



МОДЕЛИРАНЕ ГЕОМЕТРИЯТА НА РОБОТ ЗА ИНСПЕКЦИЯ НА ТРЪБИ

Таньо Танев, Иван Чавдаров, Веселин Павлов

Резюме: Представена е оригинална конструкция на мобилен робот за вътрешна инспекция на тръби с четири-точков контакт към тръбата. Изведени са основни геометрични зависимости за робота. Представени са резултати от моделирането на геометрията на робота.

Ключови думи: Робот за инспекция на тръби, мобилен робот, моделиране

1. Въведение

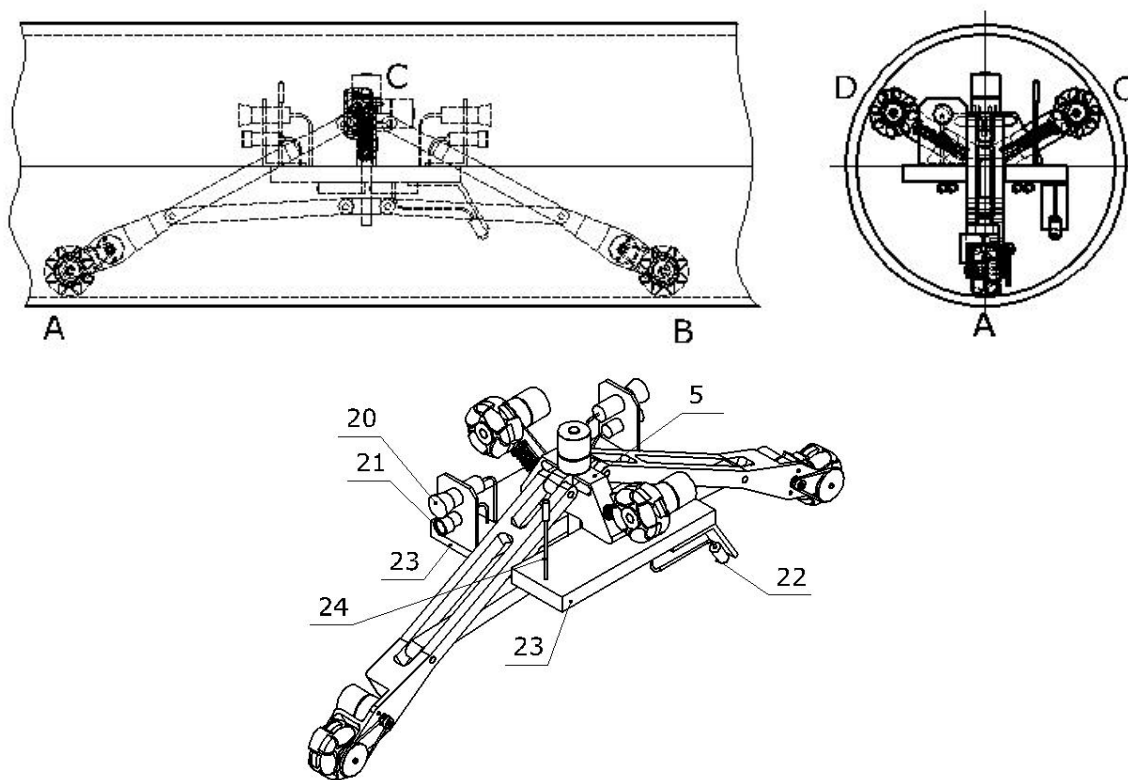
Роботите за инспекция и движение по тръби са специализирани работи, като голяма част от тях са проектирани за конкретно, специфично предназначение. Тръбопроводите са основно средство за транспортиране на течност и газ и се използват от дълго време в много страни. Роботите могат да се използват за много функционални задачи, една от които е инспекция за вътрешното състояние на тръбопроводи. От състоянието на вътрешната повърхнина в значителна степен зависи качеството на изпълнение на транспортната задача. Освен това състоянието на вътрешната повърхнина има изключително значение за живота и дълготрайността на тръбопровода. Освен за инспекция на състоянието на тръбите, те могат да се използват и за инспекция на средата, например при опасни за здравето на човека среди, наличие на радиация по тръбопроводите на атомни електроцентрали и др. При аварии и разрушения тръбите могат да се окажат един добър достъп за инспектиране на средата и за разузнаване. Съществува широк спектър от средства, чрез които се провежда инспекция, като напоследък приложението на работи става все по-широко [1, 2, 3, 4, 5, 6 и 7].

