

УДК 007.52; 62-52; 681.5

КОНЦЕПЦИЯ «ФАРВАТЕРА» В ЗАДАЧАХ ПОТЕНЦИАЛЬНОГО НАВЕДЕНИЯ МОБИЛЬНЫХ РОБОТОВ

© А. Б. Филимонов^{1,2}, Н. Б. Филимонов^{3,4}

¹ МИРЭА — Российский технологический университет,
119454, Москва, просп. Вернадского, 78

² Московский авиационный институт (научно-исследовательский университет),
125993, Москва, Волоколамское шоссе, 4

³ Московский государственный технический университет им. Н. Э. Баумана,
105005, Москва, 2-я Бауманская ул., 5, стр. 1

⁴ Институт проблем управления им. В. А. Трапезникова РАН,
117997, Москва, ул. Профсоюзная, 65
E-mail: filimon_ab@mail.ru, nbfilimonov@mail.ru

В современной робототехнике всё большую актуальность приобретают вопросы локальной навигации мобильных роботов (МР), обеспечивающей целенаправленное движение робота в среде с препятствиями. При этом к числу наиболее популярных относятся методы локальной навигации МР, основанные на применении искусственных потенциальных полей (ПП), порождающих виртуальные силы «притяжения» к цели и «отталкивания» от препятствий. Однако их применение наталкивается на проблему потенциальных ям, являющихся локальными «ловушками» для МР. В работе излагается новый метод потенциального наведения МР, основанный на концепции «фарватера» и позволяющий не только решать проблему ловушек, но и выбирать оптимальный маршрут движения робота к цели. Обсуждаются конструктивные аспекты метода фарватера, предлагается метод виртуальных частиц для нахождения нужного фарватера на карте силовых линий ПП.

Ключевые слова: мобильные роботы, локальная навигация, искусственные потенциальные поля, силовые линии поля, концепция «фарватера», виртуальные частицы.

DOI: 10.15372/AUT20220406

Введение. Функциональная структура современных автономных мобильных роботов (МР) включает подсистему локальной навигации, обеспечивающей движение робота к цели с обходом препятствий. При этом для управления МР в детерминированной (заранее определённой) статической среде с препятствиями всё более широкое применение находят методы потенциальных полей (ПП). Согласно данным методам целенаправленное движение МР осуществляется в построенном виртуальном силовом поле, потенциальная функция которого отражает цель и конфигурацию препятствий, порождая соответствующие виртуальные (мнимые) силы притяжения к цели и отталкивания от препятствий. Достаточно полное представление о современном состоянии исследований в области искусственных ПП дают работы [1–23].

Несмотря на широкую популярность, практическое использование метода ПП наталкивается на проблему потенциальных ям различной геометрической структуры, которые становятся «ловушками» для МР. Многочисленные попытки преодолеть ловушки или выбираться из них чрезмерно сложны и малопродуктивны. В работах [20, 21] предложен новый метод потенциального наведения МР, названный методом «фарватера» и позволяющий не только решать проблему ловушек, но и выбирать оптимальный маршрут движения робота к цели. В представленной работе обсуждаются конструктивные аспекты метода фарватера и предлагается метод виртуальных частиц для нахождения нужного фарватера на карте силовых линий ПП.

Электростатическое поле как физический прототип потенциальных полей.

Рассмотрим движение частицы, имеющей положительный заряд $q > 0$, в плоском электростатическом поле. Положение частицы описывается вектором $\mathbf{r} = (x, y)$.

