

Достижения в области производственной науки и технологий

Моделирование кинематики двух роботов в нотации Денавита-Хартенберга

Андрей Бургхардт, Винценти Скварек

аКафедра прикладной механики и робототехники Жешувского политехнического университета
бКомплекс общеобразовательной и технической школы № 4 Иоанна Павла II, Ясло, Польша

Аннотация В статье представлены описание и методика построения кинематической модели формирования двухколесных мобильных роботов, транспортирующих балку, с использованием нотации Денавита-Хартенберга. Решены задачи простой и обратной кинематики этого образования. Решения задач кинематики представлены в узловых координатах и глобальных координатах. Полученные результаты моделировались с помощью пакета Matlab-Simulink совместно с анимацией решения с помощью программируемого эмулятора работы робота.

формирование робота, кинематика, нотация Денавита-Хартенберга, матрица преобразования.

1. Введение

В настоящее время автономные транспортные средства все чаще используются для перевозки объектов по заводским производственным цехам, складам или складским площадкам. Многие из крупногабаритных грузов, которые необходимо транспортировать, представляют проблему, поскольку один робот не может их транспортировать, а создание специализированной транспортной техники может оказаться экономически невыгодным. Идея транспортировки объектов с помощью формирований, состоящих из нескольких роботов, которые после выполнения данной задачи могут использоваться в другой конфигурации для выполнения следующих задач, исходит из мира природы. Такой подход экономически оправдан, поскольку данный тип робота может использоваться для различных целей. Тема транспортирования объектов робототехническими формированиями неоднократно освещалась в научных работах, таких как работы над, например, задачей толкания ящика [1], толкания значительного веса, имеющего собственную опору в виде колес [2], транспортировка объекта, расположенного над роботами [3], перемещение объекта роботами, расположенными рядом с ними [4], или транспортировка луча двумя роботами [5]. При построении системы управления необходимо знать математическую модель кинематики рассматриваемой транспортной системы, которая будет использоваться для построения математической модели, описывающей динамику этой системы, или для построения системы управления только на основе кинематики.

Кинематика может быть описана с помощью так называемых классических методов, основанных на построении скоростного плана конкретных

характерных точек формирования [6] или с помощью так называемой нотации Денавита-Хартенберга (DH) [7], которая очень часто используется для описания кинематики многозвенных систем и широко используется в робототехнике.

В данной статье представлена задача транспортировки луча двумя колесными мобильными роботами (WMR) AmigoBot на основе нотации DH. Предполагается, что роботы транспортируют луч по горизонтальной плоскости XY, как показано на рисунке 1.

Задача роботов — транспортировать балку длиной l . Роботы соединены с балкой в точках $H1$ и $H2$ с помощью болтовых соединений, образующих кинематические пары пятого класса. В пласте выделяют характерные точки: M — характерная точка пласта, являющаяся центром тяжести транспортируемой балки; E — временный центр вращения пласта; $A1$ и $A2$ — точки, расположенные на оси колес отдельных роботов по центру между колесами; $B1$, $C1$ и $C2$, точки, остающиеся центрами отдельных колес робота $B2$; $K1$, $P1$, $K2$, $P2$ — точки контакта отдельных колес робота с полом. Также выделяют характерные значения: xM , yM , координаты характерной точки пласта в базовой (стационарной) системе; φ — угол поворота транспортируемой балки относительно базовой системы; l —

расстояние между точками A и B или B и C ; r — расстояние до соединения балки с роботом из точки A ; r — радиус ведущего колеса робота; $\beta1f$, $\beta2f$, углы поворота отдельных роботов относительно транспортируемой балки (системы формирования); $\alpha11$, $\alpha21$, $\alpha12$, $\alpha22$ — углы поворота колес, ведущих роботов.

