



УДК 004.896:535.8

А.В. Нгуен, Б.Б. Михайлов

СПОСОБ РАСПОЗНАВАНИЯ МНОГОГРАННЫХ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ ОБЪЕКТОВ

A.V. Nguyen, B.B. Mikhailov

THE METHOD OF MULTIFACETED SPATIAL OBJECTS RECOGNIZING

Рассмотрен вариант описания трехмерных объектов для робототехнических задач. Предложен способ распознавания многогранных пространственных объектов и выполнена оценка его работоспособности на реальных сценах.

СТЕРЕОЗРЕНИЕ. ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗРЕНИЕ. МОБИЛЬНЫЙ РОБОТ.

The paper presents the way of three-dimensional objects description for robotics tasks. The method of multifaceted spatial objects recognizing is proposed, and evaluation of its performance on real scenes is completed.

STEREOVISION. COMPUTER VISION. MOBILE ROBOT.

В настоящее время актуальна проблема создания интеллектуальных роботов. Поскольку роботы должны работать в реальных условиях, возникает задача распознавания объемных объектов. В данной статье рассматривается использование 3D системы технического зрения для распознавания многогранных объектов. На выходе системы зрения формируется трехмерный массив координат точек рабочего пространства. Описываются методы обработки 3D массива координат точек для распознавания пространственных объектов.

Способ распознавания. Способ распознавания зависит от конкретной задачи, типа данных и требований к результатам распознавания. В настоящей статье рассматриваются только многогранные объекты, имеющие свои особенные точки – точки соединения нескольких плоскостей, которые инвариантны к расположению объектов в пространстве. Рассматриваемый ниже метод использует процедуру совмещения характерных точек реальных объектов с их пространственными моделями. На рис. 1 показаны основные этапы распознавания многогранных трехмерных объектов.

Методы обработки 3D массива координат. С помощью 3D телекамеры получаем массив точек рабочей сцены со своими координатами и число треугольников, которые составляются из трех соседних точек [1, 5, 7]. После этого легко можно определить нормальные векторы каждого треугольника. Например, на рис. 2 треугольник f_i состоит из трех точек V_i, V_j, V_k и имеет нормальный вектор n_i .

Используя эти данные, составляем для каждого треугольника уравнение плоскости, которое имеет вид

$$Ax + By + Cz + D = 0 \quad (1)$$

или в векторной форме

$$(r, n) + D = 0,$$

где r – радиус-вектор точки (x, y, z) ; $n = (A, B, C)$ – вектор, перпендикулярный к плоскости треугольника.

В процессе фильтрации исходных данных программа считает площадь для каждой отдельной области изображения и сравнивает ее значение с заданным. Если площадь полученной области меньше заданного значения, программа исключает ее из дальнейшего анализа. В результате процедуры остаются только те точки, которые



Рис. 1. Этапы распознавания многогранных трехмерных объектов

расположены на плоскостях, ограничивающих объекты сцены.

Процесс сегментации и методы поиска характерных точек. Используя параметры треугольников (координаты вершин, площадь и значение нормали), можно выполнить сегментацию изображения. Ниже рассмотрены три способа решения этой задачи [2, 8, 9].

1. Использование направляющих косинусов. При этом подходе мы разделяем все треугольники на несколько классов путем анализа значения углов наклона нормальных векторов. В результате использования данного подхода формируется несколько

массивов точек сегментов. Причем каждый сегмент состоит из нескольких независимых областей, имеющих одинаковую ориентацию в рабочем пространстве.

2. Анализ параллельности треугольников. При этом походе анализируется расположение плоскостей треугольников исходного изображения. Все треугольники, имеющие одинаковую ориентацию в рабочем пространстве, относятся к одному классу. В результате получаем набор сегментов. При этом каждый сегмент состоит из нескольких независимых областей, имеющих одинаковую ориентацию в рабочем пространстве.

