

Българска академия на науките
Институт по информационни и комуникационни технологии
Секция: „Вградени интелигентни технологии“

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т
НА
ДИ С Е Р Т А Ц И Я

за получаване на образователна и научна степен „ДОКТОР“

автор: **маг. инж. Милена Филипова Груева**

Тема: „Групово управление на роботизирани средства за транспорт на товари“

научна област: 5. Технически науки
професионално направление: 5.2. Електротехника, електроника и автоматика
научна специалност: „Автоматизирани системи за обработка на информация и управление“

научен ръководител: **проф. д-р Димитър Неделчев Карастоянов**

Българска Академия на Науките – София, 2020

Увод

Терминът “мехатроника” е с японски произход [2], като в Япония обикновено под него се разбират два аспекта [3]:

- механично проектиране, задвижване, приложение на сензори в сложни интелигентни системи, отчитайки равнището на технологията и пазарните условия;
- постоянно обучение по мехатроника на инженерни кадри.

Терминът “робот” има славянски произход. Образуван е от чешката дума “robota”, която означава тежък и непосилен труд. С него чешкият писател К. Чапек през 1920 г. назовава в пиесата “R.U.R” (Росумски универсални роботи” [6] механичните работници, помагачи на човека. Роботите са обрисувани като инженерен продукт, сравним с човека в механично и интелектуално отношение.

Според това, дали оперират с обекти или се придвижват спрямо основата, роботите биват манипулационни (вкл. технологични) и локомоционни (мобилни). Управляващите им системи могат да работят самостоятелно (автоматични) или чрез периодични команди от наблюдаващ оператор (дистанционно управляеми). При отчитане на изменения в работната среда и в манипулираните обекти имаме адаптивни роботи. В зависимост от областите на приложение можем да говорим за промишлени и изследователски роботи. Специален клас са учебните роботи. Напоследък все повече се развива един смесен клас – обслужващи и битови роботи.

В тази дисертация са разгледани някои проблеми на груповото управление на роботизирани средства за транспортиране на товари. Тя е структурирана както следва:

Глава 1. Обзор, анализ и систематизация на мобилните роботи по размер, конструкция, предназначение и управление. Показани са примери за някои от тях и техните характеристики.

Глава 2. Обзор, анализ и систематизация на видове групово управление на мобилни роботи. Дадени са примери с управление във формация „следване на лидера“ и в разпределена формация.

Глава 3. Иновативен подход при груповото управление на роботизирани транспортни средства. Дадени са примери с централизирана контролна структура, комуникационни аспекти, описана е симулационната среда Webot.

Глава 4. Експериментални резултати. Представена е реално изградена роботизирана количка за пренос на багаж, както и симулационни резултати за видове групово управление.

Направени са заключения от експериментите и е приложена използваната литература.

Описани са научно-приложните приноси на докторантката.

Представен е списък с публикациите по темата.

Глава 1: Обзор, анализ и систематизация на видове мобилни роботи

Мобилната роботика е интересна област за изследвания на видове движения и възможностите им за използване при машини, които трябва да се придвижват автономно, при това често пъти без пътища, специално подготвен терен, при наличие на препятствия, тесни места и др. Един от възможните подходи за класификация на видовете мобилни роботи е според начина на придвижване. В този смисъл те са колесни, верижни и крачеци. Движението може да бъде непрекъснато или прекъснато. При роботите с прекъснато движение имаме и катерещ се тип. В практиката освен това се срещат специфични мобилни роботи, напр. летящи, както и такива от смесен тип. Една примерна класификация на наземните мобилни роботи е дадена на фиг. 1.1.



Фиг. 1.1. Класификация според начина на придвижване

Мобилната роботика получава бурно развитие в края на миналия век.

Освен като дистанционно управляеми средства за борба с тероризма, ранните мобилни роботи са създавани най-често за научно-изследователска дейност.

Според предназначението си, мобилните роботи се групират като промишлени, изследователски, сервизни (обслужващи, битови), развлекателни и транспортни.

Според функционалните си възможности съвременните мобилни роботи (МР) могат да се определят още като, [24]:

- Транспортни
- Информационни
- Манипулационни
- Хибридни

Към групата на транспортните МР спадат автоматичните мобилни платформи (МП), използвани за транспортиране на обекти от най-различно естество. Те намират приложение в болнични заведения за транспортиране на храна, медицински и хирургически консумативи, чисто или замърсено бельо, медицински отпадъци, в

складове и цехове за пренасяне и повдигане на материали , за теглене на композиции и тежкотоварни превози, (фиг. 1.10).

Информационни са тези работи, които се използват за наблюдение и измерване параметрите на средата, патрулиране и охрана, автоматизирано обслужване на клиенти и мобилни автоматизирани гидове.

Другият показател по който могат да се класифицират МР е техният мащаб. Размерите на МР, както и на ходовете на възможните локомоционни движения естествено дефинират системите като: макро, мезо и мини.

Спецификата на работната среда е формирала следните основни структурни групи МР: летящи, подводни, наземни, специални.

Съвременните наземни мобилни работи се делят на конвенционални и високомобилни и са обособен клас универсални системи с приложение в редица дейности:

- междуцехов и вътрецехов и складов транспорт, информационни и транспортни задачи и чистене в производството и обслужването
- анализ и работа в опасни среди, при бедствия и аварии, при военни и охранителни дейности
- лабораторни изследвания и обучение

Специална група мобилни работи са т.н. сервизни работи, [24]. С нарастване на процента на възрастното население в Европа и по света, все по-глямо приложение намират мобилни работи, предназначени за подпомагане и обслужване на стари, болни и самотни хора, [26].

Мобилните изследователски работи, освен за разработка на иновативни методи за наблюдение, управление и комуникации, най-често се ползват за изследване в отдалечени, трудно достъпни и вредни/опасни места или среди. Такива са Космосът, подводни изследвания, вредни за човека среди (радиация, разрушения, химически агенти и др.). Често става дума за откриване и изследване на културно-исторически артефакти, [31].

