

7. Костоглотов А.А. Синтез интеллектуальных измерительных процедур на основе принципа регуляризации А.Н. Тихонова. // Измерительная техника, 2001, №1.– С. 8-12.

8. Методы многопараметрической идентификации динамических систем на основе объединенного принципа максимума: монография / Д.С. Андрашитов, А.А. Костоглотов, А.И. Костоглотов, С.В. Лазаренко – Ростов-на-Дону: РТИСТ, 2011. – 104 с.

9. Андрашитов Д.С., Костоглотов А.А., Костоглотов А.И., Лазаренко С.В. Многопараметрическая вариационная идентификация динамических систем на основе объединенного принципа максимума // Информационно-измерительные и управляющие систем, 2012, № 4, т. 10. – С.68-76.

Сведения об авторах

Андрашитов Дмитрий Сергеевич – к.т.н., преподаватель Военной академии ракетных войск стратегического назначения имени Петра Великого

Andrashitov Dmitry Sergeevich – candidate of sciences, senior lecturer of Military academy of strategic rocket forces, e-mail: savilkin@mail.ru

Хиль Сергей Шотович – к.т.н., доцент МАТИ

Khil Sergei Shotovich – candidate of sciences, associate professor of MATI, e-mail: savilkin@mail.ru

Савилкин Сергей Борисович – к.т.н., доцент МАТИ

Savilkin Sergey Borisovich – candidate of sciences, associate professor of MATI, e-mail: savilkin@mail.ru

УДК 004.946

БЕСПРОВОДНАЯ СИСТЕМА ЗАХВАТА ДВИЖЕНИЯ НА ОСНОВЕ ПЛАТФОРМЫ БЕСПРОВОДНОЙ СЕНСОРНОЙ СЕТИ И ИНЕРЦИАЛЬНЫХ ДАТЧИКОВ

А.Н. Вабищевич, к.т.н, доц. Л.С. Восков

В статье проводится обзор типов систем захвата движения. Дается описание технологии беспроводных сенсорных сетей. Приводится описание системы захвата движения на основе беспроводной сенсорной сети и инерциальных датчиков. Система используется для проведения исследований алгоритмов взаимодействия элементов сенсорной сети. Измерительные устройства такой системы захвата движения представляют собой беспроводные устройства, которые крепятся к частям тела человека. Измерительные устройства предоставляют данные об ориентации частей тела человека. В данной работе решаются задачи уменьшения задержек при передаче данных и разработка беспроводной системы захвата движения.

In this paper a review of types of motion capture systems is presented. A description of a technology of wireless sensor networks is given. A description of a motion capture system based on a wireless sensor network and inertial sensors is given. The system is used for carrying out researches of algorithms of interaction of elements of a sensor network. Measurement elements of this system are wireless devices that attached to human body limb segments. They provide orientation data of these human limb segments. Within this research the tasks of reduction of time delays in case of data transmitting and a development of wireless motion capture system are solved.

Ключевые слова: *беспроводная система захвата движения, сенсорная сеть, инерциальный датчик, гироскоп, акселерометр, магнитометр, сетевое взаимодействие.*

Keywords: *wireless motion capture system, sensor network, inertial sensor, gyroscope, accelerometer, magnetometer, network interaction.*

Введение

Системы захвата движения являются одним из важнейших средств для анимации виртуальных персонажей и взаимодействия человека с трехмерной виртуальной средой [1]. Под системой захвата движения подразумевается система из специальных измерительных устройств, которые предоставляют информацию об ориентации и положении в пространстве частей тела человека. Измерительные устройства или их компоненты крепятся на тело человека. В зависимости от применяемой технологии измерительные устройства могут быть активными или пассивными.

Технологии носимых сенсорных сетей (*Wearable sensor networks/Body area sensor networks* [2-3]) предоставляют возможности для разработки специальных человеко-машинных интерфейсов, которые могут использоваться в различных типах приложений для взаимодействия с виртуальной средой.

