

УДК 519.711

ПРОБЛЕМЫ ПРИМЕНЕНИЯ РОБОТОВ ПРИ ОСВОЕНИИ МОРСКОГО ПОБЕРЕЖЬЯ

Каргинов Л.А., Московская финансово-промышленная академия «Синергия»,
E-mail: swshaytura@gmail.com, Москва, Россия.

Аннотация. Применение роботов в различных отраслях человеческой деятельности становится все более обширным, включая прибрежные районы. Описано применение роботов в условиях прибрежных зон. Предложена модель шагающих роботов. Обоснован отказ от использования матрицы Якоби в связи с изменением роли решения прямой задачи кинематики.

Ключевые слова: робототехника, роботы, манипулятор, матрица Якоби, шагающий робот, прямая задача кинематики.

PROBLEMS OF ROBOTS IN EXPLORATION SEA COAST

Karginov L.A., Moscow Financial-Industrial Academy "Synergy", Moscow, Russia
E-mail: swshaytura@gmail.com

Abstract. The use of robots in various fields of human activity is becoming more extensive and coastal development is no exception.

Keywords: Robots, manipulator

Введение. Говоря о применении роботов, в большинстве случаев рассматривают манипуляторы [1, 2], имеющие не более шести степеней подвижности и установленные на подвижном гусеничном или колесном шасси. Примером такого робота может служить робот-сапер [3]. Однако возможности таких роботов невелики. Робот, как правило, имеет один манипулятор и несколько сменных схватов-насадок (например, пинцет, ковш и т.п.). Для работы такого робота требуется, кроме того, наличие специально обученного оператора, т.к. информация о действиях робота поступает на пульт управления посредством нескольких видеокамер, микрофонов и т.п., установленных на шасси и манипуляторе.

Последнее обстоятельство создает трудности для широкого применения роботов, т.к. каждому роботу требуется оператор. Эту проблему можно решить заменой оператора искусственным интеллектом [4, 5]. Эта задача уже успешно решена на производстве, где роботы выполняют множество операций обработки деталей, сборки и контроля изделий. Однако сложность выполняемых операций компенсируется для каждого робота небольшим количеством этих операций. Иными словами, под

искусственным интеллектом в данном случае понимается набор подпрограмм, записанных в памяти робота.

Шагающие роботы. Побережье характеризуется динамической информационной ситуацией и динамической информационной позицией [6]. В условиях постоянно меняющейся внешней среды робот должен приспосабливаться к внешним воздействиям (шторм, грязь и т.д.), что приводит к повышенным требованиям к искусственному интеллекту робота. По существу речь идет о многоцелевом управлении [7]. При освоении прибрежных районов, кроме того, невозможно применять гусеничные или колесные шасси ввиду специфики поверхности дна (множество препятствий, ил и т.д.).

Для решения названных проблем (низкая функциональность и необходимость оператора) целесообразно применение шагающих роботов [8], которые имеют ряд преимуществ перед вышеназванными манипуляторами:

- высокая проходимость, обусловленная большим количеством ног;
- высокая способность к преодолению препятствий (возможность перешагнуть, или перелезть через препятствие);
- широкий набор выполняемых функций (шагающие роботы, в большинстве случаев, имеют несколько манипуляторов);
- возможность работы в условиях, созданных для человека (наиболее приспособленными в данном случае являются антропоморфные роботы).

Отдельно стоит отметить, что наиболее успешными из видов животных, живущих в море и передвигающихся по дну, являются ракообразные, которые имеют, в общем случае, 8 ног и 2 клешни [9].

Но при всех преимуществах шагающих роботов (в частности, антропоморфных) возникает ряд препятствий в их применении. Прежде всего, сложность представляет проектирование компактных источников питания и системы управления. Но если в ряде случаев питание можно подать по кабелю от стационарного источника питания, то система управления – бортовая или также стационарная – будет тем сложнее, чем больше у робота управляемых степеней подвижности. Ситуация усложняется тем, что шагающие роботы имеют древовидные кинематические схемы, поэтому их математическое описание сложнее, чем у роботов с разомкнутыми кинематическими схемами. У человека, например, более 300 степеней подвижности, значит, для построения робота, заменяющего человека в опасных условиях (например, водолаза) потребуется реализовать как минимум несколько десятков сочленений, что, соответственно, приведет к дополнительным затратам на систему управления.

