

**ОПИСАНИЕ  
ИЗОБРЕТЕНИЯ  
К ПАТЕНТУ**  
(12)

РЕСПУБЛИКА БЕЛАРУСЬ

(19) **ВУ** (11) **4972**

(13) **С1**

(51)<sup>7</sup> **В 25J 9/16**



НАЦИОНАЛЬНЫЙ ЦЕНТР  
ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ  
СОБСТВЕННОСТИ

**(54) СПОСОБ УПРАВЛЕНИЯ МАНИПУЛЯТОРОМ ПРОМЫШЛЕННОГО РОБОТА**

(21) Номер заявки: а 19981133  
(22) 1998.12.16  
(46) 2003.03.30

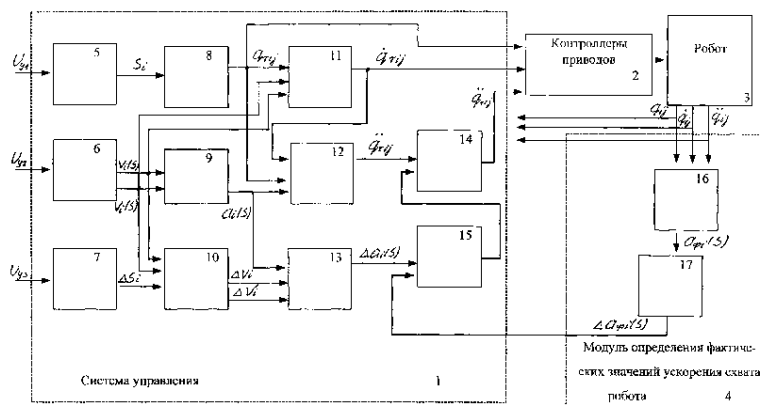
(71) Заявитель: Белорусский национальный технический университет (ВУ)  
(72) Авторы: Филонов Игорь Павлович; Ве-риго Евгений Борисович (ВУ)  
(73) Патентообладатель: Белорусский национальный технический университет (ВУ)

(57)

Способ управления манипулятором промышленного робота, заключающийся в том, что измеряют отклонения между заданным и фактическим положением схвата манипулятора промышленного робота вдоль всей траектории движения схвата, определяют линейные и угловые перемещения схвата для перехода в заданное положение, преобразуют координаты схвата в обобщенные координаты звеньев манипулятора, формируют сигналы управления приводными двигателями звеньев манипулятора, **отличающийся** тем, что задают скорость перемещения схвата  $v$ , как некоторую функцию его перемещения  $S$  по формуле  $v(S) = \frac{dS}{dt}$ , определяют аналог скорости  $v'(S)$  и ускорение  $a(S)$  схвата в соответствии с выражениями

$$v'(S) = \frac{dv(S)}{dS},$$

$$a(S) = v(S)v'(S),$$



Фиг. 1

**ВУ 4972 С1**

# ВУ 4972 С1

разбивают траекторию движения схвата на опорные точки, на каждом из участков траектории движения задают допустимую погрешность позиционирования схвата, максимальное и минимальное отклонения от заданных опорных точек, на текущем участке траектории движения вычисляют максимальное и минимальное заданные значения скорости, аналога скорости и ускорения схвата с последующим вычислением максимальных разностей их заданных значений, после преобразования координат схвата в обобщенные координаты звеньев манипулятора на текущем участке траектории движения вычисляют значения обобщенных скоростей и ускорений звеньев манипулятора и задают предельные значения обобщенных ускорений, при этом на текущем участке траектории движения определяют максимальное и минимальное фактические значения ускорения схвата и вычисляют максимальную разность его фактических значений, а сигналы управления приводными двигателями звеньев манипулятора формируют на основании сравнения максимальных разностей заданных и фактических значений ускорения схвата на текущем участке траектории движения, при этом, если максимальная разность заданных значений ускорения схвата превышает максимальную разность его фактических значений, увеличивают верхние предельные значения и уменьшают нижние предельные значения обобщенных ускорений звеньев манипулятора, а если максимальная разность фактических значений ускорения схвата превышает максимальную разность его заданных значений, уменьшают верхние предельные значения и увеличивают нижние предельные значения обобщенных ускорений звеньев манипулятора.

