

Разработка программного комплекса для моделирования алгоритмов захвата объектов априорно неизвестной формы*

Воронков А.Д.

МИРЭА – Российский технологический университет
г. Москва, Российская Федерация
a.voronkov.rtu@yandex.ru

Аннотация. Сегодня актуальной задачей является разработка методов управления роботами, функционирующими в условиях неопределенности. Манипуляционный робот, способный захватывать объекты априорно неизвестной формы, мог бы работать с огромным разнообразием различных по форме и внешним признакам объектов. Вместе с тем получают развитие комплексы виртуального моделирования, позволяющие обеспечить эффективное тестирование и отладку подобных методов. Совмещая два этих направления, возникает потребность в разработке программных комплексов, нацеленных на эффективное тестирование методов в указанной области. В статье рассматривается задача разработки программного комплекса, нацеленного на эффективное тестирование алгоритмов захвата манипуляционным роботом объектов априорно неизвестной формы. Рассмотрены актуальные направления в области виртуального моделирования в сфере робототехники и соответствующие программные комплексы. Применимость разработанных алгоритмов и программных средств экспериментально подтверждена в ходе тестирования функционирования манипуляционного робота с избыточной кинематикой с избеганием столкновений в среде с априорно неизвестными объектами.

Ключевые слова: манипуляционный робот, роботизированный захват, виртуальное моделирование, генетический алгоритм, моделирующий комплекс, визуальная обратная связь.

ВВЕДЕНИЕ

В современном мире в процессе разработки функционала и конструкций для манипуляционных роботов широко используются методы виртуального моделирования. Моделирование – это метод воспроизведения и исследования определенного предмета, явления, процесса или ситуации, управление им. Моделирование основывается на представлении объекта с помощью его подобия – модели, при этом модель должна содержать существенные свойства моделируемого объекта.

Моделирование используется в таких научно-теоретических и прикладных сферах, как медицина, телекоммуникация, военное и промышленное дело и призвано обеспечить безопасность, не подвергать технику и людей непредсказуемым опасностям. Манипуляционный робот представляет собой совокупность сенсорной, приводной, вычислительной подсистем, поэтому его высокая сложность как технической системы заставляет разработчиков моделировать робота и его обстановку для тестирования алгоритмов. Актуальность моделирования в сфере робототех-

ники привела к появлению полноценного класса программного обеспечения – робототехнических симуляторов. Также моделирование робототехнических систем значимо для обучения людей работе с роботами. Целью моделирования может служить проверка гипотез, оптимизация конструкций, тестирование программного обеспечения и моделирование внешней среды [1].

В [2] рассматриваются мнения участников различных организаций и дисциплин, обладающих опытом в робототехнике, машинном обучении и виртуальном моделировании. В работе отмечается, что в последние годы наблюдается рост интереса к интеллектуальным роботам, функционирующим в сложных, неструктурированных, априорно неизвестных средах. Таким образом, виртуальное моделирование как среда для испытания данных роботов играет важную роль, давая понять, как обеспечить безопасность эксплуатации и повышение производительности при проектировании и управлении техникой. Авторы отдельно рассматривают следующие аспекты применения виртуального моделирования в сфере робототехники:

1. Быстрое создание обучающих наборов данных; в рамках задачи автоматизированного захвата обучающими данными могут служить сегментированные изображения сложных визуальных сцен [3] или данные о положении захватного устройства с высокой метрикой качества [4]; однако существует проблема перехода обученной модели от смоделированных данных к реальным;

2. Ускорение цикла инженерного проектирования и сокращение затрат на него; данная возможность используется, чтобы заменить реальный прототип робота его моделью, сократив цикл разработки прототипа;

3. Ускоренная, безопасная и контролируемая виртуальная среда для тестирования и верификации автономных систем может быть использована для отладки управления в мультиагентных системах и в сфере коллаборативных роботов;

4. Возможность моделировать несколько сценариев до выполнения действий способствует развитию интеллектуальных роботов;

5. Развитие человеко-машинных интерфейсов.

В рамках решения задачи захвата манипуляционным роботом объектов априорно неизвестной формы особенно важен третий пункт. Ведь в процессе тестирования методов решения этой задачи задействуется манипуляционный

* Статья публикуется по рекомендации программного комитета Всероссийской научно-технической конференции "Пром-Инжиниринг", <https://icie-rus.org>

робот, окружающая среда, система восприятия робота, которые могут быть смоделированы. Однако виртуальное моделирование обладает рядом проблем, таких как ограниченная скорость симуляции, необходимость совмещения нескольких дисциплин при разработке программного обеспечения для моделирования.