Следовательно, необходимо разработать такие алгоритмы управления роботами, которые давали бы возможность реагировать на изменяющиеся внешние условия в режиме реального времени.

Методика, предложенная в [8], дает возможность применить уравнения динамики в блочно-матричном виде, разработанные изначально для случая разомкнутых кинематических схем, к описанию динамики исполнительных механизмов древовидных шагающих роботов.

Основные положения методики следующие:

1. Механизм условно прикреплен к рабочему пространству (неподвижная система координат) с помощью шести фиктивных сочленений. Эти сочленения обозначают ориентацию механизма относительно неподвижной системы координат. Введение шести фиктивных сочленений основано на положении о том, что твердое тело, свободное от связей, имеет в пространстве шесть степеней свободы. Пример кинематической схемы древовидного механизма приведен на рисунке 1.

2. Для описания исполнительного механизма применены элементы теории графов. При этом в соответствии с кинематической схемой робота строится направленный граф достижимости, отражающий последовательность соединений звеньев робота. Условно на графе звенья изображаются кружками с номером звена, сочленения – стрелками, соединяющими кружки. Граф достижимости является исходным материалом для построения матрицы достижимости (см. ниже). Пример направленного графа достижимости приведен на рисунке 2.

2. Системы координат звеньев назначаются в соответствии с правилами Денавита-Хартенберга. С каждым звеном связывается столько систем координат, сколько последующих звеньев оно имеет. Одна из систем координат принимается за главную (обычно обозначается номером 1); остальные являются вспомогательными. Если звено является последним в данной ветви механизма, то с ним все равно связана система координат, ось z_i которой направляется произвольно при построении системы координат. Таким образом, матрица перехода от неподвижной системы координат к системе координат данного звена соответствует формуле

$$T_i = T_{i-1} A_i, \quad i = 1, 2, \dots, N, \quad (1)$$

где T_{i-1} - матрица перехода от неподвижной системы координат к системе координат звена, являющегося звеном-отцом по отношению к данному звену;

A_i - матрица перехода от системы координат звена-отца к основной системе координат звена-сына.

В случае перехода от системы координат звена-отца к вспомогательной системе координат звена-сына имеет место соотношение

$$T_i = T_{i-1} M_i A_i, \quad i = 1, 2, \dots, N, \quad (2)$$

где M_i - матрица перехода от основной системы координат звена-сына к одной из вспомогательных систем координат этого же звена.

Количество матриц M_i равно количеству вспомогательных систем координат звена. В случае, если звено имеет всего одного потомка, то матрица M_i также существует, но является единичной и не оказывает влияния на расчет.

