

С. Л. Беляков, д-р техн. наук, проф., e-mail: beliacov@yandex.ru,

А. В. Боженюк, д-р техн. наук, проф., e-mail: avb002@yandex.ru,

Южный федеральный университет,

С. А. Зубков, ст. научн. сотр., e-mail: szubkov@sfned.ru,

Научно-технический центр Интех Южного федерального университета

Метод интеллектуального управления процессом интерактивного изучения пространственных данных для принятия решений¹

Рассматривается задача организации совместной работы пользователя и геоинформационной системы при выработке решения в пространственно заданной ситуации. Предлагается метод решения, основанный на использовании двухкомпонентной модели контекста в виде ядра и набора допустимых преобразований ядра, сохраняющих смысл контекста. Приведены результаты экспериментального исследования макета интеллектуальной системы для управления интерактивным анализом.

Ключевые слова: принятие решений, визуальный анализ, интеллектуальное управление, геоинформационный сервис

Введение

Интерактивное изучение географических карт, схем и планов применяется для принятия решений в самых различных сферах бизнеса, производства и планирования. Необходимый инструментарий для визуального анализа предоставляют геоинформационные системы (ГИС). Пользователь-аналитик и ГИС образуют систему, позволяющую решать трудно формализуемые задачи. Нахождению решения всегда предшествует визуальный анализ картографических материалов. В ходе анализа пользователь стремится достичь уровня ситуационной осведомленности, достаточного для принятия обоснованного решения. В осуществлении этой задачи ГИС оказывает аналитику информационную поддержку, предоставляя пространственные данные по его запросу. Интерактивное взаимодействие в рассматриваемой ситуации требует согласованности смыслового содержания потока картографических данных и целевой направленности поиска решения. Трудность поддержания согласованности возникает при решении нестандартных и трудно формализуемых задач. Из-за неопределенности,

неоднозначности и неполноты представления о возникшей проблеме пользователь-аналитик вынужден применять метод проб и ошибок. Первоначальная постановка задачи и поиск ее решений сменяются новой формулировкой цели поиска и повторной генерацией решений. В таких условиях достаточно вероятно, что ранее отобранные для анализа данные теряют полезность. В этом суть рассогласования. Работа по перенастройке средств поиска и модификации данных провоцирует когнитивную перегрузку и снижает качество принятых решений.

В данной работе предлагается метод управления ходом анализа, основанный на манипулировании аналитиком и ГИС рабочей областью визуального анализа. Рабочей считается локальная область карты ГИС, которую пользователь анализирует в сеансе. Рабочая область, с одной стороны, отражает состояние и поведение аналитика, с другой — воздействует на него и принимаемые им решения через созданные ГИС изображения. Особенностью предлагаемого подхода является использование знаний экспертов о проведении анализа.

1. Обзор публикаций по теме

Традиционная картографическая визуализация [1, 2] является базой картографического анализа ситуаций, требующих принятия ре-

¹Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 19-07-00074 и № 20-01-00197.

шений. Она основана на создании и повторном использовании специализированных тематических карт. Каждая тематическая карта соответствует некоторому классу задач и хранится в ГИС как информационный объект, представляющий картографические сущности, слои, шаблоны связи и ссылки на внешние источники данных, виды и форматы [3,4]. Рабочая область анализа представляет собой явно выбранную аналитиком тематическую карту. Любые модификации рабочей области выполняются пользователем в одностороннем порядке, без реагирования на них со стороны ГИС. Методы визуализации концентрируются на способах осмотра рабочей области и не учитывают ее смысловое наполнение.

Контроль восприятия изображения отсутствует. Число объектов и связей на изображении не учитывается, хотя это существенно влияет на восприятие. Таким образом, существующие методы картографической визуализации не ставят своей целью оптимизацию диалога. Процесс анализа всего лишь следует паттерну анализа, который заложен в тематическую карту.

Следует учитывать, что процесс анализа в системе аналитик—ГИС должен соответствовать определенным психологическим закономерностям, поскольку конечный результат совместной работы существенно определяется ментальным когнитивным процессом в сознании аналитика. Известный закон Хика (Hick's law [5]) указывает на возрастание времени принятия решения при увеличении числа и сложности рассматриваемых вариантов. Причиной является рост когнитивной нагрузки на пользователя. При анализе картографических изображений это проявляется в снижении динамичности рассмотрения карты или схемы ситуации. В то же время известно [6], что рассмотрение в различных ракурсах, масштабах, панорамирование картографического фрагмента является фундаментальным психическим процессом, необходимым аналитику для понимания смысла увиденного. Представление о том, что в процессе интерактивного визуального анализа восприятие играет важнейшую роль, согласуется с современными представлениями о влиянии визуализации на творческое поведение (creativity) [7]. Результаты данных работ указывают на необходимость минимизации когнитивной нагрузки, но не дают реального пути решения проблемы.

