



ТЕХНИЧЕСКИ УНИВЕРСИТЕТ – СОФИЯ

Факултет Компютърни системи и технологии

Катедра „Информационни технологии в индустрията“

маг. инж. Галя Веселинова Павлова

**ИЗСЛЕДВАНЕ НА ПРИЛОЖИМОСТТА НА ИЗКУСТВЕНИЯ
ИНТЕЛЕКТ В РОБОТИКАТА**

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

на дисертация за придобиване на образователна и научна степен
"ДОКТОР"

Област: 5. Технически науки

Професионално направление: 5.3. Комуникационна и компютърна техника

Научна специалност: Системи с изкуствен интелект

Научен ръководител: проф. д-р инж. Румен Трифонов
доц. д-р инж. Сергей Недев

СОФИЯ, 2018 г.

Дисертационният труд е обсъден и насочен за защита от Катедрения съвет на катедра „Информационни технологии в индустрията“ към Факултет Компютърни системи и технологии на ТУ-София на редовно заседание, проведено на 08.10.2018 г.

Публичната защита на дисертационния труд ще се състои на 07.02.2019 г. от 15,00 часа в Конферентната зала на БИЦ на Техническия университет – София на открито заседание на научното жури, определено със заповед № ОЖ-5.3-03 от 18.10.2018 г. на Ректора на ТУ - София в състав:

1. проф. д-р инж. Даниела Гоцева – председател
2. доц. д-р инж. Сергей Недев – научен секретар
3. акад. Чавдар Руменин
4. проф. д-р инж. Радослав Йошинов
5. проф. д-р инж. Пламен Матеев

Рецензенти:

1. акад. Чавдар Руменин
2. проф. д-р инж. Радослав Йошинов

Материалите по защитата са на разположение на интересуващите се в канцеларията на Факултет Компютърни системи и технологии на ТУ - София, блок №1, кабинет № 144За.

Дисертантът е задочен докторант към катедра „Информационни технологии в индустрията“ на факултет Компютърни системи и технологии. Изследванията по дисертационната разработка са направени от автора, като някои от тях са подкрепени от научноизследователски проекти.

Автор: маг. инж. Галя Павлова

Заглавие: Изследване на приложимостта на изкуствения интелект в роботиката

Тираж: 30 броя

Отпечатано в ИПК на Технически университет – София

I. ОБЩА ХАРАКТЕРИСТИКА НА ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД

Актуалност на проблема

Изкуственият интелект (ИИ), възникнал по аналогия с естествения и най-вече човешкият, е обект на мащабни изследвания. Разработените методи на ИИ намират все по-широко приложение за решаване на различен клас задачи в цялостната човешка дейност. Предизвикателство за ИИ е приложението му в роботиката, поради факта, че е налице концентрация и многообразие на проблеми за решаване и стремеж за достигане на възможностите на естествения интелект. Роботите от своя страна са множество, което човек е създал и продължава да развива за подпомагане на своята дейност в индустрията, за опознаване и изучаване на самия себе си и заобикалящия го свят. Може да се обобщи, че човекът чрез тях се стреми да създаде небиологичен аналог на живите същества, населяващи земята. И ако интелекта се разглежда не само като аналог с човешкия, може да се добие представа за мащабите на бъдещата дейност за приложение.

Приложението на методите на ИИ в роботиката регистрира множество постижения. Сред най-популярните от тях са роботите SOFIA, ASIMO, MOTOMAN, ATLAS, IBB и др., при които са приложени елементи на интелигентно поведение за различни функционални задачи. Но в глобален мащаб нещата са в ранен етап и има необходимост от изграждане на системен подход и „парцелиране“ на тази дейност в смисъл съответствие на кинематична необходимост и интелект. Изкуственият човек или "железният човек" според трактовката на Карл Чапек, използвал за първи път наименованието "робот", е далечна цел на антропоморфните роботи. Има дълъг път за извървяване от всички подсистеми на роботите - механична, енергетична, сензорна и интелигентна.

Цел на дисертационния труд, основни задачи и методи за изследване

Основната функционална характеристика, която е обща за повечето роботи, е движението и действието. Въвеждането на елементи на ИИ в тези характеристики би подобрило в значителна степен качеството на изпълнение. Това е мотив за формулиране целта и задачите на дисертационната работа.

Цел: Разработване на стратегии за приложение на методи и средства на изкуствен интелект при реализиране на интелигентно движение и интелигентно действие на роботи.

За постигане на формулираната цел е необходимо да се решат следните задачи:

1. Обзорен анализ за приложение на елементи (методи и средства) на изкуствения интелект в роботиката.

2. Да се направи системна оценка за ефективността на методите на ИИ при решаване на задачи в роботиката.
3. Да се разработят кинематични модели за устойчиво движение на крачещи роботи и на среда с типови препятствия, наклони и стълби.
4. Да се предложат обобщени архитектури на модулите (елементите), които задължително притежават роботите с ИИ.
5. Да се проведат експерименти и анализират резултатите.
6. Да се направят обобщени изводи и се формулират авторски претенции.
7. Да се представят перспективи за развитие на проблематиката.

Научна новост

Настоящото изследване слага основа на изграждане на стратегии за приложение на методи и средства на изкуствен интелект при реализиране на интелигентно движение и интелигентно действие на роботи, като се търси целево съответствие между кинематичните и интелектуални възможности. Тези стратегии са подкрепени с някои конкретни примерни решения за гарантиране на устойчивост при движение по наклони и стълби, като се подбират оптимална манипулативност и височинни параметри на всеки крак с използване на елементи на изкуствения интелект.

Практическа приложимост

Предложеният подход за оценка на манипулативността на крак на крачещ робот е подходящ за планиране на траектории за движение и осигуряване на интелигентно поведение при преодоляване на препятствия. Значително полезно е търсенето на мотивирано съответствие на кинематичните и интелектуални възможности, което води до висока ефективност и икономическа целесъобразност на проектираните роботи. Получените примерни резултати могат директно да се използват при разработка на роботи от този тип. Най-висок резултат този подход ще постигне при въвеждане в учебния процес при подготовка на специалисти с висша квалификация.

Апробация

Дисертационният труд е апробиран в основните си части на следните научни форуми:

- Проект по НИС към ТУ – София в помощ на докторант №172ПД0001-09 на тема „Изследване приложимостта на изкуствения интелект в роботиката“;

- International Conference on Computer Systems and Technologies CompSysTech'18;
- International Conference "Automatics and Informatics" 2016 и 2017
- International Conference on Information Technologies InfoTech-2016 и InfoTech-2017;
- Международна научна конференция „Образование, наука, иновации“ ESI'17
- International Scientific Conference Computer Science'2015

Публикации

Основни постижения и резултати от дисертационния труд са публикувани в 8 публикации, от които 1 самостоятелна. Една от публикациите е в списание, останалите са представени на международни научни конференции в България и чужбина. Седем са на английски и една е на български език.

Структура и обем на дисертационния труд

Дисертационният труд е в обем от **170** страници, като включва увод, 5 глави за решаване на формулираните основни задачи, списък на основните приноси, списък на публикациите по дисертацията и използвана литература. Цитирани са общо **80** литературни източници, като **66** са на латиница и **2** на кирилица, а останалите са интернет адреси. Работата включва общо **47** фигури и **5** таблици. Номерата на фигурите и таблиците в автореферата съответстват на тези в дисертационния труд.

II. СЪДЪРЖАНИЕ НА ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД

ГЛАВА 1. ОБЗОРЕН АНАЛИЗ ЗА ПРИЛОЖЕНИЯ НА ЕЛЕМЕНТИ (МЕТОДИ И СРЕДСТВА) НА ИЗКУСТВЕН ИНТЕЛЕКТ (ИИ) В РОБОТИКАТА

Направеният обзорен анализ показва съществуването на множество методи, алгоритми и програмна реализация на методи на ИИ, които намират приложение за решаване на широк кръг задачи за подпомагане на човешката дейност. Тъй като все още не е разкрито напълно функционалното действие на човешкия мозък и преди всичко начина на креативното мислене, няма разработени стратегии за групиране на методите при решаване на сложни задачи.

Две са основните тенденции за приложение на изкуствения интелект в роботиката.

Първата предполага разработване на интелигентна система - аналог на човешкия мозък с възможност за обработка, интерпретация и комуникация

на информация от множество сензори, които имат характеристики, подобни на човешките сетива.

Втората е свързана с конкретно ориентирани работи за реализиране на движение и действие, както и създаване на модел на интелигентно поведение, аналогично на човек и други живи същества, обитаващи земята.

Специализираните разработки за решаване на една или малка група задачи чрез работи, притежаващи елементи на ИИ, дава по-добри, по-надеждни и икономически изгодни резултати. За ефективното прилагане на втория подход, както бе отбелязано по-горе, се изисква предварителна подготовка, свързана с познаване на възможностите на методите на ИИ за компенсиране на ограничените възможности на механичната и сензорни системи.

