РОБОТЫ, МЕХАТРОНИКА И РОБОТОТЕХНИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ/ROBOTS, MECHATRONICS AND ROBOTIC SYSTEMS

DOI: https://doi.org/10.60797/IRJ.2024.143.45

СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ И МОДЕЛИ ПРИМЕНЕНИЯ МЯГКИХ РОБОТОВ

Обзор

Дун Х.[1, *]
[1] Балтийский государственный технический университет, Санкт-Петербург, Российская Федерация

* Корреспондирующий автор (haichuandg[at]gmail.com)

Аннотация

В статье детально проведен обзор существующей мягкой робототехники, рассмотрены способы реализации систем управления, а также вариации исполнения моделей таковых роботов. В результате анализа различных источников, связанных с робототехникой, выделена особенность, заключающаяся в том, что развитие мягкой робототехники возможно лишь при тесном взаимодействии таких сфер, как материаловедение, теории управления и синтеза инновационных технологий. Приведен широкий спектр применения и возможные перспективы развития для мягких роботов, а также различные среды для их моделирования. Особым направлением в мягкой робототехнике по результатам анализа соответствующих источников является применение таких роботов в медицине и биологии, что, в свою очередь, должно привести к революционным положительным достижениям для человечества, чем и обоснована необходимость совершенствования применяемых в мягкой робототехнике систем управления и видов их представления. Результатом данной статьи является обобщение и анализ информации касаемо способов применения мягких роботов и их исполнения, используемых в них систем управления и перспектив дальнейшего развития, и выводом по итогу является то, что можно говорить о большем потенциале развития данного направления научной деятельности, которое способно решить множество современных проблем для человечества.

Ключевые слова: мягкая робототехника, система управления, моделирование, материаловедение, синтез.

CONTROL SYSTEM AND APPLICATION MODELS FOR SOFT ROBOTS

Review article

Dong H.[1, *]
[1] Baltic State Technical University, Saint-Petersburg, Russian Federation

* Corresponding author (haichuandg[at]gmail.com)

Abstract

The article provides a detailed review of the existing soft robotics, discusses the ways of implementation of control systems, as well as variations in the models of such robots. As a result of the analysis of various sources related to robotics, the article highlights the peculiarity that the development of soft robotics is possible only with close interaction of such fields as materials science, control theory and synthesis of innovative technologies. A wide range of applications and possible development prospects for soft robots, as well as different environments for their modelling, are presented. A special direction in soft robotics according to the results of the analysis of the relevant sources is the application of such robots in medicine and biology, which, in turn, should lead to revolutionary positive achievements for mankind, which substantiates the need to improve the control systems used in soft robotics and the types of their representation. The result of this article is a generalization and analysis of information concerning the ways of application of soft robots and their performance, control systems used in them and prospects for further development, and the conclusion is that it is possible to talk about the greater potential for the development of this area of scientific activity, which can solve many modern problems for mankind.

Keywords: soft robotics, control system, modelling, material science, synthesis.

Введение

В условиях стремительно развивающихся технологий, связанных с робототехникой, появление такого направления как «Мягкие роботы» вызвало настоящий всплеск и переосмысление существующих механизмов приведения в движение роботов. Благодаря адаптивности применения и гибкости применяемых материалов в конструкциях, свойственным мягким роботам, произошел революционный сдвиг при моделировании и создании робототехнических систем. Для осуществления каких-либо специальных движений роботов необходим управляющий сигнал, который генерирует система управления. При построении мягких роботов применяются инновационные гибкие материалы, что делает скелет робота гибким, а его движения становятся похожи на манипуляции живых организмов. Такая особенность позволяет применять мягкие роботы для решения сложных задач в медицине, биологии и на сложных производствах. Для своевременного реагирования на меняющиеся условия при осуществлении манипулировании мягкими роботами необходима адекватная система управления.

Функционирование системы управления мягких роботов основано на работе алгоритмов, полученных в результате синтеза инженерного изобретательства и основ биомеханического движения [1]. Существуют различные вариации представлений моделей мягких роботов, применяемых как в сфере медицины, так и в специальных процессах на производстве. Технологии, используемые в мягкой робототехнике, расширяют диапазон применения роботов в областях, ранее считавшихся недоступными или нецелесообразными для их использования.