Важные общие закономерности выявлены в исследовании восприятия и запоминания информации. Известно исследование "фрагментации", влияющей на восприятие и запоминание информации [8]. Для визуального анализа карт,

схем и планов фрагментация означает структурированность представления. Элементами такой структуры должны стать пространственно-временные объекты и отношения, а связи между ними должны отображать значимость элементов для задачи анализа. Реализация "фрагментации" по понятным причинам требует дополнительного исследования.

Отметим также работы по проектированию, основанному на опыте диалога (User experience design, UX, UXD, UED), направленные на изучение поведения пользователя. В частности, закон Джейкоба (Jacob's law of Internet UX [9]) говорит о том, что профессионально ориентированные группы пользователей обладают неким общим интуитивным представлением о полезных интерфейсах. Так как картографические изображения можно рассматривать как интерфейс для получения пространственной информации, эта закономерность порождает гипотезу о существовании знаний о полезности изображений. Вопрос о форме их представления и способе получения остается открытым.

Интерактивный визуальный анализ больших данных является предметом активных исследований на границе психологии и UX. Примером является работа [10], в которой анализируется роль визуального анализа в современном понимании цифрового творчества ("digital creativity") применительно к анализу больших данных. Авторы, в частности, исследуют процесс формирования ментального образа проблемы как цикл рассмотрения изображения и переосмысления постановки прикладной задачи. Поиск технической реализации процесса целенаправленного формирования ментального образа является продолжением данного исследования.

Главным средством построения эффективных решений поставленной прикладной задачи в системе аналитик—ГИС является ситуационная осведомленность пользователя-аналитика [11]. Осознание цели, генерация соответствующих поставленной цели подзадач, поиск их решений через восприятие информации о ситуации реального мира, прогнозирование развития ситуации — таковы компоненты ситуационной осведомленности [12]. Достижение максимальной ситуационной осведомленности представляет собой научную и практическую проблему, которая решается уже много лет в технике, психологии, инженерии и дизайне [13]. Исследования средств диалога с техническими системами концентрируются на анализе когнитивных процессов при разрешении сложных ситуаций, в которых задействован оператор. Целью анализа является нахождение наилучшего распределения когнитивной на-

грузки в человеко-машинной системе за счет применения искусственного интеллекта [14]. Соответственно этому распределению конструируется интерфейс. Для рассматриваемой в данной работе задачи эти результаты должны быть адаптированы с учетом специфичности картографического анализа.

Особый подход к управлению изучением карт предлагается в неокартографии [15] и киберкартографии [16]. Неокартография возникла как особый способ представления пространственных данных геоинформационными сервисами, направленный на повышение уровня ситуационной осведомленности пользователя. Трудоемкость компоновки рабочей области анализа, необходимость принимать решение в жестких временных рамках стали причиной перехода к непрерывным (растровым) моделям земной поверхности. Анализируя данный принцип диалогового взаимодействия, можно заключить, что фотореалистичность отображения земной поверхности действительно порождает у пользователя яркие образы реального мира. Но внешняя привлекательность интерфейса не компенсирует недостаточный объем числовых и символьных атрибутов объектов и отношений, что на самом деле ограничивает ситуационную осведомленность. Исследования визуализации в указанных работах следует рассматривать как частное решение общей проблемы сложности интерактивного анализа геоданных.

Последние исследования в области визуальной информатики привели к идее интеллектуального управления процессом анализа. В работе [17] приведен обзор научных работ, связанных с принятием решений на основе визуальной аналитики. Акцентируется идея о том, что визуальный анализ сложных ситуаций перестает быть вспомогательным инструментом принятия решений. Он становится главным компонентом, который берет на себя управление процессом решения прикладной задачи. Особенный интерес представляет интеллектуальное управление для достижения глобально поставленной цели анализа. При этом обобщенность рассмотренных подходов не позволяет непосредственно реализовать механизм управления анализом в ГИС.

Подводя итог, можно заключить, что известные в настоящее время подходы к управлению процессом интерактивного анализа картографических данных для принятия решений не рассматривают пару аналитик—ГИС как систему, в которой ГИС должна вести себя рациональным образом. Интеллектуальный характер интерактивного взаимодействия существенно повышает качество информационной

поддержки принятия решений. Такой подход обладает несомненным преимуществом, но остается недостаточно исследованным.

2. Задача управления процессом анализа в общем виде

Управление процессом анализа необходимо при принятии решений в трудно формализуемых проблемных ситуациях. Поиск и сравнение вариантов решений при использовании ГИС представляет собой анализ последовательности картографических изображений, которая должна сохранять смысловую стабильность. Поскольку понятие "смысл" [18, 19] многозначно, под смыслом картографического изображения будем понимать объекты, отношения и категории, которые с высокой вероятностью отражаются либо ассоциируются с элементами ментального образа ситуации в сознании аналитика. Подчеркнем, что перечисленные выше сущности могут и не входить в текущую визуализацию подмножества данных. Стабильность понимается как сохранение смысла при изменении набора отображаемых объектов, отношений и категорий.