Целта на обучението в роботиката е роботът да може да се справя в непредвидени ситуации и обстоятелства в заобикалящата го среда (например промяна на терена) или вътрешното му състояние (повреда на задвижването, сензорите, загуба на енергия и др.), т.е. да се адаптира към промени за да работи пълноценно, а също и да оцелее физически. Освен това, трябва да се координират едновременно три системи: възприятието на робота, неговите действия и неговата памет (какво и как е направено на предишна стъпка).

ГЛАВА 2. СИСТЕМНА ОЦЕНКА ЗА ЕФЕКТИВНОСТТА НА МЕТОДИТЕ НА ИИ ПРИ РЕШАВАНЕ НА ЗАДАЧИ В РОБОТИКАТА

2.1 Базови характеристики на роботите, изискващи приоритетно приложение на елементи на ИИ

Най-общо роботите се делят на две групи - стационарни (индустриални) и мобилни. И за двете групи движението се явява базова характеристика, а втората по важност е действието (извършване на определена работа на място или в движение).

Основните качества за определяне на дадено движение на робот като "интелигентно" са свързани с изискванията за колаборативност и вземане на решение за избор при определени външни (параметри на средата в която се реализира движението и очаквани промени) и вътрешни (моментно състояние на системите на робота и следене на изменението в течение на времето) условия.

Действието на робота се определя като "интелигентно" когато взема решение за най-добро изпълнение (по желани параметри - качество, производителност и др.) на зададената задача при динамично променящи се външни и вътрешни условия (състояние на робота), а при невъзможност прави отказ, като информира най-близкото ниво в йерархията на управлението.

2.2. Избор на алгоритъм за машинно обучение

Целта на машинното обучение е да се построи най-точен модел, който ще отговаря най-добре на поставена задача. Внедряването на методите на машинното обучение включва постановка на задачата, изучаване и подготовка на данните, моделиране (построяване на прогнозен модел и подбиране на неговите параметри), оценка на получения модел, неговото реализиране и поддръжка. В таблица 2.1 е представено обобщение на теоретичната способност на тези методи да отговорят на основните предизвикателства на приложенията в индустриалната и мобилна роботика.

Таблица 2.1

Изисквания/задачи	Теоретични възможност на методите за машинно обучение да отговорят на тези изисквания
Способност да се справят с множество обемни задачи и голям набор от данни с разумни усилия	Някои техники за машинно обучение (напр. SVM) са в състояние да се справят много добре с големи масиви от данни. Въпреки това, трябва да се имат предвид съпътстващи проблеми, като напр. преоразмеряване
Способност да се редуцира евентуалната сложност на резултатите и да се предоставят прозрачни и конкретни препоръки за действие	В състояние са да извличат модела от съществуващите данни и да направят прогнози относно бъдещото поведение на робота. Тази нова информация (знания) може да подпомогне вземането на решения или да се използва автоматично за подобряване на системата
Способност за адаптиране към променящата се среда с разумни усилия и разходи. В идеалния случай се цели "автоматизирана" адаптация към променящото се състояние	Обучението и автоматичното адаптиране към променящите се среди е основна сила на ИИ. Проектантът на роботизираната системата не трябва да предвижда и да предоставя решения за всички възможни ситуации.
Способност за усъвършенстване на съществуващите знания чрез обучение от резултатите	Допринася за създаването на нова информация и евентуално познаване, напр. идентифициране на модели и закономерности в съществуващите данни
В началото да се работи с наличните данни без специални изисквания за извличането на специфична информация (особено важно при индустриалните работи)	Алгоритмите за машинно обучение са предназначени да извличат знания от съществуващите данни, които стават полезни само когато се анализират и се превърнат в информация, която може да бъде използвана, напр. за прогнози
Способност да се идентифицират релевантни връзки вътре и извън процесите и да се постига идеална корелация и/или причинно-следствена връзка	Някои от алгоритмите имат за цел да се открият някои модели или закономерности, които описват отношенията и връзките

При избора на метод от ИИ трябва да се имат предвид следните параметри: точност (предварително да се направи оценка до каква степен е необходимо приближението на резултата и за каква цел той ще бъде използван); време за обучение; линейност на алгоритмите за машинно обучение; брой на параметрите (влият върху поведението, времето за обучение или точността на алгоритъма); брой на характеристиките.

При избора на оптималните параметри на метода, подбирането на признаците и самия модел на данните, трябва предварително да се зададе формален критерий за качество.

2.3. Най-често използвани елементи на ИИ в роботиката

Маркираните базови характеристики не изчерпват всички потребности за използване на елементи на ИИ в роботиката. В този смисъл може да се отбележи, че е невъзможно да се направи пълна оценка за възможностите на приложение на известните методи на ИИ. Двете области, ИИ и Роботика, се развиват динамично. Сечението „Роботи с ИИ“ се разширява непрекъснато. Тук се прави оценка за моментното състояние, като няма претенции да бъде напълно изчерпателно.

Направено е сравнение на алгоритмите за обучение с учител, обучението без учител и обучението с утвърждение.

Една от основните области на приложение на алгоритмите, вдъхновени от природата (АВП), която привлича все повече внимание, е управлението на мобилни роботи, тъй като общите алгоритми на ИИ срещат трудности поради сложността на изчисленията и зависимостта от високо-прецизни сензори. В табл. 2.2. са дадени накратко предимствата, недостатъците и приложенията на някои АВП в роботиката – изкуствена имунна система, бактериална оптимизация на търсенето, мембранните и ДНК изчисления, самостоятелен геномен алгоритъм и др.

Систематизирани са най-често използваните методи и алгоритми на ИИ и в таблица 2.4 са показани най-важните предимства и недостатъци на най-често използваните от тях в роботиката – дърво на решенията, клъстеризация, регресия, размита логика, генетични алгоритми, невронни мрежи, дълбоко обучение.

ГЛАВА 3. БАЗОВИ КИНЕМАТИЧНИ МОДЕЛИ НА РОБОТ

3.1 Основи на кинематичното моделиране

Ефективното приложение на методите на ИИ е свързано със съставяне на адекватни кинематични модели за определяне позиция, скорост и ускорение на характерни точки. Те трябва да се представят чрез база знания и база

данни. Така лесно се преминава от кинематичен модел към конкретен робот и планираните с него движения и действия.

Освен за робота, моделиране е наложително да се направи и по отношение на средата (за мобилните роботи - терена), в която се реализира движението. Същото се отнася и за действието, което е планирано да се изпълни. Моделирането е конкретно за всяка технология. Тези модели трябва да очертаят променливите параметри, интензивността и границите на допустимата промяна.

Моделирането се определя като стратегия за приложение на методите на ИИ в роботиката, която заслужава специално изследване и развитие. Тук се илюстрира идеята чрез някои примери, които нямат претенции за изчерпателност.

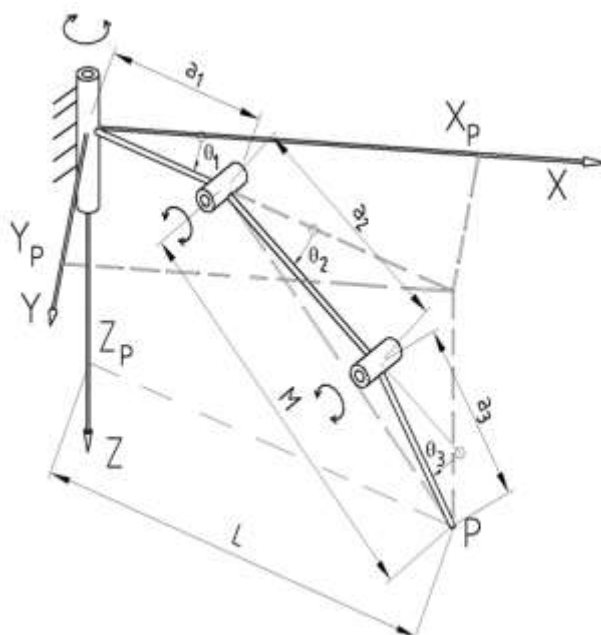
3.1.1 Данни за робота и кинематични зависимости

Роботите с шест крака са утвърдени като една широко използвана платформа в мобилната роботика. Освен размерите на тялото съществен момент представлява избора на краката. Една много често използвана структура, както за манипулациите, така и за крака на крачещите роботи е показана на фиг. 3.1.

Кинематични зависимости. Движението (позиция, скорости и ускорения на характерни точки) минава през решаване на правата и/или обратната кинематична задача. По метода на Денавит и Хартенберг са поставени координатните системи в кинематичните двойки (ставите), а параметрите (постоянни и променливи) са дадени в таблица 3.1. Структурата и метричните размери на крак/а е показана на (фиг.3.2 b).



a)



b)

Фиг. 3.3. . a) Робот Hexy и b) геометрични параметри

Три независимо управляеми сервомотора задвижват крака, което му позволяват да реализира различни траектории в работно пространство. Две от ротациите са с успоредни оси, а третата е перпендикулярна на тях (фиг.3.3b) и е захваната към тялото на робота.