(56)

US 4945493 A, 1990.

ВУ 2020 С1, 1998.

RU 2009882 С1, 1994.

EP 0375418 А2, 1990.

EP 0235779 А1, 1987.

EP 0323278 А2, 1989.

EP 0223076 А1, 1987.

RU 2079732 С1, 1997.

RU 93033311 А, 1996.

---

Изобретение относится к области машиностроения и может найти применение в манипуляторах промышленных роботов, в частности для автоматизации технологических процессов, например, сварки или сборки.

Известен способ определения положения схвата манипулятора [1], по которому определяют фактическое положение схвата манипулятора в системе координат робота, сравнивают его с заданным и вычисляют отклонение положения схвата манипулятора от заданного.

Недостатком известного способа является то, что он не позволяет учитывать взаимосвязи кинематических характеристик манипулятора, обобщенных координат и ускорений манипулятора с заданным законом движения схвата манипулятора. Отсутствие возможности управления движением звеньев манипулятора в зависимости от кинематических характеристик движения схвата манипулятора не обеспечивает высокой стабильности погрешности позиционирования схвата манипулятора в заданной точке.

Наиболее близким техническим решением является способ управления манипулятором промышленного робота [2], при котором измеряют отклонения между заданным и фактическим положением схвата, определяют линейные и угловые перемещения в системе координат робота для перехода схвата манипулятора в заданное положение, определяют фактические приращения обобщенных координат, обеспечивающие переход схвата в

# ВУ 4972 С1

заданное положение и на основании полученных результатов формируют сигналы управления приводными двигателями звеньев манипулятора для достижения заданного положения схвата. Недостатком известного способа является то, что он не предусматривает первоначального задания закона изменения ускорения схвата манипулятора от пройденного пути, учета предельных значений ускорения схвата вдоль траектории схвата. В известном способе управления не осуществляется сравнение заданных и фактических значений ускорений схвата манипулятора вдоль заданной траектории и формирования сигналов управления приводными двигателями в зависимости от результата их сравнения. Это снижает стабильность погрешности позиционирования схвата манипулятора вдоль заданной траектории.

Задача, решаемая изобретением, - повышение стабильности погрешности позиционирования схвата манипулятора и расширение технологических возможностей за счет учета фактических значений ускорения схвата при управлении манипулятором.

Поставленная задача решается тем, что в способе управления манипулятором промышленного робота, заключающемся в том, что измеряют отклонения между заданным и фактическим положением схвата манипулятора промышленного робота вдоль всей траектории движения схвата, определяют линейные и угловые перемещения схвата для перехода в заданное положение, преобразуют координаты схвата в обобщенные координаты звеньев манипулятора, формируют сигналы управления приводными двигателями звеньев манипулятора, задают скорость перемещения схвата  $v$ , как некоторую функцию его перемещения  $S$  по формуле  $v(S) = \frac{dS}{dt}$ , определяют аналог скорости  $v'(S)$  и ускорение  $a(S)$  схвата в соответствии с выражениями

$$v'(S) = \frac{dv(S)}{dS},$$
$$a(S) = v(S)v'(S),$$

разбивают траекторию движения схвата на опорные точки, на каждом из участков траектории движения задают допустимую погрешность позиционирования схвата, максимальное и минимальное отклонения от заданных опорных точек, на текущем участке траектории движения вычисляют максимальное и минимальное заданные значения скорости, аналога скорости и ускорения схвата с последующим вычислением максимальных разностей их заданных значений, после преобразования координат схвата в обобщенные координаты звеньев манипулятора на текущем участке траектории движения вычисляют значения обобщенных скоростей и ускорений звеньев манипулятора и задают предельные значения обобщенных ускорений, при этом на текущем участке траектории движения определяют максимальное и минимальное фактические значения ускорения схвата и вычисляют максимальную разность его фактических значений, а сигналы управления приводными двигателями звеньев манипулятора формируют на основании сравнения максимальных разностей заданных и фактических значений ускорения схвата на текущем участке траектории движения, при этом, если максимальная разность заданных значений ускорения схвата превышает максимальную разность его фактических значений, увеличивают верхние предельные значения и уменьшают нижние предельные значения обобщенных ускорений звеньев манипулятора, а если максимальная разность фактических значений ускорения схвата превышает максимальную разность его заданных значений, уменьшают верхние предельные значения и увеличивают нижние предельные значения обобщенных ускорений звеньев манипулятора.

