

КРАЧЕЩИ РОБОТИ ЧРЕЗ СЪЧЕТАНО ДВИЖЕНИЕ НА ТЯЛО И КРАК

Веселин Павлов Иван Чавдаров Александър Вацкичев Валентин Николов

Резюме: Принципните решения за изграждане на крачещи роботи са много и в повечето случаи са изградени по аналогия на краченето в живата природа. В стремежа да се постигне висока мобилност и устойчивост на движение в неопределена среда се предлагат различни схемни изпълнения на краката и тялото. Обект на настоящето изследване е движението на четирикраката система с променлива геометрия и активни степени на свобода в тялото, с помощта, на които при последователно повдигане на краката се реализира специфична походка. Представена е конструкцията и на изработен физически модел за експериментални изследвания, системата за управление и програмен продукт за моделиране на движението с прости и сложни походки.

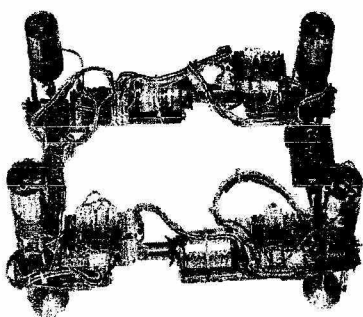
ROBOTS WALKING BY COMBINED BODY-LEG MOTION

Vesselin Pavlov Ivan Chavdarov Alexander Vatskichev Valentin Nikolov

Abstract: A number of principal approaches to the design of walking robots are known, and robot walk copies in most cases walk of living creatures. Different schemes of robot leg and body design are proposed to eventually attain great mobility and stability in unknown environment. An object of the present study is motion of a four-legged system with variable geometry and active body degrees of mobility contributing to a specific walk performance by successive leg rise. Specific construction is presented and a physical model for experimental analysis is designed. Control system and software for modeling complex and simple walks are developed

1. Въведение

Крачещите роботи са динамично развиващи се област от мобилната роботика [7]. Тяхното най-съществено предимство е възможността за движение в



Фиг.1. Крачещ робот с променлива

труднопроходима среда с недетерминирани препятствия [6]. За преодоляване на препятствията и за запазване устойчивостта на робота е необходима висока мобилност, както по отношение на краката, така и на тялото. Крачещите роботи в по-голямата си част имат неподвижни тела (не променят формата си при движение), към което са закрепени определен брой крака, осигуряващи пълноценно преместване на робота в пространството. Неподвижното тяло създава определени удобства при проектиране, тъй като към него удобно се разполагат енергоносители, управляващите и сензорните устройства.

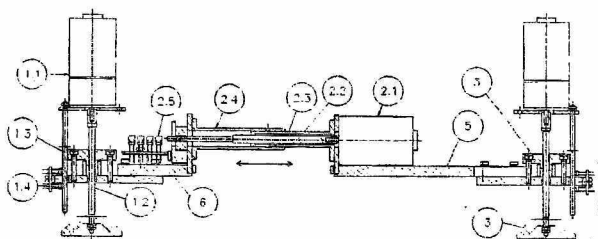
Същевременно такова тяло създава трудности при преодоляване на препятствия,

реализиране на завой с малък радиус, гарантиране статична и динамична устойчивост.

В настоящата работа се представя принципа за движение на крачеци работи чрез съчетано преместване на тяло и крак, респективно крака. Изработен е опитен образец на едно от възможните решения с елементарно движение на краката – линейно повдигане и спускане. Принципа на движение е приложим при двукраки, четирикраки, шесткраки и л-крака работи, като "л" е четно число. По-подробно изследван в настоящата работа е четирикрак робот. Към тези подвижни тела могат да се присъединят кинематично пълноценни крака с три и повече степени на свобода всеки. В такива случаи биха се постигнали желани качества за висока мобилност на крачеците работи.

2. Модел за експериментални изследвания.

Общ изглед и конструктивна схема на робота са показани на *фиг.1* и *фиг.2*. Краката (1) и трансляционните (2) модули реализират съответно вертикално и хоризонтално преместване, което се осъществява чрез постоянен ток електродвигател и винтов механизъм.



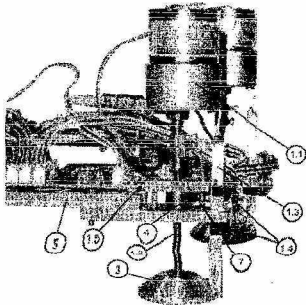
Фиг.2. Конструктивна схема на краката и трансляционните модули.

