

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОЧЕЙ ЗОНЫ ЭНДОХИРУРГИЧЕСКОГО ИНСТРУМЕНТА

Г.Г. Габузов

ggabuzov@rambler.ru

SPIN-код: 3842-6821

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация

Аннотация

Выполнено исследование рабочих зон хирургических инструментов, результаты которого помогут сформулировать основные требования, предъявляемые к разрабатываемому эндохирургическому манипулятору. Приведен обзор существующих методов решения данной задачи. Разработана новая система для определения рабочей зоны эндохирургического инструмента. Выполнена апробация системы на медицинском роботе с целью проверки ее работоспособности и сравнения экспериментальных данных с фактическими. Проведено экспериментальное исследование рабочих зон двух хирургических инструментов на лапароскопическом тренажере при выполнении виртуальной холецистэктомии. Представлены результаты обработки экспериментальных данных, полученных в ходе исследования. Подтверждена работоспособность разработанной системы.

Ключевые слова

Хирургия, эндохирургия, лапароскопия, хирургические инструменты, рабочая зона хирургического инструмента, визуализация движений хирургического инструмента, гироскоп, Arduino

Поступила в редакцию 07.06.2019

© МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2019

Введение. В современной хирургии широкое распространение получила минимально инвазивная эндоскопическая методика выполнения операций в брюшной полости и области малого таза — лапароскопия [1]. Она позволила минимизировать повреждение непатологических тканей организма пациента, сократить его послеоперационное восстановление и улучшить результаты оказанной медицинской помощи.

При проведении некоторых лапароскопических операций предъявляются особо высокие требования к точности движений хирургических инструментов в ограниченном пространстве, к их повышенной подвижности. Многие операции требуют от хирургов больших физических затрат. Длительная работа за операционным столом приводит к быстрой утомляемости хирурга и увеличивает риск возникновения врачебной ошибки. Поэтому на помощь врачам приходят хирургические роботизированные системы [2]. Однако наряду с большим количеством неоспоримых преимуществ современные хирургические системы обладают рядом существенных недостатков. Высокая стоимость и расходы на эксплуатацию и специализированные инструменты, использование которых ограничено несколькими операциями, большие размеры и масса, малая мобиль-

ность — все это ограничивает и делает невозможным использование хирургических роботов во многих медицинских учреждениях во всем мире.

Возникает необходимость создания новых хирургических роботизированных систем с улучшенными потребительскими свойствами. Основной задачей на начальном этапе разработки эндохирургического манипулятора является запись и анализ движений лапароскопических инструментов во время операции, определение и исследование их рабочих зон.

В качестве рабочей зоны эндохирургического инструмента рассматривается область пространства вне пациента, в которой перемещается инструмент во время операции.

Практическая ценность результатов исследований состоит в том, что получаемые данные позволят сформулировать и конкретизировать необходимые требования, которые будут предъявляться к конструкции разрабатываемого эндохирургического манипулятора. Также появится возможность осуществлять обоснованный выбор хирургической роботизированной системы с учетом специфики выполняемой операции и индивидуальных анатомических особенностей пациента.

Обзор современных методов. На сегодняшний день существуют различные методы решения поставленной задачи. Применяются различные датчики и устройства: оптические и ультразвуковые датчики, линейные и поворотные энкодеры с использованием сложных механических конструкций, системы фото- и видеофиксации движений инструментов с нанесенными на них цветовыми метками с последующей программной обработкой полученного материала.

В Южном федеральном университете (ЮФУ) предложена методика слежения за движениями хирургических инструментов, основанная на методах оптической триангуляции — определения расстояния до рассматриваемой точки инструмента с использованием расчетов на основе прямоугольных треугольников [3].

Предложенная методика предполагает использование специальных меток в качестве опорных точек, устанавливаемых на хирургические инструменты и взаимодействующих с источником сигналов, и базовой станции, содержащей источники и приемники сигналов и имеющей заданные известные координаты, относительно которых ведется слежение за движениями инструментов.

По известному положению источника и приемника определяется расстояние распространения сигнала, а также пространственная ориентация каждой рассматриваемой метки. Инфракрасные (ИК) лучи от источника направляются в сторону операционного поля, отражаясь от меток, установленных на троакарах или инструментах, возвращаются в приемник системы. По углу отражения излучения от разных меток находят местоположение и угол наклона инструмента [3]. В данных исследованиях авторы использовали оптическую измерительную систему Polaris Spectra (рис. 1) и пассивные метки, служащие отражателями ИК-излучения и не испускающие излучение самостоятельно [4].

