

ВАРНЕНСКИ СВОБОДЕН УНИВЕРСИТЕТ
„ЧЕРНОРИЗЕЦ ХРАБЪР“
ФАКУЛТЕТ „СОЦИАЛНИ, СТОПАНСКИ И КОМПЮТЪРНИ НАУКИ“
КАТЕДРА “КОМПЮТЪРНИ НАУКИ“

РАДОСЛАВ ПЕТРОВ КЪРДЖИЕВ

ИЗСЛЕДВАНЕ НА МЕТОДИ И АЛГОРИТМИ
ЗА ЛОКАЛИЗАЦИЯ И НАВИГАЦИЯ В
ЗАТВОРЕНИ ПОМЕЩЕНИЯ

АВТОРЕФЕРАТ

на дисертационен труд
за присъждане на образователна и научна степен „доктор“,
професионално направление 4.6 „Информатика и компютърни
науки“,
докторска програма „Информационни системи и технологии,
информатика и компютърни науки”

Научен ръководител:
проф. д.н. Борислав Стоянов

Варна, 2024 г.

ВАРНЕНСКИ СВОБОДЕН УНИВЕРСИТЕТ
„ЧЕРНОРИЗЕЦ ХРАБЪР“
ФАКУЛТЕТ „СОЦИАЛНИ, СТОПАНСКИ И КОМПЮТЪРНИ НАУКИ“
КАТЕДРА „КОМПЮТЪРНИ НАУКИ“

РАДОСЛАВ ПЕТРОВ КЪРДЖИЕВ

ИЗСЛЕДВАНЕ НА МЕТОДИ И АЛГОРИТМИ
ЗА ЛОКАЛИЗАЦИЯ И НАВИГАЦИЯ В
ЗАТВОРЕНИ ПОМЕЩЕНИЯ

АВТОРЕФЕРАТ

на дисертационен труд
за присъждане на образователна и научна степен „доктор“,
професионално направление 4.6 „Информатика и компютърни
науки“,
докторска програма „Информационни системи и технологии,
информатика и компютърни науки”

Научен ръководител:
проф. д.н. Борислав Стоянов

Рецензенти:
проф. д-р Теодора Бакърджиева
проф. д-р Станимир Стоянов

Варна, 2024 г.

Дисертационният труд е в обем от 90 страници. Състои се от увод, изложение в 3 глави, заключение, списък на използваните съкращения, указатели на таблиците и фигурите, списък на използваните източници, 15 фигури, 1 таблица. Използваната библиография включва 102 литературни източника (книги, статии и доклади от конференции) на английски и български езици. Във връзка с темата на дисертационния труд са направени 2 публикации.

Авторът на дисертационния труд е докторант на самостоятелна подготовка в катедра „Компютърни науки“ при факултет „Социални, стопански и компютърни науки“ на Варненски свободен университет „Черноризец Храбър“.

Публичната защита ще се проведе на 14.05.2024 г. от 10,00 ч. в заседателната зала на Варненски свободен университет „Черноризец Храбър“ на открито заседание на научното жури.

Материалите по защитата са на разположение в канцеларията на катедра „Компютърни науки“, както и на сайта <http://www.vfu.bg>, раздел „Докторанти“.

Обща характеристика на дисертационния труд

Актуалност на проблема

Локализацията и навигацията са успешно внедрени във външни среди, използвайки GPS технология. GPS е оказал огромно въздействие върху ежедневието ни, като е подкрепил множество приложения за навигиране, картографиране и други. Независимо от това, в закрити среди, използваемостта на GPS или еквивалентни сателитни базирани системи за локализация е ограничена поради липсата на видимост и затихване на GPS сигналите, когато те преминават през стени.

Всъщност точността на около 50 метра в реална обстановка е безполезна по отношение на задача като например намиране на важна апаратура в болница. Поради изброените факти специализирани методи и технологии за системи за локализиране на закрито са необходими, за да се отговори на нуждите на пазара и потребителите.

Много научни статии са публикувани въз основа на различни теми, свързани с IPS. Забелязва се, че някои проучвания като Hightower и Borriello са просто остарели за бързо променяща се област като IPS. Повечето от тях обаче пропускат някои технологии, имат ограничена перспектива или им липсва класификационна структура. Например използването на видима светлина (LOS) или магнитното поле на Земята е пренебрегнато в някои рецензии.

Цели и задачи на дисертационния труд

Целта на настоящата дисертация е да предостави технологична перспектива на системите за локализиране и навигиране на закрито, като включва широк спектър от технологии, алгоритми и методи.

Ще се класифицират съществуващите подходи в структура, за да се направи преглед и анализ на различните подходи.

Ще бъде представено сравнение на подходите за

позициониране на закрито, както развитието и тенденциите, които се предвиждат.

Ще бъде представен и нова система за локализиране в закрити помещения, която се базира на лична разработка.

За тази цел се дефинират следните задачи:

1. Да се предложи нова система за локализация и навигация в затворени помещения - PLUM-SYSTEM.
2. Да се предложи метод за комуникация на PLUM-SYSTEM.
3. Да се предложи софтуерна платформа и подход за организация на услугите за интелигентна обработка на данните от PLUM-SYSTEM.
4. Да се покаже възможно приложение на PLUM-SYSTEM и инструментите за нейното интегриране.

Методи на изследване

Методите на изследване включват анализ и оценка на разработени алгоритми за позициониране и навигация на обекти чрез софтуерни пакети за оценка на точността на позициониране и приложимостта им в практиката.

Научна новост

В резултат на разработката на дисертационния труд:

1. Предложена е разработка за позициониране и навигиране на обекти базирана на ултразвук.
2. Разработен и анализиран е модифициран вариант за картографиране на затворени помещения, даващ възможност за реализация на много проекти.
3. С анализ е доказано, че хибридните IPS са технологично най-възможния начин за развитие на позиционирането и навигацията.
4. Предложена е визия за бъдещо сливане на външното и вътрешно позициониране, продиктувано от нуждите на обществото и развитието на технологията.

Приложимост и полезност

Настоящият дисертационен труд анализира методите, алгоритмите и системите за позициониране на закрито (IPS), тъй като те представят специфични характеристики, предизвикателства и възможности. Вътрешните прегради и конструкции се явяват препятствия, които пречат на сигналите между излъчватели и приемници, а голямото разнообразие от материали, форми и размери влияят върху разпространението на сигнала повече, отколкото в случай на открито. Системата за позициониране на закрито е изправена пред интересни технически предизвикателства поради голямото разнообразие от възможни сензорни технологии, които могат да бъдат приложени, като всяка има различни плюсове и минуси.

Фокусът на тази конкретна дисертация е именно върху прегледа на различните технологии, използвани за IPS и основните приложения за проследяване на хората, от болници до пазарни проучвания. Представа се изчерпателен преглед на литературата за системите за позициониране на закрито, с цел да се осигури технологична перспектива за развитието на IPS, като се направи разграничение между различните технологични подходи, чрез използване на класификационна схема и се представят еволюцията и тенденциите в областта.

Структура на дисертацията

Дисертационният труд е структуриран в три глави.

Първа глава – направен е аналитичен обзор на теоретичната база, свързана със системите за позициониране и локализиране, като подробно е описана и изяснена теоретичната методологична рамка.

Втора глава – в две части описва основните технологии за позициониране в затворени помещения, като в първата е начина на квалифициране на различните технологии, а във втората са изложени самите технологии.

Трета глава описва експериментална реализация и валидиране на разработената методология. Мотивирана е необходимостта от създаване и прилагане на нова методология за локализация и навигация в затворени помещения, която надгражда и подобрява съществуващите към момента.

