

19. Chernukhin Yu.V. *Iskusstvennyy intellekt i neyrokomp'yutery: Monografiya* [Artificial intelligence and Neurocomputers: Monograph]. Taganrog: Izd-vo TRTU, 1997, 273 p.
20. Chernukhin Yu.V., Pisarenko S.N. *Neyrosetevaya ekstrapolyatsiya v sistemakh upravleniya intellektual'nykh mobil'nykh robotov* [Extrapolation of neural network in control systems of intelligent mobile robots], *Sbornik dokladov Yubileynoy Mezhdunarodnoy konferentsii po neyrokibernetike* [the Collection of reports of the Anniversary International conference on Neurocybernetics]. Rostov-na-Donu: Izd-vo ООО «TsVVR», 2002, Vol. 2, pp. 147-151.
21. Chernukhin Yu.V., Pisarenko S.N. *Ekstrapoliruyushchie struktury neyrosetevogo tipa v sistemakh upravleniya intellektual'nykh mobil'nykh robotov* [Extrapolation structure type neural network in control systems of intelligent mobile robots], *Sbornik trudov II Mezhdunarodnoy konferentsii «Identifikatsiya sistem i zadachi upravleniya» SICPRO'03* [Proceedings of the II International conference "system Identification and control problems" SICPRO'03]. Moscow: Izd-vo IPU RAN im. V.A. Trapeznikova, 2003, pp. 1809-1820.

Статью рекомендовал к опубликованию д.т.н. Н.И. Витиска.

**Гузик Вячеслав Филиппович** – Южный федеральный университет; e-mail: vfguzik@sfned.ru; 347928, г. Таганрог, пер. Некрасовский, 44; тел.: 88634371737; кафедра вычислительной техники; зав. кафедрой; д.т.н.; профессор.

**Переверзев Владимир Андреевич** – e-mail: pereverzevva@mail.ru; тел.: 88634371656; кафедра вычислительной техники; ассистент.

**Пьявченко Алексей Олегович** – e-mail: aop61@mail.ru; кафедра вычислительной техники; к.т.н.; доцент.

**Сапрыкин Роман Владимирович** – e-mail: rsaprykin@gmail.com; кафедра вычислительной техники; ведущий инженер.

**Guzik Vyacheslav Filippovich** – Southern Federal University; e-mail: vfguzik@sfned.ru;

44, Nekrasovskiy, Taganrog, 347928, Russia; phone: +78634371737; the department of computer engineering; head of department; dr. of eng. sc.; professor.

**Pereverzev Vladimir Andreevich** – e-mail: rsaprykin@gmail.com; phone: +78634371656; the department of computer engineering; professor assistant.

**Pyavchenko Aleksey Olegovich** – e-mail: aop61@mail.ru; the department of computer engineering; head of department; cand. of eng. sc.; associate professor.

**Saprykin Roman Vladimirovich** – e-mail: rsaprykin@gmail.com; the department of computer engineering; engineer.

УДК 51-7

**В.И. Финаев, Е.Д. Синявская, Е.А. Шестова, Е.Ю. Косенко**

#### **МЕТОД ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ РОБОТИЗИРОВАННОГО ДЕРЖАТЕЛЯ ЛАПАРОСКОПА НА ОСНОВЕ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ ГЕОМЕТРИИ\***

*В статье предложено решение задачи позиционирования роботизированного держателя лапароскопа (в том числе и хирургических инструментов) в процессе проведения малоинвазивных операций. В качестве технического решения, на основе которого разрабатывался метод позиционирования, использовалась система оптических триангуляционных датчиков, используемых для определения положения контролируемых объектов. Примене-*

---

\* НИР 213.01-07-2014/02ПЧВГ Разработка методов многокритериальной оптимизации параметров гибридных адаптивных интеллектуальных регуляторов плохо формализованных технических объектов.

ние датчиков такого типа позволило на основе методов вычислительной геометрии и векторной алгебры разработать метод позиционирования хирургических инструментов и лапароскопа, который позволяет в каждый момент времени определять положение и ориентацию в пространстве контролируемых объектов с заданной точностью. Существенное отличие предложенного метода позиционирования заключается в использовании опорных точек (меток), находящихся на лапароскопе и хирургическом инструменте в видимой (наружной) области, что позволяет с заданной точностью определять координаты контролируемых объектов внутри брюшной области. На этой основе был разработан алгоритм, включающий в себя последовательность действий при определении положения и ориентации хирургического инструмента и лапароскопа на основе нахождения координат особых точек. Использование разработанного метода позиционирования не зависит от конфигурации роботизированного держателя и может применяться ко всем типам роботов. Было выполнено компьютерное моделирование, результаты которого подтвердили обоснованность предложенного метода позиционирования. Полученные экспериментальные результаты значений ошибки позиционирования не превышают существующие нормы и показатели по аналогичным исследованиям. Проведенные исследования и полученные результаты по разработке метода позиционирования роботизированного держателя позволяют решить задачу автоматического слежения за хирургическими инструментами и лапароскопом.

