

МИНОБРНАУКИ РОССИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«САРАТОВСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ
Н.Г. ЧЕРНЫШЕВСКОГО»

Кафедра динамического моделирования и биомедицинской инженерии

«Универсальный контроллер двухосевой мехатронной системы
позиционирования лазерного рабочего инструмента»

АВТОРЕФЕРАТ МАГИСТЕРСКОЙ РАБОТЫ

Студента 2 курса 2281 группы
направления 12.04.04 «Биотехнические системы и технологии»
институт физики
Ежов Дмитрий Максимович

Научный руководитель:
доцент кафедры
динамического моделирования
и биомедицинской инженерии,
к.ф.-м.н.



09.06.2023

подпись, дата

Е.И. Боровкова

Зав. кафедрой динамического
моделирования и
биомедицинской инженерии,
д.ф.-м.н., доцент



09.06.2023

подпись, дата

А.С. Караваяев

Саратов 2023

Введение

В настоящее время разрабатывается и внедряется в медицинскую практику большое количество мехатронных устройств медицинского назначения [1-6]. Считается, что комплекс многих устройств-манипуляторов может дать существенное улучшение качества лабораторных исследований [7, 8].

При этом контроллеры управления подобными устройствами отличаются высокой степенью унификации и универсальности [9-12]. Также целый ряд разработок в этом направлении используется не только в биотехнологических системах, но и в промышленном оборудовании с числовым программным управлением (ЧПУ)[9, 10, 13].

Перспективным направлением развития мехатронных систем является разработка унифицированных контроллеров, позволяющих управлять приводами рабочих инструментов различного назначения.

Поэтому **целью** данной работы является разработка универсального контроллера мехатронного устройства с 2 степенями свободы.

Для достижения поставленной цели в данной работе были решены следующие **задачи**:

1. Разработка структурной схемы устройства;
2. Создание компьютерной модели динамики рабочего инструмента;
3. Разработка структурной схемы программных модулей программного обеспечения устройства;
4. Разработка и изготовление платы контроллера;
5. Реализация программного обеспечения контроллера;
6. Проверка и тестирование работоспособности контроллера на примере управление рабочим инструментом лазерного гравера.

Структура работы. Дипломная работа состоит из введения, 8 глав, заключения и списка использованных источников.

В **главе 1** «Типичные элементы автоматических мехатронных устройств» приводится обзор элементов мехатронных устройств, устройство привода мехатронных устройств.

В **главе 2** «Структурная схема устройства» приводится структурная схема разрабатываемого контроллера двухосевой мехатронной системы.

Глава 3 «Модель контроллера на Python» посвящена созданию программного обеспечения, обеспечивающего численное моделирование движения рабочего инструмента.

В **главе 4** «Аппаратная часть» разрабатывается электрическая принципиальная схема контроллера и плата контроллера.

В **главе 5** «Архитектура программного обеспечения» речь идёт о разработанной модульной архитектуре программного обеспечения контроллера мехатронной системы.

В **главе 6** «Программный код контроллера» описывается принцип создания из модулей программного обеспечения требуемой архитектуры.

В **главе 7** «Программа контроля и управления для персонального компьютера» приводится описание программы для управляющего компьютера, которая осуществляет связь с контроллером и передачу управляющих команд.

В **главе 8** «Проверка работы системы» производится проверка работоспособности и оценка точности разработанной мехатронной системы.

Научно-техническая новизна работы состоит в разработке нового модульного расширяемого программного обеспечения для универсального контроллера двухосевой мехатронной системы.

Научная значимость определяется универсальностью разрабатываемого контроллера, который может использоваться для управления элементами исследовательских экспериментальных установок биоинженерного назначения.

Основная часть

1 Типичные элементы автоматических мехатронных устройств.

Подавляющее количество подобных устройств, как медицинских, так и промышленных используют в качестве привода шаговые двигатели (ШД) [14]. Шаговый двигатель - это двигатель, дискретно управляющий положением ротора, дискрет (длина шага) фиксирована для конкретного двигателя и определяется геометрией его ротора и статора.

Перед созданием мехатронной системы на основе шаговых двигателей стоит ряд проблем. Первая проблема заключается в невозможности сразу вращать шаговый двигатель с необходимой скоростью ввиду существования инерции механики, приводимой в движение двигателем. Для решения этой проблемы двигатель необходимо разгонять и тормозить постепенно, по линейному закону.

