



БЪЛГАРСКА АКАДЕМИЯ НА НАУКИТЕ
ИНСТИТУТ ПО ИНФОРМАЦИОННИ И КОМУНИКАЦИОННИ
ТЕХНОЛОГИИ

Панайот Пламенов Даскалов

МЕТОДИ, АЛГОРИТМИ И ИЗЧИСЛИТЕЛНИ АРХИТЕКТУРИ
ЗА ОТКРИВАНЕ НА ДВИЖЕЩИ СЕ ЦЕЛИ
В РАДИОИЗОБРАЖЕНИЯ

АВТОРЕФЕРАТ

за придобиване на образователната и научна степен „доктор“

по докторска програма „Информатика“

професионално направление 4.6. “Информатика и компютърни науки“

Конкурс на МОН за 2007г. „Стипендии за млади учени, които подготвят докторантски труд в национална фирмена структура“, ДОГОВОР № МУ-ФС-05/17.12.2007

Научни ръководители:
проф. д.н. Христо Кабакчиев
проф. д.н. Иван Гарванов

София, 2018 г.

Увод

Приложението на навигационните системи в последните години придобива все по-голямо значение за ежедневието ни. Сигналите от различните сателитни навигационни системи са навсякъде около нас и те покриват по-голямата част от земното кълбо. GPS, първоначално и основно е проектирана за решаване на навигационната задача и определяне на нашето местоположение, но през последните години GPS сигнали се използват за създаване на различни приложения и за решаване на голям кръг от научно приложни задачи. В дисертационият труд са предложени различни решения и вторични приложения на GPS сигналите.

Актуалността на темата

Решаването на тези задачи е продиктувано от необходимостта на бизнеса в България за справяне с някои реални проблеми от ежедневието ни. Проектирането на автоматична система за навигация на автомобилите е по съвместен проект на фирма Мултипроцесорни Системи ООД през периода 2005 г. – 2010 г. и Института по информационни технологии на БАН.

Докторантурата е разработена по проекта МУ-ФС-05/2007 в конкурса “Стипендии за млади учени, които подготвят докторантски труд в национална фирмена структура” с темата на проекта: *„Разработка на GPS системи от второ поколение – избор, паралелизация и изпълнение в съвременни високо производителни изчислителни архитектури на алгоритми, предназначени за пространствено временно адаптивно (STAP) откриване и съпровождане на GPS сигнали от различни спътници при условията на интензивни градски смущения или в закрити помещения”*, с продължителност четири години с МПС и ИИТ-БАН.

В следствие поради различни административни неуредици между МОН и ФНИ се наложи продължаване на срока на докторантурата. Успешно бяха отчетени първите два етапа на проекта, но средства за следващите два етапа не бяха преведени. Това наложи, част от изследванията да бъдат проведени при изпълнението на други два научни проекта към ФНИ-МОН и СУ, в периода 2010 -2017 г. и един проект с фирма „Черно море“ АД през 2008 г.

- 2008 г., Проекта с фирма „Черно море“ АД беше да се автоматизира целия процес по откриване и идентифициране на целите в произвеждания от тях по руския лиценз доплеров радар HP-100M. Те предоставиха любезно записи на сигнали от различни обекти и ситуации на доплеровия радар HP-100M.

- 2010 – 2014 г., проект № DVU_10_0243 2010 г., „Стимулиране на научните изследвания в държавните висши училища” – 2010 г., с НФ на МОН и СУ "Св. Кл.Охридски" „Разработка на програмна система за изследване и проектиране на радио мрежи базирани на радио техники за разпространение на сигнали “напред” за лоциране на движещи се обекти на фона на море и електронни смущения с цел защита на морски зони и граници”;

- 2014 -2017 г., ДФНИ T02/14, Конкурс за финансиране на научните изследвания в приоритетни области, 2014г., с ФНИ на МОН и СУ "Св. Кл.Охридски" и УниБИТ “Откриване и класификация на обекти в градски условия от техните радиосенки от GPS сигнали”.

Обзор на основните резултати в областта

Дисертационният труд разглежда научните проблеми свързани с нови приложения на GPS системата и тестване на алгоритми за откриване на подвижни и неподвижни обекти. Тематиката на дисертацията е ново за България, тя обединява две тематични направления: обработка на GPS сигнали и обработка на радарни FS сигнали. В областта на обработката на FS сигнали, в България работят учени от Бургаски Свободен Университет, Институт по Електроника на БАН и научният колектив в който участва и автора на дисертационният труд, състоящ се от учени от СУ „Св. Климент Охридски“, ИИКТ-БАН, УниБИТ и УНСС. Част от този колектив, съвместно с колектив на Бирмингамския университет е изследвал радиосенки от движещи се морски съдове, на базата на реални записи от бистатичен маломощен високочестотен радар, получени в Исландия и гр. Созопол, България. FS радарът е двупозиционен радар, в който бистатичен ъгъл между направленията "приемник-цел" и “предавател-цел” е около 180^0 . В областта на обработка на GPS сигнали, ръководителите на докторанта са развили алгоритми за обработка на слаби GPS сигнали в градски условия и наличие на различни смущения, а също и алгоритми за намаляване на грешката на определяне на координатите на обектите. Тези изследвания са финансирани от проект ДДВУ02/50/2010г. на ФНИ, в който участва и автора на дисертационния труд.

В дисертацията се обединяват две актуални за Европа и България научни области, за

разработка на нови приложения на GPS технологията, включващи обработка на радарни FS сигнали и обработка на GPS сигнали. Исторически радарните и комуникационните мрежи са от най-старите мрежи. Те са се развивали независимо, т.е. са решавали различни задачи. Разликата е в това, че радарните мрежи се състоят от разпределени сензори, включващи предавател и приемник в една позиция, в радара. Комуникационните мрежи се изграждат от последователност от отдалечени предаватели и приемници. Този принцип на многопозиционни радари, радари с разнесени приемници и предаватели, стои в основата на така наречени радарни мрежи, използващи *Forward Scattering Radio Techniques*. В момента Русия е най-големия световен производител на радиолокационни FS бариери за въздушното и космическото пространство (Барьер-Е, Делта, Перископ и др.) и двигател на тази научна област. Тези системи са много актуални поради възможността да откриват малки подвижни обекти и цели произведени по Стелт технологията. В момента един от най-известните и цитирани учени, работещ в областта на изследването и разработката на мрежи използващи *Forward Scattering Radio Techniques* за охрана на морски граници и обекти, е проф. Черняков от Бирмингамския Университет, Англия. Съществуващите сателитни радионавигационни системи (GPS, GLONASS, Galileo, Compas) са системи с космическо базиране, функционирането на които не зависи от атмосферните условия. Тези системи за глобална навигация намират широко приложение за оперативна навигация. Те позволяват в глобален мащаб да се определят точните координати и скоростта на подвижните обекти и осъществяват точната координация във времето. Основен проблем при обработката на GPS сигналите е ниското отношение на сигнал шум и наличието на различни видове смущения в градски условия. Защитата на GPS приемника от различни видове смущения в градски условия е актуално научно направление в света. Независимо, че през последните години тази технология навлезе широко в бита и обществения живот на съвременното общество, все още усилено се работи по разработването на нови приложения GPS технологията. Известно е, че наличието на различни обекти на пътя на GPS сигналите водят до загуба на сигнала в GPS приемника, т.е. до появата на радиосянка. Актуалното в дисертационния труд е това, че той предлага да се използва информацията съдържаща се в радиосянката от различни обекти за разработка на нови приложения на GPS технологията. В дисертацията са изследвани известни алгоритми за откриване на цели с приложение в GPS-FS радарна система и в доплеров радар.

Цели и задачи на дисертацията

Целта на дисертационния труд е да се направи дизайн за мобилно приложение на база изчислителни архитектури за навигация и да се изследват методи и алгоритми за откриване на сенки формирани от GPS сигнали от неподвижни и движещи се цели, както и откриване на обекти в радиоизображения формирани от сигнал от доплеров радар HP-100M.

За постигане на тази цел в дисертационния труд са формулирани следните задачи:

1. Да се проектира и конструира мениджър на устройства - комплексна система за автоматизиране на комуникацията между централна компютърна система и на практика неограничен брой навигационни устройства за навигация за контрол на пътни превозни средства с помощта на изчислителна архитектура за навигация.
2. Да се изследват методи и алгоритми за откриване на цели върху серия от експериментални записи на GPS сигнали от различни подвижни и неподвижни обекти, в бистатични GPS системи и в системи за пряко разпространение на GPS сигнали.
3. Да се тестват разработените алгоритми за автоматично откриване на движещи се цели върху радиоизображения от доплеров радар HP-100M, произвеждан от фирма „Черно Море“ АД, с цел неговата модернизация.

Методология на изследването

Изследванията в дисертацията включват използването на числен подход. Численият подход е използван при оценка на ефективността на алгоритмите, посредством компютърно изчисляване в средата на MATLAB.

Структура на съдържанието

Дисертацията започва с *Увод*, в който накратко е описано съдържанието на материала, и завършва със *Заклучение*, в което са представени основните изводи от осъщественото изследване, като са изброени научните и научно-приложните приноси на автора. Дисертацията започва със *Съдържание* и *Списък на използваните термини*, а в края завършва с – *Библиография*. Основният текст на дисертацията е структуриран в три глави, както следва:

В *Първа глава* се описват процесите на проектиране и реализация на система за комуникация, контрол и управление на навигационни и проследяващи устройства. Системата обработва и съхранява данните, получени от тях по различни комуникационни канали, като параметрите на тези процеси се определят в интерактивен режим пряко от потребителя в зависимост от конкретните нужди на неговото приложение. Проектира и реализира се мениджър на устройства - комплексна система за автоматизиране на комуникацията между централна компютърна система и на практика неограничен брой навигационни устройства за навигация и контрол на пътни превозни средства с помощта на изчислителна архитектура за навигация. Практически системата е реализирана и се използва в Web базираната услуга, наречена **Follow Me on the Web** на фирма Мултипроцесорни Системи ООД, България.

Във *Втора глава* се разглеждат процесите на настройка на софтуерен GPS приемник с цел получаване на навигационни сигнали от GPS сателити извършена във фирма МПС. Тази система ще се използва за провеждане на различни експерименти и събиране на база от записи на GPS сигнали.

Описват се и предлаганите от екипа на Софийския Университет и УниБИТ подходи и алгоритми за автоматично съвместно откриване и оценяване на параметрите на подвижни и неподвижни цели използвайки GPS сигнали при бистатична конфигурация на приемника и предавателя, в условията на поява на ефекта на разпространение напред.

Изследваните в дисертационния труд алгоритми за откриване на подвижни наземни и летящи цели са тествани върху получените реални GPS сигнали проведени в различни ситуации и с различни обекти.

В *Трета глава* се описват предлаганите от екипа на Софийския Университет и УниБИТ подходи и алгоритми за автоматично откриване на различни реални радиоизображения получени от доплеров радар с непрекъснато излъчване. Записите от доплеровия радар HP-100M са предоставени от фирма „Черно море“ АД с цел модернизация на радара. Описани са функциите и параметрите на записващия доплеров радар HP-100M. Показани са начините за възстановяване на сигнала, и настройка на алгоритмите за обработка на радиоизображенията. Извършено е тестване върху получените реални записи на радиоизображения получени в различни ситуации и с различни обекти на предлаганите в дисертационния труд алгоритми за откриване на радиоизображения на подвижни наземни цели.

Резултатите от изследванията са публикувани в 8 статии, докладвани в 5 престижни специализирани международни научни конференции реферирани в базите

от данни Scopus и Web of Science, както и 3 в национални конференции. Забелязани са седем цитирания на научните публикации по дисертационния труд.

ГЛАВА I. Проектиране и реализиране на система за навигация и контрол

Настоящата глава описва процесите на проектиране и реализация на система за комуникация, контрол и управление на навигационни и проследяващи устройства. Системата обработва и съхранява данните, получени от тях по различни комуникационни канали, като параметрите на тези процеси се определят в интерактивен режим пряко от потребителя в зависимост от конкретните нужди на неговото приложение. За реализацията на системата за навигация и контрол са използвани съвременни изчислителни архитектури за обработка на сигнали и навигация на подвижни обекти. Практически системата е реализирана и се използва в Web базираната услуга, наречена **Follow Me on the Web** на фирма Мултипроцесорни Системи ООД, България.

Транспортът винаги е бил жизнено важен аспект от живота на човека, както в миналото така и в настоящето. Хора, стоки и суровини непрестанно имат нужда от него, за да достигнат от едно място на друго. Бързината и високите разходи са основните проблеми на всеки тип транспорт, а за да бъдат те преодоляни, е необходима строга и много прецизна организация, както и мощни средства за контрол и управление. Съвременните транспортни фирми и организации са огромна и сложна смесица от хора, техника, товари и др., която човек трудно може да осмисли, а още по трудно да контролира и следи. Нуждата от средства за контрол и управление на превозни средства стои не само пред транспортните фирми. От това се нуждаят и охранителни фирми, малки и големи предприятия притежаващи авто-парк, който желаят да контролират ефективно. Тези проблеми пораждат и нуждата от достъпна и ефективна система за централизиран контрол и управление на транспортните средства.