Някои класификации на микророботи биват според:

Класификация според размера

Според размера малките работи биват три вида:

- миниатюрни работи: размерите са до няколко куб. см; работното пространство и силите са сравними с манипулации на човешки пръсти; произвеждат се за сглобяване на конвенционални миниатюрни компоненти и микромашины; повечето от наличните днес микророботи са от този клас,
- микророботи: размерите са до няколко стотици куб. μm ; създават се като средство за микромашинни технологии (пространствени или равнинни микромашинни операции или литографски - LIGA технологии); съдържат микроманипулатори, сензори, вериги за “сигнал-процесинг”; примери за ползуване са сглобяване на нанороботи, работа с клетки,
- нанороботи: размерите са до няколко стотици nm, тоест с размерите на човешка клетка; конвенционалните механични принципи за задвижвания и манпулатори не са приложими тук, ползуват се електрохимически принципи (като при мимикриращи биологични микроорганизми); твърдотелните технологии за изграждане не са ползуваеми за нанопроизводство, решение могат да бъдат полимерните химични техники.

Функционална класификация

Според функционални и структурни особености говорим за:

- стационарни или мобилни микророботи,
- със собствен или с външен енергоизточник,
- работещи самостоятелно или в група,
- автономни или с дистанционно управление,
- с жична или безжична връзка с оператора,

Класификация според движенията

Според начина на придвижване микророботите биват:

- колесни,
- верижни,

- крачеци,
- катереци,
- пълзящи,
- летящи,

Класификация според обсега и задачите

Някои автори ползват съотношението “С” между физическите размери на микроробота и работната му зона:

- $C \gg 1$: стационарни микроманипулационни системи,
- $C \ll 1$: микроскопични мобилни работи.

Цел и задачи на дисертационния труд:

Целта на дисертационния труд е да се изследват видовете групово управление на мобилни работи и да се предложат иновативни подходи за групово управление на нехолономни мобилни работи с приложение при роботизирани средства за транспорт на товари.

За изпълнение на тази цел следва да се решат следните задачи:

1. Да се направи обзор, анализ и систематизация на видове мобилни работи и на методи и средства за групово управление.
2. Да се изследват известни подходи за групово управление на нехолономни мобилни работи тип „следване на лидера“ и в разпределена формация.
3. Да се предложи структура, организация и състав на система за групово управление на нехолономни мобилни работи.
5. Да се предложат иновативни подходи за изграждане на роботизирани средства за транспорт на товари с групово управление.
6. Да се проведат експерименти за групово управление на роботизирани средства за транспорт на товари в различни режими. Резултатите да бъдат анализирани.

Глава 2: Обзор, анализ и систематизация на видове групово управление

Груповото управление на работи е много актуална и намираща все повече приложения област на изследвания. Основните проблеми описани и решавани в повечето статии са свързани с решаване на математическите уравнения за управление [1, 2], както и за създаване на алгоритми за управление [3,4].

Съществуват различни стратегии и подходи, които могат грубо да се категоризират като подход основан на поведението, подход на лидер-последовател, виртуална структура, изкуствен потенциал и теория на графите за управление на формацията на множество мобилни работи.

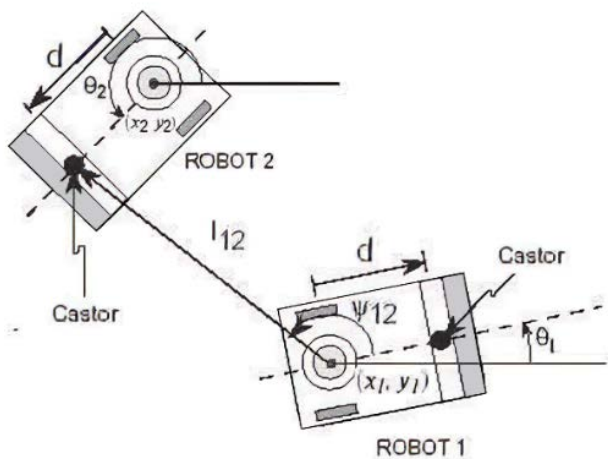
В подхода, базиран на поведението, на всеки робот се присвояват няколко желани поведения (например избягване на препятствия, избягване на сблъсъци, привличане на прицел) и окончателният контрол се получава от претеглянето на относителното значение на всяко поведение.

В подхода лидер-последовател [8] един робот действа като лидер, който генерира референтна траектория за групата работи, а останалите работи в групата действат като последователи, които трябва да запазят желаното отделяне и относителното отстояние по отношение на лидера.

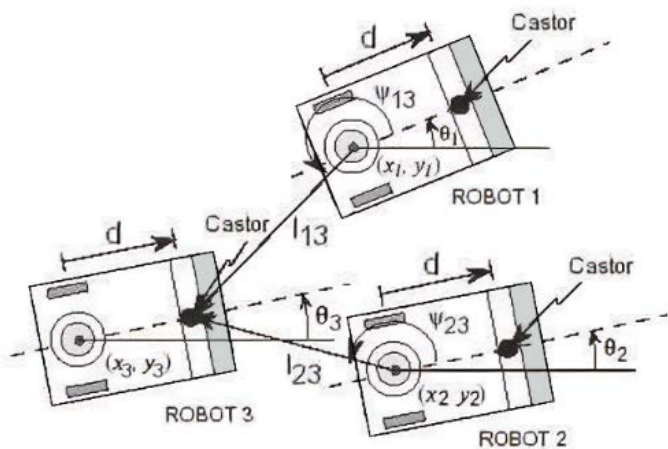
При подхода на виртуалната структура [9] цялата формация се третира като едно цяло. Законите за контрол на роботите се извеждат на три стъпки. Първо, се определя динамиката на виртуалната структура. Тогава движението на виртуалната структура се превръща в желаното движение за всеки робот. И накрая, са извлечени отделните контролери за проследяване на роботите.

. В [15, 16] е представен метод за управление по линейна обратна връзка за формация от нехолономни мобилни работи като се използва формация от типа следене на лидера и са представени два алгоритъма за управление: 1- ф управление и 1- 1 управление. 1- ф управлението има за цел да контролира и поддържа желаното разделяне l_{12}^d и относителното ориентиране ϕ_{12}^d , между лидера и следващия

робот, както е показано на фигура 2.1. Управлението $l-1$ се отнася за относителното позициониране на три мобилни робота, два лидера и един последовател, като се поддържа желано разделение от двата лидера. Целта е да се контролира и поддържа желаното разделение l_{13}^d и l_{23}^d между следващия и двата лидера, както е показано на фигура 2.2.



