

С. О. Безусов

**УПРАВЛЕНИЕ ТРОСОВЫМИ ДВИЖИТЕЛЯМИ
ПРИ ПЕРЕМЕЩЕНИИ ГРУЗА**

Волгоградский государственный технический университет

seleron@list.ru

Перенос грузов с помощью тросовых устройств широко распространен во многих отраслях – строительной, складской, транспортно-логистической и тому подобных. Перспективным направлением является использование нескольких приводов для перемещения тела по определенной заданной траектории. В работе рассматривается один из примеров группового управления тросовыми движителями при плоском перемещении объекта.

Ключевые слова: тросовые движители, групповое управление, заданная траектория.

S. O. Bezusov

CONTROL OF CABLE THRUSTERS IN THE CARGO MOVEMENT

Volgograd State Technical University

Cargo transfer of loads by cable systems is widespread in many industries – construction, warehousing, transportation and logistics, etc. A perspective area is using several actuators to move a cargo along a specific predetermined trajectory. The paper considers one of the cases of group control of cable thrusters for planar transportation of an object.

Keywords: cable thrusters, group control, predetermined trajectory.

Введение

Тросовые кинематические системы находят свое применение в различных сферах. Они используются для исследования морского дна и добычи полезных ископаемых, подъема крупных грузов, систем обезвешивания в области аэрокосмонавтики, реабилитационных процессов в медицине и авиации [1–5].

С развитием систем управления, электроприводов в данной области начали находить свое применение робототехнические системы [6–8]. Одной из задач, связанных с использованием робототехнических систем, является перемещение груза по определенной траектории. Такая задача может ставиться как в строительной сфере – при подъеме грузов в условиях

сложной и плотной застройки; строительстве с использованием крупногабаритных узлов, требующих применения нескольких тросовых систем, так и в транспортной – перемещении негабаритных грузов по дорогам общего пользования или средствами авиации.

Для управления траекторией передвижения груза роботизированные движители могут оснащаться органами компьютерного зрения, датчиками расстояния и натяжения тросов, системами навигации и тросовыми приводами.

В общем случае, для построения системы перемещения груза на плоскости, потребуется не менее трех тросовых роботизированных движителей, ограничивающих перемещение груза (рис. 1).

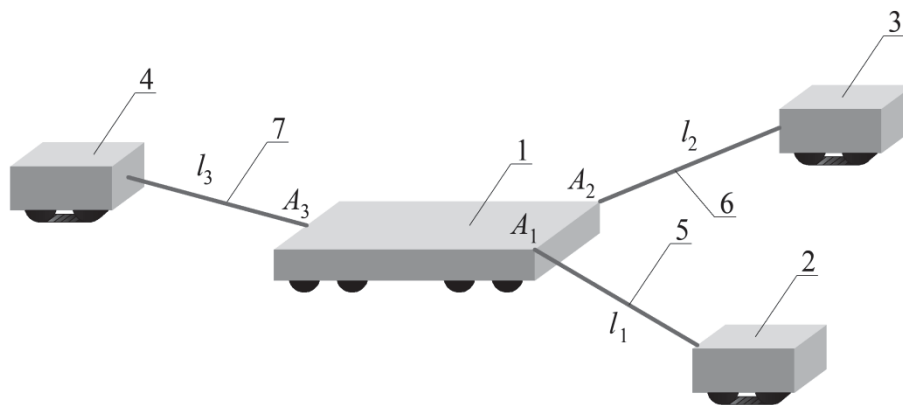


Рис. 1. Схема сочлененных роботов:

1 – передвигаемый груз; 2, 3, 4 – тросовые движители; 5, 6, 7 – тросы длины l_1, l_2, l_3 , соединяющие тросовые движители с передвигаемым телом в точках A_1, A_2, A_3

Для перемещения груза в пространстве количество тросовых движителей необходимо увеличивать, ограничивая возможность перемещения груза из-за влияния окружающей среды (течение, порывы ветра).

Постановка задачи

В роли тросовых движителей выбраны три роботизированные гусеничные платформы с тросами постоянной длины l_1, l_2, l_3 . Перемещение

груза и гусеничных платформ описывается движением центров их масс, а также углом поворота их осей относительно оси Ox (рис. 2).