Системы захвата движения успешно применяются в системах погружающей виртуальной реальности для взаимодействия с виртуальными объектами и ориентирования в виртуальном пространстве, в системах для анимации виртуальных персонажей для игр (аватаров) и кинематографа, в системах управления роботизированными манипуляторами, в тренажерных системах, в медицинских системах для исследований и лечения заболеваний опорно-двигательной системы [4].

Целью данной работы является исследование и разработка способа сетевого взаимодействия элементов системы захвата движения на основе беспроводной сенсорной сети.

В качестве объекта исследования данной работы выступает носимая беспроводная сенсорная сеть с измерительными устройствами для захвата движения человека.

Системы захвата движения

Захват движения (*Motion capture*) – это метод анимации виртуальных персонажей и трехмерных объектов с помощью данных об ориентации и положении в пространстве, которые предоставляются специальными измерительными средствами (системами) [1].

В настоящее время существуют несколько основных технологий для захвата движения: механические, инерциальные, магнитные, оптические, акустические. В основном используются проводные системы захвата или такие, в которых используется дополнительное специальное оборудование, которое требует специального помещения для своей работы.

Оптические системы захвата движения. Одними из основных видов систем захвата движения являются системы, основанные на использовании оптического распознавания специальных маркеров, которые крепятся на теле человека.

В оптических системах для захвата движения используются камеры с инфракрасной подсветкой и набор маркеров (активные или пассивные), которые крепятся к человеческому телу. В случае пассивных маркеров отражаемый от них свет фиксируется камерами, а специальное программное обеспечение осуществляет обработку получаемых данных и формирует анимацию скелета человека. В

случае активных оптических системах используются инфракрасные светодиоды, которые используются в качестве маркеров.

Магнитные системы захвата движения. Существуют системы захвата движения, основанные на использовании специально генерируемого электромагнитного поля и специальных датчиков. Датчики измеряют изменения по трем координатным осям в направлении магнитного поля, создаваемого генератором магнитного поля.

Изменение вектора направлений магнитного поля используется для измерения трехмерных положения и ориентации частей тела человека в рабочей зоне. Получаемые результирующие данные используются для анимации скелета человека.

Механические системы захвата движения. Механические системы захвата движения основаны на использовании специального механического экзоскелета, который крепится к человеческому телу. Измерительные устройства предоставляют информацию о механических сгибах, соответствующих сгибанию суставов частей тела человека.

Акустические системы захвата движения. В акустических системах захвата движения используются триады недорогих аудио приемников, расположенных на некотором удалении от человека, движения которого захватываются в данный момент, и набор аудио передатчиков, которые прикреплены к частям тела человека [5]. Эти передатчики последовательно передают закодированный радиосигнал и каждый из приемников измеряет время полета переданного сигнала. Вычисленные расстояния триангулируются для измерения движения точки (измерительного устройства) в трехмерном пространстве. Недостатком таких систем является то, что из-за последовательной природы получаемых данных требуется дополнительная обработка данных.

Инерциальные системы захвата движения. Инерциальные системы захвата в настоящее время получают широкое распространение. Такие системы основаны на использовании инерциальных микроэлектромеханических (МЭМС) модулей в качестве носимых измерительных устройств. МЭМС [6] – это технологии и устройства, объединяющие в себе микроэлектронные и микромеханические компоненты.

МЭМС модули представляют собой комбинацию трехосных датчиков ускорения, датчиков угловой скорости и датчиков магнитного поля. Комбинация данных с этих датчиков используется для представления ориентации в пространстве.

Анализ доступных автору литературных источников показывает, что в настоящее время растет интерес к беспроводным системам захвата движения. Такие системы имеют преимущества по сравнению с проводными вариантами систем, как то: простота в развертывании, использовании, нет привязки к рабочим помещениям, т.к. не требуется дополнительное оборудование для работы системы. В силу специфики работы беспроводных технологий при реализации беспроводной системы захвата возникают проблемы, требующие решения. Эти проблемы связаны с синхронизацией измерительных устройств, потерей пакетов с данными при их передаче, скоростью радиоканала и размером пакета, который передается по этому каналу с определенной частотой для захвата движения.

