

Синтез управляющих воздействий для приводов исполнительных механизмов шагающих роботов без решения обратной задачи кинематики

© Л.А. Каргинов

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, 105005, Россия

Описан подход к синтезу управляющих воздействий для приводов шагающих роботов, исключающий необходимость решения обратной задачи кинематики. Изложены предпосылки подхода. Рассмотрено практическое применение подхода на примере четырехногого шагающего механизма. Приведены результаты работы для случаев прямолинейного (рысь) и прямолинейного «осторожного» (поочередного) движения. Перечислены частные случаи применения подхода.

Ключевые слова: шагающий робот, алгоритм, кинематика робота, обратная задача кинематики, моделирование.

В последнее время в мире проектированию шагающих роботов (ШР) уделяется все большее внимание ввиду их высокой проходимости и лучшей приспособленности к условиям, созданным для человека.

Однако при проектировании ШР возникают некоторые сложности, связанные, в частности, с синтезом управляющих воздействий для приводов исполнительных механизмов ШР.

Действительно, для определения угла, на который следует повернуть тот или иной сустав робота, необходимо знать, куда поставить ногу, т. е. выделить на траектории движения определенные точки. По данным о расположении этих точек необходимо определить значения обобщенных координат — решить обратную задачу кинематики.

Решение обратной задачи кинематики может быть многовариантным, поэтому придется дополнительно отбрасывать решения, непригодные для управления роботом (например, применение некоторого решения невозможно вследствие конструктивных ограничений в сочленениях исполнительного механизма ШР). Обратная задача кинематики также может и не иметь решений.

В процессе движения ШР обратную задачу кинематики необходимо решать для каждой ноги робота. При увеличении числа ног возрастут число сочленений, число обобщенных координат, а также размерность уравнений динамики, усложнятся соотношения, описывающие зависимость координат стоп ШР от обобщенных координат, следовательно, усилится нагрузка на бортовую ЭВМ робота.

В настоящее время существует множество способов решения указанных проблем, но ни один из них не отрицает необходимости решения обратной задачи кинематики. Например, в работе [1] обратная задача кинематики для двуногого ШР решается итерационно с помощью матрицы Якоби. При этом для вычисления вектора ошибки на каждом шаге используются результаты решения прямой задачи кинематики.

С учетом изложенного выше возникает желание упростить алгоритмы формирования управляющих воздействий за счет отказа от решения обратной задачи кинематики. В пользу такого подхода свидетельствуют следующие обстоятельства.

1. Сочленения робота имеют конструктивные ограничения, препятствующие применению некоторых результатов решения обратных задач кинематики. Это обстоятельство можно проиллюстрировать простым примером: коленный сустав человека (тело человека — тоже исполнительный механизм), например при разгибании ноги, не сможет продолжать двигаться, если нога уже выпрямлена.

2. Алгоритм переноса и смены опорных ног однообразен в процессе движения.

3. Человек (и любое другое шагающее живое существо) не решает обратную задачу в процессе ходьбы.

Сформулируем в общем виде подход к синтезу управляющих воздействий для приводов ШР. При этом следует отметить, что универсальные соотношения для расчета обобщенных координат выводиться не будут. Это связано с тем, что механизмы ШР имеют разные кинематические схемы и разные алгоритмы движения (типы движения, стабилизация при потере равновесия и т. д.).

Предпосылки подхода. Перечислим некоторые свойства, общие для различных существ, передвигающихся с помощью ног.

1. Повторяемость значений обобщенных координат через примерно равные промежутки времени. Условия повторяемости для обобщенных координат и скоростей ввел М. Вукобратович [2]. В рассматриваемом случае условия повторяемости имеют вид

$$\varphi_i(0) = \varphi_i(T^*), \dot{\varphi}_i(0) = \dot{\varphi}_i(T^*),$$

где T^* — период работы алгоритма (время, в течение которого одна нога робота находится последовательно в фазах опоры — переноса — опоры).

2. Ограничения в сочленениях, обусловленные конструкцией или алгоритмом движения,

$$\varphi_i \in [\varphi_{i \min}, \varphi_{i \max}], \quad (1)$$

где $\varphi_{i \min}$, $\varphi_{i \max}$ — минимальное и максимальное значение координаты.

3. Схема смены опорных ног. В некоторых источниках походка — последовательность смены ног при движении.

В настоящей статье термин «походка» не используется, так как он характеризует не только последовательность смены ног при движении, но и описывает движение ноги во время шага.

Шагающий робот может перемещаться разными походками, и каждой походке соответствует определенная схема смены опорных ног. Например, у собаки при движении рысью схема смены опорных ног будет следующей: передняя правая нога + задняя левая нога → передняя левая нога + задняя правая нога.

Для описания схемы смены опорных ног можно применять различные способы. Так, в работе [3] приведена методика описания походок функциями состояния вида

$$q = \begin{cases} 0; \\ 1, \end{cases}$$

где 0 соответствует фазе опоры ноги, а 1 — фазе переноса.

