

ОБЗОР АЛГОРИТМОВ АВТОНОМНОГО ЗАХВАТА, ОРИЕНТИРОВАННОГО НА ПРЕДСТОЯЩУЮ ЗАДАЧУ

А.А. Гульняшкин

gulalex181@yandex.ru

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация

Аннотация

В роботизированных системах при захвате объекта часто возникает необходимость ориентироваться на дальнейшие действия, которые планируется осуществлять с объектом захвата. В статье рассмотрена проблема автономного захвата, ориентированного на выполнение поставленной задачи, в частности сборку. Приведено описание существующих подходов к роботизированной сборке. Рассмотрен ключевой элемент роботизированной сборки — захват объекта — и требования, которые предъявляются к нему для успешного выполнения захвата, ориентированного на сборку. Дано обобщенное описание аналитических и эмпирических подходов к захвату объекта манипулирования, а также их преимуществ, недостатков и областей применения. Представлено текущее состояние проблемы автономного захвата, ориентированного на сборку, в частности, рассказано о существующих готовых библиотеках и фреймворках.

Ключевые слова

Манипуляционная робототехника, захват объекта, роботизированная сборка, автономность, задаче-ориентированный захват, библиотека Grasp Pose Detection, фреймворк MoveIt

Поступила в редакцию 24.06.2022
© МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2022

Введение. В современном мире все шире распространяются роботизированные технологии. Основное преимущество робототехнических манипуляционных систем заключается в возможности выполнения операций с объектами манипулирования (ОМ) при достаточном удалении человека от рабочей зоны. Особо актуальным это является при работе в экстремальных условиях, таких как подводное и космическое пространство, а также при работе с опасными для человека ОМ.

На данный момент роботизированные операции реализуются главным образом с помощью методов программного управления либо полуавтоматического управления при постоянном нахождении оператора в контуре управления роботом.

Однако такие способы имеют существенные недостатки. Применение программного управления возможно только в заранее известных условиях, что ограничивает область применения таких роботов. Главная проблема полуавтоматического управления — потеря управления при разрыве связи между робо-

том и пультом управления и увеличение сложности управления при наличии задержки сигнала. Эти обстоятельства могут привести к разрушению ОМ или его выпадению из захватного устройства манипулятора (ЗУМ).

Альтернативой роботам, управление которыми осуществляется человеком, являются автономные манипуляционные системы, оснащенные элементами искусственного интеллекта. К настоящему времени нет полностью автономных систем, способных выполнять операции с любыми по физическим свойствам ОМ. Задача автономизации решается поэтапно, включая в рассмотрение отдельные фазы операции.

Роботизированная сборка. Сборка вообще и особенно выполняемая манипуляционным роботом в автономном режиме — одна из актуальных тем современной робототехники.

Процесс сборки представляет собой физическое соединение нескольких частей с целью формирования нового подкомпонента или готового продукта. В робототехнике в качестве «задачи сборки» в основном подразумевается процесс физического сопряжения деталей (например, вставка, зацепление).

Сопряжение компонентов достигается с помощью стратегий поиска сборки, состоящих из нескольких параметризованных примитивов движения. Обзор ряда таких примитивов для типов сборки «штифт в отверстие», зацепление зубчатых колес и защелкивание представлен в обзоре [1].

Одна из центральных составляющих сборочной операции — захват ОМ посредством ЗУМ манипуляционного робота (МР). Захват ОМ заключается в его иммобилизации внутри ЗУМ. От того, каким образом осуществлен захват ОМ, зависит принципиальная возможность осуществления следующего за захватом соединения деталей при сборке, поскольку способ захвата оказывает прямое влияние на кинематику и динамику процессов, сопровождающих выполнение такой операции. Выбор способа захвата осуществляется на этапе планирования планировщиком захвата, входящим в состав системы управления.

Захват. Термином «захват» (*grasp*) принято определять процедуру, при которой происходит иммобилизация ОМ в ЗУМ. Объект манипулирования и ЗУМ, до этого механически не связанные между собой, образуют единый объект. Практически при захвате происходит соединение пальцев ЗУМ с точками на поверхности ОМ.

