

ПРИЛОЖЕНИЕ НА КОНТРОЛЕРИ С НЕВРОЛОГИЧНА СТРУКТУРА ПРИ ПРОЕКТИРАНЕТО НА БИОМОРФНИ РОБОТИ

Валентин Николов

Васил Балавесов

РЕЗЮМЕ: *В настоящия доклад е представен един подход за управление на мобилни роботи и неговата реализация върху конкретен крачещ робот. Заложените принципи са заимствани от живият свят, като използването на знанията, предоставени от милионите години еволюция, дава възможност да бъде създаден сравнително прост модел на поведение, позволяващ оцеляване и приспособяването на мобилните машини в непозната среда. Типично това води до комбинация от биологични алгоритми за управление и механично тяло, които се свързват с термина биоморфни машини. Неврологичната структура като средство за нелинейно аналогово управление дава възможността да се разрешават редица проблеми в реално време, свързани с оцеляването и приспособяването в окръжаваща среда. Тази разработка има пряко отношение към зародилото се наскоро модерно направление в конструирането на адаптивни машини – БИИМ роботика.*

APPLICATION OF NEURAL STRUCTURE CONTROLLERS IN THE DESIGN OF BIOMORPHIC ROBOTS

Valentin Nikolov

Vassil Balavessov

Abstract: *In this paper, an approach to control of mobile robots is proposed, and its realization is demonstrated on a particular walking robot. The principles for the control developments are borrowed from the living nature. The utilization of such principles that are due to a million years of evolution gives the designers opportunities for creating of simple behavioral models that allow survival and adaptation of mobile robots in an unstructured and poorly known environment. Typically, such an approach leads to a blend of biologically based algorithms for the control of a mechanical body, and the related machines are called biomorphic robots. The neural structure of the controller presents an opportunity for continuous non-linear control that is capable of solving numerous real-time problems concerning survival and adaptation. The particular research relates to the modern field of what is known as BEAM robotics*

1. Увод

В настоящата работа ще бъдат разгледани един сравнително нов клас мобилни роботи, чието управление, структура и поведение са заимствани от живата природа. Съгласно някои изследователи те не са роботи в обичайния смисъл, доколкото не са машини, проектирани да изпълняват някакви конкретно поставени задачи, а по-скоро отразяват поведенчески, модел свързан преди всичко с оцеляването – задачата, която би следвало да е с най-висок приоритет при управлението на мобилни автономни машини в непозната и враждебна среда. В англоезичната литература тези машини е прието за се наричат биоморфологични роботи (от англ. Biological Morphology) [1]. В отечествената литература това наименование все още не се е наложило, като вместо него се предпочита термина *биоморфни*, който подчертава външното подобие, т.е. формата, а не начина на функциониране.

Био-морфологичната структура като цяло се основава на аналогов компютър, проектиран по биологичен образец и позволяващ на машината да се движи, да взаимодейства и оцелява в непозната среда [1]. Програмиранието не се реализира по обичайния в роботиката подход посредством елементарни операции, а възможностите за препрограмиране в настоящия етап от развитието са оставени на по-заден план. Основен приоритет има приспособимостта, като в процеса на адаптация се изисква реконфигуриране на сигналите в неврологична структура, осигуряващо изменчивост в поведението.

Биоморфологичната архитектура се отличава с локалност, модулност и автономност – състои се типично от централно ядро и периферия. При по-простите архитектури управлението се поема изцяло от ядрото. Модулността повишава гъвкавостта – без проблем части от биоморфологичната машина могат да бъдат блокирани, променени или унищожени. В такъв момент процесите в неврологичното ядро се реконфигурират целесъобразно, за да може да бъде компенсирана липсата на съответната част (по този начин не се наблюдава драстична промяна в поведението) [1].