Представено е практическо приложение на създадената система. Разгледани са нуждите и ползите от нейната употреба.

Направен е сравнителен анализ между съществуващите на пазара системи. На база на този анализ е съставена сравнителна характеристика, обобщаваща полезността на съществуващите системи спрямо разработената PLUM-SYSTEM в тази дисертация.

В **Заключението** е представено резюме на получените резултати от разработката. Определени са насоки за бъдещи изследвания и развитие. Представен е списък с научни публикации по темата и забелязани цитирания.

Кратко съдържание на дисертационния труд

Глава 1

Анализ на системите за позициониране - съвременно състояние

1.1 Глобална система за позициониране

От 70-те години за военните и 80-те за цивилните се появи нова технология, наречена GPS (глобална система за позициониране). GPS използва 32-сателитно съзвездие, за което е известна точната позиция. Всеки сателит има много точен и синхронизиран атомен часовник. Той излъчва уникален радиовълнов сигнал, който включва клеймото за часовника. Всяко устройство, съвместимо с GPS системата, може едновременно да приема сигнали от няколко сателита.

Тъй като радиовълните се движат с определена скорост, устройствата получават сигнали с различни времеви марки от няколко сателита. По този начин е възможно да се изчислят разстоянията между всеки спътник и приемника.

1.1.1 Трилатерация

След като се определят разстоянията между сателитите и устройството, алгоритъм, наречен „*Трилатерация*“, се използва за изчисляване на текущата позиция.

Трилатерацията е метод за определяне на позицията на обекти използвайки геометрията на окръжностите. Този метод използва известната позиция на две или повече референтни точки и разстоянието от обекта до всяка една от тях. Трилатерация позволява определяне на позицията от 3 известни разстояния на равнина или 4 известни разстояния на сфера. Този алгоритъм е много важен, тъй като се използва от почти всяка технология за позициониране, независимо дали е на закрито или на открито. Трилатерацията не трябва да се бърка с триангулацията, която е алгоритъмът, използван от геодезистите за изчисляване на позиции, използвайки ъгли вместо разстояния.

1.1.2 Недостатъци на GPS

Системата за глобално позициониране (GPS) е сателитна система за местоположение, която има широко приложение като се използва за определяне на местоположение, навигация и синхронизация на времето. Тъй като GPS сигналите се предават при относително ниски нива на мощност и на големи разстояния, полученят GPS сигнал е относително слаб. Освен това, в самите помещения или между тях, GPS сигналите допълнително затихват от стени, покриви и други предмети. По този начин приемането на GPS сигнали не е надеждно и сигурно в закрити помещения и затворени помещения.

1.2 Системи за позициониране на закрито

Точната и надеждна система за позициониране на закрито е от решаващо значение за осигуряване на навигация при аварийни случаи, както и за свеждане до минимум на времето за спасяване на пострадали хора. Услугите, базирани на местоположение, стимулират развитието на технологии за позициониране на закрито, главно поради необходимостта да се осигури непрекъснатост на услугите и сигнала в сградите. Обикновено услугите, базирани на местоположение, се използват с мобилни устройства за приложения като: базирана на местоположение реклама, проследяване на хора или домашни любимци и функционалност за намиране на приятели. Всички тези приложения изискват непрекъснато, безпроблемно и повсеместно позициониране, което GPS не е в състояние да осигури в закрити помещения.

1.2.1 Защо се нуждаем от системи за позициониране на закрито ?

Знанието на местоположението в реално време на хора или обекти стана изключително важно за развиването на услуги в много области като търговия на дребно, логистика, градоустройство, развлекателни дейности и др. Успехът на глобалните системи за позициониране и мобилната революция завинаги изместиха начина, по който се отнасяме към технологиите както в бизнеса, така и в личния си живот.

Въпреки това, GPS не винаги е в състояние да установи точното местоположение на човек или предмет, когато сигнала е от вътрешността на сграда, паркинг или затворено пространство. Това е така, защото GPS технологията използва сигналите на сателитите в орбита. Тези сигнали се влошават сериозно, когато няма пряка видимост, което затруднява намирането на вътрешно местоположение.

Системите специфично предназначени за вътрешна навигация и местоположение, предоставят информация за местоположението в реално време, като се наричат системи за вътрешно позициониране или от английски Indoor Positioning System.

1.2.2 Характеристики на IPS

Най-лесният и непрофесионален начин да опишете Системите за позициониране на закрито (IPS) е, че това е като GPS за вътрешна затворена среда.

Геолокализацията е ключова за множество приложения и услуги. Системите за вътрешно позициониране (IPS) са ключови за разширяването на тези услуги на закрито, където GPS системите не са надеждни. IPS се интегрират лесно и могат да бъдат внедрени в домове и сгради като взаимодействат със смарт устройства, за да им осигурят пространствен контекст.

1.2.3 Приложение

IPS може да се използва за намиране на хора или предмети в сгради, обикновено чрез мобилно устройство като смарт телефон или таблет. Въпреки че технологията е по-нова от GPS услугите, IPS бързо набира сила на места като търговски центрове, болници, летища и други закрити помещения, където навигацията и други базирани на местоположение услуги могат да се окажат необходими или полезни.

1.2.4 Системи

Системите за позициониране на закрито (IPS) използват сензори и комуникационни технологии за локализиране на обекти в закрити среди. IPS привличат научен и корпоративен интерес, защото има голяма пазарна възможност за прилагане на тези технологии. Има много предишни проучвания за системи за позициониране на закрито. Повечето от тях обаче нямат солидна класификационна схема, която структурно да картографира широко поле като системите за позициониране на закрито. Проучванията върху подобна, динамична област като IPS бързо остаряват.

1.2.5 Предимства

Навигирайки удобно и надеждно до желаната точка, IPS, като спестяват време и нерви на потребителя, независимо от конкретното приложение. Следователно системите за навигация или приложения за навигация се използват на летища и гари, в болници и офис сгради, както и в големи търговски центрове. Спортните стадиони и

многофункционалните арени също разчитат на вътрешна навигация. Използвайки функции за близост, потребителите могат да бъдат адресирани в определени точки или да им се предава определено съдържание - например промоции, оферти за магазини или информация за техническото оборудване на сградата.

1.3 Методи и алгоритми за позициониране на закрито

В този раздел представяме най-често срещаните техники, използвани за намиране на потребител/обект в закритата среда.

1.3.1 Оценка на местоположението

Най-общо оценката на местоположението се състои от алгоритъм с три етапа.

Първият етап е доказателството, при което участващите устройства измерват характеристиките на даден сигнал.

Вторият етап е оценката на обхвата, където устройствата използват измерванията или получената информация, за да изчислят разстоянието до/от обекта, който трябва да бъде разположен.

Третият етап е комбинацията от такива оценки на диапазона, за да се оцени позицията. Тази комбинация може да се извърши с помощта на методи за оптимизация или методи на матрични уравнения, наред с други техники.

1.4 Предизвикателства

Независимо от конкретните детайли, много технологии за местоположение са изправени пред следните предизвикателства.

