

A. Leskov, K. Bazhinova

PLANNING AND EVALUATION SYSTEM FOR GRASPS WITH MANIPULATION ROBOTS

*Dmitrov branch of BMSTU, Dmitrov
c8.df.mgtu@gmail.com*

Abstract

A planning system for automatic grasping of objects with manipulation robots is presented. The problem of grasp evaluation is considered and experience of applying normalized quality metrics is analyzed. The Bayesian networks are proposed to increase the efficiency of existing planning methods.

Keywords: automatic object grasping, grasp planning, grasp quality, Bayesian network.

А.Г. Лесков, К.В. Бажинова

СИСТЕМА ПЛАНИРОВАНИЯ И ОЦЕНКИ ЗАХВАТА ОБЪЕКТОВ МАНИПУЛЯЦИОННЫМ РОБОТОМ

*ДФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Дмитров
c8.df.mgtu@gmail.com*

Аннотация

Предложена система планирования автоматического захвата объектов манипуляционным роботом. Рассмотрен вопрос оценки захвата и проанализирован опыт применения взвешенных нормализованных значений показателей качества. Предложено использование байесовских сетей доверия для увеличения эффективности существующих методов планирования захвата.

Ключевые слова: автоматический захват объектов, планирование захвата, качество захвата, байесовская сеть.

Введение

Захват объектов манипулирования в настоящее время является одной из основных операций, выполняемых манипуляционными роботами. Несмотря на значительные достижения в разработке различных методов планирования автоматической операции захвата [1], гарантировать надежное выполнение захвата при работе с широким перечнем объектов, обладающих различными формами, свойствами материала и поверхности, не всегда представляется возможным. Поэтому дальнейшее повышение эффективности синтеза автоматического захвата объектов манипуляционными роботами является актуальной задачей.

Планирование автоматического захвата объектов манипуляционными роботами

Важный вклад в повышение надежности захвата и манипулирования объектами вносят научные исследования способов оценки захвата. Наиболее широко применяется моделирование процесса захвата в виртуальной среде с последующим анализом геометрии контакта между поверхностью объекта манипулирования и поверхностями звеньев захватного устройства манипулятора [2], анализ контактных сил и пространств возможных воздействий на объект [3], накладывание ограничений на пространство конфигураций манипулятора [4].

Предлагаемая система планирования захвата [5] представлена на рисунке 1 и включает в себя работу системы технического зрения, графическое моделирование виртуальной сцены, аппроксимацию геометрии контакта объекта и звеньев захватного устройства манипулятора, генерацию гипотез захвата и их верификацию на основе замкнутости захвата по силе, а также оценку гипотез захвата на основе показателей качества.

Система реализована на функционально-моделирующем стенде Дмитровского филиала МГТУ им. Н.Э. Баумана. Программное обеспечение стенда позволяет решать задачи автоматического распознавания объектов манипулирования и определения их расположения относительно манипуляционных роботов на основе информации системы технического зрения. Геометрическая модель объекта используется для формирования базы данных захватов, которые генерируются, верифицируются по признаку замкнутости по силе и оцениваются в соответствии с выбранным критерием качества. При этом определяются координаты захватного устройства манипулятора, необходимые для выполнения захвата, а также положения каждого из пальцев схвата.



Рисунок 1 – Структура системы планирования и оценки захвата

Оценка качества захвата

Результатом работы системы оценки качества захвата должен стать ранжированный набор способов захвата объекта, которые могут быть успешно использованы при выполнении операции манипуляционным роботом. Один из способов, позволяющих снизить время планирования и оценки захватной конфигурации, заключается в одновременном применении различных критериев, указывающих на свойства захвата. В качестве глобального количественного показателя качества захвата применяются взвешенные нормализованные оценки ряда факторов [6]:

$$K_{\Gamma} = \alpha K_{\Gamma} + \beta K_{3V} + \gamma K_{\Delta},$$

где K_{Γ} – глобальный показатель качества,

K_{Γ} , K_{3V} , K_{Δ} – критерии качества, связанные с геометрическим положением точек контакта поверхностей объекта манипулирования и звеньев схвата, конфигурацией захватного устройства, параметрами выполняемой операции, отличием моделируемого захвата от выполненного на реальном устройстве,

α, β, γ – весовые коэффициенты критериев качества.