Фиг 2.1. Групово управление с 1 лидер



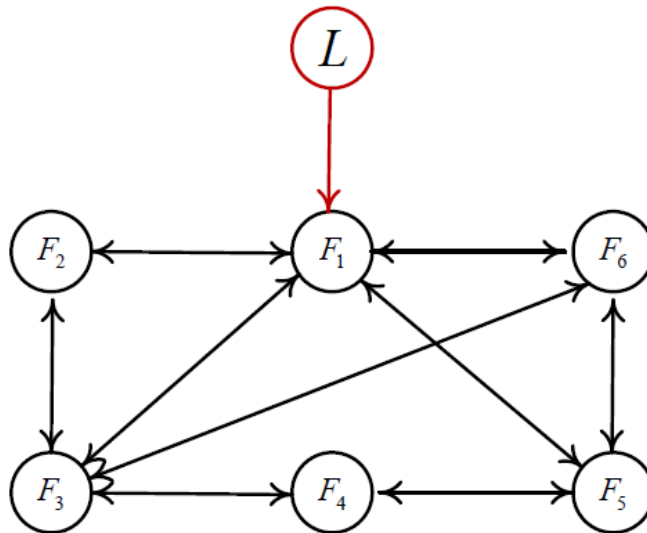
Фиг 2.2. Управление с 2 лидера

Представени са математически модели, механична структура, управление на формацията тип „следване на лидера“ при един и при два лидера, динамични грешки, симулационни резултати и др.

Разгледано е управление на нехолономни мобилни роботи в разпределена формация. През последните години, благодарение на развитието на консенсусна теория в динамичната мрежова система, са приложени консенсусни стратегии за постигане на контрол върху формирането на множество мобилни роботи, които се фокусират върху задвижване на кинематиката на всички мобилни роботи до обща стойност. В [26], първо се представя официален математически анализ за консенсус. След това изследването на консенсусни проблеми за множество системи също беше разширено до случая на насочена топология [27, 28].

Представени са математически модели, алгоритъм за разпределено управление, симулационни резултати, някои хипотези, теореми и коментари.

Разгледана е система с множество мобилни роботи с шест последователи, обозначени с F_1 - F_6 и един виртуален лидер, обозначени съответно с L . Комуникационната графика на системата с множество мобилни роботи е показана на Фиг. 2.3.



Фиг. 2.3. Комуникационен граф на група от 6 последователи и 1 виртуален лидер.

Глава 3. Иновативен подход за групово управление на мобилни роботи

Груповото управление на роботи е получило много внимание през последните години. В литературата са предложени няколко подхода за управление на група роботи.

В поведенческа базирана групова формация, груповото поведение (или мисия) включва някои действия на ниско ниво (или подзадачи) и е конструирано за постигане на глобалната цел, където отделният робот трябва да изпълнява действия на ниско ниво, за да изпълни груповата цел. При лидер-последовател формация, един робот е определен за лидер, чието движение определя движението на групата, а другите роботи се контролират, за да следват своите лидери с дадените разделяния и лагери. При формирането на виртуалната структура роботи се държат като частици, вградени в твърда виртуална структура. Предложени са и други методи, основаващи се на изкуствени потенциали и теория на графите. Наскоро беше разработен подход на нова формация, където задачата за формиране е формулирана като линейно-квадратична диференциална игра на Неш чрез използването на графични теории. Други учени прехвърлиха проблема за формиране към проблема за синхронизиращ контрол и беше разработен синхронен контролер, който да конвергира както грешките на позицията, така и синхронизацията (образуването) към нулата при превключване на задачите. Методът на оттеглящ се хоризонт (RH), който също е известен като модерен предсказуем контрол (MPC), има за цел да разреши оптимизационни проблеми на прогнозен хоризонт за управление с входни и ограничения.

Предложен е подход, който комбинира метод за автономна навигация и локализация съвместно с метод за управление на последователите, чрез разработените контролери в Глава 2.

Функциите на системата за навигация и локализация са:

- определяне позициите на лидера и последователите.

- генериране на управляващи команди към лидера.
- намиране на оптимален път и избягване на препятствия.

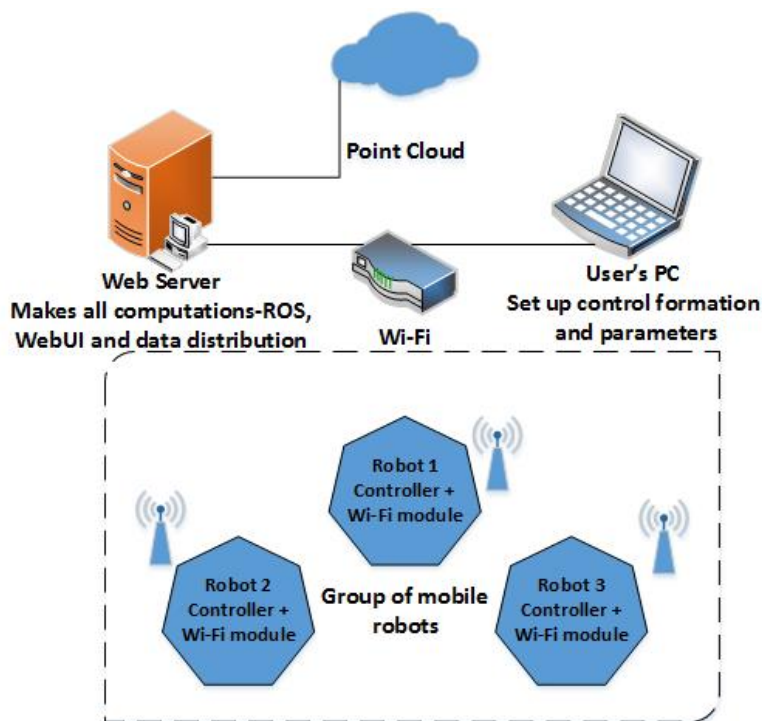
Функциите на системата за управление на последователите са:

- Прочитане на данните за местоположението на всеки от роботите
- Изпълнение на разработените контролери за управление на последователите

За изпълнение на предложения подход е необходимо да се постигне прецизност и надеждност при работата на системата за автономна навигация и локализация на лидера. То трябва да е оборудван с необходимите сензори, така че да може да изпълнява коректно заданията.