1.4.1 Разпространение на сигнала

1.4.2 Многопътчна среда

1.4.3 Линия на видимост (LOS)

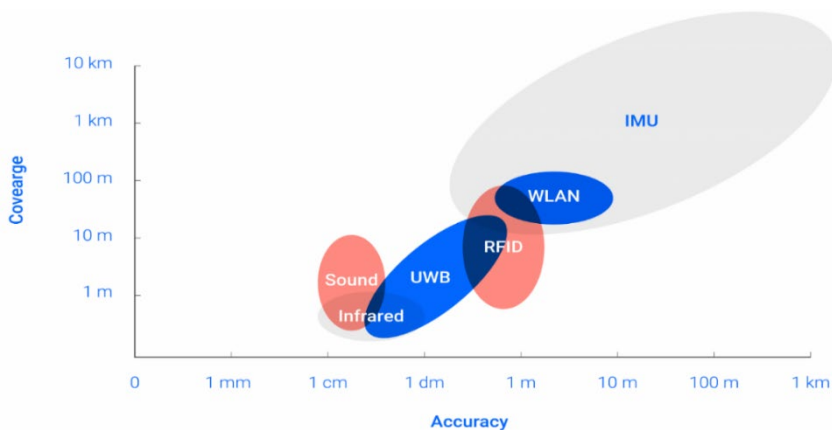
1.4.4 Синхронизация

1.5 Важни Характеристики на IPS

За да определим коя технология е подходяща за изграждане на IPS, трябва да вземем под внимание някои характеристики, като ги съобразим със спецификите на проекта.

1.5.1 Точност - Точността се счита за основна характеристика в повечето системи за картографиране на закрито и за най-трудната за подобряване.

1.5.2 Покритие и мащабируемост - Това е втората по важност характеристика, съперничаща с точността. Покритието е областта, в която е налична информация за местоположението. Покритието на IPS обикновено варира от стая до мащабируеми системи, които могат да покрият многостайна среда или големи площи като складове или търговски центрове. Често има компромис между покритието и точността, където технологиите с по-голямо покритие обикновено предполагат по-малка точност.



Фиг 1.7. Точност на технологиите спрямо покритие
<https://www.mokoblue.com/bluetooth-indoor-positioning-system/>

1.5.3 Адаптивност - Промените в околната среда могат да повлияят на работата на системата [19]. Поради това способността за справяне с тези промени е от съществено значение, когато се изисква точност.

1.5.4 Честота на дискретизация - Броят на позициите, получени в секунда, също е компрометирана функция. По-високите скорости обикновено изискват по-сложни системи, които изискват повече изчислителна мощност и повече енергия.

1.5.5 Разходи - Това включва разходи за внедряване, оперативни разходи и поддръжка по време на експлоатация на системата.

1.6 Свързаност на IoT /Internet of Things/ и IPS системите

Интернет на нещата или IoT, се появи като концепция през 2000 г.и вече се превърна в неразделна част от четвъртата индустриална революция. Еволюира от комуникация машина към машина (M2M), към безжични вместо кабелни технологии обхваща широк набор от обекти - хора и животни [89].

IoT е мрежа от неща, които събират сурови данни от околната среда чрез сензори. Информацията, която се извлича от тези данни води до ефективно управление средата. Преформатира се концепцията за Cyber Physical Systems (CPS), което означава използване на модерни сензори, изчисления и комуникационни технологии за ефективен мониторинг на физически компоненти в реалния свят [90] [91].

1.7 Изводи по Глава 1

1. Технологиите за позициониране осигуряват абсолютна или относителна позиция.
2. На закрито, GPS технологията не работи правилно поради неадекватна точност.
3. Повечето доставчици разчитат на затихване на сигнала заедно с трилатерация, за да изчислят нечия позиция.
4. Позиционирането на движение се използва най-добре за повишаване на точността на други системи за позициониране на закрито.
5. Най-добрите доставчици разчитат на синтез на сензори, което означава, че използват няколко технологии, за да осигурят по-добра точност.

Глава 2 Алгоритми за позициониране в затворени помещения

2.1 Класификация

Преди да се изброят технологиите, ще въведем класификация, за да предоставим полезна структура на иначе заплетена маса от референции.

IPS технологиите се класифицират, като се използват няколко критерия.

Първият критерий е видът сигнал, използван за местоположение. В тази връзка можем да имаме следните видове сигнали:

✓ *Радиочестотни сигнали (RF)* – Много общ термин, свързан с честотата на радиосигналите, използван в много популярни комуникационни протоколи като WI-FI и Bluetooth [6]. RF сигналите за разглежданите вътрешни среди са в обхвата *средна честота* (MF – около 1 MHz), особено между 2 и 5 GHz.

✓ *Светлина* – Както видима, така и инфрачервена светлина. Въпреки че това е електромагнитен сигнал точно както RF сигналите, свързаните технологии са доста различни.

✓ *Звук* – Както звукови, така и ултразвукови.

✓ *Магнитни полета* – Както естественото магнитно поле на Земята, заедно с неговите нередности, така и изкуствено произведените магнитни полета.

Вторият критерий е дали свързаният сигнал се приема и анализира, така че местоположението се изчислява, в инфраструктурата или в преносимо устройство, носено от потребителя или някакъв обект с мобилност.

В първия случай подходът е „активен“, тъй като преносимото устройство генерира сигнала, вместо да го получи. Във втория случай казваме, че подходът е „пасивен“, тъй като мобилното устройство получава сигнал, вместо да го генерира. Пасивните методи имат предимството на поверителността, защото изчисляването на местоположението се извършва на мобилното устройство.

Третият критерий е дали сигналът, използван за местоположение, съдържа умишлено вграден модел на символна информация, който се генерира в източника на сигнала и след това се реконструира в приемащия край.

Примери за сигнали, съдържащи вградена информация, са WI-Fi сигнали, както и методи за видима светлина и звук, които кодират предварително дефиниран сигнал в светлина или звук, който не се възприема от хората.

Примери за сигнали, които не съдържат вградена информация, са магнитното поле на Земята, както и околните смущения. Като илюстрация за класификационната схема, взимаме за пример локализиране чрез звуково местоположение [20], при което музиката, възпроизвеждаща се на обществено място (като търговски център), се модулира по различен начин от всеки говорител, използвайки предварително определени модели, които не се възприемат от хората.

Така мобилният приемник идентифицира относителната интензивност на музиката от всеки високоговорител и използвайки триангулация изчислява местоположението на потребителя. Според нашата класификационна схема този подход е базиран на звука, пасивен и с вградена информация.

Трите критерия за класификация (тип сигнал, активен/пасивен и с/без вградена информация) са перпендикулярни, така че може да се визуализира пространството за класификация като куб.

2.2 IMU (Inertial Measurement Unit)

Инерционните системи информират за относителното движение на маркера с интегрирането на няколко сензора като акселерометър, магнитометър и жирокоп в малък модул. Тези сензори са полезни при определяне на посоката и ориентацията на движение. Комбинирани, те могат да предоставят оценка на

относителното движение по отношение на предишното положение.

Тази информация обикновено се получава чрез комбиниране на всички налични сигнали с помощта на алгоритми като Dead Reckoning /мъртво отчитане/. Мъртвото отчитане е „процесът на оценка на известната текуща позиция въз основа на последната позиция и увеличаване на тази позиция въз основа на известни или прогнозни скорости през изминалото време.“ [21]

Едно от предимствата на тази технология е, че тя не изисква използването на предаватели в околната среда. За съжаление точността на този тип системи обикновено е лоша, тъй като грешката се натрупва с течение на времето и може да бъде от порядъка на метри само след няколко секунди.

2.3 Оптични технологии

Въпреки че оптичните сигнали всъщност са само форма на електромагнитно излъчване, се различават от радиовълните, поради факта, че техните специфични технологии са различни, както и техните предимства и недостатъци. Например оптичните сигнали, използвани в технологиите за местоположение, са ограничени от затруднената линия на видимост (LOS).

