

УДК 62-50, 623.681

## ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И МЕХАТРОННЫЕ УСТРОЙСТВА ДЛЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ МЕДИЦИНСКИХ СИСТЕМ

**А. В. Тимофеев,**

доктор техн. наук, профессор

**С. Э. Чернакова,**

младший научный сотрудник

Санкт-Петербургский институт информатики и автоматизации Российской академии наук

**А. И. Нечаев,**

начальник лаборатории

Центральный научно-исследовательский институт робототехники

и технической кибернетики

**М. В. Литвинов,**

аспирант

Балтийский государственный технический университет «Военмех»

*Представлены результаты разработки новых информационных технологий для медицинской робототехники и мехатроники, а также итоги участия авторов в Международной выставке «Интеллектуальные и адаптивные роботы-2005», где эти технологии демонстрировались. Рассмотрены принципы проектирования адаптивных и интеллектуальных медицинских роботов и мехатронных систем, включая технологии обучения с использованием мультимодального человеко-машинного интерфейса и средств виртуальной реальности.*

*The results in the area of new informational technologies for medical robotics and mechatronics as well as materials of authors' participation in the international exhibition «Intelligent and Adaptive Robots-2005» are presented in this paper. Principles of design of adaptive and intelligent medical robots and mechatronic systems, including learning technology with use of multimodal man-machine interface and virtual reality are considered.*

### Введение

Современная медицина остро нуждается в разработке и применении новых информационных технологий, роботов и мехатронных систем (МС) для автоматизации операций в хирургии, в создании телемедицинских диагностических систем и т.п. Об актуальности этой проблематики свидетельствует, в частности, НАТО-грант N PST.CLG 975579 «Человеко-машинный интерфейс для ассистирующих робототехнических систем в нейрохирургии», выполненный в 1999–2000 гг. партнерами из Санкт-Петербургского института информатики и автоматизации РАН (СПИИРАН), Санкт-Петербургского государственного университета аэрокосмического приборостроения (ГУАП), University of Karlsruhe (Германия) и Harvard Medical School (США). Этот грант был направлен на разработку адаптивных роботов и мультиагентных

технологий, предназначенных для использования в нейрохирургии [1].

Последние достижения в области медицинской информатики, робототехники и мехатроники, включая результаты авторов статьи, были представлены на Международной выставке «Интеллектуальные и адаптивные роботы-2005», которая проводилась в Москве параллельно с Международным IAPR-симпозиумом «Интеллектуальные и адаптивные роботы: современное состояние и перспективы» [2]. Целью выставки и симпозиума было обсуждение современного состояния и перспективных направлений исследований в области робототехнических систем (РТС) и МС со встроенными средствами адаптации и искусственного интеллекта. На выставке демонстрировались современные РТС и МС для экстремальных условий (разминирование, радиационная разведка и т. п.),



■ Рис. 1. Общий вид стендов лаборатории информационных технологий в управлении и робототехнике

беспилотные летающие аппараты, подводные роботы, космические и промышленные копирующие манипуляторы, медицинские роботы, роботы-охранники, мини-роботы, роботы-игрушки, а также разработки в области технического зрения и слуха и других средств «очувствления» роботов.

Лаборатория информационных технологий в управлении и робототехнике (ЛИТУР) СПИИРАН [3] совместно с базовой кафедрой нейроинформатики и робототехники ГУАП представила на стендах РАН и МГИУ ФГУ РНЦ ВМиК Росздрава результаты работ в области создания и внедрения инновационных информационных технологий, РТС и МС для медицины и космических исследований (рис. 1).

### Технологии «Виртуального наблюдателя» и тактильно-силового взаимодействия с объектами внешней среды

Технология «Виртуального наблюдателя» разработана на основе мультимодального человеко-машинного интерфейса для телемедицины и медицинской робототехники. Она предполагает создание высокореалистичного эффекта присутствия человека-оператора в зоне размещения объекта управления, которая находится на значительном расстоянии. Для этого используются виртуальные модели и управляемые компьютерно-синтезированные 3D-изображения виртуальных объектов, погруженные в изображение реальной среды. В последние годы исследованы пути решения основных проблем реализации данной технологии, а именно, проблема точного совмещения компьютерно-синтезированного изображения геометрической модели внешней среды с ее реальным изображением и проблема реализации непрерывности восприятия этих изображений в режиме реального времени.