Основные результаты

Целью статьи является проведение анализа принципов построения и управления мягкими роботами, их предназначение и приведение возможной классификации для определения возможности их использования в задачах повседневной деятельности. Также одной из целей написания данной статьи является привлечение внимания исследователей к совершенствованию робототехники, что качественно может изменить существующее положение дел как в медицине, космических исследованиях и производстве.

Для достижения цели исследования необходимо простым и понятным языком описать известные механизмы, обеспечивающие движение и адаптацию мягких роботов в различных ситуациях, а также возможности, которые такие роботы предоставляют, в том числе такие, как помощь в хирургических операциях, протезировании и других специальных задачах.

На сегодняшний день применение мягких роботов дает новый толчок в изучении возможностей человека, а также улучшение качества производства, огромный потенциал применения мягких роботов в направлении космических исследований, а также глубинных океанских исследованиях и медицине. Развитие мягкой робототехники приводит и к развитию областей наук, на пересечении которых оно зародилось (биология, инженерные направления, антропология и др.). Также важным направлением развития мягкой робототехники является моделирование и симулирование различного рода процессов при обучении специалистов в области здравоохранения. Кроме того, значимость исследований в области мягкой робототехники состоит в изучении и влиянии взаимосвязей человека и машины, что позволит внедрить такие технологии в повседневную жизнь.

Мягкая робототехника представляет собой направление робототехники, ориентированное на технологии, способные воспроизводить физические характеристики живых организмов в роботах. Своего рода мягкие роботы являются формой биомимикрии, при которой традиционные механизмы построения робототехники заменяются гораздо более сложными моделями, имитирующими человеческую, животную и растительную жизнь [2].

Мягкие роботы имеют широкий спектр применения в различных направлениях жизни благодаря своим уникальным характеристикам. По области применения мягких роботов можно классифицировать следующим образом:

Медицина и здравоохранение (мягкие роботы могут использоваться в малоинвазивных хирургических операциях, обеспечивая точные движения в полости тела человека, устройства для реабилитации помогают пациентам в восстановлении подвижности);

Поиск и спасение (мягкие роботы могут самостоятельно определять направление движение и передвигаться по сложным и ограниченным в пространстве местах, например, в ходе поиска людей в завалах, в отличии от обычных роботов);

Исследования (мягкая робототехника подходит для исследования в сложно проходимых или непроходимых средах, таких как подводные исследования или исследования планет);

Взаимодействие человека с роботом (мягкие роботы более безопасны при взаимодействии с людьми, что делает их подходящими для применения в таких областях, как конвейеры на производстве и помощи людям с ограниченной подвижностью);

Сельское хозяйство (мягкие роботы могут использоваться для выполнения специальных задач в сельском хозяйстве, таких как сбор и обработка фруктов и овощей без их повреждения);

Протезирование (мягкая робототехника используется при изготовлении протезов со схожими человеческими характеристиками, а также экзоскелетов для улучшения таких характеристик как подвижность, твердость и гибкость);

Развлечения и социальные роботы (мягкие роботы могут использоваться в развлекательных и социальных средах, создавая реалистичных и интерактивных роботизированных персонажей из фильмов или мультфильмов);

Обработка материалов (мягкие роботы могут манипулировать объектами с неправильной формой и различными размерами, что делает их более универсальными и подходящими для обработки материалов на складах);

Мониторинг окружающей среды (мягкие роботы могут передвигаться по непроходимой местности для мониторинга и сбора данных, для проведения дальнейшего анализа при исследованиях в области экологии и климатологии и др.);

Образование и наука (мягкие роботы служат ценными инструментами для достижения понимания новых механизмов управления и материалов изготовления);

Военные исследования (разведка, уничтожение целей и др.).

Особые характеристики мягких роботов, связанные с материалами их изготовления делают их уникальными при решении специальных задач в различных областях деятельности, что стимулирует науку на постоянные исследования новых вариантов их применения и способов управления ими.

В таблице № 1 представлены результаты сравнение мягких роботов и традиционных роботов.

