

УДК 519.68:15:681.5

В. М. Гриняк, канд. техн. наук, доц., e-mail: victor.grinyak@gmail.com,
Дальневосточный федеральный университет,
Ю. С. Иваненко, студент,
Владивостокский государственный университет экономики и сервиса,
А. С. Девятисильный, д-р техн. наук, гл. науч. сотр.,
Институт автоматизи и процессов управления ДВО РАН

Погрешность измерения координат компьютеризированными РЛС, обусловленная скоростью передачи данных в распределенных информационных системах*

Статья посвящена проблеме построения цифровых систем радиолокационного наблюдения. Выдвигается тезис о том, что передача данных между компонентами распределенной системы обработки данных РЛС является важным фактором, ограничивающим точность измерений координат наблюдаемых объектов. Приведены данные натурного эксперимента по определению скорости передачи данных между двумя типовыми ЭВМ общего назначения, объединенных в сеть с помощью стандартного оборудования. На основе этих данных проведены расчеты возможных значений погрешностей измерений, обусловленных ограничениями на частоту и диапазон дискретизации РЛС-сигнала. Сделан вывод о том, что скорость передачи данных в распределенной информационной системе достаточна для измерения координат наблюдаемых объектов с точностью 5...10 м.

Ключевые слова: распределенная информационная система, радиолокационная станция, цифровая обработка сигнала, передача данных, погрешность измерения

Введение

Радиолокационные системы наблюдения являются важнейшим объектом приложения достижений современных информационных технологий и играют значительную роль в обеспечении контроля за движением объектов различного типа [1—3]. Несмотря на развитость современных спутниковых средств навигации (например, автоматическая идентификационная система (АИС) в судовождении [4]), именно радиолокационные инструменты продолжают составлять информационную основу систем наблюдения за морским и воздушным движением [5, 6], так как способны обеспечить бесперебойность и автономность их функционирования. Например, береговые и бортовые системы управления движением судов обязательно включают в себя одну или несколько радиолокационных станций (РЛС) кругового обзора [4].

В настоящее время характерна компьютеризация РЛС, состоящая в их сопряжении с ЭВМ с помощью специальных аналого-цифровых устройств

(радар-процессоров [7]). Радиолокационный отраженный эхосигнал оцифровывается и "вводится" в память ЭВМ (первичная обработка сигнала). Получаемые таким образом первичные цифровые данные передаются другим компонентам информационной системы (как правило, распределенной) для вторичной обработки.

Аналого-цифровое преобразование исходного эхосигнала характеризуется частотой и диапазоном его дискретизации. Высокая частота и большой диапазон дискретизации очень желательны, так как позволяют достигать высокой точности измерения координат наблюдаемых объектов и решать дополнительные задачи (например, выделять объекты на фоне помех, распознавать тип объекта по его радиолокационному образу, оценивать метеоусловия и т. п.) [8]. Вместе с тем, высокие значения частоты и диапазона дискретизации приводят к значительным объемам получаемых данных. Суть проблемы в том, что передача данных от блока первичной обработки к блоку вторичной обработки распределенной информационной системы имеет ограничения по скорости, обусловленные характеристиками используемых компьютеров, программной

* Работа поддержана грантом РФФИ, проект 15-08-00234.

платформы и сетевого оборудования. В условиях этих ограничений выбор тех или иных параметров аналого-цифрового преобразования исходного эхосигнала представляет собой актуальную задачу.

Промышленные системы наблюдения строятся с использованием специализированных ЭВМ и программных платформ, что определяет их высокую стоимость и ограниченную доступность специалистов-разработчиков и эксплуатационников нужной квалификации. Поэтому если решаемые системами наблюдения задачи не предъявляют высоких требований к надежности и защищенности (например, научно-исследовательские задачи), целесообразно обратиться к типовым компьютерам и программному обеспечению общего назначения.

Настоящая работа посвящена исследованию ограничений характеристик систем наблюдения, создаваемых на основе компьютеризированных РЛС кругового обзора с использованием типового компьютерного оборудования и программных платформ и связанных с конечностью скорости передачи данных в распределенных информационных системах.

