

**Българска академия на науките
Институт по роботика**

инж. Васил Георгиев Цветков

**Повишаване на когнитивните способности на роботите
чрез оптимизация на сензорната им система**

АВТОРЕФЕРАТ

За получаване на образователна и научна степен „Доктор“

Област: 5. Технически науки

Професионално направление: 5.2 Електротехника,
електроника и автоматика.

Научна специалност: "Приложение на принципите и
методите на кибернетиката в различни области на науката"

НАУЧЕН РЪКОВОДИТЕЛ:

доц. д-р инж. НИНА ФОТЕВА ВЪЛЧКОВА

СОФИЯ, 2024 година

Дисертационният труд е в обем 122 страници. Състои се от списък на използваните съкращения, въведение, четири глави, списък на използваната литература и приложения. Основният текст е изложен на 102 страници, съдържащ 42 фигури и 8 таблици. Библиографията обхваща 96 заглавия, от които 16 на кирилица и 80 на латиница. Приложенията са оформени на 17 страници, включващи 1 таблица и програмен код на асемблер.

Дисертационният труд е обсъден и насрочен за защита съгласно ЗРАС в РБ и заповед № 94 от 23.10.2024г на Директора на ИР-БАН на заседание на Разширен секционен семинар на учените от секция РиМИС, проведено на 28.10.2024г.

Дисертантът работи в Института по роботика при Българска академия на науките като асистент в секция РиМИС. Изследванията са извършени в същия институт.

Защитата на дисертационния труд ще се състои на.....г. от..... часа в зала..... на ИР-БАН.

Материалите по защитата са на разположение на интересуващите се в канцеларията на ИР-БАН, на адрес: ул. „Акад. Георги Бончев“, блок 2, етаж 4.

Автор: ас. инж. Васил Георгиев Цветков

Заглавие: Повишаване на когнитивните способности на роботите чрез оптимизация на сензорната им система.

Тираж:

Излиза от печат на:

Печатна база:

I. Обща характеристика на дисертационния труд. Актуалност.

В непрекъснато развиващата се област на роботиката, усъвършенстването на сензорните системи и когнитивните способности революционизира начина, по който роботите взаимодействат с околната среда. Тези технологични постижения откриват нови възможности за роботите да възприемат, разбират и взаимодействат със света около тях по интелигентен и човеко подобен начин.

Сензорните системи са сетивните органи на робота, които му позволяват да събира информация от заобикалящата го среда. Тези сензори могат да бъдат камери, микрофони, сензори за докосване, сензори за близост и много други. Чрез интегриране на различни видове сензори, роботите могат да улавят и обработват данни от различни модалности, симулирайки човешките сетива и разширявайки техните способности за възприятие.

Една от основните цели на сензорните системи е да позволят на роботите да възприемат околната среда точно и в реално време. Визуалните сензори, като камери, позволяват на роботите да виждат и разпознават обекти, хора и заобикалящата ги среда. Те могат да заснемат изображения или дори да създават 3D репрезентация на околната среда, използвайки технологии за отчитане на дълбочина като LiDAR (откриване и обхват на светлина) или структурирани светлинни системи. Аудио

сензорите позволяват на роботите да чуват и локализируют звуци, което им позволява да взаимодействат с хората чрез разпознаване на реч и обработка на естествен език.

Сензорните системи сами по себе си не са достатъчни, за да могат роботите наистина да разбират и да се ориентират в околната среда. Тук влизат в действие когнитивните способности. Когнитивните способности позволяват на роботите да обработват и интерпретират сензорните данни, които получават, давайки им способността да разсъждават, да учат и да вземат информирани решения.

С напредъка в изкуствения интелект и машинното обучение, роботите вече могат да използват сложни алгоритми, за да анализират и разбират сензорната информация, която придобиват. Те могат да разпознават модели, да идентифицират обекти и лица и дори да предсказват човешкото поведение въз основа на предишен опит. Когнитивните способности позволяват на роботите да се адаптират към нови ситуации, да се учат от взаимодействията си и съответно да оптимизират поведението си.

Освен това, когнитивните роботи могат да използват данни от множество сензори едновременно, комбинирайки различни модалности, за да формират по-цялостно разбиране на заобикалящата ги среда. Чрез обединяване на данни от визуални, аудио и други сензорни входове, роботите могат да генерират по-богато представяне на тяхната среда, което им позволява да изпълняват сложни задачи като манипулиране на обекти, автономна навигация и сътрудничество между човек и робот.

Един нов подход е интегрирането на сензорни системи и когнитивни способности, като по този начин роботиката се извежда до нови граници, където роботите могат активно да възприемат, интерпретират и взаимодействат със своята среда по все по-сложни начини. От индустриална автоматизация до помощ в здравеопазването, автономни превозни средства до интелигентни домове, потенциалните приложения на тези постижения са обширни и разнообразни.

Перспективата очертана от непрекъснатото развитие на сензорните системи и когнитивните способности обещава да подобри възможностите и полезността на роботите, доближавайки ни до бъдеще, в

което интелигентните машини работят заедно с хората, увеличавайки нашите способности и подобрявайки качеството ни на живот.

Научна новост

В дисертацията се предлага методология за подбор на сензори и проектиране на оптимална сензорно-информационна система. Методологията представлява съвкупност от методи, процедури, правила и алгоритми при проектирането и решаването на поставената задача.

Практическа ползност и приложимост.

Полчените резултати ще намерят приложение в областта на проектирането, реализирането и внедряването на сензорни модули като част от сензорно-информационната система на роботи, особено сервизни колаборативни роботи за целите на здравеопазването.

Оптимално проектираната сензорна система е от решаващо значение за осъществяването на прецизни операции, които в голяма степен се асоциират с работата на сервизните роботи в здравеопазването. Изпълнението на предложените в дисертационния труд методики гарантира нормалната операция на този клас работи, оптималното изпълнение на съответното задание, без да съществува опасност от непредвидени колизии, които могат да доведат до много тежки последиствия.

Апробация на резултатите от дисертационния труд

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

- Tzvetkov V., Valchkova N., Zahariev R.. "Methodology for Selection and Design of Sensor Systems for Mobile Service Robots". Proc. of the 9th International Conference on Engineering and Emerging Technologies (ICEET), IEEE, 27-

28 October 2023, Istanbul, Turkey., IEEE, 2024, DOI:DOI: 10.1109/ICEET60227.2023.10526135, 1-6

- **Valchkova N., Tzvetkov V., Zahariev R.** "A Service Robot Module Based on 8 Bit Microcontrollers Designed To Measure A Patient's Temperature". AUTOMATION OF DISCRETE PRODUCTION, 5, TU-Sofia, 2023, ISSN:2682 9584, 40-44
- **Tzvetkov V., Valchkova N., Zahariev R.** ТИПОВЕ СЕНЗОРИ ЗА ПРИЛОЖЕНИЯ В РОБОТИКАТА. AUTOMATION OF DISCRETE PRODUCTION, 6, TU-Sofia, 2024, ISSN:2682 9584, 49-54

Публикуване

Основните резултати от дисертацията са представени в 3 научни публикации, списък на които е приложен в края на автореферата.

II. Съдържание на дисертацията

ГЛАВА ПЪРВА.

Актуално състояние на проблема.

В глава първа се разглежда текущото състояние на проблема, свързан с повишаването на когнитивните способности на роботите чрез оптимизация на техните сензорни системи. Анализът включва обстойно разглеждане на ключови аспекти на сензорната техника, принципите за избор и интеграция на сензорни устройства, както и когнитивните способности, които подобряват възможностите на роботите за взаимодействие със заобикалящата ги среда.

1. ****Дефиниране на роботиката****: Глава първа започва с описание на роботиката като мултидисциплинарна област, включваща инженерство, информатика и изкуствен интелект. Роботите се разглеждат като сложни системи, които съчетават автономни действия и обработка на сензорни

данни, позволяващи им да изпълняват различни задачи в индустрията, здравеопазването и други сфери на човешката дейност.