Таблица 1 - Сравнение мягких роботов и традиционных

DOI: https://doi.org/10.60797/IRJ.2024.143.45.1

Критерии	Мягкие Роботы	Традиционные роботы
Гибкость и морфология	Изготовлены из гибких материалов, адаптивная морфология	Обычно жесткие с предопределенной структурой
Взаимодействие с людьми	Безопасное взаимодействие с людьми, сниженный риск травм	Небезопасны, требуют дополнительные меры

Критерии	Мягкие Роботы	Традиционные роботы
Область применения	Медицина, поисково-спасательные операции, исследования	Технические задачи по производству, повседневное использование
Гибкость и чувствительность	Хорошая гибкость, материалы приятные на ощупь	Отсутствие гибкости, материалы неприятные на ощупь и тверды
Производство и изготовление	3D-печать, литье, синтез мягких материалов	Традиционные методы обработки, сборка с применением жестких материалов
Способы приведения в движение	Движения при деформации	Зависит от мотора и структуры

Существуют и другие виды классификаций мягких роботов такие как по виду применяемого привода, по количеству степеней свободы, по количеству секций, по жесткости и другие.

Следует подчеркнуть, что алгоритмы работы систем управления мягких роботов часто основаны на методах мягкого вычисления (под которыми понимают методологию использования неточных и математически строго не обоснованных методов и алгоритмов при решении задач, для которых не существует строгих подходов, позволяющих получить точный результат за приемлемое время), для примера можно привести манипулятор с тремя степенями свободы, где общая методология проектирования устойчивой базы знаний реализована специализированным интеллектуальным инструментарием. Так, координированное управление может быть основано на следующих элементах: единая база знаний, содержащая информацию о трех звеньях манипулятора и метод разделенного управления (независимые базы знаний для управления конкретными звеньями). Эффективность систем управления с использованием технологии мягкого вычисления сравнивали с системой управления, использующие генетическим алгоритмом. Для оценки работы систем управления использовался набор критериев эффективности, учитывающих методы теории автоматического управления для оценки переходных процессов и адаптированных к конкретному объекту управления (манипулятору с тремя степенями свободы). Оценку эффективности работы систем управления с разными вышеописанными алгоритмами работы, осуществили за счет моделирования в среде MatLab/Simulink и проведении серии экспериментов в работе [3].

Большой интерес вызывают исследования ученых по всему миру, занимающихся моделированием мягких роботов, которые будут более подробно рассмотрены ниже.

В [4] представлен всесторонний обзор текущего состояния дел при применении мягких роботов в биологии и медицинской сфере. Мягкие роботы, созданные из упругих и гибких материалов, похожи с биологическими системами и обладают определенными преимуществами перед их аналогами, которые реализованы традиционными роботами. Такими достоинствами являются безопасное взаимодействие с человеком, хорошая сопрягаемость с портативными средствами вычислительной техники, а также простота механизма осуществляющего захват объекта. В указанном источнике подробно описываются ключевые стадии проектирования мягких роботов, включая моделирование, управление, изготовление и применение, а также их недостатки и направления будущих исследований. Также в статье рассмотрены виды моделирования, основанные на кинематических, многотелесных, конечных элементах и численных методах. Метод конечных элементов наиболее пригоден при моделировании мягких роботов, поскольку это позволяет точно моделировать сложные процессы. Тем не менее в рассматриваемой статье подчеркивается, что в реальном времени при функционировании систем управления мягкими роботами появляются определенные трудности. Управление мягкими роботами в статье классифицируется на модельное и модельно-независимое. Модельно-независимое не зависят от явной аналитической или численной модели мягкого робота для изготовления привода. Приведены способы изготовления конструкций мягких роботов, включая работу со сплавами с функцией памяти формы, жидкими гелями, эластомерами и пьезоэлектриками. Требования к гибкости материалов мягких роботов ограничивает использование традиционных систем по изготовлению роботов. Техники изготовления мягких роботов существенно отличаются от применяемых для обычных роботов, они включают в себя простые методы литья и более сложные методы комплексного производства, такие как 3D-печать. Также в статье перечислены варианты использования и ограничения на использование медицинских мягких роботов, а также ориентировочная стоимость. Статья завершается обзором перспективных открытий в развивающейся области мягких роботов.