Сущность предлагаемого способа поясняется чертежами, где на фиг. 1 представлена блок-схема системы управления манипулятором; фиг. 2 изображена схема манипулятора с шестью степенями подвижности; фиг. 3 представлены зависимости скорости, аналога скорости, ускорения схвата и обобщенных ускорений звеньев манипулятора от пути; фиг. 4 представлена блок-схема алгоритма управления манипулятором.

# ВУ 4972 С1

Блок-схема системы управления манипулятором промышленного робота представлена на фиг. 1. На фиг. 1 обозначены: 1 - система управления, 2 - контроллеры приводов, 3 - робот и 4 - модуль определения фактических значений ускорения схвата робота. Система управления состоит из блоков: блок 5 (блок задания траектории схвата манипулятора  $S_i$ ), блок 6 (блок задания зависимостей скорости и аналога скорости от перемещения  $v_i(S)$  и  $v'_i(S)$ ), блок 7 (блок задания допустимой погрешности позиционирования схвата  $\Delta S_i$ ), блок 8 (блок преобразования координат робота в обобщенные координаты  $q_{\tau ij}$  звеньев манипулятора), блок 9 (блок вычисления значений ускорения схвата манипулятора  $a_i(S)$  от перемещения), блок 10 (блок вычисления максимальных разностей скорости  $\Delta v_i$  и аналога скорости  $\Delta v'_i$ , схвата манипулятора для заданного участка траектории), блок 11 (блок вычисления обобщенных скоростей  $\dot{q}_{\tau ij}$  звеньев манипулятора), блок 12 (блок вычисления обобщенных ускорений  $\ddot{q}_{\tau ij}$  звеньев манипулятора), блок 13 (блок определения заданной максимальной разности ускорений схвата манипулятора  $\Delta a_i(S)$ ), блок 14 (блок ограничения значений ускорений обобщенных координат звеньев манипулятора  $\ddot{q}_{\tau ij}$  и  $\ddot{q}_{\tau ij}$ ) и блок 15 (блок сравнения максимальных разностей  $\Delta a_i(S)$  и  $\Delta a_{\phi i}(S)$  значений заданных и фактических ускорений схвата манипулятора). Модуль определения фактических значений ускорения схвата робота включает в себя блоки: блок 16 (блок вычисления значений ускорения схвата  $a_{\phi i}(S)$  манипулятора по заданной динамической модели манипулятора; динамическая модель включает в себя геометрические и инерционные параметры звеньев, жесткостные характеристики звеньев, диссипативные свойства и определяется для конкретной конструкции робота в зависимости от требований к точности, вычислительных ресурсов системы управления и других требований) и блок 17 (блок определения значений фактической максимальной разности ускорений  $\Delta a_{\phi i}(S)$  схвата манипулятора).

Индекс  $i$  используется для обозначения  $i$ -го участка траектории движения схвата, индекс  $j$  используется для обозначения  $j$ -го звена манипулятора промышленного робота.

Принцип работы блок-схемы управления манипулятором промышленного робота состоит в следующем. В соответствии с заданными значениями начальных координат точки  $D_n$  и конечных координат точки  $D_k$ , представленных на фиг. 2, в систему управления на блоки 5, 6 и 7 поступают управляющие сигналы  $U_{y1}, U_{y2}, U_{y3}$  для задания соответственно сигнала перемещения схвата  $S_i$ , скорости  $v_i(S)$ , аналога скорости  $v'_i(S)$  схвата манипулятора и  $\Delta S_i$  погрешности позиционирования схвата для  $i$ -х участков траектории схвата. Сигнал  $S_i$  поступает на блок 8, на выходе которого формируются сигналы  $q_{\tau ij}$  обобщенных координат звеньев манипулятора в результате решения обратной задачи кинематики для заданной конструкции манипулятора. Сигналы  $\Delta S_i$ ,  $v_i(S)$  и  $v'_i(S)$  поступают на блоки 9, 10 и 11. На выходе блока 9 формируется сигнал ускорения схвата манипулятора  $a_i(S)$  в соответствии с