2.3.1 Инфрачервена светлина

Инфрачервената технология (IR) за IPS [22-23] използва електромагнитно излъчване с дължини на вълните по-дълги от спектъра на видимата светлина [24]. Инфрачервената проста система е съставена от инфрачервен диод за излъчване на светлина, който излъчва инфрачервен сигнал под формата на невидима светлина и приемач фотодиод за откриване и улавяне на светлинните импулси, които след това се обработват за извличане на информацията [24]. Инфрачервеното локализиране може да се използва в активни или пасивни конфигурации.

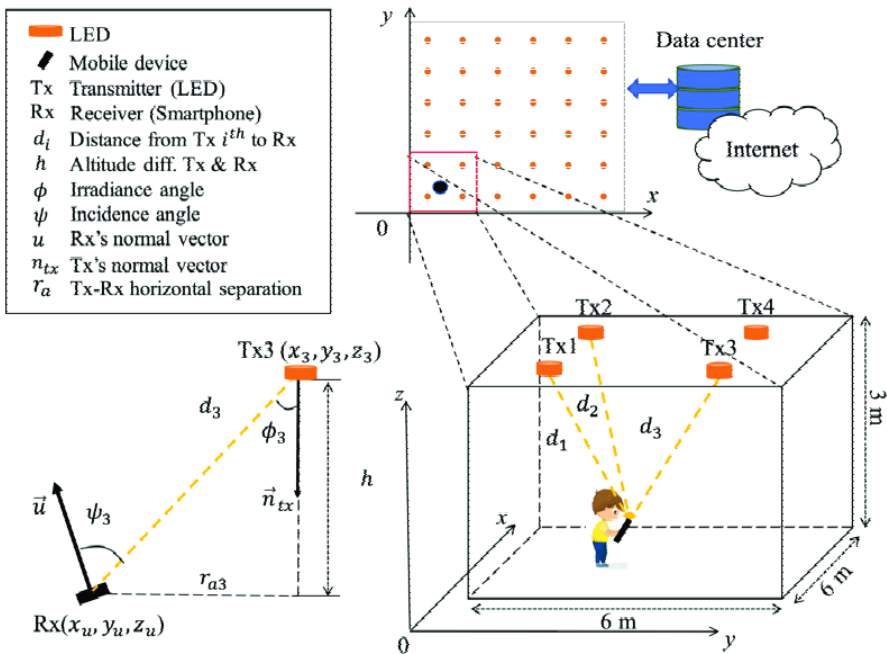
Тези системи използват инфрачервени светлинни импулси като телевизионно дистанционно управление. Те изискват безпрепятствена линия на видимост (LOS) между предавателя и приемника.

Повечето IR системи изискват разстояние от поле на видимост (LOS) от излъчвателя до сензора, въпреки че понякога отразените сигнали имат достатъчно мощност, за да активират сензора. Разбира се, в контекста изискването на постоянна видимост на IR IPS системите е голям недостатък.

2.3.2 Visible Light Communication

Комуникация с видима светлина (VLC) е технология, която използва видима светлина за предаване на данни. Може да се използват всякакъв тип лампи, но е установено, че LED светлините са най-подходящи [25]. Предаването на данни с помощта на видима светлина е възможно поради способността на източника на светлина да се включва и изключва отново на много кратки интервали. Това трептене може да бъде толкова бързо, че не може да бъде възприето от човешкото око и може да използва различни методи за модулация. VLC за IPS е разгледан поради факта, че позволява повторното използване на вече наличната инфраструктура за изкуствена светлина, така че разходите за внедряване могат да бъдат по-ниски от другите системи за локализиране на закрито [26].

Принципът за VLC е, че всяка от фиксираните лампи има различно кодиране на трептене, така че сензорът, получава светлината и сравнява модулацията с известните схеми за кодиране и в крайна сметка определя коя е доминиращата, като по този начин се свързва местоположението на сензора с околността на съответната лампа[51].



Фиг.2.3 Схема на VLC система с фотоклетка

/Mai, Duc & Le, Hoang & Pham, Thanh & Pham, Anh. (2020). Design and Performance Evaluation of Large-Scale VLC-Based Indoor Positioning Systems Under Impact of Receiver Orientation. IEEE Access. PP. 10.1109/ACCESS.2020.2984027./

Едно от предимствата на подобна подредба е, че тя изобщо не се забелязва, тъй като потребителите виждат обикновени лампи, закрепени на стандартни места (например таван). Приемникът може да бъде фотодиод или *оптоелектронно устройство*, способно да улавя интензивността на светлината (например фотоклетка), или сензор за изображение (например камера) за регистриране на светлинните импулси от предавателя[54].

2.4 Технологии базирани на Звук

Звуковите сигнали разпространяващи се във въздуха под формата на вълни, се възползват от това, че звукът се движи с много по-ниска скорост от електромагнитните сигнали, а това позволява измерването на времето, между излъчването и пристигането на сигнала, да е много по-лесно.

Времето на излъчване често се измерва чрез едновременно предаване на радиосигнал и звуков сигнал, тъй като радиосигналът достига до сензора почти мигновено, а звуковият сигнал достига до сензора по-късно, така че разликата между тези два сигнала може да се използва за изчисляване на разстоянието.

Този метод например се използва при изчисляване разстоянието до мълния, като се засича времето между визуализирането на светкавицата и чуването на гръмотевиците. Разбира се, има и възможност за използване на ToA или TDoA, за пресмятане на сигнала.

2.4.1 Ултразвукова система

Системите базирани на ултразвук пригодени за локализиране използват звукови честоти, по-високи от звуковия обхват (над 20 KHz), за да определят позицията на потребителя, използвайки времето, необходимо за преминаване на ултразвуков сигнал от предавател към приемник.

Едно очевидно предимство на ултразвуковите сигнали за разлика от звуковите сигнали е, че ултразвуковите не се откриват от хората, докато вторите биха били неприятни и досадни. Ултразвуковите системи, както и много други IPS, могат да бъдат „активни“ или „пасивни“ [44].

Ултразвуковите системи изискват поставяне на множество предаватели и синхронизиране на времето между Bluetooth предавател и тагове-те. Те могат да постигнат точност дори и под метър. Ултразвуковите сигнали обаче се влияят от смущенията на различни предмети и следователно точността може да бъде лоша, ако те не се вземат предвид.

Един от недостатъците е, че както при повечето активни системи, информацията за местоположението може да бъде разкрита и от други технологии, създавайки риск за поверителността.

По отношение на мащабируемостта на ултразвуковите системи, в активните конфигурации броят на едновременните тагове в дадена среда влияе върху производителността на системата и в крайна сметка прави системата неизползваема.

2.5 Радиочестотни технологии

Докато повечето радио-базирани технологии, използвани в системи за локализиране на закрито, са ограничени до малък диапазон от честоти (теснолентови сигнали), има и приложения, които използват големи части от спектъра (сигнали с разширен спектър).

Най-често срещаните IPS се основават на радиочестотни сигнали. Причините за това са две.

Първо, някои системи използват повторно технология, която вече е внедрена, включително WI-FI мрежи, Bluetooth и мобилни телефони. Това драстично намалява разходите за внедряване и прави технологията лесно достъпна за по-голям брой хора (например чрез инсталиране на приложение).