Продемонстрированная на стенде ЛИТУР СПИИРАН стереоскопическая система как элемент технологии «Виртуального наблюдателя» позволяла видеть окружающую среду (выставочный павильон) и свои руки в нем посредством телевизионных камер фирмы ЭВС [4] через стереооч-

ки-дисплеи и производить простейшие манипуляции в этой среде.

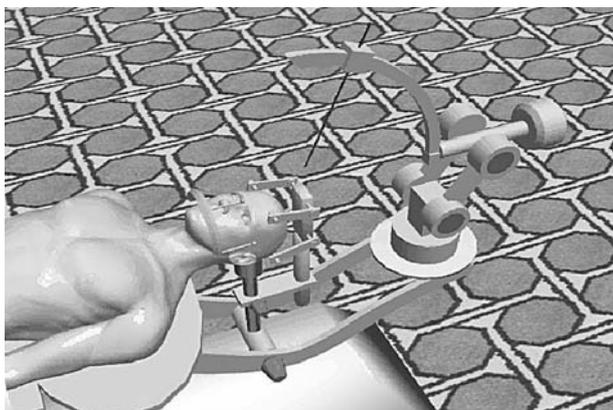
Технология тактильно-силового взаимодействия с виртуальными объектами, их визуального восприятия в интересах космической, подводной и экстремальной робототехники необходима там, где требуется не только наблюдать окружающий мир, но и производить в нем какие-либо действия. При этом манипуляции в удаленной внешней среде будут более успешны, если удастся создать для оператора реалистичное и адекватное восприятие окружающей робот среды, предоставить возможность ощутить ее объекты, как будто они имеют заданные размеры, форму, массу, сопротивление трения, вес или его отсутствие в случае имитации космического объекта в условиях невесомости.

Частично эти технологии были разработаны в рамках партнерского проекта 1992p с EOARD (European Office of Aerospace Research and Development, London, United Kingdom) на основе многолетнего опыта внедрения медицинских систем. В частности, были изготовлены и испытаны прототипы систем для слежения за положением головы и рук человека (HTS и HTS+) [5]. Основная цель этой разработки состояла в создании технологии взаимодействия с удаленными объектами на основе простых (cost-effective), надежных и устойчивых технических средств телеуправления для реальных условий работы человека-оператора.

### Методы навигации и управления движением хирургических роботов

В рамках проекта «Методы навигации и моделирования стереотаксических манипуляторов и медицинских роботов», поддержанного в 2003 г. грантом Санкт-Петербургского научного центра РАН, была разработана виртуальная управляемая модель хирургического робота (рис. 2).

Разработанный интерфейс с использованием 3D-модели виртуальной реальности во время опе-



■ *Рис. 2. Виртуальная операционная*



■ *Рис. 3. Использование стереочков при планировании операции*

рации позволит контролировать ход операции, исключить ряд возможных ошибок при планировании операции и снабдить хирурга важной визуальной информацией [6]. Предлагаемые методы позволяют автоматизировать решение задач навигации (т. е. вычисление координат, ориентации и скорости) медицинского инструмента и адаптивного управления движением хирургического робота [1, 7].

Графический интерфейс и реализация алгоритмов навигации и определения траектории нейрохирургического инструмента является эволюционным переходом от расчетов координат в ручном режиме к автоматизированным методам. Эти методы и средства являются только частью комплексного решения проблемы организации операционной нового поколения, основанной на применении информационных технологий и РТС.

### **Виртуальная нейрохирургическая операционная**

Виртуальная операционная должна максимально напоминать реальную, поскольку для врача работа в привычных условиях будет более эффективной и продуктивной. В соответствии с этим она наполняется знакомыми медицинскими инструментами и новыми РТС, которые в компьютерном представлении обладают дополнительными свойствами (см. рис. 2).

