

## ПЛАНИРОВАНИЕ, МОДЕЛИРОВАНИЕ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ТИПОВОЙ МАНИПУЛЯЦИОННОЙ ОПЕРАЦИИ

А.Г. Лесков<sup>1</sup>

agleskov@rambler.ru

В.В. Илларионов<sup>1</sup>

И.А. Калеватых<sup>1,2</sup>

С.Д. Морошкин<sup>1</sup>

К.В. Бажинова<sup>1,2</sup>

Е.В. Селиверстова<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> Дмитровский филиал МГТУ им. Н.Э. Баумана, пос. Орево, Московская обл.,  
Российская Федерация

<sup>2</sup> МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация

---

### Аннотация

Предложен подход и приведены результаты экспериментов по планированию, моделированию и выполнению в автоматическом режиме типовой операции манипулирования объектом, у которого положение, ориентация и габаритные размеры заранее не известны. Подход основан на сочетании элементов автоматического планирования траектории движения по данным системы технического зрения и планирования путем показа (обучения) траектории движения человеком-оператором. Показ осуществляется в пространстве виртуальной сцены с использованием заранее определенного для данной операции шаблона траектории. В качестве типовой подробно рассмотрена манипуляционная операция открывания в автоматическом режиме манипуляционным роботом сумки с клапаном на магнитном замке. Предложен алгоритм выполнения этой операции. Приведены результаты выполненных экспериментов

### Ключевые слова

*Манипуляционный робот, автоматический режим, аппаратно-программный комплекс, шаблон операции, открывание сумки, ROS, MoveIt*

---

Поступила в редакцию 30.03.2016

© МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2016

В настоящее время внимание специалистов в области робототехники привлечено к проблемам выполнения манипуляторами операций в автоматическом режиме. В качестве примеров отметим следующие операции: захват объектов [1], вывинчивание лампочки из патрона [2], открывание двери [3] и др.

Для выполнения подобных операций манипуляционные роботы (МР) оснащаются системами технического зрения (СТЗ), с помощью которых осуществляется идентификация объекта, определяются его линейные и угловые

координаты и координаты точек поверхности объекта. Полученная от СТЗ информация используется для планирования и последующего осуществления операции автоматического захвата объекта. Этапами выполнения такой операции являются: синтез захвата, планирование траекторий и последующее перемещение манипулятора и его схвата (т.е. движение из исходного положения к объекту и его захват). Алгоритмы операций захвата достаточно формализованы, что позволяет реализовать их в полностью автоматическом режиме. В [1] описаны алгоритмы планирования захвата объектов, а также представлен аппаратно-программный комплекс (АПК), на котором реализованы эти алгоритмы, и показан ряд операций захвата, выполняемых реальным МР.

Однако этих алгоритмов недостаточно в случаях, когда требуется не просто захватить объект, но и совершить с ним определенные действия. В общем случае содержание и характер этих действий заранее неизвестен и может быть самым разнообразным.

Решить подобную задачу на инженерном уровне можно, если планируемую траекторию разделить на несколько участков. Тогда при выполнении операций типа захвата планирование выполняется автоматически, а при выполнении действий с объектом планирование перемещений нужно осуществлять не в автоматическом режиме, а путем показа этих действий оператором.

В настоящей работе предложен один из способов показа в пространстве виртуальной сцены, сформированной с помощью СТЗ. Инструментом для показа служат средства машинной графики. Авторами разработаны соответствующие алгоритмы и программное обеспечение (ПО). В качестве примера рассматривается операция открывания клапана сумки на магнитной защелке. Операции подобного рода возникают при выполнении производственных задач промышленными роботами (ПР), в быту, а также при обследовании неизвестных объектов.

**Объект манипулирования и манипуляционная операция.** Фотография сумки приведена на рис. 1, а. Сумка жестко зафиксирована с помощью специального приспособления. Положение, ориентация и габаритные размеры сумки относительно робота заранее неизвестны.

Операция выполняется на экспериментальной установке (рис. 1, б), представляющей собой АПК [1], в составе которого ПР Kawasaki FS03N, оснащенный схватом Schunk WSG 50 и СТЗ на базе датчиков глубины семейства Prime Sense — Microsoft Xbox Kinect 360.

Средства человеко-машинного интерфейса АПК позволяют формировать на экране монитора сцену, содержащую 3D-изображения ПР, схвата и объекта манипулирования (ОМ). Расположение ПР, схвата и ОМ на виртуальной сцене соответствует их расположению в рабочей зоне, а размеры пропорциональны их реальным геометрическим параметрам (рис. 2). Изображение МР формируется на основании показаний датчиков положения робота, изображения ОМ и других объектов сцены — по данным СТЗ.



Рис. 1. Объект манипулирования (а) и аппаратная часть комплекса (б)

**Общее описание алгоритма открывания сумки и основы его формализации.** Наиболее простой способ открыть такую сумку — подложить инструмент, например широкую рейку, под клапан, затем приподнять рейку с одновременным перемещением в направлении откидывания клапана, после этого переместить рейку в свободную зону.

Закон движения инструмента при таком способе открывания удобно формализовать, вводя в рассмотрение некоторую плоскую ломаную линию. Линия состоит из трех прямолинейных отрезков, соответствующих этапам перемещения линейки под клапан, откидывания клапана и перемещения в свободную зону (рис. 3).

