

УДК 621.01

К. С. АРЗУМАНЯН

К УПРАВЛЕНИЮ  $l$ -КООРДИНАТНЫМИ МАНИПУЛЯТОРАМИ

Рассматриваются вопросы управления исполнительными механизмами  $l$ -координатных манипуляторов, называемых ортогональными. Их особенность заключается в расположении шести шарниров выходного звена по два на трех прямых — взаимно перпендикулярных или скрещивающихся под прямыми углами. Разработаны алгоритмы управления этими механизмами, согласно которым достигается упрощение обработки информации за счет попарного измерения длин тяг. Это приводит к уменьшению объема памяти и разрешающей способности системы управления, т. е. управление упрощается, а быстрота действия механизма повышается.

Ил. 4. Библиогр.: 6 назв.

Ուսումնասիրվում են օրինադրելի  $l$ -կոորդինատային մանիպուլյատորների դրժադիր մեխանիզմների ղեկավարման հարցերը Այդ մեխանիզմների առանձնահատկությունը կայանում է նրա օղակի վեց հողակապերը փոխադարձ ուղղահայաց կամ ուղիղ անկյան տակ խաչվող երեք աղիղների վրա երկուական դասավորման մեջ: Մշակված է այդ մեխանիզմների ղեկավարման ալգորիթմը, ըստ որի առանձին զույգ ձողերի երկարությունների փոփոխության շնորհիվ պարզազվում է անհկատարության մշակման ընթացքը: Դա բերում է ղեկավարման համակարգի արագեցմանը և որպես հետևանք՝ դրժադիր մեխանիզմների արդազործության մեծացմանը:

$l$ -координатными [1] называются манипуляторы, в исполнительных механизмах которых движения выходного звена реализуются независимым регулированием посредством приводов шести расстояний  $l_i$  ( $i = 1-6$ ) от заданных точек основания до заданных точек выходного звена. Рассмотренные в [2-4] методы перехода от  $l$ -координат к декартовым и обратно характеризуют уровень сложности задач управления данными манипуляторами. В [5] предложены исполнительные механизмы  $l$ -координатных манипуляторов, для которых решение указанных задач выполняется проще. Особенность этих механизмов заключается в том, что сферические шарниры их выходного звена лежат по два на трех взаимно перпендикулярных прямых (рис. 1-3). На оси  $x$  лежат точки  $p_1$  и  $p_2$ , в которых расположены центры шарниров выходного звена, на оси  $y$  —  $p_3$  и  $p_4$ , а на оси  $z$  —  $p_5$  и  $p_6$ . Кроме того, шарниры выходного звена могут лежать на трех прямых, скрещивающихся под прямыми углами (рис. 4 — точки  $p_1$  и  $p_2$ ,  $p_3$  и  $p_4$ ,  $p_5$  и  $p_6$ ). Кинематические схемы исполнительных механизмов таких манипуляторов, называемых ортогональными, могут быть образованы любой той структурой  $l$ -координат, согласно которой шарниры выходного звена расположены в шести точках [6].

Установим взаимосвязь положений выходного звена исполнительных механизмов ортогональных  $l$ -координатных манипуляторов с длинами их тяг (рис. 1). Пусть в исходном положении совпадают начала и соответствующие оси систем координат  $Oxyz$  и  $O'x'y'z'$ , связанных

соответственно с основанием и выходным звеном, а центры шарниров выходного звена лежат по два на трех их осях и в системе  $Oxyz$  имеют следующие координаты:

$$\begin{aligned} p_1(r_1, 0, 0), & \quad p_3(0, r_3, 0), & \quad p_5(0, 0, r_5), \\ p_2(-r_2, 0, 0), & \quad p_4(0, -r_4, 0), & \quad p_6(0, 0, -r_6), \end{aligned}$$

где  $r_i$  — расстояние от центра системы координат  $Oxyz$  до соответствующих центров шарниров выходного звена. Кроме того, известны значения координат центров шарниров основания  $q_i$  в системе координат  $Oxyz$  —  $x_i, y_i, z_i$ . Требуется определить приращения длин

тяг, необходимые для перемещения выходного звена в пространстве из исходного положения вдоль осей  $x, y, z$  на величины, соответственно  $\Delta x, \Delta y, \Delta z$ , а также для поворота выходного звена вокруг тех же осей на углы, соответственно  $\Delta\varphi_x, \Delta\varphi_y$  и  $\Delta\varphi_z$ .

