

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ ХИРУРГИЧЕСКОЙ РОБОТОТЕХНИКИ

Ярдяков В.О., Дмитриев Н.В.

Уральский государственный университет путей сообщения, Екатеринбург

Ключевые слова: робототехнические системы, медицинская робототехника, хирургические роботы, робот-ассистированная операция.

Аннотация. В статье представлен анализ современных тенденций развития хирургической робототехники. Несколько медицинских роботов (da Vinci, Versius, Raven) проанализированы с точки зрения структур, выполняемых функций и параметров. По результатам анализа сделаны следующие выводы: современные хирургические роботы становятся менее габаритными; уровень автоматизации повышается, особенно у узкоспециализированных роботов; внедрение автоматизированных роботизированных систем сильно ограничено стоимостью и временем, необходимым на обучение хирургов; большее развитие получают узкоспециализированные роботы, обладающие меньшей стоимостью и простотой в разработке.

MODERN TRENDS IN SURGICAL ROBOTICS

Yardyakov V.O., Dmitriev N.V.

Ural State University of Railway Transport, Yekaterinburg

Keywords: robotic systems, medical robotics, surgical robots, robot-assisted surgery.

Abstract. The article presents an analysis of modern trends in the development of surgical robotics. Several medical robots (da Vinci, Versius, Raven) are analyzed in terms of their structures, functions, and parameters. Based on the analysis, the following conclusions are drawn: modern surgical robots are becoming smaller; the level of automation is increasing, especially in specialized robots; the implementation of automated robotic systems is heavily limited by the cost and time required for surgeon training; greater development is being given to specialized robots that have lower costs and are easier to develop.

В современном мире достаточно актуальным является процессы внедрения киберфизических систем согласно принципам Индустрии 4.0 [1, 2]. Одним из таких принципов является роботизация в различных отраслях, одной из критически важных является здравоохранение, ведь люди всегда будут нуждаться в медицинской помощи. И хотя участие человека в лечении полностью исключить нельзя, так как он остаётся лицом, принимающим решения, но использование роботов может значительно улучшить производительность труда докторов за счёт автоматизации выполнения механических операций, например в хирургии.

Благодаря роботизированным устройствам в долгосрочной перспективе можно увеличить не только качество жизни, но и её продолжительность. Именно поэтому все передовые страны мира вкладываются в развитие данной области медицины, постоянно ведутся исследования и разработка инновационных роботов и модернизация уже имеющихся. В Москве проводится до 4,5 тысяч операций с участием малоинвазивных роботохирургических вмешательств [3].

Если рассматривать роботов-хирургов как частный случай мехатронных и робототехнических систем, то можно предположить, что основными тенденциями развития должны быть интеграция, интеллектуализация и миниатюризация [4].

В области хирургии добилась высоких успехов компания Intuitive Surgical, которая разработала хирургического робота *da Vinci* [5]. Это самый распространённый медицинский робот и он считается стандартом в хирургической области. С помощью этого робота операции выполняются с минимальными разрезами и абсолютной точностью, что в свою очередь уменьшает кровотечения, риски инфицирования, а также обеспечивает более быстрое заживление.

Сам аппарат состоит из двух блоков, первый блок предназначен для хирурга. Врач садится за пульт управления, который дает возможность видеть оперируемую часть в режиме 3D с многократным увеличением, также блок для хирурга оснащён специальными джойстиком для управления вторым блоком данной установки, который представляет собой робота – манипулятора и состоит из четырех рук.

Одна рука этого робота держит камеру, которая передает изображение оперируемого участка, следующие две руки воспроизводят действия, заданные хирургом на джойстиках, а последняя рука выступает в роли ассистента хирурга. Сами манипуляторы имеют наклон по сагиттальной плоскости 336 градусов, а по фронтальной – 149 градусов, ось введения составляет 28,75 сантиметров. Эндоскоп у *da Vinci* обладает углом обзора в 60 градусов и разрешением 1280x1024. Среднее время работы консоли составляет $265,7 \pm 60,9$ минут, а общее время стыковки $5,3 \pm 1,3$ минут.

Данная система не лишена недостатков, она очень громоздкая, имеет вес в 500 килограмм, что не позволяет перемещать ее между операционными и стоит около трех миллионов евро, что ограничивает возможности внедрения её в региональные поликлиники. Также хирурги должны проходить достаточно долгое дополнительное обучение, чтобы получить навыки использования такого робота.

Долгое время роботу *da Vinci* не было аналогов, но с недавнего времени стали появляться хирургические роботы, которые по многим параметрам могут его превосходить. Одним из таких является хирургический робот *Versius* [6] производства компании *CMR Surgical*.

Versius – это система, которая состоит из модульных роботов-манипуляторов, что очень упрощает как использование такого робота, так и его производство. Врачи могут передвигать такие модули между операционными, что обеспечивает высокую мобильность системе, а также вокруг операционного стола можно разместить определенное количество таких рук-манипуляторов.