Рассмотрим задачу, которую должна решать интеллектуальная подсистема ГИС для управления анализом (ИПУА).

Пусть $\Omega = \{\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_n\}$ есть множество картографических объектов и отношений, хранящихся в информационной базе ГИС. Для решения прикладной задачи аналитик создает рабочую область $w \subset \Omega$, $|w| \ll |\Omega|$, в которую с помощью запросов через пользовательский интерфейс включает или исключает важные для анализа элементы $\omega_i \in \Omega$. Последовательность запросов $\{q_i\}_{i=0}^Q$ в процессе решения задачи порождает последовательность изображений, каждое из которых обладает определенной полезностью. Уровень полезности рабочей области оценивается функцией полезности

$$0 \leq F(w) \leq 1,$$

где $F(w) = 1$ соответствует максимально полезному, $F(w) = 0$ — совершенно бесполезному изображению. Мерой полезности, как показал анализ, следует считать уровень субъективного восприятия аналитиком изображения рабочей области, который характеризуется числом объектов рабочей области $N = |w|$.

Обозначим $C = \{c_k\}$ — множество контекстов, в каждом из которых поддерживается смысловое содержание изображений. Работа в контексте $c_m \in C$ говорит о том, что при конструировании изображений используется

ограниченное множество типов и экземпляров картографических объектов и установлены определенные правила визуализации рабочей области анализа. Описание контекста включает в себя знания экспертов, решавших задачи соответствующего класса.

Представим множество объектов рабочей области w в виде объединения двух компонентов:

$$\begin{aligned} w &= B \cup E \\ B &= \bigcup_j q_j, \quad B \subseteq \Omega, \\ B \cap E &= \emptyset, \quad E \subset \Omega, \end{aligned} \quad (1)$$

где B является множеством картографических объектов и отношений, отображенных по запросам $\{q_i\}_{i=0}^Q$. Назовем множество B скелетом. Скелетон образован сущностями, которые явно были запрошены через интерфейс пользователя. Множество E — окружение скелетона, включающее в себя сущности, влияющие на оценку ситуации пользователем. Объекты окружения автоматически добавляет ИПУА, реализуя оператор

$$E = K(B, c_m), \quad c_m \in C,$$

ставящий в соответствие множеству объектов скелетона множество объектов окружения в заданном контексте. Тогда в общем виде задачу управления анализом, которую должна реализовать ИПУА, можно описать следующим образом:

$$\begin{cases} F(w) \rightarrow \max, \\ w = B \cup E, \\ B = \bigcup_j q_j, \\ E = K(B, c_m), \\ j = 0, 1, 2, \dots \end{cases} \quad (2)$$

Задача (2) решается всякий раз в момент поступления очередного запроса от пользователя. На это указывает индекс $j = 0, 1, 2, \dots$. Таким образом, действия пользователя концентрируются на манипуляции скелетом, ИПУА формирует окружение.

Исходя из (2) работа системы аналитик—ГИС осуществляется по следующему алгоритму:

1. Аналитик регистрируется в сеансе работы с ГИС, определяя контекст предстоящего анализа.

2. Аналитик формирует запрос к картографической базе данных ГИС через пользовательский интерфейс.

3. Ядро ГИС исполняет запрос и формирует результирующее множество объектов, добавляя их к текущему скелетону.

4. Для текущего состояния скелетона ИПУА выполняет подбор объектов окружения так, чтобы добиться максимальной полезности рабочей области:

4.1. Уточняется контекст. Если результирующее множество существенно выходит за рамки контекста, определяется наиболее близкий по смыслу. Диалог продолжается в новом контексте. В противном случае сохраняется текущий контекст.

4.2. Пока уровень восприятия рабочей области неудовлетворителен, выполняется процедура изменения сложности, добавляющая или удаляющая картографические объекты.

5. ГИС визуализирует рабочую область.

6. Если сеанс не завершен, перейти к п. 2.

7. Завершить сеанс.

В приведенном алгоритме интеллектуальное управление анализом реализуется в п. 4. Главную роль здесь играет контекст, гарантирующий смысловую стабильность дальнейшего анализа. В рамках установленного контекста выполняется специальная процедура изменения сложности изображения. Рассмотрим особенности их реализации.

3. Концептуальная модель контекста

Под контекстом в области исследования контекстно зависимых систем традиционно понимают любую информацию, позволяющую идентифицировать сложившуюся ситуацию и предпринять адекватные действия для решения поставленной задачи [20]. Концептуальная и логическая структура контекста зависят от области приложения. Рассматриваемая задача требует особой концепции контекста, поскольку ставится цель стабилизации смысла процесса анализа.

