

А. С. Быков, А. М. Кошман, А. В. Леонард, В. А. Шурыгин

КЛАССИФИКАЦИЯ ПРЕПЯТСТВИЙ И СПОСОБЫ ИХ АППРОКСИМАЦИИ ДЛЯ ЗАДАЧ ОБХОДА СТАТИЧНЫХ ПРЕПЯТСТВИЙ

Волгоградский государственный технический университет

alexanderbs00@mail.ru, artkoshman@gmail.com, alex-leonard@yandex.ru, au@vstu.ru

В статье рассматривается вопрос классификации препятствий на основе учета относительного расположения средневзвешенной точки препятствия и разработки алгоритмов аппроксимации препятствий.

Ключевые слова: мобильный робот, метод искусственных потенциальных полей, компьютерное зрение, классификация препятствий, LIDAR.

A. S. Bykov, A. M. Koshman, A. V. Leonard, V. A. Shurygin

CLASSIFICATION OF OBSTACLES AND WAYS OF THEIR APPROXIMATION FOR TASKS OF BYPASSING STATIC OBSTACLES

Volgograd State Technical University

The article considers the issue of obstacle classification based on the relative location of the weighted average point of the obstacle and the development of an improved obstacle approximation algorithms.

Keywords: mobile robot, artificial potential field, computer vision, obstacle classification, LIDAR.

Введение

Для эффективного автоматического функционирования мобильных роботов в недетерминированной среде необходимы алгоритмы обработки данных о среде и их интерпретация. На сегодняшний день существуют различные сенсоры, позволяющие идентифицировать пре-

пятствия и определять их тип [1]. Многие алгоритмы распознавания препятствий используют данные, получаемые от видеокамер [2]. Известные алгоритмы классификации препятствий [3] разделяют препятствия по классам опасности для движения робота. С целью совершенствования алгоритмов обработки информации о сре-

де с использованием LIDAR-данных, предлагаются алгоритмы классификации препятствий по положению средневзвешенной точки и их аппроксимации для каждого из типов.

1. Классификация препятствий

Предлагается разделять статические препятствия на три основных типа:

1) выпуклые препятствия, $L_W > L_{Obst}$;

2) вогнутые препятствия, $L_W < L_{Obst}$;

3) плоские препятствия, $L_W \approx L_{Obst}$,

где L_W – расстояние между центром LIDAR и средневзвешенной точкой препятствия; L_{Obst} – расстояние между центром LIDAR и точкой на границе препятствия, лежащей на прямой, проходящей через центр LIDAR и средневзвешенную точку (рис. 1).