* Автор, ответственный за переписку: Андрей Бургхардт, Винценти Скварек

*Электронная почта: andrzejb@prz.edu.pl, wincentyskwarek@op.pl

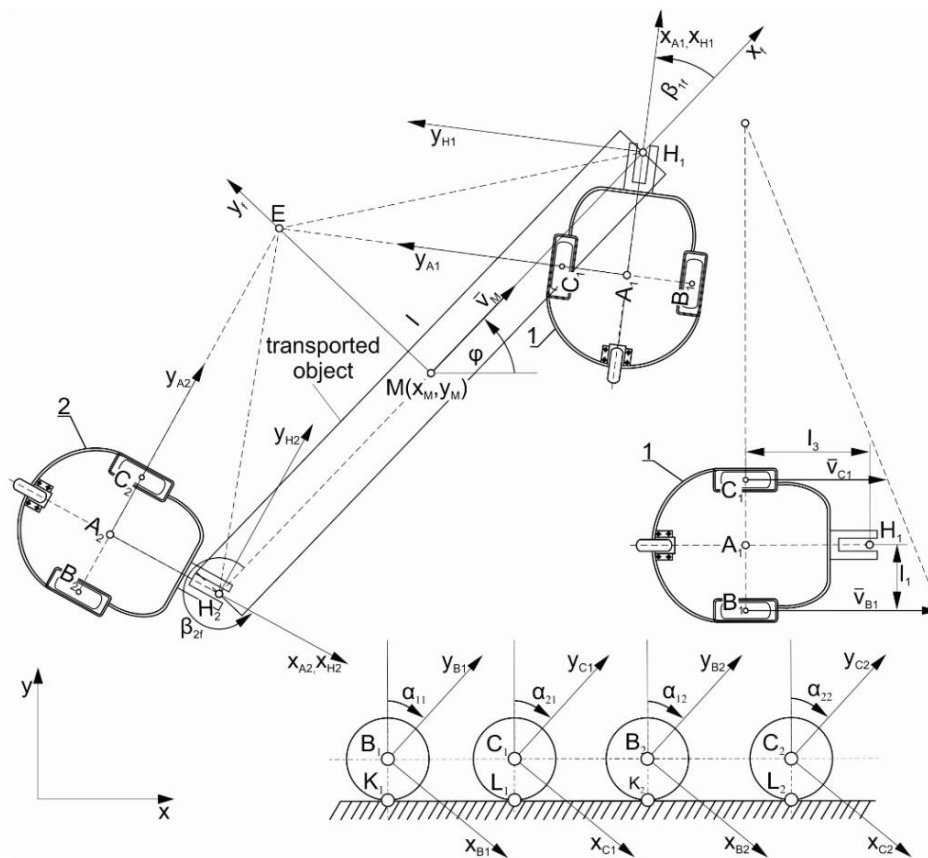


Рис. 1. Формирование двухколесных мобильных роботов, транспортирующих балку.

В случае этих углов были приняты следующие символы: первая цифра указывает номер колеса, а вторая цифра указывает номер робота.

Используемые AmigoBot WMR имеют, помимо двух ведущих колес, саморегулирующееся опорное колесо, но оно было исключено при создании модели, предполагая, что оно оказывает незначительное влияние на кинематику всей системы.

2. Постановка задачи кинематики

При анализе кинематики формирования решаются две задачи. Первая задача — простая кинематическая задача, целью которой в данном случае является определение кинематических параметров транспортируемого луча в виде скорости и положения точки М, а также угловой скорости и угла поворота луча. балки, предполагая, что кинематические параметры приводов известны. Вторая задача – задача обратной кинематики, заключающаяся в определении кинематических параметров приводов в предположении, что известна линейная скорость характерной точки пласта, в данном случае скорость точки М и угловая скорость транспортируемого луча.

Решение задачи обратной кинематики используется для построения системы управления, поэтому обычно важнее решения задачи простой кинематики, на основе которой можно построить, как и в случае авторов, эмулятор формирования робота. работа.

