

SYNTHESIS OF MOBILE WALKING ROBOTS¹

Eng. Pavel Sinilkov, PhD

Tel. +359 895 484952

E-mail: sinilkov@mail.com

Abstract: A synthesis of a long kinematic chain with the ability to transform the chain from one species to another is shown. The method used is to divide the kinematic chain into functional units and to synthesize a space-periodic curve based on the spatial curve of the road. At the end, three results of solutions for this method of mobile walking robots, smooth road, hanging and flying are shown.

Keywords: method, walking robots, locomotion, synthesis

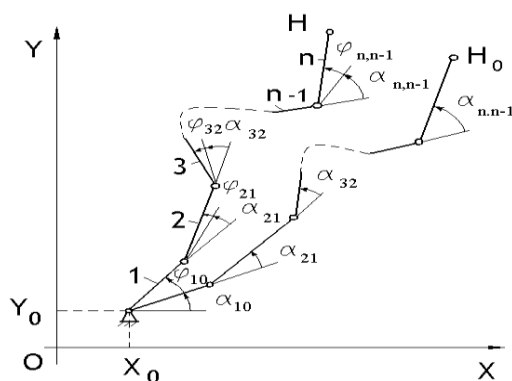
ВЪВЕДЕНИЕ

При локомоция човек стъпва ту на единия си крак, ту на другия. Този вид начин на движение е възприет за по-равномерен, въпреки че съществуват множество начини за локомоция с човешката кинематична структура.

В литературата е описана много добре човешката локомоция, както и синхронното активиране на мускулните групи за реализацията и. Съществуват моменти в които човек е стъпил само на единия си крак и извършва движение. В този момент човешкото тяло се подчинява на законите на механиката за движение на тяло с една неподвижна точка, която на практика е една отворена кинематична верига. Съществуват обаче, и моменти в които движението на човешкото тяло е в положение на две опори, тоест относително движение на една затворена кинематична верига.

Съществуват няколко начина за синтез на механизми за движение с една неподвижна точка

А. Предложения метод от проф. Гълабов [1] за структури и функции на направляващи механизми с постоянни и променливи предавателни отношения е един силен метод за синтез на механизми в областа на локомоцията. Както той самия отбелязва, че голямото сходство между краката на крачещите роботи и техните движения и движенията на промишлените роботи и техните структури, дава основание за еднозначност в разглежданите задачи по отношение на структура и кинематика.



Фиг. 1. Условно отворена кинематична верига

¹ Докладът е представен в секция Механика и машиностроителни технологии на 25 октомври 2019 с оригинално заглавие: СИНТЕЗ НА МОБИЛНИ КРАЧЕЩИ РОБОТИ

Координатите на характеристичната точка Н на работния орган на манипулатора (крака), т.е. позиционната – нулева предавателна функция, се определя от :

$$x_H = x_0 + \sum_{i=1}^n \left[l_i \cos \left(\sum_{k=1}^i \psi_{k,k-1} \right) \right]$$

$$y_H = y_0 + \sum_{i=1}^n \left[l_i \sin \left(\sum_{k=1}^i \psi_{k,k-1} \right) \right]$$

След преобразуване се получава:

За тризвенни отворени кинематични вериги ($n=2$) при $x_H = y_H = 0$ и $\alpha_{1,0} = \alpha_{2,1} = 0$ горните изрази се свеждат до:

$$\frac{d^{(m)}x_H}{d\phi_{1,0}^m} = l_1 \cos \left(\phi_{1,0} + m \frac{\pi}{2} \right) + l_2 (1 - \phi_{2,0}^{(1)})^m \cos \left[\phi_{1,0} (1 - \phi_{2,0}^{(1)}) + m \frac{\pi}{2} \right]$$

$$\frac{d^{(m)}y_H}{d\phi_{1,0}^m} = l_1 \sin \left(\phi_{1,0} + m \frac{\pi}{2} \right) + l_2 (1 - \phi_{2,0}^{(1)})^m \sin \left[\phi_{1,0} (1 - \phi_{2,0}^{(1)}) + m \frac{\pi}{2} \right] \quad (1.1)$$

В. Нека e_1, e_2, e_3 е ортонормиран базис в E_3 , определящ декартовата система $Ox_1x_2x_3$.

Компонентите на тензора J в този базис, съгласно , са:

$$J_{11} = e_1 \cdot J \cdot e_1 = \int_V (x_2^2 + x_3^2) dm = \int_V h^2 dm$$

$$J_{22} = \int_V (x_3^2 + x_1^2) dm \quad (1.2)$$

$$J_{33} = \int_V (x_1^2 + x_2^2) dm$$

$$J_{ij} = \int_V x_i \cdot x_j dm, \quad i \neq j$$

С този подход освен Кинетичния момент, лесно се определя и Кинетичната енергия $T = \frac{1}{2} \int_V v^2 dm = \frac{1}{2} \omega \cdot J \cdot \omega$.

Въвеждането на тензора на инерцията и на главните му оси са първият и централен момент в извода на знаменитите Ойлерови уравнения на движение на абсолютно твърдо тяло с една неподвижна точка.

$$A \frac{dp}{dt} - (B - C)qr = M_{1'}^{ext}$$

$$B \frac{dq}{dt} - (C - A)rp = M_{2'}^{ext} \quad (1.3)$$

$$C \frac{dr}{dt} - (A - B)pq = M_{3'}^{ext}$$

Определя се и *елипсоид на инерцията*. Спрямо главните оси на инерция уравнението $Ax_1^2 + Bx_2^2 + Cx_3^2 = 1$ е уравнение на елипсоид. За произволен положително дефинитен и симетричен тензор T повърхнината $r \cdot T \cdot r = 1$ е т. нар. *тензорен елипсоид*.)