Повдигането на краката (*фиг.3*) се осъществява посредством мотор-ред (1.1), свързан с винто-гаечна предавка (1.2) чрез съединител (1.5). Опорната част на крака завършва със „стъпало“ (3). Стъпалото е конусна чашка, която контактува с периферната си част към пода и има пасивна ротация към винта. Четирите крака са еднакви. Направляваща (1.3) предпазва двигателя от завъртане. Горното и долно крайно положение на повдигане на крака се контролира с оптрони (1.4). Не представлява проблем поставянето на няколко оптрона и така през определена дискретна стойност да се управлява височината на повдигане на крака в границите на горното и долно положение.

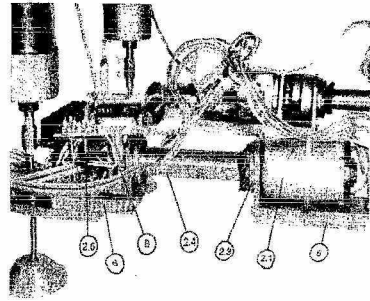
Тялото на робота е шест звена равнинна кинематична верига с четири пасивни шарнирни и две активни призматични двойци, наречени трансляционни модули.

В приетото конструктивно решение (*фиг. 3* и *фиг.4*) винтът (2.2) е свързан към ротора на двигателя (2.1). Към статора (свързан със звено (5)) е монтирана тръба (2.3), която обхваща винта (2.2) и влиза в тръба (2.4), (неподвижно свързана със звено (6)). Към звено (6) е монтирана неподвижна гайка, в която се навива винта. Така при повдигнат крак, свързан със звено (6) и управляван двигател (2.1) се реализира линейно движение в затворената равнинна верига, което премества крака в желаната посока (напред или назад). Преместването на крака съдържа и едно завъртане около неподвижна точка, радиуса на което зависи от дължината на звено (4). По този начин се постигат две независими степени на подвижност за всеки крак – повдигане и преместване. Стойността на линейното преместване се контролира,

чрез последователно разположени оптрони (2.5), които се активират от движението на винта.



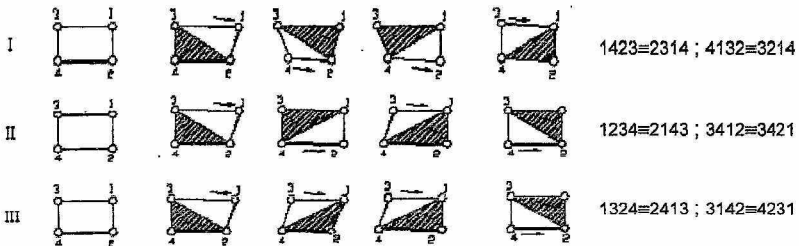
Фиг.3. Общ изглед на механизъм за задвижване на крака.



Фиг.4. Общ изглед на транслационен модул.

3. Походки и траектории.

Статична устойчивост на крачеци роботи, както е известно, може да се реализира при четири и повече крака. Съществена разлика между походките на роботи с неподвижно тяло и достатъчен брой степени на свобода на краката (минимум 3) и тези които се предлагат, няма [12]. Особено то е, че при последните конфигурацията на опорните точки съвпадат с тази на подвижното тяло. На *фиг.5* са показани комбинациите при четири крака. Краката са отбелязани с числата 1, 2, 3 и 4. Принципните схеми на ходене при четири крака са три ако се приеме, че тръгването със „задните“ крака не дава ново качество. При тази уговорка графично типове комбинации са показани на *фиг.5*.



Фиг.5. Походки при четири крака.

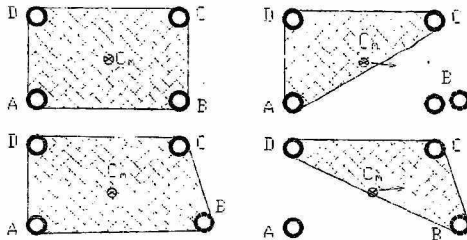
Конструкциите на опорите на краката позволява да се постигне статична устойчивост и при едновременно повдигане на два диагонални крака. Комбинацията в този случай е една 1423 ≡ 2314.

Предлаганите схеми позволяват движение и с динамична устойчивост. В този случай трябва да има съчетано движение между повдигането, преместването и спускането на определен крак. Спускането може да се покрива с изправянето на „тялото“, така че люлеенето на масовия център да остане в допустимият интервал на преместване.

4. Модел на работа в среда на 4D Visual Nastran.

Устойчивост на крачещия робот е симулирана в среда на 4D Visual Nastran чрез компютърен модел [10], създаден в AutoDesk Inventor. При моделирането са използвани всички детайли на робота с реалните им размери и масово-инерционни характеристики.

