

МАШИНОСТРОЕНИЕ

А. Г. ХАРАТЯН

УПРОЩЕННЫЙ АЛГОРИТМ СИНТЕЗА ПРОСТРАНСТВЕННЫХ
 НЕЗАМКНУТЫХ КИНЕМАТИЧЕСКИХ ЦЕПЕЙ

В статье предложен упрощенный алгоритм синтеза незамкнутых кинематических цепей по числу положений, меньшему максимального количества положений твердого тела, которое может быть точно реализовано данной цепью. Основным преимуществом предлагаемого алгоритма по сравнению с известными является простота процедур синтеза многозвенных кинематических цепей, формирующихся в результате комбинирования известных процедур синтеза бинарных (двухэлементных) звеньев. Значение работы для практики конструирования связано с тем, что синтезируемые по предлагаемому алгоритму кинематические цепи действуют как механизмы с поочередно функционирующими шарнирами. Идея образования таких систем впервые указана в [1].

Рассматривается задача: определить параметры незамкнутой кинематической цепи из условия точного воспроизведения заданных $N < N_{\max}$ положений твердого тела в пространстве. Максимальное число положений, точно реализуемых данной цепью, определяется по формуле: $N_{\max} < k/s$, где k — число искомых постоянных параметров синтезируемой цепи, s — число условий связи, налагаемых на движение тела этой цепью.

Сущность алгоритма решения задачи опишем на примере синтеза пространственной диады типа ВВВ (рис. 1) по заданным N положениям твердого тела. Положения твердого тела e задаем с помощью винтов S_{1j} (на рис. 1а показан один из заданных винтов). Винт S_{1j} , переводящий тело из своего первого положения в j -ое, характеризуется следующими параметрами: \vec{S}_{1j} (S_{X1j} , S_{Y1j} , S_{Z1j}) — единичный вектор, параллельный оси винта; \vec{A}_{1j} (A_{X1j} , A_{Y1j} , A_{Z1j}) — вектор произвольной точки на оси винта; S_{1j} , θ_{1j} и d_{1j} — соответственно, величины вращательного и поступательного перемещения вокруг и вдоль оси винта.

Синтезируемая диада определяется 15 постоянными параметрами, в число которых входят: \vec{L} (L_x , L_y , L_z), \vec{F} (F_x , F_y , F_z), \vec{M} (M_x , M_y , M_z) — соответственно, направляющие косинусы неподвижной

оси 1 и осей 2, 3 в первом положении; $\bar{P} (P_x, P_y, P_z)$, $\bar{G} (G_x, G_y, G_z)$, $\bar{Q} (Q_x, Q_y, Q_z)$ — координаты точек P, G, Q на осях 1, 2, 3. Заметим, что из направляющих косинусов лишь 2 являются независимыми. Так как для рассматриваемой цепи $k=15, s=3$, то $N_{max} \leq 15:3=5$. Но предлагаемый алгоритм позволяет синтезировать данную цепь по 4 положениям тела e .

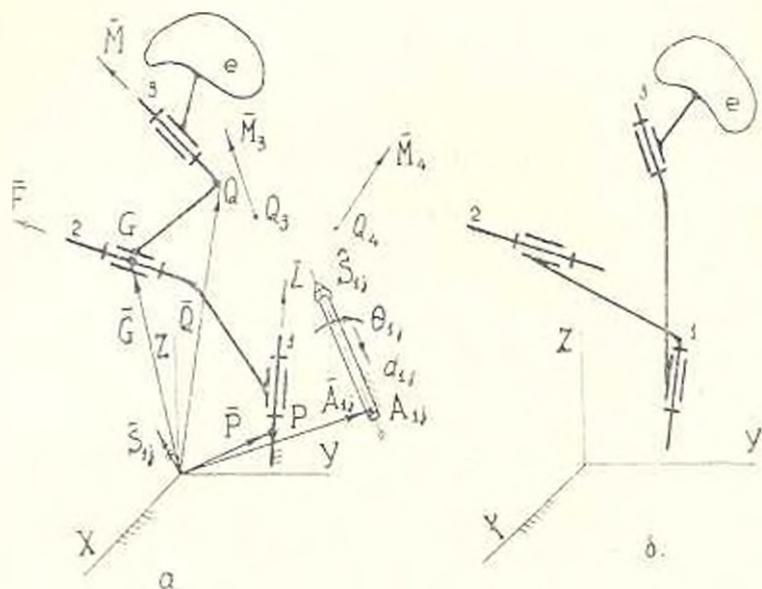


Рис. 1.

