

УДК 621.01

СБАЛАНСИРОВАННЫЙ МЕХАНИЗМ С УДАЛЕННЫМ ЦЕНТРОМ ВРАЩЕНИЯ ДЛЯ ДИСТАНЦИОННОГО УПРАВЛЕНИЯ ЛАПАРОСКОПИЧЕСКИМ ИНСТРУМЕНТОМ

К.А. Шалюхин

Институт машиноведения им. А.А. Благонравова РАН
Россия, 101000, Москва, М. Харитоньевский пер., 4
E-mail: constmeister@gmail.com

В.А. Глазунов

Институт машиноведения им. А.А. Благонравова РАН
Россия, 101000, Москва, М. Харитоньевский пер., 4
E-mail: vaglznv@mail.ru

А.К. Алешин

Институт машиноведения им. А.А. Благонравова РАН
Россия, 101000, Москва, М. Харитоньевский пер., 4
E-mail: aleshin_ak@mail.ru

Г.В. Рашоян

Институт машиноведения им. А.А. Благонравова РАН
Россия, 101000, Москва, М. Харитоньевский пер., 4
E-mail: gagik_r@bk.ru

Ключевые слова: механизм с удаленным центром вращения, робот-ассистированная операция, малоинвазивная хирургия, эндоскоп, датчик движения.

Аннотация: В докладе представлен механизм для робот-ассистированной хирургии. Рассмотрены его свойства и характеристики, обусловленные наличием удаленного центра вращения. Приведен пример датчиков движения, позволяющих эффективно управлять манипулятором в процессе операции. Сделаны заключения о перспективности использования механизма подобной схемы для управления камерой медицинского эндоскопа, а также при малоинвазивных операциях с использованием ручного хирургического инструмента.

1. Введение

Одной из важных областей применения современных манипуляторов является медицина, что обусловлено такими свойствами подобных механизмов, как высокая точность позиционирования и жесткость. Наиболее часто они применяются в робот-ассистированной хирургии, в таких областях, как нейрохирургия и малоинвазивная хирургия [1, 2]. В хирургической практике применяются роботы и манипуляторы с самыми различными принципами построения и конструктивными решениями. Тем не менее, при всем многообразии структурных схем манипуляторов, в случае малоинвазивной хирургии наибольшее предпочтение отдается механизмам с

удаленным центром вращения. В таких устройствах выходное звено, которым служит, как правило, лапароскопический инструмент, совершает вращательные движения относительно фиксированной точки, при этом все промежуточные звенья располагаются на определенном удалении от нее. Эта необходимость вызвана тем, что данная точка, называемая удаленным центром вращения механизма, обычно находится в месте разреза или прокола, через который инструмент введен в тело пациента, что является характерной отличительной особенностью малоинвазивных хирургических операций. В широко распространенной робот-ассистированной системе «*da Vinci*» [3], используемой для таких целей, решение этой задачи осуществляется не кинематикой механизма, а путем введения двух дополнительных степеней подвижности манипулятора при соответствующем алгоритмическом обеспечении. В робот-ассистирующем комплексе *SoloAssist* [4], представляющей собой автономную робототехническую систему манипулирования медицинским эндоскопом с видеокамерой, удаленный центр вращения обеспечивается фиксацией инструмента тканями пациента в точке прокола при наличии у манипулятора пассивных степеней подвижности манипулятора в дополнение к приводным, сообщающим инструменту два угловых и одно линейное перемещение. Поворот эндоскопа вокруг собственной оси здесь задается вручную без использования приводов.

2. Манипулятор для робот-ассистированной хирургии

В Институте машиноведения им. А.А.Благонравова РАН (ИМАШ) ведутся работы по созданию современных медицинских манипуляторов с различными принципами построения и способами управления [5]. Одна из новейших разработок - манипулятор на базе сбалансированного механизма с удаленным центром вращения и четырьмя степенями свободы. Структура механизма манипулятора показана на рисунке 1.