Задаването на елипсоида на инерция ζ_J еднозначно определя тензора J . Именно чрез посоките на осите си ζ_J задава собствените вектори, а чрез големините на полуосите си

определя собствените стойности.. По такъв начин множеството от симетрични и положително дефинитни тензори се отъждествява с множеството от всевъзможни елипсоиди с център О, като на всеки такъв тензор се съпостави тензорният му елипсоид.

С. Моделът на Морейнис и Гриченко [42] изследвали динамичните характеристики на здрави и увредени хора. Те съставили модел на крачещ механизъм на човек от 9-звена кинематична верига с 11 степени на свобода. Авторите записват диференциалните уравнения на движението на различните части на механизма във вида на уравненията на Лагранж от втори род:

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{dT}{dq_i} \right) - \frac{dT}{dq_i} + \frac{dV}{dq_i} = M_i$$

В резултат се получава система от пет диференциални нелинейни уравнения от втори ред.

$$\begin{aligned} F_{\varphi} \left(\varphi, \varphi, \varphi, \gamma, \gamma, \gamma, x_1, x_1, x_1, x_2, x_2, x_2, \omega, \omega, \omega, h, v \right) &= M_{\varphi} \\ F_{\gamma} \left(\varphi, \varphi, \varphi, \gamma, \gamma, \gamma, x_1, x_1, x_1, x_2, x_2, x_2, \omega, \omega, \omega, h, v \right) &= M_{\gamma} \\ F_1 \left(\varphi, \varphi, \varphi, \gamma, \gamma, \gamma, x_1, x_1, x_1, x_2, x_2, x_2, \omega, \omega, \omega, h, v \right) &= M_1 \\ F_2 \left(\varphi, \varphi, \varphi, \gamma, \gamma, \gamma, x_1, x_1, x_1, x_2, x_2, x_2, \omega, \omega, \omega, h, v \right) &= M_2 \\ F \left(\omega, \omega, \omega, h, v \right) &= M_{\omega} \end{aligned}$$

Видно е , че този подход за многозвенни структури е трудно приложим.

Д. В разработките си Вукобратович [30] използва синергетичния метод за решаване на задачи свързани с крачещи мобилни механизми. Вукобратович стига и по-далече, като извежда нелинейно диференциално уравнение за произволен динамичен процес.

$$\{M\} = [A] \left\{ \Xi \right\} + [B] \left\{ \Xi^2 \right\} + [C] \left\{ \Xi \Xi \right\} + \{G\}$$

Матричните коефициенти $[A], [B]$ и $[C]$, както и матрицата стълб $\{G\}$ зависят от избраните обобщени координати на динамичния процес. Така разделяйки движението на кинематичната верига на отделни динамики, той избягва от огромното множество неизвестни и постига добри резултати.

Е. Предложения в последно време метод [21], основан на базата на разделянето на механизмите на функционални звена с характерна вътрешна предавателна функция. В най-общия случай диференциалното уравнение на връзката между изходната и входната величина за всяко функционално звено може да се запише математически в следния вид:

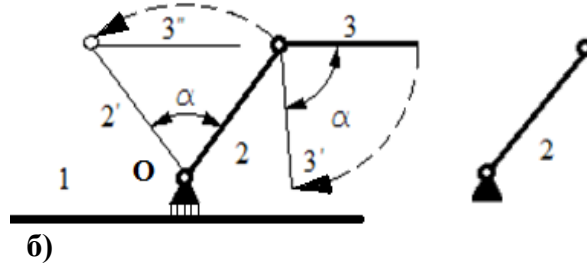
$$a_0 \frac{d^2 y}{dt^2} + a_1 \frac{dy}{dt} + a_2 y = b_0 \frac{d^2 x}{dt^2} + b_1 \frac{dx}{dt} + b_2 x \quad (1.4)$$

Така този метод обобщава всички предходни методи и е основан на базата на методите за автоматично регулиране и дава възможност за опростен вариант на управление на кинематичните вериги. С негова помощ могат да се описват дългите кинематични вериги.

ИЗЛОЖЕНИЕ

Ще бъде използван наскоро публикувания метод [21] за математично моделиране на локомоцията на ДКВ.

А.Изхождайки от основната схема (формула) на движението се построява кинематичната верига на мобилния механизъм.



Фиг. 2. Мястото на крака в Основната формула на локомоцията а) Основна формула на локомоцията, б) кракът свързващ тялото 3 посредством кинематична двоица и пътя 1 посредством кинематична двоица и стъпало.