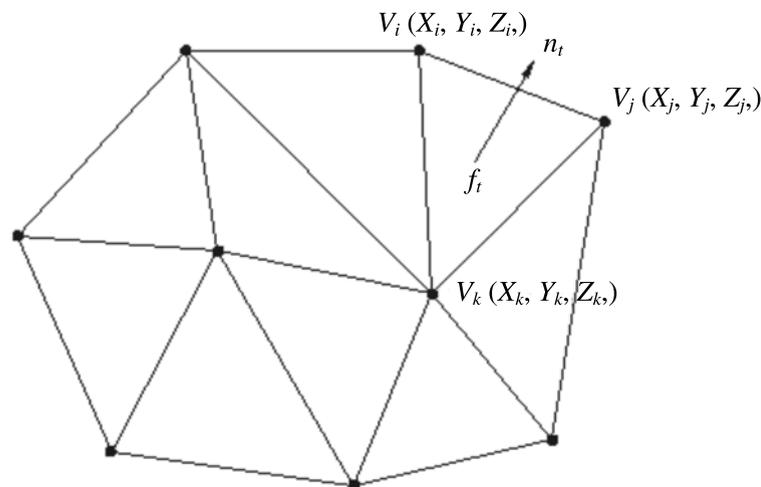


Рис. 2. Пространственный объект, ограниченный плоскостями

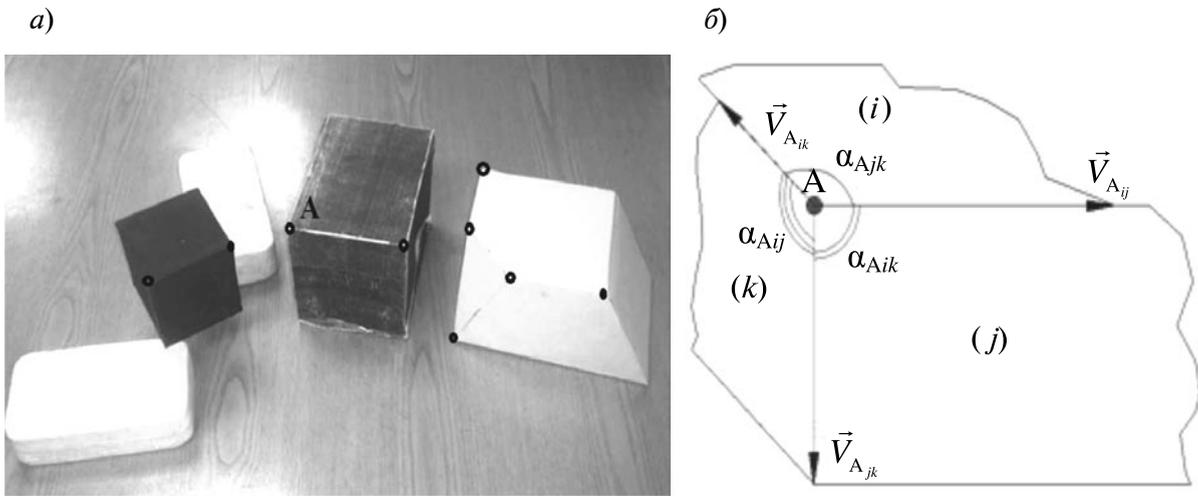


Рис. 3. Определение координат точки А:
а – реальные объекты; б – параметры точки А

3. Последовательный анализ соседних треугольников. В этом способе последовательно проверяются значения углов наклона между нормальными соседних треугольников. Если ошибка между углами наклона меньше заданного порога, то эти треугольники собираются в одном массиве. В результате каждый полученный сегмент состоит из точек только одной независимой области изображения.

Цель процесса сегментации – выделить на изображении локальные однородные области. Поскольку на сцене расположены только многогранные объекты, то можно считать, что каждый сегмент является плоскостью одного объекта.

Метод выделения характеристических точек объектов. В данном случае мы считаем, что особенной точкой является точка пересечения трех плоскостей (трех сегментов). Для каждого сегмента запишем уравнение плоскости, используя средние значения коэффициентов A_m, B_m, C_m, D_m . Например, для сегмента (i), в котором n треугольников, можно составить свое уравнение плоскости, используя выражение (1) в виде

$$A_{im}x + B_{im}y + C_{im}z + D_{im} = 0,$$

где $A_{im} = \frac{\sum_{i=1}^n A_{ij}}{n}; B_{im} = \frac{\sum_{i=1}^n B_{ij}}{n}; C_{im} = \frac{\sum_{i=1}^n C_{ij}}{n};$

$$D_{im} = \frac{\sum_{i=1}^n D_{ij}}{n}.$$

На рис. 3 а показано несколько разных объектов с их характерными точками, обозначенными черными кружками. Например, рассмотрим конкретную точку А – точку пересечения трех плоскостей (сегментов i, j, k), как показано на рис. 3 б. Координаты точки А можно найти, решив систему уравнений

$$\begin{cases} A_{im}x + B_{im}y + C_{im}z + D_{im} = 0 \\ A_{jm}x + B_{jm}y + C_{jm}z + D_{jm} = 0 \\ A_{km}x + B_{km}y + C_{km}z + D_{km} = 0 \end{cases} \quad (2)$$