Второ, тъй като тези сигнали могат да преодоляват препятствия, те могат да работят в реални условия, където препятствията са неизбежни, включително търговски зони. В някои случаи тези системи могат да осигурят и по-голямо покритие. По-долу описваме най-използваните IPS системи, използващи радиочестота:

2.5.1 RFID и NFC

Радиочестотна идентификация (RFID) [28] е технология, която използва радиовълни, за да накара специализирана ел. платка да даде отговор, съдържаща уникален идентификатор; тъй като веригата може да бъде прикрепена към хора, животни или предмети, тя осигурява метод за тяхното идентифициране. RFID системата се състои от RFID четци и RFID тагове. RFID четецът може да приема данните, излъчвани от RFID тагове.

Системите, базирани на RFID, попадат в категорията на „безконтактна технология за автоматична идентификация“ [29]. RFID използва електромагнитни полета за идентифициране и проследяване на тага, прикрепен към хора или предмети. Четците изпращат импулси, които се откриват от тагове. Таговете отговарят на искането на четеща, като изпращат обратно малко количество информация, например идентификационен номер.

RFID може да бъде пасивен, активен или полупасивен [30]. Най-простите RFID системи използват пасивни маркери, които получават необходимата мощност за изпращане на сигнала директно от импулса на четеща. Пасивните маркери са много евтини, могат да съхраняват само няколко kb памет и четещът трябва да е на около 1m от маркера, за да получи информацията.

Полупасивните RFID имат батерия за захранване на тага и други прости функции, но антената и цялостната функционалност са подобни на пасивните RFID. Те могат да осигурят удължен работен обхват. Активните RFID имат различни антени, така че да осигурят по-голям обхват, например около 100 метра. Тези маркери могат също да съхраняват повече информация. Те обаче имат по-висока цена и често са с по-голям габарит[45].

NFC /Near Field Communication/ е специализирана част от RFID технологиите. По-конкретно, NFC е клон на високочестотната (HF) RFID и двете работят на 13,56 MHz. NFC е проектиран да бъде сигурна форма на обмен на данни, а NFC устройството може да бъде както NFC четещ, така и NFC етикет.

2.5.2 WI-FI и Bluetooth

Основното предимство на тези системи е, че те могат да използват съществуващата мрежова инфраструктура и че WI-FI и Bluetooth са налични в мобилни телефони и други мобилни устройства. Това ги прави лесни за разполагане и по-евтини от ad-hoc инсталациите.

Основният принцип на работа се състои в използването на получената сила на сигнала (RSS). Силата на сигнала зависи от

разстоянието между подателя и получателя. Чрез просто измерване на RSS на етикета (напр. мобилен телефон) към множество точки за достъп до WI-FI или Bluetooth предаватели, е възможно да се изчисли позицията на мобилния телефон, използвайки трилатерация, същия принцип, използван при ултразвук IPS.

Основната трудност за тези системи е, че WI-FI и Bluetooth сигналите се различават значително в присъствието на препятствия и движещи се хора. Също така различните материали влияят по различен начин на сигналите, което влияе на точността. За да се преодолее това, някои IPS създават карта на RSS, специфична за дадена област. Точността, получена с този тип системи, може да достигне 1-2м [55,56].

Bluetooth

Е технология за безжична комуникация, която използва цифрова вградена информация за радиочестотни сигнали. Първоначално предназначен за обмен на данни на къси разстояния, той е определен от стандарта IEEE 802.15.1. Основните цели на технологията са да улесни комуникацията между мобилни и стационарни устройства или между две мобилни устройства, за да се премахнат кабелите и свръзките между тях (например при използване на безжични слушалки) и да се улесни синхронизирането на данни между личните устройства [32,52].

Технологията Bluetooth се разглежда като система за локализиране на закрито като конкурент на Wi-Fi, по-специално от широкото възприемане на Bluetooth Low Energy (BLE), поради нейната наличност (поддържа се от повечето съвременни смартфони), ниска цена и много ниска консумация на енергия, която позволява на стационарните предаватели да работят на батерии в продължение на няколко месеца или дори години [32,53].

2.5.3 ZigBee

Е стандарт за безжична комуникация, разработен от ZigBee Alliance. Предложено е да се обърне специално внимание на необходимостта от внедряване на безжични мрежи с ниска скорост

на предаване на данни с ултра ниска консумация на енергия. Стандартът ZigBee е приел IEEE 802.15.4 като свой физически слой и контрол на достъпа на среда [33, 47, 58].

2.5.4 Ultrawideband (UWB)

Алтернативна радиочестотна технология на WI-FI и Bluetooth са IPS, базирани на ултра-широколентовите (UWB). „UWB е радиотехнология за комуникация с малък обхват и широка честотна лента, притежаваща свойствата на силна устойчивост на многопътност и до известна степен проникваемост за препятствия, която може да бъде благоприятна за изчисляване на вътрешно разстояние, локализация и проследяване[34].“

Ултрашироколентовата технология (UWB) се основава на предаването на форми от електромагнитни вълни, образувани от последователност от много къси импулси, използващи много голяма честотна лента. Таговете които се ползват */вижте фигурата/* са малки активни радиочестотни устройства, които излъчват както UWB, така и обикновен 2,4 GHz сигнал за локализиране и комуникация[68]. Таговете съществуват в различни форми и размери в зависимост от своята насочена антена и интерактивни възможности за избор */бутони за зумер и светодиод/*.

Основното предимство на тази технология е способността да прониква в материали като бетон, стъкло и дърво, което я прави подходяща в типични вътрешни среди, където линия на видимост често не е възможна. Освен това, по-голямата честотна лента означава висока времева разделителна способност. Това позволява измерването на ToF между подателя и получателя, което води до по-добра оценка на разстоянието от получените с RSS.

2.5.5 Магнитно поле

Въпреки че има някои подходи за локализиране на закрито с помощта на изкуствено генерирани магнитни полета [37], повечето съвременни системи използват естествената сила на магнитното поле на Земята и/или ориентация за извършване на процес на локализация, така че по-долу ще разгледаме само системи, базирани върху

естественото магнитно поле на Земята.

IPS, базиран на магнитни полета, използва магнитометър за измерване на вариациите на магнитното поле, който ще се използва за определяне на позицията на човек или обект. Оценката на позицията обикновено се извършва чрез методи като дактилоскопичен отпечатък. [38]

2.6 Хибридни технологии

Системите, които разчитат на комбинация от технологии, се наричат „хибридни“.

В проучванията на De Gante и Siller [39] терминът „хибрид“ се отнася до комбинацията от различни техники като AoA, TDoA и т.н., а в контекста на настоящото проучване "хибрид" се отнася до комбинацията от различни технологии, като магнитни и WI-FI технологии.

В хибридна система една от технологиите обикновено се счита за по-подходяща за оценка на местоположението на потребителя, докато останалите технологии се считат за допълващи и се използват за подобряване на характеристиките на системата като точност и площ на покритие.

2.7 Изводи по Глава 2

1. Различните технологии за позициониране на закрито имат различни характеристики обосновани от спецификата им.
2. Технологията базирана на ултразвук има редица преимущества за потребителите пред останалите технологии.
3. Ултрашироколентовата технология (UWB) в момента е с най-голяма точност от IPS решенията с грешки от порядъка на 30-50cm.
4. В хибридните системи винаги има основна и допълваща технологии избрани според спецификите на проекта.

Глава 3 Изледване на алгоритъм за система за позициониране на закрито

3.1 Сравнение на различните технологии

В този раздел се сравняват различните технологии, използвани за разработване на системи за локализиране на закрито.

Има няколко параметъра, които са били използвани за сравняване на IPS с други, като точност, тип локализация (2D или 3D), метод (например триангулация, дактилоскопичен отпечатък), алгоритъм, измерване на сигнала (AoA, ToA, TDoA и RSS), покритие и разходи [40, 41].

