

Разработка радиоуправляемого робота-щупальца

А. М. Даутов¹, Е. Е. Копец², А. И. Каримов³,
В. Г. Рыбин⁴, А. М. Хафизова⁵, М. С. Сигаева⁶

Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет
«ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина)

¹amdautov@etu.ru, ²eekopets@etu.ru, ³aikarimov@etu.ru,
⁴vgrybin@etu.ru, ⁵amkhafizova@stud.etu.ru, ⁶mssigaeva@etu.ru

Аннотация. Статья посвящена разработке роботизированного щупальца, относящегося к классу мягких роботов. Подобные роботы обеспечивают надежный захват объектов в труднодоступных местах без больших механических усилий, что делает их востребованными в разнообразных областях коллаборативной робототехники. Приводится описание принципа работы механического щупальца. Рассматривается решение задач позиционирования и обеспечения движения щупальца, для чего предлагается использовать обратную связь на основе тензодатчиков и приводной механизм на основе шаговых двигателей. Указанные конструктивные решения были применены и исследованы при создании прототипа робота-щупальца, признана их перспективность.

Ключевые слова: мягкие роботы; беспроводное управление; тензодатчики; задача позиционирования; велостат

I. ВВЕДЕНИЕ

Робототехника становится всё более востребованной благодаря преимуществам автоматизированных установок над человеком, выражающимся в независимости от фактора выносливости, а также в точности выполнения совершаемых действий. Роботизированные установки, способные выполнять прикладные задачи, уже не редкость в эксплуатации как в быту, так и в промышленности [1]. Робототехника позволяет разрабатывать устройства самого разного назначения и конструкции, включая имитацию движения насекомых, животных или даже птиц [2]. Таких роботов относят к категории мягких. Под термином «мягкий робот» понимают устройства, выполненные из мягких материалов подобных тканям живых организмов, например, из силикона. Перспективными с практической точки зрения являются автоматизированные системы на основе наблюдений за представителями подводного мира [3], имеющие в особенности своей конструкции упомянутую мягкость.

В данной статье описывается один из прототипов мягких роботов, подходящих для решения практических задач, включая:

- исследовательскую функцию, к примеру, изучение износостойкости гибких материалов при длительной эксплуатации;
- работу в качестве манипулятора [4] для захвата и перемещения объектов.

II. ПРОЕКТИРОВАНИЕ И ПРОТОТИПИРОВАНИЕ

На этапе проектирования робота-щупальца были решены следующие задачи:

- с помощью виртуальной среды моделирования Fusion 360 было выбрано расположение компонентов системы внутри корпуса таким образом, чтобы каждый из них корректно выполнял свою функцию без риска замыкания элементов, перегрева и др. Также при моделировании учитывалась потребность в быстром и удобном доступе к модулям системы для возможности корректировки их работы;
- С помощью параметрического моделирования удалось добиться оптимальных габаритных размеров, что позволило снизить расход конструкционного материала и, как следствие, уменьшить стоимость итоговой разработки.
- Модель полученной роботизированной платформы представлена на рис. 1. При проектировании к функциональности и реализации конструкции предъявлялись следующие требования:
- изолирование токопроводящих элементов;
- переключение системы в аварийный режим в непредвиденных ситуациях, к примеру, при отхождении контактов, обеспечивающих логику, и возможных последующих сложно контролируемых сбоях;
- устойчивое крепление всех элементов для обеспечения позиционирования с требуемой точностью и создания сопротивления сильному натяжению.



Рис. 1. 3D модель роботизированной платформы

В качестве модели, на основе которой сконструирован наш проект, было выбрано щупальце ручного управления, описанное в [5]. В проекте Д. Васкеса управление роботом осуществляется механически без использования программируемой системы, способной регулировать работу устройства. В данной статье рассматривается расширение проекта Д. Васкеса, в который мы внедрили элементы автоматизации в виде системы датчиков Холла и системы позиционирования. Разработанный прототип включает щупальце, систему моторов и драйверов, крепления, блок питания, а также печатную плату, реализующую логику работы (рис. 2).

