК 25010). Метрики — атрибуты внешнего и внутреннего качества нижнего уровня декомпозиции модели — приведены в частях 2 и 3 международного стандарта ИСО/МЭК 9126.

Характеристиками модели качества в использовании являются результативность, эффективность, удовлетворение, безопасность, применение в среде использования (ИСО/МЭК 25010). Метрики качества в использовании приведены в части 4 международного стандарта ИСО/МЭК 9126.

Применение моделей качества в жизненном цикле компьютерных систем в соответствии с международным стандартом ИСО/МЭК 25010 представлено на рис. 2.

Применение стандартизованных моделей качества при разработке требований направлено на решение следующих основных задач:

- обеспечение качества и комплексной безопасности КС для нужд заказчиков и потенциальных пользователей;
- повышение конкурентоспособности организаций-разработчиков КС на международном, региональном и российском рынках;
- повышение качества процесса подтверждения соответствия и конкурентоспособности органов по сертификации и испытательных лабораторий программной продукции.

Разработка требований к компьютерным системам

Требования к КС должны разрабатываться на основе законодательных требований, требований международных, региональных, российских, корпоративных стандартов организаций, документов систем сертификации. С учетом этих документов может быть сформирован стандартизованный профиль требований к создаваемой КС. Потребности заказчика или потенциальных пользователей определяют специфические требования к создаваемой компьютерной системе. Требования устанавливаются в спецификации требований технических заданий (ГОСТ 34.601). В самом общем случае качество можно определить как степень соответствия КС этим требованиям. На рис. 3 представлены функциональные компоненты процесса разработки требований к КС.

Требования к качеству являются подмножеством требований к КС. Требования могут устанавливаться к определенным объектам КС в виде фор-

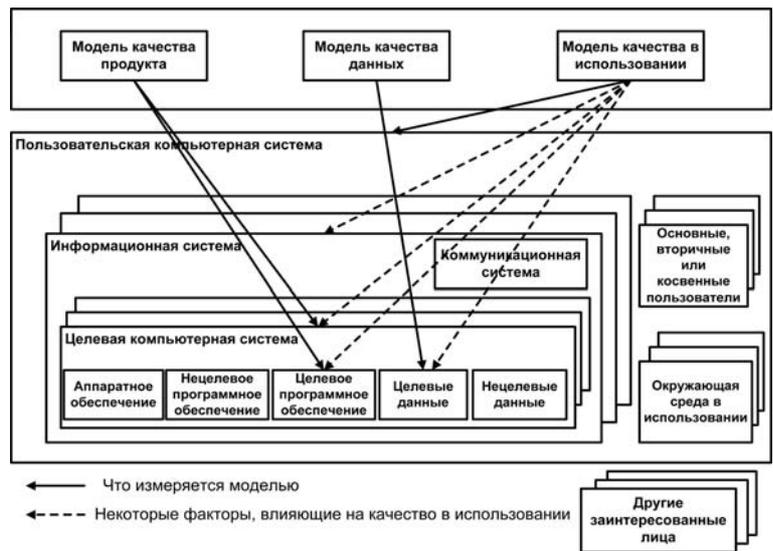


Рис. 1. Взаимосвязь моделей качества и компонентов компьютерных систем в соответствии со стандартом ИСО/МЭК 25010

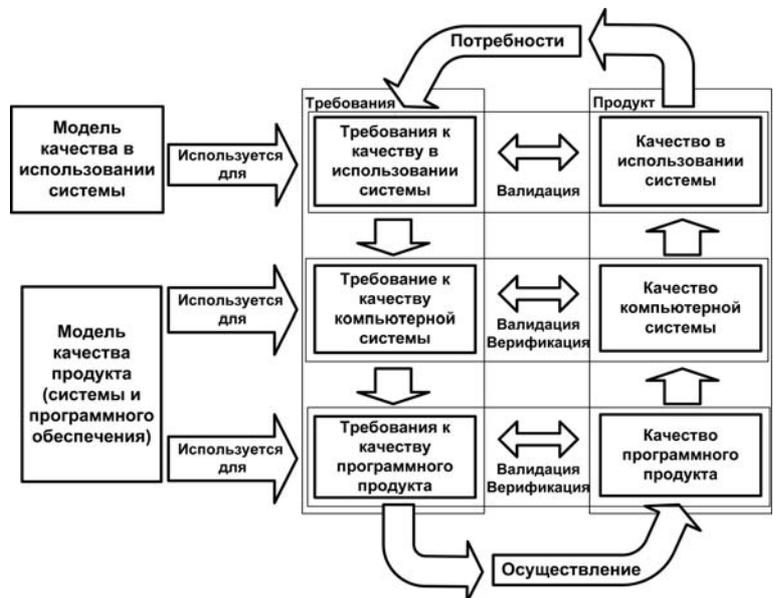


Рис. 2. Применение моделей качества в жизненном цикле компьютерных систем в соответствии со стандартом ИСО/МЭК 25010

мулировок требований и требований к значениям свойств КС. Требования к качеству КС формируются на основе их существенных свойств (техническое совершенство продукции [2]) и представляют собой относительные значения показателей этих свойств (функциональная зависимость оцениваемого и нормативного значения), которые могут быть представлены в виде допустимых уровней качества или допустимых уровней соответствия требованиям.

На основе стандартизованной модели качества может строиться модель требований к качеству и соответствующая ей модель оценки качества, которые структурно могут претерпевать изменения в сторону уменьшения или увеличения компонентов относительно стандартизованной модели каче-

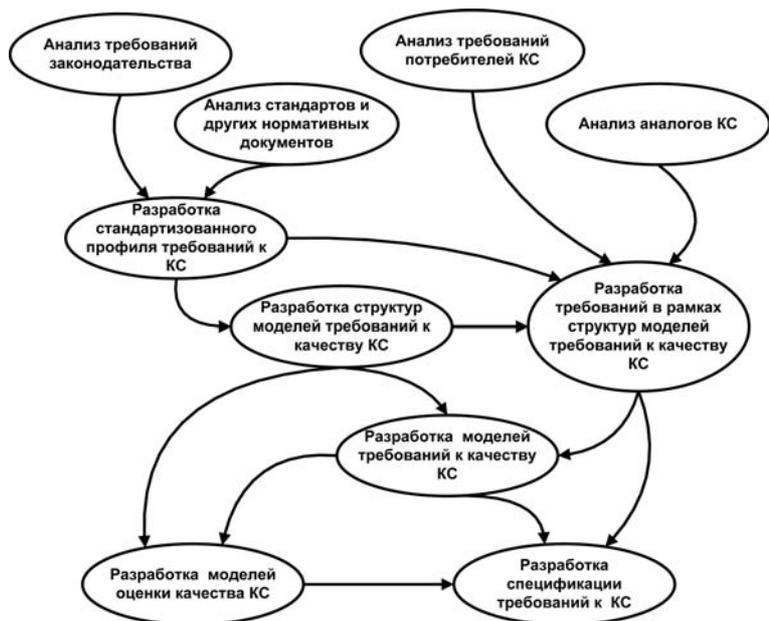


Рис. 3. Функциональные компоненты процесса разработки требований к компьютерным системам



Рис. 4. Общая структура модели требований к качеству компьютерных систем



Рис. 5. Структура модели требований к качеству в использовании компьютерных систем

ства в соответствии со спецификой разрабатываемой компьютерной системы.

Требования к КС, так же как и требования к качеству КС, могут разрабатываться на основе целевых потребностей заказчиков этих систем, подразумеваемых потребностей пользователей или существующих аналогов КС (лучшие практики).

Одним из условий предлагаемого подхода является разработка требований в терминах характеристик качества (в рамках структур моделей требований к качеству КС), что позволяет обеспечить исчерпывающую классификацию и распределение требований в рамках соответствующих характеристик моделей качества. Применение этого условия позволит существенно снизить фактор недостаточности или избыточности требований, предъявляемых к КС, а также обеспечить их локализацию относительно требований к характеристикам качества для последующей промежуточной и окончательной оценки соответствия этим требованиям на этапах верификации и валидации [1, 3] в жизненном цикле создания КС.

На основе анализа стандартизованного профиля требований и требований потребителей разрабатываются структуры моделей требований к качеству КС. Построенные структуры наполняются конкретными нормативными значениями. Результатом процесса разработки требований к КС является сформированная модель требований к качеству КС, отраженная в спецификации требований.

Особенности разработки структур моделей требований к качеству

Можно выделить модель требований к качеству КС в использовании и модель требований к качеству продукта (система/программное обеспечение), которая может быть представлена:

- моделью требований к внутреннему качеству продукта;
- моделью требований к внешнему качеству продукта.

Можно выделить также общую (стандартизованную) модель требований к качеству КС и модель требований к качеству с учетом специфики создаваемой КС.

Можно предложить два различных принципа при формировании общих структур моделей качества КС в зависимости:

- от атрибутов качества продукта;
- от элементов программного обеспечения (комплексы программ [4]).

Общая структура модели требований к качеству КС представлена на рис. 4.

Принципы структурирования модели требований к качеству в использовании отражены на рис. 5.

Поскольку программное обеспечение (ПО) всегда является неотъемлемой частью КС, выполняется на определенных аппаратных средствах и операционной системе, использует необходимые целевые и нецелевые данные, то качество системы — это качество программного обеспечения в определенной системной среде. Поэтому модель требований продукта может быть определена моделью требований программного обеспечения в определенных системных условиях его функционирования.

В связи с изложенным можно предложить структуру общей модели требований в зависимости от атрибутов качества КС, представленную на рис. 6.

Модель требований к качеству КС, структура которой построена на основе требований в зависимости от атрибутов качества продукта, целесообразно применять при последовательной поэлементной разработке программного обеспечения КС.

Общая структура модели требований к качеству КС, построенная на основе принципа построения в зависимости от элементов ПО, изображена на рис. 7.

Модель требований к качеству КС, структура которой построена на основе принципа от элементов ПО, целесообразно применять при одновременной, параллельной во времени разработке элементов программного обеспечения.

Принципы формирования компонентов структуры модели требований к качеству КС

На первом этапе разработки структуры модели осуществляется анализ требований к КС. На основе данных по результатам этого анализа определяется тип создаваемой модели качества. Адаптированная структура модели требований к качеству строится на основе общей структуры модели качества путем исключения компонентов из этой модели требований, не являющихся необходимыми для конкретной КС. Исключение компонентов требований из общей модели требований к качеству может быть осуществлено на основе использования известных методов экспертной оценки (эвристических методов) [5, 6]. Компоненты требований, имеющие весовые коэффициенты предельно малых значений ($\omega \rightarrow 0$), после применения соответствующих методов исключаются из модели требований.

Адаптированная структура модели требований к качеству является основой для доработки струк-

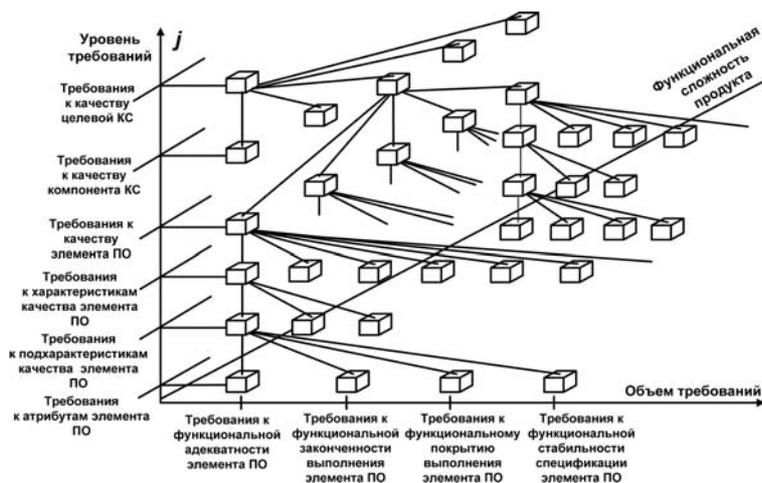


Рис. 6. Структура общей модели требований к качеству компьютерных систем, построенная в соответствии с принципом требований в зависимости от атрибутов качества продукта



Рис. 7. Структура общей модели требований к качеству компьютерных систем, построенная в соответствии с принципом требований в зависимости от элементов программного обеспечения

туры модели требований к качеству, обеспечивающей еще более полный учет специфики ПО, путем включения специфических компонентов в модель требований.

Модель оценки качества КС — иерархическая совокупность компонентов оценки компьютерной системы, построенная на основе модели требований и учитывающая степень оценочного покрытия требований к качеству этой системы.

Особенности формирования требований к безопасности и качеству КС

Требования к качеству КС могут устанавливаться в международных и российских стандартах, стандартах организаций, других нормативно-технических

документах и могут разрабатываться в соответствии с моделями качества по международным стандартам ИСО/МЭК 25010 и ИСО/МЭК 9126. Требования к безопасности устанавливаются в технических регламентах. В случае если КС или объекты, в состав которых входят КС, подпадают под действия технических регламентов, то модель требований и оценки целесообразно формировать отдельно от требований к качеству компьютерных систем.

Это позволит однозначно определить степень соответствия КС обязательным требованиям безопасности благодаря отсутствию влияния характеристик качества на характеристики безопасности КС.

При разработке требований к безопасности в качестве основных характеристик могут быть использованы атрибуты защищенности и надежности КС модели продукта, а также атрибуты безопасности модели качества в использовании (ИСО/МЭК 25010).

Основной эффект использования стандартизованных моделей качества при разработке требований может быть достигнут при условии единства применения предложенного методического подхода различными категориями пользователей КС: разработчиками, заказчиками, потенциальными потребителями, органами по сертификации и другими заинтересованными сторонами.

Основные преимущества применения указанного подхода:

- снижение трудоемкости разработки требований к КС за счет готовых стандартизованных структур характеристик качества, в рамках которых разрабатываются требования;
- повышение качества и конкурентоспособности создаваемых систем на основе реализации идентичных моделей требований и последующей оценки соответствия этим требованиям аналогичной продукции конкурентов;
- улучшение процессов по обеспечению качества в жизненном цикле КС на основе установления промежуточных требований к их качеству и поэтапных оценок внутреннего, внешнего качества и качества в использовании в контрольных точках верификации и аттестации КС;
- применение стандартизованного профиля требований. Это позволит разработчикам наряду с требованиями потребителей и конкурентов учитывать требования к качеству, а также законодательные требования безопасности, что снизит трудоемкость проведения добровольного и обязательного подтверждения соответствия в рос-

сийских и зарубежных системах сертификации, преодоления барьеров в торговле на российском и зарубежных рынках;

- повышение качества процедур сертификации информационно-коммуникационных технологий за счет применения в документах систем сертификации моделей требований и подходов к оценке качества аналогичных жизненному циклу разработки КС;
- применение стандартизованных моделей качества с возможностью разграничения требований к качеству и безопасности КС и построения отдельных соответствующих моделей, что позволит повысить объективность оценки безопасности компьютерных систем;
- предложенные стандартизованные модели требований и оценки качества предусматривают иерархическую и семантическую согласованность компонент с сильными связями [1, 6], благодаря чему в полном объеме предусмотрено применение квалиметрических методов оценки качества продукции [2] при процедурах верификации, аттестации, квалификационных и приемочных испытаний КС.

Основные принципы предложенного методического подхода были апробированы при создании ряда автоматизированных информационных систем в рамках выполнения дипломных проектов студентами по специальности "Информационные системы и технологии", в том числе в следующих организациях: ООО "1С:Автоматизация"; ООО "ТРАНСТЕХ", обслуживающего контрольно-кассовую технику ОАО "Московско-Тверская пригородная пассажирская компания"; ФГНУ "Республиканский мультимедиа центр" (РМЦ) и др.

Список литературы

1. Поляков С. Д. Безопасность и качество программной продукции: комплексный подход // Стандарты и качество, 2011. № 12. С. 22—25.
2. Мазур И. И., Шапиро В. Д. Управление качеством: учеб. пособие для студентов вузов, обучающихся по специальности управление качеством. 8-е изд., стер. М.: Омега-Л, 2011. 400 с.
3. Поляков С. Д. О комплексном подходе к обеспечению безопасности и качества средств информационно-коммуникационных технологий в образовании // Дистанционное и виртуальное обучение, 2010. № 6 (36). С. 109—116.
4. Липаев В. В. Тестирование компонентов и комплексов программ: учебник. М.: СИНТЕГ, 2010. 400 с.
5. Поляков С. Д. Методические принципы разработки моделей оценки соответствия для сертификации программной продукции // Методы оценки соответствия. 2008. № 5. С. 33—37.
6. Поляков С. Д. Сертификация программной продукции. Методология оценки соответствия. М.: МГТУ "Станкин", 2011. 295 с.

- Е. М. Клейменова**¹, зам. руководителя,
e-mail: Elena.Kleimenova@rsce.ru,
П. О. Скобелев², д-р техн. наук, вед. науч. сотр.,
e-mail: skobelev@smartsolutions-123.ru,
В. Б. Ларюхин³, директор по разработкам,
e-mail: vlarukhin@smartsolutions-123.ru,
И. В. Майоров³, вед. спец.,
e-mail: imayorov@smartsolutions-123.ru
Д. С. Косов³, аналитик,
e-mail: kosov@smartsolutions-123.ru
Е. В. Симонова³, канд. техн. наук, вед. аналитик,
e-mail: simonova.elena.v@gmail.com
А. В. Царев³, генеральный директор,
e-mail: at@anarun.net
А. Л. Феоктистов¹, руководитель,
e-mail: Alexander.Feoktistov@rsce.ru
Е. В. Полончук⁴, руководитель сектора отд.,
e-mail: Evgeny.Polonchuk@rsce.ru
¹ НТЦ-5Ц ОАО "РКК "Энергия",
² ИПУСС РАН, г. Самара,
³ НПК "Разумные решения",
⁴ НТЦ "Корпоративные
информационные технологии"

Интеллектуальная система "Smart Projects" для оперативного управления ресурсами в проектах НИР и ОКР в реальном времени

Введение

Работа посвящена решению проблемы оперативного управления кадровыми ресурсами в проектах научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ (НИР и ОКР) при создании образцов новой авиакосмической техники, включая ракетоносители, спутники и другие.

Данная проблема в последние годы становится особенно актуальной для Российских авиакосмических предприятий [1] в связи с обострением конкуренции в космической отрасли, где наряду с предприятиями США и Европы уже полномасштабно работают предприятия Китая и других стран. Для сохранения и усиления конкурентоспособности отечественных предприятий требуется не только создавать новые изделия ракетно-космической техники с превосходящими характеристиками, но делать это быстрее, дешевле и с меньшими рисками.

При этом рассматриваемые изделия должны отличаться уникальностью, высокой сложностью и новизной технических решений, что часто требует

Рассматривается интеллектуальная система управления ресурсами в проектах НИР и ОКР, реализующая метод адаптивного планирования задач группы проектов на общем поле ресурсов в реальном времени. Предлагаемая система построена на основе мультиагентных технологий, обеспечивающих работу в режиме он-лайн для поддержки автономного цикла управления ресурсами в ходе управления проектами, от начального планирования — к реакции на важные события и согласованию изменений планов с исполнителями, мониторингу и контролю выполнения намеченных задач в реальном времени, а также перепланированию в случае растущих расхождений плана и факта. Созданная система предназначена, в первую очередь, для использования на предприятиях авиакосмического комплекса при создании образцов новой техники, отличающихся особой уникальностью, сложностью и новизной производимых изделий, что часто требует пересмотра требований к выполнению задач и сложного процесса перепланирования с необходимостью согласованного пересмотра цепочек взаимосвязанных подзадач непосредственно в ходе выполнения проектов. Переход к реальному времени позволяет уменьшить задержки в принятии решений при возникновении непредвиденных событий и исключить возможность возникновения простоя или дефицита квалифицированных кадров, что ведет к повышению эффективности использования ресурсов предприятий при одновременном выполнении многих проектов.

***Ключевые слова:** управление ресурсами, проекты научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ (НИР и ОКР), адаптивное планирование, мультиагентные технологии, реальное время*

пересмотра требований к выполнению задач и их перепланирования с необходимостью согласованного пересмотра цепочек взаимосвязанных подзадач непосредственно в ходе выполнения проектов. Переход к реальному времени позволяет уменьшить задержки в принятии решений при возникновении непредвиденных событий и исключить возможность возникновения простоя или дефицита квалифицированных кадровых ресурсов, что ведет к повышению эффективности работы предприятий.

Для решения поставленной задачи требуется кардинальное изменение и самих подходов к управлению кадровыми ресурсами в проектах, эффективное использование которых в современной экономике знаний требует учета индивидуального опыта и компетенций каждого сотрудника, внедрения принципов сетевых организаций с присущими им механизмами раскрытия творческого потенциала сотрудников и повышения их мотивации, поддержки командной работы с горизонтальными взаимодействиями, ориентацией в оплате на конечные результаты.

В этих условиях переход к управлению ресурсами в проектах НИР и ОКР в реальном времени требует разработки новых подходов, методов и средств для адаптивного управления ресурсами в проектах, поскольку существующие системы (Microsoft Project, Primavera и многие другие) ориентированы, прежде всего, на пакетный режим использования, когда все заказы и ресурсы известны заранее и не меняются в ходе выполнения проектов в реальном времени, а мнение, компетенции и опыт даже ведущих сотрудников не учитываются — задачи автоматически назначаются ведущим сотрудникам "сверху-вниз" как рядовым исполнителям.

В качестве одного из возможных путей решения этой проблемы в настоящей работе предлагается интеллектуальная система "Smart Projects" для оперативного управления ресурсами в проектах НИР и ОКР в режиме реального времени.

Предлагаемая система реализуется на основе мультиагентных технологий, находящих все большее применение для управления ресурсами в реальном времени [2, 3]. В предлагаемой системе каждый проект, задача и сотрудник получают своего агента, действующего от его имени и по его поручению. Агенты формируют гибкий план проектов на общем поле ресурсов и адаптируют этот план при появлении непредвиденных событий.

В настоящей работе кратко рассматриваются существующие подходы к управлению ресурсами в проектах и анализируются ключевые особенности устройства новых более эффективных организаций, дается описание функций и архитектуры предлагаемой системы, а также видов экранов для объяснения работы пользователя в системе, оцениваются результаты внедрения предлагаемой системы.

1. Обзор существующих методов управления проектной деятельностью

Область управления проектами представляет собой обширную сферу научных исследований и экспериментальных разработок с более чем сорокалетней историей. Можно считать, что теоретические исследования в этой области начинались с методов исследования операций, а сегодня включают в себя теорию выбора и методы принятия решений, теорию активных систем и ряд других новых направлений [4–6].

С практической стороны управление проектами включает в себя множество конкретных эмпирических методик, основанных на проверенных практикой управленческих решениях, сведенных в единую систему и выраженную в стандартах Института управления проектами PMI (*Project Management Institute*) [7], описывающих основные жизненные стадии любого проекта: инициация, планирование, выполнение, контроль и мониторинг, завершение и т. д.

Математические методы, применяемые в управлении и планировании проектов, чрезвычайно раз-

нообразны. Широкое распространение в планировании проектов получили методы, базирующиеся на PERT-диаграммах (*Project Evaluation and Review Technique*) и критическом пути (CPM — *Critical Path Method*) [8], в основе которых лежит теория графов. В современной интерпретации такие подходы используют более удобное представление проектных работ и активностей в виде сетей, для которых применяется метод критических цепей, основанный на теории ограничений Голдратта [9]. Однако структурная сложность современных проектов приводит к невозможности адекватно найти критические пути в графах из десятков тысяч вершин. Различные оценки показывают, что PERT/CPM методы дают систематически заниженные значения времен выполнения и рисков проектов [10].

В настоящее время большое распространение получают методы достижения компромисса (*Time-Cost-Quality Tradeoff*), заключающиеся в решении задач многокритериальной оптимизации для заданных функциональных зависимостей между стоимостью, длительностью и качеством выполнения проектных работ. В каждом конкретном случае выясняют диапазоны устойчивости работ и находят компромиссы ("уступки") в решениях, допускаемые менеджментом проектов. Методы варьируются в зависимости от степени сложности проектов — от линейного программирования до эвристик типа правил приоритета [11, 12].

Математическая постановка задачи управления проектами тесно связана с задачей планирования проектов с ресурсными ограничениями RCPSP (*Resource Constrained Project Scheduling Problem*). В свою очередь, RCPSP является обобщением задачи производственного планирования JSP (*Job Shop Problem*). Задача RCPSP рассматривает построение оптимального расписания активностей заданной длительности при ограничениях на доступность ресурсов, известных потребностях и известном порядке следования активностей. Задача RCPSP определяется как задача смешанной вещественно-целочисленной комбинаторной оптимизации и является NP-сложной, что требует комбинирования методов или поиска адекватных эвристик для каждого типа проектов.

Стандартными же подходами к решению таких типов задач по-прежнему считаются методы смешанного линейного и математического программирования [13]. Однако вследствие сложности применения методов комбинаторной оптимизации, а также методов ветвей и границ к практическим задачам большой размерности, используются алгоритмы планирования с помощью разнообразных правил приоритета, не гарантирующие оптимальности решений и применимые лишь в пакетном режиме.

Для учета неопределенностей и непредсказуемых внешних факторов, влияющих на оценку продолжительности, стоимости и других характеристик проекта, применяют расширения задач планирова-

ния проектов, получающиеся при замене вещественных переменных (стоимостей, времен, трудоемкостей, рисков и аналогичных понятий) величинами из теории нечетких множеств. Использование теории нечетких множеств приводит к значительным отличиям в вариантах планирования и оценках по сравнению с вещественно-интервальными вычислениями [14].

Для оптимизации планирования проектов наряду с методами математического программирования используются различные статистические методы количественного анализа, базирующиеся на имитационном моделировании. Строится имитационная модель проекта и исследуется влияние различных внешних факторов и неопределенностей на ход выполнения проекта. Анализируется большое число различных сценариев, в результате чего выявляются статистические зависимости между входными и выходными параметрами. Имитационное моделирование позволяет получить более достоверные оценки продолжительности, стоимости и рисков проектов совместно с их вероятностными функциями распределения [15]. Однако трудности построения имитационных моделей для большого спектра практических задач и отсутствие доступных программных средств существенно ограничивают применимость методов Монте-Карло, кроме того, решения необходимы в реальном времени.

В применении к задачам планирования проектов получили дальнейшее развитие методы искусственного интеллекта. Метаэвристики нейросетей, генетических алгоритмов, "колоний насекомых" позволяют решать задачи планирования больших проектов и преодолевают локальные экстремумы, однако требуют значительных вычислительных мощностей и не всегда обеспечивают приемлемую скорость сходимости [16—18].

В то же время, следует отметить, что все перечисленные подходы восходят к централизованной пакетной модели планирования и решения проектных задач. Это означает, что как при динамическом поступлении новых задач, так и при декомпозиции или подвижках существующих, а также при изменении внешних условий требуется перерасчет существующих планов, что при больших задержках в расчетах может приводить к появлению значительных участков времени, когда непротиворечивого самосогласованного расписания нет вообще. Поэтому рассмотренные стандартные подходы к планированию динамически меняющихся проектов в общем поле ресурсов не могут в достаточной мере соответствовать потребностям практики.

Одним из способов преодоления существующих противоречий является проектирование распределенных систем реального времени, основанного на мультиагентных технологиях, которые уже начали применять к задачам RCPS [19—21]. Но эти подходы пока не получили достаточного распростра-

нения в управлении проектами. На рынке по-прежнему преобладают программные продукты и технологии, обеспечивающие пакетное планирование, например, MS Project, Primavera и ряд других систем, де-факто ставших промышленными стандартами.