2. Основни понятия и характеристики на сензорната техника: Разглеждат се основните типове сензори и тяхната роля като преобразуватели на физически величини в електрически сигнали, които могат да бъдат анализирани и обработени от робота. Подробно е разгледан обобщеният модел на сензора, включващ входни и изходни величини и възможните смущаващи фактори, като шумове и паразитни влияния, които могат да влошат качеството на данните.

3. Типове сензори и възприемане на околната среда: Обсъждат се различни сетивни способности на роботите, сред които зрение, слух и възприемане на инфрачервено излъчване. Описани са конкретни приложения на тези технологии в роботиката, като използване на камери за разпознаване на обекти и лица, ултразвукови сензори за картографиране на околното пространство и инфрачервени сензори за избягване на препятствия.

4. Ролята на сензорните системи в различни класове работи: Извършен е анализ на използването на сензорни системи в различни видове работи като индустриални, сервизни и медицински. Сензорите играят критична роля в тези системи, позволявайки на роботите да осъществяват различни задачи като контрол на качеството, навигация и взаимодействие с хората.

5. Метрологични характеристики на сензорите: Включен е раздел, който се фокусира върху метрологичните параметри, като точност и чувствителност, които са от съществено значение за ефективността на сензорите в роботиката. Тези характеристики определят способността на сензорната система да улавя и предава точна информация.

6. Когнитивни способности: Главата завършва с анализ на когнитивните способности, които роботите придобиват чрез използването на напреднали сензорни системи и изкуствен интелект. Когнитивните

способности позволяват на роботите да обработват сензорна информация, да разсъждават и да адаптират поведението си спрямо променящата се среда, като по този начин ги правят по-гъвкави и способни да извършват по-сложни задачи.

В края на първа глава са поставени целите и задачите на дисертацията, които са свързани с разработката на методология за ефективно проектиране на сензорни системи с цел подобряване на когнитивните възможности на роботите.

Цели и задачи на докторантурата

В резултат на анализа на съществуващи проблеми и предизвикателства е формулирана **целта на дисертационната работа**:

Въз основа на цялостен анализ на актуалното състояние на различните видове сензори да се създаде Методика за ефективно проектиране на сензорната система на работи с цел повишаване когнитивните им възможности, чрез оптимизация на техническите ѝ параметри.

Основните задачи, които произтичат от така поставената цел се свеждат до:

- **Първа задача**- Да се направи обзор на съществуващите решения за проектиране на сензорни системи при когнитивни работи.
- **Втора задача**- Анализ и класификация на актуалните към момента съществуващи сензори.
- **Трета задача**- Изследване и разработване на метод за проектиране на оптимална сензорна систем предназначена за когнитивни работи.
- **Четвърта задача**- Да се създаде реален модел за експериментално потвърждение и верификация на предложената Методика за създаване на оптимална сензорна система.

Като резултат от работата се очаква създаването на следните елементи:

1. Мобилна колесна платформа за експериментални изследвания на роботи.
2. Симулационни модели на сензори в различни софтуерни продукти.
3. Проектиране и създаване на Мултисензорни модули.

На база получени резултати, при проведени експериментални изследвания, следва да се направи оценка на параметри и състояния на сензорите, което е част от процеса на проектиране на оптимална сензорна система за когнитивни роботи.

ГЛАВА ВТОРА

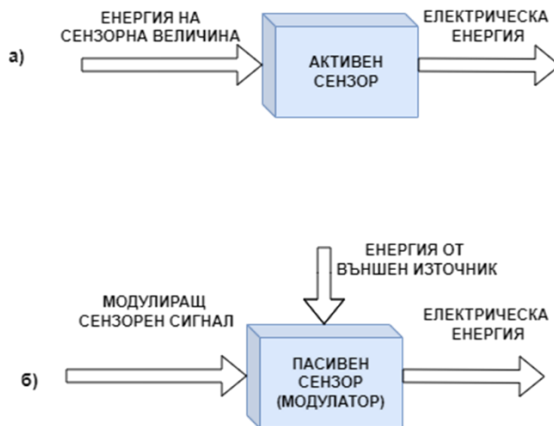
Класификация на сензорите в роботиката

Множество и разнообразни са критериите, според които се класифицират сензорите. Сензорите, които намират приложение в роботиката могат да бъдат разделени на две големи групи- активни и пасивни. Това диференциране се прави по отношение на необходимостта от допълнителна енергия за осигуряване на нормален работен режим на сензора. Активните сензори не се нуждаят от допълнителна енергия и в отговор на влиянието на сензорната величина генерират електрически сигнал на изхода си. (фиг. 2.1а) Типични примери са активни сензори са термодвойката, фотоелементът и пиезоелектричният елемент. Повечето активни сензори са *първични преобразуватели*.

При пасивните сензори от друга страна е задължително включването на външен източник на електрическа енергия. Той е известен още като възбуждащ сигнал. При формирането на сензорния сигнал, пасивните сензори по един или друг начин въздействат върху подадения възбуждащ сигнал. Този тип сензори изменят своите характеристики при изменение на сензорния и възбуждащия сигнал. Известни са още и като *параметрични сензори*. (фиг. 2.1б).

Генерирането на електрическия сигнал при параметричните сензори на практика става в следствие изменението на вътрешните характеристики. Т.е. определени параметри на сензора модулират възбуждащия сигнал при определени въздействие. Модулацията от своя страна носи информация за измерваната величина. Например термисторът не генерира никакъв електрически сигнал, но при пропускане през него на електрически ток (наречен още възбуждащ сигнал), неговото съпротивление може да се определи по изменението на тока или пада на напрежение върху него. Стойността на съпротивлението $R(\Omega)$ е израз на изменението на температурата T . Същата може да се определи от характеристиката $R=f(T)$.

Друг пример за пасивен сензор е резистивният тензосензор (тензорезистор). Неговото електрическо съпротивление зависи от степента на деформация на сензора. За определянето на стойността на съпротивлението отново трябва да бъде пропуснат електрически ток от външен източник през сензора.



Фиг. 1 Визуализация на основния критерий за класификация.

Класификация според характеристиките на сензорите

Таблица 1

ХАРАКТЕРИСТИКИ	
-Чувствителност	-Диапазон на изменение на входната величина
-Стабилност (във времевата област)	-Разрешаваща способност
-Точност	-Избирателност
-Бързодействие	-Условия за работа
-Хистерезис	-Линейност
-Товарна характеристика	-Мъртва зона (DZ)
-Експлоатационни характеристики	-Формат на изходния сигнал
-Цена, маса, размери	-други

таблица 2

СЕНЗОРНИ ВЪЗДЕЙСТВИЯ	
Акустични	Електрически
-Амплитуда, фаза, полярност на звуков сигнал	-Заряд, ток
-Спектър	-Потенциал, напрежение
-Скорост на вълната	-Електрическо поле (амплитуда, фаза, поляризация, спектър)
-други	-Проводимост
Биологични	-Диелектрична проникваемост
-Биомаса (параметри-вид, концентрация, състояние)	-други
-други	Магнитни
Химични	-Магнитно поле (амплитуда, фаза, поляризация, спектър)
-Елементи (концентрация, състояние)	-Магнитен поток
-други	-Магнитна проникваемост
Оптични	-други
-Амплитуда, фаза полярност, спектър	Излъчване
-Скорост на вълната	-Тип
	-Енергия

<ul style="list-style-type: none"> -Коефициент на отражение -Излъчваща способност -Отразяваща способност, поглъщане -други <p style="text-align: center;">Топлини</p> <ul style="list-style-type: none"> -Температура -Поток -Топлопроводимост -други 	<p>Интензитет</p> <p style="text-align: center;">Механични</p> <ul style="list-style-type: none"> -Преместване (по координати-линейно и ъглово) -Ускорение -Сила /деформация/ -Напрежение, налягане -Скорост на поток, разход, дебит -Форма на грапафост, ориентация -Твърдост, течност
--	---

В дисертационния труд и публикациите към него се използват единици за измерване в системата SI, които са приети на XIV Международна конференция по Мерки и Теглилки-1971. В прил. 1 са представени основните измервателни единици за физичните величини, взети от френския справочник Le systeme international d'Unites. Всички останали единици за измерване са производни на тези основни единици.

