

УДК 629.053

## СИСТЕМА ПОЗИЦИОННОГО УПРАВЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЕМ КОЛЕСНОГО МЕХАНИЗМА

*Г.Н. Рогачев, Е.С. Учаев*

Самарский государственный технический университет  
443100, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244  
E-mail: grogachev@mail.ru

*Рассматривается проблема управления движением колесных механизмов. Проведен анализ известных способов управления движением. Показана их низкая эффективность при наличии неконтролируемых возмущений. Разработана система позиционного управления движением колесного механизма, обладающая рядом преимуществ перед альтернативными решениями.*

**Ключевые слова:** *роботизированная система, колесный механизм, программные алгоритмы, позиционные алгоритмы, гибридный регулятор.*

Автономные роботизированные системы на базе колесных механизмов в настоящее время используются весьма широко. Они нашли свое применение там, где пребывание человека вредно для его здоровья, опасно для жизни или просто невозможно. Примером подобных систем могут служить роботы, выполняющие задачи по разминированию, разведке, выполнению работ во вредных условиях. Актуальна задача создания системы управления колесным механизмом, производящей его перевод из заданного начального состояния в требуемое конечное.

Моделью объекта управления является система нелинейных обыкновенных дифференциальных уравнений [1]

$$\begin{cases} \dot{x} = v \cos \theta \\ \dot{y} = v \sin \theta \\ \dot{\theta} = \omega \end{cases} \quad (1)$$

В (1)  $x$  и  $y$  – это координаты центра задней оси,  $\theta$  – курсовой угол, угловая  $\omega$  и линейная  $v$  скорость – два сигнала управления. Наблюдаемыми величинами являются фазовые координаты  $x$ ,  $y$  и  $\theta$ . Объект изображен на рис. 1.

Существует множество алгоритмов решения задачи перевода объекта (1) из любого начального состояния в заданное координатами  $x$  и  $y$  конечное. Они делятся на два класса: программные и позиционные.

Достоинством программных алгоритмов является возможность организации оптимального по заданным критериям управления. Основным их недостатком является отсутствие обратной связи. При этом любое возмущающее воздействие, даже малое, способно вызвать значительные отклонения от цели, которое определяется выражением

$$E = ((x_t - x)^2 + (y_t - y)^2)^{0.5}, \quad (2)$$

где  $[x_t, y_t]$  – координаты цели,  $[x, y]$  – координаты положения объекта.

---

*Геннадий Николаевич Рогачев (к.т.н., доц.), доцент каф. автоматики и управления в технических системах.*

*Евгений Сергеевич Учаев, магистрант.*

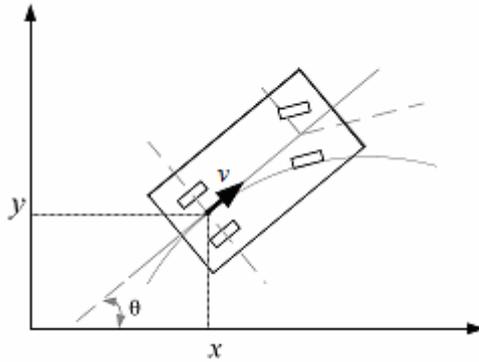


Рис. 1. Колесный механизм

Был рассмотрен программный алгоритм [2] перевода объекта в заданное положение по траектории, имеющей минимальную длину. Этот алгоритм определяет значения управляющих воздействий на интервалах их постоянства и длительности самих интервалов. Количество интервалов зависит от начального и конечного состояний и лежит в диапазоне от одного до пяти. При исследовании системы управления на базе этого программного алгоритма были выявлены крайне жесткие требования к обеспечению моментов переключения управляющих воздействий. Так, на рис. 2 приведены результаты работы программного алгоритма управления перемещением объекта управления (1) из точки  $[4, -4, \pi]$  в точку  $[0, 0, 0]$ . На этом рисунке траектория 1 соответствует точному соблюдению моментов переключения. Движение по траекториям 2, 3 происходит, если переключение с первого интервала управления на второй выполняется с погрешностью  $\pm 0,2$  с, что приводит к погрешности достижения цели  $E_1=1.02$  и  $E_2=0.99$ . Изменение управляющих воздействий во времени приведено на рис. 3.