Такива системи са комбинация от вградени в автомобилите устройства за позициониране и контрол и компютърни системи обработващи данните идващи от тях с цел да ги съхранят и впоследствие да ги предоставят във вид лесен за възприемане и обработка от човек или друга компютърна система осъществяваща някакъв вид дейност

базирана на тези данни.

За да изпълнят високите изисквания на днешното време към тях, компютърните системи за контрол и управление на превозни средства (КУПС), се нуждаят от постоянен, надежден и високоскоростен канал и метод за обмен на данни с навигационните устройства инсталирани в превозните средства. Този канал е важна и неизменна част от една такава система, служещ освен за събиране на данни, но и за дистанционен контрол на целия автомобил чрез навигационното устройство. За да бъде правилно оценена неговата роля в една такава система, е необходимо да се познава нейната същност и проблемите, които възникват при изграждането ѝ. Затова в тази глава ще направя кратко описание на значението на компютърните системи за КУПС и технологиите които те използват, както и нуждата от усъвършенстване на съществуващите такива системи.

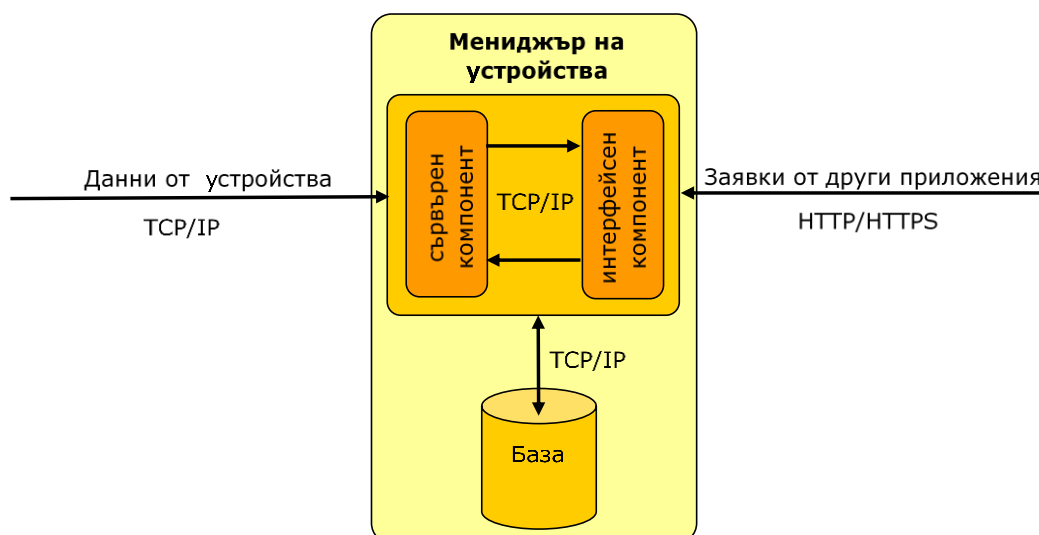
1.1. “Мениджър на устройства” за контрол и управление на навигационните устройства вградени в автомобилите.

След като изискванията към приложението имплементиращо метода за комуникация тип M2M между навигационното устройство и приложен сървър са дефинирани, тук ще бъдат изброени целите, които тези изисквания поражда, за да бъде създадено подобно приложение и покрити горе изброените изисквания.

Целите са групирани в относителни категории, като за всяка категория е направена кратка обосновка показваща кои от изискванията към приложението тя покрива. От тук нататък приложението, ще се нарича “мениджър на устройства” (МУ), тъй като основната му задача е да контролира и управлява навигационните устройства вградени в автомобилите.

1.5. Създаване на “мениджър на устройства” като приложение от няколко компонента

За да бъде поддръжката на мениджърът на устройства по-лесна, а създаването му по-бързо и ефективно, най-добре е да се възприеме подход разделящ го на няколко софтуерни компонента, изпълняващи различни части от неговите задачи. В тази точка те само ще бъдат дефинирани, а по-нататък ще бъде дадена повече информация за тяхната роля в приложението.



Фиг. 1.3. Логическа схема на компонентите на МУ

- **сървърен компонент** – това е компонентът отговорен за приемането на заявките идващи от навигационните устройства, поддържане на комуникация с тях, обработката на данните им, записването им в база данни и изпращането на команди към тях.
- **интерфейсен компонент** – това е компонентът грижещ се за осъществяването на връзка между сървърния компонент и други софтуерни приложения, които са част от системата.
- **база данни** – цялата информация необходима за работа на системата, като цяло се съхранява тук.

1.6.6. Разработки на МПС на навигационни цифрови системи за управление на коли

През периода 2005г.- 2007г. в във фирма Мултипроцесорни Системи ООД, са създадени специализирани цифрови системи за управление на коли на база стандартни микро процесори. Устройствата са част от системата описана в гл.1. на дисертацията.

Дисертантът е участвал в тези проекти на МПС главно чрез разработката на програмно осигуряване за тези цифрови системи.

Например, микро-процесор TI MSP430 вграден в устройство за проследяване на автомобили MPS U1 (фиг. 1.8). Разработения софтуер управлява GPS модул uBlox TIM4A, GSM модул Motorola G20 и 10 бр. аналогови входа и 2 бр. цифрови изхода. Данните за местоположение, скорост и посока от GPS модула, както и състоянието на

аналоговите вх/изх се изпращат през GSM/GPRS мрежата към системата описана в гл. 1.



Фиг. 1.8 Модул GSM-GPS

През 2006 г. автора на дисертацията участва в оживяването на GPS приемник използващ чип SE4110 на SiGE Electronic, с цел запис на суров сигнал и последващото му анализиране, (фиг. 1.9).



Фиг. 1.9 GPS приемник

През 2007 г. в МПС се разработва устройство за проследяване и навигация на автомобили модел MPS U3 (фиг. 1.10), работещо под ОС Линукс с процесор Cirrus Logic EP9307. Разработения от докторанта софтуер управлява GPS модул uBlox TIM4A, GSM модул Motorola G20 и 16бр. аналогови входа и 8бр. цифрови изхода, има вграден 100Mb Ethernet порт, 3 USB 2.0 портове, вграден аудио изход и управлява LCD екран 7", чувствителен на допир.



Фиг. 1.10 Устройство за проследяване и навигация на автомобили

1.7. Изводи по глава 1

1. Предложено е приложение, мениджър на устройства - комплексна система за автоматизиране на комуникацията между централна компютърна система и на практика неограничен брой навигационни устройства, които използват мрежата на мобилен оператор, като преносна среда за данни.
2. Дизайна и програмната реализация, на мениджъра на устройства е изключително гъвкав, създаден чрез стандартни широко използвани технологии, предлага лесен и бърз начин за интегриране на нови модели навигационни устройства към системата, в която работи и може лесно да бъде интегриран във вече съществуващи такива системи.
3. Предлага се комуникацията да се осъществява чрез GPRS канал, който предлага много по-високи скорости при преноса на данни, постоянна свързаност с отдалечената страна, TCP/IP протокол за комуникация, което позволява вграждането на нови възможности в навигационните устройства и предоставяне на нови услуги на потребителите, например контрол на целия автомобил и управление, от която и да е точка в света, използвайки обикновен web браузър.
4. Във фирма МПС, за нуждите на реализираната от тях Web базираната услуга, наречена **Follow Me on the Web**, система за проследяване и навигация на автомобили (виж глава 1.), с участието на дисертанта бяха разработени и оживени в периода 2005 – 2007 г, редица изчислителни среди за цифрова сигнална обработка с използването на GPS системи с различно приложение, което има и необходимите документи приложени в дисертацията.

ГЛАВА II. Методи и алгоритми за откриване на цели, използвайки сенките на целите облъчени от GPS сигнали

В главата се разглеждат процесите на настройка на софтуерен GPS приемник с цел получаване на навигационни сигнали от GPS сателити. Тази система ще се използва за провеждане на различни експерименти и събиране на база от записи на GPS сигнали.

Описват се и предлаганите от екипа на Софийския Университет и УниБИТ подходи и алгоритми за автоматично съвместно откриване и оценяване на параметрите на подвижни и неподвижни цели използвайки GPS сигнали при бистатична конфигурация на приемника и предавателя, в условията на поява на ефекта на разпространение на сигналите напред.

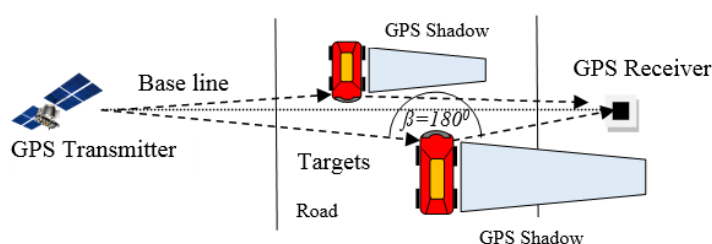
Изследваните в дисертационния труд алгоритми за откриване на подвижни наземни и летящи цели са тествани върху получените реални GPS сигнали проведени в различни ситуации и с различни обекти. Алгоритмите са много перспективни и могат да намерят приложение в редица устройства за откриване и оценка на параметри и класификация на подвижни наземни и летящи цели.

2.2. Откриване на подвижни и неподвижни цели с помощта на софтуерен GPS приемник, използвайки принципите на радарите с пряко разпространение на сигнали

В бистатичните радары един от факторите, които влияят на електромагнитната напрегнатост на полето и модела на приемника, е ъгълът, образуван между предавател, цел и приемник. Този ъгъл се нарича бистатичен ъгъл, β . Когато бистатичният ъгъл е равен или близък до 180° ($\beta \approx 180^\circ$), радарната система е система с пряко разсейване на сигнала, както е показано на фигура 2.26.

Прякото разсейване е ефект, при който наличието на препятствие в зоната на разпространение на радиовълната, частично ще блокира разпространението на вълната на сигнала от предавателя [32-38]. В резултат на това блокиране се получава дупка в разпространението на радио вълната, известен като радио сянка на целта. Радио сянката всъщност е електромагнитното поле, разпръснато от целта. Това следва от теорията на електромагнитните полета: "когато има абсолютно черно тяло, което е поставено на пътя на вълната, и размерите на това тяло са по-големи в сравнение с дължината на

вълната, тогава съществува разсейване на вълната в областта зад тялото, наречено ("сянка"). Този ефект се получава в резултат на дифракцията на електромагнитната вълна. Разсейването на вълната в този случай може да бъде представена като сянката, следваща направлението на вълната, и тя представлява отрицателна осветеност спрямо основното поле. Тъй като видът на сянката зависи от силуета на целта, тя не зависи от формата и повърхността на обекта. Тази характеристика показва независимостта на пряко разсейваната вълна от целта, състояща се от абсорбиращ материал. Друг важен аспект на прякото разсейване е постигането на висока кохерентност и стабилност на предавателя и приемника. Това е пряко следствие от загубата на разрешение по разстояние.



Фиг. 2.26. Радио система с пряко разсейване на сигнала

В дисертацията са изследвани две ситуации: когато GPS приемника е неподвижен и когато е монтиран на движещ се автомобил. Получената информация може да се използва в приложения подобни на тези в класическата радио локация, включително и като радио бариери, охрана, класификация и идентификация на подвижни и неподвижни обекти.

2.2.1 Експериментални резултати получени от подвижен GPS приемник и неподвижни обекти (сгради и мостове): По време на експериментите е използвана комерсиална ненасочена GPS антена и GPS приемник, показани на фигура 2.27.

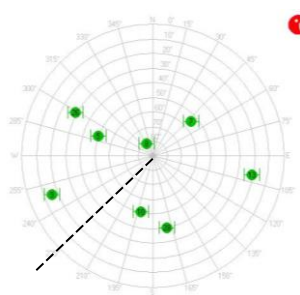


Фиг. 2.27. Експериментална апаратура за регистрация на GPS сенките

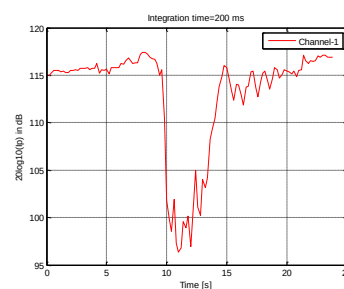
Експеримент 1: Топологията на експерименталния сценарий е показана на фигура 2.28. С плътна линия е показана траекторията на движение на GPS приемника, монтиран на подвижен автомобил. Видимите сателити по време на експеримента са показани на фиг. 2.29, като с помощта на пунктирната линия избираме най-подходящия за експеримента сателит, а именно сателит номер 9, който е най-близо до направлението на базовата линия, най-ниско над хоризонта и за него възниква най-силен ефект на пряко разпространение на GPS сигнала. След интегриране на I_P компонентата на GPS сигнала за 200ms се получава резултатът от фигура 2.30. При настоящия експеримент е изследвано влиянието на времето на интегриране на сигнала и е установено, че е най-добре то да бъде 200ms. Интервалът на интегриране от 200ms позволява да се запази формата на сянката и да се отстранят случайните флукутации. От получения резултат се вижда пропадане на GPS сигнала в резултат от наличието на сграда на пътя между GPS предавателя и GPS приемника (радио сянка).



