

УДК 621.865

ОПРЕДЕЛЕНИЕ НАЧАЛЬНОГО ПОЛОЖЕНИЯ СХВАТА МАНИПУЛЯТОРА С ГИБКИМИ СВЯЗЯМИ НА ОСНОВЕ ТЕНЗОМЕТРИЧЕСКИХ ДАННЫХ

Валюкевич Ю. А., Алепко А. В., Яковенко Д. М.

ФГБОУ ВПО Южно-Российский государственный университет экономики и сервиса, Шахты, Россия (346500, г. Шахты, ул. Шевченко, 147), e-mail: mail@sssu.ru

В работе рассматривается способ определения начального положения схвата манипулятора со свободным подвесом на гибких звеньях, основанный на измерении сил натяжения канатов. Проанализированы преимущества использования данного способа по сравнению с другими, использующими оптические или ультразвуковые дальнометры, датчики углового положения, контактные или бесконтактные (индуктивные емкостные, оптические и т.д.) датчики фиксированного положения. Даны рекомендации о возможности и целесообразности использования данного метода в различных условиях эксплуатации устройства.

Получена система уравнений для реализации данного способа, анализ которой показал, что для определения координат схвата манипулятора не требуется знать значение величины груза. Единственным требованием к грузу является создание напряженного состояния канатов. В работе предложен инновационный метод определения положения груза на основе тензометрических данных, который оптимизирован под кинематику манипуляторов, использующих гибкие связи.

Ключевые слова: манипулятор, тросовая система, гибкие связи, определение положения, позиционирование.

DETERMINATION OF INITIAL POSITION OF MANIPULATOR WITH FLEXIBLE LINKS BASED ON TENSOMETRIC DATA

Valyukevich Y. A., Alepko A. V., Yakovenko D. M.

South Russia State University of Economics and Service, Shakhty, Russia (346500, Shakhty, Shevchenko street, 147), e-mail: mail@sssu.ru

In this paper considered the method of determining the current position of the manipulator with a free suspension in the flexible links, based on measuring the tension forces of cables. Analyzes the advantages of using this method compared with others, which use optical or ultrasonic range finders, angular position sensors, contact or contactless (inductive capacitive, optical, etc.) fixed position sensors. The recommendations on the feasibility and advisability of using this method in various conditions of the devices.

The system of equations was obtained for the implementation of this method, showed that for determining the coordinates of the manipulator does not need to use the value of the weight of load. There is only requirement to the load is to create a stress condition of the cables. In this paper we propose an innovative method for determining the position of the cargo, based on strain gauge data, which is optimized for the kinematics of manipulators using flexible links.

Key words: crane, cable system, flexible communication, determination of position, positioning.

В работе [2] приведено описание системы планирования положения схвата манипулятора со свободным подвесом на гибких звеньях. Кинематическая схема манипулятора приведена на рис.1. Здесь приняты следующие обозначения: К1, К2, К3, К4 – тросы, одни из концов которых соединены в точке крепления груза С; вторые концы тросов, пропущенных через шкивы Ш1, Ш2, Ш3, Ш4, закрепленные на любой опоре (стена, потолок помещения, столбы, колонны), закрепляются на барабанах Б1, Б2, Б3, Б4 соответственно. Изменение положения точки крепления груза происходит за счет изменения длин тросов при вращении барабанов моторредукторами М1, М2, М3, М4.