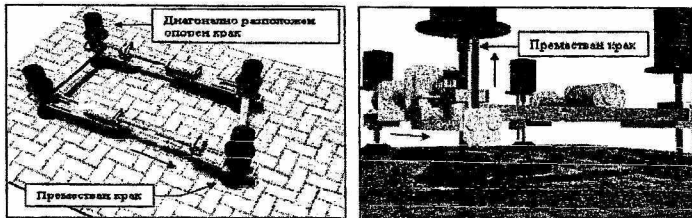
Възможностите на софтуерната среда позволяват да бъде анализирана както статичната, така и динамичната устойчивост на робота. Определят се всички активни и пасивни действащи сили върху звената му. Във връзка с това са избрани различни симулационни параметри – скорост и ускорение в активните двойци, точност на симулираните движения (позиционна, монтажна, степен на “проникване” при контакт с терена).



Фиг.6. Статична устойчивост.

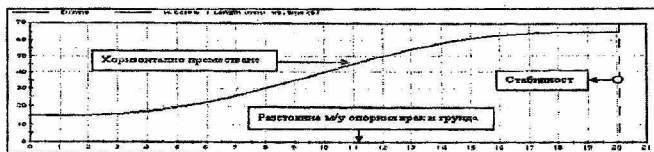
Статичната устойчивост е гарантирана когато центърът на тежестта на робота C_m не излиза от многоъгълника, образуван от външните контури на опорните стъпала (фиг.6). При преодоляване на наклони е необходимо проекцията на центъра да остане в описания контур. Устойчивостта на разглежданата система за движение е симулирана при две походки:

а) Симулация при последователно преместване на всеки крак – движението на краката е интерполация между вертикалното им преместване и движение напред на съответния хоризонтален модул (фиг.7).



Фиг.7. Хоризонтално, вертикално и преместване на 1 крак при походка 4x1

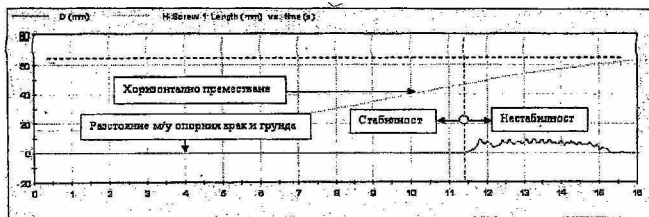
Резултатите от симулацията на робот с реални тегла на елементите са представени на фиг.8.



Фиг.8. Стабилност на 1 крак при реално и тегло увеличено с 50%.

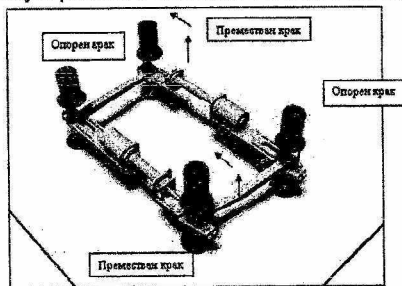
По абсцисите на графиките е времето на движение t , а по ординатите преместването на хоризонталния модул напред. По време на движението се контролира разстоянието между диагонално разположения опорен крак и терена. Когато това разстояние има нулева стойност движението се приема, като устойчиво. От графика. 1 се вижда, роботът запазва стабилността си, т.е. диагоналния крак не се повдига и структурата не се накланя дори при тегло на премествания крак увеличено с 50% над реалното.

При симулацията, представена на *фиг.9*, теглото на премествания крак е увеличено със 100%. Роботът губи стабилност и повдига диагоналния опорен крак при хоризонтално преместване на крака около 47 мм, което значително надхвърля реалните ограничения.



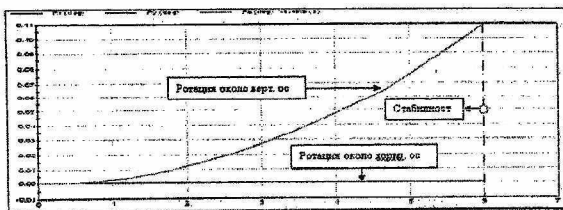
Фиг.9. Нестабилност на работа при тегло на премествания крак, увеличено със 100%.

б) Симулация при едновременно преместване на диагонално разположените крака (*фиг.10*) Краката на робота се повдигат и преместват напред два по два. Скоростта на движение при тази походка е два пъти по-голяма от симулираната и описаната в подточка (а).



Фиг.10. Опорни и премествани крака при походка 2x2.

