

S.A. Atroshenko, I.A. Korolev

### EVALUATION OF MECHANICAL CHARACTERISTICS OF HIGH-CHROMIUM TOOL STEEL USING CORRELATION ANALYSIS ON A SCATTER DIAGRAM

The qualimetric estimation of high-chromium tool steel was carried out. It was shown that steels with lower carbon content and additional rare-earth metals alloying, as well as steels that were heat treated under an optimal regime have higher quality characteristics.

**Keywords:** high-chromium tool steel, scatter diagram, correlation analysis

#### References:

1. Atroshenko S.A. Improvement of high-chromium die steels doping tion // Bulletin ENGECON. Series:

Engineering. 2005. No. 3 (8). PP. 116-125.

2. Kharchenko M.A. Correlation analysis: Studies. allowance. - Voronezh.: Monograph, 2008. 30с.

Л.С. Восков, А.Н. Вабищевич

### ПРОБЛЕМА БЕСПРОВОДНОГО ЗАХВАТА ДВИЖЕНИЯ И СИСТЕМА ДЛЯ ЕЕ РЕШЕНИЯ НА ОСНОВЕ ПРОГРАММНО-АППАРАТНОЙ ПЛАТФОРМЫ БЕСПРОВОДНОЙ СЕНСОРНОЙ СЕТИ

В статье представлен обзор и анализ проблем существующих систем захвата движения. Дается описание технологии беспроводной сенсорной сети. Приводится экспериментальный образец системы захвата движения на основе беспроводной сенсорной сети и инерциальных датчиков для проведения исследований. Измерительные устройства такой системы представляют собой беспроводные устройства, которые крепятся к различным частям тела человека для предоставления данных об ориентации в пространстве этих частей тела.

В рамках данной работы решаются следующие задачи:

-уменьшение задержек при передаче данных от измерительных устройств к приемному устройству сети в системе захвата движения.

-разработка системы захвата движения для проведения эксперимента и апробации сетевого взаимодействия ее устройств. Система предназначена для использования в приложениях: системы погружающей виртуальной реальности, медицинские исследования, робототехника, анимация виртуальных персонажей для кинематографа, игровые приложения и другие.

**Ключевые слова:** система захвата движения, виртуальная реальность, беспроводная сенсорная сеть, инерциальный модуль, гироскоп, магнитометр, акселерометр, носимое измерительное устройство

Системы захвата движения являются одним из важнейших средств для анимации виртуальных персонажей и взаимодействия человека с трехмерной виртуальной средой [5]. 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.

В настоящее время существуют несколько основных технологий реализации систем захвата движения [5]. В зависимости от решаемых задач используется нужная технология. Каждая из технологий обладает своими достоинствами и недостатками. Существуют проводные и беспроводные системы захвата движения. Анализ доступных автору литературных источников показывает, что в настоящее время растет интерес к беспроводным системам захвата движения. Такие системы имеют



Достоинствами таких систем являются поддержка шести степеней свободы (ориентация и перемещение) и высокая точность в случае откалиброванной рабочей зоны.

#### 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. На рисунке 1 показан экзоскелет системы захвата движения Gypsy 7 от Animazoo, UK.

Недостатками таких систем являются: механические ограничения в видах движений, которые могут быть захвачены, требуется экзоскелет. Экзоскелет в определенной степени стесняет движения, поэтому такую систему захвата достаточно затруднительно использовать в ограниченных пространствах.

Достоинствами такой системы являются: относительная дешевизна по сравнению с системами, основанными на других технологиях, и достаточная для захвата точность измерительных устройств. В качестве преимущества такой реализации системы захвата движения может выступать обратная связь, обеспечивающаяся с помощью дополнительных вихромоторов.

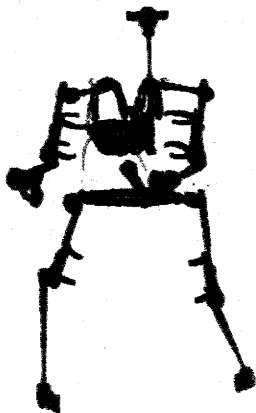


Рис. 1. Механическая система захвата движения Animazoo Gypsy, UK

#### 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. 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 их обработка.