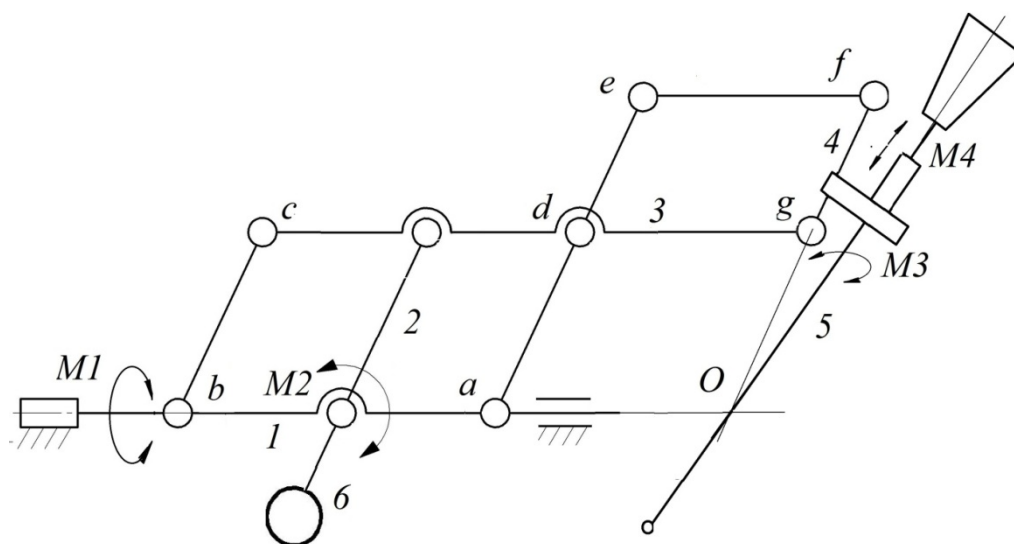


Рис. 1. Структура механизма с удаленным центром вращения.

Механизм основан на двух плоских шарнирных параллелограммах $abcd$ и $defg$. При этом стороны cd и dg соединены и являются единым звеном 3. Кроме того, стороны ad и de также составляют единое целое. Конструкция размещена на поворотной платформе 1, вращаемой вокруг горизонтальной оси, лежащей в плоскости параллелограммов приводом поперечного наклона $M1$, установленным на основании. Перемещение звена 3 осуществляется через звено 2 приводом продольного наклона $M2$,

установленного на платформе. Звено 4 при этом перемещении вращается вокруг точки O , которая также является центром вращения при поперечном наклоне, поскольку через нее проходит ось вращения платформы. На звене 4 последовательно установлены приводы собственного вращения $M3$ и продольного перемещения $M4$ рабочего инструмента. Приводы расположены таким образом, что ось рабочего инструмента 5 расположена по оси собственного вращения, и проходит через точку O , а продольное перемещение происходит вдоль оси инструмента. Для уменьшения статического момента из-за несбалансированности конструкции относительно осей приводов $M1$ и $M2$ на нижнем конце звена 2 установлен противовес 6.

В соответствии с формулой Сомова-Малышева, число степеней подвижности данного механизма равно четырем:

$$W = 6 \times n - 5p_5 = 4$$

где n – число подвижных звеньев механизма, в данном случае, девять; p_5 – число одноподвижных кинематических пар (пар 5-го класса), равное десяти; кинематических пар других классов механизм не содержит.

Общий вид опытного образца механизма с медицинским эндоскопом и камерой показан на рисунке 2.