В.При отворена кинематична верига за точка от i -тото звено спрямо абсолютната координатна система чрез умножение на трансформационните матрици се получава:

$$\vec{r}_{H0} = T_1 T_2 T_3 \dots T_i \vec{r}_{H_i} \quad (2.1)$$

Където $\vec{r}_{H0} = (x_{H0}, y_{H0}, z_{H0}, 1)^T$, $\vec{r}_{H_i} = (x_{H_i}, y_{H_i}, z_{H_i}, 1)^T$ са два вектора свързани чрез умножението на n -брой матрици 4×4 колкото са звената на кинематичната верига. При трансформация на кинематичната верига част от звената на веригата са всъщност едно звено, поради втвърдяване на двоиците между тях. В този смисъл горното равенство придобива вида: 2.2)

$$\vec{r}_{H0} = T_1 T_2 T_3 T_{4-7} T_8 T_9 \dots T_{k-k+t} \dots T_i \vec{r}_{H_i}$$

Където T_{4-7} и T_{k-k+t} са трансформационни матрици на участъците от кинематичните вериги (в случая са показани два, но може да са и повече), чийто актуатори само трансформират тези участъци, преди началото на движението, от едно положение в друго, но не участват в разглежданото движение на цялата кинематичната система. По-конкретно за (2.2), където има два такива участъка може да се запише:

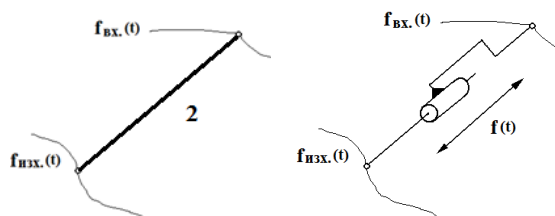
$$T_{4-7} = \prod_{i=4}^7 T_i \quad T_{k-k+t} = \prod_{i=k}^t T_i \quad (2.3)$$

След заместване в (2.2) се получава:

$$\vec{r}_{H0} = T_1 T_2 T_3 \prod_{i=4}^7 T_i T_8 T_9 \dots \prod_{i=k}^t T_i \dots T_i \vec{r}_{H_i} \quad (2.4)$$

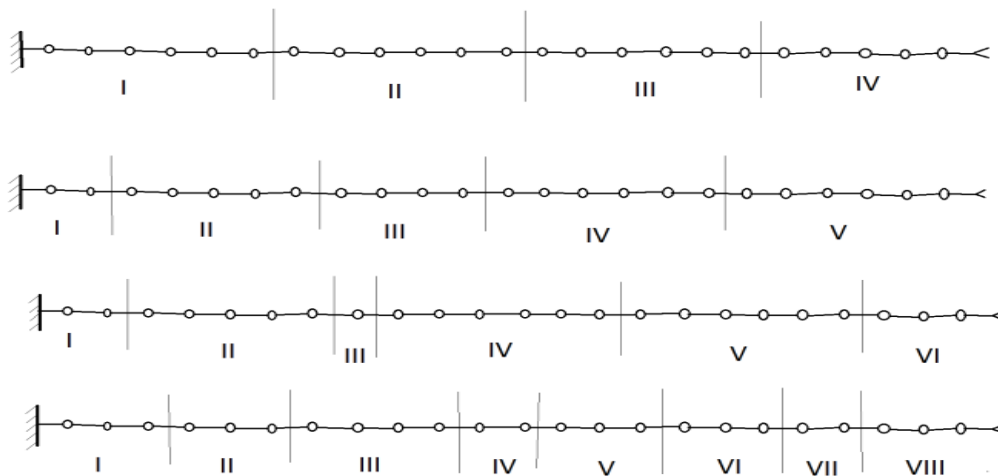
В (2.4) ще има толкова произведения колкото трансформационни участъка има в кинематичната верига.

С. Дългите кинематични вериги условно могат да бъдат разделени на участъци (функционални звена), които при разглеждането е необходимо да се отчита уравнението на връзката (1.4).



Фиг. 3. Всяко функционално звено изменя входното движение посредством вътрешното си движение в изходно движение

Тези функционални звена могат да имат автономно управление на ниско ниво. По този начин проектирането на механиката на функционалното звено е паралелно с управлението му.



Фиг. 4. Отворена кинематична верига с 24 звена и 23 кинематични двойци от V-ти клас разделена условно на участъци в четири варианта.

Отворената кинематична верига от фиг. е с 24 звена и 23 кинематични двойци от V-ти клас и е кинематична верига с висока редундантност. В живата природа съществуват кинематични вериги със значително повече звена и многократно по-висока редундантност, които функционират безупречно.

Ако управлението на актуаторите е разделено по същия начин на участъци, както и кинематичната верига, то на практика трансформацията може да си провежда толкова често – на инкрементално ниво, че движението да се реализира от всички степени на свобода без видимо да се забелязва, че се превключват и задвижват отделни участъци от кинематичната верига.

Д. Моделирането на пространствената периодична крива, която крайните точки на краката (глезените стави) трябва да описват при локомоция е лесно изпълнимо чрез методът [21].

Основната формула за пространствени периодични криви в този метод е:

$$(2.5)$$

Където R – неограничена и неортогонална част, а L –ограничена, ортогонална и нормирана част на линейната комбинация от функции (2.5).

Физическият смисъл на това разделение е че неортогоналната част представлява уравнението на пътя на движение на крачещия механизъм (който се задава в заданието), а ортогоналната и нормирана част е периодичното движение по него.

Изключването на R -кривите от горното уравнение фактически стопа (изключва) локомоционото движение и остава за изучаване само релативното движение на бъдещия механизъм.

Тъй като основната цел на изложението е синтез на локомоциония механизъм, то се подлага на преобразуване само L -часта, която всъщност е релативното негово движение.

Графично представена L -часта описва затворен контур в пространството, а следователно и проекциите му са затворени контури. Това са на практика проекциите на ППК изпълнявана от крайната точка на крака, т.е. глезената става.. Тук се налага уточнение, че двата крака и тазовия мост между тях е улеснение ако се разделят на три функционални звена със своя предавателна функция. По-нататъшния синтез е въпрос на инженерно творчество.