Беспроводные сенсорные сети

В данной работе рассматривается беспроводная сенсорная сеть как основа

для беспроводной системы захвата движения.

Основопологающим стандартом для передачи данных в беспроводной сенсорной сети выступает стандарт IEEE 802.15.4 [7]. Данный стандарт определяет физический уровень и управление доступом к среде для беспроводных персональных сетей. Этот протокол является основой для протокола ZigBee [8], который используется в качестве верхнего уровня в сенсорных сетях.

Стандарт IEEE 802.15.4 предназначен для использования в системах управления и сбора данных [9-10]. В качестве передатчиков радиосигнала используются дешевые маломощные радиопередатчики малого размера. Использование данного стандарта направлено на приложения, которые требуют длительное время работы от батарей и безопасность передачи данных. Технология поддерживает различные топологии беспроводной сети, ретрансляцию и маршрутизацию сообщений.

Для работы сенсорной сети предусматривается 3 частотных диапазона:

- 1 канал в диапазоне 868.0 – 868.6 МГц, скорость 20 кбит/с;
- 10 каналов в диапазоне 902 – 928 МГц, скорость 40 кбит/с;
- 16 каналов в диапазоне 2400 – 2483.5 МГц, скорость 250 кбит/с.

Сеть IEEE 802.15.4 содержит 2 типа устройств:

- полнофункциональные устройства (Full function device - FFD);
- устройства с уменьшенной функциональностью (Reduced function device – RFD).

Полнофункциональные устройства могут устанавливать соединения с любыми устройствами, а устройства с уменьшенной функциональностью – только с FFD. FFD могут использоваться в топологии любой конфигурации. Они используют полный набор функций протокола. Устройства RFD могут взаимодействовать только с FFD-устройствами. В устройствах RFD используется ограниченный набор функций протокола.

Каждая сенсорная сеть должна иметь координатор PAN. Он обеспечивает формирование сети, а также взаимодействие с PAN-координаторами других подсетей. В качестве PAN-координатора может выступать только полнофункциональное устройство FFD.

На рис. 1 представлены виды топологий сенсорной сети.

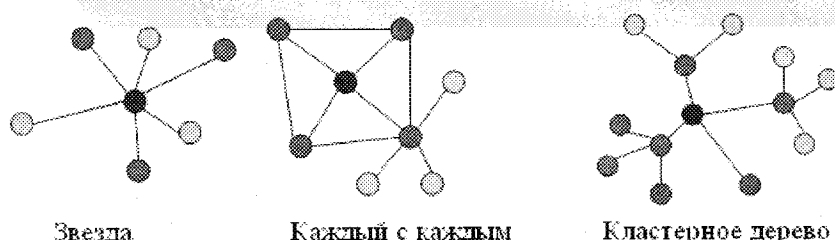


Рис. 1. Виды топологий сенсорной сети

- - PAN-координатор
- - полнофункциональное устройство FFD
- - устройство с уменьшенной функциональностью

Для функционирования сети ее устройствам присваивается свой адрес. Внутри сети PAN-координатор присваивает каждому из устройств 16-разрядный адрес, который используется для межсетевого взаимодействия.

PAN-координатор обеспечивает формирование сенсорной сети. Он может

устанавливать соединения с любыми устройствами сети.

Преимуществом сенсорных сетей является сверхнизкое энергопотребление, за счет того, что в промежутках между передачей данных устройства сети находятся в спящем режиме.

В случае помех, сбоя или выходе оборудования из строя сеть автоматически восстанавливается и самоорганизуется.

Одним из перспективных и активно развиваемых направлений использования сенсорных сетей в настоящее время являются, так называемые, носимые сенсорные сети (Wearable sensor networks/Body area sensor networks) [2-3]. В этих сетях измерительные устройства (датчики) крепятся к телу человека.