Яркий пример использования виртуального моделирования при разработке метода захвата объектов можно найти в исследовании [5], где авторы сравнивают работу генетического алгоритма и алгоритма имитации отжига в задаче позиционирования захватного устройства манипуляционного робота, используя симулятор GraspIt!. В [6] количество параметров, описывающих положение и конфигурацию захватного устройства манипулятора, уменьшено до 6 параметров положения и 2 параметров, выступающих в роли базиса для конфигурации ЗУМ. Используя функционал, предоставляемый симулятором GraspIt!, и алгоритм имитации отжига, авторы показали, что подобный подход может найти пригодное решение за 100 тыс. итераций.

Таким образом, разработка алгоритмов захвата объектов априорно неизвестной формы требует наличия соответствующих сред моделирования и программного обеспечения, которые бы выполняли определенный функционал.

СОВРЕМЕННЫЕ МОДЕЛИ МАНИПУЛЯЦИОННЫХ РОБОТОВ

На кафедре проблем управления РТУ МИРЭА находятся несколько современных моделей манипуляционных роботов в составе научно-исследовательских лабораторий робототехники. Лаборатории робототехники – необходимый элемент современного образовательного процесса, нацеленный на обучение исследованию робототехнических систем, их информационно-измерительных, управляющих и исполнительных модулей. Благодаря наличию учебных моделей роботов, появляется возможность обучения разработке и отладке математического, алгоритмического и программного обеспечения.

Двухрукий коллаборативный манипуляционный робот YuMi IRB 14000 фирмы ABB Robotics предназначен для использования в технологических операциях по сборке и совместной с человеком работе. Робот был разработан для удовлетворения быстро меняющихся требований отрасли производства бытовой электроники, поэтому он отличается малой полезной нагрузкой.

Универсальный 6-осевой манипуляционный шарнирный робот Comau Racer 3 с максимальной полезной нагрузкой 3 кг и радиусом действия 630 мм может быть применен в типичных задачах промышленности, таких как сварка, работа на конвейере. Произведенный той же фирмой робот-манипулятор с кинематикой типа SCARA Rebel-S6-0.75 имеет 4 оси, которые позволяют ему позиционировать рабочий орган вертикально. Задачи, наиболее часто решаемые данным типом манипуляционных роботов, включают работу на конвейере, фасовку, сборку.

Наконец, одним из наиболее перспективных моделей является семизвенный манипуляционный робот LBR iiwa 7 R800 компании KUKA. В настоящее время все более применимыми на практике становятся коллаборативные манипуляционные роботы. Коллаборативные роботы – роботы, предназначенные для непосредственного взаимодействия с человеком при выполнении какой-либо задачи в совместном пространстве. Преимуществом коллаборативных ро-

ботов является возможность их быстрой переналадки, безопасность для человека, обеспечиваемая сенсорной подсистемой. Среди коллаборативных роботов можно заметить тенденцию к манипуляционным роботам с избыточным количеством степеней свободы. Кинематика робота избыточна, если количество его контролируемых степеней свободы больше, чем количество физических степеней свободы [7]. Так, робот LBR iiwa 7 R800 имеет 7 степеней подвижности из-за использования 7 приводов. Избыточность позволяет роботу достигать одинакового положения и ориентации рабочего органа при разных обобщенных координатах. Таким образом, робот может работать в среде с препятствиями, а также имеет некоторую степень отказоустойчивости, что особенно важно в условиях, когда робот работает совместно с человеком.

Информация о существенных параметрах используемых манипуляционных роботов представлена в табл. 1. Как видно из таблицы, манипуляционные роботы кафедры проблем управления различаются по многим параметрам, таким как количество осей, полезная нагрузка, радиус рабочей области. В то же время для задачи захвата априорно неизвестных объектов важными параметрами являются полезная нагрузка и радиус рабочей области, а повторяемость позиционирования рабочего инструмента не играет большой роли.

Таблица 1

Манипуляционные роботы кафедры проблем управления

Модель	YuMi IRB 14000	Comau Racer 3	Rebel-S6-0.75	LBR iiwa 7 R800
Производитель	ABB Robotics	COMAU	COMAU	KUKA
Основная задача	Сборка электроники	Сборка, разгрузочно-погрузочные работы	Разгрузочно-погрузочные работы	Сборка, разгрузочно-погрузочные работы, покраска, шлифовка
Повторяемость, мм	0,02	0,02	0,02	0,1
Количество осей (приводов)	14	6	4	7
Полезная нагрузка, кг	0,5	3	6	7
Радиус действия, мм	500	630	750	800
Вес робота, кг	38	30	20	23

В данной работе используется модель манипуляционного робота LBR iiwa 7 R800 в среде симуляции.