В прил. 2 са дадени единиците за измерване със специални наименования и означения. За тях има два начина за изразяване чрез наименованията на основните единици на системата или одобрените специални наименования на производните единици. Например има два начина за изразяване на единицата джаул: чрез нютон-метър или килограм-квадратен метър на секунда. Чрез използването на специалните наименования изказът е по-ясен и намалява риска от грешки при тълкуването им. Например, по-ясно и удобно е ползването на единицата SI за честота със специалното наименование Херц, отколкото тя да се изрази чрез основните единици SI-секунда на минус първа степен, както и единицата в SI за ъглова скорост чрез радиан за секунда вместо секунда на минус първа степен.

ГЛАВА ТРЕТА

Методология за избор на сензори и проектиране.

Изборът на подходящи сензори и информационни системи за мобилен обслужващ робот с колаборативни функции изисква цялостна методология, която е съобразена с целта на работата, средата и специфичните изисквания на приложенията, които ще бъдат използвани.

Тъй като повечето предизвикателства пред дизайна на дадена сензорно-информационна система могат да бъдат решени по няколко различни начина, би било препоръчително да се разработи методология, която да подпомогне процеса на вземане на решения от страна на проектанта. Такава методология се представя като средство за намиране на правилното решение по отношение на типовете използвани сензори.

Всеки от изброените по-долу фактори трябва да бъде съобразен от проектанта.

Този глава разглежда ролите и характеристиките в дизайна на сензорно-информационната система на роботизирани системи.

Проучени са различни подходи за създаване на технически ефективни системи, които подобряват възможностите на роботите и взаимодействията им с околната среда и оператора. Техники като сензорно сливане и мултимодалност, машинно обучение и AI, семантично разбиране, Edge computing и обработка в реално време са широко използвани.

Проектиране на модул за сервизен робот, предназначен за измерване на температура на пациенти.

Използването на термографски системи е от решаващо значение за първоначалната оценка на температурата за медицински цели в случаи като:

- първоначален скрининг на човешка температура по време на сортиране по време на спешни ситуации в здравни заведения за определяне на нивото на треска и повишена температура.

- Оценка на температурата в зони с голяма заетост, като обществени и бизнес сгради, летища и др.

За определяне на вътрешната температура на тялото чрез температурата на кожата може да се приложи методът на артериалния топлинен баланс:

$TC = K * (TS - TA) + TS$, (1) където:

Tc - вътрешна телесна температура

Ts - температура на повърхността на кожата;

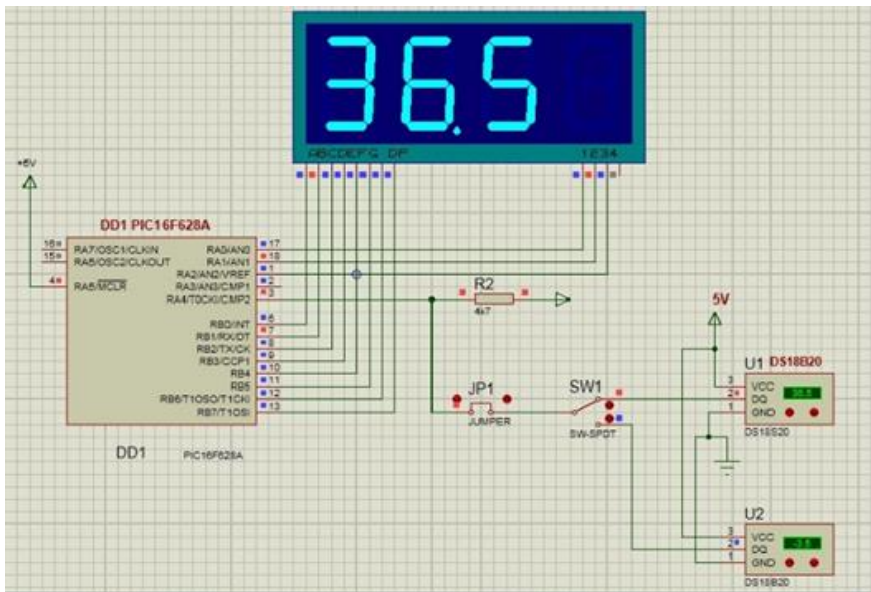
Ta - температура на околната среда;

k - топлинен коефициент за повърхността на кожата.

Методът на артериалния баланс зависи главно от степента на кръвна перфузия в локалната тъкан.

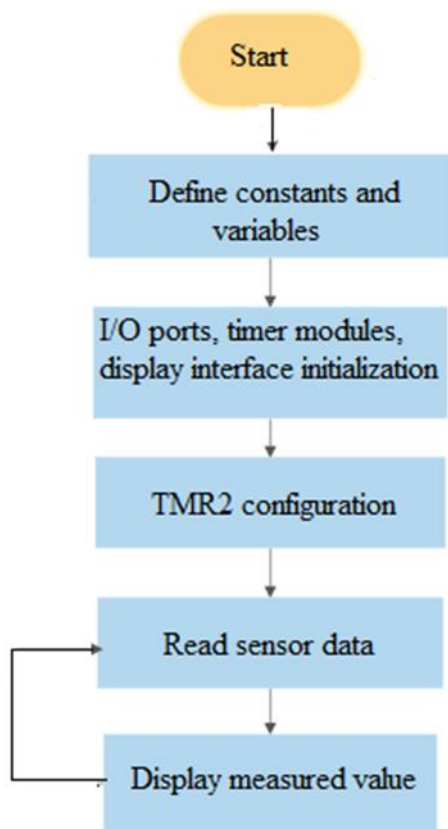
Проучванията показват недостатъчната точност на този метод, но той е приложим, когато няма изисквания за висока точност на измерената температура - например: първоначален триаж или моментна оценка на здравословното състояние на пациента. Целта на това изследване е да се синтезира сензорна микропроцесорна система, която да бъде внедрена в структурата на обслужващ робот, с приложение в здравеопазването за измерване на телесната температура на пациенти. Фокусът на автора е да предложи икономически изгодна система, изградена с достъпни материали и модерна елементна база. Постигането на поставената в тази статия цел е обвързано с изпълнението на следните задачи:

- Синтез и симулация на принципна схема в софтуерна среда;
- Разработка на печатна платка на сензорния модул
- Оценка на възможността за приложение на сензорно-информационни системи, изградени с 8-битови микроконтролери и интелигентни температурни сензори за целите на сервизната роботика.



Фиг. 2 Принципна електрическа схема на проектирания сензорен модул, предназначен за измерване на температура на пациенти.

Принципната схема на фиг. 2 изяснява метода, по който модулетъ получава информация за температурата. Сензорната част е базирана на два специализирани интелигентни сензора DS18b20, произведени от DALLAS SEMICONDUCTOR. DS18b20 е подобрен интелигентен температурен сензор, наследник на DS1820. За разлика от термисторните сензори, предимствата на използвания компонент са безспорни. Той е способен на директно преобразуване на измерената температура и програмиране и кодиране в 9 или 12-битова двоична стойност. Самото преобразуване отнема 750 ms.



Фиг. 4 Блокова схема на състанения програмен алгоритъм.

Проектиране на мобилна платформа с омни-колела

Редица научни източници ги описват този тип мобилни платформи като характеризиращи се с по-висока мобилност в сравнение с конвенционалните колесни платформи. Намират приложение при изпълнение на задачи в среда с наличие на голям брой статични и динамични обекти, които представляват пречки за мобилния робот. Такава характеристика на работната среда има в съоръжения и производствени помещения, складове, болници, центрове за грижи за възрастни хора. Конвенционалните колела са механично прости, имат висока товароносимост и висока толерантност към неравности на работната

повърхност. Въпреки това, поради тяхната нехолономна природа, те не са наистина всепосочни. Има предложения за проектиране на платформа, която използва конвенционални колела и постига производителност, близка до тази на платформи с многопосочни колела (OWMP). Цитираните мобилни платформи имат най-малко две активни колела, всяко от които има задвижващ механизъм и кормилен механизъм. Въпреки че този тип платформа може да се движи във всички посоки, основен недостатък е, че в случай на движение по непрекъснати кривини е необходимо спиране и пренасочване на колелата ѝ.