Фиг. 2.28 Сценарий



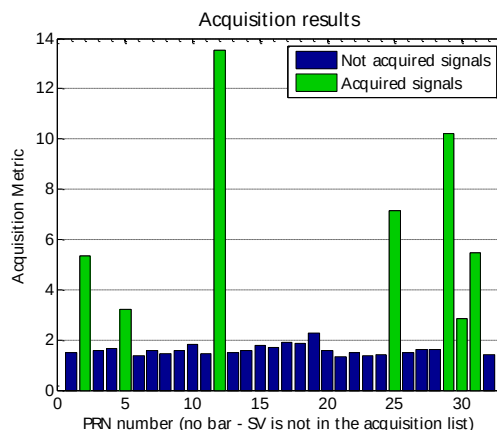
Фиг. 2.29 Видими сателити



Фиг. 2.30 Интегриран сигнал

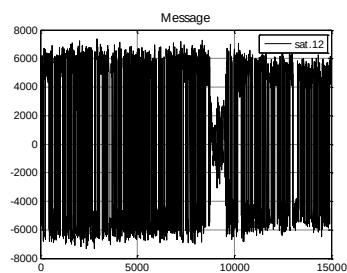
Експеримент 2: По време на този експеримент, една кола със системата за запис на GPS сигнали (SDR GNSS) пътува със скорост 60-70 км / час под мост с едно платно

(Фиг. 2.31). Използването на приемника АЕК-4R, позволява да следим местоположението на спътниците (Фиг. 2.32) и да изберем подходящ спътник, сигналът от който ще бъде записан от системата за записване на сигнала SDR GNSS.

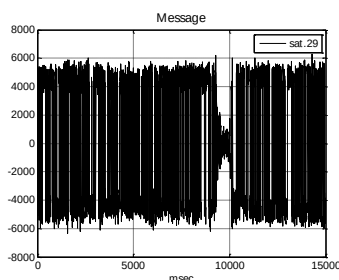


Фиг. 2.31: Топология на 2-рия експеримент Фиг. 2.32: Мощност на сигнали от сателитите

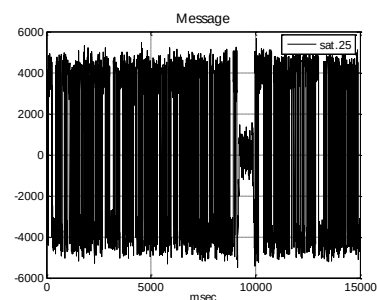
От Фиг. 2.32 се вижда, че най-силните сигнали (acquired signals – Фиг. 2.32) идват към системата за запис от три видими сателита - 12, 29 и 25. Квадратурните компоненти I_p на изходния сигнал на следящия блок (Code&Carrier tracking block) в софтуерен GPS приемник, получени за трите видими сателита, са показани на Фиг. 2.33. Сигнал от сателит 29, разположен на височина 40° над хоризонта, е използван по-нататък за обработка и откриване на радио сянка.



Сателит 12



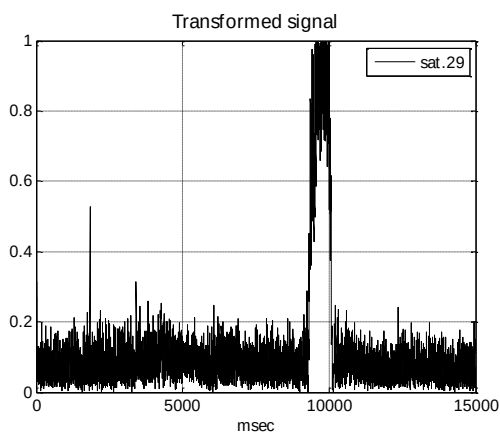
Сателит 29



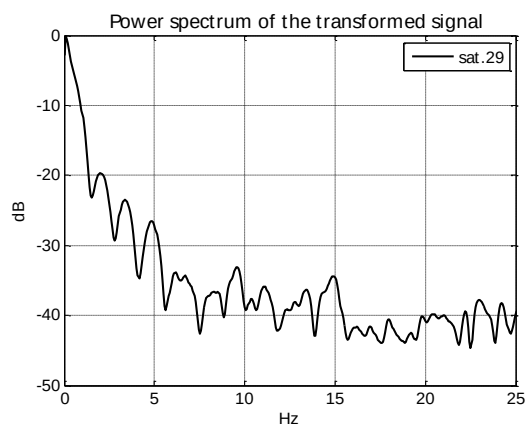
Сателит 25

Фиг. 2.33: Квадратурна компонента I_p на изхода на следящия блок Code&Carrier в софтуерен GPS приемник

След математическа трансформация на квадратурната компонента I_p на сателит 29 е показана на Фиг. 2.34. Спектърът на трансформирания сигнал е показан съответно на Фиг. 2.35.

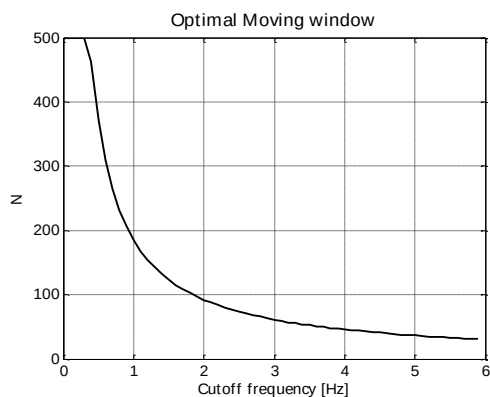


Фиг. 2.34. Трансформиран сигнал на сателит 29

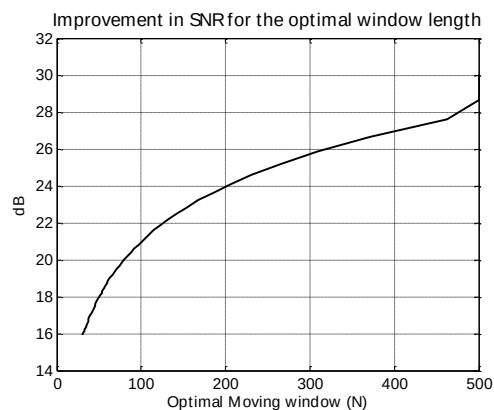


Фиг. 2.35. Спектър на трансформирания сигнал

Оптималните стойности на параметъра N необходими за определяне на пълзящ прозорец на осредняващия филтър (Moving Average Filter, MAF) са пресметнати съгласно оптимизационния критерий, описан по-горе. Тези стойности са представени във вид на график на Фиг. 2.36, в зависимост от честотата на срязване на филтъра. Съответстващите стойности на коефициента на подобрене на отношението „сигнал/шум“ (SNR) на изхода на филтъра са представени на Фиг. 2.37 като функция от параметъра N .



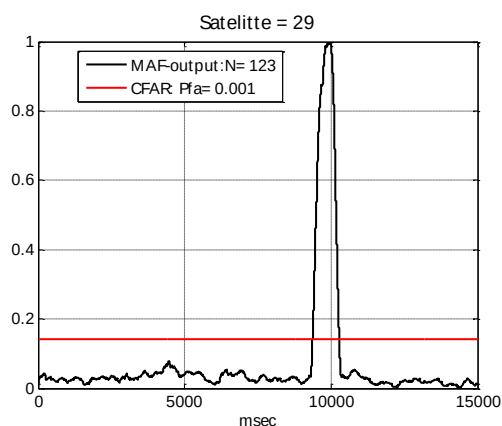
Фиг. 2.36. Оптимални стойности на N като функция от f_{cut}



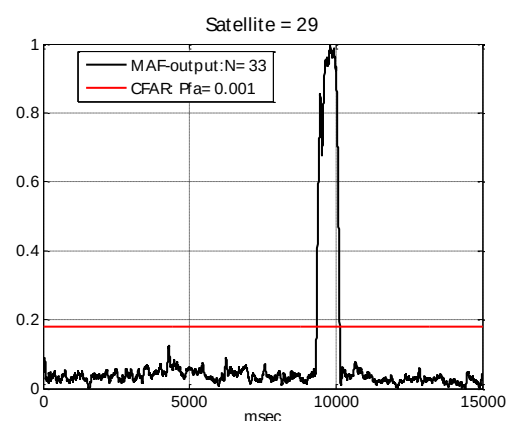
Фиг. 2.37. Коефициент на подобрен на SNR като функция от N

За сравнение две стойности на честотата на срязване на филтъра са избрани от спектъра на Фиг. 2.35 за определяне на параметъра N . Тези стойности са - 1.5 Hz и 5.6 Hz. От Фиг. 2.36 следва, че $N=123$ за честота на срязване $f_{\text{cut}}=1.5$ Hz, и $N=33$ – за честота на срязване $f_{\text{cut}}=5.6$ Hz. Изходният сигнал на филтъра MAF заедно с прага за откриване установен от CFAR детектора е показан на Фиг. 2.38 – за $N=123$ и на Фиг.

2.39. – за $N=33$. И в двата случая прагът за откриване в CFAR детектора е изчислен за поддържане на вероятността за лъжлива тревога 0.001.



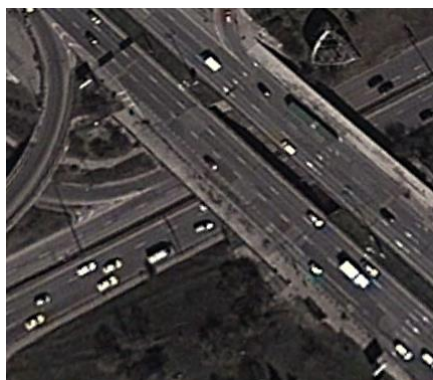
Фиг. 2.38. Изходен сигнал на MAF за $N=123$



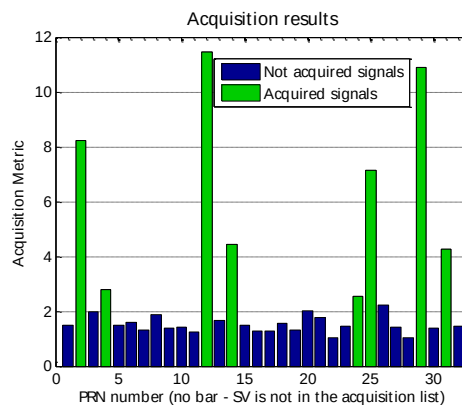
Фиг. 2.39. Изходен сигнала на MAF за $N=33$

Резултатите представени на Фиг. 2.38 и 2.39 показват, че радио сянка от обекта може да бъде открита с помощта на обработката на GPS сигнали в софтуерния GPS приемник.

Експеримент 3. По време на този експеримент лека кола със записващата система GNSS SDR пътува със скорост 60-70 км/час под един мост с две разделени платна. Топологията на този експеримент е показана на Фиг. 2.40. Мощността на приетите от сателитите сигнали е показана на Фиг. 2.41.

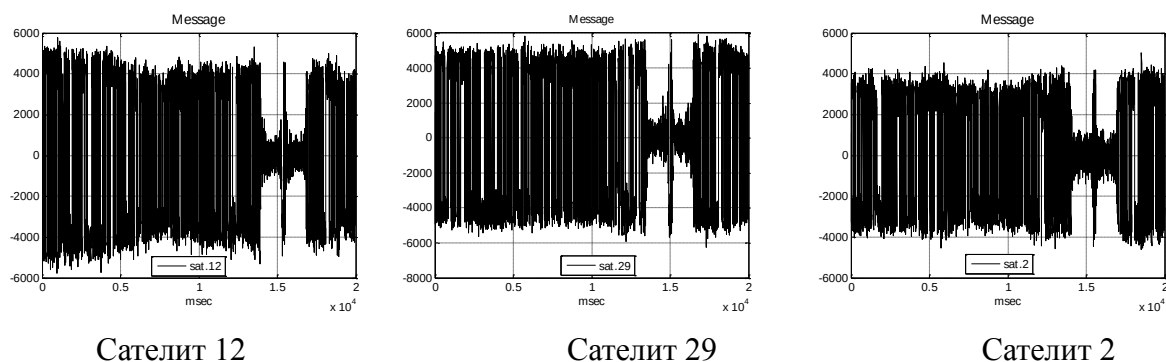


Фиг. 2.40. Топология на 2-ри експеримент



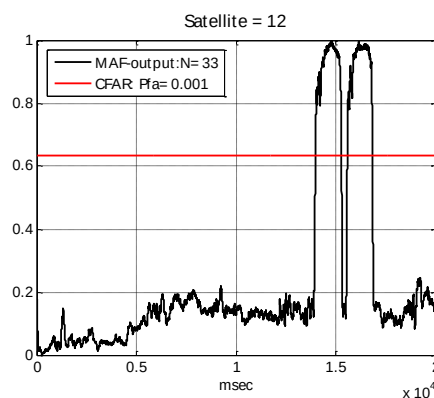
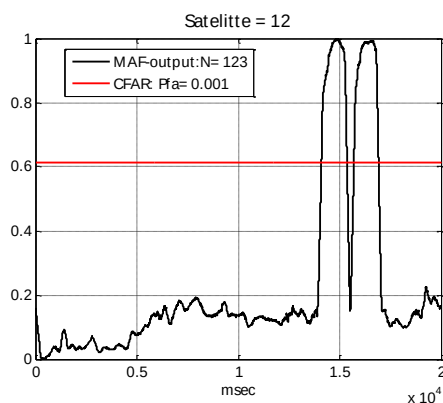
Фиг. 2.41. Мощност на сигналите от сателитите

Стойностите на квадратурната компонента I_q на изхода на следящия блок Code&Carrier в софтуерния GPS приемник са показани на Фиг. 2.42 за трите видими сателити – 12, 29 and 2.