СТРУКТУРА ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА

Наиболее часто встречающимися комплексами для моделирования в робототехнике являются GraspIt!, Gazebo и CoppeliaSim. Каждая программа обладает рядом преимуществ и недостатков:

1. GraspIt! – среда симуляции, изначально разработанная для исследования процесса автоматизированного захвата. Преимуществом симулятора является возможность оценки каждого захвата с помощью числовых показателей качества и визуализация сил, действующих на объект со стороны ЗУМ;

2. Gazebo – симулятор, используемый в конкурсах DARPA Robotics Challenge. Приложение симулятора включает графическую часть и часть по имитированию взаимодействия твердых объектов, позволяя моделировать динамику и кинематику роботов. Преимуществом симулятора является интеграция с ROS, формирование физически правдоподобных данных с виртуальных датчиков;

3. CoppeliaSim – полноценная среда моделирования процессов в мобильной и манипуляционной робототехнике. Преимуществом среды является ее богатый функционал, возможность симуляции изображений глубины, возможность оптимизации моделей под программу, моделирующую физику. Стоит также упомянуть, что программа обладает развернутой документацией, значительно ускоряющей процесс настройки среды и написания программного кода. Помимо этого, среда поддерживает интеграцию с метаоперационной системой ROS, что может быть крайне полезно при дальнейшей разработке методов в виде ROS-пакетов.

Рассмотрим структуру комплекса для моделирования и тестирования методов захвата априорно неизвестных объектов. Функциональные части комплекса были выбраны на основе существующих исследований, среди которых можно выделить следующие:

- создание сложных визуальных сцен 2 типов: с хаотичным расположением объектов и с упорядоченным, аналогично [8];
- построение образа сцены в процессе следования по траектории сканирования [4];
- сбор статистики работы метода [9].

Помимо этого, были добавлены программный модуль для контроля освещения сцены и модуль для управления роботом посредством решения обратной задачи кинематики.

Таким образом, используя готовый симулятор, разрабатываемый программный комплекс реализует требуемый функционал, предоставляя на выходе высокоуровневые функции (рис. 1).

Для реализации библиотек программного комплекса была выбрана среда для моделирования CoppeliaSim. Данная среда обладает всем необходимым функционалом для реализации комплекса.

РЕАЛИЗАЦИЯ ЭЛЕМЕНТОВ КОМПЛЕКСА

Для создания сложных визуальных сцен было решено использовать существующие наборы данных с 3D-моделями объектов. В существующих работах используется большое количество различных наборов трехмерных данных, таких как T-Less [10], ModelNet [11] и YCB [12]. При поиске подходящих наборов данных отдавалось предпочтение тем датасетам, где существуют восстановленные 3D-формы объектов по результатам сканирования или вручную смоделированные 3D-модели, поскольку:

1. Применение 3D-моделей позволяет формировать реалистичные изображения глубины;
2. Есть возможность использовать модели для моделирования и оценки захвата;
3. Есть возможность оптимизации моделей путем уменьшения количества точек и полигонов.

Общий алгоритм создания случайной сцены со случайным размещением объектов и сцены с упорядоченно размещенными объектами представлен на рис. 2. Примеры сгенерированных сцен обоих типов приведены на рис. 3.

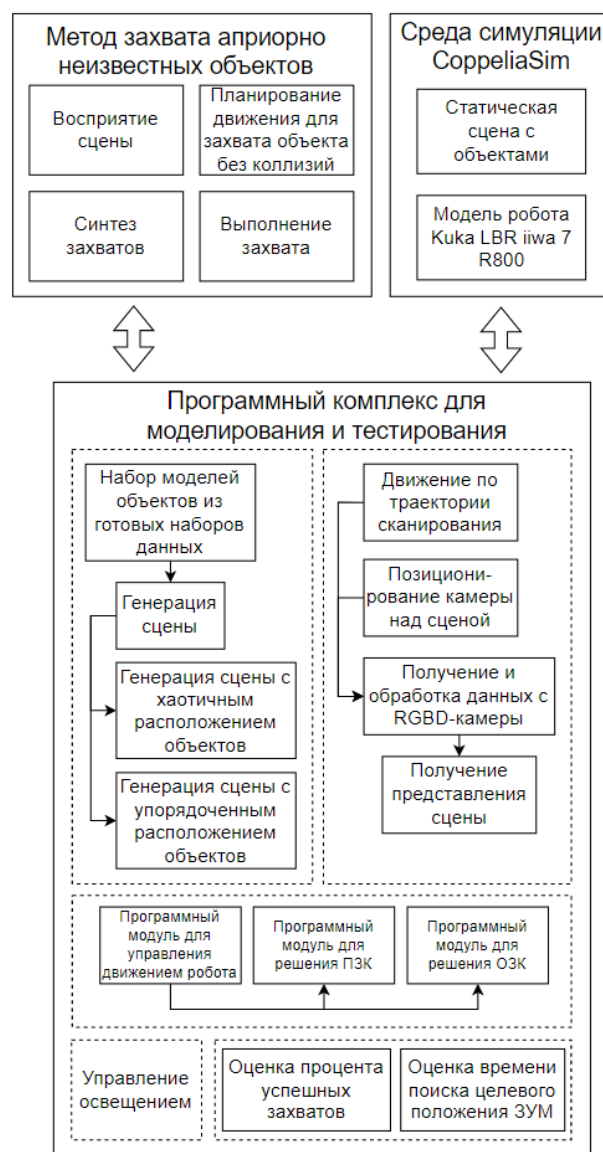


Рис. 1. Структура программного комплекса для моделирования и тестирования методов захвата