Плоскость, в которой расположена ломаная, устанавливается перпендикулярно по отношению к линии перегиба (шарниру) клапана. Точка  $P_1$  на рис. 3 соответствует точке на откидывающейся кромке клапана, под которую подводится рейка. Отрезок  $P_1P_2$  определяет направление перемещения рейки при подсовывании под клапан.

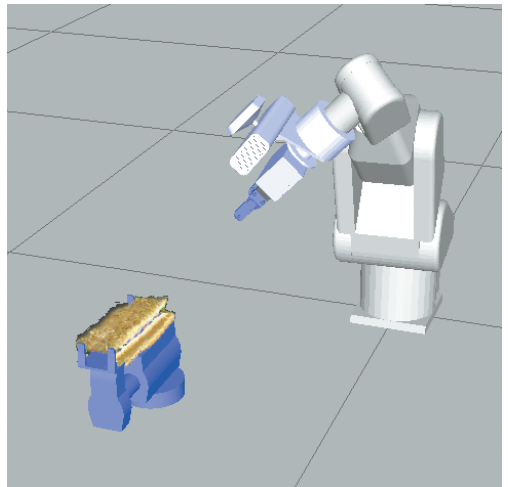
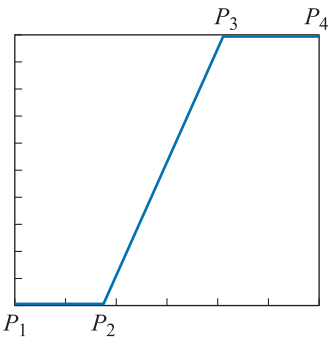


Рис. 2. Виртуальная рабочая сцена для планирования операции



**Рис. 3.** Ломаная линия (шаблон) траектории перемещения инструмента

размещенной на схвате МР.

Траектория планируется с учетом достижимости точки обзора при условии исключения самопересечения звеньев МР и отсутствия контакта с посторонними объектами, находящимися в рабочей зоне, а также автоматически, без вмешательства оператора.

*Шаг 2. Перемещение МР по спланированной траектории в точку обзора.* Перед этой операцией выполняется моделирование движения МР с отрисовкой движения на мониторе. Моделирование позволяет контролировать правильность планирования. Если моделирование завершается успешно, то оператор инициирует перемещение реального МР в точку обзора.

Когда манипулятор достигает точки обзора, ПО АПК включает СТЗ, по информации которой ПО формирует изображения и определяет координаты расположения объектов и точек на их поверхностях относительно системы координат основания.

Следующие два шага выполняются в интерактивном режиме. Оператор, используя пульт человеко-машинного интерфейса, на экране монитора «показывает», как должен перемещаться схват робота при открывании сумки, а также с помощью разработанных средств графического интерфейса указывает линии перегиба клапана, положение первой точки на траектории раскрытия сумки и направление подвода инструмента под клапан. По этим данным рассчитываются реальные параметры шаблона траектории: положение в рабочей зоне, ориентация в соответствии с ориентацией сумки и линейные размеры, соответствующие размерам клапана, который требуется открыть. В качестве инструмента для открытия используется один из пальцев двупалого схвата в его раскрытом состоянии.

*Шаг 3. Задание оператором координат линии перегиба клапана сумки и вектора подхода.* Для выполнения этого шага на виртуальной сцене рядом с роботом и сумкой программы разработанного ПО отображают графические элементы (две точки и стрелку), положение и ориентацию которых можно изменять (на рис. 4 показаны розовым цветом).

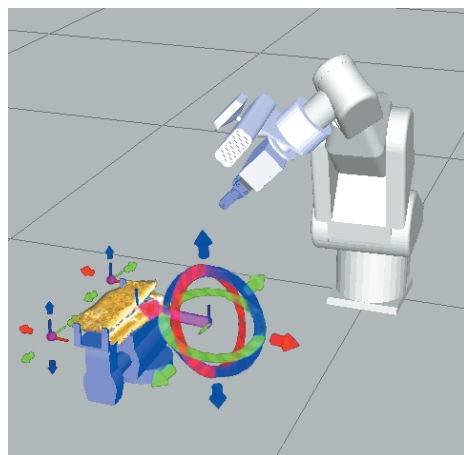
Ломаная  $P_1P_2P_3P_4$  является формальным отражением приема открытия сумки, описанного ранее. Далее будет показано, что эта ломаная может быть использована в качестве шаблона для расчета траектории движения реального инструмента.

**Алгоритм открывания клапана сумки роботом.** Эта операция включает в себя следующий набор последовательно выполняемых шагов.