$$a_i(S) = v_i(S) v'_i(S);$$

Сигнал  $\Delta S_i$  поступает на вход блока 10, на выходе которого в соответствии с графиками на фиг. 3 формируются сигналы разности скорости  $\Delta v_i(S)$  и аналога скорости  $\Delta v'_i(S)$ , где

$$\begin{aligned} \Delta v_i(S) &= v_{i \max}(S) - v_{i \min}(S); \\ \Delta v'_i(S) &= v'_{i \max}(S) - v'_{i \min}(S). \end{aligned}$$

Сигналы  $a_i(S)$ ,  $\Delta v_i(S)$  и  $\Delta v'_i(S)$  поступают на вход блока 11, на выходе которого формируются сигналы обобщенных скоростей звеньев манипулятора  $\dot{q}_{\tau ij}$ . Сигналы  $q_{\tau ij}$ ,  $\dot{q}_{\tau ij}$  и  $a_i(S)$  поступают на вход блока 12, на выходе которого формируются сигналы обобщенных ускорений  $\ddot{q}_{\tau ij}$  звеньев манипулятора. Сигналы  $q_{\tau ij}$ ,  $\dot{q}_{\tau ij}$  и  $\ddot{q}_{\tau ij}$  поступают на контроллеры приводов звеньев манипулятора, причем сигнал  $q_{\tau ij}$  предварительно поступает на блок 14,

# ВУ 4972 С1

на котором задаются верхняя  $\overline{\ddot{q}}_{\tau_{ij}}$  и нижняя  $\underline{\ddot{q}}_{\tau_{ij}}$  границы значений обобщенных ускорений звеньев манипулятора, поступающих на контроллеры приводов. Значения  $\overline{\ddot{q}}_{\tau_{ij}}$  и  $\underline{\ddot{q}}_{\tau_{ij}}$  определяются на основе значения сигнала, поступающего с выхода блока 15. В блоке 15 происходит сравнение сигналов  $\Delta a_i(S)$  заданной и  $\Delta a_{\phi i}(S)$  фактической максимальных разностей ускорения схвата манипулятора. Сигнал  $\Delta a_{\phi i}(S)$  формируется на выходе блока 17. Методика определения  $\Delta a_i(S)$  в системе управления поясняется графиками на фиг. 3, где под  $S_{\text{ином}}$ ,  $v_{\text{ином}}$ ,  $v'_{\text{ином}}$  и  $a_{\text{ином}}$  обозначены номинальные значения соответственно положения, скорости, аналога скорости и ускорения схвата манипулятора. Функции скорости  $v(S)$ , аналога скорости  $v'(S)$  и ускорения  $a(S)$  схвата манипулятора от перемещения определяются по формулам:

$$\begin{aligned}v(S) &= dS/dt; \\v'(S) &= dv(S)/dS; \\a(S) &= v(S)v'(S).\end{aligned}$$

