

Progrès dans la science et la technologie de fabrication

Modélisation de la cinématique de deux robots avec la notation Denavit-Hartenberg

Andrzej Burghardt, Wincenty Skwarek

aDépartement de mécanique appliquée et de robotique, Université de technologie de Rzeszów
bComplexe scolaire Jean-Paul II d'enseignement technique et général n° 4, Jasło, Pologne

Résumé Cet article présente une description et une méthodologie de construction d'un modèle cinématique pour la formation de robots mobiles à deux roues transportant une poutre en utilisant la notation Denavit–Hartenberg. Les tâches de cinématique simple et inverse de cette formation ont été résolues. Les solutions des tâches cinématiques sont présentées en coordonnées de jonction et en coordonnées globales. Les résultats obtenus ont été simulés à l'aide du package Matlab-Simulink avec une animation de la solution à l'aide d'un émulateur programmé de travail de robot.

Mots clés formation de robots, cinématique, notation Denavit–Hartenberg, matrice de transformation

1. Introduction

Actuellement, les véhicules autonomes sont de plus en plus utilisés pour transporter des objets dans les halls de production, les entrepôts ou les parcs de stockage. Bon nombre des marchandises à grande échelle à transporter posent problème car un seul robot n'est pas en mesure de les transporter, et la construction de machines de transport spécialisées peut ne pas être rentable. L'idée de transporter des objets à l'aide de formations composées de plusieurs robots, qui après avoir accompli une tâche donnée, peuvent être utilisés dans une configuration différente pour effectuer les tâches suivantes, vient du monde de la nature. Cette approche est économiquement justifiée car un type de robot donné peut être utilisé à diverses fins.

Le sujet du transport d'objets par des formations robotiques a été couvert à plusieurs reprises dans des travaux scientifiques tels que des travaux sur, par exemple, le problème de pousser une boîte [1], poussant un poids considérable ayant son propre support sous la forme de roues [2], transport d'un objet situé au-dessus des robots [3], déplacement d'un objet par des robots situés à côté d'eux [4], ou transport de faisceau par deux robots [5]. Lors de la construction d'un système de contrôle, il est nécessaire de connaître le modèle mathématique de la cinématique du système de transport examiné, qui sera utilisé pour construire un modèle mathématique décrivant la dynamique de ce système ou pour construire un système de contrôle basé uniquement sur la cinématique.

La cinématique peut être décrite par les méthodes dites classiques basées sur la construction d'un plan des vitesses de

points de formation caractéristiques [6] ou en utilisant la notation dite Denavit–Hartenberg (DH) [7], très souvent utilisée pour décrire la cinématique des systèmes multimembres et largement utilisée en robotique.

Cet article présente le problème du transport de faisceaux par deux robots mobiles à roues AmigoBot (WMR) basé sur la notation DH. On suppose que les robots transportent le faisceau le long du plan XY horizontal, comme illustré à la Figure 1.

La tâche des robots est de transporter une poutre d'une longueur de l . Les robots sont reliés à la poutre aux points H1 et H2 au moyen de liaisons boulonnées, constituant des paires cinématiques de cinquième degré. On distingue dans la formation des points caractéristiques : M, point caractéristique de la formation étant le centre du faisceau transporté ; E, centre de rotation temporaire de la formation ; A1 et A2, points situés sur l'axe des roues des robots individuels au centre entre les roues ; B1, C1 et C2, points restant les centres du robot individuel B2, roues ; et K1, P1, K2 et P2, points de contact des roues individuelles du robot avec le sol. On distingue également des valeurs caractéristiques : x_M , y_M , coordonnées du point caractéristique de la formation dans le système de base (stationnaire) ; φ , angle de rotation du faisceau transporté par rapport au système de base ; j_e

distance entre les points et A ou B et C ; r , point d'attache éloignement de la du faisceau avec le robot à partir du point A ; r , rayon de la roue motrice du robot ; β_{1f} , β_{2f} , angles de rotation des robots individuels par rapport au faisceau transporté (système de formation) ; α_{11} , α_{21} , α_{12} , α_{22} , angles de rotation des roues entraînant les robots.