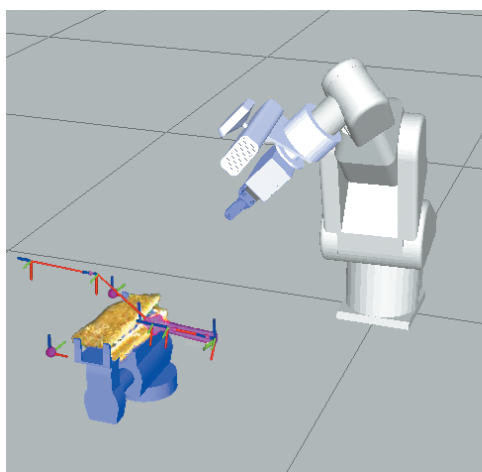
*Шаг 1. Планирование траектории перехода МР в точку обзора.* Вначале робот переводится в точку обзора, которая выбирается так, чтобы оператор мог в окне виртуальной сцены видеть положение сумки. Изображение формируется камерой СТЗ,

Линия перегиба клапана задается оператором путем помещения на нее двух точек. Затем, посредством перемещения и изменения ориентации стрелки оператор задает вектор, определяющий направление подвода пальца схвата под клапан, и положение первой точки на траектории открывания сумки. Эти данные используются на следующем шаге для планирования траектории движения при открывании сумки.

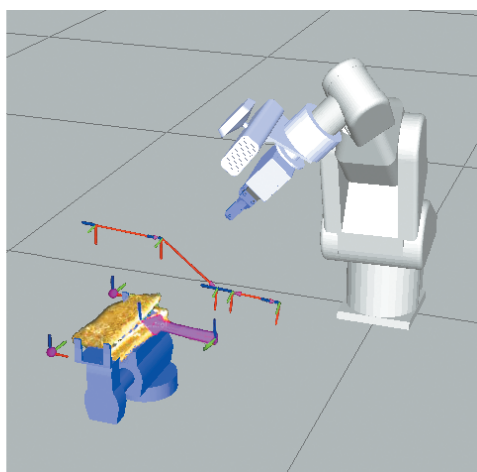
*Шаг 4. Расчет координат точек на траектории движения схвата при открывании.* По параметрам, заданным на предыдущем шаге, ПО рассчитывает траектории открывания для конца пальца и для схвата манипулятора. Вычисленные траектории отображаются на виртуальной сцене (рис. 5), красным цветом обозначены вычисленные точки траекторий, через которые должны пройти конец пальца (рис. 5, а) и схват манипулятора (рис. 5, б). В каждой из этих точек расположена система координат, соответствующая заданной ориентации схвата (синим цветом показаны оси Oz).



**Рис. 4.** Задание координат линии перегиба клапана сумки и вектора подхода



а



б

**Рис. 5.** Траектория открывания для конца пальца (а) и схвата (б)

Линейные размеры изображенных ломаных соответствуют габаритным размерам клапана, заданным с помощью линии перегиба и положения первой точки траектории открытия, положение и ориентация соответствуют вектору подхода, который располагается в плоскости траектории, а плоскость каждой

ломаной располагается перпендикулярно линии перегиба клапана. Линейные размеры, положение и ориентация траектории могут быть изменены оператором путем изменения положения и ориентации соответствующих элементов графического интерфейса.

Использование такого способа задания параметров операции позволяет упростить планирование траектории. В самом деле, перемещение двух точек и стрелки, а также изменение ориентации последней — это значительно более простая операция по сравнению с оперированием точками траектории в трехмерном пространстве, а точки реальной траектории и ориентация схвата рассчитываются автоматически. Кроме того, такая процедура планирования проста, наглядна и удобна для оператора.

*Шаг 5. Планирование и моделирование движения МР по траектории подхода к сумке, раскрытия замка и возвращения в положение обзора.* На этом шаге планируются движения в шарнирах МР, обеспечивающие его перемещение по траектории, рассчитанной на предыдущем шаге, и моделируются перемещения МР, сопровождающиеся анимационным отображением на виртуальной сцене. Моделирование проводится в целях контроля правильности выполненных вычислений. Планируются и моделируются следующие фазы операции: раскрытие пальцев схвата, перемещение схвата из точки обзора в первую точку траектории раскрытия сумки, плавное прохождение вдоль этой траектории (по ломаной) и отгибание клапана, возвращение манипулятора в положение обзора.

*Шаг 6. Исполнение МР спланированной траектории: подход к сумке, раскрытие замка и возвращение в положение обзора.* На этом шаге спланированные движения выполняются реальным МР. Предполагается, что манипулятор имеет необходимую мощность для того, чтобы путем перемещения схвата разомкнуть магнитный замок.

**Программное обеспечение операции открывания клапана сумки.** Авторами разработано следующее ПО.

1. Программа планирования безопасных траекторий движения МР и пальцев схвата (исключающих самопересечение между звеньями МР и схвата и несанкционированный контакт с объектами на рабочей сцене) на базе пакета MoveIt [4] с использованием алгоритмов, предоставленных библиотекой Open Motion Planning Library [5].

2. Программа, обеспечивающая наложение информации с датчика СТЗ на виртуальную рабочую сцену, которая располагается в окне графического интерфейса пользователя, на базе пакета Freenect [6].

3. Программа формирования виртуальной рабочей сцены, полностью соответствующей реальной рабочей сцене, в которой работает МР при выполнении операции открывания клапана сумки. Модель виртуальной сцены создана на базе ROS [7] в формате Unified Robot Description Format (URDF) [8] с использованием макроса языка XML Xacro [9]. Виртуальная сцена содержит трехмерные полигональные модели манипулятора с установленным на нем схватом, средств фиксации положения сумки и датчика СТЗ на поверхности схвата (см. рис. 2).