3. Выполнение уравнений движения на основе нотации DH

Приступая к созданию уравнений движения, первым шагом является привязка локальных систем отсчета к каждой характерной точке формации WMR, транспортирующей луч, и к стационарной системе отсчета, называемой базовой системой (рис. 1). После определения систем были введены матрицы преобразования между этими системами.

() () 0 () () 0
0 0 1 0 0 0 1

=

(1)

1

2

2

После рассмотрения предыдущих условий, наконец, было получено следующее:

(21)

(22)

(23)

(24)

Полученные уравнения (21)–(24) являются кинематическими уравнениями движения двух формаций BMR, транспортирующих балку, которая может быть решена в зависимости от входных данных путем решения простой или обратной задачи кинематики.

4. Решение задач кинематики.

Вся процедура расчета, представленная в разделе 3, была выполнена с использованием программы Maple™, которая является очень удобным инструментом для символьных и матрично-векторных расчетов. Maple также использовался для определения задач кинематики.

простой кинематической задачи

Как уже упоминалось в разделе 2, решение простой кинематической задачи в анализируемом случае сводится к определению кинематических параметров транспортируемой балки в предположении, что кинематические параметры приводов известны в 3-х формах: углы осей колес роботов балки, углы осей транспортирующих балку, углы осей уравнений (21)–(24), были получены следующие уравнения:

(25)

(26)

(27)

(28)

(29)

Кроме того, были определены угловые скорости роботов для получения

(30)

(31)

(32)

(33)

(34)

Углы поворота рам роботов будут измеряться в координатах узла, чтобы получить глобальные координаты использовались следующие зависимости:

(35)

(36)

(37)

(38)

(39)

(40)

(41)

(42)

$${}^1_1 {}^1_2 {}^1_3 {}^1_4 {}^1_5 {}^1_6 {}^1_7 {}^1_8 {}^1_9 {}^1_{10}$$

[illegible]

Кроме того, угловые скорости рам робота составили _____

3 определено.

$$\begin{array}{ccccccc} & 2 & 3 & 2 & 3 & & 3 \\ 22 & 2\phi & 3\phi & +2\phi & +1 & 22 & 2\phi & +2\phi & 3 \\ & 2 & 3 & & & 3 & & 2 & 3 \end{array}$$

$$\begin{array}{ccccccc} & 2 & 3 & 2 & 3 & & 3 \\ 11 & 2\phi & + & 3\phi & + & 2\phi & + & 1\phi & + & 11 \\ & 2 & 3 & & 2 & 3 & & 2 & 3 \end{array}$$

(43)

[illegible]

Заменяя в зависимости (30)–(33) на (39)–(44), и (11) 11 3
 $\begin{matrix} 2 & 11 & 1 \\ 2 & 2 & 2 \end{matrix}$ $\begin{matrix} \diamond + 2 & \diamond + 2 \\ \diamond + 2 & \diamond + 2 \end{matrix}$ $\begin{matrix} \diamond + 2 & \diamond + 2 \\ \diamond + 2 & \diamond + 2 \end{matrix}$ $\begin{matrix} 2 & 2 \\ 2 & 2 \end{matrix}$ $\begin{matrix} 2 & 3 \end{matrix}$
 были получены следующие уравнения:

$$\therefore \frac{21}{11} = \frac{2}{2} \frac{2}{3} \frac{2}{3} \left(\frac{3}{2} \frac{1}{2} \frac{1+1}{3} \frac{1}{3} \right) \frac{1}{3} + \frac{2}{2} \left(\frac{1}{1} \frac{2}{1} \frac{1+3}{1+3} \frac{1-3}{1} \right) \frac{1}{1} + \left(\frac{1}{2} \frac{1}{2} \frac{(-1)}{2} \frac{1}{3} \frac{3}{3} \right) \frac{(-1-3)}{1} \frac{3}{3} \quad (4)$$
$$\frac{21}{21} = \frac{2(3 \quad 1+1 \quad 1)}{2(3 \quad 1+1 \quad 1)} + \frac{2(1 \quad 1 \quad 3 \quad 1)}{2(1 \quad 1 \quad 3 \quad 1)} \cdot \frac{(1 \quad (-1)+3 \quad (-1))}{(1 \quad 1)+3 \quad (1)} \quad (4)$$