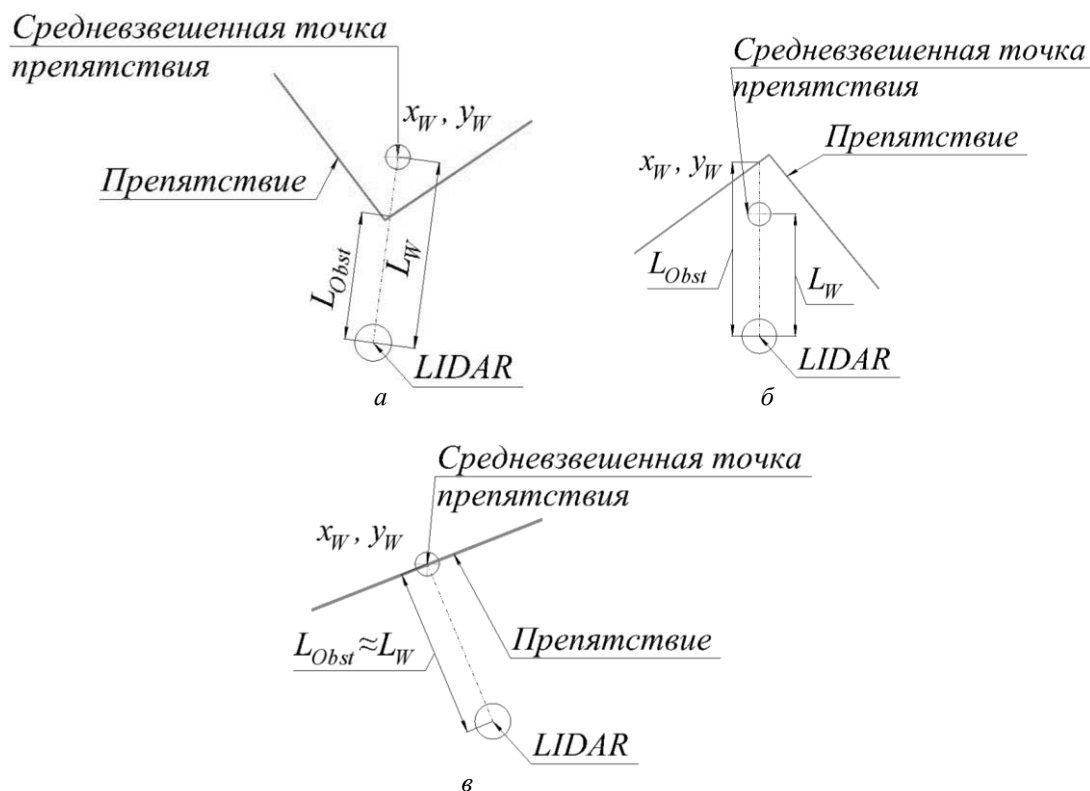


Рис. 1. Типы препятствий:

a – выпуклое препятствие; $б$ – вогнутое препятствие; $в$ – плоское препятствие

2. Средневзвешенная точка препятствия

Для компенсации негативного влияния неучитенных точек границы препятствия (рис. 2)

в расчет координат (x_W, y_W) средневзвешенной точки вводится весовая функция.

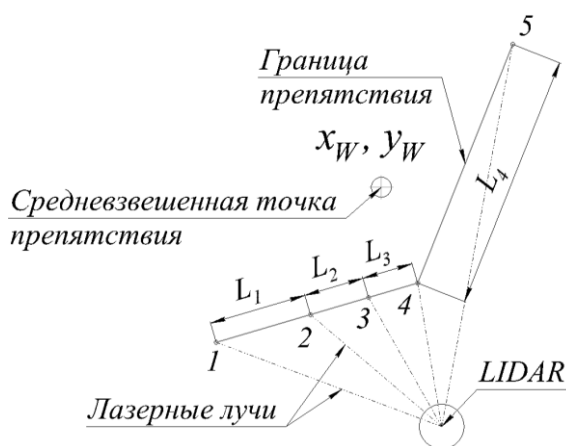


Рис. 2. Схема для нахождения координат средневзвешенной точки

Средневзвешенные координаты вычисляются по формулам (4):

$$x_W = \sum_{i=1}^n [W(L_i) \cdot x_i] / \sum_{i=1}^n [W(L_i)]; y_W = \sum_{i=1}^n [W(L_i) \cdot y_i] / \sum_{i=1}^n [W(L_i)], \quad (1)$$

где x_i и y_i – координаты текущей точки границы препятствия; n – общее количество точек;

$W = W(L_i)$ – весовая функция; L_i – расстояние между текущей и следующей точкой.

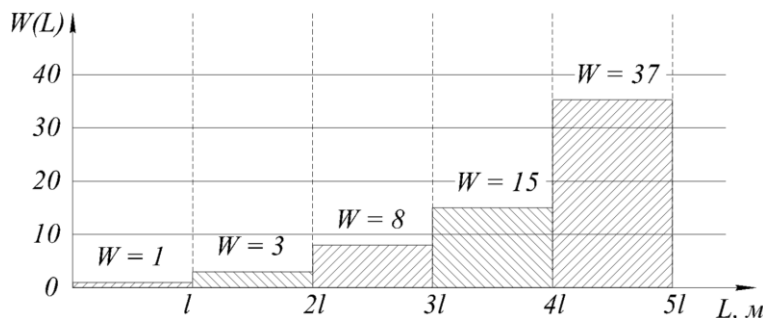


Рис. 3. Вид весовой функции $W(L_i)$

В первом приближении, функция W экспертно задается в виде ступенчатой функции с пятью уровнями значений (рис. 3) расстояния между соседними точками. Величина l вычисляется по формуле (2):