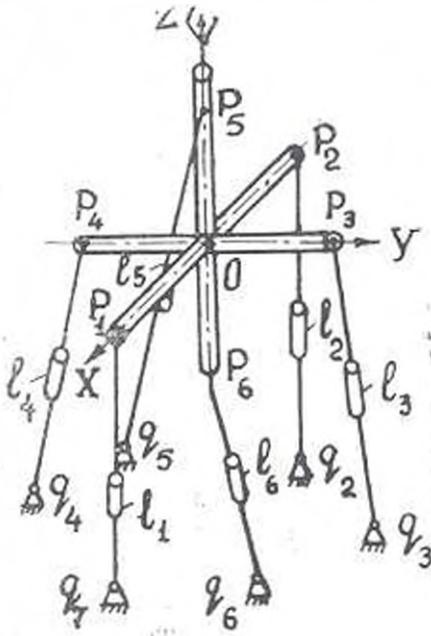


Рис. 1.

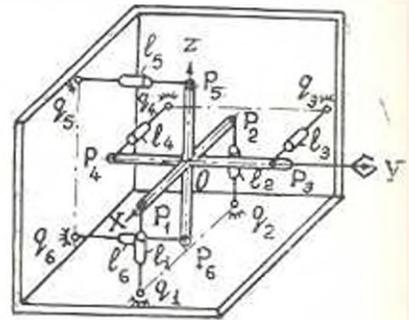


Рис. 2.

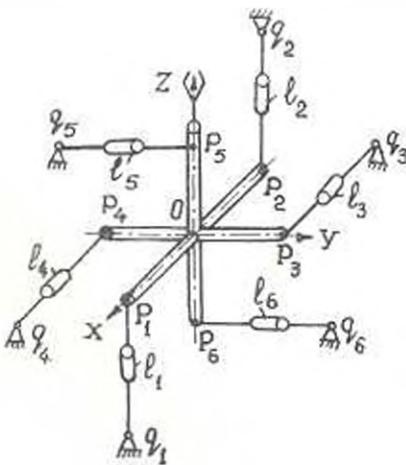


Рис. 3.

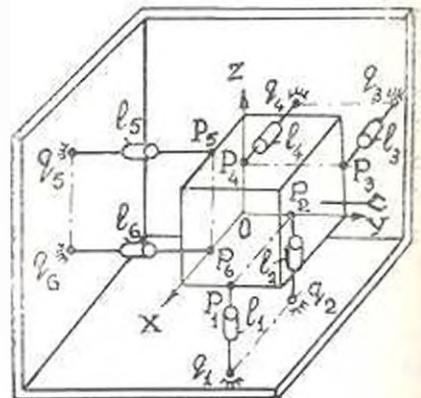


Рис. 4.

Значения длин тяг  $l_i$  в исходном положении определим по формуле

$$l_i = \sqrt{(x_{pi} - x_{qi})^2 + (y_{pi} - y_{qi})^2 + (z_{pi} - z_{qi})^2},$$

а углы  $\alpha_i$ ,  $\beta_i$ ,  $\gamma_i$ , которые образуют в исходном положении оси тяг  $l_i$  с положительными направлениями осей, соответственно  $x$ ,  $y$  и  $z$  системы координат  $Oxyz$ , определяются по формуле

$$\cos \alpha_i = \frac{x_{pi} - x_{qi}}{l_i}, \quad \cos \beta_i = \frac{y_{pi} - y_{qi}}{l_i}, \quad \cos \gamma_i = \frac{z_{pi} - z_{qi}}{l_i}.$$

При перемещении выходного звена в другое положение длины тяг примут новые значения  $l_i'$ , получив при этом приращения  $\Delta l_i$ :  $l_i' = l_i + \Delta l_i$ , значения которых определяются из выражения

$$\Delta l_i = \Delta l_i^x + \Delta l_i^y + \Delta l_i^z + \Delta l_i^{xx} + \Delta l_i^{yy} + \Delta l_i^{zz},$$

где  $\Delta l_i^x$ ,  $\Delta l_i^y$ ,  $\Delta l_i^z$  — величины приращений длины  $i$ -ой тяги при перемещении выходного звена из исходного положения, соответственно вдоль оси  $x$  на величину  $\Delta x$ , оси  $y$  на величину  $\Delta y$  и оси  $z$  на величину  $\Delta z$ ;  $\Delta l_i^{xx}$ ,  $\Delta l_i^{yy}$ ,  $\Delta l_i^{zz}$  — величины приращения длины  $i$ -ой тяги при повороте выходного звена из исходного положения, соответственно вокруг оси  $x$  на угол  $\Delta \varphi_x$ , оси  $y$  на угол  $\Delta \varphi_y$  и оси  $z$  на угол  $\Delta \varphi_z$ .