В качестве основы для модуля создания случайных сцен был использован открытый набор данных YCB, а также самостоятельно разработанные модели на основе геометрических примитивов. Датасет YCB предназначен для оценки алгоритмов захвата для манипуляционных роботов. Набор состоит из предметов, встречающихся в повседневной жизни, различной формы, размеров, текстуры и веса. Для каждого предмета есть текстурированная 3D-модель из 16 тыс. полигонов, восстановленная по результатам сканирования Google-сканером.

Оптимизация моделей под определенный симулятор или программу симуляции физики не требуется, если задача заключается в поиске возможных захватных конфигураций. Однако оптимизация необходима, когда требуется симитировать условия реального мира, проверить в процессе эксперимента успешность выбранного алгоритма. Поэтому все модели были подготовлены путем уменьшения количества точек и полигонов и совмещения моделей для визуализации и для физического моделирования в одном итоговом объекте.

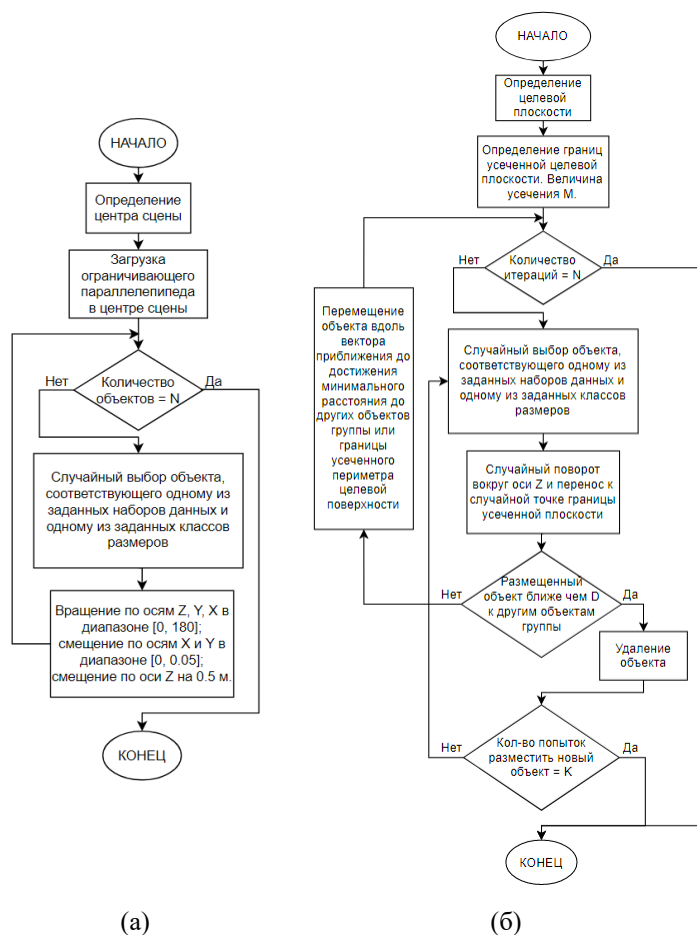


Рис. 2. Блок-схемы алгоритмов:

- (а) алгоритм создания сцены со случайным размещением объектов;
 (б) алгоритм создания сцены с упорядоченным размещением объектов

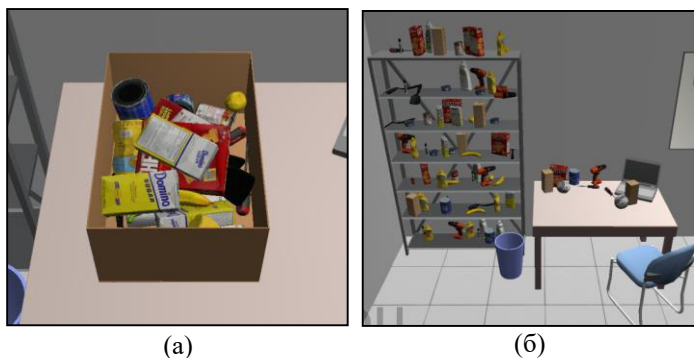


Рис. 3. Сформированные сцены:

- (а) со случайным расположением объектов;
 (б) с упорядоченным расположением объектов

Полученные таким образом оптимизированные модели объектов были отсортированы на 3 категории по размеру внутри каждого набора данных для возможности гибко выбирать объекты, участвующие в формировании статической сцены.

