

Ю.Л. САРКИСЯН, Т.Ф. ПАРИКЯН, А.Г. ХАРАТЯН

АППРОКСИМАЦИОННЫЙ СИНТЕЗ РЕКОНФИГУРИРУЕМЫХ ДИСКРЕТНЫХ МАНИПУЛЯТОРОВ НА БАЗЕ РЕГУЛИРУЕМЫХ ДИАД

Представлены теория и численные методы решения задач квадратического аппроксимационного синтеза пространственных диад с одним регулируемым параметром, положенных в основу проектирования реконфигурируемых дискретных манипуляторов и других систем многофункционального назначения. Показано, что аппроксимационный синтез регулируемых цепей сводится к поиску в теле элементов, наименее отклоняющихся в заданных наборах положений от совокупности однотипных геометрических образов, причем число этих образов равно числу воспроизводимых законов движения. Рассмотрены варианты пересечения указанных образов, позволяющие синтезировать другие диады. Приведен численный пример синтеза реконфигурируемого манипуляционного механизма типа 5 (СПС), воспроизводящего два набора положений твердого тела.

Ключевые слова: аппроксимационный синтез, дискретный манипулятор, реконфигурируемый манипулятор, регулируемые диады, взвешенное квадратическое приближение.

Введение. Дискретными называются манипуляторы с приводами (актуаторами) дискретного действия, которые имеют конечное число дискретных устойчивых положений [1] в силу дискретности входов дискретно и пространственно достижимых положений конечного звена (рабочего органа) таких манипуляторов. По сравнению с традиционными “непрерывными” манипуляторами, дискретные манипуляторы имеют ряд преимуществ, в том числе: возможность реализации требуемых перемещений без систем управления с обратной связью и сенсорных устройств, высокая степень повторяемости и устойчивость положений, простота механизма, небольшие габариты и дешевизна. Между тем ряд производственных и исследовательских приложений манипуляторов требует именно дискретных движений рабочего органа, в связи с чем в последние годы значительно возрос интерес к дискретным манипуляторам, особенно к их простейшему случаю – бинарным манипуляторам [2-4], у которых каждый привод имеет лишь два устойчивых положения. Бинарные манипуляторы аппроксимируют заданные движения использованием большого числа бинарных степеней свободы.

С другой стороны, одним из наиболее важных требований, предъявляемых сегодня к манипуляционным системам на стадии их проектирования, чаще всего является их многофункциональность и свойство реконфигурируемости, т.е. способность манипулятора в процессе работы менять свою структуру и/или геометрические параметры и обретать различные конфигурации для выполнения разных рабочих заданий и кинематических функций. Это свойство в основном достигается за счет изменения структуры механизма, в связи с чем и был развит модульный принцип формирования структурных схем реконфигурируемых манипуляторов путем последовательного соединения ряда

структурных модулей в виде параллельных механизмов [1,5]. Кинематическому (структурно параметрическому) синтезу переналаживаемых модульных манипуляционных механизмов посвящены работы [1, 3, 5-8].

В настоящей работе рассмотрена задача аппроксимационного синтеза реконфигурируемых дискретных манипуляторов с параллельной структурой, образуемых на базе пространственных диад типа СПС, ППС и сферической диады ВВВ, для приближенного воспроизведения нескольких наборов конечноудаленных положений твердотельного объекта. Задача сводится к поиску внутри тела точечных или линейных элементов, которые в заданных наборах дискретных положений наименее отклоняются от совокупности однотипных эквидистантных геометрических образов. Число этих образов равно числу воспроизводимых наборов положений объекта. В качестве меры приближения принята среднеквадратическая норма отклонения. Предлагаемый метод синтеза основан на геометрическом аппарате и итерационных алгоритмах аппроксимационного синтеза механизмов [9, 10].