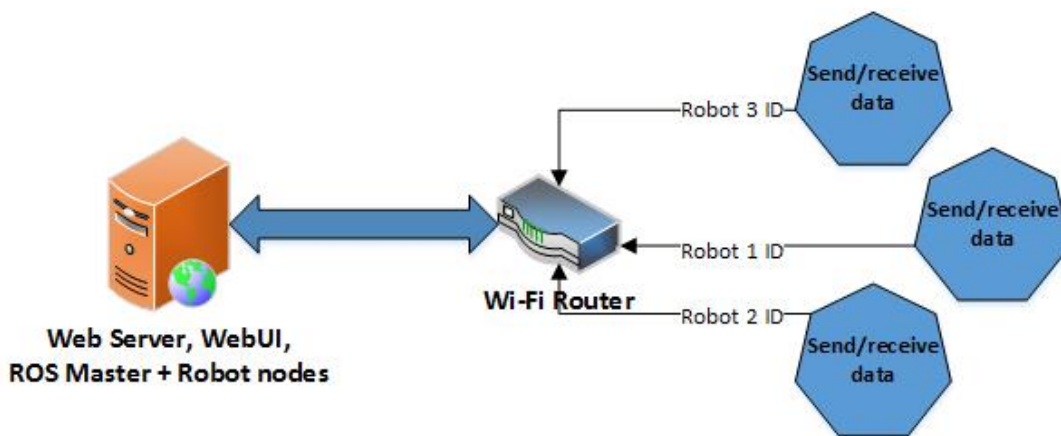
Този тип система трябва да може да удовлетвори критериите за изпълнение на централизирана структура за управление на група от мобилни работи. Разработената система се базира на принципа на безжичната комуникация чрез Wi-Fi мрежа. На фигура 3.1 е показана блок схема на системата за управление при централизирана структура.

Предлаганата система има следния принцип на работа. Компютъра на лидера е изнесен под формата на външен сървър, който да притежава достатъчно изчислителна мощ за голям обем от изчисления. А самия лидер може да бъде всеки от групата работи. Лидера се превръща в символичен лидер, който да бъде следван. Всички работи се свързват към безжичния рутер и така си комуникират с главния компютър-сървър. На този компютър се стартира локален сървър, който да се грижи за разпределението на данните и за осигуряване на потребителски интерфейс за дистанционно управление. Това дава възможност за дистанционно управление и наблюдение на поведението на роботите от външен компютър.



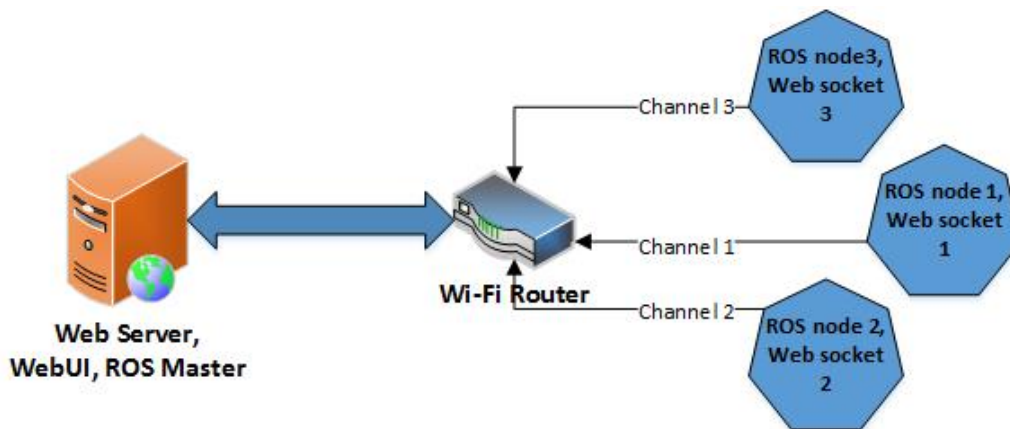
Фигура 3.1. Система за управление на централизирана структура от мобилни роботи

Комуникацията и при двете системи се реализира на принципа на Wi-Fi мрежа – фиг. 3.2. Всички роботи се свързват в локална безжична мрежа. При централизираната система готовите команди от сървъра се формират като пакети и се изпращат към всеки от роботите. За всеки робот се използва идентификация според конкретен номер. Така данните се разпределят според получателя. Също така изпратените данни от роботите също са с съответния номер за да се разпределят в конкретния възел за обработка.



Фигура 3.2. Комуникация при централизирана система за управление.

При тази схема на комуникация всеки робот се абонира към сървъра чрез уеб сокет. Всеки уеб сокет е на различен канал, така че да се получи много поточност. За подобряване на разпределението и управлението на сървъра може да се стартира ROS Master. Тако може да се добавят допълнителни функции и свойства към управлението (фигура 3.3).



Фигура 3.3. Комуникация при разпределена система за управление.

Представена е симулационна среда Webot. Описани са нейните параметри и възможности. Разгледайна е операционна система ROS, начина на ползването и, вкл. във варианта ROS за Webot.

Глава 4: Експериментални резултати

4.1. Роботизиран носач на товари.

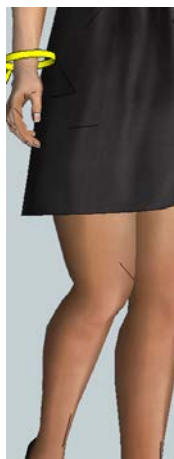
За целите на експеримента е разработена роботизирана количка – носач на товари (багаж и др.). Целта е при автономно зействие носачът да обслужва единичен пътник – оператор, като го следва и носи неговият багаж. Роботизираният автономен носач, наречен “The Stalker” е hands-free система за носене на товар, която поддържа безопасно разстояние, докато следва своя оператор, така позволявайки неговата пълна свобода на движение, фиг. 4.1. Целта е да се автоматизира преместването на голям и/или тежък багаж, действие, срещано при всяко пътуване.

The Stalker ще може да спира и тръгва самостоятелно в натоварено движение. Освен това, ще може да следва оператора до далечни местоположения с променлива скорост. Освен предложеното приложение за помощник в летище, the stalker може също така да бъде използван за много други цели: пренасяне на медицинска апаратура в болници, носене на багаж в пристанища, помощник в складове, и всякакви лични приложения. Устройството също така може да бъде използвано от стари хора, или хора инвалиди, които ще могат да пренасят багаж без чужда помощ. Работници и строители на които се налага да пренасят инструменти и материали също биха могли да се възползват от този уред.