Обозначим через $U(\mathbf{r})$ и $\mathbf{E}(\mathbf{r})$ соответственно потенциал и напряжённость электрического поля в точке \mathbf{r} . Напряжённость равняется антиградиенту потенциальной функции $U(\mathbf{r})$:

$$\mathbf{E}(\mathbf{r}) = -\nabla U(\mathbf{r}), \quad (1)$$

где

$$\nabla U(\mathbf{r}) = \text{col} \left(\frac{\partial U(\mathbf{r})}{\partial x}, \frac{\partial U(\mathbf{r})}{\partial y} \right).$$

На заряженную частицу действует сила

$$\mathbf{F}(\mathbf{r}) = q\mathbf{E}(\mathbf{r}).$$

Пусть источниками электрического поля являются несколько заряженных тел (зарядов). Это могут быть точечные или объёмные заряды. Потенциал поля в некоторой произвольной точке \mathbf{r} будет представлять собой сумму потенциалов, создаваемых каждым из тел в этой точке. Обозначим через $U^-(\mathbf{r})$ и $U^+(\mathbf{r})$ потенциалы, создаваемые соответственно отрицательными и положительными зарядами. Тогда потенциал $U(\mathbf{r})$ можно разбить на два слагаемых:

$$U(\mathbf{r}) = U^-(\mathbf{r}) + U^+(\mathbf{r}). \quad (2)$$

Заметим, что отрицательные заряды притягивают движущуюся частицу, а положительные отталкивают.

Электростатическая задача состоит в расчёте потенциала в любой точке поля [24]. Математическое решение электростатической задачи при задании потенциалов на проводниках сводится к нахождению потенциальной функции, удовлетворяющей уравнению Пуассона и принимающей на границе области заданное значение. Эта задача носит название первой краевой задачи (задачи Дирихле). В большинстве случаев решение электростатических задач встречает значительные трудности.

Управление роботами на основе искусственных потенциальных полей. Суть метода искусственных ПП заключается в использовании в алгоритмах управления информационной модели внешней среды МР в виде искусственного потенциального поля $U(\mathbf{r})$, направляя его перемещение к цели и предотвращая столкновения с препятствиями.

Далее рабочим пространством МР, обозначаемым через W , будем называть окружающее пространство, в котором он функционирует. Полагаем, что МР располагает картой окружающей среды и снабжён навигационной системой, позволяющей достаточно точно определять его координаты. Ограничимся рассмотрением плоской задачи $W \subseteq \mathbb{R}^2$.

Обозначим через $W_0 \subset W$ область в рабочем пространстве, не занятую препятствиями (свободное пространство), а через P^* — целевое положение робота, координаты которого заданы вектором \mathbf{r}^* .

Мобильный робот рассматривается как материальная точка, движущаяся в потенциальном поле $U(\mathbf{r})$, образуемом по аналогии с (2) суперпозицией двух полей — притягивающего (attracting), создаваемого целью, и отталкивающего (repelling), создаваемого препятствиями:

$$U(\mathbf{r}) = U_{attr}(\mathbf{r}) + U_{rep}(\mathbf{r}). \quad (3)$$

Полагая поле $U(\mathbf{r})$ дифференцируемым, введём согласно формуле (1) его силовую характеристику — напряжённость $\mathbf{E}(\mathbf{r})$.

В соответствии с (3) напряжённость поля может быть представлена суммой притягивающей $\mathbf{E}_{attr}(\mathbf{r})$ и отталкивающей $\mathbf{E}_{rep}(\mathbf{r})$ составляющих:

$$\mathbf{E}(\mathbf{r}) = \mathbf{E}_{attr}(\mathbf{r}) + \mathbf{E}_{rep}(\mathbf{r}).$$

Приписывая МР фиктивный заряд $q > 0$, получим выражение для действующей на робота виртуальной силы

$$\mathbf{F}(\mathbf{r}) = q\mathbf{E}(\mathbf{r}),$$

обеспечивающей притягивание робота к цели и его отталкивание от заранее известных препятствий.

В традиционной трактовке метода ПП заслуживают внимания два способа управления МР [3]:

1) в схеме кинематического управления силовое поле задаёт желаемую скорость движения робота

$$\dot{\mathbf{r}} = \alpha\mathbf{E}(\mathbf{r});$$

2) в схеме динамического управления робот рассматривается как массивная точка, на которую действует виртуальная сила

$$\ddot{\mathbf{r}} = \alpha\mathbf{E}(\mathbf{r}).$$

Здесь $\alpha > 0$ — константа.