Синтез регулируемой диады СПС. Взвешенное квадратическое приближение нескольких точечных множеств системой концентрических сфер. Пусть задано m наборов конечноудаленных положений тела e относительно тела $E_S - N_k$ положений в каждом наборе $(k=1,...,m)$. Заданы также координаты некоторой точки $B(x_B, y_B, z_B)$ на теле e в связанной с ним системе координат $oxyz$. Требуется определить координаты такой точки $A(X_A, Y_A, Z_A)$ в системе $OXYZ$, связанной с телом E , расстояния от которой до заданных точек в каждом из m наборов по возможности мало отличались от некоторых постоянных $R_k (k=1,...,m)$.

Поскольку искомые параметры X_A, Y_A, Z_A и $R_k (k=1,...,m)$ задают систему концентрических сфер, то задача сводится к приближению точечных множеств системой концентрических сфер.

Координаты i_k -го положения точки B в системе $OXYZ$ определяются по известной формуле преобразования координат:

$$[X_{B_{i_k}}, Y_{B_{i_k}}, Z_{B_{i_k}}]^t = T_{i_k} [x_B, y_B, z_B]^t + [X_{o_{i_k}}, Y_{o_{i_k}}, Z_{o_{i_k}}]^t, \quad (1)$$

где T_{i_k} - ортогональная (3x3) - матрица вращения, составленная из направляющих косинусов углов между осями систем $OXYZ$ и $oxyz$ в i_k -ом положении.

В качестве меры отклонения точки B в i_k -ом положении k -го набора от сферы радиуса R_{k_k} можно принять степень этой точки относительно сферы, т.е. взвешенную разность [9]:

$$\Delta_{q_{i_k}} = \left| \overline{AB_{i_k}} \right|^2 - R_k^2 = (X_{B_{i_k}} - X_A)^2 + (Y_{B_{i_k}} - Y_A)^2 + (Z_{B_{i_k}} - Z_A)^2 - R_k^2 \quad (2)$$

$$(k=1, \dots, m) \quad (i_k=1, \dots, N_k)$$

Введя обозначения $H_k = (R_k^2 - X_A^2 - Y_A^2 - Z_A^2)/2$ и опуская здесь и далее в индексах букву B (для краткости), преобразуем (2) к линейному виду относительно искомого величин X_A, Y_A, Z_A и H_k ($k=1, \dots, m$):

$$\Delta q_{i_k} = -2(X_{i_k} X_A + Y_{i_k} Y_A + Z_{i_k} Z_A + H_k - \rho_{i_k}^2 / 2), \quad (3)$$

где $\rho_{i_k}^2 = X_{i_k}^2 + Y_{i_k}^2 + Z_{i_k}^2$.

По аналогии с известными работами [9,10] данная задача также сводится к минимизации целевой функции

$$S = \sum_{k=1}^m \sum_{i_k=1}^{N_k} \Delta q_{i_k}^2 \quad (4)$$

из $(m+3)$ условий ее экстремальности:

$\partial S / \partial X_A = 0; \partial S / \partial Y_A = 0; \partial S / \partial Z_A = 0; \partial S / \partial H_k = 0$ ($k=1, \dots, m$), которые приводят к системе $(m+3)$ линейных уравнений

$$\begin{bmatrix} \sum X_i^2 & \sum X_i Y_i & \sum X_i Z_i & \sum X_{i_1} \dots & \sum X_{i_m} \\ \sum X_i Y_i & \sum Y_i^2 & \sum Y_i Z_i & \sum Y_{i_1} \dots & \sum Y_{i_m} \\ \sum X_i Z_i & \sum Y_i Z_i & \sum Z_i^2 & \sum Z_{i_1} \dots & \sum Z_{i_m} \\ \sum X_{i_1} & \sum Y_{i_1} & \sum Z_{i_1} & N_1 & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \sum X_{i_m} & \sum Y_{i_m} & \sum Z_{i_m} & 0 & \dots & N_m \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_A \\ Y_A \\ Z_A \\ H_1 \\ \dots \\ H_m \end{bmatrix} = \frac{1}{2} \begin{bmatrix} \sum X_i \rho_i^2 \\ \sum Y_i \rho_i^2 \\ \sum Z_i \rho_i^2 \\ \sum \rho_{i_1}^2 \\ \dots \\ \sum \rho_{i_m}^2 \end{bmatrix},$$