В рассматриваемом подходе для описания состояния ног использована система флагов, где 0 также соответствует фазе опоры ноги, а 1 — фазе переноса, но функции состояния в явном виде отсутствуют.

4. Стадии шага ноги. Любой шаг в фазе переноса ноги состоит из трех необходимых стадий:

- 1) разрыв связи с опорной поверхностью;
- 2) перенос ноги;
- 3) опускание ноги на опорную поверхность в новой точке.

Для фазы опоры также можно выделить несколько стадий в зависимости от числа степеней подвижности ноги. В таком случае ограничимся стадией переноса корпуса ШР относительно опорной поверхности приводом бедра (остальные приводы примем блокированными, т. е. нога представляет собой жесткую конструкцию).

В соответствии с изложенным выше походка — это совокупность схемы смены опорных ног и стадий шага ноги.

Следует отметить, что при решении обратной задачи кинематики актуальность полученных решений может быть потеряна в связи с непредсказуемостью внешних условий.

Предположим, что робот перемещается по улице, залитой мутной водой. Если система технического зрения (СТЗ) не сможет обнаружить неровности грунта под слоем воды, то в момент столкновения стопы робота с препятствием при реализации решения обратной задачи нога может сместиться от заданного положения вследствие проскальзывания. При этом результаты сложных расчетов станут бесполезными.

Перечислим основные операции предлагаемого подхода.

1. Выбор схемы смены опорных ног.
2. Выбор стадий шага для каждой ноги.
3. Назначение ограничений изменения обобщенных координат (1), что позволит синтезировать управляющие воздействия без дальнейшего отсеивания решений.
4. Назначение времени одного шага T исходя из требуемой скорости движения корпуса робота.
5. Разбиение времени T на определенное число временных промежутков, соответствующих планируемому числу итераций n (число итераций выбирают из соображений удобства при вычислениях).
6. Выбор приращений обобщенных координат на каждой итерации $i = 1, \dots, n$.
7. Варьирование значений обобщенных координат в цикле до достижения ими требуемых или предельных значений. Однозначность решения достигается выбором стадий шага и порядком их следования.

Отметим, что в фазе переноса за время T выполняются все три стадии шага. При этом на каждой стадии разные сочленения работают неравномерно. Например, при ходьбе человек переносит ногу в основном с использованием приводов бедра, а при разрыве связи с опорной поверхностью работает еще и привод коленного сустава.

Такой подход к синтезу управляющих воздействий реализован автором статьи в виде набора функций в пакете MATLAB. Ниже приведены результаты работы программы для прямолинейного и прямолинейного «осторожного» движений робота.

Пример применения описанного подхода. Рассмотрим последовательность *подготовки данных*.

1. В качестве примера выберем четырехногий ШР (ЧШР), что не нарушит общности рассуждений, так как формируется именно подход, а не конкретные формулы. Кинематическая схема исполнительного механизма ЧШР приведена на рис. 1.

Системы координат на представленной кинематической схеме построены по правилам Денавита — Хартенберга с учетом ветвлений механизма [1, 4]. Параметры Денавита — Хартенберга для систем координат ЧШР приведены в табл. 1.

Параметры d_i и a_i назначены в соответствии со следующими геометрическими размерами ЧШР:

- длина бедер ЧШР (звенья 8, 12, 16 и 20) $L_1 = 0,3$ м;
- длина голеней ЧШР (звенья 9, 13, 17 и 21) $L_2 = 0,5$ м;
- длина стоп ЧШР (звенья 10, 14, 18 и 22) $L_3 = 0,5$ м;
- длина спины ЧШР (звено 6) $L_4 = 2$ м;
- ширина ЧШР (робот полагается симметричным) $L_5 = 1$ м.

**Значения параметров Денавита — Хартенберга
для основных и вспомогательных систем
координат ЧШР**

Номер системы координат	θ_i , рад	d_i , м	a_i , м	α_i , рад
<i>Для основных систем координат</i>				
1	$-\pi/2$		0	$-\pi/2$
2	$\pi/2$		0	$\pi/2$
3	$\pi/2$		0	$-\pi/2$
4	$\pi/2$		0	$\pi/2$
5	$\pi/2$		0	$\pi/2$
6	$-\pi/2$		0,5	$-\pi/2$
7	$\pi/2$		0	$-\pi/2$
8	0		0,3	0
9	0		0,5	0
10	0		0,5	0
11	$-\pi/2$	0	0	$-\pi/2$
12	0		0,3	0
13	0		0,5	0
14	0		0,5	0
15	$\pi/2$		0	$-\pi/2$
16	0		0,3	0
17	0		0,5	0
18	0		0,5	0
19	$-\pi/2$		0	$-\pi/2$
20	0		0,3	0
21	0		0,5	0
22	0		0,5	0
<i>Для вспомогательных систем координат</i>				
6,2	π	0	1	0
6,3	0	-2	0	0
6,4	π	-2	1	0

2. После расстановки систем координат и нумерации звеньев и сочленений необходимо определить начальное положение механизма. Можно использовать то положение, которое представлено на рис. 1, а можно назначить новое, введя некоторые начальные значения обобщенных координат. Зададим новое положение механизма (рис. 2). Значения параметров нового нулевого положения механизма приведены в табл. 2.