Отметим важное обстоятельство: эти способы управления не учитывают инерционность и процессы управления исполнительными приводами МР.

В [22, 23] предложена следующая стратегия управления МР: мы создаём виртуальное потенциальное поле сил, включающее притягивающую и отталкивающие компоненты, со стоком в целевом положении P^* . Вектор напряжённости поля $\mathbf{E}(\mathbf{r})$ задаёт направление движения МР. Система управления МР должна обрабатывать уставку скорости

$$\mathbf{V}^* = V^* \frac{\mathbf{E}(\mathbf{r})}{\|\mathbf{E}(\mathbf{r})\|}, \quad (4)$$

где $V^* > 0$ — требуемая величина скорости движения МР.

Здесь и далее $\|\cdot\|$ — евклидова норма вектора.

Таким образом, силовые линии поля определяют желаемые траектории движения МР, а уставку скорости \mathbf{V}^* должна обрабатывать система управления роботом. Разумеется, функциональная структура робота должна содержать модуль расчёта вектора напряжённости потенциального поля.

Выбор структуры искусственных силовых полей. Отметим один важный методологический аспект: нет нужды конструировать искусственные ПП по образу и подобию реальных физических (в частности, электрических) полей, так как здесь мы имеем почти полный простор для творческой инициативы, причём практический интерес представляют самые простые в алгоритмическом плане решения.

Известные способы конструирования потенциальных полей проанализированы в [19, 21]. Ограничимся изложением лишь некоторых соображений по вопросу выбора структуры потенциального поля.

Притягивающий потенциал. В работах [17, 18] сформулированы требования к структуре притягивающего поля — абсолютная величина напряжённости поля должна быть постоянной: $\|\mathbf{E}_{attr}(\mathbf{r})\| = \text{const}$. В этом случае эффект суперпозиции отталкивающего и притягивающего полей не будет зависеть от степени удалённости препятствия от цели.

Данному требованию отвечает притягивающий потенциал вида [17, 18]

$$U_{attr}(\mathbf{r}) = k_a d(\mathbf{r}),$$

где $k_a > 0$ — константа, $d(\mathbf{r})$ — евклидово расстояние МР до цели:

$$d(\mathbf{r}) = \|\mathbf{r} - \mathbf{r}^*\|.$$

С данным потенциалом связана напряжённость поля

$$\mathbf{E}_{attr}(\mathbf{r}) = -k_a \frac{\mathbf{r} - \mathbf{r}^*}{d(\mathbf{r})}, \quad (5)$$

абсолютная величина которой постоянна:

$$\|\mathbf{E}_{attr}(\mathbf{r})\| = k_a.$$

Отталкивающий потенциал. Эффект отталкивания должен действовать лишь вблизи препятствия и возрастать по мере приближения к нему. Данный эффект может быть достигнут отталкивающими потенциалами различной структуры [17, 18]. Однако при этом необходимо также учитывать алгоритмическую сложность их расчёта.

В сущности, нас интересует не сам отталкивающий потенциал, а создаваемое им поле напряжённости. В связи с этим предлагается использовать отталкивающий потенциал вида

$$U_{rep}(\mathbf{r}) = \begin{cases} k_r[-\ln(\rho(\mathbf{r})/\rho_r) + (\rho(\mathbf{r})/\rho_r) - 1], & \rho(\mathbf{r}) \leq \rho_r; \\ 0, & \rho(\mathbf{r}) > \rho_r, \end{cases}$$

где $k_r > 0$ — константа, $\rho(\mathbf{r})$ — расстояние до препятствия, ρ_r — ширина зоны безопасности препятствия.