где опущенные для краткости пределы суммирования равны: $i_k=1, \dots, N_k$ ($k=1, \dots, m$);

$i=1, \dots, \sum_{k=1}^m N_k$. Значения радиусов сфер определяются из выражений:

$$R_k = \sqrt{2H_k + X_A^2 + Y_A^2 + Z_A^2} \quad (k=1, \dots, m).$$

Алгоритм синтеза регулируемой диады СПС. Метод определения искомого параметров регулируемой диады СПС, приближенно воспроизводящей заданные положения тела e (с фиксированным положением поступательной пары для каждого из m наборов), основан на решении сформулированной выше вспомогательной задачи, попеременно для прямого и обратного движения тел e и E ностью аналогичен предложенному Саркисяном [9]:

1. Выбирается начальное приближение в виде координат некоторой точки $B(x_B, y_B, z_B)$ на теле ϵ , для которой определяются координаты центра $A(x_A, y_A, z_A)$ сферического шарнира на теле E и радиусы сфер R_k ($k=1, \dots, m$).
2. Производится обращение движения, т. е. тело ϵ принимается за неподвижное, и вычисляются координаты точек A_{i_k} тела E в системе $OXYZ$ во всех положениях по формуле, обратной (1):

$$[x_{A_{i_k}}, y_{A_{i_k}}, z_{A_{i_k}}]^t = T_{i_k}^{-1} [x_A - x_{o_{i_k}}, y_A - y_{o_{i_k}}, z_A - z_{o_{i_k}}]^t. \quad (5)$$

3. Решается задача, аналогичная указанной в п.1, с той лишь разницей, что по известным координатам $x_{A_{i_k}}, y_{A_{i_k}}, z_{A_{i_k}}$ точек A_{i_k} определяются координаты центра сферического шарнира $B(x_B, y_B, z_B)$ на теле ϵ и радиусы R_k ($k=1, \dots, m$).

Итерационный процесс повторяется до удовлетворения следующего неравенства:

$$\max(|x_B^{(j)} - x_B^{(j-1)}|, |y_B^{(j)} - y_B^{(j-1)}|, |z_B^{(j)} - z_B^{(j-1)}|, |R_1^{(j)} - R_1^{(j-1)}|, \dots, |R_m^{(j)} - R_m^{(j-1)}|) < \epsilon,$$

где в скобках указаны разности величин, полученных на j -ом и $(j-1)$ -ом шагах итерационной процедуры, а ϵ - малая положительная величина. Сходимость процесса можно доказать аналогично [9].

Синтез регулируемой диады ПЛПС. Взвешенное квадратическое приближение нескольких точечных множеств системой параллельных плоскостей. При тех же исходных условиях, что и в предыдущем случае, требуется определить координаты (a, b, c) такого единичного вектора $\vec{n}$ в системе $OXYZ$, при котором величины проекций заданных векторов $\vec{OB}_{i_k}$ на него в каждом из m наборов по возможности мало отличались от некоторых постоянных.

В качестве меры отклонения точки B в i_k -ом положении от k -й плоскости можно принять функции

$$\Delta_{q_{i_k}} = aX_{i_k} + bY_{i_k} + cZ_{i_k} + d_k \quad (k=1, \dots, m; i_k=1, \dots, N_k), \quad (6)$$