*Метод позиционирования; роботизированный держатель; малоинвазивная хирургия; вычислительная геометрия; система оптических триангуляционных датчиков; опорные точки; ошибка позиционирования.*

**V.I. Finaev, E.D. Sinyavskaya, E.A. Shestova, E.Yu. Kosenko**

#### **DESIGN OF THE POSITIONING METHOD OF THE ROBOTIC HOLDER OF LAPAROSCOPE BASING ON COMPUTATIONAL GEOMETRY**

*The paper proposes a solution of the problem of positioning of the robotic holder of laparoscope (including the surgical tools) by the minimally invasive operations. As a technical solution, which was developed based on the positioning method used a system of optical triangulation sensors are used to determine the position of the controlled objects. The usage of this type of the sensors based on methods of computational geometry and vector algebra allows to develop a method of positioning a laparoscope and surgical instruments, which leads to determine the position and orientation of objects in space controlled with desired accuracy at any given time. The essential difference between the designed positioning method is the usage of ground control points (labels) located on the laparoscope and surgical instruments in the visible (outer) area, that allows to determine the coordinates of the controlled objects in the abdominal area. The algorithm, which includes the steps of the determination of the position and orientation of the surgical tool and finding the coordinates of singular points, was developed. Usage of the positioning method does not depend on the configuration of the robotic holder and can be applied to all types of robots. Computer modeling was performed in this paper. The results of modeling confirmed the validity of the proposed positioning method. The experimental results of the positioning error values do not exceed the existing standards and indicators on the same research. The fulfilled researches and the obtained results by the design of the positioning method of the robotic holder will allow to solve the task of automatic tracking of surgical instruments and a laparoscope.*

*Positioning method; robotic holder; minimally invasive surgery; computational geometry; the system of optical triangulation sensors; reference points; positioning error.*

**Введение.** Задача автоматического слежения за хирургическими инструментами при проведении лапароскопической операции остается актуальной на сегодняшний день из-за отсутствия эффективного и обоснованного решения [1–4]. Указанная задача тесно связана с проблемой позиционирования хирургических инструментов и лапароскопа. Необходимость решения задачи позиционирования хирургического инструмента и лапароскопа связана с использованием роботизированного держателя лапароскопа, работающего в автоматическом режиме. В этом случае необходимо в каждый момент времени идентифицировать и отслеживать текущее положение и ориентацию хирургических инструментов и лапароскопа для обеспечения оптимальной визуализации оперируемой области.

Для определения положения и ориентации лапароскопа и хирургических инструментов по опорным точкам (меткам), находящимся на них, необходимо использовать систему позиционирования в режиме реального времени, которая сможет обеспечить идентификацию и численное определение координат этих точек с заданной точностью. Определяющими параметрами при выборе метода позиционирования является точность определения координат контролируемого объекта, достоверность позиционирования, периодичность опроса [5, 6].

В качестве основы системы позиционирования можно выделить следующие параметры [5, 6]:

- ◆ метки (опорные точки), которые фиксируются на контролируемых объектах и взаимодействуют со считывателями, получающими сигнал, и на основе выбранной математической модели определяют координаты объекта.
- ◆ базовые станции, взаимодействующие с метками в процессе определения координат, состоящие из источников и приемников. Данные устройств приемника и источника базовой оптической станции  $P_i$  [5, 6] должны иметь фиксированные координаты, относительно которых определяются координаты метки и располагаться так, чтобы в любой точке контролируемой территории метки находились в области доступа для идентификации.

В этой связи разрабатывается метод позиционирования, который основывается на методах вычислительной геометрии, в частности на методах оптической триангуляции [7].

Для измерения расстояния используются различные датчики и устройства: оптические и ультразвуковые датчики, оптические сканеры, линейные и проводочные энкодеры. Разные типы датчиков используют разные по способу и по точности методы измерения.

Для выбора наиболее подходящего датчика измерения расстояния и определения координат особых точек, в первую очередь, необходимо определить два критерия: требуемый диапазон измерений и точность измерений [5, 6].