Основные проблемные аспекты и постановка задачи

Пусть имеется типовая РЛС кругового обзора с периодом обращения антенны T_ϕ и частотой посылок ν_ϕ (частота дискретизации по азимуту). При таких значениях число линеек на один оборот антенны (т. е. число дискретных значений азимута) будет равно $n_\phi = \nu_\phi T_\phi$.

Пусть шкале дальности РЛС соответствует время приема линейки T_r и пусть каждая линейка преобразуется аналого-цифровым устройством с частотой дискретизации ν_r в массив значений. Тогда число элементов в этом массиве значений (т. е. число дискретных значений дальности) у каждой линейки будет равно $n_r = \nu_r T_r$.

Один оборот антенны РЛС формирует радиолокационный образ наблюдаемого пространства, который путем аналого-цифрового преобразования представляется в виде матрицы \mathbf{A} амплитуд отраженного эхосигнала с числом строк, равным n_ϕ , и числом столбцов, равным n_r . Матрица амплитуд обновляется с каждым оборотом антенны, т. е. один раз за время T_ϕ .

Система наблюдения, построенная на базе такой РЛС, имеет следующую архитектуру (рис. 1). Электрические видео- и синхронизирующие сигналы РЛС подаются на вход подключенного к ЭВМ аналого-цифрового преобразователя (АЦП). Полученная в результате такой первичной обработки матрица амплитуд \mathbf{A} передается по сетевому протоколу другой ЭВМ для вторичной обработки, включающей в себя сопровождение траекторий наблюдаемых объектов, определение их параметров движения и визуализацию навигационной обстановки в пользовательском интерфейсе.

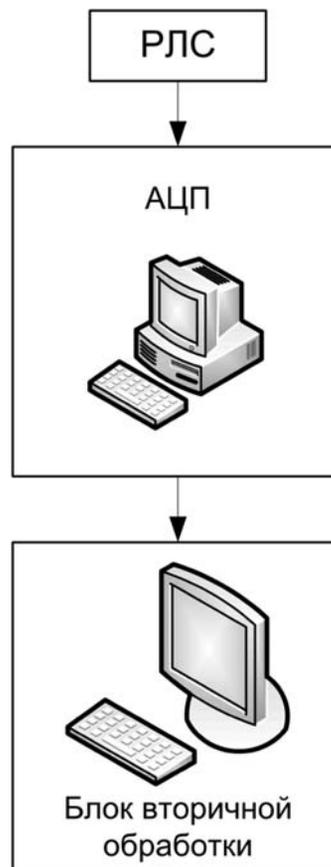


Рис. 1. Архитектура компьютеризированной радиолокационной системы наблюдения

В общем случае производительность современных типовых ЭВМ достаточна для решения базовых задач первичной и вторичной обработки сигнала. Вместе с тем, ввиду большого объема матрицы \mathbf{A} и ее частого обновления передача данных от блока первичной обработки к блоку вторичной обработки по сетевому протоколу является "узким местом" рассматриваемой системы радиолокационного наблюдения.

Архитектура современных программных платформ (операционных систем) позволяет обеспечить построение распределенных информационных систем путем использования многозадачности и передачи данных между процессами. Эти процессы, составляющие программную основу распределенной информационной системы, могут быть запущены параллельно друг другу и обмениваться данными как на одной, так и на различных ЭВМ, соединенных сетью. Имеется целый ряд инструментов для обмена данными между процессами [9].

Интерфейс динамического обмена данными (DDE-интерфейс). DDE-интерфейс предоставляет набор инструментов и сообщений, посылаемых между приложениями, использующими общую память, чтобы известить приложение об изменении данных. Приложения могут использовать протокол DDE как для однократной передачи данных, так и

для непрерывного обмена, в котором приложения посылают сообщения друг к другу, как только новые данные становятся доступны. Как правило, этот способ используется для передачи небольших объемов данных.