– Критерии качества K_{Γ} , связанные с положением точек контакта, учитывают свойства объекта, такие как форма, размер, вес, коэффициент трения, а также свойства захвата замкнутости по форме и силе. Принято различать критерии, учитывающие только алгебраические свойства матрицы захвата G , связывающей контактные силы и воздействие, которое захватное устройство может оказать на объект (минимальное сингулярное значение матрицы G , объем эллипсоида в пространстве сил и моментов, действующих на объект [7], индекс изотропности захвата [6]), критерии, учитывающие геометрические характеристики захвата (форма и размер фигуры, построенной на точках контакта [8], расстояние от ее центра до центра масс объекта [9], минимальный размер независимой контактной площадки [10]), и критерии, связанные с предельными усилиями, которые могут развить пальцы захватного устройства (величина наибольшего возмущающего воздействия, которое может выдержать захват [3], сумма нормальных компонент контактных сил [11]).

– Критерии качества K_{3V} , связанные с конфигурацией захватного устройства, учитывают матрицу-якобиан схвата и включают в себя показатели, характеризующие возможности манипулирования объектом [4].

– Группа критериев качества K_{Δ} вводится дополнительно при необходимости учесть характер выполняемой операции, статистику выполнения смоделированного захвата на реальном устройстве [12].

Задачу выбора весовых коэффициентов в представленном уравнении принято решать различными способами, включая расстановку равных весов, расчет на основе анализа корреляции критериев [12] и полное исключение некоторых групп критериев. Однако игнорирование реальной геометрии кисти может привести к планированию конфигурации, недоступной для реального захватного устройства. В то же время оптимальная конфигурация кисти может генерировать захват, не способный выдерживать даже малые возмущающие воздействия. В случае, когда выбор производится эмпирически после проведения серии экспериментов, возникает необходимость постоянной переоценки удельных весов компонентов глобального показателя качества, что затруднительно в реальных условиях работы робототехнического комплекса.

Учитывая приведенные выше сложности планирования и оценки захвата, в качестве одного из способов повышения эффективности существующих методов предлагается использовать вероятностную модель на основе байесовских сетей доверия. Переменным в подобных графических вероятностных моделях не требуется одинакового представления, поэтому сети доверия могут содержать как набор характеристик захвата, получаемых во время моделирования, так и результаты выполнения захвата, а также отражать зависимости между ними.

Информация о свойствах объекта (3D модель, размер, свойства поверхности, жесткость, упругость), свойствах захвата (конфигурация захватного устройства, вектор подхода захватного устройства к объекту манипулирования) накладываемых оператором ограничений, можно представить как множество переменных

$$X = \{O, G, C\},$$

где O – множество свойств объекта, $O = \{O_1, \dots, O_k\}$,

G – множество свойств захвата, $G = \{G_1, \dots, G_l\}$,

C – множество накладываемых ограничений, $C = \{C_1, \dots, C_m\}$.

Для моделирования зависимостей между элементами множества $X = \{X_1, \dots, X_n\}$ строится граф S , каждая вершина которого соответствует одной случайной переменной, а дуги графа кодируют отношения условной независимости между переменными.

Полное совместное распределение значений в вершинах можно записать в виде декомпозиции локальных распределений:

$$P(x) = P(x | \theta_S, S) = \prod_{i=1}^n P(x_i | pa_i; \theta_i, S),$$

где x_i – значение X_i ,

pa_i – прямые родители переменной X_i в графе,

$\theta_S = (\theta_1, \dots, \theta_n)$ – вектор условных распределений каждой переменной X_i .

На рисунке 2 представлен вид байесовской сети доверия для планирования и оценки захвата.