Фиг. 2.42: Компонента I_p на изхода на следящия блок Code&Carrier в софтуерния GPS приемник

Сигналят от сателит 12 е използван за по-нататъшна сигнална обработка. Изходният сигнал на филтъра MAF заедно със съответния праг за откриване, установен от CFAR детектор е представен на Фиг. 2.43 – за $N=123$ и на Фиг. 2.44 – за $N=33$. И в двата случая прагът за откриване е изчислен за $P_{fa}=0.001$.



Фиг. 2.43. Изходен сигнал на MAF за $N=123$

Фиг. 2.44. Изходен сигнал на MAF за $N=33$

От получените резултати се вижда, че радио сянка на двата обекта (две платна на моста) е успешно открита с помощта на предложения в дисертацията алгоритъм. Лесно се вижда, че топологията на двата експеримента удовлетворява условията за поява на FS ефект. Това означава, че обектите са разположени близо до линията „сателит-GPS приемник”.

Изводи:

1. Дисертантът е извършил съвместно с ръководителите си редица експерименти по записи на сенки от GPS сигнали облъчващи неподвижни или подвижни обекти в бистатична радарна ФС система с подвижен приемник разположен на кола;

2. Радиосянка от подвижни или неподвижни обекти облъчени от GPS сигнали, може да бъде открита с помощта на предложените алгоритми за обработката на GPS сигнали в софтуерния GPS приемник;
3. Получените експерименти потвърждават хипотезата, за откриване на радиосянка от различни обекти в бистатични радарни системи, състоящи от GPS предавател – спътник и конвенционален GPS приемник, когато са разположени достатъчно близко до приемната система;
4. Реализирането на неподвижна бистатична GPS FS радарна система, използваща GPS спътник – предавател и неподвижен пасивен комерсиален GPS приемник и антена с слабо усиление на сигнала, е възможно само в случай на изпълнение на условията на формиране на разпространение напред, изискващо пряка „визуална връзка“ между GPS сателита, обекта и приемника, т.е. да са разположени на една линия, и целта да е в зоната на сянка до приемника.
5. От получените резултати се вижда, че в зоната на сянката на приемника на неподвижна бистатична GPS FS радарна система, с предложените в дисертацията алгоритми за сигнална обработка, е възможно да се откриват GPS сенките на подвижни наземни цели, като леки коли, автобуси и човек;

2.2.2. Експериментални резултати получени от неподвижен GPS приемник и подвижни наземни цели (автобуси, бусове, коли и хора):

Експеримент 1: По време на експериментите е използвана комерсиална не насочена GPS антена, GPS приемник и видео камера показани на фигура 2.45.

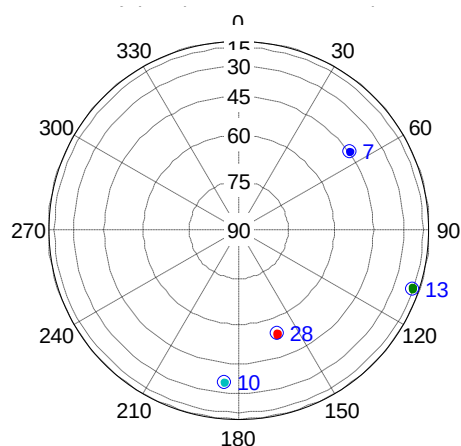


Фиг. 2.45. Експериментална апаратура за регистрация на GPS сенките

GPS антенната е закрепена неподвижно на 1 метър над земята и се намира на края на улично платно. Заедно с антенната е използвана и видео камера за заснемане на експеримента. Платното се състои от четири ленти, по две във всяка посока (3 метра всяка лента), и движещи се превозни средства в двете посоки. По време на експеримента са видими четири сателити, един от които с номер 13 отговаря най-много на условията на пряко разпространение на сигнала. Този спътник е ниско над хоризонта и бистатичният ъгъл е близо до 180 градуса (фиг. 2.46).



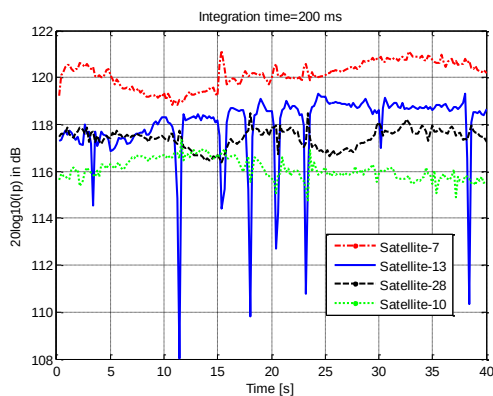
Фиг. 2.46 Експериментален сценарий



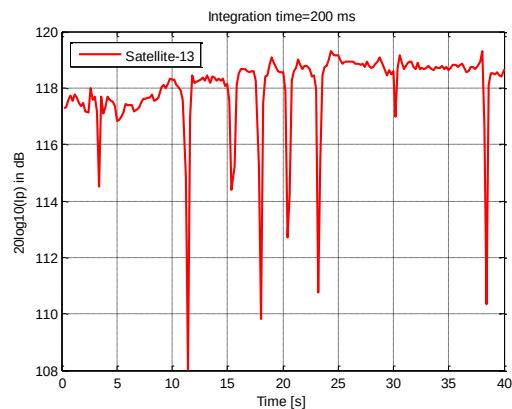
Фиг. 2.47 Видими сателити

Интегрираните сигнали от сателити 7, 10, 13 и 28 са показани на фигура 2.48. Сателитите 7 и 10 са също ниско над хоризонта, но бистатичният ъгъл при тях не е 180 градуса. Сигналите от тези сателити не могат да бъдат използвани за откриване на GPS сянката, създадена от автомобили. Сателит 28 е високо над хоризонта и в този случай по-голямата част от енергията на предадения сигнал преминава над целта и сигналът не може да се използва за откриване на GPS сянката, създадена от автомобилите.

Интегрираният сигнал от спътник 13 е показан на фигура 2.49. Колите, минаващи в близост до приемника, имат най-голяма радио сянка (около 8-10 децибела).

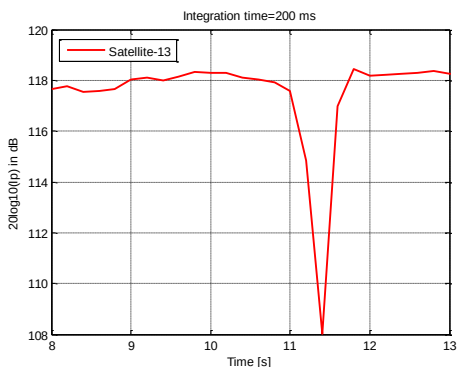


Фиг. 2.48 Интегриран сигнал от 7, 13
и 28 сателити

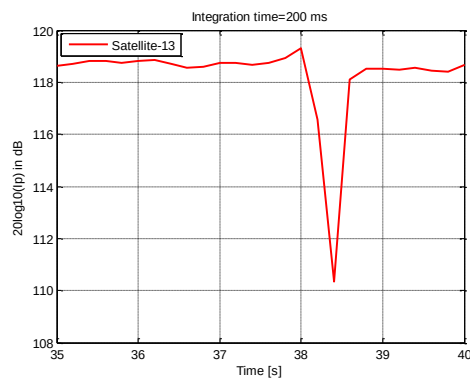


Фиг. 2.49 Интегриран сигнал от 13
сателит

Дълбочината и размерът на сянката може да послужи като информация за развитието на GPS софтуерни приложения за определяне на скоростта на колата и посоката ѝ на движение. Използвайки прагова обработка на няколко нива, е възможно да се определи разстоянието до превозното средство. От формата на сянката (първи пик) може да се определи посоката на движение на превозното средство. По вида на сянката е възможно да се направи класификация на превозните средства. Видът на радио сянката може да се използва за определяне на посоката на движение на автомобилите. На фиг. 2.50 е показана сянката на автомобил, движещ се наляво спрямо GPS антената, а на фигура 2.51 - в дясна посока.



Фиг. 2.50 Автомобил, движещ се
наляво

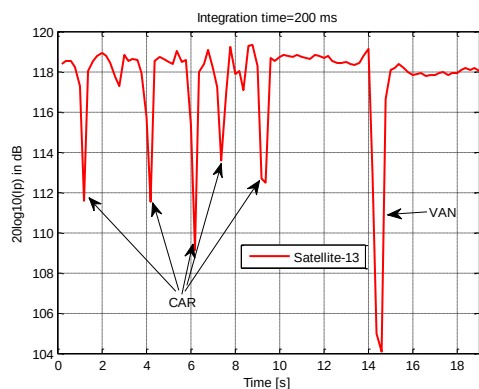


Фиг. 2.51 Автомобил, движещ се
надясно

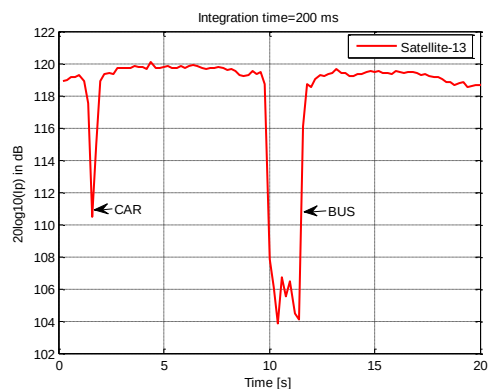
Параметрите (широчина и амплитуда) на радио сянката могат да се използват за класификация на вида превозно средство. На фиг. 2.52 са показани радио сенките на коли и един ван. На фигура 2.53 са коли и автобус. От фигурите се вижда, че видът на тези сенки може да се използва за класификация на целите. Колкото е по-дълго превозното средство, толкова е по-голяма неговата радио сянка.

Широчината е пропорционална на дължината на автомобила и неговата скорост

на движение. На фигури 2.52 и 2.53 всички автомобили се движат с почти еднаква скорост около 20-30 км/ч. Амплитудата на интегрирания сигнал е пропорционална на разстоянието до приемника. Колкото по-малко е това разстояние, толкова по-голяма е амплитудата на сянката. Колкото е по-голямо това разстояние, толкова тази амплитуда е по-малка. От фигурите се вижда, че мощността на сигнала във всяко следващо платно се различава с около 2 dB. Дължината на автомобила е 4м, вана - 6м, буса - 12м.



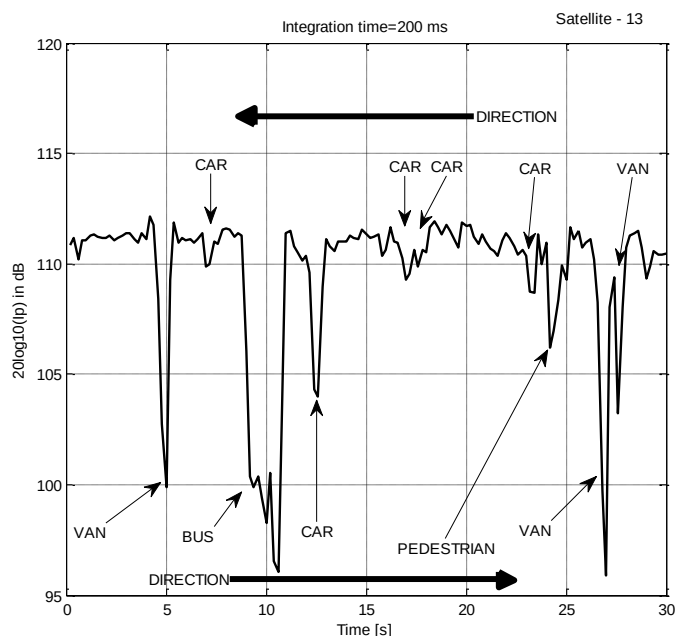
Фиг. 2.52 Интегриран сигнал от 13
сателит



Фиг. 2.53 Интегриран сигнал от 13
сателит

С помощта на комерсиални GPS антена и GPS приемник са проведени експерименти с подвижни и неподвижни обекти и приемник. Топологията на експеримента предполага наличието на условията за възникване на ефект на пряко разпространение на сигнала. Това означава, че сателитен приемник и предавател са разположени на една и съща линия, която пресича обекта. Експериментите показват, че GPS сянката може да предостави информация за параметрите на обекта (размер, скорост и посока на движение, разстояние до приемника). Появата на GPS сянка е физическо явление, което може да се използва за извличане на полезна информация за обектите, които го създават. Получената информация може да се използва в различни приложения като тези в класическите радари, включително радио бариери, сигурност, класификация и идентификация на движещи се и неподвижни обекти.

