

ГЛАВА 4

ТЕХНОЛОГИИ И ПРАКТИКА ЗА НАВИГАЦИЯ НА МОБИЛНИ ПЛАТФОРМИ В ЗАТВОРЕНИ ПОМЕЩЕНИЯ

Младен Милушев, Филип Филипов

4.1.КАРТОГРАФИРАНЕ И ЛОКАЛИЗИРАНЕ

За приложението на голяма част от мобилните роботи не съществуват нито карти, нито възможността за определяне на абсолютната им позиция, например с GPS. Поради това е важно в зависимост от областта на приложение роботът да е в състояние самостоятелно да проучи новата среда и да се създаде карта, която да използва за навигирането си.

Съществуват множество различни методи, които в същността си са подобни. По правило един робот „вижда“ само част от окръжаващата го среда, затова картата се съставя постепенно: отначало позицията на робота дефинира изходната му координатна система. Така по най-простия начин се определя абсолютното му положение и първото измерване на околната среда може да бъде директно нанесено върху картата. След това роботът започва да се движи и ако не се е отдалечил твърде много, той ще измери отново част от вече позната му среда, но и за пръв път част от непознато пространство. От припокриването на новите измервания със старата карта движението на робота може да се изчисли така, че абсолютното му положение да е ясно определено и новите измервания също да се нанесат на картата. Така картата постепенно се разширява, докато бъде обхванато цялото измервано пространство. Но тъй като положението на робота между две измервания никога не е прецизно определено, изчислената стойност винаги ще се отклонява от реалната, което се отразява негативно на качеството на картата. За да бъде картата все пак валидна, алгоритъмът трябва да е в състояние да разпознае онази част от средата, която бива измерена отново.

Напоследък се наблюдава се голям интерес към локализиране на хора и обекти в затворени помещения. Това се дължи на наличието на международни изследователски програми в областта на здравеопазването за осигуряване на грижи за възрастни хора като проследяване на пациенти, мониторинг на възрастни хора с деменция, както и в областта на безопасността като локализиране на пострадали хора по метода на първия отговорил, или за нуждите на безопасността при подземен добив. Известни са множество методи за определяне на местоположение, като инерционно- навигационни системи или комбинирани методи въз основа на радио- или акустични сигнали и оптични методи, като например обработка на изображения или лазерно сканиране. Но повечето от тези методи могат да бъдат използвани с достатъчна производителност само за специални приложения в рамките на контролирана и ограничена среда.

И двата фактора-"локализация на хора"и "вътрешни (затворени) помещения" притежават много особености, което ограничава използването на инерционно навигационни алгоритми поради сложността на човешките движения и натрупване на грешки. Също така всяка сензорна система трябва да бъде удобна за транспортиране и със съизмерима цена спрямо цялата система, което прави трудно да се използват например скъпи лазерни скенери, в роботизирани приложения. Радиобазирани методи обикновено страдат от получаването на значителни грешки в тези условия предизвикани от променливите условия отразяващи се на отразяването на използваните радиовълни.

Едина от основните възможности на мобилните роботи трябва да се базира, на способността да се ориентира, т.е. да знае как изглежда околната среда и къде е позициониран самият робот в нея. Ако е налична карта на представяния регион, робот с помощта на сензори, като ултразвукови или лазерни може да се позиционира. От друга страна ако е известна абсолютната позиция на робота, картата може да бъде реконструирана, като Роботът измерва относителното положение на възможни препятствия пред него и след това благодарение на вече известната си позиция да се определи абсолютното положение на препятствията, които след това да се добавят към картата. За реализирането на тази процедура най-често използвания напоследък е метода SLAM (*Simultaneous Localization and Mapping* – симултано/едновременно локализиране и картографиране). Процесът SLAM е процедура за едновременно създаване на карта на заобикалящата мобилния робот среда и определяне на позицията му вътре в тази карта. SLAM използва винаги/предимно няколко различни видове сензори, като компетенциите и ограниченията на различните видове сензорни са основна предпоставка за нови алгоритми.

4.1.1. СЕНЗОРИ И ЛОКАЛИЗИРАНЕ

Мобилната роботизирана система е в тясно взаимодействие с нейните компетенции, задачи и заобикаляща околност, тези три компонента никога не може да се разглеждат поотделно. Тези компоненти определят, както поведението на робота така и неговото взаимодействие с околната среда. Решаващо влияние върху взаимодействието на мобилните роботи със своята среда се извършва чрез сензори решаващи следните задачи:

- определяне на вътрешните състояния на робота (например: местоположение, скорост);
- откриване на обекти и промени в околната среда;
- измерване на специфични физични величини включени в компетенциите;
- определяне и идентификация състоянието на компонентите и взаимодействия;
- анализ на ситуации и сцени на околната среда.

Функционалното им използване е обособено на две основни категории:

- „вътрешни сензори”: измерват величини характеризиращи състоянието на самия робот и

- „външни сензори”: извличане на характеристики за околната среда на робота.

Фигури от 4.1. до 4.5. показват примери на типични сензори използвани в мобилните роботи [4.1.].



**Фиг.4.1. Енкодер
Heds 5540, 500
импулса, 3
канала на фирма
Maxon.**



**Фиг.4.2. Цифров-
компас сензор
PW6945-8 на
компанията
Pewatron.**



**Фиг.4.3. датчик
за наклон
ADXL202 /
ADXL210 на
Analog Devices**



**Фиг.4.4.
инфрачервен
сензор GP2D12
на Sharp.**



**Фиг.4.5.
сензор за
разстояние
UNDK
30U6103 на
Baumer**

Същесрвуват добре разработени методи за немагнитна навигация, като GPS, Радарни-и Видеосистеми, които в редица приложения дават полезни резултати. Те имат предимства и недостатъци един спрямо друг, но могат да бъдат сравнени и по някои критерии като цена, точност, надежност, оптималност на решение, комуникационни възможности, размери, тегло и др. Характерно е също често получаващата се необходимост от съвместна обработка на сигнали от различните сензори за изчисляване на координати за позициониране.

☑ Global Navigation Satellite System (GNSS) е изградена от множество спътници обикалящи земята по постоянни орбити. С помощта на подходящ приемник чрез контакт винаги с четири спътника едновременно може да се изчисли триангулационната позиция. Най-известната система е Global Positioning System (GPS). За търговски цели тя осигурява точност от 10 метра. В затворени помещения необходимостта от четири спътника прави обаче тази система неизползваема. Разгледана критично, точността на GPS не е достатъчна за навигация в болници, учебни помещения и др.

☑ Радио-навигационни системи използват свойствата на електромагнитните вълни. Предавател излъчва, а приемник или приемници осигуряват данни за локализация. В зависимост от използваната техника е и използваната честотна лента. На разположение са няколко възможности за използване на честоти, които не са специфични само за нуждите на локализацията. Като Wireless Local Area Networks (WLAN), Tele-Vision Broadcast и Mobilfunk-Netze. Такива техники са подходящи за навигация в затворени помещения, още повече, че ползват изградена инфраструктура [4.2.], [4.3.]. Ultra-Breitband е пасивна навигационна система, при която се осигурява голяма точност, но като цена е между скъпите варианти [4.4.].

☑ Радар (Radio Detection and Ranging) е специфична система за локализиране на относително по-големи обекти, които притежават голяма и електрично добре

проводима повърхност. Предавател и приемник работят на избран честота. Това е също пасивна система.

☑ Една Vision-Sensor притежава оптична аналогова система, която осигурява цифрова обработка на една след друга появяващи се изображения за анализ на позиция. Това е пак пасивна система, чиято ефективност зависи силно от осветеността, околната среда и оптичната перспективата.

☑ Inertial Measurement Unit (IMU) е интересна комбинация между измерител на ускорение и жирокоп. Това устройство осигурява едновременно ориентация и самолокализация спрямо предварително определен репер [4.5.]. Чрез подходяща обработка вградената система определя позицията, която може да бъде максимално точна, ако системата разполага с възможност за допълнителна независима оценка на позицията на репера.

☑ Магнитно локализиране. Хипотезата за възможност за локализация чрез магнитни измервания се определя от наличието на многобройни аномалии в изградени помещения. Става дума за аномалии извън естествените аномалиите на земното магнитно поле. Класическите примери са свързани с използването на железобетон и мрежата на електроснабдяването. В този смисъл може да се смята, че всяко помещение притежава относително стабилен магнитен отпечатък. Магнитни сензори използвани като магнетометри позволяват отчитането на силата на полето и още на неговата посока. В този смисъл е възможна хипотеза за едновременни локализация и навигация реализуеми в затворени помещения.