В [5] исследуют область мягких роботов, обладающими электромагнитным полем, привлекшую к себе огромное внимание благодаря своим уникальным характеристикам. Эти роботы реагируют на воздействие магнитных полей, что выделяет их среди традиционных аналогов. Существенным преимуществом таких роботов является механическая податливость и биосовместимость. В статье приведен обзор передовых разработок в области магнитных мягких материалов и роботов, включая последние концепции и методы изготовления магнитных мягких материалов. Приведены успешные решения в области магнитных мягких роботов с перестраиваемыми структурами, инновационными технологиями, соответствующими моделями симуляции и их сложными функциональными возможностями. В заключение авторы затрагивают перспективные направления для будущего развития магнитных мягких роботов.

В [6] приведены проблемы, с которыми сталкиваются мягкие роботы, обладающие уникальными возможностями, но ограниченные неэффективными технологиями масштабирования для их создания и сложностью алгоритмов для

эффективного управления и движения. Эти ограничения обусловлены природой материалов изготовления и сложностью понимания алгоритмов функционирования мягких роботов. В статье представлены методы и платформы для изучения влияния распределения веса и других факторов на полностью беспроводных мягких роботов. Также в статье разработана расширяемая «Вибрирующая интеллектуальная пьезоэлектрическая робототехника» (рисунок 1), используемая в комплексе с симулятором, реализованным в среде моделирования PyBullet, известной как среда для осуществления анализа сложных взаимодействий, с возможностью моделирования влияния интегрированных элементов для робототехники, таких как сенсоры, датчики движения, батареи и других на работу системы и позволяющую произвести оценку различных стратегий распределения веса и управления для таких систем. Разработанное устройство поддерживает как физическое, так и математическое моделирование с использованием возможностей автоматического сбора данных. В заключении исследования говорится о том, что развитие мягкой робототехники может предоставить полезные рекомендации для оптимизации различных производственных процессов.

Рисунок 1 - Робот с пятью приводами
DOI: https://doi.org/10.60797/IRJ.2024.143.45.2

В [7] представлен обзор достижений в области методов машинного обучения, применяемых в мягкой робототехники. Использование методов машинного обучения, позволяет достигать положительного эффекта в ситуациях, где функции управления либо неизвестны, либо трудно формализованы, либо вычислительно сложны для интеграции в реальные решения. При использовании машинного обучения для решения задач в процессе управления мягкими роботами, появляется потенциал решать сложные проблемы, связанные с гистерезисом и отклоняющимся поведением. Исследование охватывает обучение нейронной сети с преподавателем, и обучение с подкреплением. Полученные результаты проведенного эксперимента показывают эффективность решения специальных задач с помощью мягкой робототехники.

В [8] подробно рассматриваются последние достижения в стремительно развивающейся области мягкой робототехники, свидетельствующие о огромном потенциале для развития портативных мягких роботов. Основное внимание уделяется успешным решениям в области мягкой робототехнике, таким как портативные мягкие роботы, вспомогательная робототехника и биомедицинские устройства. Внутреннее устройство мягких робототехнических систем подвергаются подробному анализу, акцентируется их пригодность для портативных вариантов. Эти системы способны адаптироваться к движениям человеческого тела, обеспечивать достаточную гибкость для безопасной эксплуатации вблизи человека и предоставлять обратную связь пользователям. Перечислены важные моменты при моделировании внешнего вида таких систем, такие как функциональные характеристики, удобство ношения и эргономика. Перечислены различные портативные мягкие роботы в различных областях применения, материалы и методы для их изготовления. Обзор в статье завершается приведением перспектив развития в области мягкой портативной робототехнике.

Появление мягких роботов в робототехнике за счет внедрения новых подходов к построению и использованию гибких материалов для их изготовления открывает новый горизонт для развития науки. Тем не менее существует несколько фундаментальных проблем, препятствующих значительному развитию моделирования и производства мягких роботов.

Во-первых, несмотря на усилия по внедрению мягких механизмов в робототехнику и обобщение полученных опытов в новой сфере, связанных с производством, моделированием и управлением мягкими роботами, знаний о процессах в мягкой робототехнике мало, и эта новая отрасль находится в начальной стадии. Междисциплинарный характер мягкой робототехники затрудняет поиск экспертов в различных научных областях, что ограничивает возможности моделирования, так как необходимо одновременно разбираться в материаловедение, теории управления, машинном обучении и изготовлении на производстве. Эта проблема требует образовательных инициатив, направленных на синтез и выделении связей между различными подобластями и научными дисциплинами. Кроме того, существует потребность в общем подходе между этими дисциплинами, чтобы позволить ученым с разных областей работать над этой общей задачей [9].