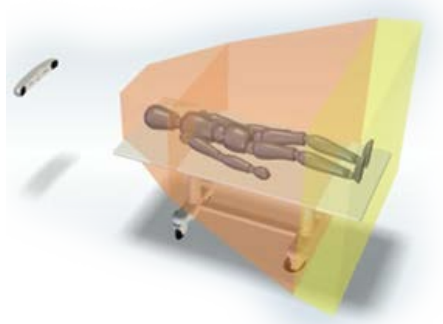


Рис. 1. Область действия оптической измерительной системы Polaris Spectra при определении положения хирургических инструментов [5]

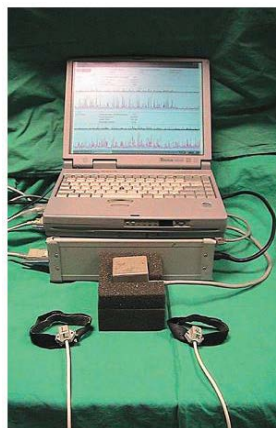


Рис. 2. Внешний вид системы ICSAD [7]

Преимуществом описанной методики является бесконтактность слежения, а существенным недостатком — необходимость постоянного нахождения всех меток в области видимости следящей системы, что сложно обеспечить в условиях выполнения лапароскопической операции, когда к операционному столу с разных сторон могут подходить до пяти человек.

The Imperial College Surgical Assessment Device (ICSAD) — это система, разработанная в Имперском колледже Лондона (рис. 2). Она успешно применяется для регистрации движений рук хирурга в условиях образовательной лаборатории, используется для комплексной оценки микрохирургических навыков врача [6].

Система представляет собой два электромагнитных датчика, которые закрепляются на тыльной поверхности кистей рук хирурга (рис. 3), и блок управления Polhemus Patriot [8]. Программное обеспечение системы определяет количество движений рук, расстояния и направления их перемещения, скорость движений [7, 9].

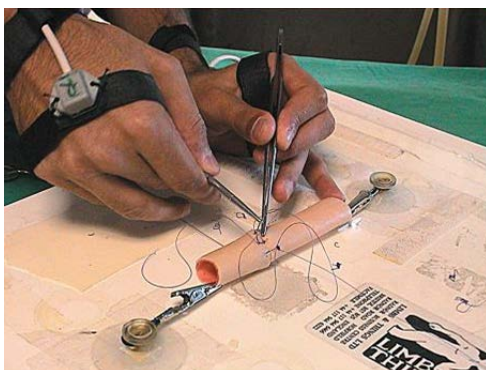


Рис. 3. Расположение датчиков системы ICSAD [7]

Преимуществом данной системы является простота ее использования в большинстве учебных микрохирургических задач и контрольных мероприятий. Недостатками служат высокая стоимость системы и невозможность ее исполь-

зования во время хирургических операций из-за большого размера датчиков, которые могут мешать работе хирурга.

Одним из бесконтактных методов слежения за движениями хирургических инструментов является видеофиксация с последующей программной обработкой видеоматериала. Известны подобные исследования на примере трекинга лапароскопических инструментов, а также инструментов робота Da Vinci. В качестве видеокамеры используется видеолапароскоп.

На инструменты наносят специальные цветные метки (рис. 4), которые распознаются программным обеспечением при обработке видеозаписи. По расположению и перемещению данных меток можно определять положение и движения хирургических инструментов в пространстве (рис. 5), а также характеристики их движений [10, 11].