В качестве нестандартного применения сенсорной сети можно рассматривать сеть носимых датчиков (измерительных устройств), которая используется для предоставления данных об ориентации и положении частей тела человека в пространстве, т.е. носимая сенсорная сеть для захвата движения человека. Датчики предоставляют данные об ориентации в пространстве частей тела человека, к которым они прикреплены. Это стало возможно благодаря развитию технологии МЭМС.

При объединении беспроводной сенсорной сети и МЭМС датчиков ориентации получается беспроводная система захвата движения. Такая система может использоваться для определения ориентации частей тела человека или технических устройств [11, 12].

Для беспроводной системы захвата движения требуется такой вид связи между элементами системы, который обеспечивает приемлемое энергопотребление, возможность одновременного использования большого числа измерительных устройств, устойчивость к помехам, вызываемым беспроводными устройствами, находящимися в непосредственной близости от работающей системы.

Основное отличие вышеуказанного применения от стандартных носимых сетей заключается в том, что передача данных осуществляется не по запросу и не с небольшой частотой, которой достаточно для периодического измерения параметров мониторинга, а с достаточно высокой постоянной частотой. Высокая частота сбора данных требуется для обеспечения плавности воспроизведения движения на устройствах визуализации. Для полного соответствия виртуального воспроизведения физическому движению требуется, чтобы измерительные устройства располагались на как можно большем числе подвижных частей тела человека и их составных частях.

Проблемы беспроводного захвата движения. Из доступных источников [13-17] с результатами исследований по использованию беспроводной сенсорной сети для захвата движения видно, что в основном силы исследователей направлены на разработку алгоритмов определения ориентации, объединении данных с разных типов датчиков для формирования единого фрейма, представляющего ориентацию измерительного модуля в пространстве. Исследования направлены на создание беспроводной системы в целом.

В исследованиях не рассматриваются вовсе или недостаточно полно проблемы, связанные с задержками при передаче данных. Однако эти вопросы занимают немаловажное место в работоспособности беспроводной системы захвата

движения в целом.

Система захвата движения

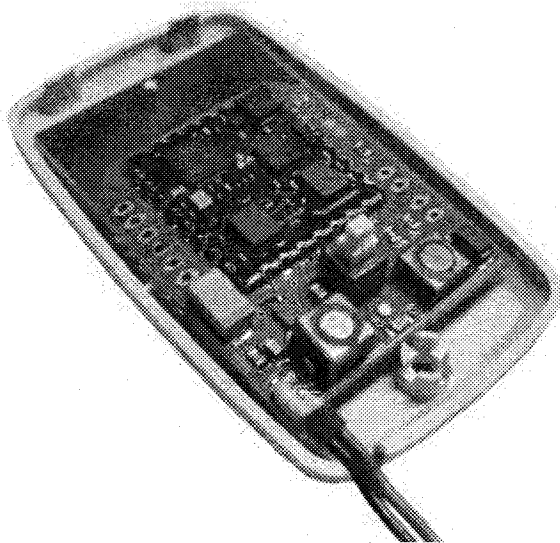


Рис. 2. Носимое измерительное устройство

В рамках данной работы для проведения эксперимента разрабатывается система беспроводного захвата движения на основе совместного использования инерциальных измерительных модулей и беспроводной сенсорной сети [11-12].

Система предназначена для использования в приложениях: системы погружающей виртуальной реальности, медицинские исследования, робототехника, анимация виртуальных персонажей для кинематографа, игровые приложения и другие.

Носимое измерительное устройство такой системы (рис. 2) представляет собой комбинацию модуля беспроводной сенсорной сети и инерци-

ального датчика. Инерциальный датчик включает в себя: датчик угловой скорости, датчик ускорения, датчик магнитного поля.

Носимое измерительное устройство и приемное устройство используют модуль JN5148 компании Jennic-NXP, UK в качестве прямо-передатчика. Передача данных осуществляется на частоте 2.4 ГГц. Модуль имеет встроенную керамическую антенну. Возможно использование модуля с подключением внешней антенны.