*Auteur correspondant : Andrzej Burghardt, Wincenty Skwarek

* Courriel : andrzejb@prz.edu.pl, wincentyskwarek@op.pl

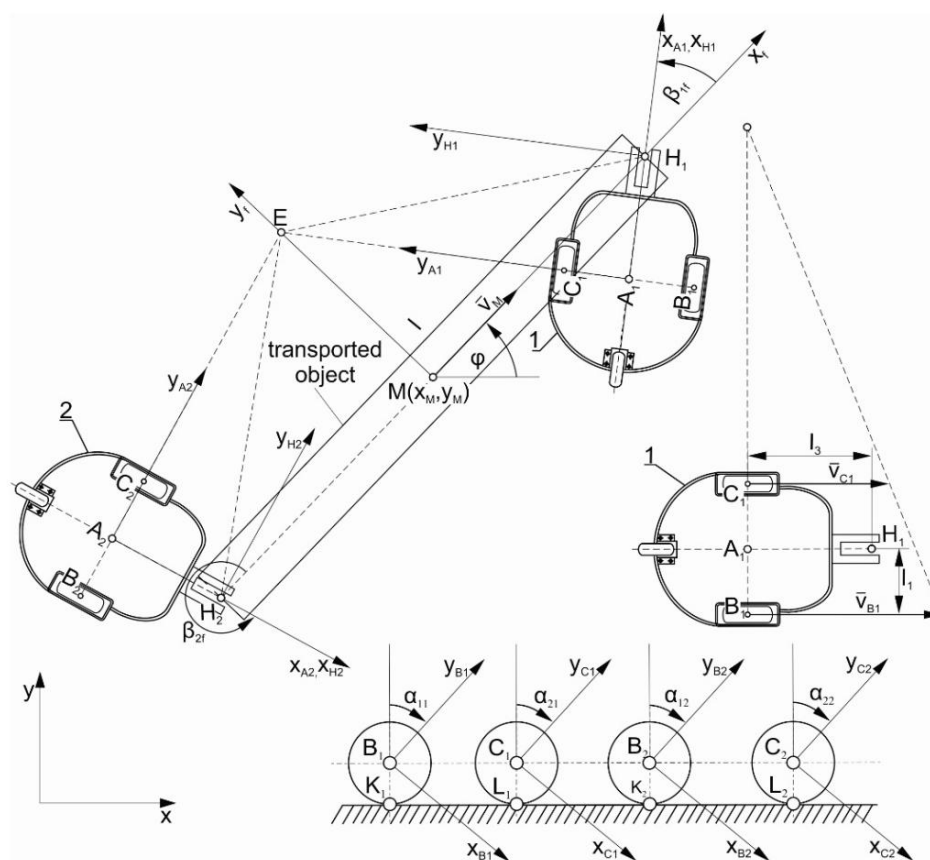


Figure 1. Formation de robots mobiles à deux roues transportant une poutre.

Dans le cas de ces angles, les symboles suivants ont été adoptés : le premier chiffre indique le numéro de la roue et le deuxième chiffre indique le numéro du robot.

Les WMR AmigoBot utilisés disposent, en plus de deux roues motrices, d'une roue d'appui auto-ajustable, mais celle-ci a été omise dans la création du modèle en supposant qu'elle a un effet négligeable sur la cinématique de l'ensemble du système.

2. Formulation des tâches cinématiques

En analysant la cinématique de formation, deux tâches sont résolues. La première tâche est une tâche cinématique simple, dont le but est dans ce cas de déterminer les paramètres cinématiques du faisceau transporté sous forme de vitesse et de position du point M, ainsi que la vitesse angulaire et l'angle de rotation du faisceau faisceau, en supposant que les paramètres cinématiques des entraînements sont connus. La deuxième tâche est la tâche de cinématique inverse consistant à déterminer les paramètres cinématiques des entraînements en supposant que la vitesse linéaire du point caractéristique de la formation est connue, en l'occurrence la vitesse du point M et la vitesse angulaire du faisceau transporté .

La solution de la tâche de cinématique inverse est utilisée pour construire le système de contrôle, elle est donc généralement plus importante que la solution de la tâche de cinématique simple, qui peut être utilisée pour construire, comme dans le cas des auteurs, un émulateur de formation de robot travail.

3. Performance des équations de mouvement basées sur la notation DH

Lorsque l'on commence à générer des équations de mouvement, la première étape consiste à associer des repères locaux à chaque point caractéristique de la formation WMR transportant le faisceau et à un repère fixe appelé repère de base (Figure 1).