Е. Синтезирането на кинематична схема за реализация на дадена ППК е многовариантна задача. Избирането на конкретна кинематична схема не е само въпрос на математическо и инженерно моделиране, но се налага да се поставят и евристични ограничения за избор.

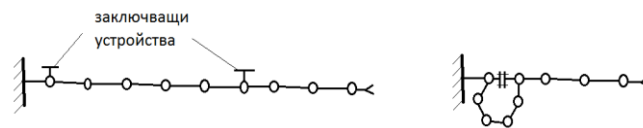
След разбиване на периода на движение на характерни участъци, посредством частните производни в матрицата на Якоби се отделят зависимите и независимите движения. На практика зависимите движения използват повече от едновено за реализиране на движението, докато независимите използват само едно.

От формулите (1.2) за коефициентите на инерционните тензори J и инерционните елипсоиди се изразява натоварването и Кинетичната енергия на кинематичната верига, При претоварване на дадени участъци се предприемат конструктивни изменения.

Г. При изменяеми локомоционни системи с голяма редундантност. Отворените кинематични структури с редундантност могат да се трансформират по два начина:

1. Първият начин е с обикновено отнемане на степени на свобода чрез втвърдяване на актуатори. Това може да се практикува предимно в кинематичните вериги с малка редундантност.
2. Втория начин е когато отворените кинематични вериги с редундантност се трансформират в отворено-затворени или затворени кинематични вериги, като части от тези вериги се затворят в затворени контури.

Този втори начин може да включва в себе си и специализирани заключващи устройства с помоща на които звена отстоящи на разстояние едно от друго в кинематичната верига в момент на доближаване по време на движение могат да се заключат едно към друго и да съставят едно ново звено или да игнорират участъка от кинематичната верига заключен между тях от общото движение.



Фиг. 5 Трансформация на отворена кинематична верига от девет степени на свобода на пет

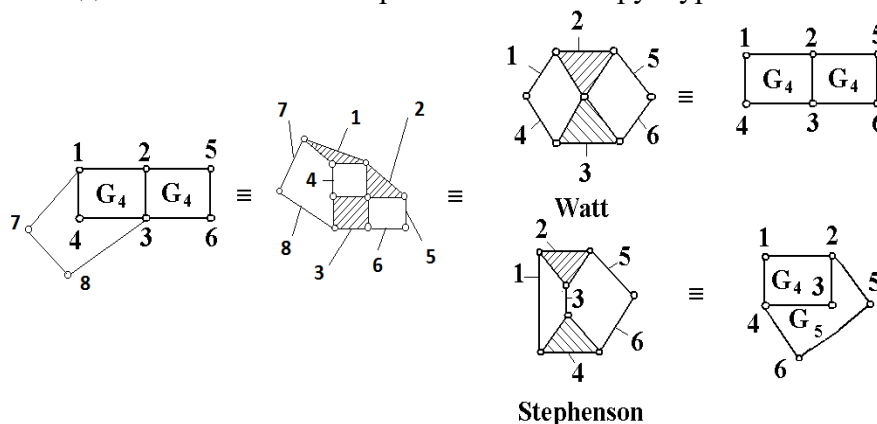
Затворените кинематични вериги с редундантност имат по-широки възможности за трансформации. Както при отворените така и тук трансформациите могат да бъдат осъществени по два начина.

3. Първият е, както при отворените вериги, чрез блокировка на актуаторите.

4. Вторият е чрез блокировка не само на активни, но и на неактивни кинематични двоици. По този начин една кинематична верига с голяма редундантност може да се трансформира в различни машини в зависимост от конкретните нужди.

От формулата за R_2 при $h=1$ се получава $r=1$, $p=4$, $p_5=4$ т.е. това е един четиризвеник. Четиризвеника е механизъм с една степен на свобода. Изменчивостта по принцип отнема степени на свобода от кинематичните вериги и в случая би превърнала четиризвеника в триъгълен елемент от ферма.

При $r=4$ и $i=2$ един от възможните варианти на тези структури е показан на фиг.6



Фиг. 6. Трансформация на един механизъм със затворена структура към два различни механизма

На фиг се вижда ясно, че затворената кинематична структура с двете степени на свобода може да се трансформира като се блокира едната степен на свобода и механизма се превръща в механизъм на Watt, а като се блокира другата степен на свобода механизма се превръща в механизъм на Stephanson.

ИЗВОДИ

Новият предложен метод, основан на базата на разделянето на механизмите на функционални звена с характерна вътрешна предавателна функция е много мощен оператор в процеса на проектиране на сложни комплекси с дълги кинематични вериги. Той е основан на базата на предишния опит в тази област и опита в областта на автоматичното регулиране и дава възможност за плавна връзка между механика и управление..

Изложеният метод допълва и онагледява постигнатото в областта на проектирането на дълги кинематични вериги и предразполагане към модулно управление.