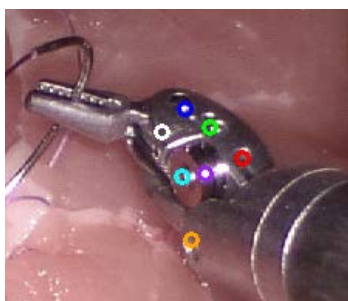


Рис. 4. Обозначение цветных меток, нанесенных на хирургический инструмент [10]

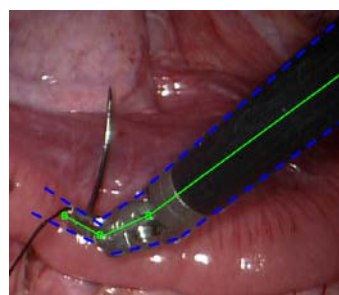


Рис. 5. Пример результата обработки изображения — определено положение инструмента в операционном пространстве [10]

Преимуществом метода является отсутствие необходимости в проведении стерилизации дополнительных изделий кроме хирургических инструментов. Его недостаток состоит в том, что для функционирования программы, реализующей данный метод, требуются большие вычислительные мощности. Необходимо дополнение программного алгоритма, которое позволит получить информацию о расположении и перемещении части хирургического инструмента вне тела пациента. Результаты исследования могут быть некорректными в случае временного исчезновения хирургического инструмента из поля зрения видеокамеры, а также при появлении в операционном пространстве пара или жидкости, что часто происходит во время операции.

Метод слежения за движениями рук хирурга и, соответственно, хирургических инструментов с использованием сенсора Kinect также является бесконтактным. Универсальный сенсор движения Kinect содержит инфракрасный излучатель, приемник отраженного от объекта наблюдения инфракрасного излучения, цветную видеокамеру и набор микрофонов [12]. С их помощью происходит измерение расстояния до объекта, захват его изображения и дополнительное определение расположения объекта как источника звука.

Перед началом регистрации движений следует убедиться в том, что рука выделяется на общем фоне. Необходимым условием является наличие на запястье руки черного ремешка, который служит для более точного распознавания изображения кисти системой датчиков.

После распознавания кисти руки осуществляется построение ее изображения в виде кривой, которая строится следующим образом: с помощью дальномера и цветной камеры находится крайняя левая точка на ремешке со стороны кисти руки. Затем регистрируется контур пальцев (рис. 6) [13].

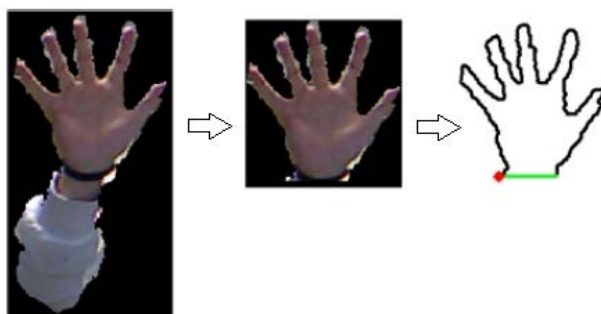


Рис. 6. Последовательность шагов при обработке изображения руки [13]

Преимуществом данного метода является бесконтактность и простота его использования. Основные недостатки — невысокая точность распознавания движений, сильно зависящая от цвета фона, освещенности помещения, и необходимость постоянного нахождения рук хирурга с инструментами в поле зрения сенсора Kinect, что в условиях выполнения лапароскопической операции обеспечить почти невозможно.

Описание разработанной системы. В данной работе представлена разработка системы, осуществляющей запись движений стандартных хирургических лапароскопических инструментов при помощи электронных модулей, среди которых лазерный дальномер, электронные гироскопы и акселерометры.

Электронный модуль с гироскопом и акселерометром определяет углы наклона хирургического инструмента и его линейные ускорения вдоль взаимно перпендикулярных осей. Важно использовать гироскоп и акселерометр совместно, поскольку только в этом случае обеспечивается стабильность работы системы. Лазерный дальномер измеряет расстояние — длину части лапароскопического инструмента вне тела пациента. Данные электронные модули подключены к микроконтроллеру, который выполняет первичную обработку данных и передает их через порт USB на персональный компьютер (ПК) в течение всей операции.

На данном этапе разработки системы передача данных осуществляется по кабелям. В дальнейшем планируется использовать модули беспроводной связи.

Разработанная система состоит из платы Arduino Nano с установленным на ней микроконтроллером ATmega328, двух модулей GY-521 с микросхемами

MPU-6050, содержащими электронные гироскоп, акселерометр и термометр, модуля лазерного дальномера GY-530 с датчиком VL53L0X. Данные модули являются готовыми устройствами, содержащими все необходимые для их функционирования микросхемы и пассивные электронные компоненты. Электронные элементы системы объединены между собой по интерфейсу I²C и подключены к ПК с помощью кабеля Mini-USB (рис. 7).