Для создания сцен требуется наличие заранее заданных рабочих плоскостей. Для этого были зафиксированы 4 точки для каждой рабочей плоскости. В процессе построения образа сцены также использовалась информация о рас-

положении плоскостей. В реальных условиях манипуляционный робот может получить информацию о пространственном положении рабочей плоскости с помощью меток, таких как QR-коды и Агусо-маркеры.

ПОДСИСТЕМА ВОСПРИЯТИЯ

Одной из ключевых проблем компьютерного зрения является реализация надежного, эффективного в вычислительном отношении способа представления физического мира. Для восстановления трехмерных моделей в высокой точностью в соответствующих исследованиях рассматриваются методы фотограмметрии. В то же время одними из наиболее доступных инструментов для получения пространственной информации об окружающей среде являются RGBD-камеры - сенсорные системы, захватывающие изображение в формате RGB наряду с информацией о глубине каждого пикселя [13]. Изображения глубины, применимые для сегментации, классификации и других способов обработки с помощью нейросетевых технологий, также могут быть применены для активной стратегии построения образа окружающей среды.

Подсистема восприятия является неотъемлемой частью робототехнической системы, предназначенной для захвата объектов в условиях неопределенности. Таким образом, важно правильно выбрать элементы сенсорной подсистемы, чтобы робот мог работать в условиях варьирующегося освещения, различных визуальных свойств объектов. Для задачи захвата объектов случайной сцены управляющая система должна получить данные о пространственном положении объектов. Таким образом, в большинстве исследований используются такие методы получения данных о глубине, как применение RGBD-камеры, лидара, стереокамеры.

Среди перечисленных устройств для получения информации о глубине стоит выделить камеры структурированного света и стереокамеры. Камеры структурированного света основаны на сканировании пространства с помощью структурированного света: с помощью инфракрасного проектора формируется проекция световой сетки на сцене, с помощью камеры фиксируются искажения паттерна и вычисляются расстояния до объектов. Недостатком камер, основанных на структурированном свете, является образование областей изображения без данных в силу того, что камера и проектор пространственно разнесены друг от друга, невозможность работать вне помещения из-за влияния солнечного света, а также сильная зашумленность изображения. Стереокамеры являются классическим методом построения карт глубины. Основным преимуществом стереокамер является возможность их работы на открытой местности при солнечном свете, недостатком является сложность вычислений, связанная с сопоставлением двух изображений, и плохая работа на объектах, имеющих однородную структуру. Таким образом, можно заключить, что в системе восприятия робота имеет смысл использовать несколько источников данных в сенсорной подсистеме, взаимно компенсирующих недостатки друг друга. Такими источниками являются камера структурированного света и стереокамера.

Следующей задачей, после анализа и построения системы восприятия робота, является задача непосредствен-

ного получения образа сцены. Для робота с камерой, закрепленной на захватном устройстве, в существующих работах можно выделить 2 способа получения образа сцены:

1. Получение RGBD-изображения с одного положения камеры [8]. В этом случае робот не затрачивает время на перемещение камеры над сценой для сканирования, прежде чем захватить объект;

2. Создание образа сцены на основе нескольких RGBD-изображений, полученных в процессе движения камеры по траектории сканирования. В данном случае манипуляционный робот перемещает камеру по нескольким позициям, заданным, например, сферическими координатами, делая снимки сцены [4]. Очевидно, что траектория сканирования должна быть ориентирована относительно целевого участка рабочей области.

Впоследствии, аналогично работе [14], планируется добавить искусственный шум к получаемым изображениям глубины. Данный шум приближал бы качество карты глубины к реальности, позволяя таким образом упростить переход какого-либо нейросетевого комплекса от среды моделирования к работе с реальными объектами.

В результате движения по траектории сканирования манипуляционный робот формирует представление рабочей среды в виде облака точек и в виде воксельной сетки, что продемонстрировано на рис. 4.

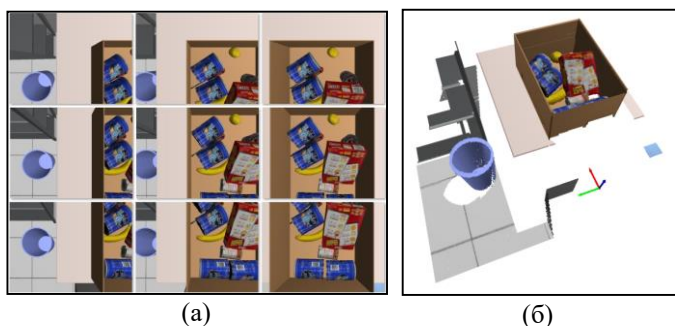


Рис. 4. Построение образа сцены:

(а) снимки сцены, полученные в результате движения по траектории сканирования; (б) результирующее представление сцены в виде воксельной сетки

Как видно, примитивная траектория сканирования, состоящая из 9 положений камеры, в результате дает достаточно ограниченный образ пространства. Поэтому актуальной является задача разработки оптимальной траектории сканирования, которая бы позволила сократить время сканирования и получить более детализированный образ внешней среды.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ЗАХВАТА АПРИОРНО НЕИЗВЕСТНЫХ ОБЪЕКТОВ

На стратегическом уровне управления манипуляционным роботом реализована машина состояний, представленная на рис. 5.