По този начин могат да бъдат локализирани феромагнитни обекти в коридори в активен и пасивен смисъл. В противовес на GPS, на Laser Sensor или Computer Vision тази техника няма да зависи от перспективата на наблюдение или прием между обект и сензор, тъй като магнитното поле прониква във всички посоки. В този смисъл магнитният „подпис“ на един магнитен обект е „неизтриваем“ и точен ориентир. В допълнение магнитното измерване е независимо от климатичните особености.

Представяното тук изследване не се ограничава в използването само на един вид техника за локализация. По-скоро използването на две или повече възможности предполага търсенето на специфични предимства. Комбинирането на сигналите е въпрос на избор на вградена система и на обработката им. Използването на много сензори поставя въпроса за енергоснабдяване на системата за навигация. Например, комбинацията IMU и магнетометри би била перспективна за изследване с цел постигане на висока точност на относително малки разстояние в закрити помещения, където GPS не може да се използва.

4.1.2. МУЛТИСЕНЗОРНА СИНТЕЗИРАНА АРХИТЕКТУРА

Мултисензорните методи на синтез осигуряват алгоритмите, с които сензорните данни и свързаните с тях неопределени модели могат да се използват за създаването на имплицитни или експлицитни модели на околната среда. Все пак трябва да се има пред вид, че мултисензорните синтезирани системи (МСС) трябва да включват множество други функционални компоненти за да управляват

и контролират синтеза на процесите. Организацията на същите се нарича мултисензорна синтезирана архитектура (Multisensor Fusion Architectures - MFA)

Архитектурите на мултисензорните системи могат да бъдат организирани по различни начини. Други класификационни схеми разграничават ниски срещу високи нива на [4.6.] или централизирани срещу децентрализирани процеси или данни срещу променливи. Генерализирана архитектурна рамка за мултисензорни роботизирани системи е разработена и подробно описана в [4.7.], ползваща следния подход. Системната архитектура се дефинира по следните начини:

- *Мета архитектура* – набор от идеи от високо ниво убедително характеризиращи системната структура. Изборът и организацията на системните елементи могат да се базират на естетиката, ефективността и др. конструктивни критерии и цели (напр. системна и компонентна еднозначност, разбираемост, модулност, мащабируемост, преносимост, оперативна съвместимост, децентрализация, здравина, устойчивост на откази).
- *Алгоритмна архитектура* – специфичен комплект от методи за синтез и такива за вземане на решения. Те важат за данни, отнасящи се за хетерогенност, регистрация, калибриране, съгласуваност, информационно съдържание, независимост, интервал от време и мащаб както за, и отношенията между модели и неопределеност.
- *Концептуална архитектура* – нееднородните и функционални роли на компонентите (напр. съпоставянето между алгоритмични елементи и функционални структури).
- *Логическа архитектура* - Подробни видове канонични компоненти (т. е. обектно-ориентирани спецификации) и интерфейси, които формализират между компонентните дейности. Компоненти могат да бъдат еднократно или регламентирано употребени, като и други съображения включват редовност, модулност, повторна употреба, проверка, информационни структури, семантика и т.н. проблемите на комуникацията включват йерархична срещу хетерична организация, споделена памет срещу информационна пропускливост, информация, базирана на характеристиките на субкомпонентните взаимодействия, абониране-публикуване механизми и др. Управлението включва както управление на акторните системи в МСС, така и управление на исканията за информация и разпространение в рамките на системата, и всички външни управленски решения и команди.
- *Оперативна архитектура* – дефинира картографирането на компоненти за изпълнителни елементи. Това включва вътрешни или външни начини за гарантиране коректността на кода (т.е. моделите на околната среда и сензора са били правилно трансформирани от математически или други формални описания в компютърни приложения), както и проверка на моделите (т.е. гарантира, че формалните описания съвпадат до изискваната степен с физическата реалност).

Обобщено, МСС могат да се класифицират в зависимост от избора по четири независими проектни критерия:

- централизирани-децентрализирани
- с локално-глобално взаимодействия компоненти
- модулни-монолитни и
- хетерични-йерархично.

Най-чести са комбинациите:

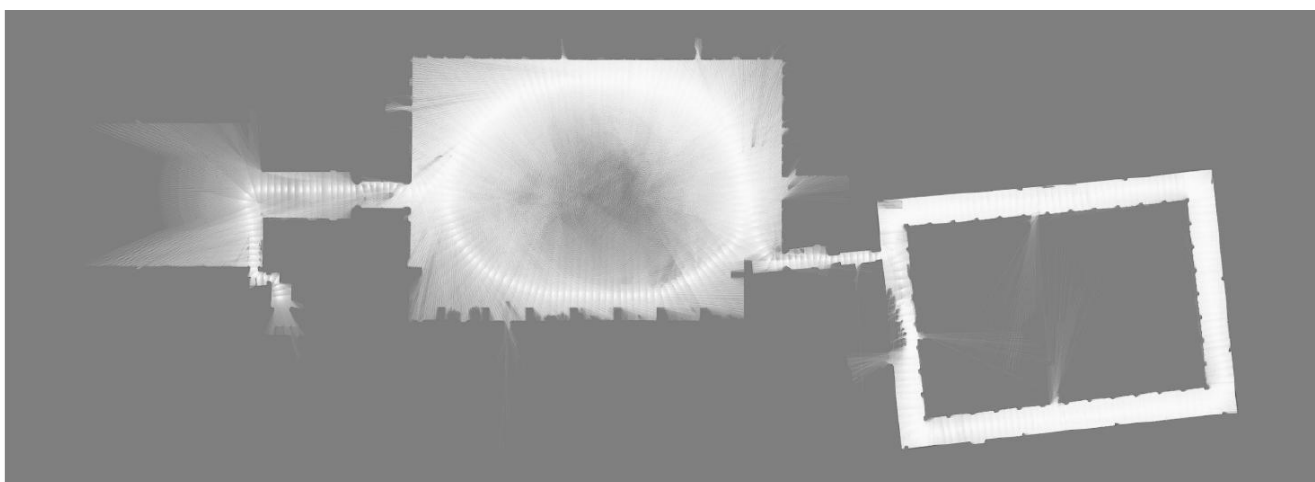
- централизирана, глобално взаимодействие, йерархична
- децентрализирана, глобално взаимодействие, хетерична
- децентрализирана, местно взаимодействие, йерархична
- децентрализирана, местно взаимодействие, хетерична.

В някои случаи експлицитната модулност е много желателна. Повечето съществуващите мултисензорни архитектури се вписват доста добре в една от тези категории. Но последните нямат непременно отношение към алгоритмичната архитектура (АА). Ако същата е определяща за дадената система, тя ще се разглежда като част от МСС. В противен случай, тя просто внася разлика.

4.1.3.ВИДОВЕ КАРТИ ЗА МОБИЛНИ РОБОТИ

Поради ограничение в обема на представянето тук ще бъде представен само част от изучения опит, използваните най-често на този етап карти за навигацищ на мобилни роботи.