За праволинейното движение интерес представлява позицията X на върха на крайното звено P на крака, без да се отчита ориентацията му. Координатите на $X = [X_i, Y_i, Z_i]^T$ се определят като функция от ставните ъгли $q = [\theta_{i1}, \theta_{i2}, \theta_{i3}]$ чрез зависимостта:

$$X = T_i q, \quad (3.6)$$

където T_i е матрица от вида:

$$T_i = \begin{bmatrix} \cos\theta_{i1}(a_1 + a_2 \cos\theta_{i2} + a_3 \cos(\theta_{i2} + \theta_{i3})) \\ \sin\theta_{i1}(a_1 + a_2 \cos\theta_{i2} + a_3 \cos(\theta_{i2} + \theta_{i3})) \\ a_2 \cos\theta_{i2} + a_3 \sin(\theta_{i2} + \theta_{i3}) \end{bmatrix}, \quad (3.7)$$

а a_1, a_2, a_3 и $\theta_{i1}, \theta_{i2}, \theta_{i3}$ са линейни размери и ъглови завъртания съгласно фиг.3.3b.

От израза (3.7) се намира решение на правата задача на кинематиката. Като се ползват тригонометричните зависимости и параметрите, дадени на фиг.3.3b, се намира решение на обратната кинематична задача (определят се ставните ъгли θ_i ($i=1, 2, 3$) по известни координати на точка P от стъпалото):

$$\begin{aligned} \theta_1 &= \text{atan} \frac{Y_P}{X_P} \\ \theta_2 &= \text{atan} \frac{Z_P}{(L-a_1)} \mp \text{acos} \left(\frac{a_3^2 - a_2^2 - M^2}{2a_2 M} \right) \\ \theta_3 &= \mp \text{acos} \left(\frac{M^2 - a_2^2 - a_3^2}{2a_2 a_3} \right), \end{aligned} \quad (3.8)$$

където: $L = \sqrt{X_P^2 + Y_P^2}$; $M = \sqrt{Z_P^2 + (L - a_1)^2}$.

Като се ползва решение (3.8) се определят ставните координати като функция на декартовите координати на точка P , които се използват в управлението на поведението на крака.

В различни точки от работното пространство на крака механизмът има различна манипулативност. Връзката между скоростта на $V_f = [V_x \ V_y \ V_z]^T$ и ъгловите скорости $\dot{q} = [\omega_1 \ \omega_2 \ \omega_3]^T$, реализирани от двигателите в ставите е:

$$V_f = J(q)\dot{q}, \quad (3.9)$$

където $J(q)$ е матрицата на Якоби за механичната система на крака:

$$J(q) = \begin{bmatrix} -s_1(a_1 + a_2 c_2 + a_3 c_{2+3}) & -c_1(a_2 s_2 + a_3 s_{2+3}) & -a_3 s_{2+3} c_1 \\ c_1(a_1 + a_2 c_2 + a_3 c_{2+3}) & -s_1(a_2 s_2 + a_3 s_{2+3}) & -a_3 s_{2+3} s_1 \\ 0 & a_2 c_2 + a_3 c_{2+3} & a_3 c_{2+3} \end{bmatrix}. \quad (3.10)$$

Тук с s_1, s_2 е означено $\sin(\theta_1)$ и $\sin(\theta_2)$, $c_1, c_2 - \cos(\theta_1)$ и $\cos(\theta_2)$, а s_{2+3} а, c_{2+3} - съответно $\sin(\theta_2 + \theta_3)$ и $\cos(\theta_2 + \theta_3)$. За една конфигурация на робота матрицата (3.10) се възприема като таблица с предавателни числа на механизма. Връзката между двигателните моменти $\tau = [\tau_1 \ \tau_2 \ \tau_3]^T$ в ставите и външните силови въздействия $F = [F_x \ F_y \ F_z]^T$ се определя от:

$$\tau = J^T(q)F. \quad (3.11)$$

Съществуват точки (сингулярни), в които има неопределеност. За да изпълнява правилно заданията за придвижване на крака е необходимо той да е конструиран така, че да се избягват сингулярните конфигурации. Този проблем може да се избегне и с правилно планиране на траекториите.

За нередундантни (без излишни степени на свобода) механизми, какъвто е и разглеждания пример, изразът може да се опрости до $H_m(q) = |\det J(q)|$. Манипулативността задава максимално разстояние до сингулярна конфигурация. Детерминантата на матрицата на Якоби може да се тълкува като мярка на обема на елипсоида. В сингулярна конфигурация, поне един от радиусите на елипсоида е нула, обемът също е нулев.

Диапазонът на изменение на детерминантата на матрицата на Якоби по траекторията за движение на стъпалото на крака е:

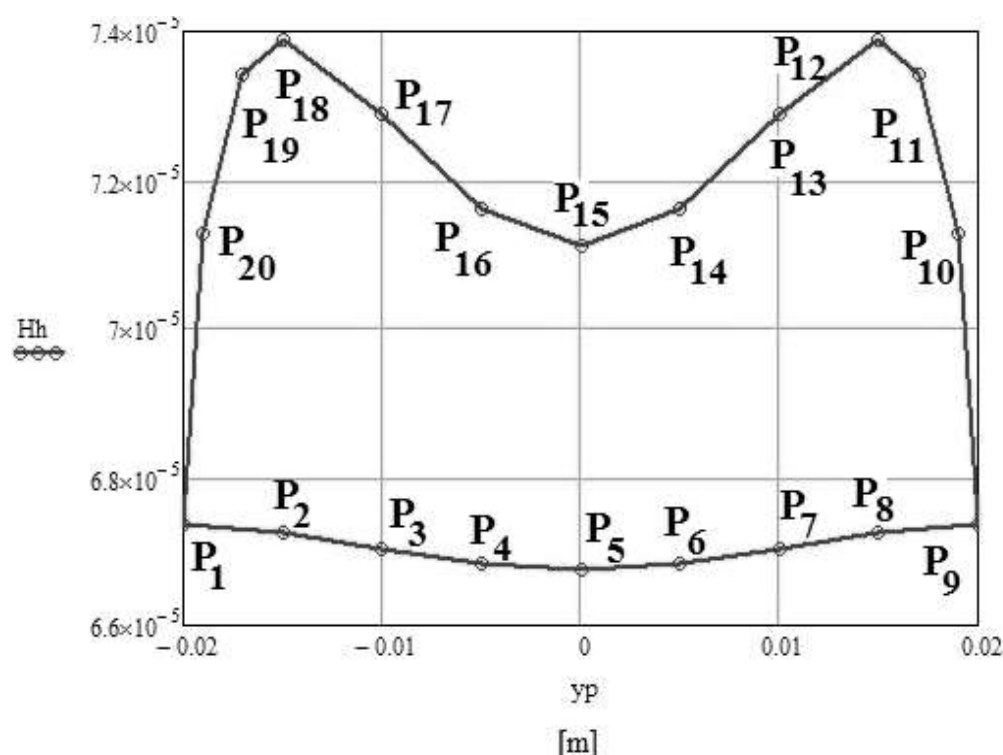
$$\mu = \frac{\min |\det J(q)|}{\max |\det J(q)|} = \frac{\min H_m}{\max H_m}, \quad (3.12)$$

където $\min H_m$ и $\max H_m$ са минималната и максималната стойност за $H_m(q)$ в разглежданото множество от точки.

Разглежда се числен пример, при който дължините на звената на крака са съответно $a_1 = 0.03[m]$, $a_2 = 0.04[m]$, $a_3 = 0.03[m]$. Зададена е типична траектория за движение на крака, която се състои от прав участък - отсечка ($Zp = -0.05[m]$; $-0.02 \leq Yp \leq 0.02$, при $Xp = -0.06[m]$) и дъга от окръжност – радиус на дъгата $R=0.02[m]$, център $C(0.06, 0.0, 0.005)$ (фиг.3.4). Движението на крака по правия участък (точки P_1 - P_9) съответства на опорната фаза, при която стъпалото е в контакт с терена. Втората част от траекторията е при свободно стъпало (точки P_{10} - P_{20}) – липсва контакт между крака и терена.

Получават се две еднакви максимални стойности за безразмерната величина на манипулативността при $p = -0.005[m]$ и

$y_p = +0,005[m]$; $\max H_m = 7,388.10^{-5}$. Минималната стойност е при $y_p = 0.0[m]$, $\min H_m = 6,675.10^{-5}$. От (3.12) следва, че диапазонът на изменение на $\det(J(q))$ е $\mu = 0.9035$ за разглежданата траектория.

