

А.А. ЛОБАТЫЙ, Д.В. КАПСКИЙ, А.К. ИБРАГИМ, И.А. ШИШКОВЕЦ

АНАЛИТИЧЕСКОЕ ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ОПТИМАЛЬНОЙ ТРАЕКТОРИИ ДВИЖЕНИЯ МОБИЛЬНОГО РОБОТА

Белорусский национальный технический университет

Цель проведения исследований, результаты которых представлены в статье, заключается в аналитическом синтезе закона управления колёсным мобильным роботом при перемещении его по траектории, заданной опорными точками на поверхности в инерциальной системе координат. Проводится анализ существующих различных подходов к формированию заданной траектории движения мобильного робота, основанных на различной математической постановке задачи. Для достижения поставленной цели траектория движения рассматривается состоящей из отдельных интервалов, на каждом из которых решается задача оптимизации управления. Обоснован критерий оптимизации в общем виде и представление его в форме минимизируемого квадратичного функционала качества, удобного для аналитического синтеза управления. В качестве составляющих функционала рассматриваются параметры отклонения траектории движения мобильного робота от заданных точек пространства, а также прогнозируемые параметры вектора скорости и управляющее нормальное ускорение центра масс мобильного робота. При этом в каждой заданной точке пространства учитывается направление траектории на последующую точку, что обеспечивает оптимальную кривизну траектории при заданной скорости полета летательного аппарата. В результате аналитического синтеза получены математические зависимости для определения управляющего ускорения, которые позволяют в системе управления робота получить заданный оптимальный закон управления в виде угла поворота вектора скорости, обеспечивающий в конечном итоге минимальные затраты мобильным роботом энергии для различных условий его применения. Обоснованность предложенных теоретических положений подтверждается наглядным примером, в котором для упрощенной математической постановки задачи путем компьютерного моделирования рассчитаны оптимальные законы изменения направления вектора скорости и параметры траектории мобильного робота. На приведенных иллюстрациях показаны траектории движения робота через различные заданные точки пространства и закон изменения направления вектора скорости.

Ключевые слова: мобильный робот; траектория движения; минимизируемый функционал; управление; интервал оптимизации.

Введение

Интенсивное развитие и внедрение робототехнических комплексов и систем имеет ряд направлений, одно из которых представляет собой создание мобильных роботов (МР), которые могут самостоятельно перемещаться в пространстве. Классификация МР может производиться в соответствии с различными признаками в зависимости от среды перемещения, назначения, принципов построения системы управления и механических элементов конструкции. В особую группу МР можно выделить колесные МР, которые представляют практический интерес как подвижные платформы для различных систем, устройств и приборов. Колесные МР могут использоваться в различных областях чело-

веческой деятельности, например, в пожаротушении, видеонаблюдении, охране объектов, контроле опасного для людей загрязнения местности и т.д. К числу дистанционно управляемых колесных МР можно отнести и применяемые в свое время первые советские луноходы.

Робототехнический мобильный комплекс – это беспилотная машина, которая может перемещаться в пространстве и выполнять определенные функции, обусловленные её специализацией. Разработка мобильных робототехнических комплексов идет как по пути создания уникальных (механизированных) платформ, так и с применением шасси серийной автотракторной техники. Так, один из первых отечественных мобильных роботов был создан на базе шасси серийного мини-трактора «Беларус-132» производства ОАО «Сморгонский агрегатный завод» в 2015 г. (рис. 1).



Рис. 1. Общий вид робототехнического комплекса на базе шасси «Беларус-132»

В состав комплекса входят следующие навесные элементы: видеосистема для обеспечения вождения, бортовой компьютер, система телекоммуникации, специальное технологическое оборудование [1].