Почтовые слоты (mail slots). Mail slots — это специальные области памяти, для доступа к которым используются стандартные API-функции операционной системы для работы с файлами. Любой процесс может выполнять роль mail slot-сервера, создавая слот. Процесс, выполняющий роль mail slot-клиента, подключается к уже существующему слоту. Этот слот может располагаться как на текущем, так и на удаленном компьютере. И клиент, и сервер могут осуществлять как чтение, так и запись данных.

Именованные каналы (pipes). Именованные каналы используются для гарантированной передачи данных между двумя процессами, это своего рода "выделенная линия" между процессами. Одна из программ выполняет роль pipe-сервера, создавая канал и записывая туда данные, вторая программа — роль pipe-клиента, подключаясь к каналу (который может располагаться как на текущем, так и на удаленном компьютере) и читая данные. Достоинство этого способа — возможность обеспечить синхронизацию клиента и сервера.

Сокеты (sockets). Сокеты — абстрактные объекты, предоставляющие интерфейс для обмена данными между процессами. Каждый процесс может создать серверный сокет и привязать его к какому-нибудь порту операционной системы. Другой процесс создает клиентский сокет и подсоединяется к нему, после чего становится возможной передача данных через файловый дескриптор. Каждый сокет характеризуется своим сетевым адресом, что дает возможность передавать данные между процессами, запущенными на различных компьютерах.

Файлы, отображаемые в память (memory mapped files). Это способ работы с файлами, при котором всему файлу или его части ставится в соответствие определенный участок оперативной памяти. Для высокопроизводительного обмена данными между процессами используются непостоянные (non-persisted) файлы, отображаемые в память, которые не связаны с исходным файлом на диске. В этом случае фактически операционной системой создается общая память, доступ к которой процессы получают через файловый дескриптор. Достоинство этого способа — платформонезависимость.

Ввиду особенностей функциональности системы радиолокационного наблюдения для программной реализации обмена данными между блоками первичной и вторичной обработки наиболее подходящим является механизм именованных каналов (pipes). Его характеризует возможность синхронизировать работу блока вторичной обработки (pipe-клиента) с обновлением данных блока первичной обработки (pipe-сервером). При этом следует отме-

тить методологическую общность работы ядра операционной системы при реализации различных механизмов обмена данными между процессами, что приводит к близости их производительности и ресурсоемкости, в том числе — в разрезе различных операционных систем.

В настоящей работе ставится задача об оценке характерной скорости передачи данных от блока первичной к блоку вторичной обработки при использовании механизма именованных каналов (pipes). Это, в свою очередь, позволит оценить возможные предельные значения частот дискретизации радиолокационного образа по азимуту ν_φ и дальности ν_r , определяющих размерность матрицы амплитуд A .

Набор сценариев для оценки скорости передачи данных

Оценку характерной скорости передачи данных от pipe-сервера к pipe-клиенту будем проводить по результатам натурных испытаний. Имеются две ЭВМ, соединенные локальной сетью. На одной из них запускается программа-сервер, создающая именованный канал и генерирующая и записывающая в него данные. На второй ЭВМ запускается программа-клиент, читающая данные из именованного канала.

Скорость передачи данных определяется не только конфигурацией ЭВМ и сетевых устройств, но также используемой операционной системой и степенью загрузки ресурсов ЭВМ другими системными и прикладными задачами. Для анализа скорости передачи данных в различных условиях реализуем следующие тестовые сценарии.

Сценарий 1. Работа клиента и сервера без дополнительной нагрузки.

Сценарий 2. Параллельно клиенту и серверу запускается проигрывание видеофайлов с жесткого диска.

Сценарий 3. Параллельно клиенту и серверу запускается проигрывание видеофайлов из сети.

Сценарий 4. Параллельно клиенту и серверу запускаются ресурсоемкие приложения.

Первый сценарий условно моделирует идеальный вариант работы системы наблюдения как программного продукта, второй, третий и четвертый — различные аспекты загрузки ресурсов ЭВМ (процессор, память, сеть). В четвертом сценарии роль ресурсоемкого приложения выполняли компьютерные игры с богатой функциональностью.