Après avoir défini les systèmes, des matrices de transformation entre ces systèmes ont été introduites.

$$\begin{array}{ccccccc} & & () - () & 0() & () & 0 & 0 \\ {}_0- & & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \end{array} \quad (1)$$

$$\begin{array}{cccc} & & 1 & - & 1 & 0 & 2 \\ -1 & & 1 & & 1 & & \end{array}$$

$$2 - 2 - 2$$

Après examen des conditions antérieures, les éléments suivants ont finalement été reçus :

(21)

$$\begin{aligned} 0 &= \dots \\ 0 &= \dots \\ 0 &= \dots \end{aligned}$$

(22)

$$\begin{aligned} 0 &= \dots \\ 0 &= \dots \\ 0 &= \dots \end{aligned}$$

(23)

$$\begin{aligned} 0 &= \dots \\ 0 &= \dots \\ 0 &= \dots \end{aligned}$$

(24)

$$\begin{aligned} 0 &= \dots \\ 0 &= \dots \\ 0 &= \dots \end{aligned}$$

Les équations obtenues (21)–(24) sont des équations cinématiques de mouvement de deux formations WMR transportant un faisceau, qui peut être résolu en fonction des données d'entrée en résolvant un problème de cinématique inverse.

4. Solution des tâches cinématiques

Toute la procédure de calcul présentée dans la section 3 a été réalisée à l'aide du programme Maple™, qui est un outil très pratique pour les calculs symboliques et matriciels-vectoriels. Maple a également été utilisé pour déterminer les tâches cinématiques.

tâche cinématique simple

Comme mentionné dans la section 2, la résolution de la tâche cinématique simple dans le cas analysé revient à déterminer les paramètres cinématiques du faisceau transporté, en supposant que les paramètres cinématiques des entraînements sont connus dans les vitesses angulaires des moteurs individuels des robots transportant le faisceau. En résolvant les systèmes d'équations (21)–(24), les équations suivantes ont été obtenues :

(25)

$$\dots$$

(26)

$$\dots$$

(27)

$$\dots$$

(28)

$$\dots$$

(29)

$$\dots$$

(30)

$$\dots$$

(31)

$$\dots$$

(32)

$$\dots$$

(33)

$$\dots$$

(34)

$$\dots$$

(35)

$$\dots$$

(36)

$$\dots$$

(37)

$$\dots$$

(38)

$$\dots$$

(39)

$$\dots$$

(40)

$$\dots$$

(41)

$$\dots$$

(42)

$$\dots$$

(43)

$$\dots$$

(44)

$$\dots$$

(45)

$$\dots$$

(46)

$$\dots$$

(47)

$$\dots$$

(48)

$$\dots$$

11 21 (35)

(35)

(36)

(37)

(38)

Les équations (34) à (36) fournissent une solution au problème de cinématique simple enrichie par les équations (37) et (38) qui ont été utilisées pour construire l'émulateur des travaux de formation.

4.2. Solution de la tâche inverse de la cinématique

Lors de la résolution de la tâche de cinématique inverse, on suppose que les paramètres cinématiques du solide transporté sont connus sous la forme de la vitesse possible de la tâche de la formation et la vitesse angulaire de la matière transportée. Les paramètres cinématiques des entraînements sont recherchés, c'est-à-dire les vitesses angulaires des roues entraînant les robots. Par les équations (49) et (50) et elles peuvent être utilisées pour d'autres effectuer la procédure de résolution des équations (21) à (24) avec analyse de la formation. en ce qui concerne les variables, les équations suivantes ont été obtenues :

(40)

(41)

(42)

Modélisation de la cinématique de deux robots avec la notation Denavit-Hartenberg

De plus, les vitesses angulaires des châssis du robot étaient déterminées.

(43)

(44)

(45)

(46)

(47)

(48)

(49)

(50)

Les équations (45)–(48) sont une solution au problème de cinématique inverse présenté en coordonnées globales, complété par

5. Simulateurs

Des simulations des solutions obtenues ont été réalisées dans l'environnement Matlab/Simulink. Un émulateur de robot a été conçu pour visualiser le comportement des robots, générant une vue des robots avec l'objet transporté à une certaine fréquence.

La tâche de transport consiste à transporter un faisceau d'une longueur de $l = 1$ [m] sur la figure 2 avec un point caractéristique se déplaçant le long de la piste illustrée sur la figure 3, et la vitesse linéaire de ce point sera toujours tangente au faisceau transporté. Les conditions initiales ont été supposées : le point M de la poutre est à le début du système de référence global, et l'angle entre le faisceau et l'axe x est de 0 [rad]. Pour assurer le mouvement du faisceau selon les critères supposés, la vitesse linéaire du point M représentée sur la figure 4 et la vitesse angulaire du faisceau transporté sur la figure 5 ont été générées, ces deux vitesses doivent être au moins de classe C2 [8].

