

НИУ МЭИ
ЭНМИ

Кафедра теоретической механики и мехатроники.

Библиографический обзор по теме НИР:

**«Кинематический и динамический анализ движения
шестиногого аппарата»**

Научн. руководитель: доцент Корецкий А.В.

Студент: Гуркин Н.Н.

Группа: С-11-07.

Москва
2013 год

1. "Математическое моделирование динамики движения шестиногого шагающего аппарата" Иванова Ольга Юрьевна

В данной работе рассматриваются различные походки шагающих аппаратов, анализируются блоки формирования походки, приводятся примеры базовых матриц для походок трешками, галопом, и переход трешка-галоп. Приводятся основные функциональные схемы для реализации движения робота.

Разработка блока формирования походки шагающего аппарата

Движение каждой конечности шагающего аппарата представляет собой чередование фаз опоры и переноса. Под фазой опоры будем понимать движение конечности с момента начала вертикального опускания ее конца на опорную поверхность до момента отрыва от нее.

Введем функции $G^{(i)}(t)$ так, что $G^{(i)}(t) = 0$, если i -я нога в момент времени t

находится в фазе опоры, и $G^{(i)}(t) = 1$, если i -я нога находится в момент времени t в фазе переноса.

Введем кусочно-постоянную вектор-функцию

$$G(t) = \begin{pmatrix} G^1(t) \\ \dots \\ G^6(t) \end{pmatrix}$$

Столбец $G(t)$ назовем состоянием аппарата в момент времени t с помощью введенной вектор-функции $G(t)$ любую походку аппарата можно описать упорядоченной во

времени последовательностью столбцов $G_k(t)$ (матрицей), состоящих из 0 и 1. В дальнейшем под походкой будем понимать упорядоченную последовательность состояний аппарата. Назовем походку периодической, если последовательность периодическая. Очевидно, что для описания периодической походки можно ограничиться матрицей состояний с числом столбцов, равным минимальному периоду исходной последовательности, а для описания перехода с одной периодической походки на другую — указать конечную матрицу (последовательность) состояний данного перехода. Назовем эти матрицы задающими.

Последовательность дискретных состояний заданной походки реализуется в движении аппарата непрерывными кривыми, описывающими изменение углов в суставах конечностей аппарата. Формировать эти кривые в процессе движения аппарата удобно с помощью генераторов шаговых циклов [4], используя для управления их работой вектор-функцию $G(t)$. Для формирования вектор-функции $G(t)$ удобно до начала движения записать в долговременную память системы управления последовательность G_k ,

отвечающую заданной походке и в процессе движения обновлять значения, $G(t)$

считывая из памяти системы управления очередной столбец — состояние G_k , в соответствующий момент времени. Кроме последовательности состояний, необходимо задавать еще моменты перехода из одного состояния в другое.

Шесть идентичных генераторов шаговых циклов (по числу ног) формируют прообразы траекторий движения концов ног аппарата на плоскости вспомогательных декартовых координат σ_1, σ_2 как решение системы дифференциальных уравнений вида

$$\dot{\sigma}_1^{(i)} = f_1(\sigma_1^{(i)}, \sigma_2^{(i)}, K, \sigma^0, G(t), t)$$

$$\dot{\sigma}_2^{(i)} = f_2(\sigma_1^{(i)}, \sigma_2^{(i)}, K, \sigma^0, G(t), t)$$

$$i = 1, 2, \dots, 6,$$

где K — вектор управлений, σ^0 — вектор параметров. Характерный вид решения

уравнений на плоскости σ_1, σ_2 приведен на рисунке, где 1 — фаза опоры; 2 — фаза переноса, участок отрыва; 3 — фаза переноса, участок подъема; 4 — фаза переноса; 5 — фаза переноса, участок опускания; 6 — фаза опоры, участок наступания.

Генераторы шаговых циклов функционируют так, что для всех ног,

$$\sigma_1^{(i)} = V_0(t) (i = 1, 2, \dots, 6) \text{ находящихся в фазе опоры (1,6), } \sigma_1^{(i)} \text{ одинаковы.}$$

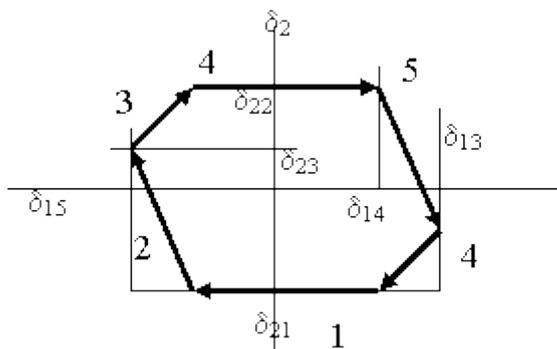


Рисунок 4 - Характерный вид траектории шагового цикла

Заметим, что если переход конечности аппарата на фазу переноса возможен в любой момент в течение фазы опоры (переход с участка 1 на участок 2 траектории шагового цикла), то переход в фазу опоры возможен лишь по завершении всех этапов фазы переноса (отрыв, подъем, перенос, опускание). Поэтому целесообразно организовать управление работой генераторов шаговых циклов так, чтобы переход с фазы опоры на фазу переноса происходил по внешнему (по отношению к генератору) управляющему сигналу, а переход с фазы переноса на фазу опоры производился «автоматически» за счет надлежащего выбора параметров генератора. При этом выбор параметров генератора необходимо производить так, чтобы конец ноги занял предписанное положение к предполагаемому моменту времени начала фазы опоры.

При такой организации смены фаз движения конечностей аппарата походка может задаваться под последовательностью исходной последовательности состояний, в которой сохранены лишь столбцы, отвечающие переходу какой-либо ноги в фазу переноса. Будем рассматривать только периодические походки. Как отмечалось ранее, периодические походки можно описать с помощью задающих матриц. В задающих матрицах периодических походок и переходов с одной и них на другую можно выделить столбцы отвечающие переходу какой-либо ноги в фазу переноса. Матрицы, составленные из выделенных столбцов (с сохранением упорядоченности), назовем базовыми матрицами периодических походок и переходов с одной из них на другую. Число столбцов в базовой матрице периодической походки назовем параметром походки. Приведем для примера базовые матрицы походок «трешки», «галоп» и перехода «трешки—галоп» соответственно:

$$\begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \\ 0 & 1 \\ 1 & 0 \\ 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix}, \begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}, \begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}.$$

Введем понятие обобщенного времени τ следующим образом:

$$d\tau = V_0(t)dt / a, \tau(0) = 0$$

$V_0(t)$ — скорость движения изображающей точки по траектории шагового цикла в фазе опоры $0 < V_0(t) < V_{\max}$, $a > 0$ — постоянная, имеющая размерность скорости. В обобщенном времени скорость движения изображающей точки на фазе опоры постоянна и равна a .