В носимом измерительном устройстве используется инерциальный модуль VN100 компании Vectornav, USA. Модуль включает в себя трехосные датчики: датчик угловой скорости, датчик ускорения (акселерометр) и датчик магнитного поля (магнитометр). Данные датчики обеспечивают диапазон измерений 360 градусов вокруг всех осей. Подключение к модулю сенсорной сети осуществляется через интерфейс SPI.

В рамках работы было разработано программное обеспечение для функционирования системы.

Программная часть системы захвата движения состоит из трех основных частей:

- программное обеспечение носимого измерительного устройства;
- программное обеспечение приемного устройства сети;
- программное обеспечение персонального компьютера.

Программное обеспечение носимого измерительного устройства предназначено для сбора данных с инерциальных датчиков и передачи их на приемное устройство сети.

Программное обеспечение носимого измерительного устройства обеспечивает выполнение следующих функций:

- поиск приемного устройства сети и подключение к нему;
- переключение к приемному устройству в случае внешних помех или потери соединения;

- прием управляющих сигналов с персонального компьютера и приемного устройства;
- конфигурирование подключенного к микроконтроллеру инерциального датчика;
- сбор данных с инерциальных датчиков (датчики ускорения, угловой скорости, магнитного поля) не менее 30 раз в секунду;
- формирование пакета данных для передачи на приемное устройство сети;
- передача обработанных данных и служебной информации на приемное устройство сети.

Программное обеспечение приемного устройства сети обеспечивает выполнение следующих функций:

- формирование сенсорной сети;
- включение новых носимых измерительных устройств в сеть;
- прием данных об ориентации носимых измерительных устройств по беспроводному каналу связи;
- передача получаемой информации на персональный компьютер;
- прием управляющих команд с персонального компьютера и передача их на соответствующие носимые измерительные устройства;
- передача конфигурационных параметров.

Программное обеспечение персонального компьютера предназначено для объединения данных со всех носимых измерительных устройств в единые временные фреймы, визуализации получаемых фреймов, сохранения данных для последующего использования.

Программное обеспечение персонального компьютера выполняет следующие функции:

- прием/передача данных через последовательный порт с/на приемное устройство сети;
- декодирование данных из полученного пакета;
- формирование временных фреймов данных от нескольких измерительных устройств;
- передача управляющих и конфигурационных параметров на приемное устройство сети;
- визуализация полученных данных с помощью трехмерной модели скелета;
- сохранение данных для последующего использования;
- воспроизведение ранее сохраненных данных;
- поддержка протокола VRPN (The Virtual Reality Peripheral Network) [18] для интеграции с существующими приложениями виртуальной реальности.

Интерфейс программы для визуализации движения представлен на рис. 3. Программа визуализации разработана на языках программирования высокого уровня Visual C#, Си и набором графических библиотек OpenGL.

Для визуализирования движения требуется трехмерная модель скелета человека. Обобщенная модель скелета для описания положения и ориентации может быть представлена как набор сочленений, соединенных костями, упорядоченными в древовидную структуру. Каждая кость моделируется как твердое тело, которое не допускает деформаций. Такие простые твердые тела могут быть математически описаны с помощью трехмерных векторов. Сложные тела могут строиться путем комбинирования простых тел с фиксированными сочленениями.

Простой скелет человека требует 15 костей (рис. 4). Такая модель подходит для захвата движения конечностей человека. При необходимости более точного отображения движения может использоваться расширенная модель скелета че-

ловека. Она может быть получена путем увеличения числа костей в ключевых областях скелета, таких как: позвоночник, кисти или стопы.