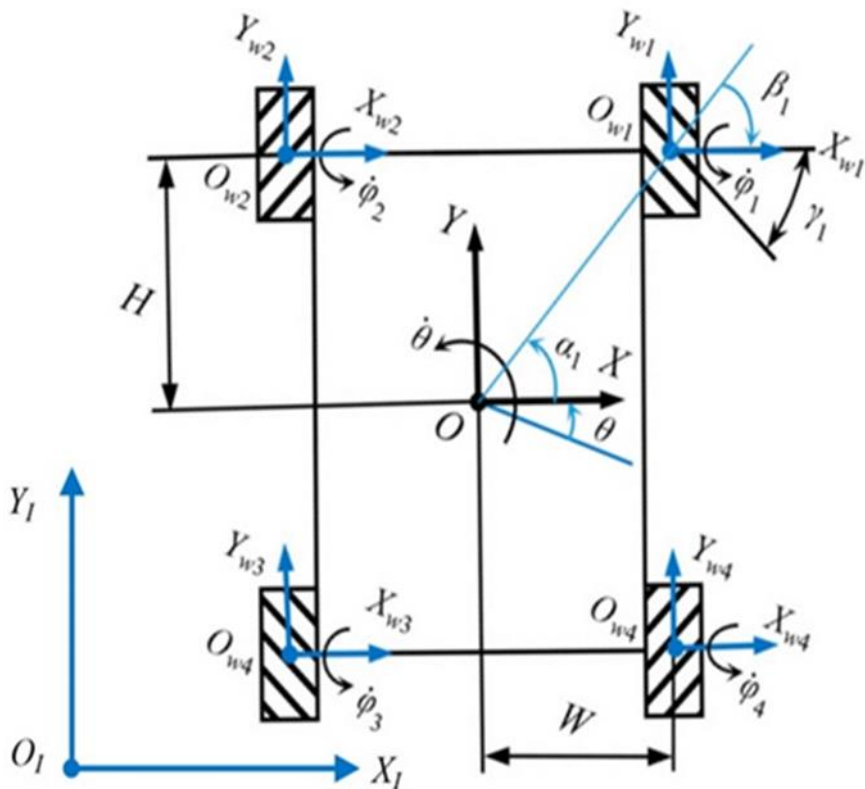
Плъзгането между колелата и земята е недостатък на роботите с колела Mecanum, което ги кара да губят скорост и се отразява на точността им на позициониране. В момента има някои проучвания за намаляване на въздействието на приплъзването върху точността на движението на робота.

Геометрични характеристики на платформата

Според геометричните характеристики на платформата (фиг. 5), за всяко омни колело Ow_i , $\alpha_i + \beta_i = 0$, може да се изведе следната формула:

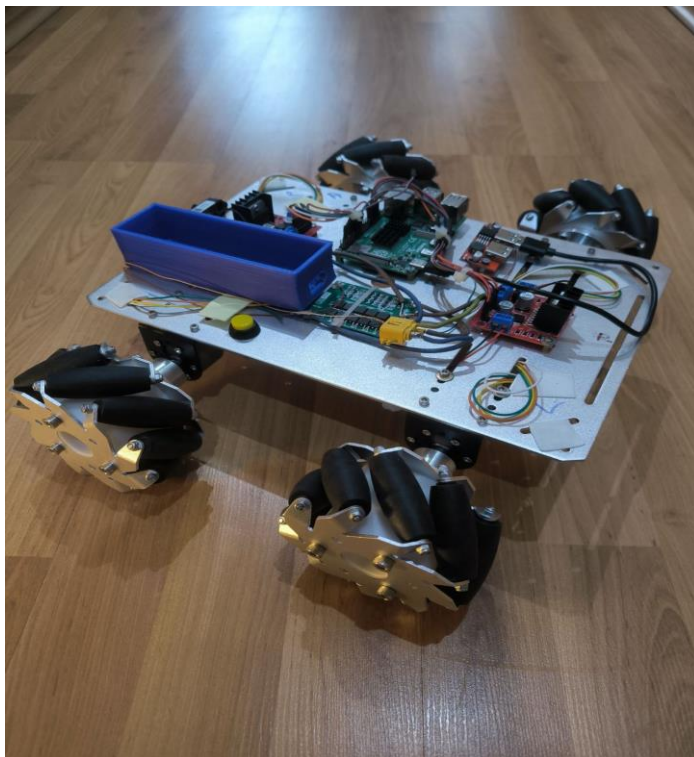
$$\begin{aligned} \dot{\varphi}_i &= \frac{-1}{r_w \sin \gamma_i} [\cos \gamma_i \quad \sin \gamma_i \quad l \sin(\beta_i + \gamma_i)] \dot{\zeta} = \\ &= -\frac{1}{r_w} [\cot \gamma_i \quad 1 \quad W - H \cot \gamma_i] \begin{bmatrix} \dot{x} \\ \dot{y} \\ \dot{\theta} \end{bmatrix} \quad (1) \end{aligned}$$

Уравнение (1) предоставя информация за кинематичния модел на платформата и как ще се представи роботът в работната зона.



Фиг. 5 Модел на платформата, съдържащ геометрични и кинематични параметри.

Проектираният сензорен модул (фиг. 3) може да бъде монтиран на мобилна платформа с хардуерна конфигурация, показана на Фиг. 5. Основната цел при проектирането на мобилната платформа е тя да служи като универсално техническо средство при извършването на научни експерименти, в което да бъдат внедрени разработваните сензорни модули за работи.



Фиг. 6 Общ вид на разработената мобилна платформа.

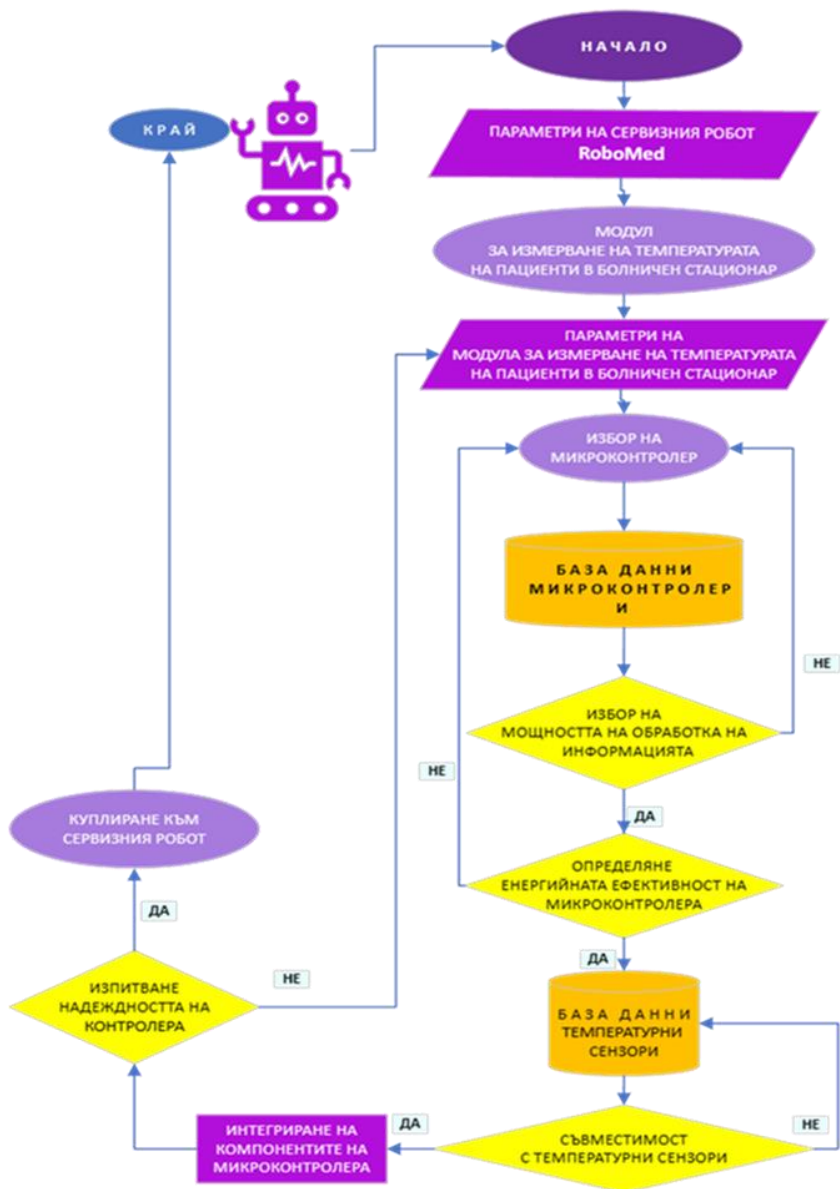
Методология за подбор на подходящи сензори