4. Графический интерфейс пользователя, созданный на базе ROS [8] с использованием инструментов Rviz [10] и Interactive markers [11]. С его помощью оператор может задавать габаритные размеры клапана и направление подхода МР, наблюдать виртуальную рабочую сцену, подтверждать правильность спланированной траектории и отправлять ее на исполнение реальному МР. Виртуальная рабочая сцена с размещенными на ней трехмерными моделями МР и ОМ и элементами управления графического интерфейса приведена на рис. 4.

5. Программа расчета координат точек траектории движения схвата и его ориентации при выполнении операции открывания сумки.

Алгоритмы программы иллюстрирует рис. 6. На рис. 6, а показан шаблон траектории движения конца пальца схвата МР при выполнении операции открывания сумки. На рис. 6, б приведена расчетная схема определения масштаба, положения и ориентации траектории пальца схвата для выполнения операции открытия магнитного замка.

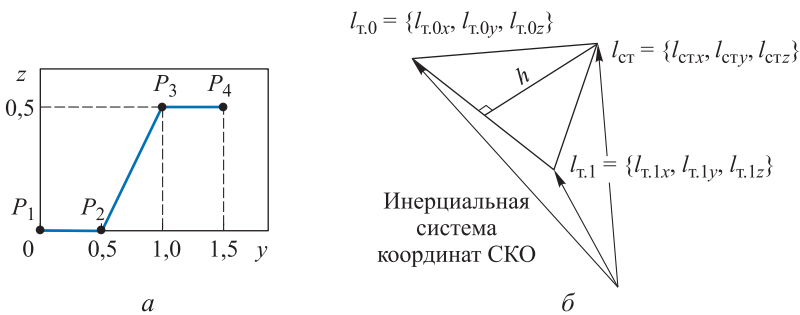


Рис. 6. Шаблон траектории движения инструмента (а) и расчетная схема определения параметров траектории пальца схвата (б)

Точки траектории шаблона имеют следующие координаты:  $P_1 = \{0,0; 0,0; 0,0\}$ ;  $P_2 = \{0,0; 0,5; 0,0\}$ ;  $P_3 = \{0,0; 1,0; 0,5\}$ ;  $P_4 = \{0,0; 1,5; 0,5\}$ .

Программа расчета координат точек траектории движения схвата в 6-мерном пространстве в качестве исходных данных получает вектор положения конца стрелки в инерциальной системе координат (СК)  $l_{CT} = \{l_{CTx}, l_{CTy}, l_{CTz}\}$ , его ориентацию, заданную кватернионом поворота из инерциальной СК в СК, связанную со стрелкой,  $q_{CT} = \{q_{CTx}, q_{CTy}, q_{CTz}, q_{CTw}\}$ , и векторы положений двух точек, задающих линию перегиба клапана сумки в инерциальной СК,  $l_{T,0} = \{l_{T,0x}, l_{T,0y}, l_{T,0z}\}$  и  $l_{T,1} = \{l_{T,1x}, l_{T,1y}, l_{T,1z}\}$  соответственно (см. рис. 6, б).

По этим параметрам выполняется автоматический перерасчет координат точек шаблона траектории в трехмерные координаты. При этом осуществляются следующие действия.

*Масштабирование шаблона траектории.* Координаты конца маркера-стрелки  $l_{CT}$  и точечных маркеров  $l_{T,0}$  и  $l_{T,1}$  определяют положение плоскости клапана сумки. Ширина клапана  $h$  вычисляется как расстояние от конца маркера-стрелки до линии перегиба клапана:

$$h = \frac{|(l_{т.0} - l_{ст})(l_{т.1} - l_{ст})|}{|l_{т.0} - l_{т.1}|}$$

Ширина клапана сумки используется в качестве весового коэффициента при изменении масштаба шаблона траектории движения пальца. Координаты точек шаблона траектории после масштабирования  $P'_i$  принимают значения:  $P'_i = hP_i$ ,  $i = 1, \dots, 4$ , где  $P_i$  — радиус-векторы точек исходной траектории.

*Поворот шаблона траектории.* Направление маркера-стрелки описывается кватернионом  $q_{ст}$ . Этот кватернион задает новое направление оси  $Oy$  СК, в которой расположена исходная траектория. Шаблон нужно повернуть так, чтобы он лежал в плоскости, проходящей через маркер-стрелку перпендикулярно плоскости клапана. Этот поворот описывается с помощью вспомогательного кватерниона  $q'$ , содержащего в себе поворот от оси  $Oz$  после поворота, заданного  $q_{ст}$ , к нормали плоскости клапана сумки. Согласно определению кватерниона, запишем

$$q' = \{\sin(\alpha/2)n_x, \sin(\alpha/2)n_y, \sin(\alpha/2)n_z, \cos(\alpha/2)\},$$

где  $\alpha$  — угол, на который нужно довернуть повернутый кватернионом  $q_{ст}$  орт  $k$  оси  $Oz$  вокруг вектора  $n$ , чтобы он стал сонаправлен с нормалью плоскости клапана сумки  $N$ ,

$$\alpha = \arccos(N_x(q_{ст}kq_{ст}^{-1})_x + N_y(q_{ст}kq_{ст}^{-1})_y + N_z(q_{ст}kq_{ст}^{-1})_z),$$

$$N = \frac{(l_{т.0} - l_{ст})(l_{т.1} - l_{ст})}{|(l_{т.0} - l_{ст})(l_{т.1} - l_{ст})|}, \quad n = \frac{(q_{ст}kq_{ст}^{-1})N}{|(q_{ст}kq_{ст}^{-1})N|}$$