Во-вторых, ограниченность инструментов для моделирования и анализа. Неоднородные и сложные свойства материалов для изготовления роботов, позволяют смоделировать далеко не все среды моделирования и тем более не все они обладают той же точностью, которые есть для традиционных робототехнических систем.

В-третьих, отсутствие готовых решений в виде запчастей или модульных готовых компонентов. Существует мало готовых решений, которые бы подходили из уже работающих традиционных робототехнических систем, для управления и приведения в движение мягких роботов. Это приводит к относительно медленным темпам создания и совершенствования мягкой робототехники.

Проектирование мягкого робота требует холистического подхода, интегрирующего принципы различных научных дисциплин. Первым требованием является глубокое понимание науки о материалах для выбора и оптимизации материалов с подходящими механическими свойствами, обеспечивая гибкость и адаптивность в различных условиях окружающей среды. Знание биомеханики крайне важно для имитации естественных движений и улучшения взаимодействия мягкого робота с окружающим миром. Кроме того, необходимо владение теорией управления для разработки сложных алгоритмов управления, учитывающих врожденную нелинейность и гибкость мягких структур.

Применение передовых технологий производства, таких как 3D-печать и мягкая литография, необходимо для создания сложных структур мягкого робота с высокой точностью. Интеграция датчиков и микросхем вместе с источниками питания требует знаний в области электроники для обеспечения функционирования. Кроме того, обширное понимание технологий применения искусственного интеллекта и машинного обучения дает возможность применения мягкого робота для обучения и адаптации к динамическим условиям окружающей среды. Для создания мягких роботов необходим синтез междисциплинарного взаимодействия, единого подхода для ученых по моделированию и систематического обучения на основе технологий искусственного интеллекта.

Особое внимание следует уделить в проводимом исследовании значимости гидрогелевых материалов для изготовления элементов мягких роботов. Эти элементы предназначены для осуществления механического движения за счет реагирования на внешние воздействия. Традиционные методы приведения в движение роботов, такие как ручное управление и другие, имеют ограничения при обеспечении сложных автономных движений, и поэтому необходим новый подход к этой проблеме, который представляет собой интеграцию автономно работающего ручного управления с программируемыми сроками работы на основе гидрогелевых элементов системы робота и сенсорах, позволяющую реализовать автономное движение вперед и назад, а также выполнение более сложных задач, таких как сборка пазлов и захват объектов. Все операции инициируются одним простым триггером, и устройства работают в режиме «взял и забыл», подчеркивая простоту и эффективность данной технологии. Более того, введение механизмов обратной связи повышает эффективность работы системы. Этот метод обладает значительным потенциалом для автономной работы мягких захватов, представляя простой, но эффективный подход к расширению возможностей мягких робототехнических систем [10].

В области мягкой робототехники разработка эффективных систем управления является ключевым моментом для освоения уникальных возможностей этих гибких и управляемых машин. Системы управления для мягких роботов включают в себя сложные решения, охватывающие внутренние циклы, механизмы обратной связи и различные методы для обеспечения оптимальной производительности. Далее перечислены фундаментальные составляющие систем управления и их классификация для мягких роботов, которыми являются жизненные циклы, виды обратной связи и разнообразные методы управления [11], [12].

Жизненные циклы в системах управления:

Управление деформацией (мягкие роботы используют деформацию для движения, такие циклы разрабатываются для регулирования деформаций мягкого материала, обеспечивая точное и управляемое движение);

Интеграция сенсоров (при управлении мягкими роботами используются различные сенсоры, дающие обратную связь в реальном времени о состоянии робота, позволяя непрерывно корректировать его в соответствии с условиями окружающей среды).

Механизмы обратной связи:

Сенсорная обратная связь (мягкие роботы используют сенсоры, такие как датчики давления или изменения наклона, встроенные в материал, для предоставления обратной связи о своем состоянии и взаимодействии с окружающей средой);

Система управления с замкнутым циклом (механизмы обратной связи обеспечивают управление с замкнутым циклом, позволяя роботу адаптироваться к изменениям в окружающей среде или в собственной структуре, что повышает устойчивость и адаптируемость).