Для определения координат опорных точек методом триангуляции целесообразно использовать оптические триангуляционные датчики расстояния, поскольку датчики данного типа позволяют с высокой точностью измерять расстояние до контролируемого объекта без механического контакта с ним. При диапазонах измерений до 500 м точность определения расстояния достигает  $\pm 0.5$  мм [8].

**Метод позиционирования роботизированного держателя лапароскопа на основе вычислительной геометрии.** Рассмотрим на первоначальном этапе позиционирование одного хирургического инструмента, поскольку положение второго (вспомогательного) инструмента будет определяться аналогично первому, тогда как изменение положения лапароскопа внутри оперируемой области выполняется относительно ведущего инструмента (как правило, хирургического инструмента, находящегося в правой руке хирурга) [3, 9–13].

Предлагаемый подход позволяет определить координаты роботизированного держателя и хирургического инструмента в видимой области на основе использования приемника, закрепленного заранее известным образом в операционной и определении опорных точек, расположенных на держателе и хирургическом инструменте ( $O_1$  – место надреза для лапароскопа,  $O_2$  – место надреза для хирургического инструмента,  $C$  – положение вершины хирургического инструмента,  $D$  – положение вершины лапароскопа) [14, 15]. На кончиках хирургического инструмента и лапароскопа и в местах надреза устанавливаются датчики, которые рассматриваются как опорные точки, на основе которых определяются в дальнейшем скрытые координаты вершин лапароскопа и хирургического инструмента (находящиеся во внутрибрюшной области).

На основании известного положения приемника и источника определяется дальность сигнала, а также пространственная ориентация опорной точки. Позиционирование лапароскопа и хирургического инструмента предложенным методом соответствует выполнению следующего алгоритма.

Выберем в качестве начала отсчета точку  $O$ , соответствующую одной из точек пространства операционной, как показано на рис. 1.

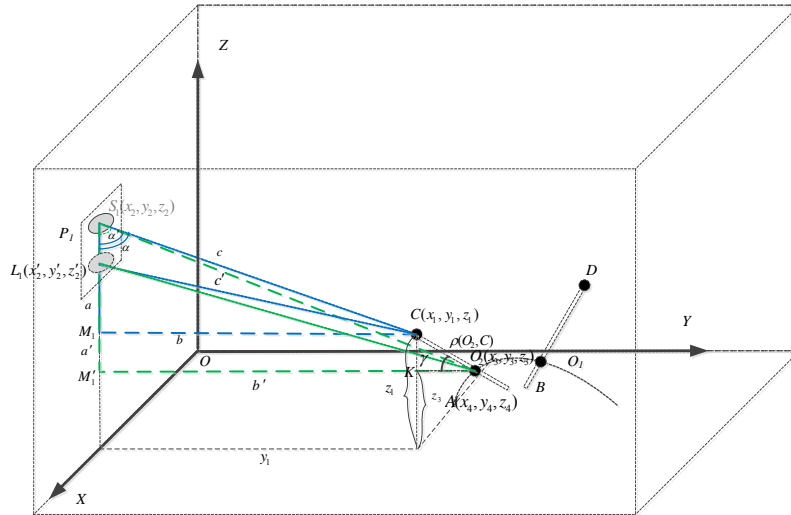


Рис. 1. Передачи сигнала от опорной точки  $C$  на приемник  $S_1$

На основе общего вида операционной, представленной на рис. 1 найдем последовательно координаты опорных точек  $C$ ,  $O_2$ ,  $D$ ,  $O_1$ , получаемых от источников ( $L_1$ ,  $L_2$ ,  $L_3$ ) и приемников ( $S_1$ ,  $S_2$ ,  $S_3$ ).

1. Рассмотрим случай определения координат опорной точки  $C$  по базовой станции  $P_1$  (рис. 1). Сигнал от передающего устройства  $L_1$  отражается от метки  $C$  и попадает на приемник  $S_1$  с координатами  $(x_2, y_2, z_2)$ . Дальность следования сигнала от метки  $C$  до приемника  $S_1$  определяется как  $c$ , тогда как угол между сигналом от источника до датчика  $C$  равен  $\beta$ , угол между датчиком  $C$  и приемником  $S_1$  равен  $\alpha$ .

Строятся проекции точек  $C$  и  $S_1$  на оси координат  $X$ ,  $Y$ ,  $Z$ . Рассмотрим прямоугольный треугольник  $CS_1M_1$ , образованный в плоскости  $YOZ$ . Используя геометрические преобразования, определяем длины сторон треугольника  $CS_1M_1$  [16, 17]

$$b = c \sin \alpha, \quad a = c \cos \alpha, \quad (1)$$

$$z_1 = z_2 - a. \quad (2)$$

Используя (1) определим координату  $z_1$  точки  $C$

$$z_1 = z_2 - c \cos \alpha. \quad (3)$$

Для вычисления координат  $x_1$  и  $y_1$  точки  $C$  рассмотрим прямоугольный треугольник  $CTM_1$ , образованный в плоскости  $XOY$ . В зависимости от расположения базовой станции и опорной точки  $C$  возможны два случая определения координат  $x_1$  и  $y_1$  точки  $C$ .