От анализа на цитираните литературни източници в дисертационни труд се установява, че изборът на подходящи сензори и информационни системи за сервизен робот с колаборативни функции изисква всеобхватна методология, която отчита предназначението на робота, неговата среда и специфичните изисквания на приложенията, в които ще се използва. Предлага се подход за улесняване на процеса:

Графично представяне на предложената методология.

Предложената методология за избор и проектиране на сензорни системи за мобилни сервизни роботи е разработена във формата на

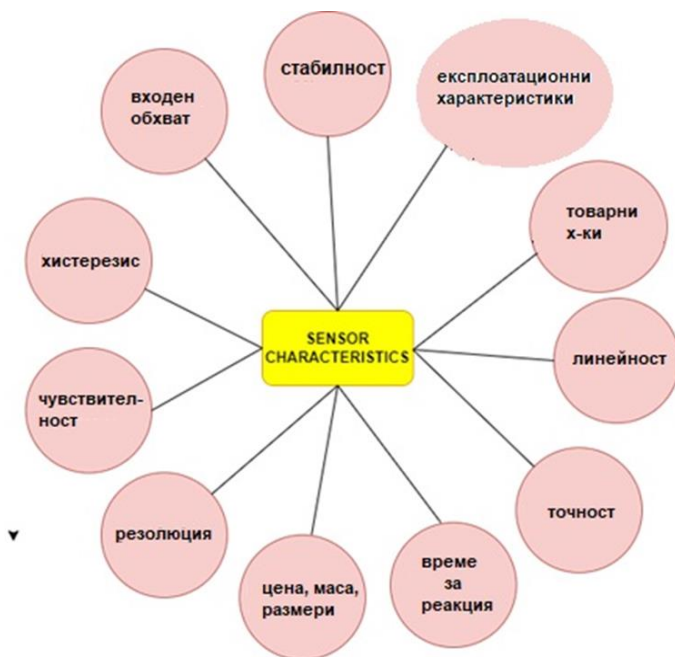
алгоритмична последователност от действия относно избора на сензори и проектирането на системата.



Фиг. 7 Методология за оптимизиране на избора на сензори

Изборът на подходящи сензори за мобилни сервизни колаборативни работи („роботи“) изисква систематична методология, която взема предвид специфичните задачи, средата, изискванията за безопасност и целите на производителността на работа. Сложността на задачата може да бъде разбита на няколко определени стъпки, като ясно се дефинират задачите и целите, които „роботът“ трябва да изпълни. Определя се диапазонът от дейности, в които ще участва, като навигация, манипулация, взаимодействие с хора и разпознаване на обекти.

Графичното изображение на методологията дава детайлен преглед на всички включени стъпки, както и на логическите връзки между тях (Фиг. X). В него блокът „база данни“ играе ключова роля. Този блок съдържа данни за различни типове сензори, които могат да бъдат използвани за проектирането на системата. Те са класифицирани според Фиг. 6



Фиг. 8 Пример за класификация на видове сензори, заложена в структурата на методологията за селекция при проектирането.

ГЛАВА ЧЕТВЪРТА

Експериментални резултати.

Изследвания и предложения за симулационни модели.

Методологиите за симулация играят решаваща роля при оценката на производителността и поведението на сензорите при приложенията им в роботиката. Тази глава обхваща инструментите и техниките за симулация, използвани за моделиране на характеристиките и динамиката на сензора, предоставяйки представа за тяхната пригодност за различни сценарии в роботиката. Представени са резултати от получените данни при провеждане на експериментите.

Инструменти за симулация:

Multisim е мощен софтуер за симулация на вериги, широко използван за моделиране на електронни сензорни устройства. Той позволява на инженерите да проектират и симулират сложни електронни схеми, включително схеми за интерфейс на сензори, схеми за кондициониране на сигнала и схеми за аналогово-цифрово преобразуване.

Разработеният симулационен модел на температурен сензор на фиг. 3.7 е изграден на базата на налични в библиотеките на Multisim функционални блокове. В структурата на модела участват два източника на е.д.н.- **VMockTemp** и **VSensotOffset**. **VMockTemp** служи за задаване на желана стойност на температурата. Формираният сигнал на неговия изход, имащ смисъл на температура (в относителни единици) се подава на функционалния блок **VSensorGain**. Този блок изпълнява две функции-определя коефициент на усилване и служи като буфер между предходната структура и изхода.

Блокът **VSensotOffset** служи за въвеждане компенсация (offset) на изходния сигнал от сензора.

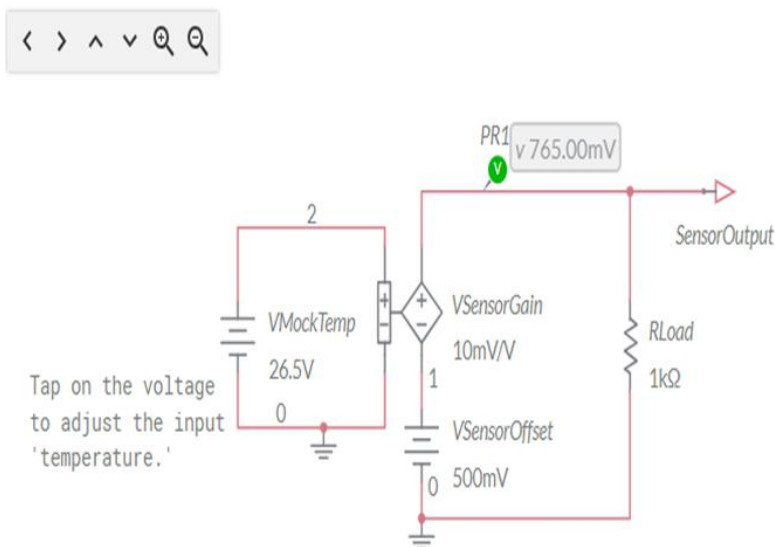
Офсетът играе съществена роля в сензорните технологии, като служи за корекция на системни грешки и оптимизация на работата на сензорите. Основната цел на офсета е да компенсира неизбежните отклонения в измерванията, причинени от различни фактори, като температурни

вариации, електрически шум, механични дефекти или естествен дрейф на сензорите.

Корекция на измервателни грешки: Много сензори изпитват статични грешки, свързани с базови неточности в системата, които могат да бъдат коригирани чрез въвеждането на офсет. Например, инерциалните сензори, като акселерометри и жирокопи, често страдат от грешки в нулевата точка.

Температурна компенсация: Температурните вариации също влияят върху точността на сензорите. Въвеждането на офсет за корекция на температурните грешки при сензори подобрява прецизността на измерването, особено в индустриални и лабораторни условия

Корекция на магнитни измервания: При магнитометрите, офсетите се използват за елиминирание на външни смущения и шум.