Как следствие, в последние годы наблюдается нарастающий кризис управления проектами, который выражается в том, что число проектов, достигающих своей цели, выполняемых в пределах бюджета, точно в срок, с учетом всех требований, остается крайне низким. В соответствии с исследованиями компании Standish Group Chaos [22], из всех проектов, завершенных в 2010 году, только 32 % проектов являются успешными, 44 % — спорными (имеющими перерасход средств, превышение бюджета, другие недостатки), а 24 % — провальными. Если сравнить с первыми результатами подобных исследований, проводимых еще в 1994 г., наблюдается улучшение — на тот момент 16 % проектов были успешными, 53 % — спорными и 31 % — неудачными.

Однако текущая статистика оставляет много места для развития и улучшения подходов к управлению проектами и программных продуктов для поддержки этих подходов.

2. Новые подходы к управлению проектами

Общие тенденции современной экономики реального времени показывают, что конкуренция будет и дальше только возрастать, еще более будет расти сложность создаваемой техники и т. д.

Понимание этих тенденций ведет к кардинальному изменению принципов построения современных организаций и подходов к управлению проектами.

В рамках формирующейся в настоящее время интересубъективной теории управления [23] считается, что основной причиной усиливающегося разрыва между ожидаемыми и фактическими результатами проектов являются ограничения классических форм организации предприятий и управления проектами, препятствующие переходу к новым более современным сетевым формам управления деятельностью команд специалистов (см. таблицу).

Другими словами, с определенного уровня сложности изделий и динамики процессов управления, возможности традиционных централизованных иерархических организаций, даже при отличных руководителях, начинают стремительно сужаться, планы работы перестают быть гибкими и эффективными, предприятие перестает отслеживать новые идеи, продукты и технологии; сотрудники проектных команд не могут мириться с отношением к ним как к "исполнителям-винтикам", которым можно навязывать план или проектные решения "сверху-вниз", в особенности, когда знания сотрудников этих команд становятся главным ресурсом организаций, а их оплата должна быть неограниченной и начисляться за конечный результат и т. д.

Характеристики управленческих функций в традиционных и новых (сетевых) предприятиях

Управленческая функция	Традиционные предприятия	Новые (сетевые) предприятия
1. Распределение функций	Централизация функций	Децентрализация функций
2. Организационная структура деятельности, тип связей	Иерархическая структура, жесткие связи	Сетевая структура, переменные связи
3. Влияние внешней среды	Закрытость к среде	Открытость к среде
4. Объем и роль знаний в принятии решений	Объем знаний, используемых в принятии решений, строго фиксирован, решения принимаются по формальным правилам бизнес-процессов	Объем знаний не фиксирован, приоритет — приобретению новых знаний, решения принимаются не формально, а по существу ситуации
5. Управление ресурсами	Плановый подход, все ресурсы распределены заранее	Рыночный подход, ресурсы распределяются по мере необходимости в реальном времени
6. Распределение функциональных обязанностей и текущих задач	Статическое, на основе штатного расписания, статуса и должностных инструкций	Динамическое, на основе знаний и опыта, компетенций, конкуренции и кооперации
7. Тип взаимодействия	Выдача команд "сверху вниз" по жесткой иерархии	Переговоры "равный с равным", круг не ограничен (каждый с каждым), необходимые участники выбираются по ситуации
8. Оперативное планирование работ	Пакетное жесткое планирование, следование регламентам и инструкциям	Гибкое планирование, поиск компромиссов, принятие решений по ситуации
9. Степень определенности	Полная определенность	Полная неопределенность
10. Функции коммуникации	Коммуникации регламентированы	Коммуникации не регламентированы
11. Функции контроля	Тотальный внешний контроль	Внутренняя мотивация
12. Оценка результатов и оплата труда	Постоянная месячная оплата	Переменная (сдельная или почасовая) оплата

В противовес централизации особенно важное значение в борьбе за конкурентный качественный результат приобретают принципы социальной самоорганизации и организационной демократии [23]. Центральной фигурой в управлении проектами, вместо привычных менеджеров, становятся актеры — творческие специалисты, активно познающие и создающие предмет проекта, в отличие от менеджеров, в основном "администрирующих" деятельность других сотрудников и самостоятельно не производящих результатов.

Неслучайно, как специально отмечалось на Московском международном форуме "Открытые инновации-2012", "многие современные компании, ориентированные на успех и достижение долгосрочных результатов, развивают внутрикорпоративную культуру интрапренерства, стимулирующую проявление в обычной ежедневной деятельности предпринимательского духа, интеграцию предпринимательских возможностей личности и ресурсов предприятия".

Такой подход предполагает стимулирование и поощрение новых идей, снятие ограничений на сферы деятельности подразделений и их сотрудников (ломка барьеров), признание роли знаний в управлении проектами, лояльность к пробам и ошибкам, даже неудачам, обеспечение необходимыми ресурсами, работу в команде, ориентацию на результат, развитие систем вознаграждения за труд, и конечно, требует поддержки со стороны высшего руководства.

Для реализации такого подхода нужны кардинально новые интеллектуальные системы, которые

должны не столько распределять задачи между исполнителями на основе знаний руководителя, сколько поддерживать взаимодействие акторов в ходе их самоорганизации и согласования решений по управлению проектами в реальном времени.

3. Мультиагентный подход к созданию интеллектуальной системы управления проектами НИР и ОКР в реальном времени

В основу построения интеллектуальной системы управления проектами НИР и ОКР в реальном времени предлагается положить концепцию ПВ-сетей и метода сопряженных взаимодействий на основе мультиагентных технологий [24, 25].

Особенности разработанного метода адаптивного планирования для поддержки принятия решений при управлении ресурсами в проектах НИР и ОКР представлены в работе [26]. Не останавливаясь на деталях, отметим только, что применение мультиагентных технологий для перехода к поддержке принятия решений по управлению проектами в реальном времени позволяет оперативно и гибко перераспределять ресурсы при появлении в ходе исследований и проектирования новых задач или других непредвиденных событий, которые не могут быть спланированы заранее. Такой подход выгодно отличает предлагаемую систему от существующих систем пакетного управления проектами, в которых все задачи и ресурсы считаются известными заранее и не меняются в ходе выполнения. Создаваемая система призвана обеспечить быструю реакцию на события в реальном времени, гибкое планирование

подготовки и использования ресурсов предприятия, индивидуальный подход к каждому проекту и ресурсу, а также скользящий мониторинг и контроль, сочетая процессы планирования и исполнения намеченных планов. Все это позволяет существенно повысить эффективность выполнения проектов, сократить стоимость, сроки и риски подготовки и выпуска новых изделий.

Важным достоинством разработанного подхода является возможность индивидуальной онтологической настройки системы на конкретное предприятие машиностроительного профиля [27], учитывающей особенности объекта разработки, технологических процессов, квалификации сотрудников и т. д.

4. Функции и структура интеллектуальной системы управления проектами НИР и ОКР в реальном времени

Разработанная система позволяет автоматизировать процесс управления проектами, причем поддерживает его на всех этапах: инициация, планирование, согласование, выполнение, мониторинг и контроль, завершение.

Для реализации полного жизненного цикла управления проектами интеллектуальная система выполняет следующие функции:

— ведение справочников и журналов (на основе онтологий):

- задач и их видов,
- проектов и их профилей,
- подразделений и должностей,
- сотрудников их индивидуальных профилей и календарей;

— наполнение и использование онтологии предприятия:

- описание создаваемых объектов, их свойств и отношений,
- описание процессов планирования, состоящих из задач, поручений или других видов работ,
- параметры планирования проектов и задач,
- описание шаблонов типовых бизнес-процессов и др.;

— автоматическое планирование задач и проектов:

- начальное планирование с учетом характеристик задач (приоритетов, сроков, длительности),
- адаптивное планирование и перепланирование цепочек задач по событиям,
- учет навыков исполнителей и их предпочтения;

— ввод новых задач и других важных событий в любой момент времени со стороны исполнителя;

— возможность моделирования и оценки последствий планирования новой задачи (влияние на существующий план, сроки ее выполнения и стоимость);

— ручная интерактивная корректировка плана-графика предприятия (подразделения, проекта);

— проактивное улучшение плана в случае наличия времени;

— визуализация работы предприятия в реальном времени (бизнес-радар) и построение отчетов (за период, по исполнителю и т. д.);

— согласование расписания задач со всеми участниками и его корректировка в случае необходимости;

— постоянная обратная связь с исполнителями (ввод факта выполнения, задержка, заморозка работы и т. д.);

— оперативный контроль выполнения плана с формированием опережающих предупреждающих сообщений;

— построение отчетов для сотрудников и руководителей по всем уровням проекта или подразделений.

Угруппированная архитектура системы, включающая основные модули и компоненты, представлена на рис. 1.

Система построена по принципу трехзвенной архитектуры, каждое звено которой может быть расположено на отдельном компьютере.

Данные, используемые в системе, хранятся в реляционной базе данных.

Центральным компонентом системы является сервер приложений, который осуществляет корректное взаимодействие всех подсистем, проводит обработку данных и обеспечивает разграничение прав доступа пользователей в системе, основными из которых являются руководитель проекта (подразделения) и сотрудник, решающий задачи проекта (актор).

Подсистема планирования работает непрерывно на серверной стороне системы и реализует метод

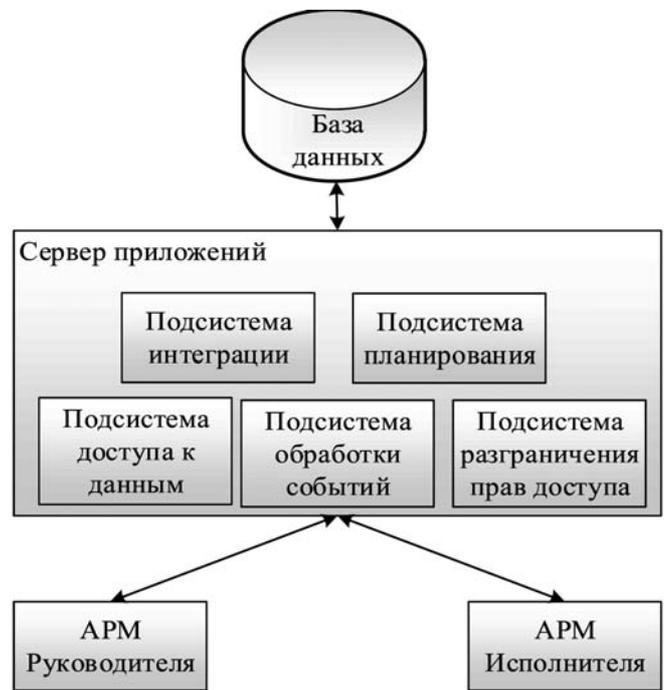


Рис. 1. Архитектура интеллектуальной системы управления ресурсами в проектах НИР и ОКР

адаптивного планирования задач, рассмотренный в работе [27], который базируется на мультиагентных технологиях.

Такой подход к построению и изменению расписания работ предполагает автоматизированное адаптивное перестроение плана при поступлении различных событий. При обнаружении каких-либо изменений (болезнь исполнителя, новые неожиданные задачи, изменение сроков или приоритетов и др.) он позволяет не перестраивать полностью весь график работ всех исполнителей, а внести изменения "точечно", только на том участке, который затрагивают эти изменения, естественно, с пересчетом всего "хвоста" задач.

Принципы работы мультиагентной подсистемы адаптивного планирования кратко могут быть сформулированы следующим образом:

- для каждой задачи или исполнителя создается свой программный агент, получающий требования и ограничения на планирование, у которого ведется индивидуальное расписание;
- агент начинает планирование путем поиска необходимых ему ресурсов в сцене, которая описывает текущую ситуацию в подразделении, а именно, какой сотрудник какое расписание исполняет;
- если подходящие ресурсы (исполнители) заняты, фиксируется конфликт и начинаются переговоры по его разрешению путем сдвига и освобождения временных слотов;
- в ходе переговоров возможны варианты: новая задача уйдет на менее подходящий ресурс (исполнителя), предыдущая задача уйдет или сдвинется;
- даже после решения своей задачи каждый агент не останавливается и продолжает пытаться улучшить свое положение.

Рассмотрим подробнее реализацию и внутреннее устройство мультиагентной подсистемы планирования. Подсистема планирования является частью сервера приложений и работает непрерывно. Архитектура подсистемы создана (рис. 2) таким образом, чтобы поступающие события обрабатывались в реальном времени, а при обработке использовались знания из модели онтологии.

События из системы поступают в модуль "Очередь событий". После обработки и определения приоритетов событий в очереди полученный список поступает в модуль "Процессор событий". Очередь событий формируется таким образом, чтобы порядок их обработки был наиболее удобным и вызывал наименьшее число адаптаций расписания. Вначале будет обработано событие о фактическом перепланировании или планировании недоступности исполнителя, а затем — событие планирования новой задачи. Вместе с тем анализируется возможность одновременной обработки событий, например, логично обрабатывать события одновременно, если они относятся к разным частям расписания и не влияют друг на друга.

В модуль управления расписанием поступают данные о текущей (контекстной) ситуации. Контекст включает расписание, сведения о ресурсах, работах, их взаимосвязи, а также другие данные, необходимые для планирования. Другой задачей этого модуля является отслеживание изменений в расписании и осуществление действий по загрузке и сохранению расписания в базе данных.

Информация из модуля управления расписанием и модуля "Процессор событий" поступает в "Менеджер агентов". Данные из онтологии поступают в модуль "Модель онтологии", а затем в обработанном виде — в процессор агентов. В процессор агентов передается также информация из подсистемы применения правил (срок готовности задачи или степень загрузки ресурса) и менеджера агентов.

Менеджер агентов осуществляет маршрутизацию событий и инициирует процесс их обработки в процессоре агентов. Он определяет, каким агентам необходимо передать информацию о возникновении событий, осуществляет создание и удаление агентов, а также выполняет сервисные функции по управлению системой планирования в целом.

Менеджер агентов осуществляет маршрутизацию событий и инициирует процесс их обработки в процессоре агентов. Он определяет, каким агентам необходимо передать информацию о возникновении событий, осуществляет создание и удаление агентов, а также выполняет сервисные функции по управлению системой планирования в целом.

Центральным модулем системы планирования является процессор (диспетчер) агентов. В этом модуле выполняется обработка всей поступившей информации. Процессор агентов является средой времени исполнения агентов, он содержит экземпляры всех агентов системы и определяет порядок их обработки. Каждый агент при этом описывается набором активностей (поведений) и дополнительных блоков логики, позволяющих использовать описания из онтологии, чтобы настраивать логику во время выполнения системы.



Рис. 2. Структура подсистемы планирования

Когда решение агентами найдено, расписание передается в модуль управления расписанием для останова системы и сохранения результата.

Подсистема интеграции позволяет системе взаимодействовать с другими информационными системами предприятия и осуществлять обмен данными, в частности, в настоящее время выполнена интеграция с PTC Windchill и Microsoft Office Project, наиболее часто применяемыми на аэрокосмических предприятиях.

В разработанной интеллектуальной системе предусмотрено два специализированных автоматизированных рабочих места (АРМ): Руководителя и Исполнителя. Каждый АРМ представляет собой клиентское приложение для Microsoft Windows, позволяющее пользователю в интерактивном режиме взаимодействовать с системой. АРМ Руководителя предназначен для централизованного управления проектами и задачами, включая их ведение, контроль и мониторинг результатов, корректировку планов и редактирование справочных объектов системы. АРМ Исполнителя предоставляет исполнителям на местах возможность просматривать список назначенных им задач, отмечать прогресс выполнения и давать собственные оценки времени работы по задачам.

В процессе обработки данных в системе возникают различные события, которые обрабатываются подсистемой планирования в реальном времени:

- изменение параметров проекта;
- появление новой задачи;
- изменение параметров задач (сроки выполнения, приоритеты, плановые сроки выполнения);

- изменение состояния ресурсов (появление нового ресурса, изменение доступности ресурса, изменение параметров навыков сотрудника);
- исполнение задачи (отметка фактов выполнения, указание предпочтений пользователей).

Данный список продолжает развиваться и пополняться, отражая потребности реакции в реальном времени на изменения в среде предприятия.

5. Интерфейс пользователя

Рассмотрим подробнее работу пользователей с разработанной системой.

На основном экране системы (рис. 3, см. вторую сторону обложки) в наглядной форме пользователю предоставляется вся основная информация о текущих проектах, статусе поставленных задач, сотрудниках и новых событиях, поступающих из внешней среды, с использованием *Windows 8*.

Основной экран оформлен в стиле Modern UI Style®, разработанном корпорацией *Microsoft*, фактически представляющий собой постоянно обновляемый бизнес-радар пользователя, позволяющий акцентировать внимание на происходящих изменениях. Для этого каждый объект системы представлен в виде отдельной "плитки" (*live tile*) и снабжен дополнительной информацией — агрегированными значениями его ключевых показателей, которые меняются в реальном времени.

При нажатии на "плитку" открывается соответствующий экран системы, позволяя погрузиться в проблемную ситуацию.

С основного экрана доступны все активные объекты системы:

- проекты и задачи — для управления проектами и задачами;

Название	Проект	Приоритет	Состояние	Отношение	Дата начала работы	Дата завершения работы	Оценочное время	Потраченное время	Оставшееся время	Вид деятельности
Сред. из Оценочное время : 720										
Составлен...	3. Создания	Средний	⚠		12.11.2012 11:00	14.11.2012 11:00	16ч : 0м	0ч : 0м	16ч : 0м	Составлен...
Отправка з...	3. Создания	Средний	⚠		14.11.2012 11:00	15.11.2012 11:00	8ч : 0м	0ч : 0м	8ч : 0м	Передача д...
Сред. из Оценочное время : 480										
Оповещен...	4Р. Согласо...	Средний	⚠		23.11.2012 12:00	26.11.2012 12:00	8ч : 0м	0ч : 0м	8ч : 0м	Передача д...
Сред. из Оценочное время : 1230										
Ознакомле...	3. Создания	Средний	⚠		02.11.2012 9:00	07.11.2012 10:00	25ч : 0м	0ч : 0м	25ч : 0м	
Составлен...	3. Создания	Средний	⚠		12.11.2012 11:00	14.11.2012 11:00	16ч : 0м	0ч : 0м	16ч : 0м	Составлен...
Сред. из Оценочное время : 1380										
Начало пр...	1. Создания	Средний	▶		25.10.2012 9:01	01.11.2012 17:35	16ч : 0м	8ч : 0м	1ч : 0м	Проектиро...
Создание...	2. Проекти...	Средний			28.11.2012 12:00	30.11.2012 17:00	30ч : 0м	0ч : 0м	30ч : 0м	Проектиро...
Сред. из Оценочное время : 720										
Начало сог...	2. Проекти...	Средний	⚠		16.11.2012 14:00	20.11.2012 15:00	16ч : 0м	0ч : 0м	16ч : 0м	Согласован...
Рассмотре...	4Р. Согласо...	Средний	⚠		20.11.2012 15:00	22.11.2012 16:00	16ч : 0м	0ч : 0м	16ч : 0м	Рассмотрен...
Одобрение...	4Р. Согласо...	Средний	⚠		22.11.2012 16:00	23.11.2012 12:00	4ч : 0м	0ч : 0м	4ч : 0м	Одобрение...
Оповещен...	4Р. Согласо...	Средний	⚠		23.11.2012 12:00	26.11.2012 12:00	8ч : 0м	0ч : 0м	8ч : 0м	Передача д...
Конец сог...	2. Проекти...	Средний	⚠		26.11.2012 12:00	28.11.2012 12:00	16ч : 0м	0ч : 0м	16ч : 0м	Согласован...
Сред. из Оценочное время : 893,33										
Выпуск стр...	1. Создания	Средний	✓		15.10.2012 8:01	17.10.2012 8:01	16ч : 0м	16ч : 0м	0ч : 0м	Выпуск стр...
Получение...	1. Создания	Средний	✓		22.10.2012 9:01	25.10.2012 9:01	24ч : 0м	24ч : 0м	0ч : 0м	Сбор инфо...
Начало соз...	2. Проекти...	Средний	✓		30.10.2012 9:01	31.10.2012 11:01	10ч : 0м	10ч : 0м	0ч : 0м	Создание з...
Ознакомле...	3. Создания	Средний	⚠		02.11.2012 9:00	07.11.2012 10:00	25ч : 0м	0ч : 0м	25ч : 0м	
Выработка...	3. Создания	Средний	⚠		07.11.2012 10:00	12.11.2012 11:00	25ч : 0м	0ч : 0м	25ч : 0м	Ведение те...

Рис. 4. Журнал задач

- сотрудники — для управления сотрудниками и их характеристиками;
- динамика — отчеты и бизнес-радары (*dashboards*);
- база знаний — справочные объекты и онтология;
- сервисы — взаимодействие с доступными сервисами, например, с подсистемой интеграции.

Управление задачами и проектами осуществляется в АРМ Руководителя через соответствующие журналы (рис. 4).

Журналы предоставляют пользователю информацию в табличном виде, дополняя ее цветовой индикацией. Журнал задач позволяет руководителю быстро получить нужную информацию по задачам в любом интересующем его аспекте. Это достигается благодаря интерфейсу управления табличными данными, который позволяет выполнять группирование, фильтрацию и сортировку данных по любому числу полей одновременно.

Так, сгруппировав журнал задач по полю "Исполнитель", руководитель может быстро получить наглядную информацию о состоянии задач по всем проектам каждого сотрудника, при этом пиктограммы состояний и цветовая индикация концентрируют внимание на самых важных данных с учетом текущего положения дел. Если сгруппировать журнал, например по полю "Проект", отображается состояние задач по каждому проекту.

Данный интерфейс позволяет руководителю не только более детально рассмотреть проблемную ситуацию, но и при необходимости внести управленческое решение.

Если план работы подразделения не очень удобно рассматривать в табличном виде, используется графический вариант отображения, демонстрирующий положение задач подразделения и загружен-

ность сотрудников на временной шкале. Для такого представления предлагается комбинированная Гантт-Перт-диаграмма (рис. 5, см. вторую сторону обложки), которая не только позволяет отображать последовательность задач во времени, но и зависимости между задачами.

Задачи каждого проекта отображаются своим цветом, все они связываются линиями, показывающими их взаимосвязи, что позволяет руководителю быстро осуществить поиск нужного ему проекта, задачи или открыть представление плана только для необходимых исполнителей.

Система позволяет также быстро оценить общую загруженность исполнителей на конкретный момент времени и сделать прогноз, каких именно сотрудников недостаточно для выполнения проекта.

Для исполнителей разработано специальное АРМ Исполнителя, которое выполняет следующие функции:

- просмотр и управление назначенными задачами;
- отметка о ходе исполнения задач;
- отметка времени работ по задаче;
- возможность указания отношения Исполнителя к задаче;
- возможность указания предпочтений Исполнителя и оценки времени работ по задаче;
- информирование об изменении плана и поддержка прогресса выполнения задачи;
- фильтрация задач по семантическим описателям, содержащимся в онтологии, для более быстрого просмотра.

Вид экранов АРМ Исполнителя показан на рис. 6.

Ключевой особенностью АРМ Исполнителя является его инфокоммуникационная составляющая — диалог с пользователем, который позволяет инженеру не просто отмечать "Старт" и "Стоп" по задаче, а указывать свои собственные предпочтения по исполнению, вносить новые события при выполнении задач, пополняя тем самым базу знаний компании "снизу вверх", откладывать задачи или предварительно выбирать их, изменять длительность задач и т. д.

Для мониторинга и контроля результатов работы команд подразделений и проектов, отдельных сотрудников и предприятия в целом, в системе разработан ряд отчетов. Кроме того, пользователям предлагаются бизнес-радары, которые дают такой способ представления информации, при котором пользователь может моментально увидеть свои агрегированные показатели в реальном времени.

На рис. 7 (см. вторую сторону обложки) представлены примеры бизнес-радаров системы.

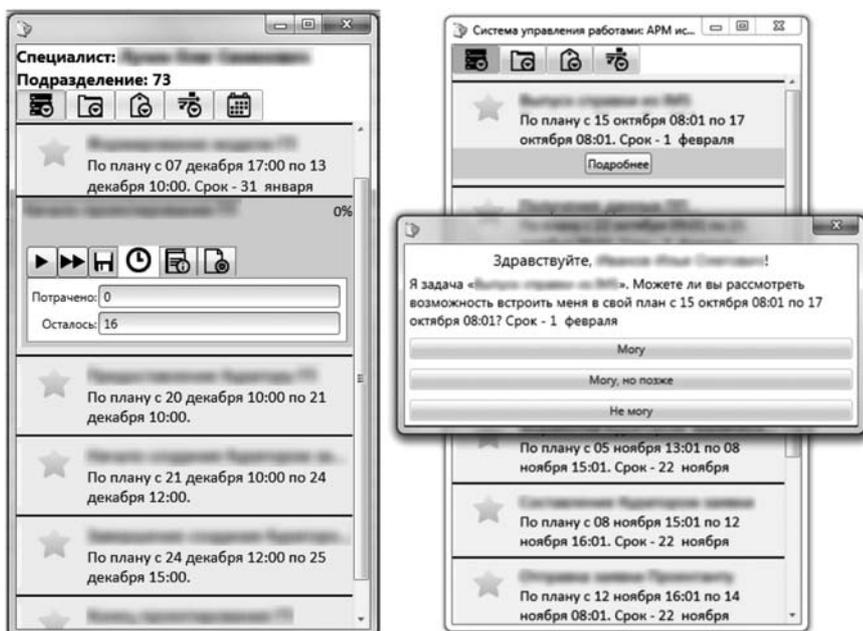


Рис. 6. Экраны АРМ Исполнителя

Бизнес-радары системы отображают следующую информацию:

- текущий прогресс по проектам;
- запас времени по проектам;
- внеплановую работу;
- риски срыва проектов (на основе метода, изложенного в работе [28]);
- наглядное представление проекта во времени;
- загруженность исполнителей на период времени;
- динамику загрузки исполнителей по подразделениям;
- качество построенного плана;
- отклонение и опережения от плана.

При этом данные показатели представляются как в виде графиков и диаграмм, так и в табличном виде.

Кроме того, в системе существует специальный механизм генерации собственных отчетов, который позволяет пользователю в наглядной форме получить любую доступную в системе информацию.

6. Работа пользователей с системой

Рассмотрим процесс планирования и согласования планов между исполнителями с учетом новых возможностей пользователей влиять на план работ проекта или подразделения в реальном времени:

- после предварительного распределения задача поступает к исполнителю и просит его рассмотреть возможность ее выполнения;
- длительность выполнения задачи назначается исходя из онтологии, накопленных статистических данных, или вручную корректируется руководителем;
- пользователь может указать свои пожелания: соглашается с предлагаемым планом исполнения задачи, указывает удобную для него дату и время исполнения или отказывается от задачи, указывая причину своих действий, чтобы руководитель, который видит все отметки, имел возможность их корректировать и принимать дальнейшие решения;
- если пользователь вносит изменения, которые серьезно отличаются от начального плана, система планирования, в частности агент задачи, старается найти более подходящего исполнителя;
- далее процесс повторяется по той же схеме до полного согласования планов;
- расчет оплаты исполнителя делается "позадачно" на основе конкретного состава выполненных задач за период, качество выполнения которых подтверждается соисполнителями в команде и руководителем;
- исполнитель может видеть, сколько он заработал за день или другой период и выбирать задачи из пула нераспределенных, но рекомендуемых ему задач по проекту, чтобы получить дополнительное вознаграждение.

Таким образом, в предлагаемой системе задачи планируются, но не встают автоматически на ис-

полнителей без диалога и согласования с ними, в ходе диалога может уточняться постановка задачи, меняться время исполнения и т. д. Если исполнитель превышает оценки по трудоемкости, система имеет возможность перепроверить их у руководителя или найти замену, в результате исполнителей могут либо дополнительно стимулировать, либо штрафовать, например, по стратегиям, предложенным в работах [4—6].