Назначение нового начального положения может быть связано с тем, что нулевое положение механизма на кинематической схеме не соответствует нулевому положению механизма, предусмотренному конструктором, т. е. начальное положение может быть неудобным с позиции алгоритмов управления или не может быть достигнуто ввиду указанных выше конструктивных ограничений.

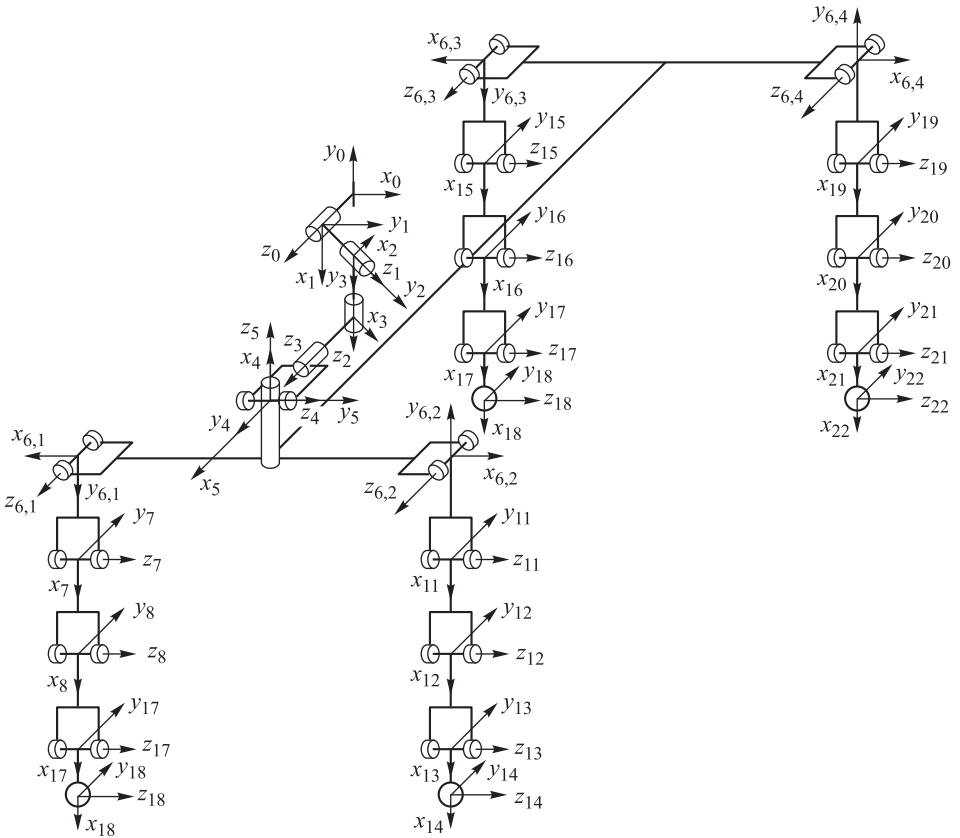


Рис. 1. Кинематическая схема исполнительного механизма ЧШР

Таблица 2

Ограничения обобщенных координат

Обобщенная координата	Значение, град		Новое нулевое положение, град
	минимальное	максимальное	
$q_7, q_{11}, q_{15}, q_{19}$	-20	20	0
q_8, q_{12}	-55	-15	-45
q_9, q_{13}	45	135	75
q_{10}, q_{14}	-135	-45	-45
q_{16}, q_{20}	20	60	45
q_{17}, q_{21}	-90	-45	-75
q_{18}, q_{22}	0	135	45

3. Зададим ограничения изменений обобщенных координат (показаны штриховыми линиями на рис. 2). Эти ограничения могут быть выбраны произвольно из условий удобства или могут отражать конструктивные особенности механизма. Ограничения обобщенных координат для рассматриваемого ЧШР и значения нового нулевого положения механизма приведены в табл. 2.

Рассмотрим последовательность выбора типа движений исполнительного механизма. После определения начального положения и ограничений необходимо выбрать типы движений исполнительного механизма ШП.

1. Поскольку рассматривается ЧШР, в качестве основы для создания алгоритма движения можно взять наиболее часто встречающиеся типы движений четвероногого животного, например собаки. Проанализируем два движения собаки — прямолинейное и прямолинейное «осторожное».

Прямолинейное движение совершается по следующей схеме смены опорных ног: передняя правая + задняя левая → передняя левая + задняя правая.

Прямолинейное «осторожное» движение отличается от прямолинейного движения переносом каждой ноги отдельно, например, при перемещении по неровной или нестабильной опорной поверхности. Схема смены опорных ног: передняя правая → задняя левая → передняя левая → задняя правая.