Методы управления:

Управление на основе модели (некоторые системы управления опираются на математические модели поведения мягкого робота, это облегчают прогнозирование управления, обеспечивая точное управление движениями робота);

Управление на основе обучения (технологии машинного обучения, включая нейронные сети, используются для того, чтобы мягкие роботы могли адаптироваться и учиться на основе их взаимодействия, повышая производительность);

Управление гибкостью (система управления робота реагирует на деформацию под воздействием внешних сил, что повышает безопасность и взаимодействие с окружающей средой);

Гибридное управление (синтез различных методов управления, используются преимущества каждого метода).

Общими трудностями при внедрении и развитии мягких роботов является:

нелинейная динамика, заключающаяся в проявлении нелинейного поведения и учете сложностей в деформации и движении;

временные задержки, снижающие время реакции на изменение обстановки;

интеграция множества несовместимых элементов при конструировании мягких роботов.

Новые тенденции в развитии мягкой робототехники:

мягкие вычисления на основе нечеткой логики, генетических алгоритмов для учета неопределенностей и оптимизации стратегий управления в мягкой робототехнике;

будущие перспективы мягких роботов обширны и обещают трансформационные достижения в различных областях науки. Перспективы применения, а также примеры реализации мягких роботов перечислены ниже [13], [14], [15]:

1. Медицина.

Перспективы: Мягкие роботы могут улучшить качество хирургического вмешательства и проведения различных специальных медицинских процедур.

Рекомендации: Разработка мягких хирургических роботов, способных перемещаться по полости тела пациента с высокой точностью, повышая возможности хирургов.

Пример: Мягкие катетеры для хирургических вмешательств с улучшенной гибкостью и сниженным риском повреждения.

2. Реабилитация и вспомогательные устройства.

Перспективы: Мягкие роботы могут стать ключевыми в создании персонализированных и адаптивных устройств для реабилитации.

Рекомендации: Создание мягких экзоскелетов с естественными движениями для помощи людям с нарушениями двигательного аппарата.

Пример: Мягкие роботизированные экзокостюмы, обеспечивающие поддержку и помощь при ходьбе, адаптированные к походке пользователя.

3. Взаимосвязь человека и робота.

Перспективы: Мягкие роботы могут обеспечить безопасное и естественное взаимодействие с людьми в условиях совместной работы.

Рекомендации: Разработка мягких робототехнических систем с продвинутыми сенсорными возможностями для обнаружения и реагирования на движения человека.

Пример: Мягкие роботизированные протезы, адаптирующиеся к движениям пользователя, обеспечивающие более плавную интеграцию с человеческим телом.

4. Поиск и спасение.

Перспективы: Мягкие роботы могут передвигаться в сложных и опасных условиях во время операций по поиску и спасению.

Рекомендации: Улучшение реакции материала на деформацию в целях эффективного передвижения на непроходимых территориях, такие как завалы или зоны бедствия.

Пример: Мягкие роботы змеи (черви), способные маневрировать в ограниченном пространстве для поиска людей.

5. Исследования в экстремальных условиях.

Перспективы: Мягкие роботы могут применяться для исследований в условиях, не подходящих для традиционных роботов.

Рекомендации: Разработка мягких робототехнических систем, устойчивых к экстремальным температурам, давлению и сложным условиям.

Пример: Мягкие роботы для проведения космических исследований, способных адаптироваться к неровной местности удаленных космических тел.

6. Сельское хозяйство.

Перспективы: Мягкие роботы могут повысить эффективность и снизить воздействие на окружающую среду в сельском хозяйстве.

Рекомендации: Создание мягких захватов для бережной обработки фруктов и овощей без их повреждения.

Пример: Мягкие роботизированные системы для прополки, способные маневрировать между растениями и удалять сорняки.

7. Носимые робототехнические устройства.

Перспективы: Мягкие переносные роботы могут улучшить жизнь человека и помогать в различных повседневных задачах.

Рекомендации: Разработка мягких роботизированных экзоскелетов, обеспечивающих поддержку и повышение выносливости при физически нагрузках.

Пример: Мягкие роботизированные перчатки для лиц с нарушениями движения рук, обеспечивающие поддержку при схватывании и манипулировании объектами.

8. Мониторинг окружающей среды.