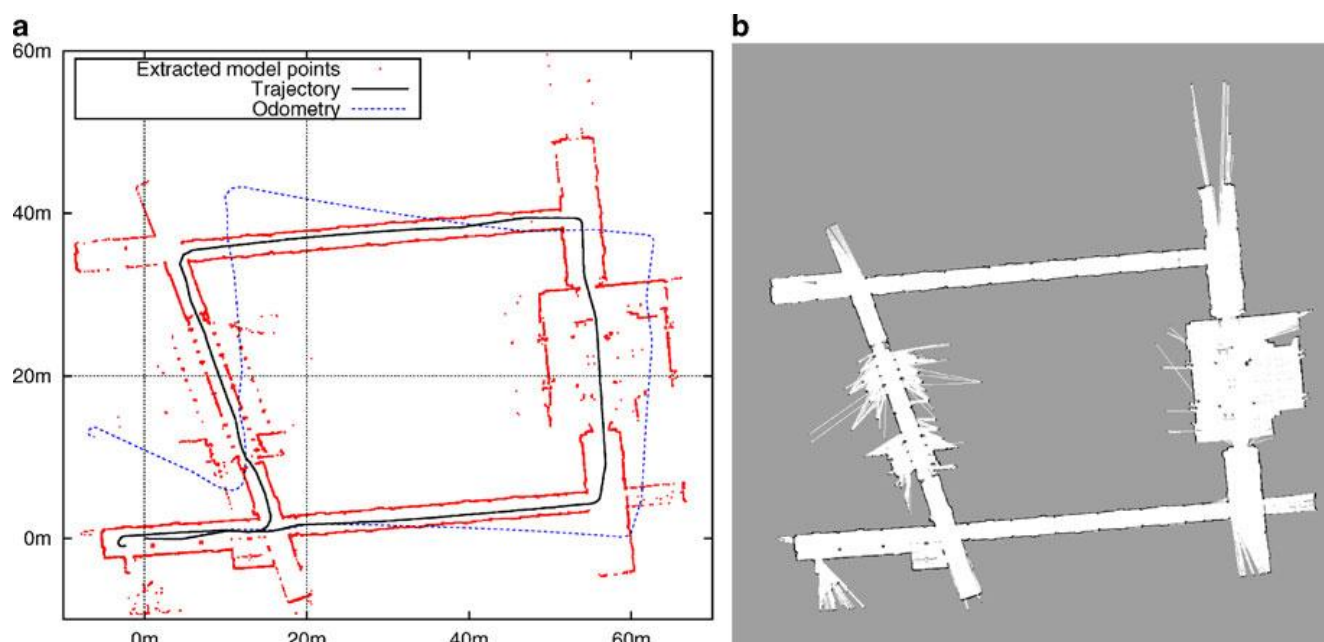
➤ Мрежови карти. Вероятно най-известният, най-популярен и основен тип карта за мобилни роботи в смисъл на минимална обработка на сензорните данни е обикновената мозайка на пространството, т. е. мрежа, чиито клетки представляват вероятността съответното териториално пространство да бъде заето от твърди обекти. Мрежовата карта или мрежата на заетостта представлява което и да е поле (пространство, в което всяка точка има асоцииран пиксел), съставено от клетки, от които ние се интересуваме само в един аспект: тяхната заетост. Ако тази заетост е дискретна характеристика със само две реални стойности (заето и свободно), всяка клетка може да се моделира като разпределение на Бернули.



Фиг.4.6. Пример за мрежова карта, създадени с апликациите от MRPT

Следователно, мрежовата карта се състои от комплект от дистрибуции, по един за всяка клетка. Най-често срещаната форма тази карта е двуизмерна (клетките са квадратни полета, фиг.4.6.), въпреки че понякога се среща и триизмерна форма (клетките са кубчета, наричани *Воксели*). Основните идеи за прилагането им са възникнали преди почти тридесет години, когато мрежовите карти са предложени за картиране обсега на мобилни роботи чрез използване на ултразвукови сензори за [4.8.]. Днес те все още са най-използвания тип.

➤ Точково базирани карти. Те са алтернатива на мрежовите карти и решават проблема със съхраняването чрез използване на дискретното метрично представяне, невключващо празно пространство. Например на точково базирани карти (ТБК) се представят твърдите обекти в пространството (средата), които роботът може да отличи чрез използване на подходящи сензори, обикновено такива за обхват. Поради този базиран на пробата характер, картите се наричат точкови облаци, особено когато представят триизмерни обекти или пространства (Фиг. 4.7. а.).

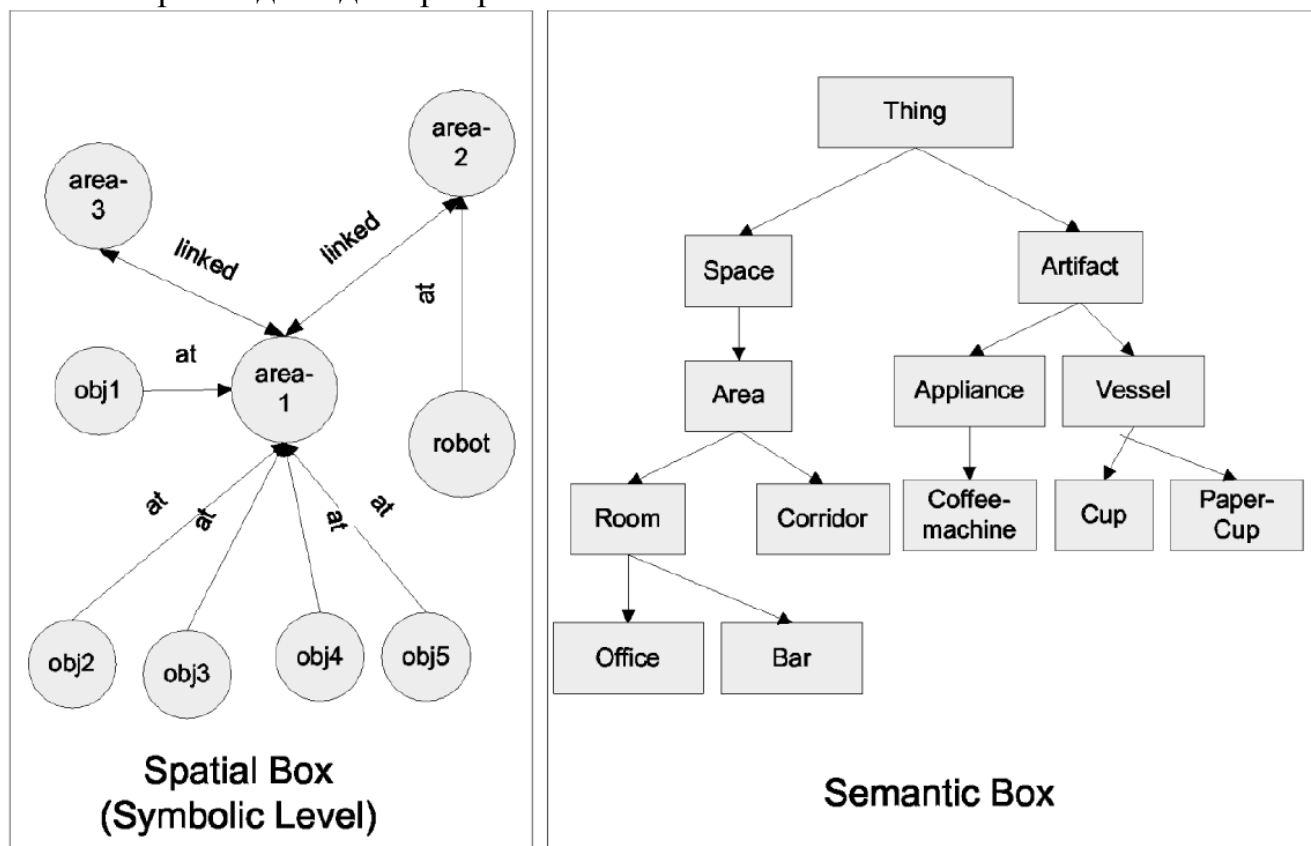


Фиг. 4.7. а) Точково базирана карта и б) мрежова карта на коридорите в кампуса на университета в Бон-Рейн [4.9.]

Точково базирани карти за първи път са създадени в началото на 90-те години за работа със скенери за обхват. Те не включват експлицитен модел за неопределеност, което е един от основните недостатъци при използването им за нашите цели. Освен това, тази липса на вероятностни основания усложнява сливането на *точковите облаци* създавани от различни видове сензори. За разлика от мрежови карти на заетостта, не съществува добре обоснован математичен модел за комбиниране на различни наблюдения, дори ако същите са запечатани от един и същ скенер от различни позиции в даденото пространство, което пък е най-обичайният подход за натрупване на сурова информация от всички изследвани точки. Предимството на този метод е неговата ефективност -

със средно време за обработка 8-15 милисекунди за сканиране в сравнение с използването на Rao-Blackwellized филтър за частици [4.10.] със средно време за обработка на около 250 милисекунди за сканиране на същото пространство (фиг.4.7.b.).

➤ Символини и семантични карти. Границата между символичното и субсимволично представяне на пространството е доста неясна. *Символите* се използват в онези области на науката, които изучават процесите на човешкото познание. Използват се и в други клонове на науката, напр. в лингвистиката, но въпреки това трябва да изхождаме от това, какво представлява символът за човешкия мозък. Изглежда съвсем очевидно, че човешкият ум (вероятно и този на някои животински видове) използва някакъв вид символи, но все още не е ясно кои субекти, възникващи в процеса на мозъчната дейност биха могли да бъдат асоциирани с термина „символ“: модели на невронни връзка, модели за невронна активация и динамиката на други клетки, различни от невронните. Хипотетичните познавателни процеси, създаващи символи от под символна информация също остават неизяснени. Съществува философски проблем, свързан със символите (споменатото по-горе асоцииране на символите): тъй като символите, по дефиниция, трябва да носят някакъв смисъл, как този смисъл идва отвътре, а не произтича от перспективата на външен наблюдател, при условие че роботът (или човекът) получават от сензорите единствено несимволична информация [4.11.]. Всъщност проблемът е далеч по-общ и включва не само възникването, но и запазването на "връзките" между символите и несимволичната реалност, към която те трябва да бъдат прикрепени.