$$l = L_{crit} / 5, \quad (2)$$

где $L_{crit} = 2f \cdot R$ – критерий принадлежности точки препятствию; R – радиус описанной вокруг робота окружности; f – коэффициент безопасности, $f \geq 1$.

3. Выбор характерных точек для неплоских препятствий

Предлагается в качестве характерных точек использовать начальную точку (т. А), конечную точку (т. В) из массива точек, принадлежащих границе препятствия, и наиболее удаленную от отрезка АВ точку (т. С) (рис. 4).

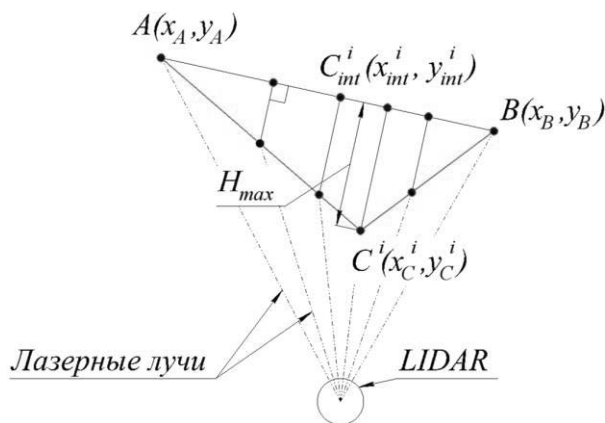


Рис. 4. Схема определения третьей характерной точки

Методика вычисления координат наиболее удаленной точки (т. С):

1. Определяется угловой коэффициент для отрезка АВ по формуле (3):

$$a_{AB} = (y_B - y_A) / (x_B - x_A). \quad (3)$$

2. Определяется угловой коэффициент для перпендикуляра к АВ по формуле (4):

$$a_{\perp}^{AB} = -1 / a_{AB}. \quad (4)$$

3. Вычисляется параметр b_{AB} по формуле (5):

$$y_A = a_{AB} \cdot x_A + b_{AB} \rightarrow b_{AB} = y_A - a_{AB} \cdot x_A. \quad (5)$$

4. Определяется параметр $b_{\perp}^i$ для перпендикуляра к АВ, проходящего через каждую точку на границе препятствия, по формуле (6):

$$y_C^i = a_{\perp}^{AB} \cdot x_C^i + b_{\perp}^i \rightarrow b_{\perp}^i = y_C^i - a_{\perp}^{AB} \cdot x_C^i. \quad (6)$$

5. Координата x_{int}^i пересечения определяется по формуле (7):

$$x_{int}^i = (b_{\perp}^i - b_{AB}) / (a_{AB} - a_{\perp}^{AB}). \quad (7)$$

6. Координата y_{int}^i пересечения определяется по формуле (8):

$$y_{int}^i = a_{\perp}^{AB} \cdot x_{int}^i + b_{\perp}^i. \quad (8)$$

7. Определяется расстояние между точками C^i и C_{int}^i . Шаги 4–7 повторяются для каждой точки из массива точек препятствия.

4. Аппроксимация выпуклых препятствий

Для данного типа препятствий предлагается их аппроксимировать описанной окружностью.