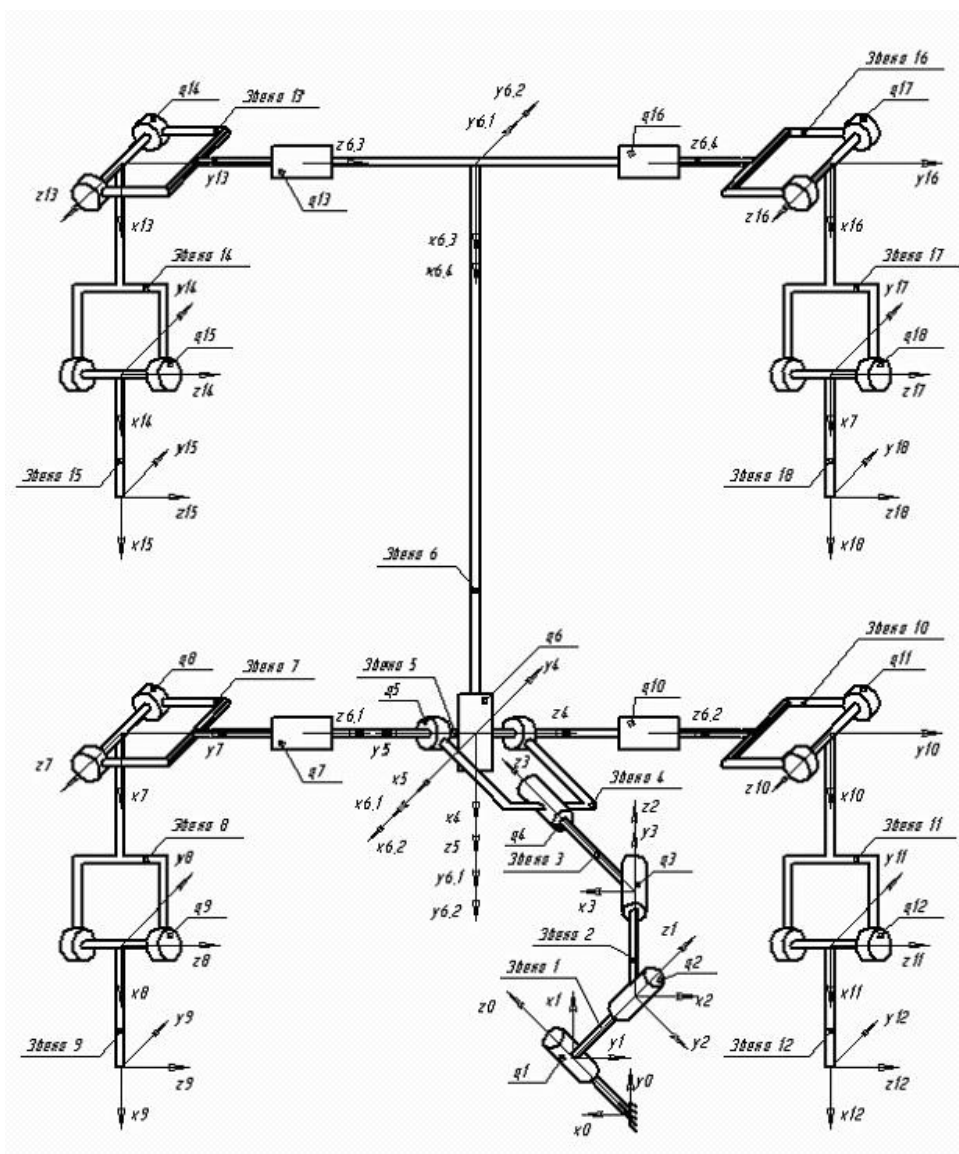


Рис.1. Пример кинематической схемы древовидного механизма (упрощенная кинематическая схема собаки)