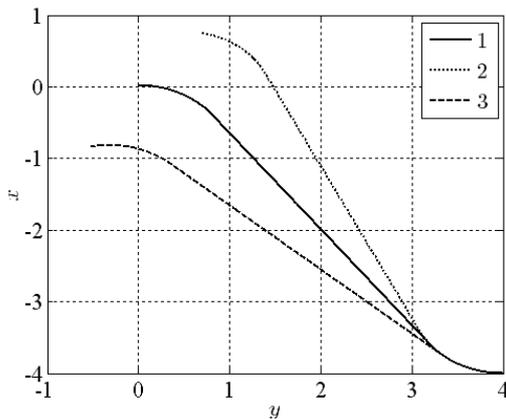


Рис. 2. Траектории движения колесного механизма

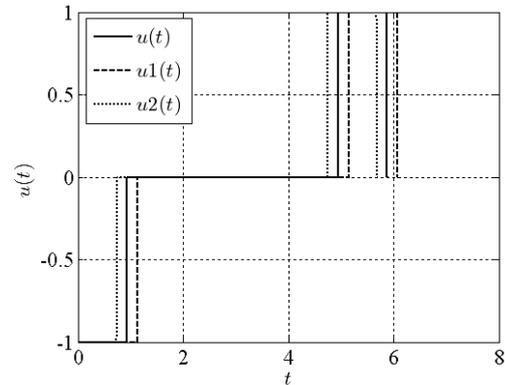


Рис. 3. Изменение управляющих воздействий во времени

Известные позиционные алгоритмы за счет использования обратных связей по координатам способны преодолеть возмущения, но не являются оптимальными и тем самым уступают программным. Трудность применения обратных связей в системе управления объектом (1) состоит в том, что его невозможно стабилизировать

непрерывной обратной связью [3], необходим гибридный закон управления. Был рассмотрен гибридный позиционный алгоритм [3], произведено его исследование. В ходе исследования была обнаружена проблема, связанная с «параллельной парковкой». Результат движения из точки  $[0,4,\pi]$  в точку  $[0,0,0]$  приведен на рис. 4.

Был также рассмотрен позиционный алгоритм [4]. Этот гибридный алгоритм осуществляет выбор одного из четырех позиционных законов управления в зависимости от положения объекта управления, определяя зоны переключения в собственной системе координат регулятора. В ходе исследования этого регулятора был обнаружен ряд «критических» зон, движение внутри которых выглядит нелогично. Результат движения из точки  $[0,50,0]$  в точку  $[0,0,0]$  приведен на рис. 5.

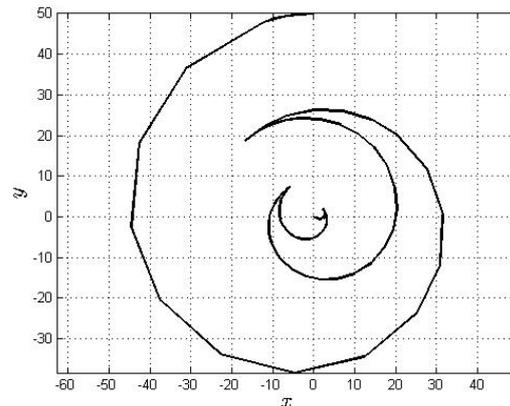
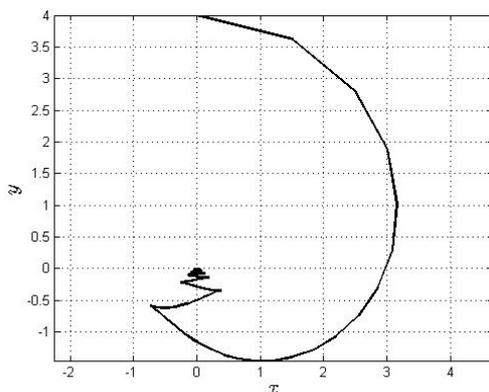


Рис. 4. Траектория движения колесного механизма (гибридный позиционный алгоритм [3])

Рис. 5. Траектория движения колесного механизма (гибридный позиционный алгоритм [4])

Для создания универсального алгоритма, объединяющего достоинства программного и позиционного вариантов управления, был использован принцип позиционного регулирования с моделью объекта управления в контуре.

Спроектированный регулятор в своей основе имеет программный алгоритм перевода объекта в заданное состояние по траектории минимальной длины. В отсутствие помех программный регулятор в состоянии справиться с поставленной задачей. При действии возмущений объект отклоняется от расчетной траектории. Для контроля этого в регуляторе реализована модель объекта управления, с помощью которой периодически рассчитывается требуемое положение объекта и сравнивается с реальным. Если объект заметно отклонился от расчетной траектории, то необходимо вновь произвести расчет оптимальной программы движения из текущего положения и продолжить движение по новой оптимальной траектории. Аналогично разрешается ситуация оперативного вмешательства, когда требуется срочно изменить координаты цели назначения. Структура системы автоматического управления приведена на рис. 6, Stateflow-диаграмма вычислительного блока – на рис. 7.

