

УДК 681.515

*Киреев И.Ю., кандидат технических наук, доцент, igkireev@gmail.com,
Луганский Государственный университет имени Владимира Даля.*

*Рубаник И.А., ассистент, rubanik1369@gmail.com, Луганский
Государственный университет имени Владимира Даля.*

РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ КОЛЛАБОРАТИВНОГО РОБОТА (КОБОТА).

Аннотация. В статье представлена разработка построенной на комплектующих входящих в образовательный комплекс «СТЕМ Мастерская» произведенного ООО «Прикладная робототехника ПРО», модели коллаборативного робота. Для достижения поставленной цели, основываясь на требованиях, предъявляемых к коллаборативным роботам, была выбрана задача разработки алгоритма реализации псевдо ручного управления кобота построенного на сервоприводах XL431-T250-T. Основываясь на предложенных алгоритмах разработано программное обеспечение которое было проверено используя одноплатный компьютер NanoPi-AR, плату расширения STEM Board и модель манипулятора с плоскопараллельной кинематикой. По результатам работы были предложены направления дальнейших разработок модели коллаборативного робота.

Ключевые слова. Робот манипулятор, кобот, сервопривод, микроконтроллер, датчик обратной связи, периферийный функциональный модуль.

Одним из важных документов, который определял стратегию развития образовательной робототехники, являлась «Стратегия развития отрасли информационных технологий в Российской Федерации на 2014 - 2020 годы и на перспективу до 2025 года» [1]. Целью данной программы было существенное увеличение вклада профессионального образования в социально-экономическую и культурную модернизацию Российской Федерации, в повышение ее глобальной конкурентоспособности, обеспечение востребованности экономикой и обществом каждого обучающегося.

Важнейшие стратегии развития образовательной робототехники были обозначены в комплексной программе «Развитие образовательной робототехники и непрерывного IT-образования» [2], которая направлена на развитие в Российской Федерации системы образования в области информационных технологий, компьютерного моделирования, мехатроники,

робототехники и научно-технического творчества, основываясь на основных положениях которых большое количество компаний выпустило на рынок различные продукты данной направленности.

К таковым относятся: мобильные роботы, образовательные роботы и наборы, компоненты для роботов. Некоторые фирмы такие как ООО «Прикладная робототехника» разрабатывают, по их заявлениям, и поставляют на рынок манипуляционные и коллаборативные роботы. Однако последних в каталоге продуктов на данный момент нет. Возможно это связано с санкционной политикой недружественных государств, эксклюзивными представителями фирм которых, являются российские организации, такие как вышеназванная. Таким образом разработка подходов к решению проблемы создания коботов на базе существующих базовых технических решений весьма актуальна.

Понятие коллаборативного робота определяется технической спецификацией ISO/TS 15066:2016 [3], на основе которой выпущен гармонизированный стандарт ГОСТ Р 60.1.2.3-2021 [3] и американский ANSI/RIA TR R15.606:2016.

Коллаборативный робот или сокращённо кобот – это промышленный робот со встроенной функциональностью, которая обеспечивает возможность режима совместной работы в совместном рабочем пространстве одновременно с человеком в рамках одной производственной операции.

Дополнительную функциональность и конструкцию коботов определяют техническая спецификация ISO/TS 15066:2016 и стандарт ГОСТ Р 60.1.2.3-2021, а именно:

- Дизайн коботов: обычно это "трубчатая" конструкция или обтекаемые формы соединительных звеньев и шарниров, отсутствие острых углов, ребристых поверхностей, скруглённые углы.
- Контроль и управление моментом на уровне программного ядра кобота в двигателях всех шарниров в зависимости от полезной

нагрузки, скорости и ускорения, чтобы предотвратить возможные последствия от столкновения с человеком и перегрузку кобота.

- Могут быть оснащены встроенным или внешним силовомоментным датчиком на инструментальном фланце кобота, чтобы обеспечить безопасность при столкновениях захвата робота и операции с контролем усилия.
- Встроенные в каждый шарнир тормозные системы для обеспечения удержания кобота при рабочей нагрузке в выключенном состоянии, быстрого аварийного торможения. Но при этом тормозная система настроена таким образом, чтобы человек, при необходимости, мог изменить положение рабочих органов кобота при выключенном питании.
- Простое программирование и наладка кобота за счёт специального комфортного и максимально удобного интерфейсного программного обеспечения.