$$\frac{2}{3} \quad \frac{2}{3} \quad \frac{2}{3}$$

[illegible]
$$\begin{array}{r} \begin{array}{c} \diamond + 1 \quad \diamond \quad \diamond \quad \diamond \\ 2(3) \end{array} \quad \begin{array}{c} 2+1 \\ 2+1 \\ 2+1 \end{array} \quad \begin{array}{c} 2) \\ 2) \\ 2) \end{array} \quad + \quad \begin{array}{c} 2(1) \quad 2-3 \quad 2) \\ 2(1) \quad 2-3 \quad 2) \end{array} \quad \begin{array}{c} +1 \\ +1 \end{array} \quad \begin{array}{c} (-) \quad (-) \quad 2+3+2 \\ 3+2+ \end{array} \quad \begin{array}{c} (2) \\ (2) \end{array} \\ \hline \begin{array}{c} 22 = 2 \quad 3 \\ 22 = 2 \quad 3 \end{array} \quad \begin{array}{c} 2+1 \\ 2+1 \\ 2+1 \end{array} \quad \begin{array}{c} 2) \\ 2) \\ 2) \end{array} \quad + \quad \begin{array}{c} 2+2 \quad 11 \\ 2+2 \quad 11 \end{array} \quad \begin{array}{c} 2-3 \\ 2-3 \end{array} \quad \begin{array}{c} 2) \\ 2) \end{array} \quad \begin{array}{c} +1 \\ +1 \end{array} \quad \begin{array}{c} 2+1 \\ 2+1 \end{array} \quad \begin{array}{c} 32+3 \\ 32+3 \end{array} \quad \begin{array}{c} 2 \\ 2 \end{array} \quad (4) \end{array}$$
$$\begin{array}{cccccccc}
 & 2 & & 2,2 & & 1+ & & 1- \\
 \cdot 1 & 2 & & 1+2 & & 1+ & & (1-) \\
 \cdot 1 & 2 & & 1+2 & 2 & 3 & & 1+ \\
 & 2 & & 1+2 & 1+2 & 2+3 & & 1+ \\
 \cdot 1 & 2 & & 2,2 & & 2,3 & & \\
 \cdot 1 & 2 & & 2,2 & & 2,3 & &
 \end{array}
 \quad (4)$$
[illegible]

Уравнения (45)–(48) являются решением обратной задачи кинематики, представленной в

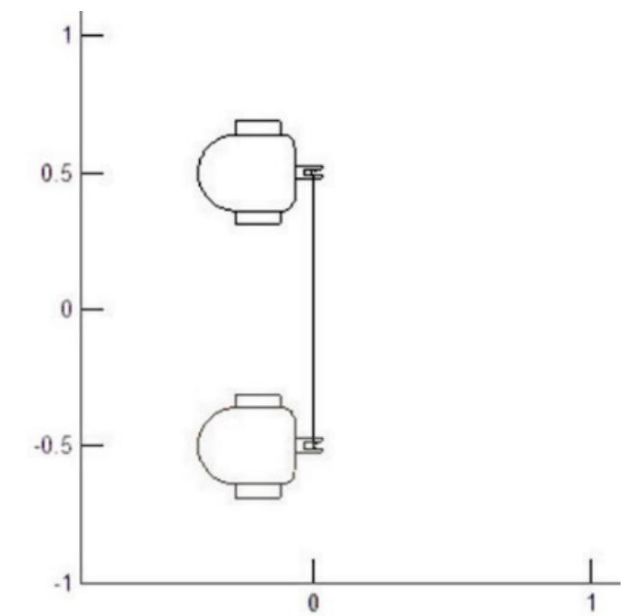


Рисунок 2. Определение транспортной задачи.