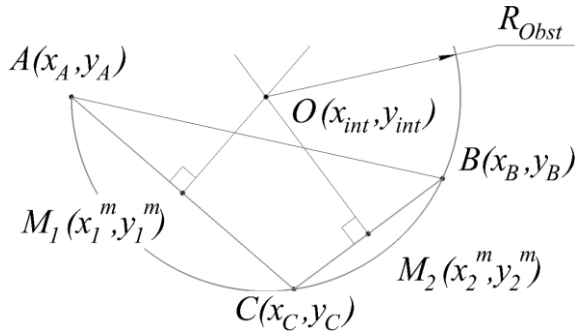


Рис. 5. Схема определения координат центра описанной окружности

Методика вычисления координат центра аппроксимирующей окружности и ее радиуса:

1. Находятся угловые коэффициенты для отрезков AC и CB:

$$a_{AC} = (y_C - y_A) / (x_C - x_A),$$

$$a_{CB} = (y_B - y_C) / (x_B - x_C). \quad (9)$$

2. Определяются угловые коэффициенты для перпендикуляров к отрезкам AC и CB:

$$a_{\perp}^{AC} = -1 / a_{AC}, \quad a_{\perp}^{CB} = -1 / a_{CB}. \quad (10)$$

3. Рассчитываются координаты середин отрезков AC и BC.

4. Из уравнений (11), (12) определяются параметры $b_{\perp}^{AC}$ и $b_{\perp}^{CB}$ для срединных перпендикуляров отрезков AC и CB:

$$y_1^m = a_{\perp}^{AC} \cdot x_1^m + b_{\perp}^{AC} \rightarrow b_{\perp}^{AC} = y_1^m - a_{\perp}^{AC} \cdot x_1^m, \quad (11)$$

$$y_2^m = a_{\perp}^{CB} \cdot x_2^m + b_{\perp}^{CB} \rightarrow b_{\perp}^{CB} = y_2^m - a_{\perp}^{CB} \cdot x_2^m. \quad (12)$$

5. Определяется координата x_{int} пересечения срединных перпендикуляров по формуле (13):

$$x_{int} = (b_{\perp}^{AC} - b_{\perp}^{CB}) / (a_{\perp}^{CB} - a_{\perp}^{AC}). \quad (13)$$

6. Координата y_{int} пересечения срединных перпендикуляров определяется по формуле (14):

$$y_{int} = a_{\perp}^{AC} \cdot x_{int} + b_{\perp}^{AC}. \quad (14)$$

7. Определение радиуса описанной окружности производится по формуле (15):

$$R_{obst} = \sqrt{\Delta x_{AO}^2 + \Delta y_{AO}^2}. \quad (15)$$

5. Аппроксимация плоских препятствий

Данный тип препятствий можно разделить на два подтипа:

- 1) малое плоское препятствие, $L \leq 2kR$;
- 2) плоское препятствие типа «стена», $L > 2kR$.

Здесь L – длина плоского препятствия, м; k – безразмерный коэффициент, $k \gg 1$; R – радиус описанной вокруг робота окружности.

5.1. Для малого плоского препятствия (МПП) предлагается в качестве характерных точек использовать начальную точку (т. А), конечную точку (т. В) из массива точек, принадлежащих границе препятствия, и среднюю точку (т. М) отрезка АВ (рис. 6).

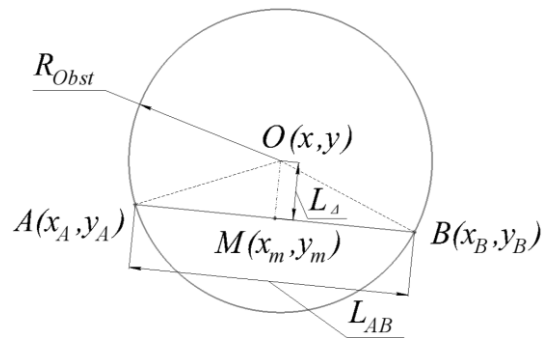


Рис. 6. Схема определения параметров малого плоского препятствия

Методика вычисления координат центра аппроксимирующей окружности МПП и ее радиуса:

1. Рассчитываются координаты (x_m, y_m) середины отрезка АВ.