Тогда выражение для величины напряжённости оказывается весьма простым:

$$\|\mathbf{E}_{rep}(\mathbf{r})\| = \begin{cases} k_r(1/\rho(\mathbf{r}) - 1/\rho_r), & \rho(\mathbf{r}) \leq \rho_r; \\ 0, & \rho(\mathbf{r}) > \rho_r. \end{cases} \quad (6)$$

Таким образом, данное поле создаёт «потенциальный барьер» вокруг препятствия ширины ρ_r , потенциал в котором неограниченно возрастает по мере приближения к нему. Данная конструкция отталкивающего поля может представлять интерес для практических применений.

Наряду с формулой (6) необходимо располагать процедурой вычисления направления вектора $\mathbf{E}_{rep}(\mathbf{r})$.

Будем считать препятствия площадными (по терминологии геоинформатики [25]) объектами и рассматривать их как замкнутые множества $\Omega \subset W$. Далее $\partial\Omega$ — граница множества Ω .

Проекцией точки $\mathbf{r} \in W$ на множество Ω называется ближайшая точка множества $\hat{\mathbf{r}} \in \Omega$. Расстояние точки $\mathbf{r} \in W_0$ до множества Ω определяется равенством

$$\rho(\mathbf{r}, \Omega) = \|\mathbf{r} - \hat{\mathbf{r}}\|.$$

Определим также единичный вектор

$$\mathbf{n}_\Omega(\mathbf{r}) = \frac{\mathbf{r} - \hat{\mathbf{r}}}{\|\mathbf{r} - \hat{\mathbf{r}}\|}.$$

Для вычисления вектора напряжённости $\mathbf{E}_{rep}(\mathbf{r})$ соотношение (6) дополним формулой

$$\mathbf{E}_{rep}(\mathbf{r}) = \|\mathbf{E}_{rep}(\mathbf{r})\| \mathbf{n}_\Omega(\mathbf{r}). \quad (7)$$

Концепция движения робота по «фарватеру». Локальность метода ПП означает его «близорукость», и, следовательно, он не исключает возможности попадания МР в локальные минимумы — потенциальные ямы различной геометрической структуры, которые становятся для робота ловушками. Проблема ловушек проанализирована в [19, 21].

В связи с этим интерес представляют стратегии управления МР, позволяющие обходить препятствия и гарантированно не попадать в ловушки. Одна из таких стратегий, сформулированная в [20, 21], основана на концепции фарватера на карте силовых полей. Здесь морской термин фарватер означает безопасную в навигационном отношении водную трассу, характеризующуюся отсутствием препятствий (мели, рифы, скалы, острова и др.) для судоходства.

Сформируем силовое поле посредством суперпозиции полей, создаваемых целью притягивающего поля и препятствиями отталкивающих полей. Поскольку последние действуют локально, то в результирующем поле имеются силовые линии, обходящие препятствия и потенциальные ямы.

Силовой линией для векторного поля $\mathbf{E}(\mathbf{r})$ называется кривая $\mathbf{r} = \mathbf{r}(s)$ (s — скалярный параметр), касательная к которой во всех точках кривой совпадает с вектором напряжённости поля:

$$\frac{d\mathbf{r}}{ds} = \mathbf{E}(\mathbf{r}(s)).$$

Под фарватером будем понимать односвязную область $\Phi \subset W_0$, заполненную силовыми линиями $\mathbf{r}(s)$, которые заканчиваются в целевой точке, т. е. вектор напряжённости поля во всех точках линии (кроме целевой) отличен от нуля: $\|\mathbf{E}(\mathbf{r}(s))\| > 0$.

Фарватеров может быть несколько. Идея заключается в том, чтобы выбрать фарватер, ближайший к начальному положению робота \mathbf{r}_0 , затем переместить робота в него (возможно, по наикратчайшему пути) и далее двигаться вдоль фарватера.