По аналогия с биологичните организми и тук се използва неврологична система с адаптивно управление за осигуряване на подходящо поведение, вкл. подходяща походка при ходенето, съобразена с особеностите на терена. Роботът е оборудван с разнообразни сензори, които позволяват непосредствено да се създаде картина както на вътрешното състояние, така и на окръжаващата среда. Информацията от сензорите – под формата на електрически аналогови сигнали, постъпва в централно неврологично ядро, като променя формата и продължителността на сигналите в него и по този начин влияе върху управлението на двигателите. Структурата изглежда примитивна, но е така устроена, че вътрешното състояние непрекъснато се променя, като отразява динамично и адекватно променящата се външна среда [1]. Неврологичната мрежа, която се използва в биоморфологичните роботи, представлява затворен кръг от последователно свързани неврони, като предаването на сигналите от неврон към неврон става с различна скорост, зависеща от време-закъснителната верига, характерна за всеки от тях.

2. БИЙМ роботика.

Един от създателите на БИЙМ роботиката като направление е Марк Тилдън [8], изследовател в Националната Лаборатория на Лос Аламос. От 1994 г. идеите му са защитени с патенти [7]. БИЙМ (**BEAM** – англ.) представлява съкращение от началните букви на думите: Биология (**Biology**), Електроника (**Electronics**), Естетика (**Aesthetics**), Механика (**Mechanics**).

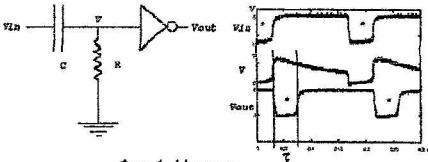
Този клас роботи се управляват по нетрадиционен начин – вместо да е насочено „от горе на долу“, т.е. да се тръгва от сложни поведенчески модели и да се слиза към по-пости нива на управление, управлението при БИЙМ-роботиката поставя акцент върху най-елементарните рефлексни реакции [8, 9, 11, 12, 13, 15], върху които се изгражда цялостното поведение.

Сърцето на БИЙМ са крачещите роботи. "Класическите" крачещи машини представляват сложна комбинация от обратни връзки, сензори и един или повече процесори. Резултатът е сложна и скъпа машина, дори когато е необходимо извършването на съвсем елементарни задачи. Освен това, енергийните потребности на подобна система са значителни.

Подходът на БИЙМ-роботиката позволява да се избегнат горепосочените недостатъци посредством една напълно нова концепция. Тя се концентрира върху изграждането на централно неврологично ядро-осцилатор, към което са свързани неврологични разклонения за управлението на крайниците (обикновено крака). Всеки крайник е автономен и напълно независим от останалите.

3. Неврологичен БИЙМ контролер

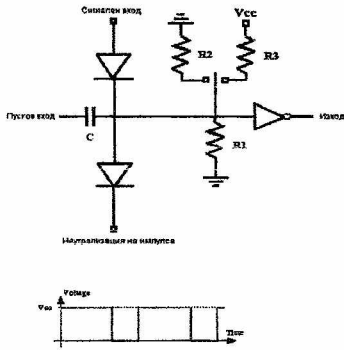
Използваме контролер, основан върху принципа на действие на системата VSPANS – "Very Slow Propagation Artificial Neural System", разработена от Марк Тилдън и защитена с патент [7]. Работата на контролера се основава на елементарни времезакъснителни единици, свързани последователно. Тези закъснителни единици



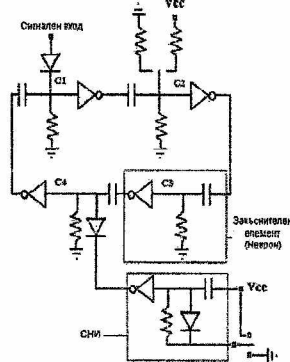
Фиг. 1. Неврон.

ще наричаме „неврони“ (фиг.1). Те изграждат едно централно ядро и периферните вериги, които ще наричаме *неврологични вериги*. Изходът на показаният неврон се свързва към входа на следващия до образуването на затворен кръг, в който се разпространяват правоъгълни импулси продължително-

стта, на който зависи от времеконстантата на електронните вериги. Невронът има просто устройство – състои се от един резистор, кондензатор и инвертор [7]. Така свързани, резисторът и кондензаторът образуват диференцираща времезадаваща верига. Времеконстантата може да варира в широки граници и да се променя въз основа на сензорна информация. Промяната на времезакъснението оказва въздействие върху разпространението на сигналите в системата, като по този начин може да се променя походката, скоростта и посоката на движението [7, 8].