Всеми модулями также управляет хирург, но для *Versius* нет отдельного терминала для врача, вместо этого хирург оператор использует 3D-очки и обычный монитор. Управление происходит с помощью джойстиков при наличии системы тактильной обратной связи.

От аналогов система отличается высокой точностью, Versius может работать через надрезы всего в пять миллиметров, когда большинство аналогов работает через надрезы в восемь миллиметров. Разница в том, что надрезы в восемь миллиметров надо зашивать, а в пять – не обязательно.

Кроме того, хирургам необходимо меньше времени на обучение, чтобы начать пользоваться Versius. Например, для закрепления навыка завязывания хирургического узла вручную при малоинвазивной полостной операции хирургу требуется 60-80 часов практики, тогда как с помощью Versius он может освоить эту же процедуру за 30 минут. Versius является более дешевым, мобильным и практичным устройством, в отличие от DaVinci, но DaVinci проверенное годами устройство, которое используется во множествах учреждений, за ним репутация и проверка временем, а Versius новое устройство и при всех своих плюсах не ясно, как оно покажет себя через время.

Но оба этих устройства по-прежнему остаются дорогими, степень автоматизации пока что остаётся достаточно низкой. Поэтому калифорнийский профессор Джейкоб Розен работает над полностью автоматизированным роботом хирургом Raven [7]. Raven имеет открытую архитектуру, что позволяет свободно исследовать код робота, а также как и другие роботы хирурги у него есть блок с четырьмя руками.

В основе Raven лежит концепция Apprenticeship Learning – это новый подход к обучению роботов, который позволит полностью автономно совершать задачи роботам с повышенной скоростью и плавностью. Исследователи записывают набор траекторий движений робота, которым управляет человек. Далее, после анализа, алгоритм извлекает идеальную траекторию, которую сможет выполнять робот с постепенно увеличивающейся скоростью, используя вариант интерактивного обучения. Пока что благодаря такой системе обучения, роботы уже могут делать сложные швы быстрее и точнее человека, а в будущем смогут и проводить сложные операции без участия человека, что сделает такие системы полностью автономными, а значит более дешевыми и более компактными.

Также стоит отметить роботов [3], которые пока не получили широкого распространения и существуют в единичных экземплярах или на уровне разработок. Они отличаются высокой степенью специализации и не являются универсальными. Роботизированная система Maestro (2022) позволяет проводить операции на мягких тканях, робот Yaomi (2021) может проводить стоматологические операции. Одним из примеров робот-ассистированной хирургии является система SkyWalker (2022), используемая для полной замены коленного сустава.

На основании данных примеров, видно, что разработчики стремятся к менее габаритным, но более функциональным устройствам, где главной целью является достижение полной автономности таких роботов при помощи машинного обучения. Универсального робота, который бы обладал полной автоматизацией, пока не создано, но отдельные диагностические операции, например, лапароскопия [3], уже могут быть выполнены роботами без участия человека.

По проведённому анализу можно сделать вывод, что тенденции развития хирургической робототехники соответствуют основным тенденциям развития мехатроники. Кроме того, в настоящий момент более явно проявлена тенденция специализации с отказом от универсальности, что объясняется более сложным исследованием и разработкой универсальных хирургических систем.

Список литературы

1. Евгеньев Г.Б., Крюков С.С., Частухин А.В. Обработывающие робототехнологические комплексы в машиностроении // Известия высших учебных заведений. Машиностроение. – 2017. – № 5(686). – С. 60-71. – doi.org/10.18698/0536-1044-2017-5-60-71.
2. Юдина М. Индустрия 4.0: перспективы и вызовы для общества // Государственное управление. Электронный вестник. – 2017. – №60. – С. 197-215.
3. Роботы-хирурги [Электронный ресурс]. – Режим доступа: zdrav.expert/index.php/Статья:Роботы-хирурги.
4. Готлиб Б.М. Введение в мехатронику. Т. 2. Проектирование и применение мехатронных модулей и систем: учеб. пособие. – Екатеринбург: УрГУПС, 2008. – 302 с.
5. DiMaio S., Hanuschik M., Kreaden U. The da Vinci Surgical System // Surgical Robotics. – Boston, MA: Springer, 2011. – P. 199-217. – doi.org/10.1007/978-1-4419-1126-1_9.
6. Haig F. Usability assessment of Versius, a new robot-assisted surgical device for use in minimal access surgery // BMJ Surgery, Interventions, & Health Technologies. 2020, no. 2, p. 000028. doi.org/10.1136/bmjsit-2019-000028.
7. Yangming Li, Blake Hannaford, Jacob Rosen. Open Surgical Robotic Platforms // Acta Polytechnica Hungarica. 2019, vol. 14, no. 12, pp. 151-169. doi.org/10.48550/arxiv.1906.11747.

Сведения об авторах:

Дмитриев Никита Владимирович – старший преподаватель кафедры «Мехатроника»;
Ярдяков Владислав Олегович – студент.