Главният дизайн на The Stalker включва безжична връзка със собственика чрез браслет със сензори на ръката му, и съответни сензори на Stalker. Този механизъм е програмиран да следва човек и да спазва безопасно разстояние (1-2 метра). Устройството ще има вградена презаререждаща се батерия, която ще се включва в контакт за зареждане, фиг. 4.2, [1].



Фиг. 4.1. Stalker

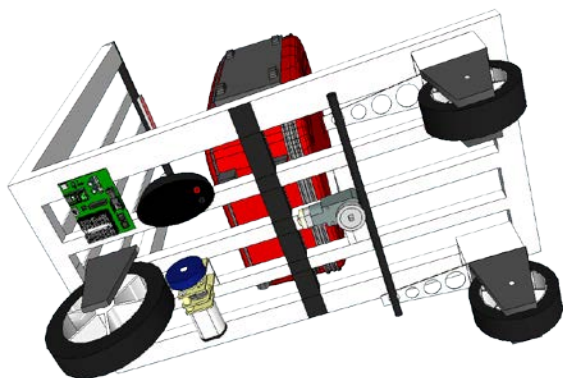


Фиг. 4.2. Браслетът

Представени са основните компоненти на системата – двигатели, контролери, сензори, батерии, светлини и др.

Главната логика за управление на количката е предоставена от двойка инфрачервени лъчо-предавателни сензора. Тези устройства са transceivers, направени да се използват по двойки, които дават лесен начин на два робота да знаят къде се намират спрямо един-друг. Сензорите работят като предават и приемат инфрачервена светлина, подобно на телевизорно дистанционно. Всеки сензор има четири IR предавателя и четири IR приемателя. Сензорите алтерират между предаване и приемане, и така те не се “объркват” от собствено предаване на светлина.

Изглед отдолу е показан на фиг. 4.3.



Фиг. 4.3. Изглед отдолу



Общият вид на роботизирания носач на товари е даден на фиг. 4.4.



Фиг. 4.4. Общ вид на роботизирания носач на товари

4.2. Безжично управление на група мобилни устройства

До скоро безжичните комуникации имаха ограничено приложение, свързано предимно с мобилните телефони, но в последните 10-15 години удобството им ги изтласка на върха на комуникационните приложения. Безжични мрежи, връзка със специализирани сензори, предаване на данни, свързани с експлоатационни параметри и още много са областите в които напоследък безжичните комуникации намират приложение. Използването на радиоканали за връзка между устройствата, макар че не е ново като изобретение, също еволюира значително, особено благодарение на широкото разпространение на Internet, локалните и WAN мрежи, свързващи много хора и позволяващи да се разменят глас, видео и данни с осезаемо високи скорости. Тласък за развитието именно на безжичните устройства е дала необходимостта от по-голяма свобода и удобство при изграждането на мрежи, необходимостта от лесното

включване на все по-бързо увеличаващия се брой на мобилни абонати, не желаещи да търсят специални точки за включване към мрежата, а глобално погледнато от потребността на съвременния човек от модерни бързодействащи и високоскоростни комуникации. В момента в света има над 1 милиард мобилни устройства, оборудвани с безжична връзка. Поради тази причина и много от фирмите производители съсредоточават своите усилия в тази област и се разработват (напоследък едночипови) устройства, ползващи един или друг протокол за предаване на данни.

Стандартът IEEE 802.11 работи в съответствие с двете долни нива на модела OSI (Open System Interconnection) - физическо и канално ниво [2]. Всяко едно мрежово приложение, протокол или операционна система могат да работят при това положение в една безжична мрежа не по-лошо, отколкото това става в обикновена Ethernet мрежа. Основната архитектура, особености, протоколи и служби са определени в стандарта 802.11, а спецификацията 802.11b засяга физическото ниво, променяйки скоростта на обмен и достъп към по-висока [2].

Консорциумът Bluetooth (IEEE 802.15.1), основан през 1998 г. от IBM, Intel, Toshiba и компаниите за безжични телефонни комуникации Ericsson и Nokia, е разработил стандарта, който създава безжична мрежа, осигуряваща скорост на трансфер 1 Mbit/s [3]. Сега консорциумът включва над 1,500 компании, в това число Microsoft, Dell, Lucent Technologies, Motorola и 3Com. Bluetooth комуникациите се осъществяват в честотния диапазон 2400-2483.5 MHz. Както при IP комуникациите, при Bluetooth данните се изпращат под формата на пакети, контролирани от специални блокове. В зависимост от състоянието на трафика, предаващите и получаващите устройства могат да сменят честотните канали до 1600 пъти в секунда. Освен адреса на получателя, контролните блокове съдържат и честотата на следващия пакет. Нуждата от постоянен контрол обяснява разликата между теоретичната скорост от 1 Mbit/s и действителната, която обикновено не надвишава 864 Kbit/s [3]. Bluetooth мрежите са проектирани да поемат едновременно до осем устройства. На всяко устройство се присвоява статус slave или master. Master-ите са отговорни за организирането и управлението на комуникациите, включително и тези между slave устройствата. Съществуват и 20 различни профила [4] и три типа връзки,

което допринася за високата цена на Bluetooth чиповете. Профилите контролират поведението на Bluetooth устройствата, а връзките определят режимите на предаване между комуниращите модули.

Съществува множество от стандарти, като Bluetooth и WiFi, които са насочени към високоскоростното предаване на данни за глас и звук, безжични мрежи и т.н. До момента, обаче, няма стандарт за безжични мрежи, който да е в полза на специализираните нужди на сензори и управляващи устройства. Сензорите и управляващите устройства не се нуждаят от голяма широчина на предавателния канал, но имат нужда от латентни и много нискотокови източници, дълъг живот на батериите и батерии за широка гама от устройства. Именно поради тази причина е разработен стандартът IEEE 802.15.4, съвместно със сдружението “The ZigBee Alliance”. Формирано през октомври 2002 г. [7, 8], сдружението е асоциация от компании, работещи съвместно по създаването на евтини, двупосочни безжични стандарти. Прогресивно нараства броят на компаниите, които работят върху решения и продукти, базирани на ZigBee технологията. В момента група компании активно работят върху дефинирането на общ стандарт ZigBee, като Honeywell, Invensys, Mitsubishi, Motorola and Philips (които са петте фирми, основатели на сдружението “The ZigBee Alliance”) и още около 30 компании участнички, производители на безжични устройства [7, 8].