Фиг. 2. Базов неврон с допълнителни време-определящи елементи.

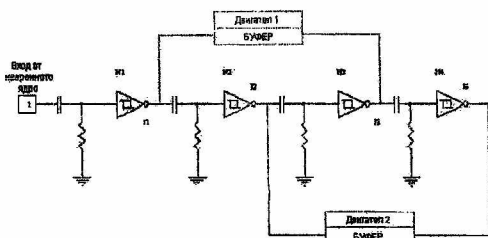


Фиг. 3. Ядро на мрежата .

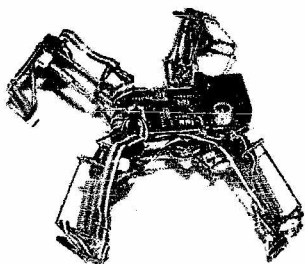
Конкретен пример за променяне на времеконстантата е представен на фиг.2. Вижда се, че към базовият неврон са прибавени допълнителни елементи. Например, при включване на резистора R3 към захранващото напрежение се увеличават както времеконстантата, така и времето за зареждането на кондензатора. Включването на резистора може да стане посредством обикновено реле, управлявано например от сензор.

Основната движеща сила в неврологичната мрежа е вълната, която се разпространява във затворената осцилираща верига от свързани елементи, които последователно сменят състоянието си (изходите последователно ще преминават от високо в ниско състояние и обратно). Ядрото на неврологичната мрежа е изобразено на фиг.3.

Към изходите на всеки от инверторите в ядрото се включват периферни неврологични вериги за управление на движението на крайниците (фиг.4).



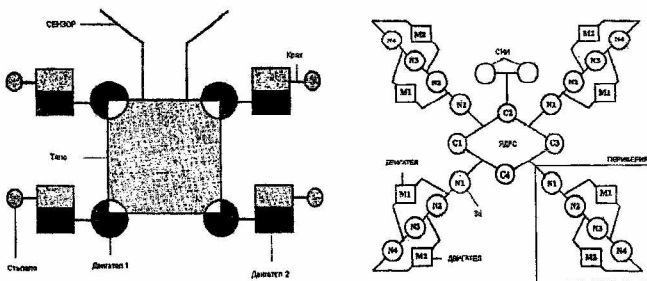
Фиг. 4. Периферна „неврологична верига“ за управление на крайниците.



Фиг. 5. VBUG 1.1 „паяк“ – четирикрак БИИМ робот [1].

Всеки крак се управлява от напълно автономна неврологична верига. Структурата и принципа на действие е аналогичен с тази на ядрото, само че веригата е отворена. От фигурата се вижда, че за управлението на два двигателя са необходими четири неврона. Периодично от централното ядро към входа на периферната верига постъпва инициализиращ импулс, който се разпространява и последователно променя състоянието на инверторите в посока от N1 към N4. Поради тази причина периферната верига се активира само веднъж на един пълен цикъл от разпространението на импулса (импулсите) в централното ядро.

За първи път описаният неврологичен контролер е бил използван за управлението на четирикрак „робот-паяк“ (вж. фиг.5). Цялостната му структура е отразена на фиг.6. Роботът има четири крака, всеки от който се задвижва от по два двигателя – единият повдига крака вертикално (двигател 2), а другият го премества хоризонтално (двигател 1). Всеки от краката се управлява със самостоятелна периферна неврологична верига (фиг.6 - периферия) свързана към изхода на съответен неврон от ядрото.

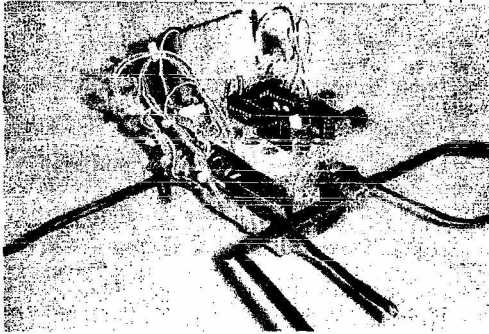


Фиг. 6. БИИМ „паяк“ – структура(ляво) и управление [7].