Результаты натурных измерений скорости передачи данных

При постановке эксперимента использовались ЭВМ со следующими характеристиками: процессор Intel Core i5 с частотой 2,5 ГГц, память 4 Гбайт, сетевой адаптер со скоростью 1 Гбит/с, ОС Win7(64). Такие характеристики вполне соответствуют определению "типовая ЭВМ общего назначения".

На рис. 2 показаны графики, характеризующие значения скорости передачи данных C от рiре-сервера к рiре-клиенту. Рис. 2, а соответствует первому сценарию, рис. 2, б, в и г — второму, третьему и четвертому. В момент времени $t = 0$ последовательно запускались процессы сервера и клиента, в момент времени $t = 20$ с, после стабилизации распределения ресурсов ЭВМ, начиналось логирование данных. Из графиков видно, что скорость передачи данных составляет порядка 50 Мбайт/с (что более чем в 2 раза меньше теоретически возможной, обусловленной характеристиками используемого сетевого адаптера 1 Гбит/с). При этом имеют место колебания скорости порядка 5...10 %. Значения скорости передачи данных близки во всех четырех сценариях, т. е. скорость передачи данных не зависит явно от загрузки ресурсов ЭВМ, если нагрузка не экстремально велика.

Значения размерности матрицы амплитуд отраженного экосигнала A — число строк n_ϕ и число столбцов n_r — при известных размере одного элемента матрицы s (определяется диапазоном дискретизации), скорости передачи данных от блока первичной обработки к блоку вторичной обработки C и периоде обращения антенны РЛС T_ϕ связаны соотношением

$$n_r = \frac{CT_\phi}{sn_\phi}.$$

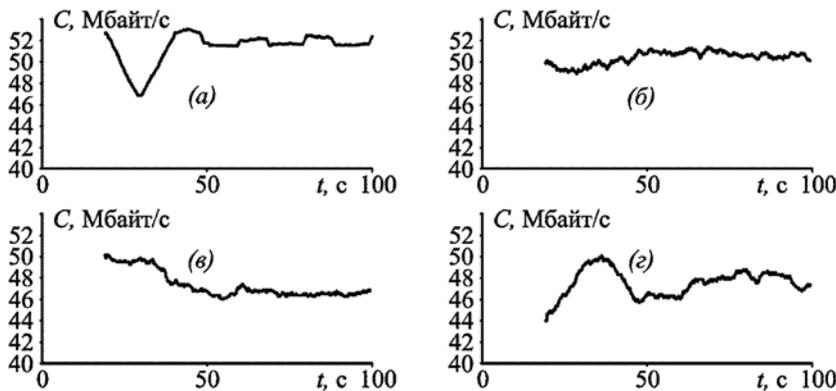


Рис. 2. Скорость передачи данных клиент — сервер

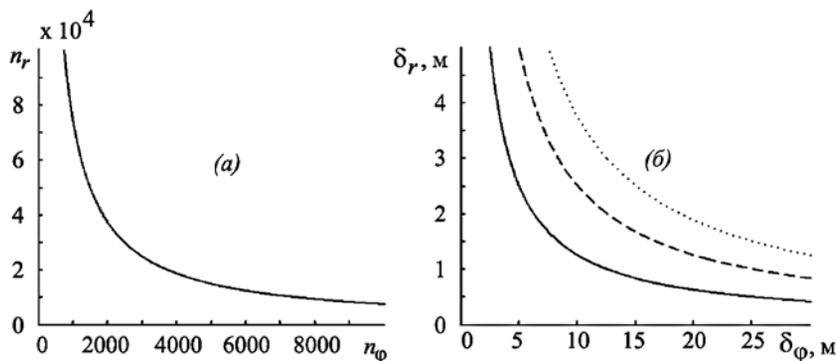


Рис. 3. Максимально возможные размеры матрицы амплитуд и соответствующие погрешности измерения координат

Погрешности измерения угла и дальности, обусловленные дискретизацией и выраженные в метрах, при размерности матрицы амплитуд $n_\phi \times n_r$ равны, соответственно, $\delta_\phi = 2\pi r/n_\phi$ и $\delta_r = R/n_r$, где r — расстояние до наблюдаемого объекта, R — максимальная дальность работы РЛС (определяемая выбранной шкалой дальности).