2. Экспертно задается величина смещения L_{Δ} центра окружности от отрезка АВ.

3. Вычисляются координаты центра окружности по формулам (16):

$$x = x_m - L_{\Delta} \cdot (y_B - y_A) / L_{AB};$$

$$y = y_m + L_{\Delta} \cdot (x_B - x_A) / L_{AB}. \quad (16)$$

4. Определяется радиус окружности по формуле (17):

$$R_{obst} = \sqrt{\Delta x_{AO}^2 + \Delta y_{AO}^2}. \quad (17)$$

5.2. Для плоского препятствия типа «стена» предлагается аппроксимировать препятствие с помощью подвижной окружности (рис. 7).

1. Определяется угловой коэффициент для АВ по формуле (18):

$$a_{AB} = (y_B - y_A) / (x_B - x_A). \quad (18)$$

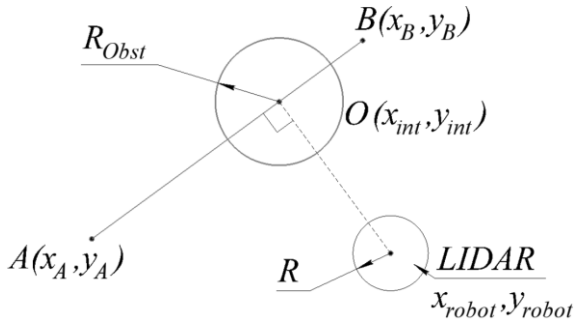


Рис. 7. Схема аппроксимации плоского препятствия типа «стена»

2. Определяется угловой коэффициент для перпендикуляра к AB :

$$a_{\perp}^{AB} = -1 / a_{AB}. \quad (19)$$

3. Определяется параметр $b_{\perp}^{AB}$ по формуле (20):

$$y_{robot} = a_{\perp}^{AB} \cdot x_{robot} + b_{\perp}^{AB} \rightarrow b_{\perp}^{AB} = y_{robot} - a_{\perp}^{AB} \cdot x_{robot}. \quad (20)$$

4. Из уравнения прямой AB определяется коэффициент b_{AB} :

$$y_A = a_{AB} \cdot x_A + b_{AB} \rightarrow b_{AB} = y_A - a_{AB} \cdot x_A. \quad (21)$$

5. Координата x_{int} определяется по формуле (22):

$$x_{int} = (b_{\perp}^{AB} - b_{AB}) / (a_{AB} - a_{\perp}^{AB}). \quad (22)$$

6. Координата y_{int} определяется по формуле (23):

$$y_{int} = a_{\perp}^{AB} \cdot x_{int} + b_{\perp}^{AB}. \quad (23)$$

7. Радиус окружности вычисляется по формуле (24):

$$R_{obst} = k_1 \cdot R, \quad (24)$$

где k_1 – коэффициент безопасности для плоского препятствия, $k_1 > 0$; R – радиус описанной вокруг робота окружности.

6. Аппроксимация вогнутого препятствия

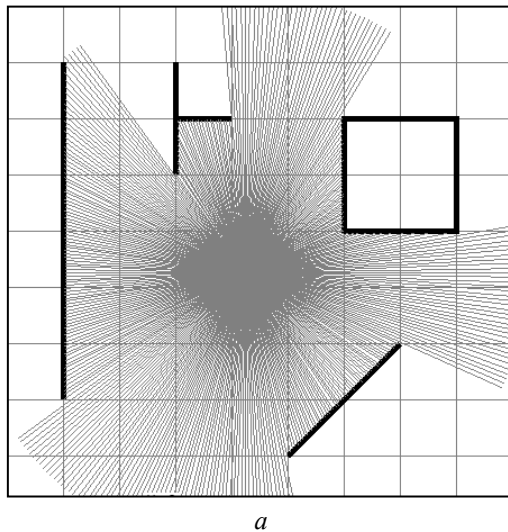
Препятствия данного типа могут быть аппроксимированы двумя способами:

- 1) аппроксимация по схеме для МПП (см. п. 5.1);
- 2) аппроксимация по схеме для препятствия типа «стена» (см. п. 5.2).