Ключевым вопросом использования контекстов является выявление того из них, который в наибольшей степени соответствует смыслу текущей ситуации. Обычной практикой является использование разнообразных метрик близости. Метрики тесно связаны с концептуальной моделью самого контекста. В рассматриваемой задаче управления анализом понятие "смысл" предлагается формально отобразить описанием допустимых преобразований контекста, в рамках которых сохраняется интуитивно понимаемая суть процесса анализа. Если границы допустимых изменений нарушены, то смысл анализа в используемом контексте считается потерянным.

Представим контекст следующим образом:

$$c_m = \langle c_m^*, H(c_m) \rangle, \quad (3)$$

где c_m^* есть ядро контекста, включающее в себя фундаментальные знания об объектах и отношениях, свойственных данному контексту. На практике они отражают, например, научно обоснованный паттерн или общепринятый метод анализа проблемы. Ядро контекста включает знания о границах пространственной (L_s), временной (L_t) и семантической (L_a) области анализа.

Знания, сосредоточенные в c_m^* , необходимы, но недостаточны для сохранения смысловой стабильности анализа по следующим причинам:

1) сходство ядер не является единственным определяющим фактором для смысловой близости. Не менее важны знания о допустимых преобразованиях информационных компонентов контекста, которые не меняют смысл контекста. Подобные преобразования всегда ограничены интуитивными представлениями эксперта о сути анализа;

2) ядра контекстов не отражают имеющиеся у экспертов-аналитиков глубинные знания о переносе имеющегося опыта анализа на другие ситуации. В отличие от поверхностных, эти знания оперируют "разумными" (допустимыми) различиями ситуаций и объектов. Это позволяет экспертам принимать достоверные решения в новых, ранее не изученных условиях. Для задачи управления анализом отсутствие информации указанного содержания часто приводит к некорректному переносу опыта.

В целях повышения достоверности сравнения смысла контекстов в выражении (3) введен набор $H(c_m)$ допустимых преобразований границ области анализа, сохраняющих суть контекста c_m . В $H(c_m)$ входят объекты, отношения и функции, наличие (или отсутствие) которых в рабочей области анализа свидетельствует о сохранении контекстом его смысла.

Вопрос о том, насколько адекватно $H(c_m)$ отражают смысл контекста, решается организацией процедуры получения экспертного знания. Отметим, что допустимые преобразования не требуют аналитического описания, а представляют собой визуализируемые картографические объекты. Аналитик, таким образом, получает возможность в привычном интерфейсе пользователя ГИС передавать знания в образной форме.

4. Построение максимально полезной для анализа рабочей области

В задаче (2) функция полезности зависит от числа картографических элементов рабочей области $w \subset \Omega$. Максимально полезная

для анализа рабочая область должна включать в себя число элементов

$$N_{opt} = \arg \max(F(N)).$$

Зависимость восприятия от числа картографических элементов субъективна, однако на практике для каждого пользователя системы можно указать среднее число объектов N^* , которое позволяет ему комфортно воспринимать картографическое изображение рабочей области. Значение N^* не требует высокой точности для своего задания, поскольку по известному эмпирическому закону [21] изменение интенсивности восприятия логарифмически зависит от числа картографических элементов. То, что в соответствии с приведенными рассуждениями

$$N^* = \arg \max(F(N)),$$

не означает, что максимально полезная рабочая область строится простым удалением или добавлением объектов. Особенность картографических изображений состоит в том, что удаление или добавление заданного числа произвольно выбранных объектов может привести к смысловым искажениям. Из-за этого практически никогда не существует экземпляра рабочей области с $N_{opt} = N^*$. Поэтому необходимо реализовать алгоритм поиска решения, представляющего собой осмысленный соответствующий контексту вариант рабочей области с близким к N^* числом элементов.

Ядро контекста включает в себя компонент, необходимый для решения задачи (2) — описание важности объектов и отношений для проведения анализа. Данное отношение предпочтения позволяет программно отсортировать объекты рабочей области в порядке увеличения значимости. Эта информация используется программной процедурой изменения сложности **ChangeComplexity (WorkSpace, Context, Mode)**. Входными параметрами процедуры является множество объектов и отношений текущей рабочей области (**WorkSpace**), контекст (**Context**) и числовой показатель изменения сложности (**Mode**). Его положительное значение предполагает увеличение числа объектов рабочей области, отрицательное — уменьшение. Данная функция удаляет или добавляет объекты, сохраняя смысловое содержание изображения.