Дальнейшим развитием данного подхода будет использование персональных планировщиков для каждого сотрудника, учитывающих как загруженность исполнителей и их индивидуальные профессиональные навыки, так и личностные качества, мотивацию, траекторию развития и профессионального роста на предприятии.

Заключение

Рассмотрена разработанная первая промышленная версия интеллектуальной системы управления проектами НИР и ОКР в реальном времени, построенная на основе мультиагентных технологий.

Разработанная система призвана перейти от традиционного централизованного управления к сетевым структурам, работающим по проектам, в которых роль простого исполнителя-специалиста заменяется на роль актора, являющегося полноправным участником процессов принятия решений по управлению проектом, который может откладывать или ускорять задачи, добавлять новые задачи и т. д. Предполагается, что шаги в данном направлении позволят консолидировать знания и опыт людей, в настоящее время недостаточно используемые, но являющиеся главным ресурсом для повышения эффективности и конкурентоспособности работы современных предприятий.

Первая промышленная версия системы в настоящее время находится в опытной эксплуатации в ОАО "РКК "Энергия" и ряде других предприятий.

Первый опыт применения системы показывает высокую заинтересованность управленцев и специалистов в использовании системы, а также возможность получения следующих результатов:

- повышение эффективности работы исполнителей (на 10—15 %);
- накопление коллекции отработанных шаблонов решения задач по проектам для повторного использования, оптимизации, унификации и стандартизации производственных процессов (рост коэффициента повторного использования шаблонов до 50 % и выше);
- оперативное и гибкое реагирование на непредвиденные события в реальном времени, своевременное перепланирование расписания для безусловного выполнения плана-графика (сокращение времени реакции на события в 10—15 раз);
- сокращение трудоемкости процессов планирования и поддержки принятия решений за счет

вовлечения в них исполнителей с начала работы над проектом и автоматизации рутинных расчетов (в 4–5 раз);

— сокращение затрат на мониторинг и контроль исполнения плана в реальном времени, прогнозирование "узких мест" (в 2–3 раза).

Перспективы дальнейшего развития системы связаны с реализацией адаптивной сетевидной платформы для согласования работы подразделений, развитием метода адаптивного планирования в направлении многокритериального принятия решений с саморегуляцией, формированием траектории обучения специалистов, использованием облачных вычислений для предоставления возможностей разработанной системы в виде услуги SaaS (*Software as a Service*).

Список литературы

1. **Стратегия** развития космической деятельности России до 2030 года и на дальнейшую перспективу // Роскосмос. URL: <http://www.federalerspace.ru/main.php?id=402> (дата обращения 10.09.2012).
2. **Скобелев П. О.** Мультиагентные технологии в промышленных применениях: к 20-летию основания Самарской научной школы мультиагентных систем // Мехатроника, автоматизация, управление. 2010. № 12. С. 33–46.
3. **Скобелев П. О.** Интеллектуальные системы управления ресурсами в реальном времени: принципы разработки, опыт промышленных внедрений и перспективы развития // Приложение к теоретическому и прикладному научно-техническому журналу "Информационные технологии". 2013. № 1. С. 1–32.
4. **Бурков В. Н., Новиков Д. А.** Как управлять проектами. М.: Синтег, 1997. 188 с.
5. **Бурков В. Н., Коргин Н. А., Новиков Д. А.** Введение в теорию управления организационными структурами / Под ред. Д. А. Новикова. М.: Либроком, 2009. 264 с.
6. **Новиков Д. А.** Методология управления. М.: Либроком, 2011. 128 с.
7. **Руководство** к своду знаний по управлению проектами. Четвертое издание // Project Management Institute. — 2010. URL: <http://financero.ru/management/11953-rukovodstvo-k-svodu-znaniij-po-upravleniju.html> (дата обращения 01.10.2012).
8. **Kerzner H.** Project Management: A Systems Approach to Planning, Scheduling, and Controlling. John Wiley & Sons, 2009. 1120 p.
9. **Stratton R.** Critical Chain Project Management — Theory and Practice // Journal of Project Management and Systems Engineering. 2009. TOC Special Issue, No 4. P. 149–173.
10. **Kwak Y., Ingall L.** Exploring Monte Carlo simulation applications for project management // Risk management. 2007. Is. 9. P. 44–57.
11. **Nikoomaram H., Lotfi F. H., Jassbi J., Shahriari M. R.** A New Mathematical Model for Time Cost Trade-off Problem with Budget Limitation Based on Time Value of Money // Applied Mathematical Sciences. 2010. No 4 (63). P. 3107–3119.
12. **Zeinalzadeh A., Branch T.** An Application of Mathematical Model to Time-cost Trade off Problem // Australian Journal of Basic and Applied Sciences. 2011. No 5 (7). P. 208–214.
13. **Resource-Constrained Project Scheduling.** Models, Algorithms, Extensions and Applications / (Ed. C. Artigues, S. Demassey, E. Néron). WILEY, 2008. 288 p.
14. **Masmoudi M., Haït A.** Project scheduling under uncertainty using fuzzy modelling and solving techniques // Engineering Applications of Artificial Intelligence. 2013. Vol. 26, No 1. P. 135–149.
15. **Nemuth T.** Practical Use of Monte Carlo Simulation for Risk Management within the International Construction Industry // Proc. of the 6th International Probabilistic Workshop. Darmstadt: Graubner, Schmidt & Proske. 2008. P. 471–481.
16. **Jaberi M.** Resource Constrained Project Scheduling Using Mean Field Annealing Neural Networks // International Journal of Multidisciplinary Science and Engineering. 2011. Vol. 2, No 7. P. 6–12.
17. **Zhang H., Xu H., Peng W.** A Genetic Algorithm for Solving RCPSP // Proc. of the 2008 International Symposium on Computer Science and Computational Technology (ISCST '08). — Washington, DC, USA: IEEE Computer Society. 2008. Vol. 2. P. 246–249.
18. **Deng L., Lin Y., Chen M.** Hybrid ant colony optimization for the resource-constrained project scheduling problem // Journal of Systems Engineering and Electronics. 2010. Vol. 21, Is. 1. P. 67–71.
19. **Ren H., Wang Y.** A Survey of Multi-Agent Methods for Solving Resource Constrained Project Scheduling Problems // Proc. of the Int. Conf. on Management and Service Science (MASS'11). 2011. P. 1–4.
20. **Wimmer H., Günthner W.** Resource Allocation in Construction Scheduling based on Multi-Agent Negotiation // Proc. of the 14th Int. Conf. on Computing in Civil and Building Engineering (ICCCBE '12). 2012. P. 2–10.
21. **Bodea C.-N., Bodea I., Mogos R.-I.** A Multi-agent System with Application in Project Scheduling // Economic Publishing House: Management & Marketing. 2011. Vol. 6, Is. 4. P. 573–590.
22. **Почему** терпят неудачу проекты по разработке программного обеспечения. 2011. URL: <http://www.prostoy.ru/836.html> (дата обращения 01.03.2013).
23. **Виттих В. А.** Введение в теорию интересубъективного управления // Самара: СНЦ РАН. 2013. 64 с.
24. **Виттих В. А., Скобелев П. О.** Мультиагентные модели взаимодействия для построения сетей потребностей и возможностей в открытых системах // Автоматика и Телемеханика. 2003. № 1. С. 162–169.
25. **Виттих В. А., Скобелев П. О.** Метод сопряженных взаимодействий для управления распределением ресурсов в реальном масштабе времени // Автометрия. 2009. № 2. С. 78–87.
26. **Феоктистов А. Л., Клейменова Е. М., Скобелев П. О., Сюзин И. А., Ларюхин В. А., Царев А. В., Симонова Е. В.** Разработка принципов построения многоуровневой мультиагентной системы для управления проектами НИР и ОКР РКК "Энергия" // Тр. XIV Междунар. конф. по проблемам управления и моделирования в сложных системах. Самара: СНЦ РАН, ИПУСС РАН, 2012. С. 718–723.
27. **Клейменова Е. М., Скобелев П. О., Ларюхин В. Б., Майоров И. В., Косов Д. С., Симонова Е. В., Царев А. В., Феоктистов А. Л., Полончук Е. В.** Мультиагентная технология адаптивного планирования для управления проектами НИР и ОКР в аэрокосмических приложениях // Мехатроника, автоматизация, управление. 2013. № 5. С. 58–63.
28. **Клейменова Е. М., Скобелев П. О., Ларюхин В. Б., Майоров И. В., Симонова Е. В., Феоктистов А. Л., Полончук Е. В.** Метод оценки рисков в мультиагентной системе управления проектами НИР и ОКР в реальном времени // Информационно-управляющие системы. 2013. № 2 (63). С. 29–37.

УДК 004.056+519.87

В. С. Моисеев, д-р техн. наук, проф.,

П. И. Тутубалин, канд. техн. наук, доц.,

Казанский национальный исследовательский
технический университет им. А.Н. Туполева,

e-mail:ptyt@mail.ru

Вероятностная динамическая модель функционирования программных средств активной защиты мобильных распределенных АСУ

Предлагается состав функций (задач) средств активной защиты информационных систем. Для описания процесса реализации этих функций во времени разработана марковская модель работы программного обеспечения таких средств применительно к мобильным распределенным АСУ, имеющим ограниченное время функционирования на каждом месте их дислокации. Предложены методы расчета вероятностно-временных характеристик функционирования каждого комплекса программ, решающих задачи активной защиты системы. Приводится пример моделирования и расчета характеристик предложенных программных средств.

Ключевые слова: активная защита, безопасность, информационная система, марковская модель, мобильная, распределенная, автоматизированная, управление

Введение

Цель данной работы — конкретизация функций средств активной защиты в рамках их применения для обеспечения информационной безопасности (ИБ) информационных систем и анализ функционирования информационных систем в случае применения средств активной защиты. Подходы к использованию средств активной защиты рассмотрены авторами в работе [1].

Активная защита в информационных системах

Как показал анализ основных работ в области ИБ [2, 4], общепринятые в настоящее время подходы и методы, используемые для защиты информационных систем, направлены на решение задач, связанных с устранением известных уязвимостей ИБ, а также минимизацию прогнозируемого ущерба от

последствий успешных информационных воздействий (атак) противника, что позволяет считать их пассивными методами и средствами. На наш взгляд, дополнительного повышения ИБ можно добиться путем применения так называемых активных методов и средств защиты информационных систем, осуществляющих полное или частичное выведение из строя выявленных источников информационных атак. Следуя вероятностному подходу к оценке безопасности информационных систем [3], покажем эффективность активных методов и средств защиты информации.

Рассмотрим две информационные системы: A и B . Будем считать при этом, что система B способна оказывать воздействия (атаки) на систему A . Эффективность защиты системы A от атак системы B будем определять вероятностью, которая тем выше, чем защита системы A лучше. Введем в рассмотрение две вероятности нарушения ИБ системы A :

$P_{\text{ПИБ}}^A$ — вероятность нарушения ИБ системы A при использовании в ней (системе A) пассивных (традиционных) методов и средств защиты;

$P_{\text{АИБ}}^A$ — вероятность нарушения ИБ системы A при использовании в ней (системе A) активных методов и средств защиты.

Пусть D — случайное событие, определяющее нарушение ИБ системы A средствами нападения системы B .

Под случайным событием E будем понимать состояние дееспособности средств нападения, которыми располагает информационная система A . Вероятность наступления события E может принимать следующие значения: $P(E) = 1$, если средства нападения полностью дееспособны; $P(E) < 1$, если средства нападения частично дееспособны; $P(E) = 0$, если средства нападения полностью недееспособны — выведены из строя ("захвачены" средствами защиты) стороны A . Используя формулу произведения вероятностей [5] имеем, что

$$P_{\text{АИБ}}^A = P(D|E)P(E).$$

Пассивные методы и средства защиты обычно применяет сама система A в предположении, что средства нападения стороны B полностью дееспособны, т. е. $P(E) = 1$. В этом случае получаем, что

$$P_{\text{ПИБ}}^A = P(D).$$

Реальным условиям информационного противоборства соответствуют неравенства вида:

$$0 < P(E) < 1, P(D|E) \leq P(D).$$

Отсюда следует, что

$$P_{АИБ}^A < P_{ПИБ}^A,$$

т. е. методы и средства активной защиты, применяемые системой A , являются более эффективными по сравнению с пассивными методами и средствами. На это указывает и тот факт, что при $P(E) = 0$ значение $P_{АИБ}^A = 0$, т. е. нарушения ИБ системы A не происходит.

Вопросы формирования состава программного обеспечения средств активной защиты являются особенно актуальными для такого перспективного вида автоматизированных систем управления специального назначения [4], как мобильные распределенные автоматизированные системы управления (МРАСУ), состав и взаимодействие компонентов которых описаны в работе [6]. Отметим, что характерными особенностями таких систем являются активное использование в процессе работы различных современных инфокоммуникационных технологий и относительно небольшое время функционирования в каждом новом месте их развертывания (от 2—3 мин до нескольких часов). Последнее подразумевает высокую степень неопределенности действий противника по нарушению функционирования МРАСУ и объективный дефицит времени на их парирование. В этой связи резко возрастает роль компьютерной разведки, оперативно выявляющей действующие угрозы системе и уязвимости в средствах нападения противника.

Отмеченные выше особенности, а также вероятностный характер результатов компьютерной разведки определяют стохастическую природу процессов активной защиты информационных систем, в частности МРАСУ.

Задачи и состав средств активной защиты МРАСУ

Введем в рассмотрение следующие функции (задачи) процесса активной защиты информационной системы.

1. Дистанционный мониторинг вторжений противника в работу элементов МРАСУ.

2. Анализ характера вторжений и определение адресов (координат) средств нападения на систему.

3. Поиск уязвимостей действующих средств противника.

4. Анализ возможностей использования выявленных уязвимостей.

5. Выбор средств и реализация ответных атак.

Для реализации каждой из задач 1—5 целесообразным, с точки зрения безопасности и отказоустойчивости, будет применение специализированного комплекса программ или модуля, входя-

щего в состав функционального программного обеспечения средств активной защиты МРАСУ. При этом предполагается, что все комплексы программ функционируют в среде серверов активной защиты [1], установленных на одной или нескольких серверных машинах (автомобилях) МРАСУ [6]. Каждому комплексу программ назначим номер такой же как у задачи, которую он решает.

Отметим, что комплексы программ № 4 и № 5 должны функционировать в интерактивном режиме под управлением администратора безопасности.

Алгоритмы работы комплексов программ № 1 и № 2 предлагается реализовать путем соответствующих доработок методов и средств, описанных в работе [7]. В основу разработки комплексов программ № 3 и № 4 могут быть положены модифицированные к применению в составе МРАСУ методы, представленные в существующей литературе, например [8] и др.

При реализации комплекса программ № 5 предлагается использовать наряду с существующими такие перспективные методы подавления средств противника, как "радиовирусы" и легкие беспилотные летательные аппараты — постановщики помех [9], "боннеты" (набор программ для скрытия следов присутствия злоумышленника или вредоносной программы в системе) [10] и др. Для реализации атак соответствующие автомобили МРАСУ должны быть оснащены специальными антенно-фидерными системами.

Отметим, что по классификации, данной в работе [4], определенные выше программно-аппаратные средства активной защиты являются образцами оборонительного информационного оружия.

Динамическая модель функционирования программного обеспечения средств активной защиты

Будем считать, что каждый i -й комплекс программ имеет случайное время работы, распределенное по показательному закону с математическим ожиданием T_p , $i = (\overline{1, 5})$. Отметим, что показательный закон выбран как наиболее просто реализуемый в условиях начального этапа исследования предлагаемой модели. Взаимодействие компонент программного обеспечения средств активной защиты может быть представлено графом связи комплексов программ (КП), который приведен на рис. 1.

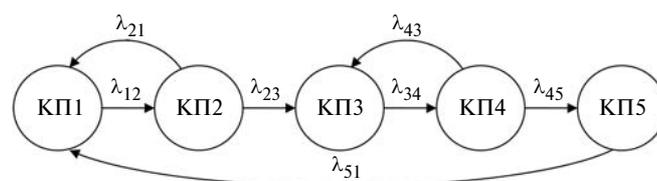


Рис. 1

На рис. 1 параметры λ_{ij} описывают интенсивности передач управления между i -м и j -м комплексами программ, $(i, j) \in (\overline{1, 5})$, в процессе решения задач активной защиты МРАСУ. Следуя работе [11], параметры λ_{ij} будем вычислять по формулам вида:

$$\begin{aligned} \lambda_{12} = 1/T_1; \lambda_{21} = (1 - \alpha)/T_2; \lambda_{23} = \alpha/T_2; \lambda_{34} = 1/T_3; \\ \lambda_{43} = (1 - \beta)/T_4; \lambda_{45} = \beta/T_4; \lambda_{51} = 1/T_5, \end{aligned} \quad (1)$$

где α — вероятность того, что имеющееся вторжение противника в работу МРАСУ будет идентифицировано средствами активной защиты; β — вероятность того, что выявленная уязвимость в средствах нападения на МРАСУ может быть использована для организации ответных атак.

Значения параметров, входящих в выражения (1), при создании средств активной защиты могут быть заданы экспертным путем, т. е. с применением группы экспертов в области ИБ систем, которые формируют необходимые для модели оценки с помощью известных экспертных методов [12, 13]. Отметим также, что на завершающей стадии разработки МРАСУ они могут определяться по результатам испытаний программного обеспечения [3] средств активной защиты.

Пусть $p_i(t)$ — вероятность того, что в момент времени t в среде серверов активной защиты МРАСУ выполняется i -й комплекс программ, где $i = (\overline{1, 5})$. Динамику изменения вероятностей $p_i(t)$, учитывая граф связей комплексов программ (см. рис. 1), будем описывать системой дифференциальных уравнений Колмогорова [11]:

$$\begin{aligned} \dot{p}_1 &= -\lambda_{12}p_1 + \lambda_{21}p_2 + \lambda_{51}p_5, \quad 0 \leq t \leq \tau; \\ \dot{p}_2 &= \lambda_{12}p_1 - (\lambda_{21} + \lambda_{23})p_2; \\ \dot{p}_3 &= \lambda_{23}p_2 - \lambda_{34}p_3 + \lambda_{43}p_4; \\ \dot{p}_4 &= \lambda_{34}p_3 - (\lambda_{43} + \lambda_{45})p_4; \\ \dot{p}_5 &= \lambda_{45}p_4 - \lambda_{51}p_5, \end{aligned} \quad (2)$$

где τ — предельное время функционирования МРАСУ в местах ее дислокации.

Начальные условия для этой системы уравнений имеют вид:

$$p_1(0) = 1, p_i(0) = 0, i = (\overline{2, 5}). \quad (3)$$

Вероятности $p_i(t)$ должны удовлетворять следующим условиям:

$$0 \leq p_i(t) \leq 1, i = (\overline{1, 5}), t \in [0, \tau], \quad (4)$$

$$\sum_{i=1}^5 p_i(t) = 1, t \in [0, \tau]. \quad (5)$$

Модель (2), (5) является переопределенной, так как включает в себя пять искомым функций $p_i(t)$ и шесть уравнений для их определения.

Преобразуем выражение (5) к виду:

$$p_5(t) = 1 - \sum_{i=1}^4 p_i(t), \quad (6)$$

подставим (6) в первое уравнение системы (2) и исключим из рассмотрения ее последнее уравнение.

В этом случае получаем систему уравнений 4-го порядка:

$$\begin{aligned} \dot{p}_1 &= -\lambda_{12}p_1 + \lambda_{21}p_2 + \lambda_{51} \left(1 - \sum_{i=1}^4 p_i \right), \quad t \in [0, \tau]; \\ \dot{p}_2 &= \lambda_{12}p_1 - (\lambda_{21} + \lambda_{23})p_2; \\ \dot{p}_3 &= \lambda_{23}p_2 - \lambda_{34}p_3 + \lambda_{43}p_4; \\ \dot{p}_4 &= \lambda_{34}p_3 - (\lambda_{43} + \lambda_{45})p_4 \end{aligned} \quad (7)$$

с начальными условиями

$$p_1(0) = 1, p_i(0) = 0, i = (\overline{2, 4}). \quad (8)$$

Итак, вычисление искомым вероятностей $p_i(t)$, $i = (\overline{1, 5})$, состоит в решении задачи Коши (7), (8) и применении расчетной формулы (6).

Отметим, что в работе [14] была предложена марковская модель защиты, по классификации монографии [4], стационарной информационной системы, которая в отличие от модели (2), (5) описывалась системой линейных алгебраических уравнений. Эта модель отражает взаимодействие злоумышленника и администратора информационной системы при обеспечении пассивных способов защиты системы [1] (устранение уязвимостей в применяемых операционных системах, смена применяемого программного обеспечения и т. п.).

В связи с тем, что марковский процесс, описывающий взаимодействие компонент программного обеспечения средств активной защиты, не имеет поглощающих состояний (см. рис. 1), все комплексы программ, начиная с некоторого момента времени $t = \tau^* \leq \tau$, могут также функционировать в установившемся режиме с вероятностями $p_1^*, p_2^*, \dots, p_5^*$.

Вероятностно-временные характеристики программных средств активной защиты

Предложенная выше модель функционирования программного обеспечения средств активной защиты позволяет определить ряд характеристик, необходимых для организации процесса выполнения комплексов программ № 1—№ 5 на серверах активной защиты МРАСУ.

Заметим, что правые части каждого из уравнений линейной системы дифференциальных уравнений (2) включают в себя коэффициенты с противоположными знаками. Это позволяет предположить, что производные $\dot{p}_i(t)$ при изменении значений

функций $p_i(t)$ в пределах (4) будут изменять свои знаки и в некоторые моменты времени $t = t_i^* \in [0, \tau]$ могут обращаться в ноль. Последнее означает наличие точек экстремума вероятностей $p_i(t)$, $i = (\overline{1, 5})$. Значения t_i^* определяют моменты времени минимального или максимального использования при активной защите МРАСУ i -го комплекса программ, где $i = (\overline{1, 5})$.

Исходя из марковости модели функционирования программного обеспечения средств активной защиты, случайные величины $N_i(t)$, описывающие количество передач управления в момент времени $t \in [0, \tau]$ i -му комплексу программ, будут подчинены пуассоновским законам распределения [5, 11], которые описываются вероятностями вида:

$$Q_i(t, k) = P\{N_i(t) = k\} = \frac{(\Lambda_i t)^k}{k!} e^{-\Lambda_i t};$$

$$i = (\overline{1, 5}); t \in [0, \tau]; k = 0, 1, 2, \dots \quad (9)$$

Из рис. 1 следует, что входящие в формулу (9) интенсивности Λ_i вычисляются с учетом выражений (1) как

$$\Lambda_1 = \lambda_{21} + \lambda_{51}; \Lambda_2 = \lambda_{12}; \Lambda_3 = \lambda_{23} + \lambda_{43};$$

$$\Lambda_4 = \lambda_{34}; \Lambda_5 = \lambda_{45}. \quad (10)$$

Определим математические ожидания $m_i(\tau)$ и дисперсии $\sigma_i^2(\tau)$ общих затрат времени работы на интервале $[0, \tau]$ каждого i -го комплекса программ, где $i = (\overline{1, 5})$. Учитывая выражения (7), (8) и (6), используемые для определения вида функций $p_i(t)$, и формулы для вычисления математического ожидания и дисперсии в работе [5], получим

$$m_i(\tau) = \int_0^{\tau} p_i(t) dt; \sigma_i^2(\tau) = \int_0^{\tau} p_i(t)(1 - p_i(t)) dt, i = (\overline{1, 5}). \quad (11)$$

Приведем основные свойства характеристик $m_i(\tau)$, $i = (\overline{1, 5})$. Из условий (4) следует неравенство вида

$$m_i(\tau) \leq \int_0^{\tau} 1 dt = \tau.$$

Покажем, что

$$\sum_{i=1}^5 m_i(\tau) = \tau. \quad (12)$$

Используя первую формулу из состава выражений (11) и условие (5), имеем

$$\sum_{i=1}^5 m_i(\tau) = \sum_{i=1}^5 \int_0^{\tau} p_i(t) dt = \int_0^{\tau} \left(\sum_{i=1}^5 p_i(t) \right) dt = \int_0^{\tau} 1 dt = \tau.$$

С помощью выражений (11) и "правила 3σ" [5] можно построить интервальные оценки $(m_i(\tau) \pm 3\sigma_i(\tau))$ фактических затрат времени работы i -го комплекса программ на интервале времени $[0, \tau]$ функционирования МРАСУ. При этом с использованием неравенства Чебышева [5] можно показать, что достоверность таких оценок будет не менее, чем 0,889.

Пример моделирования и расчета характеристик программного обеспечения средств активной защиты

Пусть средства активной защиты некоторой подсистемы гипотетической МРАСУ специального назначения, функционирующей не более 5 мин, имеют следующие исходные данные: $\tau = 300$ с; $T_1 = 12$ с; $T_2 = 8$ с; $T_3 = 20$ с; $T_4 = 15$ с; $T_5 = 5$ с; $\alpha = 0,8$; $\beta = 0,7$.

Результаты решения задачи Коши (7), (8) при значениях интенсивностей, вычисленных по формулам (1), и применении выражения (6), представлены на рис. 2, из него следует, что наиболее используемыми на интервале времени $[0; 40]$ с являются комплексы программ № 1 и № 3.

Также из полученных результатов следует, что:

а) при $t_1^* = 42,9$ с вероятность $p_1(t)$ достигает минимального значения $p_{1\min} = 0,171$; точки $t_2^* = 10,5$ с, $t_3^* = 33,6$ с, $t_4^* = 61,5$ с, $t_5^* = 69,3$ с являются точками максимума вероятностей $p_2(t)$, $p_3(t)$, $p_4(t)$, $p_5(t)$ со значениями $p_{2\max} = 0,307$, $p_{3\max} = 0,400$, $p_{4\max} = 0,273$, $p_{5\max} = 0,064$.

б) начиная с момента времени $\tau^* \approx 90$ с программное обеспечение средств активной защиты функционирует в установившемся режиме с вероятностями $p_1^* = 0,178$; $p_2^* = 0,125$; $p_3^* = 0,357$; $p_4^* = 0,268$; $p_5^* = 0,063$. Это подтверждает предположения о наличии экстремальных и установившихся значений вероятностей $p_i(t)$, $i = (\overline{1, 5})$.

Результаты анализа влияния значений вероятностей $\alpha \in [0,5; 1]$ и $\beta \in [0,5; 1]$ на вероятность $p_5(300)$ представлены в табл. 1.

Из табл. 1 следует, что при изменении параметров α и β от их минимальных до максимальных значений вероятность нанесения противнику ответ-

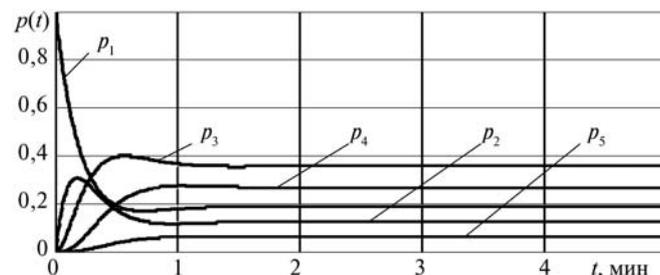


Рис. 2

ного удара в момент времени $\tau = 300$ с увеличивается практически в 2 раза. Отсюда можно сделать вывод о необходимости максимизации вероятностей α и β при разработке программного обеспечения средств активной защиты. При использовании выражений (9) и (10) при $i = (\overline{1, 5})$, $t = 300$ с и $k = 0, 1, 2, \dots, 60$ было установлено, что вероятности $Q_2(t, k), \dots, Q_5(t, k)$ имеют явно выраженные максимальные значения по числу k передач управления соответствующим комплексам программ. Полученные результаты расчетов: комплекс программ № 2: $k_{\max} = 25$; $Q_{2\max} = 0,0795$; комплекс программ № 3: $k_{\max} = 35$; $Q_{2\max} = 0,0663$; комплекс программ № 4: $k_{\max} = 15$; $Q_{2\max} = 0,1024$; комплекс программ № 5: $k_{\max} = 14$; $Q_{2\max} = 0,1059$.