На фиг. 2.54 се виждат радио сенките на коли, бусове, автобус и пешеходец. Видът на тези сенки може да се използва за класификация на целите. Мощността на сигнала във всяко следващо платно се различава с около 2 dB.



Фиг. 2.54 Интегриран сигнал от сателит 13

GPS радио сянката може да предостави информация за параметрите на обекта (размер, скорост и посока на движение, разстояние до приемника). Получената информация може да се използва в различни приложения като тези в класическите радари, включително радио бариери, сигурност, класификация и идентификация на движещи се и неподвижни обекти.

Изводи:

1. Реализирането на неподвижна бистатична GPS FS радарна система, използваща GPS спътник – предавател и неподвижен пасивен комерсиален GPS приемник и антена с слабо усилване на сигнала, е възможно само в случай на изпълнение на условията на формиране на разпространение напред, изискващо пряка „визуална връзка“ между GPS сателита обекта и приемника, т.е. да са разположени на една линия, и целта да е в зоната на сенка до приемника.
2. От получените резултати се вижда, че в зоната на сянката на приемника на неподвижна бистатична GPS FS радарна система, с предложените в дисертацията алгоритми за сигнална обработка, е възможно да се откриват GPS сенките на подвижни наземни цели, като леки коли, автобуси и човек;
3. Експериментите показват, че параметрите на GPS сянката от обектите съдържа информация за параметрите на обекта (размер, разстояние до приемника).

2.2.3. Експериментални резултати получени от неподвижен GPS приемник и подвижни въздушни цели (самолети):

Направен е енергетичен разчет на БРЛС с обратно и пряко разсейване на GPS сигнал, което цели да се определи максималното разстояние на откриване на транспортен самолет [9]. Избран е самолет с площ на крилете 120 m^2 и ЕОП около 50 m^2 , коефициент на усилване на антената $G_r = 0,5, 10 \text{ dB}$, интервал на интегриране $N = 100, 200 \text{ ms}$ и $SNR_{det,min} = 10 \text{ dB}$. Получените резултати за максималната далечина на откриване за право и обратно разсейване на сигнала в бистатична GPS система са показани в таблица 1.

Табл. 1 Максимална далечина на откриване на транспортен самолет в BS и FS GPS системи

G_r dB	Бистатична система с обратно разсейване (BS)		Бистатична система с пряко разсейване (FS)	
	$N=100 \text{ ms}$	$N=200 \text{ ms}$	$N=100 \text{ ms}$	$N=200 \text{ ms}$
0	32 m	45 m	10126 m	14320 m
5	57 m	80 m	18006 m	25465 m
10	101 m	143 m	32020 m	45284 m

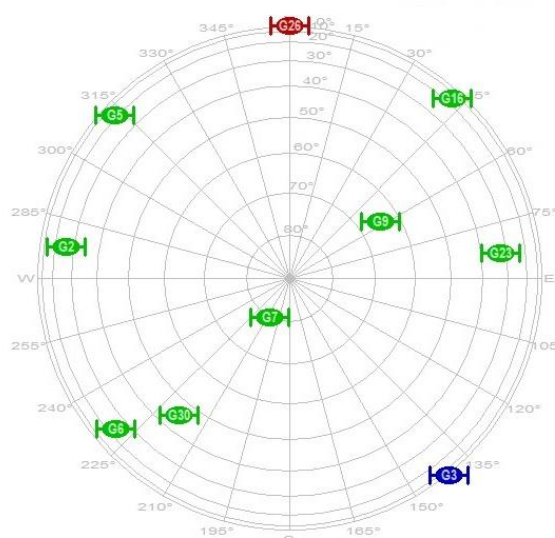
От таблицата се вижда, че с увеличаване на усилването коефициента на усилване на антената както и на времето на интегриране се получава по голямо разстояние на откриване на цел при отношение сигнал шум 10 dB . При стойност на бистатичния ъгъл 180 градуса или при бистатична система с пряко разсейване на сигнала, разстоянието за откриване на целта е многократно по голямо.

Провеждайки експериментални изследвания до летище София със сценарии показан на фиг. 2.55 е получен запис на GPS сигнал от система GNSS_SDR в момент на кацане на пътнически самолет. GPS антената е позиционирана на 900 m . от началото на пистата.



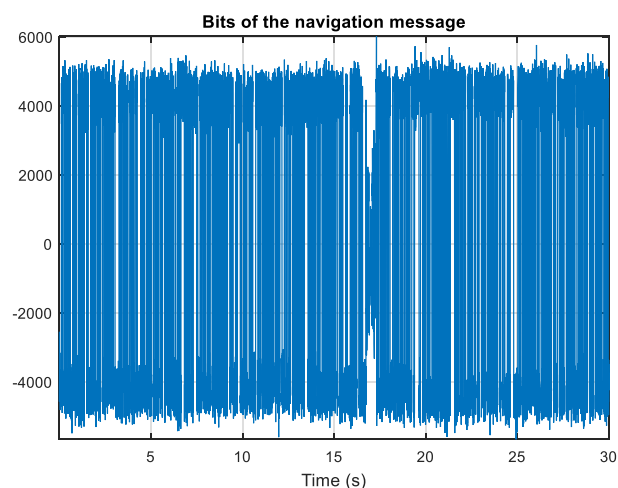
Фиг. 2.55. Експериментален сценарии

В момента на записа, над антената прелита кацаш самолет. Положението на сателитите по време на експеримента е получено от Antaris АЕК-4R и е показано на фиг. 2.56



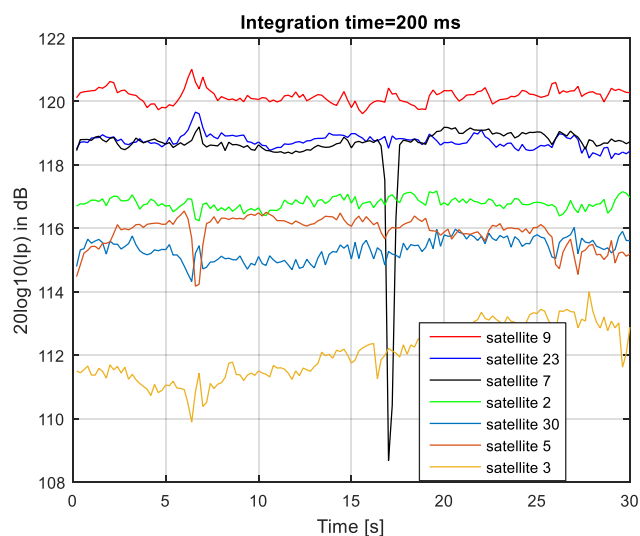
Фиг. 2.56 Положение на сателитите по време на експеримента

Бистатичният ъгъл е най-близо до 180° при сателит номер 7. Навигационното съобщение от него е показано на фиг. 2.57, от която се вижда, че в 16-17 секунда от записа сигнала намалява своята мощност или се получава така наречената радио сянка.



Фиг. 2.57. Навигационно съобщение от сателит номер 7

След обработка и интегриране на сигналите от всички видими сателити с време на интегриране 200 ms се получава резултата на фиг. 2.58. Радио сянката от сателит номер 7 има SNR около 10 dB. В момента на кацане, самолета прелита над на GPS приемника на около 80 m. Използваната антена е с коефициент на усилване с $G_r = 0$ dB.



Фиг. 2.58. Интегриране на сигналите от сателитите

Изводи:

1. Реализирането на неподвижна бистатична GPS FS радарна система, използваща GPS спътник – предавател и неподвижен пасивен комерсиален GPS приемник и антена с слабо усилване на сигнала, е възможно само в случай на изпълнение на условията на формиране на разпространение напред, изискващо пряка „визуална връзка“ между GPS сателита обекта и приемника, т.е. да са разположени на една линия, и целта да е в зоната на сянка до приемника.

2. От получените резултати се вижда, че в зоната на сянката на приемника на неподвижна бистатична GPS FS радарна система, с предложените в дисертацията алгоритми за сигнална обработка, е възможно да се откриват GPS сенките на подвижни наземни цели, като леки коли, автобуси и човек;
3. Експериментите показват, че параметрите на GPS сянката от обектите съдържа информация за параметрите на обекта (размер, разстояние до приемника).
4. От получените резултати се вижда, че с помощта на бистатична GPS FS радарна система реализирана чрез, GPS спътник – предавател и неподвижен пасивен комерсиален GPS приемник и антена с слабо усилване на сигнала е възможно да се откриват ниско летящи цели;
5. В режим на пряко разсейване на сигнала е възможно да бъдат открити и летящи цели на големи височини, но ограничението в този случай е необходимостта от получаване на бистатичен ъгъл от 180^0 , в този случай е възможно дори без усилване на приемната антена да се открие въздушна цел от приемника.

2.3. Изводи по глава 2:

1. Проведени в МПС измервания с приемната GPS система, показват че извършените настройките на програмите в софтуерния приемник са коректни и демонстрират достоверност на определяне на координатите, т.е. готовността и да се използва за провеждане на записи на GPS сигнали при различни експериментални условия;
2. Дисертантът е участвал съвместно с ръководители си от СУ и УниБИТ в редица експерименти по записи на сенки от GPS сигнали облъчващи неподвижни или подвижни обекти в бистатична радарна ФС система с подвижен приемник или неподвижен приемник;
3. Получените експериментални резултати потвърждават хипотезата, за възможност за поява на радиосянка от различни обекти в бистатични радарни системи, състоящи от GPS предавател – спътник и конвенционален GPS приемник, при изпълнение на условията: за наличие на явлението разпространение напред и целите да са разположени достатъчно близко до приемната система;
4. Условието на формиране на разпространение напред, изисква пряка „визуална връзка“ между GPS сателита обекта и приемника, т.е. да са разположени на една линия, и целта да е в зоната на сенка до приемника.
5. Получените експериментални резултати показват, че радиосянка от подвижни или неподвижни обекти сгради, мостове, леки коли, автобуси и пешеходци облъчени от

- GPS сигнали, може да бъде открита в близката зона на дифракция с помощта на предложените алгоритми и програми разработени от колективите на СУ и УниБит за обработката на GPS сигнали в софтуерния GPS приемник;
6. В режим на пряко разсейване на GPS сигнала, условие формирано между GPS сателита обекта и приемника, е възможно да бъдат открити и ниско летящи цели (кацащи или излитащи) в по далечната зона на дифракцията.

ГЛАВА III. Алгоритмите за откриване на подвижни цели в радиоизображения от доплеров радар с непрекъснато излъчване

В тази глава се описват предлаганите от екипа на Софийския Университет и УниБИТ подходи и алгоритми за автоматично откриване на различни реални радиоизображения получени от доплеров радар с непрекъснато излъчване. Записите от доплеровия радар HP-100M са предоставени любезно от фирма „Черно море“ АД с цел модернизация на радара. В главата са описани функциите и параметрите на записващия доплеров радар HP-100M. Описани са методите за възстановяване на сигнала, както и начините за настройка на алгоритмите за обработка на радиоизображенията. Извършено е тестване на алгоритми върху получените реални записи на радиоизображения получени в различни ситуации и с различни обекти на предлаганите в дисертационния труд алгоритми за откриване на радиоизображения на подвижни наземни цели.

1.1 Избор и настройка на алгоритмите за обработка на изображения в доплеров радар

За да се извърши автоматизирането на откриването на движеща се цел от доплеровия радар без оператор трябва да се потърсят клас автоматични алгоритми – устройства поддържащи постоянна честота на лъжлива тревога (ПЧЛТ), работещи в честотната област. Това е необходимо защото сигналната матрица в доплеровия радар, е трансформирана в матрица с доплерова скорост - време (номер на запис) с помощта на Бързата Трансформация на Фурие (FFT).