Синтез кинематической цепи типа ВВВ осуществляем поэтапно — посредством последовательного синтеза 2 звеньев типа ВВ. На первом этапе по любым 3 заданным положениям твердого тела, определяемым винтами \bar{S}_{ij} и \bar{S}_{in} ($j, n=2, 3, 4; j \neq n$), синтезируем первое звено типа ВВ, обозначенное как „2—3“ (рис. 1а). Известно, что существуют только 2 звена типа ВВ, переводящие тело через заданные 3 положения [2]. На втором этапе находим единственную ось 1, вращением вокруг которой можно перенести ось 3 из своего n -го положения в последнее. Для второго звена типа ВВ, синтезированного на первом этапе, можно найти другую ось чистого вращения.

На базе найденных осей 1, 2, 3 можно построить 2 механизма: первый вариант показан на рис. 1а, а второй — на рис. 1б. При данном порядке реализации положений можно синтезировать $2 \times 2 = 4$ диады типа ВВВ. Имея ввиду все возможные варианты задания первой тройки положений твердого тела и перехода от первой тройки последнему, приходим к заключению, что с помощью алгоритма можно синтезировать не более чем 36 диад.

Синтез звена типа ВВ производится на основе алгоритма из [2], что приводит к последовательному решению одного уравнения

третьей степени, 2-х квадратных уравнений и 3-х систем линейных уравнений [2]. По заданным винтам \bar{S}_{12} , \bar{S}_{13} определяем параметры звена 2-3: \bar{M} , \bar{Q} , \bar{F} , \bar{G} . Затем с помощью винтов \bar{S}_{13} и \bar{S}_{14} определим третье и четвертое положения ($j=3, 4$) оси 3 и точки Q на этой оси по формулам линейного преобразования [2]. Имея 2 положения оси 3, находим направляющие косинусы оси чистого вращения $1-L_x, L_y, L_z$ и координаты точки P на этой оси — P_x, P_y, P_z по следующим формулам:

$$\bar{L} = -\frac{(\bar{Q}_1 - \bar{Q}_3) \times (\bar{M}_4 - \bar{M}_3)}{|(\bar{Q}_1 - \bar{Q}_3) \times (\bar{M}_4 - \bar{M}_3)|};$$

$$\bar{P} = -\frac{1}{|(\bar{Q}_4 - \bar{Q}_3) \times (\bar{M}_4 - \bar{M}_3)|} \cdot \left[(\bar{Q}_4 \cdot \bar{M}_4 - \bar{Q}_3 \cdot \bar{M}_3) \cdot \bar{L} \times (\bar{Q}_4 - \bar{Q}_3) + \right. \\ \left. + \frac{1}{2} (\bar{Q}_4^2 - \bar{Q}_3^2) \cdot (\bar{M}_4 - \bar{M}_3) \times \bar{L} \right].$$

Переход тела из первого во второе и третье положения осуществляется при неподвижном звене 1-2, а при перемещении тела из третьего в четвертое положение не изменяется положение звена 2-3 относительно звена 1-2.

На алгоритмическом языке «ФОРТРАН-IV» составлена программа для синтеза днады типа ВВВ, в которой описаны все процедуры синтеза двух звеньев типа ВВ.

Пример. Заданы 4 положения твердого тела посредством винтов

$\bar{S}_{12}, \bar{S}_{13}, \bar{S}_{14}$ (табл. 1).

Таблица 1

| j | $S_{x_{1j}}$ | $S_{y_{1j}}$ | $S_{z_{1j}}$ | $A_{x_{1j}}$ | $A_{y_{1j}}$ | $A_{z_{1j}}$ | α_{1j} | d_{1j} |
|-----|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|---------------|----------|
| 12 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 30° | 0,7 |
| 13 | 0,34202 | 0 | 0,939693 | 0 | 1,1 | 0 | 65° | 0,5 |
| 14 | 0,66 | 0,043589 | 0,75 | 0,25 | 1,2 | -0,289742 | 75° | 0,3 |

Требуется синтезировать днаду типа ВВВ для перемещения тела через заданные 4 положения.

По вышеописанному алгоритму получены значения параметров одного из 36 вариантов днады типа ВВВ, которые приведены ниже (табл. 2).