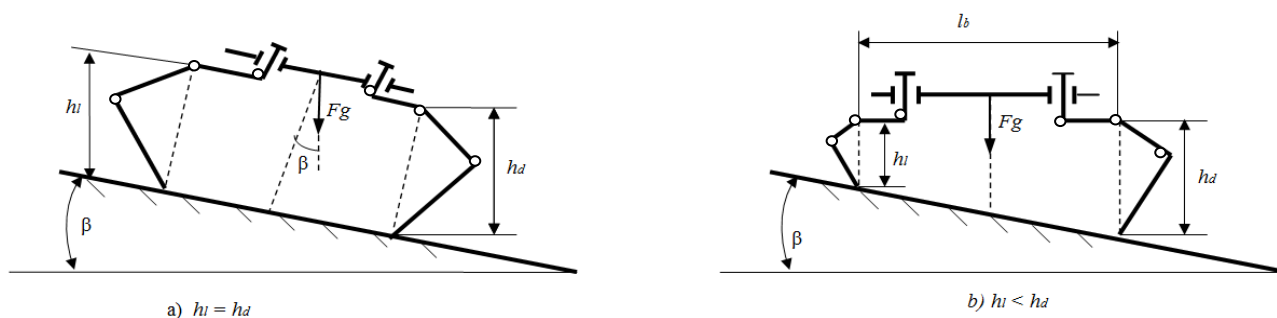


Фиг. 3.5. Манипулативност на крак от робота при движението му по зададената траектория

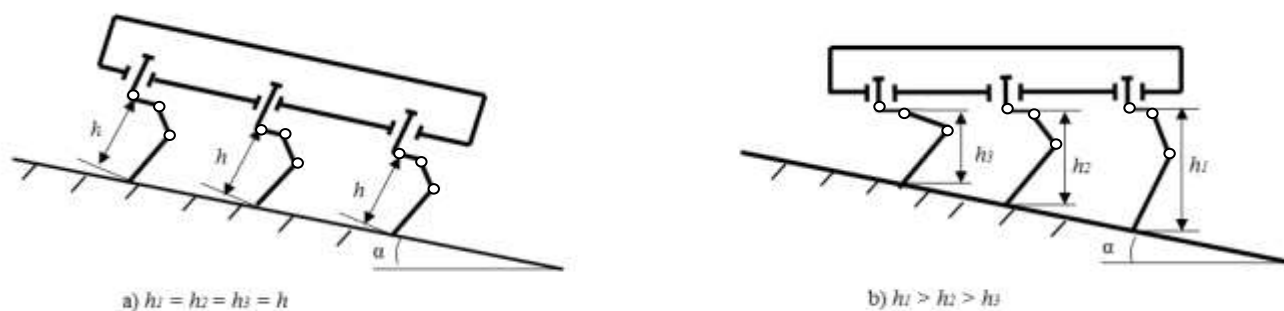
3.3 Поведение на крачещ робот с шест крака при движение по наклонени терени и стълби

Използването на крака е свързано със създаване на аналози на животни, влечуги и насекоми (Biological Inspired Robots). Днешните постижения на роботите от този клас са все още далеч от своите живи аналози. Отстъпват по всичките основни системи: механична, енергийно-захранваща, сензорна и управляваща.

Моделът на поведение при движение на крачещ робот в неструктурирана среда с неопределени препятствия, част от които са наклони терени и стълби, се прави при изключително рестриктивни условия по отношение на трите основни фактори: Роботът има общо 18 степени на свобода (по 3 за всеки крак); Сензорите дават информация за наклона и параметрите на стълбите (височина и ширина на стъпалото); Архитектурата има възможност за вземане на решения в конкретни условия.



Фиг. 3.1 Движение по надлъжен (страничен) наклон. а) при еднаква височина на краката и б) – при променлива



Фиг. 3.9 Движение по напречен наклон. а) при еднаква височина на краката и б) – при променлива

При странични наклони височината на краката на лявата, респективно дясната, страна се определят съобразно наклона:

$$h = l_2 \cos \theta_2 + l_3 \cos \theta_3 \quad (3.13)$$

$$k_i = l_2 \sin \theta_2 - l_3 \sin \theta_3$$

Зависимостите (3.13) се отнасят за конкретната структура на краката, но биха могли да се изчисляват и за други. Същият подход е приложим и за наклони напречни на оста на движение:

$$h_l = h_g - (m + k_l + k_g) \sin \beta \quad (3.14)$$

Така при качване на стълби с наклон α се получава:

$$h_2 = h_1 - (l_1 + k) \sin \alpha \quad (3.15)$$

3.4 Движение при частична и пълна загуба на мобилност на крак/а

3.4.1. Причини и възможни комбинации на частична и пълна загуба на мобилност на един или повече крак/а

По време на работа роботите могат частично или напълно да загубят мобилност в някои от краката по различни причини. Продължаването на движението по планираната траектория и запазването на стабилността изисква промени в движението на останалите крака. За тази цел трябва да бъде осигурена стратегия в програмната реализация на движението.

Разгледани са различните причини за частична и пълна загуба на мобилност на крак/а. Ако двигателите на крака са номерирани 1, 2, 3, започвайки от тялото на робота (фиг. 3.11), тогава нормалната подвижност на крак е 123 и пълна неподвижност - 000. Когато има повреда в един от двигателите, възможните комбинации са: 023; 103; 120 , а при повреди в два от двигателите съответно 003; 020 и 100.

Ако един и същ подход е приложен към шестте крака на робота и краката са номерирани 1, 2, 3, 4, 5 и 6 и ако краката, обозначени с четни номера, са разположени от едната страна, а краката с нечетни – от другата, и възможните комбинации са:

- Когато един крак е деактивиран: 023456; 103456; 120456; 123056; 123406 и 123450.
- Когато два крака са извън действие:
 - от същата страна: 020456; 120406; 103056 и 123050;
 - съседно противоположно: 003456; 120056; 123400.

Стабилното движение е трудно да се осъществи, ако три крака са извън действие, но възможните комбинации са: 003056; 003450; 023050; 100056; 100450; 120050; 103006; 103400 и 123000.

3.4.2. Проблеми в методите за валидиране на моментното състояние на робота

Роботите, като всяко мобилно средство, се нуждаят от техническа поддръжка, тъй като дори при предвидени условия на експлоатация променят характеристиките си във времето. Това в значителна степен се отнася за работи, използвани за движение и действие в екстремни условия. Освен регулярните и предвидени в инструкциите за експлоатация проверки се налагат и извънредни при настъпване на критични ситуации. На база допустими и недопустими повреди се вземат решения как да продължи изпълнението на задачата - отиване до целевата работна позиция или до най-близката ремонтна база, респ. станция за зареждане.

Без претенции за цялостно разписване на проблема, наложителна е оценка за:

- Състоянието на енергийния източник (батерия) и възможност за достигане на целевата позиция с наличната енергия;
- Проверка на сензорно информационната система. При необходимост самодиагностика и/или въвеждане в експлоатация до най-близката ремонтна база;
- Оценка на състоянието на системата за придвижване по управляемите степени на свобода и по-точно способността за коректно отработване на подадените управляващи команди.

3.5. Подход за изграждане на стратегии за движение

Обикновено при решаването на какъвто и да е проблем се търсят най-преките пътища за изпълнение. Така стоят нещата и при организиране на движението и действието с мобилни роботи. Често пъти влизайки в подробности за решаване на конкретен проблем, се пропускат съществени факти, които опорочават решението и/или намаляват ефекта, а в някои случаи го правят невъзможно за изпълнение. За да се избегнат такива колизии е наложително преди търсене на конкретни решения да се изгради концептуално стратегия, в която по възможност се маркират всички проблеми, които стоят за решение и пренебрегването на които биха опорочили крайния резултат. Това са най-трудните задачи, тъй като предполагат по-широк кръг от знания и поглед към решаване на проблема.

3.5.1. Типизиране на функционалните задачи и нива на съответствие:

Задача 1. Инициализация. Роботът трябва да разполага с глобалната карта за първоначалната позиция, дестинацията, финалното работно пространство и моментното си състояние. Трябва да се направи мониторинг на сензорите, задвижванията, последователността на изпълнение на командите и обратната връзка.