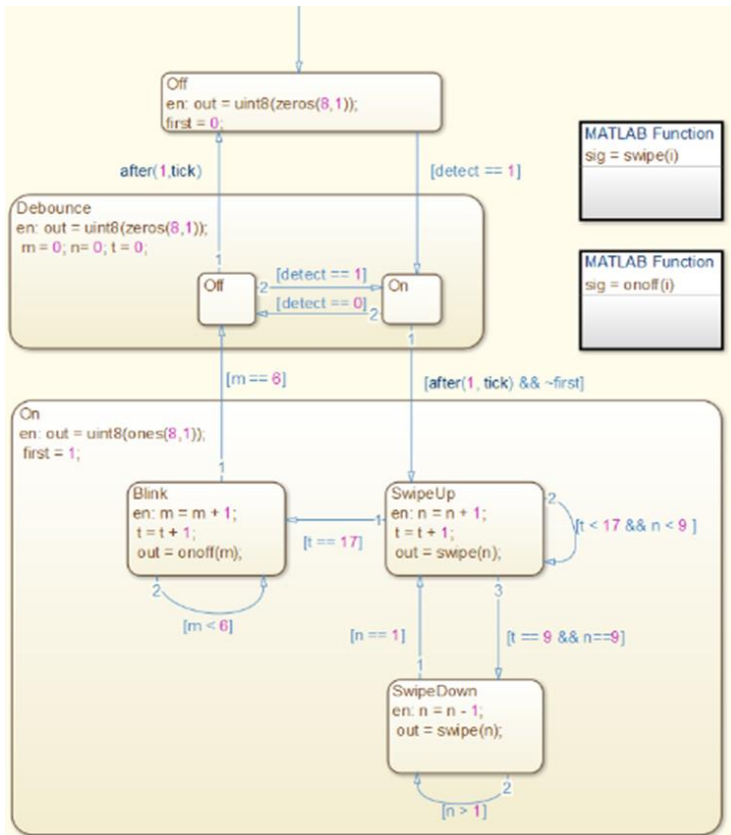
фиг. 9 Разработен симуляционен модел на температурен сензор

MATLAB/Simulink:

MATLAB и Simulink са универсални симулационни платформи, използвани за динамично системно моделиране и симулация. MATLAB предоставя среда за програмиране на високо ниво за числени изчисления, анализ на данни и разработване на алгоритми, докато Simulink предлага графичен интерфейс за изграждане на динамични системни модели с помощта на блокови диаграми. Заедно MATLAB и Simulink позволяват на инженерите да симулират динамиката на сензора, алгоритми за управление и поведение на системно ниво, улеснявайки цялостен анализ и оптимизация на роботизираните системи.

Настройка на симулация на MATLAB/Simulink:

В MATLAB/Simulink сензорните модели се представят с помощта на математически уравнения и алгоритми, които описват динамиката на сензора и характеристиките на реакцията. Сензорните модели могат да включват нелинейности, несигурности и източници на шум за регистриране на реалистичното им поведение. Симулационната настройка включва интегриране на сензорни модели в по-голям системен модел, като например контролен алгоритъм на роботизирана или навигационна система. Simulink предоставя софтуерни инструменти за симулиране на взаимодействието между сензори, задвижващи механизми и околната среда, което позволява да се оценят производителността на ниво система и да се валидират стратегиите за управление.



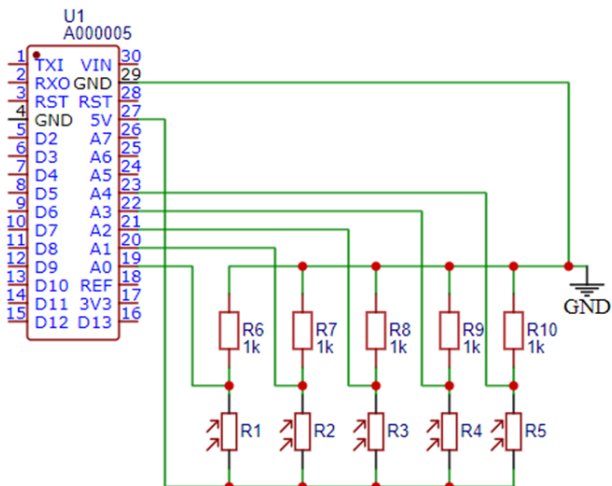
Фиг. 10 Модел на сензор за движение IR в Simulink.

Проектиране на вариантни схеми решения на сензорни системи за приложение в роботиката.

През последните години платформата Arduino се утвърди като универсален и достъпен инструмент за широк спектър от приложения, особено в областта на събирането на данни за сензорни системи. Независимо дали се използва в академични изследвания, индустриална среда или любителски проекти, Arduino се доказва като ефективно решение за събиране, обработка и анализ на данни от различни сензори. Разгледани са причините, поради които Arduino е отличен избор за събиране на данни в сензорни системи, като се обръща внимание върху неговата достъпност, лесна употреба, гъвкавост и сериозен ресурс по отношение на поддръжката

на библиотеки. Предоставени са кратки технически спецификации и подробности, за да се илюстрират по-добре възможностите на Arduino в тези области.

Проект на развойна платка за четене и анализ на данните от масив от аналогови сензори.



Фиг. 11 Принципна електрическа схема на разработеното устройство.

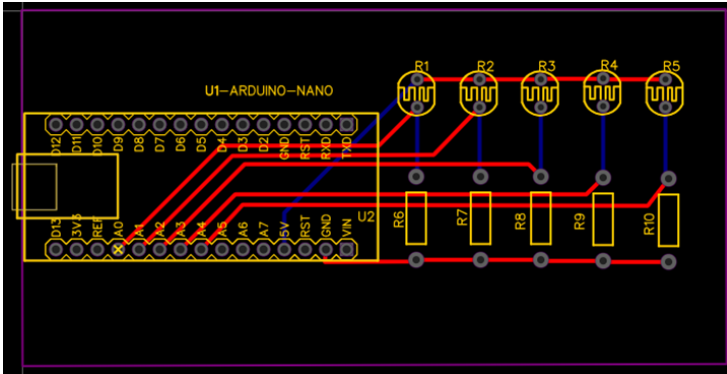
Създадената принципна електрическа схема на фиг. 11 по същество представлява сензорен модул за отчитане на околната осветеност, базиран на 8 битов микропроцесор AVR с работна честота 16 MHz. Сензорните елементи са свързани към порт D на използвания процесор. Полученият изходен сигнал от използваните сензори е с аналогов характер и това следва да се отчете при избора на интерфейсен порт и инициализацията му:

```

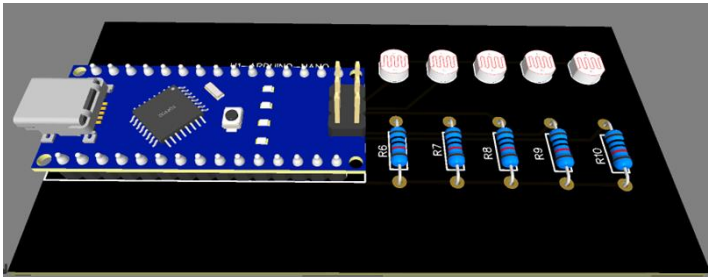
int sensorPins[] = {A0, A1, A2}; // Масив аналогови сензори
int sensorValues[3]; // Масив за съхранение на данни
void setup() {
  Serial.begin(9600);
}

```

Фиг. 12 Инициализация на процесора.



Фиг. 13 Общ вид на печатната платка.