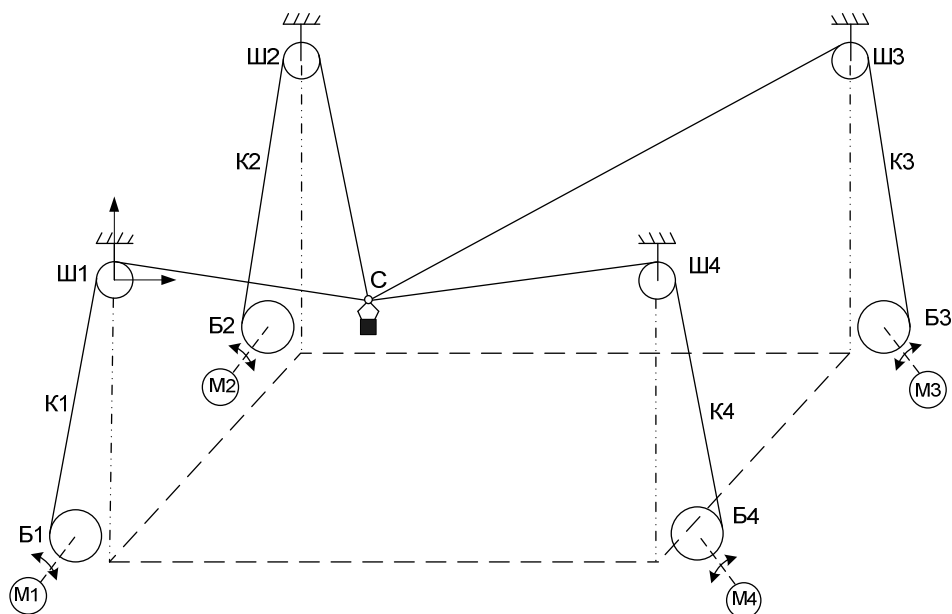


Рисунок 1. Пространственный манипулятор

Формирование траектории перемещения осуществляется за счет одновременного изменения длин канатов, на которых подвешен схват. Причем, в зависимости от места нахождения схвата, ведущими являются три каната из четырех, четвертый находится в минимально напряженном состоянии. Текущее положение схвата в принятой системе отсчета определяется обобщенными координатами, в качестве которых определены длины канатов от точки схода со шкива до точки крепления схвата. В рабочем состоянии текущие значения длин канатов $L1 \div L4$ определяются с помощью датчиков углового положения. Текущее положение обобщенных координат периодически запоминается в энергонезависимой памяти. Однако при начальной инициализации или возникновении сбоя в системе управления, информация о положении теряется. В этом случае традиционно применяются контактные или бесконтактные (индуктивные емкостные, оптические и т.д.) датчики фиксированного положения, и в системе управления реализован режим достижения этого положения [4]. Для рассматриваемой конструкции подобные методы весьма условны в реализации. В качестве альтернативы можно предложить установку в точке крепления схвата группы оптических или ультразвуковых дальномеров. Однако этот способ не лишен ряда недостатков, основным из которых является учет особенностей зоны обслуживания манипулятора. Как правило, необходимость в определении координат, когда схват манипулятора находится в нижней точке зоны обслуживания и получить систему отсчета для дальномеров по осям X и Y весьма затруднительно.

В качестве альтернативы логично предложить способ определения текущего положения, основанный на измерении сил натяжения канатов. Этот способ не требует затрат на дополнительное оборудование и имеет приемлемую для практики точность.

В САР положения каждой из обобщенных координат входит контур регулирования усилия с датчиком силы натяжения каната. Условие статического равновесия для известной части зоны обслуживания может быть определено из системы уравнений:

$$\begin{cases} T1 \cdot \cos(\beta1) + T2 \cdot \cos(\beta2) + T3 \cdot \cos(\beta3) = mg \\ -T1 \cdot \cos(\alpha1) \cdot \sin(\beta1) - T2 \cdot \cos(\alpha2) \cdot \sin(\beta2) + T3 \cdot \cos(\alpha3) \cdot \sin(\beta3) = 0 \\ -T1 \cdot \sin(\alpha1) \cdot \sin(\beta1) + T2 \cdot \sin(\alpha2) \cdot \sin(\beta2) + T3 \cdot \sin(\alpha3) \cdot \sin(\beta3) = 0 \end{cases} \quad (1)$$

Здесь $T1-T3$ – сила натяжения канатов К1-К3;

$\alpha1-\alpha3$ – азимутальные углы канатов К1-К3 соответственно (рис.2а);

$\beta1-\beta3$ – зенитные углы канатов К1-К3 соответственно (рис.2б).

Способ определения углов α и β для каждого каната на основе координат опор и текущих координат схвата приведен в [2,5].

Порядок измерения текущего положения схвата предполагает «обезвешивание» груза известной массы в текущей точке положения схвата в режиме ручного управления каждой из обобщенных координат L1-L3 и затем – расчет значений координат по управлению (1) с помощью вычислителя, входящего в состав системы управления манипулятором.

В САР регулирования положения силы натяжения канатов могут быть измерены несколькими способами, наиболее очевидный из которых – это установка датчика усилия между канатом и узлом крепления схвата. При этом измеренный сигнал усилия передается по проводному или беспроводному каналу связи в САР. Однако на практике реализация подобного способа сопряжена с рядом известных технических трудностей.

В статическом режиме, которым является состояние «обезвешивания» (отсутствие перемещения по обобщенным координатам при отсутствии контакта груза с горизонтальной поверхностью), усилие в каждом из канатов можно определить из соотношения:

$$T_i = K_i \cdot M_{yc} \quad (2)$$

где M_{yc} – момент удержания двигателя координаты с номером i в режиме «обезвешивания»;

K_i – коэффициент передачи, определяемый через известные конструктивные параметры.