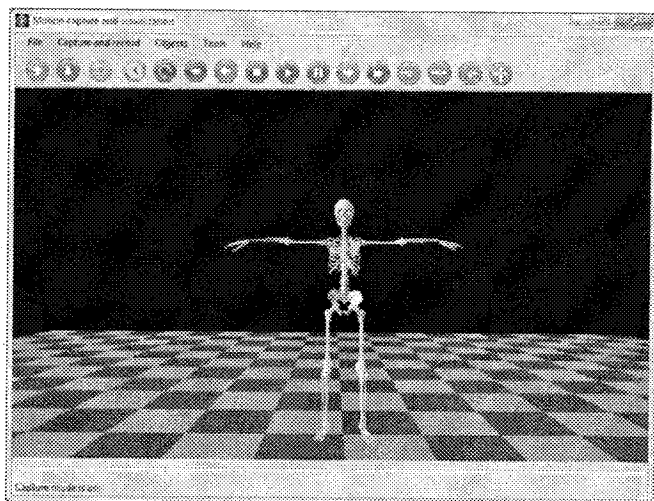


Рис. 3. Основное окно программы визуализации движения

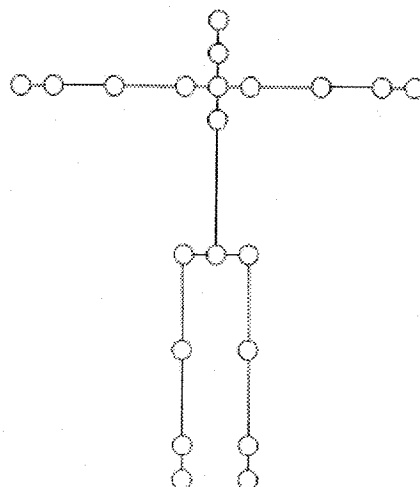


Рис. 4. Простая модель скелета человека

Для визуализации движения на трехмерной модели скелета человека используются кватернионы [19], т.к. они лишены недостатка «шарнирного замка», свойственного углам Эйлера, и требуют меньше вычислительных операций по сравнению с матрицами вращения.

Кватернион использует набор из четырех параметров: три представляют компоненты вектора, направленного вдоль осей Эйлера, а четвертый – это скалярное число.

Кватернион представляет трехмерное вращение в пространстве в качестве единичного вектора из четырех компонент (1).

$$q = (W, X, Y, Z) \quad (1)$$

Кватернион можно определить как формальную сумму (2)

$$n = ai + bj + ck + d \quad (2)$$

где a, b, c, d – вещественные числа, а i, j, k – мнимые единицы со следующим свойством (3):

$$i^2 = j^2 = k^2 = ijk = -1 \quad (3)$$

Кватернион представляет вращение (α) вокруг случайно оси (\vec{x}), избегая проблемы «шарнирного замка».

$$\begin{aligned} W &= \cos(\alpha/2) \\ X &= x_x \sin(\alpha/2) \\ Y &= x_y \sin(\alpha/2) \\ Z &= x_z \sin(\alpha/2) \end{aligned} \quad (4)$$

где \vec{x} – это единичный вектор по направлению оси вращения, α – итоговый угол вращения.

Кватернионы также используются в случае, когда требуется интерполяция ориентации.

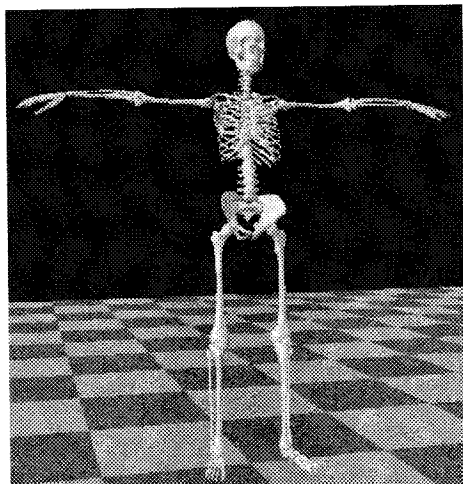


Рис. 5. Модель скелета человека

Модель тела представляется как совокупность суставов, упорядоченных в древовидную структуру. Каждый сустав имеет свой координатный фрейм. Положение дочернего сустава определяется с помощью смещения относительно родителя в родительском локальном координатном фрейме. Благодаря этому группа из нескольких суставов может быть прикреплена к одному родителю. Это делает возможным построение сложной структуры костей.

На рис. 5 представлена трехмерная модель скелета человека, используемая для визуализации движения.

Движение модели тела определяется с помощью прямой кинематики [20].