Значения приращений  $\Delta l_i^x$ ,  $\Delta l_i^y$ ,  $\Delta l_i^z$  определяются из следующих выражений:

$$l_i^x = \sqrt{l_i^2 - 2l_i(\Delta x) \cos \alpha_i + (\Delta x)^2} - l_i,$$

$$l_i^y = \sqrt{l_i^2 - 2l_i(\Delta y) \cos \beta_i + (\Delta y)^2} - l_i, \quad (1)$$

$$l_i^z = \sqrt{l_i^2 - 2l_i(\Delta z) \cos \gamma_i + (\Delta z)^2} - l_i,$$

а значения приращений  $\Delta l_i^{xx}$ ,  $\Delta l_i^{yy}$ ,  $\Delta l_i^{zz}$  —

$$\Delta l_i^{xx} = l_i -$$

$$- \sqrt{l_i^2 + 4r_i^2 \sin^2 \frac{\Delta \varphi_x}{2} - 4l_i r_i \sin \frac{\Delta \varphi_x}{2} \left( \cos \gamma_i \sin \frac{\Delta \varphi_x}{2} + \cos \beta_i \cos \frac{\Delta \varphi_x}{2} \right)},$$

$$\Delta l_i^{yy} = l_i -$$

$$- \sqrt{l_i^2 + 4r_i^2 \sin^2 \frac{\Delta \varphi_y}{2} - 4l_i r_i \sin \frac{\Delta \varphi_y}{2} \left( \cos \alpha_i \sin \frac{\Delta \varphi_y}{2} + \cos \gamma_i \cos \frac{\Delta \varphi_y}{2} \right)},$$

(2)

$$\Delta l_i^{zz} = l_i -$$

$$- \sqrt{l_i^2 + 4r_i^2 \sin^2 \frac{\Delta \varphi_z}{2} - 4l_i r_i \sin \frac{\Delta \varphi_z}{2} \left( \cos \beta_i \sin \frac{\Delta \varphi_z}{2} + \cos \alpha_i \cos \frac{\Delta \varphi_z}{2} \right)}.$$

Необходимо учитывать, что при повороте вокруг какой-либо из осей, например, оси  $x$ , длины тяг, связанных с выходным звеном шарнирами, расположенными на этой оси (тяги  $l_1$  и  $l_2$ ), остаются всегда неизменными, т. е. применительно к рис. 1 имеем  $\Delta l_1^{x1} = \Delta l_2^{x1} = 0$ . Аналогично, при повороте выходного звена вокруг осей  $y$  и  $z$  имеем:  $\Delta l_3^{y1} = \Delta l_4^{y1} = 0$  и  $\Delta l_5^{z1} = \Delta l_6^{z1} = 0$ . Кроме того, в зависимости от расположения тяг относительно осей системы координат  $Oxyz$  могут быть рассмотрены случаи, когда для перемещения или поворота выходного звена значения приращений длин некоторых пар тяг, рассчитанные согласно формулам (1) и (2), необходимо учитывать с различными знаками. Например, для вращения выходного звена механизма на рис. 2 вокруг оси  $z$  на угол  $\Delta \varphi_z$ , против часовой стрелки, если смотреть с конца положительного направления этой оси, длину тяги  $l_1$  необходимо уменьшить на величину  $\Delta l_1^{z2}$ , рассчитанную по формуле (2), а длину тяги  $l_2$  увеличить на величину  $\Delta l_2^{z2}$ . Для перемещения выходного звена того же механизма вдоль оси  $y$  в положительном направлении на величину  $\Delta y$  длины тяг  $l_3$  и  $l_4$  необходимо увеличить на величины соответственно  $\Delta l_3^{y2}$  и  $\Delta l_4^{y2}$ , рассчитанные по формуле (1). В то же время, для перемещения выходного звена механизма на рис. 3 вдоль той же оси  $y$  в положительном направлении на величину  $\Delta y$  длину тяги  $l_1$  необходимо увеличить на величину  $\Delta l_1^{y3}$ , рассчитанную согласно (1), а длину тяги  $l_2$  уменьшить на величину  $\Delta l_2^{y3}$ .