а) Если приемник  $S_1$  расположен правее опорной точки  $C$  относительно оси  $OX$  (рис. 2).

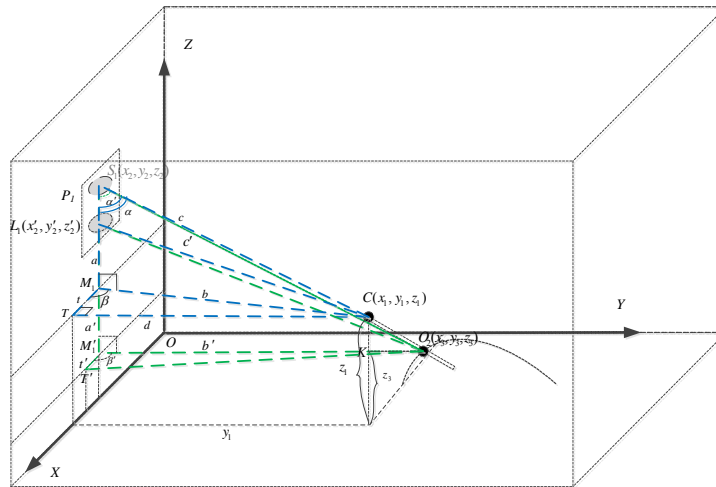


Рис. 2. Случай расположения приемника  $S_1$  правее опорной точки  $C$  относительно оси  $OX$

Тогда координаты  $x_1$  и  $y_1$  точки  $C$  определяются следующим образом

$$x_1 = x_2 + t, \tag{4}$$

$$y_1 = d. \tag{5}$$

Определяем длины сторон треугольника  $CTM_1$

$$d = b \sin \beta, \quad t = b \cos \beta. \tag{6}$$

Подставив (1) в (6) получаем

$$d = c \sin \alpha \sin \beta, \quad t = c \sin \alpha \cos \beta. \tag{7}$$

Подставив получившиеся значения (7) в выражения (4) и (5), определим координаты  $x_1$  и  $y_1$  точки  $C$

$$x_1 = x_2 + c \sin \alpha \cos \beta, \tag{8}$$

$$y_1 = c \sin \alpha \sin \beta. \tag{9}$$

б) Если приемник  $S_1$  расположен левее опорной точки  $C$  относительно оси  $OX$ . Тогда координата  $y_1$  точки  $C$  определяется выражением (9), а координата  $x_1$  определяются следующим образом

$$x_1 = x_2 - t. \tag{10}$$

Используя значения длины стороны  $t$  треугольника  $CTM_1$  из формулы (7), и подставив его в равенство (10), определим координату  $x_1$  точки  $C$  для данного случая

$$x_1 = x_2 - c \sin \alpha \cos \beta, \tag{11}$$

По результатам формул (3), (8), (9) и (11) можно определить координаты  $(x_2, y_2, z_2)$  опорной точки  $C$ .

2. Определим координаты опорной точки  $O_2$  по базовой станции  $P_1$ .

Сигнал от передающего устройства  $L_1$  отражается от метки  $O_2$  и попадает на приемник  $S_1$  с координатами  $(x_2, y_2, z_2)$ . Дальность следования сигнала от метки  $O_2$  до приемника  $S_1$  определяется как  $c'$ , тогда как угол между сигналом от источника до метки  $O_2$  равен  $\beta'$ , угол между меткой  $O_2$  и приемником  $S_1$  равен  $\alpha'$  (рис. 1).

Строятся проекции точек  $O_2$  и  $S_1$  на оси координат  $X, Y, Z$ . Рассмотрим прямоугольный треугольник  $O_2S_1M'_1$ , образованный в плоскости  $YOZ$ . Используя геометрические преобразования, определяем длины сторон треугольника  $O_2S_1M'_1$

$$b' = c' \sin \alpha', \quad a' = c' \cos \alpha', \tag{12}$$

$$z_3 = z_2 - a' . \quad (13)$$

Используя (12) определим координату  $z_3$  точки  $O_2$

$$z_3 = z_2 - c' \cos \alpha' . \quad (14)$$

Координаты  $x_3$  и  $y_3$  точки  $O_2$  определяются аналогично рассмотренным случаям в пункте 1 и принимают следующий вид

$$x_3 = x_2 + c' \sin \alpha' \cos \beta' , \quad \text{если приемник } S_1 \text{ расположен правее опорной точки } C \text{ относительно оси } OX, \text{ иначе}$$

$$x_3 = x_2 - c' \sin \alpha' \cos \beta' , \quad (15)$$

$$y_3 = c' \sin \alpha' \sin \beta' . \quad (16)$$

3. Определим положение хирургического инструмента внутри оперируемой области на основе координат видимых частей инструмента снаружи [15] (рис. 3).