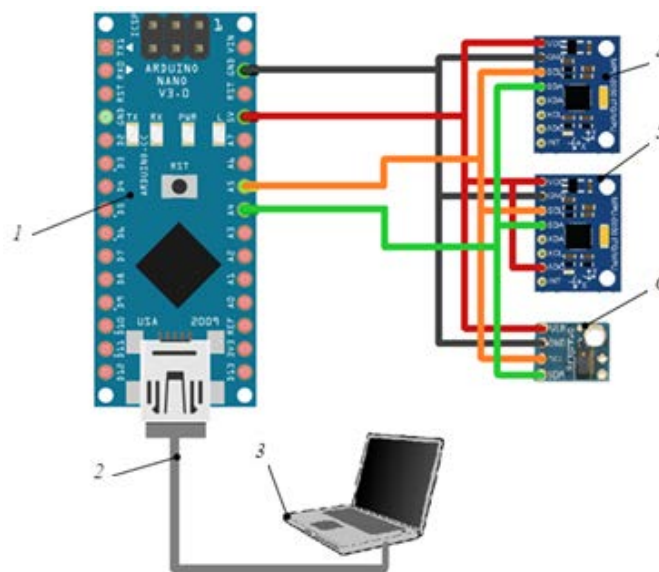


Рис. 7. Соединение элементов разрабатываемой системы:

1 — Arduino Nano; 2 — Кабель Mini-USB; 3 — ПК; 4, 5 — GY-521; 6 — GY-530

Для первичной обработки получаемых данных и представления их в графическом виде разработано специальное программное обеспечение. На монитор ПК выводится графическое окно (рис. 8), в котором в виде упрощенной анимации представлено текущее состояние анализа и записи параметров движений лапароскопических инструментов. Изображается имитация передней брюшной стенки пациента (поз. 1) и введенного в нее хирургического инструмента (поз. 2), в режиме реального времени повторяющего все движения реального инструмента, находящегося в руке хирурга.

В верхней части графического окна выводится текстовая строка, показывающая текущие углы наклона инструмента к взаимно перпендикулярным горизонтальным осям X (поз. 3) и Y (поз. 4) в градусах, длину части инструмента вне брюшной полости пациента (поз. 5) в миллиметрах, угол вращения инструмента вокруг своей оси (поз. 7) в градусах.

Возможно управление записью данных в файл — начать, приостановить, возобновить, завершить запись (поз. 6). Также предусмотрена возможность изменения начального положения изображений инструментов с помощью определенных клавиш клавиатуры ПК.

При установке элементов разработанной системы на хирургические инструменты важно обеспечить надежную фиксацию всех частей, чтобы предотвратить самопроизвольное изменение их положения. Также необходимо выбрать такой способ установки элементов системы, чтобы они не мешали действиям хирурга во время операции и не представляли опасность для врача и пациента.

Для закрепления элементов разработанной системы на хирургических инструментах из пластика PLA способом 3D-печати изготовлены корпусные детали троакара (рис. 9, поз. 3) и инструмента (рис. 9, поз. 5). Помимо требований к малым размерам и массе конструкции деталей учитывают необходимость их сопротивления механическим повреждениям и температурным деформациям.

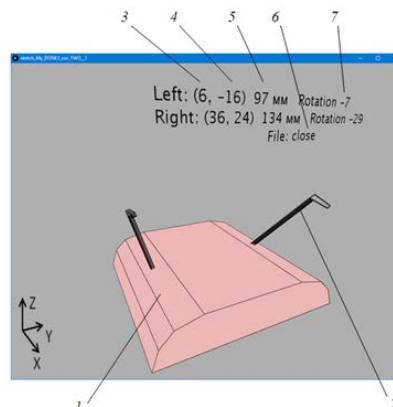


Рис. 8. Графическое окно программы для двух рабочих лапароскопических инструментов