Вопросы безопасности, относящиеся к разработке и эксплуатации коботов в рамках ГОСТ Р 60.1.2.3-2021 во многом связаны с интеграцией последних в робототехнический комплекс (РТК).

Основные 4 режима совместной работы, которые должны быть реализованы в коботах и РТК по ГОСТ Р 60.1.2.3-2021:

- Контролируемая остановка (*Safety-rated monitored stop*);
- Ручное ведение (*Hand guiding*);
- Контроль скорости и разделения (*Speed and separation monitoring*);
- Ограничение мощности и усилия (*Power and force limiting*).

Контролируемая остановка с расчетной безопасностью

В этом режиме работы обеспечивается прекращение движения, но при этом остаётся в режиме готовности (т.е. двигатели находятся под напряжением с рабочими токами, тормозная система не задействована), прекращение движения должно быть выполнено до того момента, когда оператор войдёт в совместное рабочее пространство для взаимодействия с коботом.

Автоматическое движение кобота может продолжаться без каких-либо дополнительных вмешательств только после выхода оператора из совместного рабочего пространства. Если оператор отсутствует в совместном рабочем пространстве, кобот может продолжать автоматические действия с отключенным коллаборативным режимом.

Ручное управление

При этом режиме работы оператор использует либо ручное устройство (пульт оператора) для передачи команд движения коботу с постоянным контролем (например, удержанием нажатой кнопки движения на пульте), или передвигает рабочие органы кобота за деталь, захват или инструментальный фланец также с постоянным нажатием кнопки, активирующей этот режим. Перед тем, как оператор войдёт в совместное рабочее пространство, чтобы начать ручное управление, кобот должен находиться в состоянии контролируемой остановки с расчетной безопасностью.

В этом режиме работы робототехнический комплекс (РТК) и оператор могут перемещаться одновременно в совместном рабочем пространстве. Снижение рисков достигается за счет постоянного поддержания защитного расстояния разделения между оператором и РТК. Во время движения робототехнический комплекс никогда не приближается к оператору ближе, чем на расстояние защитного разделения. Когда расстояние разделения становится меньше безопасного расстояния, робототехнический комплекс останавливается, и кобот должен перейти в режим контролируемой остановки с расчетной безопасностью. Когда оператор удаляется от робототехнического комплекса, он может автоматически возобновить движение в соответствии с требованиями настоящего раздела, поддерживая минимальное защитное расстояние разделения, при котором обеспечивается безопасность. При уменьшении скорости движения кобота, соответственно уменьшается и расстояние защитного разделения.

Контроль скорости и разделения

У кобота должны быть предусмотрены функция контролируемой скорости с расчетной безопасностью (см. ИСО 10218-1:2011, пункт 5.6.4) и функция контролируемой остановки с расчетной безопасностью. Если безопасность оператора зависит от ограничения диапазона перемещений кобота, то в коботе должно быть предусмотрено программное ограничение степеней подвижности и пространства с расчетной безопасностью (см. ИСО 10218-1:2011, пункт 5.12.3).

Ограничение мощности и силы

В этом режиме совместной работы возможен как намеренный, так и непреднамеренный физический контакт между робототехническим комплексом (включая захват, деталь в захвате) и оператором. Для совместной работы с ограничением мощности и силы необходимо использовать робототехнические комплексы, специально предназначенные для этого типа работы. Снижение рисков достигается либо использованием в конструкции робота средств со встроенной безопасностью, либо системой управления безопасностью за счет поддержания значений опасностей, связанных с робототехническим комплексом, ниже значений пороговых ограничений, определенных при оценке рисков.

Разрабатываемая модель кобота будет основываться на использовании комплектующих входящих в образовательный робототехнический набор «СТЕМ Мастерская» в состав которого входят [4]:

- Набор конструктивных элементов для сборки моделей с различной кинематической схемой.
- Набор сервоприводов (AR-S430-01 и XL431-T250-T).
- Комплект соединительных проводов.
- Набор крепежных элементов.
- Программируемый контроллер ОрепСМ9.04.
- Плата расширения STEM Board.
- Одноплатный компьютер NanoPi-AR.
- Программируемый контроллер DXL-IoT.