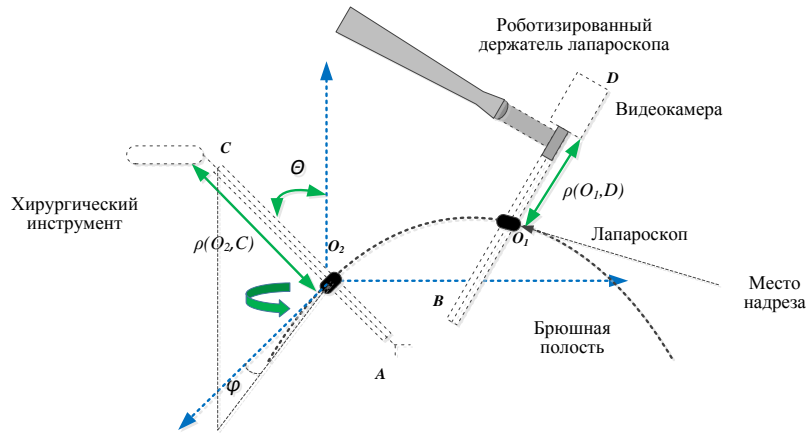


Рис. 3. Схематическое представление лапароскопической операции

Принятые обозначения на рис. 3:

$\theta$  – угол наклона (между хирургическим инструментом и вертикальной осью);  
 $\varphi$  – угол вращения (ориентация хирургического инструмента в горизонтальной плоскости);  $\rho(O_2, C)$  – длина видимой части хирургического инструмента;  $\rho(O_1, D)$  – длина видимой части лапароскопа.

Найденная опорная точка  $O_2$  является стационарной и позволяет определить длину видимой части и ориентацию хирургического инструмента, основываясь на координатах точки  $C$  (рис. 1) [16, 17].

$$\rho = \rho(O_2, C) = \sqrt{(x_3 - x_1)^2 + (y_3 - y_1)^2 + (z_3 - z_1)^2} , \quad (17)$$

$$\varphi = \arctg \left( \frac{y_3 - y_1}{x_3 - x_1} \right) , \quad (18)$$

$$\theta = \arccos \left( \frac{z_3 - z_1}{\sqrt{(x_3 - x_1)^2 + (y_3 - y_1)^2 + (z_3 - z_1)^2}} \right) . \quad (19)$$

Используя сферическую систему координат, определим координаты точки  $A$  в декартовой системе координат:

$$x_4 = \rho \sin \theta \cos \varphi ,$$

$$\begin{aligned}y_4 &= \rho \sin\Theta \sin\varphi, \\z_4 &= \rho \cos\Theta,\end{aligned}\quad (20)$$

где  $\rho \geq 0$ ,  $-\pi \leq \varphi \leq \pi$ ,  $0 \leq \Theta \leq \pi$ .

По результатам выполнения пунктов 1–3 предложенного алгоритма можно определить положение и ориентацию хирургического инструмента в каждый момент времени. Аналогичные действия выполняются для определения положения и ориентации лапароскопа по опорным точкам  $D$ ,  $O_1$ ,  $B$ .

Использование разработанного метода позиционирования не зависит от конфигурации роботизированного держателя, поскольку число степеней свободы робота определяет количество локальных систем координат и влияет на кинематическую модель робота, но не на процесс позиционирования [17–20]. В данном случае мы рассматриваем непосредственно хирургический инструмент и лапароскоп, в независимости от природы и закона их перемещения.

**Экспериментальное исследование.** Для апробации предложенного метода позиционирования роботизированного держателя лапароскопа было выполнено моделирование в среде Matlab.

На рис. 4 представлен график ошибки позиционирования для первого измерения, время моделирования соответствует 100 с.