Някои резултати проектирани чрез условни единици:

Аналитичен и графичен вид на ППК на едното стъпало на робот извършвайки локомоция чрез висене.

$$a := 5$$

$$b := 3$$

$$c := 2$$

$$d := 4$$

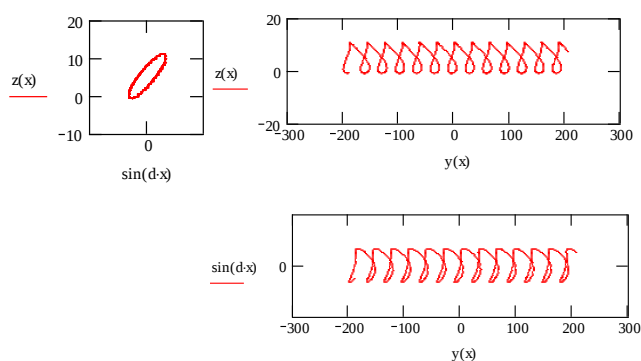
$$y(x) := \left[a \cdot \left(x \cdot 4 - c \cdot \sin \left(x \cdot d + \frac{b}{2} \right) \right) + c \cdot (1 - \pi \cdot \cos(x \cdot d \cdot 2 + b)) \right]$$

$$z(x) := a \cdot \left(1 - \cos \left(x \cdot d + \frac{b}{2} \right) \right) + \pi \cdot \sin \left(d \cdot x + \frac{b}{2} \right)$$

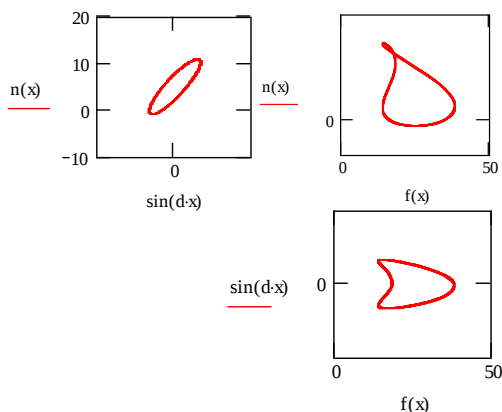
(4.1)

$$f(x) := \left[a \cdot \left(4 - c \cdot \sin \left(x \cdot d + \frac{b}{2} \right) \right) + c \cdot (1 - \pi \cdot \cos(x \cdot d \cdot 2 + b)) \right]$$

$$n(x) := a \cdot \left(1 - \cos \left(x \cdot d + \frac{b}{2} \right) \right) + \pi \cdot \sin \left(d \cdot x + \frac{b}{2} \right)$$



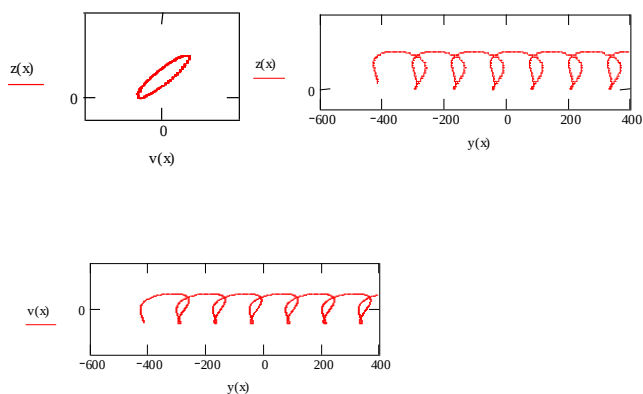
Фиг. 7. Проекции на ППК



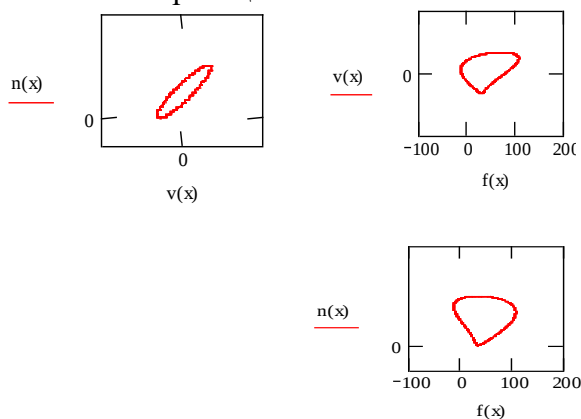
Фиг.8. Проекции на относителните движения

Аналитичен и графичен вид на ППК на едното стъпало на робот извършвайки локомоция по твърд терен, но с възможност за преодоляване на по-високи препятствия.

$$\begin{aligned}
 a &:= 10 \\
 b &:= 2 \\
 c &:= 5 \\
 d &:= 2 \\
 y(x) &:= [a \cdot (x \cdot 4 - c \cdot \sin(d \cdot x + b)) + c \cdot 4 \cdot [\cos((d \cdot x \cdot 2 + b))]] \\
 z(x) &:= a \cdot (1 - \cos(d \cdot x + b)) \quad f(x) := [a \cdot (4 - c \cdot \sin(d \cdot x + b)) + c \cdot 4 \cdot [\cos((d \cdot x \cdot 2 + b))]] \\
 v(x) &:= \sin(d \cdot x) \\
 n(x) &:= a \cdot (1 - \cos(d \cdot x + b))
 \end{aligned} \tag{4.2}$$