Вероятность $Q_1(300, k)$ с ростом k возрастает от 0 до 0,0334 и достигает наибольшего значения при $k = 60$.

Таким образом, наиболее используемыми при функционировании средств активной защиты рассматриваемой подсистемы МРАСУ являются комплексы программ № 1 и № 3, осуществляющие соответственно мониторинг вторжений противника в функционирование МРАСУ и поиск уязвимостей в средствах противника, генерирующих информационные атаки.

На рис. 3 представлен вид зависимости $Q_5(t, k)$ при изменении ее аргументов в интервалах $[0; 300]$ с и $[0; 40]$. Из приведенного графика можно сделать вывод о наличии убывающей последовательности точек максимума вероятности $Q_5(t, k)$ при определенных значениях $t \in [0; 300]$ с и $k \in (0, 40)$.

При вычислении значений параметров (11) был использован следующий прием. Представим выражения (11) как интегралы с переменным верхним пределом:

$$m_i(t) = \int_0^t p_i(\Theta) d\Theta,$$

$$\sigma_i^2(t) = \int_0^t p_i(\Theta)(1 - p_i(\Theta)) d\Theta \quad (13)$$

и вычислим производные по переменной t :

$$\dot{m}_i = p_i(t), \quad \dot{\sigma}_i^2 = p_i(t)(1 - p_i(t)),$$

$$i = (\overline{1, 5}). \quad (14)$$

Рассматривая выражения (14) как дифференциальные уравнения для определения функций $m_i(t)$ и $\sigma_i^2(t)$, запишем для них начальные условия, которые с учетом (13) примут вид:

$$m_i(0) = 0, \quad \sigma_i^2(0) = 0, \quad i = (\overline{1, 5}). \quad (15)$$

Тогда искомые значения $m_i(\tau)$ и $\sigma_i^2(\tau)$ получаются как результаты интегрирования при $t = \tau$ расширенной системы уравнений (7), (14) с начальными условиями (8), (15). Результаты расчета характеристик (13) в рамках примера приведены в табл. 2.

Таблица 1

β	α					
	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1
0,5	0,043	0,046	0,048	0,050	0,051	0,053
0,6	0,048	0,052	0,054	0,057	0,058	0,06
0,7	0,053	0,057	0,060	0,063	0,065	0,067
0,8	0,056	0,061	0,065	0,068	0,070	0,073
0,9	0,060	0,065	0,069	0,073	0,076	0,078
1	0,063	0,068	0,073	0,077	0,080	0,083

Таблица 2

Характеристики	№ комплекса программ i				
	1	2	3	4	5
$m_i(\tau), c$	62,968	40,979	104,582	74,419	17,052
$\sigma_i^2(\tau), c$	46,747	34,916	67,194	54,886	16,010
$(m_i \pm 3\sigma_i), c$	62,968 ± 6,837	40,979 ± 5,909	104,582 ± 8,197	74,419 ± 7,408	17,052 ± 4,001

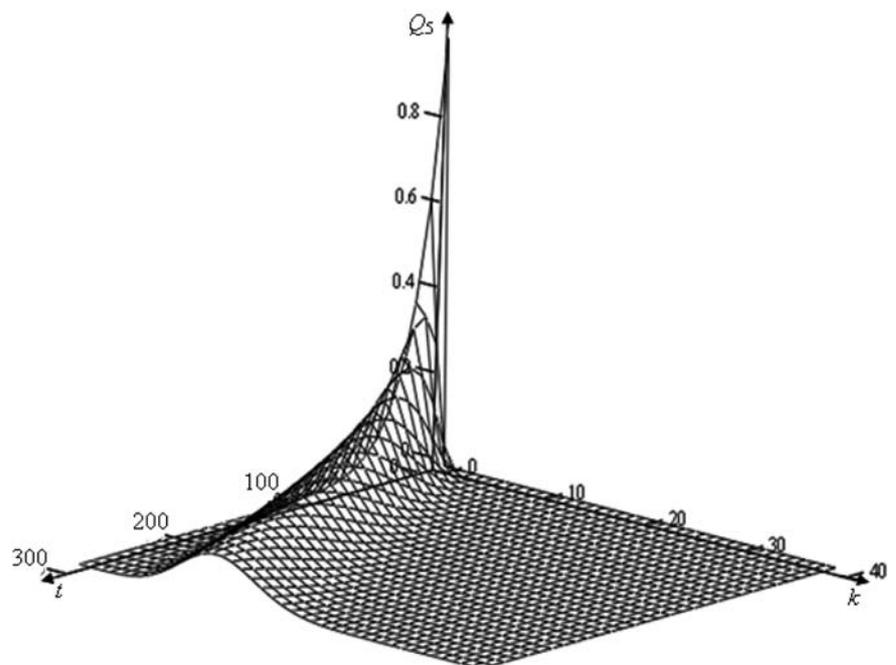


Рис. 3

Из табл. 2 следует, что условие (12) выполняется и максимальные затраты времени работы на интервале $[0, 300]$ с будут у комплекса программ № 3, который осуществляет такую важнейшую функцию средств активной защиты как поиск уязвимостей в средствах нападения на рассматриваемую подсистему.

Заключение

Следующим этапом исследований и разработок в данном направлении должна быть разработка общей имитационной модели функционирования средств активной защиты МРАСУ, для тестирования которой используется аналитическая модель, представленная выражениями (1)—(5). Следует отметить, что статистика, накапливаемая в ходе эксплуатации различных МРАСУ в виде всевозможных оценок времени работы ее компонентов в совокупности с предлагаемой моделью, должна позволить в перспективе вести прогнозирование времени отбития и пресечения атак противника. Отметим, как схожие с МРАСУ по жестким ограничениям времени на принятие и реализацию решений и дуэльному характеру взаимодействия с возможным противником, перспективные экспертные системы поддержки принятия решений пилотов современных, боевых самолетов [15—17]. Опираясь на данную аналогию, можно утверждать, что предлагаемая математическая модель может быть использована при разработке экспертной системы поддержки принятия решений администраторов ИБ в МРАСУ в условиях дефицита времени.

Список литературы

1. Моисеев В. С., Тутубалин П. И. Об одном подходе к обеспечению активной защиты информационных систем // Вестник Казанского государственного технического университета им. А. Н. Туполева. 2011. № 2. С. 129—135.

2. Кузнецов Н. А., Кульба В. В., Микрин В. А. и др. Информационная безопасность систем организационного управления. Теоретические основы: в 2 т. Ин-т проблем передачи информ. РАН. М.: Наука, 2006.

3. Тутубалин П. И., Моисеев В. С. Вероятностные модели обеспечения информационной безопасности автоматизированных систем обработки информации и управления. Казань: Школа, 2008. 144 с.

4. Моисеев В. С., Козар А. Н., Дятчин В. В. Информационная безопасность автоматизированных систем управления специального назначения. Казань: Изд-во КВАКУ, 2006. 382 с.

5. Вентцель Е. С. Теория вероятностей: учеб. для вузов. М.: Высшая школа, 2002. 575 с.

6. Тутубалин П. И. Общая модель крупномасштабной мобильной распределенной АСУ // Нелинейный мир. 2011. Т. 8, № 8. (Журнал в журнале "Распределенные устройства и системы: теория и приложения". Вып. 8, 2011. С. 497—499.

7. Лукацкий А. В. Обнаружение атак. СПб: БХВ-Петербург, 2001. 624 с.

8. Скембрей Дж., Мак-Клар Ст., Курц Дж. Секреты хакеров. Безопасность сетей — готовые решения. М.: Вильямс, 2001. 656 с.

9. Викулов О. В., Добыкин В. Д., Дрогалин В. В. и др. Современное состояние и перспективы развития авиационных средств радиоэлектронной борьбы // Зарубежная радиоэлектроника. Успехи современной радиоэлектроники. 1998. № 12. С. 3—16.

10. Ильин Юрий. Рождение и смерть ботнета Rustock // Компьютерра OnLine. — URL: http://www.computerra.ru/604020/09_may_2011. Дата обращения — 14.03.2012.

11. Вентцель Е. С. Исследование операций. М.: Советское радио, 1972. 552 с.

12. Бешелев С. Д., Гурвич Ф. Г. Экспертные оценки. М.: Наука, 1973. 246 с.

13. Литвак Б. Г. Экспертные оценки и принятие решений. М.: Патент, 1996. 271 с.

14. Вялых А. С., Вялых С. А. Оценка возможностей атаки на информационную систему // Сб. докл. XII Междун. научно-техн. конф. "Кибернетика и высокие технологии XXI века". Воронеж, 2011. Т. 1. С. 91—96.

15. Федунов Б. Е. Проблемы разработки бортовых оперативно-советующих экспертных систем // Известия РАН. Теория и системы управления. 1996. № 5. С. 147—159.

16. Федунов Б. Е. Базовая алгоритмическая оболочка бортовых оперативно-советующих экспертных систем типовых ситуаций функционирования системы // Известия РАН. Теория и системы управления. 2009. № 5. С. 90—101.

17. Демкин М. А., Тищенко Ю. Е., Федунов Б. Е. Базовая бортовая оперативно-советующая система для дуэльной ситуации дальнего воздушного боя // Известия РАН. Теория и системы управления. 2008. № 4. С. 59—75.

А. С. Боровский, канд. техн. наук, доц.,
Оренбургский институт путей сообщения —
филиал Самарского государственного
университета путей сообщения,
А. Д. Тарасов, ст. препод.,
Оренбургский государственный университет,
e-mail: adtarasov@mail.ru

Автоматизированное проектирование систем физической защиты на основе функциональной и структурно-логической поточковых моделей

Предлагается методика поддержки принятия решения для автоматизированного проектирования системы физической защиты потенциально-опасных объектов. В модели объекта учитываются данные о производственно-технологическом процессе, объединяемые с информацией о структуре объекта, при этом используется модифицированный стандарт DFD-диаграмм. Данный подход позволяет оценить влияние друг на друга критических элементов объекта и учесть особенности производственно-технического процесса при создании системы физической защиты.

Ключевые слова: потенциально-опасный объект, система физической защиты, нечеткие величины, DFD-диаграммы, метод анализа иерархий

Введение

Проектирование систем физической защиты (СФЗ) потенциально-опасных объектов (ПОО), таких как аэропорты, атомные электростанции, объекты нефтяной и газовой промышленности, участки государственной границы, является сложным многоуровневым процессом. К потенциально-опасным объектам относятся объекты, в отношении которых законодательными и нормативными актами определены особые условия функционирования их производств и установок, а также где получают, хранят или используют в технологических целях опасные материалы и вещества. Нарушение деятельности таких объектов может вызвать техногенную и/или экологическую катастрофу [1].

Учитывая сложность и важность решаемых задач СФЗ потенциально-опасных объектов, их создание должно базироваться на комплексном научном подходе. Такой подход подразумевает проведение процесса проектирования СФЗ в два этапа: концептуальное проектирование; рабочее проектирование [2].

На стадии концептуального проектирования с использованием методов системного анализа и моделирования происходит обоснование и выбор оптимальной структуры и состава СФЗ, в частности, комплекса инженерно-технических средств охраны (ИТСО) по выбранному критерию. Именно от успеха данного этапа зависит оптимальность будущих проектно-технических решений. Исходными данными для концептуального проектирования СФЗ являются результаты анализа уязвимости объекта, цель которого определение предметов защиты, возможных угроз и составление моделей нарушителей, оценка ущерба от возможной реализации угроз и т. п.

На практике данный этап является самым сложным и плохо формализуемым, например, само понятие "угроза" четко не определено, а расчет значения вероятности осуществления угрозы не может базироваться на статистическом анализе (ввиду отсутствия статистических данных).

В настоящее время не существует однозначно определенной методики проектирования СФЗ, дающей оптимальный результат, и как следствие, используются различные подходы на ведомственных уровнях. Сейчас работа в основном направлена на разработку специализированных программных комплексов (EASI, ASSESS, SAVI, СПРУТ, Vera-2 и т. д.), предназначенных для оценки эффективности СФЗ по выбранному критерию.

При проектировании СФЗ эксперт может только прогнозировать или предугадывать некоторые входные данные (например об угрозах). Подобные данные представляют собой некоторые лингвистические формы, которыми можно оперировать, используя, например, аппарат нечетких величин.

Следовательно, в системы проектирования СФЗ необходимо вводить интеллектуальные составляющие, позволяющие моделировать рассуждения экспертов, и развивать категорию систем автоматизации проектирования (САПР), относящуюся к данной предметной области. Однако в настоящее время не существует какого-либо средства, позволяющего проектировать СФЗ с нуля. Кроме того, в имеющихся системах часто не учитывается структура потоков данных производственно-технологических процессов, необходимая для определения влияния друг на друга критических элементов объекта.

На первом из двух вышеуказанных этапов (этапе концептуального проектирования) следует разработать структурно-логическую модель объекта, в которой будет описан его состав и взаимосвязи между элементами. Модель объекта целесообразно разбить на две части: логическую и функциональную, так как необходимо учесть данные о производственно-технологическом процессе. Эти данные составят основу функциональной модели объекта.

Модель необходимо строить, используя понятие "объект контроля", под которым понимается обобщенное название любого функционального элемента системы, имеющего фиксированный набор состояний и способного генерировать системное событие при изменении своего состояния [3]. В модели должны использоваться следующие понятия: зоны, рубежи, критические элементы (КЭ). Зона — часть территории объекта, представляющая собой ограниченное замкнутое пространство, имеющее физические границы. Рубеж — физический барьер (часть физической границы зоны, например, дверь, проходная), блокирующий проход из одной зоны в другую. КЭ — уязвимые места объекта (зоны), включая элементы системы его физической защиты, в отношении которых в силу их недостаточной защищенности или устойчивости могут быть спланированы и реализованы нарушителем несанкционированные действия (НСД).

В данной работе рассматривается методика определения требуемого уровня защищенности объекта с помощью построения и анализа функциональной и логической моделей объекта. В моделях учитываются данные о производственно-технологическом процессе и о структуре объекта. Для моделирования используются потоковые диаграммы данных — стандарт DFD, модифицированный под выбранную предметную область.

1. Построение функциональной и логической моделей объекта

При создании функциональной модели объекта следует обозначить все его зоны и выделить КЭ, т. е. определить, какие зоны привлекательны для совершения террористического акта (ТА). Отнесение зон к привлекательным для ТА проводят с учетом следующих характеристик:

- доступность зоны для совершения по отношению к нему ТА, она определяется условиями функционирования объекта, управлением доступа персонала и других лиц, местоположением и другими особенностями объекта;
- степень уязвимости конструкции и систем, обеспечивающих безопасность зоны;



Рис. 1. Изображение зоны ZDFD для функциональной модели производственно-технологического процесса

- приемлемость риска для самих террористов при совершении ТА;
- степень последствий ТА;
- потенциальная опасность критического элемента;
- модель нарушителя.

Необходимо учитывать, что все эти критерии имеют нечеткую природу. Эксперт не может точно определить значение большинства параметров, а может только охарактеризовать их, оперируя такими нечеткими понятиями как "высокий", "средний" и "низкий".

Для построения функциональной модели производственно-технологического процесса и структурно-логической модели объекта выбран стандарт DFD, который модифицирован до стандарта ZDFD (Zone DFD). [4] Так как любой объект, элемент или территорию объекта можно представить как зону, имеющую определенные характеристики, то из всех элементов стандарта DFD оставим внешнюю сущность — "зона".

При построении функциональной модели к стандартным свойствам "зоны" (таким как порядковый номер и наименование) добавим следующие критерии: вид модели нарушителя, доступность, степень уязвимости, приемлемость риска, степень последствий ТА и потенциальную опасность для принятой модели нарушителя (рис. 1).

Зоны связываются между собой потоками данных производственно-технологических процессов [5]. Связи между зонами в функциональной модели показывают наличие влияния зон друг на друга, что в дальнейшем будет использоваться для определения требуемого уровня защищенности.

Привлекательность критического элемента для совершения ТА будем определять как составной параметр, на значение которого влияют четыре критерия из вышеописанных: доступность, степень уязвимости, приемлемость риска, степень последствий ТА. Значения критериев в нечеткой форме вносит эксперт. Привлекательность будет равняться значению наиболее приоритетного критерия, причем приоритетность критерия зависит от конкретного нарушителя (модели нарушителя). Например, если "доступность" — более значимое свойство зоны "склад" для текущей модели нарушителя, то из этого следует, что привлекательность зоны равна значению свойства "доступность" — "высокая".

Таким образом, критерии должны различаться по приоритету, и их приоритетность зависит от принятой модели нарушителя. Приоритет критериев определяется экспертами с помощью метода анализа иерархий Т. Саати [6]. Суть этого метода — парные сравнения элементов (четырёх критериев) и оценка их уровня воздействия на

общую характеристику (привлекательность для совершения ТА). Эксперты сравнивают каждый критерий с остальными и оценивают, на сколько один критерий важнее другого (для данной модели нарушителя). При этом используется специальная шкала оценок (табл. 1).

Приведем пример определения наиболее приоритетного критерия.

Первым шагом метода анализа иерархий является построение матрицы попарных сравнений. На пересечении строки и столбца двух критериев ставится значение сравнения силы воздействия критерия на привлекательность для совершения ТА, стоящего в левом столбце, по отношению к критерию, стоящему в верхней строке.

Пример матрицы парных сравнений для зоны "склад" (см. рис. 1) с моделью нарушителя террористическая группа (ТГ) представлен в табл. 2.

Следующий шаг — вычисление вектора приоритетов по матрице [6]. Для этого перемножим элементы каждой строки и извлечем корень 4-й степени. Нормализуем полученные числа. Например, по табл. 2 вычисляем:

$$(1 \times 1/3 \times 1/3 \times 1/9)^{1/4} = 0,3333;$$

$$(3 \times 1 \times 5 \times 1/9)^{1/4} = 1,1362;$$

$$(3 \times 1/5 \times 1 \times 1/9)^{1/4} = 0,5081;$$

$$(9 \times 9 \times 9 \times 1)^{1/4} = 5,1962.$$

После нормализации получим следующие значения приоритетов для каждого критерия: доступ-

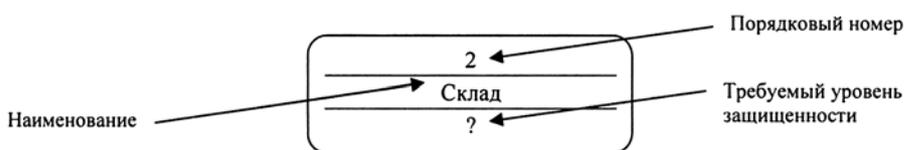


Рис. 2. Изображение зоны ZDFD структурно-логической модели

ность — 0,0465; степень уязвимости — 0,1584; приемлемость риска — 0,0708; степень последствий ТА — 0,7243. Числа означают степень влияния на привлекательность, чем выше число, тем больше уверенность, что нарушитель (ТГ) ориентируется на этот критерий при определении цели ТА. Делаем вывод, что наиболее приоритетный критерий — "степень последствий ТА", и привлекательность зоны "склад" равна значению этого критерия — "низкая".

При построении структурно-логической модели объекта используют стандартные свойства "зоны" и требуемый уровень защищенности (рис. 2).

Требуемый уровень защищенности будет определен после анализа функциональной модели.

В логической модели зоны связаны между собой рубежами. Каждый рубеж определяет способ (или возможность) перемещения из одной зоны в другую. Таким образом, связи в логической модели показывают, каким образом можно проникнуть в конкретную зону объекта (через преодоление каких рубежей).

2. Определение структуры СФЗ

Далее на основе исходных данных функциональной модели делается вывод о необходимом уровне защищенности каждого критического элемента. Уровень определяется согласно табл. 3 [7] и зависит от заданного экспертами критерия "потенциальная опасность", от вида модели нарушителя (террористическая группа — ТГ, групповой нарушитель — ГН, одиночный нарушитель — ОН) и от параметра "привлекательность для совершения ТА". Критерий "потенциальная опасность" является основным для оценки уровня защищенности, и в случае его высокого значения требуется повышенный уровень защиты независимо от значения привлекательности.

Зоны, свойства которых не попадают под условия, описанные в табл. 3, не являются КЭ и не требуют защиты, например, если потенциальная опасность "очень низкая".

При определении требуемого уровня защищенности также необходимо учитывать влияние данной зоны на соседние согласно функциональной модели производственно-технического процесса. При непосредственном влиянии на критический элемент требуемый уровень защищенности зоны устанавливается на одну ступень выше. Например, значения критериев зоны "склад" соответствуют

Таблица 1
Смысл экспертных оценок в методе анализа иерархий

Шкала интенсивности	Качественные суждения
1	Равная важность
3	Незначительное превосходство одного над другим
5	Значительное превосходство одного над другим
7	Явное превосходство одного над другим
9	Абсолютное превосходство одного над другим
2, 4, 6, 8	Соответствующие промежуточные значения

Таблица 2
Матрица попарных сравнений для модели нарушителя ТГ

Критерий привлекательности	Доступность	Степень уязвимости	Приемлемость риска	Степень последствий ТА
Доступность	1	1/3	1/3	1/9
Степень уязвимости	3	1	5	1/9
Приемлемость риска	3	1/5	1	1/9
Степень последствий ТА	9	9	9	1

Таблица 3

Зависимость уровня защищенности критических элементов от значений критериев

Потенциальная опасность	Модель нарушителя	Привлекательность для совершения ТА	Требуемый уровень защищенности
Высокая	ТГ	Высокая	I
Высокая	ТГ, ГН	Средняя	I
Высокая	ТГ, ГН	Низкая	I
Средняя	ТГ, ГН, ОН	Высокая	II
Средняя	ТГ, ГН, ОН	Средняя	II
Средняя	ТГ, ГН, ОН	Низкая	III
Низкая	ГН, ОН	Высокая	IV
Низкая	ОН	Средняя	V
Низкая	ОН	Низкая	V

уровню III, но в функциональной модели "склад" связан с критическим элементом "котельная". Следовательно, требуемый уровень защищенности "склада" принимаем равным II.

В результате получается структурно-логическая модель объекта в виде графа, где вершины — зоны, а ребра — возможные пути между зонами, с указанием критических элементов и требуемым для них уровнем защищенности.

Далее используем полученную модель для определения состава средств защиты в каждой зоне объекта. Защищенность обеспечивается комплексом технических средств охраны (КТСО), состав которого представим в виде множества точек контроля, расположенных на территории охраняемого объекта. Точки контроля могут быть следующих типов:

- z1 — точка обнаружения (с детекторами *i*-го типа);
- z2 — точка обнаружения (с детекторами *j*-го типа);
- z3 — точка доступа (система контроля и управления доступом);
- z4 — точка видеонаблюдения (система телевизионного наблюдения).

Итого можно выделить четыре типа точек контроля, причем в одной зоне может находиться несколько точек. По требуемому уровню защищенности определяется необходимый минимальный уровень защиты критического элемента в виде набора точек контроля, например:

- уровень защищенности V: z1;
- уровень защищенности IV: z1, z2;
- уровень защищенности III: z1, z2, z3;
- уровень защищенности II: z1, z3, z4;
- уровень защищенности I: z1, z2, z3, z4.

Точки контроля должны препятствовать нарушителю, т. е. находиться на его пути. Считается, что нарушитель проникает на объект в целях совершения противоправных действий (ТА) в отношении одного критического элемента. Следовательно, нарушитель должен добраться до конкретной зоны — критического элемента, и точки контроля, не встречающиеся на выбранном нарушителем пути, не будут

защищать эту зону. На полученной логической модели объекта путь определяется как последовательность рубежей и зон от точки проникновения на объект до выбранного критического элемента. Если объединить все точки контроля, расположенные на одном пути, в один набор, то будет определен уровень защиты зоны (при выборе нарушителем данного пути).

Путей проникновения в одну зону может быть несколько (даже при наличии одной точки проникновения). Каждый путь будет задавать свой уровень защиты зоны. Таким образом, для того чтобы КТСО обеспечивал требуемый минимальный уровень защиты всех критических элементов объекта, любые возможные пути от имеющихся точек проникновения до всех защищаемых зон должны содержать наборы точек контроля, соответствующие требуемому уровню защищенности.

Очевидно, что, с одной стороны, защита множества путей в одной зоне требует расставлять одинаковые точки контроля на каждом пути, т. е. несколько однотипных средств защиты будут защищать одну зону. С другой стороны, все пути, проходящие через один и тот же рубеж с точкой контроля, будут включать в себя данное средство защиты, т. е. одна точка контроля может защищать несколько зон.

Отсюда возникают две проблемы (задачи), решение которых позволит выбрать оптимальные места расположения точек контроля, а, следовательно, структуру КТСО объекта.

Задача № 1. Требуется оценить эффективность КТСО через определение текущей защищенности всех зон объекта.

Так как при анализе эффективности СФЗ обычно выбирается наиболее пессимистический вариант развития событий, то считается, что нарушитель будет проходить через самый слабо защищенный путь. Среди всех возможных путей необходимо найти тот, который содержит минимум точек контроля. Данную задачу можно решить через модифицированный алгоритм поиска кратчайшего расстояния между вершинами графа.

Задача № 2. При несоответствии защищенности зон требуемой (или при полном отсутствии КТСО на объекте) требуется определить оптимальное расположение точек контроля.

Оптимальность будет задана целевой функцией, которая минимизирует затраты на приобретение, установку и обслуживание элементов КТСО. При этом должно соблюдаться условие: защищенность всех зон соответствует требуемой или превышает ее.

В задаче должно быть учтено множество параметров, таких как соотношение затрат и эффективности выбранного средства защиты, возможность установки конкретного средства на указанном рубеже или зоне, возможность одновременной установки нескольких средств защиты на одном рубеже без снижения их эффективности и т. п.

Задачи и средства их решения при проектировании СФЗ

Задача	Методика решения
Определение требуемого уровня защищенности КЭ в виде набора точек контроля, необходимого для защиты КЭ	Построение функциональной модели производственно-технологического процесса
Размещение точек контроля на графе объекта	Построение структурно-логической модели и использование стандартного генетического алгоритма
Определение требуемого уровня эффективности при противодействии НСД для средств защиты в точках контроля	Построение модели "Нарушители — Объект — Средства защиты" на основе композиции нечетких гиперграфов
Прогнозирование защищенности объекта с установленными средствами защиты	Использование дедуктивной схемы вывода

Данная задача может быть решена с помощью стандартного генетического алгоритма [8].

После решения описанной задачи в логической модели объекта будет указано: на каких рубежах должны стоять точки контроля и каких они должны быть типов, т. е. описана структура КТСО в виде количества и местоположения различных средств защиты.

Для принятия решения о составе КТСО этих данных недостаточно. Необходимо определить требуемое качество средств защиты, т. е. уровень эффективности при противодействии НСД для каждой точки контроля на всех рубежах.

В работе [9] описан метод, позволяющий оценить требуемый уровень эффективности средств защиты для каждого типа точек контроля. Используемая в этой работе общая модель процесса функционирования системы физической защиты рассматривается как объединение трех составляющих элементов: 1) источники угроз — виды нарушителей; 2) объект — зоны, являющиеся потенциальными целями нарушителей; 3) средства защиты — инженерно-технические средства охраны. Три составляющих элемента модели представлены в виде нечетких гиперграфов и их взаимодействие рассматривается как композиция гиперграфов. Определение степеней взаимодействия элементов позволяет оценить требуемый уровень средств КТСО следующим образом.

