



МИНИСТЕРСТВО НА ОТБРАНАТА
ИНСТИТУТ ПО ОТБРАНА „ПРОФЕСОР ЦВЕТАН ЛАЗАРОВ”
София, бул. „Проф. Цветан Лазаров” № 2, факс: 02/92 21 808, <http://di.mod.bg>

Бойка Пешкова Муглева

**ПОВИШАВАНЕ НА ЕФЕКТИВНОСТТА НА
БОРДОВИЯ ОПТИКО-ЕЛЕКТРОНЕН
КОМПЛЕКС НА БЕЗПИЛОТНИ ЛЕТАТЕЛНИ
АПАРАТИ**

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

на

ДИСЕРТАЦИЯ

за присъждане на образователната и научна степен „Доктор”
по научна специалност „Оптични и лазерни уреди и методи”

НАУЧНИ РЪКОВОДИТЕЛИ:
доц. д-р Младен Младенов
проф. д-р Николай Вълков

Дисертационният труд е с обем 178 страници, включващ основен текст и приложения с резултати от експерименталното изследване. Основният текст се състои от: увод, две основни части - теоретична и практическа с обобщения и изводи; заключение и претенции за приноси; публикации по темата на дисертационния труд - 3 бр.; библиографски списък от 127 бр. източници. Основният текст е онагледен с 35 фигури, 10 таблици и 74 номерирани формули.

Докторантът е зачислен за задочна форма на обучение към Дирекция „Развитие на въоръжението, техниката и тиловите имуществва и материали“

Дисертационният труд е обсъден и насочен за защита пред научно жури по Решение на разширен катедрен съвет на Дирекция „Развитие на въоръжението, техниката и тиловите имуществва и материали“, проведен на 17.01.2020 г.

Защитата на дисертационния труд ще се проведе на от..... часа в зала..... на Институт по отбрана „Професор Цветан Лазаров“, на открито заседание на научно жури в състав:

1.
2.
3.
4.
5.

Резервни членове:

1.
2.

Автор: маг. инж. Бойка Муглева

Заглавие: Повишаване на ефективността на бордовия оптико-електронен комплекс на безпилотни летателни апарати.

Тираж: 15 броя

Излиза от печат 2020 г.

СПИСЪК С ИЗПОЛЗВАНИТЕ СЪКРАЩЕНИЯ

АИ ПНВ	Активно-импулсни прибори за нощно виждане
БАС	Безпилотна авиационна система
БОЕК	Бордови оптико-електронен комплекс
БЛА	Безпилотен летателен апарат
БИХ	Безкрайна импулсна характеристика
ВВС	Военновъздушни сили
ДФТ	Дискретна Фурие трансформация
ЕОП	Електронно-оптичен преобразувател
ЕНО	Естествена нощна осветеност
ЗРК	Зенитно-ракетен комплекс
ИИС	Информационно-изчислителна система
ИЛПИ	Импулсен лазерен полупроводников излъчвател
ИХ	Импулсна характеристика
КВЧ	Камера с висока чувствителност
КИХ	Крайна импулсна характеристика
КП	Коефициент на поглъщане
КСЧ	Камера със стандартна чувствителност
ЛА	Летателен апарат
ЛИ	Лазерен излъчвател
МГК	Метод на главните компоненти
ММП	Матричен многоканален приемник
МОЕС	Многоканална оптико-електронна система
ОЕП	Оптико-електронен прибор
ОЕС	Оптико-електронна система
ОЕУ	Оптико-електронни устройства
ОПС	Обзорно-прицелна система
ПВО	Противовъздушна отбрана
ПНВ	Прибори за нощно виждане
ПНН	Прибори за нощно наблюдение
ФПУ	Фотоприемни устройства
ФРТ	Функция на разсейване на точки
ФЦО	Фоноцелева обстановка
ЦОС	Цифрова оптична система

Означенията на главите, формулите, фигурите и таблиците в автореферата съвпадат с тези в дисертационния труд.