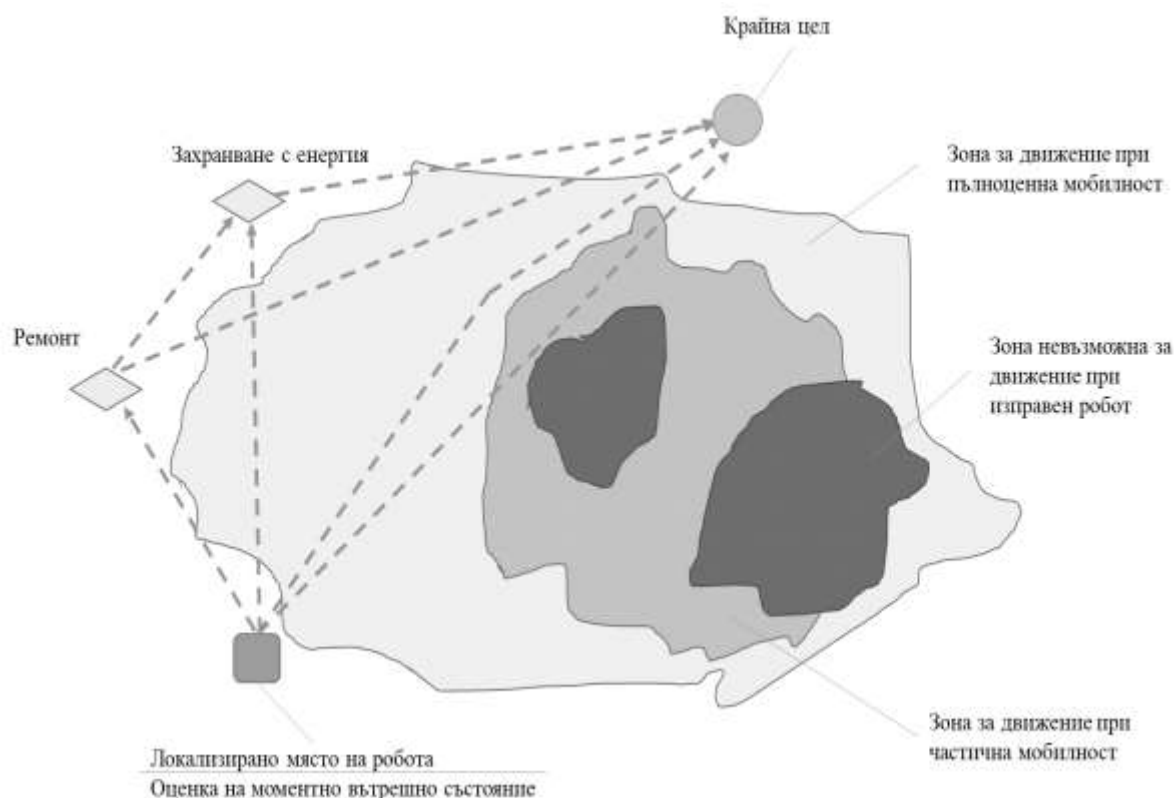
Задача 2. Планиране. На база глобалната карта в 2D или 3D трябва да се планира траектория, по която да се придвижи робота. Тя трябва да бъде енергийно-оптимална, съобразена според пълна или частична мобилност и възможността на робота да преодолява наклони и препятствия. Ако мощността на робота не е достатъчна, трябва да се вземат мерки преди стартиране на операцията (например дозареждане на батерията).

Задача 3 Движение. Когато стартира изпълнение на задачата за движение към целевата позиция, сензорната система трябва да следи за непредвидени обстоятелства, свързани с всички промени в средата и състоянието на робота.

Задача 4 Действие. Роботът трябва да пристъпи към действие за достигане на целевата позиция и според състоянието си изпълнява напълно или частично задачата.

3.5.2. Примерна сцена на действие в 2D пространство

Една примерна сцена на действие според предлаганата стратегия е показана на фиг. 3.13. Локализиране на робота е маркирано. От тази позиция се изгражда стратегия за придвижване до целевата точка, където е предвидено действието. С наличните на робота и външни сензори се картографира средата, в която предстои движението и кое е най-близкото разстояние на възможно придвижване. Определя се състоянието на енергийния източник от гледна точка на параметри за осигуряване с енергия до целевата позиция и ако е достатъчно не се планира допълнително захранване. След това се оценяват моментните кинематични възможности на робота за придвижване и изпълнение на планираното действие. Ако състоянието позволява се планира траектория с преодоляване и/или заобикаляне на препятствия по пътя.



Фиг. 3.13 Примерна сцена на действие на робот

Предлаганата стратегия за развитие на интелигентни методи в мобилната роботика предполага използването им в концептуалното планиране, което не изключва и другите нива. Целта е да предпази изследователите от решения, които не са съобразени с глобалната действителност и след продължителна работа да се върнат на изходна позиция. Интелектът трябва да предпазва от

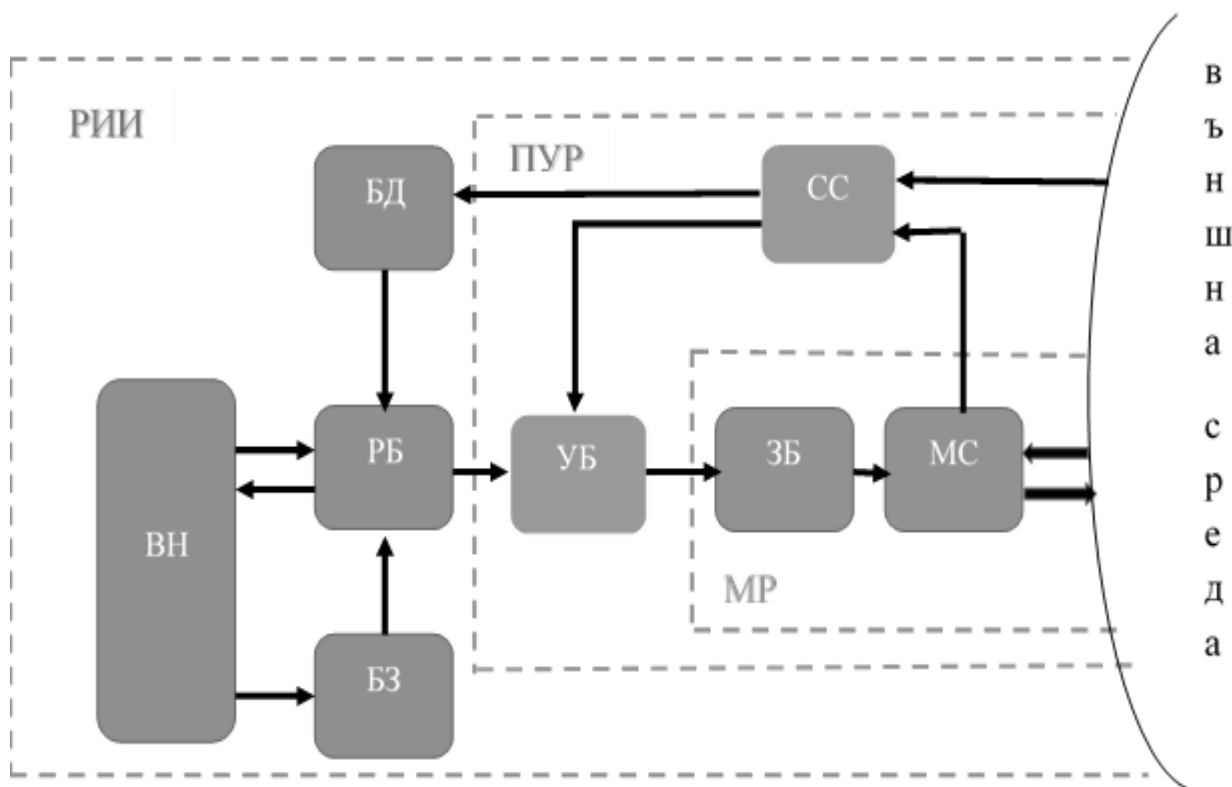
неразумни действия, а не само да ги констатира. Предстои още много да се работи в това направление за да се типизират задачите и подходите за конкретни решения.

ГЛАВА 4. ОБОБЩЕНИ АРХИТЕКТУРИ НА РОБОТИТЕ С ЕЛЕМЕНТИ НА ИИ

4.1 Обобщена архитектура на робот

Роботиката е изключително широка област за да се обобщи и представи с една архитектура. Проблемът е сложен дори когато става дума за интеграционното сечение – работи с елементи на ИИ. При обособяването на структурните елементи и системи, изграждащи съвременните роботи, е целесъобразно да се подходи по аналогия на човек и функционалното предназначение на неговите органи и системи. На фиг.4.1 е показан опит за обобщена схема. Трябва да се направи уговорката, че в някои роботи (преди всичко в индустриалните), липсват някои от компонентите. Въпреки, че и за тях с развитието на автономните системи, ще запазят функционалното си предназначение (да заваряват, боядисват, почистват отливки, монтират и др.), но с по-големи възможности да вземат самостоятелни решения чрез елементите и методите на изкуствен интелект.

Както бе отбелязано роботиката е изключително широка област. В архитектурен план е целесъобразно да се категоризират в три групи (фиг. 4.2):



Фиг. 4.2 Три архитектурни групи на роботи

МР – Механични работи (манипулатори), които притежават „твърдо“ програмно управление. Според енергоносителя те биват електро-, хидро- и пневмомеханични. Основните блокове са: МС- механична система която осигурява необходимите движения и ЗБ – задвижващ блок, осигуряващ енергията и устройства (двигатели) за преобразуване в механични движения.

ПУР – програмно управляеми работи. С тях стартира т.н. „електронна ера“ на роботите, характерна с това, че движението се осъществява от софтуерни програми. Допълнителните блокове са: СС – сензорна система и е управляващият блок (УБ).

РИИ – работи с елементи на ИИ. Този клас работи имат възможности за промяна на програмно зададените параметри при настъпване на непланирани условия (поява на „препятствие“ по траекторията на движение, на силите на взаимодействие и т.н.) и след възстановяване на нормалните условия движението и действието продължават по заложената програма. С други думи те имат възможности да вземат на решения за промяна на движението и действието при отклонения от предварително заложените условия. На това ниво се добавят: БД – база данни, в които са включени освен данни от сензорите и други характерни за системата; БЗ – база знания необходими за вземане на решения; РБ – решаващ блок, който на основа наличните база данни и знания взема адекватни решения за движение и действие и ВН – външно ниво на комуникация със себеподобни и/или супервайзор.

Използваните в съвременните работи сензори се структурират на вътрешни и външни. Предназначението на вътрешните сензори е за измерване на кинематичните (положение, скорост и ускорение), динамичните (двигателен момент, сили) и енергийните (мощност и капацитет на батериите, температура) параметри на роботите.