Рассмотрим теперь периодические походки, в которых все шесть генераторов шаговых циклов формируют идентичные траектории, отличающиеся лишь фазовыми сдвигами с

постоянными в обобщенном времени длительностями: τ_0 — опоры, τ_n —

переноса, $\tau_{\text{ц}} = \tau_0 + \tau_n$ — цикла.

Ограничимся походкам, при которых до и после фазы переноса каждой ноги имеется фаза

переноса каждой ноги имеется фаза совместной опоры на все ноги длительностью τ_{σ} .

Будем называть такие походки регулярными.

Можно показать, что существует следующее соотношение:

$$\tau_0 = (\lambda - 1)\tau_n + \lambda\tau_{\sigma}$$

Введем еще время такта $\tau_m = \tau_{\lambda} + \tau_{\sigma}$

Целесообразность рассмотрения регулярных походок определяется простотой их реализации: в обобщенном времени через интервалы τ_m происходит переход в фазу переноса конечностей, номера которых определяются соответствующим столбцом базовой матрицы.

При заданных $\lambda, \tau_m, \tau_{\sigma}$ однозначно определяются обобщенное время фазы переноса $\tau_n = \tau_m + \tau_{\sigma}$, обобщенное время фазы опоры $\tau_0 = (\lambda - 1)\tau_m + \tau_{\sigma}$ и длины шага $L = a\tau_0$

Реальное время фазы переноса и фазы опоры зависит от $V_0(t)$
Регулярная походка задается следующими параметрами: базовой матрицей и

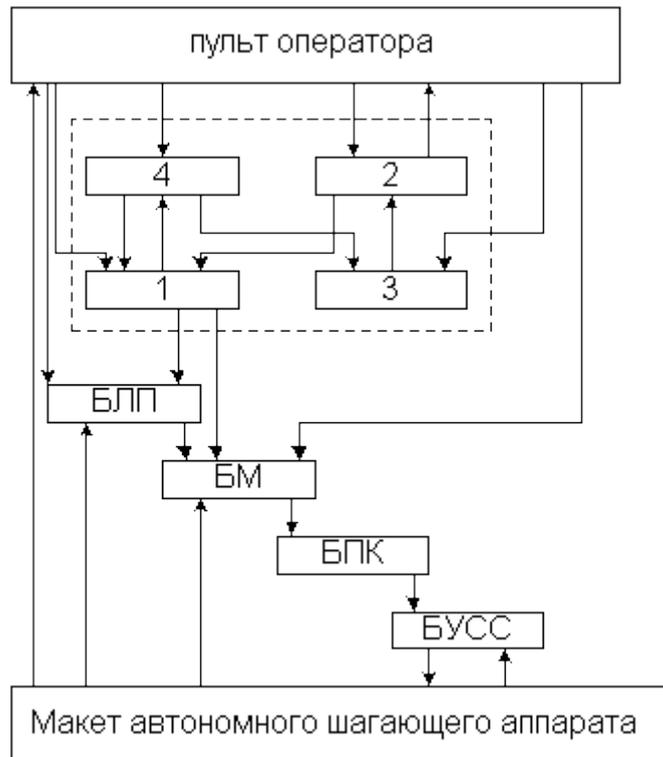
соответствующим λ , а также параметрами $L = a\tau_{\sigma}$ и $L_m = a\tau_m$

При реализации регулярных походок с помощью управляемых генераторов шаговых циклов удобно для управления моментами переходов соответствующих конечностей аппарата в фазу переноса использовать вместо $G(t)$ кусочно-постоянную вектор-функцию $g(t)$.

Интервалы постоянства $g(\tau)$ в обобщенном времени равны τ_m , а значения совпадают с соответствующими столбцами базовой матрицы.

Функциональная схема блока формирования походки и принцип ее работы

Функциональная схема блока формирования походок, включенного в систему управления шагающего аппарата изображена на рисунке. Собственно блок формирования походки (БФП) выделен штриховой линией. Он содержит следующие основные модули.



БФП — блок формирования походки, 1 — модуль генераторов шаговых циклов, 2 — модуль формирования последовательности движения конечностей, 3 — генератор ритма, 4 — модуль параметров; БЛП — блок линейного преобразования; БМ — блок маневрирования; БПК — блок преобразователей координат; БУСС — блок усилителей следящей системы.

1. Модуль шести идентичных генераторов шаговых циклов. Выходом модуля

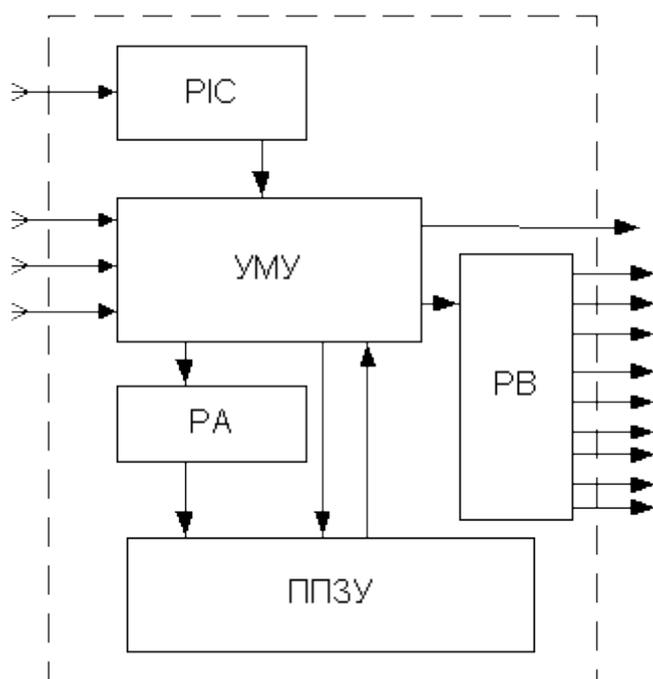
являются шесть вектор функций $\sigma^{(i)}, (t)$ - прообразы траекторий концов шести ног аппарата, поступающие в блок линейных преобразований системы управления, а также сигналы перехода каждого генератора из фазы переноса в фазу опоры и из фазы опоры в фазу переноса, поступающие в блок маневрирования.