4. Четирикрак робот с два управлявани двигателя

Съществуват възможности за изграждането и управлението на по-сложни крака, задвижвани с повече от два двигателя, като се добавят допълнително неврони в периферната верига. Също така, могат да бъдат конструирани роботи с

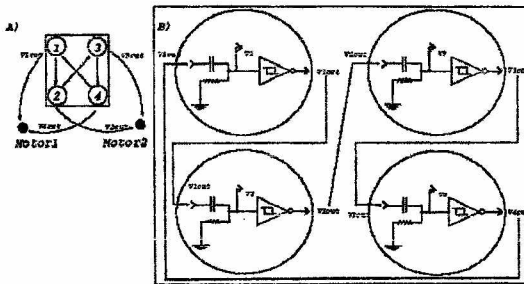
повече от четири крака, като за всеки чифт добавени крака се добавят два неврона в ядрото. Добавянето на още крайници обаче създава някои проблеми за стабилизацията и синхронизацията на движенията.



Фиг. 7. Четирикрак биоморфологичен робот с два управлявани двигателя.

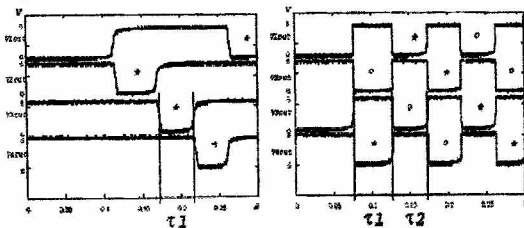
Интерес представляват технически решения, при които броят на двигателите е редуциран, без това да се отрази неблагоприятно на функционирането. На базата на изложения принцип могат да бъдат разработени и модели с по-малък брой степени на свобода. Тука ще бъде представен разработеният от авторския колектив вариант на контролер, на базата на който е изградена крачещата платформа,

задвигвана само с два електродвигателя (фиг.7).



Фиг.8. Структура на неврологичния контролер.

Устройството на контролера е донякъде аналогично с това на описания по-горе, като се използва само неврологичното ядро [3,4]. Структурата му е представена на фиг.8. Контролерът е изграден от общо четири неврона, два от които управляват предните, а другите два – задните крака. Когато на входа на буфера, управляващ съответен електродвигателите, се приложат противоположни логически нива, двигателят се завърта в определена посока, в зависимост от логическата комбинация. Време-диаграмите на преминаващите през контролера импулси са отразени на фиг.9 [3].



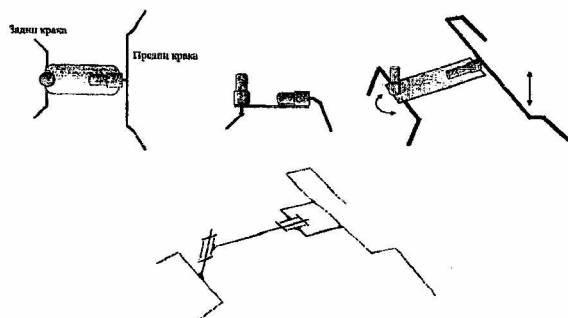
Фиг.9. Времедиаграми при един а) и при два б) сигнала разпространяващи се в затворената осцилаторна верига

В зависимост от броя на импулсите през затворената верига са възможни два режима на работа, при които се получават две скорости на движение,

както и два вида походки. При наличието на един импулс се получава „бавна“

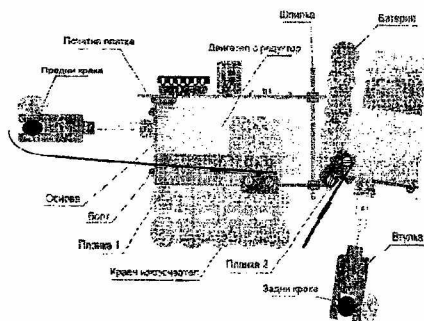
походка. На *фиг.9 (б)* е отразен вариантът, при който във веригата осцилират два импулса, формиращи „бърза“ походка. Вижда се, че във всеки един момент от време и към двата двигателя се подава разнополярни импулси, при което и двата се задвижват, като посоката им на въртене е дефазизирана на 180° . Показаните времедиаграми са снети при 50% запълване на импулсите – това съответства на праволинейно движение. Движението по крива, както е например при преодоляване на препятствия, е възможно чрез промяна на параметрите на времезадаващите вериги на невроните въз основа на подходяща сензорна информация.