где (a, b, c) и d_k ($k=1, \dots, m$) - параметры приближающих плоскостей. Полагая для определенности $a=-1$, имеем

$$\Delta_{q_{i_k}} = -X_{i_k} + bY_{i_k} + cZ_{i_k} + d_k.$$

Минимизация целевой функции (4) из условий ее экстремальности $\partial S / \partial b = 0$ $\partial S / \partial c = 0$ $\partial S / \partial d_k = 0$ ($k=1, \dots, m$) приводит к системе $(m+2)$ линейных уравнений:

$$\begin{bmatrix} \sum Y_i^2 & \sum Y_i Z_i & \sum Y_{i_1} & \dots & \sum Y_{i_m} \\ \sum Y_i Z_i & \sum Z_i^2 & \sum Z_{i_1} & \dots & \sum Z_{i_m} \\ \sum Y_{i_1} & \sum Z_{i_1} & N_1 & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \sum Y_{i_m} & \sum Z_{i_m} & 0 & \dots & N_m \end{bmatrix} \begin{bmatrix} b \\ c \\ d_1 \\ \dots \\ d_m \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sum X_i Y_i \\ \sum X_i Z_i \\ \sum X_{i_1} \\ \dots \\ \sum X_{i_m} \end{bmatrix}.$$

Алгоритм синтеза регулируемой диады ПлПС. Данный алгоритм аналогичен алгоритму синтеза регулируемой диады СПС, с той лишь разницей, что в обращенном движении решается задача взвешенного квадратического приближения множеств плоскостей точкой, изложенная Саркисяном [9].

Синтез сферической регулируемой диады ВВВ. Взвешенное квадратическое приближение нескольких связок прямых с общей точкой системой соосных конусов с общей вершиной. Пусть задано m наборов конечноудаленных положений тела E — N_k положений в каждом наборе ($k=1, \dots, m$). Задана также прямая f в теле E , проходящая через неподвижную точку O . Требуется определить такую прямую Q в теле E , проходящую через точку O , углы которой, образуемые с заданными прямыми f_{i_k} , по возможности мало отличались от некоторых постоянных γ_k в каждом из m наборов.

Поскольку искомая прямая Q и углы γ_k ($k=1, \dots, m$) задают систему m задач сводится к приближению m связок прямых системой m соосных конусов. Если через B и A обозначить точки, лежащие на осях f и Q соответственно, то в качестве меры отклонения прямой f_{i_k} от Q удобно принять выражение

$$\Delta q_{i_k} = \bar{r}_{B_{i_k}} \cdot \bar{r}_A - \left| \bar{r}_{B_{i_k}} \right| \left| \bar{r}_A \right| \cos \gamma_k \quad (k=1, \dots, m; i_k=1, \dots, N_k). \quad (7)$$

После подстановки $H_k = \left| \bar{r}_{B_{i_k}} \right| \left| \bar{r}_A \right| \cos \gamma_k$ выражение (7) можно привести к линейному виду относительно искомых величин X_A, Y_A, Z_A и H_k ($k=1, \dots, m$):

$$\Delta q_{i_k} = X_{i_k} X_A + Y_{i_k} Y_A + Z_{i_k} Z_A + H_k. \quad (8)$$

Полагая для определенности $Z_A = 1$, имеем

$$\Delta q_{i_k} = X_{i_k} X_A + Y_{i_k} Y_A + Z_{i_k} + H_k. \quad (9)$$

Минимизация целевой функции (4) из условий ее экстремальности $\partial S/\partial X_A = 0$; $\partial S/\partial Y_A = 0$; $\partial S/\partial H_k = 0$ ($k=1,...,m$) приводит к системе $(m+2)$ линейных уравнений:

$$\begin{bmatrix} \sum X_i^2 & \sum X_i Y_i & \sum X_{i_1} & \dots & \sum X_{i_m} \\ \sum X_i Y_i & \sum Y_i^2 & \sum Y_{i_1} & \dots & \sum Y_{i_m} \\ \sum X_{i_1} & \sum Y_{i_1} & N_1 & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \sum X_{i_m} & \sum Y_{i_m} & 0 & \dots & N_m \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_A \\ Y_A \\ H_1 \\ \dots \\ H_m \end{bmatrix} = - \begin{bmatrix} \sum X_i Z_i \\ \sum Y_i Z_i \\ \sum Z_{i_1} \\ \dots \\ \sum Z_{i_m} \end{bmatrix}.$$