Для составления композиций гиперграфов используют соответствия характеристик нарушителя и критических элементов, а также характеристик нарушителя и средств защиты. Например, характеристика нарушителя "возможность пожертвовать собой" соответствует характеристике КЭ "приемлемость риска при совершении ТА ввиду последствий для самих террористов". Эти соответствия позволяют построить композиции гиперграфов "Нарушители" — "Объект" и "Средства защиты" — "Нарушители". Третья композиция "Средства защиты" — "Объект" определяется автоматически по двум предыдущим. Коэффициенты матрицы инцидентности гиперграфа третьей композиции показывают степень необходимости обеспечения каждого критического элемента объекта различными средствами защиты — чем выше коэффициент, тем выше должна быть эффективность средства защиты в данной зоне.

После определения количественных и качественных характеристик средств КТСО можно спрогнозировать защищенность объекта, которая будет получена после установки указанных средств защиты. Для этого также можно использовать метод автоматизированной обработки экспертных знаний. Например, в работе [10] представлен метод, позволяющий провести оценку уровня защищенности объекта с использованием экспертной информации в нечеткой форме. Для принятия решения в нечет-

ких условиях применяется дедуктивная схема вывода из систем нечетких высказываний, основанная на правиле *modus ponens*. Эксперты указывают предполагаемую защищенность рубежей с установленными средствами защиты, далее автоматически определяется защищенность КЭ, обеспечиваемая данными средствами.

Таким образом, процесс проектирования СФЗ включает в себя последовательное решение задач с помощью перечисленных выше методик, что является основой автоматизированной системы поддержки принятия решений о составе СФЗ объекта. При этом каждая методика использует данные, полученные на предыдущем этапе, что уменьшает количество необходимой экспертной информации. Последовательность решаемых задач и используемые методики перечислены в табл. 4.

3. Пример определения требуемого уровня защищенности

Программа "САПР СФЗ", созданная с помощью объектно-ориентированного языка программирования Python 3.2 для демонстрации методики, включает в себя два графических редактора. В первом редакторе реализована возможность создания функциональной модели производственно-технологических процессов объекта с указанием значений требуемых характеристик для каждой зоны. Эксперт имеет возможность расставлять зоны в рабочей области и связывать их потоками данных. Во втором редакторе эксперт расставляет зоны и указывает возможные пути перемещения между зонами в структурно-логической модели объекта. Структурно-логическая модель объекта с указанием на ней требуемого уровня защищенности для критических элементов строится автоматически.

Для демонстрации работы программы рассмотрим модельный объект, на котором синтезируются

ГЕОИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ И СИСТЕМЫ ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЯ

УДК 550.84:551.49

С. В. Бердников¹, д-р геогр. наук,
e-mail: berdnikov@ssc-ras.ru,

О. Е. Архипова^{1, 2}, канд. техн. наук, вед. науч. сотр.,
e-mail: arkhipova@ssc-ras.ru,

Ю. М. Лычагина^{1, 2}, мл. науч. сотр.,
e-mail: sladkova@ssc-ras.ru

¹ Южный научный центр РАН,
г. Ростов-на-Дону

² Институт аридных зон ЮНЦ РАН,
г. Ростов-на-Дону

Концепция комплексной информационной справочной системы для управления морским природопользованием и освоением прибрежных зон Баренцева и Белого морей

Предложена концепция комплексной информационно-справочной системы (КИСС) управления морским природопользованием, которая базируется на разработанных ранее прототипах региональных эколого-информационных систем Баренцева и Белого морей. Для обеспечения работы соответствующих модулей объединенной модели большой морской экосистемы КИСС включает следующие подсистемы: "Океанографическая изменчивость и биологическая продуктивность"; "Трофодинамика, промысловые популяции и управление промыслом"; "Загрязнение среды и биоты"; "Социально-экономическое развитие"; "Оценка экологических рисков от морской деятельности". В качестве одного из элементов последней подсистемы, который уже программно реализован и защищен двумя свидетельствами РФ на программы для ЭВМ, рассмотрена структура справочно-информационной системы "Кадастр ООПТ Белого и Баренцева морей".

Ключевые слова: системный подход, устойчивое развитие, прибрежная зона, информационные технологии, базы данных

Введение

Согласно "Морской доктрине Российской Федерации на период до 2020 года", утвержденной Президентом РФ 27 июля 2001 г., освоение пространств и ресурсов Мирового океана — одно из главных направлений развития мировой цивилизации и условие расширения сырьевой базы российской и мировой экономики в третьем тысячелетии [1].

Среди наиболее значимых для Российской Федерации территорий и акваторий выделяют Арктическое и Атлантическое направления реализации национальной морской стратегии. В этой области особое внимание уделено прибрежным территориям Кольского полуострова, акваториям Баренцева и Белого морей, что связано, во-первых, с особой геополитической и военно-стратегической ролью и, во-вторых, с наличием богатых промышленных запасов природных ресурсов.

Территория исследуемого региона концентрирует в себе значительные стратегические и геополитические интересы России. Здесь сосредоточены крупнейшие горнорудные комплексы, промышленные и населенные центры, военные базы, незамерзающие порты, атомная электростанция, транспортная инфраструктура перекачки нефти и другие, важные для экономики страны объекты. Бурный рост рекреационных потребностей в стране и в мире вызвали подъем рекреационного природопользования на акваториях Баренцева и Белого морей. Поэтому здесь начинает активно развиваться так называемый арктический туризм — явление закономерное, вызванное развитием "промышленных" цивилизаций [2, 3]. При этом для районов Крайнего Севера свойственна хрупкость и незащищенность экосистем. Даже, на первый взгляд, незначительное нарушение окружающей среды может привести к невосполнимым потерям или потребует десятки лет на восстановление природного баланса. Положение осложняется тем, что существенная часть уникальных объектов и экосистем находится вне особо охраняемых природных территорий. Поэтому так чрезвычайно важны своевременные мероприятия по экологическому воспитанию и просвещению населения, а также учету и контролю уникальных биологических объектов и их сообществ, природных и историко-культурных памятников, ландшафтов и других рекреационных ресурсов [4].

При продолжающемся интенсивном ресурсно-промышленном освоении европейского Севера необходима эффективная стратегия сохранения природного и культурного наследия. Чтобы выявить, учесть и, в конечном счете, оптимизировать все значимые взаимосвязи между человеком, хозяйством и природой в конкретных физико-географических и социально-экономических условиях, необходимо следовать принципам комплексности и региональности.

В последние годы большое значение приобретают вопросы комплексного управления морскими

природно-хозяйственными системами как основы подхода к их оптимизации. Концепция интегрального подхода к управлению включает в себя четыре важных компонента, совместный учет которых абсолютно необходим для успешного планирования [6]:

- географический — в расчет должны приниматься взаимоотношения и взаимозависимости (физические, химические, биологические, экологические) между сухопутными, эстуарными, литоральными и морскими (шельфовыми) компонентами рассматриваемых акваторий;
- временной — поддерживается планирование и реализация управленческих действий в контексте долговременной стратегии;
- секторальный — совместно рассматриваются взаимоотношения между различными ресурсопользователями и связанные с ними социально-экономические интересы и ценности;
- политический/институциональный — обеспечиваются как можно более широкие возможности консультаций между правительством, бизнесом, обществом в вопросах планирования, регулирования, разрешения конфликтов в социально-экономической сфере.

Решение любых задач природопользования может быть успешным только при наличии достоверной информации о состоянии природной среды. Это требование распространяется на поиск, оценку и освоение любых природных ресурсов, прогнозирование, предотвращение и ликвидацию последствий опасных природных явлений, диагностику качества окружающей среды, охрану отдельных видов и биоразнообразия в целом [6, 7]. Все это обуславливает необходимость разработки комплексной информационно-справочной системы (КИСС) для управления морским природопользованием и комплексным освоением прибрежных зон Баренцева и Белого морей.

Прототип КИСС

Существенными отличительными чертами, определяющими архитектуру и реализацию подобной системы, являются:

- системный анализ;
- зависимость от целей и задач исследования;
- необходимость работы с динамическими базами пространственно-распределенных данных, в том числе данных мониторинга.

Из сказанного выше следует, что при создании подобной интегрированной системы необходимо выполнение определенных требований:

- наличие нескольких уровней выполнения проекта (от прототипа до действующей системы);
- широкое использование новых информационных технологий;
- система должна обладать модульностью и гибкостью для развития и совершенствования;
- система должна разрабатываться как открытая и наращиваемая система при максимальном использовании стандартных и общепринятых подходов и средств реализации.

Концепция КИСС управления морским природопользованием базируется на разработанных ранее прототипах региональных эколого-информационных систем (РЭИС) Баренцева и Белого морей [8, 9].

КИСС предназначен для поиска, отображения и комплексного анализа всех данных, накапливаемых в интегрированной системе мониторинга (ИС). Основа ИС — база данных, в состав которой входят базы данных предметных областей и базы геоданных. Информационная база состоит из набора информационных ресурсов, которые формируются, хранятся и управляются посредством специального программного обеспечения.

В состав комплекса входят:

- системы картографического анализа, предназначенные для информационной поддержки принятия решений на основе поиска, отображения и анализа картографической информации, а также семантической и документальной информации по различным компонентам региона;
- системы поиска, отображения и анализа информации — автоматизированные информационные системы, относящиеся к подсистеме информационной поддержки принятия решений и предназначенные для поиска необходимой структурированной информации в соответствующих базах данных и отображения в нужном для пользователя виде.

По своей структуре КИСС включает в себя информационно-справочные подсистемы для обеспечения работы соответствующих модулей объединенной модели большой морской экосистемы.

Согласно принципам комплексности структура ИС предполагает наличие таких технологических блоков, которые могут понадобиться для решения задач морского природопользования. Наполнение каждого из них определяется спецификой объектов мониторинга, региона и запросов на информационную продукцию.

К таким системам относятся информационные системы, содержащие следующие данные:

- океанографическая изменчивость и биологическая продуктивность;
- трофодинамика, промысловые популяции и управление промыслом;
- загрязнение среды и биоты;
- социально-экономическое развитие;
- оценка экологических рисков от морской деятельности.

В основу КИСС положена технология "**клиент—сервер**" с использованием сервера для хранения баз геоданных и баз данных по предметным областям (рис. 1).

Технология "клиент—сервер" сводится к разделению системы на две части: приложение-клиент и сервер базы данных (БД). Основная часть любой системы "клиент-сервер" — это сервер БД. Основное требование к серверу БД — обеспечение минимального времени выполнения запросов при мак-

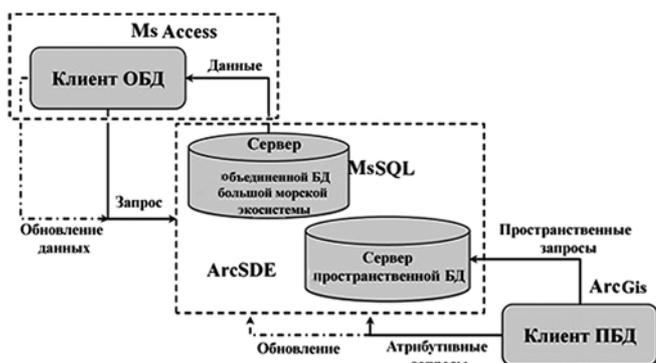


Рис. 1. Технологическая схема комплекса информационно-справочных систем

симально возможном числе пользователей. В качестве сервера БД используется реляционная модель БД. Такая реализация вносит ряд преимуществ в работу системы:

- возможна одновременная работа нескольких операторов;
- многократно снижается риск потери информации благодаря системе архивирования и сохранения истории изменений на сервере БД.

В качестве программной платформы для сервера БД использован Microsoft SQL Server с возможностью хранения пространственных данных на основе технологии ArcSDE. ArcSDE представляет собой интерфейс, который позволяет хранить и управлять пространственными данными в выбранной системе управления реляционной базой данных (СУБД). Важнейшее преимущество использования ArcSDE состоит в возможности совместного доступа (чтения, записи, обновления, удаления) к используемым данным. ArcSDE — открытая система, которая работает с различными системами управления БД, включая Microsoft SQL Server. ArcSDE позволяет эффективно использовать встроенные в систему управления базами данных (СУБД) развитые средства аутентификации пользователей, резервного копирования и восстановления данных, а также другие преимущества централизованного хранения и управления БД. Пространственная БД, содержащая единую картографическую основу и тематические карты, хранится в формате ArcGis. В качестве клиента выступает проект ArcGIS на локальном компьютере (в соответствии с рис. 1). Такая реализация вносит ряд преимуществ в работу системы:

- возможна одновременная работа нескольких операторов;
- многократно снижается риск потери информации благодаря системе архивирования и сохранения истории изменений на сервере БД.

Структура ГИС основана на СУБД. Однако вследствие того, что пространственные данные и разнообразные связи между ними плохо описываются реляционной моделью, полная модель данных имеет сложный смешанный характер. Пространственные данные специальным образом организованы, и эта организация не базируется на реляционной кон-

цепции. Напротив, атрибутивная информация объектов вполне удачно представлена реляционными таблицами и соответствующим образом обрабатывается. В результате в системе используется симбиоз двух моделей данных, лежащих в основе представления пространственной и семантической информации в ГИС — геореляционная модель.

Каждая из рассматриваемых БД включает в себя основные наборы данных и использует преимущества и принципы их хранения в базе геоданных:

- векторные данные (пространственные классы и наборы данных);
- растровые данные (наборы растров и каталоги растров);
- непространственные таблицы (исходные данные и результаты расчета).

Растровые данные представлены несколькими группами объектов:

- космические снимки, топографические и тематические растровые карты с пространственной привязкой;
- растровые данные — результаты пространственного анализа.

Комплекс систем представляет единый универсальный интерфейс конечного пользователя при работе с информационными ресурсами, накопленными в хранилище данных, и предназначен для автоматизации выполнения следующих функций:

- выбор вида информации, по которому необходимо сформировать поисковое условие;
- задание значений поисковых атрибутов для выбранного вида информации;
- поиск и отображение информации по заданному поисковому условию;
- печать или вывод найденной информации в нужном для пользователя виде.

Справочно-информационная система для управления морским природопользованием и комплексным освоением прибрежных зон Баренцева и Белого морей обеспечивает:

- возможность использования информации для оценки:
 - воздействия влияния климатических изменений на состояние экосистем, условия проживания и производственную деятельность в прибрежной зоне;
 - воздействия изменений окружающей среды на динамику видового состава отдельных популяций и биоразнообразие в целом;
 - воздействия изменений окружающей среды на состояние объектов особо охраняемых природных территорий;
 - влияния антропогенной деятельности на состояние морской среды и ее обитателей;
 - эколого-экономических последствий антропогенных воздействий;
- возможность комплексного отображения обстановки в прибрежной зоне в процессе поддержки принятия решения различными категориями пользователей.

В качестве одного из элементов подсистемы "Оценка экологических рисков от морской деятельности", который уже программно реализован и защищен двумя свидетельствами РФ на программы для ЭВМ, рассмотрим структуру справочно-информационной системы (СИС) "Кадастр ООПТ Белого и Баренцева морей".

Прототип СИС "Кадастр ООПТ" (БД — ГИС)

Важнейшим элементом стратегии восстановления и сохранения естественных экосистем является образование сети особо охраняемых природных территорий (ООПТ), охватывающей типичные и уникальные ландшафты, места произрастания и обитания хозяйственно ценных, редких и исчезающих видов растительного и животного мира, а также эталонные участки с сохранившимися коренными растительными сообществами.

Развитие сети ООПТ представляется самым действенным способом остановить процесс деградации естественных природных комплексов вследствие антропогенного воздействия и сохранить природный мир во всем многообразии [10].

Основу национальной системы ООПТ РФ составляют государственные природные заповедники, национальные и природные парки, государственные природные заказники, памятники природы, морские охраняемые природные акватории и другие категории территориальных объектов. К каждой из перечисленных категорий применяются соответствующие режимы охраны и ограничения допуска, системы контроля и управления, а также процедуры оформления разрешительной документации (например, на посещение, проведение исследований или другой вид деятельности) [11].

Для обеспечения доступа к информации о состоянии объектов ООПТ в соответствии с типовой формой хранения и представления кадастровой информации, методическими указаниями по ее заполнению из Правил ведения государственного кадастра особо охраняемых природных территорий [11, 12] создан прототип блока ИС "Кадастр ООПТ". Разработка выполнялась на основе современных информационных технологий, а именно создание единой БД с информацией об ООПТ (накопление информации об экосистемах, описание биоразнообразия и его пространственно-временной динамики) с визуализацией пространственной составляющей с помощью ГИС-технологий и данных дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ). В качестве хранилища атрибутивных данных возможно применение СУБД разного уровня, средства используемой для работы с БД геоинформационной системы.

Согласно приказу Госкомэкологии РФ от 4.07.1997 № 312 "Об утверждении Правил ведения государственного кадастра особо охраняемых природных территорий" (с изменениями от 31 марта 1998 г.) [11], информационная база по ведению кадастра ООПТ должна содержать данные обо всех особо охраняемых природных территориях федерального, регио-

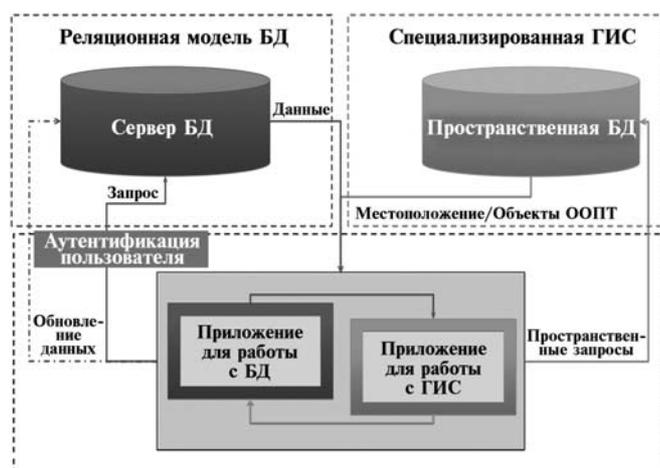


Рис. 2. Клиент-серверная архитектура информационной системы "Кадастр ООПТ"

нального и местного значения на территории субъекта РФ (например, Мурманской области), а также фотоматериалы ООПТ, схемы зонирования ООПТ и охранной зоны, схемы экспликаций земель, расположенных в границах и вокруг ООПТ. Работа с графической информацией должна осуществляться с использованием геоинформационных технологий.

Таким образом, информация по ООПТ имеет две составляющие: данные информативного характера согласно трем разделам кадастра, а также данные с пространственными характеристиками — карто-схемы и планы ООПТ.

Прототип информационной системы разработан на базе клиент-серверной архитектуры в соответствии с рис. 2.

В соответствии с требованиями типовой формы [12] была разработана структура БД и основных справочников системы ИС "Кадастр ООПТ". На основе классификации информации по разделам кадастра была построена реляционная модель БД. Выделенные объекты предметной области представлены в виде таблиц.

Пространственная БД, содержащая единую картографическую основу на базе карт различного масштаба, хранится в формате пространственной БД и редактируется в среде специализированной географической геоинформационной системы (ГИС) на рабочем месте Администратора.

Клиентская часть имеет удобный пользовательский интерфейс для работы с кадастровой информацией. Она разделена на две взаимодействующие части: приложение "Кадастр ООПТ" для работы с информацией по разделам кадастра и ГИС "ООПТ Региона" — самостоятельное приложение, разработанное с использованием специализированной ГИС.

Представленный прототип системы был реализован в исследуемой предметной области Белого и Баренцева морей при создании ИС "Кадастр ООПТ Белого и Баренцева морей". В качестве реляционной модели БД был выбран Microsoft Access, а для реализации пространственной составляющей — ArcGIS Engine (ESRI, США) [13].

Разработанная СИС "Кадастр ООПТ" (рис. 3, см. четвертую сторону обложки) позволяет:

- оценивать полноту имеющейся информации о состоянии природно-заповедного фонда акватории Баренцева и Белого морей, осуществлять его мониторинг;
- решать вопросы проведения дополнительных исследований о состоянии особо охраняемых природных территорий;
- определять перспективы развития системы ООПТ и повышения эффективности ее функционирования по поддержанию экологического баланса Российского Севера.

Данные кадастра могут быть использованы при принятии управленческих решений и практических действиях для планирования социально-экономического развития региона.

Дальнейшее развитие системы предполагает использование методов дистанционного зондирования как основы оперативного экологического мониторинга ООПТ.

Дистанционное зондирование является перспективным методом формирования БД, пространственное, спектральное и временное разрешение которых является достаточным для решения задач рационального природопользования.

Область применения космических снимков в задачах ведения кадастра ООПТ и мониторинга может включать следующее:

1. Использование снимка в качестве простейшей карты или основы, на которую можно наносить векторные и растровые слои.

2. Определение границ, площадей ООПТ.

3. Функциональное зонирование ООПТ.

4. Инвентаризация пространственных объектов в ООПТ на определенной территории.

5. Для повышения эффективности природоохранной деятельности ООПТ проведение анализа современного экологического состояния природной среды и объектов природно-заповедного фонда как на охраняемой территории, так и в пределах охранной зоны.

6. Определение устойчивости природных комплексов и объектов охраны к антропогенному воздействию. Оценка состояния ООПТ (мониторинг пожаров, вырубка лесов, поражение растительности вредителями и прочие антропогенные и природные катастрофы).

7. Изучение экологической целесообразности создания и расширения ООПТ с определением их оптимального местоположения, площади и природоохранного статуса.

8. Выявление необходимых параметров экологического мониторинга ООПТ, режима его проведения, ведение мониторинга с использованием методов и данных ДЗЗ.

9. На основе полученных материалов с использованием ГИС-технологий разработка комплекса мероприятий, предусматривающего охрану всех составляющих компонентов экосистем, а также рекоменда-

ций по развитию научно-исследовательской и эколого-просветительской деятельности как важных составляющих природоохранной деятельности ООПТ.

Современные технологии ДЗЗ и геоинформационного картографирования позволят с высокой точностью и достоверностью организовать и в дальнейшем архивировать результаты полевых исследований, моделировать различные сценарии, обусловленные изменением отдельных компонентов или факторов окружающей среды.

Заключение

Можно сделать следующие выводы.

- ◆ Концепция комплексной информационно-справочной системы (КИСС) управления морским природопользованием базируется на разработанных ранее прототипах региональных эколого-информационных систем (РЭИС) Баренцева и Белого морей.
- ◆ КИСС реализуется в виде отдельно функционирующих модулей. Представленная структура и схема взаимодействия базы данных и ГИС являются общей для всех ИСС, входящих в состав комплекса.
- ◆ Согласно изложенной концепции все элементы КИСС должны обеспечивать выполнение широкого круга запросов о текущем состоянии окружающей среды, решение оперативных задач информационного обеспечения при анализе временной динамики состояния морских и наземных экосистем.
- ◆ Комплексная информационно-справочная система (КИСС) является основой для ГИС-ориентированной математической модели большой морской экосистемы Баренцева и Белого морей.

На отдельные модули системы в ходе разработки ее функциональных элементов получены свидетельства государственной регистрации программ.

В 2010 г. было получено свидетельство о государственной регистрации программ для ЭВМ № 2010617838 от 26.11.10 г. в Реестре программ для ЭВМ программы Архиповой О. Е., Бирюкова П. А., Лисуновой Н. С., Лычагиной Ю. М. "ГИС-приложение для ведения кадастра по ООПТ "GIS CadastrePAs", правообладателем исключительного права на которую (заявителем) является Учреждение Российской академии наук — Южный научный центр РАН.

В 2011 г. было получено свидетельство о государственной регистрации программ для ЭВМ № 2011618360 от 24.10.11 г. в Реестре программ для ЭВМ программы Архиповой О. Е., Бирюкова П. А., Лисуновой Н. С., Лычагиной Ю. М. "Программный комплекс для ведения базы данных кадастра ООПТ "CadastrePAs", правообладателями исключительного права на которую (заявителями) являются Учреждение Российской академии наук, Южный научный центр РАН и Учреждение Российской академии наук, Институт аридных зон Южного научного центра РАН.

Данная система разработана при выполнении проекта "Комплексные исследования природы Баренцева и Белого морей в целях эффективного использования биологических и минеральных ресурсов и минимизации природных рисков" в рамках ФЦП "Мировой океан" на 2011—2013 годы (подпрограмма "Исследования природы Мирового океана").

Список литературы

1. **Морская** доктрина Российской Федерации на период до 2020 года от 27 июля 2011 г. // Пр-1387.
2. **Гогоберидзе Г. Г., Аверкиев А. С.** Экономика прибрежной зоны. СПб.: РГМУ, 2003. 153 с.
3. **Денисов В. В.** Эколого-географические основы устойчивого природопользования в шельфовых морях. Апатиты: КНЦ РАН, 2002. 502 с.
4. **Комплексное** управление природопользованием на шельфовых морях. Аналитический материал и результаты круглых столов. URL: http://www.wwf.ru/data/publ/550/complex_plan_web.pdf
5. **Жиров Д. В., Пожиленко В. И., Белкина О. А.** и др. Терский район. Кн. 1 из серии "Памятники природы и достопримечательности Мурманской области". СПб: Ника, 2004. 128 с.
6. **Матишов Г. Г., Денисов В. В., Дженюк С. Л.** Интегрированное управление природопользованием в шельфовых морях // Изв. РАН. Сер. географическая. 2007. № 3. С. 27—40.
7. **Денисов В. В., Ильин Г. В.** Районирование акваторий как инструмент оптимизации природопользования на Арктическом шельфе // Проблемы Арктики и Антарктики. 2008. № 2 (79). С. 134—144.
8. **Архипова О. Е.** Концепция региональной эколого-информационной системы мониторинга // Информационные технологии. 2009. № 5. С. 62—67.
9. **Архипова О. Е., Бердников С. В., Бирюков П. А., Дашкевич Л. В., Кулыгин В. В., Сапыгин В. В., Сладкова Ю. М., Лисунова Н. С., Цыганкова А. Е.** Прототип региональной эколого-информационной системы (РЭИС) "Белое море" и "Баренцево море" // Междунар. науч. конф. "Природа морской Арктики: современные вызовы и роль науки", посвященной 75-летию ММБИ 10—13 марта 2010 г., Мурманск. Мурманск: КНЦ РАН, 2010.
10. **Архипова О. Е., Бирюков П. А., Сладкова Ю. М., Лисунова Н. С.** Информационные технологии в задаче ведения кадастра особо охраняемых природных территорий // Геоинформатика. 2009. № 4. С. 48—51.
11. **Об особо охраняемых природных территориях** [Электронный ресурс]: Фед. закон от 14.03.1995 г. № 33-ФЗ: принят ГД ФС РФ 15.02.1995 г. URL: <http://www.law7.ru/base50/d5ru3506.htm>.
12. **О порядке** ведения государственного кадастра особо охраняемых природных территорий в соответствии с Федеральным законом "Об особо охраняемых природных территориях" [Электронный ресурс]: постановление Правительства РФ от 19.10.1996 г. № 1249. URL: <http://www.law7.ru/base54/part7/d54ru7874.htm>.
13. **ESRI, products:** [сайт]. URL: <http://www.esri.com/software/arcRIs/index.html>.

УДК 519.612.631

К. Ф. Иванова, канд. техн. наук, докторант,
e-mail: klara.i2010@yandex.ru,
Санкт-Петербургский
государственный университет

Оценка прогнозной модели долгосрочного температурного распределения в деятельном слое почвы

Предлагается прогнозная модель долгосрочного распределения температуры в деятельном слое почвы как развитие предыдущей модели для краткосрочного точного прогноза. Построение модели проводится на основе решения уравнения теплопроводности и выявления соответствия между расчетными и экспериментальными данными. Оценка чувствительности модели базируется на представлении коэффициентов уравнения и краевых условий не точными, а интервальными величинами, иницирующими максимальные отклонения результатов численного решения уравнения. Диапазон полученных интервальных границ изменения температуры в почве, вызванного неопределенностью почвенных характеристик и параметров внешнего воздействия, определяет оценку погрешности решения.