В результате решения системы уравнений (2) определяем параметры характерной точки А [3, 4, 10]:

векторы $\vec{V}_{A_{jk}}, \vec{V}_{A_{ij}}, \vec{V}_{A_{ik}}$, совпадающие с линиями пересечения двух плоскостей (i, k), (i, j) и (j, k);

углы $\alpha_{A_{jk}}, \alpha_{A_{ik}}, \alpha_{A_{ij}}$ между двумя векторами $(\vec{V}_{A_{ik}}, \vec{V}_{A_{ij}}), (\vec{V}_{A_{ij}}, \vec{V}_{A_{jk}})$ и $(\vec{V}_{A_{jk}}, \vec{V}_{A_{ik}})$.

Эти параметры используются для определения конфигурации характерных точек в пространстве и вида связи между ними.

Определение пространственного расположения характерных точек. Для определения геометрического расположения и связей характерных точек рассмотрим пример мо-

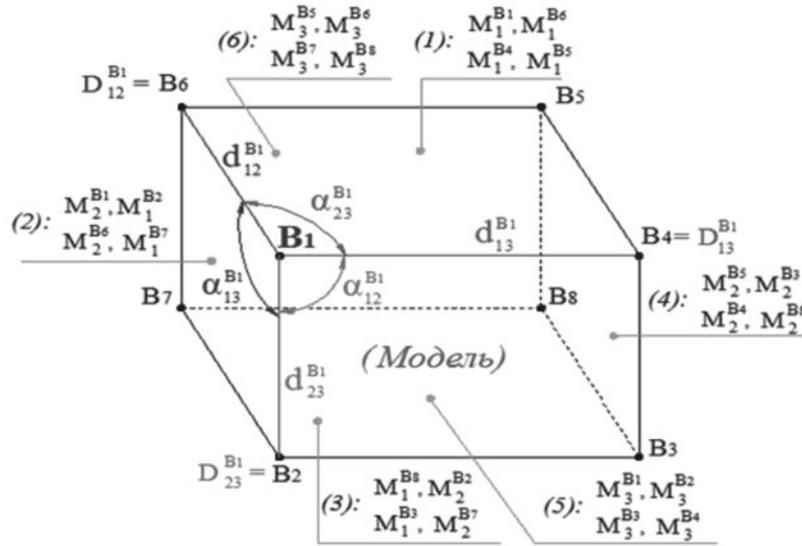


Рис. 4. Модель с характерными точками

дели, показанной на рис. 4.

Модель состоит из шести граней и восьми точек с параметрами, инвариантными к пространственному положению модели. Например, параметры точки V_1 :

- три грани: $M_1^{B1}; M_2^{B1}; M_3^{B1}$, на пересечении которых расположена точка V_1 ;
- три линии (ребра) пересечения двух плоскостей: d_{12}^{B1} – линия пересечения M_1^{B1} и M_2^{B1} ; d_{23}^{B1} – линия пересечения M_2^{B1} и M_3^{B1} ; d_{13}^{B1} – линия пересечения M_1^{B1} и M_3^{B1} ;
- точка V_1 соединяется с тремя точками $V_6(D_{12}^{B1})$ по линии d_{12}^{B1} , с точкой $V_2(D_{23}^{B1})$ по линии d_{23}^{B1} , с точкой $V_4(D_{13}^{B1})$ по линии d_{13}^{B1} ;
- три угла: α_{12}^{B1} – угол между линиями d_{12}^{B1} и d_{23}^{B1} , α_{23}^{B1} – угол между линиями d_{23}^{B1} и d_{13}^{B1} , α_{13}^{B1} – угол между линиями d_{12}^{B1} и d_{13}^{B1} .

Сформулируем параметры точки V_1 в виде четырех групп (углов, линий, точек и граней), показанных на рис. 5.

Для характерной точки A реального объекта можно аналогично определить свои параметры, как для точки V_1 модели, добавив три значения координат в пространстве сцены, как показано в таблице.