Входами модуля генераторов являются постоянные и настроечные параметры генератора, определяющие геометрические и временные характеристики шаговых циклов, задаваемых модулем параметров.

2. Модуль формирования последовательности движения конечностей содержит перепрограммируемое запоминающее устройство (ППЗУ), в котором хранятся базовые матрицы регулярных походок; и процессов перестроения походок, а также набор временных и фазовых параметров, характеризующих походки и процессы перестроения походок. Кроме ППЗУ, модуль содержит устройство микропрограммного управления. Выходы модуля, управляющие переходом

конечностей с фазы опоры в фазу переноса, поступают в модуль генераторов, параметры походок — в модуль параметров.

3. Генератор ритма формирует тактовые сигналы, поступающие на вход модуля формирования последовательности движения конечностей. Входами генератора ритма являются выходы модуля параметров и сигналы верхнего уровня.
4. Модуль параметров представляет (собой вычислитель для определения текущих значений части параметров генераторов шаговых циклов и генератора ритма как функций параметров, заданных верхним уровнем, модулем последовательности движений конечностей и текущих значений выходов генераторов шаговых циклов. Основой модуля являются устройства микропрограммного управления и ППЗУ. В состав также входят регистр выходной информации РВ, регистр связи с верхним уровнем РС и регистр адреса РА. Функциональная схема модуля показана на рисунке.



РС - регистр связи с верхним уровнем; УМУ- устройство микропрограммного управления; РВ — регистр выхода; РА - регистр адреса; ППЗУ — перепрограммируемое запоминающее устройство.

2. ПРИМЕНЕНИЕ ВИНТОВОГО ИСЧИСЛЕНИЯ В СОВРЕМЕННОЙ ТЕОРИИ МЕХАНИЗМОВ. В.А. Глазунов, С.Д. Костерева, П.О. Данилин, А.Б. Ласточкин Институт машиноведения РАН, Россия, Москва. Вестник научно-технического № 6 (34), 2010 г.

В данной статье решается задача определения движений, выводящих механизм параллельной структуры из особых положений, либо переводящих его в соседние особые положения, а также моделируются фрагменты кристаллических структур.

Первой задачей будет определение движений, выводящих механизм параллельной структуры из особых положений, либо переводящих его в соседние особые положения.

Рассмотрим манипуляционный механизм (Рис.1) с шестью степенями свободы, здесь A_i , B_i – точки базы и выходного звена, $s_i (s_{xi}, s_{yi}, s_{zi})$, $r_i(r_{xi}, r_{yi}, r_{zi})$ – векторы между началом координат и указанными точками (очевидно, что s_i постоянны).

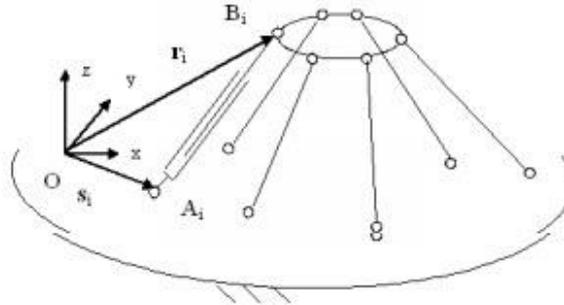


Рис. 1

Силовые винты, действующие на выходное звено, расположены вдоль осей приводов $E_i = e_i + \chi e_i^0$, ($i = 1 \dots 6$), где $\chi^2 = 0$, $e_i e_i^0 = 0$. Координаты вектора e_i выражаются через координаты соответствующих точек: $(x_{B_i} - x_{A_i})/f_i$, $(y_{B_i} - y_{A_i})/f_i$, $(z_{B_i} - z_{A_i})/f_i$ где $x_{A_i} \dots z_{B_i}$ – координаты точек A_i и B_i ; f_i – расстояния между ними. Указанное расстояние между соответствующими точками равно

$$f_i = \sqrt{(x_{B_i} - x_{A_i})^2 + (y_{B_i} - y_{A_i})^2 + (z_{B_i} - z_{A_i})^2},$$

моментная часть единичного винта равна $e_i^0 = \rho_i \times e_i$; соответственно $e_i^0 = \rho_{y_i} e_{z_i} - \rho_{z_i} e_{y_i}$, другие координаты определяются аналогично.

После бесконечно малого перемещения $(dr_{x_i}, dr_{y_i}, dr_{z_i})$ точки выходного звена B_i имеем:

$$f_i + df_i = \sqrt{(x_{B_i} + dr_{x_i} - x_{A_i})^2 + (y_{B_i} + dr_{y_i} - y_{A_i})^2 + (z_{B_i} + dr_{z_i} - z_{A_i})^2}, \text{ далее}$$

$$f_i^2 + 2f_i df_i + df_i^2 = (x_{B_i} - x_{A_i})^2 + \dots + (z_{B_i} - z_{A_i})^2 + 2dr_{x_i}(x_{B_i} - x_{A_i}) + \dots + 2dr_{z_i}(z_{B_i} - z_{A_i}) \text{ и}$$

$$df_i = dr_i e_i. \quad (1)$$

$$\text{Кроме того } e_{x_i} + de_{x_i} = (x_{B_i} + dr_{x_i} - x_{A_i}) / (f_i + df_i) = \\ = (x_{B_i} + dr_{x_i} - x_{A_i}) (1 - df_i) / [(f_i + df_i)(1 - df_i)].$$

Исключая бесконечно малые второго порядка, можно записать:

$$e_{x_i} + de_{x_i} = (x_{B_i} - x_{A_i}) / f_i - (x_{B_i} - x_{A_i}) df_i / f_i^2 + dr_{x_i} / f_i.$$

Таким образом, используя (1), имеем:

$de_{x_i} = dr_{x_i} / f_i - (x_{B_i} - x_{A_i}) df_i / f_i^2 = (dr_{x_i} - e_{x_i} dr_i e_i) / f_i$ и, учитывая также de_{y_i} и de_{z_i} , получаем: $de_i = [dr_i - e_i (dr_i e_i)] / f_i$. Итак, приращение de_i зависит только от составляющей вектора dr_i , перпендикулярной к de_i .