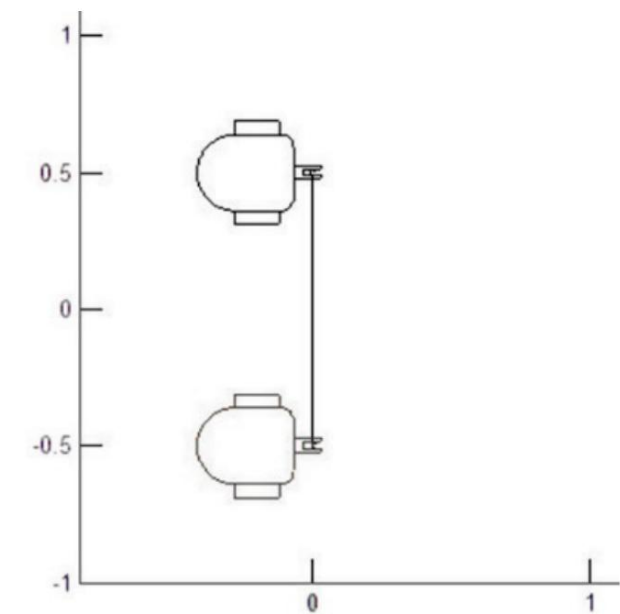


Figure 2. Définition de la tâche de transport.

Avec les paramètres ainsi sélectionnés, on peut distinguer les phases de mouvement suivantes, dont plusieurs se répètent : accélération, conduite en ligne droite à vitesse définie, entrée dans un virage, virage et freinage.

La tâche du modèle construit dans Simulink était de résoudre la tâche de cinématique inverse qui aboutissait à déterminer la vitesse angulaire des roues entraînant les robots. Après avoir effectué la simulation, les résultats pour le premier robot illustré à la figure 6 et le deuxième robot illustré à la figure 7 ont été obtenus. L'image obtenue à l'aide de l'émulateur de travail de robot est illustrée à la figure 8. Après avoir analysé l'animation du mouvement du robot obtenue à l'aide de l'émulateur de travail et l'image reçue de l'enregistrement d'animation, il n'a pas été constaté que les robots pouvaient se déplacer de manière incorrecte. Aucune dérive des robots ou orientation incorrecte des châssis des robots pendant le mouvement n'a été observée, ce qui prouve la justesse des solutions obtenues.

6. Conclusion

La méthode présentée dans cet article de la cinématique d'une formation WMR utilisant la notation DH est universelle et pratique à mettre en œuvre. Un avantage supplémentaire est la possibilité d'utiliser un logiciel pour les calculs symboliques et matriciels-vectoriels, ce qui accélère considérablement le processus de génération d'équations cinématiques par rapport à d'autres méthodes. Dans ce travail, une formation composée de deux robots a été modélisée, mais il est très facile d'étendre le problème pour les n-robots transportant un objet volumineux. Les résultats obtenus sont cohérents avec les résultats obtenus sur la base d'autres méthodes [9]. D'autres cor