2. Назначаем стадии шага для каждого из типов движений. Для ЧШР шаг любой из ног в фазе переноса будет состоять из трех стадий:

- 2.1. Поджатие ноги в целях разрыва связи с опорной поверхностью.
- 2.2. Поворот ноги суставом бедра (основной этап переноса).
- 2.3. Опускание ноги в новую точку опорной поверхности (разгибание ноги).

В фазе опоры происходит перемещение корпуса ЧШР относительно опорной поверхности приводом бедра. Выбранные стадии шага одинаковы как для прямолинейного, так и прямолинейного «осторожного» движений.

После определения последовательности движения сочленений можно приступить непосредственно к построению алгоритма синтеза управляющих воздействий. В соответствии с изложенным выше имеем следующую последовательность операций.

1. Задаем значения приращений обобщенных координат, которые будут прибавляться к текущему значению обобщенных координат на каждой итерации.

2. Считываем с датчиков текущие значения обобщенных координат или значения параметров начального положения (см. табл. 2).

3. Рассчитываем необходимые значения обобщенных координат.

3.1. Разбивка времени T фазы переноса на отрезки, соответствующие каждой стадии шага. На отдельной стадии будут работать приводы

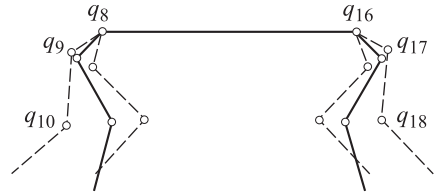


Рис. 2. Схема нового начального положения механизма ЧШР (новое положение обозначено сплошными линиями)

тех сочленений, с помощью которых реализуется эта стадии (например, при переносе передней правой ноги работает привод сочленения q_8 , при подъеме (опускании) ноги — приводы сочленений q_9 и q_{10}).

В фазе опоры в течение времени T будет функционировать привод бедра.

3.2. Увеличение (уменьшение) в цикле значений обобщенных координат на значения приращений на каждом шаге цикла.

3.3. Вычисление изменений обобщенных координат при их достижении предельных или требуемых значений (см. табл. 1).

Полученные значения обобщенных координат используют в качестве исходных данных при моделировании исполнительного механизма ЧШР.

Вопросы стабилизации. Рассмотрим вопросы стабилизации для выбранных типов движений. При прямолинейном движении в опоре находятся две ноги ЧШР. При этом опорный многоугольник представляет собой отрезок между точками постановки на опорную поверхность ног, находящихся в фазе опоры, таким образом, механизм не является статически устойчивым.

Однако в случае потери равновесия механизм ЧШР при падении встанет на одну из ног, находящихся в фазе переноса, тогда опорный многоугольник станет треугольником, причем проекция центра масс ЧШР будет находиться внутри этого треугольника.

Для прямолинейного «осторожного» движения ситуация аналогична, но опорный треугольник присутствует всегда. При выходе проекции центра масс ЧШР за пределы текущего опорного треугольника образуется новый треугольник. Проекция центра масс ЧШР окажется внутри этого нового треугольника.

Если подобрать скорость перемещения ЧШР достаточно высокой, то механизм не будет успевать падать, так как время падения будет меньше времени шага.

Частные случаи подхода. Предложенный подход приведен в общем виде, так как имеются циклические вычисления приращений обобщенных координат. Эти вычисления необходимы в случае, когда складывается ситуация, требующая решения обратной задачи кинематики.

Рассмотрим простой пример: человек идет по улице после дождя и боится промочить ноги. При этом он тщательно выбирает, куда поставить ногу, поскольку вся улица в лужах. Однако решение обратной задачи кинематики человек не выполняет, он просто варьирует значения углов в сочленениях ног в соответствии со стадиями шага. Критерий завершения решения — постановка ноги на сухой участок дороги, критерий приближения к решению — расстояние от стопы до сухого участка дороги, определяемое визуально. Таким образом, при возникновении этой ситуации, требующей нахождения обобщенных координат по известному положению стопы робота и ее ориентации, можно будет полу-

чить однозначное решение. Оснащение ШР СТЗ с возможностью оценки расстояния в сочетании с введенным выше подходом позволит реализовать алгоритмы движения, которые можно приспособлять к изменяющимся внешним условиям и которые в перспективе не будут уступать алгоритмам движения живых организмов.

Однако при использовании такого подхода может сложиться ситуация, когда в процессе движения обобщенные координаты будут изменяться от минимального значения до максимального в некотором диапазоне значений, обусловленном программой или конструкцией исполнительного механизма. Другим словами, ШР перемещается с фиксированной длиной шага.

Если не требуется менять длину шага, то можно запомнить значения приращений обобщенных координат, предварительно рассчитанных в цикле, и подавать их на приводы в заданные моменты времени. При этом расчеты проводят один раз.

Если условия меняются и требуется изменить длину шага, то можно установить другие граничные значения обобщенных координат, пересчитать приращения, сохранить их в памяти и вновь подавать на приводы. Расчеты также выполняют один раз.