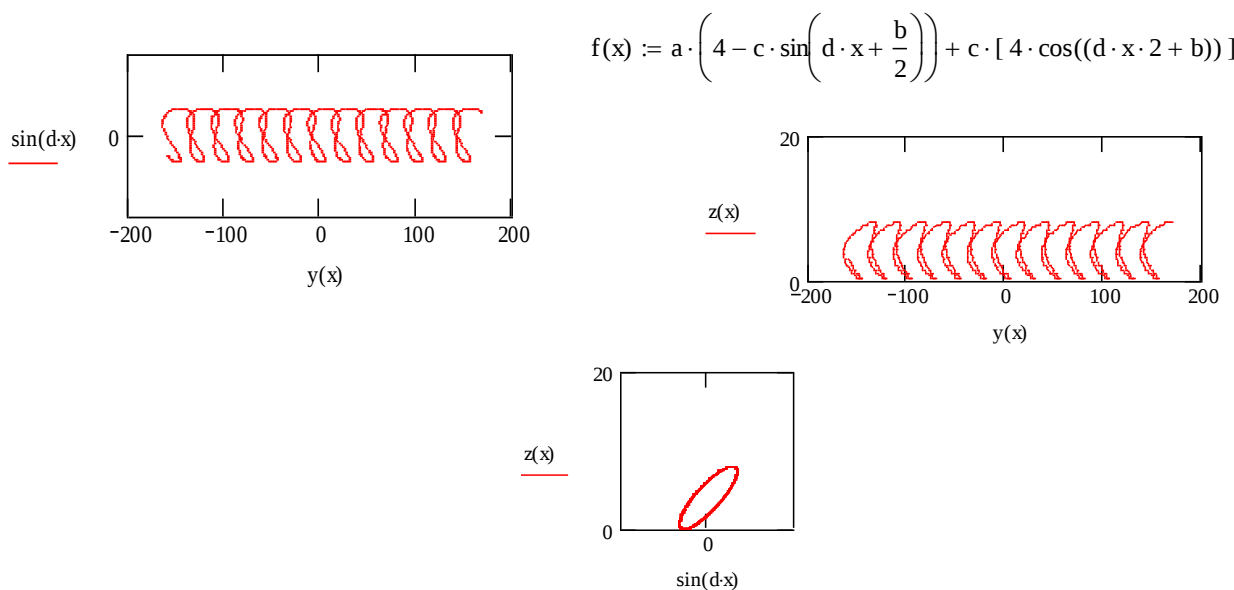
Фиг. 9. Проекции на ППК



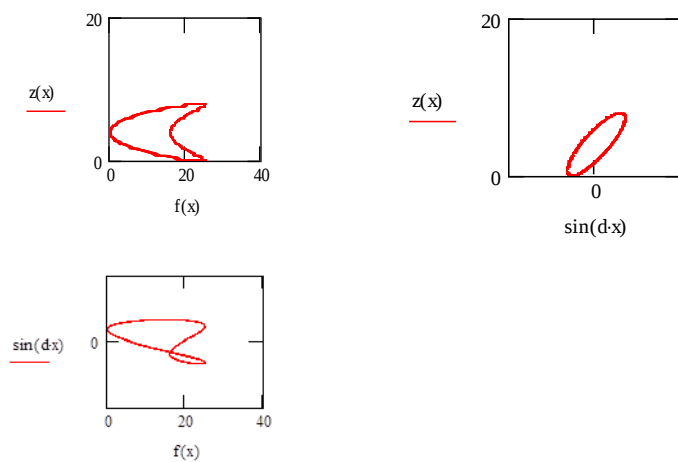
Фиг. 10. Проекции на относителните движения

Аналитичен и графичен вид на ППК на една крайна точка на робот извършвайки локомоция чрез летене.

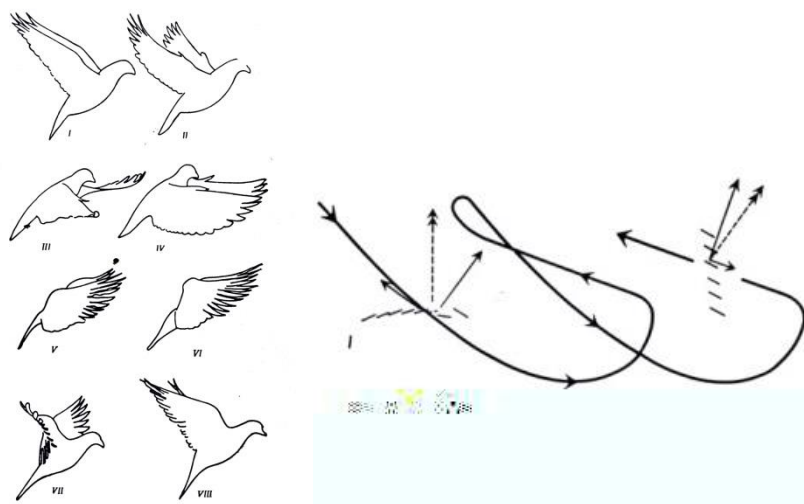
$$\begin{aligned}
 a &:= 4 \\
 b &:= 2 \\
 c &:= 2 \\
 d &:= 4 \\
 y(x) &:= \left[a \cdot \left(x \cdot 4 - c \cdot \sin\left(d \cdot x + \frac{b}{2}\right) \right) + c \cdot [4 \cdot \cos((d \cdot x \cdot 2 + b))] \right] \\
 z(x) &:= a \cdot \left(1 - \cos\left(d \cdot x + \frac{b}{2}\right) \right)
 \end{aligned} \tag{4.3}$$



Фиг.11. Проектиране на ППК



Фиг.12. Проектиране на относителните движения



Фиг.13. Графиката е свалена от орнитолози за движението на крилото на гълъб за конкретен полет (походка)

REFERENCES

Galabov, B.B. - "Synthesis of Mechanisms in Robotics" - TU-Sofia, 1992. - Гълъбов, В.Б. – „Синтез на механизми в робототехниката“ – „ТУ-София“, 1992г.