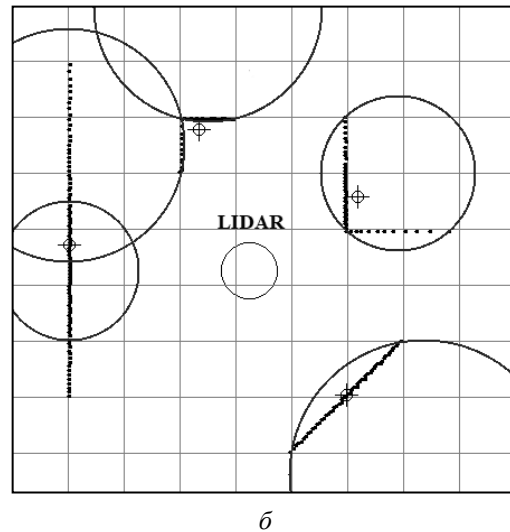
7. Результаты компьютерного моделирования

Была проведена серия численных экспериментов со следующими исходными параметрами: масштаб $s = 50$ пкс/м; дальность сканирования LIDAR $R_v = 3$ м (5 м); угловой шаг поворота лазерного излучатель-детектора $\Delta\varphi = 1^\circ$; радиус описанной вокруг робота окружности $R = 0,25$ м.

Результаты работы алгоритмов классификации и аппроксимации препятствий представлены на рис. 8–10.



а



б

Рис. 8. Совместная аппроксимация различных типов препятствий:
а – исходное представление препятствий и зона сканирования LIDAR;
б – результат классификации и аппроксимации препятствий

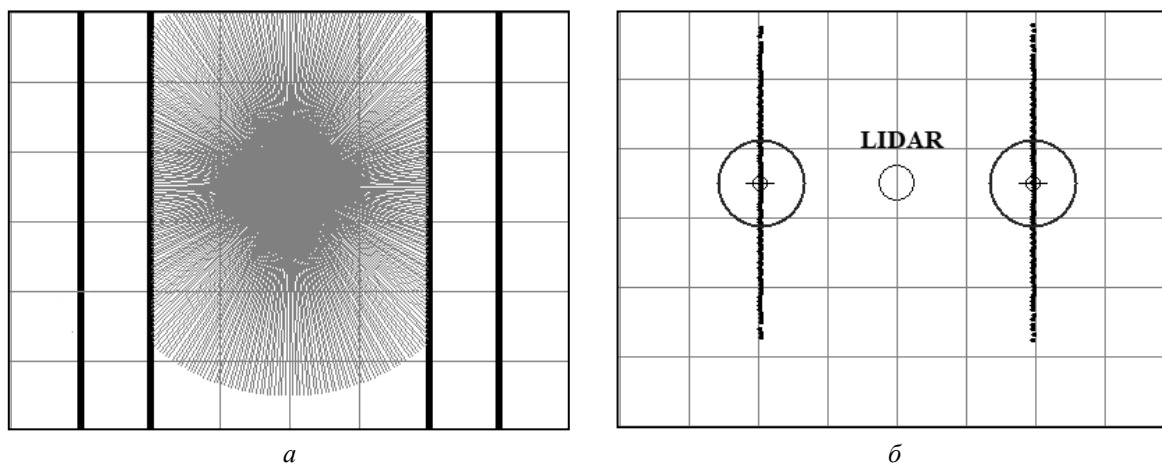


Рис. 9. Аппроксимация протяженных плоских препятствий:

a – исходное представление препятствий и зона сканирования LIDAR; *б* – результат классификации и аппроксимации препятствий