По принцип в стария руски прототип на радара обработката на сигналите се извършваше във времевата област, като оператора слуша със слушалки приетите сигнали. Модернизацията на завода се състоеше в пълната цифровизация на обработката на радара, и

избора им да се измерва скоростта на движещата се цел по големината на доплеровото изместване на сигналите от целта, извършвано с помощта на Бързата Трансформация на Фуруе (FFT). Точността на това измерване на големината на скоростта на целите, зависи от броя на избраните канали или от разрешението на единичния канал. Следователно, избрания алгоритъм за автоматичен откривател в доплеровия радар, ще извършва едновременно откриване – измерване на скоростта на целта, по номера на честотния канал. За удобство в дисертацията, в сигналните матрици по ордината са нанесени вече преизчислени стойности на доплеровата скорост, а не номера на честотните канали.

Обзорните радары, които извършват автоматично откриване на целите и измерване на параметрите им, дистанция - азимут, работят със сигнални матрици с дименсии дистанция – фиксиран азимут или дистанция – азимут. Известно е, че за този клас радары, напоследък успешно се използват CA-CFAR процесори, или тъй наречените осредняващи ПЧЛТ откриватели [45-50]. Това е клас автоматични откриватели поддържащи постоянна вероятност на лъжливата тревога в условията на стационарни смущения с неизвестна мощност.

Най-разпространен от тях е адаптивен плъзгащ се **откривател на единични импулси** по азимут, извършващ това за всички дистанции в сигналната матрица. Той поддържа постоянна вероятност на лъжлива тревога, с усредняване на оценката на мощността на смущението - (CA-CFAR). На практика той открива най висок единичен импулс, ако той надскача адаптивния праг формиран от мощността или сумата на съседните отляво и отдясно клетки на сигналната матрица.

В статиите [45-50], от колективите на СУ и УниБИТ, се предлага да се използват същия подход и структура на осредняващ ПЧЛТ в случая за откриване на цели в доплеров радар, т.е. в честотната област, по канали. т.е. откривател на единични амплитуди на доплеровата скорост, плъзгащ се по елементите на сигнална матрица по скорост и извършващ откриване на най-висока амплитуда на доплеровия сигнал в честотния канал.

Естествено праговата му стойност, трябва предварително да се настрои съгласно изискванията за вероятност на лъжлива тревога, т.е. да не се извърши откриване на амплитудата на доплеровия сигнал, в една матрица при условие, че в нея не присъства сигнал от цел.

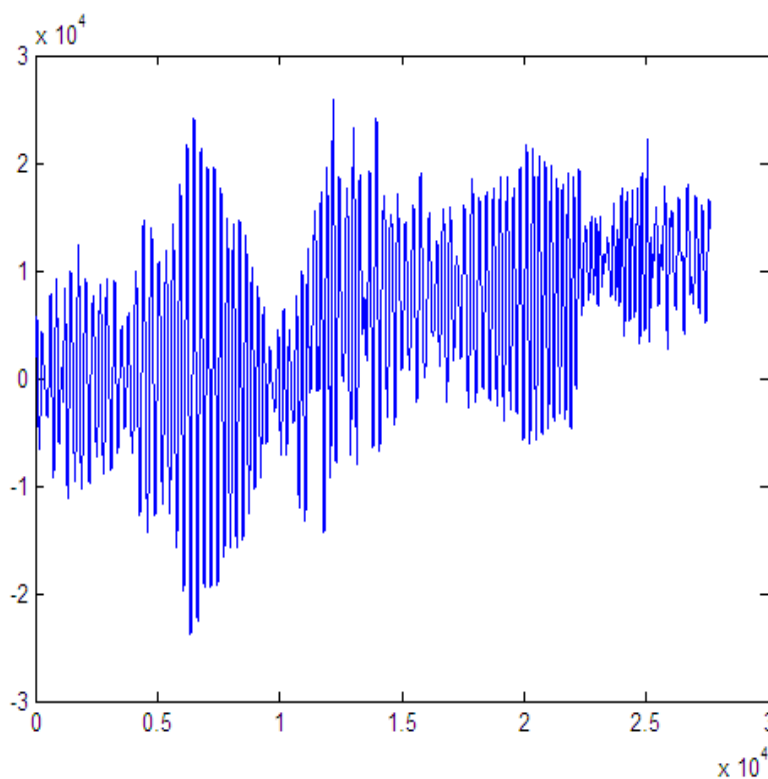
За да настроим алгоритмите, използвани в дисертацията - ФФТ и ПЧЛТ откривателя, ще бъде по-подробно изследван реалният запис с вървящ човек.

3.6. Автоматично откриване на движещи се цели с доплеров радар HP-100M на фона на естествени смущения

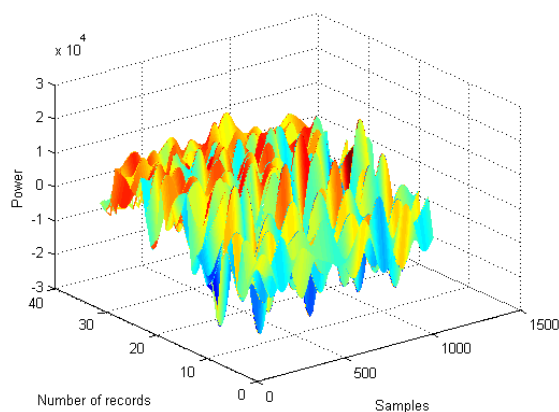
За да проверим работоспособността на УС- ПЧЛТ алгоритми за откриване, ще бъде апробиран върху записи от наземен радар HP-100M, на цели движещи се с различни скорости. Резултатите от това изследване са публикувани в едни от най-реномираните международни конференции - *IRS'2010* и *EuRAD'2010*.

3.6.1. Автоматично откриване на движещ се човек

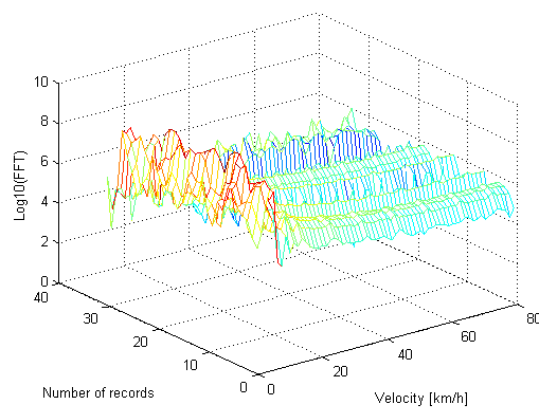
Сигнална доплерова матрица се състои от 26 записа - реда, всеки от които е от 1024 семпла (фиг.3.32-3.33). Сигнала от един ред е представен на 3.32., а спектъра в сигнална матрица е получен след 128 точкова ФФТ обработка (фиг. 3.34-3.35). На фигурата е показан спектъра, като функция от скоростта (от 1 до 80 км/ч). Най показателен е спектрална матрица с поглед отгоре, виж фиг. 3.35., защото най точно отразява осреднено поведението на доплеровата скорост по спектралната повърхност на сместа сигнал и смущения. Там като че ли най-ясно се очертават зоните на движение на целта (виж червения цвят).



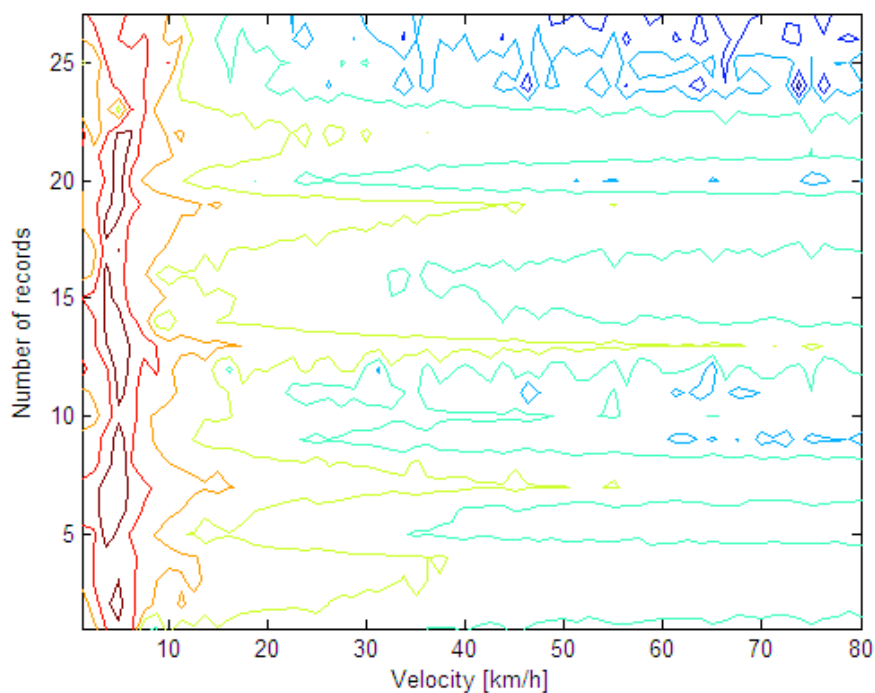
Фиг. 3.32 Сигнал, отразен от движещ се човек



Фиг. 3.33 Сигнала от фиг. 3.31, представен в матричен вид, (26 записа) движещ се човек

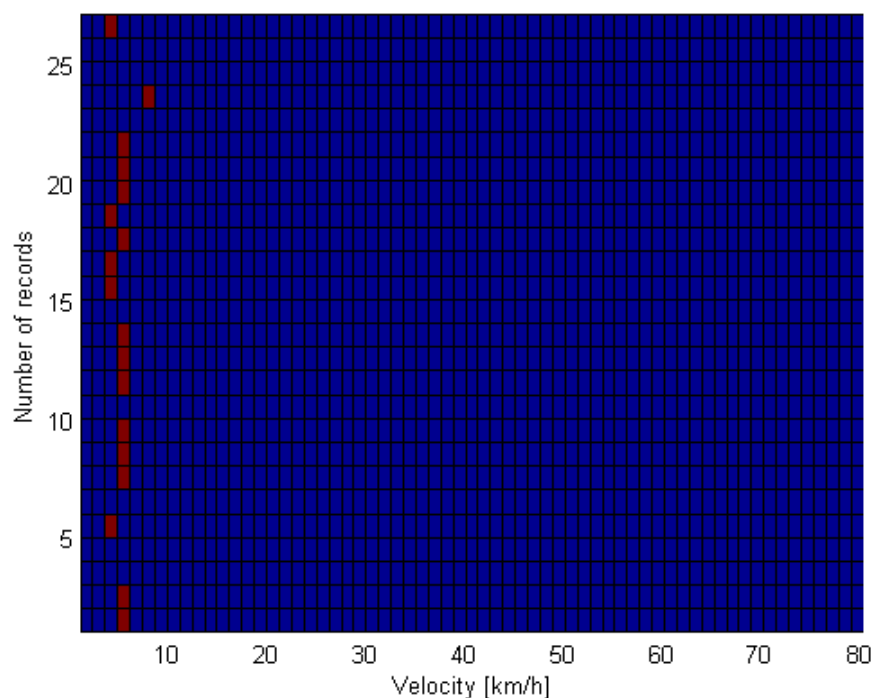


Фиг. 3.34 Спектъра на сигнал, отразен от движещ се човек, получен след ФФТ



Фиг. 3.35 Спектър на сигнала - поглед отгоре (движещ се човек)

След прилагане на осредняващ ПЧЛТ откривател върху спектъра на сигнала се получава резултата на фиг. 3.36.



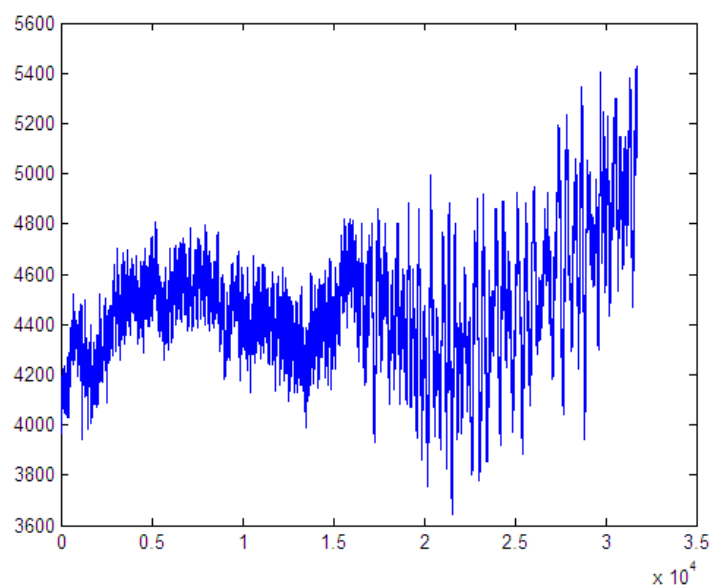
Фиг. 3.36 Изходна матрица, след прилагане на CA CFAR откривател

От полученият резултат се вижда, че е открита цел, движеща се със скорост около 5 км/ч. За разпознаване (класифициране) на целта е необходима последваща обработка. Откривателят е настроен така, че да поддържа $1 \cdot 10^{-5}$ вероятност на лъжлива тревога.