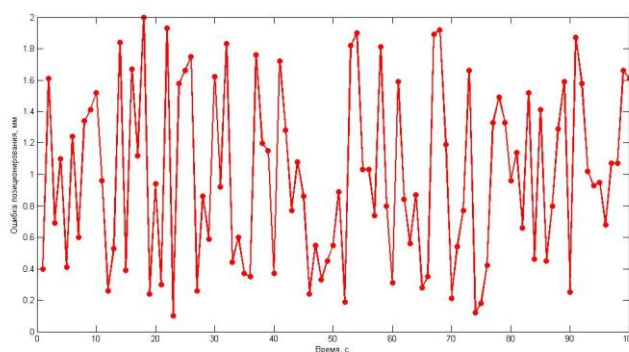


Рис. 4. Ошибка позиционирования для первого теста

На основании результатов эксперимента по первому тесту были получены значения ошибки позиционирования. Максимальное значение ошибки составило 2 мм, тогда как минимальное 0,1 мм. Нужно отметить, что полученное значение ошибки позиционирования включает в себя только отклонения метода позиционирования, параметры конфигурации роботизированного держателя и аппаратных средств, в данном случае не учитываются. Среднеквадратическое отклонение ошибки позиционирования составило 0,3781 мм.

По результатам выполнения моделирования было определено среднеквадратическое отклонение ошибки позиционирования для 10 тестов. Значения среднеквадратического отклонения ошибки позиционирования представлены на рис. 5.

Полученные значения ошибки позиционирования и среднеквадратического отклонения не превышают пороговой величины в 2 мм. Тогда как на основе анализа источников можно сказать, что предельно допустимым значением ошибки позиционирования является 5 мм [13, 14].

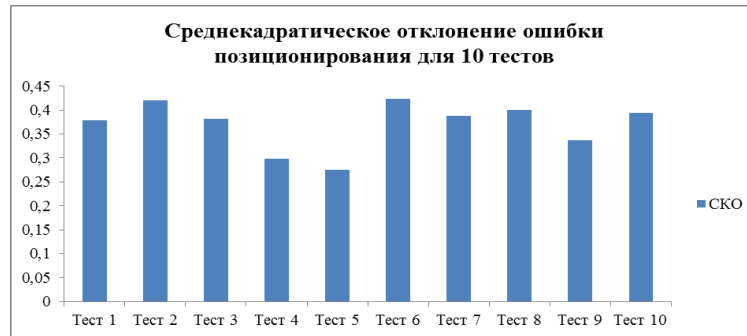


Рис. 5. Значения среднеквадратического отклонения ошибки позиционирования для 10 тестов

**Заключение.** В статье был предложен метод позиционирования роботизированного держателя лапароскопа при проведении малоинвазивных операций. Отличием метода является использование опорных точек (меток), находящихся в видимой (наружной) области, что дает возможность определить положение и ориентацию хирургического инструмента и лапароскопа, тогда как большинство подходов основываются на использовании фото и видео датчиков и распознавании образов по изображениям.

С применением вычислительной геометрии, в частности методов оптической триангуляции разработан метод позиционирования за хирургическим инструментом и лапароскопом. Использование предложенного метода позиционирования позволяет находить положение и ориентацию хирургических инструментов и лапароскопа, что дает возможность решить задачу автоматического слежения и обеспечения оптимальной области визуализации.

Было выполнено экспериментальное исследование разработанного метода. По результатам моделирования были получены значения ошибки позиционирования и среднеквадратического отклонения ошибки позиционирования для 10-ти тестов. Полученные значения ошибок не превышают 2 мм, что удовлетворяет требованиям по точности хирургических инструментов.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Robotics. Режим доступа: [http://robotics.com.ua/shows/series\\_robots\\_and\\_humans/3345-your\\_health\\_health\\_robotics\\_today](http://robotics.com.ua/shows/series_robots_and_humans/3345-your_health_health_robotics_today).
2. Медицинские роботы. Режим доступа: <http://medrobot.ru/744-pechalnye-oshibki-medicinskih-robotov.html>.
3. Robot Surgery, edited by Seung Hyuk Baik, ISBN 978-953-7619-77-0, pp. 172, January 2010, INTECH.
4. Потенциал российских инноваций на рынке систем автоматизации и робототехники: Экспертно-аналитический отчет. – М.: ОАО «ПВК», 2014. – 128 с.
5. Mikov A., Moschevikin A., Fedorov A., Sikora A. A Localization System Using Inertial Measurement Units from Wireless Commercial Hand-held Devices // Proceedings of the International Conference on Indoor Positioning and Indoor Navigation (IPIN-2013). – France: Montbeliard. 28–31 October 2013. – P. 857-863.
6. Galov A., Moschevikin A. Bayesian filters for ToF and RSS measurements for indoor positioning of a mobile object // Proceedings of the International Conference on Indoor Positioning and Indoor Navigation (IPIN-2013). – France: Montbeliard. 28–31 October 2013. – P. 310-317.
7. Esteves J.S., Carvalho A. Generalized geometric triangulation algorithm for mobile robot absolute SELF-localization // IEEE International Conference on Industrial Technology (ICIT), 2006. – P. 830-835.
8. Фрайден Д. Современные датчики. Справочник. – М.: Техносфера, 2005. – 587 с.