Рис. 3 иллюстрирует возможные значения погрешностей измерения координат наблюдаемых объектов, если скорость передачи данных от блока первичной обработки к блоку вторичной обработки C составляет 50 Мбайт/с, период обращения антенны РЛС T_ϕ равен 3 с, а размер одного элемента матрицы амплитуд s равен 2 байт. На рис. 3, а показана зависимость максимального числа столбцов n_r от числа строк n_ϕ при указанных значениях. Например, если частота посылок РЛС соответствует 4000 линий на один оборот антенны, то максимально возможное число дискретных значений дальности приблизительно равно 20 000.

На рис. 3, б показана зависимость минимально возможной погрешности измерения дальности δ_r от погрешности измерения угла δ_ϕ при $R = 30$ км и $r = 5$ км (сплошная линия), $r = 10$ км (штриховая линия), $r = 15$ км (пунктирная линия). Видно, что, например, для объекта, находящегося на удалении $r = 5$ км, при погрешности измерения угла δ_ϕ , равной 4 м, погрешность измерения дальности δ_r равна 3 м, что соответствует погрешности измерения местоположения в целом 5 м.

Заключение

Как показывают приведенные в статье эксперименты и расчеты, реально достижимая на типовой ЭВМ со скоростью сетевого адаптера 1 Гбит/с скорость передачи данных составляет порядка 50 Мбайт/с. В этом случае обусловленная дискретизацией РЛС сигнала погрешность измерения координат наблюдаемых объектов на характерных дальностях 10...15 км составляет порядка 10...5 м. Такие погрешности достаточны для решения многих задач наблюдения, связанных, например, с оценкой навигационной обстановки и обеспечением безопасности коллективного движения наблюдаемых объектов [10, 11].

Для задач, требующих на порядок меньшей погрешности измерения координат ~ 1 м [12], необходима на два порядка большая скорость передачи данных ~ 5 Гбайт/с, недостижимая для типового сетевого оборудования общего назначения. Решение таких задач требует разработки специальных приемопередающих устройств и алгоритмов обработки данных.

Список литературы

1. Лучков Н. В. Анализ объединения данных РЛС, их временная и пространственная привязки // Автоматизация процессов управления. 2015. № 1. С. 21—26.
2. Дмитриев В. И., Соляков О. В., Турецкий Н. В. Автоматизированное рабочее место судоводителя — настоящее и будущее // Вестник гос. университета морского и речного флота им. адмирала С. О. Макарова. 2014. № 4. С. 42—47.
3. Donderi D. C., Mercer C. R., Hong M. B., Skinner C. D. Simulated Navigation Performance with Marine Electronic Chart and Information Display Systems (ECDIS) // Journal of Navigation. 2004. Vol. 57. P. 189—202.
4. Ростопшин Д. Я., Антонова Д. А. О проблемах использования данных автоматической идентификационной системы в задачах управления движением судов // Мехатроника, автоматизация, управление. 2007. № 9. С. 63—69.
5. Дорожко В. М. Информационная технология идентификации начального этапа разгона морского судна // Информационные технологии. 2009. № 10. С. 65—70.
6. Дегтярёв О. В., Орлов В. С. Алгоритмы обнаружения и децентрализованного разрешения опасных сближений самолетов в воздухе, основанные на методе потенциальных полей // Изв. РАН. Теория и системы управления. 2013. № 5. С. 93—113.
7. Радар Процессор РП5М [Электронный ресурс]. URL: <http://www.ipmce.ru/custom/path3/> (01.09.2015)
8. Десятисильный А. С., Дорожко В. М., Гриняк В. М. Технология компьютерного моделирования радиолокационного эхосигнала // Информационные технологии. 2002. № 3. С. 42—49.
9. Сафонов В. О. Основы современных операционных систем. М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2011. 584 с.
10. Дорожко В. М. Радиолокационная регистрация начального этапа разгона морского судна // Измерительная техника. 2010. № 6. С. 23—28.
11. Гриняк В. М., Головченко Б. С., Десятисильный А. С. Нейронечеткая обучаемая система распознавания опасного сближения судов // Информационные технологии. 2014. № 9. С. 68—73.
12. Гриняк В. М., Десятисильный А. С. Идентификация воздушных объектов в системах управления движением судов // Транспорт: наука, техника, управление. 2012. № 8. С. 38—40.