Таблица 2

| Направляющие косинусы | | | | Координаты точки на оси | | | |
|-----------------------|----------|----------|----------|-------------------------|-----------|----------|-----------|
| \bar{L} | 0,767965 | 0,516575 | 0,333895 | \bar{P} | -0,786208 | 1,216505 | -0,183086 |
| \bar{F} | 0,401245 | 0,301313 | 0,863595 | \bar{G} | -1,087095 | 1,458458 | 0,756788 |
| \bar{M} | 0,554333 | 0,220594 | 0,802530 | \bar{Q} | -0,856129 | 2,152130 | 0,400788 |

Рассмотрим теперь синтез таких диад, в которых твердое тело соединено со звеном диады сферической парой. Пусть требуется проектировать пространственную диаду типа ВВС по 6 положениям твердого тела (рис. 2). По первым 4 положениям тела e синтезируем звено типа ВС (звено 2—3). Далее, находим четвертое, пятое и шестое положения точки C и определяем окружность, проходящую через данные 3 положения точки C . Ось 1 первой вращательной пары диады ВВС совпадает с осью этой окружности и определяется пересечением плоскостей, которые перпендикулярны отрезкам C_1C_4 и C_1C_5 и делят их пополам. Вторая вращательная пара будет функционировать при переходе объекта через первые 4 положения, а первая — при переходе через последние 2

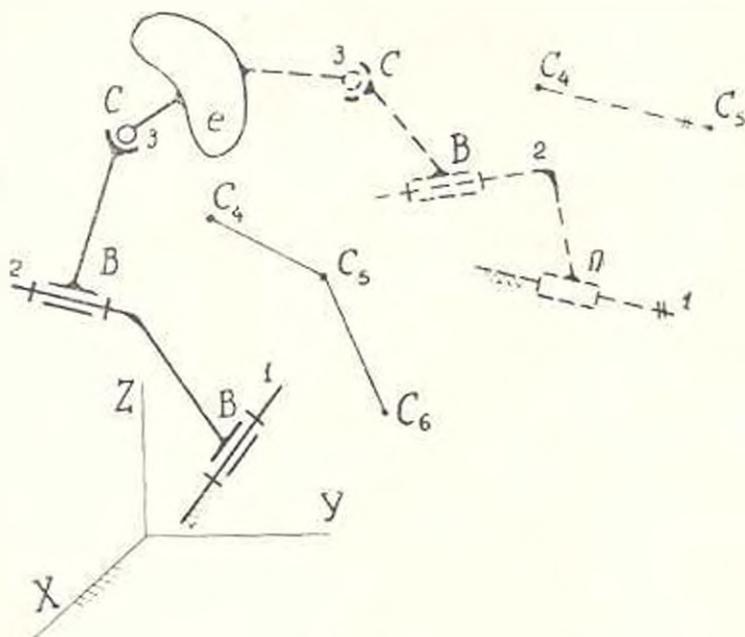


Рис. 2.

Аналогично можно проектировать и диаду типа ПВС, показанную на рис. 2 пунктиром, по 5 положениям твердого тела. По 4 положениям тела e синтезируем звено типа ВС (звено 2—3), а далее находим четвертое и пятое положения точки C . Ось поступательной пары 1 определяем как линию, параллельную отрезку C_1C_4 . Вращательная пара будет функционировать при переходе тела с первого в четвертое положения, а поступательная пара — с четвертого в пятое. В табл. 3 указаны те диады, которые синтезируются с помощью намеченных процедур.

Синтез кинематической цепи, полученной постановкой рассмотренных цепей на концевое звено, может быть осуществлен путем кинематической инверсии, что требует изменения порядка движения, перестановки концевое звено и неподвижного. Например, инверсией цепи ВПЦ можем синтезировать диаду ЦПВ и т. д.