Поскольку функция полезности $F(N)$ является унимодальной с максимумом в точке N^* , для нахождения наилучшего приближения к нему достаточно найти и сравнить ее значения в ближайшей левой ($N_l < N^*$) и правой ($N_r < N^*$) точках. Алгоритм поиска имеет следующий вид:

1. Для текущего запроса q_i модифицировать скелетон B и сформировать его окружение $E = K(B, c_m)$. Вычислить $N_{new} = |B \cup E|$.
2. Если $N_{new} = N^*$, то перейти к п. 3, иначе
 - 2.1. Вычислить $\Delta N_1 = N_{new} - N^*$
 - 2.2. Изменить сложность рабочей области вызовом функции $N_1 = ChangeComplexity(w, c_k, \Delta N_1)$
 - 2.3. Вычислить $\Delta N_2 = N_1 - N^*$
 - 2.4. Изменить сложность рабочей области вызовом функции $N_2 = ChangeComplexity(w, c_k, \Delta N_2)$.
 - 2.5. Выбрать вариант, соответствующий $\max(F(N_1), F(N_2))$, считать его максимально полезным экземпляром рабочей области.
3. Визуализировать рабочую область.

5. Экспериментальное исследование ИПУА

Целью экспериментального исследования ИПУА была оценка границ эффективно-го применения метода управления анализом картографических изображений. Эксперимент проводился в корпоративной ГИС, информационная база которой занимает объем около 2,3 Тбайт и включает описание приблизительно 10^6 объектов. Система предоставляет геосервис для решения следующих групп прикладных задач:

- 1) учет и обслуживание технологического оборудования;
- 2) строительство и ремонт зданий и сооружений;
- 3) управление инженерными коммуникациями;
- 4) транспортная логистика на территории предприятия и на прилегающей территории;
- 5) управление энергоснабжением;
- 6) обеспечение наблюдения и территориальной безопасности;
- 7) реагирование на аварийные ситуации;
- 8) проектирование транспортной сети;
- 9) управление недвижимостью;
- 10) размещение и транспортировка опасных отходов производства.

Практически важными для пользователей геосервиса оказались следующие показатели качества: возможность сформулировать прикладную проблему и обозначить направление поиска решения (обозначим этот показатель A_1); возможность найти решение проблемы в условиях высокого риска (A_2); возможность находить удовлетворительные решения при жестких ограничениях на время его поиска (A_3); возможность снизить когнитивную нагрузку, вызванную необходимостью выполнения операций, не связанных напрямую с решением проблемы

(A_4). Перечисленные показатели используются как независимо, так и в комбинации. Поскольку в любом сочетании показателей один из них выступает как критерий, а остальные — как ограничения, экспериментальная оценка качества сервиса проводилась по каждому показателю $A_1 - A_4$ по отдельности. Оценка проводилась опросом пользователей-аналитиков. Предлагалось использовать 10-бальную шкалу оценки удовлетворенности, где 0 соответствует отсутствию влияния на процесс анализа, 5 — максимальному уровню полезности использования сервиса, (-5) — максимально отрицательному влиянию сервиса. Под отрицательным влиянием понималось появление данных, явно противоречащих логике анализа и затрудняющих его дальнейший ход.

Опрос проводился среди 23 аналитиков, использовавших геосервис с управлением анализом в течение одного месяца. В системе было описано 27 контекстов, которые могли использоваться при решении задач перечисленных выше групп. Примером может быть контекст "Склады", отображающий не только пространственное положение складских зданий и помещений, но и прилегающие транспортные, энергетические коммуникации, точки видеонаблюдения и средства аварийной защиты. При имеющемся числе контекстов вычисление по формуле (4) дали значение $Q^* = 4$, т.е. при явном выборе контекста пользователю из 27 возможных значений предлагается для выбора не более 4 вариантов перехода.

В таблице приведены результаты опроса пользователей сервиса. Столбцы соответствуют пронумерованным выше группам задач, строки — критериям $A_1 - A_4$.

На рис. 1—4 показаны диаграммы распределения оценок по отдельным показателям. Анализ диаграмм позволил сделать ряд выводов.

Наименьший эффект по показателю A_1 (рис. 1) получен при анализе аварийных ситуаций. Этот результат можно объяснить необходимостью для аналитиков следовать регламентированным процедурам, которые охватывают реально возникающие ситуации. По

Результаты опроса пользователей сервиса

Критерий	Номер группы задач									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
A1	2	3	4	4	2	3	0	1	1	3
A2	4	3	4	5	1	3	4	3	0	5
A3	4	4	4	4	5	3	4	5	4	5
A4	3	1	4	4	-1	3	4	1	0	2

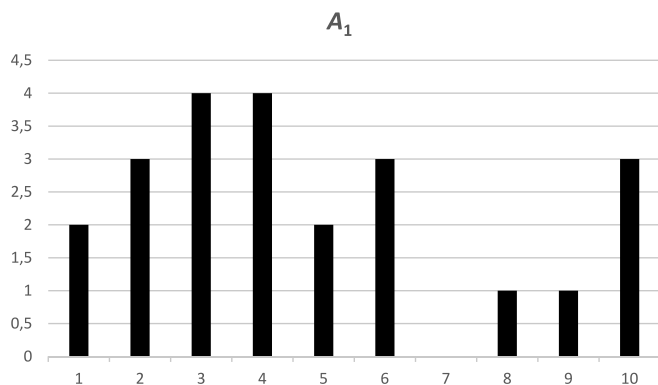


Рис. 1. Удовлетворенность сервисом при формулировке постановки задачи (A_1)