Конструктивно колесные МР принципиально близки к устройству автомобилей (тракторов), принципы построения которых достаточно хорошо известны и отработаны, включая математические модели их подсистем [2-4]. Однако, современные информационные системы и технологии позволяют перейти к созданию автономных систем управления МР, в том числе и беспилотных автомобилей, обладающих свойствами искусственного интеллекта. Несмотря на то, что эксплуатация беспилотного автотранспорта в условиях дорожного движения связана с решением ряда проблем не только технического характера, но и правового, психологического [5], работать над созданием систем управлением беспилотных автомобилей необходимо и в настоящее время. Перспективная система управления МР или беспилотным автомобилем должна представлять собой интеллектуальную систему управления, которая сама формирует цель управления и пути достижения этой цели. Одной из основных составляющих такой системы является динамическая экспертная система (ДЭС) [6], задачей которой является моделирование возможных результатов действия соответствующего управляющего сигнала в соответствии с задачами управления МР, внешними факторами и внутренним состоянием системы. Одна из задач, стоящих перед ДЭС интеллектуальной системы управления МР – прогнозирование оптимальной траектории, по которой должен перемещаться МР. Вид траектории движения МР может задаваться заранее, но во многих случаях задача изменения траектории движения МР может возникнуть внезапно под влиянием различных факторов.

Математическая формализация задачи

В общем случае математическая модель движения МР как динамической системы в пространстве состояний имеет вид векторно-матричного дифференциального уравнения вида

$$\dot{X}(t) = f(X, U, t), \quad X(t_0) = X_0, \quad (1)$$

где $X(t)$ – вектор состояния системы, $U(t)$ – вектор управлений, $f(X, t)$ – в общем случае заданная нелинейная векторная функция, t – текущее время, t_0 – начальный момент времени.

Задача оптимизации в общем случае сводится к минимизации функционала вида

$$J = \varphi(X_k, t_k) + \int_{t_0}^{t_k} F(X, U, t) dt. \quad (2)$$

В функционале (2) функция $j(X_k, t_k)$ характеризует требуемое положение объекта управления в конечный момент времени t_k , (в данном случае – прохождение МР заданной точки маршрута); $F(X, U, t)$ характеризует потери на управление и маневрирование МР. Таким образом, имеем известную задачу оптимизации Больца [7], которая решается либо на основе принципа максимума Понтрягина, либо с

помощью метода динамического программирования Беллмана. В теории применение данных методов хорошо известно, однако, при решении конкретных практических задач возникает ряд проблем. Так, при использовании метода Беллмана, приходится решать уравнения в частных производных, что для систем даже относительно небольшой размерности может оказаться неразрешимой задачей даже при использовании современных информационных технологий. В данном случае может оказаться более предпочтительным применение Принципа максимума, однако и его реализация требует обоснования дополнительных ограничений в виде условий трансверсальности и в любом случае всегда приводит к необходимости решения двухточечной краевой задачи, которая заключается в том, что часть граничных условий для решаемой системы обыкновенных дифференциальных уравнений задана в начальный момент времени, а другая часть – в конечный момент времени функционирования системы. Задача исследователя состоит в такой математической постановке задачи, при которой может быть получен реальный результат.

Определение оптимальной траектории и закона управления

Рассмотрим задачу последовательного прохождения МР через точки поверхности с заданными координатами. В работах [8-10] подобная задача решается для случая движения беспилотного летательного аппарата в воздушном пространстве. Рассмотрим применение основных идей, предложенных в работе [10] с учетом особенностей движения по горизонтальной поверхности МР или беспилотного автомобиля. В основе решения задачи лежит моделирование движения центра масс МР в поэтапно изменяющейся системе координат, что позволяет существенно упростить математическую постановку задачи и свести её к виду, решаемому аналитическими методами.

Особенностью формализации (представлении в виде, удобном для решения) задачи в данном случае является задание на каждом этапе движения МР (между заданными точками поверхности) прямоугольной системы координат (рис. 2)

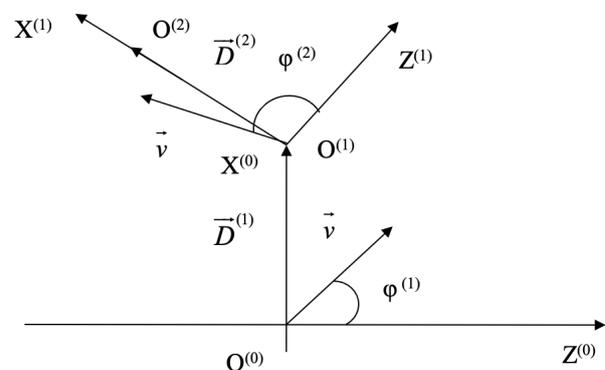


Рис. 2. Кинематическая схема движения МР

На рис. 2 представлена кинематическая схема перемещения МР в заданной $(O^{(i)}X^{(i)}Y^{(i)}Z^{(i)})$ инерциальной системе координат, где i – номер заданной точки поверхности, через которую должна пройти траектория МР. На рисунке обозначено \vec{v} вектор скорости МР. $\varphi^{(i)}$ – угол ориентации вектора скорости МР в i -й точке поверхности.