- Сетевая плата расширения программируемого контроллера DXL-IoT с адаптером Ethernet.
- Модуль технического зрения TrackingCam.
- Зарядное устройство для аккумуляторной батареи.
- Аккумуляторная батарея.
- Сетевой блок питания.

В дальнейшей работе остановимся на использовании сервоприводов, соединительных проводов, набора крепежных элементов, платы расширения STEM Board, одноплатного компьютера NanoPi-AR, сетевого блока питания. Также для реализации разработки необходимо добавить модуль «Трехцветный светодиод» и «Тактовая кнопка» из периферийных функциональных модулей производства той же фирмы.

Детализированной целью нашей работы будет разработка алгоритма реализации псевдо ручного управления кобота построенного на сервоприводах XL431-T250-T.

Для этого нам необходимо ознакомиться с характеристиками последних и принципами их управления [5]. Исходя из технического описания сервопривод состоит из мотор-редуктора, платы управления, датчика обратной связи и поддерживает протокол обмена данными Dynamixel (полудуплексный асинхронный последовательный (8 бит, 1 стоп, без контроля четности)). Основные параметры сервопривода приведены в описании [5].

Обмен данными с сервоприводами при их работе осуществляется путем обмена пакетами данных. Пакеты данных при этом бывают двух типов.

Пакет инструкций и пакет состояний, первый содержит команды управления сервоприводами, посылаемые управляющим устройством, второй содержит ответы от сервопривода, посылаемые внешнему управляющему устройству.

Существует большое количество параметров сервопривода, с которыми можно взаимодействовать с внешнего устройства. Все эти параметры можно разделить на две большие группы: параметры значения которых можно только

считывать и параметры, значения которых можно как считывать, так и изменять т.е. записывать. Часть выше описанных параметров хранится в RAM памяти часть в EEPROM памяти. Для того чтоб оперировать процессами чтения, записи необходимо знать в каких регистрах управляющего сервоприводом контроллера хранятся те или иные данные.

Вернемся к основным режимам совместной работы, которые должны быть реализованы в коботах, а именно к совместной работе.

Этот режим может осуществляться как посредством введения параметров перемещения с помощью некоего внешнего интерфейса при этом при записи значения перемещения в регистр конкретного сервопривода последний выполнит эту команду и будет находится в контролируемой остановке при которой двигатели находятся под напряжением с рабочими токами.

Либо оператор передвигает рабочие органы кобота за деталь, захват или инструментальный фланец также с постоянным нажатием кнопки, активирующей этот режим, но нужно иметь ввиду что для того чтоб кобот перемещался в нужном направлении (преодолевал, на пример, силы тяжести) необходимо иметь на выходном валу каждого сервопривода некий силомоментный датчик который бы формировал и передавал управляющие воздействия на сервоприводы.

В нашем случае таких датчиков не предусмотрено, но можно использовать модуль «Тактовая кнопка» из периферийных функциональных модулей, того же производителя, для того чтоб перевести устройство в состояние отключенного усилия и перемещая захват, считывать данные из регистров сервоприводов где сохраняются значения положения. Сохранив данные в нужных нам положениях в файл и затем в режиме подключенных сервоприводов, прочитав его, повторить траекторию перемещения кобота.

Блок схемы алгоритмов осуществления псевдо-ручного управления представлены на рисунках 1, 2 и 3.