При работе в автономном режиме захвату предшествует процедура идентификации присоединяемого ОМ и либо определения места исходного расположения ОМ, либо определения позиций возможных захватов для ОМ. К настоящему времени процедуры идентификации и определения места расположения объектов или позиций захватов получили значительное развитие [2–4] и реализуются с использованием системы технического зрения (СТЗ) и типового программного обеспечения. Процедуре идентификации предшествует обучение МР [5]. В ходе обучения формируется база данных (БД) объектов [6].

Тема захвата ОМ с помощью МР изучается в течение длительного времени [7–11]. Захват ОМ, выполняемый в автономном режиме, — это процедура, которая начинается с планирования, т. е. определения точек на поверхности ОМ, в которых затем на физическом уровне устанавливается контакт между ОМ и пальцами ЗУМ. Главное требование к процедуре захвата — удерживание ОМ при последующих операциях с ним, т. е. устойчивость захвата.

Обычно захват планируется как обособленная процедура, выполняемая только посредством ЗУМ [7] или с помощью ЗУМ и исполнительного механизма (ИМ) МР как единой системы [11]. При этом параметры последующих фаз поставленной перед МР задачи, например сборки, не принимаются во внимание.

В то же время в случае обособленного рассмотрения захвата может оказаться, что в дальнейшем ОМ будет, например, невозможно присоединить к собираемой конструкции, поскольку либо ОМ не может быть перемещен в точку присоединения, либо ОМ не может быть ориентирован в пространстве должным образом в силу ограничений кинематики ИМ и ЗУМ.

Исключить подобную ситуацию можно, если изначально планировать захват ОМ не как обособленную процедуру, а с учетом последующего переноса ОМ в точку присоединения и его ориентации в этой точке требуемым образом, т. е. с учетом поставленной задачи [12]. Кроме того, захватывать нужно объекты разных форм и размеров, а также объекты, которые робот видит впервые.

С учетом всего сказанного выше можно определить три требования к захвату (рис. 1).

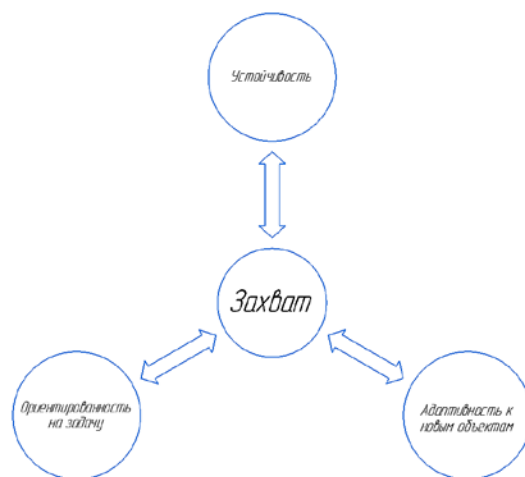


Рис. 1. Основные требования к захвату

Алгоритмы захвата. На протяжении последних десятилетий было проведено огромное количество исследований в области захвата МР объектов и манипулирования ими.

В общем случае планирование захвата МР заключается в рассмотрении множества различных вариантов конфигураций ЗУМ, которые позволяют выполнить захват объекта — кандидатов захвата, анализе свойств всех кандидатов захвата, определении их показателей качества, выборе варианта из набора кандидатов и формировании управляющего сигнала для выполнения захвата.

Для решения задачи захвата объекта существуют алгоритмы, основанные на аналитических и эмпирических подходах [13]. На рис. 2 приведена классификация существующих подходов захвата ОМ.