По результатам сравнения в блоке 15 в случае, если  $\Delta a_{\phi i}(S)$  больше  $\Delta a_i(S)$ , на выходе блока формируется сигнал об уменьшении верхнего значения  $\overline{\ddot{q}}_{\tau_{ij}}$  обобщенных ускорений звеньев манипулятора и увеличении нижнего  $\underline{\ddot{q}}_{\tau_{ij}}$ , а в случае, если  $\Delta a_{\phi i}(S)$  меньше  $\Delta a_i(S)$ , на выходе блока формируется сигнал об увеличении значения  $\overline{\ddot{q}}_{\tau_{ij}}$  и уменьшении  $\underline{\ddot{q}}_{\tau_{ij}}$ . Работа блока 15 поясняется последним графиком на фиг. 3. Когда  $\Delta a_{\phi i}(S)$  больше  $\Delta a_i(S)$  принимаются граничные значения  $\overline{\ddot{q}}_{\tau_{ij}}^1$  и  $\underline{\ddot{q}}_{\tau_{ij}}^1$ , в противном случае при  $\Delta a_{\phi i}(S)$  меньше  $\Delta a_i(S)$  принимаются значения  $\overline{\ddot{q}}_{\tau_{ij}}^2$  и  $\underline{\ddot{q}}_{\tau_{ij}}^2$ . Как видно из последнего графика на фиг. 3, значение верхней границы обобщенного ускорения  $j$ -го звена манипулятора  $\overline{\ddot{q}}_{\tau_{ij}}^2$  больше, чем  $\overline{\ddot{q}}_{\tau_{ij}}^1$ , а значение нижней границы обобщенного ускорения  $j$ -го звена манипулятора  $\underline{\ddot{q}}_{\tau_{ij}}^2$  меньше значения  $\underline{\ddot{q}}_{\tau_{ij}}^1$ . Регулирование предельных значений обобщенных ускорений звеньев манипулятора в зависимости от значения отклонения ускорения схвата манипулятора от заданного повышает стабильность погрешности позиционирования схвата, обеспечивая при этом заданную точность позиционирования схвата манипулятора. Блок-схема алгоритма работы системы управления приведена на фиг. 4.

Предложенный способ управления может быть реализован, например, манипулятором, схема которого представлена на фиг. 2. Манипулятор содержит подвижные звенья 18, 19, 20, 21, 22 и 23 со схватом. В качестве обобщенных координат манипулятора выбирают угловые перемещения звеньев  $q_{ij}$ . Системы координат звеньев манипулятора выбирают в соответствии с соглашениями Денавита–Хартенберга. Неподвижная система координат XYZ с центром в точке O, система координат первого звена  $X_1Y_1Z_1$  с центром в точке  $O_1$  и т.д. до системы координат последнего шестого звена  $X_6Y_6Z_6$  с охватом в точке  $O_6$  показаны на фиг. 2. На фиг. 2 также приведены обобщенные координаты  $q_{ij}$ , обобщенные скорости  $\dot{q}_{ij}$  и обобщенные ускорения  $\ddot{q}_{ij}^2$  звеньев манипулятора.

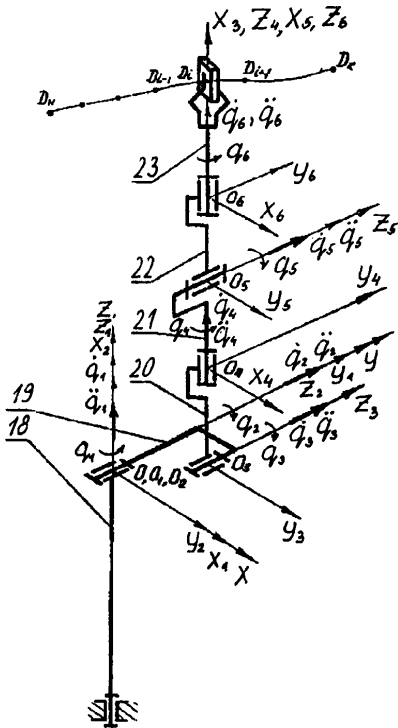
Таким образом, приведенный способ управления манипулятором промышленного робота позволяет решить поставленную задачу, заключающуюся в повышении стабильности погрешности позиционирования схвата за счет задания скорости перемещения схвата в функции от перемещения, определения аналога скорости и ускорения схвата в функции от перемещения, разделения траектории схвата на опорные точки, задания погрешности позиционирования схвата на каждом из участков траектории, максимального и минимального отклонения от заданных опорных точек, вычисления максимального и минимального значения скорости, аналога скорости, ускорения схвата манипулятора на текущем участке траектории, вычисления максимальных разностей скорости, погрешности аналога скоро-