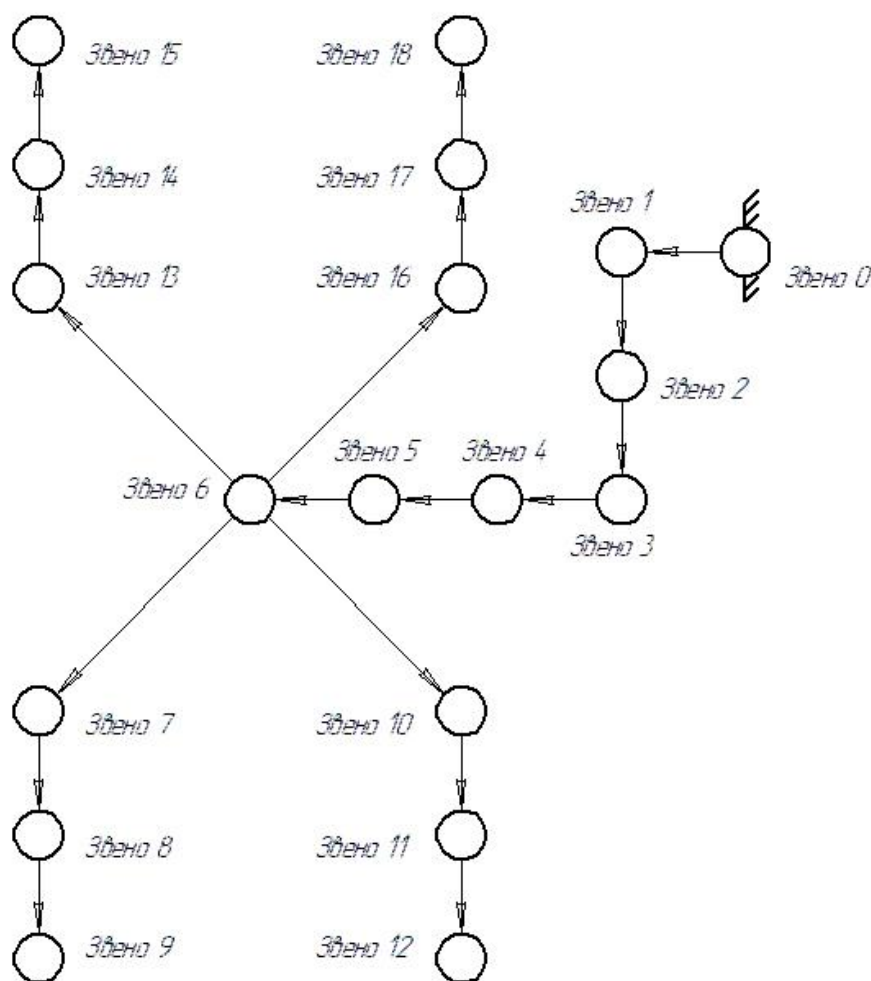


Рис.2. Направленный граф достижимости для упрощенной схемы собаки

3. Разветвления механизма учитываются с помощью вспомогательных матриц перехода от главной системы координат звена во вспомогательные, а также с помощью матрицы достижимости. Матрица достижимости – квадратная матрица, размерность которой равна числу звеньев механизма. Каждый элемент этой матрицы d_{ij} равен единице, если i -я вершина достижима из вершины j . По определению диагональные элементы матрицы $d_{ij} = 1$. Именно введение матрицы достижимости позволяет использовать уравнение динамики механизмов с разомкнутой кинематической схемой для расчета древовидных механизмов.

Уравнения динамики исполнительного механизма относительно обобщенных координат записываются в блочно-матричном виде:

$$A(q) \cdot \ddot{q} + B(q, \dot{q}) - C(q) \cdot f_b^0 - H(q) \cdot n_b^0 = \tau, \quad (3)$$

где \ddot{q} - вектор обобщенных координат исполнительного механизма;

τ - вектор сил и моментов, развиваемых приводами робота;

f_b^0, n_b^0 - блочные матрицы внешних сил и моментов, приложенных к звеньям со стороны окружающей среды.

Применение данной методики существенно упрощает построение системы управления древовидного шагающего робота. Однако даже при такой простоте уравнения динамики есть определенные сложности, о которых стоит упомянуть отдельно.

При движении шагающего робота необходимо для каждого шага формировать управляющие воздействия для приводов. Управляющие воздействия пропорциональны значениям обобщенных координат в сочленениях робота. Определение значений обобщенных координат по заданному желаемому положению стопы (в общем случае, любой конечности) робота представляет собой решение обратной задачи кинематики.

При решении обратной задачи кинематики возникают следующие проблемы:

- большое число степеней подвижности замедляет решение;
- решение обратной задачи кинематики имеет бесконечное множество решений;
- необходима проверка полученного решения на соответствие условиям кинематических ограничений механизма;
- внешние связи, наложенные на стопы робота, постоянно меняются в течение каждого шага;
- алгоритм решения должен иметь наименьшую возможную трудоемкость с целью применения его на бортовой ЭВМ робота.