Процедура сравнения характерных точек реальных объектов с их моделями. Рассмотрим процедуру сравнения на примере двух точек A и V , расположенных на объекте и его модели, соответственно. Сначала проверяем условие совпадения углов (α_{12} , α_{23} , α_{13}) и условие ограничения длин ребер (d_{12} , d_{23} , d_{13}). Если условия выполняются, то проверяем соответствие точки A (на объекте) точке V (на модели) [6, 8]. Для этого проанализируем шесть вариантов, приведенных ниже:

- 1) $(\alpha_{12}^A = \alpha_{12}^B) \& (\alpha_{23}^A = \alpha_{23}^B) \& (\alpha_{13}^A = \alpha_{13}^B)$;
- 2) $(\alpha_{12}^A = \alpha_{12}^B) \& (\alpha_{23}^A = \alpha_{13}^B) \& (\alpha_{13}^A = \alpha_{23}^B)$;

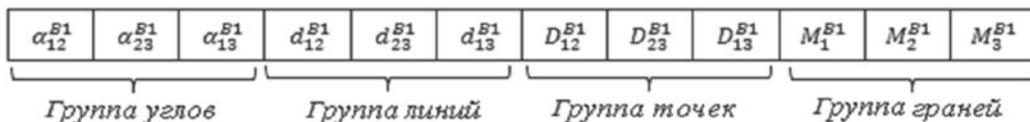


Рис. 5. Параметры точки V_1

Параметры точки A

X_A	Y_A	Z_A	α_{12}^A	α_{23}^A	α_{13}^A	d_{12}^A	d_{23}^A	d_{13}^A	D_{12}^A	D_{23}^A	D_{13}^A	M_1^A	M_2^A	M_3^A
-------	-------	-------	-----------------	-----------------	-----------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	---------	---------	---------

- 3) $(\alpha_{12}^A = \alpha_{23}^B) \& (\alpha_{23}^A = \alpha_{12}^B) \& (\alpha_{13}^A = \alpha_{12}^B)$;
- 4) $(\alpha_{12}^A = \alpha_{23}^B) \& (\alpha_{23}^A = \alpha_{12}^B) \& (\alpha_{13}^A = \alpha_{13}^B)$;
- 5) $(\alpha_{12}^A = \alpha_{13}^B) \& (\alpha_{23}^A = \alpha_{12}^B) \& (\alpha_{13}^A = \alpha_{23}^B)$;
- 6) $(\alpha_{12}^A = \alpha_{13}^B) \& (\alpha_{23}^A = \alpha_{23}^B) \& (\alpha_{13}^A = \alpha_{12}^B)$.

Далее рассмотрим другие характерные точки объекта, соединенные ребрами с точкой А, и последовательно сравним их с такими же точками на модели. Если конфигурация точек совпадет, то перейдем к анализу следующей характерной точки на объекте. По результатам анализа делаем вывод о степени совпадения реального объекта и его модели.

Результаты экспериментальных исследований. Для экспериментальной проверки предложенного алгоритма на мобильный робот была установлена 3D система технического зрения и написана программа обработки визуальной информации. Результаты показали, что система позволяет точно распознавать многогранные объекты и может использоваться в системе управления мобильного робота.

На рис. 6 показана последовательность анализа и распознавания куба с восемью вершинами (характерных точек). Реальные изображения, полученные от 3D камеры, приведены на рис. 6 а. Результаты процедуры сегментации изображены на рис. 6 б. Далее показано выделение восьми харак-

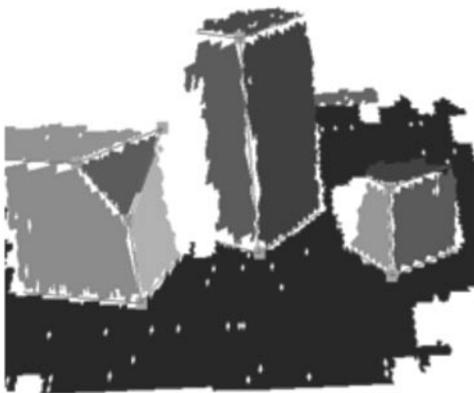
а)



б)



в)



г)