От тези параметри при сравнението ще се вземат предвид точността, покритието и цената

Сравнителна таблица

Информацията за всяка система е представена в сравнителната таблица.

Таблица 1

Технология	Приблизителна точност	Покритие	Разходи за монтаж и поддръжка	Цена към крайния потребител	Плюсове	Минуси
Инфрочервена светлина	57см. – 230см.	Стая	Високи	Ниски	Евтино за потребителя	Смушения от слънчева светлина
Комуникация с видима светлина	10см.	Сграда	Високи	Ниски	Евтино за потребителя, не се забелязва	Скъпо, нужно изграждане на инфраструктура
Ултразвук	1см. – 200см.	Стая	Високи	Високи	Много добра точност	Високи разходи, смушения

RFID	100см. – 500см.	Стая	Високи	Ниски	Много ниска цена, пасивна страна	Много ниска точност
Wi-Fi	150 см.	Сграда	Ниски	Ниски	Ниска цена, добра точност	Уязвим за промени в точката за достъп
Bluetooth	30 см - метри	Сграда	Ниски	Ниски	Ниска цена, добра точност	Награпчив; нужда се от картографиране на сигнала
Zigbee	25 см.	Сграда	Ниски	Високи	Може да използва вече готова инфраструктура	Ниска точност; потребителят се нужда от специално оборудване
Ултрашироко-колентов	15 см.	Сграда	Високи	Високи	Добра точност	Висока стойност
Магнитно поле	2м.		Ниски	Ниски	Няма нужда от инфраструктура добра прецизност	Изисква картографиране

3.1.1 Точността

Приблизително се отнася до разликата между очакваната позиция и действителната; тъй като тази разлика може да се промени в зависимост от условията, тя е по-скоро статистическо разпределение, което трябва да се изрази чрез параметри като разстояние и процент.

3.1.2 Покритието

Териториалното разширение, в което системата може да намери потребител или обект. Въпреки че някои технологии могат да

предложат широко покритие в идеална среда, когато те се използват на закрито, покритието им може да бъде ограничено от фактори на околната среда.

3.1.3 Разходът

В това проучване цената се определя въз основа на два параметъра.

- ✓ Първият е разходите за инсталиране и поддръжка.
- ✓ Вторият е цената за всеки краен потребител.

3.3 Реални примери за IPS в употреба

IPS може да се използва в много различни приложения, които използват позицията на движещи се хора или обекти на закрито. Интелигентните сгради, включително болници, фабрики или складове, могат да използват тази информация, за да подобрят сигурността, ефективността и да автоматизират операциите.

3.4 Анализ на новия алгоритъм за IPS

Местоположението и позицията на потребител или устройство в дадено пространство е един от най-важните елементи на контекстната информация. Широкото използване на сензори води до нарастваща база данни от такава информация. Само по себе си местоположението е предизвикало голямо внимание поради потенциала си да бъде използвано в търговски приложения като реклама и социални мрежи.

От анализа на IPS, представен в този дисертационен труд, се отличават следните аспекти по отношение на използваните технологии:

На практика еволюцията на основните технологии е оказала много положително въздействие върху развитието на системите за позициониране на закрито.

Например системите за позициониране, които използват Bluetooth версия 1.0, първо трябва да установят комуникация между устройствата, за да се измери получената сила на сигнала, но в по-късните версии на стандарта (версия 1.2) този процес вече не е необходим, тъй като протоколът има механизъм за откриване на

устройство. Това избягва намесата на потребителя за установяване на връзка и намалява времето за реакция на системата (латентност)[52].

По-късно Bluetooth версия 4 драстично намалява консумацията на енергия, правейки преносимите устройства с Bluetooth много по-практични. Освен това, появата на нови технологии предоставя възможност за разработване на системи за позициониране на закрито, базирани на тях.

Методът, технологията, както и подробностите за изпълнението влияят върху точността на системата.

Мотивирана е необходимостта от създаване и прилагане на нова методология за локализация и навигация в затворени помещения, която надгражда и подобрява съществуващите към момента.

3.5 Практично приложение на разработената PLUM-SYSTEM

След прецизно разглеждане на обекта и предмета на изследването, ще представим хибридна актуална система за локализация и навигация в затворени помещения. Изследователската задача е да се приложи системата, в реални условия и да се разгледа нейното приложение в различни аспекти.

3.5.1 PLUM-SYSTEM - описание и основни характеристики

PLUM-SYSTEM е хибридна IPS, която проследява и локализира оборудването и хората. PLUM-SYSTEM се основава на използването на ултразвук (USID) за комуникация в отворена среда и дава позиция за всеки обект в реално време.

Поради уникалните характеристики на ултразвука няма риск от електромагнитни смущения от друго оборудване. Малкото количество данни, предавани от таговете, изисква минимална честотна лента на LAN, така че съществуващата жична или безжична LAN мрежа може лесно да се използва.

Съществуващите компютри могат да се използват като приемници на сигнални маркери, премахвайки необходимостта от друг RTLS хардуер, освен таг-а, прикрепени към обектите, които трябва да бъдат локализирани или проследени. PLUM-SYSTEM е напълно, лесно и бързо мащабируема.

Малките таг-ове с дактилоскопичен отпечатък имат допълнителни комуникационни бутони за персонализирана конфигурация.

PLUM-SYSTEM може да се разбие на 5 отделни елемента:

I. Таг – предаватели проектирани за редица различни цели и приложения. Използва RFID и ултразвукова идентификация.

Тагът се използва от хора или поставя на предмети, за да може да локализира обекта в закрито помещение. Той може да предава звукови сигнали (A-law звуков формат) към ухото на потребителя, като по този начин носителят му ще може да получава насоки за навигация от диспечер или от самата система.

Тагът има много чувствителен сензор за движение. Този сензор може да бъде използван за следене на активността на потребителя, може да изпрати сигнал ако потребителят падне на земята. Посредством тага може да бъде изпратен сигнал за спешен случай, потребителят трябва само да потупа Тага, за да се изпрати този сигнал.

II. Приемник – открива и декодира ултразвуковите съобщения, получени от предавателите. Уредът е предназначен за използване в зони като стаи, коридори и големи сгради. Пригоден е за лесен монтаж на стена или таванна плочка. Поставя се във всяка стая в конкретната сграда. Функцията му е да получава RFID сигнала, декодира ултразвуковата идентификация и изчислява времето, необходимо на звуковата вълна да достигне от баджа до приемника. След това през радио канал изпраща изчисленото разстояние от баджа до приемника. Приемникът може да изпрати идентификацията и разстоянието до баджа през етернет, Wi-Fi, както и през специализирана RS485 мрежа.

III. Четец – свързва се към компютър посредством USB порт. Четецът получава идентификацията и информацията за разстоянието от приемника в момента, в който приемникът измери разстоянието до баджа. Четецът е нужен, за да прехвърля информацията относно локацията и статута на носителя на баджа към компютъра. След като тези данни бъдат прехвърлени в компютъра, те могат да бъдат систематизирани, съхранявани, прехвърлени в интернет, използвани за фирмени нужди и др.