Результаты работы программы. Рассмотрим стадии шага передней правой ноги (рис. 3). Движение — прямолинейное. Значения ограничений соответствуют значениям, приведенным в табл. 2. В движении принимают участие сочленения $q_8, q_9, q_{10}, q_{12}, q_{13}, q_{14}, q_{16}, q_{17}, q_{18}, q_{20}, q_{21}$ и q_{22} . Сочленения q_7, q_{11}, q_{15} и q_{19} заблокированы. Механизм совершает три шага. Время движения 1,4019 с.

Во время фазы переноса последовательно изменяются обобщенные координаты всех сочленений ноги, кроме сочленения q_7 . Во время фазы опоры меняется только координата сочленения бедра (q_8). Рассмотрим стадии шага подробнее.

На стадии разрыва связи с опорной поверхностью (стадия I, см. рис. 3) изменяются координаты сочленений q_9 и q_{10} , что соответствует наклонным участкам на соответствующих кривых. Координата сочленения q_8 постоянна, что соответствует горизонтальному участку кривой.

При переносе поджатой ноги с помощью сочленения q_8 (стадия II) координаты сочленений q_9 и q_{10} не меняются.

На стадии опускания ноги на опорную поверхность (стадия III, см. рис. 3) координаты сочленений q_9 и q_{10} изменяются, координата сочленения q_8 постоянна.

Во время фазы опоры (стадия IV, см. рис. 3) изменяется только обобщенная координата сочленения бедра q_8 . Согласно рис. 3, значения обобщенных координат изменяются в соответствии с назначенными выше стадиями шага ноги.

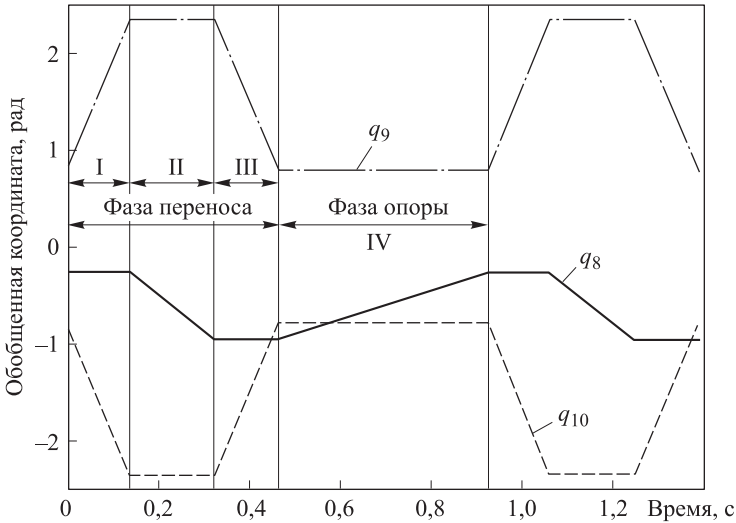


Рис. 3. Фазы опоры и переноса для передней правой ноги

Пример реализации прямолинейного движения ЧШР. Значения ограничений соответствуют значениям, приведенным в табл. 2. Начальное положение выбрано произвольно из диапазона допустимых значений (в области, ограниченной штриховыми линиями, см. рис. 2). В движении принимают участие сочленения $q_8, q_9, q_{10}, q_{12}, q_{13}, q_{14}, q_{16}, q_{17}, q_{18}, q_{20}, q_{21}$ и q_{22} . Сочленения q_7, q_{11}, q_{15} и q_{19} заблокированы. Механизм совершает 18 шагов. Время движения 8,3273 с. Зависимости обобщенных координат различных сочленений от времени приведены на рис. 4.

Перемещение передних ног при прямолинейном движении происходит в противофазе (рис. 4, в). Когда одна нога является опорной, вторая — переносится, что соответствует рассмотренной выше схеме смены опорных ног при прямолинейном движении.

В настоящей работе не представлены такие зависимости для сочленений задней правой ноги, поскольку они идентичны зависимостям для сочленений задней левой ноги в противофазе.

Пример реализации прямолинейного «осторожного» движения ЧШР. Значения ограничений соответствуют значениям, приведенным в табл. 2. Начальное положение выбрано произвольно из допустимых значений. В движении принимают участие сочленения $q_8, q_9, q_{10}, q_{12}, q_{13}, q_{14}, q_{16}, q_{17}, q_{18}, q_{20}, q_{21}$ и q_{22} . Сочленения q_7, q_{11}, q_{15} и q_{19} заблокированы. Механизм совершает 29 шагов. Время движения 13,4162 с. Зависимости обобщенных координат от времени представлены на рис. 5.

В течение одного шага переносится только одна нога, что соответствует приведенной выше схеме смены опорных ног для прямолинейного «осторожного» движения (рис. 5, а). Ширина участков кривых между шагами больше, чем при прямолинейном движении, что обусловлено переносом ног по одной (см. рис. 5, б, в).