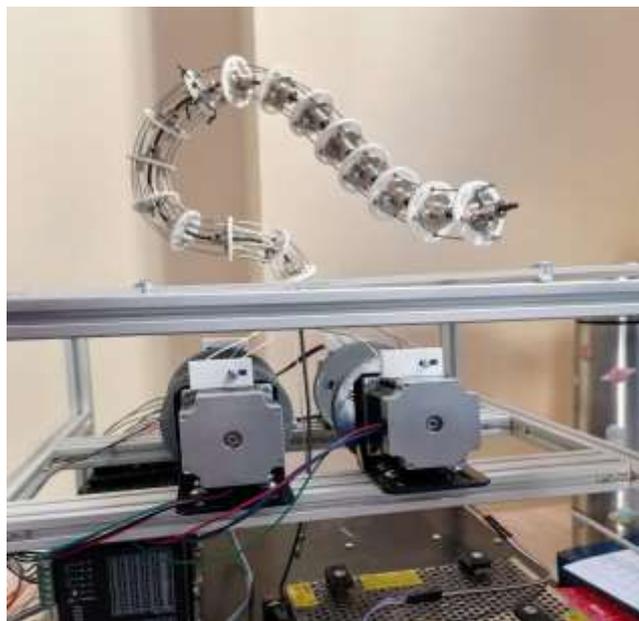


Рис. 2. Прототип робота-щупальца

Сконструированное щупальце представляет собой набор фланцев. Все фланцы предварительно были смоделированы в среде Fusion 360 и затем распечатаны на 3D принтере Anycubic 4Max Pro 2.0. Фланцы скреплены гибким валом. Через их дополнительные отверстия проходят восемь тросов, отвечающих за направление движений и формы изгибов. Тросы доходят до дисков моторов и фиксируются с помощью крепёжных элементов. Диски выполнены из пластика с применением аддитивных технологий. Тросы проходят параллельно оси и перпендикулярно к нормали основания диска. Крепление тросов осуществляется с помощью болтов и фиксирующих гаек. Болты прижимают тросы к алюминиевым уголкам, что позволяет избежать деформации пластика при эксплуатации. Диски закрепляются с помощью фланцев на шаговых двигателях Nema23. Чем больше число шагов, тем точнее щупальце будет позиционироваться в пространстве. Выбор моторов обусловлен возможностью контроля количества шагов за оборот. В разработанном роботе данный параметр составляет 6400 шагов.

Каркас изготовлен из двадцатимиллиметрового алюминиевого профиля. Отдельные компоненты связаны скрытыми соединительными уголками. Стенки изготовлены из акрила. Платформа, на которой

осуществляется крепление элементов силовой электроники и платы, выполнена из композитного материала. Реализовано две кнопки, с помощью которых можно осуществить перезагрузку микроконтроллера или его выключение. Данные действия могут позволить предотвратить непредвиденные ситуации, включая нанесение роботом ущерба самому себе в случае перенапряжения тросов или др.

Управление роботом осуществляется с помощью геймпада, изготовленного на основе схемы сборки DIY Arduino based RC Transmitter [6]. Щупальце способно принимать позицию, задаваемую пользователем. Во избежание перенапряжения проволоочной нити предусмотрена система на основе датчиков Холла. На дисках под определенным углом установлены магниты. Диск, совершив оборот до момента, когда магнитное поле начинает воздействовать на датчик Холла, возвращается в нейтральное состояние, что позволяет избежать прокручивание диска на валу, приводящее к срыву.

Энергообеспечение осуществляется за счет блока питания в 24 вольт. Напряжение подается на параллельно соединенные драйверы, отвечающие за контроль моторами. Драйверы Microstep Driver DM556 имеют возможность подстройки количества совершаемых шагов за оборот в 360 градусов, а также корректировки значения потребляемого тока. Это обеспечивает повышение точности при задании положения щупальца.

Предварительно плата была спроектирована в виртуальной среде EasyEDA. Ее 3D-макет представлен на рис.3. За логическую составляющую отвечает плата с оригинальной разводкой (рис.4). В качестве компонентов схемы выступают: микроконтроллер Arduino mega 2560 – главный элемент платы, обеспечивающий логическую связь между компонентами и несет на себе всю вычислительную нагрузку; радио модуль NRF24L01+, осуществляющий передачу логической связи между пользователем и системой; аналоговый коммутатор (мультиплексор) CD74HC4067 для обеспечения дополнительными пинами в случае необходимости подключения новых модулей; регулируемый преобразователь LM2596HVS DC-DC для питания микроконтроллера, а также уменьшения лишней нагрузки кабелей на занимаемое пространство в объеме корпуса.