4. 2. Функционални звена в архитектури на интелигентните работи

Всеки робот, притежаващ елементи на ИИ, съдържа следните архитектурни компоненти:

Изпълнителни органи, които реализират движението и действието (манипулатори, ходова част и други устройства за придвижване, чрез които роботът си взаимодейства с околната среда).

- **Сензори за възприятие и оценка на външната среда и вътрешното състояние (диагностика) на работа**, които функционално за касаят системи за техническо зрение, слух, осезание, локатори и други устройства, които позволяват да получава информация за околната среда.
- **Система за управление** – това е хардуера, който осигурява програмно управление съобразено с информация от сензорите и

управлява изпълнителните органи, а при наличие на ИИ взема решения съобразно настъпилите промени спрямо предварително зададените. В тази система влизат следните функционални (софтуерни) компоненти:

- **Модел на околната среда** – запомня състоянието на обектите и техните **свойства**, като моделът се изготвя в термини, удобни за съхранение и обработка от робота;
 - **Система за разпознаване** – Нейната задача е идентификация на предметите и тяхното положение в пространството, в която роботът оперира. На базата на получените резултати от работата на тази система се изгражда действителния модел на околната среда;
 - **Система за планиране на действията** - осъществява «виртуалното» преобразуване на модела на **околната среда** (последователност от елементарни действия) с цел извършване на определено действие, като обикновено се проверява достигането на поставената цел.
- **Система за извършване на действия** – изпълнява планираните действия, подавайки команди към изпълнителните устройства и контролира процеса на изпълнението им. Ако изпълнението на **планираното** действие (излезе извън границите заложи за адаптивна промяна - технологична адаптация) е невъзможно, процесът се прекратява и трябва да се направи ново (пълно или частично) репланиране.
 - **Система за управление на целите** – определя йерархията, т.е. значимостта и редът на достигане на поставените цели. Важно свойство на системата за управление е способността за обучение и адаптация, т.е. трябва да може да настройва своето поведение в съответствие с промяната на околната среда за да може да изпълни поставените цели.

Обща архитектура на управляващата система на робот, основана на знания е показана на фиг. 4.3. Известни са три типа архитектури за управление на интелигентни работи: делиберативен (deliberative), реактивен и хибриден. Разликата между тях е в компонентите за възприемане, планиране и действие.

Сравнявайки тези архитектури се вижда, че делиберативните архитектури могат да генерират оптимизирани траектории за работа, т.е. те са високо интелигентни (когнитивни). Те обаче силно зависят от точността и пълнотата на модел на околната среда, скоростта на отговор е по-ниска. Също така, хибридните архитектури се нуждаят от частично познаване на околната среда, за да осъществят планиране на движението. Реактивните архитектури

от своя страна имат по-бърз отговор на динамичните промени в околната среда, не е необходимо предварително да я познават и са много по-прости за изчисление. Те обаче са по-ниско интелигентни.

Ако се разгледа архитектурата на робот в по-широк план, трябва да се представи структурата и геометрията на механичната система, която осигурява движенията по видове, стойности, взаимно разположение, кинематични и динамични възможности. В случая става дума как могат да се осигурят адаптивни възможности при налични движения на краката и робота като цяло при гарантиране на статично устойчиво движение по наклони и стълби. В последствие се предвижда и устойчиво движение при частична загуба на мобилност на крак/а. Това предполага най-напред избор на типа на походката. За роботите с шест крака най-стабилни са: Tripod Gait – три опорни и три повдигнати крака (3+3); Ripple Gait – повдигнати два от противоположната страна и последователно редуване (2+2+2); Wave Gait – последователно изреждане на краката (по изключение последователността може да бъде нарушена).

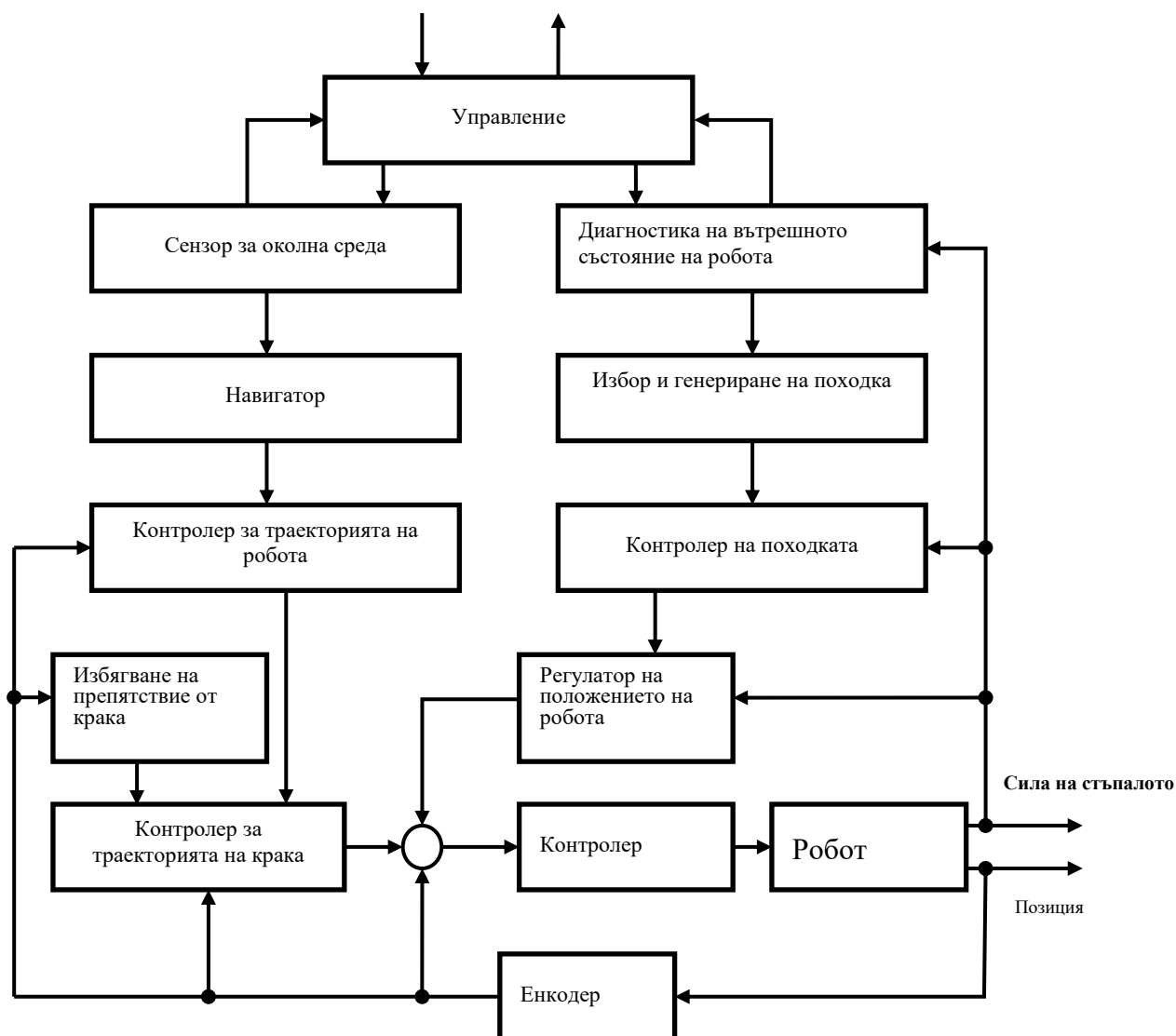
Когато повърхнината, по която се реализира движението, има променлив характер (наклони, стълби, лабиринти и др.) се взема решение за използване на съответния модел. Тази процедура притежава различни нива на сложност и решенията трябва да се търсят чрез типизиране на ситуациите. Съществен момент за избор на вярното решение се явява моментното състояние на робота. За целта се активира блока за диагностика. Тя включва състояние на захранването с енергия, осигуреност на всяка степен на свобода по отношение на права и обратна връзки и т.н. При наличие на неизправности се предвиждат и съответни действия.

Блокът *избягване на препятствие от крака* (фиг. 4.5) е предназначен за търсене на подходящо място за стъпване. В условията на силно изменяща се среда и по-точно където геометрията на повърхнината за реализиране на движението е изключително сложна (например по повърхнини на срутени сгради), трябва да се търси мястото за стъпване на всеки крак. Трябва да се прави и оценка как това място би се отразило на устойчивостта на робота. Логично тази оценка минава през обмяна на информация с блока *Контролер за траекторията на робота*. Освен за устойчиво положение в този блок се търсят решения за заобикаляне/избягване и преминаване през препятствия.

Този клас задачи предполагат роботът да е окомплектован с подходящи и целево разположени сензори, като най-високо ниво се смята техническо зрение. Природата многократно е доказала, че успешно движение за малки и средни разстояния може да се получи и при получаване на информация от други сетива.