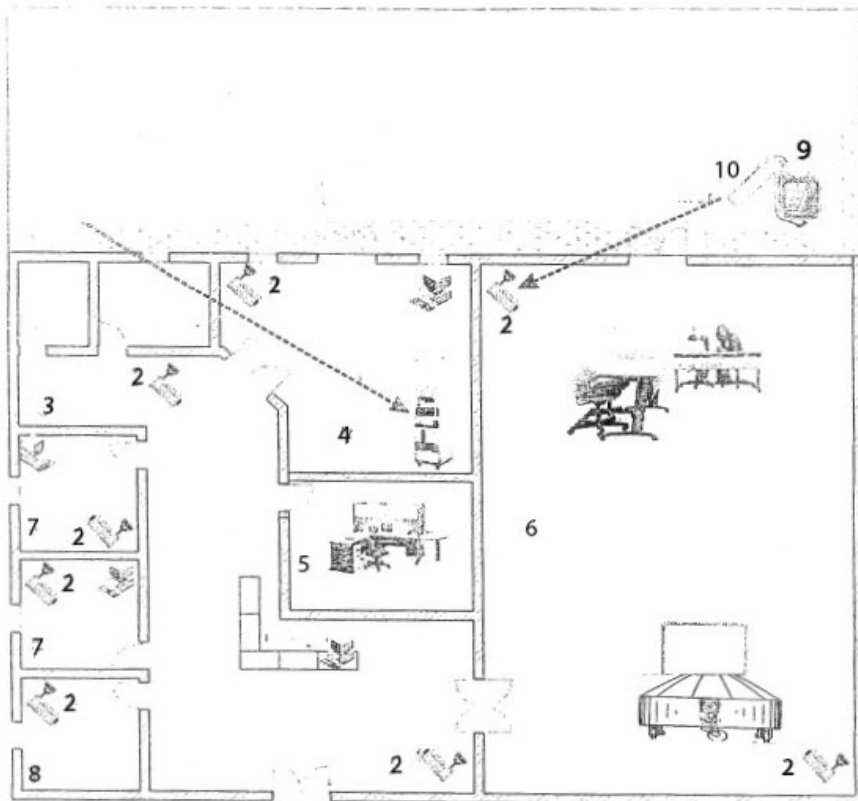
IV. Централен компютър – с инсталиран специализиран софтуер за мониторинг и управление/навигация на обектите.

V. Софтуер – реализира се с помощта на HTML5 / JavaScript / CSS3. PLUM-SYSTEM Server управлява както услугите за локализиране в реално време, така и комуникацията със системи на трета страна, когато е необходимо.

3.5.2 Техническа същност и предимства на PLUM-SYSTEM

PLUM-SYSTEM служи за локализация и навигация в затворени помещения състои се от датчик с излъчвател на ултразвукови сигнали разположен на водения обект, а в помещенията са монтирани предаватели свързан към компютърна система.

На *Фиг.3.1* подробно е представен алгоритъма на системата. Тагът /10/ се прикача към човек. В него има високоговорител свързан с приемник-предавател, чрез който се осъществява връзка с компютъра /9/ и предава на водения звукови сигнали.



Фиг. 3.1 Схема на работа на Plum-System в затворено помещение

Датчикът има чувствителен сензор за движение и има възможност да излъчва сигнал при рязка промяна на състоянието на водения обект.

При влизане на обекта в стаи /3,4..8/, датчика генерира ултразвуков сигнал, който е в диапазон от 450Hz. На всеки 2ms се генерира ултразвуков сигнал и от този момент се измерва времето, за което сигнала се приема от приемници /2/. Анализът на амплитудата и скоростта на нарастване се извършва в специализиран блок.

Полученият сигнал за амплитудата и скоростта на ултразвуковия сигнал от блока се изпращат от радиопредавателя към компютъра, в който се изчислява разстоянието и отклонението на движение на водения обект. Обслужваните обекти са разпределени по групи и групите са най-малко една, като за всяка група се отделя един канал, при което времетраенето за избирателната последователност е от 1 до 10 ms.

Предимства на PLUM-SYSTEM за локализация и навигация в затворени помещения е високото бързодействие, повишената точност, намаления брой на елементи. Всичко това води до повишена надеждност и сигурност, както и до подобряване на реакциите при критични ситуации и инциденти.

3.5.3 Приложение на системата по области

Логистика - С монтирането на приемници в по-скъпите пратки ще може да се проследява местоположението им в рамките на големи търговски и административни сгради;

Охрана - Ще може да се следи движението на всички посетители в рамките на сградата или комплекса от сгради в предприятия и административни сгради;

Търговия - С помощта на гласовия канал ще може да се предлагат насочени реклами;

Здравеопазване - С прикрепен приемник с интегрирани датчици за температура, пулс, паник бутон и др. пациентите на здравни и психиатрични заведения ще могат да бъдат наблюдавани и обслужвани по-качествено;

Социална - Хора със зрителни проблеми ще могат да използват административни услуги и ще могат да се придвижват без придружител в обществените сгради.

3.6 Анализ на картографирането на затворени помещения като важен етап и предизвикателство при изграждане на системи за локализация и навигация.

За приложението на голяма част от IPS системите и различните видове решения свързани с локализацията и навигацията на закрито

картографирането се оказва сериозно предизвикателство и в много случаи непреодолимо препятствие.

В началото на века голяма част от проектите базирани на IPS биват стопирани още в зародиш, поради факта, че не може да се намери технологично решение за бързо и точно картографиране.

Подобен е случая с голям закрит пазар в Турция, за който правителството отпуска финансиране за изграждане на система за локализация и навигация на хора в неравностойно положение.

Подобни обекти показват всички възможни трудности свързани с изграждане на системи за навигация на закрито. В началото на века липсата на развита дрон технология, както и на широко разпространените в момента 3D камери и свързаните с това развитие мобилни роботи, спъва проекта. Картографирането на такава голяма площ и интегрирането на карта с координати в съветен софтуер се оказва непреодолима пречка.

3.6.1 Картографиране с мобилни роботи

Една от съвременните сфери на развитие на технологиите е именно нишата с многобройните видове и класове според своята специфика мобилни роботи.

Съществуват множество различни методи, които в същността си са подобни. Роботът „вижда“ само част от опкръжаващата го среда, затова картата се съставя постепенно: отначало позицията на робота дефинира изходната му координатна система [71].

В научно-изследователската дейност се използват много видове роботи, които намират приложение в различни сфери. Роботи се използват за:

- космически и планетарни изследвания;
- изследване на морските дълбини или етологията (поведението) на рибните популации;
- за изследване на вулкани, руини от земетресения и природни бедствия;
- инспекции под автомобили свързани със сигурността;
- при промишлени аварии, тръбопроводи, шахти;

- картографиране на минни галерии, пещери и тунели;
- горски и селскостопански техники за водене и навигация, локализация и картографиране и др[71].

3.6.2 Картографиране с помощта на дроне

Друг важен катализатор на развитието в много направления е дрон технологията.

При картографирането на затворени помещения има вече проекти, в които са използвани мини дроне с 3D камери, които облитат обектите и с помощта на специализирани софтуери правят подробни карти.

В тази сфера има напредни проучвания на екипи учени от различни държави. Интересът към всички приложения свързани с дроновете нараства експоненциално особено след разрастването на редица военни конфликти. Факта, че дрон с вградена навигация става лесно безпилотно оръжие способно да навлезе във всяка зона, прави този тип летателни апарати изключително ефективно оръжието .

3.6.3 Видове картографиране и типове карти

Картографирането бива няколко вида в зависимост от точността на картите, а също така и от технологията или методът, с който е извършено картографирането.

Значителен принос за систематизирането на подходите при изграждането на навигационните стратегии, имат изследванията на DeSouza и Как [74] и Bonin-Font, et al. [72]. Техните проучвания за развитието на визуално ориентираните навигационни методи обхващат периода от 90 години до днес.