ZigBee технологията е разработена основно за нуждите от евтино решение, базирано на стандарта за безжични мрежи, което да поддържа малки потоци от данни, ниска консумация и надеждност. Това е единствената до момента стандартизирана технология, адресирана към уникалните нужди на мрежови приложения, свързани с дистанционно наблюдение и контрол на различни сензори [9].

Представена е сравнителна характеристика на стандарти и някои безжични протоколи.

Дадени са и други стандарти. Стандартите ISA 100 се отнасят до изграждането на безжични системи в среда, използвана за контрол и автоматизация, като основният им фокус е полевото йерархично ниво. Създадени са по инициатива на комитета ISA

100 като част от ISA (International Society of Automation), в сътрудничество с близо 400 професионалисти от областта на автоматизацията, представители на над 250 компании производители на оборудване, потребители от химическата, нефтопреработвателната индустрия и други.

4.3. Симулативни експерименти и резултати

Тъй като изграждането на няколко мобилни роботизирани колички за пренасяне на товари с по-голям габарит и по-голямо тегло, както е описано в т. 4.1. е твърде скъпо, за целите на групово управление са използвани симулации в среда Webot.

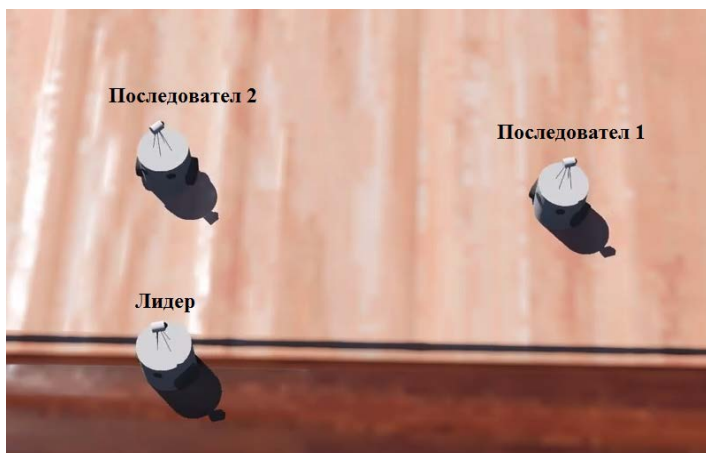
Проведените експерименти са в стимулационната среда Webots, която е описана в Глава 3. Самите експерименти са разделени на три варианта. Първия тип експерименти е с три робота във формация следване на лидера. Втория тип експерименти е със седем робота отново във формация следене на лидера, а третия тип експерименти е със седем робота и формация следване на трима лидери. Принудителните промени по време на изпълнение на формациите правим като с курсора на мишката преместваме даден робот на различни позиции с различна ориентация.

Всички експерименти са върху формация следване на лидера, като експеримент 3 представлява формация от тип следване на виртуален лидер. Контролната структура при всички експерименти е от тип централизирана – всеки робот се управлява на база позицията и ориентацията на един лидер.

Експеримент 1

Формацията се състои от три робота – един лидер и двама последователи. Типа управление е централизирано. Параметрите, които са зададени за последователите са: за първи робот ъгъл от 0.6 rad и дистанция 0.3m, за втори робот ъгъл 0.6 rad, дистанция 0.8m. Лидера се движи в траектория описваща окръжност, а последователите трябва да спазват зададените параметри, така че да не се отклоняват

от формацията. По подразбиране първоначалните позиции на роботите са зададени да бъдат случайни. Така при стартиране на програмата се определят позициите и ориентациите на всеки от роботите, след което последователите предприемат насочено движение към лидера докато не достигнат зададените отстояние и ориентация спрямо него. Допълнително са зададени ограничения на максималните скорости на всички роботи с цел да се постигне реалистична възстановка на процеса. При достигане на зададените цели последователите започват да следят лидера и да се придържат към заданията си. На фигура 4.5 е показана първоначалната позиция и ориентация на всеки от роботите. На фигура 4.6 е показана желаната формация с достигнатите задания на всеки последовател. Тук лидера вече е изминал някакъв път от своето задание да се движи по окръжност, а последователите го следват успешно.



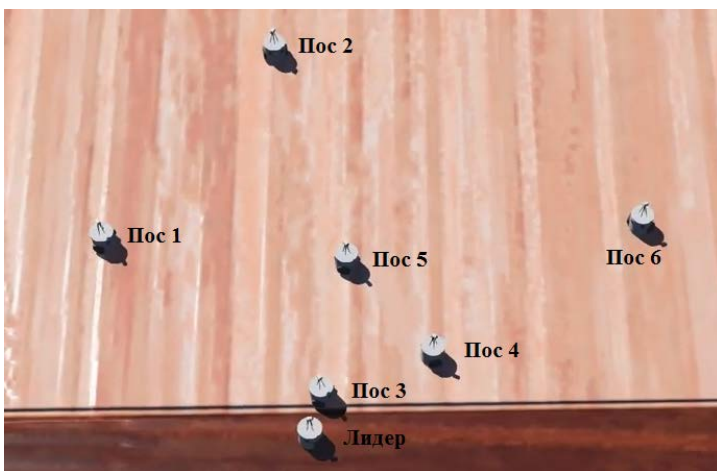
Фиг. 4.5



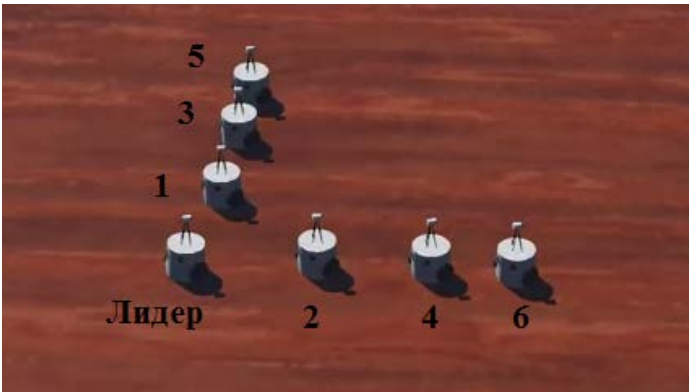
Фиг. 4.6

Експеримент 2

Целта на този експеримент е да се провери стабилността и поведението на контролерите за по-голяма група от роботи с един лидер. В експеримента се проверява и реакцията на контролерите при спонтанно изменение на позицията и/или ориентацията на лидера или промяна на позицията/ориентацията на някой от последователите. Експеримента включва един лидер и шест последователи, които трябва да се движат във формата на ято птици или стрелка. Отстоянието и ориентацията на всеки от последователите са зададени пропорционално по редове и номера. На фигура 4.7 е показана първоначалната позиция на всеки от роботите. След стартиране на програмата последователите се подреждат в зададената подредба на формацията, според номера си (фигура 4.8). При следващите тестове преместваме лидера на нова позиция. При непосредствена промяна на позицията и ориентацията на лидера, всички последователи предприемат движение за коригиране на тяхната позиция и ориентация до достигане на заданието за форма на формацията (фигура 4.9). При изместване на някой от последователите, цялостната форма се запазва, като той моментално предприема коригиране на позицията си до достигане на заданието си (фигура 4.10).



