

УДК 531.3

Нассер Наурас Хаким, А.Г.Скляр, Д.В.Русанов  
**ОСОБЕННОСТИ УПРАВЛЕНИЯ КИНЕМАТИКОЙ  
КОЛЕСНОГО РОБОТА**

*Воронежский институт высоких технологий  
Российский новый университет*

*В работе рассматриваются характеристики моделей колесных роботов. Указаны особенности решения ключевых задач, возникающих из нелинейной кинематики робота, решение которых позволит воздействовать на динамические характеристики роботов. Даны рекомендации по улучшению работы колесного робота при его движении по лестнице.*

**Ключевые слова:** робот, управление, модель, кинематика, функционирование, программирование.

Задачи, касающиеся исследования динамики перемещения мобильных роботов и расчетов управления им являются актуальными в связи с тем, что появляются возрастающие требования по точности функционирования подобных систем, условиям формирования схем управления, которые обеспечивают особенности гладких динамических движений, возникает необходимость учета влияния того какая податливость колес на характеристики движения роботов.

В существующих условиях мобильные роботы распространены достаточно широко [1-3].

Целью данной работы является рассмотрение особенностей управления кинематикой колесного робота.

Роботы применяются в научных лабораториях научных институтов, идет разработка и модернизация на разных предприятиях при решении специальных задач (переноски грузов, проведение работ в сложных условиях), их включают в образовательные программы и различные соревнования, их можно наблюдать в повседневной жизни человека в как бытовых так и игровых устройствах.

Даже при том, что существуют фундаментальные и прикладные исследования, нельзя говорить о том, что задачи, связанные с управлением ими на настоящий момент до конца не решены [4-7].

Это определяется тем, что есть различия по кинематическим схемам аппаратов, различным условиям движения, а также необходимость проведения учета по реальным факторам движения при формировании строгих математических моделей.

Во многих общепринятых способах управления системами, базирующимися на колесной основе, принимается во внимание лишь кинематика робота, возникают при этом такие решения, которые ведут к

порождению динамических разрывов, например, в угловых скоростях колес системы.

Существует определенный класс новых подходов, которые позволяют решать соответствующие проблемы исключаются разрывы и строится соответствующая схема управления роботами.

Анализ современных подходов показывает, что в многих реальных аппаратах имеются упругие колеса.

Мы можем рассматривать аппараты с колесами, имеющими малую и значительную упругость (говорят о колесах с низким давлением).

Среди подобных системам можно отметить планетоходы (вездеходы), а также класс мобильных роботов, которые предназначены для того, чтобы двигаться по твердым поверхностям.

Среди различных исследователей можно увидеть распространение соответствующих колесных аппаратов с повышенной проходимостью для того, чтобы перемещаться и выполнять работы в лесной местности.

Для космических исследований все более актуальными будут вопросы, направленные на разработку новых видов роботов, которые позволяют с большей эффективностью проводить исследования планет.

При процессах разработки соответствующих схем управления подобными системами требуется проведение учета характеристик упругости колесных подсистем. На этом основываются численные параметризованные модели упругих колес и систем, в том числе планетоходов, на подобных колесах.

В различных литературных источниках разные авторы говорят о том, что шагающие роботы можно характеризовать достаточно сложными конструкциями, довольно низкими скоростями движения и большими энергозатратами [8-10], но они могут двигаться с преодолением препятствий, перемещаться по грунту, имеющем низкий коэффициент трения, различным рыхлым грунтам, таким как песок, пыль и др.

Есть отличие от шагающих роботов, при этом колесные мобильные роботы можно охарактеризовать простой конструкцией и довольно высокой скоростью при небольших энергозатратах, но при этом они могут перемещаться лишь по поверхностям, которые не имеют сильных препятствий, быстро застревают в таком грунте, как песок или имеют трудности в движении по мягкой поверхности.

Различные авторы пытались создавать комбинированные роботы, которые смогут сочетать определенные достоинства шагающих роботов и колесных роботов в одних конструкциях. В основном, подобные роботы являются шагающими, на концах их ног устанавливаются колеса.