V. M. Grinyak, Professor, Far Eastern Federal University, e-mail: victor.grinyak@gmail.com,
Yu. S. Ivanenko, Student,
Vladivostok State University of Economics and Service,
A. S. Devyatisilny, Professor, Institute of Automation and Control Processes, FEBRAS

Data Rate in Distributed Information System and its Effect on Digital Radar Measurement Error

Current paper is about evaluation of measurement errors at distributed digital radar system with limited network bandwidth. Radar system considered under this paper consists of 2 main blocks: ADC convertor that digitalize raw radar signal and block of secondary data processing. Since high sampling frequency generates big digital datasets that should be transmitted from ADC to secondary processing block(s) bandwidth has crucial impact on system accuracy. Authors emphasize their efforts on analysis the systems where secondary processing block is based on common widely available hardware. Typical personal computer as common hardware is considered as suitable for research purposes. This paper is emphasis on research of system limitation based on two-coordinate radar. Problem is states as following. ADC generates amplitude matrix by signals from radar. Rows of the amplitude matrix represent angular sampling and columns represent distance sampling. The matrix is transmitted to secondary processing block that is responsible for tasks like: recognizing objects, objects tracking and rendering. The paper refer to comparison of data transmission protocols between 2 physical hardware (PC based) connected into network. Following protocols are considered as potentially suitable for inter-process communications: DDE, Mail-slots, Named-pipes, Sockets, memory-mapped files. In this paper preference is given to named-pipes. Name-pipes have been used for all computational experiments of data transmitting speed evaluation. Computational experiments for the article have been performed for system of 2 personal computers connected to local network. In order to simulate different external conditions following types of tests have been performed on the system: both hosts running data receiving-transmission without extra load, both hosts running data receiving-transmission with extra CPU utilization, both hosts running data receiving-transmission with extra memory utilization, both hosts running data receiving-transmission with extra network utilization.

The paper presents the results of data transmission experiments on charts. For 1 Gbit/s Ethernet, average transmission speed is about 50 Mbyte/s with 5—10 % fluctuations rate. One of the results of the experiments that data transmission speed does not directly depend on CPU, memory, network utilization. Based on the experimental values of data transmission speed as main result of the paper given charts of dependency of maximum size of amplitude matrix and measurement error for typical radar system.

Keywords: distributed information system, radar, digital signal processing, data transfer, measurement error