Траектория плоского движения груза задается следующей системой уравнений:

$$\begin{cases} x_A(t), \\ y_A(t), \\ \varphi_A(t). \end{cases} \quad (1)$$

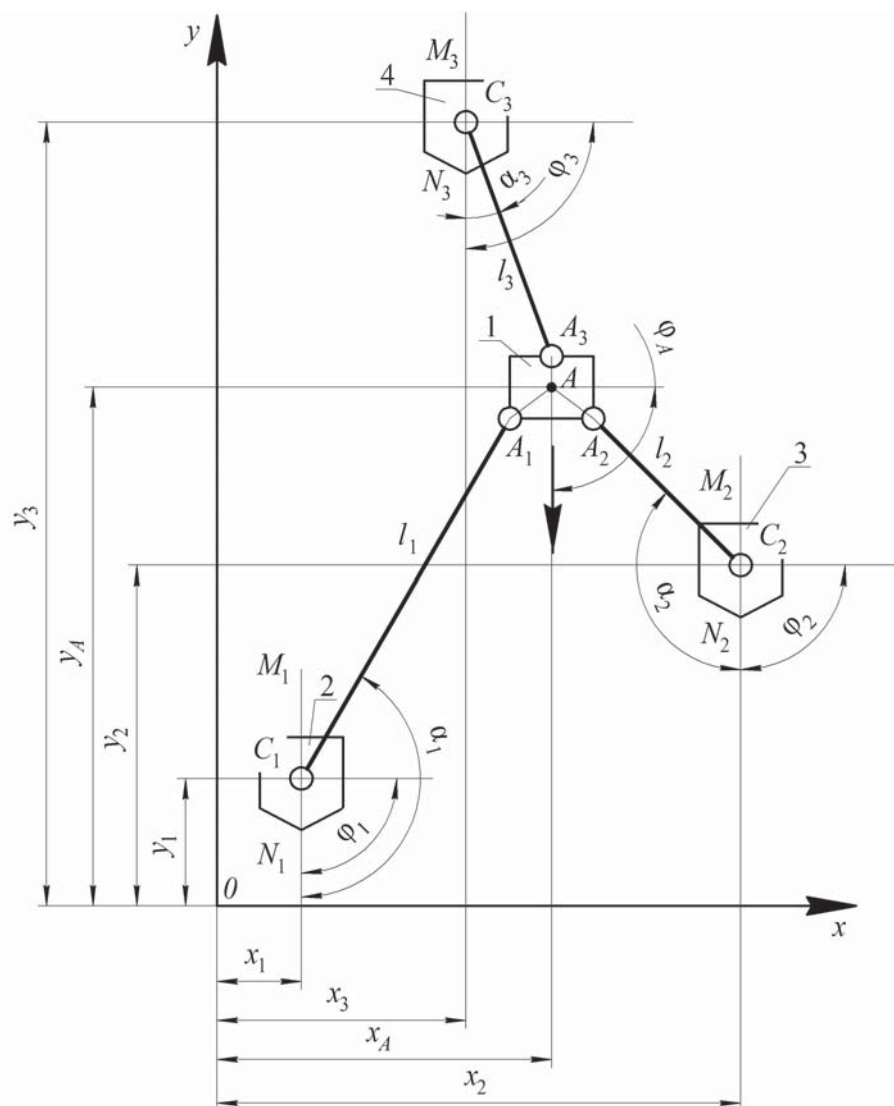


Рис. 2. Схема перемещения груза тремя роботами:

A – центр масс перемещаемого груза 1; C_1, C_2, C_3 – центры масс роботов 2, 3 и 4; A_1C_1, A_2C_2, A_3C_3 – тягловые тросы, обеспечивающие связь между роботами 2, 3, 4 и грузом 1; l_1, l_2, l_3 – длины тягловых тросов; M_1N_1, M_2N_2, M_3N_3 – строительные оси роботов 2, 3 и 4; x_1, x_2, x_3, x_A – координаты центров масс роботов 2, 3 и 4 и груза 1 по оси OX ; y_1, y_2, y_3, y_A – координаты центров масс робота 2, 3 и 4 и груза 1 по оси OY ; $\varphi_1, \varphi_2, \varphi_3, \varphi_4$ – углы поворота строительных осей роботов 2, 3, 4 и груза 1 относительно оси OX ; $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$ – углы поворота тягловых тросов относительно строительных осей роботов 2, 3 и 4

Метод решения

Заданный закон движения груза (1) обеспечивается поддержанием углов поворота $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$ тросов A_1C_1, A_2C_2, A_3C_3 и постоянством их длин l_1, l_2, l_3 , исключаяющих провисание.