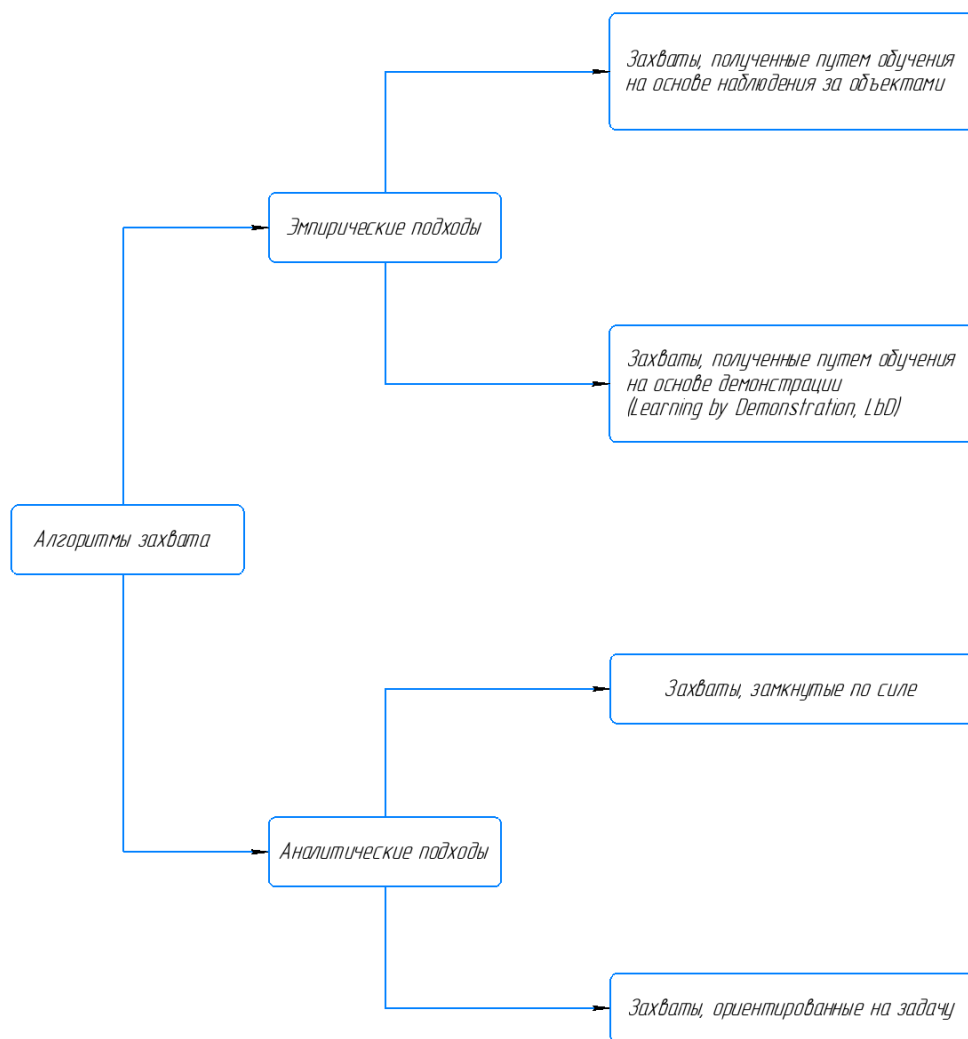


Рис. 2. Классификация существующих подходов захвата ОМ

Аналитические подходы определяют точки контакта на объекте и конфигурацию схвата, которые удовлетворяют предъявляемым требованиям, с помощью описания кинематики и динамики. Эти подходы можно разделить на те,

Обзор алгоритмов автономного захвата, ориентированного на предстоящую задачу

что синтезируют захваты, замкнутые по силе, а также на те, что синтезируют захваты, которые ориентируются на некоторую задачу, например сборку. Обобщенная схема синтеза необходимого захвата представлена на рис. 3.