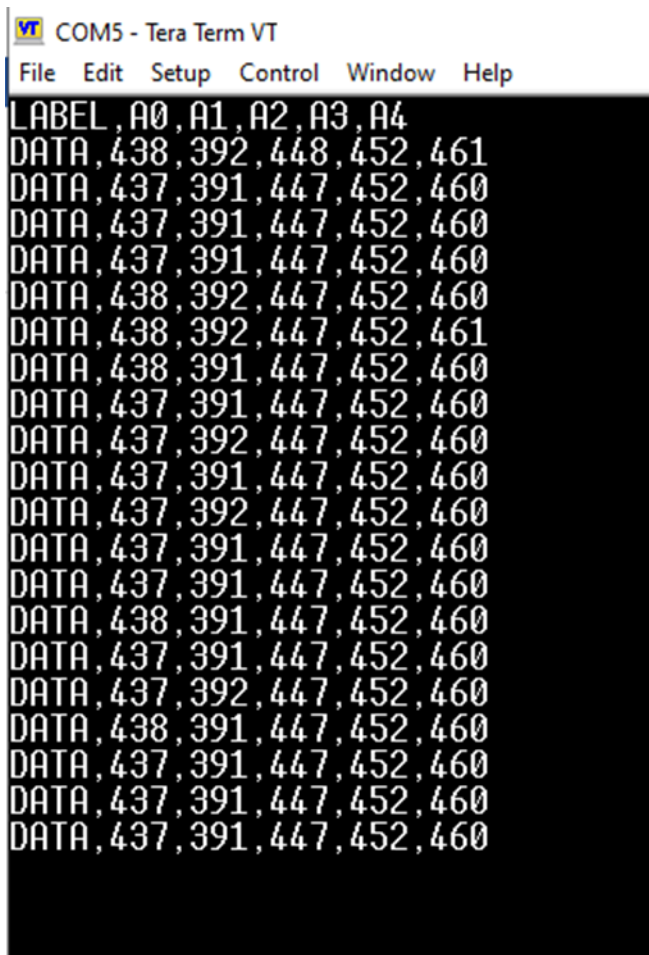


Фиг. 14 3D модел на печатната платка .

Проведен е експеримент, имащ за цел предостави данни за интензитета на осветеността на околната среда. Направена е поредица от двадесет измервания на сигнала на всеки отделен сензор. Посредством контролен луксметър е определена референтна стойност на осветеността.

Показанието му в момента на осъществяване на измерванията от изследвания сензорен модул е 420 Lx.

Данните от модула се разчитат и записват на компютърна система посредством серийна комуникация с помощта на софтуерния продукт Tera Term VT.



```
COM5 - Tera Term VT
File Edit Setup Control Window Help
LABEL, A0, A1, A2, A3, A4
DATA, 438, 392, 448, 452, 461
DATA, 437, 391, 447, 452, 460
DATA, 437, 391, 447, 452, 460
DATA, 437, 391, 447, 452, 460
DATA, 438, 392, 447, 452, 460
DATA, 438, 392, 447, 452, 461
DATA, 438, 391, 447, 452, 460
DATA, 437, 391, 447, 452, 460
DATA, 437, 392, 447, 452, 460
DATA, 437, 391, 447, 452, 460
DATA, 437, 392, 447, 452, 460
DATA, 437, 391, 447, 452, 460
DATA, 437, 391, 447, 452, 460
DATA, 438, 391, 447, 452, 460
DATA, 437, 391, 447, 452, 460
DATA, 437, 392, 447, 452, 460
DATA, 438, 391, 447, 452, 460
DATA, 437, 391, 447, 452, 460
DATA, 437, 391, 447, 452, 460
DATA, 437, 391, 447, 452, 460
```

Фиг. 15 Сензорни данни при околна осветеност 420 Lx

```
Reading 1: LDR0: 624, LDR1: 487, LDR2: 606, LDR3: 672, LDR4: 680
Reading 2: LDR0: 623, LDR1: 559, LDR2: 606, LDR3: 672, LDR4: 680
Reading 3: LDR0: 624, LDR1: 579, LDR2: 606, LDR3: 672, LDR4: 680
Reading 4: LDR0: 624, LDR1: 566, LDR2: 606, LDR3: 672, LDR4: 680
Reading 5: LDR0: 624, LDR1: 551, LDR2: 606, LDR3: 672, LDR4: 680
Reading 6: LDR0: 624, LDR1: 548, LDR2: 606, LDR3: 672, LDR4: 680
Reading 7: LDR0: 624, LDR1: 554, LDR2: 606, LDR3: 672, LDR4: 680
Reading 8: LDR0: 624, LDR1: 562, LDR2: 606, LDR3: 672, LDR4: 680
Reading 9: LDR0: 624, LDR1: 580, LDR2: 607, LDR3: 672, LDR4: 680
Reading 10: LDR0: 624, LDR1: 593, LDR2: 606, LDR3: 672, LDR4: 680
Reading 11: LDR0: 624, LDR1: 588, LDR2: 606, LDR3: 672, LDR4: 680
Reading 12: LDR0: 624, LDR1: 565, LDR2: 606, LDR3: 672, LDR4: 680
Reading 13: LDR0: 624, LDR1: 550, LDR2: 606, LDR3: 672, LDR4: 680
Reading 14: LDR0: 624, LDR1: 552, LDR2: 606, LDR3: 672, LDR4: 680
Reading 15: LDR0: 624, LDR1: 558, LDR2: 606, LDR3: 672, LDR4: 680
Reading 16: LDR0: 624, LDR1: 568, LDR2: 607, LDR3: 672, LDR4: 680
Reading 17: LDR0: 624, LDR1: 584, LDR2: 607, LDR3: 672, LDR4: 680
Reading 18: LDR0: 624, LDR1: 595, LDR2: 607, LDR3: 672, LDR4: 680
Reading 19: LDR0: 624, LDR1: 582, LDR2: 607, LDR3: 672, LDR4: 680
Reading 20: LDR0: 624, LDR1: 559, LDR2: 607, LDR3: 672, LDR4: 680
Common Average LDR Value: 629
```

Фиг. 16 Изчисляване на средна стойност на данните от всички сензори

Анализ на получените данни.

Данните, събрани от множество сензори, като например показанията от LDR-ите (фото-резисторите) във вашия експеримент, могат да играят важна роля за оптимизиране на когнитивните способности на работа. В роботиката когнитивните способности включват това как роботът възприема, обработва и реагира на заобикалящата го среда, често имитирайки процесите на вземане на решения при хората. Ето как данните от сензорите, като тези от LDR-ите, могат да допринесат:

1. Мултисензорно обединяване:

В един робот множество сензори предоставят различни гледни точки на средата (във вашия случай 5 LDR-а измерват интензивността на светлината от различни ъгли или области).

Чрез обединяване на тези данни роботът може да създаде по-пълна картина на заобикалящата го среда. Например, с данни от 5 LDR-а роботът може по-добре да определи позицията, интензивността и посоката на светлинни източници, което му помага да се ориентира или да реагира по-ефективно на промените в осветлението.

Алгоритмите за обединяване на сензорни данни комбинират информацията, за да намалят несигурността и шума, подобрявайки точността и надеждността на възприятията на робота.

2. Осъзнаване на околната среда:

С множество сензори роботът може в реално време да следи различни части на заобикалящата го среда, което му позволява да се адаптира към динамични условия. Например, ако някои от сензорите (LDR-ите) засекат внезапен спад на светлината, роботът може да заключи, че нещо (препятствие или човек) блокира светлината, което да го накара да промени посоката си или поведението си.

Това осъзнаване е от съществено значение за роботи, работещи в неструктурирани среди, където осветлението и другите условия се променят постоянно.

3. Контекстуално вземане на решения:

Когнитивната система на робота може да използва данните от сензорите, за да взема по-информирани решения. Например, ако показанията от LDR-ите разкрият значителни вариации в осветлението (като сянка или препятствие), роботът може да реши да намали скоростта, да завие или да спре, за да избегне сблъсък.

Чрез изчисляване на средни стойности и анализиране на тенденции в сензорните данни (както във вашия експеримент с 20 измервания), роботът може също така да засича постепенно променящи се

условия в средата, които изискват дългосрочна реакция, като придвижване към източник на светлина или избягване на тъмни зони.