Другая проблема заключается в осуществлении линейного не параллельного координатным осям перемещения. Для такого движения необходимо одному ШД вращаться со скоростью отличной от другого, но и остановиться при этом они должны одновременно.

Обойти такой недостаток дискретного привода возможно с помощью использования алгоритмов из дискретной графики. А именно алгоритм Брезенхейма[15].

2 Структурная схема устройства. С учётом вышесказанного была определена следующая схема разрабатываемого аппаратно-программного комплекса:

1. Программа на ПК для передачи управляющих команд на контроллер станка;
2. Преобразователь интерфейсов для обмена контроллера данными с компьютером;

3. Микроконтроллер, реализующий все расчёты для передвижения рабочего инструмента;
4. Драйверы шаговых двигателей для управления ШД микроконтроллером;
5. Станок работающий в декартовых координатах с лазерным рабочим инструментом.

3 Модель контроллера на Python. Для отработки вариантов решения вышеуказанных проблем было решено сначала написать модель на языке Python и численно промоделировать перемещения станка.

Использование модели позволило лучше определиться со структурами данных, которые необходимо использовать в ПО контроллера, скорректировать разрабатываемую архитектуру ПО, а также показала предел точности при линейном перемещений = $\pm 0,5$ шага двигателя. Данные, полученные от модели, показаны на рисунке 1.

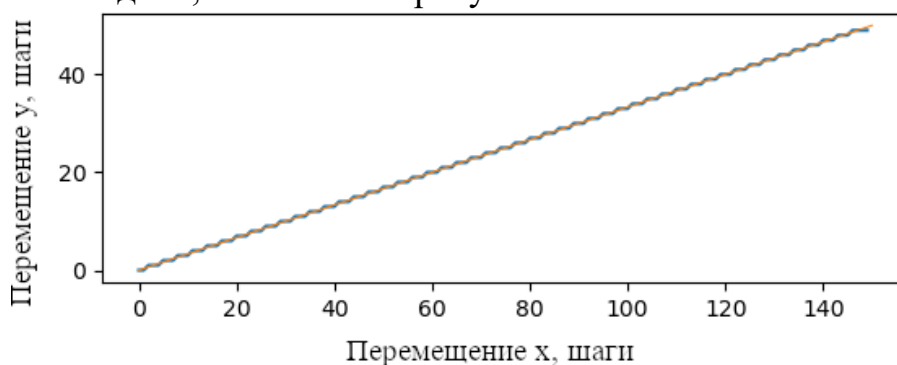


Рисунок 1 – Траектория движения рабочего инструмента

4 Аппаратная часть. Контроллер станка с ЧПУ состоит из аппаратной и программной частей. Аппаратная часть представляет собой специализированную плату с микроконтроллером для считывания G-кода с управляющего ПК, а также силовыми ключами для шаговых двигателей. Также на плате должен быть интерфейс для обмена данными с персональным компьютером. С учётом вышесказанного была разработана схема аппаратной части контроллера станка с ЧПУ, представленная на рисунке 2.