Рассмотрим координаты единичного силового винта de_i после бесконечно малого перемещения dr_i точки B_i (далее опустим индекс i). Вектор dr определяется через кинематический винт выходного звена: $\Omega = \omega + \chi \omega^0$ ($\chi^2 = 0$), плюккеровы координаты которого: $(dl, dm, dn, dl^0, dm^0, dn^0)$, следующим образом:

$$dr_x = dmr_z - dnr_y + dl^0, \quad dr_y = dnr_x - dlr_z + dm^0, \quad dr_z = dlr_y - dmr_x + dn^0.$$

Координаты приращения de соответствующего единичного вектора запишем следующим образом:

$$de_x = 1/f \{ (dmr_z - dnr_y + dl^0) - [(dmr_z - dnr_y + dl^0) e_x + (dnr_x - dlr_z + dm^0) e_y + (dlr_y - dmr_x + dn^0) e_z] e_x \} \dots$$

Аналогичные выражения существуют для de_y и de_z .

Рассматривая координаты de^o приращения моментной части, имеем:

$$de_x^o = s_y de_z - s_z de_y; \quad de_y^o = s_z de_x - s_x de_z; \quad de_z^o = s_x de_y - s_y de_x; \quad \text{отсюда}$$

$$de_x^o = (s_y \{ (dlr_y - dmr_x + dn^o) - [(dmr_z - dnr_y + dl^o)e_x + (dnr_x - dlr_z + dm^o)e_y + (dlr_y - dmr_x + dn^o)e_z] e_z \} - s_z \{ (dnr_x - dlr_z + dm^o) - [(dmr_z - dnr_y + dl^o)e_x + (dnr_x - dlr_z + dm^o)e_y + (dlr_y - dmr_x + dn^o)e_z] e_y \}) / f \dots$$

Аналогичные соотношения существуют для de_y^o и de_z^o .

Используя полученные уравнения, выражаем de_x , de_y , de_z , de_x^o , de_y^o , de_z^o через dl , dm , dn , dl^o , dm^o , dn^o следующим образом:

$$de_x = \partial e_x / \partial dl + \partial e_x / \partial m dm + \partial e_x / \partial n dn + \partial e_x / \partial l^o dl^o + \partial e_x / \partial m^o dm^o + \partial e_x / \partial n^o dn^o; \quad (2)$$

где частные производные зависят от положения механизма.

Рассмотрим определитель $\det(T)$ матрицы (T) , включающей плюккеровы координаты единичных винтов E_i , ($i=1 \dots 6$):

$$(T) = \begin{pmatrix} e_{x1}, e_{y1}, e_{z1}, e_{x1}^o, e_{y1}^o, e_{z1}^o \\ \text{*****} \\ e_{x6}, e_{y6}, e_{z6}, e_{x6}^o, e_{y6}^o, e_{z6}^o \end{pmatrix}.$$

После бесконечно малого перемещения выходного звена определитель указанной матрицы получает приращение, выражаемое с помощью (2):

$$d[\det(T)] = \begin{vmatrix} \partial e_{x1} / \partial l \text{***} e_{z1}^o \\ \text{*****} \\ \partial e_{x6} / \partial l \text{***} e_{z6}^o \end{vmatrix} dl + \begin{vmatrix} \partial e_{x1} / \partial m \text{***} e_{z1}^o \\ \text{*****} \\ \partial e_{x6} / \partial m \text{***} e_{z6}^o \end{vmatrix} dm + \text{***} + \begin{vmatrix} e_{x1} \text{***} \partial e_{z1}^o / \partial n^o \\ \text{*****} \\ e_{x6} \text{***} \partial e_{z6}^o / \partial n^o \end{vmatrix} dn^o.$$

Таким образом, можно получить полный дифференциал от значения определителя:

$$d[\det(T)] = \partial[\det(T)] / \partial dl + \partial[\det(T)] / \partial m dm + \dots + \partial[\det(T)] / \partial n^o dn^o.$$

Данное соотношение позволяет найти кинематический винт-градиент, наиболее быстро выводящий из особых положений, а также кинематические винты, переводящие в соседние особые положения.

Аналогичные соотношения найдены для более сложных механизмов, имеющих параллельную структуру в каждой соединительной кинематической цепи (Рис. 2).

3. ПРИМЕНЕНИЕ МАШИН И МЕХАНИЗМОВ С ВНУТРЕННИМИ ВХОДАМИ.

В работе на различных примерах рассматриваются кинематические схемы реализации того или иного движения. Приведены примеры применения таких схем.

Наиболее естественна конструкция робота, в которой к корпусу присоединяются кинематические цепи ног. При этом одно из звеньев каждой ноги фиксируется на грунте, а машина перемещается за счет того, что звеньям некоторых кинематических пар сообщается принудительное относительное движение. Проблема создания шагающего устройства является интересной, но в тоже время серьезной задачей в области механики и управления.

При этом необходимо учитывать, по крайней мере, две принципиальные особенности. Первая заключается в том, что шагающие машины являются системами с переменной структурой. Вторая особенность связана с тем, что каждый из упомянутых механизмов может иметь степень подвижности, не совпадающую с числом входных звеньев, т.е. с числом опертых ног. Для организации движения шагающей машины необходимо решить следующие задачи: а) разработать правила постановки и переноса ног (задача выбора походки); б) разработать алгоритмы планирования движений корпуса шагохода и его ног; в) разработать систему управления движениями.