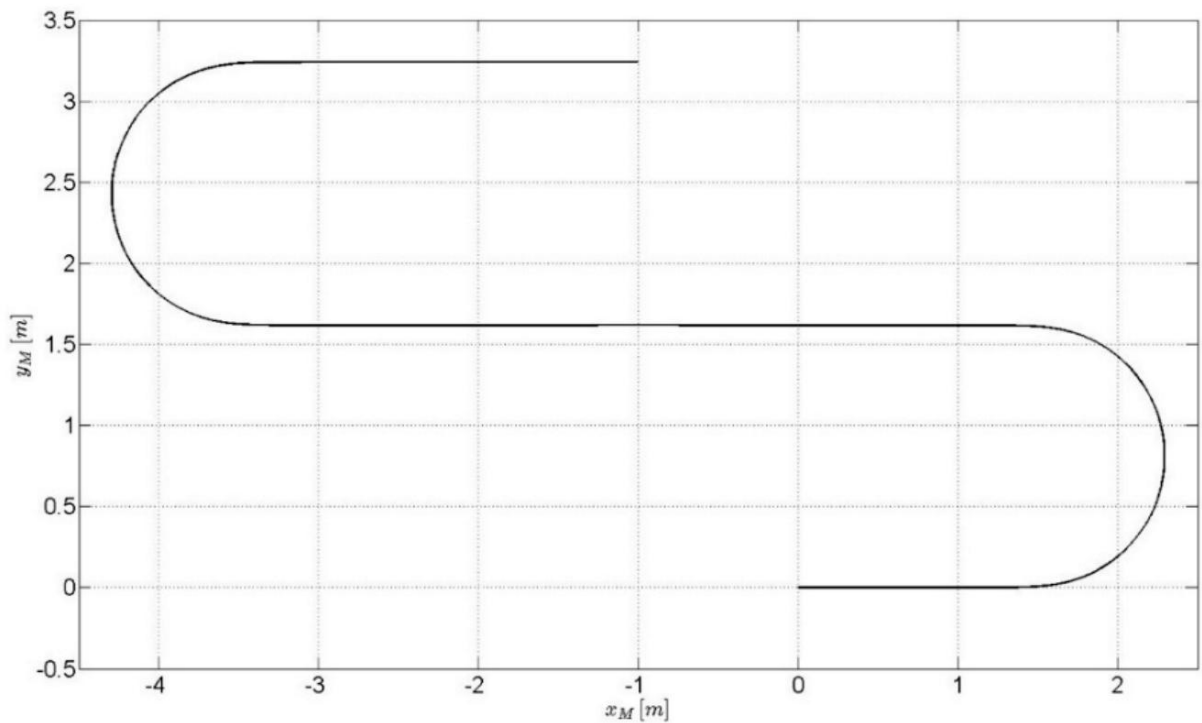


Figure 3. Trajectoire du point M

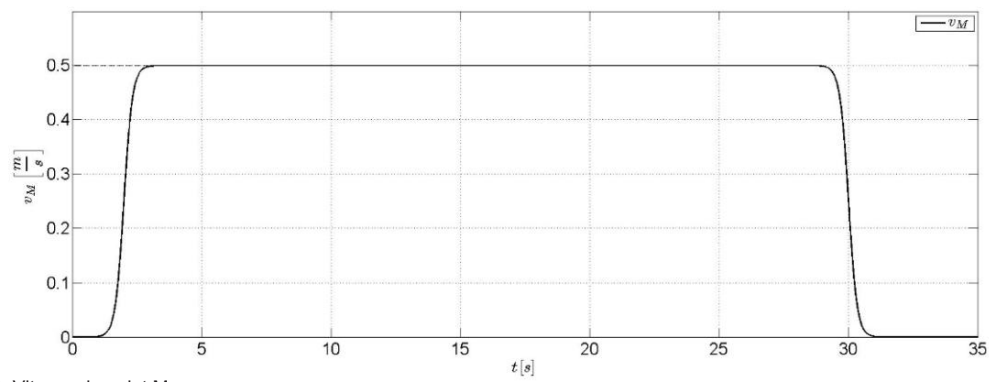


Figure 4. Vitesse du point M.

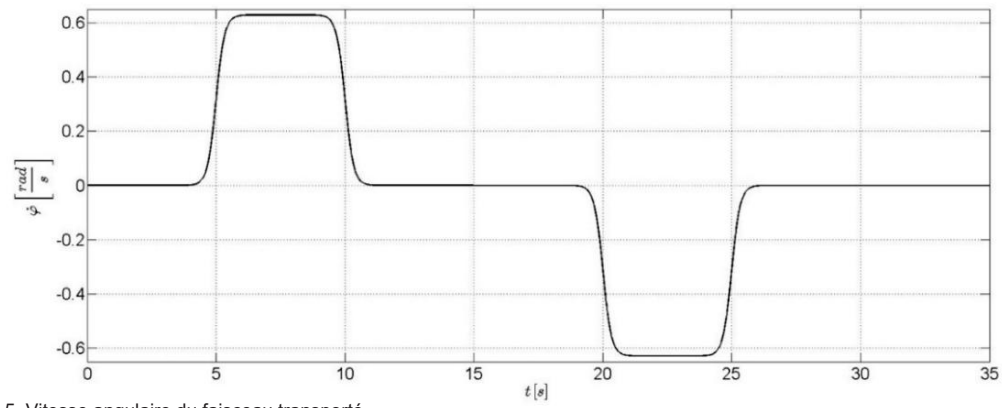


Figure 5. Vitesse angulaire du faisceau transporté.