Движение роботов обусловлено геометрической связью с грузом в точках A_1, A_2, A_3 . Положение же точек A_1, A_2, A_3 определяется геометрией груза (рис. 3)

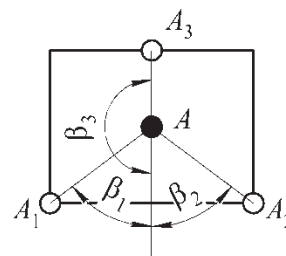


Рис. 3. Пример расположения точек крепления груза к роботам:

A – центр масс перемещаемого груза; A_1, A_2, A_3 – точки крепления тросов роботов к грузу; A_1A, A_2A, A_3A – расстояние от центра масс груза до точек крепления тросов; $\beta_1, \beta_2, \beta_3$ – углы поворота A_1A, A_2A, A_3A относительно строительной оси груза

Определяя координаты точек A_1, A_2, A_3 с учетом поворота груза на угол φ_A , получим:

$$\begin{aligned} x_{A1} &= A_1 A \cdot \cos(\beta_1) \cdot \cos(\varphi_A(t)) - A_1 A \cdot \sin(\beta_1) \cdot \sin(\varphi_A(t)), \\ y_{A1} &= A_1 A \cdot \cos(\beta_1) \cdot \sin(\varphi_A(t)) + A_1 A \cdot \sin(\beta_1) \cdot \cos(\varphi_A(t)), \\ x_{A2} &= A_2 A \cdot \cos(\beta_2) \cdot \cos(\varphi_A(t)) - A_2 A \cdot \sin(\beta_2) \cdot \sin(\varphi_A(t)), \\ y_{A2} &= A_2 A \cdot \cos(\beta_2) \cdot \sin(\varphi_A(t)) + A_2 A \cdot \sin(\beta_2) \cdot \cos(\varphi_A(t)), \\ x_{A3} &= A_3 A \cdot \cos(\beta_3) \cdot \cos(\varphi_A(t)) - A_3 A \cdot \sin(\beta_3) \cdot \sin(\varphi_A(t)), \\ y_{A3} &= A_3 A \cdot \cos(\beta_3) \cdot \sin(\varphi_A(t)) + A_3 A \cdot \sin(\beta_3) \cdot \cos(\varphi_A(t)). \end{aligned} \quad (2)$$

Проекции длин тросов $A_1 C_1, A_2 C_2, A_3 C_3$ на оси OX и OY с учетом поворота роботов на угол $\varphi_1, \varphi_2, \varphi_3$ и положения точек крепления тросов A_1, A_2, A_3 (2) примут вид:

$$\begin{aligned} x_{C1}(t) &= x_{A1}(t) - l_1 \cdot \cos(\alpha_1) \cdot \cos(\varphi_1(t)) + l_1 \cdot \sin(\alpha_1) \cdot \sin(\varphi_1(t)), \\ x_{C2}(t) &= x_{A2}(t) - l_2 \cdot \cos(\alpha_2) \cdot \cos(\varphi_2(t)) + l_2 \cdot \sin(\alpha_2) \cdot \sin(\varphi_2(t)), \\ x_{C3}(t) &= x_{A3}(t) - l_3 \cdot \cos(\alpha_3) \cdot \cos(\varphi_3(t)) + l_3 \cdot \sin(\alpha_3) \cdot \sin(\varphi_3(t)), \\ y_{C1}(t) &= y_{A1}(t) - l_1 \cdot \cos(\alpha_1) \cdot \sin(\varphi_1(t)) - l_1 \cdot \sin(\alpha_1) \cdot \cos(\varphi_1(t)), \\ y_{C2}(t) &= y_{A2}(t) - l_2 \cdot \cos(\alpha_2) \cdot \sin(\varphi_2(t)) - l_2 \cdot \sin(\alpha_2) \cdot \cos(\varphi_2(t)), \\ y_{C3}(t) &= y_{A3}(t) - l_3 \cdot \cos(\alpha_3) \cdot \sin(\varphi_3(t)) - l_3 \cdot \sin(\alpha_3) \cdot \cos(\varphi_3(t)). \end{aligned} \quad (3)$$

Имитационное моделирование

Рассматривается перемещение груза тремя гусеничными роботизированными платформами (рис. 2).

Заданы следующие условия:

$$\begin{aligned} x_A(0) &= 10 \text{ м}; y_A(0) = 15 \text{ м}; \\ x_A(t) &= x_A(0); y_A(t) = y_A(0) - t, t = 0, 7 \text{ с}; \\ AA_1 &= 1,25 \text{ м}; AA_2 = 1,25 \text{ м}; AA_3 = 0,75 \text{ м}; \\ \beta_1 &= -53^\circ 8'; \beta_2 = 53^\circ 8'; \beta_3 = 180^\circ; \\ l_1 &= 10 \text{ м}; l_2 = 5 \text{ м}; l_3 = 6 \text{ м}; \varphi_1(t) = \varphi_2(t) = \varphi_3(t) = \varphi_A(t) = -90^\circ; \\ \alpha_1 &= 150^\circ; \alpha_2 = 135^\circ; \alpha_3 = 20^\circ. \end{aligned}$$

Результаты решения уравнений (2) и (3) для рассматриваемых законов передвижения груза представлены на графике (рис. 4).