Ниже показаны некоторые шагающие машины, применяемые для выполнения различного рода работ в экстремальных внешних условиях или опасных и вредных для человека. Шагающая машина, изображенная на рис.24 напоминает четырехногого паука. Каждая его нога представляет собой механизм с приводом от трех двигателей. «Паук» воспринимает информацию об окружающей среде с помощью контактных датчиков, установленных на ступнях ног. Он способен взбираться по лестнице, преодолевать препятствия.

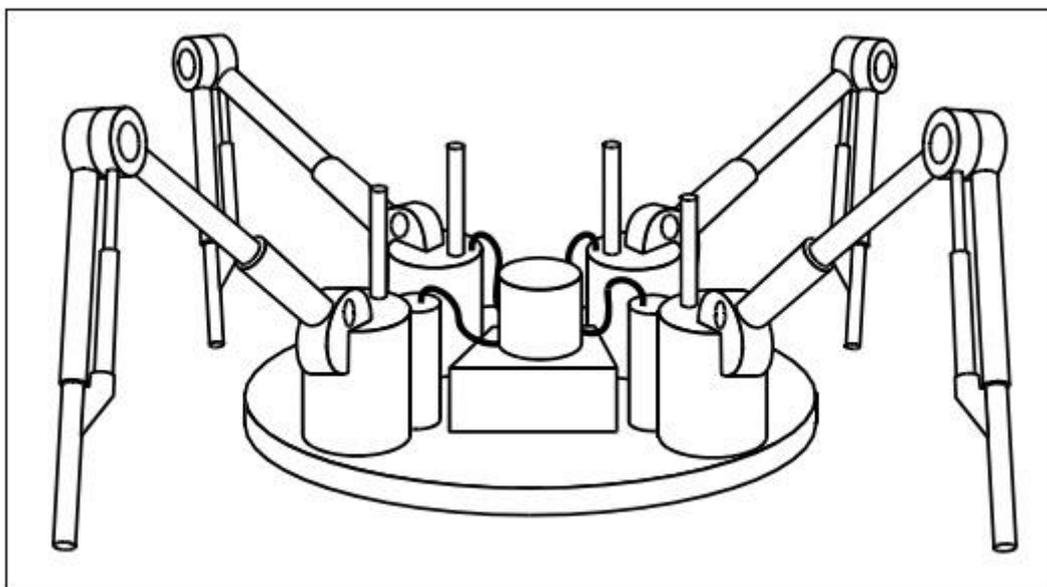


Рис. 24

Обзор литературы:

При рассмотрении динамической модели будем использовать уравнения динамики, необходимые для динамического управления роботами. Целью динамического управления является получение требуемого динамического отклика управляемого от ЭВМ манипулятора, чтобы этот отклик соответствовал некоторому заранее определенному множеству критериев. Эти критерии могут быть выражены через импульс и силы реакции и инерции, воздействующие на схват либо на объект. В общем случае проблема управления заключается в получении основных уравнений динамики робота-манипулятора в форме динамической модели физического манипулятора и в последующем определении законов управления, позволяющих достичь желаемого динамического отклика.

В связи с тем, что для построения модели динамики переходных процессов и дальнейшего анализа полученных уравнений необходима аналитическая форма, решено использовать для получения уравнений динамики метод Лагранжа – Эйлера. Основные уравнения:

$$(1) \quad \frac{d}{dt} \left(\frac{\partial L}{\partial \dot{q}_i} \right) - \left(\frac{\partial L}{\partial q_i} \right) = \tau_i$$

Функция Лагранжа:

$$(2) \quad L = L(q_i, \dot{q}_i, t) = T - V$$

Полная кинетическая энергия системы:

$$(3) \quad T = T(q_i, \dot{q}_i, t)$$

Полная потенциальная энергия системы:

$$(4) \quad V = V(q_i, t)$$

Обобщенные координаты: q_i или θ_i . Обобщенные силы и моменты: τ_i .

5. Прямая и обратная задачи динамики манипулятора

Прямая задача динамики формулируется так: задано движение механической системы, требуется определить обобщенные силы, обеспечивающие это движение. В манипуляторе обобщенные силы Q_i - это проекции сил (например, силы привода) на оси кинематических пар моментов (если пары вращательные) и сил (если эти пары поступательные). Движение определяется изменением во времени обобщенных координат q_i , которыми являются углы поворота во вращательных и смещения - в поступательных кинематических парах. Для ее решения нам необходимо получить уравнение, связывающее обобщенные силы и движение механической системы.

Основное уравнение Лагранжа II рода в матричной записи выглядит следующим образом:

$$(5) \quad \sum_{i=j}^n \sum_{k=1}^i \text{tr}(U_{ij} H_i U_{ik}^T) \ddot{q}_k \sum_{i=j}^n \sum_{k=1}^i \sum_{l=1}^i \text{tr}(U_{ij} H_i U_{ik}^T) \dot{q}_k \dot{q}_l \sum_{i=j}^n m_i G^T U_{ij} R_i^* = Q_j$$

При решении прямой задачи обобщенные координаты $q_i(t)$ - известные функции времени. Дифференцируя их, можно получить \dot{q}_i и \ddot{q}_i . Зная $q_i, \dot{q}_i, \ddot{q}_i$, можно вычислить все величины входящие в левую часть уравнения (5). Следовательно, можно вычислить обобщенные силы Q_i . Этим и определяется алгоритм решения первой задачи динамики.

Обратная задача динамики состоит в определении закона движения по заданным обобщенным силам. Здесь известными считаются обобщенные силы $Q_j(t)$ и значения обобщенных координат и их скоростей в начальный момент t_0 , т.е. $q_i(t_0)$ и $\dot{q}_i(t_0)$.

Подставляя в (5) величины $q_i(t_0), \dot{q}_i(t_0)$ и $Q_j(t_0)$, можно привести это уравнение к следующему виду:

$$(6) \quad \sum_{k=1}^n \alpha_{kj}(t_0) \ddot{q}_k(t_0) = \beta_j(t_0), (j=1,2,\dots,n),$$

Где $\alpha_{kj}(t_0)$ и $\beta_j(t_0)$ - известные числа.

Из n уравнений (5) можно найти n неизвестных величин: $\ddot{q}_k(t_0), k=1,2,\dots,n$. Решение уравнений удобно записать в матричной форме. Для этого введем матрицу α размером $n \times n$ с элементами α_{kj} , матрицу-столбец β с элементами β_j и матрицу столбец \ddot{q} с элементами \ddot{q}_k .