Приведем два метода решения обратной кинематической задачи, применяемых в настоящее время – метод минимизации целевой функции и метод решения в приращениях на базе матрицы Якоби.

Первый метод предусматривает выбор целевой функции вида

$$f = c_{ст}f_{ст1} + c_{ст}f_{ст2} + c_{цм}f_{цм} + c_{ш}f_{ш},$$

где $f_{ст1}$ и $f_{ст2}$ – составляющие целевой функции, определяющие положения стоп,

$f_{цм}$ - составляющие целевой функции, определяющие положение центра масс;

$f_{ш}$ – штрафная функция, позволяющая приблизить решение к оптимальному по некоторому критерию (выбираемому разработчиком из соображений удобства), а также устранить вышеупомянутую неоднозначность решения;

$c_{ст}, c_{ст}, c_{цм}, c_{ш}$ – весовые коэффициенты.

Если выбираемая целевая функция при малых отклонениях квадратична, то наиболее эффективными являются градиентные методы минимизации. При их

использовании необходимо найти аналитические выражения для градиента целевой функции.

$$\text{grad}f = c_{\text{CT}1}\text{grad}f_{\text{CT}1} + c_{\text{CT}2}\text{grad}f_{\text{CT}2} + c_{\text{ЦМ}}\text{grad}f_{\text{ЦМ}} + c_{\text{Ш}}\text{grad}f_{\text{Ш}}.$$

Данный метод универсален, однако имеет существенный недостаток – большую трудоемкость, что затрудняет его применение в реальном времени.

Второй метод предусматривает использования матрицы Якоби. Метод основан на соотношении

$$\dot{s} = J\dot{q}$$

или

$$\Delta s \approx J\Delta q,$$

где J – матрица Якоби.

Точность выражения возрастает по мере уменьшения приращения обобщенных координат. Для решения обратной задачи применяется выражение

$$\Delta q \approx J^{-1}\Delta s.$$

Применение последнего выражения возможно, если матрица Якоби – квадратная и невырожденная. В большинстве случаев матрица Якоби – прямоугольная, размерность вектора Δq больше размерности Δs и решение неоднозначно. Также необходимо учитывать кинематические ограничения в степенях подвижности.

На практике применяется псевдообращение матрицы Якоби. Псевдообратная матрица имеет вид

$$J^* = A^{-1}J^T(JA^{-1}J^T)^{-1}.$$

Приращение вектора обобщенных координат в этом случае записывается таким образом

$$\Delta q \approx J^*\Delta s.$$

Процедура решения обратной задачи кинематики является итерационной. С верхнего уровня управления поступает вектор s и номер опорной стопы, которые затем используются при вычислении вектора ошибки Δs . Далее вычисляется вектор Δq и складывается с текущим вектором желаемых обобщенных координат q (с некоторым коэффициентом шага k). Для полученного вектора q решается прямая задача кинематики, после чего вычисленный вектор s сравнивается с заданным вектором. Затем вычисляется новый вектор ошибки Δs и процедура повторяется снова. Процесс останавливается при достижении требуемой точности решения. Данный метод использован Кулаковым Д.Б. и его коллегами при создании системы управления двуногого шагающего робота.

Однако, несмотря на хорошие результаты, полученные при использовании последнего метода, стоит отметить, что при резком увеличении числа степеней подвижности расходы ресурсов ЭВМ на вычисление псевдообратной матрицы Якоби и на решение прямой задачи кинематики значительно возрастут. Это может привести к зависаниям робота при управлении в реальном времени (в созданном роботе всего 18 степеней подвижности, включая 6 фиктивных).

Коллективом сотрудников МИПК МГТУ им. Н.Э.Баумана и кафедры «Гидромеханика, гидромашин и гидропневмоавтоматика» МГТУ им. Н.Э. Баумана проводятся исследования, целью которых является совершенствование созданной системы управления шагающим роботом, в частности, сокращение вычислительных затрат при решении обратной задачи кинематики.