При выбранных таким образом параметрах можно выделить следующие фазы движения, некоторые из которых повторяются: разгон, движение по прямой с заданной скоростью, вход в поворот, поворот в угол и торможение.

Задачей модели, построенной в Simulink, было решение задачи обратной кинематики, в результате которой определялась угловая скорость колес, приводящих в движение роботов. После выполнения моделирования были получены результаты для первого робота, показанного на рисунке 6, и второго робота, показанного на рисунке 7. Изображение, полученное с помощью эмулятора работы робота, представлено на рисунке 8. После анализа анимации движения роботов, полученной с помощью эмулятора работы, и полученного изображения записи анимации не было обнаружено, что роботы могли двигаться некорректно. Сноса роботов или неправильной ориентации рамок роботов во время движения не наблюдалось, что свидетельствует о правильности полученных решений.

6. Заключение

Представленный в статье метод кинематики формирования ВМР с использованием нотации DH универсален и удобен в реализации. Дополнительным преимуществом является возможность использования программного обеспечения для символьных и матрично-векторных расчетов, что значительно ускоряет процесс построения уравнений кинематики по сравнению с другими методами. В данной работе моделировалась формация, состоящая из двух роботов, но очень легко обобщить задачу на n-роботов, перевозящих громоздкий объект. Полученные результаты согласуются с результатами, полученными на основе других методов [9]. Дальнейшие выводы