Подобные конструкции могут функционировать также, как шагающие механизмы или как колесные механизмы, это определяется типом поверхности, которая под роботом.

И при этом роботы подобного типа могут быть еще более сложными по своей конструкции и системам управления, если сравнивать с традиционными шагающими механизмами.

При выводе динамических моделей для мобильных роботов [11-16] необходимо ориентироваться на метод неопределенных множителей Лагранжа.

При этом динамическую модель мобильных роботов по локальным координатам записываем как

$$\frac{d}{dt} \frac{\partial M}{\partial \dot{x}} - \frac{\partial M}{\partial x} = s + Au$$

где  $M(x, \dot{x}) = \frac{1}{2} \dot{x}^{\circ} B(x) \dot{x}$ ,  $B(x)$  имеет размеры  $(n_x, n_x)$  и является симметрической ограниченной положительно определенной матрицей,  $s = Y^{\circ}(x)v$  имеет размер  $n_x$  и это является вектором сил реакций, в матрице  $Y(x)$  существуют линейно независимые строки по отношению к матрице  $Y_x(x)$ ,  $v$  - является вектором неопределенных множителей,  $A = \begin{bmatrix} 0 \\ I_{N+N_1+N_2} \end{bmatrix}$  - представляет собой постоянную матрицу,  $u$  - является вектором моментов.

Для математической модели колесного робота, если учитывать динамику электропривода, можно записать:

$$\dot{p} = M_x(x)t, A_x^{\circ} \left[ \frac{d}{dt} \left( \frac{\partial M}{\partial \dot{p}} \right) - \left( \frac{\partial M}{\partial p} \right) + \left( \frac{\partial Q}{\partial \dot{p}} \right) - P \right]_{p=A_x^{\circ}} = 0,$$

где  $p$  - является вектором обобщенных координат в электродинамической системе,  $P$  - является вектором обобщенных сил в электродинамической системе,  $Q$  - функция Лагранжа в электродинамической системе.

Вследствие того, что кинематическая схема, которая свойственна для большинства роботов, является нелинейной, для максимальных значений скоростей и ускорений можно отметить разницу по разным точкам в рабочем пространстве. Кроме того, понятно, что для полностью вытянутой «руки» робота возможно удержание меньшей нагрузки, чем для согнутой.

Исходя из этого, можно отметить совокупность задач, в том числе - такие.

1. Проведение планирования положений. Требуется обеспечить совмещение зон обслуживания роботов и рабочим пространствам, для которых происходит выполнение технологических операций, так, чтобы

рабочие инструменты или иные объекты могли быть доставлены в любые требуемые положения с требуемой ориентацией.

2. Проведение планирования движений. Требуется сделать выбор траектории движения объектов или рабочих инструментов.

Учитывается, что не только траектории движения, но и еще закономерности того, как меняются скорости и ускорения должны, быть в соответствии условиям технологических процессов, и, при этом, возможностям, которым обладают роботы.

3. Проведение планирования сил и моментов. Необходимо согласовать требования по технологическим процессам с тем, каковы возможности роботов по развитию необходимых сил и моментам в разных точках рабочих пространств и их энергетикой.

4. Проведение анализа того, какова динамическая точность. При решении указанных задач может потребоваться учет динамики роботов, поскольку точность перемещения по траектории определяется развиваемыми скоростями и ускорениями; при весьма больших скоростях и ускорениях значения точности отработки траектории могут быть неудовлетворительными.

Также, осуществление программирования роботов без учета того, какова их динамика может вызвать появление эффектов перекрестных связей, при этом перемещение объектов не соответствует тому, каков задан закон, поскольку есть взаимное динамическое влияние в звеньях манипуляторов.

Проведение анализа степени такого влияния особенно важно для тех роботов, которые способны достигать значительных скоростей и ускорений, и еще для роботов, которые характеризуются большой грузоподъемностью, при этом динамические эффекты связаны с тем, что есть значительные массы в элементах конструкции.