Фиг. 4.8. Пример за семантична карта в символично и йерархично ниво

Един от начините за опростяване на проблема е да се вземат пред вид само символите (фиг.4.8., [4.11.]), отнасящи се до елементи от физическата реалност. Така обаче възниква проблемът за асоциирането на символите, също споменат преди, който в настоящия момент е далеч от разрешаване. Независимо от всичко това, наложително е да се даде някаква конкретна дефиниция на *символ* и *символна карта*, за да се придаде на картите по-висок порядък на абстракция от този в другите видове карти. Предполага се, че съществуват и други, дори противоречащи дефиниции. В по-голямата част от посветената на роботите литература, *символ* се нарича изключително и само компютърното представяне (т. е. онова, което изисква съхраняване в компютърна памет и алгоритми за използването му) на отделни физически, отличителни и стабилни елементи от средата на работа, които могат да се използват изключително в процеси на високо ниво, обикновено наричани познавателни/когнитивни.

4.2. АЛГОРИТЪМ ЗА ИЗЧИСЛЕНИЕ НА ЛОКАЛИЗАЦИЯТА

Основното предизвикателство при разработването на локализационни алгоритми е описанието на последователността от действия формулирано като модел на локализационния процес и избора на сензори, начина и последователността на измерване като модел на измерване. Използвания подход е необходимо да отчита представянето на различни сензорни конфигурации и тяхното задължителното участие в модела на процеса и в измервателните модели.

4.2.1. РЕКУРСИВЕН МЕТОД НА БЕЙС

Този метод се използва често в оценъчни алгоритми, за да се изчисли вероятността да се случи събитието X_k в разглежданата система в момента T_k на базата на всички измервания $Z_k = \{Z_0, \dots, Z_k\}$ проведени до този момент. Оценката на състоянието е представена като функция на разпределение на вероятността $p(X_k | Z_0, \dots, Z_k)$, която може да се изчисли с помощта на Бейсовото правило:

$$p(x_k | Z_k) = \frac{p(Z_k | x_k)p(x_k)}{p(Z_k)} \quad (1)$$

Този израз може да се трансформира в рекурсивно уравнение:

$$p(x_k | Z_k) = \frac{p(Z_k | x_k)p(x_{k-1})}{p(Z_{k-1})} = \eta \cdot p(x_k | Z_k)p(\tilde{x}_k) \quad (2)$$

Изразът $\eta = P(z_k | Z_{k-1})$ е фактор за нормализиране, а изразът $p(x_k | Z_k)$ е наречен постериорна вероятност и описва текущия резултат постигнат използвайки всички измервания до този момент.

Това означава, че всяко използване на Бейс за оценка се извършва в две стъпки:

- Прогнозна- априорната вероятност се изчислява от последната постерионна вероятност като се използва показания модел.
- Корекционна- постерионната вероятност се изчислява от априорната вероятност като се използва модела за измерване (2) и текущото измерване.

Различните приложения на рекурсивния оценъчен Бейс- алгоритъм се различават по начина на математическо представяне на вероятността и използването му в модела за измерване и навигация. Ако представянето на вероятността е Гаусово и моделът е линеен търсим решение в използването на Калман филтър (KF) като ефективни и оптимален избор в смисъл на най-малките квадрати. Ако моделите са нелинейни, се търси решение в използването на Unscented KF или Extended KF. В последните модели са линеаризирани с помощта на Jacobian- матрици. В Unscented KF разпределението на вероятността е апроксимирано чрез набор на детерминистично избрани точки в пространството на търсене и навигация, което запазва Гаусов характер на разпределението при нелинейни трансформации. При използване на последователни Монте Карло- филтри, като Partical- филтър (PF), вероятността е представена от случаен набор проби извадени от съответното разпределение. Въпреки, че тези филтри изискват големи изчислителни ресурси, те са особено полезни за не-Гаусови разпределения на вероятността или при неизвестни разпределения и използване на емпирична информация получена от картографиране.

4.2.2. ИЗПЪЛНЕНИЕ НА АЛГОРИТЪМ ПО МЕТОДА НА БЕЙС

Нека разгледаме сензорна част съдържаща 3-осови акселерометри, жирокопи и магнитометри и Nanotron™ безжичен приемо- предавател [4.12.]. Устройството може да бъде прикрепвано или носено към движещ се обект. Четири сензорни устройства, съдържащи само приемо-предавател са поставени на определени места в зоната на проследяване (анкерни възли). Докато човек или платформа се движат в сградата, данните от сензорите се обработват локално предварително и се изпращат безжично до компютър за по-нататъшна обработка. В същото време последващи дистанционни измервания се извършват между движещия се сензор и анкерните възли и чрез приемо-предавател данните също се прехвърлят към компютъра. Цялата информация се обработва и визуализира на компютъра с MATLAB™. Тъй като всички измервания са събрани от сензорната част, по принцип е възможно да се направи филтриране на локално ниво и да се изпрати само информация за локализиране на обекта в някакво контролно място. Този подход изисква по-големи изчислителни ресурси на сензорната част, т.е. в движещата се част. Позиционният вектор се определя от мястото на оператора/платформата в две измерения. В тази фаза за всички обекти важат следните процесни параметри:

$$x_k^{[i]} = \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \end{pmatrix}_k^{[i]} + v_k^{[i]} \cdot \Delta t_k \cdot \begin{pmatrix} \sin h_k^{[i]} \\ \cos h_k^{[i]} \end{pmatrix} \quad (3)$$

където v_k и h_k са скоростта и посоката измервани/оценявани с инерционни и магнитни сензори, както е обяснено по-долу. Заедно с времевата единица Δt_k те представляват моделните параметри за еднократна позиционна промяна, т.е. стъпка и следователно могат да се разглеждат като управляващ вход за процеса. Както бе споменато преди, важно е да се моделира шум в прогнозния модел, отразяващ интегрално допуските при измерванията на скоростта и посоката и позволяващ избора на подходящ филтър. Например:

$$\widehat{v}_k^{[i]} = v_k + n_v^{[i]}, \quad n_v^{[i]} \sim N(0, \sigma_v^2) \quad (4)$$

$$\widehat{h}_k^{[i]} = h_k + n_h^{[i]}, \quad n_h^{[i]} \sim N(0, \sigma_h^2) \quad (5)$$

Където: скоростта v_k се изчислява чрез използване на данните от акселерометъра, съставна част на сензорната система. Просто интегриране на данните, за да се определи скоростта не е подходящо в случая на разхождащи се или тичащи хора, тъй като данните за ускорението се нарушават от промени в ориентацията при пешеходни стъпки и други движения на тялото, които се извършват обикновено в същата честота и амплитуда. За това е по-полезно да се въведе алгоритъм за откриване на стъпка в комбинация с предполагаема фиксирана дължина на стъпката.

Има и други методи за определяне на пешеходно преминато разстояние, като двойна интеграция на монтиран на крака акселерометър в комбинация с Zero Velocity Updates. Те могат също да осигурят, дори по-добра, точност при определяне на изминатото разстояние [4.14.].

Посоката на движение изразана чрез h_k , се изчислява от ориентацията на сензора, което се определя с помощта на UKF. Трябва да се отбележи, че използването на тези три градусови филтри само, за да се оцени ориентацията изглежда ненужно усилие, знаейки, че това може да бъде измерено чрез проекция на вектора на земното магнитно поле върху земната тангенциална равнина. Магнитното поле на Земята може бъде силно нарушено в рамките на сгради, както и включването на информация от жирокоп помага да се справят с някои краткосрочни магнитни смущения. Също така може да е от общ интерес да се знае пълната информация за ориентацията на устройството, прикрепено към движещия се обект, като откриване на движение различно от нормалното ходене.

4.3. СТРУКТУРА НА ПЛАТФОРМА ЗА КАРТОГРАФИРАНЕ

Основна задача на мобилната роботика е да изпълнява навигация към определена целева точка в рамките на избрано пространство чрез управляемо движение независимо на платформата и наличността на набор от обозрими препятствия. Планирането на движението или на геометрична траектория се отнася както за робота, така и за неговите периферни устройства в предварително зададена работна зона.

Едно от най-големите предизвикателства за автономни роботи е избора на решение за SLAM-задачата. Въпреки че е постигнат значителен напредък в тази

област, тя все още е предизвикателство, тъй като изисква Сензор-fusion архитектура.