Използваните в съвременните роботи сензори се структурират на вътрешни и външни. Предназначението на вътрешните сензори е за измерване на кинематичните (положение, скорост и ускорение), динамичните

(двигателен момент, сили) и енергийните (мощност и капацитет на батериите, температура) параметри на роботите.



Фиг. 4.5 Архитектура на система за управление с възможност за адаптивно поведение на робота към наклони на терена и качване на стълби

Задачите на външните сензори обикновено се свързват с картографиране на работната среда, локализация и навигация на робота, идентификация на препятствия по сцената по време на придвижването на робота, както и целеви инспекции на обекти и/или параметри на средата. При мобилните роботи сензорните им системи могат условно да се разделят на четири групи: навигационна, картографираща, целева и управляваща.

Анализът на данните показва, че за измерване на средни разстояния се използват предимно сонари с обхват от $1 \div 7$ m. За измерване на разстояния в диапазона от $10 \div 80$ cm се използват основно инфрачервени (IR) сензори, разположени предимно в основата на платформите. За определяне на абсолютната равнинна и пространствена ориентация се използват електронни

цифрови компаси и жирокопи, комбинирани с акселерометри. Напоследък роботите използват GPS система за определяне на глобалното си местоположение.

Картографирането на работната среда е свързано с придобиване на пространствени модели на средата, на базата, на която се планира безопасен маршрут за достигане до крайната дестинация.

ГЛАВА 5. ЕКСПЕРИМЕНТАЛНА ПРОВЕРКА

5.1 Видове алгоритми за стабилно крачене при шесткраките роботи

Алгоритмите на походките, разгледани в настоящето изследване, са на основата на биологичния подход – редът на елементарните движение е подобен на този при насекомите или животните. Движението на крак на робот, който имитира животни и насекоми, може да бъде описан по следния начин:

1. Кракът се повдига.
2. Кракът се премества по посока на движението на робота.
3. Кракът се спуска докато достигне земята.
4. Кракът се премества в посока, обратна на движението като ползва за стойка земята (роботът се отгласква).

Кракът имат 2 или повече стави, най-често въртящи (изключение правят т.н. Чебишевски механизми, които са с една степен на свобода). Следвайки аналогията с животните най-често се реализират следните типове стабилни походки:

Походка 3+3 крака (tripod). Тази походка се характеризира с това, че при нея 3 от краката (образуват триъгълник, включващ преден и заден крак от едната страна и среден крак от другата страна) са в поддържаща фаза (в контакт със земята), избутващи тялото в посоката на движение, докато останалите 3 са във фаза на преместване във въздъха, замахващи в посоката на движение. Краката се движат напред, нагоре и назад едновременно, като двете групи крака се сменят през определен пероид от време, като всеки период на походката, тялото се придвижва напред със две крачки. Оптималната 3-крака походка има коефициент на зъпълване равен на 0.5. Тя е най-бърза.

Походка 4+2 крака (ripple). При нея, краката на робота се групират в 3 групи. Във всеки един момент, когато 4 от краката са в поддържаща фаза, 2 от краката са във фаза на движение и се придвижват в посоката на движение. Двете вълни са срещуположни и с 180 градуса отместване. За един период на походката, робота извършва 3 крачки, а тялото се придвижва само с една крачка в посоката на движение. Коефициентът на запълване е 2/3.

Едно от нежеланите събития, които биха могли да възникнат, е да се постави крака без да се направи контакт с земята, когато е необходимо. Тази ситуация може да доведе до препъване с нежелани последици. В основата на всеки крак е прикрепен тактилен сензор, като контактът със земята в настоящата симулация се разглежда само като нормална сила на реакция, без да се отчита триенето.

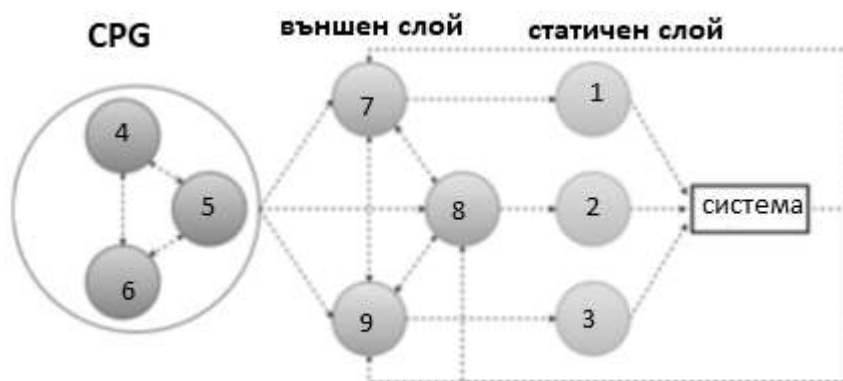
5.3 Управление на шесткраки роботи чрез невронни мрежи

Управлението на крачеци роботи с шест крака е сложно за изпълнение с традиционни методи. Съществуват алгоритми за индивидуално движение на отделните стави на краката на робота, но в много ситуации, като например повреда на крак или рязка промяна на терена, използването на такъв алгоритъм е неефективно.

Управлението на робота е симулирано чрез модулна невронна мрежа, която се състои от модули за: управление на всеки един от краката; превключване на фазата и за регулиране на скоростта.

Всеки крак има свой собствен генератор на централен образец (CPG), който управлява неговото поведение (фиг. 5.8). Това налага в невронната мрежа да бъде включен вътрешен слой за генериране на ритъм. Три неврона бяха определени за генерирането на ритъма, като тази верига от три неврони е независима от останалата част от мрежата и от сензорните сигнали. По този начин е възможно да се гарантира ритъм във всяка ситуация.

Външният слой дава три целеви ъглови позиции на системата. Броят на невроните, необходими за изходния слой, е три - по един за всяка става. Този слой получава като обратна информация данни от сензорите, тъй като трябва да може да се адаптира в зависимост от действителната външна ситуация.



Фиг. 5.8 Архитектура на невронна мрежа за управление на всеки един от краката

Всеки слой от невронната мрежа се характеризира с различен тип неврони. Невроните в слоя CPG са непрекъснати рекурентни. Тяхната най-важна характеристика е, че са независими от останалите слоеве на мрежата и външни въздействия, и не получават информация от сензорите. Той се състои

от неврони 4, 5 и 6, като те получават сигнали само един от друг, но могат да предадат състоянието си към следващите слоеве. За тях е в сила:

$$\dot{H}_i = -H_i + I_i + \sum_{j=4}^6 W_{ij} \sigma(H_j + \theta_j) \quad , i = 4,5,6 \quad (5.7)$$

където H_i е състоянието/изходът на всеки неврон; I_i е външен вход; W_{ij} е теглото на синаптичната връзка от неврон j към неврон i ; σ е активиращата функция $\sigma(x) = \tanh(x)$; θ_j е активиращото отклонение (bias) на всеки неврон.

Невроните в изходния слой са същите като в слоя CPG и се характеризират:

$$\dot{H}_i = -H_i + I_i + \sum_{j=4}^9 W_{ij} \sigma(H_j + \theta_j) + \sum_{k=7}^9 W_{sensik} \sigma(u_k) \quad , i = 7,8,9 \quad (5.8)$$

Те получават сигнали от невроните от CPG слоя, както и от ъгловото позициониране u_k , което се получава от сензорите. Сигналят преминава през активиращата функция σ и след това се умножава с теглото W_{sensik} .

Третият слой е изграден от статични неврони, които получават сигнали от изходния слой и извеждат директно целеви ъглови позиции $\alpha_{ц}$, $\beta_{ц}$ и $\gamma_{ц}$. Трябва да се има предвид, че всеки статичен неврон получава сигнала само на съответния динамичен неврон на външния слой:

$$\begin{aligned} \gamma_{ц} &= \gamma_{\max} \tanh(W_{stat1} H_7) \\ \beta_{ц} &= \beta_{\max} \tanh(W_{stat2} H_8) \\ \alpha_{ц} &= \alpha_{\max} \tanh(W_{stat3} H_9) \end{aligned} \quad (5.9)$$

където $\gamma_{\max}$, $\beta_{\max}$ и $\alpha_{\max}$ са абсолютните стойности на максималните положителни и отрицателни ъглови позиции на представените три стави, а $W_{stat i}$ са теглата на синапсите между всеки неврон в изходния слой и съответният му статичен неврон.

Невронните мрежи, които са проектирани да управляват всеки един от краката на робота, могат да бъдат обучени или заедно, или за всеки крак отделно. Установено е, че всеки слой има своя определена задача, но това не може да бъде директно преведено във фитнес функция за всеки от тях. Например, слой CPG трябва да работи на избрана честота, но не е известно как между всички мрежи, които работят на тази честота, да се направи избор кой цикъл може да бъде полезен за външния слой и кой би бил неефективен. Затова мрежите трябва да бъдат обучени заедно.

Крайната цел на управлението на робота е да се избере походка, характеризираща се с избрана дължина и честота на стъпката и да бъде съобразена с условията на терена. Затова е използван самоадаптиращ се генетичен алгоритъм, който може да настройва параметрите си по време на

търсенето. Всяко възможно решение е представено като индивид, който може директно да бъде кодиран с помощта на гени с реални числа.

