

# КОНЦЕПЦИЯ ЗА СЕРВИЗЕН РОБОТ-ДРОН ЗА СКЛАДИРАНЕ И/ИЛИ ДОСТАВКА НА ГОТОВА ПРОДУКЦИЯ



Найден Шиваров

Институт по информационни и комуникационни технологии  
София, България  
Имейл адрес: nchivarov@gmail.com

Денис Чикуртев

Институт по информационни и комуникационни технологии  
София, България  
Имейл адрес: dchikurtev@gmail.com

Стефан Шиваров

Институт по информационни и комуникационни технологии  
София, България  
Имейл адрес: schivarov@gmail.com



**Резюме:** в статията е представена концептуална разработка на мобилен робот-дрон с предназначение в процесите на пренос на стоки. Описани са подробно съставните компоненти на мобилния робот, типа на мобилната платформа, използваните сензори, алгоритми за управление и софтуерната система. В изследването е представена система за автономна навигация на робота. Описан е принципа на работа на навигацията и са представени резултати от проведените експерименти върху точността на позициониране и ориентация.

**Ключови думи:** мобилен робот, диференциално задвижване, автономна навигация, операционална система за работи

## 1. УВОД

В днешно време съществуват различни типове колела и мобилни роботизирани платформи според тяхното устройство, възможности и начин на функциониране. При мобилните работи най-често използваните мобилни платформи са от диференциален тип, използвани са предимно в учебната роботика, роботите помощници и във военните работи. Друга много разпространена платформа е квадратичната с четири колела. Този тип платформи се използват предимно в робокарите и работи предназначени за работа в тежки терени. Комбинирани със специални колела като омни колелата или меканим колелата, този тип платформи могат да предложат много добра устойчивост и маневреност. На голям изследователски интерес са подложени и крачещите мобилни работи, които имитират ходене на 4 крака или на 2 крака. При избора и проектирането на мобилна платформа трябва да се съобрази нейното предназначение, терена върху който ще се придвижва, вида на задвижването, както и изисквания за специфични функции (например маневреност, специфични движения), ако има такива. Други важни проблеми при мобилните платформи са свързани с решаване на математически описания, изчисляване на одометрията при движение, както и товароспособност.

От гледна точка на електронните компоненти за един мобилен робот, то са необходими редица специализирани устройства като мини компютър, микроконтролер, комуникационни модули, задвижващи силови елементи, различни сензорни устройства и други. Популярни мини компютри използвани в мобилните работи са Raspberry Pi, Intel NUC, NVidia Jetson и други. Важна особеност за мини компютрите е те да имат достатъчно изчислителна мощ за да могат да обработват и изчисляват нужната информация. Сред най-популярните и използвани микроконтролери в мобилните работи са Arduino, esp32, pic32, teensy и други. Важно при избора на правилния микроконтролер е той да разполага с необходимия брой входно/изходни изводи, да има достатъчно изчислителна мощ и обем от памет. Друг важен елемент е електродвижването. Трябва да се изчислят правилно параметрите на електромоторите и техните задвижващи силови елементи.

Сензорните системи са критично важна част от всеки проект за мобилен робот. Те спомагат за осъществяване на всички функции на взаимодействие с околната среда – следене на пространственото положение и ориентация на робота, поддръжане на траектория, откриване на препятствия, безопасност на робота и хората, работещи с него. В зависимост от основната си функция сензорите, които са използвани в мобилните работи, могат да се разделят на няколко категории:

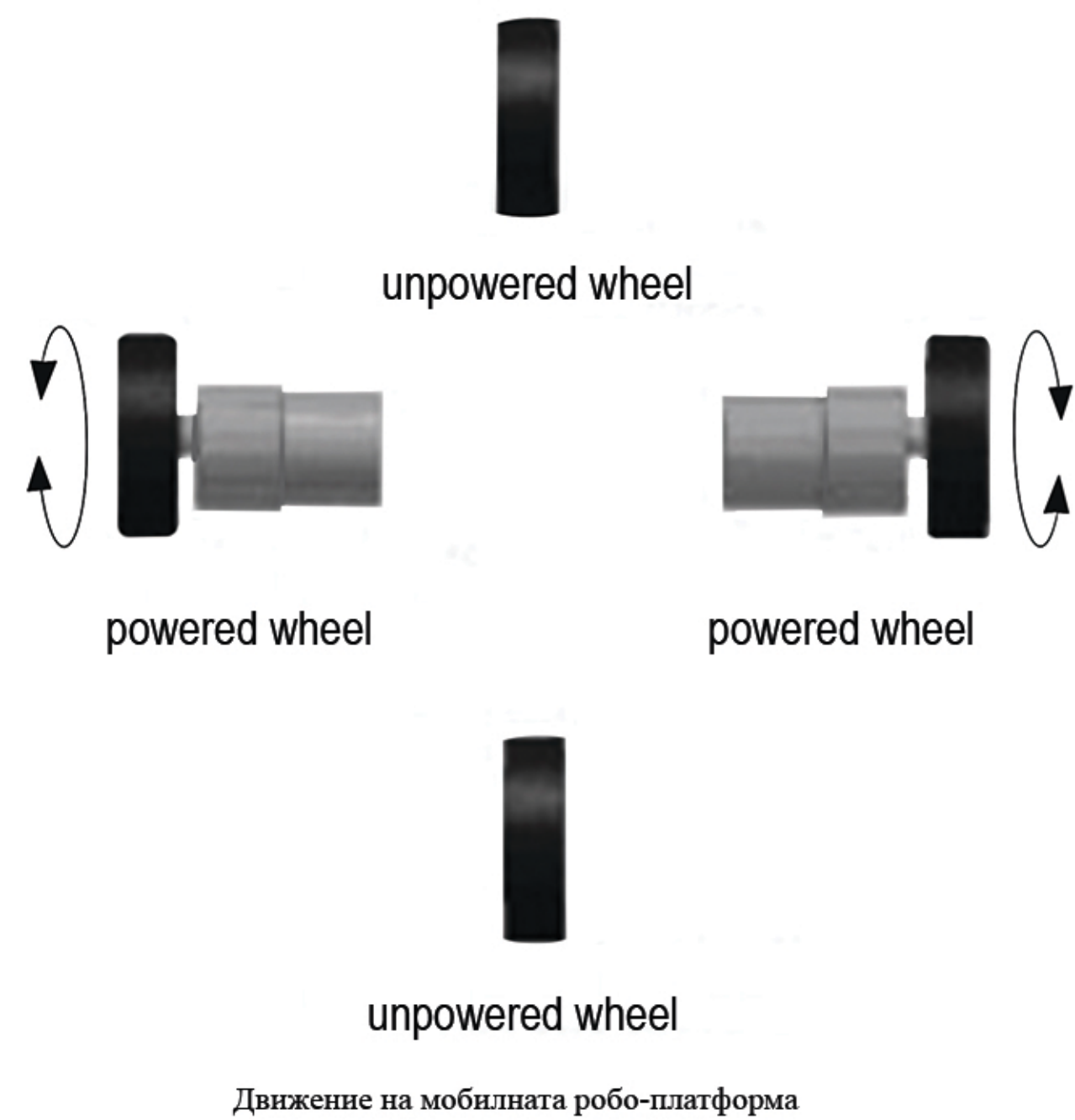
- Сензори за близост - реагират при приближаване до обект или препятствие. Могат да бъдат реализирани на базата на инфрачервени приемно-предаватели, ултразвукови ехолотатори или лазерни далекосери. И в трите случая по параметрите на отразения сигнал може да се съди за близостта на обекта.

- Сензори за ускорение и ориентация – служат както за следене на промените в скоростта на мобилния робот, така и за откриване на посоката на земното ускорение (при неподвижен робот), т.е. следене на пространствената ориентация на робота. Използването на такъв тип сензори ще допринесе за плавното движение на мобилната платформа, също и за тяхната прецизна работа по отношение на позициониране на робота.
- Допълнителни сензори – за измерване на сила, откриване на определени газове, температура, атмосферни налягане и др. – модулни приставки, които служат за адаптиране към различни типове задачи и функции на мобилния робот.

## 2. МЕХАНИКА И ЕЛЕКТРОНИКА

Изследвани са изпълнителните електромеханични системи на Сервизен Робот-Дрон за Складиране и/или Доставка на Готова Продукция. Изпълнителните механизми са онези системи, които непосредствено осигуряват мобилността и широката функционалност на модуляния робот. Функциите по задвижване както на целия робот, така и на отделни негови части/стави, ориентация на различни сензори за оптимизация на тяхната работа, преместване и задържане на определени обекти, осигуряване на въртливо или постъпателно движение на различни приставки, необходими за изпълнението на специфични функции, се осъществяват от крайни изпълнителни системи като електродвигатели, различни електромагнитни приставки, пиезоелектрични системи и др.