| Тип днады | Синтезируемые двухэлементные звенья | N | N _{max} |
|--|--|---|------------------|
| ВВВ, (ВГГ), (ВГ'В) | ВВ, ВВ, (ГГ, ВГ), (ГВ, ВВ) | 4 | 5 |
| ВВГ, (ГВГ), (ГВВ) | ВГ, ВГ, (ГГ, ВГ), (ГВ, ВВ) | 4 | 5 |
| ВПВ, (ВВП), (ВПГ), (ВГП) | ПВ, ВВ, (ВП, ВП), (ПГ, ВГ), (ГП, ВП) | 3 | 4 |
| ПВВ, (ПВГ), (ГВП) | ПВ, ВВ, (ВГ, ВГ), (ГП, ВП) | 3 | 4 |
| ВЦЦ, (ВСГ), (ЦВЦ), (СВГ) | ЦЦ, ВЦ, (СГ, ВГ), (ЦЦ, ВЦ), (СГ, ВГ) | 6 | 13 |
| ВВЦ, (ВЦВ), (ВС ₂ Г) | ВЦ, ВЦ, (ЦВ, ВВ), (С ₂ Г, ВГ) | 4 | 7 |
| ЦВВ, (С ₂ ВГ) | ЦВ, ВВ, (С ₂ Г, ВГ) | 4 | 7 |
| ВПЦ, (ВЦП), (ПВП), (ЦВП) | ПЦ, ВЦ, (ЦП, ВП), (ПЦ, ВЦ), (ЦП, ВП) | 3 | 6 |
| ВСВ, (ВС ₂ Ц), (СВВ), (С ₂ ВЦ) | СВ, ВВ, (С ₂ Ц, ВЦ), (СВ, ВВ), (С ₂ Ц, ВЦ) | 5 | 12 |
| ВСП, (СВП) | СП, ВП, (СП, ВП) | 4 | 10 |
| ВС ₂ В, (С ₂ ВВ) | С ₂ В, ВВ, (С ₂ В, ВВ) | 4 | 6 |
| ВС ₂ П, (С ₂ ВП) | С ₂ П, ВП, (С ₂ П, ВП) | 3 | 5 |
| ВГЦ, (ВЦГ), (ГВЦ), (ЦВГ) | ГЦ, ВЦ, (ЦГ, ВГ), (ГЦ, ВЦ), (ЦГ, ВГ) | 5 | 7 |
| ВВС | ВС, ВС | 6 | 12 |
| ВВС, (ПВС) | ПС, ВС или ВС, ПС, (ВС, ПС или ПС, ВС) | 5 | 10 |
| ВГС, (ГВС) | ГС, ВС, (ГС, ВС) | 7 | 13 |
| ПГС, (ГПС) | ГС, ПС, (ГС, ПС) | 6 | 11 |
| ЦПЦ, (ПЦЦ) | ПЦ, ЦЦ (ПЦ, ЦЦ) | 4 | 11 |
| ЦВЦ, (ВЦЦ) | ВЦ, ЦЦ, (ВЦ, ЦЦ) | 5 | 13 |
| ЦГЦ, (ГЦЦ) | ГЦ, ЦЦ (ГЦ, ЦЦ) | 6 | 14 |

Вышеописанная методика может быть приложена к синтезу исполнительных механизмов манипуляторов с $W < 6$, для которых программа движения манипулируемого объекта задается лишь несколькими дискретными положениями. Спроектированные по указанной методике манипуляторы обладают ценным свойством, а именно: отдельные наборы положений объекта реализуются с одновременным использованием не всех приводов (шарниров). Полученные результаты можно приложить также к синтезу пространственных замкнутых механизмов, т. е. синтезируемые отдельные кинематические цепи являются составными элементами (блоками), стыковкой которых проектируются замкнутые механизмы.

ЕрПИ им. К. Маркса

№ IV 1981

Ա. Գ. ԽԱՌԱՏՅԱՆ

ՏԱՐԱՆԱԿԱՆ ԲԱՑ ԿՈՆՍՏՐԱՏԻՎԱԿԱՆ ՇՂԹԱՆԵՐԻ ԿԱԽԱԳՄԱՆ ՊԱՐՁԵՑՎԱԾ ԱՎԳՈՐԻԹՄ

Ա Վ Փ Ո Փ Ո Ւ Մ

Ներկայացված է հերթականորեն պորժոզ դոյդերով բազմադակ բաց կինեմատիկական շղթաների սինթեզի պարզեցված ալգորիթմ, համաձայն որի

Նախազօվող շղթաները կառուցվում են առանձին երկտարր օղակների համակցումից: Յուրաքանչյուր երկտարր օղակը սինթեզվում է օբյեկտի տրված դիրքերի որոշակի մասի ճշգրիտ փերտորտադրության պայմանից:

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Сиркисян Ю. Л., Асмянян Х. Г., Степанян К. Г. К аппроксимационному синтезу незамкнутых механизмов — Машиноведение, 1980, № 3, с. 56—63
2. Tsai L. W. Design of open loop chains for rigid body guidance. — PHD Dissertation, Stanford university, 1972. — 137 p.