В процессе разработки программный комплекс был протестирован в рамках решения задачи захвата объекта априорно неизвестной формы манипуляционным роботом LBR iiwa 7 R800 (рис. 6-7). Алгоритм захвата представлял собой комплексное решение, включающее применение сверточ-

ной нейронной сети архитектуры U-Net для сегментации целевого объекта, построение и реконструкцию облака точек, получение целевого положения захватного устройства с помощью непрерывного генетического алгоритма.

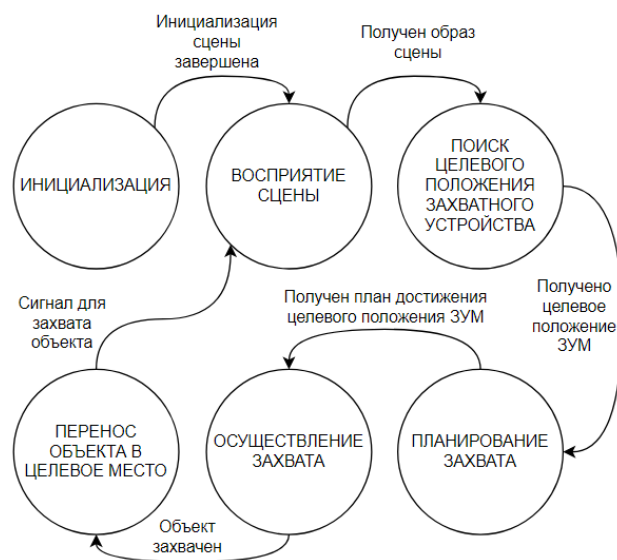


Рис. 5. Универсальная машина состояний для метода захвата объектов

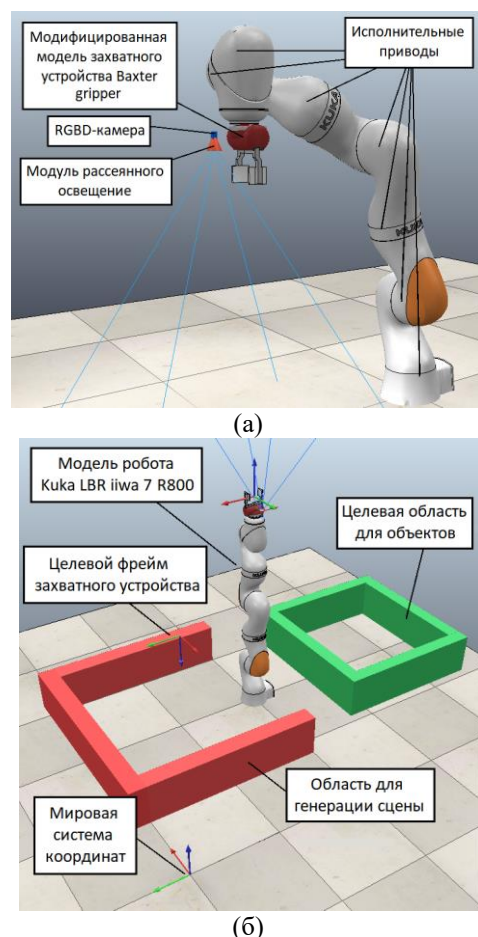


Рис. 6. Сцена для проведения моделирования: (а) модель робота; (б) состав сцены

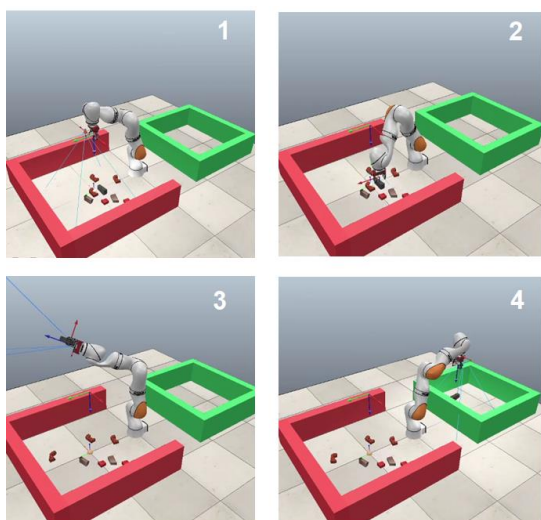


Рис. 7. Процесс захвата объекта манипуляционным роботом

В реализованном алгоритме образ сцены в виде облака точек формировался на основе одного RGBD-снимка сцены с predeterminedенной позиции. Также RGBD-данные подавались нейронной сети U-Net для сегментации ближайшего объекта на RGBD-изображении. Затем с помощью двумерной триангуляции Делоне устранялись ненаблюдаемые области, где отсутствовали данные.