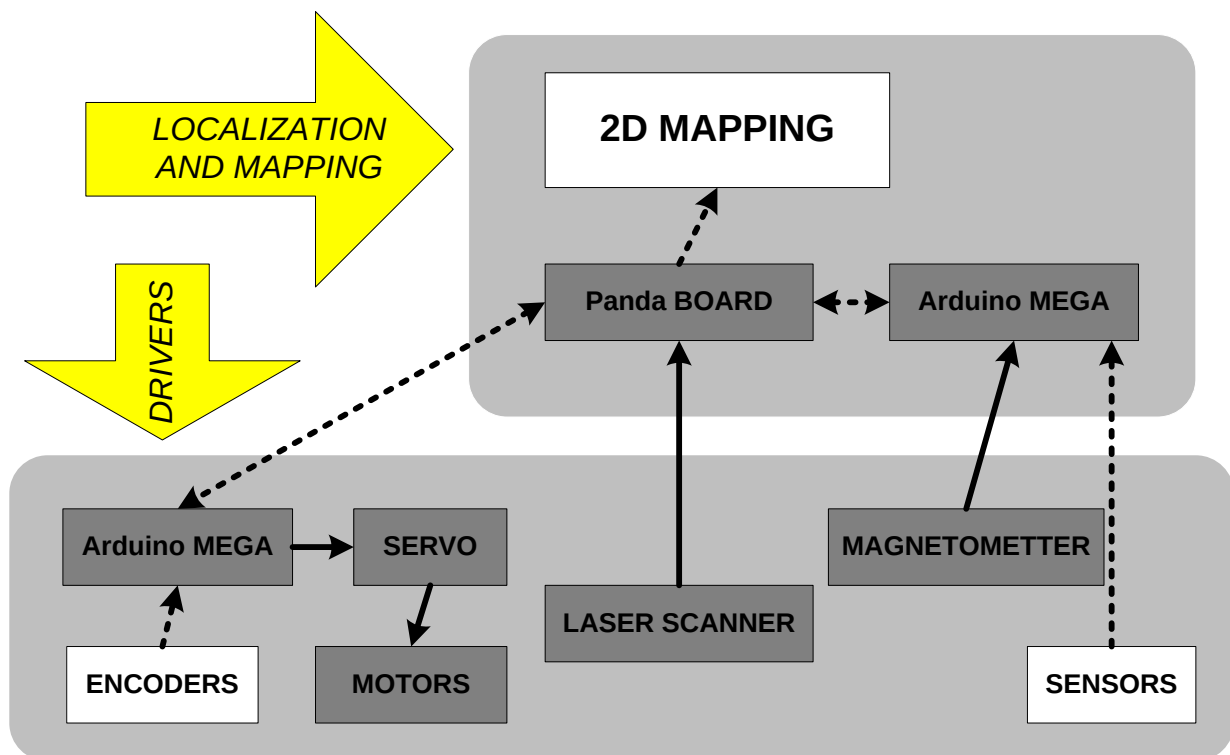
На този етап се описва само процеса на картографиране. Достъпни са три вида лазерни измерители на разстояние за конвенционална употреба:

- триангулационен (triangulation) сензор
- фазово-модулационен (phase-modulation) сензор
- time-of-flight-сензор

Принципът на измерване на разстоянието се основава на изчисляване на фазовата разлика, поради което е възможно да се получи стабилно измерване с минимално влияние от цвят и отражение на обекта. За нашата цел ние използваме лазерен скенер и нашите усилия са в посока да се комбинира мобилна платформа и лазерен скенер. Подвижната платформа е оборудвана с дисплей, на който процесът на преобразуване се визуализира. Поради недостатъчната поддръжка на open-GL за ARM-базирани контролер и визуализацията се изчислява на отделен компютър и се показва на дисплея чрез SSH връзка. Изчислението за обработка за картографирането се прави отчасти на мобилната платформа. За картографиране ние използвахме лаборатории и коридори в блок четвърти на Техническия университет в София.

4.3.1. ХАРДУЕРЕН ДИЗАЙН

Създаване на карта на околността е важно за високо ниво на автономна поведение и избор на маршрут. Създадената на този етап система за картографиране е представена на фиг.4.9., състояща се от няколко микроконтролери, използвани за



Фиг.4.9. Структура и Компоненти на мобилната система за локализация и картографиране

събиране на данни от сензорите, и за управление на двигателите, сензорите са :

- лазер за сканиране на дистанция,
- магнитометри,
- инфрачервени дистанционни превключватели,
- квадратурен енкодер и серво управление.

В този етап се разглеждат създаването на чисто 2D карта по подобие на карта отразяваща мрежа от забранени за придвижване възли, която трябва да се използва за навигация и избягване на препятствия.

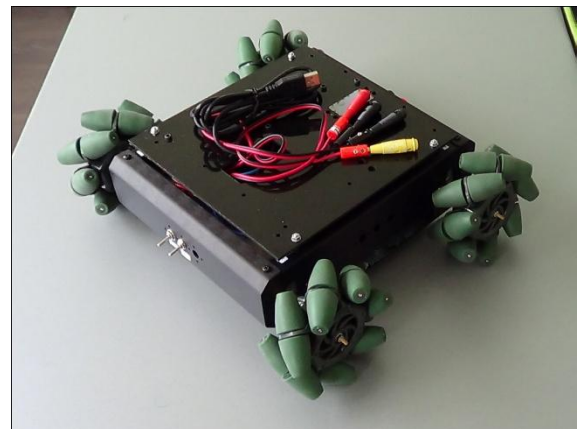
За картографиране ние използваме PandaBoard - едноплаткова компютърна платформа за развитие с инсталирани ARM Cortex 8 и UbuntuARM. Най-голямото предимство на този кит са вградените WLAN и Bluetooth-конектори. Най-голямото предизвикателство в тази работа е, че на ARM-кита има ограничена или дори липсваща OpenGL поддръжка. Поради това, изчисляването на визуализацията се извършва на отделен компютър. Роботът се свързва към него през връзка SSH и показва визуализация на монитора му. Като лазерен скенер избрахме Hokuuo URG-04LX-UG01 който е опростена и по-евтина версия на URG-04LX. Той има подобни технически параметри с Microsoft Kinect, както са описани в [Л.4/1]. Най-големият недостатък на Kinect е малкият ъгъл на наблюдение, по-голяма стойност е от съществено значение за изграждане на картата и бързината на локализиране. Друго предимство на Hokuuo е източникът на захранване 5V, което дава възможност да се извършва през USB.

За роботизирана платформа модифицирахме Lynxmotion A4WD1v2 (фиг.4.10 и 4.11.). Този избор отговаря на проектните изисквания на платформа за картографиращ робот, като:

- ✓ Извършва множество сензорни и управляващи функции,
- ✓ Серво управление и дисплей,



фиг.4.10. Експерименталната платформа с конвенционални колела



фиг.4.11. Експерименталната платформа с mecanum колела

- ✓ Лесно маневриране на равен терен,
- ✓ Възможност за монтиране на конвенционални и VEX mecanum колела,
- ✓ Достатъчно мощен, за да поддържа теглото на полезния товар.

Платформата позволява работа с различни видове колела и реализиране на висока маневреност необходима за планираните изследователски цели. Платформата позволява сравнително висока енергийна ефективност, което е предпоставка за висока автономност на изследванията.

4.3.2. СОФТУЕРЕН ДИЗАЙН

За картографиране чрез роботизираната платформа ние използваме роботизирана операционна система –ROS (Robot Operating System), която се използва широко в роботизирани изследвания и приложения. В това изследване SLAM изразява комбинацията от откриване на обекти и използване на алгоритми за разпознаване с цел картографиране и само локализиране и навигация на робота по създадената карта. Разпознаването на обект означава корелацията между новите сканирани данни и вече създадената карта. Разширен Калман филтър (Extended Kalman Filter - EKF) е един от най-използваните статистически методи за разграничаване на нови обекти и вече картирани такива. Необходими са статистически методи, защото, когато роботът се движи във всеки нов момент вече старата локализация ще се появи по различен начин.

За това в много практики на SLAM се използва одометър и се оценява доколко роботът се е преместил спрямо позицията от последното сканиране. След това новото място се използва като ориентация на робота и на базата на това разпознаване на обекти се подобрява. След това, ако всички налични обекти са придвижват в същата посока, роботът се премества в противоположната посока. Нови обекти се разпознават от старите и от данни за грешни такива, чрез запомняне временно между сканиране и проверката дали те съществуват в новите сканирания.

Ако обектът е повтарящо се в една позиция той бива добавян към картата. Методът SLAM е предназначен за откриване на неподвижни обекти. Ако хора или други работи са за миг неподвижни те ще бъдат добавени към картата, тъй като ще бъдат разпознати като препятствия. След като се раздвижат ще има грешна отправна точка в картата. Същият проблем би се получил при бърза смяна на посоката водеща до проблем с ориентацията на робота.