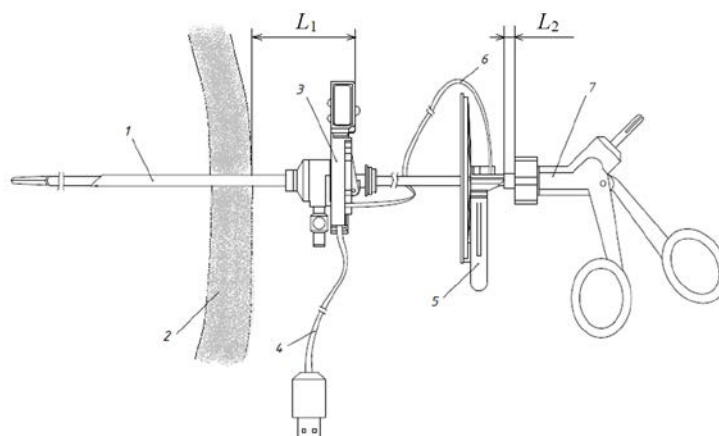


Рис. 9. Установка системы на хирургические инструменты:

- 1 — троакар; 2 — передняя брюшная стенка пациента; 3 — корпусная деталь троакара;
4 — кабель USB; 5 — корпусная деталь инструмента; 6 — кабельный шлейф;
7 — лапароскопический инструмент

Для корректной работы системы и получения верных данных необходимо соблюдать особые правила ее установки на хирургические инструменты. Корпусная деталь троакара устанавливается на его расширенную часть на максимально возможном удалении от тела пациента, так как это обеспечит наибольшую подвижность хирургического инструмента и не будет сковывать движения врача. Важно при этом зафиксировать расстояние L_1 , обозначенное на рис. 9. Корпусная деталь инструмента устанавливается на его цилиндрический стер-

жень максимально близко к рукоятке. Также важно зафиксировать расстояние L_2 , обозначенное на рис. 9. С учетом расстояний L_1 и L_2 при обработке данных выполняется корректировка полученных результатов. При смене инструментов в ходе операции требуется снятие и повторная установка только корпусной детали инструмента с отражающим диском.

Важным критерием, определяющим возможность использования разработанной системы во время операции, является возможность ее стерилизации. Проведенные испытания показывают, что система остается полностью работоспособной после плазменной стерилизации. Был использован стерилизатор STERRAD NX, температура в камере которого не превышает 55° [14].

Выполнена апробация разработанной системы на медицинском роботе РММ-2. Благодаря специальному программному обеспечению робота РММ-2 [15] можно задавать ориентацию в пространстве концевой сегмента робота с установленным на нем рабочим инструментом. Разработанная система была установлена на рабочий инструмент (рис. 10) и полностью повторяла все его движения.

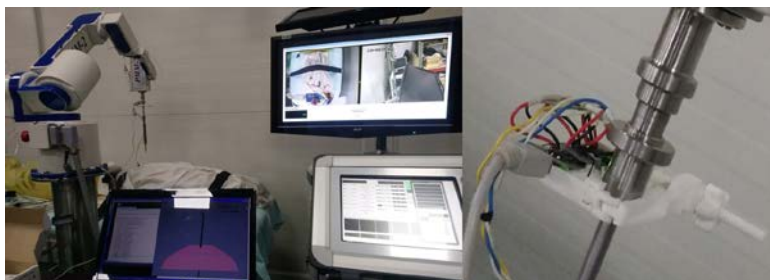


Рис. 10. Разработанная система, установленная на инструмент робота РММ-2



Рис. 11. Экспериментальное исследование рабочих зон хирургических инструментов на лапароскопическом тренажере

Выполнено сравнение значений углов наклона инструмента, получаемых от робота, которые считаются близкими к фактическим, со значениями, получаемыми от разработанной системы.

В ходе сравнения данных найдены отклонения измеряемых значений углов наклона инструмента от фактических. Отклонение растет с увеличением угла наклона инструмента и, например, при наклоне инструмента в 50° не превышает 2° .

Проведено экспериментальное исследование рабочих зон двух эндоскопических инструментов на лапароскопическом тренажере (рис. 11). Использован тренажер ЛапСим [16] при выполнении виртуальной лапароскопической холецистэктомии.

При испытаниях были использованы два лапароскопических инструмента — монополярный крючок и зажим. Расстояние между точками введения данных инструментов составляло 250 мм. Манипуляции проводились в течение десяти минут.

Выполнена обработка экспериментальных данных, получены значения скоростей перемещения хирургических инструментов. Максимальные значения скоростей в каждом направлении для каждого инструмента приведены в таблице.