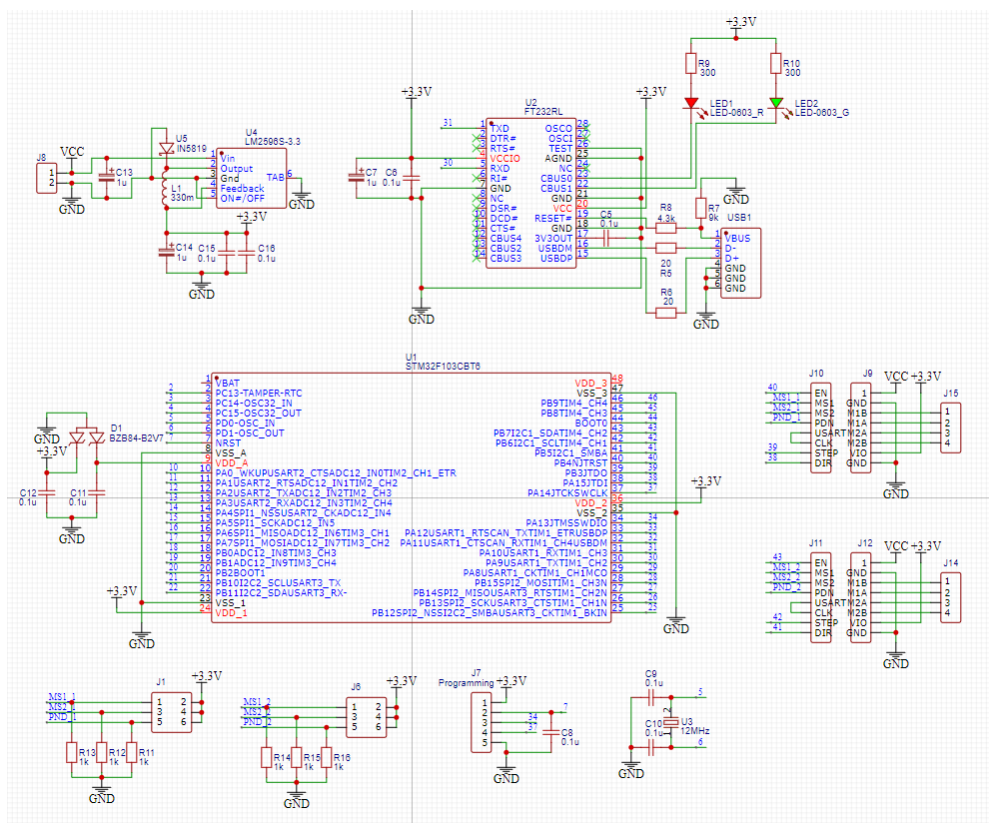


Рисунок 2 – Схема аппаратной части контроллера станка с ЧПУ

Разработанная плата имеет в своём составе следующие главные компоненты:

- Микроконтроллер STMicroelectronics STM32F103C8T6;
- Модули с интегральными драйверами шаговых двигателей Trinamic TMC2209;
- Микросхема USB-UART преобразователя FTDI FT232RL;
- Схема питания на основе ИМС Texas Instruments LM2596S.

Одной платы недостаточно для разработки сложного мехатронного аппаратно-программного комплекса. Также необходима и механическая часть, которая преобразует вращение привода в линейное перемещение рабочего инструмента, сам рабочий инструмент, а также привода. В качестве решения был выбран любительский гравировально-фрезерный станок CNC 3018 Pro. Данное решение позволяет использовать уже готовый комплекс

инструмент-механика-привод, а не строить всю механическую часть системы с нуля, что сопряжено с отдельными трудностями.

5 Архитектура программного обеспечения. Учитывая возможности выбранного микроконтроллера, протокол управления выбранными драйверами, результаты моделирования динамики рабочего инструмента, а также необходимости наличия возможности относительно простой модернизации программного обеспечения с целью увеличения количества управляемых осей и/или адаптации программного обеспечения для управления другим станком ввиду декларируемой универсальности контроллера, была спроектирована модульная архитектура программного обеспечения с различными функциональными частями-модулями и буферизованными связями между ними.

Структура ПО контроллера проиллюстрирована рисунком 3.

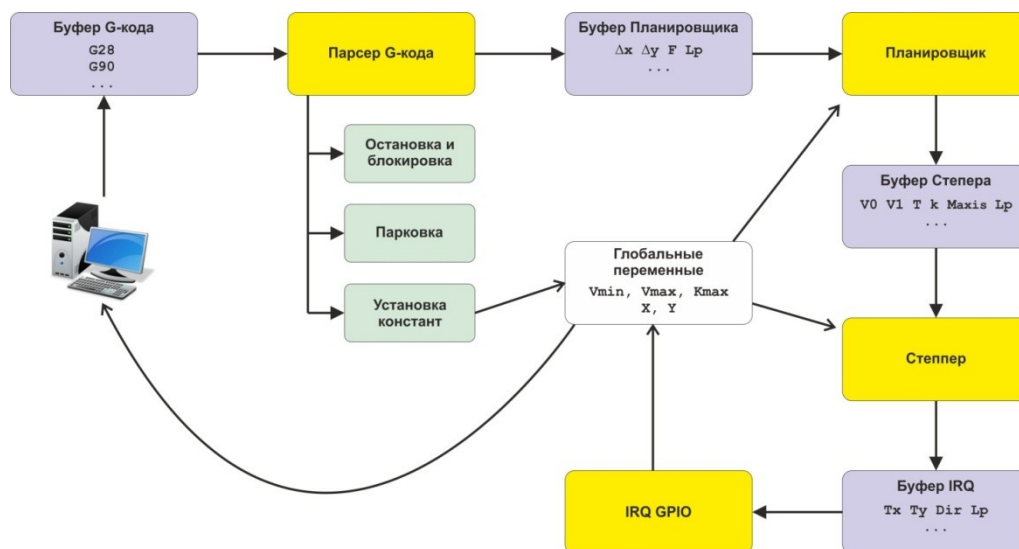


Рисунок 3 – Структурная схема выбранной архитектуры. Показаны функциональные модули и связи между ними