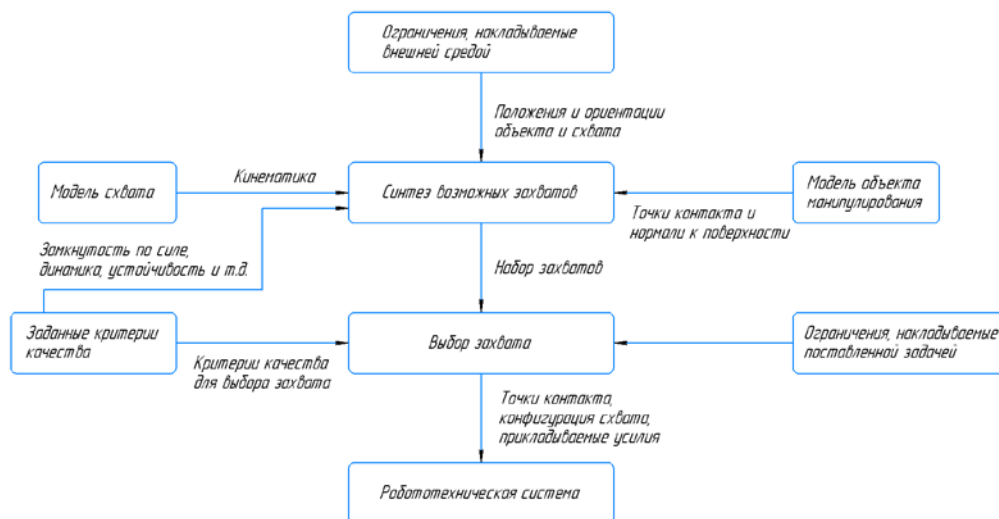


Рис. 3. Обобщенная схема синтеза захвата с помощью аналитического подхода

Аналитические подходы, которые ориентированы на выполнение задачи, в частности сборку, имеют сложности при моделировании задачи и формулировании критериев, позволяющих понять, насколько захват соответствует задаче, а также требуют больших вычислительных затрат, чтобы найти подходящий для задачи захват. В попытке обойти вышеприведенные препятствия были предложены различные эмпирические подходы.

Эмпирические подходы основаны на использовании классификации и обучения. Методы планирования, применяемые в этих подходах, заключаются в выборе из некоторой базы данных способа захвата. База данных при этом может быть сформирована на основе некоторых экспериментальных захватов, полученных методами компьютерного моделирования или методами обучения реальной манипуляционной системы. Обобщенная схема синтеза захвата с использованием эмпирического подхода представлена на рис. 4.

Эмпирические подходы, основанные на демонстрации человеком (Learning by Demostation, LbD), могут преодолеть проблему моделирования задачи с помощью обучения сразу с ее учетом. В таких подходах при заданных объекте и задаче учитель показывает, как именно должен быть осуществлен захват. Затем робот способен выполнить поставленную задачу с данным объектом уже самостоятельно. Однако в таких подходах нет полной автономности при столкновении с новым объектом или новой задачей.