2. Конструкция на робота

Конструкцията на робота е базирана на пирамидална структура, при която е реализиран четири-точков контакт на робота в тръбата. Пирамидалната структура е изключително устойчива по отношение на външни силови въздействия, поради което опорната конструкция на робота е базирана на нея. Предлага се робота да осъществява постоянен контакт с тръбата в четири точки (мини площи), така, че тези точки да са разположени във върховете на триъгълна пирамида.

Механизмите разположени в тази пирамидална структура имат за цел да предвижват и ориентират робота в тръбата, както и да адаптират размерите му към различни промени. Те са развити в две взаимно перпендикулярни равнини. Функционално механизмите на робота са разделени в две групи: механизми за

осево придвижване в тръбата и механизми за завъртане около оста на тръбата и радиално адаптиране с помощта на еластични елементи (Фиг.1).

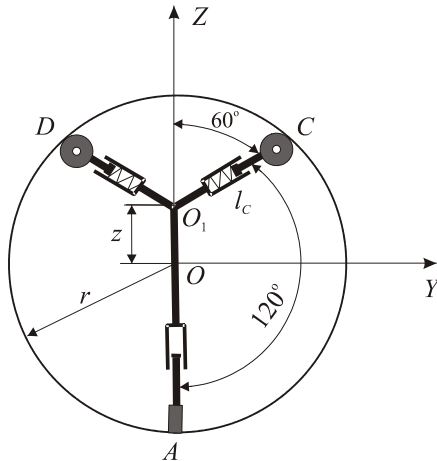


Фиг. 1 Обща схема на робота

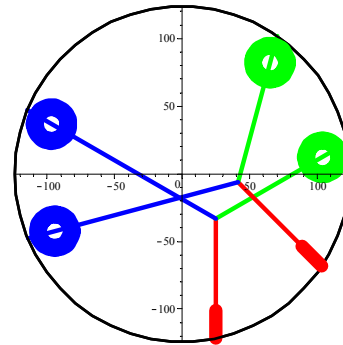
Двата механизма са със симетрична конструкция. Подробно описание на конструкцията на робота е представено в [5],[8]. Тялото на робота променя целево своята геометрия според диаметъра на инспектираните тръби, радиуса на завоите, наличие на неравности, както и за оптимизиране на натиска върху колелата.

3. Моделиране геометрията на робота

Представеният робот има възможност да адаптира геометрията си с цел да оперира в тръби с различни диаметри (в определен интервал от размери). Чрез промяна на геометрията може да се променят силите на притискане на колелата на робота към тръбата и така да се променя силата на триене. По този начин е възможно постигане на оптимална двигателна сила, която се променя в зависимост от терена и наклона на тръбата. Чрез двигател (Фиг.1) се променя височината на платформата на робота и съответно дължината на звената С и D (Фиг.1). За целта на моделирането, оста X на неподвижната координатна система е разположена по оста на тръбата, равнината YZ е сечение на тръбата, центърът на координатната система е в центъра на окръжността на сечението. Подвижната координатна система е свързана с робота- оста X_1 съвпада с X , Z_1 е паралелна на звеното O_1A (Фиг.2).



Фиг. 2 Принципна схема на разположение звената



Фиг. 3 Две позиции на робота при една и съща конфигурация

Предполага се, че завъртане около ос O_1Z не е налице при права тръба. Първо е разгледана ситуацията при симетрична промяна на дължините на звената O_1C и O_1D , в които са разположени еластичните елементи. В този случай при промяна на височината на платформата (дължината O_1A) дължините на звената O_1C и O_1D се променят еднакво, т.е. звеното O_1A остава винаги в „централно” (диаметрално) положение. Конфигурацията на робота е напълно детерминирана при зададена дължина на едно от трите звена. Геометричната зависимост е получена чрез намиране на пресечната точка на права с окръжност. Правата и окръжността са зададени съответно чрез уравненията:

$$(y_c - y_1) \tan\left(\frac{\pi}{6}\right) - (z_c - z_1) = 0, \quad (1)$$

$$y_c^2 + z_c^2 - r^2 = 0, \quad (2)$$

където (y_c, z_c) са координати на т. C, (y_1, z_1) - координати на т. O_1 , r – радиус на тръбата.

Чрез взаимното решаване на ур. (1) и ур. (2) се получава:

$$y_c = \frac{1}{4} \left(-z\sqrt{3} \pm \sqrt{12r^2 - 9z^2} \right), \quad (3)$$

$$z_c = \frac{1}{4} \left(3z \pm \sqrt{4r^2 - 3z^2} \right). \quad (4)$$

Следователно, дължината на звеното O_1C може да се представи като:

$$l_c = \sqrt{(y_c - y_1)^2 + (z_c - z_1)^2}. \quad (5)$$

Тъй като се предполага, че дължините на звената O_1C и O_1D се променят еднакво, следователно $l_c = l_D$.