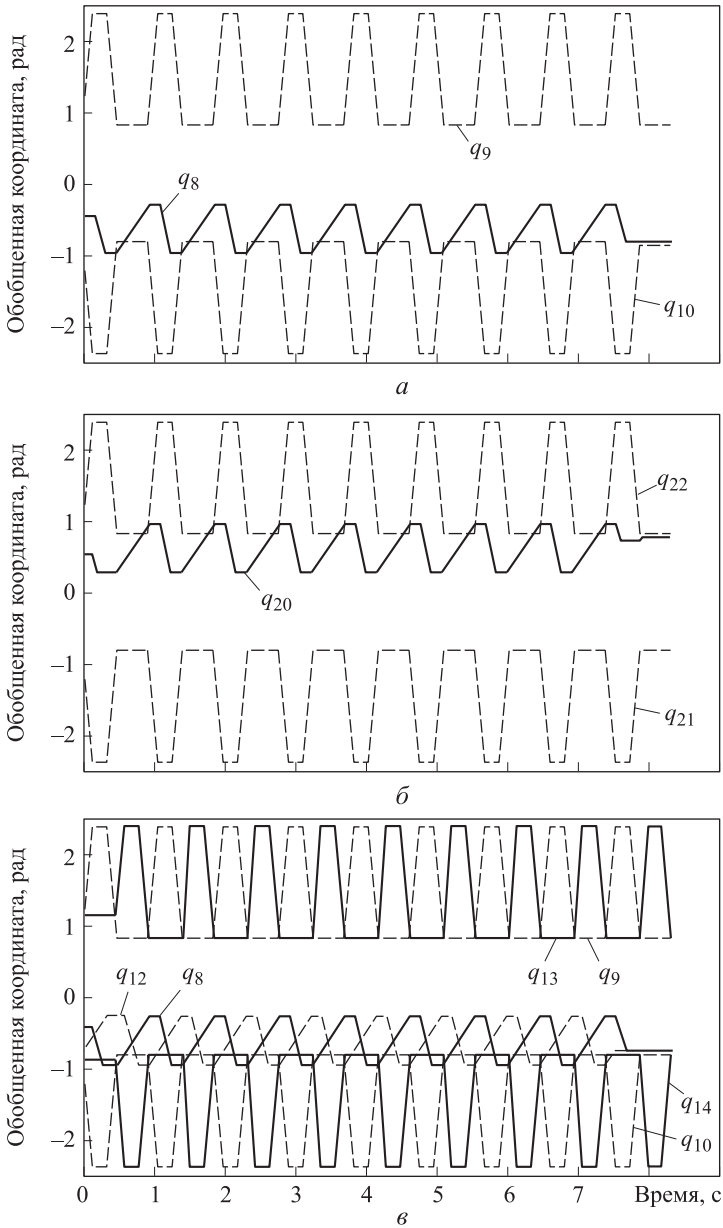


Рис. 4. Зависимости обобщенных координат бедренных сочленений всех ног (а), передних правой (б) и левой ног (в)

Пример смены типа движения. На рис. 5, г приведены зависимости обобщенных координат от времени для передней правой ноги при изменении движения с прямолинейного на прямолинейное «осторожное». В момент смены типа движения механизм возвращается в выбранное ранее начальное положение. При этом все ноги робота должны находиться на опорной поверхности (см. рис. 2). Возвращение механизма в