В нашата картографска задача ние използвахме HECTOR (HEterogeneous Cooperating Team Of Robots) SLAM [4.13.], който съдържа HECTOR картографиране, HECTOR сървър, HECTOR сървър за траектория и HECTOR GeoTIFF. Поради простотата си одометърът може да бъде ненадежден, напр. поради възможно превъртане на колелата, системата използва само бързата версия LIDAR- (Light Identification Detection And Ranging).

4.4. ЕКСПЕРИМЕНТИ И РЕЗУЛТАТИ

Проведените експерименти се основават на възприетия съвременен подход, че локализиращата система не може да се основава само на един метод и единичен сензор. Комбинирането на различни методи, така че подходящата обработка на

данните от отделните сензори и всяка друга налична информация, да осигури надеждна оценка на позицията.

Хипотезата за възможна локализация чрез магнитни измервания се определя от наличието на многобройни аномалии в изградени помещения, като това са „изкуствени” аномалии извън естествените аномалиите на земното магнитно поле, те са свързани с използването на железобетон и мрежата на електроснабдяването в съвременните сгради. В този смисъл може да се смята, че всяко помещение притежава относително стабилен магнитен отпечатък. Магнитното поле не зависи от немагнитни събития- динамични или статични или от светлинни въздействия. Магнитни сензори използвани като магнетометри позволяват отчитането на силата на полето и още на неговата посока. В този смисъл е възможна хипотеза за едновременно локализация и навигация реализуеми в затворени помещения.

Чрез обединяване на сензорните сигнали от представената на фиг. 4.9. конфигурация са изпълними са два варианта:

- първо съставяне на магнитна карта, или
- първо 2D картографиране с лазер за сканиране и след това нанасяне на магнитна обстановка.

Вторият вариант предвижда използване на избрания метод за картографиране и съчетанието му с постановка за измерване на магнитното поле във всяка точка на тази карта. За сега резултатите показват, че на този етап е по-добро съчетаването на данни от магнитните измервания и непременно картографиране с използване на други методи. Най-подходящ от тях за сега в рамките на този проект се оказва лазерният скенер, в комбинация с безжично базирана визуализация и обработка на сигналите от роботизираната платформа с цел съвместно използване на данните за магнитна локализация.

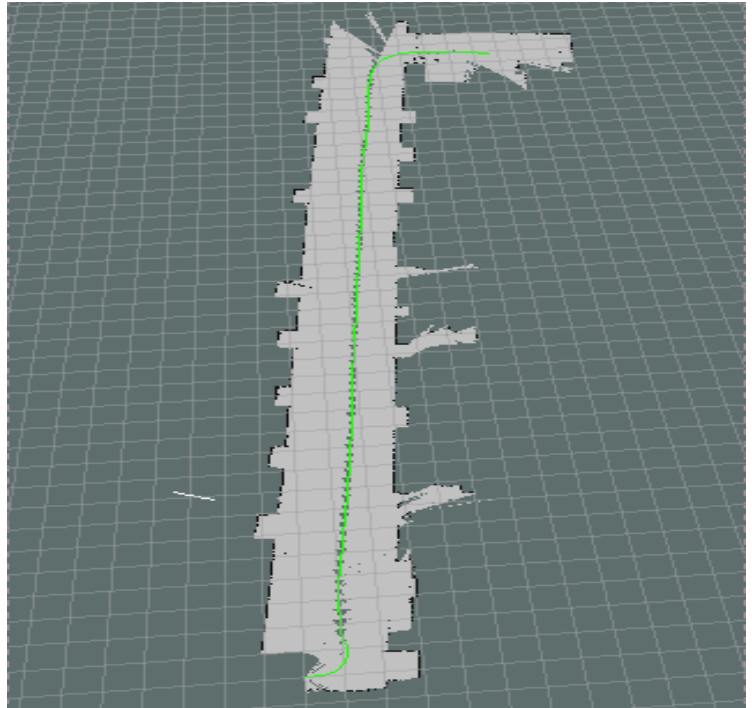
4.4.1. 2D КАРТОГРАФИРАНЕ С ЛАЗЕР ЗА СКАНИРАНЕ

Тестването системата е проведено в Технически университет София. Всички ползвани помещения са естествено двуразмерни, но дългите коридори позволяват по-лесно събиране на данни. Генерираната карта и нейната визуализация е показана на Фиг.4.12, а Фиг.4.13. - експерименталната постановка в коридора. Стъпката на мрежата е 1 метър. В бъдещата ни работа ние ще използваме възможността да настроим по-фино мрежата, за да се идентифицират малки обекти, представляващи интерес. ROS -визуализация използва OpenGL, но ARM -базирани те китове имат минимална или никаква OpenGL поддръжка, ето защо визуализацията се изчислява на отделен компютър и след това прехвърлена чрез WLAN SSH връзка, на дисплея на роботизираната платформа. За тази цел roscore - PandaBOARD е конфигуриран като мастер (виж фиг.4.9.). Така резултати от различни компютри могат да участват в общата дейност. Тествахме системата също така и в лаборатория

4446 на ТУ-София. Генерираната карта съдържа множество грешки. Причините за тях са понеже в стаята има няколко стола, краката на които са хромирани. Този материал е почти невидим и създава много данни за грешки. Подробен анализ на причините породени от тези особености на обектите трябва да бъдат изследвани. Тестваната карта е на помещение с южно изложение и разполага с големи прозорци по стените на две страни. Ние тествахме вечерно време и резултатите са по-добри, но все пак отново с грешки.



Фиг.4.13Снимка на картографирания на коридорв четвърти блок на ТУ-София



Фиг.4.12Генерираната карта на коридора, зелената линия показва траекторията на роботизираната платформа

4.4.2. РЕЗУЛТАТИ ОТ ИЗПОЛЗВАНЕ НА МАГНИТОМЕТРИ С МОБИЛНА ПЛАТФОРМА

На посочената по-горе мобилна платформа се изгражда етаж за магнитометър. Експериментите протичат в следната последователност – платформата тръгва от предварително зададено място според картографията на мястото. За платформата има две възможности – движение напред и с обръщане движение назад. Използват се магнитометри които са три- осни като данните могат да бъдат показвани както по отделните оси така и по евклидовата норма.

За експериментите са използвани самостоятелни магнитометри LSM303 и HSM5883L както и в комбинация с акселерометър и жирокоп - 9DOF. Данните от акселерометъра и жирокопа за момента не са използвани.

Направените измервания на магнитни аномалии с магнитометри монтирани на мобилна платформа бяха извършени също в коридора на 4 блок на Техническият Университет София и в лаборатория 4446. Измерванията в коридора Фиг.4.14са

по три избрани линии по дългата страна на коридорафиране – *дясно* по дясната страна на коридора (където е асансьорът), *среда* по средата на коридора и *ляво* – по лявата страна коридора. Коридорът е с широчина 3 метра т.е. линиите са през един метър. Измерванията в лабораторията са отново по три избрани линии на разстояние 25 см. една от друга показани на фиг. 4.15.