Значения углов γ_k ($k=1,...,m$) определяются из выражений

$$\gamma_k = \arccos \left[\frac{|H_k|}{|\vec{r}_B| |\vec{r}_A|} \right] (k=1,...,m).$$

Алгоритм синтеза сферической регулируемой диады ВВВ. Данный алгоритм аналогичен алгоритму синтеза регулируемой диады СПС:

1. Выбирается начальное приближение в виде координат некоторой точки $B(x_B, y_B, z_B)$ на прямой Q в теле E , на основе которой определяются координаты i_k -го положения точки B в системе $OXYZ$ с учетом известной формулы преобразования координат в сферическом движении:

$$[X_{i_k}, Y_{i_k}, Z_{i_k}]^t = T_{i_k} [x_B, y_B, z_B]^t. \quad (10)$$

Из системы линейных уравнений определяются координаты точки $A(X_A, Y_A, Z_A)$ на прямой Q в теле E и величины углов γ_k ($k=1,...,m$).

2. Производится обращение движения и вычисляются координаты точек A тела E в системе $OXYZ$ во всех положениях по формуле, обратной (10):

$$[x_{A_{i_k}}, y_{A_{i_k}}, z_{A_{i_k}}]^t = T_{i_k}^{-1} [X_A, Y_A, Z_A]^t. \quad (11)$$

3. Решается задача, аналогичная указанной в п.1, с той лишь разницей, что по известным координатам $x_{A_{i_k}}, y_{A_{i_k}}, z_{A_{i_k}}$ точек A_{i_k} определяются координаты точки $B(x_B, y_B, z_B)$ и углы γ_k ($k=1,...,m$).

Итерации повторяют до удовлетворения неравенства

$$\max \left(|x_B^{(j)} - x_B^{(j-1)}|, |y_B^{(j)} - y_B^{(j-1)}|, |z_B^{(j)} - z_B^{(j-1)}|, |\gamma_1^{(j)} - \gamma_1^{(j-1)}|, \dots, |\gamma_m^{(j)} - \gamma_m^{(j-1)}| \right) < \varepsilon.$$

Синтез регулируемых диад ВПС, ППС, ВВС и ПВС. Рассматривая различные варианты пересечения первых двух геометрических образов – системы концентрических сфер и системы параллельных плоскостей – со сферой, плоскостью и цилиндром, получаем

новые совокупности эквидистантных геометрических образов: а) соосные окружности, принадлежащие одной сфере; б) соосные концентрические окружности; в) компланарные параллельные прямые и г) соосные окружности равного радиуса (табл. 1), которые моделируют соответственно регулируемые диады ВВС, ВПС, ППС, ПВС (рис.1). При этом для решения задач о приближении точек сферой, плоскостью и цилиндром можно использовать известные итерационные алгоритмы квадратического приближения [9].

Таблица 1

Пересечения геометрических образов

Поверхности Системы поверхностей	Сфера	Плоскость	Цилиндр
Концентрические сферы	а	б	—
Параллельные плоскости	а	в	г

а – соосные окружности, принадлежащие одной сфере, б – соосные концентрические окружности, в – компланарные параллельные прямые, г – соосные окружности равного радиуса