I. ОБЩА ХАРАКТЕРИСТИКА НА ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД

1. Актуалност и значимост на темата за науката и практиката

Актуалността на проблема се обуславя от повишените изисквания към качеството изображенията, които се получават от бордови оптико-електронни комплекси посредством БЛА, което налага разработване на нови и/или модифициране на вече използвани методи и алгоритми за обработка на получените изображения. Оптико-електронният комплекс на борда на БЛА съчетава в себе си телевизионни системи, работещи при дневна осветеност, системи за нощно наблюдение, базирани на усилватели на остатъчна светлина, т.е. устройства с интегрирани електронно-оптични преобразуватели. Стандартните нощни уреди са оборудвани с един или два преобразувателя и позволяват на оператора да възприема лъчението и от видимата част на електромагнитния спектър. Важен елемент от бордовия оптико-електронен комплекс на БЛА, който се използва най-често, са термовизионните прибори и системи. Термовизионните уреди позволяват да се приема лъчение и се визуализират цели и обекти, благодарение на излъчваната от тях топлинна енергия. Възниква необходимост от разработване на ефективни алгоритми на отделните етапи, както и на цялостна методика, обхващаща целия процес на обработка на информацията от повишаване ефективността на бордния оптико-електронен комплекс до извличане оценяваните параметри на наблюдаваните обекти. Нарастващият интерес към мултиспектрални оптико-електронни наблюдателни системи налага необходимостта да се определят и оптимизират методите за повишаване ефективността на процесите при съвместяването и оптимизирането на приборите в единен комплекс.

2. Цел и задачи на дисертационния труд

Цел на дисертационния труд:

Целта на дисертационния труд е чрез прилагане на методите на линейната филтрация и геометричните трансформации да се разработят алгоритми и общи методики за оценка и подобряване на качеството на термовизионни и оптични изображения, получени с техническите средства, разположени на борда на безпилотен летателен апарат.

Основни задачи

- Анализ и оценка на системите за оптическо наблюдение – обзор на техническите носители и оптически средства за получаване на геометрични образи на наблюдаваните обекти.

- Оценка на методите и разработване на алгоритми за координатни трансформации и възстановяване на изображения, получени чрез оптически и термовизионни камери.

- Числено експериментирание на разработените алгоритми при обработката на реални изображения – разработване на обща методика за обработка на термовизионни и оптически изображения, получени със средствата за наблюдение, разположени на борда на безпилотен летателен апарат.

3. Обект и предмет на изследването

Обектът на изследване е наблюдението и разузнаването на различни цели посредством използване на бордови оптико-електронен комплекс (БОЕК).

Предмет на дисертационния труд е систематизирането на методи и алгоритми за обработка и изграждане на цялостна концепция за обработка на изображения, получени от БОЕК. Както и изграждане на алгоритми за отделните етапи на възстановяване на изображенията и съставяне на алгоритъм за обработка и оценка на качеството на полученото изображение, изразяващ се в обобщена методика за подобряване на качеството на получените изображения от БОЕК.

4. Методи за изследване

За постигане на целта на дисертацията и разрешаване на поставените задачи са избрани общонаучни методи на научното познание, в зависимост от конкретиката на теоретичния и практическия аспект на изследването.

Методологическата и теоретичната основа на труда са проучванията на чуждестранни и местни експерти в областта на изучаването на проблемите на разпознаването на образи и по-специално на откриването и идентифицирането на отдалечени обекти въз основа на изображения, получени при използване на оптико-електронни устройства.

Разработването на система от корекционни фактори за критериите за откриване и идентифициране на цели в реални условия, с помощта на:

- Теоретичен анализ – проучване на видовете оптико-електронни прибори и характеристиките на условията, в които работят с цел разкриване на същността им;
- Сравнение – съпоставяне на признаците на сходство и различие на разгледаните системи и установяване на основни зависимости;
- Математически инструменти – линейната алгебра, векторната геометрия, координатни трансформации, функционалния анализ, теория на вероятностите и математическа статистика, теорията на матрични преобразувания.

5. Практическото значение на работата

Разработените алгоритми и приложни програмни продукти в средата на Матлаб могат да бъдат приложени при обработката на изображения, получени с оптични средства разположени на борда на БЛА. Те могат да се използват за обработка на изображения претърпели деформации, дължащи се на въздействието на шум и нестабилност при движение на системите за наблюдение.

6. Обхват на изследването

Изследването обхваща преглед на литературните източници в широк времеви диапазон. В пряка връзка с дефинирането на някои съществени моменти е разгледано развитието на вече съществуващите прибори и устройства, употребявани в това направление. Разгледани са взаимовръзките и факторите, които оказват влияние върху процеса на интегриране на една многоспектрална система за наблюдение и идентификация. Представени са фактори, възпрепятстващи изпълнението на поставената задача по отношение на условията и състоянието на средата на наблюдение.

7. Приложимост и полезност

Дисертационният труд може да бъде от полза при избор на подходяща конфигурация на БОЕК, с който може да се извършва както въздушно наблюдение, така и контрол за движението и функционирането на различни цели и обекти, намиращи се на големи разстояния.