Указанные задачи можно решать при предварительном анализе, цель его заключается в том, что определяются требования к промышленным роботам, выполняющим подобный цикл рабочих операций. В результате такого анализа могут быть даны рекомендации по выбору одного из имеющихся роботов или по составлению технического задания для разработки специализированного образца.

5. Идентификация кинематических и динамических характеристик робота. Проблема, с которой часто сталкиваются пользователи, состоит в том, что характеристики робота с требуемой для проведения расчетов точностью, большей частью, не являются определенными, а некоторые характеристики, которые используются для того, чтобы решать задачи динамики, вообще неизвестны.

Исходя из вышесказанного, для каждого из промышленных роботов, которые устанавливаются на промышленных предприятиях, требуется

проводить решение задач идентификации, поскольку для «индивидуальных отклонений» характеристик роботов может оказаться значимый вклад, когда идет их адаптация к технологическим процессам, требующим большой точности.

При процессах эксплуатации такие параметры могут меняться, в этой связи требуется проведение их повторной идентификации через определенные промежутки времени.

К методам динамического управления обычно относят такие, при которых формирование управляющих сигналов осуществляется с учетом уравнений динамики манипулятора.

При этом за счет усложнения управления удается преодолеть негативное влияние нелинейностей и перекрестных связей, повысить качество процесса управления, обеспечить его устойчивость независимо от конкретной траектории.

Такое управление приобретает особенно важное значение для манипуляторов, снабженных высокомоментными безредукторными электродвигателями, поскольку в этом случае неприемлемы методы расчета, основанные на разделении каналов управления.

При процессах движения робота по лестнице можно отметить такие особенности:

Когда робот находится в исходном состоянии, то платформу робота смещают назад для того, чтобы загружать запертые фиксаторами задние колеса и уменьшать нагрузку на те колеса, которые являются передними. На основе того, что применяют привод поступательного перемещения оси, происходит перемещение этой оси вперед.

Происходит поворот треугольных элементов такой оси относительно нее, при этом идет обеспечение перекатывания колес, располагаемых спереди, на следующие ступеньки.

Для того момента, как колеса по каждой из сторон передних осей будут находиться на ступеньках все, произойдет выключение привода перемещения оси.

Для этого момента происходит включение привода, производящего перемещение платформы, он делает смещение такой платформы вперед, при этом происходит загрузка передних колес и уменьшается нагрузка по задним колесам.

Происходит запираение передних колес на основе фиксаторов, и выключают фиксаторы задних колес.

Производят включение привода поступательного перемещения оси, при этом он должен сдвигать переднюю ось назад.

Поскольку для колес на передней оси идет запираение на основе фиксаторов, то не могут идти процессы их качения назад, другими словами, происходит движение робота по направлению вперед.

Для треугольных элементов задней оси идет поворот по отношению к ней, обеспечивается процесс перекачивания задних колес на следующую ступеньку.