При реални тегла на елементите роботът запазва стабилността си благодарение на цилиндричните стъпала. В хода на симулацията е контролиран наклонът на диагоналните опорни стъпала. За пълния диапазон на хоризонтално преместване на краката този наклон остава постоянен (вж.фиг.11), т.е. структурата не се накланя и не губи стабилност. Единственото движение е равнинна ротация на краката около вертикална ос (вж.фиг.11).



Фиг. 11. Стабилност при пълен диапазон на хоризонтално преместване на краката

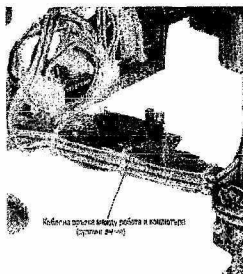
5. Управление

Роботът не притежава собствен процесор, поради което организацията на работата му се поема от компютър. Управлението на робота, става през паралелния порт, посредством кабел. Независимо от положението си в адресируемата памет, всички паралелни портове използват един и същ регистров интерфейс, който се състои от три порта. Текущо се използват само два от тях – 8 битова „линия данни“, използвана за предаване на информация към робота и 5 битова „линия проверка на състоянието“ за обратната връзка от оптичните сензори. Съществува директна връзка между битовете на портовете и жиците в паралелния кабел.

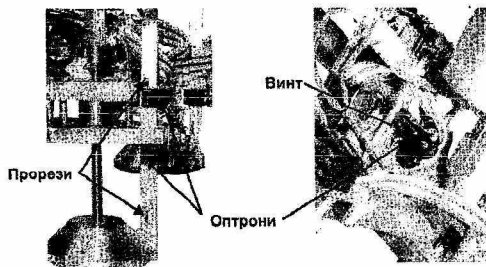
От едната страна на кабела е монтиран стандартен куплунг CANON 25, за връзка със паралелния порт, а от другата IDC14DH, която се свързва към куплунг BH14R (фиг.12) монтиран върху робота. От осемте възможни бита от изходния регистър, за управлението на робота се използват само шест – един бит разрешава/забранява управлението на робота; два бита се използват като адресиращи и са предназначени за избор на определен двигател, към който текущо е насочено управлението; два бита определящи посоката на въртенето му.

При разработката на хардуера е заложен модулният принцип. Използват се две основни модулни платки. В т.н „селектор“, в зависимост от логическата комбинация в адресиращите битовете се избира съответен двигател, който да бъде управляван. В същото време селектора следи и предава към компютъра информацията от сензорите, следящи положението на двигателя. В този момент управляващите и шините от обратните връзки към останалите електродвигателя са във високоимпедансно състояние.

Вторият – „изпълнителен“ модул съдържа драйверни схеми (H-мост) управляващи двигателите, както и буфери следящи сензорите от обратните връзки. С един такъв модул могат да се управляват два електродвигателя. Известни са много схемни решения за управление на постояннотокови двигатели, всяка от която има своето предимство, което определя и специфичното и приложения. За управлението им в случая се използва H-мост в интегрално изпълнение. Интегралната схема L293 включва в себе си два H-моста и позволява управлението на два електродвигателя, като максималният ток, който може да се осигури е 600 mA на канал.



Фиг.12. Комуникационен конектор



Фиг.13. Разположение на оптроните двойки.

Като обратна връзка, отчитаща положението на електродвигателите, се използват оптронни двойки (*fig.13*). Във всеки от кратката има по два оптрона отчитащи крайно горно, и крайно долно положение. За да бъде възможно отчитането, в направляващите пластини са прорязани отвори.

При трансляционните модули са монтирани по четири оптрона, с което може да се регулира големината на хоризонталното преместване. Прекъсването на светлинния поток в случая става от винта реализиращ трансляцията

За да може да бъде по-достъпно управлението на робота, е разработен интерактивен софтуер* върху Windows XP базирана платформа.

Програмата има три режима на работа: *Инициализация, Ръчно управление и Програмно управление.*

- *Инициализация:* Използва се при първоначално включване на робота за автоматично повдигане на краката до максимално горно положение

- *Ръчно управление:* В този режим с помощта на клавиатурата оператора избира двигател, който да бъде управляван. След като е маркиран, управлението, *нагоре/надолу* – за краката или *напред/назад* – за трансляциите, става посредством стрелките. Във всеки един момент информацията от сензорите се визуализира върху екрана. Предвидена е автоматична блокировка на движението и аларма в случай, че управлявания двигател достигне до крайно положение.

- *Програмно управление:* Позволява предварително записване на походки и програми за движение на робота.

6. Заключение.