Перспективы: Мягкие роботы могут сыграть ключевую роль в мониторинге и сохранении окружающей среды.

Рекомендации: Разработка мягких роботов для подводного исследования с целью изучения морских экосистем.

Пример: Мягкие роботы рыбы для подводного мониторинга, сбора данных о состоянии океана.

9. Образование и наука.

Перспективы: Мягкие роботы могут использоваться образовательными платформами для научных исследований.

Рекомендации: Создание модульных наборов для обучения мягкой робототехнике, способствующих практическому обучению.

Пример: Мягкие роботизированные платформы для изучения биомеханики в лабораториях.

10. Строительство и обслуживание инфраструктуры.

Перспективы: Мягкие роботы могут способствовать безопасному и более гибкому строительству.

Рекомендации: Разработка мягких робототехнических систем для проведения контроля и обслуживания инфраструктуры, что уменьшает долю человеческого вмешательства.

Пример: Мягкие роботы дроны для проведения различного рода инспекций, а также при проведении ремонта конструкций, таких как мосты и трубопроводы.

Заключение

Применение мягких роботов позволит решить сложные задачи в различных областях в будущем, для этого необходимо объединить усилия исследователей, инженеров и практиков. Исследование систем управления и моделей применения мягких роботов позволит раскрыть их возможности, за счет синтеза технологических инноваций и прикладных задач в реальном мире. Изучение взаимосвязей материаловедения, теории управления и междисциплинарного взаимодействия позволит решить проблемы при создании мягких роботов. Приведенные проблемы, начиная от необходимости масштабируемых образовательных инициатив до ограниченности инструментов моделирования для мягких роботов, подчеркивают эволюционный характер этой области и необходимость постоянных исследований и разработок в этой области. Потенциал применения мягких роботов огромен, особенно в области медицины и биологии, а также в исследовательских задачах в космосе и подводой. Данная статья служит стартовой площадкой для раскрытия полного потенциала мягкой робототехники и вдохновляет на дальнейшие исследования ученых в этой трансформационной области.

Конфликт интересов

Не указан.

Рецензия

Все статьи проходят рецензирование. Но рецензент или автор статьи предпочли не публиковать рецензию к этой статье в открытом доступе. Рецензия может быть предоставлена компетентным органам по запросу.

Conflict of Interest

None declared.

Review

All articles are peer-reviewed. But the reviewer or the author of the article chose not to publish a review of this article in the public domain. The review can be provided to the competent authorities upon request.

Список литературы / References

1. Щелкунов Е.Б. Мягкие роботы / Е.Б. Щелкунов [и др.] // Ученые записки Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета. — 2021. — №. 1. — С. 83-91.
2. Della Santina C. Model-Based Control of Soft Robots: A Survey of the State of the Art and Open Challenges / C. Della Santina, C. Duriez, D. Rus // IEEE Control Systems Magazine. — 2023. — Vol. 43. — №. 3. — P. 30-65.
3. Ульянов С.В. Интеллектуальное управление роботом-манипулятором на основе мягких вычислений / С.В. Ульянов, А.В. Николаева // Программные продукты и системы. — 2013. — №. 4. — С. 157-162.
4. Ashuri T. Biomedical soft robots: Current status and perspective / T. Ashuri [et al.] // Biomedical Engineering Letters. — 2020. — Vol. 10. — P. 369-385.
5. Wang H. Magnetic soft robots: Design, actuation, and function / H. Wang // Journal of Alloys and Compounds. — 2022. — P. 166219.
6. Cheng H. eViper: A Scalable Platform for Untethered Modular Soft Robots / H. Cheng [et al.] // arXiv preprint arXiv:2303.01676. — 2023.
7. Chin K. Machine learning for soft robotic sensing and control / K. Chin, T. Hellebrekers, C. Majidi // Advanced Intelligent Systems. — 2(6), 1900171. — 2020.
8. Zhu M. Soft, wearable robotics and haptics: Technologies, trends, and emerging applications / M. Zhu [et al.] // Proceedings of the IEEE. — 2022. — Vol. 110. — №. 2. — P. 246-272.
9. Stella F. The science of soft robot design: A review of motivations, methods and enabling technologies / F. Stella, J. Hughes // Frontiers in Robotics and AI. — 2023. —Vol. 9. — P. 1059026.
10. Fusi G. Autonomous soft Robots empowered by chemical reaction networks / G. Fusi [et al.] // Advanced Materials. — 2023. — Vol. 35. — №. 7. — P. 2209870.
11. Laschi C. Soft robotics: trends, applications and challenges / C. Laschi [et al.]. — Springer., 2017. — Vol. 17.
12. Mazzolai B. Roadmap on soft robotics: multifunctionality, adaptability and growth without borders / B. Mazzolai [et al.] // Multifunctional Materials. — 2022. — Vol. 5. — №. 3. — P. 032001.
13. Yasa O. An Overview of Soft Robotics / O. Yasa [et al.] // Annual Review of Control, Robotics, and Autonomous Systems. — 2023. — Vol. 6. — P. 1-29.
14. Armanini C. Soft robots modeling: A structured overview / C. Armanini [et al.] // IEEE Transactions on Robotics. — 2023.
15. Yang Y. Nanomaterials and nanotechnology for biomedical soft robots / Y. Yang, P. Jiao // Materials Today Advances. — 2023. — Vol. 17. — P. 100338.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Shchelkunov E.B. Myagkie roboty [Soft robots] / E.B. Shchelkunov [et al.] // Uchenye zapiski Komsomol'skogo-na-Amure gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta [Scientific Notes of the Komsomolsk-on-Amur State Technical University]. — 2021. — No. 1. — p. 83-91. [in Russian]
2. Della Santina C. Model-Based Control of Soft Robots: A Survey of the State of the Art and Open Challenges / C. Della Santina, C. Duriez, D. Rus // IEEE Control Systems Magazine. — 2023. — Vol. 43. — №. 3. — P. 30-65.