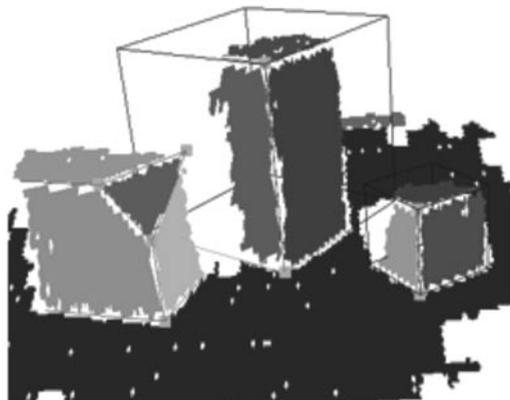


Рис. 6. Последовательность анализа 3D изображения:
 а – исходное изображение; б – результат сегментации; в – характерные точки; г – результат распознавания

терных точек (рис. 6 в), а на рис. 6 г видны результаты сравнения характерных точек реального объекта с точками модели. Как видно из рисунка, программа успешно распознала два прямоугольных объекта: куб и параллелепипед.

Все результаты распознавания заносятся в выходной файл следующего вида:

Results of the recognition process

number of answers: 2

Answer 1

Answer rating (%) = 25 %

Answer scale A/B = 2.24376

Point A = 1

Coordinate A 24.3376 ; -225.019 ; -1307.88

Point B = 1

Type of match points A and B= 3

Answer 2

Answer rating (%) = 25 %

Answer scale A/B = 0.907068

Point A = 3

Coordinate A 134.445 ; -240.276 ; -1248.22

Point B = 1

Type of match points A and B= 3

Предложен алгоритм описания пространственных объектов, которые ограничены плоскостями.

Изучен алгоритм распознавания 3D объектов с использованием характерных точек.

Исследованы процедуры сравнения изображения реальных объектов с их моделями.

Написана программа распознавания и приведены результаты ее испытаний с реальными объектами.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Володин, Ю.С.** Калибровка системы трехмерного зрения со структурной подсветкой при помощи плоских объектов [Текст] / Ю.С. Володин, А.В. Орлов, Б.Б. Михайлов // Труды Междунар. конф. с элементами науч. школы для молодежи. – СПб.: Политехника-сервис, 2010. – С. 314–322.

2. **Хрущ, А.В.** Алгоритм распознавания препятствий для системы трехмерного технического зрения мобильного робота [Текст] / А.В. Хрущ // Труды VIII Всерос. науч.-практич. конф. – СПб., 2005. – С. 257–262.

3. **Канатиков, А.Н.** Аналитическая геометрия: Учебник для вузов [Текст] / А.Н. Канатиков А.П. Крищенко. – 3-е изд.; Под ред. В.С. Зарубина, А.П. Крищенко. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2002. – 388 с.

4. **Gonzales, Antonio.** Алгоритм выбора эталонов для навигации мобильных роботов с помощью системы технического зрения [Текст] / Antonio Gonzales, Б.Б. Михайлов // Труды Междунар. конф. с элементами науч. школы для молодежи. – СПб.: Политехника-сервис, 2010. – С. 241–246.

5. **Гуров, А.Б.** Программный комплекс системы технического зрения мобильного робота [Текст] / А.Б. Гуров, Б.Б. Михайлов // Тру-

ды XXI Междунар. науч.-техн. конф. – СПб.: Политехника-сервис, 2010. – С. 479–487.

6. **Володин, Ю.С.** Использование телевизионной системы объемного зрения для обнаружения препятствий [Текст] / Ю.С. Володин, Б.Б. Михайлов // Матер. Междунар. конф. с элементами науч. школы для молодежи. – СПб.: Политехника-сервис, 2009. – С. 179–181.

7. **Оппенгейм, А.** Цифровая обработка сигналов [Текст] / А. Оппенгейм, Р. Шафер. – Изд. 2-е, испр. – М.: Технофераб, 2007. – 856 с.

8. **Форсайт, Дэвид А.** Компьютерное зрение. Современный подход [Текст] / Дэвид А. Форсайт, Жан Понс; Пер.с англ. – М.: ИД «Вильямс», 2004. – 928 с.

9. **Визильтер, Ю.В.** Обработка и анализ изображений в задачах машинного зрения: Курс лекций и практических занятий [Текст] / Ю.В. Визильтер, С.Ю. Желтов, А.В. Бондаренко, М.В. Ососков, А.В. Моржин. – М.: Физматкнига, 2010. – 672с.