Основным преимуществом таких систем является то, что порядок возникающих ошибок в данных соответствует оптическим системам. Однако у данного метода определения ориентации существуют и негативные стороны: используемые между элементами системы проводные каналы связи ограничивают возможности использования системы в определенных окружающих средах, где требуется большая свобода движений. Имеются ограничения в количестве одновременно используемых измерительных устройств, они не могут быть легко добавлены для увеличения сложности скелета захватываемого движения. Имеются ограничения, связанные размером области рабочей зоны. Она ограничена скоростью звука в воздухе и количеством приемников. На точность системы могут влиять внешние источники звука.

Примером акустической системы захвата движения может выступать система, разработанная в Массачусетском институте технологий [7]. В этой системе используется комбинация данных с ультразвуковых и инерциальных измерительных устройств. Система направлена на использование как в закрытых помещениях, так и на открытых пространствах. Может использоваться в качестве интерфейса взаимодействия с приложениями дополненной реальности.

#### 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 [8] - это технологии и устройства, объединяющие в себе микроэлектронные и микромеханические компоненты. Данная технология позволяет производить устройства, обладающие малыми размерами, высокой производительностью и точностью. Широкую популярность данная технология получила в производстве различного типа датчиков: датчики ускорения (акселерометры), датчики угловой скорости, датчики магнитного поля (магнитометры), миниатюрные микрофоны и т.д. МЭМС модули представляют собой комбинацию трехосных датчиков ускорения, датчиков угловой скорости и датчиков магнитного поля. Комбинация данных с этих датчиков с помощью фильтра Калмана используется для представления ориентации в пространстве. Использование МЭМС устройств обусловлено тем, что на рынке появились датчики, способные предоставить точные данные об ориентации и при этом обладающие погрешностью, незначительно влияющей на предоставляемые данные.

В таких системах инерциальные измерительные модули объединяются проводными каналами связи в специальном костюме для захвата движения.

Примерами коммерческих систем, использующих данную технологию, являются: система Animazoo IGS-180 (рис. 2), UK; Xsens MVN, the Netherlands.



Рис. 2. Система захвата движения Animazoo IGS-180, UK

Недостатками таких систем являются: высокая стоимость отдельных измерительных устройств и всего комплекта в целом.

Достоинства: высокая точность, не требуется дополнительного специального оборудования для работы системы.

Недостатки: дорогостоящие системы, измерительные устройства объединены проводными каналами, что затрудняет расширение системы дополнительными датчиками.

Для решения проблем, связанных с ограничениями в использовании систем захвата движения в специально оборудованном помещении и для захвата движения в нестандартных обстановках, проводятся исследования и разработки систем, которые использовали бы беспроводные каналы связи для передачи данных. Каждое из измерительных устройств является автономным объектом со своим источником питания (при необходимости несколько измерительных устройств используют общий источник питания). Такой подход обеспечивает простоту в развертывании системы, замене/добавлении новых измерительных устройств в работающую систему. Обеспечивается универсальность системы: они могут использоваться как для кинематографа, игр, так и для систем виртуальной реальности и медицинских исследований.

Примером исследований беспроводной системы захвата движения, использующей инерциальные датчики, является система Orient, UK [9], разработанная в университете Эдинбурга в рамках научной работы. Эта система использует для беспроводной передачи данных стандарт IEEE 802.15.4 (ZigBee). Инерциальные датчики, которые используются в данной системе, представляют собой комбинацию датчиков угловой скорости, ускорения и магнитного поля. Цель данной работы направлена на разработку алгоритмов по комбинации данных с разных типов датчиков.

В статье [10] описывается система захвата движения для анимации виртуального аватара для систем виртуальной реальности и игр. Основная цель исследования - это создание нового интерфейса для управления виртуальными аватарами в игровых приложениях, разработка алгоритма для определения ориентации на основе данных с разных датчиков (ускорение и магнитное поле). В системе используются собственные разработанные

измерительные модули, состоящие из датчиков угловой скорости и магнитного поля. Данные передаются по беспроводному каналу связи на частоте 2.4 ГГц. Недостатком такого беспроводного модуля является то, что данные с датчиков передаются на персональный компьютер для дальнейшей обработки и формирования фрейма ориентации. Для большого числа измерительных устройств требуется обработка большого объема данных на персональном компьютере.

### Беспроводные сенсорные сети

В данной работе рассматривается беспроводная сенсорная сеть как основа для беспроводной системы захвата движения.