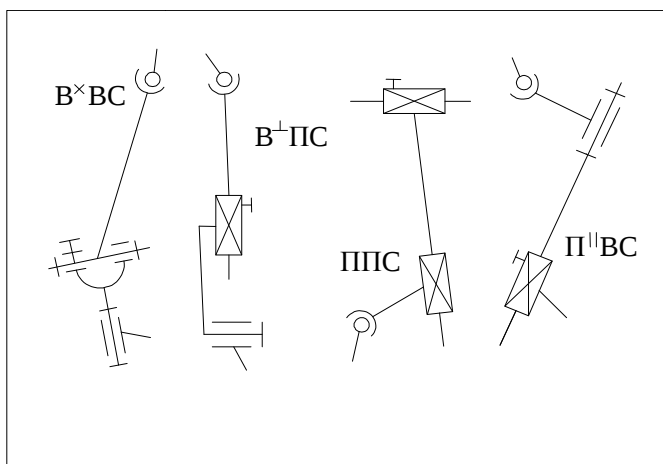


Рис. 1. Регулируемые диады ВВС, ВПС, ППС, ПВС

Синтез переналаживаемых передаточных, направляющих и перемещающих механизмов на базе регулируемых диад. На рис. 2 приведены примеры передаточных, перемещающих и направляющих переналаживаемых механизмов, которые можно построить с помощью вышеописанных диад. При переводе каждого из построенных таким образом механизмов на воспроизведение нового закона движения достаточно переустановить элементы регулируемых пар синтезированных диад.

Предлагаемые механизмы могут быть использованы в проектировании реконфигурируемых манипуляторов (рис.2а) и других многофункциональных устройств.

Пример. Требуется спроектировать реконфигурируемый манипуляционный механизм 5 (СПС), воспроизводящий два набора положений тела, по шесть положений в каждом (табл. 2).

В табл. 3 сведены результаты вычислений – координаты центров сферических шарниров на основании и на выходном звене, а также два набора длин R_{1j} и R_{2j} и соответствующие максимальные нормальные отклонения Δ_{1j} и Δ_{2j} . Значение целевой функции $S=0,1807$.

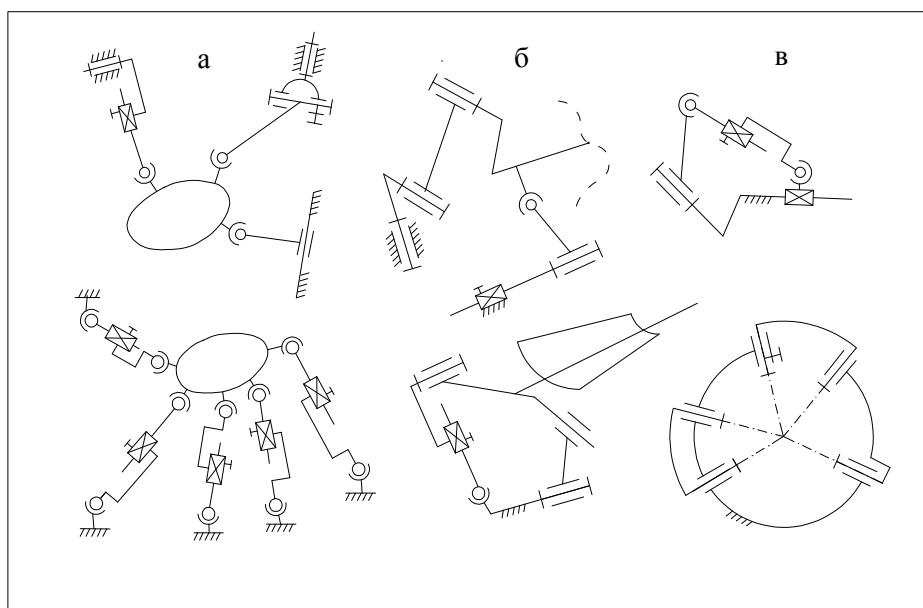


Рис. 2. Многофункциональные механизмы: а- перемещающие; б – направляющие; в - передаточные