4. Адаптивно обучение и разпознаване на модели:

Повтарящите се измервания във времето помагат на робота да учи модели в околната среда. Например, като наблюдава интензивността на светлината през деня, роботът може да разпознава кога залязва слънцето и съответно да коригира стратегията си за навигация (например включване на изкуствено осветление или превключване на нощен режим).

Тези данни могат също така да бъдат използвани за машинно обучение, което позволява на робота да класифицира ситуации (като определяне дали е на закрито или открито, в добре осветена или слабо осветена зона) и да подобрява изпълнението си чрез натрупване на опит.

5. Намаляване на шума и грешките в сензорите:

Чрез многократни измервания (като във вашите 20 цикъла на измерване) и изчисляване на средната стойност, роботът намалява шума от сензорите и случайните колебания. Това подобрява качеството на входните данни, което води до по-точни когнитивни процеси.

Намаляването на шума е критично, когато роботът трябва да извършва прецизни задачи, като разпознаване на обекти или автономна навигация, където неточни сензорни данни могат да доведат до грешни решения.

6. Локализация и картографиране:

Множество сензори помагат на робота да се локализира в средата. Например, LDR-ите могат да засекат промени в осветлението, докато роботът се движи, което му помага да разбере кои области са добре осветени и кои са по-тъмни, допринасяйки за картографиране на околната среда.

Това картографиране е важно за работи, които трябва да се движат автономно, тъй като те трябва да разбират заобикалящата ги среда, за да избягват препятствия, да намират обекти или да се ориентират към целите си.

1. Оптимизиране на поведението:

Когнитивните системи използват данни от сензорите за оптимизиране на поведението. В случая на светлинните сензори, роботът може да оптимизира движението си, като дава приоритет на области с по-добро осветление (което е полезно за системи за визуално възприятие) или като избягва зони, където интензивността на светлината е твърде ниска за ефективна работа.

Чрез адаптиране на поведението си въз основа на реалните данни от сензорите роботът може да изпълнява задачи по-ефективно, което води до икономия на енергия, по-добро изпълнение на задачите и по-голяма адаптивност към промените в средата.

2. Откриване на обекти и събития:

Роботът може да използва множество LDR-и, за да открива конкретни събития или обекти в средата. Например, внезапен спад в светлината, засечен от няколко сензора едновременно, може да показва, че пред робота се движи обект или човек. Това откриване може да се използва за задействане на действия като спиране, завиване или взаимодействие с открития обект.

При работи за здравеопазване или сервизни работи, откриването на подобни събития може да е от съществено значение за безопасността и взаимодействието.

Заклучение:

Данните от множество сензори, като LDR-ите, осигуряват основата за подобряване на **когнитивните** способности на робота чрез подобряване на неговото възприятие, обучение и вземане на решения. Роботът използва данните от сензорите, за да се адаптира към заобикалящата го среда, да разпознава модели и да оптимизира действията си, което са ключови елементи на когнитивната роботика. Чрез правилното интегриране на сензорите и обработката на данните тези измервания

помагат на роботите да станат по-интелигентни, отзивчиви и ефективни в сложни и динамични среди.

Настоящата дисертация е насочена към подобряване на когнитивните възможности на роботите чрез оптимизация на сензорните им системи. Направен е детайлен обзор на съвременното състояние на сензорната техника в роботиката и са изследвани различни подходи за повишаване на ефективността ѝ. Чрез проектирането и създаването на мобилна платформа с омни-колела, както и чрез симулационни модели и разработки на сензорни модули, е постигнато значително усъвършенстване на ориентацията и възможностите за адаптивно поведение на роботите. Изводите от изследването предлагат надеждна основа за бъдещи разработки, насочени към внедряването на когнитивно усъвършенствани работи в различни приложни сфери.

Получени научни резултати

НАУЧНО-ПРИЛОЖНИ ПРИНОСИ

- На база извършеното проучване в литературния обзор по темата е направена е обзорна класификация на актуалните към момента съществуващи сензори от гледна точка на техните характеристики и приложимостта им в различни технически системи
- Предложена е методика за проектиране на оптимална сензорна система, предназначена за когнитивни работи.
- Получени са експериментални резултати при изследването на оптимално проектираните сензорни модули.

ПРИЛОЖНИ ПРИНОСИ

- Проектирана и реализирана е мобилна платформа, подходяща за употреба като универсално техническо средство за тестване на функционалните възможности и технически характеристики на разработените оптимални сензорни системи от модули.
- Създадени са оптимални сензорни модули като: Сензорен модул за измерване на температура; Сензорен модул за измерване на интензитет на светлина във видимия спектър. В софтуерно отношение са създадени следните модули: процедура по инициализация на избрания оптимален PIC микроконтролер; софтуерен модул управляващ комуникация между микроконтролера и интелигентния сензор; модул за

визуализация на 7 сегментен дисплей; софтуерен модул за преобразуване на пакетите от данни получени от смарт сензора в подходящ за отчитане формат.

- Разработено е мобилно приложение за андроид, служещо като човеко-машинен интерфейс за управление на мобилната платформа , предназначена за когнитивни работи.
- На база получени резултати, при проведени експериментални изследвания, е направена оценка на параметри и състояния на сензорите, което е част от процеса на проектиране на оптимална сензорна система за когнитивни работи.

СПИСЪК НА ПУБЛИКАЦИИТЕ, СВЪРЗАНИ С ДИСЕРТАЦИЯТА

1. Tzvetkov V., Valchkova N., Zahariev R.. "Methodology for Selection and Design of Sensor Systems for Mobile Service Robots". Proc. of the 9th International Conference on Engineering and Emerging Technologies (ICEET), IEEE, 27-28 October 2023, Istanbul, Turkey,, IEEE, 2024, DOI: 10.1109/ICEET60227.2023.10526135, 1-6
2. Valchkova N., Tzvetkov V., Zahariev R.. "A Service Robot Module Based on 8 Bit Microcontrollers Designed To Measure A Patient's Temperature". Automation of discrete production, 5, TU-Sofia, 2023, ISSN:2682 9584, 40-44
3. Tzvetkov V., Valchkova N., Zahariev R.. Типове сензори за приложения в роботиката. Automation of discrete production, 6, TU-Sofia, 2024, ISSN:2682 9584, 49-54

Main task of the dissertation.

As a result of the analysis of existing problems and challenges, the aim of the dissertation was formulated:

Based on a comprehensive analysis of the current state of the various types of sensors, to create a Methodology for the effective design of the sensor system of robots with the aim of increasing their cognitive capabilities, by optimizing its technical parameters.

The dissertation thesis aims to solve the following tasks:

1. To review existing solutions for designing sensor systems in cognitive robots.
2. Analysis and classification of currently existing sensors.
3. Research and development of a method for designing an optimal sensor system intended for cognitive robots.
4. To create a real model for experimental confirmation and verification of the proposed Methodology for creating an optimal sensor system.

CONTRIBUTION

SCIENTIFIC AND APPLIED CONTRIBUTIONS

- On the basis of the research carried out in the literature review on the subject, an overview classification of the currently existing sensors has been made from the point of view of their characteristics and their applicability in various technical systems
- A methodology for designing an optimal sensor system intended for cognitive robots is proposed.
- Experimental results were obtained in the study of the optimally designed sensor modules.

APPLIED CONTRIBUTIONS

- A mobile platform suitable for use as a universal technical tool for testing the functional capabilities and technical characteristics of the developed optimal sensor systems of modules was designed and implemented.
- Optimal sensor modules have been created such as: Sensor module for temperature measurement; Sensor module for measuring light intensity in the visible spectrum. In terms of software, the following modules have been created: initialization procedure of the selected optimal PIC microcontroller; software module managing communication between the microcontroller and the smart sensor; 7-segment display visualization module; a software module for

converting the data packets received by the smart sensor into a format suitable for reporting.

- A mobile application for Android has been developed, serving as a human-machine interface for managing the mobile platform designed for cognitive robots.
- On the basis of obtained results, during experimental studies, parameters and states of the sensors were evaluated, which is part of the process of designing an optimal sensor system for cognitive robots.