Достигнутые результаты связаны, прежде всего, с отказом от использования матрицы Якоби и с изменением роли решения прямой задачи кинематики. Проектируемые алгоритмы нацелены не столько на точное воспроизведение программной траектории движения робота, сколько на адаптацию робота к внешним меняющимся условиям.

Основной целью исследования является придание системе управления двуногим шагающим роботом свойств, присущих человеку – способности оценивать меняющиеся внешние факторы и принимать решения на основе данных, заложенных в память робота. Для решения задач распознавания и принятия решений предполагается применить искусственные нейронные сети.

В перспективе проектируемые алгоритмы позволят роботу совершать движения, аналогичные движениям человека при ходьбе: спуск и подъем по лестнице, движение вперед, поворот вправо/влево. Также предпринимаются попытки реализации алгоритмов бега. Отличительной особенностью бега является наличие фазы полета, в течение которой на механизм фактически не наложены внешние связи. Также, в отличие от ходьбы, при беге постановка стопы на опорную поверхность фактически представляет собой удар (время контакта мало по сравнению со временем одного шага).

Наибольший интерес представляет разработка алгоритмов для рабочих органов роботов (в случае антропоморфных роботов – аналоги рук), т.к. требования по стабилизации движения механизма здесь отходят на второй план. Действительно, для «рук» робота наиболее важным параметром является точность выполнения заданной операции, например, точность выполнения сварного шва. При этом остальная часть механизма фактически обслуживает потребности рабочих органов робота: сближение с

объектом работ, устойчивость корпуса робота во время выполнения операции. Здесь также решаются обратные задачи кинематики и их сложность тем выше, чем сложнее исполнительный орган робота (если искусственная рука будет иметь 5 пальцев, то решение необходимо проводить для каждого пальца).

Заключение. Таким образом, применение шагающих роботов с древовидными исполнительными механизмами для различных областей человеческой деятельности будет приобретать все большее значение. В частности, их применение весьма перспективно при освоении морского дна и прибрежных районов (вышеупомянутые ракообразные представляют собой как раз древовидные шагающие механизмы и уже испытаны природой). Главными задачами разработчиков таких роботов в ближайшем будущем будут разработка адаптивных систем управления и компактных источников питания.

Список литературы

1. Пол Р. Моделирование, планирование траекторий и управление движением роботоманипулятора. – М.: Наука, 1976.
2. Зенкевич С.Л., Ющенко А.С. Основы управления манипуляционными роботами: учебник для вузов. -изд. 2-е, перераб и доп.- М.: Изд. МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2004. – 480 с.
3. Нагоев З. В., Анчёков М. И. Система управления остойчивостью одноосного робота-сапера // Известия Южного федерального университета. Технические науки – 2010. – Т. 104. – №. 3. – С. 128-131.
4. Thrun S. et al. Robust Monte Carlo localization for mobile robots //Artificial intelligence. – 2001. – Т. 128. – №. 1. – С. 99-141.
5. Комарцова Л.Г., Максимов А.В. Нейрокомпьютеры: Учебное пособие для вузов. – изд. 2-е, перераб. и доп.- М.: Изд. МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2004. – 400с.
6. V. Ya. Tsvetkov. Information Situation and Information Position as a Management Tool // European Researcher, 2012, Vol.(36), № 12-1, p.2166- 2170.
7. V. Ya. Tsvetkov. Multipurpose Management// European Journal of Economic Studies 2012, Vol.(2), № 2 p.140-143.
8. Ковальчук А.К., Кулаков Д.Б., Семенов С.Е. Системы управления двуногими шагающими роботами. Теория и алгоритмы. – М.: МИПК МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2007. – 160 с.
9. Ковальчук А.К., Кулаков Д.Б., Семенов С.Е., Яроц В.В. Исследование динамики древовидного исполнительного механизма робота-краба // Вестник МГТУ МИРЭА.- 2013.- №1 (1).- с.72-81.