Предлагается дополнение к алгоритму, приведенному в [17]. Управление нагрузкой на ось может осуществляться на основе генетических алгоритмов. То есть, отслеживается момент запираения фиксаторов осей, что снижает эффекты проскальзывания.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Андраханов С.В., Львович Я.Е., Преображенский А.П. Учебно-исследовательская САПР мехатронно-модульных роботов / Вестник Воронежского государственного технического университета. 2013. Т. 9. № 3-1. С. 24-27.
2. Львович Я.Е., Андраханов С.В. Интеграция процедур многоальтернативной оптимизации и метода роя частиц / Вестник Воронежского государственного технического университета. 2010. Т. 6. № 12. С. 29-31.
3. Андраханов С.В., Львович Я.Е., Преображенский А.П. Реализация интегрированного алгоритма многоальтернативного выбора и генетического алгоритма / Фундаментальные исследования. 2013. № 10-11. С. 2391-2395.
4. Аникин В.В., Аюпов Р.Ш., Аюпова К.В., Батенькина О.В., Васків О.М.В., Завистовская Т.А., Ипатов Ю.А., Кастаргин М.А., Ковалев А.Ю., Ковалева Н.А., Ковшов Е.Е., Кревецкий А.В., Кульнева Е.Ю., Львович И.Я., Маракасов Ф.В., Нырков А.П., Преображенский А.П., Савченко А.А., Соколов С.С., Хозяинова Т.В., Чернова О.В., Шевчук Г.Б., Щелоков С.А. Автоматизация и информационные технологии - от постановки до ввода в эксплуатацию / Одесса, 2013, Издательство: Куприенко Сергей Васильевич, 216 с.
5. Пеньков П.В. Экспертные методы улучшения систем управления / Вестник Воронежского института высоких технологий. 2012. № 9. С. 108-110.
6. Зяблов Е.Л., Преображенский Ю.П. Построение объектно-семантической модели системы управления / Вестник Воронежского института высоких технологий. 2008. № 3. С. 029-030.
7. Зяблов Е.Л., Преображенский Ю.П. Разработка лингвистических средств интеллектуальной поддержки на основе имитационно-семантического моделирования / Вестник Воронежского института высоких технологий. 2009. № 5. С. 024-026.
8. Vukobratovic M., Borovac B., Surla D. Scientism fundamentals of robotics: Biped locomotion. Springer, 1990. , Т. 7. , 415 p.

9. Гаврилов, А.Е. Синтез оптимального по энергозатратам закона движения ортогонального шагающего робота / Вестник Волгоградского гос. ун-та. Серия 9, Исследования молодых учёных. - 2010. - Вып. 8, ч. 2. - С. 118-123.
10. Гуров А. Б., Михайлов Б. Б. Система зрения для прокладки траектории мобильного робота и мониторинга рабочей зоны // Тр. 19-й Научно-техн. конф. "Экстремальная робототехника". СПб.: Изд-во НПО специальных материалов, 2008. Т. 5. С. 394-398
11. Львович Я. Е. Многоальтернативная оптимизация: теория и приложения / Воронеж, Издательство: Издательство "Кварта" (Воронеж), 2006, 415 с.
12. Львович Я. Е., Львович И.Я. Принятие решений в экспертно-виртуальной среде / Воронеж, Издательство: ООО "Издательство "Научная книга" (Воронеж), 2010, 139 с.
13. Чопоров О.Н., Чупеев А.Н., Брегеда С.Ю. Методы анализа значимости показателей при классификационном и прогностическом моделировании / Вестник Воронежского государственного технического университета. 2008. Т. 4. № 9. С. 92-94.
14. Преображенский Ю.П. Оценка эффективности применения системы интеллектуальной поддержки принятия решений / Вестник Воронежского института высоких технологий. 2009. № 5. С. 116-119.
15. Ермолова В.В., Преображенский Ю.П. Методика построения семантической объектной модели / Вестник Воронежского института высоких технологий. 2012. № 9. С. 87-90.
16. Кампион Г., Бастен Ж., Д'Андреа-Новель Б. Структурные свойства и классификация кинематических и динамических моделей колесных мобильных роботов / Нелинейная динамика, 2011, Т. 7, №4, с. 733-769
17. Акинфиев Т., Армада М., Фернандес Р. Управление колесным роботом при движении по лестнице / Штучный \_Интеллект, 3'2008, с.397-404.

Nasser Hakim Nawras, A.G.Sklyar, D.V.Rusanov

## **THE FEATURES OF THE KINEMATICS CONTROL OF WHEELED ROBOT**

*Voronezh institute of high technologies  
Russian new university*

*The paper examines characteristics of wheeled robots. Specified tasks arising from non-linear kinematics of the robot are pointed out. If we can solve them it will give opportunities for control on dynamic characteristics of robots. The recommendations are given for improving the performance of the wheeled robot when it go on stairs.*

**Keywords:** robot, control, model, kinematics, operation, programming.