Кинематичната схема на крачещият робот може да се види на *фиг.10*. Оста на единият двигател се разполага вертикално или *почти* вертикално, а на другия – хоризонтално или почти хоризонтално. Те задвижват съответно задните и предните крака [3, 4, 11]. Ъглите на отклонение на осите на двигателите не могат да се дефинират априорно и, общо взето, се определят в процеса на експериментите и настройката, като целта е реализиране на плавна походка. По-добри резултати се получават, когато задният двигател се разположи по-ниско от предния.



Фиг.10. Скица (горе) и кинематична схема (долу) на четирикрак робот с два управлявани двигателя.

Скица на основните компоненти на робота е представена на *фиг. 11*.



Фиг.11. Скица на основните компоненти на био-морфологичния робот

Експериментите показаха, че най-добри параметри по отношение на краченето се получават при двигатели-редуктори, осигуряващи около 25-30 оборота за минута на изходния вал. В конкретния случай използваната двойка двигател-редуктор е с предавателно отношение 1:200 и скорост 30 об/мин.

Краката са изключително важен елемент от механичната конструкция. И двата двигателя извършват колебателни движения, единият около *приблизително* хоризонтална, а другият – около *приблизително* вертикална оси. По този начин краката също извършват

колебателни движение и така предизвикват движение на робота в пространството. Предните крака служат предимно за повдигане на конструкцията, докато задните

избутват тялото. Тъй като устойчивостта на работа зависи повече от предните крака, е необходимо те да бъдат с относително по-големи размери. По този начин тригълникът, който се получава между трите опорни точки – при повдигането на единия крак, обхваща проекцията на центъра на тежестта, а това е гаранция, че роботът ще запази статично равновесие. Не е необходимо материалът, от който се изработват краката, да е много твърд – напротив, по-мекият материал осигурява гъвкавост и е естествен демпфер. Тъй като задните крака тласкат (теглят) цялата конструкция напред (респ., назад), от тяхната големина зависи размерът на крачката. До голяма степен устойчивостта, характерът на походката и плавността зависят от еластичността на материала, формата и размерите на краката [11].

За праволинейно движение при идеални условия коефициентът на запълване на генерираните от неврологичното ядро импулси трябва да е точно 50%. Този коефициент може точно да се настрои и въртенето на двигателите да се стабилизира. В действителност – поради наличието на редица смущаващи фактори, са възможни отклонения, при които даден двигател да се завърти много повече в едната от посоките. Такива фактори могат да са пикове във захранващото напрежение, изменението на стойностите на кондензаторите и резисторите (потенциометрите), неравности по терена, приплъзвания, и др. За да се редуцира евентуалното влияние от такива нежелани явления е необходимо въртенето на двигателите да бъде ограничено до определени крайни позиции. Един от начините за това е да се монтира твърд фиксатор към корпуса на робота. Когато двигателя се завърти и кракът достигне до фиксатора, той блокира ротация в тази посока. Този начин обаче е доста агресивен за двигателите и редукторите. В разработката се използва изключване на напрежението на даден двигател, когато той се завърти до гранични позиции, идентифицирани например чрез крайни изключватели. В конкретния случай са използвани четири ключа (по два за всеки двигател) към превключващите пластини, на които е залепена тънка ламаринена лайсна. В момента, в който кракът задейства ключа, защитата се активира. Разработена е проста логическата схема, посредством която става възможно безпроблемното прекъсване на напрежение при завъртане до граничните положения, без това да пречи на двигателя да се върти в противоположната посока.