Вербальное описание системы правил регулятора выглядит следующим образом:

- если объект управления отклонился от расчетной траектории движения, то следует произвести перерасчет управляющих воздействий и определить новую траекторию движения из текущего положения;
- если произошла смена цели, запомнить новое положение цели, произвести перерасчет управляющих воздействий и определить новую траекторию движения из текущего положения к новой цели;

– если объект наткнулся на непреодолимое препятствие, то следует изменить управление на  $[-v -1]$  (движение «назад – налево» по радиусу максимальной кривизны). Продолжительность этого «аварийного» закона управления определяется случайным образом и лежит в диапазоне от двух до шести секунд. Если в это время объект вновь обнаружит препятствие, то процедура повторяется. По истечении данного времени производится перерасчет управляющих воздействий и определяется новая траектория движения из текущего положения.

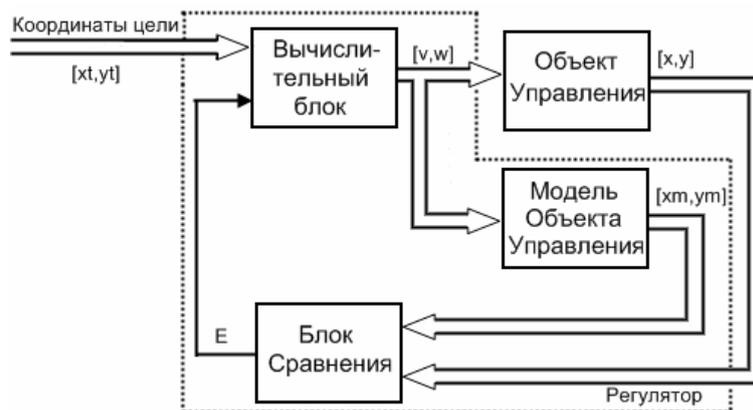


Рис. 6. Структура системы автоматического управления

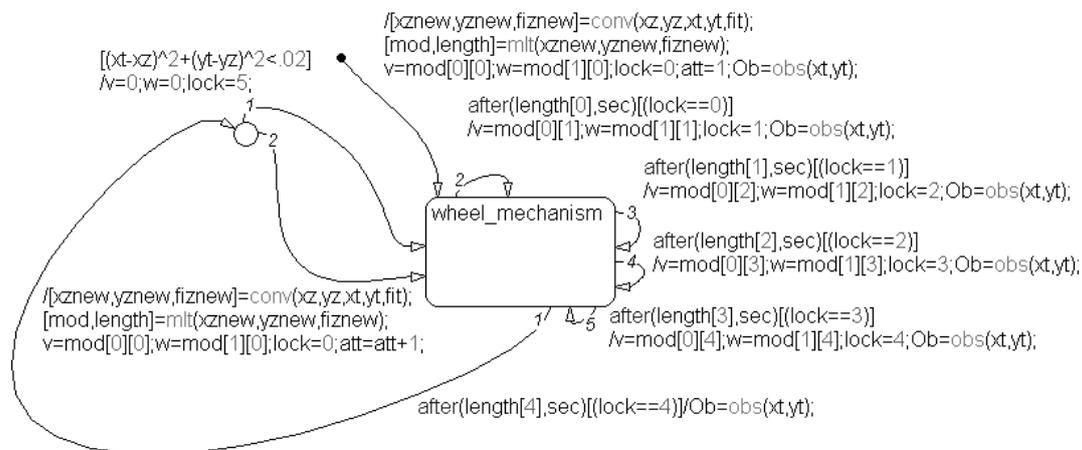


Рис. 7. Stateflow-диаграмма вычислительного блока

Произведено исследование поведения системы позиционного регулирования с моделью объекта управления в контуре. Результат движения колесного механизма из точки  $[0, 4, \pi]$  в точку  $[0, 0, *]$ <sup>1</sup> при отсутствии помех приведен на рис. 8.

Предположим, что на объект действует возмущение в виде ветра, дующего в северо-восточном направлении, который смещает объект. Результат движения из точки  $[0, 4, \pi]$  в точку  $[0, 0, *]$  приведен на рис. 9. На этом рисунке непрерывной линией обозначена истинная траектория движения объекта управления, пунктиром обозначена расчетная (модельная) траектория.

<sup>1</sup> Символ \* означает, что в конечном состоянии угол может быть любым

При движении в среде с непреодолимыми препятствиями необходимо установить на объекте управления датчик, сигнал с которого будет использоваться для контроля состояния. При получении сигнала с датчика в соответствии с системой правил работы регулятора некоторое время действует «аварийный» закон управления. Далее производится перерасчет оптимальных траектории и управляющих воздействий и организуется движение к цели.