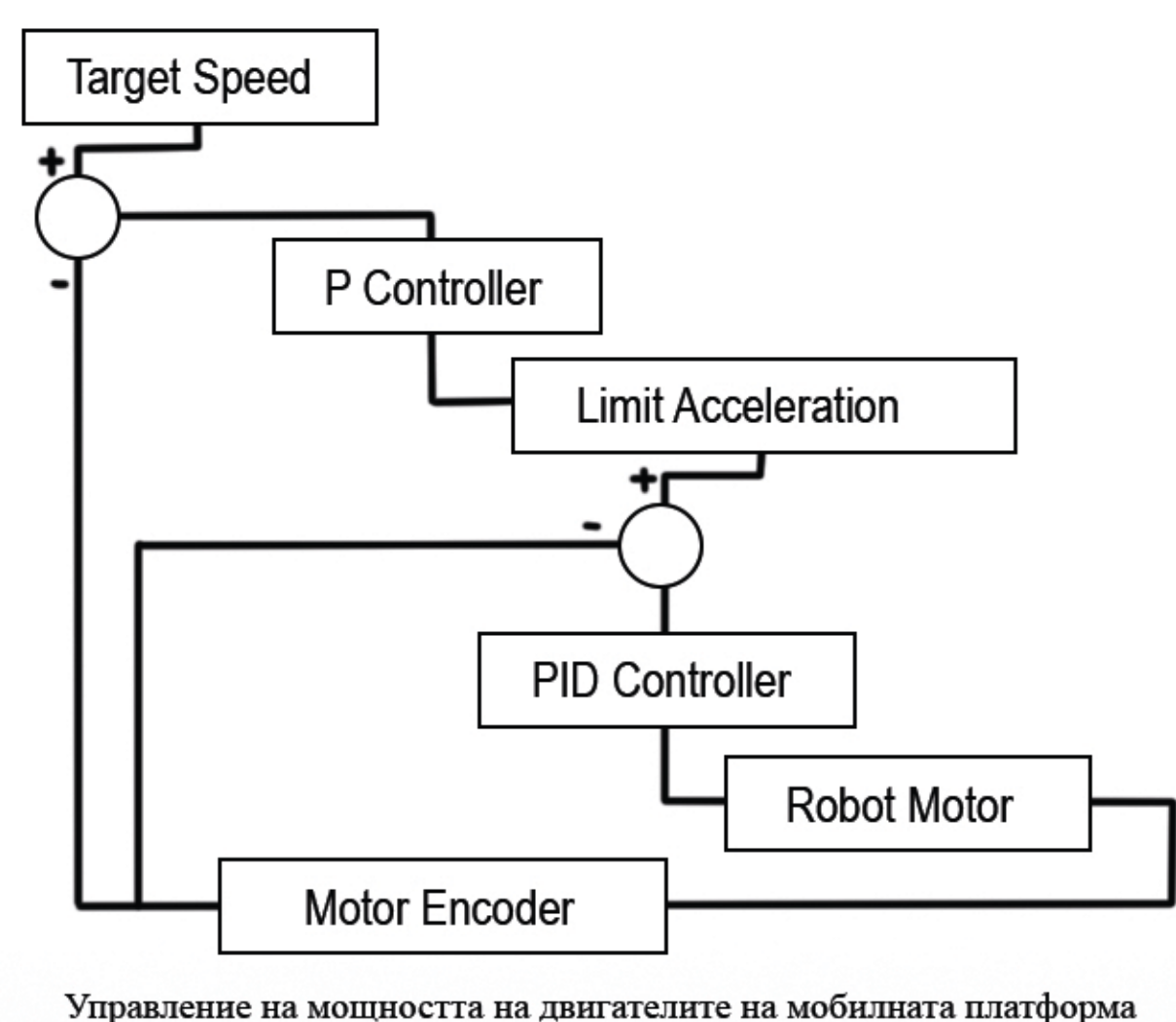
Мобилната робо-платформа фиг.1 е от типа с диференциално управление. Този тип платформи имат два мотора, разположени от лявата и дясната страна, които задвижват независимо един от друг двете странични колела. За да се постигне стабилност на платформата използваме две пасивни колела отпред и отзад. Това разположение на колелата позволява въртене на място, но при неравни повърхности може да се изгуби контакт между някое колело и земята.