# ВУ 4972 С1

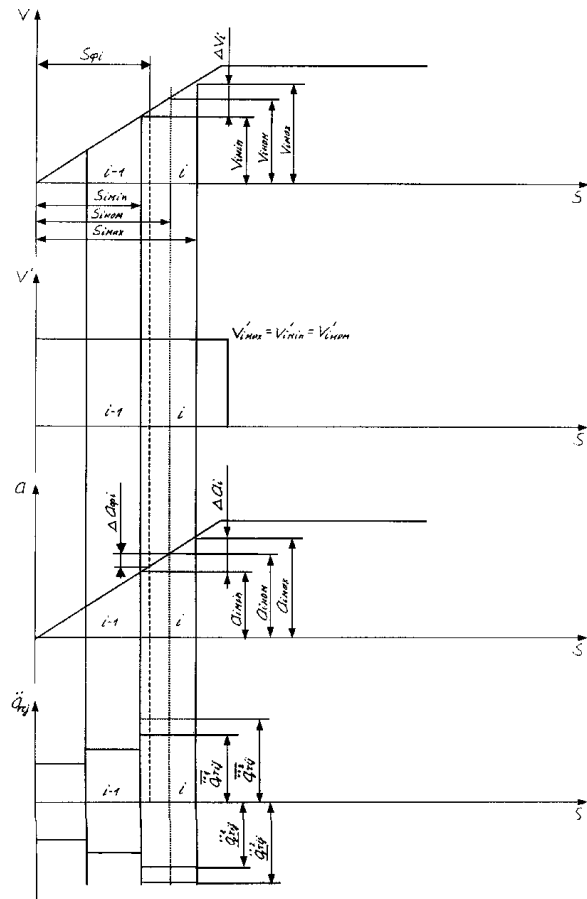
сти и ускорения схвата манипулятора на текущем участке траектории, определения фактических минимальных и максимальных значений ускорения схвата манипулятора на текущем участке траектории, определения фактической максимальной разности ускорения схвата манипулятора, сравнения заданной и фактической максимальных разностей ускорения схвата манипулятора на данном участке траектории, и в случае превышения заданной максимальной разности ускорения схвата манипулятора над фактической на данном участке траектории движения схвата, увеличения предельных значений обобщенных ускорений звеньев манипулятора, а в случае превышения фактической максимальной разности ускорений схвата манипулятора над заданной, уменьшения предельных значений обобщенных ускорений звеньев манипулятора на данном участке траектории посредством формирования соответствующих сигналов управления приводными двигателями звеньев манипулятора.

Источники информации:

1. RU 2009882 С1, 1994.
2. US 4945493 А, 1990.

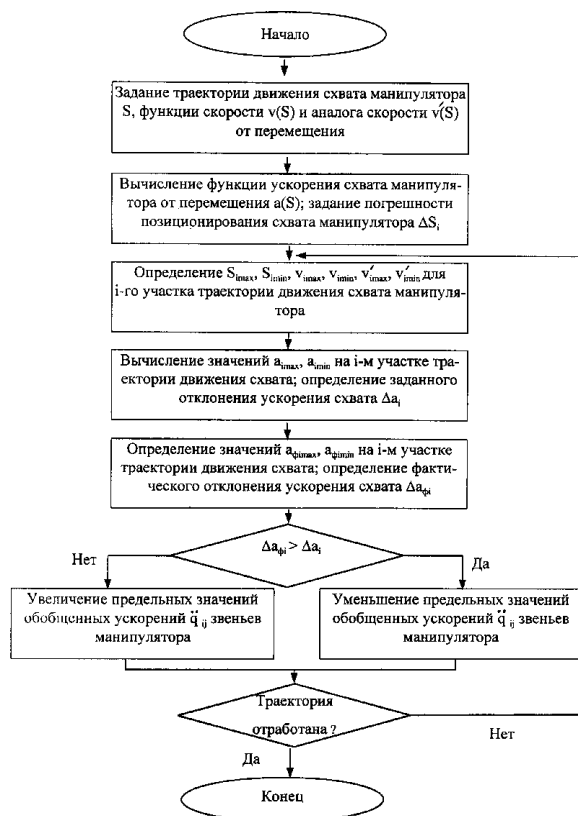


Фиг. 2



Фиг. 3

# BY 4972 C1



Фиг. 4