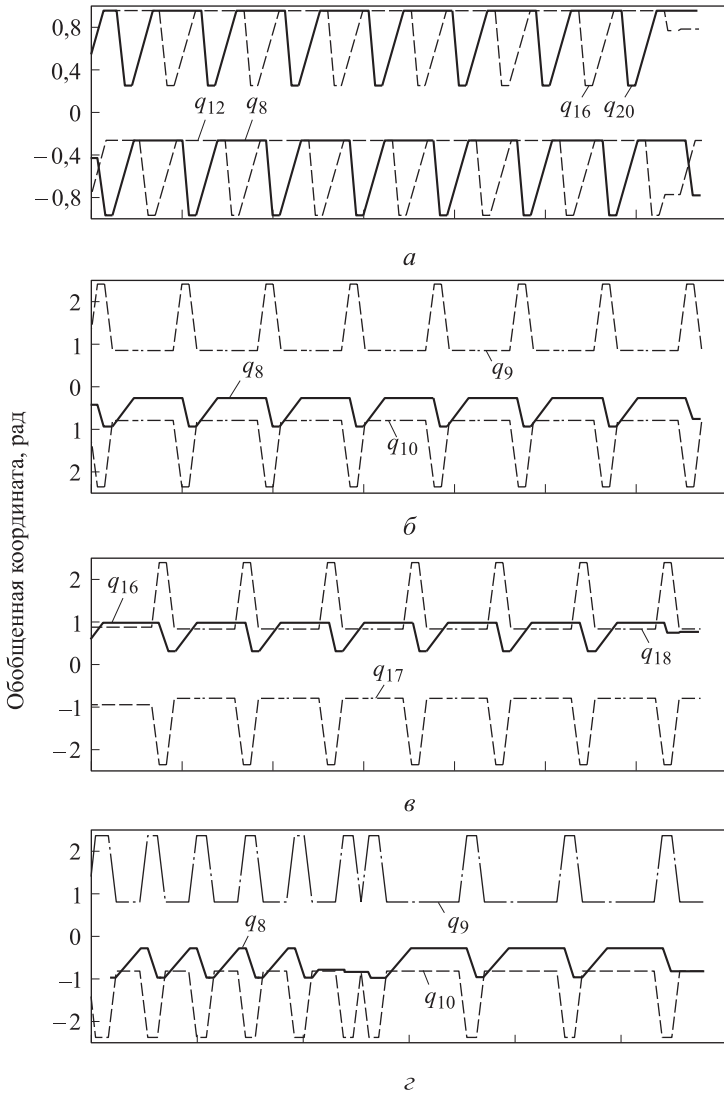


Рис. 5. Зависимости обобщенных координат от времени для бедренных сочленений всех ног (а), передней правой (б) и задней правой ноги (в), для передней правой ноги при смене типа движения (г)

начальное положение перед сменой типа движения предотвращает ситуации, в которых робот может потерять равновесие.

Поясним последнее утверждение на примере. Пусть передняя правая нога находится в фазе переноса. Если при этом происходит переход передней левой ноги в фазу переноса, то робот потеряет равновесие.

Пример расчета моментов приводов ЧШР. При расчете используется программа моделирования древовидных исполнительных механизмов ШР, реализующая уравнение динамики древовидного шагающего механизма в блочно-матричном виде [1]:

$$A(q)\ddot{q} + B(q, \dot{q}) - C(q)f_v^0 - C_R(q)R_f^0 - H(q)(n_v^0 + R_n^0) = \tau, \quad (2)$$

где \ddot{q} — вектор обобщенных координат исполнительного механизма; f_v^0, n_v^0 — блочные матрицы внешних сил и моментов, приложенных к звеньям со стороны окружающей среды; R_f^0, R_n^0 — блочные векторы сил-реакций связей и моментов от сил-реакций связей, приложенных к звеньям механизма; τ — вектор сил и моментов, развиваемых приводами робота.

При моделировании исполнительного механизма ЧШР в соответствии с (1) были введены следующие допущения.

1. Сила реакции опоры при прямолинейном движении по модулю равна половине силы тяжести ЧШР, так как в опоре одновременно находятся две ноги.

2. Сила реакции опоры при прямолинейном «осторожном» движении по модулю равна одной трети силы тяжести ЧШР, так как в опоре одновременно находятся три ноги.

Сила тяжести вычисляется с учетом массы звеньев механизма, значения которых приведены ниже:

Номер звена	Масса звена, кг
1, 2, 3, 4, 5	0
6	300
7, 10, 11, 14, 15, 18, 19, 22	5
8, 12, 16, 20	6
9, 13, 17, 21	7

Зависимости моментов приводов передних ног ЧШР и соответствующих им обобщенных координат от времени приведены на рис. 6. Зависимость моментов приводов меняется циклически в соответствии с изменением соответствующих обобщенных координат; в фазах переноса моменты по модулю меньше, чем в фазах опоры; при переходе от прямолинейного движения к прямолинейному «осторожному» моменты по модулю уменьшаются, что определяется снижением нагрузки ввиду большего числа ног, находящихся одновременно в фазе опоры.

Проверка существования запаса по высоте в фазе переноса. Наибольший интерес представляет результат такой проверки для прямолинейного движения вследствие движения ног в противофазе.

Проверим запас по высоте на примере передних ног ЧШР. Для этого построим зависимость проекции опорной точки ноги на вертикальную ось системы координат рабочего пространства от времени (рис. 7). Вертикальной осью в соответствии с кинематической схемой, приведенной на рис. 1, является ось OY .

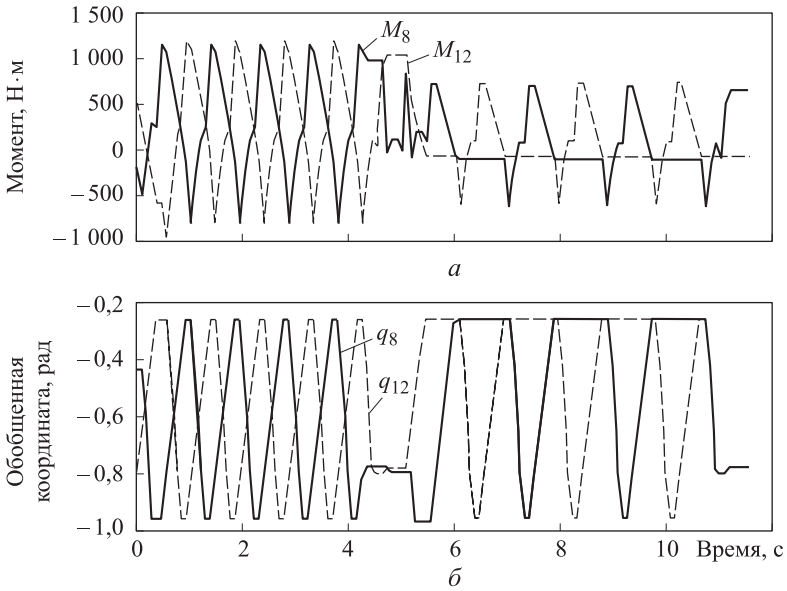


Рис. 6. Зависимости моментов M_8 и M_{12} приводов (а) и обобщенной координаты (б) от времени для сочленений q_8 и q_{12}