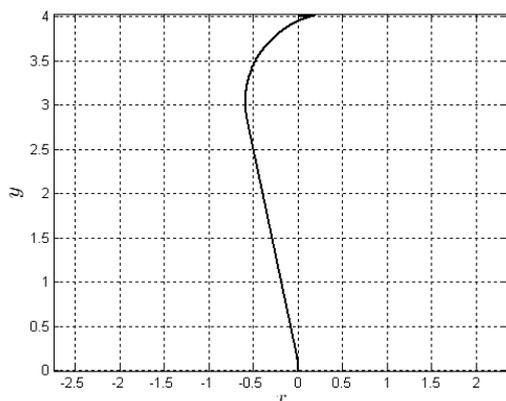


Рис. 8. Траектория движения колесного механизма при отсутствии помех (универсальный программно-позиционный алгоритм)

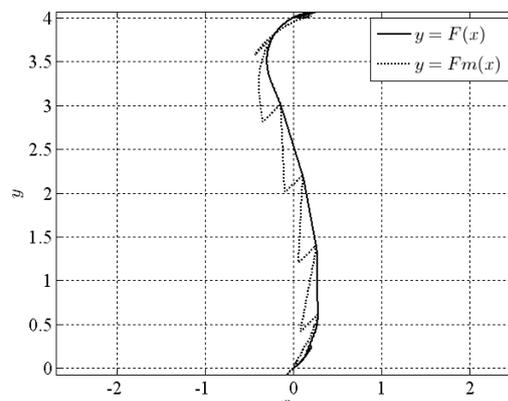


Рис. 9. Траектория движения колесного механизма при наличии помех (универсальный программно-позиционный алгоритм)

Рассмотрим ситуацию, когда необходимо обойти непреодолимое препятствие. Предположим, что препятствие имеет сложную форму, а объект движется из начала координат в точку  $[4, -4, *]$ . Траектория движения приведена на рис. 10.

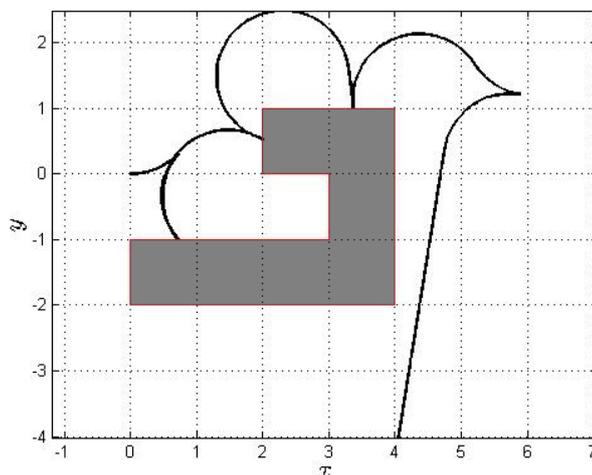


Рис. 10. Траектория движения колесного механизма при наличии препятствия (универсальный программно-позиционный алгоритм)

Проведенные исследования подтверждают эффективность разработанного регулятора, его способность компенсировать внешние возмущающие воздействия, организовывать оперативную смену координат цели, обходить непреодолимые препятст-

вия. В отсутствие внешних возмущающих воздействий этот регулятор является оптимальным по длине траектории.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Banavar R.N.* Control of the Nonholonomic Integrator. – A Talk at University of Twente, 2005, pp. 1-44.
2. *Wang H.-F., Chen Y.-Z.* Time-optimal Trajectories for a Car-like Robot Acta Automatica Sinica, Vol. 34, No. 4, April, 2008, pp. 445-452.
3. *Liberzon D.* Switching in systems and control, Birkhauser, Boston – Basel – Berlin 2003, pp. 83-89.
4. *Hespanha J.P., Morse A.S.* Stabilization of Nonholonomic Integrators via Logic-Based Switching – Automatica, Volume 35, Number 3, 1999. – pp. 385-393.

*Статья поступила в редакцию 4 марта 2012 г.*

## FEEDBACK CONTROL SYSTEM FOR A WHEEL MECHANISM

***G.N. Rogachev, E.S. Uchaev***

Samara State Technical University  
244, Molodogvardeyskaya st., Samara, 443100

*The paper is devoted to the problem of controlling wheel mechanisms' movement. The analysis of available ways of movement control is made. Their low efficiency is shown provided uncontrollable disturbances are present. A Feedback control system which surpasses the existing ones is developed.*

***Keywords:*** *the robotized system, the wheel mechanism, program algorithms, item algorithms, a hybrid regulator.*

---

*Gennadiy N. Rogachev (Ph.D. (Techn.)), Associate Professor.  
Evgeny S. Uchaev, Graduate student.*