Ключевые слова: прогнозная модель, измеряемые данные, долгосрочное распределение температуры, внешние воздействия, интервальные величины

Введение

Математическая модель пространственно-временного распределения температуры, предлагаемая в статье, апробирована на измерениях агрометеорологических параметров почва—воздух, полученных на автоматизированной агрометеорологической станции, размещенной в Ленинградской области Агрофизического НИИ [1]. Измерения проводились в течение вегетационного периода в 2007—2008 гг. В их число входили стационарные синхронные двухуровневые измерения температуры и влажности воздуха, температурные показания профиля деятельного слоя почвы на пяти уровнях (5, 10, 20, 50 и 100 см), потоки солнечного излучения R и теплоты Q в почву и из почвы за счет теплопроводности.

Измерения агрометеорологических показателей проводились с помощью балансомера, почвенного тепломера, помещенного на глубине 5 см, и углубленной в толщу почвы штанги с датчиками ("паука"), разработанными в Агрофизическом НИИ. Дискретность синхронных измерений с установленной периодичностью составляла в среднем 60 мин в течение вегетационного периода с 5 мая по 20 августа 2007 г.

Автор данной статьи принимала непосредственное участие в измерениях, их первичной обработке и интерпретации [2—3].

Прогноз температуры в деятельном слое почвы в период вегетации является важной задачей и лежит в основе формирования одного из актуальных направлений системы земледелия — определения

Факторы внешнего воздействия на поверхность Земли

температурного режима пахотного слоя почвы для принятия агротехнических решений на сельскохозяйственном поле в режиме on line, а также для построения математических моделей теплопереноса в почве. Предлагаемая модель долговременного расчета температурного режима дерново-подзолистой почвы рассматривается как развитие предыдущей модели краткосрочного суточного прогноза температуры, рассмотренной в работе [4]. Она базируется на измерениях агрометеорологических параметров, полученных на автоматизированной метеостанции, работающей в полевых условиях. Использование экспериментальных данных способствует формированию модели, адекватной реальному тепловому режиму, и обеспечивает достоверный прогноз температурного распределения в почве. Долгосрочные прогнозы температуры также могут быть полезны для подсчета суммы активных температур предпосевного периода.

Классические методы математической физики (прямые и итерационные) разработаны для решения уравнения теплопроводности, когда начальные и граничные условия имеют эмпирический вид входных данных и параметров уравнения. Оценка точности приближения к реальным температурам проводится апостериорно и не учитывает вариабельности факторов внешнего воздействия. Это приводит к снижению объективности прогнозных оценок температурных полей в почвенном слое и отсутствию математически аргументированных критериев, позволяющих обосновать надежность получаемого решения. С учетом тепловых и физических свойств почвы математическая модель прогнозирования температуры в почвенном слое за длительный период является задачей с априорными неопределенностями входных данных, и ее решение находится в прямой зависимости от их погрешности. Вопросы, связанные с оценками погрешностей, возникающих при аппроксимации дифференциальных операторов, выборе численного метода решения и конечного числа итераций, скорости сходимости, накопления ошибки от округления чисел при счете и других факторов, определяющих способ и точность решения, не входят в сферу данного исследования. Интерес представляют отклонения расчетной температуры, полученной в равных условиях, но при эмпирическом и интервальном задании параметров воздействия. Интервальный подход к постановке задачи обусловлен нестабильностью погодных условий и антропогенных факторов воздействия. Предельные значения температуры при расчете по интервальной модели показывают эффективность привлечения интервального анализа к оценке погрешности решения и тем самым определяют границы достоверности прогноза в условиях флуктуации и неточности входных параметров.

Алгебраическая сумма всех приходов и расходов теплоты на земную поверхность выражается уравнением теплового баланса

$$R + P + A + LE = 0, \quad (1)$$

где R — радиационное и эффективное солнечное излучение; P — турбулентный поток теплоты; A — теплообмен с более глубокими слоями; LE — потеря теплоты при испарении и приход при конденсации [5].

Каждое из слагаемых уравнения (1), как правило, является экспериментальной величиной, измерение которой сопряжено с определенными систематическими и случайными погрешностями. Коротковолновая радиация Солнца, определяющая R , от которой во многом зависит температурное состояние верхнего слоя почвы, включает отражение от поверхности Земли, зависящей от широты местности, облачности, времени года, альбедо поверхности, абсолютной температуры воздуха и целого ряда других параметров. Радиация R измеряется балансом с погрешностью 15 %. Регистрация максимальных значений теплового потока возможна только при прохождении Солнца в зените в районе полудня в безоблачном небе. Считается, что точность измерения теплового потока достигается соответствующим выбором материала матрицы тепломера, по своим термическим свойствам близкого к почвенным характеристикам, что не всегда достижимо для одного и того же тепломера в силу вариабельности типов почвы и ее структурно-механических показателей. Подобные поправки можно отнести и к двум другим компонентам уравнения (1).

Таким образом, все показания можно считать точными только с той или иной точностью приближения, и их использование при моделировании изначально носит интервальный характер. Задачи с неточными параметрами и неопределенностями являются важнейшей сферой приложений интервального анализа. При этом интервальное описание неопределенности является достаточно информативным при решении задач. Расчеты алгебраических систем уравнений, использующие интервальный подход к их решению, основаны на хорошо развитом математическом аппарате для их исследования [6, 7]. Однако интервальный анализ в приложении к решению уравнений с частными производными, к числу которых относится уравнение теплопроводности для почвенного слоя, требует нового подхода. Для рассматриваемой модели используется аппарат оценки максимальных отклонений численного решения уравнения теплопроводности, развитый и апробированный в работе [4]. Разнообразие постановок задач с интервальными входными данными зависит, кроме того, от владения тем набором измерений, который необходим для формализации конкретной задачи.

Формализация задачи теплопереноса в почве

Общим свойством компонент уравнения (1) остается их периодическое изменение со временем. Эта периодика определяет температуру поверхности почвы и служит основанием для формирования граничного условия на поверхности в математической модели. Распределение температуры в деятельном слое почвы, как и в случае моделирования суточного изменения температуры [4, 8], описывается одномерным нестационарным уравнением теплопроводности с переменными коэффициентами:

$$\frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z} \left(k(z) \frac{\partial T}{\partial z} \right) + f(z, t), \quad 0 < z < h, \quad t > 0, \quad (2)$$

где t — время; z — координата, направленная от поверхности в глубь слоя; T — температура на поверхности почвы; $k(z)$ — коэффициент теплопроводности с размерностью, задаваемой в модели. Источник $f(z, t)$, принят равным 0. В работе [3] получен усредненный за весь временной интервал коэффициент теплопроводности $k|_{z=0,05} = 2,056 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2/\text{ч}$ для дерново-подзолистой почвы из уравнения теплопроводности и потока теплоты Фурье. При использовании в данной работе приема восстановления функции интегрированием по координате уравнения (2) была получена зависимость $k(z)$, имеющая на уровне 5 см значение k , близкое к полученному в работе [3]:

$$k(z) = 0,0014 + 0,0086z - 0,0136z^2 - 0,0037z^3 + 0,0266z^4 - 0,0148z^5, \text{ м}^2/\text{ч}.$$

Погрешность, возникающая при $z = 0$, нивелируется в процессе численной аппроксимации уравнения.

На графиках рис. 1. отражена динамика потока радиации R , теплового потока Q в почву и температуры на поверхности почвы T , полученные на аг-

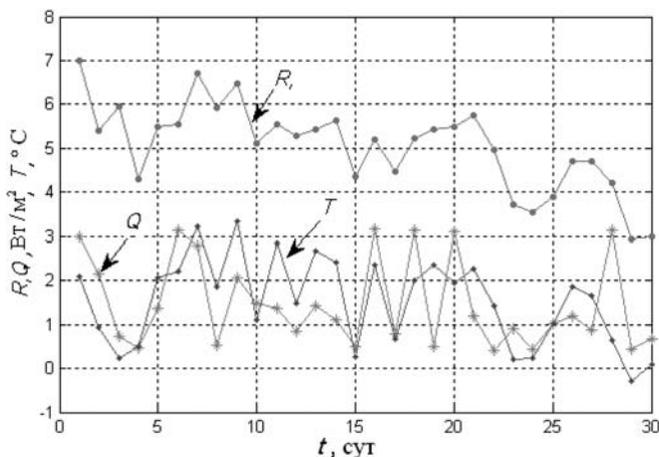


Рис. 1. Шкалированные периодические ежедневные изменения солнечной радиации R , потока теплоты Q и температуры T в течение июля 2007 г.

Корреляция между потоком радиации R , падающим на земную поверхность, потоком теплоты в почву Q и температурой поверхности почвы T

	R	Q	T
R	1	0,4678	0,4595
Q	0,4678	1	0,7796
T	0,4595	0,7796	1

рометеорологической станции Ленинградской области в июле 2007 г. в дневное время (13.30 — 14 ч). Шкалирование проведено делением представленных зависимостей на стандартное отклонение каждой функции R , Q и T .

Температура поверхности почвы и потоки теплоты и радиации коррелируются между собой в значительной степени, в особенности Q и T , достигая почти 80 % (см. таблицу). Поэтому суммарное воздействие на поверхность Земли тепловых потоков (1) может быть заменено в краевом условии периодической изменением температуры:

$$T|_{z=0, t} = T_{\text{ср}} + A_0 \cos(\pi(15/12 - t) - \pi/2), \quad (3)$$

где $T_{\text{ср}} = 15$ и $A_0 = 12$ — среднее значение температуры поверхности в течение всего периода счета и половина максимального отклонения амплитуды температуры от $T_{\text{ср}}$ соответственно. Аргумент косинуса соотношения (3) определяется частотой колебания температуры в выбранном интервале времени.

Принято, что температура на нижней границе почвенного массива также меняется периодически со своим средним и амплитудным значениями:

$$T|_{z=h, t} = 8 + 6 \cos(\pi(17/12 - t) - \pi/2). \quad (4)$$

Начальное распределение температуры по глубине почвы при $t = 0$ зависит от координаты и задается на основании эксперимента:

$$T|_{z, t=0} = g(z). \quad (5)$$

Аппроксимация $g(z)$ получена сглаживающим сплайном с последующим представлением полиномом 8-й степени:

$$g(z) = 1,0 \cdot 10^4 (0,1887z^8 - 0,8443z^7 + 1,5814z^6 - 1,6092z^5 + 0,9657z^4 - 0,352z^3 + 0,0797z^2 - 0,0104z + 0,0008).$$

Поставленная задача решается с двух позиций — как точечная модель, построенная на представлении краевых условий (3)—(5) и коэффициента уравнения $k(z)$ функциями, не учитывающими их погрешность, и как прогнозная с интервальными значениями входных данных. Точечная модель отвечает общепринятому подходу описания процесса пространственно-временного переноса любой субстанции в почве. В модели второго типа, реализация которой позволяет прогнозировать интервалы максимального разброса температуры, неточность интерваль-

ных значений входных данных учитывается в виде коэффициентов и параметров уравнения и граничных условий (2)–(5).

Конечно-разностная аппроксимация уравнения с интервальными коэффициентами и воздействиями

Аппроксимация дифференциального уравнения и краевых условий конечными разностями приводит к системе линейных алгебраических уравнений размерности $n \times n$. На отрезке $[0, 1]$ задаются равномерная сетка по z с шагом Δz , $z = \{z_i | i = 1, 2, \dots, n\}$, и равномерная сетка по t с шагом Δt , $t = \{t_l | l = 1, 2, \dots, n\}$ [9], где $t = (0, 1)$ — безразмерный интервал времени, полученный из размерного интервала нормализацией дискретных значений временных интервалов по отношению к $\tau = 110$ — всему расчетному интервалу времени. Векторы z и t определяют пространственно-временную сетку, на которой дискретизируется уравнение со своими граничными условиями [4]:

$$\frac{T_i^{l+1} - T_i^l}{\Delta t} = \frac{k_i^{l+1}(T_{i+1}^{l+1} - T_i^{l+1}) - k_{i-1}^{l+1}(T_i^{l+1} - T_{i-1}^{l+1})}{\Delta z^2},$$

$$i = \overline{1, n}, l = \overline{1, n}; \quad (6)$$

$$T_1^l = g1(x_1, t_l), \quad (7)$$

$$T_n^l = g2(x_n, t_l), \quad (8)$$

$$T_i^1 = g0(x_i, t_1). \quad (9)$$

Функции $g0, g1, g2$ соответствуют правым частям граничных условий (3)–(5).

Систему разностных уравнений в матричном виде можно записать как

$$A \cdot T = b. \quad (10)$$

Матрица A размерности $n \times n$ представляет собой систему линейных алгебраических уравнений, состоящую из коэффициентов температуропроводности уравнения (6); b — вектор правых частей (7)–(9); T — вектор, компоненты которого определяют температуру почвы в данной расчетной точке.

В интервальном виде матрицу уравнения (10) можно представить как

$$A = [\underline{A}, \overline{A}] = \{A; \underline{A} \leq A \leq \overline{A}\},$$

$$\underline{A} = A - \Delta, \overline{A} = A + \Delta;$$

$$a_{il} = [a_{il} - \Delta, a_{il} + \Delta], i = \overline{2, n-1}, l = \overline{2, s}, \quad (11)$$

где $\Delta = \varepsilon_{il} a_{ij}$ является произведением относительной погрешности ε_{il} на измеренное значение коэффициента. Компоненты вектора b , определяющие

краевые и начальные условия задачи, также может быть представлены в интервальном виде:

$$b = [\underline{b}, \overline{b}] = \{b; \underline{b} \leq b \leq \overline{b}\},$$

$$\underline{b} = b - \sigma, \overline{b} = b + \sigma; \quad (12)$$

$$b_i = [b_i - \sigma_i, b_i + \sigma_i], i = \overline{1, n},$$

где $\sigma_i = \delta_i b_i$ является произведением относительной погрешности δ_i на компоненту вектора b . Задачей исследования является определение максимально возможных отклонений температуры в почвенном слое, в которые попадает решение, если будут реализованы интервальные границы элементов матрицы или пределы изменения теплофизических коэффициентов.

Первоначально интервальная матрица и вектор правой части системы (10) представляются ее левой и правой границами (11) и (12), симметрично расположенными относительно среднего значения (в нашем случае — измерения). Это обстоятельство позволяет трактовать решение задачи по средним значениям как точечное, а с привлечением граничных значений матрицы — как интервальное.

Оценка чувствительности решения к погрешности входных данных осуществляется с позиции интервальной алгебры ("знаковой методики"), развитой на основе определения оценки погрешности решения систем линейных алгебраических уравнений [10]. Методика выбора границы каждого коэффициента (11) матрицы A базируется на оценке максимального приращения $\det(A)$ в положительном и отрицательном направлениях [11]. Этот подход формирует две другие граничные матрицы $A^- \in A$ и $A^+ \in A$, построенные уже не по принципу симметричного отклонения от среднего, а по принципу подбора компонент новых границ из анализа приращения детерминанта исходной матрицы при перестраивании интервальной матрицы в две точечные. То же рассуждение относится и к выбору границ компонент вектора $b(b^-, b^+)$. Решение двух вновь сформированных линейных точечных систем уравнений с матрицами A^- и A^+ с правыми частями b^-, b^+ позволяет получить граничные интервальные значения вектора температуры.

Визуальное отображение входной и выходной информации

Программа расчета температурного поля предназначается как для точечного определения температуры, так и для интервального. Следует отметить, что выбранное краевое условие (3) на верхней границе почвенного слоя имеет более общий (средний по многолетним измерениям) характер изменения, чем при конкретных измерениях, что позволяет лишней раз проверить влияние интервальности входного воздействия. Интервальное задание входных характеристик, с одной стороны, объясняет допол-

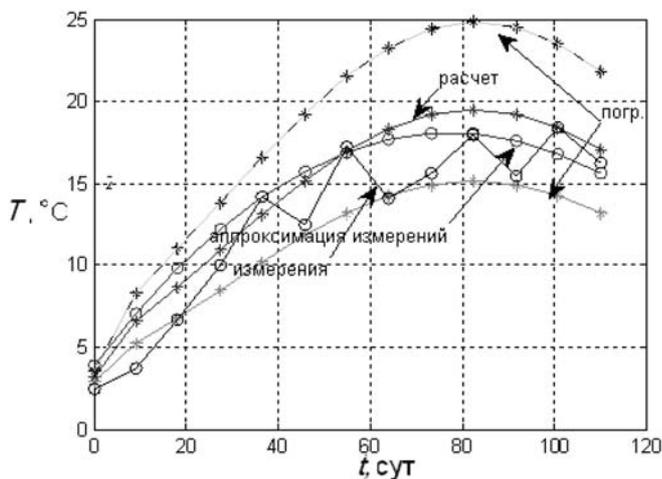


Рис. 6. Изменение температуры почвенного слоя в течение сезона на глубине 10 см

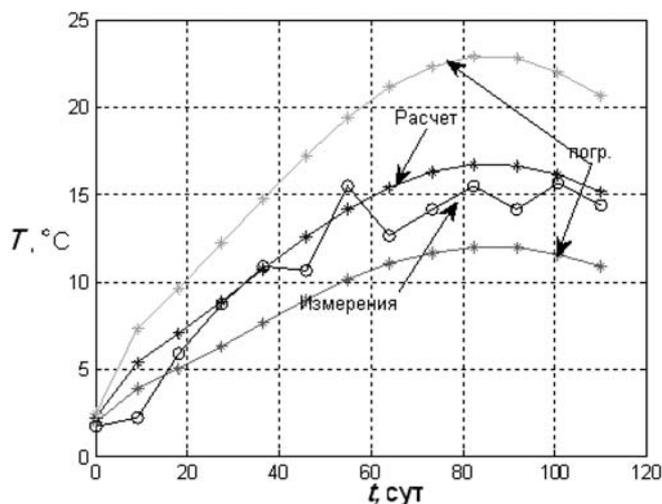


Рис. 7. Изменение температуры почвенного слоя в течение сезона на глубине 20 см

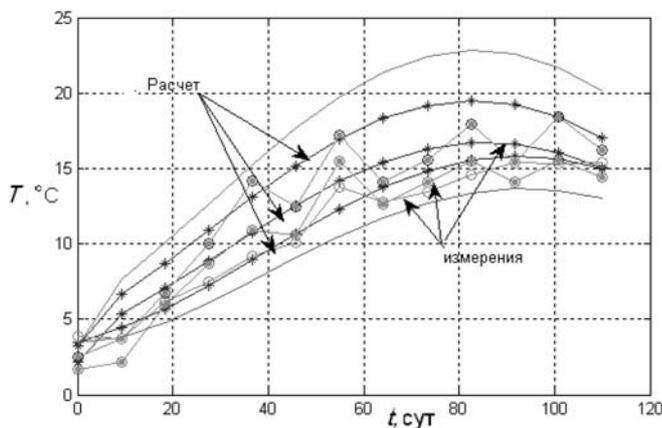


Рис. 8. Изменение температуры по измерениям и расчетам в слое 20...50 см

нительный разброс температуры, а с другой, прогнозирует те отклонения результатов измерений, которые неизбежны при любом эксперименте. Прогнозная модель температурного поля в почвенном массиве рассматривается без влияния растительного покрова и корневой системы, что не умаляет общности полученных решений при фактическом учете влияния посева на температуру почвы, понижающего в дневное время ее значение на 3...4 °C даже на глубине 5...10 см.

Результаты расчетов при моделировании в графической форме представлены на рис. 2 и 3 (см. третью сторону обложки), где показаны полученные экспериментально и вычисленные при моделировании распределения профилей температуры в почвенном слое глубиной 1 м, с дискретностью 10 сут. в течение 110 сут. весенне-летнего сезона.

На рис. 4 (см. третью сторону обложки) показаны совмещенные графики рис. 2 и 3 (кривые с кружочками — сглаженные по шести точкам измерения, сплошные кривые — расчет по модели). Видно значительное визуальное совпадение температурных профилей. Горизонтальными линиями специально выделена область деятельного слоя почвы от 20 до 60 см, наиболее активная при посадке сельскохозяйственных культур.

Рассчитанный коэффициент корреляции между модельными и измеренными значениями составляет более 0,98, что подтверждает близость температурных профилей, изображенных на графиках рис. 4.

Отклонения между значениями температурных профилей, полученных при измерениях и моделировании, не превосходят практически 2 °C (рис. 5, см. третью сторону обложки).

Интерес для сельскохозяйственной практики представляет температурное распределение на конкретных глубинах пахотного слоя в течение всего весенне-летнего сезона. На графиках рис. 6 (глубина слоя 9...10 см) и рис. 7 (глубина слоя 18...20 см) символами (кружочками и звездочками) показаны температуры с дискретностью каждые 10 суток; две крайние кривые (верхняя и нижняя), определяют интервальное решение.

Ломаные кривые с символами "o" — измерения и их сглаженная аппроксимация полиномом 2-й степени (рис. 6), символами "*" обозначены кривые при моделировании. Из рисунков видно, что экспериментальные значения температуры с той или иной степенью приближения укладываются внутри интервальных кривых, полученных при начальной интервальной погрешности $\epsilon = 3\%$ для коэффициента теплопроводности $k(z)$ в слое 20 см.

Наиболее важным в модельном представлении является прогнозирование температуры в пахотном слое 10...50 см (рис. 8). Как видно из графиков, измеренные температуры в течение всего сезона попадают в заданный интервальный диапазон (кривые без символов), смещаясь к нижней интер-

вальной границе в данном модельном эксперименте. Символами "о" обозначены измерения, "*" — расчет трех кривых для слоев глубиной 10, 20 и 50 см, нижняя и верхняя кривые — интервальные границы погрешности решения.

На рис. 9 (см. третью сторону обложки) показаны разности температур при модельном расчете и сглаживании измерений, полученные в слое 20...50 см во всем временном диапазоне. Интервальные отклонения в положительном и отрицательном направлениях показаны двойными стрелками. Три кривые с индексом "1" — точечный расчет, с индексом "2" — интервальное отклонение этих кривых в сторону увеличения, с индексом "3" — в сторону понижения температуры. Точечные значения средних кривых попадают в диапазон отклонений температуры, равных 5 °С, в максимальных точках отклонения температуры. При реальных флуктуациях входных параметров такие отклонения вполне возможны, а в случае больших относительных погрешностей могут достигать более значительной величины.

На графиках рис. 10 (см. третью сторону обложки) показаны распределения температуры с интервальными отклонениями во всех слоях пахотного слоя, начиная с поверхности. Позициями 1, 2, 3, 4, 5 обозначены слои, начиная с поверхности, через каждые 10 см. Результаты расчетов лишней раз подтверждают 3-й закон Фурье о смещении максимума температуры с увеличением глубины. Сроки запаздывания максимума температуры в слое пропорциональны их глубине, что относится и к интервальным отклонениям.

Графики температурных распределений по модельным расчетам приведены при интервальном задании относительной погрешности ε для коэффициентов температуропроводности $k(z)$ в пределах двадцатисантиметровой глубины почвенного слоя. Значения интервальных отклонений расчетной температуры при интервальном представлении $k(z)$ для слоев большей глубины, при допущении интервальной погрешности краевых условий, а также при возрастании относительной погрешности ε могут резко возрасти. Наша модель ограничивается выбранным заданием интервальности входных данных, так как строится на верификации модели и ограничивается наиболее репрезентативными решениями задачи.

Выводы

- ♦ Предложена инновационная модель расчета долгосрочного пространственно-временного рас-

пределения температуры в деятельном слое дерново-подзолистой почвы. Адекватность модели проверена на показаниях агрометеорологических параметров автоматизированной метеостанции, работающей в полевых условиях.

- ♦ Проведена оценка влияния интервальности входных данных задачи на отклонения расчетной температуры и исследована целесообразность использования интервального решения задачи в целях достоверного прогноза теплового режима в почве.
- ♦ Результаты моделирования температурных распределений в почвенном слое выполнены на основе разработанного алгоритма и программы, формализованной *m*-файлом в системе MATLAB с привлечением графического редактора GUIDE, позволяющего во входном листинге задавать параметры задачи с дальнейшей интерпретацией результатов решения задачи в графическом виде [12].

Список литературы

1. **Кульков О. В., Иванова К. Ф., Никифоров А. А.** и др. Перспективы создания и использования автоматизированных метеорологических станций сельскохозяйственного назначения // Инструментальные средства и методы в агрофизике. СПб.: АФИ, 2007. С. 120—130.
2. **Иванова К. Ф.** Анализ и интерпретация экспериментальных измерений агрометеопараметров по показаниям АМС // Плодородие. 2008. № 4. С. 30—34.
3. **Иванова К. Ф.** Определение теплофизических характеристик почвы по измерениям температуры // Плодородие. 2008. № 4. С. 34—38.
4. **Иванова К. Ф.** Интервальная модель задачи теплопроводности в почве // Информационные технологии. 2013. № 2. С. 15—21.
5. **Афанасьев А. Л., Бобров П. П., Ивченко О. А.** и др. Оценка тепловых потоков при испарении с поверхности почв по метеорологическим параметрам и микроволновой радиометрии // Естественные науки и экология: Межвузовский сб. науч. трудов. Ежегодник. Омск: Изд-во ОмГПУ. 2004. Вып. 8. Кн. 1. С. 3—6.
6. **Шарый С. П.** Конечномерный интервальный анализ. Новосибирск: XYZ. 2007. 700 с.
7. **Шарый С. П.** Алгебраический подход во "внешней задаче" для интервальных линейных систем // Фундаментальная и прикладная математика. 2002. Т. 8, № 2. С. 567—610.
8. **Gulsor C., Ekberli I.** A Comparison of Estimated and Measured Diurnal Soil Temperature Through a Clay Soil Depth // of Applied Sciences. 2004. N 4 (3). P. 418—423.
9. **Самарский А. А.** Теория разностных схем. М.: Наука, 1982. 615 с.
10. **Петров Ю. П.** Как обеспечить надежность решения систем уравнений // СПб.: БХВ-СПб. 2009. 172 с.
11. **Иванова К. Ф.** Знаковый подход к оценке решения интервальных линейных систем // Информационные технологии. 2012. № 9. С. 46—52.
12. **Иванова К. Ф.** Программа "Интервальная модель прогноза распределения температуры в почве в период вегетации" (INTEMP). № 2012616823. Регистрация 31 июля 2012 г.

Л. Р. Бекирова, канд. техн. наук, доц.,
Государственная Нефтяная Академия,
г. Баку, Азербайджан
e-mail: Bekirova_Lale@rambler.ru

Вопросы оптимизации трансформации сигналов цветности при слиянии спутниковых черно-белых и цветных изображений

Систематизированы существующие вегетационные RGB-индексы, используемые, в частности, для слияния изображений спектральных и панхроматических каналов. Отмечена целесообразность выбора формулы шенноновской энтропии в качестве целевого функционала при оптимизации спектральных сигналов при слиянии RGB-цветных и панхроматических изображений. Осуществлена вариационная оптимизация трансформации сигналов спектральных каналов, используемых при слиянии спектральных и панхроматических изображений.

Ключевые слова: дистанционное зондирование, оптимизация, цветные изображения, слияние изображений, энтропия

Хорошо известно, что спутники дистанционного зондирования Земли осуществляют спектральные измерения отдельно взятых участков исследуемой поверхности на различных длинах спектра электромагнитного излучения Солнца.