Авторите дефинират също и три обобщаващи категории за разделяне на различните техники за навигация в затворени обекти свързано с картирането на средата:

- ✓ Навигация базирана на карти (map-based navigation) – към тази категория са причислени системите, които зависят от предварително създадени геометрични модели или топологични карти на средата;
- ✓ Навигация от собствено изградена карта (map-building-

based navigation) – системите, ползващи тази техника, трябва да са снабдени с подходящото сензорно оборудване за построяването на свои собствени модели на средата;

✓ Безкартова навигация (mapless navigation) – основаваща се на методите за разпознаване на обекти в средата и/или проследяване на тези обекти чрез генериране на движения, базирани на пряка визуална информация.

3.7 Последните тенденции в развитието и ползването на IPS

Благодарение на бързото развитие на мобилните устройства, смартфоните се превръщат в идеална платформа за IPS позволяваща самостоятелни системи поради своята достъпност и интегриране на различни сензори и мощна обработваща способност. Цялата система е внедрена на стандартен смартфон и постига в реално време производителност на позициониране и проследяване със задоволителна точност.

Има редица софтуерни разработки за IPS, които се опитват да дадат решение на проблема с позиционирането на закрито.

Основното постижения, е че при софтуерно решение не е нужно изграждане на инфраструктура, защото се ползва съществуващата мобилна инфраструктура на GSM операторите.

Друг голям плюс е че не се налага обекта да бъде оборудван със специализирано устройство, защото разработенияте софтуери работят на смартфон .

Така изброените плюсове правят системите базирани на софтуер широко приложима в редица проекти, но за съжаление не ги прави универсални. Както много добре знаем GSM системата не работи на много места, особено подземни нива на паркинги и други обекти, където не е имало нужда или предварително задание да бъде изградена.

Независимо от това софтуерните системи са една стъпка напред в развитието на IPS технологията, която се развива с бързи темпове благодарение на постоянната работа на различни групи учени в целия свят.

Някой от последните приложения на IPS са интеграцията на различни локални системи в проекти за подобряване на навигацията на работи, при пожарогасене, умни къщи, навигация на хора в неравностойно положение .

3.8 Изводи по Глава 3

1. В лабораторна среда се постигат идеални условия и се отчита най-високата постигната точност, което не е реалистично.

2. Еволюцията на основните технологии е оказала много положително въздействие върху развитието на системите за позициониране на закрито.

3. Предимства на PLUM-SYSTEM за локализация и навигация в затворени помещения е високото бързодействие, повишената точност.

4. С навлизането на различните видове работи става много по лесно, финансово изгодно и бързо, разширяване на обхвата на IPS.

5. При картографирането все още не е намерено универсално решение поради редица фактори и съответно предстои работа в тази посока.

Заклучение

В дисертационният труд е подробно анализирана значимостта на данните и ролята на анализа им за непрекъснато подобряване на процесите . Посочени са проблемни области и са дефинирани конкретни решения на някой проблеми.

Научно - приложни приноси в дисертацията

1. Анализирано е съвременното състояние на IPS и са формулирани основните насоки за развитието на технологията в настоящия момент.

2. Извършен е анализа на хибридни системи за локализация и навигация на закрито и е получен извода , че те са най-ефективни към момента.

3. Разработен и изследван е метод и алгоритъм за позициониране и навигиране базиран на ултразвук.

4. Извършен е анализа на методите за картографиране и е предложена система за решаване на проблема за универсалност на картите на затворените помещения.

5. Извършен е анализ на картографирането с роботи и дронево.

Приложни приноси в дисертацията

1. Аналитично и практически е доказано, че на закрито, GPS технологията не работи правилно поради неадекватна точност.

2. Повечето доставчици и разработчици на услуги разчитат на затихване на сигнала заедно с трилатерация, за да изчислят позицията на обекта.

3. Най-добрите доставчици разчитат на синтез на сензори, което означава, че използват няколко технологии, за да осигурят по-добра точност.

4. Различните технологии за позициониране на закрито имат различни характеристики обосновани от спецификата им.

5. Чрез изследване е доказано, че технологията базирана на ултразвук има редица преимущества за потребителите пред останалите технологии.

6. Ултрашироколентовата технология (UWB) в момента е с най-голяма точност от IPS решенията с грешки от порядъка на 30-50cm.

7. В хибридните системи винаги има основна и допълваща технологии избрани според спецификите на проекта.

8. Еволюцията на основните технологии е оказала много положително въздействие върху развитието на системите за позициониране на закрито.

9. С навлизането на различните видове работи става много по лесно, финансово изгодно и бързо, разширяване на обхвата на IPS.

10. При картографирането все още не е намерено универсално решение поради редица фактори.

Насоки за бъдещи изследвания

Основните насоки за бъдещи изследвания върху тематиката на дисертацията включват:

1. Възможни технологии за интегриране на вътрешни и външни системи за позициониране в един модул и универсална система.

2. Разглеждане на въпросите за поверителността и сигурността при разработването на IPS

3. Използване на вече съществуващата инфраструктура в закрити среди (напр. Точки за достъп, лампи и звукови системи) за целите на местоположението.

Списък на използвани съкращения и означения

IPS	Indoor Positioning System
INS	Inertial Navigation Systems
IMU	Inertial Measurement Unit
GPS	Global Positioning System
ToA	Time of Arrival
ToF	Time of Flight
RF	Radio Frequency
TDoA	Time Difference of Arrival
AoA	Angle of Arrival
RSS	Received Signal Strength
LOS	Line of Sight
RSS	Received Signal Strength
BLE	Bluetooth low Energy
UWB	Ultra-Wideband
UC	End User Cost
IC	Installation & Maintenance Cost
ML	Multiple Levels
WLAN	Wireless Local Area Network
LAN	Local Area Network
RTLS	Real-time locating system
MF	Medium Frequency

Публикации по темата на дисертационния труд

Kardzhiev R., Stoyanov B. (2022) Recent Trends in Hybrid Systems for Indoor Localization, In AIP Conference Proceedings, (Vol. 2505, No. 1, art. no. 060003), AIP Publishing LLC., DOI: 10.1063/5.0100661. ISSN: 0094243X, ISBN: 978-073544396-9, <https://pubs.aip.org/aip/acp/article-abstract/2505/1/060003/2827373/Recent-trends-in-hybrid-systems-for-indoor?redirectedFrom=fulltext>, <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85139025335&doi=10.1063%2f5.0100661&partnerID=40&md5=2d1108396c91ae3cef11a9107a2982c7>, SJR 2022=0.164: <https://www.scimagojr.com/journalsearch.php?q=26916&tip=sid&clean=0>.

Kardzhiev, R., Stoyanov, B. (2022) New indoor positioning system using ultrasonic. In AIP Conference Proceedings (Vol. 2505, No. 1, art. no. 060004). AIP Publishing LLC., DOI: 0.1063/5.0100660, ISSN: 0094243X, ISBN: 978-073544396-9. <https://pubs.aip.org/aip/acp/article-abstract/2505/1/060004/2827369/New-indoor-positioning-system-using-ultrasonic?redirectedFrom=fulltext>, Scopus: <https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-85139016072&origin=resultslist>, SJR 2022=0.164: <https://www.scimagojr.com/journalsearch.php?q=26916&tip=sid&clean=0>.

66800 B1. Метод и система за локализация и навигация в затворени помещения, патентоприжател: „ИКОН“ ООД, 9700 Шумен, бул. „Симеон Велики“ 46; изобретатели: Виолета Коева Кърджиева, **Радослав Петров Кърджиев**, представител по индустриална собственост: Манол Добрев Георгиев, 1421 София, п.к. 9, заявка 111530, <https://patents.google.com/patent/BG66800B1/bg?q=BG66800B1>.