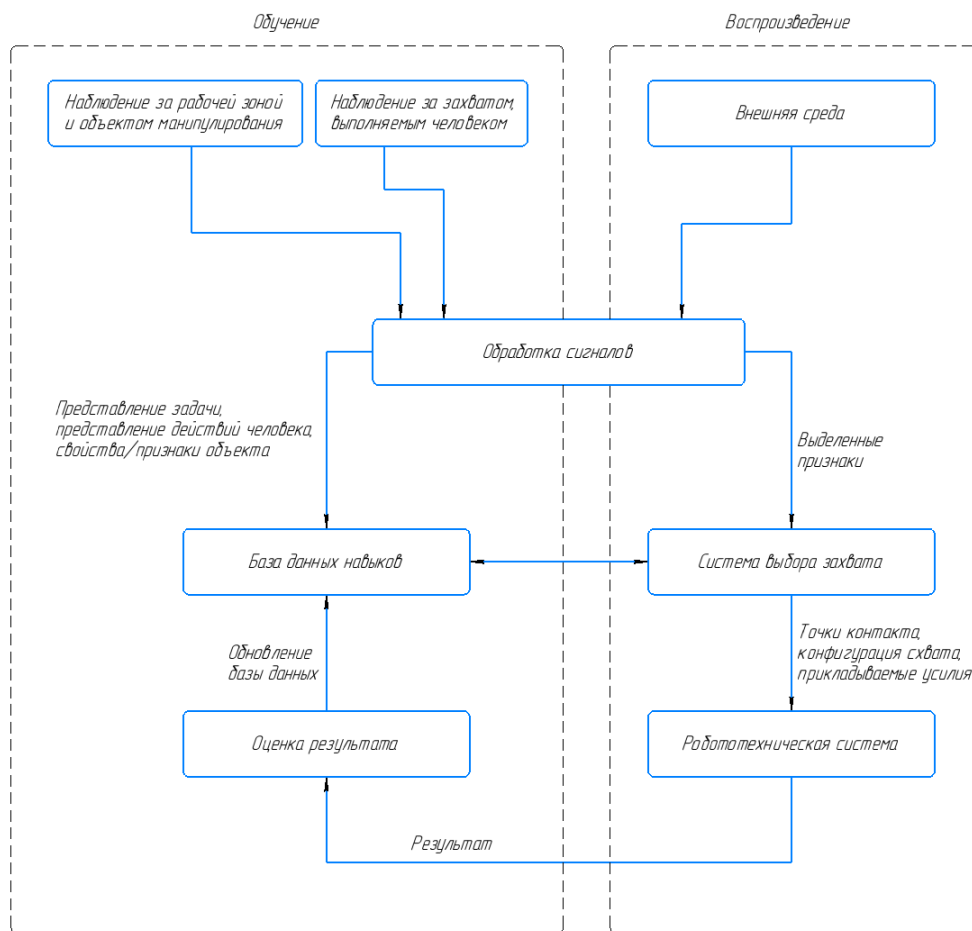


Рис. 4. Обобщенная схема синтеза захвата с помощью эмпирического подхода

Для решения этой проблемы вместо попыток повторить захват, осуществляемый человеком были разработаны алгоритмы, сосредоточенные на анализе самого объекта и на создании ассоциаций между ним и различными захватами. Такие подходы могут работать с новыми объектами, но при этом они могут генерировать несколько разных захватов, и в этом случае они не в состоянии автоматически выбрать наиболее подходящий для задачи захват. Этот выбор либо осуществляют вручную, либо используют критерий качества, относящийся к задаче.

Заключение. В данной работе рассмотрена проблема автономного захвата, ориентированного на выполнение задачи, в частности сборку.

На сегодняшний день все более актуальной становится роботизированная сборка в автономном режиме. Одна из главных составляющих сборки — захват ОМ посредством ЗУМ МР. Возможность последующей сборки напрямую зависит от вида захвата. Имеется три условия, которым должен удовлетворять за-

хват: устойчивость, адаптивность к новым объектам, а также ориентированность на задачу, в частности сборку.

Для получения устойчивого захвата объектов, которые робот видит впервые, уже существуют готовые решения. Например, существует библиотека Grasp Pose Detection [4], которая позволяет генерировать захваты для двупалого схвата, имея на входе трехмерное облако точек рабочей зоны. При этом библиотеке для работы не требуются CAD-модели объектов, она работает с объектами, которые видит впервые. Более того, данная библиотека интегрирована в виде плагина в фреймворк MoveIt! [14], который позиционируется как решение, готовое к практическому применению.

Что же касается захвата, ориентированного на сборку, то это остается актуальной задачей, решение которой не было доведено до состояния, готового для применения на практике.

Дальнейшая работа будет сосредоточена на разработке алгоритма захвата с учетом возможности последующей сборки.