Для любого типа привода с САР-положения момент на валу электродвигателя может быть определен через другие известные параметры [1].

Наиболее благоприятным, с точки зрения упрощения расчетов по определению координат положения схвата, является дополнительное размещение датчика для измерения проекции усилия в опоре подвеса шкива. Такое решение иногда принимают при значительной длине каната с использованием четырехмассовой модели электромеханической части привода.

да и представление участка троса между точкой крепления к схвату и точкой схода со шкива динамическим звеном с распределенными параметрами [3].

Наиболее просто текущее условие можно определить, если доступны измерению полное усилие в канате и его вертикальная составляющая T_{zi} . В этом случае на основании первого уравнения системы можно составить систему вида:

$$\begin{cases} T1 \cdot \cos(\beta1) = T1_z \\ T2 \cdot \cos(\beta2) = T2_z \\ T3 \cdot \cos(\beta3) = T3_z \end{cases} \quad (3)$$

Тригонометрические функции, входящие в выражение (3), можно представить как:

$$\begin{aligned} \cos(\beta1) &= \frac{Z_i}{\sqrt{x_i^2 + y_i^2 + z_i^2}} \\ \cos(\beta2) &= \frac{Z_i}{\sqrt{x_i^2 + (Y - y_i)^2 + z_i^2}} \\ \cos(\beta3) &= \frac{Z_i}{\sqrt{(X - x_i)^2 + (Y - y_i)^2 + z_i^2}} \end{aligned}$$

здесь X, Y – габаритные размеры горизонтальной плоскости зоны обслуживания.

С учетом значений косинусов, систему уравнений (3) после ряда преобразований можно представить в виде:

$$\begin{cases} x_i^2 + y_i^2 + K_1 \cdot Z_i^2 \\ 2Yy_i - (K_2 - K_1) \cdot Z_i^2 + Y^2 = 0 \\ 2Xx_i - (K_3 - K_2) \cdot Z_i^2 + X^2 = 0 \end{cases} \quad (4)$$

$$\text{здесь } K_1 = \frac{T1_z}{T1} + 1; K_2 = \frac{T2_z}{T2} + 1; K_3 = \frac{T3_z}{T3} + 1.$$

Программная реализация алгоритма решения системы уравнений (4) относительно x_i, y_i, z_i особых затруднений не вызывает.

Нетрудно заметить, что для определения координат не требуется знать значение величины груза. Единственным требованием к этой величине является создание напряженного состояния канатов (в рассматриваемом случае $K1, K2, K3$).

В работе предложен инновационный метод определения положения груза на основе тензометрических данных кинетостатической модели манипулятора с подвесом схвата на гибких звеньях, позволяющий избежать применения традиционно используемых для этих целей типов датчиков (датчики углового положения). Данный способ оптимизирован под кинематику манипуляторов, использующих гибкие связи.

Список литературы

1. Башарин А. В. Управление электроприводами. Л.: Энергоиздат, 1982. 392 с., ил.
2. Валюкевич Ю. А., Алепко А. В. Планирование траектории перемещения манипулятора с подвесом схвата на гибких звеньях (часть 1) // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Технические науки. № 6 (159). Новочеркасск, 2011.
3. Заболотнов Ю. М., Фефелов Д. И. Математическая модель движения тросовой системы с распределенными параметрами // Труды Всероссийской научной конференции (26–28 мая 2004 г.). Часть 2. Моделирование и оптимизация динамических систем и систем с распределенными параметрами // Матем. моделирование и краев. задачи / СамГТУ. Самара, 2004. С. 86–88.
4. Чистяков А. Ю. Роботизированные системы с механизмами параллельной структуры на основе подвесных платформ: Дис... канд. техн. наук: 05.02.05. СПб., 2006. 139 с. РГБ ОД, 61:06-5/2483.
5. Jason J. Gorman, Kathryn W. Jablow, and David J. Cannon. The cable array robot: Theory and experiment. In Proceedings of the International Conference on Robotics and Automation, pages 2804–2810, Seoul, Korea, May 2001.

Рецензенты:

Кузнецов С. А., д.т.н., профессор, профессор кафедры «Прикладная механика и конструирование машин», ФГБОУ ВПО «Южно-Российский государственный университет экономики и сервиса», г. Шахты.

Шошиашвили М. Э., д.т.н., профессор, директор ШИ(Ф) ФГБОУ ВПО ЮРГТУ(НПИ), зав. кафедрой «Гидропневмоавтоматика и гидропривод» ЮРГТУ(НПИ), г. Шахты.