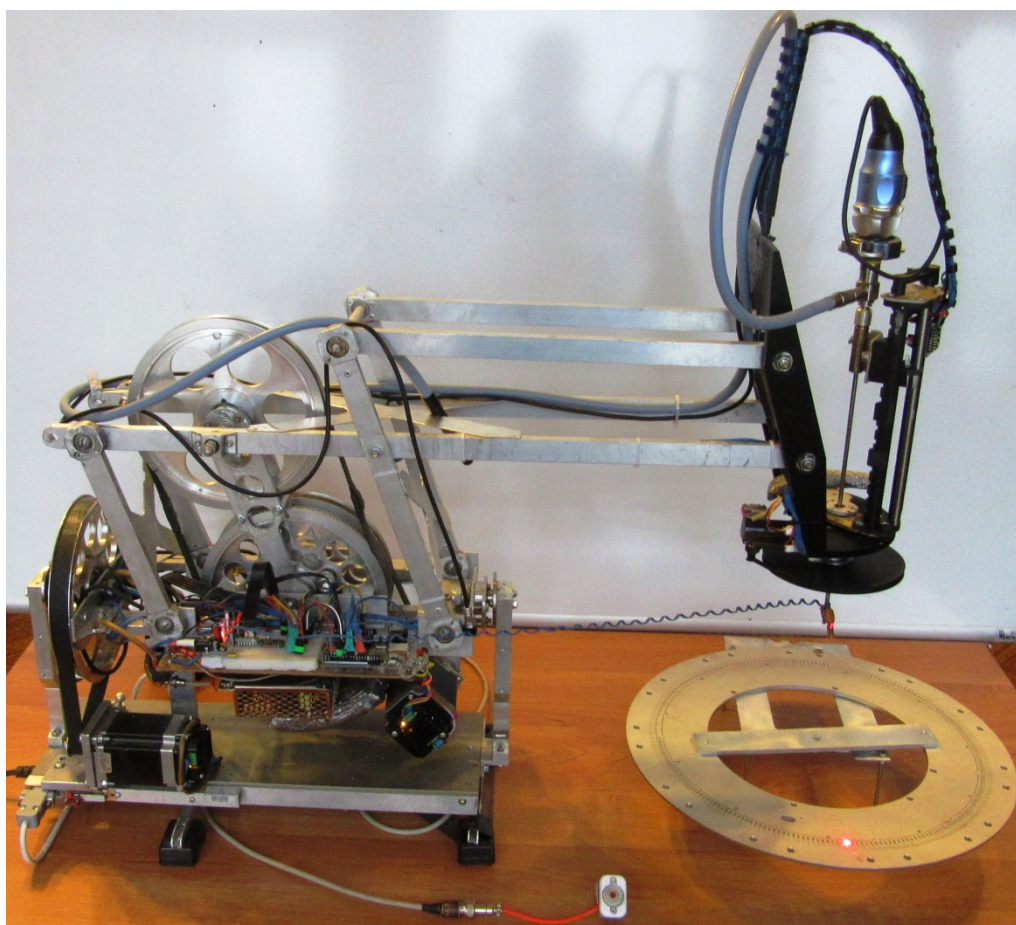


Рис. 2. Общий вид манипулятора.

Достоинства данного манипулятора состоят в простой системе управления на основе шагового привода, построенной с использованием процессора Arduino uno, технологии, позволяющей реализовывать широчайший спектр программ управления с использованием как цифровых, так и аналоговых задатчиков движения [6].

Для управления таким механизмом в ИМАШ РАН разработаны задатчики движения, построенные на различных принципах действия. Например, для обеспечения возможности оперирующему хирургу самому, без помощи ассистента, управлять эндоскопом, отображающим операционную зону, могут быть использованы небольшие джойстики, закрепляемые на лапароскопических инструментах, которыми оперирует хирург. Такой подход, в частности, используется в роботизированной системе управления эндоскопом *Soloassist* [4]. Разработанный опытный образец в составе двух закрепляемых на рабочих инструментах джойстиков и коммутатора сигналов на основе процессора *Arduino uno*, изображен на рисунке 3