$\vec{D}^{(i)}$ – вектор дальности от начальной $(i-1)$ -й до конечной (i) -й точки i -го интервала траектории. $O^{(i)}$ – начало заданной инерциальной системы координат на i -м интервале траектории движения МР. В общем случае $i = 0, N$.

Движение центра масс МР на i -м интервале движения по горизонтальной поверхности описывается следующей системой линейных дифференциальных уравнений.

$$\left. \begin{aligned} \dot{x}^{(k)} &= v_x^{(k)}, & x^{(k)}(0) &= x_0^{(k)}, \\ \dot{z}^{(k)} &= v_z^{(k)}, & z^{(k)}(0) &= z_0^{(k)}, \\ \dot{v}_x^{(k)} &= a_x^{(k)}, & v_x^{(k)}(0) &= v_{x0}^{(k)}, \\ \dot{v}_z^{(k)} &= a_z^{(k)}, & v_z^{(k)}(0) &= v_{z0}^{(k)}. \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

В выражениях (3) обозначено: $x^{(i)}, z^{(i)}$ – координаты центра масс МР в заданной i -й системе координат; $v_x^{(i)}, v_z^{(i)}$ – проекции вектора скорости МР \vec{v} на оси i -й системы координат; $a_x^{(i)}, a_z^{(i)}$ – ускорения центра масс МР в i -й системе координат.

Если принять допущение о том, что скорость движения МР постоянна $|\vec{v}| = \text{const}$, а это в реальности, как правило, выполняется, то это позволяет существенно упростить математическую постановку задачи и привести её к виду, который даёт возможность получить аналитическое решение. С учетом сделанного допущения о постоянстве модуля скорости МР

$v_x^{(i)} = \sqrt{v^2 - (v_z^{(i)})^2}$, где $v = |\vec{v}|$. Это допущение позволяет существенно упростить задачу и привести её к виду, который позволяет получить аналитическое решение.

В данной математической постановке задачи критерий оптимальности зададим в виде минимизируемого функционала качества вида

$$J = \frac{1}{2} \left[n_1 (v_z^{(i)} - v_{zad}^{(i)})^2 + n_2 (z^{(i)} - z_{zad}^{(i)})^2 \right]_{t=t_k} + \frac{1}{2} \int_{t_0}^{t_i} n_3 (a_z^{(i)})^2 dt, \quad (4)$$

где t_i – момент времени, при котором МР достигает заданной i -й точки пространства. $v_{zad}^{(i)}$ – заданное значение проекции скорости МР на ось $O^{(i)}Z^{(i)}$, соответствующей инерциальной системы координат на i -м интервале в момент t_i . $v_{zad}^{(i)}$ – боковая координата заданной i -й точки траектории полета МР в момент t_i . n_1, n_2, n_3 – коэффициенты, которые задаются с учетом размерности параметров функционала (4). Целесообразно для приведения слагаемых выражения (4) к безразмерному виду задать их следующими значениями: $n_1 = \frac{1}{v_{\max}^2}, n_2 = \frac{1}{z_{\max}^2}, n_3 = \frac{1}{a_{\max}^2 (t_i - t_0)}$. Величины $v_{\max}, z_{\max}, a_{\max}$ вывоираются из условия реальных ограничений, накладываемых на движение МР. Выражение (4) представляет собой

традиционный для данного типа задач квадратичный функционал Летова-Калмана [6, 7].

В выражениях (3) непосредственно не представлен закон управления МР, которым является изменение угла ориентации вектора скорости $\varphi(t)$ в горизонтальной системе координат (угол отклонения руля в автомобиле). Однако, если предположить, что управлением в данном случае при решении задачи оптимизации является ускорение $a_z^{(i)}(t)$, то получаем известную классическую постановку задачи, для которой известно аналитическое решение [6, 7]. Определим оптимальное управление (боковое ускорение МР $a_z^{(i)}(t)$) на i -м интервале движения МР.

Решение задачи по определению оптимального бокового ускорения $a_z^{(i)}(t)$, которое минимизирует функционал (4), может быть получено путём применения различных методов математического программирования. В частности, в работе [11] на основе применения методов вариационного исчисления приведено решение похожей задачи, которое для данной постановки на каждом интервале оптимизации будет иметь следующий вид:

$$a_z(v_z, z, t) = -K_v(t)[v_z(t) - v_{zad}] - K_z(t)[z(t) - z_{zad}], \quad (5)$$

$$\text{где } K_v(t) = \frac{(1/n_2) + (1/n_1)(t_i - t)^2 + 1/3(t_i - t)^3}{Q(t_i - t)}, \quad (6)$$

$$K_z(t) = \frac{(1/n_1)(t_i - t) + 1/2(t_i - t)^2}{Q(t_i - t)}, \quad (7)$$

$$Q(t_i - t) = \left[\frac{1}{n_2} + \frac{1}{3}(t_i - t)^3 \right] \left[\frac{1}{n_1} + t_i - t \right] - \frac{1}{4}(t_i - t)^4. \quad (8)$$

В выражениях (14)-(17) обозначено $v_{zad} = v_{zad}^{(i)} = v_z^{(i)}(t_k) \cos \varphi_{zad}^{(k)}$, где $v_z^{(i)}(t_i)$ – значение проекции скорости МР на ось $O^{(i)}Z^{(i)}$ в момент окончания перемещения МР t_i на i -м интервале.

$\varphi_{zad}^{(i)}$ – заданный угол подхода МР к очередной заданной точке траектории $O^{(i)}$, определяемый ориентацией вектора \vec{v} относительно системы координат $(O^{(i)}X^{(i)}Z^{(i)})$ в соответствии с рис. 1.

$t_i - t = t_{ocm}$ – время, которое необходимо для достижения МР очередной заданной i -й точкой поверхности.

$$t_{ocm} = t_{ocm}^{(i)} = \frac{D^{(i)}}{|D|^{(i)}}. \quad (9)$$

$D^{(i)}$ – в данном случае представляет собой текущую дальность от центра масс МР до заданной точки $O^{(i)}$ на i -м интервале движения МР, $|D|^{(i)}$ – модуль скорости сближения МР с точкой $O^{(i)}$. В выражениях

(5)-(9) аргумент t для упрощения записи опущен.

В соответствии с рис. 2 и уравнениями (3) существует взаимно однозначное соответствие между переменными, определяющими управляющее воздействие на центр масс МР: $v_z^{(i)}$ и $\varphi^{(i)}$. $a_z^{(i)}$ - в данном случае можно считать следствием изменения $v_z^{(i)}(t)$ под действием управления $\varphi^{(i)}(t)$. В соответствии с полученным решением $\varphi^{(i)}(t)$ - искомый закон изменения угла поворота вектора скорости (рулевого колеса автомобиля) для движения МР по оптимальной траектории в соответствии с приведенной выше постановкой задачи.

Пример

В качестве примера рассмотрим изменение траектории движения МР с постоянной скоростью $v = 5$ м/с через заданные точки поверхности со следующими координатами: $x^{(0)} = z^{(0)} = 0$; $x^{(1)} = 100$ м, $z^{(1)} = 0$; $x^{(2)} = 150$ м, $z^{(2)} = -20$ м; $x^{(3)} = 250$ м, $z^{(3)} = 25$ м. На Рис. 3 представлены траектории движения (Рис. 3а) и угол ориентации вектора скорости МР (Рис. 3б) на двух участках движения МР. Результаты получены путём математического моделирования в среде Mathcad.

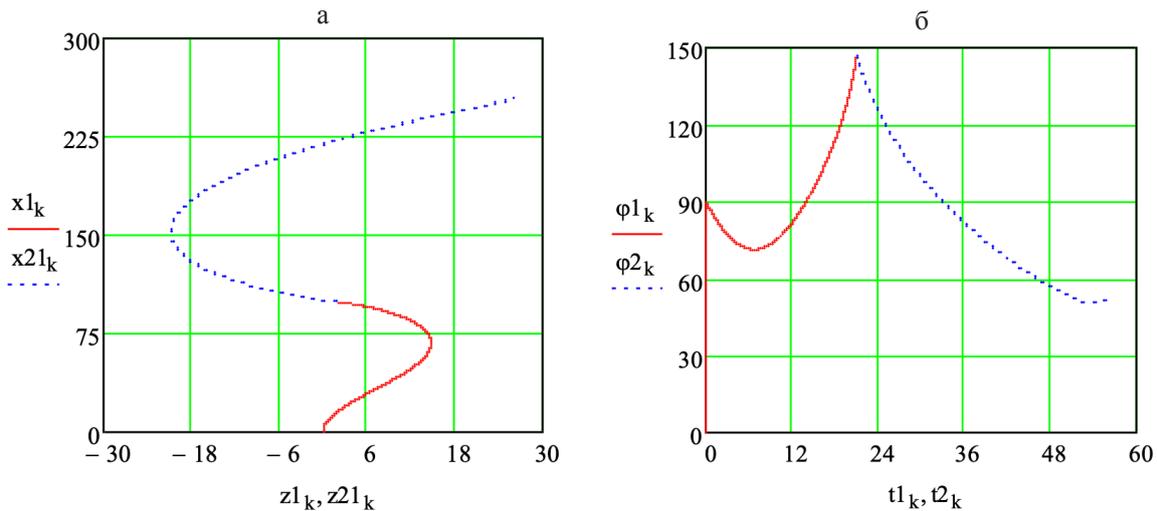


Рис. 3. Траектория движения и угол ориентации вектора скорости МР

Как показали результаты моделирования данного примера, величины отклонений траектории центра масс МР от заданных промежуточных точек пространства составили от 1 до 2 метров в зависимости от углов $\varphi_{зад}^{(k)}$ и ориентации вектора скорости \vec{v} . Эти отклонения обусловлены сделанными допущениями при математической постановке задачи аналитического синтеза. На практике в ряде случаев такие результаты могут оказаться вполне приемлемыми.

Заключение

Таким образом, получено решение обратной задачи динамики, которая в данном случае состоит в определении закона изменения угла поворота вектора скорости МР (руля автомобиля) необходимого для получения требуемой траектории движения МР.

Предложенный подход к решению задачи синтеза оптимальной траектории и закона управления МР позволяет на этапе предварительного проектирования выявить основные закономерности и параметры, необходимые для обоснования общей структуры системы управления МР или беспилотного автомобиля.

Для практической реализации данного закона управления в интеллектуальном блоке МР необходимо учесть конструктивные особенности МР, формализованные в виде его математической модели для конкретного типа МР, в которой учтены его динамические характеристики, нелинейности, ограничения и прочие особенности. Это в свою очередь представляет собой отдельную задачу, относящуюся к классу задач синтеза регуляторов при заданном входном сигнале и заданной математической модели объекта управления.

ЛИТЕРАТУРА

1. Татур, М.М. Концепция построения системы управления мобильным роботом на платформе серийного мини-трактора «Беларус 132» / М.М. Татур // Системный анализ и прикладная информатика. – 2015. – № 2. – С. 43-47
2. Селифонов, В.В. Теория автомобиля / В.В. Селифонов, А.Ш. Хусаинов, В.В. Ломакин. – М.: МГТУ «МАМИ». – 2007. – 102 с.
3. Мартыненко, Ю.Г. Управление движением мобильных колесных роботов / Ю.Г. Мартыненко. – М.: МГУ им. М.В. Ломоносова, 2005. – 80 с.
4. Бурдаков, С.Ф. Системы управления движением колесных роботов / С.Ф. Бурдаков, И.В. Мирошник, Р.Э. Стельмаков. – Санкт-Петербург: «Наука». – 2001. – 266 с.
5. Капский, Д.В. Определение потерь в дорожном движении / Д.В. Капский, Ю.А. Врубель, Е.Н. Кот. Мн.: БНТУ, 2006. – 252 с.

6. **Методы классической и современной теории автоматического управления: в 5 т.** / под ред. К.А. Пупкова и Н.Д. Егупова. – М.: Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2004. – 5 т.
7. **Справочник** по теории автоматического управления / под ред. А. А. Красовского. – М.: Наука, 1987. – 712 с.
8. **Лобатый, А.А.** Оптимальное программное управление беспилотным летательным аппаратом / А.А. Лобатый, Ю.Ф. Икуас // Наука и техника. – 2012. – № 3. – С. 17– 20. Физматлит, 2009. – 556 с.
9. **Лобатый, А.А.** Формирование оптимальных параметров траектории пролета беспилотного летательного аппарата через заданные точки пространства / А.А. Лобатый, А.Ю. Бумай, Ду Цзюнь // Доклады БГУИР, – 2019. – № 7-8. – С. 50–57.
10. **Лобатый, А.А.** Аналитический синтез управляющего ускорения беспилотного летательного аппарата / А.А. Лобатый, А.Ю. Бумай, С.С. Прохорович // Наука и Техника, – 2021. – Т. 20. – № 4. – С. 338–344.
11. **Брайсон, А.** Прикладная теория оптимального управления / А. Брайсон, Хо Ю-ши. – М.: Мир, 1972. – 544 с.

REFERENCES

1. **Tatur, M.M.** Kontsepsiya postroeniya sistemy upravleniya mobil'nyim robotom na platforme seriinogo mini-traktora «Belarus 132» / M.M. Tatur // Sistemnyi analiz i prikladnaya informatika. – 2015. – № 2. – S. 43–47
2. **Selifonov, V.V.** Teoriya avtomobilya / V.V. Selifonov, A.Sh. Khusainov, V.V. Lomakin. – М.: MGTU «MAMI». – 2007. – 102 s.
3. **Martynenko, Yu.G.** Upravlenie dvizheniem mobil'nykh kolesnykh robotov / Yu.G. Martynenko. – М.: MGU im. M.V. Lomonosova, 2005. – 80 s.
4. **Burdakov, S.F.** Sistemy upravleniya dvizheniem kolesnykh robotov / S.F. Burdakov, I.V. Miroshnik, R.E. Stel'makov. – Sankt-Peterburg: «Nauka». – 2001. – 266 s.
5. **Kapski, D.V.** Opredelenie poter' v dorozhnom dvizhenii / D.V. Kapskii, Yu.A. Vrubel', E.N. Kot.. Mn.: BNTU, 2006. – 252 s.
6. **Metody klassicheskoi i sovremennoi teorii avtomaticheskogo upravleniya: v 5 t.** / pod red. K.A. Pupkova i N.D. Egupova. – М.: Izdatel'stvo MGTU im. N.E. Baumana, 2004. – 5 t.
7. **Spravochnik po teorii avtomaticheskogo upravleniya** / pod red. A. A. Krasovskogo. – М.: Nauka, 1987. – 712 s.
8. **Lobaty, A.A.** Optimal'noe programmnoe upravlenie bespilotnym letatel'nyim apparatom / A.A. Lobaty, Yu.F. Ikuas // Nauka i tekhnika. – 2012. – № 3. – S. 17– 20. Fizmatlit, 2009. – 556 s.
9. **Lobaty, A.A.** Formirovanie optimal'nykh parametrov traektorii proleta bespilotnogo letatel'nogo apparata cherez zadannye tochki prostranstva / A.A. Lobaty, A.Yu. Bumai, Du Tszyun' // Doklady BGUIR, – 2019. – № 7-8. – S. 50–57.
10. **Lobaty, A.A.** Analiticheskii sintez upravlyayushchego uskoreniya bespilotnogo letatel'nogo apparata / A.A. Lobaty, A.Yu. Bumai, S.S. Prokhorovich // Nauka i Tekhnika, – 2021. – Т. 20. – № 4. – S. 338–344.
11. **Braison, A.** Prikladnaya teoriya optimal'nogo upravleniya / A. Braison, Kho Yu-shi. – М.: Mir, 1972. – 544 s.
- A.A. LOBATY, D. V. KAPSKI, A.K. IBRAHIM, I.A. SHISHKOVETS*

ANALYTICAL FORECASTING OF THE OPTIMAL TRAJECTORY OF MOBILE ROBOT

Belarusian National Technical University

The purpose of the research, the results of which are presented in the article, is the analytical synthesis of the law of control of a wheeled mobile robot while it moves along a trajectory specified by reference points on the surface in an inertial coordinate system. The analysis of the existing various approaches to the formation of a given trajectory of movement of a mobile robot, based on a different mathematical formulation of the problem, is carried out. To achieve this goal, the trajectory of motion is considered to consist of separate intervals, at each of which the control optimization problem is solved. The optimization criterion in general form and its representation in the form of a minimized quadratic quality functional, convenient for analytical synthesis of control, are substantiated. As components of the functional, the parameters of the deviation of the trajectory of the mobile robot from the given points in space are considered, as well as the predicted parameters of the velocity vector and the controlling normal acceleration of the mobile robot mass center. In this case, at each given point in space, the trajectory direction to the next point is taken into account, which ensures the optimal curvature of the trajectory at a given flight speed of the aircraft. As a result of analytical synthesis, mathematical dependences were obtained to determine the control acceleration, which allow in the robot control system to obtain a given optimal control law in the form of the rotation angle of the velocity vector, which ultimately ensures the minimum energy consumption by the mobile robot for various conditions of its use. The validity of the proposed theoretical provisions is confirmed by an illustrative example, in which, for a simplified mathematical formulation of the problem, the optimal laws of changing the direction of the velocity vector and the parameters of the trajectory of a mobile robot are calculated by means of computer modeling. The illustrations show the trajectories of the robot through various given points in space and the law of changing the direction of the velocity vector.

Keywords: mobile robot; motion trajectory; minimized functional; control; optimization interval.



Лобатый Александр Александрович, доктор технических наук, профессор. Профессор Белорусского национального технического университета. Проводит исследования в области анализа и синтеза систем управления, в том числе – беспилотных мобильных роботов. Автор и соавтор множества научных статей, книг и учебных пособий.

Lobaty A.A., doctor of Science, Professor. Professor at the Belarusian National Technical University. Conducts research in the areas of analysis and synthesis of control systems including unmanned vehicles. He is the author and co-author of many articles in scientific journals, conferences and books.

Тел: +375 (29) 346-82-56

Email: lobaty@bntu.by



Капский Денис Васильевич, доктор технических наук, доцент. Декан автотракторного факультета Белорусского национального технического университета. Проводит исследования в области организации движения, технических средств регулирования и информационно-алгоритмического обеспечения управления движением, транспортного планирования и математического моделирования процессов транспортных систем.

Kapski D. V., doctor of Science, Associate Professor. Dean of the Automotive and Tractor Faculty of the Belarusian National Technical University. Conducts research in the field of traffic management, technical means of regulation and information and algorithmic support for traffic control, transport planning and mathematical modeling of transport systems processes

Тел: +375 (29) 686-53-23

Email: d.kapsky@gmail.com



Ибрагим Али Камель, аспирант кафедры «Робототехнические системы» Белорусского национального технического университета. Проводит исследования в области анализа и синтеза стохастических систем управления применительно к мобильным робототехническим системам.

Ibrahim A.K., PhD student of “Robotic systems” department of Belarusian National Technical University. Conducts research in the areas of analysis and synthesis of stochastic control systems applying to robotic systems.

Тел: +375 (29) 102-55-22.

Email: alik.ibrahim2015@gmail.com



Шишковец Инесса Александровна, магистрант кафедры «Робототехнические системы» Белорусского национального технического университета. Проводит исследования в области анализа систем управления применительно к беспилотным мобильным робототехническим системам.

Shishkovets I.A., Master’s student of the Department of Robotic Systems of the Belarusian National Technical University. Conducts research in the field of analysis of control systems in relation to unmanned mobile robotic systems.

Тел: +375 (29) 114-18-92

Email: inessareen@gmail.com