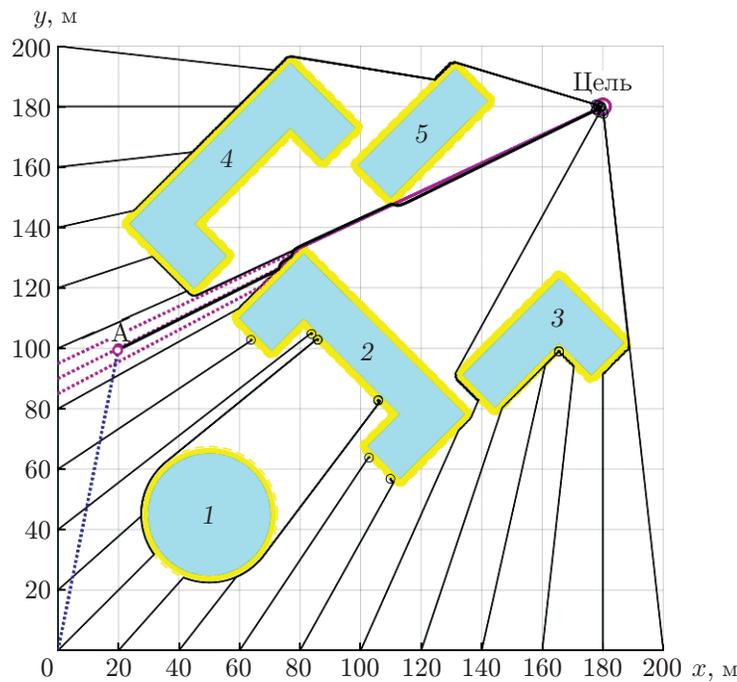
Заметим, что карта силовых линий поля накладывается на карту рабочего пространства (внешней среды) в виде слоя (по терминологии геоинформационных систем [25]).

Метод виртуальных частиц. Выбор фарватера для движения МР предполагает наличие карты силовых линий создаваемого виртуального поля и, следовательно, возможность её анализа. Построение этой карты предлагается решать средствами имитационного компьютерного моделирования движения виртуальных частиц.

Пусть движение некоторой гипотетической частицы подчиняется уравнению

$$\dot{\mathbf{r}} = \begin{cases} 0, & \mathbf{E}(\mathbf{r}) = 0; \\ v_P \mathbf{E}(\mathbf{r}) / \|\mathbf{E}(\mathbf{r})\|, & \mathbf{E}(\mathbf{r}) \neq 0, \end{cases} \quad (8)$$

где $v_P > 0$ — скорость подвижной частицы. Очевидно, что в случае $\mathbf{E}(\mathbf{r}) \neq 0$ частица будет двигаться вдоль силовой линии поля с постоянной скоростью v_P и остановится при выполнении условия $\mathbf{E}(\mathbf{r}) = 0$.



Траектория движения робота

Рассмотрим некоторую кривую $\Gamma \subset W_0$, проходящую через стартовую точку МР \mathbf{r}_0 или вблизи неё. Далее в начальный момент времени $t = 0$ расставим на этой кривой некоторым образом N виртуальных частиц. Если подчинить движение частиц уравнению (8), то их траектории дадут искомые силовые линии поля.

Пример. Поясним изложенный подход на модельном примере. Конфигурация рабочего пространства МР и выполненные построения представлены на рисунке. Моделируется управляемое движение колёсного робота, описанного в [22, 23]. Все расчёты и компьютерное моделирование выполнялись в среде MATLAB.

Стартовое положение робота совпадает с началом координат: $\mathbf{r}_0 = (0, 0)$. Координаты целевого положения (в метрах) $\mathbf{r}^* = (180, 180)$. Считаём, что нас устраивает приемлемый промах — допустимое отклонение от цели $\rho^* = 2,5$ м.

Рабочее пространство содержит пять объектов (с номерами 1–5 на рисунке), создающих препятствия при движении робота к цели.

Структура полей аттрактора и репеллеров определяется формулами (5), (6), (7). Параметры силовых полей: $k_a = 1$, $k_r = 3$, $\rho_r = 2,5$ м.