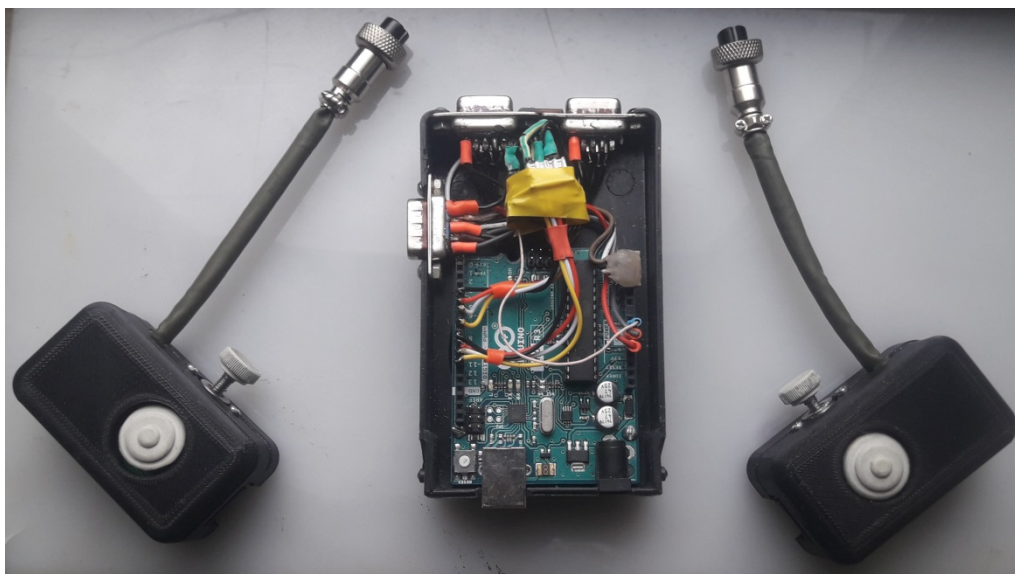


Рис. 3. Раздельные закрепляемые джойстики с коммутатором сигналов

3. Заключение

На основе опыта разработки и манипулятора, использующего механизм с удаленным центром вращения, а также задатчиков движения для целей управления, можно сделать следующие выводы:

1) Структура и конструкция манипулятора на основе механизма с удаленным центром вращения позволяют эффективно управлять движением лапароскопических инструментов, в частности, камерой эндоскопа, что делает возможным его использование в качестве робота-ассистента при выполнении малоинвазивных операций.

2) Возможным вариантом устройств управления камерой эндоскопа являются задатчики движения в виде джойстиков, закрепляемых на рабочих инструментах оперирующего хирурга.

Список литературы

1. Kuo C.-H., Dai J.S., Dasgupta P. Kinematic Design Considerations for Minimally Invasive Surgical Robots: An Overview // *International Journal of Medical Robotics and Computer Assisted Surgery*. 2012, No. 8. P. 127-145.
2. Essomba T., Nguyen Vu L., Wu, C. Optimization of a Spherical Decoupled Mechanism for Neuro-Endoscopy Based on Experimental Kinematic Data // *Journal of Mechanics*. 2020. No. 36 (1). P. 133-147.

3. Freschi C., Ferrari V., Melfi F., Ferrari V., Mosca F., Cuschieri A. Technical review of the daVinci surgical telemanipulator // *The International Journal of Medical Robotics and Computer Assisted Surgery*. 2013. Vol. 9. P. 394-406
4. Ohmura Y., Nakagawa M., Suzuki H., Kotani K., Teramoto A. Feasibility and Usefulness of a Joystick-Guided Robotic Scope Holder (Soloassist) in Laparoscopic Surgery // *Visceral Medicine*. 2018. Vol. 34. P. 37-44
5. Алешин А.К., Антонов А.В., Глазунов В.А., Демидов С.М., Рашоян Г.В., Скворцов С.А., Терехова А.Н., Шалюхин К.А., Шептунов С.А. Пространственный механизм с шестью степенями свободы. Патент на полезную модель RU 182946 U1. 06.09.2018.
6. Warren J.-D., Adams J., Molle H. Arduino for Robotics // In: *Arduino Robotics*.