Предлаганата схема на мобилен робот, крачещ чрез съчетано движение на тялото и вдигнат крак, осигуряват пълноценно движение в равнина. Всеки подвижен крак получава две премествания, посоката и стойността, на които се управлява целево. Подвижността в тялото е свързана с промяна на неговата геометрична форма, което благоприятства статична устойчивост.

В активните двойци на затворения контур се използват диференциалният ефект на винтов механизъм, което позволява чрез един активен двигател да се управлява преместването на два крака, които имат последователно действие при движението на робота.

Изградените реален и виртуален модел на избраната схема позволяват да се извършат по-прецизно изследване за определяне разпределението на масите върху подвижните звена на тялото с цел увеличаване на статичната устойчивост на робота при завой и преодоляване на препятствия.

Управлението на робота се извършва от компютър, което дава известна свобода при проектирането на управляващ софтуер. Използването на кабел като средство за комуникация освобождава робота от необходимостта да носи върху себе си електрозахранващия блок. Модулността в изграждането на електронния хардуер осигурява гъвкавост, подходяща при бъдещи модификации на механичната структура свързани с добавянето или премахането на двигатели.

* - Авторите изказват специални благодарности към инж. Стефан Стефанов и инж. Цветозар Цолов за оказаното съдействие при разработката на софтуера.

7. Литература.

1. Chen, I-M. and Yeo, S. H. 2002. *Locomotion and navigation of a Planar Walker based on binary actuation*. In Proc. IEEE International Conference on Robotics and Automation, Washington DC, USA, pp. 329-334.
2. Chen, I-M. and Yeo, S. H. *Locomotion of a Two-Dimensional Walking-Climbing Robot Using A Closed-Loop Mechanism: From Gait Generation to Navigation*. The International Journal of Robotics Research Vol.22, No. 1, January 2003, pp. 21-40.
3. Quinn, R. D., Nelson, G. M., Bachmann, R. J., and Kingsley, D. A., Allen, T. J. *Parallel Complementary Strategies For Implementing Biological Principles Into Mobile Robots*. The International Journal of Robotics Research Vol. 22, No. 3- April, March-April 2003, pp.169-186.
4. Tanev T., *Manipulation systems based on variable-geometry modules, Mechanic of machines*, ISSN 0861-9727, Varna, 1996.
5. Tartikainem K., Halme A. & Karkkainem K.. *Terrain adaptive motion and free gait of a six-legged walking machine*, 1st, FAC Workshop on Intelligent Autonomous Vehicles. Southampton, UK, April 1993.
6. Bretl, T., Latombe, J-C., and Rock S. *Toward Autonomous Free-Climbing Robots*.
7. Klark D., Owing M., *Building Robot Drive Trains*, www.books.mcgraw-hill.com, 2003.
8. Robot Information Central, www.robotics.com/robots
9. Walking and climbing machines, www.fzi.de/ids/wmc/vedeos/videos
10. Вацкичев Ал., Павлов В., Чавдаров И., Николов В., *Изследване на статичната устойчивост на четирикрак мобилен робот с променлива геометрия на тялото*, Научни известия на НТС по машиностроене, ISSN1310-3946, том 10, брой 5, октомври 2003, стр. 2.75- 3.0.
11. Павлов В., Николов В., Чавдаров И., *Мобилни роботи с "патешка" походка*, Седма международна конференция ПРАКТРО '2003, Варна 10-14 юни, "Сборник доклади ПРАКТРО'2003", стр. 272-277.
12. Чавдаров И., Павлов В., Вацкичев Ал., Николов В., *Моделиране движението на четирикрак робот с променлива геометрия на тялото*, Научни известия на НТС по машиностроене, ISSN1310-3946, том 10, брой 5, октомври 2003, стр. 2.68-2.74.
13. Охоцимский Д., Голубев Ю., *Механика и управление движением автоматического шагающего аппарата*, "Наука", Москва, 1984.

- проф. д-р. инж. **Веселин Павлов** - секция «**Робототехника**», катедра «**Автоматизация на електрозадвижванията**», ТУ-София.

- маг. инж. **Иван Николов Чавдаров** – н. с. I степен ЦЛМП – БАН.

- д-р. инж. **Александър Вацкичев** - н. с. I степен ИМБ – БАН.

- маг. инж. **Валентин Николов Николов** - докторант, секция «**Робототехника**», катедра «**Автоматизация на електрозадвижванията**», ТУ-София.

E-mails: vpavlov@hotmail.com, ivan_chavdarov@dir.bg, alex@imech.imbm.bas.bg,

val_niko@yahoo.com.