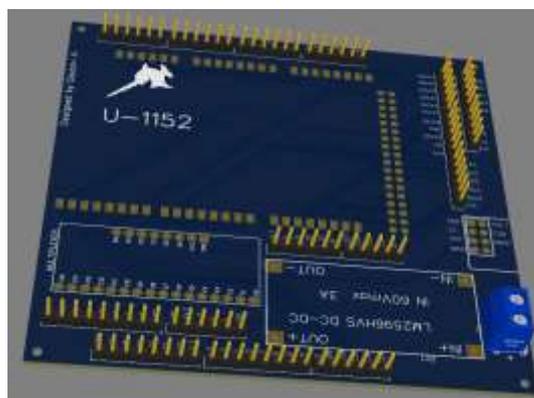


Рис. 3. Макет платы в виртуальной среде проектирования EasyEDA

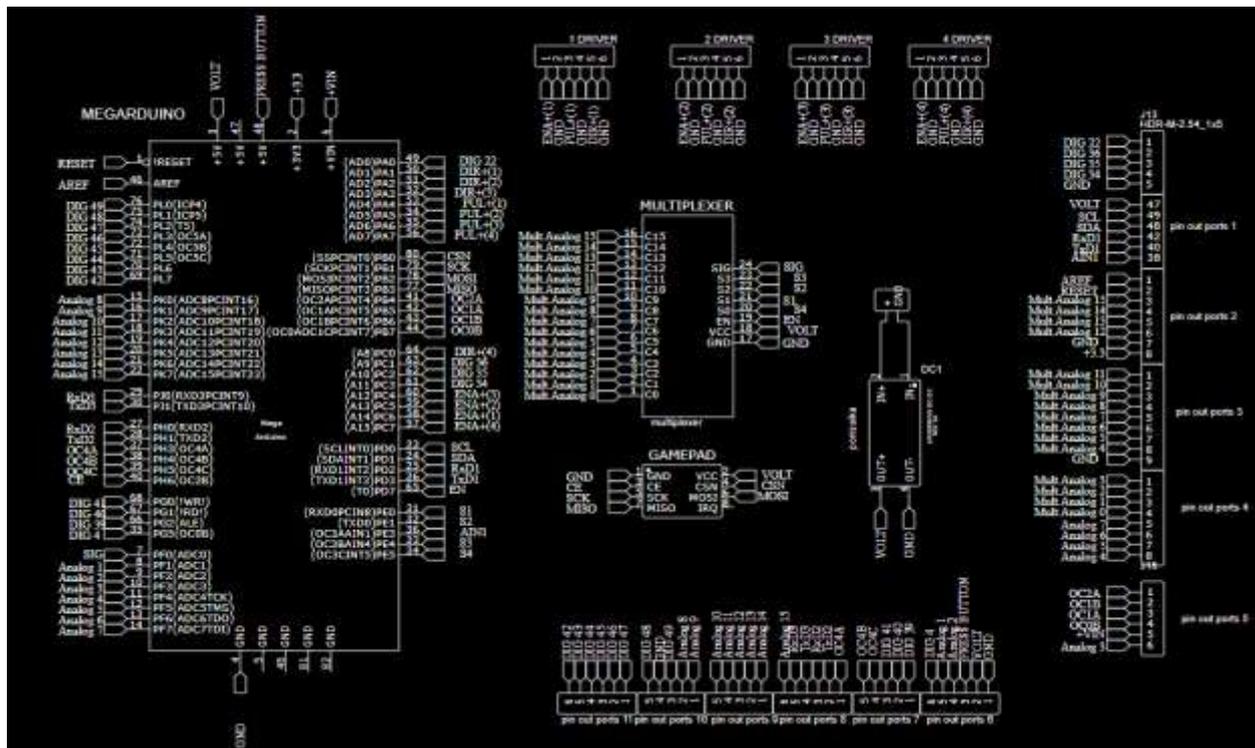


Рис. 4. Принципиальная схема логического сообщения между элементами

III. РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ

Система позиционирования состоит из:

- геймпада, от которого с помощью радио модуля осуществляется логическая связь между пользователем и системой управления роботом;
- четырех драйверов шагового двигателя, каждый из которых отвечает за отдельный мотор;
- четырех двигателей Nema23.