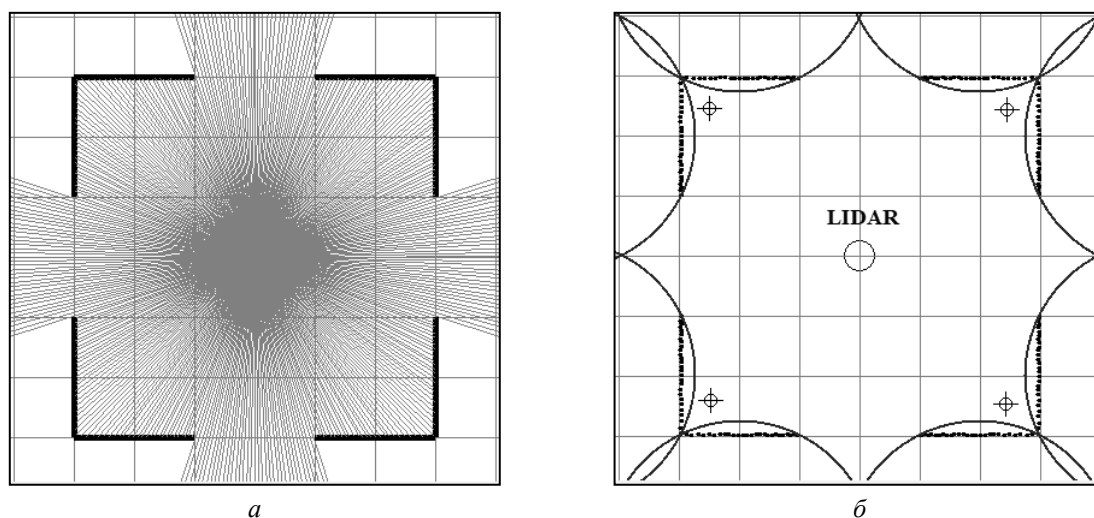


Рис. 10. Аппроксимация вогнутых препятствий:

a – исходное представление препятствий и зона сканирования LIDAR; *б* – результат классификации и аппроксимации препятствий

Заключение

Анализ результатов компьютерного моделирования показывает, что алгоритм классификации препятствий обеспечивает корректное определение типа препятствий по положению средневзвешенной точки относительно препятствия. Алгоритмы аппроксимации препятствий позволяют представлять исходные препятствия различных типов в виде геометрических примитивов, т. е. исходные препятствия оказываются вписанными в аппроксимирующие окружности. Предлагаемые алгоритмы работоспособны и могут быть применены на практике. В частности, описанные алгоритмы могут быть использованы совместно с методами автоматического планирования движения [4] для исследования и создания автоматических систем управления мобильными роботами в недетерминированной среде.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Матвеева, С. О. Навигация робота в помещении / С. О. Матвеева // Энергетические и электротехнические системы : Международный сборник научных трудов / под ред. С. И. Лукьянова, Н. В. Швидченко. – Магнитогорск : Магнитогорский государственный технический университет им. Г. И. Носова. – 2015. – Вып. 2. – С. 317–323.
2. Роганов, В. Р. Сравнительный анализ систем имитации визуальной обстановки / В. Р. Роганов, В. О. Филиппенко // Современные информационные технологии. – 2014. – № 19. – С. 162–166.
3. Классификация наземных видов препятствий, встречаемых подвижным мобильным роботом / Е. В. Заргарян, Ю. А. Заргарян, А. Д. Коринец, И. М. Малышенко // Теория и практика имитационного моделирования и создания тренажеров. Том 2. – Пенза : Пензенский государственный технологический университет. – 2015. – С. 13–16.
4. Леонард, А. В. Особенности планирования движения наземного робота с обходом стационарного препятствия на основе подхода $VC/APF+BC_1$ / А. В. Леонард // Известия ВолГГТУ : научный журнал № 9 (280) / ВолГГТУ. – Волгоград, 2023. – С. 33–40.