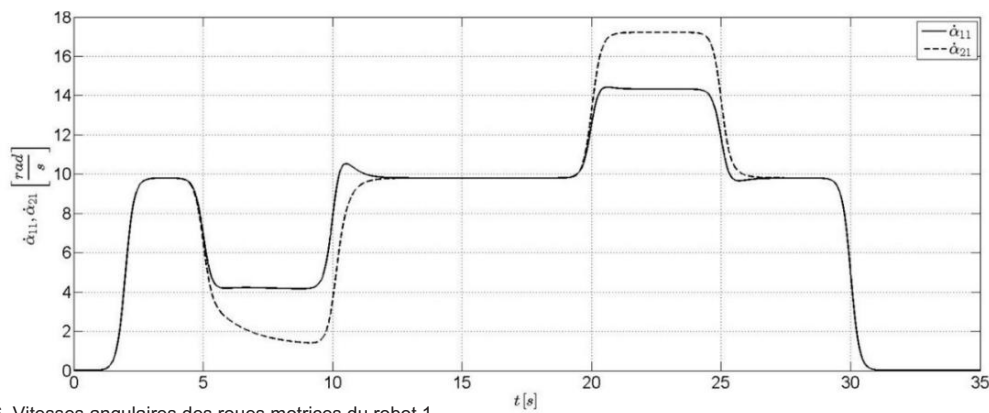


Figure 6. Vitesses angulaires des roues motrices du robot 1.

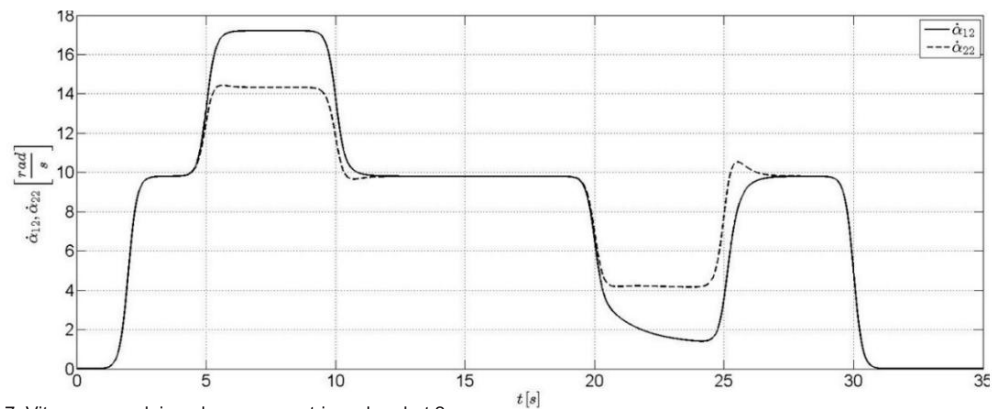


Figure 7. Vitesses angulaires des roues motrices du robot 2.