Провеждането на различни операции на БЛА в интерес, както за военни, така и за цивилни нужди, през цялото време на денонощието, при неблагоприятни метеорологични условия и през всички годишни сезони е от основно значение за ефективността и резултатността на поставените задачи.

8. Структура и обем на дисертацията

Дисертацията съдържа 178 страници текст и включва 35 фигури и 10 таблици. Състои се от увод, четири глави, заключение и две приложения.

II. ОСНОВНО СЪДЪРЖАНИЕ НА ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД

ГЛАВА I. АНАЛИЗ НА СЪВРЕМЕННИТЕ ЛИТЕРАТУРНИ ИЗТОЧНИЦИ ПО ПРОБЛЕМА И ПОСТАНОВКА НА ЗАДАЧАТА НА ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД

В настоящата глава се анализират оптико-електронни системи, монтирани на БЛА, които трябва да бъдат много старателно подбрани, според това какви задачи се поставят и какво се очаква като краен резултат от работата им. Използването на БОЕК е голямо преимущество при провеждане на операции по наблюдение, разузнаване, откриване на цели, провеждане на спасителни операции и други дейности. Такива прибори и системи се явяват „полезен товар“, с чиято помощ биха се решили редица специализирани задачи. Дискусии за употребата на техника с такива възможности и нейната експлоатация като единна система, взимаща участие на всички етапи от дадена операция, се водят на различни нива в научните и производствените организации. В следствие на тези значителни усилия и постижения употребата на този тип прибори и системи много бързо навлиза в множество направления.

Използването на комбинация от системи, базирани на различни ОЕП, включени в състава на БОЕК на БЛА и съобразени с неговия тип и поставените му задачи могат успешно да изпълняват редица наблюдателни и разузнавателни дейности при спасителни мисии, за полицейски и военни дейности.

1.1. Основни логистични функции на безпилотни летателни апарати.

Безпилотните летателни апарати са получили широко приложение благодарение на възможността си за получаване на различна радиотехническа информация за различни цели и обекти от местности, на които е трудно да се разположи оператор. Проблемът за ефективното наблюдение и откриването на различни обекти е от значение в най-различни области на човешката дейност и често неговото разрешаване се усложнява от влиянието на различни неблагоприятни фактори, като повишена радиация или наличие на вредни вещества в зоните на бедствия. Това става още по-актуално що се отнася до решаването на проблеми от военен характер и борбата с терористичните групи. В тези случаи става особено ефективно използването на безпилотни летателни апарати.

Потенциалното използване на БЛА позволява да се съкрати времето, необходимо за реагиране в условията на интензивно развиваща се обстановка, операторите бързо може да се подготвят за действие. Етапите от полета на БЛА обикновено се извършват в автономен режим, намаляват се реалните тренировъчни полети, което води до икономия на гориво и

запасни части. Не се допуска ограничението за продължително използване на пилотируемите летателни апарати поради умора на екипажа.

1.2. Перспективи и приложение на оптико-електронни системи (ОЕС), спрямо нуждите, обстановката и критериите на наблюдението.

Стандартните оптични и ОЕУ, които се поставят в пилотирани и безпилотни ЛА, като оптични сензори, фотокамери и термовизиори се различават по размер и по маса. Реализацията на специфичните изисквания за отдалеченост от наблюдавания и фотографиран обект и необходимостта от висока разделителна способност, неизбежно води до по-голяма маса и себестойност на подобни устройства.

ОЕС, монтирани на безпилотна техника се използват за:

- наблюдение на местности и развитието на обстановката върху тях;
- получаване на детайлно изображение на участъци и различни обекти;
- откриване на обекти, които са визуално трудно откриваеми (невидими).

Получената информация от БЛА може да се използва за автоматизиран анализ, който широко се прилага в системите за дистанционно наблюдение на местности, например при изчисляване на площта на нанесени щети, за наблюдение на терени с протичащи бойни операции, при разузнаване и в системата за противопожарна безопасност. Независимо от голямото разнообразие на случаи, при които се създават и регистрират изображения, те могат да се опишат с помощта на общ математически апарат.