Таблица 2

Заданные положения тела

	i	X_{o_i}	Y_{o_i}	Z_{o_i}	$\psi_i(^{\circ})$	$\theta_i(^{\circ})$	$\varphi_i(^{\circ})$
1-й набор	1	2,416	6,729	6,748	88,35	132,76	223,57
	2	1,523	5,934	6,492	110,95	141,87	220,58
	3	1,073	5,225	6,282	121,54	136,36	220,49
	4	0,447	4,018	5,779	130,23	111,07	221,90
	5	0,555	4,005	5,866	129,56	87,58	228,41
	6	0,965	5,096	6,159	116,71	68,29	239,02
2-й набор	7	0,576	7,886	6,249	143,04	161,90	257,25
	8	0,884	8,379	6,129	192,89	168,43	298,85
	9	1,297	8,961	6,112	233,39	166,92	330,14
	10	0,810	8,363	6,220	210,17	164,91	292,33
	11	-0,226	6,357	6,136	183,57	146,10	254,47
	12	-0,739	4,848	5,849	171,75	121,19	246,78

Таблица 3

Искомые параметры механизма 5 (СПС)

j	1	2	3	4	5
X_{A_j}	4,797	0,935	-2,724	2,815	4,513
Y_{A_j}	5,200	7,974	-6,342	-5,263	5,503
Z_{A_j}	-0,015	-2,241	7,567	-4,208	12,127
x_{B_j}	0,236	1,193	0,300	18,521	5,337
y_{B_j}	0,144	0,155	-0,100	-5,628	-5,390
z_{B_j}	0,275	0,658	7,201	0,386	2,094
R_{1_j}	6,968	8,219	17,342	9,351	9,241
Δ_{1_j}	0,011	0,020	0,022	0,014	0,007
R_{2_j}	7,797	7,587	18,310	8,286	10,004
Δ_{2_j}	0,021	0,022	0,026	0,014	0,023

Заключение. Системы легко механизуемых эквидистантных образов – сфер, плоскостей, конусов и т.п., рассмотренные в статье, позволяют построить геометрические модели, используемые при синтезе простых диад с одним регулируемым параметром. Как показано, квадратический синтез регулируемых диад сводится к поиску в теле элементов, наименее отклоняющихся в заданных наборах положений от совокупности эквидистантных геометрических образов, и осуществляется с помощью итерационной процедуры последовательного решения двух систем линейных уравнений. В результате определяются

значения постоянных и набор значений регулируемых параметров диад типа СПС, ВВС, ПВС, ВПС и пр., используемых для построения реконфигурируемых, манипуляционных и других механизмов многофункционального назначения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Miyahara K., Chirikjian G.S.** General Kinematic Synthesis Method for a Discretely Actuated Robotic Manipulator (D-ARM) // Proc. of IEEE/RSI International Conference on Intelligent Robots and Systems, IROS 2006, October 9-15. - Beijing, China, 2006. - P.5889-5894.
2. **Chirikjian G.S.** A binary paradigm for robotic manipulators // Proc. IEEE International Conference Robotics and Automation. - May, 1994. - P.3063-3069.
3. **Chirikjian G.S.** Kinematic Synthesis of Mechanisms and robotic manipular with binary actuators // ASME Journal of Mechanical Design. - 1995. - 117. - P. 573-580.
4. **Hafe M., Lichter M.D., Dubovski S.** Optimized binary modulator reconfigurable robotic devices // IEEE/ASME Trans. on Mechatronics. - March, 2003. - Vol.8, N1. - P. 18-25.
5. **Саркисян Ю.Л., Егишян К.М., Харатян А.Г., Шагинян С.С.** Синтез манипуляционных механизмов дискретного действия с минимальным числом степеней свободы // Труды X Всепольской конференции по теории машин и механизмов. - Варшава 1984. - С. 357-362.
6. **Sarkissyan Y.L., Kharatyan A.G., Egishyan K.M., Parikyan T.F.** Synthesis of Mechanisms with Variable Structure and Geometry for Reconfigurable Manipulation Systems // Proc. of the ASME/IFTOMM International Conference on Reconfigurable Mechanisms and Robots, ReMAR-2009, June 22-24. 2009. - King's College London, UK, 2009. - P. 195-199.
7. **Харатян А.Г.** Проектирование переналаживаемых манипуляционных механизмов с минимальным числом действующих приводов // Вестник НТУ "ХПИ": Сборник научных трудов. Тематический выпуск "Технология в машиностроении. - Харьков, НТУ "ХПИ", 2005. - N12. - С. 89-91.
8. **Харатян А.Г.** Алгоритм создания и синтеза пространственных переналаживаемых манипуляционных механизмов // Материалы Межд. научно-практич. конференции "Информационные технологии, наука, техника, технология, просвещение, здоровье", посвященной 100-летию со дня рождения М.Ф.Семко. - Харьков: Изд. "Курсор", 2006. - С. 153-156.
9. **Саркисян Ю.Л.** Аппроксимационный синтез механизмов. - М.: Наука, 1982. - 304 с.
10. **Саркисян Ю.Л.** и др. Унифицированные итерационные методы аппроксимационного синтеза механизмов для управляемого перемещения твердого тела // Машиноведение 1. - М., 1987. - С. 68-76.