Основополагающим стандартом для передачи данных в беспроводной сенсорной сети выступает стандарт IEEE 802.15.4 [11]. Данный стандарт определяет физический уровень и управление доступом к среде для беспроводных персональных сетей. Этот протокол является основой для протокола ZigBee [1], который используется в качестве верхнего уровня в сенсорных сетях.

Отличие стандарта IEEE 802.15.4 от других стандартов беспроводной передачи данных группы IEEE 802.1x заключается в том, что он обеспечивает низкое энергопотребление, большое число одновременно используемых в рамках сети узлов; различие в частотах с другими стандартами обеспечивает относительную помехозащищенность от бытовых устройств с беспроводной связью (ноутбуки, телефоны, точки доступа и другие устройства с Wi-Fi (IEEE 802.11) и Bluetooth (IEEE 802.15.1)). Стандарт IEEE 802.15.4 предназначен для использования в системах управления и сбора данных.

Технические характеристики стандарта IEEE 802.15.4

IEEE 802.15.4 является основополагающим стандартом в сенсорных сетях. В таблице 1 приведены сводные характеристики частотных диапазонов стандарта.

Таблица 1. Сводные характеристики частотных диапазонов стандарта IEEE 802.15.4

Частоты, МГц	Количество каналов, шт.	Скорость, кбит/с
868.0 – 868.6	1	20
902 – 928	10	40
2400 – 2483.5	16	250

Сеть IEEE 802.15.4 содержит два 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



Носимое измерительное устройство такой системы (рис. 4) представляет собой комбинацию модуля беспроводной сенсорной сети и инерциального датчика. Инерциальный датчик включает в себя: датчик угловой скорости, датчик ускорения, датчик магнитного поля.



Рис. 4. Носимое измерительное устройство

Приемное устройство сети подключается к персональному компьютеру через последовательный порт. Оно обеспечивает формирование сети и коммуникацию данных между программным обеспечением и измерительными устройствами системы.

Носимые измерительные устройства предоставляют данные об ориентации частей тела человека, к которым они крепятся. Данные об ориентации предоставляются по трем координатным осям (Roll, Pitch и Yaw).

В качестве беспроводного микропроцессорного модуля сенсорной сети измерительного и приемного устройств используется модуль JN5148 компании Jennic-NXP, UK. Передача данных осуществляется на частоте 2.4 ГГц. Модуль имеет встроенную керамическую антенну. Возможно использование модуля с подключением внешней антенны.

В качестве инерциального измерительного модуля используется инерциальный модуль VN100 компании Vectornav, USA. Данный модуль обладает малыми размерами и низким энергопотреблением. Он 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. Для питания измерительного устройства используются батареи питания напряжением от 3 до 6 В.

Такая система захвата движения используется для проверки разрабатываемых моделей и алгоритмов.

### Заключение

Разработка беспроводной системы захвата на основе сенсорной сети и инерциальных датчиков является актуальной задачей. Успешное практическое применение такой системы 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. Применительно к игровым системам и системам виртуальной реальности эта проблема вызывает проблемы восприятия и сопоставления тех действий, которые совершает пользователь системы, и тем, что происходит на экране монитора.

- разработка системы захвата движения для проведения эксперимента и апробации сетевого взаимодействия ее устройств. Система предназначена для использования в приложениях: системы погружающей виртуальной реальности, медицинские исследования, робототехника, анимация виртуальных персонажей для кинематографа, игровые приложения и другие.

### Литература:

- 1.Технология ZigBee. ZigBee Alliance, Ссылка в Internet: <http://www.zigbee.org/en/index.asp>
- 2.Восков Л.С. Беспроводные сенсорные сети и прикладные проекты // Сборник научных трудов, под ред. проф. д.т.н. Жданова В.С. - М.: МИЭМ, 2009.
- 3.Вабищевич А.Н., Панфилов П.Б. Система отслеживания движений человека на основе технологии беспроводных сенсорных сетей для визуализации аватара // Международная Научная конференция, посвященная 80-летию со дня рождения академика В.А. Мельникова - М., 19-20 февраля 2009г.: Сборник докладов Некоммерческая Организация Научный Фонд "Первая Исследовательская Лаборатория имени академика В.А. Мельникова", 2009г. С.91-95.
- 4.Вабищевич А.Н. Беспроводная система трехмерной визуализации движения в реальном времени // Тезисы докладов Научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых специалистов МИЭМ. - М.: МИЭМ, 2009. С.145-146.
- 5.Midori Kitagawa, Brian Windsor. MoCap for Artists: Workflow and Techniques for Motion Capture. Focal Press, 2008.
- 6.Konrad Lorincz, Bor-rong Chen, Geoffrey Werner Challen, Atanu Roy Chowdhury, Shyamal Patel, Paolo Bonato, Matt Welsh. Mercury: A wearable Sensor Network Platform for High-Fidelity Motion Analysis. School of Engineering and Applied Sciences, Harvard University, 2009.