9. *Sim H.G., Yip S.K.H., and Cheng C.W.S.* Equipment and technology in surgical robotics // *World Journal of Urology*. – 2006. – Vol. 24, No. 2. – P. 128-135.
10. *Rane S. Kommu, Eddy B., Rimington P., and Anderson C.* Initial experience with the endoassist (r) camera holding robot in laparoscopic urological surgery // *European Urology Supplements*. – 2007. – Vol. 6, No. 2. – P. 186-186.
11. *Russell H. Taylor, Peter Kazanzides.* Medical Robotics and Computer-Integrated Interventional Medicine // Elsevier, 2008. – P. 24.
12. *Jason J. Dupert.* Towards Supervised Autonomous Task Completion Using an in vivo Surgical Robot: dissertation. – University of Nebraska – Lincoln, 2009. – 212 p.
13. *Joris Jaspers.* Simple Tools for Surgeons; Design and evaluation of mechanical alternatives for robotic instruments for minimally invasive // Dissertation: Amsterdam. – 2006. – 141 p.
14. *Agustinos A., Wolf R., Long J.A., Cinquin P., Voros S.* Visual Servoing of a robotic endoscope holder based on surgical instrument tracking // 2014 5th IEEE RAS & EMBS International Conference on Biomedical Robotics and Biomechatronics (BioRob), 2014. Sro Paulo, Brazil. – P. 13-18.
15. *Berkelman P., Cinquin P., Boidard E., Troccaz J., Lretoublon C. and Ayoubi J-M.* Design, control and testing of a novel compact laparoscopic endoscope manipulator // *Proc. Instn Mech. Engrs Vol. 217. Part I: J. Systems and Control Engineering*. – P. 329-341.
16. *Беклемишев Д.В.* Курс аналитической геометрии и линейной алгебры. – 10-е изд. – М.: Физматлит, 2005. – 304 с.
17. *Farbod Fahimi.* Autonomous Robots Modeling, Path Planning, and Control. – Springer Science+Business Media, 2009. – 348 p.
18. *Зенкевич С., Ющенко А.* Основы управления манипуляционными роботами. – М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2004. – 480 с.
19. *Москвичев А., Кварталов А., Устинов Б.* Захватные устройства промышленных роботов и манипуляторов: учебное пособие. Форум, 2015.– 176 с.
20. *Гайдук А.Р. Пишихонов В.Х. Медведев М.Ю. Костюков В.А. Медведева Т.Н.* Проектирование роботов и робототехнических систем: Учебное пособие. – Таганрог: Изд-во ЮФУ, 2013.

## REFERENCES

1. Robotics. Available at: [http://robotics.com.ua/shows/series\\_robots\\_and\\_humans/3345-your\\_health\\_health\\_robotics\\_today](http://robotics.com.ua/shows/series_robots_and_humans/3345-your_health_health_robotics_today).
2. Meditsinskiy roboty [Medical robots Available at: <http://medrobot.ru/744-pechalnye-oshibki-medicinskih-robotov.html>].
3. Robot Surgery, edited by Seung Hyuk Baik, ISBN 978-953-7619-77-0, pp. 172, January 2010, INTECH.
4. Potentsial rossiyskikh innovatsiy na rynke sistem avtomatizatsii i robototekhniki: Ekspertno-analiticheskiy otchet [The potential of Russian innovations on the market of automation and robotics: analytical report]. Moscow: OAO «RVK», 2014, 128 p.
5. *Mikov A., Moschevikin A., Fedorov A., Sikora A.* A Localization System Using Inertial Measurement Units from Wireless Commercial Hand-held Devices, *Proceedings of the International Conference on Indoor Positioning and Indoor Navigation (IPIN-2013)*. France: Montbeliard. 28–31 October 2013, pp. 857-863.
6. *Galov A., Moschevikin A.* Bayesian filters for ToF and RSS measurements for indoor positioning of a mobile object, *Proceedings of the International Conference on Indoor Positioning and Indoor Navigation (IPIN-2013)*. France: Montbeliard. 28–31 October 2013, pp. 310-317.
7. *Esteves J.S., Carvalho A.* Generalized geometric triangulation algorithm for mobile robot absolute SELF-localization, *IEEE International Conference on Industrial Technology (ICIT)*, 2006. – P. 830-835.
8. *Frayden D.* Sovremennye datchiki. Spravochnik [Modern sensors. Guide]. Moscow: Tekhnosfera, 2005, 587 p.
9. *Sim H.G., Yip S.K.H., and Cheng C.W.S.* Equipment and technology in surgical robotics, *World Journal of Urology*, 2006, Vol. 24, No. 2, pp. 128-135.
10. *Rane S. Kommu, Eddy B., Rimington P., and Anderson C.* Initial experience with the endoassist (r) camera holding robot in laparoscopic urological surgery, *European Urology Supplements*, 2007, Vol. 6, No. 2, pp. 186-186.