3. Ulyanov S.V. Intellektual'noe upravlenie robotom-manipulyatorom na osnove myagkih vychislenij [Intelligent control of a robot manipulator based on soft computing] / S.V. Ul'yanov, A.V. Nikolaeva // Programmnye produkty i sistemy [Software products and systems]. — 2013. — No. 4. — p. 157-162. [in Russian]

4. Ashuri T. Biomedical soft robots: Current status and perspective / T. Ashuri [et al.] // Biomedical Engineering Letters. — 2020. — Vol. 10. — P. 369-385.

5. Wang H. Magnetic soft robots: Design, actuation, and function / H. Wang // Journal of Alloys and Compounds. — 2022. — P. 166219.

6. Cheng H. eViper: A Scalable Platform for Untethered Modular Soft Robots / H. Cheng [et al.] // arXiv preprint arXiv:2303.01676. — 2023.

7. Chin K. Machine learning for soft robotic sensing and control / K. Chin, T. Hellebrekers, C. Majidi // Advanced Intelligent Systems. — 2(6), 1900171. — 2020.

8. Zhu M. Soft, wearable robotics and haptics: Technologies, trends, and emerging applications / M. Zhu [et al.] // Proceedings of the IEEE. — 2022. — Vol. 110. — №. 2. — P. 246-272.

9. Stella F. The science of soft robot design: A review of motivations, methods and enabling technologies / F. Stella, J. Hughes // Frontiers in Robotics and AI. — 2023. —Vol. 9. — P. 1059026.

10. Fusi G. Autonomous soft Robots empowered by chemical reaction networks / G. Fusi [et al.] // Advanced Materials. — 2023. — Vol. 35. — №. 7. — P. 2209870.

11. Laschi C. Soft robotics: trends, applications and challenges / C. Laschi [et al.]. — Springer., 2017. — Vol. 17.

12. Mazzolai B. Roadmap on soft robotics: multifunctionality, adaptability and growth without borders / B. Mazzolai [et al.] // Multifunctional Materials. — 2022. — Vol. 5. — №. 3. — P. 032001.

13. Yasa O. An Overview of Soft Robotics / O. Yasa [et al.] // Annual Review of Control, Robotics, and Autonomous Systems. — 2023. — Vol. 6. — P. 1-29.

14. Armanini C. Soft robots modeling: A structured overview / C. Armanini [et al.] // IEEE Transactions on Robotics. — 2023.

15. Yang Y. Nanomaterials and nanotechnology for biomedical soft robots / Y. Yang, P. Jiao // Materials Today Advances. — 2023. — Vol. 17. — P. 100338.