Освен да се движи праволинейно (напред, назад), роботът може и да завива в определена посока. Движението на робота се поражда от колебанията на двигателите. Когато процесът е стабилизирал, движението е праволинейно. Ако обаче за кратко време настъпи дисбаланс, например когато единият от двигателите започне да се върти повече в едната от двете посоки, тогава роботът извършва завой, като радиусът на този завой ще бъде толкова по-голям, колкото по-неуравновесен е процесът. Управлението на процеса на движение може да стане въз основа на информация от сензор за околната среда, чрез който да се променя по подходящ начин коефициентът на запълване на импулсите.

5. Заключение

Неврологичната структура като средство за нелинейно аналогово управление дава възможността да се разрешават редица проблеми в реално време, свързани с оцеляването и приспособяването в неструктурирана и враждебна среда. Успехите в тези направления създадоха предпоставка за появата на една нова философия в конструирането на адаптивни машини, която е заложена в новото направление.

В основата на БИИМ роботската лежи управление, изградено на основата на централно "неврологично" ядро – осцилатор, към което са свързани "неврологични" разклонения за управлението крайниците. Всеки крайник е автономен и напълно независим от останалите. Разработеният четирикрак мобилен робот, задвижван само

от два двигателя, илюстрира ефективността на използвания за управление на движенията неврологичен контролер.

6. Литература

1. B. Haslacher and M.W. Tilden: *Living machines. Robotics and Autonomous Systems: The Biology and Technology of Intelligent Autonomous Agents*, editor: L. Steels, publisher: Elsevier Publishers 1995. (www.robotalive.com, www.webconn.com/~mwd/beam/living_machines.pdf, downloads.solarbotics.net/PDF/)
2. B. Haslacher and M. W. Tilden. Theoretical foundations for nervous networks and the design of living machines. *Workshop on Control Mechanisms for Complex Systems: Issues of Measurement and Semiotic Analysis Proceedings*. Published by SFI press, 1997. (http://downloads.solarbotics.net/PDF/living_biomech_machines.pdf)
3. S. Still and M.W. Tilden: 'Controller for a four legged walking machine', in: *Neuromorphic Systems: Engineering Silicon from Neurobiology*, editors: L. S. Smith and A. Hamilton, publisher: World Scientific. (http://downloads.solarbotics.net/PDF/fourlegged_walkingmachine.pdf)
4. S. Still and M.W. Tilden: 'Coupled Oscillators and Walking Control: A Hardware Implementation of a Distributed Motor System', in: *Proceedings of the 26th Goettingen Neurobiology Conference 1998*, vol.2, editors: N. Elsner and R. Wehner, p.262. (<http://downloads.solarbotics.net/PDF/CoupledOscillatorsWalkingControl.pdf>)
5. B. Haslacher and M. W. Tilden. Autonomous biomorphic robots as platforms for sensors. DOE Office of Scientific and Technical Information (OSTI) (LAUR-96-3222), 1996.
6. B. Wouter: 'Suspended Bicare', Eindhoven, The Netherlands. (http://www.beam-online.com/Bicare_article/Sus_bic.pdf)
7. Mark Tilden's patent - vsm.freeseervers.com/amiller/patent.html.
8. Official BEAM robotics web said - oldsite.solarbotics.com (www.solarbotics.com)
9. BEAM Reference Library - beamlinks.solarbotics.net
10. www.seattlerobotics.org
11. Robot Workshop Information - www.geocities.com/SouthBeach/6897/beam2.html
12. About BEAM robotics - www.beam-online.com/navigation/_ab.htm
13. BEAM Robotics Philosophy - www.nis.lanl.gov/projects/robot/html/philosophy.html
14. BEAM neural controllers - microcore.solarbotics.net/nvnet.html

Автори:

– маг. инж. Валентин Николов Николов – докторант, секция «Робототехника», катедра « Автоматизация на електрозадвижванията», ТУ-София, e-mail: val_niko@yahoo.com, тел: 0889 497 426.

– доц. д-р. инж. Васил Антонов Балавесов – секция «Робототехника», катедра « Автоматизация на електрозадвижванията», ТУ-София, e-mail: balaves@tu-sofia.bg, тел: 02/965 3258.