Движение на мобилната робо-платформа

- Движение на двете задвижвани колела напред - постига движение на робота напред.
- Движение на двете задвижвани колела назад - постига движение на робота назад.
- Движение е на едното колело напред, а другото назад - постига завъртане на робота в малък кръг, чийто център се намира между двете задвижвани колела.
- Движение на едно колело по-бавно от другото - постига завъртане на робота в посоката на по-бавното колело. Колко бързо се завърта зависи от това колко голяма е разликата между двете скорости

Управлението на диференциална мобилна платформа е сложно, понеже се изисква координация и взаимодействие между две отделно задвижвани колела.



Управление на мощността на двигателите на мобилната платформа

## 3. СЕНЗОРНА СИСТЕМА

Проведени са изследвания върху следните групи сензори:

- Тактилни сензори

Анализирани са възможностите за приложение на различни типове тактилни сензори, базирани се на промяна на електрическото съпротивление на определени материали, както и сензори, функциониращи на електромагнитен принцип и др. Избрани са механични микропреключватели, реагиращи на натиск.

- Сензори за близост

Направен е сравнителен анализ и оценка на работата на различните типове сензори за близост по отношение на: типове откривани обекти, възможност за по-прецизно измерване на разстоянието, ограничение в обхвата, ъгъл на откриване, и други. Избраните сензори за вграждане в робота са: ултразвуков сензор HC-SR04, инфрачервен сензор Sharp GP2Y0A21YK0F и лазерен скенер RPLIDAR A3. Тези сензори са изключително ефективни при разпознаване и заобикаляне на препятствия, както и предотвратяване на сблъсъци на робота с човек или препятствие.

- Сензори за ускорение и ориентация

Направен е подбор и анализ на различни типове акселерометри и магнитни сензори според техните качества по отношение на различни параметри като прецизност, брой оси на чувствителност и други. За приложение в робота е избран комбиниран сензор MPU9250. Този комплексен сензор разполага с жirosкоп, компас и акселерометър.

## 4. СЕРВИЗЕН РОБОТ-ДРОН ЗА СКЛАДИРАНЕ И/ИЛИ ДОСТАВКА НА ГОТОВА ПРОДУКЦИЯ

се състои от диференциална мобилна платформа, мини компютър и контролери, енкодерите и сензорите, електромеханична задвижваща система (постоянно токови двигатели с куплирани редуктори и енкодери), 12V LiFePo акумулаторна батерия и сензорна система, включваща: тактилен, инфрачервен, ултразвук, лазерен скенер, камера Intel Realsense и интегриран акселерометър, жirosкоп и инерционен сензор (IMU).



Концептуален дизайн на робот-дрон за транспорт на готова продукция

Управляващия софтуер на робота е реализиран на три нива – ниско, средно и високо. Софтуерът на ниско ниво се изпълнява от микроконтролер, а средното и високото ниво се изпълняват от компютър. На ниското ниво е реализирано задвижването на моторите и извличане на сензорните данни от енкодери, IMU, и сензори за разстояние и тактилен сензор. На средното ниво са обработват сензорните данни, генерират се управляващи сигнали към микроконтролера и се изпълняват алгоритми за автономна навигация. На това ниво се извличат и данни от лазерния скенер и камерата. На високото ниво е реализиран уеб графичен интерфейс, чрез който потребителите, могат да управляват робота и да наблюдават данните от сензорите.

Управлението на ниско и средно ниво е реализирано, на базата на Robot Operating System (ROS). Връзката между компютър и микроконтролер е чрез серийна комуникация през USB кабел. Двете нива си обменят данни чрез ROS канали (topics). За предаване на данни от всеки сензор или за управление се използва отделен канал, по който се изпращат специално дефинирани съобщения в различен формат, според вида на данните. Системата е така организирана, че на средното ниво се изпълнява ROS ядрото, което осигурява връзката между отделните софтуерни програми.

Комуникацията между средното ниво и високото ниво е базирана на уеб технологиите. Използвани са уеб комуникационни канали, чрез които се постига директна връзка между уеб интерфейса и ROS ядрото. По този начин от високото ниво могат да се изпращат директни команди за управление на робота.