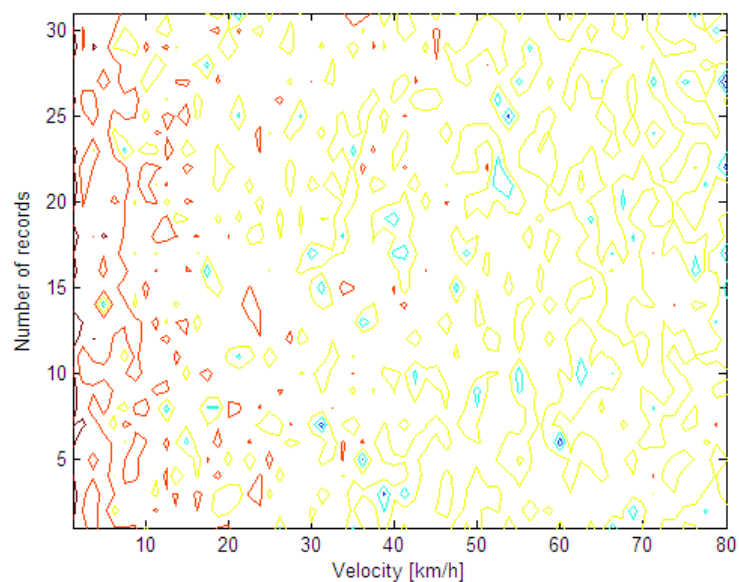
3.6.2. Автоматично откриване на движещ се човек в гора, при наличие на вятър

Това е трудна задача за оператора на наземният радар НР-100М, откриване на движещ се човек в гора, при наличие на вятър.

За да настроим изследваните от нас алгоритми е необходимо да знаем как ще работят те при наличието на дърво при вятър. За тази цел е разгледан следващият пример, а именно "дърво при вятър". Изследваният сигнал се състои от 31 записа с по 1024 семпъла (фиг.3.37). На този запис е приложено 128 точково ФФТ и резултата е показан на фиг.3.38.

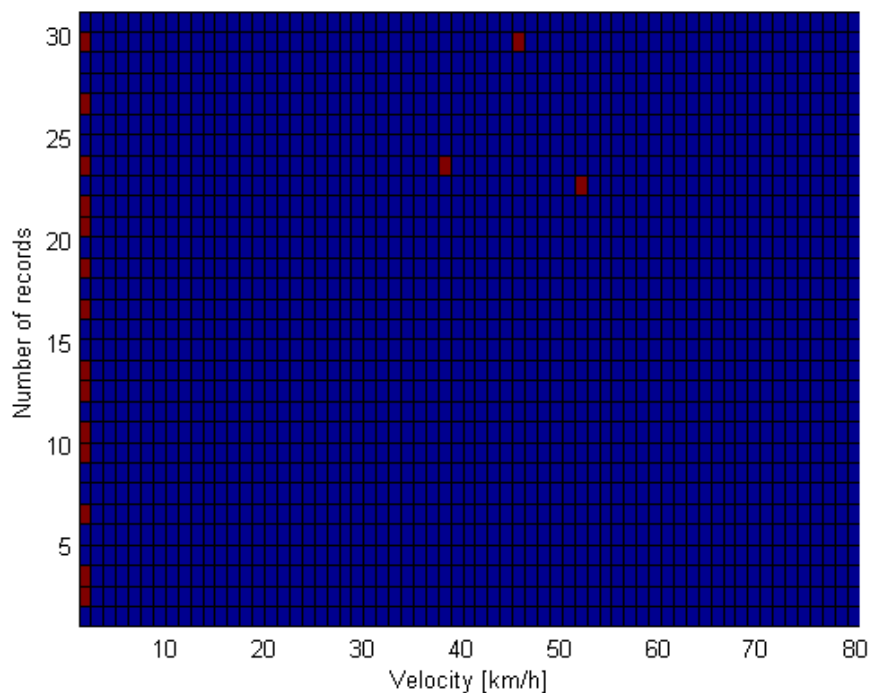


Фиг. 3.37 Сигнал, отразен от дърво при наличие на вятър



Фиг. 3.38 Спектъра на сигнал, отразен от дърво при наличие на вятър

След прилагане на осредняващ ПЧЛТ откривател върху спектъра на сигнала се получава резултата на фиг. 3.39.



Фиг. 3.39 Изходна матрица, след прилагане на CA CFAR откривател

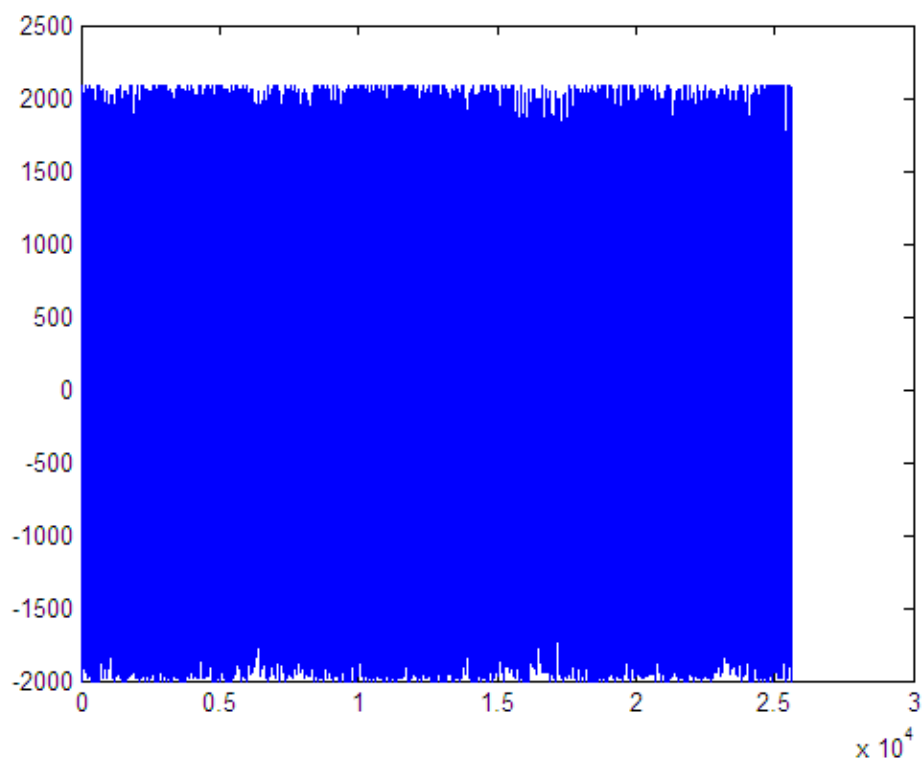
На фиг. 3.39 се вижда, че дървото при наличие на вятър се открива от изследвания от нас алгоритъм, като то се характеризира със скорост на движение около 1-2 км/ч. За разлика от човека тук скоростта е по-малка. За разпознаването на дървото ще трябва да се погрижи алгоритъма за класификация, който ще бъде предмет на следващи наши изследвания.

3.4.3. Откриване на бързо движеща се цел - автобус

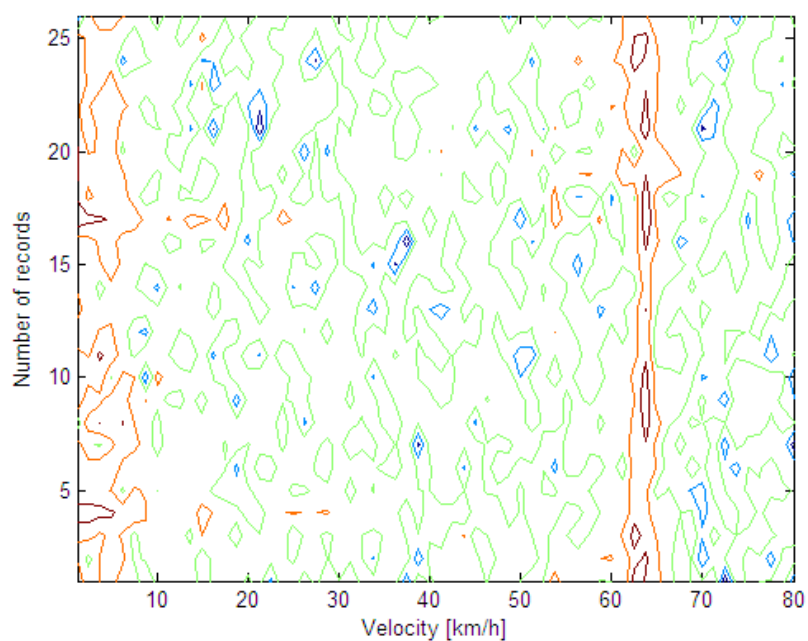
За да получим пълна представа за работоспособността на нашият алгоритъм, ще изследваме и бързо движеща се цел "автобус". Запис на движещ се автобус е показан на фиг. 3.40. От фигурата се вижда, че сигнала е с висока честота на повторение, което би трябвало означава, че целта се движи с висока скорост. Сигналната времева матрица се състои от 25 записа - реда, всеки един от които е от 1024 семпла. Най показателен в случая е поглед отгоре на сигнална доплерова матрица на движещ се автобус Фиг. 3.41. На това радиоизображение на поведението на доплеровата скорост по време, ясно се вижда че в областта на малките доплерови скорости се движи вятър в гората и на полето виж е червено, а автобуса се движи с достатъчно постоянна скорост около 65 км/ч.

Естествено само оператор, може да види това радиоизображение на доплеровата

скорост. На нас е нужно да се верифицира - провери възможността да се открие автоматично бързо движещ се автобус с избрания от нас УС- ПЧЛТ откривател.

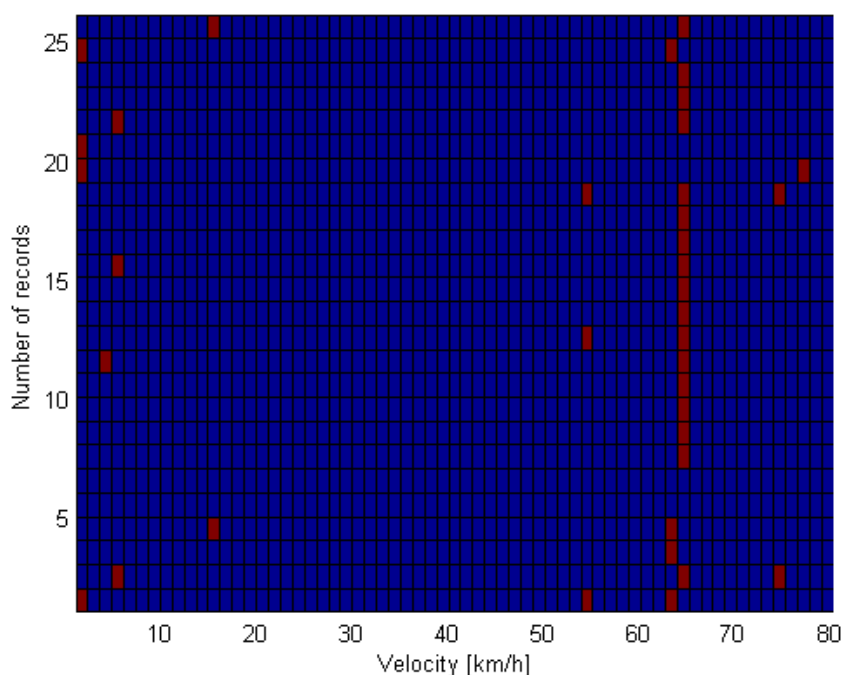


Фиг. 3.40 Сигнал, отразен от движещ се автобус



Фиг. 3.41 Спектър на сигнал, отразен от движещ се автобус

След прилагане на осредняващ ПЧЛТ откривател върху спектъра на сигнала се получава резултата на фиг. 3.42.



Фиг. 3.42 Изходна матрица, след прилагане на CA CFAR откривател

От фиг. 3.42 се вижда, че предложения УС- ПЧЛТ алгоритъм за откриване, успешно открива целта, движеща се със скорост около 65км/ч. Вярно е, че се откриват и много други допълнителни фалшиви цели, което изисква допълнителни настройки на параметрите на УС- ПЧЛТ алгоритъма, като големина на прозореца, както и скаларния фактор регулиращ вероятността на лъжлива тревога.

3.7. Изводи по глава 3:

1. Описани са функциите и параметрите на записващия доплеров радар НР-100М.
2. Описват се предлаганите от екипа на Софийския Университет и УниБИТ подходи и алгоритми за автоматично откриване на различни цели в реални радиоизображения получени от доплеров радар с непрекъснато излъчване любезно предоставени от фирма „Черно Море“ АД.
3. Показано е възстановяване на сигналите от записите в радиоизображенията, по методика предложена от фирма „Черно Море“ АД.
4. Извършена е настройка на параметрите на избора в дисертацията УС – ПЧЛТ алгоритъм за откриване на доплерови сигнали с оценка на скоростта им, върху възстановените радиоизображения.