Поиск целевого положения ЗУМ осуществлялся с помощью генетического алгоритма. Положение и ориентация ЗУМ относительно базовой системы координат задавались вектором из 6 параметров: 3 проекции вектора переноса и 3 угла Тейта-Брайана. Данные 6 параметров формировали хромосому особи. В процессе поиска решения алгоритм располагал 3D-модель ЗУМ в соответствии с хромосомой и оценивал количество точек внутри модели ЗУМ и в объеме между пальцами рабочего инструмента.

Оператор скрещивания рассчитывался как поэлементная взвешенная сумма генов двух родительских особей со случайным весовым коэффициентом. Оператор мутации был реализован как: внесение случайного изменения к каждому гену хромосомы с вероятностью 50%, внесение изменения к случайно выбранному гену каждой логической подгруппы генов и внесение изменения к одному случайно выбранному гену.

Желаемые интервалы для углов поворота захватного устройства относительно осей X и Y лежат в диапазонах: $-20^\circ < \alpha_g < 20^\circ$, $-20^\circ < \beta_g < 20^\circ$. При вычислении функции приспособленности учитывался выход за границы этих интервалов. Величина, обратная приспособленности особи, вычисляется по формуле:

$$F(p) = \begin{cases} 1000 + x, & \text{при } O_{in\ gr} > 0 \text{ или } I_{in\ gr} > 0, \\ 500 + x, & \text{при } O_{in\ gr} = 0 \text{ и } I_{in\ gr} = 0 \text{ и } I_{in\ vol} = 0, \\ \frac{1}{I_{inside\ vol}} + x, & \text{при } I_{in\ vol} > 0 \text{ и } O_{in\ gr} = 0 \text{ и } I_{in\ gr} = 0, \end{cases}$$

где x – сумма абсолютных величин превышения подобранных углов α и β над заданными интервалами; $O_{in\ gr}$ – количество точек облака точек препятствия внутри модели схвата; $I_{in\ vol}$ – количество точек объекта внутри объема между пальцами ЗУМ; $I_{in\ gr}$ – количество точек объекта внутри модели схвата.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В рамках представленной работы были проанализированы особенности применения программных комплексов для моделирования роботов. Особое внимание было уделено тому функционалу комплекса, который позволяет протестировать и оценить работу методов захвата априорно неизвестных объектов.

В практической части работы был реализован программный комплекс для эффективного моделирования и тестирования алгоритмов захвата манипуляционным роботом объектов априорно неизвестной формы. Комплекс включает в себя модули создания случайных сцен, создания образа сцены в виде воксельной сетки, а также модуль для позиционирования робота посредством решения прямой и обратной задач кинематики.

Включение в состав комплекса современных технологий обработки RGBD-изображений позволило на этапе первичного испытания комплекса реализовать решение задачи по захвату априорно неизвестных объектов манипуляционным роботом с избеганием столкновений.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бжихатлов И.А. Моделирование робототехнических систем в программе V-REP. Учебно-Методическое пособие. – СПб: Университет ИТМО, 2018. – 59 с.;
2. Choi H. On the use of simulation in robotics: Opportunities, challenges, and suggestions for moving forward / H. Choi, C. Crump, C. Duriez, A. Elmquist, G. Hager, D. Han, F. Hearl, J. Hodgins, A. Jain, F. Leve, C. Li, F. Meier, D. Negrut, L. Righetti, A. Rodriguez, J. Tan, J. Trinkle (2021) // Proceedings of the National Academy of Sciences. – 2021. – vol. 118(1) – p. 1-9;
3. Back S. Unseen Object Amodal Instance Segmentation via Hierarchical Occlusion Modeling / S. Back, J. Lee, T. Kim, S. Noh, R. Kang, S. Bak, K. Lee // 2022 International Conference on Robotics and Automation (Philadelphia, 23 may 2022) – Philadelphia, 2022 – p. 5085-5092;
4. Breyer M. Volumetric Grasping Network: Real-time 6 DOF Grasp Detection in Clutter / M. Breyer, J. Chung, L. Ott, R. Siegwart, J. Nieto // 4th Conference on Robot Learning (Cambridge, 16.11.2020) – Cambridge MA, USA, 2020 – p. 1602-1611;
5. Zhang Z. Evaluation of genetic algorithm on grasp planning optimization for 3D object: A comparison with simulated annealing algorithm / Z. Zhang, J. Gu, L. Jason // 2013 IEEE International Symposium on Industrial Electronics – Taipei, Taiwan, 2013 – p. 1-8;
6. Ciocarlie M. Dexterous grasping via eigengrasps: A low-dimensional approach to a high-complexity problem / M. Ciocarlie, C. Goldfeder, P. Allen // Robotics: Science and Systems Manipulation Workshop – Sensing and Adapting to the Real World. – New York, NY, USA, 2007;
7. Ульянов С.В. Интеллектуальная система управления избыточным роботом манипулятором с семью степенями свободы на основе мягких вычислений / С.В. Ульянов, А.В. Николаева, И.А. Бархатова, А.В. Ноздрачев // Программные продукты и системы. – 2014. – №2(106) – с. 48-55;
8. Murali A. 6-DOF Grasping for Target-driven Object Manipulation in Clutter. / A. Murali, A. Mousavian, C. Eppner, C. Paxton, D. Fox // 2020 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA). – 2020 – p. 6232-6238;