References

1. **Luchkov N. V.** Analiz obyedineniya dannikh RLS, ikh vremennaya i prostranstvennaya privyazki, *Avtomatizatsiya processov upravleniya*, 2015, no. 1, pp. 21–26.
2. **Dmitriev V. I., Solyakov O. V., Turecky N. V.** Avtomatizirovannoye rabochee mesto sudovoditelya — nastoyashee i budushee, *Vestnik gos. universiteta morskogo i rechnogo flota im. admirala S. O. Makarova*, 2014, no. 4, P. 42–47.
3. **Donderi D. C., Mercer C. R., Hong M. B., Skinner C. D.** Simulated Navigation Performance with Marine Electronic Chart and Information Display Systems (ECDIS). *Journal of Navigation*. 2004, vol. 57, pp. 189–202.
4. **Rostopshin D. Ya., Antonova D. A.** O problemakh ispolzovaniya dannykh avtomaticheskoy identifikatsionnoy systemy v zadachack upravleniya dvizheniya sudov, *Mekhatronika, avtomatizatsiya, upravleniye*, 2007, no., 9, pp. 63–69.
5. **Dorozhko V. M.** Informatsionnaya tekhnologiya identifikatsii nachalnogo etapa razgona morskogo sudna, *Informatsionnye tekhnologii*, 2009, no. 10, pp. 65–70.
6. **Degtyarev O. V., Orlov V. S.** Algoritmy obnaruzheniya i detsekrizirovannogo razresheniya opasnykh sblizheniy samoletov v vozduhe (Broadcast algorithms for detection and decentralized resolution of unsafe approach of airborne aircraft based on the force field method), *Izvestiya RAN. Teoriya i sistemy upravleniya* (Journal of computer and systems sciences international), 2013, no. 5, pp. 764–782.
7. **Radar** Processor RP5M, URL: <http://www.ipmce.ru/custom/path3/> (01.09.2015)
8. **Dev'yat'silny A. S., Dorozhko V. M., Grinyak V. M.** Tekhnologiya komputernogo modelirovaniya radiolokatsionnogo ekhhsignala, *Informatsionnye tekhnologii*, 2002, no. 3, pp. 42–49.
9. **Safonov V. O.** Osnovy sovremennikh operatsionnykh system. Moscow: BINOM. Laboratoriya znaniy, 2011. 584 p.
10. **Dorozhko V. M.** Radiolokatsionnaya registratsiya nachalnogo etapa razgona morskogo sudna (Radar logging of the initial stage of acceleration of a vessel) // *Izmeritel'naya tekhnika* (Measurement techniques), 2010, no. 6, pp. 629–636.
11. **Grinyak V. M., Golovchenko B. S., Dev'yat'silny A. S.** Neyronechetkaya obuchaemaya sistema raspoznavaniya opasnogo sblizheniya sudov, *Informatsionnye tekhnologii*, 2014, no. 9, pp. 68–73.
12. **Grinyak V. M., Dev'yat'silny A. S.** Identifikatsiya vozdukhnykh objektov v sistemakh upravleniya dvizheniyem sudov, *Transport: nauka, tekhnika, upravleniye*, 2012, no. 8, pp. 38–40.

УДК 004.946

Р. Ю. Скоробогатов, аспирант, ассистент, e-mail: ro-m-a-n@yandex.ru,
Федеральное государственное образовательное бюджетное учреждение
высшего профессионального образования "Сибирский государственный университет
телекоммуникаций и информатики", Новосибирск

Расширение интерактивности компьютерной модели в телевизионной среде

Рассматривается методика внедрения виртуального персонажа в среду виртуальной телевизионной студии с дублированием движений от реального актера. Рассматриваются методы создания видеоролика с трехмерным аватаром. Показано, что Kinect второго поколения имеет значительно более качественные характеристики по сравнению с первым поколением. Приведены параметры оборудования, которые отвечают современным требованиям телеиндустрии.

Ключевые слова: Kinect, 3D, виртуальная телевизионная студия, рендер, виртуальная реальность, дополненная реальность

Введение

В последнее время телевидение переживает бурный рост. Трансляции таких важных событий, как зимняя Олимпиада 2014 г. в Сочи, чемпионаты мира по футболу и хоккею, которые пройдут в России в ближайшем будущем, требуют не только всестороннего обзора от команды работников, осуществляющих непосредственную трансляцию во время проведения матчей и соревнований, но также дополнительную работу в телевизионной студии: освещение состояния игроков, разбора матчей и многое другое, связанное с основным событием. Также для каждого крупного спортивного мероприятия разрабатывается свой персонаж-талисман, кото-

рый создается как в графическом исполнении — двухмерный рисунок, так и в 3D-формате.

Для ускорения и удешевления решения этих задач были разработаны виртуальные телевизионные студии (ВТС) [1] с интерактивной составляющей (смена декораций, появление дополнительных предметов и графиков в соответствии с событиями в студии). Однако при появлении виртуального персонажа в студии телеведущий взаимодействовать с ним не может, что делает показ телевизионной картинки "искусственным" для зрителя.

В качестве решения данной проблемы была разработана методика дополнения виртуальной студии компании СофтЛабНск "Фокус" [2] управляемым виртуальным персонажем.