Получаването на качествена и ефективна информация от извършеното наблюдение, зависи от редица фактори. От особена важност е изобразяването на детайлите от наблюдаваната картина т.е. нейната информативност. Върху качеството на заснемане, влияние оказват вибрациите, внезапната промяна на курса на летателния апарат, както и наличието на вятър или силна турбуленция. На практика всички оптико-електронни устройства, които съставят БОЕК имат възможност за известно ъглово преместване, с цел компенсиране на ъгловото положение на ЛА спрямо повърхността на Земята и ъгловото колебание на самолета спрямо оста на нормалната координатна система. Приложението на такова устройства позволява да се решават голямо количество практически задачи, но за получаването на добри резултати, е необходимо да се изпълни изискването за стабилизиране положението на ЛА във въздуха в момента на предаване на заснетите кадри.

1.3 Показатели за ефективност на наблюдението при използването на БОЕК.

От казаното по-горе става ясно, че едно от направленията за повишаване ефективността на наблюдателните системи и увеличаване на

техните функционални възможности е създаването на интегрални многоканални системи и комплексния подход за обработката на данните от различните канали.

Идеята за създаването на многоканалните системи възниква от необходимостта за решаването на задачи с повишена сложност и в разнообразни външни условия. Такива системи позволяват получаването на максимум информация, вследствие на компенсирани недостатъците на едни канали с предимствата на други. Това от своя страна увеличава възможностите на самата система както в нормални, така и в усложнени условия. Изхождайки от целта на дисертационния труд особено важен е изборът на оптическо оборудване за БЛА и оценка на неговата ефективността, за получаване на висококачествени изображения.

В главата са разгледани показатели на ефективност, оказващи влияние върху ефективността на една оптико-електронна система. Този подход подпомага пълното отчитане на всички основни параметри, което позволява достатъчно добро покритие на теоретичните и експериментални данни.

Ефективността на комплекса зависи от оптималната ефективност за получаване на данни на всеки от каналите. Създаването на комбинирани системи се явява първият етап от интеграцията на ОЕП. Съществуват три фактора, които оказват влияние върху ефективността на тези прибори: параметри на атмосферата, осветеност на местността, параметри на обстановката „фон-цел“.

Параметрите на атмосферата и осветеността главно определят диапазона на далечината на действие на приборите. Параметрите на целта определят, както далечината на намиране, така и информативността на разпознаването. Така например в топлинния диапазон температурният контраст на целта спрямо фона оказва влияние върху далечината на действие на прибора.

В конкретиката на горе посоченото, следва да заключим, че за повишаване на ефективността на един ОЕК, в различни източници са разгледани методики както за правилния подбор на съставляващите го устройства, така и коефициентите за оценка на ефективността му. Затова обект на разглеждане на настоящия труд ще бъде обработката получените от ОЕК изображения, с цел тяхното подобряване.

1.4 Изводи по първа глава

1. От направения анализ на основните съвременни литературни източници, имащи отношение към актуалното състояние на съвременните сензорни технологии, представляващи основен градивен елемент в състава на БОЕК, следва, че съществуват фундаментални

- теоретични анализи, математически методи и високоефективни алгоритми за оценка ефективността на работата на комплекса.
2. Задълбоченото познаване на основните функционалните показатели е необходимо за съставяне на подходящите алгоритми за обработка на сигналите, както и на заснетите изображения с цел подобряване на получените резултати.
 3. Влиянието на редица непредвидени фактори, оказва пряко влияние върху намирането на обекта, както и условията, в които се извършва самото наблюдение (ниска осветеност, мъгла, дъжд, дим, запрашеност и др.), и конкретиката на способите на откриване. Това ни дава основание за съставянето на алгоритми, чрез които да подобрим качеството на получените данни, вследствие на което ще се повиши ефективността на ОЕС .
 4. На базата на разгледаните фундаменталните трудове могат да бъдат изградени специфични методики и приложни алгоритми за обработка на изображенията, получени БОЕК.

ГЛАВА II. ИНТЕГРИРАНЕ НА ОЕП В ЕДИННА СИСТЕМА С ДОПЪЛНИТЕЛНА ФУНКЦИОНАЛНОСТ ЗА РАЗШИРЯВАНЕ ОБЛАСТТА НА ИЗПОЛЗВАНЕ НА НАБЛЮДАТЕЛНИТЕ КОМПЛЕКСИ

2.1 Способи за оценка на ефективността при визуално наблюдение

Същността на визуалното наблюдение се заключава в откриването и разпознаването на даден обект да се извърши за минимално време. Поради това е необходимо да се обособят критерии, по които да става избора, оценката и сравнението на показателите на всеки един процес на откриване. При извършване на оценка на наблюдателните оптични прибори може да се подходи по различни методи.