7. Daniel Vlastic, Rolf Adelsberger, Giovanni Vannucci, John Barnwell, Markus Gross, Wojciech Matusik, Jovan Popovic. Practical Motion Capture in Everyday Surroundings. ACM Transactions on Graphics 26(3), article 35, 2007.

8. An Introduction to MEMS (Micro-electromechanical Systems). Published by PRIME Faraday Partnership, Wolfson School of Mechanical and Manufacturing Engineering Loughborough University, 2002.

9. Alexander D. Young. Wireless Realtime Motion Tracking System using Localised Orientation Estimation // Thesis. - Institute of Computing Systems Architecture School of Informatics University of Edinburgh, 2010.

10. Qilei Li, Wenquang Jin, Weidong Geng. Virtual Avatar Control Using Wireless sensors. Zhenjiang University, Hangzhou, China, Academy publisher - Journal of computers, V.6, NO.2, February, 2011.

11. Sinem Coleri. ZigBee/IEEE 802.15.4 Summary. Wireless Sensor Networks Berkeley Lab., September 10, 2004.

12. Voskov L.S., Panfilov P.B., Vabishchevich A.N., Komarov M.M., Efremov S.G. Universal Wireless Sensor Networks Technology Platform and its Applications. International Work-shop on Networked embedded and control system technologies: European and Russian R&D cooperation Milan, Italy, July 2009. - INSTICC Press, 2009. - PP.11-16.

13. Benoît Latré, Bart Braem, Ingrid Moerman, Chris Blondia, Piet Demeester. A Survey on Wireless Body Area Networks. Journal Wireless Networks, Volume 17 Issue 1, Pages 1-18, Kluwer Academic Publishers Hingham, MA, USA, 2011.

14. Mark A. Hanson, Harry C. Powell Jr., Adam T. Barth, Kyle Ringgenberg, Benton H. Calhoun, James H. Aylor, and John Lach. Body Area Sensor networks:

Challenges and opportunities. Published by the IEEE Computer Society, 2009.

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. 2008 IEEE International Conference on Robotics and Automation Pasadena, CA, USA, May 19-23, 2008.

16. Philipp M. Scholl, Kristof Van Laerhoven. jNode: a Sensor Network Platform that Supports Distributed Inertial Kinematic Monitoring. Networked Sensing Systems (INSS), 2012 Ninth International Conference on, 2012.

17. Ahmed Faheem. A Wireless Body Area Sensor Network for Posture Detection. University of Vaasa, 2006.

**Вабищевич Андрей Николаевич,**

*магистр техники и технологии по направлению Информатика и вычислительная техника. Аспирант Московского института электроники и математики национального исследовательского университета "Высшая школа экономики" (МИЭМ НИУ ВШЭ).*

**Восков Леонид Сергеевич,**

*доцент, кандидат технических наук, профессор кафедры "Вычислительные системы и сети" Московского института электроники и математики Национального исследовательского университета "Высшая школа экономики" (МИЭМ НИУ ВШЭ).*

L.S. Voskov, A.N. Vabishchevich

### AN ISSUE OF A WIRELESS MOTION CAPTURE AND A SYSTEM FOR ITS SOLVING BASED ON A SOFTWARE-HARDWARE PLATFORM OF A WIRELESS SENSOR NETWORK

In this paper a review of actual motion capture systems is presented. A description of a technology of a wireless sensor network is given. An experimental project of a motion capture system based on a wireless sensor network and inertial sensors for carrying out of researches is given. Measurement elements of this system are wireless devices that attached to a human body limb segments. They provide orientation data of these limb segments.

Within this research the following tasks are solved:

Reduction of time delays when data is transmitted from measurement devices to a receiver.

Development of a motion capture system for an experiment and approbation of a network interaction of its devices. The system is intended for use in applications: an immersive virtual reality, medical researches, robotics, character animation for movies, games and others.