Система уравнений (5) примет вид:

$$(7) \quad \alpha \ddot{q} = \beta.$$

А ее решением будет:

$$(8) \quad \ddot{q} = \alpha^{-1} \beta = \gamma.$$

Фактически, через матрицы α и β осуществляется связь между прямой и обратной задачами динамики. При решении обратной задачи находится \ddot{q} , которое должно практически совпадать с \ddot{q} , заданным при решении прямой задачи. Чем меньше Δt , тем меньше погрешность расчета, но выше его трудоемкость. В нашем случае из-за равноускоренного движения \ddot{q} вычисляется только в начальный момент.

Решение обратных задач динамики позволяет определить основные требования, которые должны быть наложены на систему, чтобы движение с заданными свойствами было возможным, а также законы изменения и структуру управляющих сил.

Особенностью обратных задач динамики является то, что решение для управляющих сил находится в форме зависимости от состояния системы, т.е. от обобщенных координат и их производных, в отличие от прямой задачи динамики, когда эти значения определяются в функциях времени.

4. СИНТЕЗ ПРОГРАММНЫХ ДВИЖЕНИЙ МАНИПУЛЯТОРА НА ОСНОВЕ ПРОСТРАНСТВЕННОГО МЕХАНИЗМА ПАРАЛЛЕЛЬНОЙ СТРУКТУРЫ С ЧЕТЫРЕМЯ ПОСТУПАТЕЛЬНЫМИ ПАРАМИ. В.М. Герасун, В.В. Жога, И.А. Несмиянов, Н.С. Воробьева, В.В. Дяшкин-Титов

В данной статье рассматривается манипулятор - трипод, в конструкции которого продольные оси трех управляемых звеньев переменной длины сходятся в одной точке. Такая конструкция манипулятора обладает повышенной жесткостью и способна обеспечить довольно высокие динамические характеристики. В статье выводятся программные законы изменения длин звеньев, для позиционирования рабочего органа манипулятора.

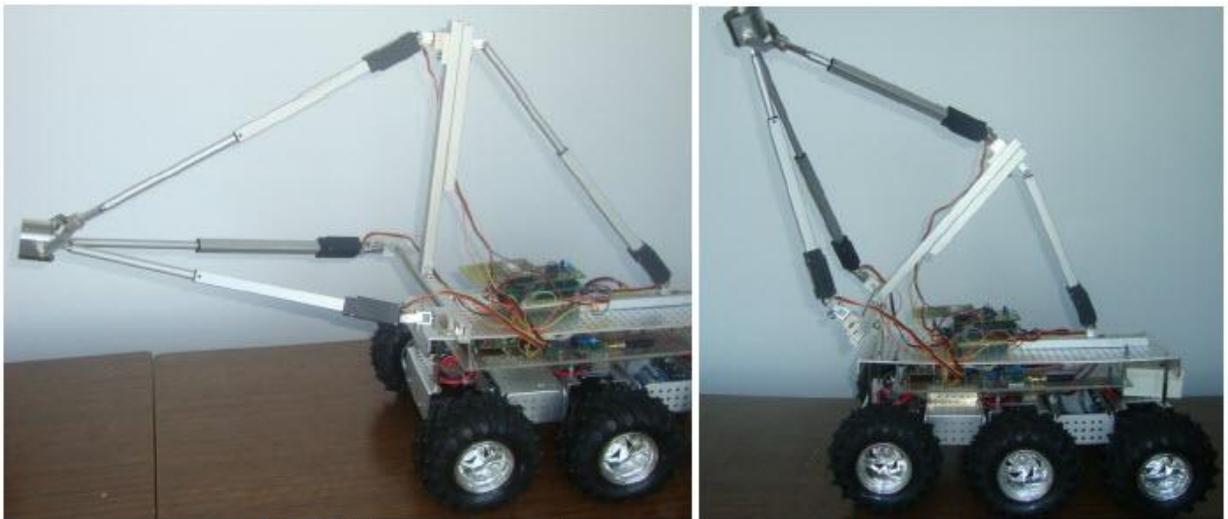


Рис. 1. Пространственный механизм манипулятора-трипода

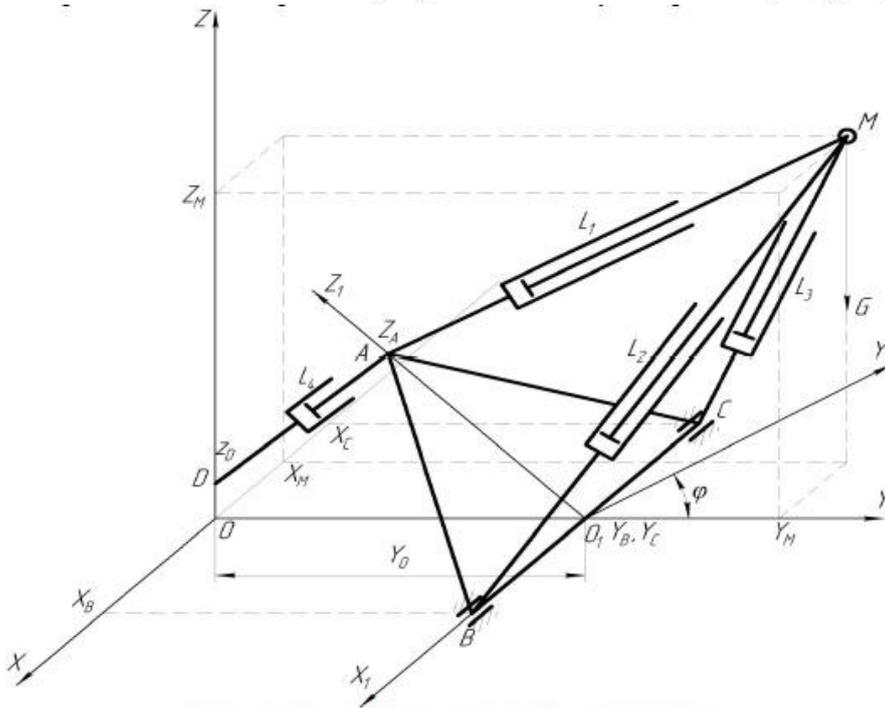


Рис. 2. Расчетная схема манипулятора-трипода

Для определения программного перемещения захватного устройства робота – точки M (рис. 2) необходимо решить задачи позиционирования, синтеза траектории и закона движения по этой траектории.