Разгледаните във втора глава критерии за ефективност, дава възможност за анализиране работата на системите за наблюдение и оценяване на тяхната ефективност, като се вземе предвид влиянието, което тези критерии оказват. Този проблем може успешно да бъде решен, чрез правилния избор на наблюдателни канали, предимно чрез техните спектрални характеристики.

Друга група влияещи фактори, които трябва да се отчитат, са специфичните характеристики на целта. Това включва ориентацията на целта, която често не е оптимална за наблюдателя - фронтална или странична, в зависимост от вида на обекта, както и всички видове камуфлажна маскировка (камуфлажно оцветяване), предназначени да изкривят силуета на целта и да намалят контраста с фона. Отчитането и остойностяването на всички тези фактори е сложен процес, базиран на

условностите на задачата и най-често, за да се оцени обхвата на системите за наблюдение.

За да се анализира реалната ситуация при откриването и идентифицирането на обекти, следва да се използват коефициенти за корекция, характеризиращи неравномерния фон и целевите параметри. Предлага се следната система от коефициенти в зависимост от конкретната ситуация и използваните средства за наблюдение.

За да се гарантира висока ефективност на системите за наблюдение е необходимо да се осигури достатъчна разделителната способност, за да се разграничат характерните цели при необходимото разстояние за контрол, като се гарантира възможно най-високото зрително поле. Избират се наблюдателни канали, които осигуряват максимален контраст на целта по отношение на фона и минимален ефект от неравномерния фон, при определени особености на терена, експлоатационни условия и целеви параметри.

В заключение може да се каже, че ОЕП, работещи в различни спектрални диапазони, при едни и същи условия, имат различна чувствителност към интерфериращи фактори. Визуалното маскиране на целите и ниската осветеност на контролираната зона, а също така в голяма степен атмосферните смущения от мъгла, запрашеност и др., не влияят на приборите за термовизионно наблюдение. Но поради нагриването на фоновите обекти от слънчевата светлина се увеличава неравномерността на температурното поле, от което следва че ефективността на термовизионните устройства при такива условия намалява. Изображенията във видимия диапазон на спектъра реагират добре на декодиране и идентифициране на обекти, показват най-добри резултати при висока естествена осветеност в наблюдаваната зона. В този случай видеокамерите не работят на тъмно и при наличие на силни атмосферни смущения.

2.2 Многоканални системи – като средство за постигане на оптимални резултати при изпълнение на определена наблюдателна задача

Идеята за създаването на многоканалните оптико-електронни системи (МОЕС) възникнала от необходимостта за решаването на задачи с повишена сложност и в разнообразни външни условия. Получаването на максимум информация, вследствие на компенсация на недостатъците на едни канали с предимствата на други, се оказва от съществено значение при военни конфликти и мироопазващи операции.

Критерий за ефективност на многоканалните системи се явява процесът на повишаване на информативността на изображението. Това се получава вследствие на повишаването на далечината на действие при една и съща вероятност за намиране и разпознаване. Счита се, че една система е ефективна когато работи с по-голяма от указаната вероятност, или с

намалено време за решаване на задачата при запазване на вероятността и далечината на действие.

2.3. Изводи по втора глава

1. Въздушното наблюдение от малки БЛА има редица технологични особености, свързани с конструкцията и състава на бордовия комплекс. Важно е да се отчита превишаването на допустимите ъгли на наклона на изображението, спазване на правилата на траекторията на полета за осигуряване на необходимото припокриване между изображенията с висока честота на заснемане. Необходимо условие за избор на конкретно устройство е изчисляването на параметри за въздушното наблюдение от БЛА, като височината на снимане и времетраене на записа.

2. Изчисляването на параметрите на въздушното разузнаване е много важен етап от подготвителната работа по съставянето БОЕК. Правилно изчислените на характеристики на полета позволяват да се увеличи площта на въздушната територия, подлежаща на наблюдение, и да се подобри качеството на заснетите изображения.

3. Подход за значително подобряване на ефективността на системите за наблюдение е интеграцията – създаването на многоканални комплекси с физическо и информационно интегриране на различни наблюдателни и измервателни канали с цел подобряване на производителността на системата. Така вероятността за откриване на цел от многоканална система е по-голяма от вероятността за откриване на цел от най-ефективния самостоятелен канал.

4. Интегрирането в единна система от канали с допълнителна функционалност позволява да се разшири областта на използване на ОЕК. В този случай влошаването под влияние на външните условия на работа на един от каналите се компенсира от увеличаващата се ефективност на допълнителния канал. Един от вариантите на такива допълващи се канали е комбинация от термовизионна камера и камера във видимия диапазон, които се допълват взаимно в зависимост от условията на осветяване на контролираната зона и способността им за откриване и идентифициране на цели в спектралния диапазон.