Иными словами, кватернион  $q'$  задает требуемое направление оси  $Oz$  СК с исходной траекторией. Координаты точек исходной траектории, после масштабирования с учетом заданного оператором направления движения конца пальца  $P''_i$  рассчитываются по соотношению

$$P''_i = (q_{ст}q')hP_i(q_{ст}q')^{-1}, \quad i = 1, \dots, 4.$$

*Перенос графического образа шаблона.* Программа планирования безопасных траекторий движения в качестве входных параметров принимает координаты точек в инерциальной СК, через которые должен пройти схват МР, и его ориентацию для каждой точки траектории. Поскольку палец схвата неподвижен относительно схвата в процессе выполнения операции, то его траекторию можно определить путем параллельного переноса траектории пальца на вектор, заданный в СК пальца  $l_{сх}$ , соединяющий конец пальца и основание схвата. Этот вектор определяется из конструкции схвата. Координаты точек расчетной траектории для раскрытия сумки  $P'''_i$  находят с учетом заданного оператором положения первой точки траектории  $l_{ст}$  и вектора  $l_{сх}$  по следующему соотношению:



$$P_i''' = (q_{ст}q')(hP_i + l_{сх})(q_{ст}q')^{-1} + l_{ст}, i = 1, \dots, 4.$$

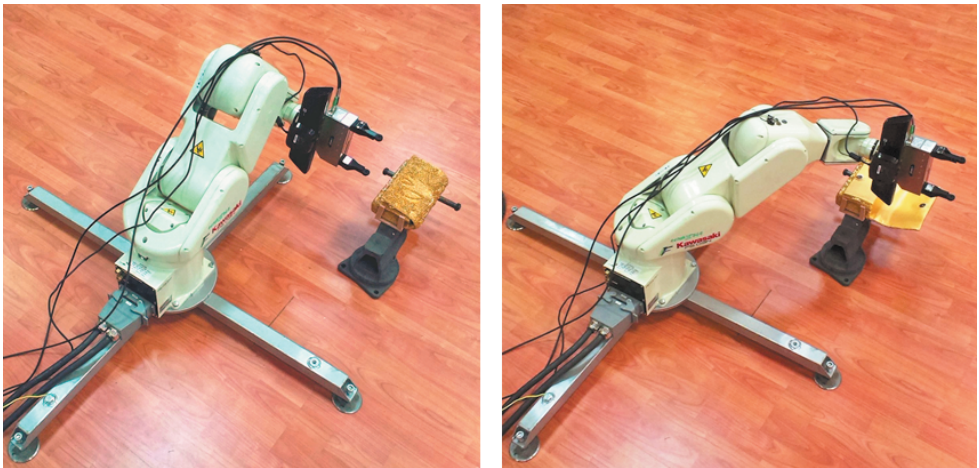
Поскольку палец схвата неподвижен относительно схвата в процессе выполнения операции, то ориентация пальца и ориентация схвата относительно инерциальной СК одинаковы и могут быть заданы кватернионом

$$q''' = q'q'', q' = \{\sin(1,57/2); 0,0; 0,0; \cos(1,57/2)\}.$$

С помощью кватерниона  $q''$  изменение ориентации, описываемое  $q'$ , дополняется последующим поворотом на 1,57 рад вокруг оси  $Ox$  СК, в которой задана исходная траектория. Это необходимо сделать, потому что система координат схвата задана таким образом, что ее ось  $Oz$  направлена вдоль пальцев, а ось  $Oy$  — параллельна нормали меньшей грани базы схвата. Таким образом, введение кватерниона  $q'''$  обеспечивает желаемую ориентацию схвата в процессе открытия клапана сумки в каждой точке рассчитанной траектории движения.

**Экспериментальные исследования.** По алгоритмам, описанным в настоящей работе, выполнена серия экспериментов по автоматическому открыванию клапана сумки при различных исходных положениях ОМ относительно МР. В каждом эксперименте изменяли параметры траекторий перемещения в исходное положение, а также ориентацию и положение сумки относительно основания МР. Однако законы перемещения инструмента по ломаной линии оставались неизменными. Изменялись только параметры привязки шаблона, его масштаб и ориентация.

Фотографии этапов выполнения операции приведены на рис. 7. Графики изменения координат схвата на первом этапе выполнения операции, когда манипулятор МР переходит из исходного положения в положение обзора, показана