В таких условиях появляется возможность проведения пробных учебных операций не на пациенте, а на его виртуальной модели. Проведение операции на виртуальном (электронном) пациенте можно рассматривать как этап планирования реального хирургического вмешательства. Вторая важная задача, решаемая при виртуальной операции – это повышение профессионального уровня врача и медицинского персонала. Она решается посредством совмещения теоретических и реальных знаний.

Информация о проведенной симуляции операции, данные о реальной и виртуальной операциях и последующая информация о состоянии пациента объединяются в реальную картину лечения. По прошествии некоторого времени всегда можно вернуться к прошлым операциям для сравнительного анализа и выяснения эффективности разных методов лечения. Аналогично могут совершенствоваться не только практикующие врачи, но и студенты и аспиранты, обучающиеся навыкам работы на новом оборудовании.

Во время виртуальной операции хирург может наблюдать за траекторией медицинского инструмента, задаваемой по томограммам мозга. Благодаря этому в случае, когда инструмент попадает в зоны повышенного риска для жизни пациента, врач может запросить у программы другой вариант наведения инструмента в необходимую точку мозга по безопасной траектории или сделать вывод о невозможности проведения операции.

### **Стереовизуализация и технология обучения методом показа**

Для отображения удаленной внешней среды в медицинских проектах были опробованы:

- стереочки и стереочки-дисплеи, которые могут эффективно использоваться для наглядного представления информации (рис. 3);

- автоматизированное рабочее место АРМ-М со стереовизуализацией рентгеновских изображений в реальном времени [8];

- стереопроекционные системы для наблюдения рентгеновских, эндоскопических и других медицинских изображений;

- средства совмещения реальных и виртуальных изображений, которые обеспечивают врача в максимально удобной форме оперативной визуальной информацией, позволяющей прогнозировать ход операции и своевременно корректировать хирургические манипуляции.



■ Рис. 4. Мультимодальный интерфейс для медицины



■ Рис. 5. Шестикоординатная рукоятка управления

Обучение РТС путем показа естественных движений (жестов) человека (пользователя) [9, 10] связано с созданием естественных и доступных каждому человеку средств общения с техническими и информационными системами. Эта технология обучения не может полноценно развиваться без дружественного, помогающего врачу, пациенту и пользователю мультимодального интерфейса, разрабатываемого в ЛИТУР совместно с группой речевых технологий СПИИРАН [1, 6, 7, 11–13].

Мультимодальный интерфейс для медицины (рис. 4) должен обеспечивать:

- простое и правильное понимание команд и различных движений (моторных функций) врача (пациента);
- обучаемость показом без какого-либо программирования;
- надежную, устойчивую информационную поддержку систем управления медицинским оборудованием;
- взаимодействие с компьютерными моделями в процессе планирования операций (например, с использованием виртуальной операционной [6]);
- комбинирование (микширование) реальных (например, эндоскопических) и виртуальных (модельных) изображений [7, 12].

#### **Разработка шестикоординатных силомоментных датчиков и осязательных рукояток управления**

Особенно актуальной для медицины является разработка так называемого «haptic» интерфейса. Это обусловлено необходимостью отражения усилий на руке врача (хирурга), особенно при проведении операции, в том числе с использованием МС, РТС и технологии телемедицины.

Развитием данного направления является создание шестикоординатной рукоятки управления на базе современных микропроцессорных уст-

ройств обработки и нового силомоментного датчика широкого назначения (рис. 5). При этом использование специальной рукоятки с отражением сил и запоминание естественных движений опытного персонала лечебного учреждения облегчают процесс обучения робота движениям. В качестве примера можно отметить начатые исследования возможности создания робота-массажера с использованием этих датчиков, обеспечивающих, с одной стороны, точное задание силового воздействия при контакте с мягкими мышечными тканями пациента и, с другой стороны, повышение безопасности использования роботов в медицине при контакте с человеком.