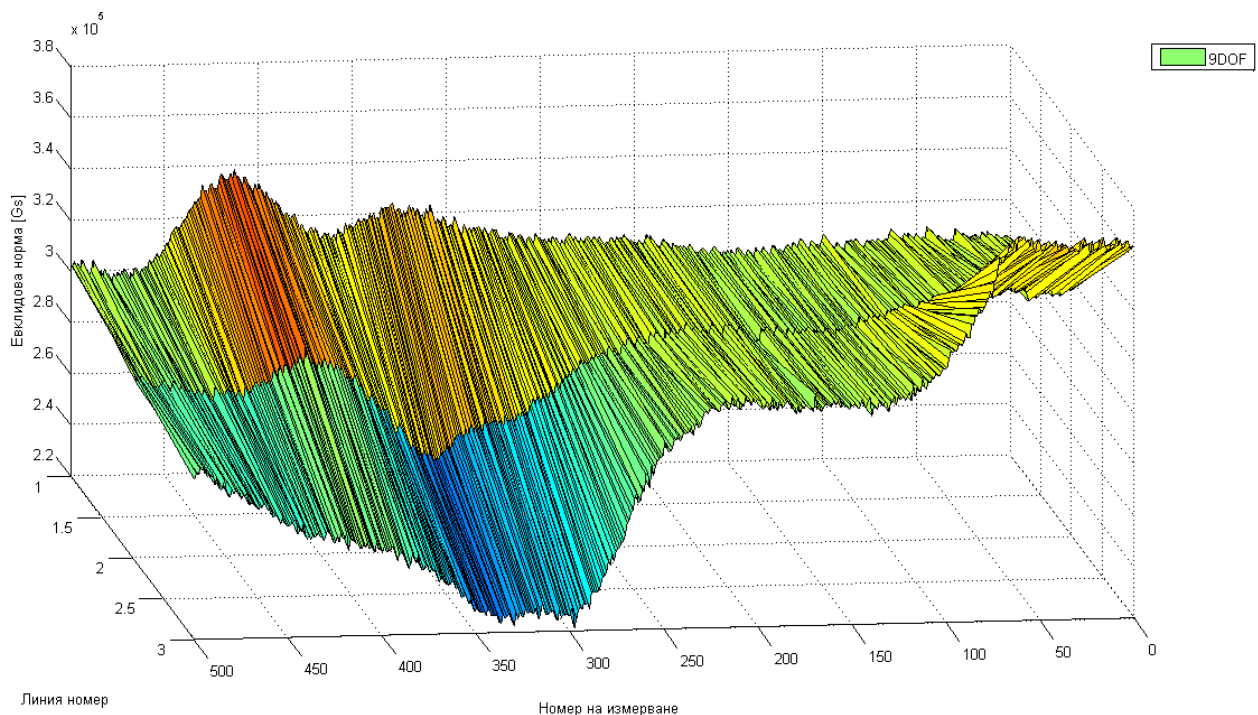


Фиг.4.14. Снимка на коридора, част от който(15м) са измерени на магнитни аномалии



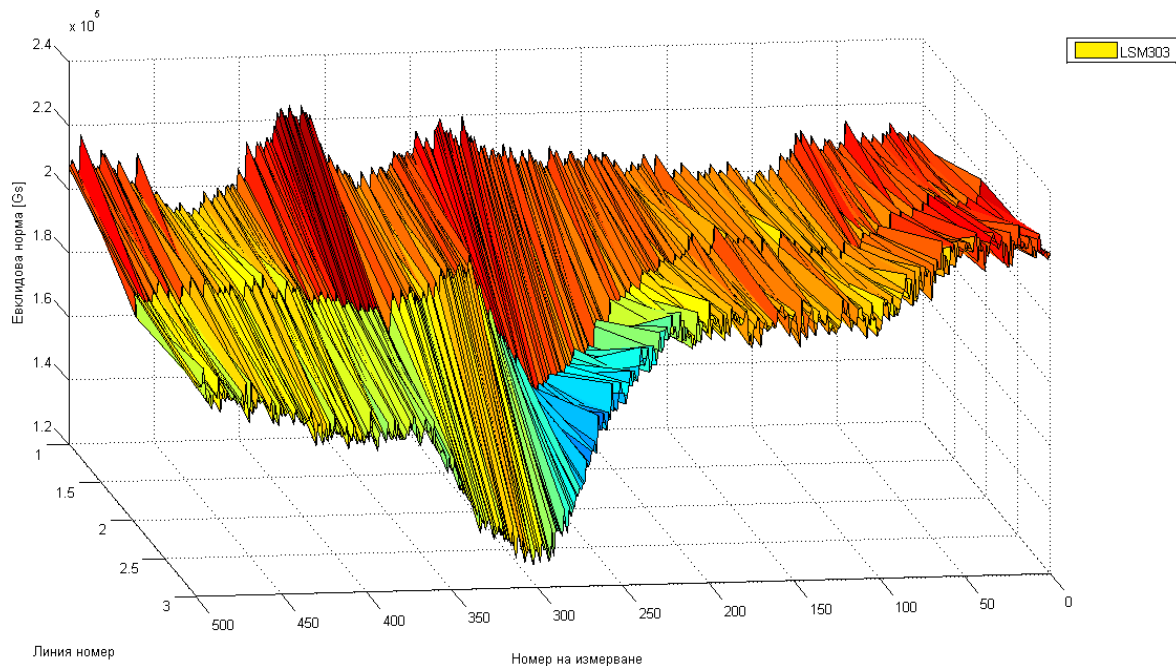
Фиг.4.15. Снимка от лаборатория 4446 с маркери за трсиране измерването

На Фигури 4.16. и 4.17. е показано триразмерно (по оси X, Y Z) разпределението на магнитното поле измерено в лабораторията по трите избрани линии, както е посочено по горе. Данните на фигура 4.16. са от магнитометър 9DOF, а данните на фигура 4.17. са от магнитометър LSM303.

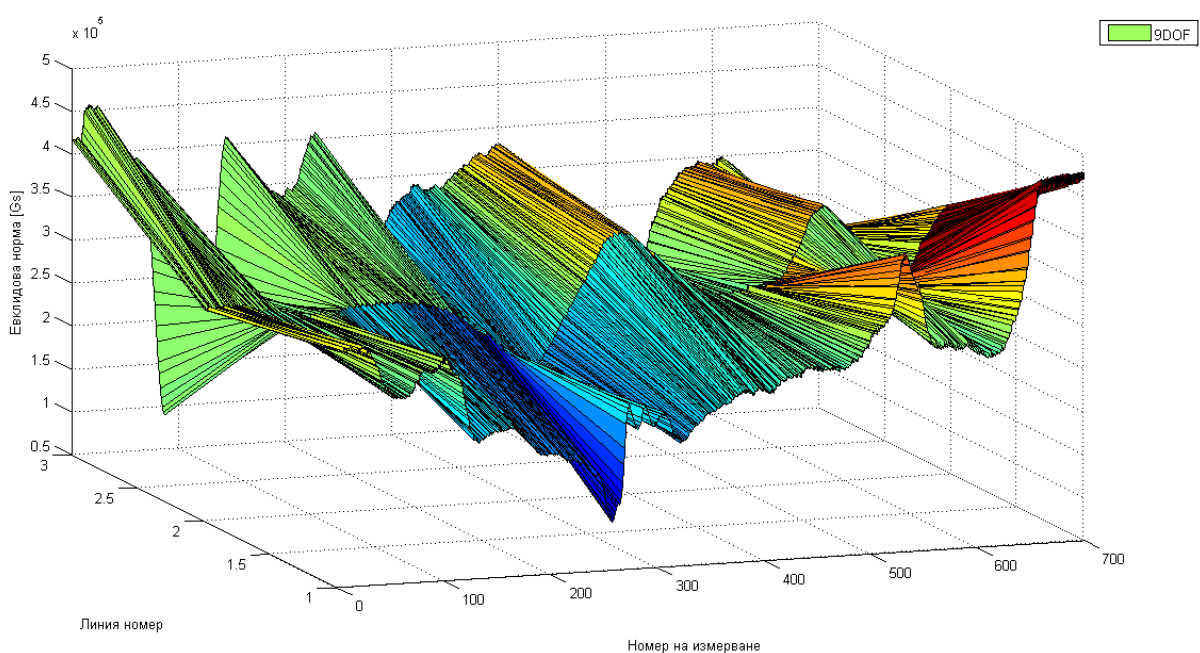


Фиг.4.16. Получени резултатите от магнитометър 9DOF

Характерът на двете изображения е близък, като разликите се дължат на обработката на сигнала в аналого – цифровият тракт. От наблюдението на фигурата, констатираме, че характерът на изображенията по осите е между двата магнитометъра е близък, което дава основание да се твърди, че имаме повтаряемост и стабилност на резултатите. Тъй като са важни екстремумите и двете могат да бъдат използвани за навигация. Могат да се сравняват трите линии по принос за наличие на характерни признаци необходими за евентуалната навигация.



Фиг.4.17. Получени резултатите от магнитометър LSM303



Фиг.4.18. Получени резултатите от магнитометър 9DOF за частта от коридора

Подобно на измерванията в лабораторията са направени са направени такива измервания и в коридора. В тези измервания е използван само 9доф магнитометър. На фиг. **4.18.** е показано триразмерно магнитно поле измерено по три избрани линии. Допълнителна особеност е провеждане на измерването по една избрана линия в посока напред и назад. При този експеримент е видно че има отместване, което може да се дължи или на промяната в захранващото напрежение или на лека промяна в движението на платформата спрямо съответната линия.

Представени данните от магнитометрите по осите X, Y и Z по отделно за трите линии в лабораторията, констатираме, че характерът на изображенията по осите е между двата магнитометъра е близък, само единият е по зашумен. Освен това по оста Z се забелязват по-силно изразени координати, които пак са подобни между двата магнитометъра.

Получените резултати и графиките са изключително информативни. Резултатите на този етап показват че може да се направи опит от измерените характеристики да се определят в някакъв толеранс характерни координати, които да бъдат използвани за навигация. Ако тези координати не са достатъчно точно определени, а само с някаква вероятност, тогава както по нагоре бе казано трябва да се използват статистически филтри като EKF, KF или Particale филтър за формирането на тези характерни координати.