Заключение

Разработка беспроводной системы захвата на основе сенсорной сети и инерциальных датчиков является актуальной задачей. Для практического применения такой системы требуется, чтобы задержка между физическим движением и виртуальным его отображением была минимальна. Это обеспечивается использованием таких алгоритмов сетевого взаимодействия между измерительными устройствами системы, которые обеспечивают минимальные задержки при передаче данных.

В рамках данной работы решаются следующие задачи:

- Уменьшение задержек при передаче данных от измерительных устройств к приемному устройству сети в системе захвата движения. При увеличении числа измерительных устройств и из-за ограниченной пропускной способности радиоканала сенсорной сети возникают задержки и коллизии в передаче данных.
- Разработка системы захвата движения для проведения эксперимента и апробации сетевого взаимодействия ее устройств.

Литература

1. Midori Kitagawa, Brian Windsor. *MoCap for Artists: Workflow and Techniques for Motion Capture*. Oxford, England: Focal Press, 2008. – 216 p.
2. Benoît Latré, Bart Braem, Ingrid Moerman, Chris Blondia, Piet Demeester. A Survey on Wireless Body Area Networks. // *Journal Wireless Networks*, 2011, Volume 17 Issue 1, pp 1-18.
3. Mark A. Hanson, Harry C. Powell Jr., Adam T. Barth, Kyle Ringgenberg, Benton H. Calhoun, James H. Aylor, Lach J. Body area sensor networks: challenges and opportunities. // *Journal Computer*, 2009, vol.42, Issue 1, pp. 58 – 65.
4. Konrad Lorincz, Borrong Chen, Geoffrey Werner Challen, Atanu Roy Chowdhury, Shyamal Patel, Paolo Bonato, Matt Welsh. Mercury: A wearable Sensor Network Platform for High-Fidelity Motion Analysis. // *Journal SenSys*, 2009, vol. 1, pp. 183-196.
5. Daniel Vlasic, Rolf Adelsberger, Giovanni Vannucci, John Barnwell, Markus Gross, Wojciech Matusik, Jovan Popovic. *Practical Motion Capture in Everyday*

- Surroundings. // Journal ACM Transactions on Graphics (TOG), 2007, vol. 26, Issue 3, pp. 35:1-35:9.
6. An Introduction to MEMS (Micro-electromechanical Systems). /Wolfson School of Mechanical and Manufacturing Engineering Loughborough University. – Loughborough: PRIME Faraday Partnership, 2002. – 39 p.
 7. Sinem Coleri, ZigBee/IEEE 802.15.4 Summary. [Электронный документ] – Режим доступа: <http://pages.cs.wisc.edu/~suman/courses/838/papers/zigbee.pdf>. Дата обращения 23.09.12.
 8. ZigBee Alliance. Технология ZigBee. [Электронный документ] – Режим доступа: <http://www.zigbee.org/About/FAQ.aspx>. Дата обращения 23.09.12.
 9. Восков Л.С. Беспроводные сенсорные сети и прикладные проекты. // Автоматизация и ИТ в энергетике, 2009, № 2-3. – С. 44-55.
 10. Voskov L.S., Panfilov P.B., Vabishevich A.N., Komarov M.M., Efremov S.G. Universal wireless sensor networks technology platform and its applications. // Proceedings of the 1st International workshop on networked embedded and control system technologies: European and Russian R&D cooperation – NESTER, 2009, pp. 11-16.
 11. Вабищевич А.Н., Панфилов П.Б. Система отслеживания движений человека на основе технологии беспроводных сенсорных сетей для визуализации аватара. / Сб. докладов Междунар. научн. конф., посвященной 80-летию со дня рождения акад. В.А. Мельникова. Москва: Некоммерческая организация «Научный фонд «Первая исследовательская лаборатория имени академика В.А. Мельникова», 2009. – С. 91-95.
 12. Вабищевич А.Н. Беспроводная система трехмерной визуализации движения в реальном времени. / Сб. тезисов докл. «Научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых специалистов МИЭМ». М.: МИЭМ, 2009. – С. 145-146.
 13. Young A.D. Wireless realtime motion tracking system using localised orientation estimation. Doctor of philosophy. – Edinburgh, England: The University of Edinburgh, 2010. – 212 p.
 14. Qilei Li, Wenquang Jin, Weidong Geng. Virtual avatar control using wireless sensors. // Journal of computers, 2011, Vol. 6, № 2, pp. 184-189.
 15. Kwang Yong Lim, Francis Young Koon Goh, Wei Dong, Kim Doang Nguyen, I-Ming Chen, Song Huat Yeo, Henry Been Lirn Duh, Chung Gon Kim. A Wearable, Self-Calibrating, Wireless sensor network for body motion processing. // IEEE Intern. Conf. on robotics and automation. Pasadena: IEEE Press, 2008, pp. 1017- 1022.
 16. Philipp M. Scholl, Kristof Van Laerhoven. jNode: Sensor network platform that supports distributed inertial kinematic monitoring. / Networked sensing systems (INSS). Antwerp, Belgium: IEEE Press, 2012, pp. 1-4.
 17. Ahmed Faheem A wireless body area sensor network for posture detection. / Proceedings of computers and communications. Kerkyra, Corfu, Greece: IEEE Press, 2006, pp. 454 – 459.
 18. The university of north carolina at chapel hill. Virtual reality peripheral network [Электронный документ] – Режим доступа: <http://www.cs.unc.edu/Research/vrpn/>. Дата обращения 23.09.2012.