Одним из направлений техники многоспектральных измерений является цветовая модель RGB (*R* — *red* (красный); *G* — *green* (зеленый); *B* — *blue* (синий)), измерения осуществляются на следующих длинах волн: *R* — 635 нм; *G* — 532 нм; *B* — 473 нм.

Преимущество выбора RGB-каналов при колориметрических (т. е. цветных) измерениях заключается в следующем.

1. Экспериментально доказано, что с помощью линейной комбинации

$$I_0 = \alpha I(R) + \beta_0 I(G) + \gamma I(B),$$

где α, β, γ — постоянные коэффициенты, принимающие значения от нуля до единицы; $I(R), I(G), I(B)$ — сигналы соответствующих каналов, можно синтезировать любой цветовой сигнал, который, например, может быть воспроизведен на экране цветного дисплея. Следовательно, зная величины $I(R), I(G)$ и $I(B)$, можно синтезировать путем под-

бора α, β, γ наиболее вероятные цветовые комбинации, которые возможно существуют на изучаемом объекте.

2. Появляется возможность изучения пространственной гомогенности исследуемого объекта путем выделения геометрических контуров различных одноцветных зон.

Отметим, что сказанное выше относится к классической колориметрии, т. е. науке об измерении цветов.

Очевидно, что развитие науки и техники стало выдвигать все более жесткие требования к технике цветоизмерений, что в конечном счете привело к несколько другим методам воспроизведения и измерения цветов. Например, в работе [1] впервые была показана возможность получения дополнительной спектральной информации путем использования следующих формул трансформации сигналов цветности:

$$I = I(R) + I(G) + I(B);$$

$$H = \frac{I(G) - I(B)}{I - 3I(B)};$$

$$S = \frac{I - 3I(B)}{I},$$

где I — интенсивность суммарного цветового сигнала; H — оттенок цвета; S — насыщенность цвета.

Кроме того, стали появляться специализированные методы, предназначенные для воспроизведения и измерения отдельно взятых природных объектов, например растений. Так, в работе [2] были введены коэффициенты цветности растений X, Y, Z , определяемые как

$$X = \frac{I(R)}{I(B) + I(G) + I(R)};$$

$$Y = \frac{I(G)}{I(B) + I(G) + I(R)};$$

$$Z = \frac{I(B)}{I(B) + I(G) + I(R)}.$$

С развитием космических средств дистанционного зондирования Земли стали совершенствоваться и методы обработки цветковых сигналов. Наиболее интересным техническим решением в обработке цветных снимков можно считать метод слияния цветных изображений низкого пространственного разрешения с черно-белыми изображениями высокого пространственного разрешения [2]. Для такого слияния часто используют метод стандарт-

ного слияния Brovey, осуществляемый по следующим выражениям [2]:

$$I(R)_{\text{new}} = \frac{I(R)}{I(B) + I(G) + I(R)} I(P);$$

$$I(G)_{\text{new}} = \frac{I(G)}{I(B) + I(G) + I(R)} I(P);$$

$$I(B)_{\text{new}} = \frac{I(B)}{I(B) + I(G) + I(R)} I(P),$$

где $I(R)_{\text{new}}$, $I(G)_{\text{new}}$, $I(B)_{\text{new}}$ — вновь сформированные цветные сигналы; $I(P)$ — сигнал черно-белого (панхроматического) канала.

Согласно работе [2] качество слияния изображений может быть определено вычисленным значением шенноновской энтропии отдельных каналов. В таблице в качестве примера показаны вычисленные значения шенноновской энтропии для каналов аппаратуры ETM⁺ LANDSAT-7, после применения двух методов слияния: метода Brovey и метода HSI.

Вычисленные значения шенноновской энтропии

Каналы	HSI	Brovey
TM канал 3	3,89	2,76
TM канал 4	4,40	3,21
TM канал 5	4,18	2,98

При этом, чем выше значение шенноновской энтропии, тем больше текстурной информации в синтезированных изображениях, т. е. выше качество слияния изображений. Далее мы рассмотрим возможность оптимизации процесса трансформации и слияния RGB и черно-белых изображений в вышеуказанном смысле. Для этой цели воспользуемся данными, представленными в работе [3], где рассматривается опыт слияния черно-белых изображений спектрофотометра ETM⁺, установленного на спутнике Landsat-7C, с цветными изображениями аппаратуры SPOT.

Согласно работе [4], слияние изображений осуществлялось по следующим формулам:

$$I(S)_1 = \frac{2I(P)I(X)_1}{I(X)_1 + I(X)_2};$$

$$I(S)_2 = \frac{2I(P)I(X)_2}{I(X)_1 + I(X)_2},$$

где $I(X)_1$ и $I(X)_2$ — сигналы каналов цветности аппаратуры SPOT.

Как было отмечено выше, качество синтезированного изображения тем выше, чем больше в нем значение шенноновской энтропии.

Вместе с тем, между сигналами цветности всегда существует определенная статистическая зависимость. Как было показано в работе [5], в зависимости от выбранной части обрабатываемых изображений

корреляции между различными цветовыми сигналами могут быть как положительными, так и отрицательными.

С учетом изложенного, далее рассмотрим вопрос об оптимизации процесса слияния цветных и черно-белых изображений в смысле достижения максимальной энтропии в синтезированном изображении.

Задачу оптимизации сформулируем следующим образом. Допустим, что известен факт наличия корреляционной зависимости между $I(X)_1$ и $I(X)_2$. Введем в рассмотрение детерминированную функцию

$$I(X)_1 = f(I(X)_2), \quad (1)$$

определяющую среднестатистическую функциональную зависимость между $I(X)_1$ и $I(X)_2$.

В отношении функции (1) будем полагать, что справедливо следующее ограничительное условие:

$$\int_0^{I(X)_{\text{max}}} f(I(X)_2) dI(X)_2 = C, \quad (2)$$

где $C = \text{const}$.

С учетом условия (2) рассмотрим вопрос о достижении энтропией $I(S)_1$ максимального значения. Энтропию $I(S)_1$ определим как

$$E_n(I(S)_1) = \ln \left[\frac{2I(P)I(X)_1}{I(X)_1 + I(X)_2} \right]. \quad (3)$$

С учетом выражений (1)–(3) составим уравнение безусловной вариационной оптимизации:

$$\begin{aligned} F &= \int_0^{I(X)_2_{\text{max}}} M dI(X)_2 = \\ &= \int_0^{I(X)_2_{\text{max}}} \ln \left[\frac{2I(P)I(X)_1}{I(X)_1 + I(X)_2} \right] dI(X)_2 + \\ &+ \gamma \int_0^{I(X)_2_{\text{max}}} f(I(X)_2) dI(X)_2, \end{aligned} \quad (4)$$

где γ — множитель Лагранжа.

Согласно правилу Эйлера решение оптимизационной задачи должно удовлетворять следующему условию:

$$\frac{dM}{df(I(X)_2)} = 0. \quad (5)$$

С учетом выражений (4) и (5) получаем

$$\frac{I(X)_2}{f(I(X)_2)f(I(X)_2 + I(X)_2)} + \gamma = 0. \quad (6)$$

Производная выражения (6) по $f(I(X)_2)$ имеет следующий вид:

$$-\frac{I(X)_2 \cdot 2f(I(X)_2 + I(X)_2)}{f(I(X)_2)^2 f(I(X)_2 + I(X)_2)^2}. \quad (7)$$

Отрицательность выражения (7) подтверждает, что функционал (4) имеет максимум от $f(I(X)_2)$.

Для нахождения значения множителя Лагранжа γ достаточно вычислить $f(I(X)_2)$ из выражения (6) и поставить соответствующие выражение в ограниченное условие (2).

Не останавливаясь подробно на операции вычисления множителя γ , обозначим его значение в виде определенного интеграла

$$\gamma = \int_0^{I(X)_{2\max}} \varphi(I(X)_2) dI(X)_2, \quad (8)$$

где $\varphi(I(X)_2)$ — выражение $f(I(X)_2)$, вычисленное из формулы (7)

Далее, поставив значение γ в формулу (6), можно получить следующее уравнение, решение которого дает оптимальный вид функции $f[I(X)_2]$:

$$f(I(X)_2)^2 + f(I(X)_2) \cdot I(X)_2 + \frac{I(X)_2}{\int_0^{I(X)_2} \varphi(I(X)_2) dI(X)_2} = 0.$$

Таким образом, показана принципиальная возможность оптимизации процесса слияния RGB -сигналов и панхроматических сигналов для определенного подкласса изображений путем надлежащего выбора функциональной зависимости между значениями сигналов каналов.

Сформулируем основные выводы и положения проведенного исследования.

1. Систематизированы существующие вегетационные RGB -индексы, используемые, в частности, для слияния изображений спектральных и панхроматических каналов.

2. Отмечена целесообразность выбора формулы шенноновской энтропии в качестве целевого функционала для оптимизации спектральных сигналов при слиянии RGB -цветных и панхроматических изображений.

3. Осуществлена вариационная оптимизация трансформации сигналов спектральных каналов путем выбора определенной взаимосвязи между сигналами цветности, используемыми при слиянии спектральных и панхроматических изображений.

Список литературы

1. **Jensen J. R.** Introductory Digital Image Processing, a Remote Sensing Perspective. 3rd ed. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall, 2005.
2. **Wang J., Zhang J. X., Liu Z. J.** Distinct image fusion for landslide information enhancement. URL: <http://isprs-wgii-l.casm.ac.cn/source/DISTINCT%20IMAGE%20FUSION%20METHODS%20FOR%20LANDSLIDE%20INFORMATION%20ENHANCEMENT.PDF>
3. **Mularz S. C.** Satellite and airborne remote sensing data for monitoring of an open cast mine // ISPRS Commission IV Symposium on GIS — Between and Applications, Stuttgart, Germany. 1988. Vol. 32, part 4. P. 395—402.
4. **Durand D., Lasselin D.** Thematic and geometrical information combination // "Spacemaps" training course, GDTA. Polish-French Seminar, Warsaw, Oct. 26—30, 1992.
5. **Goffman L.** The effect of intetcolor correlation on color image compression. Haifa. January 2001. URL: <http://visl.technion.ac.il/lg/the-sistmp.pdf>

ИНФОРМАЦИЯ



14—17 октября 2013 г. в г. Ярославль состоится

XV Всероссийская научная конференция RCDL'2013 **"Электронные библиотеки: перспективные методы и технологии, электронные коллекции"**

Серия Всероссийских научных конференций RCDL, труды которых представлены на сайте <http://rcdl.ru>, нацелена на формирование российского корпуса международного сообщества ученых, развивающих это научное направление, подробно описанное на сайте конференции.

Совместно с конференциями традиционно проводятся сопутствующие диссертационные семинары, на которых авторам работ, отобранных на основе предварительного рецензирования, предоставляется возможность изложить текущие результаты своих исследований, а также обсудить их сильные и слабые стороны с более опытными коллегами.

Труды конференции будут опубликованы в виде сборника текстов принятых полных статей, кратких статей и тезисов стендовых докладов, а также в электронном виде в европейском репозитории трудов конференций CEUR Workshop Proceedings. Лучшие статьи, представленные на конференцию, будут рекомендованы к публикации в изданиях, признанных ВАК, таких, как "Информатика и ее применения", "Программная инженерия", "Системы и средства информатики".

Подробности — на сайте конференции: <http://rcdl2013.uniyar.ac.ru>

УДК 621.397.13:656.021

Н. Н. Васин, д-р техн. наук, проф., зав. каф.,
В. Ю. Куринский, канд. техн. наук, доц.,
Поволжский государственный университет
телекоммуникаций и информатики, г. Самара,
e-mail: vasin@psati.ru

Расширение функциональных возможностей систем видеонаблюдения

Предлагается метод обработки видеосигналов, дополняющий функции систем видеонаблюдения способностью измерять скорость движения протяженных объектов. В качестве объектов рассматриваются отцепы на сортировочных горках, локомотивы и вагоны в депо и на станционных путях.

Ключевые слова: системы видеонаблюдения, обработка видеосигналов, измерение скорости протяженных подвижных объектов, локомотивы, вагоны

1. Постановка задачи

В настоящее время происходит процесс широкого внедрения систем видеонаблюдения. Дополнительно к традиционному наблюдению за объектом данные системы имеют потенциальные технические возможности решать целый ряд задач. По мнению таких компаний как IBM и Cisco [1], создание интегрированных систем видеоаналитики является важным направлением развития систем видеонаблюдения. Расширение функциональных возможностей систем видеонаблюдения в части измерения скорости, ускорения, определения трасс движения и других параметров контролируемых объектов, а также эффективное использование цифровых каналов за счет предобработки видеосигнала для передачи данных при определении дополнительных параметров объектов, предопределяет широкое внедрение таких систем в АСУ технологическими процессами.

Во многих отраслях промышленности и на транспорте существует необходимость измерения скорости движения протяженных объектов с использованием систем видеонаблюдения, когда оптическая ось видеокамеры перпендикулярна вектору движения протяженного объекта. Метод измерения скорости [2] характеризуется высокой производительностью за счет обработки только части видеоизображения

протяженного объекта и повышенной точностью при наличии вибрации видеокамеры и контролируемого объекта.

Для измерения скорости оптическую ось видеокамеры устанавливают перпендикулярно направлению движения объекта [3]. Перемещению объекта S за определенное время τ соответствует смещение s его видеоизображения. За время τ принят постоянный период следования кадров видеокамеры. При известном расстоянии от видеокамеры до объекта [3] и измеренном смещении изображения s легко определить перемещение самого объекта S и, следовательно, скорость движения объекта $V = S/\tau$.

2. Метод определения смещения изображения объекта

Протяженными считаются такие объекты, геометрические размеры которых сопоставимы с размерами поля зрения применяемых видеокамер или существенно превосходят его, поэтому в процессе наблюдения в кадр попадают различные части объекта.

Под видеоизображением следует понимать яркостную составляющую, так как разделение по цветам самого изображения не добавляет информативности [2]. Для определения значения смещения вагона или другого подвижного объекта за известное время τ следования кадров видеокамеры на текущем i -м кадре выделяется совокупность строк видеоизображения, т. е. выделяется горизонтальная полоса по всей длине кадра с числом x пикселей по всей ширине кадра и высотой n пикселей. Полоса выделяется в области видеоизображения, где происходит отображение движения протяженного объекта. На данной горизонтальной полосе выделяется прямоугольная область, размер которой составляет $m \times n$, где n — высота прямоугольной области в пикселях, m — длина в пикселях (рис. 1, см. четвертую сторону обложки).

Поскольку значение смещения s изображения $(i + 1)$ -го кадра согласно предлагаемому методу определяется не для всего кадра, а только для горизонтальной полосы, координаты которой соответствуют координатам выделенной полосы i -го кадра (см. рис. 1), то обработка изображения проводится за более короткое время и для этого требуется значительно меньше вычислительных ресурсов. С такой задачей может справиться микропроцессор современного контроллера, установленного рядом с камерой видеонаблюдения. Поэтому по каналу связи можно передавать не видеоизображения,

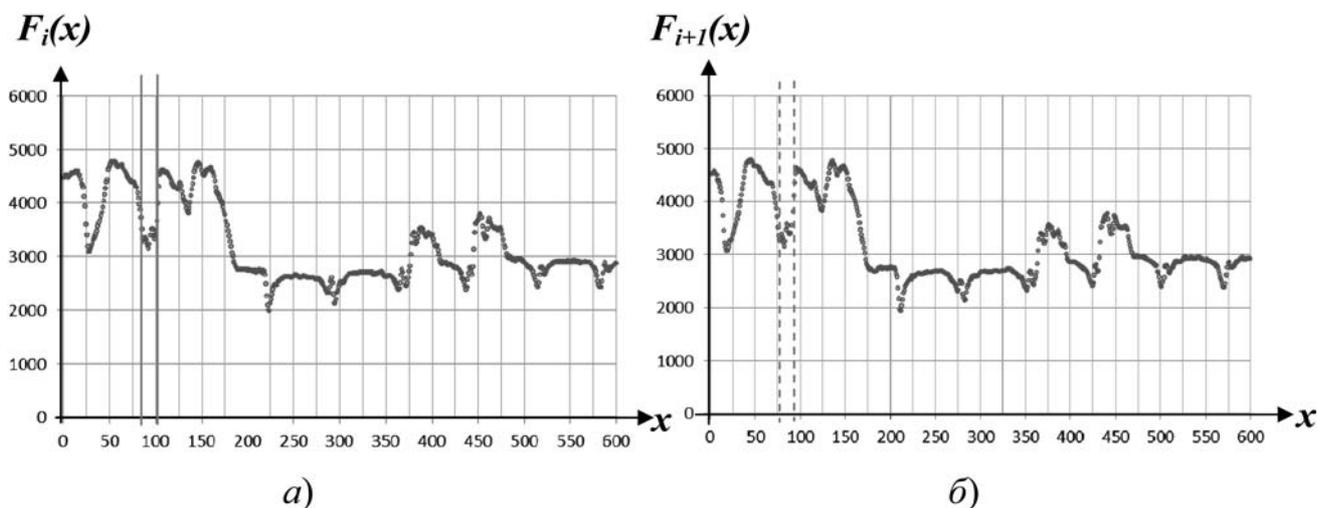


Рис. 2. Столбчатые диаграммы изображения полос i -го кадра (а) и $(i + 1)$ -го кадра (б)

а данные о скорости движения протяженного объекта, что требует значительно меньшей полосы пропускания канала связи.

Для выделенной горизонтальной полосы i -го кадра проводится расчет столбчатой диаграммы по следующему правилу: по всей длине полосы для каждого столбца шириной в один пиксель выполняется суммирование уровня яркости всех n пикселей. Полученная при этом столбчатая диаграмма суммарных уровней яркости столбцов полосы изображения приведена на рис. 2, а. Для выделенной горизонтальной полосы (см. рис. 1, б) следующего $(i + 1)$ -го кадра также проводится расчет столбчатой диаграммы по аналогичному правилу: по всей ширине x выделенной горизонтальной полосы для каждого столбца шириной в один пиксель выполняется суммирование уровня яркости всех n пикселей (рис. 2, б).

Из рис. 2 видно, что столбчатые диаграммы сдвинуты друг относительно друга на некоторую величину. Эта величина — смещение s объектов. Поэтому для определения значения величины s необходимо сместить столбчатые диаграммы (или их часть) друг относительно друга так, чтобы различие между ними было минимально.

Как было указано выше, в левой части горизонтальной полосы текущего i -го кадра (см. рис. 1, а) выделяется прямоугольная область размером $m \times n$, которой соответствует часть столбчатой диаграммы, расположенная между вертикальными сплошными линиями (см. рис. 1, а). С указанной областью и проводится сравнение аналогичных (равных по площади) прямоугольных областей выделенной полосы кадра $i + 1$. Для этого используется общеизвестная структурная функция [4], которая включает в качестве составных параметров корреляционные характеристики, т. е. ее можно рассматривать как результат более общего метода корреляционной обработки случайных процессов. В общем виде

структурная функция двух случайных процессов имеет следующий вид:

$$S_{Y_1 Y_2}(\tau) = M[(Y_1(t) - Y_2(t + \tau))^2], \quad (1)$$

где $M[\]$ — операция нахождения математического ожидания; $Y_1(t)$ и $Y_2(t + \tau)$ — случайные процессы (СП).

При минимальном различии параметров случайных процессов $Y_1(t)$ и $Y_2(t + \tau)$ структурная функция будет стремиться к нулю.

В связи с особенностями цифровых вычислительных машин, имеющих ограниченную разрядную сетку и память, возникает необходимость в дискретизации математической модели решаемой задачи. Переход от непрерывной к дискретной математической модели заключается в замене функций непрерывного аргумента функциями дискретного аргумента. При этом интеграл заменяется конечной суммой, производные — разностными отношениями и т. д. [5]. Учитывая данный факт, дискретная трактовка выражения (1) будет следующей [6]:

$$S_{y_1 y_2}(s) = \frac{1}{N-s} \sum_{i=0}^{N-s-1} (y_1(x) - y_2(x+s))^2, \quad (2)$$

где $y_1(x)$ и $y_2(x+s)$ — дискретизированные и квантовые значения СП в x -й и $(x+s)$ -й моменты времени; N — число реализаций СП.

В нашем случае дискретизированные и квантовые значения СП в x -й и $(x+s)$ -й моменты времени — это $y_1(x) = F_i(x)$ и $y_2(x+s) = F_{i+1}(x+s)$, тогда выражение (2) примет вид:

$$S_{F_i F_{i+1}}(s) = \frac{1}{x_d} \sum_{x=x_0}^{x_d} (F_i(x) - F_{i+1}(x+s))^2,$$

где $F_i(x)$ и $F_{i+1}(x+s)$ — изменение суммарного уровня яркости от координаты x ; x_0 — координата

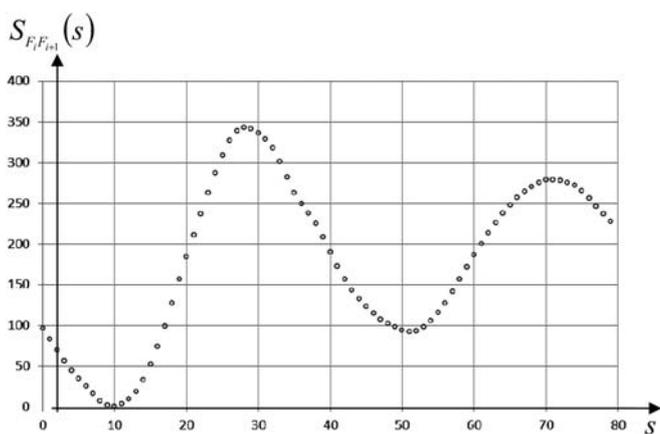


Рис. 3. Уровень совпадения прямоугольных областей

левой стороны прямоугольной области; x_d — координата правой стороны прямоугольной области.

На рис. 3 представлена графическая зависимость уровня различия столбчатых диаграмм i -го кадра и $(i + 1)$ -го кадра от их относительного смещения, заданного в пикселях. Минимальное различие гистограммы i -го кадра и последовательно смещаемой столбчатой диаграммы $(i + 1)$ -го кадра $S_{F_i F_{i+1}}(s)$ соответствует искомому смещению s , т. е. наибольшему совпадению сравниваемых столбчатых диаграмм (см. рис. 3).

Из рис. 3 следует, что смещение s составляет примерно 10 пикселей. Для его оценки предложено аппроксимировать 11 рядом стоящих дискретных значений, в центре которых — минимальное значение $S_{F_i F_{i+1}}(s)$, полиномом 2-го или 4-го порядка по методу наименьших квадратов. Минимум аппроксимирующей функции и будет являться оценкой смещения s . Анализ показал, что повышение порядка полинома выше 4-го не повышает точность оценки, но требует неоправданных затрат вычислительных ресурсов. Оценка смещения для рассматриваемой выделенной области при использовании полинома 4-го порядка дала значение $s = 9,89$ пикселей. Выделение на объекте множества анализируемых областей i -го и $(i + 1)$ -го кадров позволяет найти среднее значение смещения s_{cp} и среднее квадратическое отклонение, характеризующее случайную составляющую погрешности $\delta_{ск}$.

Для приведенных объектов (см. рис. 1) и столбчатых диаграмм (см. рис. 2) анализ 20 выделенных областей дал значение $s_{cp} = 9,9$. Случайная погрешность при доверительной вероятности $P = 0,997$ составила значение $\delta = 4 \%$.

Для определения физической скорости движения протяженного объекта используется формула

$$V = 3,6sFps \frac{1}{x} \frac{2k_{xy}}{1 + k_{xy}} L \operatorname{tg}\left(\frac{\alpha}{2}\right) \text{ (км/ч),}$$

где s — смещение изображения протяженного объекта за время смены кадров; Fps — число кадров в секунду; x — ширина кадра в пикселях; k_{xy} — коэффициент соотношения сторон кадра; L — расстояние от объектива видеокамеры до протяженного объекта в метрах; α — угол обзора видеокамеры.

В рассматриваемом эксперименте скорость вагона составила $V = 14,5$ км/ч при погрешности $\delta = 4 \%$.

Как видно, значение погрешности $\delta = 4 \%$ является довольно высоким, поэтому для повышения точности измерения смещения изображения s используется увеличение интервала наблюдения, когда анализировалось смещение s диаграмм i -го и $(i + 1)$ -го кадров. В проведенном эксперименте при скорости объекта 5...20 км/ч значение l изменялось от 1 до 10 с шагом 1. При увеличении l от 1 до значения 7 смещение изображения s увеличивалось с 10 до 65 пикселей, а погрешность снижалась со значения $\delta = 4 \%$ до $\delta = 1,5 \%$, что объясняется интегрированием случайных отклонений значений смещения s .

3. Структурная схема системы видеонаблюдения

На рис. 4 представлена схема организации системы. В состав системы входят промышленная 2-мегапиксельная IP-камера BEWARD BD4070H, сеть FastEthernet и рабочая станция с разработанным программным обеспечением, позволяющим в режиме реального масштаба времени измерять скорость движения отцепов на сортировочной горке. Что позволило контролировать процесс замедления протяженных объектов.

Использование разработанной методики позволяет сократить объем информации, передаваемой в единицу времени, с 10...12 Мбит/с до 64 кбит/с. После обработки информация архивируется и записывается на сервер.

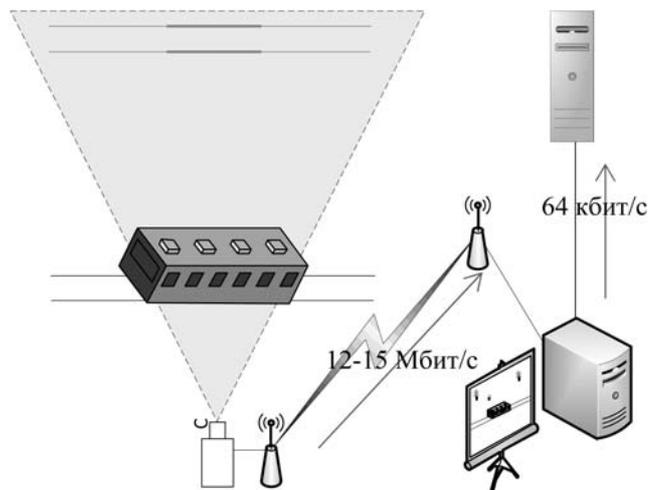


Рис. 4. Схема организации экспериментального образца

4. Основные выводы

1. Расширение функциональных возможностей систем видеонаблюдения в части измерения скорости протяженных объектов позволяет получать более полную информацию об объектах наблюдения.

2. Предложенный метод измерения скорости протяженных объектов характеризуется высокой производительностью, способностью обрабатывать видеосигналы при сравнительно небольших затратах вычислительных ресурсов. Поэтому по каналу связи можно передавать не видеоизображения, а данные о скорости движения протяженного объекта, что требует значительно меньшей полосы пропускания канала связи.

Список литературы

1. **Проектирование** IP сети для системы видеонаблюдения. http://www.ciscoexpo.ru/expo2010/materials/video_surveillance/mkhlopov_vsuvr_design.pdf
2. **Васин Н. Н., Куринский В. Ю.** Способ измерения скорости движения протяженных объектов // Патент РФ. № 2398240, заявка 2009112710/28, 06.04.2009, опубл. 27.08.2010, Бюл. № 24.
3. **Васин Н. Н., Куринский В. Ю.** Метод обработки видеосигналов для измерения скорости движения протяженных объектов // Инфокоммуникационные технологии, 2010. Т. 3. № 2. С. 36—39.
4. **Прохоров С. А., Графкин В. В.** Структурно-спектральный анализ случайных процессов. Самара: СНЦ РАН, 2010. 128 с.
5. **Коварцев А. Н.** Численные методы. Самара: НВФ "Сенсоры. Модули. Системы.", 1998. 143 с.
6. **Романенко А. Ф., Сергеев Г. А.** Вопросы прикладного анализа случайных процессов. М.: Сов. радио. 1968. 256 с.