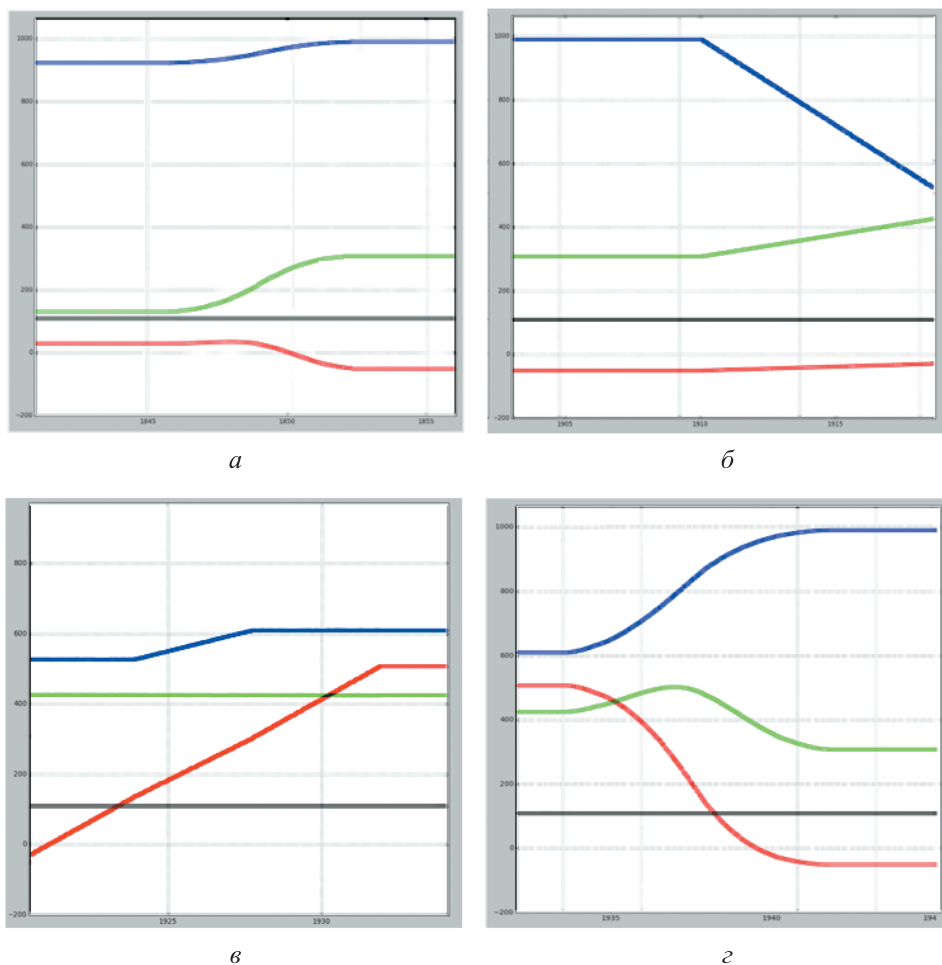


а

б

**Рис. 7.** Переход МР в начальную точку траектории (а) и открывание сумки (б)

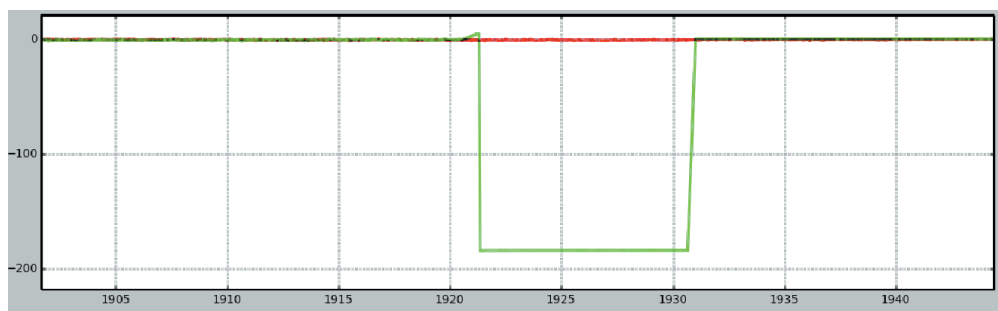
ны на рис. 8, а. Изменение декартовых координат схвата в процессе выхода МР в первую точку траектории перемещения при выполнении операции раскрытия клапана сумки (движение по участку  $P_2P_3$  ломаной) иллюстрирует рис. 8, б.



**Рис. 8.** График изменения линейных координат схвата МР при выполнении операции раскрытия сумки

Видно, как МР обрабатывает рассчитанную по шаблону траекторию (рис. 8, в). Финальный этап выполнения операции, на котором МР возвращается в точку обзора, приведен на рис. 8, г.

На рис. 9 приведен график изменения силы, измеренной датчиком о чувствованного пальца схвата во время выполнения операции. Сила (график зеленого цвета) направлена перпендикулярно плоскости пальца схвата. Размерности оси абсцисс — секунды, оси ординат — ньютонь. График изменения силы подтверждает, что механический контакт пальца схвата МР с объектом манипулирования произошел точно в момент начала прохождения пальцем ломаной линии.



**Рис. 9.** График изменения силы на оцувствленном пальце схвата в процессе раскрытия сумки

**Заключение.** Предложен способ формализации действий МР с ОМ на основе программирования законов перемещения инструмента с использованием шаблона траектории. При этом оператор, используя разработанные графические средства интерфейса и шаблон, на этапе планирования формирует траекторию (показывает движение) МР на виртуальной сцене, сформированной СТЗ. Для этого оператор изменяет только параметры шаблона ломаной линии, выполняя тем самым настройку (привязку) параметров траектории к конкретным условиям. Использование для планирования шаблона позволяет (помимо реализации функции показа) упростить и сделать процедуру планирования наглядной для оператора.

Траектории перемещения МР в свободной зоне, а также захват объекта манипулятором планируются и выполняются полностью автоматически.