**Key words:** motion capture system, virtual reality, wireless sensor network, inertial unit, gyroscope, magnetometer, accelerometer, wearable measurement unit

#### References:

1. Technology ZigBee. ZigBee Alliance, Link to Internet: <http://www.zigbee.org/en/index.asp>

2. Voskov L.S. Wireless sensor networks and application projects / / Proceedings, ed. prof. Dr. Zhdanov V.S. - Moscow: MIEM, 2009.

3. Vabishchevich AN, Panfilov PB Human motion tracking system based on wireless sensor network technology to render an avatar // International Scientific Conference-tion, on the 80th anniversary of the birth of Academician VA Melnikova - Moscow, February 19-20, 2009.: Proceedings of the Non-profit Organization Science Foundation "Per-hand Laboratory Research Academician VAMelnikova,"2009. P.91-95.

4. AN Vabishchevich Wireless system is a three-dimensional visualization of real-time traffic // Abstracts of scientific and technical conference of students and young professionals MIEM. - Moscow: MIEM, 2009. P.145-146.

5. Midori Kitagawa, Brian Windsor. MoCap for Artists: Workflow and Techniques for Motion Capture. Focal Press, 2008.

6. Konrad Lorincz, Bor-rong Chen, Geoffrey Werner Challen, Atanu Roy Chowdhury, Shyamal Patel, Paolo Bonato, Matt Welsh. Mercury: A wearable Sensor Network Platform for High-Fidelity Motion Analysis. School of Engineering and Applied Sciences, Harvard University, 2009.

7. Daniel Vlastic, Rolf Adelsberger, Giovanni Vannucci, John Barnwell, Markus Gross, Wojciech Matusik, Jovan Popovic. Practical Motion Capture in Everyday Surroundings. ACM Transactions on Graphics 26 (3), article 35, 2007.

8. An Introduction to MEMS (Micro-electromechanical Systems). Published by PRIME Faraday Partnership, Wolfson School of Mechanical and Manufacturing Engineering Loughborough University, 2002.

9. Alexander D. Young. Wireless Realtime Motion Tracking System using Localised Orientation Estimation // Thesis. - Institute of Computing Systems Architecture School of Informatics University of Edinburgh, 2010.

10. Qilei Li, Wenquang Jin, Weidong Geng. Virtual Avatar Control Using Wireless sensors. Zhenjiang Uni-

versity, Hangzhou, China, Academy publisher - Journal of computers, V.6, NO.2, February, 2011.

11. Sinem Coleri. ZigBee / IEEE 802.15.4 Summary. Wireless Sensor Networks Berkeley Lab., September 10, 2004.

12. L.S. Voskov, P.B. Panfilov, A.N. Vabischevich, M.M. Komarov, S.G. Efremov Universal Wireless Sensor Networks Technology Platform and its Applications. International Work-shop on Networked embedded and control system technologies: European and Russian R & D cooperation Milan, Italy, July 2009. - INSTICC Press, 2009. - P.11-16.

13. Benoît Latré, Bart Braem, Ingrid Moerman, Chris Blondia, Piet Demeester. A Survey on Wireless Body Area Networks. Journal Wireless Networks, Volume 17 Issue 1, Pages 1-18, Kluwer Academic Publishers Hingham, MA, USA, 2011.

14. Mark A. Hanson, Harry C. Powell Jr., Adam T. Barth, Kyle Ringgenberg, Benton H. Calhoun, James H. Aylor, and John Lach. Body Area Sensor networks: Challenges and opportunities. Published by the IEEE Computer Society, 2009.

15. Kwang Yong Lim, Francis Young Koon Goh, Wei Dong, Kim Doang Nguyen, I-Ming Chen, Song Huat Yeo, Henry Been Lim Duh, Chung Gon Kim. A Wearable, Self-Calibrating, Wire-less Sensor Network for Body Motion Processing. 2008 IEEE International Conference on Robotics and Automation Pasadena, CA, USA, May 19-23, 2008.

16. Philipp M. Scholl, Kristof Van Laerhoven. jNode: a Sensor Network Platform that Supports Distributed Inertial Kinematic Monitoring. Networked Sensing Systems (INSS), 2012 Ninth International Conference on, 2012.

17. Ahmed Faheem. A Wireless Body Area Sensor Network for Posture Detection. University of Vaasa, 2006.