10. **Ким, Н.В.** Анализ дорожной ситуации с использованием систем технического зрения [Текст] / Н.В. Ким, А.Г. Кузнецов, С.Ю. Косоруков // Труды XXI Междунар. науч.-техн. конф. – СПб.: Политехника-сервис, 2010. – С. 475–479.

REFERENCES

1. **Volodin Iu.S., Orlov A.V., Mikhailov B.B.** Kalibrovka sistemy trekhmernogo zreniia so strukturnoi podsvetkoi pri pomoshchi ploskikh ob"ektov / Trudy Mezhdunar. Konf. s elementami

nauchnoi shkoly dlia molodezhi. – St.-Petersburg: Politekhnikha-servis, 2010. – S. 314–322. (rus)

2. **Khrushch A.V.** Algoritm raspoznaniia prepiatstvii dlia sistemy trekhmernogo tekhnicheskogo



zreniia mobil'nogo robota / Trudy VIII Vseros. nauch.-praktich. konf. – St.-Petersburg, 2005. – S. 257–262. (rus)

3. **Kanatikov A.N., Krishchenko A.P.** Analiticheskaia geometriia: Uchebnik dlia vyzov. – 3-e izd.; pod red. V.S. Zarubina, A.P. Krishchenko. – Moscow: Izd-vo MGTU im. N.E. Baumana, 2002. – 388 s. (rus)

4. **Gonzales Antonio, Mikhailov B.B.** Algoritm vybora etalonov dlia navigatsii mobil'nykh robotov s pomoshch'iu sistemy tekhnicheskogo zreniia /Trudy Mezhdunar. Konf. s elementami nauchnoi shkoly dlia molodezhi. – St.-Petersburg: Politekhnikaservis, 2010. – S. 241–246. (rus)

5. **Gurov A.B., Mikhailov B.B.** Programnyi kompleks sistemy tekhnicheskogo zreniia mobil'nogo robota /Trudy XXI Mezhdunar. nauch.-tekhn. konf. – St.-Petersburg: Politekhnikaservis, 2010. – S. 479–487. (rus)

6. **Volodin Iu.S., Mikhailov B.B.** Ispol'zovanie

televizionnoi sistemy ob'emnogo zreniia dlia obnaruzheniia prepiatstviu / Mater. Mezhdunar. konf. s elementami nauchnoi shkoly dlia molodezhi. – Politekhnikaservis, 2009. – S. 179–181. (rus)

7. **Oppengeim A., Shafer R.** Tsifrovaia obrabotka signalov. – Izd. 2-e, ispr. – Moscow: Tekhnoferab, 2007. – 856 s. (rus)

8. **Forsait Devid A., Pons Zhan.** Komp'iuternoi zrenie. Sovremennyi podkhod; Per.s angl. – Moscow: ID «Vil'iams», 2004. – 928 s. (rus)

9. **Vizil'ter Iu.V., Zheltov S. Iu., Bondarenko A.V., Ososkov M.V., Morzhin A.V.** Obrabotka i analiz izobrazhenii v zadachakh mashinogo zreniia: Kurs lektsii i prakticheskikh zaniatii. – Moscow: Fizmatkniga, 2010. – 672 s. (rus)

10. **Kim N.V., Kuznetsov A.G., Kosorukov S.Iu.** Analiz dorozhnoi situatsii s ispol'zovaniem sistem tekhnicheskogo zreniia / Trudy XXI Mezhdunar. nauch.-tekhn. konf. – St.-Petersburg: Politekhnikaservis, 2010. – S. 475–479. (rus)

НГУЕН Ань Ван – аспирант кафедры РК10 Московского государственного технического университета имени Н.Э. Баумана.

105037, Россия, Москва, Измайловская пл., д. 7.

E-mail: robot@bmstu.ru

NGUYEN, Anh V. *Bauman Moscow State Technical University.*

105037, Izmaylovskaya square 7, Moscow, Russia.

E-mail: robot@bmstu.ru

МИХАЙЛОВ Борис Борисович – доцент кафедры роботов и робототехнических систем Московского государственного технического университета имени Н.Э. Баумана, кандидат технических наук.

105037, Россия, Москва, Измайловская пл., д. 7.

E-mail: robot@bmstu.ru

MIKHAILOV, Boris B. *Bauman Moscow State Technical University.*

105037, Izmaylovskaya square 7, Moscow, Russia.

E-mail: robot@bmstu.ru