## 5. ТЕСТОВЕ И РЕЗУЛТАТИ

Robot Operating System (ROS) предлага широка гама от готови пакети и алгоритми за прилагане на автономна навигация за мобилни работи. Специализираният ROS пакет може да бъде описан на няколко стъпки. Първоначално се създава карта на текущия склад или магазин. Стартират се необходимите възли за локализация и планиране на траекторията. Започва процедурата за локализация на робота в картата. Накрая изпращаме желаната дестинация, към която роботът ще се премести.

Тъй като навигационната система работи в двуизмерна среда, трябва да се генерира съобщение със следните параметри, за да осигури желаните координати от картата:

- координати по дължина и ширина,
- ориентация.

Тези три параметъра, показват желаната позиция и ориентация на робота в картата.

Важна характеристика за създаването и използването на карти в навигационната система е предварително дефиниране и задаване на параметрите на самата карта. Такива параметри са максимална и минимална дължина и ширина на картата, както и разделителна способност. От резолюцията на картата зависи, каква ще бъде точността при създаването на картата и съответно при работа в режим на навигация. Разделителната способност на картата се измерва в метри за зает блок от мрежата.

За постигане на оптимални резултати, за навигационна система използваме комбинация от сканиране с лазерен скенер на 360 градуса и сензор за ориентация. Освен това за да работи коректно навигационната система се нуждаят от данни относно завъртането на колелата, типа на мобилната платформа и описан модел на робота според изискванията на ROS. За изчисляване на локализацията се използва алгоритъм базиран на Монте-Карло уравнения. За обработване на сензорните данни и интегрирането им в алгоритъма Монте-Карло се използват специализирани Калман филтри.

Специфичните характеристики на робота, като междуосие, диаметър на активните колела и резолюция на енкодерите са зададени като параметри към пакетите за навигацията, за да може тя да работи коректно. За да работи в режим на автономна навигация, предварително е направена карта на помещението, в което се намира робота (фиг. 4). Това става в ръчен режим на теле-управление, като се обхожда помещението и лазерния сензор сканира, докато се получи завършена карта.



Работа на навигационната система в реално време.

След като имаме готова карта, активираме навигационната система. Първоначално по подразбиране системата локализира робота в нулевите координати на картата и с нулева ориентация. След това, чрез приложението Rviz, трябва да се зададе ръчно къде се намира робота. Когато се зададат правилно координатите и ориентацията на робота, тогава очертаната от точките на лазерния скенер и тези на стените на картата трябва да съвпадат. Така вече робота е готов за задаване на желани координати за достигане.

Робота е показан като точка на картата. Оцветените повърхности около робота представяват разпознатите контури, които са в обхвата на локаната система за планиране на траектория. Планираната траектория се показва като линия започваща от центъра на робота и свършва там, до където е локалното планиране. Желаните дестинации се посочват директно върху самата карта или могат да се задават, чрез допълнителна програма като координати от картата. Навигационната система може да придвижва робота от дадена позиция до друга с определена ориентация, автономно.

Като резултат от работата и изследванията на навигационната система, е измерена следната средна точност на позициониране: отклонение спрямо координатите на картата от +/- 10 см и отклонение спрямо ориентацията +/- 5 градуса. Тези резултати са постигнати при направени 15 експеримента като при всеки експеримент робота успешно е достигнал зададената позиция и ориентация.

## 6. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

От представените изследвания можем да обобщим, че сервизния робот-дрон е комплексно устройство, което може да оперира в режим на автономна навигация и да постига добра точност при позициониране и ориентация. Изграденията сензорна система и алгоритмите за управление се справят успешно с поставените задачи. Така проектиран робота не може да изпълнява задачи свързани с пренос на товари в помещения на закрито.

За бъдеща работа се предвижда да се изследват методи за подобряване точността на навигационната система, така че робота освен да бъде по-точен да може да изпълнява по-бързо задачите на алгоритъма за планиране на път.

## 7. БЛАГОДАРНОСТИ

„Изследванията, водещи до тези резултати, са финансирани от Министерството на образованието и науката по Националната научна програма „ИНТЕЛИГЕНТНО ЖИВОТНОВЪДСТВО“, споразумение за безвъзмездна помощ № Д01-62/18.03.2021