Genova P. - "Dynamics of Industrial Manipulators and Robots" - VMII System with Three-Kinematic Chain, Machine Mechanics Magazine, year XIV, Book 2, pages 21-24, Technical University - Varna, 2006 - Генова П. – „Динамика на промишлени манипулатори и роботи“ – ВМЕИ система с триколянова кинематична верига, сп. Механика на машините, година XIV, Книга 2, стр. 21-24, ТУ – Варна, 2006;

Dolapchiev B. - Analytical Mechanics - Science and Art, Sofia, 1966; - Долапчиев Б. – „Аналитична механика“, – Наука и изкуство, София, 1966г.;

Zahariev R., Chavdarov I., Genova P., Geometric synthesis of five-link closed kinematic circuits (SCS) for mechanical modules for SCARA robots, Mechanics of Machines magazine, vol. 50, pp. 11-14, Varna 2004, ISSN 0861-9727; - Захариев Р., Чавдаров И., Генова П., Геометричен синтез на петзвненни затворени кинематични вериги (ЗКВ) за механични модули за роботи тип "SCARA", сп. "Механика на машините" кн. 50, стр. 11-14, Варна 2004г, ISSN 0861-9727;

Iliev, M. - "Planning of trajectories of manipulation systems with many degrees of freedom", 1998, Plovdiv; - Константинов М. и колектив – "Теория на машините и механизмите" – "Техника", София, 1980г.;

Pavlov VI Industrial Robots Design, 1993, Sofia; - Павлов В.И. „Проектиране на промишлени роботи“, 1993, София;

Pavlov V. and the team - "Modular system for structures of walking robots with active degrees of freedom in the body" - TU-Sofia, CLMP-BAS, 2004; - Павлов В. и колектив- „Модулна система за структури на крачеци роботи с активни степени на свобода в тялото“ – ТУ-София, ЦЛМП-БАН, 2004г.;

Pavlov V., Chavdarov I., An approach in the synthesis of manipulation mechanisms for specialized robots, vol. Reports of the Scientific Conference "Robotics and Mechatronics' 2000", Scientific News of NTS in Mechanical Engineering, Issue 3, pp. 1.1-1.7, June 2000, Dryanovo Monastery, ISSN 1310-3946. - Павлов В., Чавдаров И., Подход в синтеза на манипулационни механизми за специализирани роботи, сб. Доклади на научна конференция "Роботика и мехатроника ' 2000", Научни известия на НТС по машиностроене, бр.3, стр. 1.1-1.7, юни 2000, Дряновски манастир, ISSN 1310-3946.

Pavlov V., Chavdarov I., An Approach for Static Force Analysis of Open Robot Manipulation Systems, Mechanics of Machines Magazine, 1995, Vol. 13, pp. 25-29, Varna, ISSN 0861-9727; - Павлов В., Чавдаров И., Подход за статичен силов анализ на отворени

манипулационни системи за работи, сп. Механика на машините, 1995, кн. 13, стр. 25-29, гр. Варна, ISSN 0861-9727;

Pisarev and staff - "Course in Theoretical Mechanics" Part I and II - Engineering 1975; - Писарев и колектив – „ Курс по теоретична механика” I и II част – Техника 1975г.;

Sinilkov P. - "MSRK-One Next Step" - "Mechanics of Machines 51", Book 2, 2004; - Синилков П. – “МСРК-една следваща стъпка” – „Механика на машините 51”, кн.2, 2004г.;

Sinilkov P. - "Methods of attachment of manipulators to mobile self-programmable robotic complexes (MSRC)" - "Mechanics of Machines 50", book 1, 2004; - Синилков П. – “Методи на окачване на манипулатори към мобилни самопрограмируеми роботехнически комплекси (МСРК)” – „Механика на машините 50”, кн.1, 2004г.;

Sinilkov P. - “Skeletal structure of mobile self-programmable robotics complex (MSRC / COBOT)”, Mechanics of Machines 51”, book 2, 2004; - Синилков П. – “ Скелетна структура на мобилен самопрограмируем роботехнически комплекс (МСРК/КОБОТ)”, Механика на машините 51”, кн.2, 2004г.;

Sinilkov, P. - "Sequential sinusoidal movements of the OKV for transport of the MSRC" - report to BAS, 2004; - Синилков, П. – „Последователни синусоидални движения на ОКВ за транспортиране на МСРК” – доклад пред БАН, 2004г.;

Sinilkov P., " Dependent and Independent Movements of Walking Mobile Installations ", Scientific Announcements of the Scientific and Technical Unions of Mechanical Engineering - year XVII, issue. 4114, Nineteenth International Robotics and Mechatronics Conference 2009, ISSN1310-3946, pp. 18-22, October 2009. - Синилков П., “Зависими и независими движения на крачеши мобилни установки”, Научни известия на научно-техническите съюзи по машиностроене – година XVII, бр. 4114, Деветнадесета международна конференция Роботика и Мехатроника 2009 г., ISSN1310-3946, стр. 18-22, октомври 2009 г.

Sinilkov P. - "Application of long kinrhythmic circuits in the constructions of mobile self-programmable complexes (MSRC)" - report to BAS, 2002; - Синилков П. – „ Приложение на дългите кинематични вериги в конструкциите на мобилните самопрограмируеми комплекси (МСРК)” – доклад пред БАН, 2002г.;

Sinilkov P., " Analytical prerequisites for the synthesis of 2D locomotive mechanisms ", Scientific Announcements of the Scientific and Technical Unions of Mechanical Engineering - Year XX, Twentieth International Conference Robotics and Mechatronics 2010 ISSN1310-3946, Varna 06-09, October 2010 - Синилков П., “Аналитични предпоставки за синтез на 2D локомоционни механизми”, Научни известия на научно-техническите съюзи по машиностроене – година XX, Двадесета международна конференция Роботика и Мехатроника 2010 г. ISSN1310-3946, гр. Варна 06 – 09, октомври 2010г.