ГИУА. Материал поступил в редакцию 14.07.2009.

ՅՈՒ. Լ. ՍԱՐԳՍՅԱՆ, Տ.Ֆ. ՓԱՐԻԿՅԱՆ, Ա. Գ. ԽԱՌԱՏՅԱՆ

**ՎԵՐԱԿՈՆՖԻԳՈՒՐԱՑՎՈՂ ԴԻՍԿՐԵՏ ՄԱՆԻՊՈՒԼՅԱՏՈՐՆԵՐԻ ՄՈՏԱՐԿՈՒՄՅԻՆ
ՄԻՆԹԵԶ ԿԱՐԳԱՎՈՐՎՈՂ ԴԻԱԴՆԵՐԻ ՀԻՄԱՆ ՎՐԱ**

Դիտարկված են հավասարահեռ երկրաչափական տեղերի որոշ տիպեր, որպես մեկ կարգավորվող պարամետրով դիադների երկրաչափական մոդելներ: Շարժվող մարմնին ամրացված գծերի կամ կետերի(տարրեր) բազմությունները կարող են մոտարկվել հեշտ մեխանիզացվող երկրաչափական տեղերով, ինչպիսիք են համակենտրոն գնդերը, զուգահեռ հարթությունները և համառանցք կոները: Իրականացվել է կարգավորվող ՍՀՄ, ՀՊՄ և այլ տիպերի դիադների կշռային քառակուսային մոտարկումով կինեմատիկական սինթեզ՝ հիմնված հաջորդական գծային մոտարկումների և կինեմատիկական հակադարձման վրա: Այս դիադները կարող են օգտագործվել որպես կառուցվածքային մոդուլներ վերականգնիչ գուրացվող մանիպուլյատորների և այլ բազմաֆունկցիոնալ համակարգերի նախագծման ժամանակ:

Առանցքային բառեր. մոտարկումային սինթեզ, դիսկրետ մանիպուլյատոր, վերականգնիչ գուրացվող մանիպուլյատոր, կարգավորվող դիադ, ներկշռային քառակուսային մոտարկում:

Yu.L. SARKISSYAN, T.F. PARIKYAN, A.G. KHARATYAN

**APPROXIMATION SYNTHESIS OF RECONFIGURABLE DISCRETE
MANIPULATORS BASED ON ADJUSTABLE DYADS**

Some types of equidistant loci are considered as geometric models for a number of spatial dyads with one adjustable parameter. Sets of lines or points (elements) fixed to the moving body can be approximated by easily mechanized loci such as concentric spheres, parallel plans and coaxial cones. The least-square kinematic synthesis of adjustable SPS, PRS, etc. dyads is realized by an iterative method based on successive linear approximations and kinematic inversion. These dyads can be used as structural modules in the design of reconfigurable manipulators and other multifunctional systems.

Keywords: approximation synthesis, discrete manipulator, reconfigurable manipulator, adjustable dyads, least-square approximation.