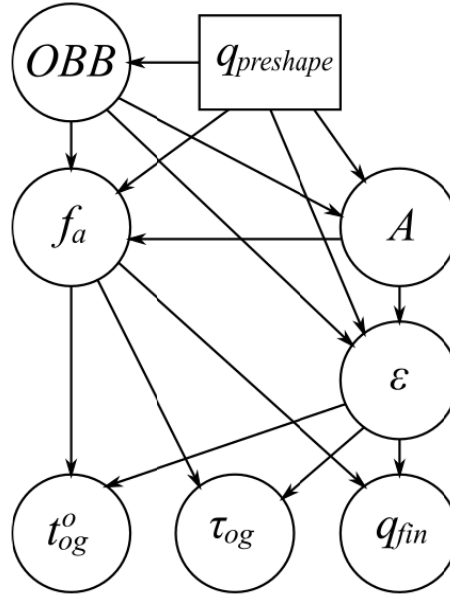


Рисунок 2 – Байесовская сеть доверия для планирования и оценки захвата

На рисунке 2 введены обозначения: OBB – габариты ограничивающего прямоугольника, f_a – сумма нормальных компонент контактных сил, ε – радиус максимальной гиперсферы, содержащейся в пространстве воздействий на объект, A – площадь многоугольника захвата, t^o_{og} – положение захватного устройства относительно объекта, τ_{og} – ориентация захватного устройства относительно объекта, $q_{preshape}$ – значение углов шарниров захватного устройства в предзахватной конфигурации, q_{fin} – значение углов шарниров захватного устройства в финальной конфигурации.

Структура сети эмпирически установлена на основе нашего представления о взаимосвязях между компонентами множеств свойств O , G и C . Обучение сети доверия включает определение характера зависимости переменной X_i от других случайных переменных $X_{i \neq j}$ множества X по набору экспериментальных данных $D = \{o, g, c\}$ и гипотез оператора. Обучение проводится на основе существующих эффективных методов, которые используются для вычислений и обучения байесовских сетей [13]. Обученная сеть позволяет вычислить условное распределение одной или нескольких переменных X_i при известных значениях других переменных $X_{i \neq j}$.

Заключение

Предложенные методы являются гибким инструментом для оценки качества захватов широкого круга объектов манипулирования, позволяют учитывать как набор параметров операции, полученных во время моделирования захвата, так и результаты выполнения захвата, и отражать зависимости между ними. Дальнейшее развитие системы планирования и оценки захвата предполагает увеличение эффективности существующих методов с помощью более широкого применения алгоритмов машинного обучения.

1. Sahbani A., El-Khoury S., Bidaud P. An overview of 3D object grasp synthesis algorithms. Robotics and Autonomous Systems, Paris, France, 2011.
2. OpenGRASP – A Simulation Toolkit for Grasping and Dexterous Manipulation. URL <http://opengrasp.sourceforge.net>.
3. Ferrari C., Canny J. Planning optimal grasps. In Proc. IEEE International Conference on Robotics and Automation, 1992, volume 3, pp. 2290–2295.
4. Yoshikawa T. Manipulability of robotic mechanisms. Int. J. Robotics Research, 1985, 4(2), pp. 3–9.
5. Лесков А.Г., Илларионов В.В., Калеватых И.А., Морошкин С.Д., Бажинова К.В., Феоктистова Е.В. Аппаратно-программный комплекс для решения задач автоматического захвата объекта манипуляторами // Инженерный журнал: наука и инновации, 2015, вып. 1. URL: <http://engjournal.ru/catalog/pribor/robot/1361.html>
6. Kim B., Oh S., Yi B., Suh I.H. Optimal grasping based on non-dimensionalized performance indices. In Proc. IEEE IROS 2001, pp. 949–956.
7. Li Z., Sastry S. Task oriented optimal grasping by multifingered robot hands. In Proc. IEEE International Conference on Robotics and Automation, 1987, volume 4, pp. 389–394.
8. B. Mirtich and J. Canny. Easily computable optimum grasps in 2D and 3D. In Proc. IEEE International Conference on Robotics and Automation, 1994, pp. 739–747.
9. Chinellato E., Morales A., Fisher R.B., Pobil A.P. Visual quality measures for characterizing planar robot grasps. IEEE Trans. Systems, Man and Cybernetics - Part C: Applications and Reviews, 2005, 35(1), pp. 30–41.
10. Ponce J., Faverjon B. On computing three-finger force-closure grasps of polygonal objects. IEEE Trans. Robotics and Automation, 1995, 11(6), pp. 868–881.
11. Liu G., Xu J., Wang X., Li Z. On quality functions for grasp synthesis, fixture planning and coordinated manipulation. IEEE Trans. Automation Science and Engineering, 2004, 1(2), pp. 146–162.
12. Chinellato E. Robust Strategies for Selecting Vision-Based Planar Grasps of Unknown Objects with a Three-Finger Hand. Master of Science Thesis. School of Artificial Intelligence, Division of Informatics, University of Edinburgh, 2002.
13. D. Heckerman. A tutorial on learning with bayesian networks. Technical report, Microsoft Research, 1996.