Фиг. 4.7



Фиг. 4.8

При тест 1 връщаме назад лидера с 3m и го завъртаме на 6 grad. В резултат групата от последователи веднага започва движение по посока на лидера докато не възстанови желаната подредба на формацията.



Фиг. 4.9



Фиг. 4.10

При тест 2 измества последовател 1 с 0.6m наляво и го завъртаме на 2 rad. В този случай преместеният робот веднага установява грешката в новата си позиция и я коригира, докато формацията продължава да следи лидера.

Експеримент 3

Във втория експеримент вече конфигурацията е друга и всеки робот си има свой си лидер, съответно пак се проследява, какво се случва, когато някой от роботите бъде изместен в друга посока или на друга позиция. В този случай отново имаме един лидер и шест последователи. Обаче сега сред последователите имаме още двама лидери (фигура 4.11). Лидер 2 е последовател за Лидер 1, а останалите роботи са последователи на Лидер 2. По подобен начин Лидер 3 е последовател на Лидер 2, а негов последовател е робот 3.1. В този експеримент проверяваме поведението на формацията при промяна на позицията на всеки един от лидерите.



Фиг. 4.11

При първия тест променяме позицията и ориентацията на Лидер 3 (фигура 4.12, а). В резултат наблюдаваме, че след като той бива изместен неговия Последовател 3.1 започва да си коригира позицията спрямо Лидер 3. В това време Лидер 3 предприема корекция на своята позиция спрямо Лидер 2, а Последовател 3.1 не спира да се гласи докато Лидер 3 не стабилизира позицията си във формацията (фигура 4.12, б). Останалата част от групата не променят своите динамични характеристики, а продължават устойчиво да следват Лидер 1.

При втория тест променяме позицията на Лидер 2 и наблюдаваме поведението на цялата група последователи на Лидер 2 (фигура 4.13, а). В този случай всички роботи се явяват последователи на Лидер 2. Резултата от тази промяна показва, че Лидер 2 веднага след промяната започва да се връща на зададената си позиция спрямо Лидер 1, а останалите последователи веднага започват да коригират движението си спрямо Лидер 2. Динамиката в движението на цялата формация е ускорена докато всеки робот не заеме правилната си позиция спрямо своя лидер (фигура 4.13, б).

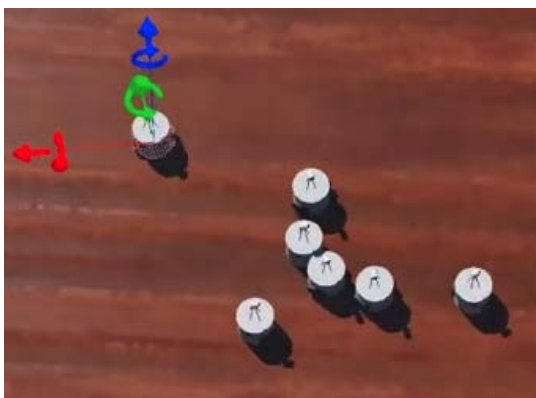
При третия тест променяме позицията на Лидер 1 и наблюдаваме поведението на цялата група роботи (фигура 4.14, а). В резултат на сменената позиция на Лидер 1, Лидер 2, който в случая е последовател за Лидер 1 моментално се насочва към новата си позиция спрямо него, при което цялата формация започва да се движи по посока на Лидер 2. Ускорението на динамиката на последователите се наблюдава докато те се стремят да застанат в правилните позиции спрямо техните лидери (фигура 4.14, б).



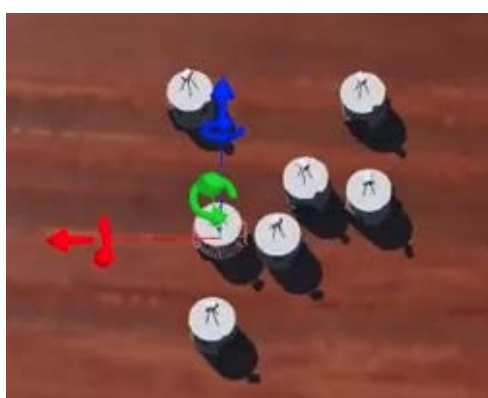
Фиг. 4.12 а)



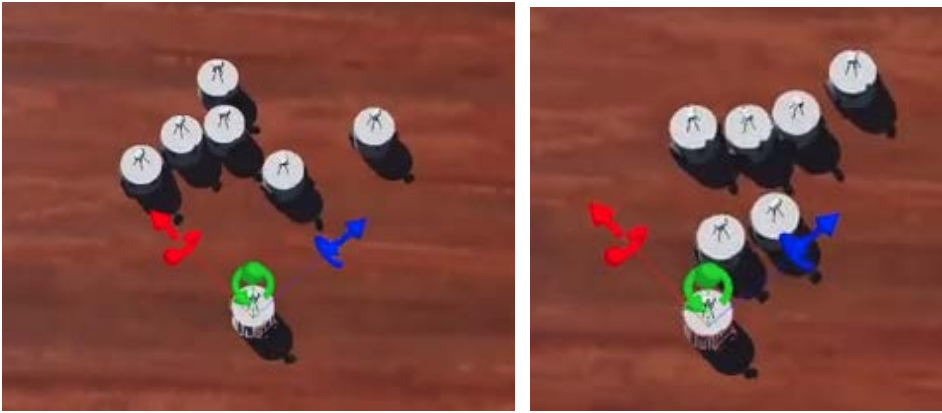
б)



Фиг. 4.13 а)



б)



Фиг . 4.14 а)

б)

Заклучение

Груповото управление на роботи намира все повече приложения. Предложените системи за управление според вида на структурата на мобилните роботи дават възможност за разширяване на функциите и възможностите на групите от роботи. Това води до увеличаване на областите на приложение на този тип роботи, както и до по-лесно практическо приложение и използване на група от мобилни роботи.