Литература

- [1] Marvel J.A., Falco J. NISTIR 7901. Best practices and performance metrics using force control for robotic assembly. NIST, 2012. DOI: <http://dx.doi.org/10.6028/NIST.IR.7901>
- [2] Aldoma A., Tombari F., Rusu R. et al. OUR-CV FH – oriented, unique and repeatable clustered viewpoint feature histogram for object recognition and 6DOF pose estimation. In: *DAGM/OAGM*. Springer, 2012, pp. 113–122.
- [3] Silwal A., Davidson J.R., Karkee M. et al. Design, integration, and field evaluation of a robotic apple harvester. *J. Field Robot.*, 2017, vol. 34, no. 6, pp. 1140–1159. doi: <https://doi.org/10.1002/rob.21715>
- [4] ten Pas A., Gualtieri M., Saenko K. et al. Grasp pose detection in point clouds. *Int. J. Rob. Res.*, 2017, vol 36, no. 13-14, pp. 1455–1473. DOI: <https://doi.org/10.1177%2F0278364917735594>
- [5] El-Khoury S., Sahbani F. Handling objects by their handles. *IROS-2008 Workshop on Grasp and Task Learning by Imitation*, 2008. URL: <https://infoscience.epfl.ch/record/168926> (дата обращения: 15.05.2022).
- [6] Morales A., Asfour T., Azad P. et al. Integrated grasp planning and visual object localization for a humanoid robot with five-fingered hands. *IEEE/RSJ Int. Conf. on Intelligent Robots and Systems*, 2006, pp. 5663–5668. DOI: <https://doi.org/10.1109/IROS.2006.282367>
- [7] Bicchi A., Kumar V. Robotic grasping and contact: a review. *IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation*, 2000, pp. 348–353. DOI: <https://doi.org/10.1109/ROBOT.2000.844081>
- [8] Saxena A., Driemeyer J. Robotic grasping of novel objects using vision. *Int. J. Rob. Res.*, 2008, vol. 27, no. 2, pp. 157–173. DOI: <https://doi.org/10.1177%2F0278364907087172>
- [9] Maitin-Shepard J., Cusumano-Towner M., Lei J. et al. Cloth grasp point detection based on multiple-view geometric cues with application to robotic towel folding. *IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation*, 2010, pp. 2308–2315. DOI: <https://doi.org/10.1109/ROBOT.2010.5509439>

- [10] Miller A., Allen P. Graspit! A versatile simulator for robotic grasping. *Robot. Autom. Mag.*, 2004, vol. 11, no. 4, pp. 110–122. DOI: <https://doi.org/10.1109/MRA.2004.1371616>
- [11] Bazhinova K.V., Leskov A.G., Seliverstova E.V. Automatic grasping of objects by a manipulator equipped with a multifinger hand. *J. Comput. Syst. Sci. Int.* 2019, vol. 58, no. 2, pp. 317–327. DOI: <https://doi.org/10.1134/S1064230719020035>
- [12] Leskov A.G., Illarionov V.V. (Structure and control algorithms of manipulation robots operating autonomously. In: *MPoR 2020*. Springer, 2021. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-030-88458-1_10
- [13] Sahbani A., El-Khoury S., Bidaud P. An overview of 3D object grasp synthesis algorithms. *Rob. Auton. Syst.*, 2012, vol. 60, no. 3, pp. 326–336. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.robot.2011.07.016>
- [14] Документация MoveIt! *moveit.ros.org: веб-сайт*. URL: <https://moveit.ros.org/> (дата обращения: 15.04.2022).

Гульняшкин Александр Александрович — студент кафедры «Робототехнические системы и мехатроника», МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация.

Научный руководитель — Лесков Алексей Григорьевич, доктор технических наук, профессор кафедры «Робототехнические системы и мехатроника», МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация.

Ссылку на эту статью просим оформлять следующим образом:

Гульняшкин А.А. Обзор алгоритмов автономного захвата, ориентированного на предстоящую задачу. *Политехнический молодежный журнал*, 2022, № 07(72). <http://dx.doi.org/10.18698/2541-8009-2022-07-809>

OVERVIEW OF TASK-ORIENTED AUTONOMOUS GRASPING ALGORITHMS

A.A. Gulnyashkin

gulalex181@yandex.ru

Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation

Abstract

In robotic systems, grasping an object often requires orientation towards further actions that are planned to be carried out with the grasped object. The paper considers the problem of an autonomous grasping oriented towards the task at hand, in particular assembly. A description of existing approaches to robotic assembly is given. The key element of robotic assembly, the object grasping, and the requirements that are imposed on it for the successful performance of an assembly-oriented grasping are considered. Analytical and empirical approaches to grasping the object of manipulation, as well as their advantages, disadvantages and applications, are summarized. The current state of the problem of autonomous assembly-oriented grasping is presented, in particular existing libraries and frameworks are described.