В качестве обобщенных координат выбираются длины звеньев манипулятора L_1, L_2, L_3, L_4 .

Уравнения, связывающие координаты точки M и длины звеньев робота в неподвижной системе координат $OXYZ$ имеют вид

$$\begin{cases} x_M^2 + (y_M - y_A)^2 + (z_M - z_A)^2 = L_1^2, & (x_M - x_B)^2 + (y_M - y_B)^2 + z_M^2 = L_2^2, \\ (x_M - x_C)^2 + (y_M - y_C)^2 + z_M^2 = L_3^2, & y_M^2 + (z_A - z_D)^2 = L_4^2, \end{cases} \quad (1)$$

где x_M, y_M, z_M – координаты точки M в неподвижной системе координат; $x_B = -x_C, z_A, y_B = y_C, z_D$ – координаты точек крепления звеньев манипулятора.

При решении задачи позиционирования требуется перевести схват манипулятора из начального положения, определяемого координатами точки $M_0(x_{M0}, y_{M0}, z_{M0})$ в конечное положение, определяемое координатами точки $M_k(x_{Mk}, y_{Mk}, z_{Mk})$. Предполагается, что начальная конфигурация манипулятора известна L_{i0} (показания датчиков перемещений) и требуется определить конечную конфигурацию L_{ik} , соответствующую требуемому конечному положению манипулятора.

Так как число обобщенных координат манипулятора превышает число обобщенных координат объекта, т.е. манипулятор обладает ненулевой маневренностью, то заданному конечному положению объекта соответствует множество конфигураций системы. Длины звеньев L_{2k}, L_{3k} определяются однозначно из выражений (1), а длины звеньев $L_{1k}(y_A, z_A), L_{4k}(y_A, z_A)$ находятся из условия минимума квадратичной функции [3]

$$\Phi = C_1(L_{1k} - L_{10})^2 + C_4(L_{4k} - L_{40})^2, \quad (2)$$

с ограничением в виде равенства

$$f(y_A, z_A) = z_A^2 + (y_B - y_A)^2 - O_1 A^2 = 0. \quad (3)$$

Линиями уровня функции (2) является эллипс, причем Φ возрастает с увеличением размеров эллипса. Уравнение (3) задает окружность (рис. 3). Минимальное значение Φ при удовлетворении ограничения (3) достигается на эллипсе, который касается указанной окружности.

Значения весовых коэффициентов C_1, C_4 принимаются тем больше, чем больше диапазон изменения усилий в соответствующих звеньях манипулятора.

В соответствии с методом Лагранжа целевая функция имеет вид [3]

$$\Phi^* = C_1(L_{1k} - L_{10})^2 + C_4(L_{4k} - L_{40})^2 + \lambda \cdot f(y_A, z_A), \quad (4)$$

где λ – неопределенный множитель Лагранжа.

Необходимые условия стационарности функции (4) Φ^* [3] формулируются в виде

$$\begin{aligned} C_1 \frac{\partial(L_{1k} - L_{10})^2}{\partial y_A} + C_4 \frac{\partial(L_{4k} - L_{40})^2}{\partial y_A} + \lambda \cdot \frac{\partial f(y_A, z_A)}{\partial y_A} &= 0 \\ C_1 \frac{\partial(L_{1k} - L_{10})^2}{\partial z_A} + C_4 \frac{\partial(L_{4k} - L_{40})^2}{\partial z_A} + \lambda \cdot \frac{\partial f(y_A, z_A)}{\partial z_A} &= 0 \end{aligned} \quad (5)$$

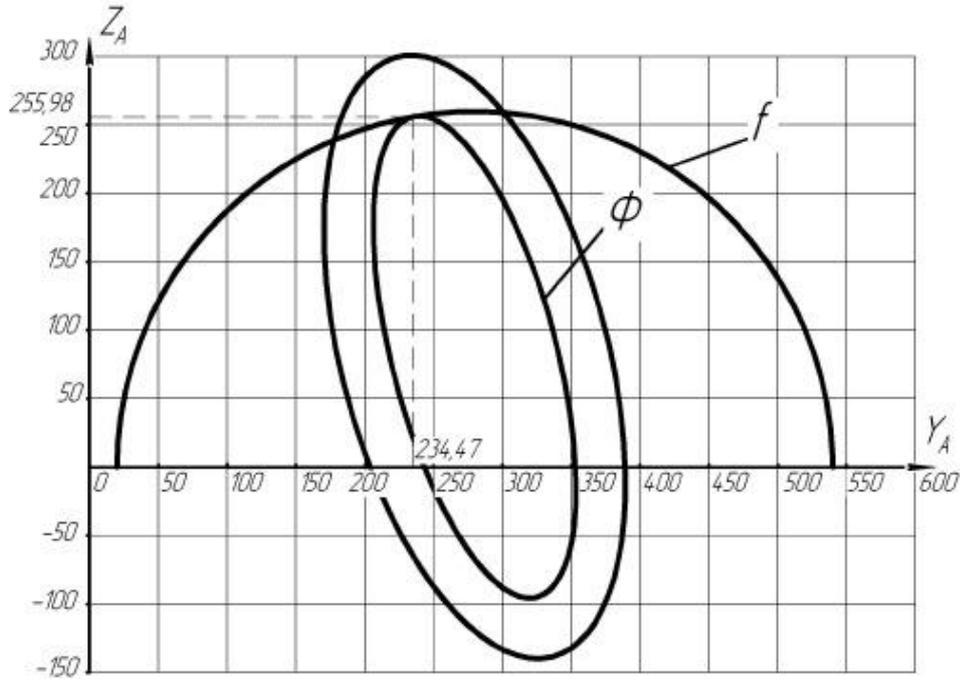


Рис. 3. Графики функций Φ, f

Подставляя выражения x_M, y_M, z_M из уравнений (1) в уравнения (5) и решая их совместно с уравнением (3) находим значения y_A, z_A, λ , а следовательно и $L_{1k}(y_A, z_A), L_{4k}(y_A, z_A)$

На рис. 3 представлены результаты решения задачи позиционирования для начальных значений обобщенных координат $x_0 = -80$ мм, $y_0 = 250$ мм, $z_0 = 370$ мм, $y_{A0} = 150$ мм, $z_{A0} = 225$ мм, $O_1A = 260$ мм, $y_B = 280$ мм.