Като бъдещи изследвания се планира да се направят сравнения при използване на двете разгледани системи (централизирана и разпределена), както и да се предложат методи за тяхното усъвършенстване.

Очаквани области на приложение на роботизирани носачи на товари с групово управление могат да са:

- Летища - Възможно наемане от пътуващи хора
- Хотели и Курорти - За използване от гости, вместо портиери.
- Болници - За пренасяне на уреди и екипировка
- Домове за хора с увреждания
- Промислени предприятия
- Складове и магазини
- Ремонтни работилници
- Домове за стари хора и за лично използване

За по-широко навлизане на мобилни работи с групово управление в индустрията, услугите и бита (извън симулациите и игрите между групи мобилни работи) следва да се решат следните задачи (или да си подобрят съществуващи решения):

1. Най-бързо се развива миниатюризацията и повишавата на изчислителната мощност на хардуера – цифрова и силова електроника, задвижвания.
2. С висок темп върви и създаването на нови софтуерни приложения – бази данни, диалогови системи, комуникационни протоколи, интелигентна и автономна сензорика.

Други възможни решения:

3. Подобряване на пространствената ориентация в 3Д среда с цел не само по-добра ориентация, но и по-добра манипулация с обекти. За целта се ползват повече камери, Кинект сензори, различни репери в работната среда.
4. Подобряване на комуникацията между робот и оператор с цел по-добро възприемане и изпълняване на команди и данни. За целта се развиват методи за лицево и гласово разпознаване, вкл. на различни езици и диалекти.
5. Усъвършенстване на методи и средства с приложение в мобилната роботика за подаване на задания и целеви точки чрез координати от карта, адреси и др., вкл. и в 3Д вариант (многоетажни сгради, складове и др.).
6. Усъвършенстване на методи и средства с приложение в мобилната роботика за самообучение на мобилните работи в статична или слабо променяща се среда. За целта се ползват размита логика, невронни мрежи и методи на изкуствения интелект.

ПРИНОСИ

В съответствие с целта на дисертационния труд - да се изследват видовете групово управление на мобилни роботи и да се предложат иновативни подходи за групово управление на нехолономни мобилни роботи с приложение при роботизирани средства за транспорт на товари, са извършени научни изследвания и научно-приложни разработки, в резултат на което са решени следните задачи:

1. Направени са обзори, анализи и систематизации на видове мобилни роботи и видове методи и средства за групово управление на мобилни роботи.
2. Изследвани са известни подходи за групово управление на мобилни роботи тип „следване на лидера“ и в разпределена формация.

Постигнати са следните приноси, които имат основно научно-приложен характер:

3. Предложена е структура, организация и състав на система за централизирано/разпределено групово управление на нехолономни мобилни роботи.
4. Предложен е иновативен подход за изграждане на управляваща система за групово управление с използване на операционна система ROS и симулационна среда Webots.
5. Предложен е иновативен подход за изграждане на роботизирано средство за транспорт на товари с големи габарити и тегло.
6. Проведени са експерименти и симулации с иновативните подход и структура за групово управление на роботизирани средства за транспорт на товари с един лидер в различни режими. Резултатите са анализирани.
7. Проведени са експерименти и симулации с иновативните подход и структура за групово управление на роботизирани средства за транспорт на товари с няколко съподчинени лидери в различни режими. Резултатите са анализирани.

СПИСЪК С ПУБЛИКАЦИИТЕ

1. D. Karastoyanov, M. Grouev., Wireless Controlled Luggage Carrier., Problems of Engineering Cybernetics and Robotics, vol. 64, Sofia, 2011, pp 68-77, ISSN 0204-9848,
2. D. Chikurtev, M. Grueva., Leader-follower formation control of multiple mobile robots., Problems of Engineering Cybernetics and Robotics, vol. 70, Sofia, 2018, pp 12-20, ISSN 0204-9848
3. Karastoyanov D., Groueva M., Yosifova V.. Mobile robots for investigation in specific areas. International Journal of Systems Applications, Engineering & Development, 12, 2018, ISSN:2074-1308, 126-130
4. D. Karastoyanov, M. Grouev., Wireless Controlled Autonomous Luggage Carrier., John Atanasoff Celebration Days, International Conference “Robotics, Automation And Mechatronics” RAM 2011, Sofia, 3-7 October 2011, pp m-9 – m-12, ISSN 1314-4634
5. Д. Чикуртев, М. Груева, Д. Карастоянов., Интелигентни сервизни роботи – локализация, навигация и наблюдение с IR термокамера., Нац. Конференция АДП 2016, 23-26 юни 2016, Научни известия на ИТСМ, бр. 14/200, юни 2016, ISSN 1310-3946, стр. 200-2017
6. D. Karastoyanov, D. Chikurtev, M. Grouev., Robot control and modern ict for energy efficiency and better quality of innovative technological processes using SMART LAB, equipment, Int. Conf. MACHINES. TECHNOLOGIES. MATERIALS. 14-17.9. 2016, Varna Bulgaria, Volume 23/209 SEPTEMBER 2016,ISSN 1310-3946, pp 35-38
7. Груева М., Карастоянов Д., Стоименов Н., Обзор на методи (следване на лидера) за групово управление на мобилни роботи., 25 МНТК „АДП 2017“, Созопол, България, 22-24 юни, 2017, ISSN 1310-3946, стр. 165-170
8. Д. Чикуртев, М. Груева, Н. Стоименов., Разпределено групово управление на мобилни роботи., Международна конференция „Automatics and Informatics“, София, България, 4-6 октомври 2017, ISSN 1313-1850, стр. 65-68
9. Д. Чикуртев, М. Груева., Система за управление на група роботизирани агенти., John Atanasoff Celebration Days, International Conference “Robotics, Automation And Mechatronics” RAM 2018, Sofia, 24-26 July 2018, pp 5 – 11, ISSN 1314-4634