Основных модулей четыре – модуль Парсера (преобразует команды от ПК в понимаемые программой команды перемещения), модуль Планировщика (разбивает команды перемещения на блоки разгон-движение-торможение), модуль Степера (рассчитывает интервалы между импульсами STEP для

драйверов) и модуль обработчика прерываний (на схеме обозначен как «IRQ GPIO», управляет состояниями соответствующих выходов контроллера для управления драйверами). Связи между ними обеспечиваются универсальным модулем кольцевого буфера.

Разработка велась на языке C++ в среде STM32CubeIDE с использованием дополнительного программного обеспечения STM32CubeMX.

6 Программный код контроллера. После разработки, тестирования и отладки модулей, была разработана сама программа, осуществляющая функцию контроллера станка с ЧПУ. Модули были описаны как классы на языке C++.

Каждый модуль в своём интерфейсе имеет единственный и одинаковый метод `work()`, который запускает работу модуля и преобразование данных, которое было подробно рассмотрено для каждого модуля в предыдущей главе. Запуск методов `work()` осуществляется асинхронно. Приоритет модулей следующий: наивысший у модуля степпера, средний у модуля планировщика, низкий у модуля парсера. Модуль с более низким приоритетом запускается тогда, когда у модуля с более высоким приоритетом заканчиваются данные для обработки.

При таком использовании модулей во время работы поддерживается максимальная заполненность буфера интервалов и одновременно микроконтроллер не простаивает, а занят вычислениями всё время.

Выполнение программы продолжается либо до получения G-команды остановки, либо до окончания передачи управляющим компьютером новых команд.

7 Программа контроля и управления для персонального компьютера. Для тестирования разработанного программного обеспечения для микроконтроллера была написана программа для персонального компьютера

для передачи управляющих G-команд из заранее написанного файла. Программа была написана с использованием языка Python и библиотеки PySerial.

Программа подключается к микроконтроллеру по интерфейсу USB, через USB-UART преобразователь FT232RL и ожидает от микроконтроллера сигнал готовности к принятию кадра. Получив такой сигнал, программа считывает из файла с заранее написанным G-кодом кадр, посимвольно отправляет его на микроконтроллер, завершая передачу символом конца строки «\n». По окончании приёма программа ожидает следующего сигнала готовности микроконтроллера.

8 Проверка работы системы. После разработки и тестирования управляющего программного обеспечения для ПК и программного обеспечения для МК, была проведена проверка работы разработанного комплекса целиком.

Для этого был написан G-код, являющийся программой гравировки прямоугольника размерами 4 см на 2 см с диагоналями.

Такая фигура позволяет оценить точность и правильность реализации алгоритма Брезенхейма.

Данная программа была запущена дважды для оценки повторяемости и подтверждения отсутствия проблем с переполнениями буферов. Было показано, что ошибки от запуска к запуску не накапливаются и инструмент каждый раз проходит одну и ту же траекторию.

Размеры прямоугольника контролировались электронным штангенциркулем с ценой деления 0,01 мм и показали точное совпадение с заданными. Таким образом погрешность всего комплекса составляет $\pm 0,005$ мм и обусловлена в основном низким качеством и большими люфтами в механике.

Заключение

В ходе дипломной работы была разработана структурная схема контроллера двухосевого станка с ЧПУ. Рассмотрены проблемы стоящие перед ЧПУ станками и подобными устройствами из других областей.

Создана компьютерная модель динамики рабочего инструмента двухосевого станка с ЧПУ. Модель позволила лучше определиться с архитектурой программного обеспечения.

Разработана структурная схема модулей программного обеспечения устройства. С использованием этой схемы разработано и реализовано программное обеспечение контроллера двухосевого станка с ЧПУ.