5. Приемниците на излъчвания, работещи в други спектрални диапазони, имат по-добри възможности за откриване, тъй като не се влияят много от средствата за маскиране на целите, както и от атмосферните особености на околната среда. В същото време, дешифрирането на получените изображения за идентифициране на целта изисква специфични познания на оператора, а това понякога е трудно поради загубата на част от информацията, критична за класифициране на целта.

6. В ОЕС, в които се използват АИ ПНВ се осигурява работа при максимален обхват в различни условия на околната среда. Така се

получават големи възможности за откриване на цели с висока устойчивост към светлинни смущения. Работата им се характеризира с точното измерване на разстоянието до обекта на наблюдение, както и със способността да се разпознават трудно откриваеми цели, като е почти невъзможно да се проследят. Следователно такива системи осигуряват висока степен на адаптивност и резултатност.

ГЛАВА III. ОЦЕНКА НА МЕТОДИТЕ И РАЗРАБОТКА НА АЛГОРИТМИ ЗА ВЪЗСТАНОВЯВАНЕ И ПОДОБРЯВАНЕ КАЧЕСТВОТО НА ИЗОБРАЖЕНИЯ ПОЛУЧЕНИ ОТ ОПТИКО-ЕЛЕКТРОННИ ПРИБОРИ

В тази глава се анализират причините за многообразието на системите за възстановяване на изображения и видовете смущения, водещи до изкривяване на изображенията, получени от различните системи за мониторинг.

3.1. Анализ и оценка на методите за преобразуване на изображения чрез „филтрация” и разработване на приложни алгоритми

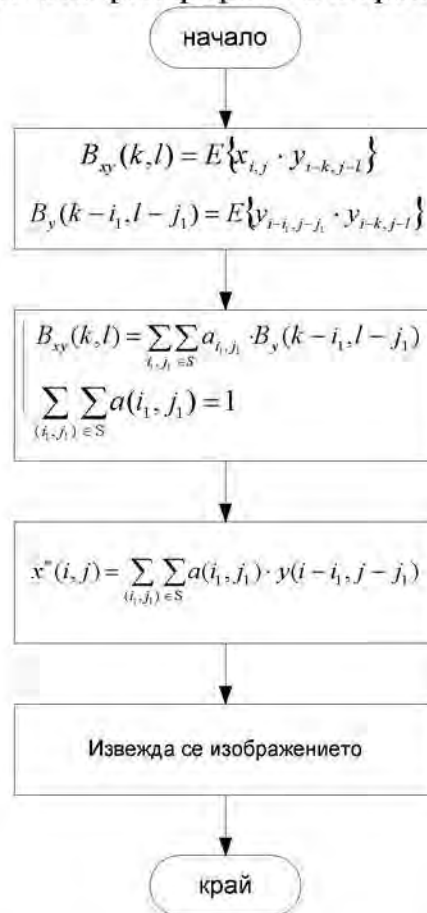
Обикновено изображения, формирани от различни информационни системи се изкривяват под въздействието на шум. Това затруднява както визуалният анализ на човека-оператор, така и автоматичната обработка от изчислителни системи. Отслабване действието на шума обикновено се постига чрез различни методи на „филтрация”. Идеята за филтрация се основава върху рационалното използване на данни както от работните точки, така и от тяхната околност. Прилагат се различни критерии за оптималност, което води до разнообразие на методите за филтрация. Критерия за оптималност, който се прилага за оценка качеството на обработка, е този на „минимума на средния квадрат на грешката”.

Разглеждат се различни методи за филтрация като метода на линейна филтрация-уравнението на Винер-Хопф, „прозоречна филтрация” при наличие на адитивен бял шум и метода на статистическа филтрация.

Алгоритъм за обработка на изображения с оптимална оценка на коефициентите на импулсната характеристика на филтъра

1. Формиране на входните данни: дефиниция на входното изображение $y(i, j)$ и еталонното изображение $x(i, j)$ в цифров вид.
2. Определяне на автокорелационната функция на интензивностите на входното изображение и взаимно-корелационната функция на входното и еталонното изображения.

3. Определяне на коефициентите на импулсната характеристика на оптималния филтър чрез решаване на линейната система от уравнения, включваща нормиращото уравнение за определяне на оптималните коефициенти на базата на минималната средно-квадратична грешка.
4. Определяне на оптималната оценка на входното изображение чрез конволюция на импулсната характеристика на оптималния филтър и входното изображение.
5. Извеждане на крайното филтрирано изображение.