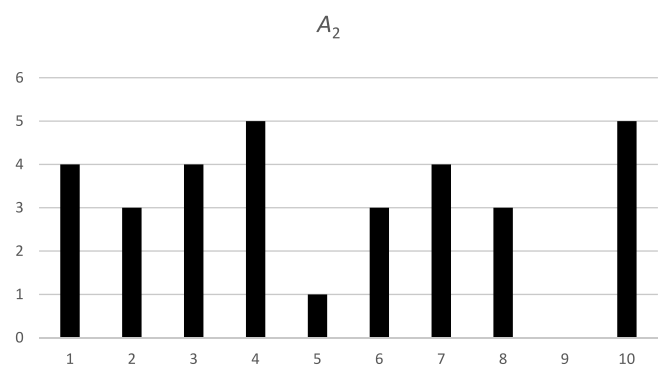


Рис. 2. Удовлетворенность сервисом для нахождения решения в условиях высокого риска (A_2)

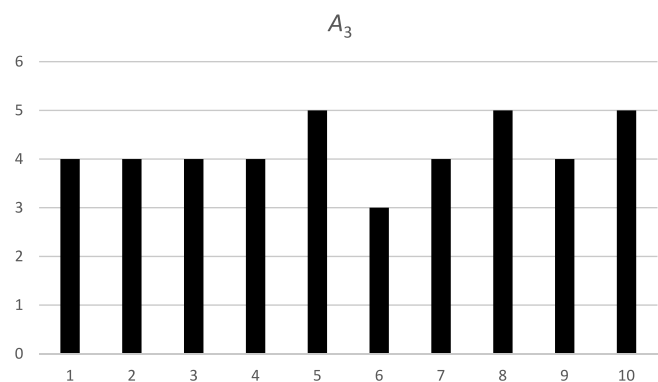


Рис. 3. Удовлетворенность сервисом при строгих ограничениях на время поиска решения (A_3)

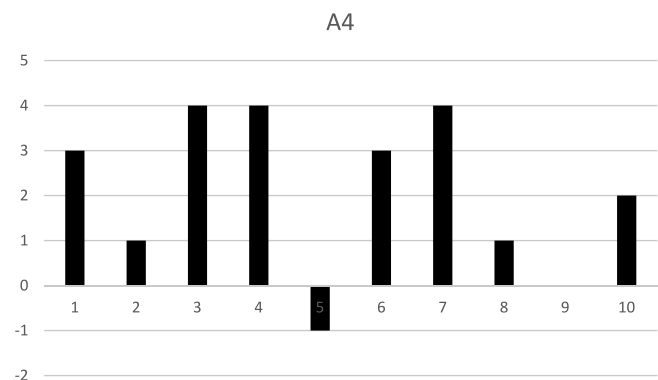


Рис. 4. Удовлетворенность сервисом относительно снижения когнитивной нагрузки (A_4)

существо, аварийные ситуации легко классифицировались. Об этом свидетельствует практическое отсутствие смены контекстов. Гораздо больший эффект по показателю A_1 наблюдался при решении задач, предусматривающих изучение территории. Например, при решении групп задач 3 сменялось в среднем пять контекстов. Можно предположить, что причиной являлась неопределенность исходных данных.

Как показывает диаграмма на рис. 2, эффект привлечения геосервиса для принятия ответственных решений (показатель A_2) оказался в среднем достаточно высоким.

Возможной причиной отклонения по группе задач 5 может объясняться невысокая значимость факторов пространственного размещения источников и потребителей энергии для принятия соответствующих решений.

Эффект по показателю A_3 , как видно из диаграммы на рис. 3, достаточно высок по всем группам задач, что может объясняться снижением избыточности картографических изображений и стабилизации их сложности в области наилучшего уровня восприятия.

Что касается снижения уровня когнитивной нагрузки (рис. 4), то заметен значительный разброс оценок. Например, для группы задач 5 удовлетворенность данным фактором отрицательна, т.е. возникали изображения, вызывающие у аналитиков дискомфорт. Возможной причиной появления подобной ситуации представляется отсутствие в предлагаемых аналитику контекстах необходимого смыслового наполнения.

Заключение

В данной работе предложен и исследован метод управления процессом интерактивного анализа картографических изображений, основанный на максимизации их полезности. Полезность обеспечивается отбором картографических объектов и отношений для визуализации в установленном контексте при ограничении на уровень восприятия изображений человеком-аналитиком. Решения, принимаемые в этом случае, имеют более высокое качество, что подтверждено результатами эксперимента.