19. Hanson A.J. Visualizing quaternions. San Francisco, CA, USA: Elsevier Inc., 2006. – 498 p.
20. The University of UTAH. Course introduction to robotics, chapter 4: Forward kinematics for position. [Электронный документ] – Режим доступа: <http://eng.utah.edu/~cs5310/chapter4.pdf>. Дата обращения 23.09.12.

Сведения об авторах

Вабищевич Андрей Николаевич – аспирант Московского института электроники и математики Национального исследовательского университета «Высшая школа экономики» (МИЭМ НИУ ВШЭ).

Vabishevich Andrey Nikolaevich – postgraduate student, Moscow institute of electronics and mathematics of National research university «The Higher School of Economy», e-mail: voskov@narod.ru

Восков Леонид Сергеевич – к.т.н., доцент МАТИ

Voskov Leonid Sergeevich – candidate of sciences, МАТИ,
e-mail: voskov@narod.ru.

УДК 78.25.31

ОСОБЕННОСТИ РАБОТЫ СВЕРХШИРОКОПОЛОСНЫХ ИМПУЛЬСНЫХ ПЕРЕДАТЧИКОВ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫХ СИСТЕМ В УСЛОВИЯХ ЧАСТОТНЫХ ОГРАНИЧЕНИЙ, ПРИНЯТЫХ НА ТЕРРИТОРИИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

к.т.н. доц. С.В. Мацыкин, к.т.н. А.С. Рудько, к.т.н., доц. В.В. Осипов

Рассмотрена возможность применения сверхширокополосных импульсных систем передачи информации в условиях частотных ограничений по электромагнитной совместимости радиоэлектронных средств, накладываемых ГКРЧ Российской Федерации.

The possibility of application of ultra-wideband pulse-modulated systems of information transfer in conditions of frequency restrictions on the electromagnetic compatibility of radio electronic equipment, imposed by the state Commission of the Russian Federation.

Ключевые слова: *передача информации, электромагнитная совместимость, сверхширокополосный сигнал.*

Keywords: *information transfer, electromagnetic compatibility, ultra-wideband signal.*

Введение

В современном мире объемы потоков информации, передаваемых по радиоканалам, растут стремительно. Видеоизображения высокой четкости, массивы данных при межкомпьютерных соединениях, телеметрическая информация в больших системах – все это требует передачи десятков и сотен мегабит в секунду. В соответствии с теоремой К.Шеннона пропускная способность канала связи (максимальное количество информации, передаваемое по каналу), на который