11. *Russell H. Taylor, Peter Kazanzides. Medical Robotics and Computer-Integrated Interventional Medicine, Elsevier, 2008. pp. 24.*
12. *Jason J. Dumpert. Towards Supervised Autonomous Task Completion Using an in vivo Surgical Robot: dissertation. – University of Nebraska – Lincoln, 2009, 212 p.*
13. *Joris Jaspers. Simple Tools for Surgeons; Design and evaluation of mechanical alternatives for robotic instruments for minimally invasive, Dissertation: Amsterdam, 2006, 141 p.*
14. *Agustinos A., Wolf R., Long J.A., Cinquin P., Voros S. Visual Servoing of a robotic endoscope holder based on surgical instrument tracking, 2014 5th IEEE RAS & EMBS International Conference on Biomedical Robotics and Biomechanics (BioRob), 2014. Sao Paulo, Brazil, pp. 13-18.*
15. *Berkelman P., Cinquin P., Boidard E., Troccaz J., Lletoublon C. and Ayoubi J-M. Design, control and testing of a novel compact laparoscopic endoscope manipulator, Proc. Instn Mech. Engrs Vol. 217. Part I: J. Systems and Control Engineering, pp. 329-341.*
16. *Beklemishev D.V. Kurs analiticheskoy geometrii i lineynoy algebrы [Course of analytical geometry and linear algebra]. 10 ed. Moscow: Fizmatlit, 2005, 304 p.*
17. *Farbod Fahimi. Autonomous Robots Modeling, Path Planning, and Control. Springer Science+Business Media, 2009, 348 p.*
18. *Zenkevich S., Yushchenko A. Osnovy upravleniya manipulyatsionnymi robotami [Basic control of manipulation robots]. Moscow: MGTU im. N.E. Baumana, 2004, 480 p.*
19. *Moskvichev A., Kvartalov A., Ustinov B. Zakhvatnye ustroystva promyshlennykh robotov i manipulyatorov: uchebnoe posobie [Gripping devices of industrial robots and manipulators: a tutorial]. Forum, 2015, 176 p.*
20. *Gayduk A.R. Pshikhopov V.Kh. Medvedev M.Yu. Kostyukov V.A. Medvedeva T.N. Proektirovanie robotov i robototekhnicheskikh sistem: uchebnoe posobie [Designing robots and robot systems: a tutorial]. Taganrog: Izd-vo YuFU, 2013.*

Статью рекомендовал к опубликованию к.т.н. В.Л. Сахаров.

**Шестова Елена Александровна** – Южный федеральный университет; e-mail: shestovaelena@mail.ru; 347928, г. Таганрог, пер. Некрасовский, 44; тел.: 88634371689; кафедра систем автоматического управления; доцент.

**Синявская Екатерина Дмитриевна** – e-mail: esinyavskaya@sfedu.ru; кафедра систем автоматического управления; ассистент.

**Финаев Валерий Иванович** – e-mail: finaev\_val\_iv@tsure.ru; кафедра систем автоматического управления; зав. кафедрой; д.т.н.; профессор.

**Косенко Евгений Юрьевич** – e-mail: eykosenko@gmail.com; кафедра систем автоматического управления; доцент; к.т.н.

**Shestova Elena Alexandrovna** – Southern Federal University; e-mail: shestovaelena@mail.ru; 44, Nekrasovsky, Taganrog, 347928; phone: +78634371689; the department of automatic control systems; associate professor.

**Sinyavskaya Ekaterina Dmitrievna** – e-mail: esinyavskaya@sfedu.ru; the department of automatic control systems; assistant.

**Finaev Valeri Ivanovich** – e-mail: fin\_val\_iv@tsure.ru; the department of automatic control systems; head of department; dr. of eng. sc.; professor.

**Kosenko Evgenii Yurevich** – e-mail: eykosenko@gmail.com; the department of automatic control systems, associate professor.