Максимальные скорости перемещения лапароскопических инструментов в проведенном исследовании

Инструмент	Левый	Правый
Угловая скорость относительно оси X, град/с	49,3	238,4
Угловая скорость относительно оси Y, град/с	65,3	418,5
Угловая скорость вокруг своей оси, град/с	308,4	347,3
Линейная скорость вдоль своей оси, мм/с	170,2	343,8

Также определены области перемещения управляемых (верхних) концов инструментов, размеры соответствующих рабочих зон инструментов и их расположение относительно точек неподвижности инструментов — точек введения эндхирургических инструментов (рис. 12).

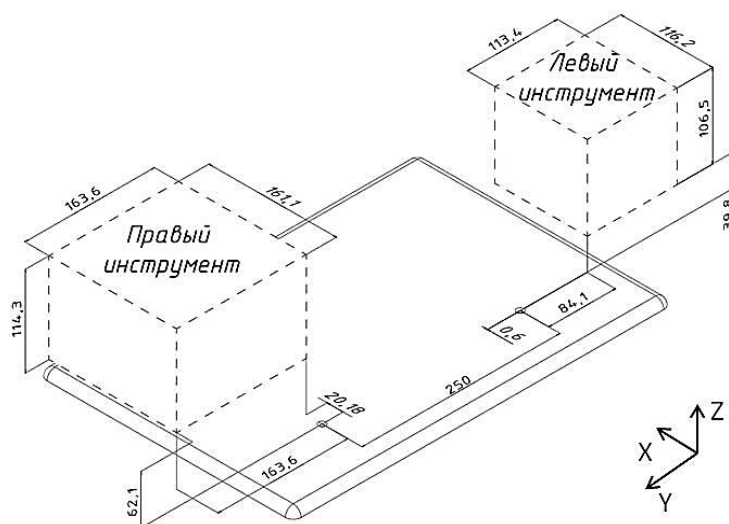


Рис. 12. Рабочие области инструментов лапароскопического тренажера при выполнении виртуальной холецистэктомии

Заключение. Разработана система для определения рабочей зоны эндхирургического инструмента. На каждом этапе проектирования учтены медицинские, технологические и технические требования к элементам системы.

Исследования показали, что разработанная система может быть установлена на хирургические инструменты разных производителей и успешно выдерживает процедуру плазменной стерилизации.

Апробация системы на роботе РММ-2 позволила получить информацию о степени соответствия получаемых данных фактическим значениям углов наклона хирургического инструмента, вращения и его поступательных перемещений.

Проведено экспериментальное исследование рабочих зон двух эндхирургических инструментов на лапароскопическом тренажере. Выполнена обработка экспериментальных данных, получены значения скоростей перемещения инструментов во всех направлениях, а также геометрические характеристики рабочих зон этих инструментов.

Цель работы достигнута, и разработанная система может применяться для решения поставленной задачи: система и методика проведения исследований будут использоваться для сбора данных в ходе большого количества различных хирургических операций, для формирования статистических данных по совокупности однотипных операций, которые позволят сформулировать и конкретизировать требования, предъявляемые к разрабатываемому эндхирургическому манипулятору.

Литература

- [1] Паппас Т.Н., Приор А.Д., Харниш М.С., ред. Лапароскопическая хирургия. Атлас. М., ГЭОТАР-Медиа, 2012.
- [2] Шевченко Ю.Л., Карпов О.Э., Ветшев П.С. и др. Робототехника в хирургии — истоки, реалии, перспективы. *Вестник НМХЦ им. Н.И. Пирогова*, 2008, т. 3, №2, с. 72–76
- [3] Финаев В.И., Синявская Е.Д., Шестова Е.А. и др. Метод позиционирования роботизированного держателя лапароскопа на основе вычислительной геометрии. *Известия ЮФУ. Технические науки*, 2016, № 2, с. 80–89.
- [4] Шестова Е.А., Синявская Е.Д., Финаев В.И. и др. Разработка метода позиционирования и слежения за хирургическими инструментами при проведении лапароскопических операций. *Известия ЮФУ. Технические науки*, 2016, № 5, с. 30–40.
- [5] Polaris Spectra and Vicra. *ndigital.com: веб-сайт*. URL: <https://www.ndigital.com/medical/products/polaris-family/> (дата обращения: 12.05.2019).
- [6] Siti Nor Zawani A., Eileen L.M.S., Yeong Ch.F., et al. Assessment methods for surgical skill. *ICMIBE*, 2011. URL: <http://eprints.utm.my/id/eprint/45614/> (дата обращения: 12.05.2019).
- [7] Объективная оценка знаний и умений, полученных при использовании образовательных симуляционных технологий в хирургии. *rosomed.ru: веб-сайт*: URL: https://rosomed.ru/ckeditor_assets/attachments/49/2014-7b-04.pdf (дата обращения: 12.05.2019).
- [8] Patriot. *est-kl.com: веб-сайт*. URL: https://est-kl.com/images/PDF/Polhemus/PATRIOT_Brochure.pdf (дата обращения: 12.05.2019).
- [9] Shamsil A.M. Metrics for evaluating surgical microscope usage during myringotomy. URL: <https://ir.lib.uwo.ca/etd/764> (дата обращения: 12.05.2019).