После решения задачи позиционирования, возникает задача определения законов изменения обобщенных координат $L_i(t)$.

Оптимальная по времени перемещения траектория, это прямая, поэтому приняв такую траекторию задача позиционирования сводится к перемещению схвата по отрезку M_0M_1 . Однако, такое перемещение возможно в том случае, когда все точки отрезка M_0M_1 принадлежат выпуклому множеству, являющемуся частью зоны обслуживания.

Из уравнения прямой в пространстве, проходящей через две точки M_0 и M_1 определены зависимости координат x_M, y_M, z_M от длины дуги при естественной параметризации

$$x_M = \frac{S + x_{M0}K_X}{K_X}, \quad y_M = \frac{S + y_{M0}K_Y}{K_Y}, \quad z_M = \frac{S + z_{M0}K_Z}{K_Z}, \quad (6)$$

где S – текущее значение длины дуги, $K_x = \sqrt{1 + K_1^2 + K_2^2}$, $K_y = \sqrt{1 + 1/K_1^2 + K_3^2}$, $K_z = \sqrt{1 + 1/K_2^2 + 1/K_3^2}$, $K_1 = \frac{\Delta y}{\Delta x}$, $K_2 = \frac{\Delta z}{\Delta x}$, $K_3 = \frac{\Delta z}{\Delta y}$.

Закон движения по прямой M_0M_1 примем таким, чтобы он удовлетворял требованиям «мягкого» касания [3], так как изначально принимаем $S_0=0$, то

$$S(t) = S_k \cdot \left[\frac{t}{T} - \frac{1}{2\pi} \sin\left(\frac{2\pi t}{T}\right) \right]. \quad (7)$$

Примем время движения всех актуаторов одинаковым, однако, перемещения ($L_{ik}-L_{i0}$) различны, поэтому за конечное время T принимаем время работы того актуатора, который перемещает шток на наибольшее расстояние

$$T_i = \frac{L_{ik} - L_{i0}}{V_{\max}}, i = 1, 2, 3, 4,$$

$$T = \max_{i=1,2,3,4} (T_i),$$

где V_{\max} , м/с – максимальная скорость движения штока актуатора.

С учетом выбранного синусоидального закона перемещения (7) выражения (6) примут вид:

$$x_M(t) = \frac{S(t) + x_{M0}K_x}{K_x}, y_M(t) = \frac{S(t) + y_{M0}K_y}{K_y}, z_M(t) = \frac{S(t) + z_{M0}K_z}{K_z} \quad (8)$$

Таким образом, решение уравнений (1) с учетом зависимостей (8) позволяет найти программные законы изменения длин актуаторов $L_i(t)$ без решения обратной задачи кинематики.

5. Коловский, М. З. Основы динамики промышленных роботов / М. З. Коловский, А. В. Слоущ. - М. : Наука, 1988. - 240 с

Излагаются методы динамического анализа промышленных роботов. Рассматриваются структуры манипуляционных систем, методы кинематического исследования механизмов, анализа их геометрической и кинематической точности, силового расчета, определения статических и динамических ошибок. Рассматриваются как механизмы с жесткими звеньями, так и деформируемые механические системы роботов. Анализируется влияние динамических характеристик механической системы на эффективность замкнутых систем управления движением.

6. Шахинпур М.А., Курс робототехники: пер с англ. - М.: Мир, 1990. - 527 с.

Книга написана доступным языком. В ней представлены практически все разделы механики, которые пригодятся при создании мобильного робота. Кинематика и динамика исполнительных механизмов, управление приводами, зрение робота, программирование микроконтроллеров. Есть большое количество различных примеров. Широко рассмотрено применение связанных графов для представления движения манипулятора, т.к. в некоторых случаях этот метод целесообразнее применения уравнения Лагранжа. Отдельно в книге рассматриваются вопросы технического зрения, основные алгоритмы конвертации изображения в разверстку, выделения особых точек, распознавания контуров объекта.

7. ПОВОРОТ ШАГАЮЩИХ МАШИН С ДВИЖИТЕЛЯМИ НА БАЗЕ ЦИКЛОВЫХ МЕХАНИЗМОВ В.В.ЧЕРНЫШЕВ

В статье исследуются различные способы поворота шагающих машин. Оценивается эффективность того или иного способа, его плюсы и минусы для проходимости по различным типам поверхностей и энергоэффективности.

Возможности бортового поворота шагающей машины с цикловыми движителями ограничены из-за большого момента сопротивления повороту. Кроме того, бортовой поворот шагающей машины реализуется по сцеплению не на всех грунтах.

Поворот за счет изменения ориентации плоскостей шагания сводит к минимуму энергозатраты на поворот, а также проскальзывание и срез грунта. Однако из-за сложности системы управления указанный способ поворота не вписывается в концепцию проектирования простого и надежного шагающего шасси.

Эффективность бортового поворота может быть существенно повышена при использовании новых механизмов поворота, специально разработанных для шагающих машин. Принцип действия механизмов поворота, в частности, может быть основан на управлении движением опорных точек по траектории или на целенаправленной трансформации формы самой траектории. Механизмы шагания в этом случае будут оставаться одностепенными и могут выполнять дополнительные функции (изменять параметры шага при встрече с препятствием для успешного его прохождения, бесступенчато регулировать скорость передвижения в некоторых пределах, снижать неравномерность движения, вызванного самим шагающим способом передвижения и др.).

Бортовой поворот шагающей машины в статически неустойчивом положении при соответствующем управлении, благодаря периодическому и дискретному взаимодействию стоп с опорной поверхностью, может обеспечить снижение момента сопротивления

повороту на порядок, что позволяет реализовать ступенчатый поворот с малыми радиусами на любом грунте.