9. Mousavian A. 6-DOF GraspNet: Variational Grasp Generation for Object Manipulation / A. Mousavian, C. Eppner, D. Fox // 2019 IEEE/CVF International Conference on Computer Vision (ICCV) (Oct. 27 2019 to Nov. 2 2019, Seoul). – Seoul, South Korea, 2019 – p. 2901-2910;

10. Hodan T. T-LESS: An RGB-D Dataset for 6D Pose Estimation of Texture-Less Objects. / T. Hordan, P. Haluza, S. Obdrzalek, J. Matas, M. Lourakis, X. Zabulis. // 2017 IEEE Winter Conference on Applications of Computer Vision (WACV) (March 24 2017 to March 31 2017, Santa Rosa). – Santa Rosa, CA, USA, 2017 – p. 880-888;

11. Johns E. Deep learning a grasp function for grasping under gripper pose uncertainty. / J. Edward, S. Leutenegger, A. Davison. // 2016 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS 2016) (Oct. 9 2016 to Oct. 14 2016, Daejeon). – Daejeon, Korea, 2016. – p. 4461-4468;

12. Calli B. The YCB object and Model set: Towards common benchmarks for manipulation research. / B. Calli, A. Singh, A. Walsman, S. Srinivasa, P. Abbeel, A. M. Dollar. // 2015 international conference on advanced robotics (ICAR) (Jul. 27 2015 to Jul. 31 2015, Istanbul). – Istanbul, 2015 – p. 510–517;

13. Tychola K.A. On 3D Reconstruction Using RGB-D Cameras. / K.A. Tychola, I. Tsimperidis, G.A. Papakostas. // Digital – 2022 – 2(3) – p. 401-423;

14. Kollar T. SimNet: Enabling Robust Unknown Object Manipulation from Pure Synthetic Data via Stereo. / T. Kollar, M. Laskey, K. Stone, B. Thananjeyan, M. Tjersland. // 5th Annual Conference on Robot Learning (Nov. 8 2021 to Nov. 11 2021, London) – London, 2021 – p. 938-948.

DOI: 10.24892/RIJE/20230105

Development of a Software Package for Modeling Algorithms for Grasping Objects of a Priori Unknown Shape

Voronkov A.D.

MIREA – Russian Technological University
Moscow, Russian Federation
a.voronkov.rtu@yandex.ru

Abstract. Today, an urgent task is to develop methods for controlling robots operating under conditions of uncertainty. A manipulative robot capable of grasping objects of a priori unknown shape could work with a huge variety of objects different in shape and appearance. At the same time, virtual modeling complexes are being developed to ensure effective testing and debugging of such methods. Combining these two directions, there is a need to develop software packages aimed at effective testing of methods in this area. The article considers the task of developing a software package aimed at effective testing of algorithms for grasping ob-

jects of a priori unknown shape by a manipulative robot. The current trends in the field of virtual modeling in the field of robotics and the corresponding software complexes are considered. The applicability of the developed algorithms and software tools has been experimentally confirmed during testing of the functioning of a manipulative robot with redundant kinematics with avoidance of collisions in an environment with a priori unknown objects.

Keywords: manipulation robot, robot grasping, virtual modeling, genetic algorithm, modeling complex, visual feedback.

Библиографическое описание статьи

Воронков А.Д. Разработка программного комплекса для моделирования алгоритмов захвата объектов априорно неизвестной формы // *Машиностроение: сетевой электронный научный журнал*. – 2023. – Т.10, №1. – С. 24-30. DOI: 10.24892/RIJE/20230105

Reference to article

Voronkov A.D. Development of a software package for modeling algorithms for grasping objects of a priori unknown shape, *Russian Internet Journal of Industrial Engineering*, 2023, vol.10, no.1, pp. 24-30. DOI: 10.24892/RIJE/20230105