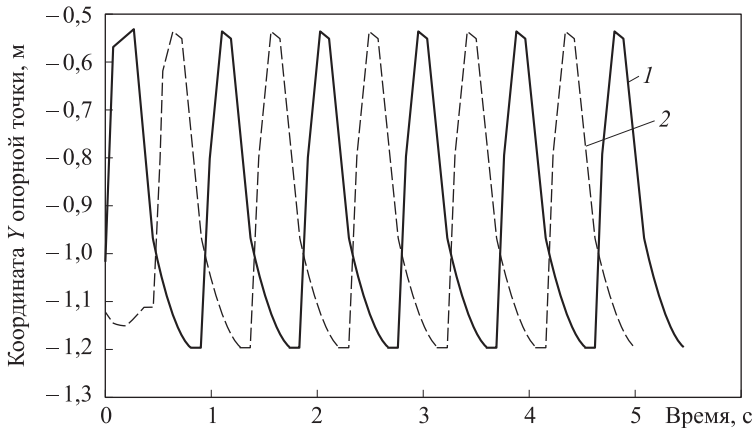


Рис. 7. Зависимость координат опорных точек передних правой (1) и левой (2) ног в системе координат рабочего пространства от времени

Согласно зависимости, приведенной на рис. 7, в процессе прямолинейного движения координаты опорных точек передних ног никогда не достигают минимального значения одновременно, следовательно, имеется запас по высоте.

Выводы. В статье рассмотрен подход к формированию управляющих воздействий, не требующий решения обратной задачи кинематики. Преимущества этого подхода:

- решение однозначно (за счет выбора элементов шага и порядка их следования) и определяется относительно реальных ограничений ме-

ханизма, дополнительных проверок пригодности полученного решения не требуется;

- формируемые алгоритмы просты и могут быть приспособлены к меняющимся внешним условия путем варьирования шага за счет изменений ограничений обобщенных координат;

- при отсутствии необходимости изменять параметры ходьбы значения приращений обобщенных координат, рассчитанные один раз, подаются на приводы в качестве управляющих воздействий, дополнительных расчетов не требуется;

- управляющие воздействия формируются непосредственно в пространстве обобщенных координат, при этом предварительных операций преобразования координат не требуется;

- возможность применения для ШР с произвольной кинематической схемой.

В сочетании с СТЗ этот подход является реальной альтернативой решению обратной задачи кинематики. Однако на данном этапе он имеет существенный недостаток. Согласно зависимостям обобщенных координат от времени, обобщенные координаты изменяются линейно на каждой стадии шага. При смене стадий шага происходят резкие изменения наклонов кривых, что в реальной конструкции приведет к возникновению ударных воздействий в исполнительном механизме ШР. Этот недостаток можно устранить путем замены способа варьирования обобщенных координат.

В настоящее время осуществляются работы по усовершенствованию механизма варьирования обобщенных координат. Для устранения выявленного недостатка планируется синтезировать нелинейные управляющие воздействия. Линейное варьирование обобщенной координаты будет заменено варьированием аргумента нелинейной функции. При этом основные положения подхода не изменятся.

С помощью рассмотренного подхода можно реализовать множество различных типов движений ШР с произвольной кинематической схемой. Отличия будут в схеме смены опорных ног и в стадиях шага ноги.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Ковальчук А.К., Кулаков Б.Б., Кулаков Д.Б., Семенов С.Е., Яроц В.В. *Основы теории исполнительных механизмов шагающих роботов*. Москва, Изд-во «Рудомино», 2010, 170 с.
- [2] Вукобратович М. *Шагающие роботы и антропоморфные механизмы*. Москва, Изд-во «Мир», 1976, 543 с.
- [3] Лапшин В.В. *Механика и управление движением шагающих машин*. Москва, Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2012, 199 с.

- [4] Зенкевич С.Л., Ющенко А.С. *Основы управления манипуляционными роботами*. Москва, Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2004, 480 с.

Статья поступила в редакцию 08.06.2013

Ссылку на эту статью просим оформлять следующим образом:

Каргинов Л.А. Синтез управляющих воздействий для приводов исполнительных механизмов шагающих роботов без решения обратной задачи кинематики. *Инженерный журнал: наука и инновации*, 2013, вып. 4. URL: <http://engjournal.ru/catalog/machin/hydro/692.html>

Каргинов Леонид Андреевич — инженер кафедры «Специальная робототехника и мехатроника» МГТУ им. Н.Э. Баумана. Специализируется в области проектирования исполнительных механизмов и разработки алгоритмов управления шагающих роботов. e-mail: herstellung@mail.ru