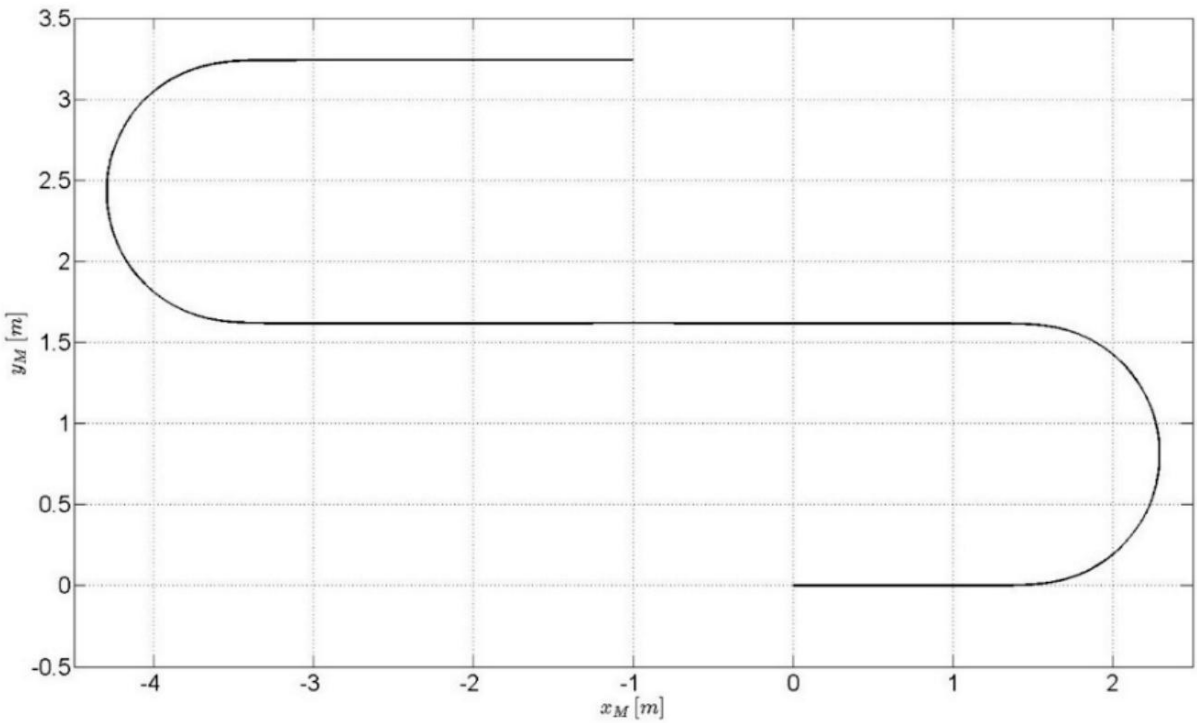


Рис. 3. Траектория точки М

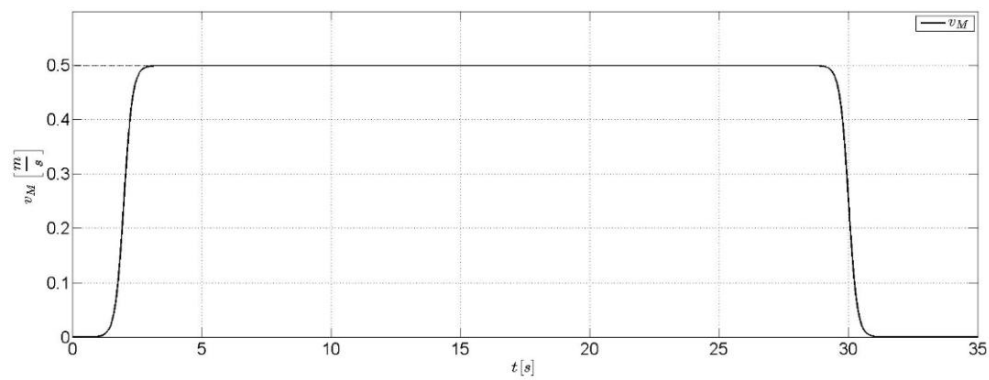


Рис. 4. Скорость точки М.

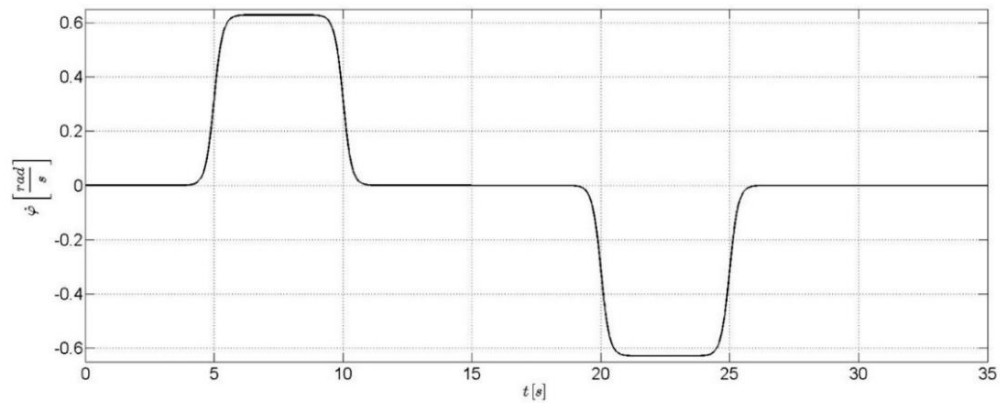


Рис. 5. Угловая скорость транспортируемого луча.