Кривая Γ образована положительной и отрицательной полуосями системы координат Oxy . Число виртуальных частиц $N = 21$. Их начальные положения: 11 на оси Ox с координатами $x = (0, 20, 40, \dots, 200)$ и 10 на оси Oy с координатами $y = (20, 40, \dots, 200)$.

Скорость виртуальной частицы $v_P = 1$ м/с.

В качестве фарватера (в области Φ) выбрана зона рабочего пространства, заполняемого силовыми линиями, исходящими из отрезка $[85, 95]$ на оси Oy .

Управление — двухэтапное: сначала робот переводится в точку фарватера А. На рисунке этот этап представлен пунктирной линией. Затем следует движение по фарватеру к цели.

На этапе движения по фарватеру управление движением МР осуществляется на основе метода ПП с применением двухконтурной системы регулирования величины линейной скорости и направления его движения (курса). Законы управления и параметры настройки

системы регулирования скорости МР описаны в [22, 23]. Уставка скорости формируется согласно (4), причём $V^* = 1,5$ м/с.

На рисунке представлена исходящая из точки А траектория движения МР, полученная компьютерным моделированием в MATLAB.

Результаты моделирования оказались успешными и подтверждают перспективность предложенных решений и рекомендаций.

Заключение. В данной работе рассмотрены вопросы локальной навигации и управления движением МР на основе метода ПП. Приведены рекомендации по выбору структуры притягивающих и отталкивающих потенциальных полей. Изложена концепция фарватера на карте силовых линий поля, которая обеспечивает безопасный обход препятствий и предотвращает попадание робота в ловушки (потенциальные ямы). Ставится задача построения карты силовых полей, которая решается методом виртуальных частиц.

Изложенные результаты могут быть полезными для практических применений в области локальной навигации МР.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Pozna C., Precup R.-E., Koczy L. T., Ballagi A.** Potential field-based approach for obstacle avoidance trajectories // The IPSI BgD Transactions on Internet Res. 2002. **8**, N 2. P. 40–45.
2. **Ge S. S., Cui Y. J.** Dynamic motion planning for mobile robots using potential field method // Autonomous Robots. 2002. **13**. P. 207–222.
3. **Castañeda M. A. P., Savage J., Hernández A., Cosío F. A.** Local Autonomous Robot Navigation Using Potential Fields. Motion Planning /Ed. by Xing-Jian Jing. Chapter 1. InTech, 2008. 598 p.
4. **Shi W., Huang X., Zhou W.** Path planning of mobile robot based on improved artificial potential field // Journ. Comput. Appl. 2010. **30**, N 8. P. 2021–2023.
5. **Чепиженко В. И.** Анализ использования потенциальных полевых методов для решения навигационных и конфликтных задач // Кибернетика и вычислительная техника. 2012. Вып. 167. С. 15–24.
6. **Sgorbissa A., Zaccaria R.** Planning and obstacle avoidance in mobile robotics // Robotics and Autonomous Syst. 2012. **60**. P. 628–638.
7. **Dumitru S. A., Vladareanu L., Yan T. H., Qi Ch. K.** Mobile robot navigation techniques using potential field method in unknown environments // Appl. Mech. and Mater. 2014. **656**. P. 388–394.
8. **Weerakoon T., Ishii K., Nassiraei A.** An artificial potential field based mobile robot navigation method to prevent from deadlock // Journ. Artificial Intell. and Soft Comput. Res. 2015. **5**, N 3. P. 189–203.
9. **Antoska-Knights V., Gacovski Z., Deskovski S.** Obstacles avoidance algorithm for mobile robots, using the potential fields method // Universal Journ. Electrical and Electronic Eng. 2017. **5**, Iss. 4. P. 75–84.
10. **Pandey A., Pandey S., Parhi D. R.** Mobile robot navigation and obstacle avoidance techniques: A review // Int. Robotics & Automation Journ. 2017. **2**, Iss. 3. P. 96–105.
11. **Лю В.** Методы планирования пути в среде с препятствиями (обзор) // Математика и математическое моделирование. 2018. № 1. С. 15–58.
12. **Bayat F., Najafinia S., Aliyari M.** Mobile robots path planning: Electrostatic potential field approach // Expert Syst. with Appl. 2018. **100**, Iss. 15. P. 68–78.
13. **Chen Y., Peng H., Grizzle J.** Obstacle avoidance for low-speed autonomous vehicles with obstacle function // IEEE Trans. Control Syst. Technol. 2018. **26**. P. 1–13.