Была проведена проверка работы получившегося комплекса. Была показана достаточная точность для задач лазерной гравировки и фрезеровки печатных плат.

Полученные в ходе выполнения дипломной работы результаты были использованы при выполнении хоздоговорной НИР Станок в интересах ООО НПП “Инжект” госкорпорации Росатом, направленной на разработку промышленного станка с ЧПУ лазерной пайки электронных компонент на печатные платы.

Список использованных источников

1. Wright JD, Ananth CV, Lewin SN, et al. Robotically Assisted vs Laparoscopic Hysterectomy Among Women With Benign Gynecologic Disease. // *JAMA*. 2013. №309. V. 7. С. 689 - 698. doi:10.1001/jama.2013.186
2. Эйсмонт Д.В. Система управления искусственным кровообращением с адаптацией по форме перфузионного импульса // *Информатика, телекоммуникации и управление*. 2011. №2, Т. 120. С. 63 - 67.
3. Сенчик К. Ю., Харламов В. В. Перспективы создания миниатюрных мехатронных аппаратов поддержания кровообращения в организме человека в экстремальных ситуациях // *Информатика, телекоммуникации и управление*. 2013. №1, Т. 164. С. 148 - 150.
4. Иванов А. Е., Юхнев А. Д., Сенчик К. Ю., Ушаков Ф. Г. Перспективы создания переносного мехатронного кардиокомпрессора для закрытого массажа сердца // *Глобальная энергия*. 2013. №1, Т. 166. С. 264 - 268.
5. Блинов А.О., Борисов А.В., Кончина Л.В., Маслова К.С. Модель опорной ноги антропоморфного робота или экзоскелета с двумя подвижными звеньями с учетом динамики электропривода // *Известия вузов. Проблемы энергетики*. 2022. №2. С. 147 - 159.
6. Кравченко О. А., Барыльник Д. В., Сухенко Н. А. Обеспечение безопасности функционирования мехатронных систем тренажёрных комплексов // *Электротехнические системы и комплексы*. 2022. №1. Т. 54 С. 4-10.
7. Сырямкин В. И., Буреев А. Ш., Жданов Д. С., Шелефонтьок Д. И., Плеханов К. П., Клестов С. А. Датчик автоматического подсчета объема вводимого лекарственного средства // *Векторы благополучия: экономика и социум*. 2011. №1, Т. 1. С. 52 — 57.

8. Мищенко В. Я., Кувардина Е. М. Интенсификация массообменных процессов при извлечении пектиновых веществ из растительного сырья с применением вибрационного воздействия // Известия Самарского научного центра РАН. 2010. №4. Т. 3. С. 714 - 716.
9. Чушихин А.А., Подураев Ю.В., Воротников А.А., Климов Д.Д., Саакян М.Ю., Базикян Э.А. Оценка эффективности наносекундной лазерной роботизированной хирургии при проведении малоинвазивных операций челюстно-лицевой области в эксперименте // Современные технологии в Медицине. 2017. № 4 С. 123-130.
10. Мартинов Г.М., Мартинова Л.И. Перспективы развития систем числового программного управления в концепции «Индустрия 4 0» // Инновации. 2016 №8. Т. 214 С. 17-19.
11. Сырямкин В. И., Бородин В. А., Буреев А. Ш., Глушков Г. С., Васильев А. В. Рентгеновские цифровые микротомографы // Векторы благополучия: экономика и социум. 2012. №1. Т. 2. С. 86 - 92.
12. Морозов В.В. Биотехнические аспекты веноматерного кровообращения и искусственного сердца // Биотехносфера. 2011. №4. Т. 16. С. 2 - 5.
13. Трунин И.А., Мелешников А.М., Соловьев М.А., Воротников А.А. Трехкомпонентный датчик силы на базе упругого силиконового элемента и магнитометра // Известия вузов. Машиностроение. 2021. №3. Т. 732. С. 29 - 38.
14. Липыков С. А., Малахов О. С. Сенсорное управление шаговым двигателем с программной фильтрацией канала задания угла поворота вала // Электротехнические системы и комплексы. 2022. №1. Т. 54. С. 4 - 9.
15. Роджерс Д. Алгоритмические основы машинной графики / М.: Мир, 1989. —С. 54-63. ISBN 5-03-000476-9.

09.06.2023


(Соловьев Д.М.)