Литература

- [4.1.] Hertzberg J., K. Lingemann, A.Nüchter. **Mobile Roboter**, Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2012, ISBN 978-3-642-01725-4
- [4.2.] J. Torres-Solis, T.H. Falk, and T. Chau. **A Review of Indoor Localization Technologies: Towards Navigational Assistance for Topographical Disorientation**. Ambient Intelligence, pages 51–84, 2010
- [4.3.] G. Deak, K. Curran, and J. Condell. **A Survey Of Active And Passive Indoor Localisation Systems**. Computer Communications, 2012
- [4.4.] Y. Gu, A. Lo, and I. Niemegeers. **A Survey of Indoor Positioning Systems for Wireless Personal Networks**. IEEE Communications Surveys and Tutorials, 11 (1):13–32, 2009. cited By (since 1996) 124
- [4.5.] O.J. Woodman. **An Introduction to Inertial Navigation**. University of Cambridge, Computer Laboratory, Tech. Rep. UCAMCL-TR-696, 2007
- [4.6.] Núñez, P., Vázquez-Martín, R., del Toro, J. C., Bandera, A., & Sandoval, F. **Feature extraction from laser scan data based on curvature estimation for mobile robotics**. In *Proceedings of the IEEE International Conference on Robotics and Automation*, (pp. 1167-1172). IEEE Press. 2006
- [4.7.] Nüchter, A. (2009). *3D robotic mapping: The simultaneous localization and mapping problem with six degrees of freedom*. Berlin, Germany: Springer Verlag.
- [4.8.] Moravec, H. P., & Elfes, A. (1985). **High resolution maps from wide angle sonar**. In *Proceedings of the IEEE International Conference on Robotics and*

- Automation. IEEE Press. MRPT. (2011). *The mobile robot programming toolkit website*. Retrieved Mar 1, 2012, from [http:// www.mrpt.org/](http://www.mrpt.org/)
- [4.9.] Holz D. ***Effiziente Kartografie und Navigation für mobile Service Roboter*** Informatik Spektrum 33/4/2010, Springer-Verlag
- [4.10.] Grisetti G, Stachniss C, Burgard W ***Improved Techniques for Grid Mapping with Rao-Blackwellized Particle Filters***. IEEE Trans Robot 23(1):34–46, 2007
- [4.11.] Brooks, R. A. ***Intelligence without representation***. *Artificial Intelligence Journal*, 47, 139–159. doi:10.1016/0004-3702(91)90053-M, 1991
- [4.12.] Lasse K, Richard R, Michailas R, et al ***Multi-modal Sensor Data and Information Fusion for Localization in Indoor Environments***. Positioning Navigation and Communication (WPNC), 2010 7th Workshop on , vol., no., pp.187,192, 11-12 March 2010
- [4.13.] S. Kohlbrecher and J. Meyer and T. Graber and K. Petersen and O. von Stryk and U. Klingauf ***Hector open source modules for autonomous mapping and navigation with rescue robots***, *Proc. RoboCup Symposium 2013*
- [4.14.] Lilienthal, A., & Duckett, T. (2004). ***Building gas concentration gridmaps with a mobile robot***. *Robotics and Autonomous Systems*, 48(1), 3–16. doi:10.1016/j.robot.2004.05.002

КАДП 2015	СЪДЪРЖАНИЕ	СЪДЪРЖАНИЕ
ГЛАВА 1	МЕТОДИ ЗА ПРОЕКТИРАНЕ И ИНЖЕНЕРНИ ИЗСЛЕДВАНИЯ НА АВТОМАТИЗИРАНИ МЕХАТРОННИ СИСТЕМИ В ДИСКРЕТНОТО ПРОИЗВОДСТВО	5
ГЛАВА 2	проф. д-р инж. Димчо Стойков Чакърски	
ГЛАВА 3	ОПТИМИЗАЦИЯ НА ПАРАМЕТРИЧНИ РЕДОВЕ НА ТЕХНИЧЕСКИ ИЗДЕЛИЯ	25
	проф. д-р инж. Иво Кръстев Малаков	
ГЛАВА 4	НЯКОИ НОВИ АСПЕКТИ В ПРОЕКТИРАНЕТО НА МЕХАТРОННИ СИСТЕМИ	49
	проф. д-р инж. Тодор Димитров Нешков, проф. д-р инж. Любомир Ванков Димитров	
ГЛАВА 5	ТЕХНОЛОГИИ И ПРАКТИКА ЗА НАВИГАЦИЯ НА МОБИЛНИ ПЛАТФОРМИ В ЗАТВОРЕНИ ПОМЕЩЕНИЯ	74
	проф. д-р инж. Младен Стойков Милушев, маг. инж. Филип Филипов Филипов	
ГЛАВА 6	ОПТИМАЛНО ПЛАНИРАНЕ НА ДВИЖЕНИЯТА НА КОЛЕСНИ МОБИЛНИ РОБОТИ	94
	проф. д-р инж. Пламен Петров Петров	
ГЛАВА 7	МЕТОДИ ЗА МНОГОКРИТЕРИАЛНА ОПТИМИЗАЦИЯ, ОСНОВАНИ НА СТОХАСТИЧНА ПРОЦЕДУРА ЗА ТЪРСЕНЕ НА РЕШЕНИЕ	109
	ас. д-р инж. Велизар Велизаров Захаринев	
ГЛАВА 8	СЕНЗОРИ В МЕХАТРОННИТЕ СИСТЕМИ	129
	доц. д-р инж. Панчо Кръстев Томов	
ГЛАВА 9	АВТОМАТИЧНИ МАШИНИ И ЛИНИИ ЗА ОПАКОВАНЕ	154
	доц. д-р инж. Любен Тодоров Клочков, доц. д-р инж. Ваня Кирилова Георгиева	
	АВТОМАТИЗИРАНО ПРОГРАМИРАНЕ НА CNC МАШИНИ С ИЗПОЛЗВАНЕ НА САМ СИСТЕМИ	178
	доц. д-р инж. Стилиан Николов Николов	

В книгата са включени избрани глави от комплексната автоматизация на дискретното производство (КАДП).

Книгата съдържа 13 глави от различни автори. Към всяка глава е приложена използваната в нея литература. Номерацията на подточките, фигурите и таблиците е извършена спрямо номера на съответната глава.

Автори на отделните глави са:

Глава 1	проф. д-р инж. Димчо Чакърски
Глава 2	проф. д-р инж. Иво Малаков
Глава 3	проф. д-р инж. Тодор Нешков,
	проф. д-р инж. Любомир Димитров
Глава 4	проф. д-р инж. Младен Милушев,
	маг. инж. Филип Филипов
Глава 5	проф. д-р инж. Пламен Петров
Глава 6	ас. д-р инж. Велизар Захаринев
Глава 7	доц. д-р инж. Панчо Томов
Глава 8	доц. д-р инж. Любен Клочков,
	доц. д-р инж. Ваня Георгиева
Глава 9	доц. д-р инж. Стилиан Николов
Глава 10	доц. д-р инж. Ренета Димитрова
Глава 11	маг. инж. Йордан Йорданов,
	гл. ас. маг. инж. Ангел Бъчваров
Глава 12	доц. д-р инж. Татяна Вакарелска
Глава 13	проф. д-р инж. Димитър Дамянов

Книгата е посветена на:

- 70 години от създаването на ТУ-София
- 70 години от създаването на МФ към ТУ-София
- 45 години от създаването на катедра АДП при МФ на ТУ-София

Издаването на тази книга е субсидирано със средства от бюджетната субсидия на ТУ-София за издаване на учебници и научни трудове за 2015 година

Издаването на произведението е субсидирано със средства от бюджетната субсидия на ТУ – София за издаване на учебници и научни трудове за 2015 година.

КОМПЛЕКСНА АВТОМАТИЗАЦИЯ НА ДИСКРЕТНОТО ПРОИЗВОДСТВО

Автори:

© проф. д-р Иво Малаков и колектив

Рецензент:

© проф. д-тн Христо Константинов Шехтов

Стилова редакция:

© Стояна Иванова Саева

Даден за печат: м. май 2015 г.

Излязъл от печат: м. юни 2015 г.

Печатни коли: 17.50

Поръчка № 6 с

Тираж 100 броя

Цена 15.00 лв.

Формат 60/84/16

ISBN : 978-619-167-153-3

Издателство и печат - Техническият университет – София
гр. София, бул. Климент Охридски 8, тел. 02 965 22 26