Фигура 3.2. Алгоритъм за обработка по метода на Винер-Хопф

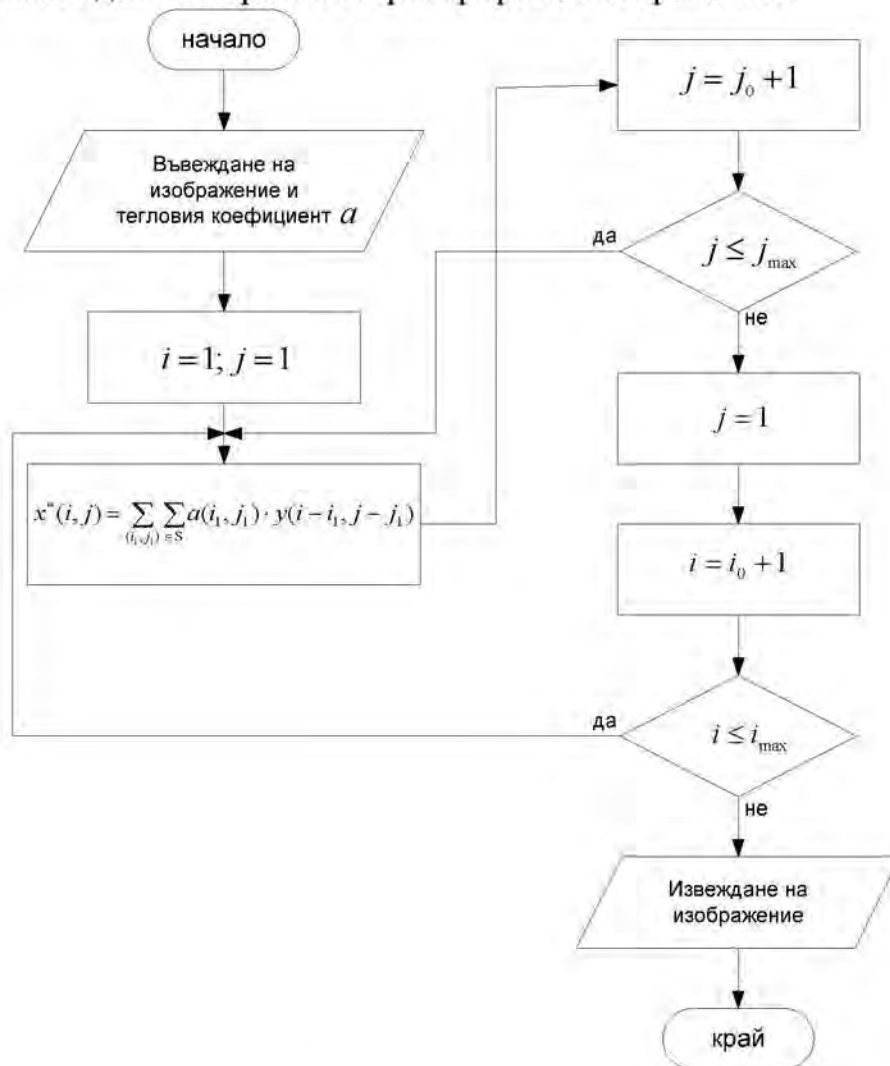
В практиката, при цифровата обработка на изображения, широко се използва и „прозоречната филтрация“. Нейната линейна разновидност е един от вариантите на двумерната КИХ-филтрация. В качеството на маска се използва множество от теглови коефициенти, които са зададени за всички точки на околността S , които обикновено симетрично обграждат работната точка на кадъра.

Допуска се, че входният сигнал е центриран, т.е. има нулево математическо очакване, а изображението $x(i, j)$ и шумът $n(i, j)$ са взаимно независими.

Като приложение на теорията на метода „прозоречна филтрация“ се предлага следният алгоритъм за обработка и подобряване на качеството на оптични изображения.

Алгоритъм за обработка и подобряване на качеството на оптични изображения

1. Формиране на входните данни: дефиниция на входното изображение $y(i, j)$ в цифров вид. Въвеждане на тегловите коефициенти на импулсната характеристика $a_{i, j}$, $i, j \in S$, и S - пространствения размер на импулсната характеристика.
2. Реализация на пространствената конволюционна процедура за получаване на изображение с високо качество.
 1. Извеждане на крайното филтрирано изображение.