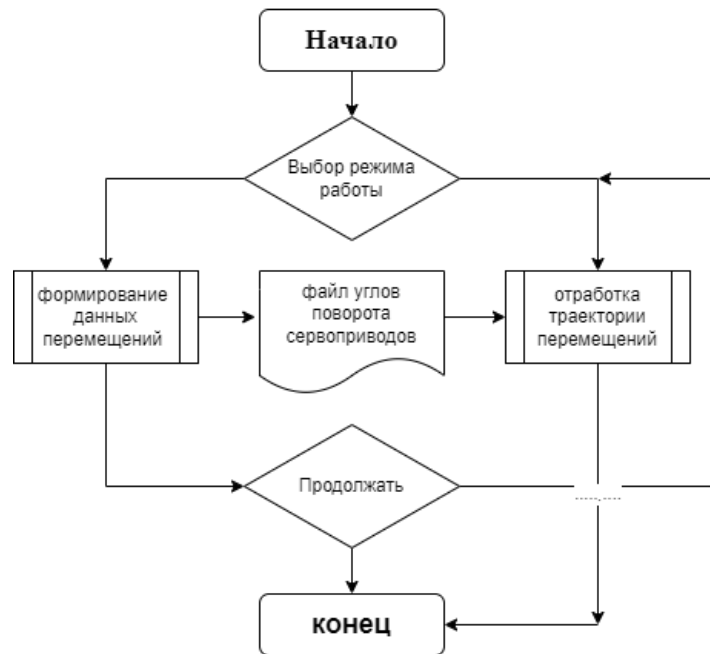


Рис. 1. Блок схема основного алгоритма работы робота.