- [10] Reiter A., Allen P.K., Zhao T. Feature classification for tracking articulated surgical tools. *MICCAI*, 2012, pp. 592–600. DOI: 10.1007/978-3-642-33418-4_73
URL: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-642-33418-4_73
- [11] Groeger M., Arbter K., Hirzinger G. Motion tracking for minimally invasive robotic surgery. In: *Medical Robotics*. IntechOpen, 2008, pp. 117–148.
- [12] Kinect — как устроен и работает. *aver.ru: веб-сайт*.
URL: <http://aver.ru/interesno/kinect-kinect-kak-ustroen-i-rabotaet/> (дата обращения: 12.05.2019).
- [13] Ren Z., Yuan J., Zhang Z. Robust hand gesture recognition based on nger-earth mover's distance with a commodity depth camera. *ACM MM*, 2011, pp. 1093–1096. DOI: 10.1145/2072298.2071946 URL: <https://dl.acm.org/citation.cfm?doid=2072298.2071946>
- [14] Sterrad NX. *septo.net: веб-сайт*. URL: <https://septo.net/product/sterrad-nx-2/> (дата обращения: 12.05.2019).
- [15] Батанов А.Ф., Саврасов Г.В., Башлай А.П. и др. Многофункциональный манипулятор — ассистент хирурга. *Биомедицинская радиоэлектроника*, 2014, № 10, с. 21–29.
- [16] ЛапСим, хирургический виртуальный симулятор. *intermedica.biz: веб-сайт*.
URL: <https://intermedica.biz/catalog/virtualnaa-medicina/hirurgia/otkrytaa-i-endoskopiceskaa-hirurgia-urologia-ginekologia-1> (дата обращения: 12.05.2019).

Габузов Григорий Георгиевич — студент кафедры «Медико-технические информационные технологии», МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация.

Научный руководитель — Саврасов Геннадий Викторович, доктор технических наук, профессор кафедры «Биомедицинские технические системы», МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация.

EXPERIMENTAL STUDY OF WORKING AREA OF AN ENDOSURGICAL INSTRUMENT

G.G. Gabuzov

ggabuzov@rambler.ru

SPIN-code: 3842-6821

Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation

Abstract

This article presents the study of working areas of surgical instruments, the results of which will help to formulate the basic requirements for the endosurgical manipulator. A review of existing methods for solving this problem was made. A new system was developed for determining the working area of an endosurgical instrument. The system was tested on a medical robot in order to check its efficiency and compare experimental and actual data. An experimental study was conducted to compare the working areas of two surgical instruments on a laparoscopic simulator when performing a virtual cholecystectomy. The article contains the results of processing the experimental data obtained during the experiment. The efficiency of the developed system was confirmed.