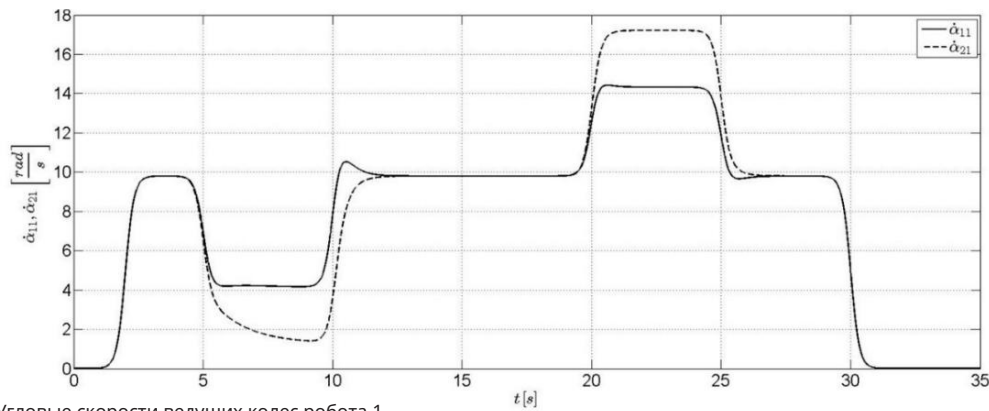


Рис. 6. Угловые скорости ведущих колес робота 1.

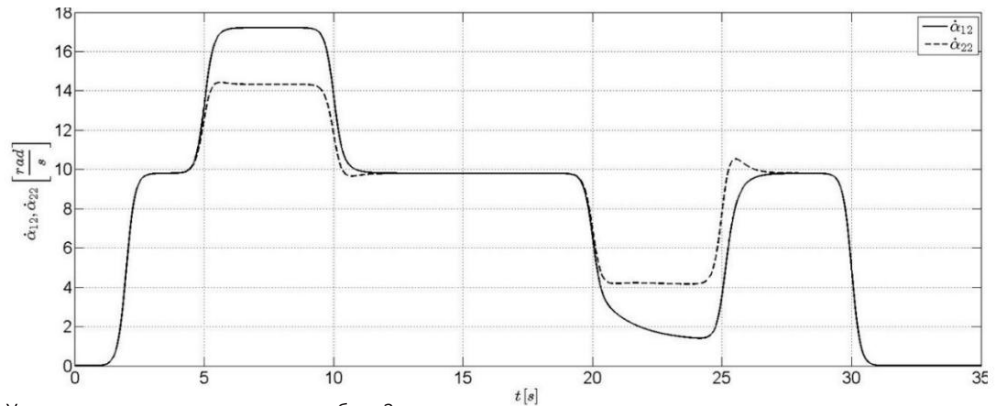


Рис. 7. Угловые скорости ведущих колес робота 2.