До тук описаният случай предполага идеална тръба, а също така и напълно еднакви коравини на еластичните елементи. На практика са възможни отклонения в пружинните константи, неравности по тръбата, а също така



влияние на масите на групата „мотор-колело” при завъртане по оста на тръбата, които могат да доведат до различни дължини на звената O_1C и O_1D , при което се получава изместване на робота от диаметрално състояние. Това може да доведе до различни контактни петна на задвижващите колела с тръбата. Затова е от значение да се определи изместването на робота от „централно” (диаметрално) разположение. В този случай се предполага, че дължините на звената O_1C и O_1D се променят с различен интензитет при промяна на дължината на звеното O_1A , т.е. и трите звена са с различни дължини. При този случай конфигурацията е напълно определена при известни дължини на две от трите звена. При определена конфигурация на робота (фиксиращи дължини на O_1A , O_1C и O_1D) са възможни неограничен брой положения на робота в равнина паралелна на OYZ (Фиг.2), т.е. една и съща конфигурация, завъртяна около оста на тръбата (OX) на различни ъгли (Фиг.3). За да се намерят геометричните зависимости се предполага, че роботът запазва „вертикална” ориентация (оста O_1A паралелна на OZ), т.е. това е една от множеството ориентации на робота при една и съща конфигурация. Ограничителните уравнения са следните:

$$y_a - y_c = 0, \quad z_z = z_o - O_1A, \quad (6)$$

$$(y_c - y_o) \tan\left(\frac{\pi}{6}\right) - (z_c - z_o) = 0, \quad (7)$$

$$(y_c - y_a)^2 + (z_c - z_a)^2 - O_1C^2 - O_1A^2 + 2(O_1C)(O_1A) \cos\left(\frac{2\pi}{3}\right) = 0 \quad (8)$$

$$(y_c - y_o)^2 + (z_c - z_o)^2 + O_1C^2 = 0, \quad (9)$$

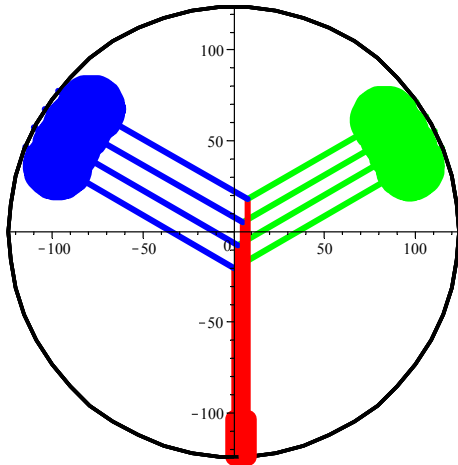
$$y_c^2 + z_c^2 - r^2 = 0, \quad y_a^2 + z_a^2 - r^2 = 0, \quad (10)$$

където (y_a, z_a) , (y_c, z_c) , (y_o, z_o) са координати съответно на точки A, C и O_1 ; O_1A и O_1C са дължини на едноименните звена.

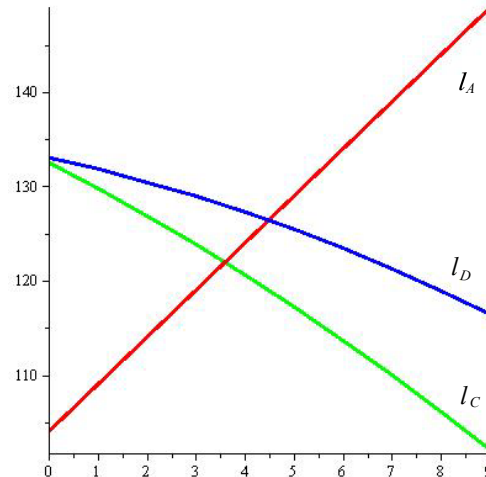
Чрез съвместно решаване на уравнения (6)-(10) се получават координатите на точки A, C и O_1 . За последващото определяне на координатите на точка D могат да се използват уравнения подобни на ур. (1) и (2). По такъв начин, чрез известни дължини на трите звена O_1A , O_1C и O_1D е определена конфигурацията на робота. Поради ограниченията за максимален обем на статията, решенията не са дадени, като са представени резултати от симулацията на геометрията.

Резултати: Направена е симулация на геометричния модел на робота за инспекция на тръби с вътрешен радиус на тръбата $r = 124 \text{ mm}$. Двете позиции на робота (Фиг.3) са получени за една и съща конфигурация при следните дължини: $O_1A = 88 \text{ mm}$, $O_1C = 112 \text{ mm}$ и $O_1D = 161.23 \text{ mm}$ и завъртане на конфигурацията около оста OX на ъгъл $(\pi/4)$. На Фиг.4 са показани последователни положения на робота при изменение на дължината на звеното O_1A и различен интензитет на изменение на дължините на останалите две

звена, а на Фиг.5 графиката на изменение на дължините на трите звена. От двете фигури се вижда, че от централно положение (звено O_1A е в диаметрална позиция) при различен интензитет на изменение на дължините на звена O_1C и O_1D , роботът се измества от централното си положение при промяна на O_1A .