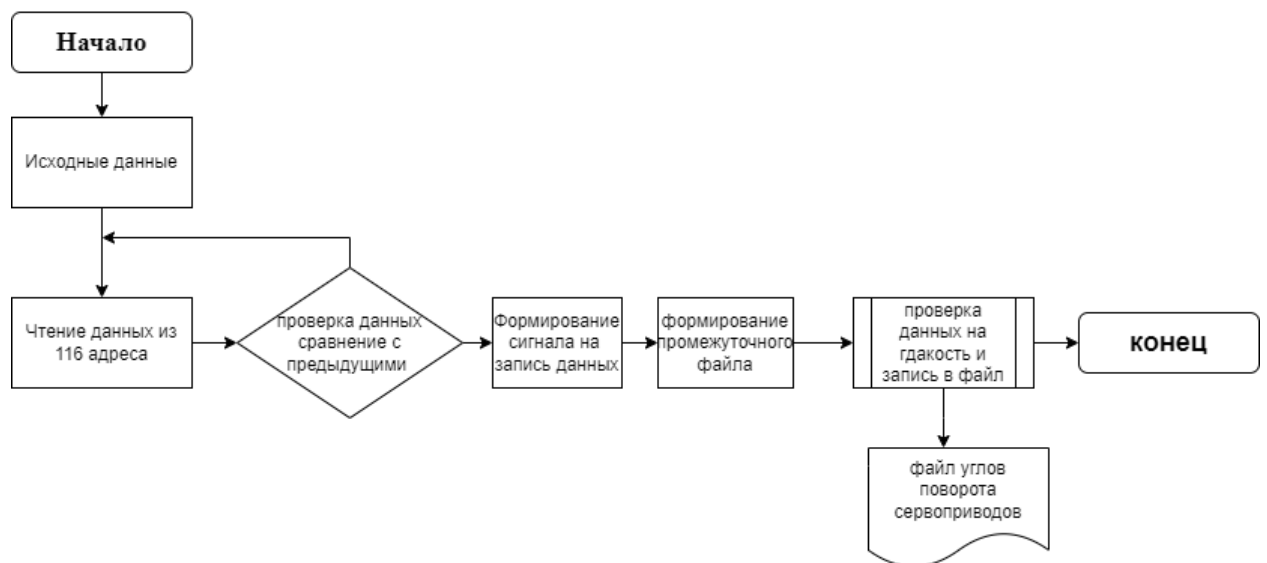


Рис. 2. Алгоритм формирования данных перемещений

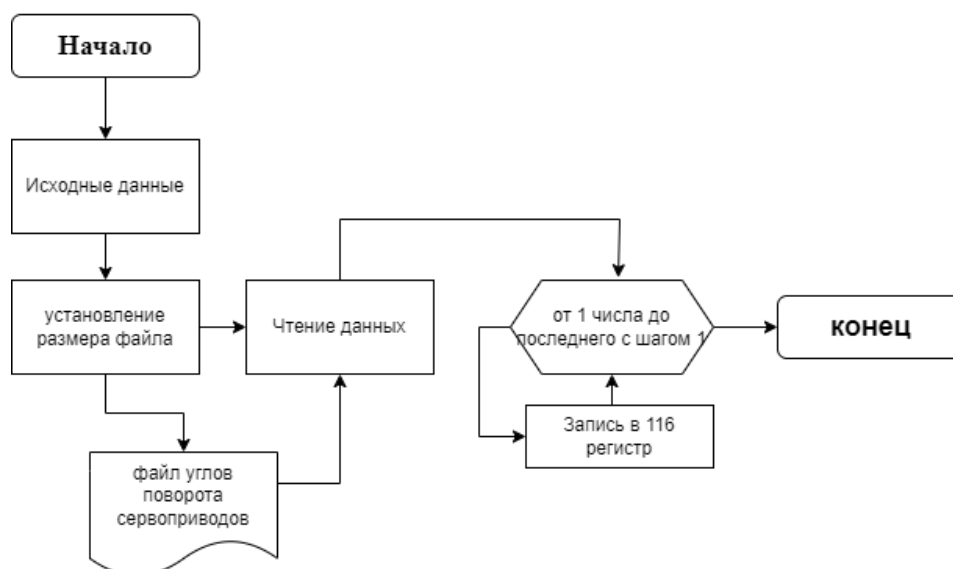


Рис. 3. Алгоритм перемещения робота.

Основываясь на приведенных выше алгоритмах, на языке C, было разработано программное обеспечение и, используя одноплатный компьютер NanoPi-AR, плату расширения STEM Board и модель манипулятора с плоскопараллельной кинематикой реализовано.

В процессе проверки, вручную, была осуществлена проводка рабочего органа манипулятора по заданным точкам. При этом в точках фиксации совершался останов до активации зеленого светодиода в периферийном модуле трехцветного светодиода, включённого в цепь. Данное срабатывание подтверждало проверку данных и позволяло воздействием на тактовую кнопку производить запись данных в файл углов поворота сервоприводов.

Таким образом была подтверждена возможность реализации предложенного метода настройки работы РТК. Однако очевидно, что данный метод возможен лишь для небольших устройств, в которых вес узлов незначителен.

В данной статье описан этап, позволяющий реализовать только один, да и то частично, режим совместной работы из требований которые должны быть реализованы в коботах и РТК по ГОСТ Р 60.1.2.3-2021:

Для реализации полноценного ручного управления и остальных режимов совместной работы необходимо разработать силомоментную муфту,

обеспечить обработку данных поступающих от тензорезисторов и передачу управляющих сигналов к сервоприводам.

Также необходимо, используя модуль технического зрения и другие сенсоры из наборов данного производителя реализовать совместное нахождение оператора в рабочей зоне робота.

Список использованных источников

1. СТРАТЕГИЯ РАЗВИТИЯ отрасли информационных технологий в Российской Федерации на 2014 - 2020 годы и на перспективу до 2025 года. Правительство Российской Федерации: официальный сайт. – Москва. – Обновляется в течение суток. – URL: <http://government.ru> (дата обращения: 10.11.2024).
2. КОМПЛЕКСНАЯ ПРОГРАММА «Развитие образовательной робототехники и непрерывного IT-образования в Российской Федерации» [Электронный ресурс]. –режим доступа URL: <https://www.epill.com/medsmart.html> (дата обращения 10.11.2024)
3. ГОСТ Р 60.1.2.3-2021-РОБОТЫ И РОБОТОТЕХНИЧЕСКИЕ УСТРОЙСТВА Требования безопасности для роботов, работающих совместно с человеком (ISO/TS 15066:2016, Robots and robotic devices — Collaborative robots, IDT) Издание официальное Москва Российский институт стандартизации, 117418 Москва , Нахимовский пр -т, д. 31 .к .2 . www.gostinfo.ru/info @ gost for u, 2021 г.
4. Прикладная робототехника.. [Электронный ресурс]. –режим доступа URL: <https://www.appliedrobotics.ru> (дата обращения 10.11.2024)
5. XL431-T250-T [Электронный ресурс]. –режим доступа URL: <https://emanual.robotis.com/docs/en/dxl/x/xl430-w250/> (дата обращения 10.11.2024)