Sinilkov P., " Analytical synthesis of limb mechanisms for walking mobile robots ", Scientific Announcements of the Scientific and Technical Council on Mechanical Engineering XXI International Robotics and Mechatronics Conference, 2011, ISSN 1310-3946, Varna, September 19-21, 2011 - Синилков П., “Аналитичен синтез на механизми за крайници на крачеши мобилни роботи”, Научни известия на научно-техническия съвет по машиностроене XXI Международна Конференция Роботика и Мехатроника, 2011г., ISSN 1310-3946, Варна, 19 – 21 Септември, 2011г

Sinilkov P. - "Designing of mobile self-programmable robotic complexes for cargo transportation in off-road areas" - report to NTS 2006; - Синилков П. – „Конструиране на мобилни самопрограмируеми роботехнически комплекси за транспортиране на товари в местности без пътища” - доклад пред НТС 2006г.;

Sinilkov P. - "Synthesis of walking mobile mechanisms" - Dissertation, in the professional field 5.1 "Mechanical Engineering", in the specialty "Robots and manipulators", Sofia, March 30, 2015 - Синилков П. – „ Синтез крачеши мобилни механизми“ – Дисертационен труд, в професионално направление 5.1 „Машинно инженерство”, по научната специалност “Роботи и манипулатори”, София, 30.03.2015г

Suslov GK - "Fundamentals of Analytical Mechanics" - Science and Art, Sofia, 1976; - Суслов Г.К. – „ Основи на аналитичната механика” - Наука и изкуство, София, 1976г.;

Tanev T. and Chavdarov I., Performance Evaluation of Manipulation Systems and Graphical Representation of Characteristics, Journal of Theoretical and Applied Mechanics, vol.30, No2, pp. 15-22, 2000, Sofia; - Tanev T. and Chavdarov I., Performance Evaluation of Manipulation Systems and Graphical Representation of the Characteristics, Journal of Theoretical and Applied Mechanics, vol.30, No2, pp. 15-22, 2000, Sofia;

Tsonko S. - Designing Control Systems with Variable Structure - Technique, Sofia, 1986; - Цонко С. – „Проектиране на системи за управление с променлива структура” - Техника, София, 1986г.;

Chavdarov I. and team - “Manual for Robot Design Guide”, 2009, Sofia; - Чавдаров И. и колектив „Ръководство за проектиране на роботи”, 2009, София;

Artobolevsky I. I. - "Mechanisms in modern technology" - "Science" Moscow, 1970; - Артоболевский И. И. – „Механизмы в современной технике” – „Наука”, Москва, 1970г.:

Vitskevich A. and team - "Modeling the motion of a four-legged robot with variable body geometry" - CLMP-BAS, 2004; - Вицкевич А. и колектив - „Моделиране движението на четирикрак робот с променлива геометрия на тялото” – ЦИМП-БАН, 2004г.;

Vukobratovich M. - "Walking robots and anthropomorphic mechanisms" - "Mir", 1976; Moscow; - Вукобратович М – “Шагающие роботы и антропоморфные механизмы” – “Мир”, 1976; Москва;

Dukendzhiev, Evgeni Petkov - “Anthropomorphic and zoomorphic mechanisms and systems”, 1991, Riga; - Дюкенджиев, Евгени Петков – “Антропоморфные и зооморфные механизмы и системы”, 1991г., Рига;

Jerry E.Pratt “Exploiting Natural Dynamics in the Control of a 3D Bipedal Walking Simulation” MIT Leg Laboratory Cambridge, 1999;

Nakano E. "Introduction to Robotics" - "Peace" Moscow, 1988; - Накано Э. “Введение в робототехнику” – „Мир”, Москва, 1988г.;

Young, John F. - Robotics - Engineering, 1979, Sofia; - Ёнг, Джон Ф. – “Роботика” – Техника”, 1979, София;

Kato I. et al., -“Modelling and Control of the Biped Gait”, Waseda Univ., Tokyo, 1970

Li B., Holstein H. – “Recognition of human periodic motion a frequency domain approach, Pattern Recognition” – Proceedings, 16th international Conference on, Volume: 1, Pages: 311-314, 2002;

McGee R. B. – “Finite State Control of Quadruped Locomotion” – Proc. Intern. Symp. on External Control of Human Extremities, Dubrovnik, 1967;

McGee R. B., Frank A. A. – “On the Stability Properties of Quadruped Creeping Gaits “ – Matem. Biosei., 3, № 3 – 4, Oct. (1968);

Frank A. A., McGee R. B. – “Some Considerations Relating to the Design of Autopilots for Legged Vehicles” – J. Terrameh., 6, 1 (1969);

Mario W. Gomes, and ect. –“A five-link 2D brachioting ape model with life-like motions and no energy cost”, Theoretical and Applied Mechanics, Cornell University, Ithaca, USA, 2004;

Martin Wisse - “Essentials of dynamic walking” – 2004;

Nathanson IN “Introduction to Theory of Real Functions” 1971, Science and Art - Натансон И.Н.”увод в теорията на реалните функции”1971, Наука и изкуство

C. Chevallereau, G. Abba, and ect. – “Rabbit : A Testbed for Advansed Control Theory” – IEEE 2003;