5. Извършено е успешно тестване на работоспособността на автоматичния откривател-измервател на скорост на цели върху реални радиоизображения и с различни подвижни обекти, като движещ се човек или човек в гора и с вятър или автобус на пътя.

Заклучение:

В настоящия дисертационен труд е предложена и разработена оригинална методология за дизайн на приложение „мениджър на устройства“, система за комуникацията между централна компютърна система и неограничен брой навигационни устройства на автомобили, позволяваща вграждането на нови възможности в навигационните устройства и предоставяне на нови услуги на потребителите, чрез използването на мрежата на мобилен оператор с преносна среда за данни чрез GPRS протокола и TCP/IP протокол за комуникация, позволяваща контрол на целия автомобил и управление, от която и да е точка в света, чрез обикновен web браузър.

Предложения в дисертацията дизайн и програмната реализация на мениджъра на устройства е изключително гъвкав. Създаден е чрез прилагането на стандартни широко използвани технологии, които позволяват лесен и бърз начин за интегриране на нови модели навигационни устройства към системата. Комуникацията на информацията между мениджъра и автомобилите се осъществява чрез използването на GPRS протокола в мобилните мрежи от 2-ро и 3-то поколение. Използването на GPRS мрежа предлага много по-високи скорости при преноса на данни и постоянна свързаност с отдалечената страна. GPRS използва традиционния за компютърните мрежи TCP/IP протокол за комуникация, с което се позволява вграждането на нови възможности в навигационните устройства и предоставяне на нови услуги на потребителите, например контрол на целия автомобил и управление, от която и да е точка в света, използвайки обикновен web браузър.

Подобни системи за управление и навигация на служебни или частни паркове – флотилии от автомобили, са се предлагали на пазара на мобилните услуги от доста фирми. Фирма Мултипроцесорни Системи ООД е предложила свой вариант на система за проследяване и навигация на автомобили (виж глава 1), наречена Follow Me on the Web - Web базирана услуга реализирана с участието на автора на дисертационния труд. В фирмата, с участието на докторанта, бяха разработени и оживени в периода 2005 – 2007 г. редица други изчислителни среди за цифрова сигнална обработка с използването на GPS системи с различно приложение.

Получените в дисертационния труд няколко резултата за сенки от обекти облъчени от GPS сигнали, потвърждават известни такива представени в теорията и практиката на

обработка на сигнали разпространяващи се напред след облъчване на обекти в бистатични радарни системи.

В дисертацията се разглеждат спецификата на получаване на сенки от различни обекти подвижни и неподвижни, облъчени от GPS сигнали в бистатични радарни пасивни системи, удовлетворяващи условието на пряко разпространение на сигнала. Дисертантът е взел участие съвместно с колективите на СУ и УниБИТ в редица експерименти по записи на сенки от GPS сигнали облъчващи неподвижни или подвижни обекти в бистатична радарна система с подвижен или неподвижен GPS приемник, при условие на разпространение на GPS сигнала напред. Условието на формиране на разпространение напред, изисква пряка „визуална връзка“ между GPS сателита обекта и приемника, т.е. да са разположени на една линия, и целта да е в зоната на сянка до приемника. При изследванията в дисертацията се използва специфичната обработката на GPS сигнали в софтуерния GPS приемник предложена от колективите на СУ и УниБИТ.

В дисертацията е получен полезен резултат, показващ възможността да бъде открита в близката зона на дифракция след специфична обработката на GPS сигнали в софтуерния GPS приемник, радио сянка от неподвижни обекти – сгради и мостове и подвижни обекти - леки коли, автобуси и пешеходци и др. облъчени от GPS сигнали.

Получения резултат за откриването на ниско летящи цели, кацащи или излитащи пътнически самолети, в по далечната зона на дифракцията, при изпълнение на условията на пряко разсейване на GPS сигнала, след обработката на GPS сигнали в софтуерния GPS приемник, се доближават до поведението на обекти намиращи се в зоната на усилването на енергията на сигнала при разпространяването му напред.

Получените резултати потвърждават и допълват теорията и практиката на бистатичните радарни системи използващи ефекта на разпространение напред, но в нова и доста неизследвана област на приложение и откриване в областта на дифракция на радиосенки от обекти облъчени от GPS сигнали.

В дисертацията се разглежда работата на автоматичния откривател - измервател на скорост на цели върху реални радиоизображения с различни подвижни обекти. В дисертацията се използват и изследват радио изображения получени от доплеров радар с непрекъснато излъчване - любезно предоставени от фирма „Черно Море“ АД.

Получените резултати в дисертацията потвърждават експериментално възможността да се използва една и съща структура на осредняващ автоматичен откривател поддържащ постоянна честота на лъжлива тревога, при обработка на времеви и честотни сигнални матрици.

На теория е известно, че могат да се използват едни и същи структури на алгоритми за

обработка на сигнали. Предполага се че едната е синтезирана за конкретна статистическа ситуация. Тя може да се приложи към друга статистическа сигнална ситуация, и в този случай този подход се нарича под оптимален.

В дисертацията се показва възможност да се използва структура синтезирана за обработка на времеви матрици, върху матрици съдържащи спектри, или честоти. С което се потвърждава факта за универсалност на някои структури за обработка, като осредняваш плъзгаш автоматичен откривател поддържащ постоянна вероятност на лъжливата тревога, предложен от екипа на Софийския Университет и УниБИТ.

Списък на публикациите по дисертацията

➤ Публикации реферирани и индексирани в *Scopus* и *Web of Science*:

1. Kabakchiev C., I. Garvanov, P. Daskalov, "Target Detection in Doppler Radar with PSK Signals", Proc. of the 18th International Conference on Microwave, Radar and Wireless Communications MIKON-2010, ISBN 978-9955-690-20-7, Vilnius, Lithuania, 2010, pp.780-783.
2. Kabakchiev C., I. Garvanov, P. Daskalov, P. Donkov, D. Kabakchieva, "Comparison of Target Detection Schemes in Doppler Radar with PSK Signals", Proc. of the European Radar Conference EuRAD-2010, Paris, France 2010, ISBN 978-2-87487-015-6, pp. 268-271.
3. Kabakchiev C., I. Garvanov, M. Cherniakov, M. Gashinova, A. Kabakchiev, V. Kiovtorov, M. Vladimirova, P. Daskalov, "CFAR BI Detector for Mariner Targets in Time Domain for Bistatic Forward Scattering Radar", Proc of the Signal Processing Symposium SPS-2011, Jachranka, Poland, 2011.
4. Kabakchiev C., I. Garvanov, M. Cherniakov, M. Gashinova, A. Kabakchiev, V. Kiovtorov, M. Vladimirova, P. Daskalov, "CFAR BI Detector for Mariner Targets in Time Domain for Bistatic Forward Scattering Radar", Proceedings of SPIE, 0277-786X, v. 8008, Photonics Applications in Astronomy, Communications, Industry, and High-Energy Physics Experiments 2011, ISSN 0277-786X, ISBN 9780819485823, pp. 8008 1U, 2011.
5. Garvanov I., C. Kabakchiev, V. Behar, P. Daskalov, Air target detection with a GPS forward-scattering radar, XVIII-th International Symposium on Electrical Apparatus and Technologies SIELA 2016, 29 May - 1 June 2016, Bourgas, Bulgaria.

➤ Публикации на български език:

6. Гарванов И., Х. Кабакчиев, М. Владимирова, В. Кьовторов, П. Даскалов, "Алгоритми за откриване на подвижни цели на фона на пасивни и активни смущения в Доплеров радар", Нови информационни технологии в образователния процес. Доклади и съобщения на УниБИТ, проведен в Костенец на 24-27 март 2011 г., София: "За буквите – О писменех", ISSN 1313-2768, стр. 90-99, 2012.
7. Гарванов И., Х. Кабакчиев, М. Владимирова, П. Даскалов, С. Владимиров, "Оценяване на параметрите на подвижна цел в система за радио охрана", Нови информационни технологии в образователния процес VII. Доклади и съобщения от Седмия научен семинар на УниБИТ, проведен в Охрид, Македония на 29-31 май 2012 г., "За буквите – О писменех", ISBN: 1313-2768, стр. 133-144, 2013.
8. Гарванов И., М. Владимирова, П. Даскалов, Откриване на въздушни цели с GPS приемник, IV Международна научна конференция „ТЕХНИКА. ТЕХНОЛОГИИ. ОБРАЗОВАНИЕ. СИГУРНОСТ“, 01-03 юни 2016 г. в гр. Велико Търново, България, 2016.

Основни научни и научно приложни приноси

По важните *научни, научно приложни и приложни приноси в дисертацията*, с характер обогатяване на съществуващи знания и приложение на научните постижения в практиката, са представени в следващите групи: получаване и доказване на нови факти, потвърдителни факти, приноси за внедряване, и са както следва:

А) Научни приноси: Получаване на нови факти, зависимости, алгоритми, изводи и заключения

1. **Предложена е оригинална методология за дизайн на приложение „мениджър на устройства“**, базирана на изчислителна архитектура за навигация и система за комуникация между централната компютърна система и неограничен брой навигационни устройства, позволяваща вграждането на нови възможности в навигационните устройства и предоставяне на нови услуги на потребителите:

- чрез използването на мрежата на мобилен оператор с преносна среда за данни чрез GPRS протокола и TCP/IP протокол за комуникация;
- позволяваща контрол на целия автомобил и управление от която и да е точка в света, чрез обикновен web браузър.

Б) Научно – приложни приноси: Получаване на потвърдителни факти

2. **Изследвани са методи и алгоритми за откриване на цели** пресичащи базовата линия в система с пряко разпространение на сигнала. Всички изследвани алгоритми са с полиномиална сложност, което не налага прилагането на специални техники за ускоряване на изчислителния процес. Основният алгоритъм за откриване на цели, използван в дисертацията, е осредняващ автоматичен откривател поддържащ постоянна честота на лъжлива тревога, който е приложен успешно какво във времевата така и в честотната област на сигнала.

3. **Получени са оригинални резултати, потвърждаващи известни резултати в областта на обработка на сигнали разпространяващи се напред след облъчване на обекти с GPS сигнали в бистатични радарни системи**, а именно, че радиосянка от подвижни или неподвижни обекти (сгради, мостове, леки коли, автобуси и пешеходци и др.) облъчени от GPS сигнали, може да бъде открита в близката зона на дифракция, след обработката на GPS сигнали в софтуерния GPS приемник;

4. **Потвърдена е възможността да бъдат открити ниско летящи цели, кацащи**

или излитащи пътнически самолети, в по далечната зона на дифракцията, при изпълнение на условията на пряко разсейване на GPS сигнала, след обработката на GPS сигнали в софтуерния GPS приемник;

В) Приложни приноси: Приноси за внедряване: методи, методики, конструкции, по ефективни средства за приложения

- 1. Апробирана е методиката на изследването за откриване на радиоизображения на движещи се цели с помощта на избрания автоматичен откривател УС-ПЧЛТ, и е извършена настройка на параметрите на му, върху реални радиоизображения предоставени от комбинат „Черно Море“.**
- 2. Извършена е настройка на програмната система приложение „мениджър на устройства“, система за комуникацията между централна компютърна система и неограничен брой навигационни устройства, чрез използването GPRS протокола и TCP/IP протокол за комуникация, позволяващи контрол на целия автомобил и управление, чрез обикновен web браузър.**
- 3. Апробирана е методика за провеждане на експериментите и алгоритмите за откриване на целите в бистатични GPS системи с разпространение напред, за различни подвижни или неподвижни цели.**
- 4. Предложен е автоматичен откривател на подвижни цели в радиоизображения** тестван в условията на естествени смущения за нуждите на фирма „Черно Море“ АД.

5. Част от получените резултати се използват в проектите:

- 1. 2007г. проекта МУ-ФС-05/2007 в конкурса “Стипендии за млади учени, които подготвят докторантски труд в национална фирмена структура” с темата на проекта: „Разработка на GPS системи от второ поколение – избор, паралелизация и изпълнение в съвременни високо производителни изчислителни архитектури на алгоритми, предназначени за пространствено временно адаптивно (STAP) откриване и съпровождане на GPS сигнали от различни спътници при условията на интензивни градски смущения или в закрити помещения”, с продължителност четири години с МПС и ИИТ -БАН.**
- 1. 2008- 2010г. Проекта с фирма „Черно море“ ООД е била да се автоматизира целия процес по откриване и идентифициране на целите в произвеждания от тях модернизация на руския лиценз на доплеров радар HP-100M. Те са предоставени любезно и записи на сигнали от различни обекти и ситуации на доплеровия радар HP-100M.**

- 2014 -2017г., ДФНИ Т02/14, Конкурс за финансиране на научните изследвания в приоритетни области, 2014г., с ФНИ на МОН и СУ "Св. Кл.Охридски" и УниБИТ "Откриване и класификация на обекти в градски условия от техните радиосенки от GPS