Следует отметить, что к системам слежения за движениями человека (головы, рук, взгляда) проявили интерес специалисты и разработчики в области реабилитации зрения и восстановления сенсорно-моторных функций человека. Технологии видеозахвата объектов, виртуальной реальности и обучения показом особенно полезны для навигации, программирования движений и управления адаптивными роботами и медицинскими МС [6, 7, 12, 13].

#### **Заключение**

Описанные информационные технологии и разработки адаптивных МС и РТС находят все более широкие приложения не только в медицине, но и в промышленности, космосе и т. д. [1–13]. При этом особенно важную роль будут играть средства адаптации и интеллектуализации систем управления роботами и МС, модели виртуальной реальности и мультиагентные технологии [1, 5–13].

На Международной выставке «Интеллектуальные и адаптивные роботы-2005» авторы этой статьи были награждены медалями и дипломами ВВЦ за разработку и внедрение инновационной технологии человеко-машинного взаимо-

действия на базе виртуальной реальности для телемедицины и медицинской робототехники.

Работа выполнена при частичной поддержке гранта РФФИ № 05-01-08044\_офи.

## Литература

1. Burghart C. et al. A Multi-Agent-System Architecture for Man-Machine Interaction in Computer Aided Surgery // 16<sup>th</sup> IAR Annual Meeting: Proc. Strasburg. 22–23 November 2001. P. 117–123.
2. [www.keldysh.ru/East-West-Tech](http://www.keldysh.ru/East-West-Tech)
3. [www.spiiras.nw.ru](http://www.spiiras.nw.ru)
4. [www.evs.ru](http://www.evs.ru)
5. Kulakov F. M., Nechaev A. I., Chernakova S. E. Advanced man-machine interface for telerobotic based on man-operator's motions and gaze direction tracking // Speech and Computer: Proc. of Sixth ISTC Scientific Advisory Committee Seminar. Moscow. 15–17 September 2003. Vol. 1. P. 303–308.
6. Литвинов М. В., Тимофеев А. В., Попов А. Б. Виртуальная модель адаптивного робота для нейрохирургии // Адаптивные роботы и общая логическая теория систем – AR&GSLT: Тр. Междунар. конф. Санкт-Петербург, 8–11 мая 2004. С. 119–122.
7. Timofeev A. V., Gulenko I. E., Litvinov M. V. Analysis, Processing and Transfer of Dynamic Images in Virtual Reality Models // Pattern Recognition and Image Analysis. 2006. Vol. 16. N 1. P. 97–99.
8. Нечаев А. И., Назарук В. П., Чернакова С. Э. Метод регистрации и визуализации трехмерных рентгеновских изображений в режиме реального времени для задач неразрушающего контроля и медицинской диагностики // Информационные технологии. 2005. № 11. С. 11–21.
9. Нечаев А. И., Чернакова С. Э., Кулаков Ф. М. Моделирование внешней среды для процесса обучения методом показа: Сб. тр. / СПИИРАН. 2001. Вып. 1. С. 102–120.
10. Чернакова С. Э., Кулаков Ф. М., Нечаев А. И. Обучение робота методом показа с использованием «очувствленной» перчатки // МиР'2000: Тр. Первой Междунар. конф. по мехатронике и робототехнике. СПб., 2000. С. 155–164.
11. Multimodal system for hands-free PC control / A. Karpov, A. Ronzhin, A. Nechaev, S. Chernakova // 13<sup>th</sup> European signal Processing Conference EUSIPCO-2005: Electronic proc. Turkey. Sept. 2005.
12. Кулаков Ф. М. Технология погружения виртуального объекта в реальный мир // Прил. к ж. «Информационные технологии». 2004. № 10. С. 1–32.
13. Тимофеев А. В., Шибзухов З. М., Шеожев А. М. Проектирование и обучение мультиагентных диагностических систем // МиР'2000: Тр. Первой Междунар. конф. по мехатронике и робототехнике. СПб., 2000. Т. 2. С. 342–345.