Геймпад на основе Arduino Pro Mini предназначен для управления состоянием щупальца. Для связи с Arduino модуль NRF24L01 использует протокол SPI и два дополнительных цифровых контакта. Принципиальная схема подключения представлена на рис. 5.

Для начала работы следует перевести тумблер в крайнее верхнее положение. Управление щупальцем осуществляется аналоговыми стиками [7]. За движение щупальца отвечают ранее упомянутые восемь тросов. Четыре из них проходят через все шестнадцать фланцев и отвечают за изгибы головы, а другие четыре проходят только через восемь фланцев и обеспечивают устойчивость щупальца в вертикальном положении, а также при изгибах в нижней части конструкции. За управление первыми четырьмя тросами отвечает левый стик геймпада, за вторыми – правый. Также предусмотрена функция запоминания положения, в котором находилось щупальце, на основе системы датчиков изгиба.

Для запоминания позиции щупальца пользователь нажимает на левый стик геймпада, в результате чего в памяти микроконтроллера происходит сохранение значений сопротивления системы, полученных с датчиков изгиба [8]. После возвращения щупальца в исходное положение, возможно установить его в позицию, координаты которой пользователь сохранил ранее с помощью нажатия на правый стик. Допустимая погрешность позиционирования составляет 5%. Также стоит учитывать, что возможна ситуация, при которой запоминаемые положения различаются, но при этом снимаемые с датчиков значения одинаковы. Примером могут служить симметричные относительно одной из осей положения. Наиболее предпочтительным подходом к решению данной проблемы является проверка достижимости требуемой позиции через последовательный просмотр значений, выдаваемых тензодатчиками. Предлагаемый метод позволяет

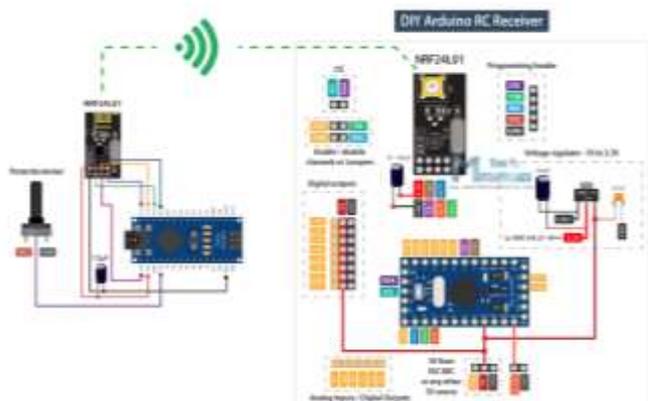


Рис. 5. Принципиальная схема платы геймпада

обеспечить более точное позиционирование в сравнении с подходом, при котором информация считывается со всех сенсоров одновременно.

В текущей версии проекта в роли тензодатчиков выступают датчики длиной в 4.5 дюйма, работающие на технологии Spectra Symbol. В дальнейшем они будут заменены на измерители сопротивления на основе материала Velostat, из которого нами на данный момент уже изготовлен прототип датчика [9]. Velostat характеризуется достаточной гибкостью, позволяющей копировать изгибы щупальца при позиционировании, а также обладает сравнительно низкой ценой. Сенсор из данного материала состоит из пяти гибких слоёв (рис. 6), каждый из которых выполняет определенную функцию:

- крайние слои выполняют функцию изоляции [10], для уменьшения степени воздействия внешних факторов, таких как влага и замыкание;
- второй и третий слои являются электродами;
- третий слой – сам Velostat, изменяющий своё сопротивление при физическом воздействии.