Фиг. 4 Последователни положения на робота



Фиг. 5 Графиката на изменение на дължините на звената O_1C , O_1D и O_1A

4. Изводи

- Изведени са основни геометрични характеристики на робот за инспекции на тръби, конструиран и разработен от авторите на статията. Тези геометрични зависимости позволяват да се определят позицията и ориентацията на робота при промяна на управляеми параметри на робота.
- Представени са резултати от моделирането и симулирането на геометрията на робота. Резултатите са илюстрирани графично, което е в помощ при изследване на цялостното поведение на робота.
- Получените резултати от моделирането се използват при конструирането и оптимизиране на конструкцията, а също така могат да се използват при разработване на подобни работи и при тяхното управление.

Литература:

1. Peng Li, Shugen Ma, Bin Li, Yuechao Wang and Changlong Ye, An In-pipe Inspection Robot based on Adaptive Mobile Mechanism: Mechanical Design and Basic Experiments, Proceedings of the 2007 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems San Diego, CA, USA, Oct 29 - Nov 2, 2007.
2. Okamoto J., Adamowski J.C., Tsuzuki, M.S.G., Buiocchi, F., Camerini, C.S., Autonomous system for oil pipelines inspection, Mechatronics, vol.9, issue 7, 1999, pp. 731-743



3. Zhang, Y., Yan, G., In-pipe inspection robot with active pipe-diameter adaptability and automatic tractive force adjusting, Mechanism and Machine Theory, 42 (2007), pp. 1618–1631.

4. Liu, K. P., Luk, B. L., and Chan, Y. T., Service Robot for Inspecting Exterior Gas Pipes of High Rise Buildings," Proceedings of the World Congress on Engineering 2009, IAENG, July 1 - 3, 2009, London, U.K., Vol II, pp.1550-1554.

5. Чавдаров, И., Т. Танев, В. Павлов, Робот за инспекция на тръби, Дни на Механиката, Варна, 8-10 септември 2010 г., сп. „Механика на машините”, ISSN 0861-9727 (под печат).

6. Герасимова С., И. Чавдаров, Т. Танев, В. Павлов, Роботи за работа в неконвенционална неструктурирана среда, Национална конференция с международно участие “Механизми, Машинна Механика, Машиностроителни и Енергийни Технологии’ 2010”, м.Бакаджика, 25-27 юни, 2010, сп. „Механика на машините”, ISSN 0861-9727, (под печат).

7. Герасимова С., Т. Танев, В. Павлов, Ив. Чавдаров, „Мобилни работи за работа в неконвенционална неструктурирана среда- обзор”, Международна научна конференция “Роботика и Мехатроника `2010”, 6-9 октомври 2010г. гр. Варна, изд. Научни известия на НТСМ, ISSN 1310-3946, Year XVIII, Vol.6/20 (под печат).

8. Чавдаров Ив., С. Герасимова, Т. Танев, В. Павлов, ”Изисквания и характерни особености на роботите за инспекция на тръби”, Международна научна конференция „Роботика и Мехатроника `2010”, 6-9 октомври 2010г. гр. Варна, изд. Научни известия на НТСМ, ISSN 1310-3946 Year XVIII, Vol.6/20, (под печат).

MODELLING OF THE GEOMETRY OF A PIPE INSPECTION ROBOT

Tanio Tanev, Ivan Chavdarov, Veselin Pavlov

***Abstract:** The paper presents an original design of mobile robot with four-point contact with the pipe using omni-wheel. The basic geometric relationship is obtained. Results of the modelling and simulation of the robot geometry are presented.*

Данни за авторите:

Таньо Колев Танев, доцент доктор инж., Институт по системно инженерство и роботика – БАН, Акад. Г. Бончев, Бл.1, София, тел. (02)8723571, e-mail: tanio@bas.bg

Иван Николов Чавдаров, доцент доктор инж., Институт по системно инженерство и роботика – БАН, Акад. Г. Бончев, Бл.1, София, тел. (02)9792422, e-mail: ivan_chavdarov@dir.bg

Веселин Илиев Павлов, професор доктор инж., катедра „АЕЗ” при ФА, Технически Университет – София, Р. България, София, бул. “Кл. Охридски” № 8, тел.: 965 36 79, e-mail: vpavlov@tu-sofia.bg