Отличительной особенностью управления анализом является контроль его смысловой направленности. С этой целью предложено представлять контекст двумя компонентами — ядром и набором допустимых преобразований ядра, сохраняющих его смысл. Сопоставление интерактивных запросов аналитика с допустимыми преобразованиями позволяет не только обна-

руживать изменение смысла анализа, но и подбирать близкие по смыслу контексты. Динамическую смену контекстов можно рассматривать как специальный прием компенсации неопределенности относительно конечной цели анализа, которую поставил перед собой аналитик.

Экспериментальный анализ реализации предложенного метода управления показал, что наибольший положительный эффект наблюдается при решении трудно формализуемых прикладных задач в жестких временных рамках.

Список литературы

1. Longley P. A., Goodchild M. F., Maguire D. J., Rhind D. W. Geographic Information Systems and Sciences. Wiley, 2011. 560 p.
2. Shashi S., Hui X. Encyclopedia of GIS. New York: SpringerScience + Business Media, LLC, 2008. 2507 p.
3. URL: <https://www.autodesk.com/products/autocad/included-toolsets> (дата обращения: 25.03.20).
4. URL: <https://www.esri.com/en-us/arcgis/about-arcgis/overview> (дата обращения: 25.03.20).
5. Hick W. E. On the rate of gain of information // Quarterly Journal of Experimental Psychology. 1952. Vol. 4, N. 1. P. 11–26.
6. Gibson J. J. A Theory of Direct Visual Perception. J. Royce, W. Rozenboom (eds.). The Psychology of Knowing. NY: Gordon & Breach, 1972. 166 p.
7. Palmiero M., Nori R., Piccardi L. Visualizer cognitive style enhances visual creativity // Neuroscience Letters. 2016. N. 615. P. 98–101.
8. Colman A. M. A Dictionary of Psychology, (3 ed.). Oxford University Press, 2008. 560 p.
9. Jakob's Law of Internet User Experience. URL: <https://www.nngroup.com/videos/jakobs-law-internet-ux/> (дата обращения: 25.03.20).
10. Cybulski J. L., Keller S., Nguyen L., Saundage D. Creative problem solving in digital space using visual analytics // Computers in Human Behavior. 2015. Vol. 42. P. 20–35.
11. Endsley M. R. Design and evaluation for situation awareness enhancement // Proceedings of the human factors society 32nd annual meeting. 1988. P. 97–101.
12. Endsley M. R., Jones D. J. Designing for situation awareness: An approach to human-centered design. London: Taylor & Francis, 2004. 396 p.
13. Ziemke T., Schaefer K. E., Endsley M. R. Situation awareness in human-machine interactive systems // Cognitive Systems Research. 2017. N. 46. P. 1–2.
14. Nilsson M., van Laere J., Susi T., Ziemke T. Information fusion in practice: A distributed cognition perspective on the active role of users // Information Fusion. 2012. Vol. 13, N. 1. P. 60–78.
15. Turner A. Introduction to neogeography. Sebastopol. CA: O'Reilly, 2006. 212 p.
16. Taylor D. F., Lauriault T. P. Conclusion and the Future of Cybercartography // Developments in the Theory and Practice of Cybercartography, Applications and Indigenous Mapping. 2014. Vol. 5. P. 343–350.
17. Collins C., Andrienko N., Schreck T., Yang J., Choo J., Engelke U., Jena A., Dwyer T. Guidance in the human-machine analytics process // Visual Informatics. 2018. Vol. 2, N. 3. P. 166–180.
18. Чудова Н. В. Концептуальное описание картины мира для задачи моделирования поведения, основанного на сознании // Искусственный интеллект и принятие решений. 2012. № 2. С. 51–62.
19. Кузнецов О. П. Когнитивная семантика и искусственный интеллект // Искусственный интеллект и принятие решений. 2012. № 4. С. 32–42.
20. Dey A., Abowd G. Towards a better understanding of context and context-awareness // CHI 2000 Workshop on the What, Who, Where, When, and How of Context-Awareness. 2000. P. 304–307.
21. Mackay D. M. Psychophysics of perceived intensity: A theoretical basis for Fechner's and Stevens' laws // Science. 1963. N. 139. P. 1213–1216.