Результаты экспериментов подтвердили правильность предложенного подхода к планированию движений МР, а также алгоритмических и технических решений.

Сформулированные предложения и разработанное ПО могут быть использованы для автоматизации других роботизированных операций, подобных открыванию сумки на магнитном замке.

## ЛИТЕРАТУРА

1. *Аппаратно-программный комплекс для решения задач автоматического захвата объекта манипуляторами* / А.Г. Лесков, В.В. Илларионов, И.А. Калеватых, С.Д. Морошкин, К.В. Бажинова, Е.В. Феоктистова // Инженерный журнал: наука и инновации. 2015. Вып. 1. DOI: 10.18698/2308-6033-2015-1-1361 URL: <http://engjournal.ru/catalog/pribor/robot/1361.html>
2. *Manschitz S., Kober J., Gienger M., Peters J. Learning to unscrew a light bulb from demonstrations* // In Proc. 41st International Symposium on Robotics. Germany, Munich, 2014, 2–3 June. P. 11–17.
3. *Li Z., Xia Z., Hu Y., Zhang J. An improved framework for robotic door-opening task using kinect and tactile information* // In Proc. 11th World Congress on Intelligent Control and Automation, Australia, Shenyang, 2014, 29 June – 4 July. P. 2219–2224.

4. *Chitta S., Sucan I., Cousins S. MoveIt! ROS Topics // IEEE Robotics and Automation Magazine. 2012. Vol. 19. No. 1. P. 18–19.*
5. *Sucan I.A., Moll M., Kavraki L. The open motion planning library (OMPL). URL: <http://ompl.kavrakilab.org/> (дата обращения: 30.01.2016).*
6. *The freenect package. URL: <https://hackage.haskell.org/package/freenect>*
7. *ROS: an open-source Robot Operating System / M. Quigley, K. Conley, B. Gerkey, J. Faust, T. Foote, J. Leibs, R. Wheeler, A. Ng // ICRA workshop on open source software. 2009. Vol. 3. URL: <https://www.willowgarage.com/sites/default/files/icraoss09-ROS.pdf>*
8. *URDF. URL: <http://wiki.ros.org/urdf> (дата обращения: 30.01.2016).*
9. *Xacro. URL: <http://wiki.ros.org/xacro> (дата обращения: 30.01.2016).*
10. *Rviz. URL: <http://wiki.ros.org/rviz> (дата обращения: 30.01.2016).*
11. *Interactive markers. URL: [http://wiki.ros.org/interactive\\_markers](http://wiki.ros.org/interactive_markers) (дата обращения: 30.01.2016).*

**Лесков Алексей Григорьевич** — д-р техн. наук, профессор, директор Дмитровского филиала МГТУ им. Н.Э. Баумана (Российская Федерация, 141801, Московская обл., Дмитровский р-н, пос. Орево).

**Илларионов Владимир Владимирович** — заведующий лабораторией Дмитровского филиала МГТУ им. Н.Э. Баумана (Российская Федерация, 141801, Московская обл., Дмитровский р-н, пос. Орево).

**Калеватых Игорь Алексеевич** — инженер 1-й категории Дмитровского филиала МГТУ им. Н.Э. Баумана (Российская Федерация, 141801, Московская обл., Дмитровский р-н, пос. Орево), ассистент кафедры «Специальная робототехника и мехатроника» МГТУ им. Н.Э. Баумана (Российская Федерация, 105005, Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5).

**Морошкин Святослав Дмитриевич** — инженер 1-й категории Дмитровского филиала МГТУ им. Н.Э. Баумана (Российская Федерация, 141801, Московская обл., Дмитровский р-н, пос. Орево).

**Бажинова Ксения Владимировна** — инженер Дмитровского филиала МГТУ им. Н.Э. Баумана (Российская Федерация, 141801, Московская обл., Дмитровский р-н, пос. Орево), аспирантка кафедры «Специальная робототехника и мехатроника» МГТУ им. Н.Э. Баумана (Российская Федерация, 105005, Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5).

**Селиверстова Елена Владимировна** — инженер Дмитровского филиала МГТУ им. Н.Э. Баумана (Российская Федерация, 141801, Московская обл., Дмитровский р-н, пос. Орево), аспирантка кафедры «Специальная робототехника и мехатроника» МГТУ им. Н.Э. Баумана (Российская Федерация, 105005, Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5).

**Просьба ссылаться на эту статью следующим образом:**

Лесков А.Г., Илларионов В.В., Калеватых И.А., Морошкин С.Д., Бажинова К.В., Селиверстова Е.В. Планирование, моделирование и экспериментальное исследование типовой манипуляционной операции // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. Машиностроение. 2016. № 4. С. 57–70. DOI: 10.18698/0236-3941-2016-4-57-70

## PLANNING, SIMULATION AND EXPERIMENTAL RESEARCH INTO TYPICAL ROBOTIC MANIPULATOR OPERATION

A.G. Leskov<sup>1</sup>

agleskov@rambler.ru

V.V. Illarionov<sup>1</sup>

I.A. Kalevatykh<sup>1,2</sup>

S.D. Moroshkin<sup>1</sup>

K.V. Bazhinova<sup>1,2</sup>

E.V. Seliverstova<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> Dmitrov Branch of Bauman Moscow State Technical University, Orevo, Moscow Region, Russian Federation