Keywords

Manipulative robotics, object grasping, robotic assembly, autonomy, task-oriented grasping, Grasp Pose Detection library, MoveIt framework

Received 24.06.2022

© Bauman Moscow State Technical University, 2022

References

- [1] Marvel J.A., Falco J. NISTIR 7901. Best practices and performance metrics using force control for robotic assembly. NIST, 2012. DOI: <http://dx.doi.org/10.6028/NIST.IR.7901>
- [2] Aldoma A., Tombari F., Rusu R. et al. OUR-CVFH – oriented, unique and repeatable clustered viewpoint feature histogram for object recognition and 6DOF pose estimation. In: *DAGM/OAGM*. Springer, 2012, pp. 113–122.
- [3] Silwal A., Davidson J.R., Karkee M. et al. Design, integration, and field evaluation of a robotic apple harvester. *J. Field Robot.*, 2017, vol. 34, no. 6, pp. 1140–1159. doi: <https://doi.org/10.1002/rob.21715>
- [4] ten Pas A., Gualtieri M., Saenko K. et al. Grasp pose detection in point clouds. *Int. J. Rob. Res.*, 2017, vol 36, no. 13-14, pp. 1455–1473. DOI: <https://doi.org/10.1177%2F0278364917735594>
- [5] El-Khoury S., Sahbani F. Handling objects by their handles. *IROS-2008 Workshop on Grasp and Task Learning by Imitation*, 2008. URL: <https://infoscience.epfl.ch/record/168926> (accessed: 15.05.2022).
- [6] Morales A., Asfour T., Azad P. et al. Integrated grasp planning and visual object localization for a humanoid robot with five-fingered hands. *IEEE/RSJ Int. Conf. on Intelligent Robots and Systems*, 2006, pp. 5663–5668. DOI: <https://doi.org/10.1109/IROS.2006.282367>

-
- [7] Bicchi A., Kumar V. Robotic grasping and contact: a review. *IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation*, 2000, pp. 348–353. DOI: <https://doi.org/10.1109/ROBOT.2000.844081>
- [8] Saxena A., Driemeyer J. Robotic grasping of novel objects using vision. *Int. J. Rob. Res.*, 2008, vol. 27, no. 2, pp. 157–173. DOI: <https://doi.org/10.1177%2F0278364907087172>
- [9] Maitin-Shepard J., Cusumano-Towner M., Lei J. et al. Cloth grasp point detection based on multiple-view geometric cues with application to robotic towel folding. *IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation*, 2010, pp. 2308–2315. DOI: <https://doi.org/10.1109/ROBOT.2010.5509439>
- [10] Miller A., Allen P. Graspit! A versatile simulator for robotic grasping. *Robot. Autom. Mag.*, 2004, vol. 11, no. 4, pp. 110–122. DOI: <https://doi.org/10.1109/MRA.2004.1371616>
- [11] Bazhinova K.V., Leskov A.G., Seliverstova E.V. Automatic grasping of objects by a manipulator equipped with a multifinger hand. *J. Comput. Syst. Sci. Int.* 2019, vol. 58, no. 2, pp. 317–327. DOI: <https://doi.org/10.1134/S1064230719020035>
- [12] Leskov A.G., Illarionov V.V. (Structure and control algorithms of manipulation robots operating autonomously. In: *MPoR 2020*. Springer, 2021. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-030-88458-1_10
- [13] Sahbani A., El-Khoury S., Bidaud P. An overview of 3D object grasp synthesis algorithms. *Rob. Auton. Syst.*, 2012, vol. 60, no. 3, pp. 326–336. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.robot.2011.07.016>
- [14] MoveIt! Documentation. *moveit.ros.org: website*. URL: <https://moveit.ros.org/> (accessed: 15.04.2022).

Gulnyashkin A.A. — Student, Department of Robotic Systems and Mechatronics, Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation.

Scientific advisor — Leskov A.G., Dr. Sc. (Eng.), Professor, Department of Robotic Systems and Mechatronics, Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation.

Please cite this article in English as:

Gulnyashkin A.A. Overview of task-oriented autonomous grasping algorithms. *Politekhnikheskiy molodezhnyy zhurnal* [Politechnical student journal], 2022, no. 07(72). <http://dx.doi.org/10.18698/2541-8009-2022-07-809.html> (in Russ.).