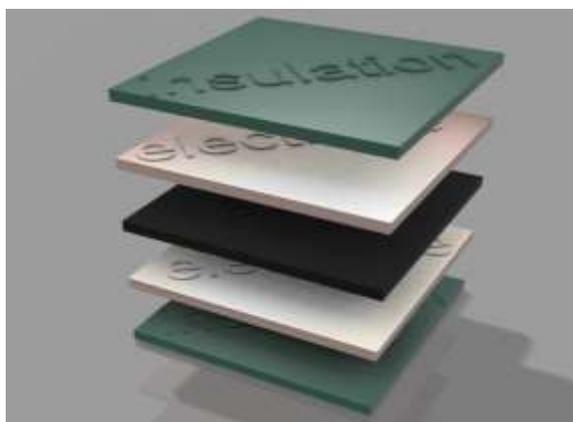


Рис. 6. Конструкция тензодатчика на основе материала Velostat

На данный момент уже были проведены опыты позиционирования щупальца с использованием данного материала для конструирования своего тензодатчика. Однако было обнаружено, что экспериментально разработанный сенсор требует доработки для использования в технических приложениях, поскольку он обладает большим разбросом в своих показаниях даже при малейшем внешнем воздействии.

IV. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На данный момент завершено конструирование работающего щупальца, разработаны печатные платы, обеспечивающие логическую составляющую проекта. Для управления системой с помощью микроконтроллера Arduino

реализована программа, задающая требуемую позицию щупальца. Спроектирована энергообеспечивающая система.

Проведена серия опытов управления прототипом с последующим выявлением и исправлением возникших неисправностей. В частности, в ходе экспериментов было определено оптимальное расположение магнитов для датчиков Холла, уменьшающее риск нанесения роботом вреда самому себе. Проведена корректировка длины натягивающихся тросов, так как ее избыточность приводила к отсутствию необходимого момента силы, и соответствующего натяжения. Оптимизирован код системы управления. Экспериментально протестирована система из тензодатчиков для решения задачи позиционирования.

В дальнейшем подразумевается использование полученного опыта при проектировании и реализации мягких роботов для решения прикладных задач.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] RoboMatic Industrial Robots [Электронный ресурс]; URL: <http://robomatic.ru/robots/primenenie-promyshlennyh-robotov> (дата обращения: 15.06.2021)
- [2] Article “Controlled flight of a microrobot powered by soft artificial muscles” // Nature, URL: <https://www.nature.com/articles/s41586-019-1737-7> (дата обращения: 16.06.2021)
- [3] Underwater Soft Robot Modeling and Control With Differentiable Simulation // IEEE Robotics and Automation Letters (Volume: 6, Issue 3, July 2021), с. 4994-5001
- [4] Iqbal, J., Islam, R. U., & Khan, H. (2012). Modeling and analysis of a 6 DOF robotic arm manipulator. // Canadian Journal on Electrical and Electronics Engineering, 3(6), с. 300-306.
- [5] Vasquez J. The bootup guide to homebrew two-stage tentacle mechanisms. URL: <https://hackaday.com/2016/09/13/the-bootup-guide-to-homebrew-two-stage-tentacle-mechanisms/> (дата обращения 17.06.2021)
- [6] DIY Arduino RC Transmitter; URL: <https://howtomechatronics.com/projects/diy-arduino-rc-transmitter/> (дата обращения: 17.06.2021)
- [7] Bivar J., & Vale A. (2011, June). Behavior of digital and analog controller devices for manual driving of rhombic like vehicles. In 2011 19th Mediterranean Conference on Control & Automation (MED) (с. 1065-1070). IEEE.
- [8] Ananthi S., Lamba M., Chaudhary H., & Singh K. (2020, December). The comparative study of flexible sensors and their application in flexible electronics measurement. // AIP Conference Proceedings (Vol. 2294, No. 1, p. 020006). AIP Publishing LLC.
- [9] Suprpto S.S., Setiawan A.W., Zakaria H., Adiprawita W. Low-Cost Pressure Sensor Matrix Using Velostat // 2017 5th International Conference on Instrumentation, Communications, Information Technology, and Biomedical Engineering (ICICI-BME), 2017, с. 137-140.
- [10] Cavallini A., Fabiani D., & Montanari G. C Power electronics and electrical insulation systems. Part 1: Phenomenology overview // IEEE Electrical Insulation Magazine, 2010, №23(6), с. 7-15.