Keywords

Surgery, endosurgery, laparoscopy, surgical instruments, working area of a surgical instrument, visualization of movements of a surgical instrument, gyroscope, Arduino

Received 07.06.2019

© Bauman Moscow State Technical University, 2019

References

- [1] Pappas T.N., Harnisch M., Pryor A.D., eds. Atlas of laparoscopic surgery. Current Medicine Group, 2007. (Russ. ed.: Laparoskopicheskaya khirurgiya. Atlas. Moscow, GEOTAR-Media Publ., 2012.)
- [2] Shevchenko Yu.L., Karpov O.E., Vetshev P.S., et al. Robotics in surgery: foundation, reality, new promises. *Vestnik NMKhTs im. N.I. Pirogova* [Bulletin of Pirogov National Medical & Surgical Center], 2008, vol. 3, no. 2, pp. 72–76 (in Russ.).
- [3] Finaev V.I., Sinyavskaya E.D., Shestova E.A., et al. Design of the positioning method of the robotic holder of laparoscope basing on computational geometry. *Izvestiya YuFU. Tekhnicheskie nauki* [Izvestiya SFedU. Engineering Sciences], 2016, no. 2, pp. 80–89 (in Russ.).
- [4] Shestova E.A., Sinyavskaya E.D., Finaev V.I., et al. Design of the method of positioning and tracking the surgical instruments by the fulfillment of the laparoscopic operations. *Izvestiya YuFU. Tekhnicheskie nauki* [Izvestiya SFedU. Engineering Sciences], 2016, no. 5, pp. 30–40 (in Russ.).
- [5] Polaris Spectra and Vicra. *ndigital.com: website*. URL: <https://www.ndigital.com/medical/products/polaris-family/> (accessed: 12.05.2019).
- [6] Siti Nor Zawani A., Eileen L.M.S., Yeong Ch.F., et al. Assessment methods for surgical skill. ICMIBE, 2011. URL: <http://eprints.utm.my/id/eprint/45614/> (accessed: 12.05.2019).
- [7] Ob"ektivnaya otsenka znaniy i umeniy, poluchennykh pri ispol'zovanii obrazovatel'nykh simulyatsionnykh tekhnologiy v khirurgii [Objective evaluation of knowledge and skills achieved by educational simulation technologies in surgery]. *rosomed.ru: website* (in Russ.). URL: https://rosomed.ru/ckeditor_assets/attachments/49/2014-7b-04.pdf (accessed: 12.05.2019).

- [8] Patriot. *est-kl.com: website*.
URL: https://est-kl.com/images/PDF/Polhemus/PATRIOT_Brochure.pdf (accessed: 12.05.2019).
- [9] Shamsil A.M. Metrics for evaluating surgical microscope usage during myringotomy.
URL: <https://ir.lib.uwo.ca/etd/764> (accessed: 12.05.2019).
- [10] Reiter A., Allen P.K., Zhao T. Feature classification for tracking articulated surgical tools. *MICCAI*, 2012, pp. 592–600. DOI: 10.1007/978-3-642-33418-4_73
URL: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-642-33418-4_73
- [11] Groeger M., Arbter K., Hirzinger G. Motion tracking for minimally invasive robotic surgery. In: *Medical Robotics*. IntechOpen, 2008, pp. 117–148.
- [12] Kinect — kak ustroen i rabotaet [Kinect — how it is organized and how it works]. *aver.ru: website* (in Russ.). URL: <http://aver.ru/interesno/kinect-kinect-kak-ustroen-i-rabotaet/> (accessed: 12.05.2019).
- [13] Ren Z., Yuan J., Zhang Z. Robust hand gesture recognition based on nger-earth mover's distance with a commodity depth camera. *ACM MM*, 2011, pp. 1093–1096. DOI: 10.1145/2072298.2071946 URL: <https://dl.acm.org/citation.cfm?doid=2072298.2071946>
- [14] Sterrad NX. *septo.net: website*. URL: <https://septo.net/product/sterrad-nx-2/> (accessed: 12.05.2019).
- [15] Batanov A.F., Savrasov G.V., Bashlay A.P., et al. Multifunctional surgeon assistance manipulator. *Biomeditsinskaya radioelektronika* [Biomedical Radioelectronics], 2014, no. 10, pp. 21–29 (in Russ.).
- [16] LapSim, khirurgicheskiy virtual'nyy simulyator [LapSim, surgery virtual simulator]. *intermedica.biz: website* (in Russ.) URL: <https://intermedica.biz/catalog/virtualnaa-medicina/hirurgia/otkrytae-i-endoskopiceskaa-hirurgia-urologia-ginekologia-1> (accessed: 12.05.2019).

Gabuzov G.G. — Student, Department of Medical and Technical Information Technologies, Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation.

Scientific advisor — Savrasov G.V., Dr. Sc. (Eng.), Professor, Department of Biomedical Engineering Systems, Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation.