

ДИНАМИКА УПРАВЛЯЕМОГО ДВИЖЕНИЯ МОБИЛЬНЫХ КОЛЕСНЫХ РОБОТОВ ПО СИГНАЛУ ОПТРОННОЙ МАТРИЦЫ

© 2009 В.В. Бартенев, С.Ф. Яцун

Курский государственный технический университет

Поступила в редакцию 20.11.2009

Рассмотрена задача управления движением колесных мобильных роботов по сигналу оптронной матрицы. Выделены критерии качества управляемого движения таких роботов, кратко рассмотрен формализм неголономной механики, применяемый для построения их математических моделей. Представлена математическая модель трехколесного мобильного робота с двумя независимыми ведущими колесами, предложен алгоритм управления его движением по сигналу оптронной матрицы. Моделирование движения такого робота, управляемого по сигналу оптронной матрицы и оптронной линейки, осуществлено посредством разработанного программного средства. Приведены результаты моделирования, показаны преимущества предложенного алгоритма.

Ключевые слова: колесные мобильные роботы, управление движением, оптронная матрица

В настоящее время развитие мобильной робототехники стимулируется расширением областей ее применения в деятельности человека, сопряженной в общем случае с риском для его здоровья и жизни. Это определяет актуальность развития методов управления движением мобильных роботов (МР), испытания которых в рамках экспериментов и соревнований проводят на специальных полигонах, оснащенных, например, инфракрасными маяками, поверхностью с контрастной полосой. Качество автономно управляемого движения на полигонах определяется его скоростью, точностью и устойчивостью. При этом все эти характеристики определяют время выполнения задания, которое фиксируется по окончании его выполнения. В случае невыполнения задания МР добавляется «штрафное» время, снижающее итоговый результат. Одним из классов МР являются колесные МР. Такие роботы не могут эффективно передвигаться по негладким поверхностям с препятствиями. Однако в случае с гладкими, подготовленными поверхностями, как отмечено в [5], применение колесных МР в сравнении с другими их видами (например, шагающими) более оправдано в силу превосходства по экономичности скорости передвижения и простоте управления.

1. Математическая модель мобильного колесного робота. Движение МР может быть сопряжено с различными негативными динамическими эффектами, к которым в соответствии с [2] можно отнести заносы на поворотах,

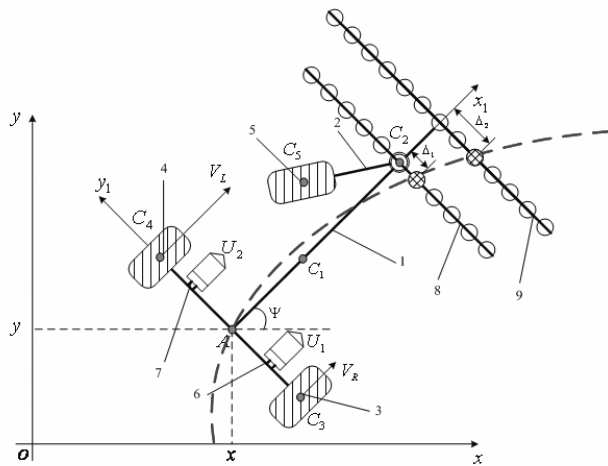
неустойчивость прямолинейного движения, самовозбуждение интенсивных колебаний ролевого колеса («шимми») и т.д. С целью минимизации возможности появления таких эффектов и их интенсивности при разработке колесных МР необходимо, прежде всего, учитывать результаты научных исследований неголономных систем. Это позволит построить адекватную математическую модель (ММ) движения робота, что в свою очередь обеспечит возможность разработки алгоритмов, реализующих управление движением реального объекта с требуемым качеством. В этой связи в качестве базы построения уравнений движения МР удобно использовать форму Лагранжа-Максвелла для электромеханических неголономных систем, подробно рассмотренную в [3], которая в зависимости от метода исключения вектора неопределенных множителей Лагранжа преобразуется в формы уравнений Маджи, Чаплыгина, Воронца.

Для исследований в рамках настоящей работы была выбрана ММ трехколесного МР с двумя независимыми ведущими колесами (ТКМР). ТКМР обладает высокой маневренностью, с кинематической точки зрения способен обрабатывать любую непрерывную траекторию. Связь управления поступательным и вращательным движениями вносит элемент нелинейности в систему. Из перечисленного следует, что выбранная модель является показательной для целей исследования динамики МР. Конструктивная схема ТКМР представлена на рис. 1. Следует отметить, что расположение ведущих колес позади центра масс C_1 является принципиальной конструктивной особенностью, обеспечивающей в соответствии с [2] устойчивое прямолинейное движение

Бартенев Виталий Владимирович, аспирант. E-mail: leaderguit@mail.ru

Яцун Сергей Федорович, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой теоретической механики и мехатроники. E-mail: jatsun@kursknet.ru

робота при любых скоростях. В случае, когда центр масс находится позади ведущих колес, устойчивое движение ТКМР по прямой возможно только до некоторой определенной скорости.



1 - шасси, 2 - вилка роуляющего колеса, 3, 4 - ведущие колеса, 5 - роуляющее колесо, 6, 7 - электродвигатели, 8, 9 - оптронные линейки

Рис. 1. Конструктивная схема трехколесного МР с двумя ведущими колесами

Система дифференциальных уравнений, описывающая движение ТКМР, выведенная на базе формы Маджи для неголономных систем и тождеств, представленных в [1, 3], имеет следующий вид:

$$\begin{cases} \dot{x} = V \cos \psi \\ \dot{y} = V \sin \psi \\ \dot{\psi} = \Omega \\ \dot{V} = \frac{nc}{rRm}(U_1 + U_2) + \frac{m_1 a \Omega^2}{m} - \frac{2n^2 c^2}{r^2 Rm} V - \mu V \\ \dot{\Omega} = \frac{nc l}{r R J}(U_1 - U_2) - \frac{m_1 a V \Omega}{J} - \frac{2n^2 c^2 l^2}{r^2 R J} \Omega - \mu \frac{l^2}{r^2} \Omega \end{cases}, \quad (1)$$

где x, y – координаты точки A в системе O_{xy} ; ψ – угол поворота шасси 1 вокруг вертикали относительно оси x ; V – скорость точки A ; Ω – угловая скорость платформы; n – передаточное число редукторов; c – коэффициент электромеханического взаимодействия; $l = AC_3 = AC_4$ – половина расстояния между ведущими колесами робота; r – радиус ведущих колес; R – омическое сопротивление цепи роторов;

$m = m_1 + 2m_k + 2\frac{J_y}{r^2}$; m_1 – масса платформы; m_k – суммарная масса ротора электродвигателя и ведущего колеса; $J_y = J_{ky} + n^2 J_{ry}$ – «приведенный» момент инерции колеса; J_{ky} – момент инерции колеса относительно горизонтальной

оси; J_{ry} – момент инерции ротора электродвигателя; $J = J_1 + 2J_{kz} + (m - m_1)l^2 + m_1 a^2$; J_1 – момент инерции платформы относительно вертикальной оси, проходящей через центр масс C_1 ; J_{kz} – момент инерции ведущего колеса относительно вертикальной оси; $a = AC_1$ – расстояние от точки A до центра масс C_1 ; U_1, U_2 – управляющие напряжения; μ – параметр, пропорциональный коэффициенту сил вязкого трения. Следует отметить, что ММ предполагает ряд допущений, которые рассмотрены в [3].

2. Алгоритм управления движением по сигналу оптронной матрицы. ММ была реализована в программном средстве, эмулирующем движение ТКМР вдоль S-образной кривой (полосы) по сигналу оптронной линейки и оптронной матрицы. Интерфейс разработанного приложения представлен на рис. 2.

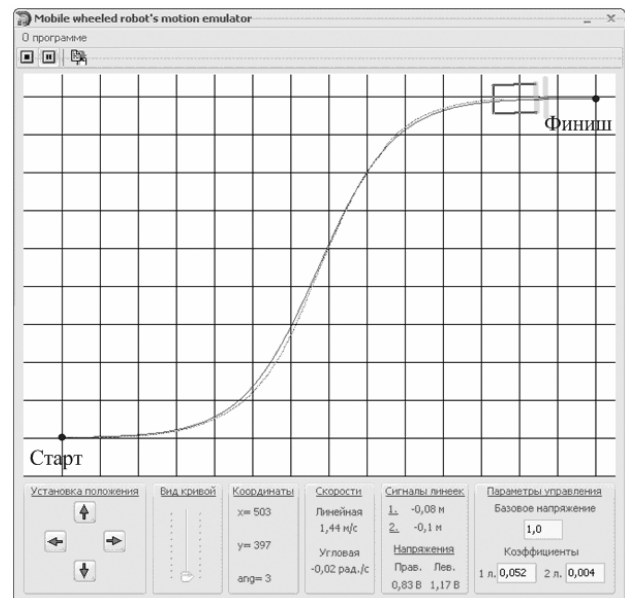


Рис. 2. Интерфейс разработанного программного приложения

Управление движением ТКМР осуществляется по принципам управления с обратной связью с П-регулятором. В случае использования в качестве сенсора оптронной линейки (8 или 9) расчет управляющих напряжений U_1, U_2 в соответствии с [4] осуществляется следующим образом:

$$\begin{aligned} U_1 &= U_0 - k\Delta \\ U_2 &= U_0 + k\Delta \end{aligned}, \quad (2)$$

где Δ – сигнал оптронной линейки (принимает значение из $\{\Delta_1, \Delta_2\}$); U_0 – базовое напряжение; k – пропорциональный коэффициент.

Алгоритм управления движением ТКМР в этом случае представлен блок-схемой на рис. 3. Следует отметить, что сигнал линейки

может не поступать, если контрастная полоса проходит между двумя соседними фотодатчиками, не затемняя освещаемые светодиодами участки поверхности.

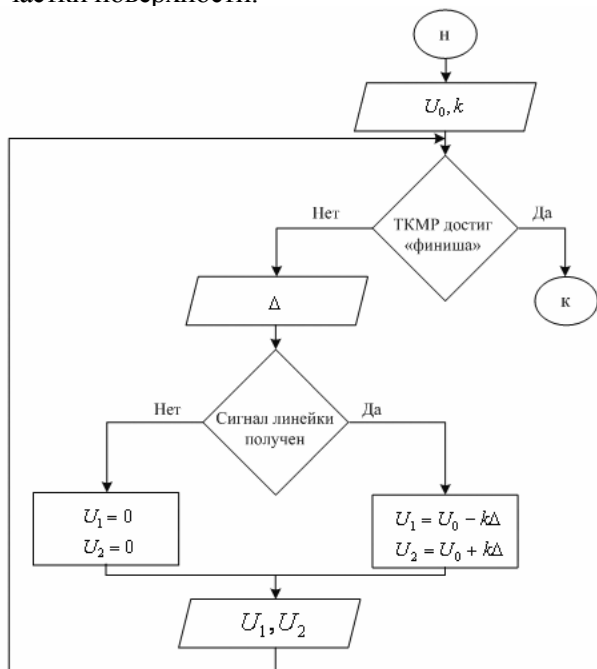


Рис. 3. Блок-схема алгоритма управления движением по сигналу оптронной линейки

Для реализации управления движением по сигналу оптронной матрицы предложен алгоритм, блок-схема которого представлена на рис. 4. Пропорциональные коэффициенты k_1, k_2 имеют такой же смысл, как и в управлении по сигналу линейки (2). Для линеек 8 и 9 они будут различными в силу расположения на различном расстоянии от центра вращения платформы, которое приводит к различию сигналов линеек при определении единственного значения ошибки ориентации. Различие в расстоянии от центра вращения также определяет то, что линейка 9 длиннее линейки 8 и содержит больше датчиков (линейка 9 вмещает 13 шт., линейка 8 – 11).

3. Моделирование движения мобильного колесного робота. Для целей исследования динамики движения ТКМР параметры ММ были инициализированы значениями, представленными в таблице 1. На базе инициализированной ММ, реализованной в разработанном приложении, были проведены два эксперимента. В первом из них исследовалось управляемое движение ТКМР по сигналу оптронной линейки 8, во втором – по сигналу оптронной матрицы (линейки 8 и 9 образуют матрицу). Задание ТКМР при этом заключалось в перемещении из точки «Старт» в точку «Финиш» по S-образной кривой. Начальные условия: $x=40, y=40, \psi=0, V=0, \omega=0$.

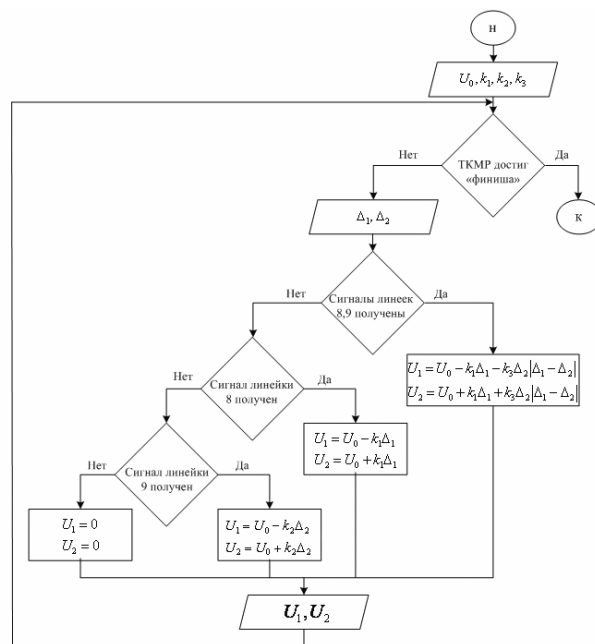


Рис. 4. Блок-схема алгоритма управления движением по сигналу оптронной матрицы

Таблица 1. Параметры математической модели

Параметр	Значение	Параметр	Значение
m_1	4,15 кг	n	79 : 1
m_k	1,1 кг	c	1
J_1	0,7 кг·м ²	l	0,2 м
J_{kz}	0,00014 кг·м ²	R	1 Ом
J_{ky}	0,00028 кг·м ²	a	0,15 м
J_{ry}	0,00003 кг·м ²	r	0,075 м
μ	0,1		

Параметр U_0 определяют максимальную скорость, которую может развить ТКМР. В обоих случаях $U_0=3,2\hat{A}$. Значения пропорциональных коэффициентов определялись экспериментально, исходя из оцениваемого визуального качества движения ТКМР без потери контрастной полосы. Были получены следующие значения: $k=0,4, k_1=0,248, k_2=0,246, k_3=0,0019$. Величины, рассчитываемые в процессе экспериментов, являются дискретными (частота дискретизации составляет 4 Гц). Точки на графиках изменения этих величин соединены линиями для наглядности. Точность отработки траектории в обоих экспериментах является достаточно высокой (рис. 5). Однако в первом из них движение МКРТ после прохождения поворотов является неустойчивым – робот «раскачивается». Во втором случае МКРТ движется устойчиво на протяжении всей траектории. О различной устойчивости движения ТКМР свидетельствуют графики

изменения угловой скорости (рис. 6). Средняя скорость ТКМР во втором случае была выше, чем в первом на 18%. Это достигнуто в определенной степени в силу того, что во втором

случае существенно меньше «провалов» скорости (рис. 7), что определяется повышением вероятности получения сенсорного сигнала за счет использования оптронной матрицы.

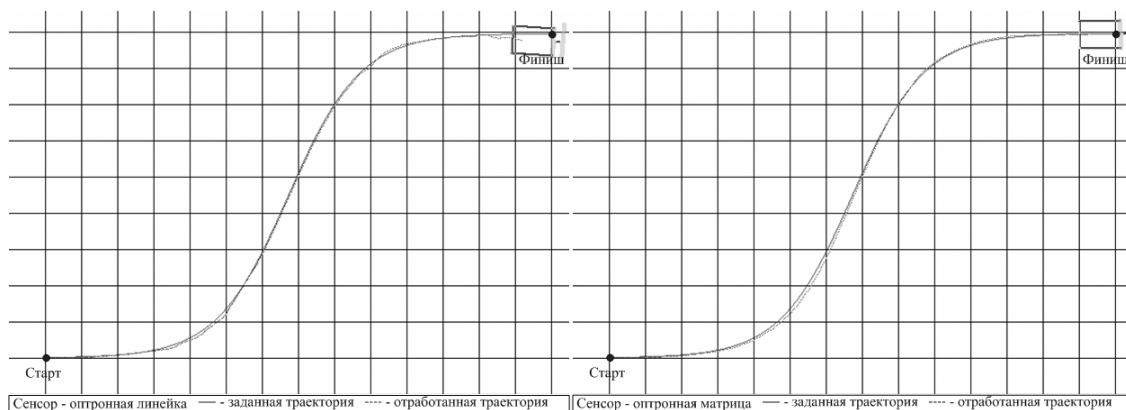


Рис. 5. Заданная и отработанная траектории

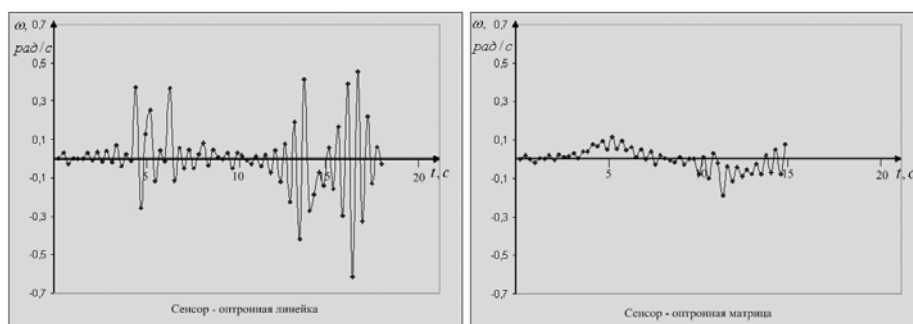


Рис. 6. Угловая скорость ТКМР

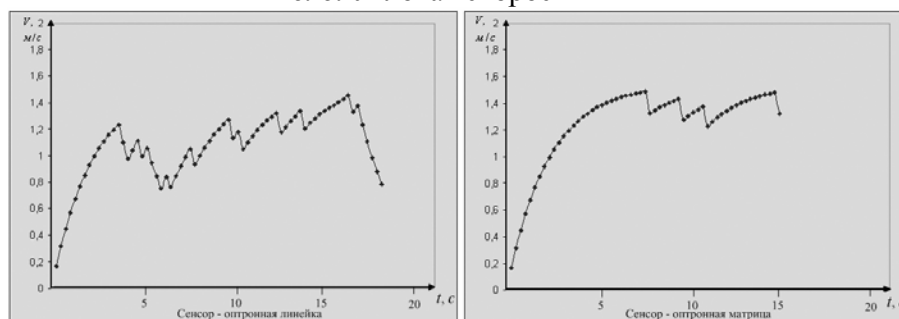


Рис. 7. Скорость ТКМР

Графики сигналов оптронной линейки и оптронной матрицы представлены на рис. 8, 9. Отсутствие линий между точками свидетельствует о том, что сигнал не был получен. Использование двух сигналов одновременно уменьшает число тактов без расчета управляющих напряжений. Графики изменения управляющих напряжений представлены на рис. 10, 11. Для реализации первого режима управления необходим аккумулятор с выходным напряжением не менее 9 В, для реализации второго – 6 В. Кроме того, во втором режиме нет необходимости менять знак

напряжений, что способствует энергосбережению в системе, так как не прерывается заданные изначально направления вращения якорей, колес и шестерен редукторов.

Выводы: предложенный в работе алгоритм управления движением ТКМР по сигналу оптронной матрицы по сравнению с соответствующим алгоритмом управления по сигналу оптронной линейки, реализующим такие же принципы управления, обеспечивает существенно более качественную отработку заданной траектории по критериям быстродействия и устойчивости.

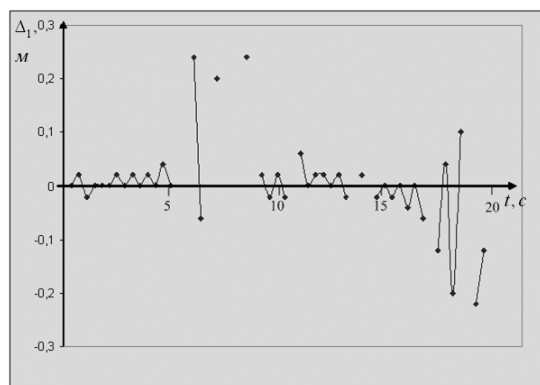


Рис. 8. Сигнал оптронной линейки

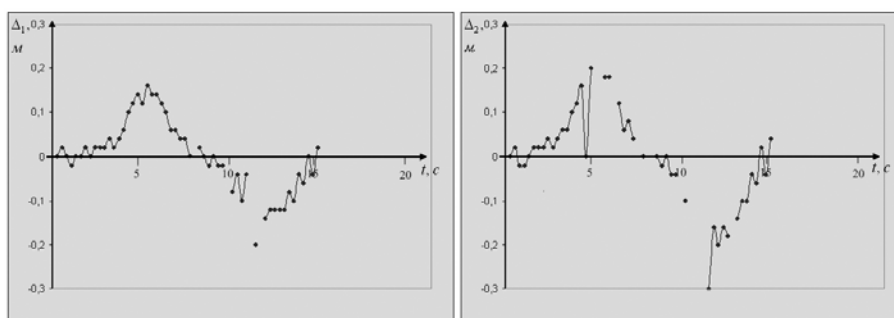


Рис. 9. Сигнал оптронной матрицы

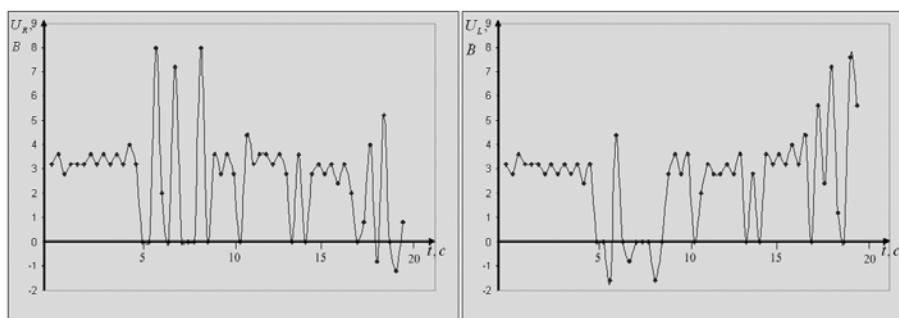


Рис. 10. Управляющие напряжения в первом эксперименте

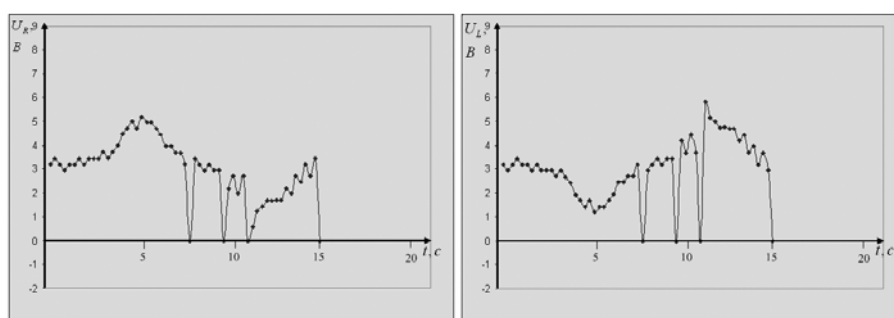


Рис. 11. Управляющие напряжения во втором эксперименте

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Девянин, Е.А. О движении колесных роботов // Докл. науч. школы-конференции «Мобильные роботы и мехатронные системы». – 1998. – С. 169-200.
2. Мартыненко, Ю.Г. Динамика мобильных роботов // Соросовский образовательный журнал. – 2000. – №5. – С. 110-116.
3. Мартыненко, Ю.Г. Управление движением мобильных колесных роботов // Фундаментальная и прикладная математика. – 2005. – №8. – С. 29-80.

4. Мартыненко, Ю.Г. Управление автономным движением мобильного робота МЭИ / Ю.Г. Мартыненко, А.И. Кобрин, Д.М. Гусев и др. // Докл. науч. школы-конференции «Мобильные роботы и мехатронные системы». – 1999. – С. 58-80.
5. Юревич, Е.И. Основы робототехники. 2-е изд. – Спб.: ВХВ-Петербург, 2005. – 416 с.

DYNAMICS OF MOBILE WHEELED ROBOTS CONTROLLED MOTION ON THE BASE OF OPTRON MATRIX SIGNAL

© 2009 V.V. Bartenev, S.F. Yatsun

Kursk State Technical University

The problem of wheeled mobile robots motion control on the base of optron matrix signal is considered. The measures of robots controlled motion quality are defined. The formalism of nonholonomic mechanics is considered. It's applied for development of the robots mathematical models. The mathematical model of the three-wheeled mobile robot with two independent driving wheels is presented. The algorithm of the robots motion control on the base of optron matrix signal is offered. The modeling of the robots controlled motion what's implemented on the base of optron matrix signal and optical ruler is carried out by the use of the developed software. The results of modeling and advantages of offered algorithm are given.

Key words: *wheeled mobile robots, controlled motion, optron matrix*