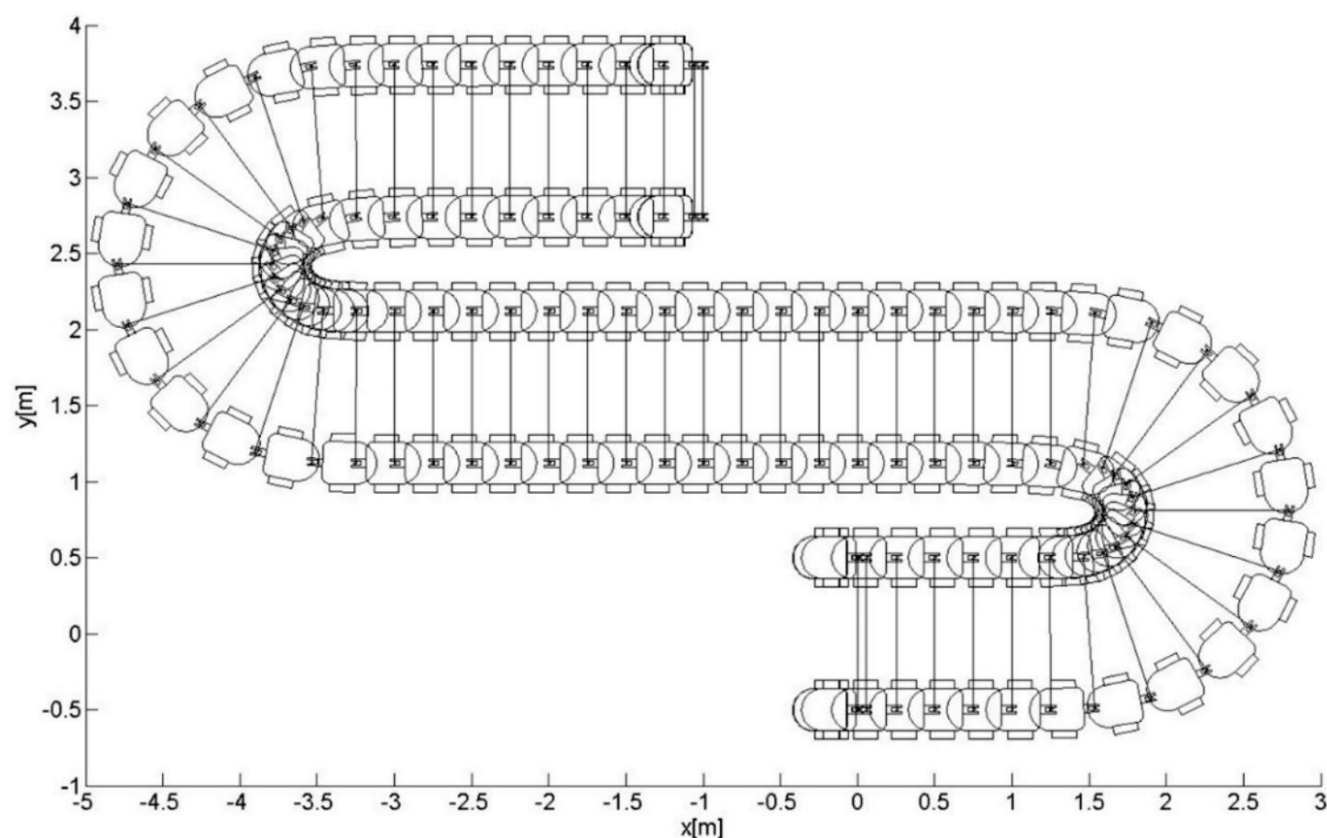


Рис. 7. Угловые скорости ведущих колес робота 2.

направлена на необходимость дополнительных исследований взаимодействия роботов с транспортируемым объектом и окружающей средой. Таким образом, полученная кинематическая модель и методика ее получения могут быть использованы при исследовании более сложных образований, а также для построения модели динамики.

Рекомендации

- [1] C. ZIELINSKI, P. TROJANEK: Стигмергическое сотрудничество автономных роботов. J мех. Мах. Теория, 44 (2009), 656-670.
- [2] Н. МИЯТА и др.: Совместная транспортировка несколькими мобильными роботами в неизвестных статических средах, связанных с реальным временем назначения задачи. IEEE Trans Rob Autom., 18 (2002), 769-780.
- [3] К. KOSUGE и др.: Транспортировка одного объекта двумя децентрализованными мобильными роботами с централизованным управлением. проц. IEEE В тер. конф. Робототехника и автоматизация, Лёвен, 1998, 4, 2989-2994.

- [4] З.-Д. ВАНГ, Э. НАКАНО, Т. МАЦУКАВА: Сотрудничество основанные на типичном поведении роботы для манипулирования объектами. проц. 1994 IEEE/RSJ Inter Conf Intelligent Robots and Systems, Мюнхен, 1994, 1524-1531.
- [5] О. ХАТИБ и др.: Координация автомобиля/манипулятора и децентрализованное сотрудничество нескольких мобильных манипуляторов. проц. 1996 IEEE/RSJ Inter. конф. Интеллектуальные роботы и системы, Осака, 1996 г., стр. 546-553.
- [6] А. BURGHARDT, J. GIERGIEL: Кинематика построения робота при крупногабаритном транспорте. Польский J. Environ. Студ., 20(2011), 41-45.
- [7] J. GIERGIEL, T. BURATOWSKI: Кинематическое моделирование Робот АмикоБот. мех. мех. англ., 14(2010), 57-64.
- [8] А. BURGHARDT: Modelowanie i sterowanie formacją robotów. Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej, Жешув 2013.
- [9] А. БУРГХАРДТ, В. СКВАРЕК: Кинематика группы роботов. Модель. англ., 69(2019), 12-16.