Таким образом, простота управления перемещениями выходного звена рассмотренных исполнительных механизмов  $l$ -координатных манипуляторов достигается попарным изменением длин тяг. Как следует из (1) и (2), при малых перемещениях и углах поворота выходного звена, например, при осуществлении сборочных операций в электронной промышленности, значениями приращений длин некоторых тяг можно пренебречь. В этом случае (рис. 2) для перемещения выходного звена по какой-либо оси, например, оси  $x$ , достаточно дать приращение длинам только двух тяг  $l_5$  и  $l_6$  на величину перемещения. Для поворота выходного звена на какой-то угол  $\Delta \varphi_x = \Delta$  вокруг одной из осей, например, оси  $x$ , необходимо длины двух тяг  $l_3$  и  $l_4$  изменить в разные стороны, т. е. уменьшить и увеличить на величины, соответственно  $\Delta l_3^{x1}$  и  $\Delta l_4^{x1}$ , рассчитанные по формуле (2), а остальные длины тяг оставить без изменения.

В рассмотренных механизмах достигается упрощение обработки информации в реальном масштабе времени, которую производит система управления. Это приводит к уменьшению объема памяти и разрешающей способности системы управления, т. е. система управления упрощается, а быстродействие механизма повышается.

## Л И Т Е Р А Т У Р А

- 1 Колесков А. Ш. Разработка и исследование промышленных роботов на основе I-координат // Станки и инструмент. — 1982 — № 12 — С. 21—24.
- 2 Фриш К. В., Сергеев В. И., Колесков А. Ш. Исследование механических параметров промышленных роботов I-координатными методами // Second Yugoslav-Soviet Symposium on Applied Robotics, June 14-15 1984. Proceedings. — Aranđjelovac Yugoslavia 1984. — P. 147-151.
- 3 Курев С. О. Метод систематического исследования промышленных роботов на основе I-координат // Ред. журн. «Станки и инструмент». М., 1985. — 5 с. Деп. в ВНИИТЭМР 21.11.85, № 379.
- 4 Янг Ли. Исследование кинематических регуляторов контрравновесия типа М. Конструирование и технология машиностроения. Тр. Амер. об-щ. инж.-мех. — М.: Мир, 1981 — № 2, С. — 264272.
- 5 А. С. УИП 8 СССР, МКП ВФ 1900. I-координатный триггертатный механизм / К. С. Арзуманян, А. Ш. Колесков (СССР). № 3972164/31-08. Заявлено 01.11.84. Опубликовано 15.04.87, Бул. № 14, 3 с.
- 6 Фришман К. С., Колесков А. Ш. Синтез структур I-координатных систем для стабилизации и динамического управления промышленными роботами // Исследование конструирования и управление гибкими производственными системами. М., Наука, 1988. — С. 70—81.

Получено К. Мазур

26 IX 1988

Тр. МН АН СССР, сер. Инж. — Мех. № 4, 1990, с. 153—157

### МАШИНОСТРОЕНИЕ

Т. Д. 4031

Э. С. СААКЯН, Д. В. МЕРЦЯН, Р. В. СААКЯН

### СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МЕТОДОВ РЕШЕНИЯ УРАВНЕНИЙ ДВИЖЕНИЯ МЕХАНИЗМОВ

Приводится сравнительный анализ рекомендуемых численных методов решения нелинейных уравнений движения механизмов по критерию достигаемой точности расчета. Приводятся рекомендации о целесообразности конкретного использования того или иного метода расчета.

На 1. Библиогр., 7 назв.

*Արդյան է ընդհանրացվել շարժման և պտտման կոնստրուկտիվների լուծման թվային մեթոդները և դրանց կիրառությունը անձնակազմի և անագումարային երկրային կոորդինատային սխեմայի համարյալային լուծման/թվային մեթոդների և անձնակազմի կիրառության հարցերի առաջին աշխատանքի կիրառման կատարման շրջանակում:*

Уравнение движения механизма с одной степенью подвижности

$$I \frac{d^2 \varphi}{dt^2} = M(\varphi, \omega) \quad (1)$$

можно представить в дифференциальной

$$I(\varphi) \omega d\omega d\varphi = U(\varphi) d\varphi - M(\varphi, \omega) \quad (2)$$

либо в интегральной форме

$$0,5 I(\varphi) \omega^2 = 0,5 I(\varphi_0) \omega_0^2 - \int_{\varphi_0}^{\varphi} M(\varphi, \omega) d\varphi \quad (3)$$