УДК 574.42; 581.5; 519.873

Ф. Г. Агаев¹, д-р техн. наук, проф., директор,
Х. Г. Асадов², д-р техн. наук, нач. отдела,
Р. В. Халафов³

¹ Институт космических исследований
природных ресурсов,

² НИИ Аэрокосмической информатики,

³ Национальное аэрокосмическое агентство,
г. Баку, Азербайджан,
e-mail: asadzade@rambler.ru

Метод оптимальной оценки степени биоразнообразия в экологических системах

Критически проанализированы наиболее употребляемые индексы биоразнообразия, указаны их недостатки.

Предложена новая концепция оценки биоразнообразия, заключающаяся во введении функции стабилизации, определяющей заданное значение модифицированного индекса Симпсона и минимальное значение индекса Шеннона—Винера. Показана возможность управления индексами в сторону их выравнивания.

Указана дуальность предложенной новой концепции оценки биоразнообразия.

Ключевые слова: биоразнообразие, оптимизация, функция стабилизации, аэрозоль, атмосфера

Как отмечено в работе [1], человеческая деятельность в настоящее время в той или иной степени затронула от 30 до 50 % всех земных ландшафтов. В таких условиях задача сохранения и поддержания биоразнообразия и его элементов приобретает особую важность. Однако многие природные и антропогенные факторы, такие как засуха, крупные

пожары, неразумная промышленная деятельность и т. д., приводят к общей и нежелательной тенденции уменьшения биоразнообразия в ландшафтах. С учетом такой тенденции важнейшей задачей, стоящей перед экологами всего мира, является сохранение биоразнообразия в природе. Для решения указанной задачи возникает необходимость в первую очередь выработать правильные критерии для количественной оценки биоразнообразия.

Для оценки биоразнообразия природных участков обычно используются индексы, которые объединяют в себе оценку двух аспектов разнообразия:

- богатство, изобилие видов;
- равномерность распределения видов.

При этом наиболее часто используются следующие формулы для количественной оценки разнообразия:

- индекс Шеннона—Винера

$$H = - \sum_{i=1}^m p_i \ln p_i, \quad (1)$$

где p_i — вероятность появления индивидов, относящихся к виду i ; m — общее число видов;

- индекс Симпсона

$$d = \sum_{i=1}^m p_i^2. \quad (2)$$

Вышеуказанные индексы биоразнообразия позволяют совместно оценить как разнообразие, так и равномерность развития биологических видов в ландшафтах. Богатство биоразнообразия означает, что в ландшафте имеются земельные покрытия различных типов. При этом чем больше видов, тем больше биоразнообразия. Вместе с тем, равномерность распределения видов в ландшафте определяется процентным соотношением наличия этих видов.

Чем равномернее это распределение, тем разнообразнее считается рассматриваемый ландшафт.

Однако вышеуказанные индексы не обеспечивают однозначную оценку биоразнообразия в двух вышеуказанных аспектах. Приведем такой пример [1]: ландшафт *A* имеет всего два вида, каждый из которых составляет 50 %; другой ландшафт *B* имеет десять видов, первый из которых составляет 91 % от всей суммы, а каждый из остальных девяти видов составляет всего 1 %. Очевидно, что с точки зрения разнообразия ландшафт *B* будет считаться более разнообразным. Однако согласно вычислениям по формуле (1) ландшафт *A* окажется более разнообразным, чем ландшафт *B*, в котором доминирует всего лишь один вид.

Известны работы, в которых делались попытки устранить вышеуказанный недостаток в существующих классических индексах разнообразия. Например, в работах [2, 3] был предложен масштабированный индекс разнообразия, определяемый выражением

$$D(\varepsilon, r, t) = - \frac{\ln \left\{ \sum_{i=1}^{m(\varepsilon, r, t)} [P_i(\varepsilon, r, t)]^{1/2} \right\}^2}{\ln \varepsilon}. \quad (3)$$

Здесь $P_i(\varepsilon, r, t)$ — вероятность появления индивидов *i*-го вида; $m(\varepsilon, r, t)$ — общее число рассматриваемых видов; t — время; $\varepsilon = (\mathbf{e} + A)^{-1}$, где A — площадь рассматриваемого района в га; r — пространственное разрешение; $\mathbf{e} = 2,718$.

В соответствии с методом множителей Лагранжа необходимым условием достижения $D(\varepsilon, t)$ своего максимума является следующее уравнение [2]:

$$\frac{\partial D(\varepsilon, r, t)}{\partial p_j(\varepsilon, r, t)} + \lambda \frac{\partial k[p_1(\varepsilon, r, t) \dots p_m(\varepsilon, r, t)]}{\partial p_j(\varepsilon, r, t)} = 0, \quad (4)$$

$$k[p_1(\varepsilon, r, t), \dots, p_m(\varepsilon, r, t)] = 1 - \sum_{i=1}^{m(\varepsilon, r, t)} p_i(\varepsilon, r, t),$$

где $j = 1, 2, \dots, m$; $\lambda = \text{const}$.

Решение дифференциального уравнения (4) получено в виде [4]

$$P_j(\varepsilon, r, t) = \frac{1}{m(\varepsilon, r, t)}. \quad (5)$$

Это означает, что если виды имеют равномерное распределение, то $D(\varepsilon, r, t)$ достигает своего максимального значения, равного $-\frac{\ln m(\varepsilon, r, t)}{\ln \varepsilon}$, при

$$\text{ограничении } \sum_{j=1}^{m(\varepsilon, r, t)} P_j(\varepsilon, r, t) = 1.$$

При $P_j(\varepsilon, t) > 0$ ($j = 1, 2, \dots, m$) имеем

$$\frac{\partial D(\varepsilon, r, t)}{\partial p_j(\varepsilon, r, t)} > 0,$$

т. е. $D(\varepsilon, r, t)$ является возрастающей функцией $P_j(\varepsilon, r, t)$. Следовательно, индекс $D(\varepsilon, r, t)$ может выражать свойство *равномерности* биоразнообразия.

Вместе с тем, решение, предложенное в работах [2, 3], также имеет серьезный концептуальный недостаток, заключающийся в неучете оценок, получаемых с помощью других, весьма распространенных индексов. Это может привести к большому разбросу оценок разнообразия различных природных участков при использовании разных индексов биоразнообразия.

Для устранения указанного недостатка предлагается следующий порядок формирования комплексного индекса биоразнообразия.

1. Осуществляется видоизменение индекса Шеннона—Винера. Далее рассматривается видоизмененный индекс биоразнообразия Шеннона—Винера

$$H_m = - \sum_{i=1}^m P_i \ln [P_i + \varphi(P_i)], \quad (6)$$

где $\varphi(P_i)$ — вновь вводимая функция стабилизации.

2. Осуществляется видоизменение индекса Симпсона. Рассматривается видоизмененный индекс биоразнообразия Симпсона

$$S_m = \sum_{i=1}^m [P_i + \varphi(P_i)]^2. \quad (7)$$

3. Для определения функции стабилизации $\varphi(P_i)$ принимается следующее условие:

$$S_m = \sum_{i=1}^m [P_i + \varphi(P_i)]^2 = \text{const}. \quad (8)$$

4. С учетом условия (8) отыскивается такая функция $\varphi(P_i)$, при которой индекс H_m достигает минимального значения.

Таким образом, весь смысл предлагаемого нововведения заключается во включении в состав модернизированных индексов специально подбираемой функции стабилизации, такой, что обеспечивается стабильное заданное значение индекса Симпсона и минимальное значение индекса Шеннона—Винера.

Рассмотрим порядок отыскания функции стабилизации $\varphi(P_i)$.

Для отыскания оптимального вида функции $\varphi(P_i)$ условно допускаем непрерывность переменной P , следовательно, выражения (6) и (7) принимают следующий вид:

$$H_m = - \int_{P=0}^{P_{\max}} P \ln [P + \varphi(P)] dP, \quad (9)$$

$$S_m = \int_{P=0}^{P_{\max}} [P + \varphi(p)]^2 dP. \quad (10)$$

С учетом выражений (9) и (10) можно составить задачу безусловной вариационной оптимизации

$$F = \int_0^{P_{\max}} M[P, \varphi(P)] dP =$$

$$= - \int_0^{P_{\max}} P \ln[P + \varphi(P)] dP + \lambda \int_0^{P_{\max}} [P + \varphi(P)]^2 dP \quad (11)$$

при

$$\int_0^{P_{\max}} [P + \varphi(P)]^2 dP = C = \text{const}. \quad (12)$$

Согласно правилу Эйлера условие нахождения оптимальной функции $\varphi(P)$ следующее:

$$\frac{\partial M[P, \varphi(P)]}{\partial \varphi(P)} = 0. \quad (13)$$

С учетом выражений (12) и (13) получаем

$$-\frac{P}{P + \varphi(P)} + 2\lambda[P + \varphi(P)] = 0. \quad (14)$$

Из выражения (14) следует

$$[P + \varphi(P)]^2 = \frac{P}{2\lambda}. \quad (15)$$

С учетом выражений (12) и (15) получим

$$\int_0^{P_{\max}} \left[\frac{P}{2\lambda} \right] dP = C. \quad (16)$$

Из выражения (16) находим

$$\lambda = \frac{P_m^2}{4C}. \quad (17)$$

С учетом выражений (14) и (17) имеем

$$\frac{P}{P + \varphi(P)} = \frac{P_m^2 [P + \varphi(P)]}{4C}. \quad (18)$$

Выражение (18) перепишем в виде

$$P_m^2 [P + \varphi(P)] = \frac{4C}{P_m^2}. \quad (19)$$

Из выражения (19) окончательно находим

$$\varphi(P) = \frac{2}{P_m} \sqrt{CP} - P. \quad (20)$$

Таким образом, выражение (20) определяет вид вновь введенной функции стабилизации, обеспе-

чивающей стабильно заданную величину S_m и минимальную величину H_m .

Чтобы удостовериться в достижении функционалом (11) своего минимального значения достаточно взять вторую производную (11) по $\varphi(P)$ и убедиться, что она всегда положительна.

С учетом выражений (9) и (20) получаем

$$H_m = - \int_{P=0}^{P_{\max}} P \ln \left[\frac{2}{P_m} \sqrt{CP} \right] dP. \quad (21)$$

Из выражения (21) имеем

$$H_m = -P_m^2 / 2 \ln \left(\frac{2\sqrt{C}}{P_m} \right) - \int_{P=0}^{P_{\max}} P \ln \sqrt{P} dP. \quad (22)$$

Как видно из выражений (12) и (22), произвольно задаваемая постоянная величина C по-разному влияет на вновь введенные индексы S_m и H_m , что позволяет регулировать значение этих индексов в сторону их выравнивания.

Следует отметить, что предлагаемая концепция оценки биоразнообразия является дуальной. Это означает, что можно сформулировать дуальную задачу нахождения такой стабилизирующей функции, при которой обеспечивались бы стабильная величина H_m и минимальная величина S_m . Однако решение указанной дуальной задачи выходит за рамки постановки задачи в настоящей статье.

В заключение сформулируем основные выводы и положения проведенного исследования.

- ♦ Критически проанализированы наиболее употребляемые индексы биоразнообразия, указаны их недостатки.
- ♦ Предложена новая концепция оценки биоразнообразия, заключающаяся во введении функции стабилизации, определяющей заданное значение модифицированного индекса Симпсона и минимальное значение индекса Шеннона—Винера. Показана возможность управления индексами в сторону их выравнивания.
- ♦ Указана дуальность предложенной новой концепции оценки биоразнообразия.

Список литературы

1. Nagendra H. Opposite trends in response for the Shannon and Simpson indices of landscape diversity // Applied Geography. 2002. Vol. 22. P. 175—186.
2. Yue T. X., Liu J. Y., Jorgensen S. E., Gao Z. Q., Zhang S. H., Deng X. Z. Changes of Holdridge life zone diversity in all of China over a half century // Ecological Modeling, 2001. Vol. 144. P. 153—162.
3. Yue T. X., Ye Q. H., Liu J. Y., Gong Z. H. Studies on models for landscape connectivity // Journal of Geographical Science, 2002, Vol. 12, pp. 186—195.
4. Yue T. X., Ma S.-N., Wu S.-X., Zhan J.-Y. Comparative analyses of the scaling diversity index and its applicability. URL: <http://www.trandfonline.com/loi/tres20>

Встречи в Китае

В первой декаде ноября 2012 г. по приглашению пекинского университета Циньхуа Китайскую Народную Республику посетила делегация российских ученых. В состав делегации входили два сотрудника ИИЕТ РАН — заместитель директора, канд. техн. наук Д. Ю. Щербинин и старший научный сотрудник, канд. техн. наук В. А. Китов, а также зав. кафедрой МАТИ имени К. Э. Циолковского, канд. техн. наук В. В. Шилов.

Программа визита предусматривала весьма напряженный график работы. В Пекине российские ученые приняли участие в работе Международного форума FRET-2012 (2012 Forum on Philosophy, Engineering & Technology). Эта весьма представительная конференция имеет давние традиции, в соответствии с которыми она каждый раз проводится в новой стране. В этот раз в качестве принимающей стороны был выбран Китай с его бурно развивающимися экономикой, наукой, образованием и культурой. На форуме присутствовало много известных ученых со всего мира (в основном из США и Европы) — Карл Митчем, Байрон Ньюберр и другие. Из мировых научных центров, приславших своих представителей, следует назвать университеты Техаса, Калифорнии, Массачусетса, Пенсильвании, Аризоны, Иллинойса, Вирджинии, Сономы, Берлина, Милана и Дельфта, Американскую военную академию в Вест Пойнте. Традиционно большое число докладов было сделано хозяевами мероприятия.

Российскими учеными были прочитаны два доклада: "3D-реконструкция исторических летательных и космических аппаратов" (Д. Ю. Щербинин) и "Ключевые моменты истории реабилитации кибернетики в Советском Союзе" (В. А. Китов и В. В. Шилов). Кроме названных россиян активное участие в обсуждениях и дискуссиях как на заседаниях, так и в кулуарах форума принимал чл.-корр. РАН Б. Г. Юдин из Института философии РАН.

Важной частью визита стало чтение лекций российскими учеными в университете Циньхуа. Этот старейший и ведущий китайский университет, недавно отметивший столетний юбилей, известен, в частности тем, что в нем в 1935/1936 учебном году читал лекции и занимался научными исследованиями выдающийся американский математик, отец мировой кибернетики Норберт Винер. Д. Ю. Щербинин в течение трех академических часов рассказывал о работе по компьютерной анимации первых советских космических пилотируемых аппаратов,

а В. А. Китовым и В. В. Шиловым был прочитан девятичасовой цикл лекций "История создания и использования первых советских ЭВМ".

В программу поездки входило посещение нескольких институтов Академии наук КНР. Особенно запомнился визит в Институт компьютерных технологий, во время которого произошла теплая встреча с профессором Чжан Веем, внесшим огромный вклад в становление китайской вычислительной техники на ее начальном этапе. В период с 1957 г. по 1966 г. Чжан Вей с женой Юй Гуэйчжи совместно перевели и опубликовали шесть советских книг по ЭВМ; участвовали в переводе технической документации на ЭВМ М-3, издали "Русско-китайский словарь по вычислительной технике" (он стал первым компьютерным словарем в Китае, фактически Чжан Вей разработал китайскую компьютерную терминологию!).

В частности, благодаря титаническому труду этой семейной пары, были переведены две знаменитые книги А. И. Китова — "Электронные цифровые машины" (первая опубликованная в открытой печати отечественная книга по программированию, ЭВМ и их применениям, увидевшая свет в СССР в 1956 г.; ее перевод в КНР появился менее чем через два года, в 1958 г.) и "Электронные вычислительные машины" (в соавторстве с Н. А. Кринициким, 1958 г.). Каждая из этих двух книг выдержала в КНР по два издания, а их общий тираж составил свыше 18 000 экземпляров — больше, чем тираж всех остальных книг по компьютерной тематике вместе взятых! Переведенные Чжан Веем и Юй Гуэйчжи книги использовались в качестве вузовских учебников во всех профильных высших учебных заведениях Китая и сыграли огромную роль в подготовке первых поколений собственных специалистов по компьютерам.

Во времена "культурной революции" супруги около 10 лет проходили "трудовое перевоспитание" в отдаленной сельской местности, и их выдающаяся роль в становлении китайской компьютерной науки была забыта. Напомнил о Чжан Вее китайским коллегам В. А. Китов во время работы Международной конференции по истории ЭВМ, проходившей в апреле 2012 г. в МГУ имени М. В. Ломоносова. В далеком 1958 году его отец, Анатолий Иванович Китов, получил письмо из Китая от переводчика своих книг. Оно заканчивалось словами: "С коммунистическим приветом, китайский товарищ Чжан Вей". Звучное имя врезалось в память школьника Володи Китова... И вот спустя 44 года

эта фраза из письма буквально всплыла из подсознания!

Китайским историкам пришлось потратить немало сил и около полугода времени, чтобы все-таки отыскать среди разбросанных по всей стране ста тридцати тысяч китайцев, имеющих те же имя и фамилию, именно того легендарного для китайской компьютеризации Чжан Вея, ныне пенсионера-профессора. Встреча с ним в Институте вычислительной техники АН КНР была крайне трогательной и эмоциональной, как и завершивший ее товарищеский ужин в знаменитом ресторане "Пекинская утка".

Вторым пунктом поездки был город Чанша (провинция Хунань на юге страны), где на базе Национального университета оборонных технологий проводился 3-й Международный симпозиум по истории обменов технологиями между Китаем и зарубежными странами. Отметим, что этот университет является одним из важнейших центров развития компьютерных технологий в Китае (так, созданный и успешно эксплуатируемый в нем суперкомпьютер на момент ввода в строй в 2010 г. был самым мощным в мире). Живой интерес аудитории вызвал совместный интернациональный доклад доктора Оу Бау, В. А. Китова и В. В. Шилова "Советско-китайское сотрудничество на заре компьютерной эры (1953—1967)", который стал предметом оживленной дискуссии. В дополнение к докладом на симпозиуме, в заполненной до отказа главной аудитории университета В. А. Китов и В. В. Шилов про-

читали лекцию "Влияние советской компьютерной науки на создание первых ЭВМ в странах социалистического лагеря", а Д. Ю. Щербинин — лекцию по технологии 3D-анимации.

Нельзя не остановиться особо на четкой организации китайской стороной визита российских ученых. Встречи и проводы в аэропортах Пекина и Чанши; трансферы в гостиницы и к местам проведения конференций и лекций; визиты в ряд НИИ Китайской академии наук; подача автомобилей; товарищеские бранчи, обеды и ужины с коллегами — все было организовано по-деловому четко, без излишней помпезности, многословия и суеты. Расписание визита россиян соблюдалось его китайскими организаторами с точностью до минуты. Просто поразительно, но за весь период столь насыщенной различными мероприятиями поездки не было ни малейшего сбоя!

Столь же продумана принимающей стороной была и насыщенная культурная программа визита. В Пекине российские ученые имели возможность побывать на Великой Китайской стене, осмотреть Храм Неба и так называемый "Запретный город". В Чанше российская делегация посетила находящийся в часе езды от города мемориальный комплекс и дом-музей, в котором родился Председатель Мао, а также самый древний в Китае университет Хунань, основанный в 976 г.

В. В. Шилов,

МАТИ имени К. Э. Циолковского

CONTENTS

Orekhov E. Yu. *Generating Instances to Test Heuristic Algorithms for Rectangular Cutting-Packing* 2

In this paper we suggest and substantiate a method to construct a uniform generator of instances for the rectangular cutting-packing problem. The method is used to estimate and compare the quality of several heuristic cutting-packing algorithms.

We also give an example of using a generator to compare two heuristic algorithms that solve a rectangular cutting-packing problem defined by a set of continuous parameters.

Keywords: rectangular cutting-packing problem, heuristic algorithm, statistical estimation of quality, uniform generation of problem instances

Asratian R. E., Lebedev V. N. *Using Proxy-Servers in Distributed Systems*. 7

Methods of the organization of information interaction in the distributed systems, based on the proxy-servers technology are considered. The main directions of this technology application in development of systems on the basis of Web technology and .NET architecture are described. Examples of proxy-servers technology application for the solution of such tasks, as the interactions support between remote private networks and protection of SOAP messages in information queries are given.

Keywords: distributed systems, Internet technologies, information security

Aryashev S. I., Kornilenko A. V., Zubkovskaya N. V., Sayapin P. V. *Memory Subsystem Performance Increasing by Data Buffering Method*. 11

Methods of increasing memory subsystem performance of superscalar microprocessors with embedded system controllers are considered. A test suite for evaluating performance of these microprocessors is proposed.

Keywords: memory subsystem performance, data buffers, cache memory, external memory controller, performance evaluation

Gainullin R. F., Bragin D. G. <i>Diagram Languages Analyzer for Microsoft Visio</i>	18
--	----

This article is about use of automatic grammars for the purpose of analysis of graphical specifications. This article is also describes architecture of Microsoft Visio extension for syntax and semantic control of UML and IDEF diagrams.

Keywords: graphical languages, automatic grammars, syntax and semantic grammars

Polyakov S. D. <i>Application of the Standardized Models of Quality when Developing Requirements to Computer Systems</i>	22
---	----

Results of the analysis of new international standard ISO/IEC 25010, and also other operating standards in the field of quality of information systems and the software are given. On the basis of the standardized models of quality the new methodical approach is offered at formation of requirements to computer systems. Functional components of processes of development of requirements are brought to computer systems, model of requirements and an assessment of quality of the computer systems which application will allow to increase quality, safety and competitiveness of production of information technologies in the international and Russian markets.

Keywords: computer systems, requirements, ensuring quality, safety, the competitiveness, the standardized models of quality, the international standards, functional components, models of requirements to quality, models of an assessment of quality

Kleimenova E. M., Skobelev P. O., Larukhin V. B., Mayorov I. V., Kosov D. S., Simonova E. V., Tsarev A. V., Feoktistov A. L., Polonchuk E. V. <i>Smart Projects Intelligent System for Operative Real-Time Management of Research and Development Projects</i>	27
---	----

Intelligent system for management of research and development projects that implements adaptive scheduling mechanism based on multi-agent technology is proposed. The developed system provides the support for full cycle of project management, from the initial planning to rescheduling according to the crucial events and coordination with executives for real-time task execution control. Foremost, the created system is designed for exploitation in aerospace enterprises which are characterized as complex, innovative and manufacturing unique products.

Keywords: project management, research projects, development projects, adaptive planning, multi-agent technology, real-time

Moiseev V. S., Tutubalin P. I. <i>Probabilistic Dynamic Model of the Software Active Protection Mobile Distributed Control</i>	37
---	----

Offered the composition of functions (tasks) of active protection of information systems. To describe the process of setting all of the time developed a Markov model of software tools such as applied to mobile distributed control system that has a limited operating time at each place of their deployment. The methods for calculating the probability and timing of operation of each set of programs that solve the problem of active defense system. The example of simulation and characteristics of the proposed software.

Keywords: active protection, information system, Markov model, a mobile, distributed process control

Borovski A. S., Tarasov A. D. <i>Physical Defense System Automatic Projecting Based on Functional and Structurally — Logic Flow Models</i>	43
---	----

It is describing method for decision making assistance in potentially-dangerous objects physical defense system automatic projecting. In objects model using data about industrial-technological process, which combined with information about object structure, and modified Data Flow Diagrams standard used for this. Method allows object critical elements influence to each other estimating and features of industrial-technological process are considered at physical defense system creation.

Keywords: potentially-dangerous object, physical defense system, fuzzy variables, Data Flow Diagram, Analytic Hierarchy Process

Berdnikov S. V., Arkhipova O. E., Lychagina Yu. M. <i>The Concept of an Integrated Informational System of Marine Environmental Management of the Coastal</i>	49
--	----

This work describes the methodological approach to create the integrated informational system of marine environmental management. The concept is based on the previously developed prototype regional environmental information systems (REIS) of the Barents and White Seas. The approach relies on the use of systems analysis, Databases theory, GIS-technologies.

In its structure, it includes information and referral subsystem to service the relevant modules unified model of large marine ecosystems: "Oceanographic variability and biological productivity"; "Trophodynamics exploited populations and fisheries management"; "Pollution of the environment and biota"; "Socio-economic development"; "Environmental risk assessment of marine-related activities." As one of the last elements of the subsystem, which is already implemented, and software is protected by two certificates of the Russian Federation on a computer program, consider the structure of the ICU "Cadastre PA White and Barents Sea."

Keywords: system approach, sustainable development, coastal zone, information technology, databases

Ivanova K. F. *Prediction Model of a Temperature Distribution for the Long-Term Forecast in the Active Layer of Soil*54

In work the prediction model of the temperature distribution in an active layers of soil for long-term forecast as modify of the previous model for the short-term daily forecast is offered. Construction of model will be carried out on the basis of the solution of the equation the heat conductivity and revealing of conformity between numerical solution and measurable data. The estimation of sensitivity of model is based on representation of influence factors and the bound conditions by not exact values, but the intervals initiating the maximal deviations of results of the numerical solution of the equation. The range of the received interval borders of a temperature distribution, caused by uncertainty of soil characteristics and parameters of external influence, defines an estimation of the solution.

Keywords: prediction model, spring-summer period, measurable data, long-term forecast, temperature distribution, external influence, an estimation of sensitivity, interval, estimation of the solution

Bekirova L. R. *Questions on Optimization of Transformation of Color Signals upon Fusion of Satellite Panchromatic and RGB Images*60

The existing RGB vegetation indices used for fusion of spectral and panchromatic images are systematized. The expedience of use of Shannon's entropy calculation formula as a target functional for optimization of spectral signals for fusion of RGB and panchromatic images. The variation optimization of transformation of spectral signals used for fusion of RGB and panchromatic images is carried out.

Keywords: remote sensing, optimization, color images, images fusion, entropy

Vasin N. N., Kurinskiy V. Yu. *A Way to Extend Functionality of Video Surveillance Systems*63

There is proposed a method of processing video signals, supplementing the functions of video surveillance systems ability to measure the velocity of the extended objects. The objects are considered uncoupled in sorting slides, locomotives and wagons to the depot and station tracks.

Keywords: CCTV systems, video processing, measurement of the speed of moving objects long, locomotives, railway cars

Agaev F. G., Asadov H. G., Khalafov R. V. *Method for Estimation of Biodiversity in Ecological Systems*66

The most used indices of biodiversity are analyzed and their shortages are stressed out.

The new concept for estimation of biodiversity is suggested. The concept provides for inclusion of stabilization function with given stable value of modified Simpson index and determines the minimal value of Shannon index. The capability to control indices in direction of their equalizing is shown.

The dual feature of the suggested new concept for estimation of biodiversity is shown.

Keywords: biodiversity, optimization, stabilization function, aerosol, atmosphere

Адрес редакции:

107076, Москва, Стромьинский пер., 4

Телефон редакции журнала (499) 269-5510

E-mail: it@novtex.ru

Дизайнер *Т.Н. Погорелова*. Технический редактор *Е. В. Конова*.

Корректор *Т. В. Пчелкина*.

Сдано в набор 05.04.2013. Подписано в печать 22.05.2013. Формат 60×88 1/8. Бумага офсетная.

Усл. печ. л. 8,86. Заказ ИТ613. Цена договорная.

Журнал зарегистрирован в Министерстве Российской Федерации по делам печати, телерадиовещания и средств массовых коммуникаций.

Свидетельство о регистрации ПИ № 77-15565 от 02 июня 2003 г.

Оригинал-макет ООО "Авансед солюшнз". Отпечатано в ООО "Авансед солюшнз".

105120, г. Москва, ул. Нижняя Сыромятническая, д. 5/7, стр. 2, офис 2.