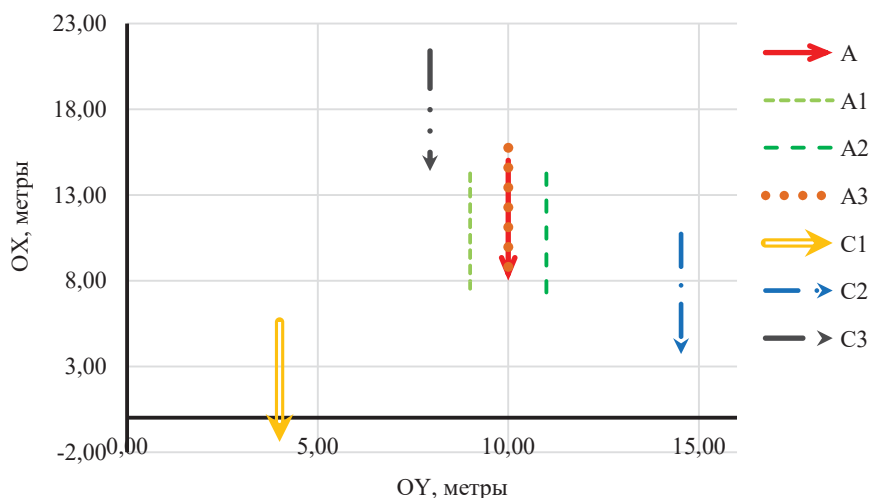


Рис. 4. Зависимость положения центров масс роботов и груза A, C_1, C_2, C_3 точек крепления тросов A_1, A_2, A_3 от времени t

Заключение

Разработана модель управления движением роботизированных платформ при перемещении груза по заданной на плоскости траектории за счет тяговых тросов.

Рассмотрена задача такого перемещения с использованием трех роботов на гусеничной платформе.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Брискин, Е. С. О математическом моделировании управления движением твердого тела с избыточным числом тросовых двигателей / Е. С. Брискин, В. Н. Платонов // Мехатроника, автоматизация, управление. – 2019. – Т. 20, № 7. – С. 422–427.
2. Обоснование облика технических устройств, обеспечивающих подъем подводного груза / П. П. Чернусь [и др.] // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2024. – № 1(237). – С. 18–28.
3. Гайдукова, А. О. Обзор систем обезвешивания / А. О. Гайдукова, Н. А. Беянин // Решетневские чтения. – 2016. – Т. 1. – С. 93–95.
4. Четырехтросовая система обезвешивания с управлением по вектору силы / А. С. Беляев, А. А. Филипас, В. В. Курганов, Н. И. Поберезкин // Электротехнические и информационные комплексы и системы. – 2022. – Т. 18, № 2. – С. 98–106.

5. Multidirectional transparent support for overground gait training / H. Vallery, J. Von Zitzewitz, G. Rauter [et al.] // IEEE International Conference on Rehabilitation Robotics, Seattle, WA, 24–26 июня 2013 года. – Seattle, WA, 2013. – P. 6650512.

6. Рахилин, К. В. Области применения и конструктивные особенности тросовых роботов / К. В. Рахилин // Материалы докладов Всероссийской научно-практической конференции им. Я. В. Мильмана : Материалы докладов, Москва, 19 декабря 2023 года. – М. : Российский государственный университет им. А. Н. Косыгина (Технологии. Дизайн. Искусство), 2024. – С. 16–23.

7. Опыт разработки алгоритма управления параллельным восьмитросовым роботом / Д. Н. Нуртдинов, А. С. Михайлов, Е. А. Марчук, А. В. Малолетов // XXXV Международная инновационная конференция молодых ученых и студентов (МИКМУС-2023) : Сборник трудов конференции, Москва, 13–14 ноября 2023 года. – М.: Институт машиноведения им. А. А. Благонравова РАН, 2023. – С. 371–377.

8. Беляев, А. С. Имитационная модель системы опорного обезвешивания элементов космических аппаратов / А. С. Беляев, А. А. Филипас, А. В. Тырышкин // Решетневские чтения : Материалы XXIV Международной научно-практической конференции, посвященной памяти генерального конструктора ракетно-космических систем академика М. Ф. Решетнева. В 2 ч. Красноярск, 10–13 ноября 2020 года / под общ. ред. Ю. Ю. Логинова. Том 1. – Красноярск : Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М. Ф. Решетнева, 2020. – С. 60–62.