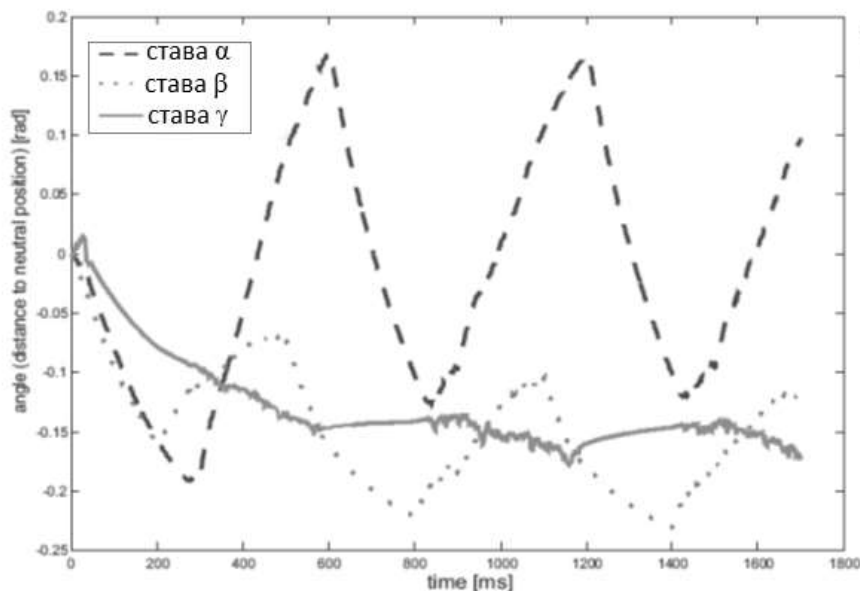
5.4 Интерпретация на резултатите от експериментите

В най-простият случай движението на робота започва от позиция (0, 0) с heading 0, цел (0, 100) и курсът (course) до целта също е 0.

Понеже сервомоторите нямат обратна връзка, не може да се определи дали са изпълнили командата. Очаква се, че за един цикъл от походката роботът трябва да измине определено разстояние, което зависи от геометрията на краката +/- някаква грешка от триене, неравности, грешка на сервозадвижванията и пр.

От ултразвуковия сензор се получава информация за разстоянието до целта, както и направлението, накъде е насочена "главата" на робота като 0 е север, 90 изток, 180 е юг и 270 е запад (heading). Курсът (course) е накъде всъщност се извършва движението или трябва да се движи (което в зависимост от външните условия на средата може и да не е същото като heading).

Резултатите от работата на еволюционния алгоритъм за разстоянието от нормалната позиция на съответната става при движение във времето е показана на фиг. 5.13.



Фиг.5.13 Резултат от работата на еволюционния алгоритъм

За всяка походка се определят cost and benefit. Чрез benefit се изследва колко голямо разстояние е преминал роботът и колко малко се отклонява от курса, напр. (100 - ъгъл на отклонение като процент от 180). Cost ще се следи за времето, през което се използва батерията. Роботът сам може да опита

всички вариации на походки и да ги оцени и съхрани (или да му се зададат няколко с променливи параметри), като за целта трябва да се създаде база данни с [походка, резултат (разстояние + отклонение), benefit/cost].

ОБОБЩЕНИ ИЗВОДИ

Направеният обзорен анализ показва съществуването на множество методи, алгоритми и средства на изкуствения интелект, които намират приложение за решаване на широк кръг задачи в роботиката. Дисертационната работа разглежда стратегии за решаване на широк кръг проблеми, отнасящи се до приложението на методите на ИИ в роботиката. Някои от тях са решени чрез конкретни примери, а за други са дадени насоки за бъдещи изследвания. Направена е симулация на движението на шесткрак робот с три от най-често срещаните и стабилни вида походки, както и е извършен експеримент за управление чрез модулна невронна мрежа на симулирания модел и е подготвен експеримент върху физически модел на робот.

НАУЧНО-ПРИЛОЖНИ И ПРИЛОЖНИ ПРИНОСИ

По-съществените резултати, получени в дисертационната работа, са обобщени в авторски претенции за следните научно-приложни и приложни приноси:

Научно-приложни приноси

1. Анализирани са и са определени характеристиките на стационарните (индустриалните) и мобилните роботи за движение и действие като приоритетни за използване на елементи на ИИ, и са дефинирани понятията „интелигентно движение“ и „интелигентно действие“, чрез което се стеснява областта на изследване и се прави възможно постигането на по-задълбочени и ефективни резултати.
2. Предложен е подход за кинематичен анализ на крак, базиран на изследване на коефициента на манипулативност, и за конкретен пример са дадени резултати, получени при движение по типична траектория за движение - права линия в опорната фаза и дъга в свободната фаза. Този подход е подходящ за планиране на траектории за движение и осигуряване на интелигентно поведение при преодоляване на препятствия.
3. Предложени са кинематични модели, които подобряват устойчивостта на роботи при движение в среда с типови препятствия - наклони и стълби, които чрез средствата на ИИ могат да реализират интелигентно движение.
4. Направена е обобщена архитектура на робот и е предложена базова категоризация на стационарни (индустриални) и мобилни роботи в три групи - механични, програмно управляеми и с елементи на ИИ, които подлежат на усъвършенстване в групата, но преминаването от една в

друга група може да стане само чрез добавяне, респективно отнемане, на архитектурни компоненти.

Приложни приноси

1. От множеството на съществуващите към момента методи и алгоритми на ИИ са избрани, систематизирани и представени в табличен вид най-често използваните в роботиката, което в значителна степен подпомага инженерните изследвания.
2. Разработена е блокова архитектура за адаптивно интелигентно поведение на робот с шест крака при движение по наклони и качване на стълби, която се съпътства от комбинация на сензори за възприемане на външната среда и за определяне на моментното състояние на робота.
3. Извършен е оценъчен анализ за предимствата и недостатъците на делиберативната, реактивната и хибридна архитектури за управление на работи с елементи на ИИ.

СПИСЪК НА ПУБЛИКАЦИИТЕ ПО ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД

1. Pavlova, G. Stable Gaits of Six-Legged Robots and a Simulation of Hexapod with 18 Degrees of Freedom, одобрена за публикуване в списание „Computer and Communications Engineering“, 2018, ISBN 1314-2291.
2. Chavdarov, I., R. Trifonov, G. Pavlova , D. Budakova, Manipulability and kinematic dependences of a legs of the six-legged robot, 19-th International Conference on Computer Systems and Technologies. CompSysTech'18. 13-14 September 2018, University of Ruse, Bulgaria ISBN 978-1-4503-5234-5
3. Trifonov, R., G. Pavlova, Strategies for planning mobile robot trajectory considering its moment state and environment, International Conference "Automatics and Informatics'2017", 4-6 October 2017, ISSN 1313-1869
4. Trifonov, R., G. Pavlova, Dynamic hierarchy in decision-making in behaviour selection of mobile robots, Int. Conf. on Information Technologies (InfoTech-2017), 20-21 September 2017, Bulgaria, ISSN 1314-1023
5. Трифонов, Р., Г. Павлова, Приложение на методите на изкуствения интелект в роботиката, Седмата международна научна конференция „Образование, наука, иновации“ ESI'17, 09-10 юни 2017 г., Европейския политехнически университет, Перник, България, ISSN 1314-5711
6. Trifonov, R., G. Pavlova, I. Pavlov “Models of Intelligent Behavior of Walking Robot Moving on Slopes and Stairs”, International Conference "Automatics and Informatics'2016", 4-6 October 2016, ISSN 1313-1869

7. Trifonov, R., G. Pavlova, I. Pavlov. Architecture of six legged robot for simulation of movement under partial loss of leg mobility. International Conference on Information Technologies, Sept. 20-21, 2016, St.St. Konstantin and Elena resort, Bulgaria, ISBN 1314-1023
8. Pavlova, G., V. Pavlov, R. Trifonov. Technical Parameters Integration of Mechanical and Computer Systems in Robotics; International Scientific Conference Computer Science'2015, 8-10 September 2015, Duras, Albania, ISBN: 978-619-167-177-9

SUMMARY

STUDY OF THE APPLICATION OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN ROBOTICS

Mag.Eng. Galya Veselinova Pavlova

The performed analysis shows the existence of multiple methods and algorithms of the artificial intelligence (AI) that are used to solve a wide range of robotics tasks. From these methods and algorithms are selected, systematized and presented in tabular form most commonly used in robotics. An approach of kinematic analysis of a robot leg based on a study of manipulability coefficient was proposed, and for a specific example are presented obtained results of moving on a typical motion trajectory. A block architecture for adaptive intelligent behavior of six-legged robot has been developed for movement on sloping terrain and stairs, which is accompanied by a combination of investigation of external environment by sensors as well as the internal state of the robot. The dissertation deals with strategies to solve a wide range of problems related to the application of AI methods in robotics. Some of them are solved by concrete examples, while others are given guidance for future research. A six-legged robot motion simulation was performed with three of the most common and stable types of gaits, as well as an experiment for control of the simulated model using a modular neural network is made.