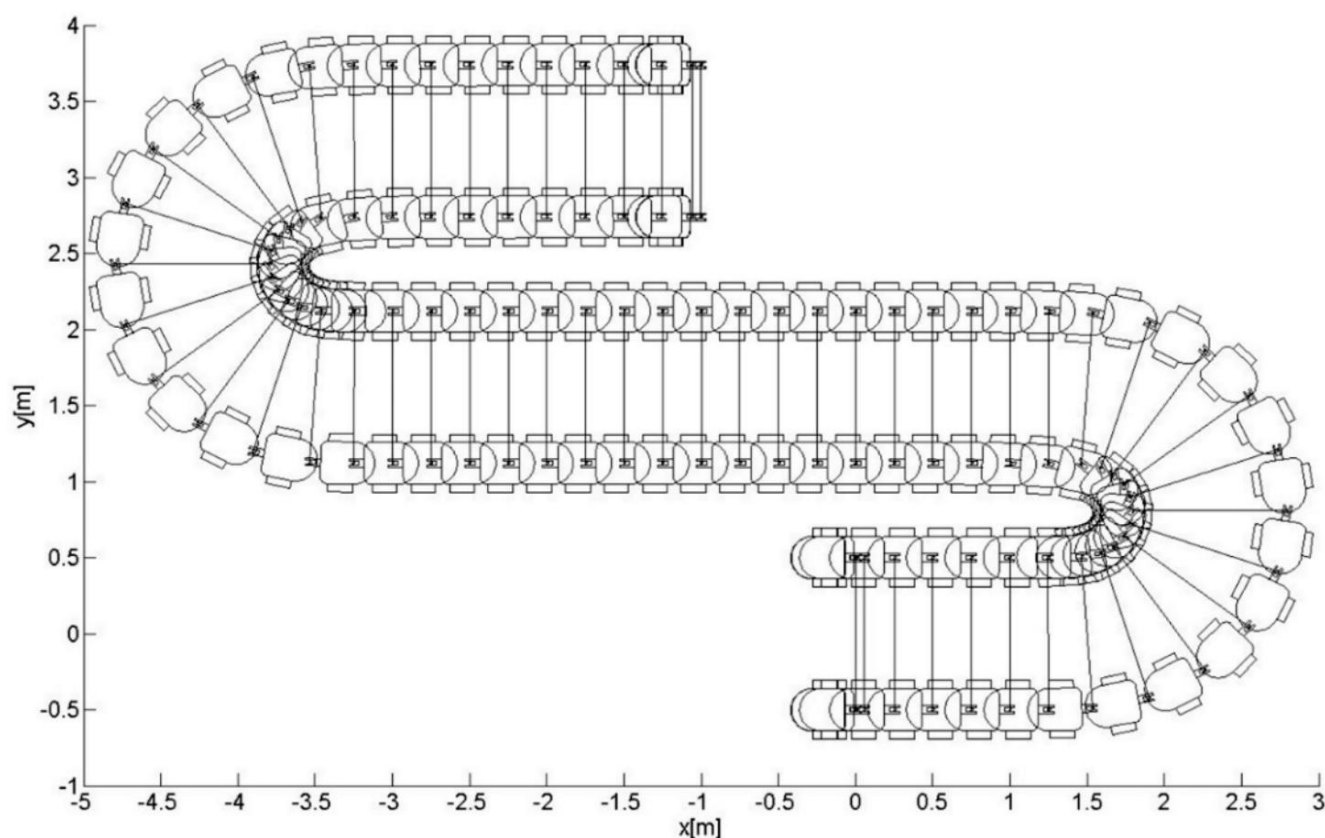


Figure 7. Vitesses angulaires des roues motrices du robot 2.

dirigé vers un besoin de plus de recherche concernant l'interaction des robots avec l'objet transporté et l'environnement. En résumé, le modèle cinématique obtenu et la méthodologie de son obtention peuvent être utilisés dans la recherche de formations plus complexes, ainsi que pour construire un modèle dynamique.

Les références

- [1] C. ZIELINSKI, P. TROJANEK : Coopération stigmergique des robots autonomes. J Méc. Mach. Théorie, 44(2009), 656-670.
- [2] N. MIYATA, et al. : Transport coopératif par plusieurs robots mobiles dans des environnements statiques inconnus associés au temps réel attribution de tâche. IEEE Trans Rob Autom., 18(2002), 769-780.
- [3] K. KOSUGE, et al. : Transport d'un seul objet par deux de robots mobiles non holonomes à commande centralisée. Proc. Entrée IEEE ter. Conf. Robotique et automatisation, Louvain 1998, 4, 2989-2994.
- [4] Z.-D. WANG, E. NAKANO, T. MATSUKAWA : Multi comportement tiple - robots basés sur la manipulation d'objets. Proc. 1994 IEEE/RSJ Inter Conf Robots et systèmes intelligents, Munich 1994, 1524-1531.
- [5] O. KHATIB, et al. : Coordination véhicule/bras et coopération décentralisée multimanipulateur mobile. Proc. 1996 IEEE/RSJ Inter. Conf. Robots et systèmes intelligents, Osaka 1996, 546-553.
- [6] A. BURGHARDT, J. GIERGIEL : Cinématique d'une formation robotique dans les transports de grandes dimensions. Polonais J. Environ. Stud., 20(2011), 41-45.
- [7] J. GIERGIEL, T. BURATOWSKI : Modélisation cinématique de la Robot AmigoBot. Méca. Méca. Eng., 14(2010), 57-64.
- [8] A. BURGHARDT : Modelowanie i sterowanie formacją robotów. Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej, Rzeszów 2013.
- [9] A. BURGHARDT, W. SKWAREK : Cinématique du groupe robot. Modèle. Eng., 69(2019), 12-16.