S. L. Belyakov, Doctor of Tech. Sc., Professor, e-mail: beliacov@yandex.ru,
A. V. Bozhenyuk, Doctor of Tech. Sc., Professor, e-mail: avb002@yandex.ru,
S. A. Zubkov, Senior Researcher, e-mail: szubkov@sfedu.ru,
South Federal University, Rostov-on-Don, 344006, Russian Federation

The Method of Intelligent Control of the Process of Interactive Study of Spatial Data for Decision Making

The paper considers the task of organizing a rational interaction between a geographic information service (GIS) and a user who analyzes spatial data. The purpose of the analysis is to develop a solution to an applied problem in conditions of incompleteness and uncertainty of information about both the final goal and the solution procedure. The work considers an interactive visual analysis of a space region, where the GIS delivers data from cartographic sources and the user compiles and analyzes the cartographic representation of the workspace in real-time. The task of guiding the analysis process to maintain its intelligent orientation is formulated. The meaning of the analysis process is associated with achieving situation awareness of the user, which will ensure the adoption of higher quality decisions. A control method based on the selection of an adequate context from the set of contexts described in the GIS has proposed. A two-component context model has proposed in the form of a kernel and a set of valid kernel transformations preserving the meaning of the context. The intelligent orientation of the analysis has stabilized using the proposed presentation. The problem of determining the optimal number of GIS contexts has considered which minimizes the complexity of the analysis and relation has obtained for its calculation. The problem of maximizing the utility of cartographic images generated by GIS at the user's request has formulated. A representation of the analysis workspace by skeleton and environment has proposed, which has used to ensure maximum utility. The results of an experimental study of the layout of an intelligent system for managing the analysis are presented too.

Keywords: decision making, visual analysis, intelligent management, geoinformation service

Acknowledgements: The reported study was funded by RFBR according to the research project № 19-07-00074 and № 20-01-00197.

DOI: 10.17587/it.26.394-402

References

1. **Longley P. A., Goodchild M. F., Maguire D. J., Rhind D. W.** Geographic Information Systems and Sciences, 3rd ed., Wiley, 2011.
2. **Shashi S., Hui X.** Encyclopedia of GIS, New York, SpringerScience + Buisness Media, LLC, 2008.
3. **Available** at: <https://www.autodesk.com/products/autocad/included-toolsets> (date of access: 25.03.2020).
4. **Available** at: <https://www.esri.com/en-us/arcgis/about-arcgis/overview> (date of access:: 25.03.2020).
5. **Hick W. E.** On the rate of gain of information, *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 1952, vol. 4. no. 1, pp. 11–26.
6. **Gibson J. J.** A Theory of Direct Visual Perception, J. Royce, W. Rozenboom (eds.), *The Psychology of Knowin*, NY, Gordon & Breach, 1972.
7. **Palmiero M., Nori R., Piccardi L.** Visualizer cognitive style enhances visual creativity, *Neuroscience Letters*, 2016, no. 615, pp. 98–101.
8. **Colman A. M.** A Dictionary of Psychology, (3 ed.), Oxford University Press, 2008.
9. **Jakob's** Law of Internet User Experience, **Available** at: <https://www.nngroup.com/videos/jakobs-law-internet-ux/> (date of access: 25.03.2020).
10. **Cybulski J. L., Keller S., Nguyen L., Saundage D.** Creative problem solving in digital space using visual analytics, *Computers in Human Behavior*, 2015, vol. 42, pp. 20–35.
11. **Endsley M. R.** Design and evaluation for situation awareness enhancement, *Proceedings of the human factors society 32nd annual meeting*, 1988, pp. 97–101.
12. **Endsley M. R., Jones D. J.** Designing for situation awareness: An approach to human-centered design, London, Taylor & Francis, 2004.
13. **Ziemke T., Schaefer K. E., Endsley M. R.** Situation awareness in human-machine interactive systems, *Cognitive Systems Research*, 2017, no. 46, pp. 1–2.
14. **Nilsson M., van Laere J., Susi T., Ziemke T.** Information fusion in practice: A distributed cognition perspective on the active role of users, *Information Fusion*, 2012, vol. 13, no. 1, pp. 60–78.
15. **Turner A.** Introduction to neogeography. Sebastopol, CA, O'Reilly, 2006.
16. **Taylor D. F., Lauriault T. P.** Conclusion and the Future of Cybercartography, *Developments in the Theory and Practice of Cybercartography, Applications and Indigenous Mapping*, 2014, vol. 5, pp. 343–350.
17. **Collins C., Andrienko N., Schreck T., Yang J., Choo J., Engelke U., Jena A., Dwyer T.** Guidance in the Human—Machine Analytics Process, *Visual Informatics*, 2018, vol. 2, no. 3, pp. 166–180.
18. **Chudova N. V.** Model of the world conceptualizing for the purpose of deliberate behavior simulation, *Iskusstvennyi Intellekt i Prinyatie Reshenii*, 2012, no. 2, pp. 51–62 (in Russian).
19. **Kuznetsov O. P.** Cognitive semantics and artificial intelligence, *Iskusstvennyi Intellekt i Prinyatie Reshenii*, 2012, no. 4, pp. 32–42 (in Russian).
20. **Dey A., Abowd G.** Towards a better understanding of context and context-awareness, *CHI 2000 Workshop on the What, Who, Where, When, and How of Context-Awareness*, 2000, pp. 304–307.
21. **Mackay D. M.** Psychophysics of perceived intensity: A theoretical basis for Fechner's and Stevens' laws, *Science*, 1963, no. 139, pp. 1213–1216.