14. **Fedele G., D'Alfonso L., Chiaravalloti F., D'Aquila G.** Obstacles avoidance based on switching potential functions // Journ. Intell. & Robotic Syst. 2018. **90**. P. 387–405.
15. **Yuan J., Shen H.** Research on local path planning of mobile robot based on artificial potential field method // Proc. of the IEEE 3rd Advanced Information Management, Communicates, Electronic and Automation Control Conference (IMCEC). Chongqing, China, 11-13 Oct., 2019. P. 785–789.
16. **Zafar M. N., Mohanta J. C., Keshari A.** GWO-potential field method for mobile robot path planning and navigation control // Arabian Journ. Sci. and Eng. 2021. **46**. P. 8087–8104.
17. **Филимонов А. Б., Филимонов Н. Б.** Методология искусственных потенциальных полей в задачах локальной навигации мобильных роботов // Интеллектуальные системы, управление и мехатроника 2017: Матер. III Всеросс. науч.-техн. конференции. Севастополь: СевГУ, 2017. С. 157–160.
18. **Filimonov A. B., Filimonov N. B.** The peculiarities of application of the potential fields method for the problems of local navigation of mobile robots // Proc. of the 14th Int. Scientific and Technical Conference «Actual Problems of Electronic Instrument Engineering» (APEIE-2018). Novosibirsk, Russia, 2-6 Oct., 2018. Vol. 1, Pt 6. P. 208–211.
19. **Филимонов А. Б., Филимонов Н. Б., Барашков А. А.** Вопросы построения потенциальных полей в задачах локальной навигации мобильных роботов // Автометрия. 2019. **55**, № 4. С. 65–40. DOI: 10.15372/AUT20190407.
20. **Филимонов А. Б., Филимонов Н. Б.** Два алгоритма локальной навигации мобильных роботов в статических средах // XII Всеросс. мультikonференция по проблемам управления (МКПУ-2019): Матер. конференции. Т. 2. Ростов-на-Дону, Таганрог: Изд-во ЮФУ, 2019. С. 105–107.
21. **Филимонов А. Б., Филимонов Н. Б.** Вопросы управления движением мобильных роботов методом потенциального наведения // Мехатроника, автоматизация, управление. 2019. **20**, № 11. С. 677–685.
22. **Филимонов А. Б., Филимонов Н. Б.** Конструктивные аспекты метода потенциальных полей в мобильной робототехнике // Автометрия. 2021. **57**, № 4. С. 45–53. DOI: 10.15372/AUT20210406
23. **Filimonov A. B., Filimonov N. B.** New approach for use of the potential fields method in mobile robotics // Proc. of the IV Int. Conference on Control in Technical Systems (CTS), IEEE. Saint Petersburg, Russia, 21-23 Sept., 2021. P. 264–267.
24. **Миролюбов Н. Н., Костенко М. В., Левинштейн М. Л., Тиходеев Н. Н.** Методы расчёта электростатических полей. М.: Высш. шк., 1963. 415 с.
25. **Капралов Е. Г., Кошкарёв А. В., Тикунов В. С.** Геоинформатика /Под ред. В. С. Тикунова. М.: Изд. центр «Академия», 2005. 480 с.

Поступила в редакцию 12.04.2022

После доработки 14.06.2022

Принята к публикации 01.07.2022