<sup>2</sup> Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation

---

### Abstract

This paper introduces an approach and experimental results of planning, simulating and automatic performing of typical robotic manipulations of an object with unknown position, orientation and dimensions. The approach is based on combining automatic motion trajectory planning algorithms using computer vision systems with trajectory learning through demonstrating action sequences by human operator. The demonstration is held in virtual environment with the determined task pattern. The method is implemented for automatic opening of a bag with a magnetic snap. Experimental results with an industrial robot confirm the suitability of the proposed method

### Keywords

*Manipulator, automatic mode, computer appliance, task pattern, bag opening, ROS, MoveIt*

---

### REFERENCES

- [1] Leskov A.G., Illarionov V.V., Kalevatykh I.A., Moroshkin S.D., Bazhinova K.V., Feoktistova E.V. Hardware–software complex for solving the task of automatic capture of the object with manipulators. *Jelektr. nauchno-tekh. izd. «Inzhenernyy zhurnal: nauka i innovacii»* [El. Sc.-Tech. Publ. “Eng. J.: Science and Innovation”], 2015, iss. 1.  
DOI: 10.18698/2308-6033-2015-1-1361 Available at: <http://engjournal.ru/eng/catalog/pribor/robot/1361.html>
- [2] Manschitz S., Kober J., Gienger M., Peters J. Learning to unscrew a light bulb from demonstrations. *Proc. 41st International Symposium on Robotics*, Germany, Munich, 2014, June 2–3, pp. 11–17.
- [3] Li Z., Xia Z., Hu Y., Zhang J. An improved framework for robotic door-opening task using kinect and tactile information. *Proc. 11th World Congress on Intelligent Control and Automation*, Australia, Shenyang, 2014, June 29 — July 4, pp. 2219–2224.
- [4] Chitta S., Sucas I., Cousins S. MoveIt! ROS Topics. *IEEE Robotics and Automation Magazine*, 2012, vol. 19, no. 1, pp. 18–19.
- [5] Sucas I. A., Moll M., Kavraki L. The open motion planning library (OMPL). Available at: <http://ompl.kavrakilab.org>
- [6] The freenect package. Available at: <https://hackage.haskell.org/package/freenect> (accessed 30.01.2016).

- [7] Quigley M., Conley K., Gerkey B., Faust J., Foote T., Leibs J., Wheeler R., Ng A. ROS: an open-source Robot Operating System. *ICRA workshop on open source software*, 2009, vol. 3. Available at: <https://www.willowgarage.com/sites/default/files/icraoss09-ROS.pdf>
- [8] URDF. Available at: <http://wiki.ros.org/urdf> (accessed 30.01.2016).
- [9] Xacro. Available at: <http://wiki.ros.org/xacro> (accessed 30.01.2016).
- [10] Rviz. Available at: <http://wiki.ros.org/rviz> (accessed 30.01.2016).
- [11] Interactive markers. Available at: [http://wiki.ros.org/interactive\\_markers](http://wiki.ros.org/interactive_markers) (accessed 30.01.2016).

**Leskov A.G.** — Dr. Sci. (Eng.), Professor, Director of Dmitrov Branch of Bauman Moscow State Technical University (Orevo, Moscow Region, 141801 Russian Federation).

**Illarionov V.V.** — Head of Space Robotics Laboratory, Bauman Moscow State Technical University, Dmitrov Branch (Orevo, Moscow Region, 141801 Russian Federation).

**Kalevatykh I.A.** — first-rank engineer, Bauman Moscow State Technical University, Dmitrov Branch (Orevo, Moscow Region, 141801 Russian Federation), Assistant Lecturer of Robotic Systems and Mechatronics Department, Bauman Moscow State Technical University (2-ya Baumanskaya ul. 5, Moscow, 105005 Russian Federation).

**Moroshkin S.D.** — first-rank engineer, Bauman Moscow State Technical University, Dmitrov Branch (Orevo, Moscow Region, 141801 Russian Federation).

**Bazhinova K.V.** — engineer, Bauman Moscow State Technical University, Dmitrov Branch (Orevo, Moscow Region, 141801 Russian Federation), post-graduate student of Robotic Systems and Mechatronics Department, Bauman Moscow State Technical University (2-ya Baumanskaya ul. 5, Moscow, 105005 Russian Federation).

**Seliverstova E.V.** — engineer, Bauman Moscow State Technical University, Dmitrov Branch (Orevo, Moscow Region, 141801 Russian Federation), post-graduate student of Robotic Systems and Mechatronics Department, Bauman Moscow State Technical University (2-ya Baumanskaya ul. 5, Moscow, 105005 Russian Federation).

**Please cite this article in English as:**

Leskov A.G., Illarionov V.V., Kalevatykh I.A., Moroshkin S.D., Bazhinova K.V., Seliverstova E.V. Planning, Simulation and Experimental Research Into Typical Robotic Manipulator Operation. *Vestn. Mosk. Gos. Tekh. Univ. im. N.E. Baumana, Mashinostr.* [Herald of the Bauman Moscow State Tech. Univ., Mech. Eng.], 2016, no. 4, pp. 57–70. DOI: 10.18698/0236-3941-2016-4-57-70