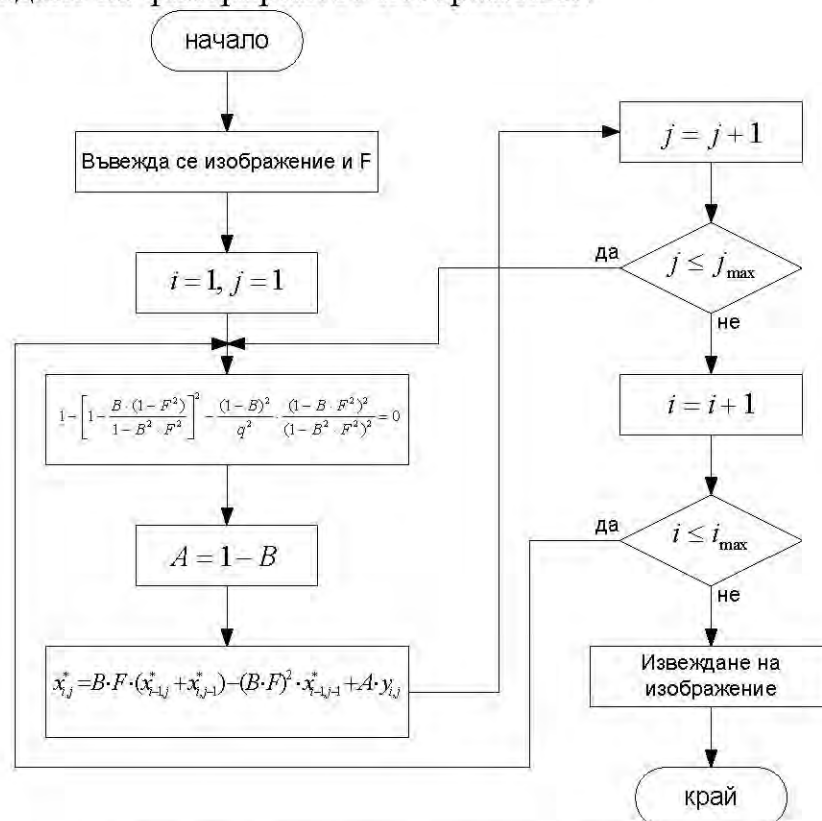
Фигура 3.3. Алгоритъм за „прозоречна филтрация“ на изображение

Предлага се използване на двумерен БИХ-филтър, с такъв вид на импулсната характеристика, при който практическата му реализация би била проста, и с такива параметри на ИХ, при които ефективността на филтрацията се приближава до потенциално възможната. Да се синтезира филтър с такива свойства е възможно на базата на едномерния филтър на Калман.

Като приложение на теорията на метода статистическата филтрация се предлага следният алгоритъм за обработка и подобряване на качеството на заснетите изображения.

Алгоритъм за обработка на оптични изображения и подобряване на тяхното качество чрез двумерен рекурентен статистически филтър.

1. Формиране на входните данни: дефиниция на входното изображение $y(i, j)$ в цифров вид, дефиниране на параметъра SNR, дефиниране на коефициента на едностъпкова корелация на изображението по ред и по стълб F .
2. Изчисление на коефициента B чрез прилагане на числен метод.
3. Изчисление на параметъра A .
4. Изчисление на оценките на интензивностите на пикселите чрез рекурентното уравнение.
5. Извеждане на филтрираното изображение.



Фиг. 3.5. Двумерен рекурентен статистически филтър

При двумерната статистическа филтрация се наблюдава влошаване на контраста на обработеното изображение при намаляване нивото на шума. Това е проява на споменатите по-горе динамични изкривявания, по-силни при БИХ филтри, отколкото при КИХ филтри.

3.2. Оценка и анализ на методите за възстановяване на изображения и разработване на приложни алгоритми

В този параграф се разглеждат аналитичните методи, чрез които се възстановяват изображенията, получени от оптико-електронни комплекси, разположени на борда на БЛА. В този анализ се прави оценка на „алгебричния метод“ и метода за „пространствена филтрация“ за възстановяване на изображения.

Анализът на алгебричните методи за възстановяване на цифрови изображения се извършва на базата на съотношението, относно изкривеното изображение при отсъствие на шум.

При наличие на шум изображението, подлежащо на обработка, входно за системата за обработка е адитивна сума от неизкривеното изображение и шума.

При отсъствие на шум задачата за възстановяване на изображението се свежда до намирането на оценка (решение).

Основен недостатък на алгебричните алгоритми за възстановяване на изображения е необходимостта от изпълнение на трудоемките операции обръщане, умножение и транспониране на матрици с огромни размери.

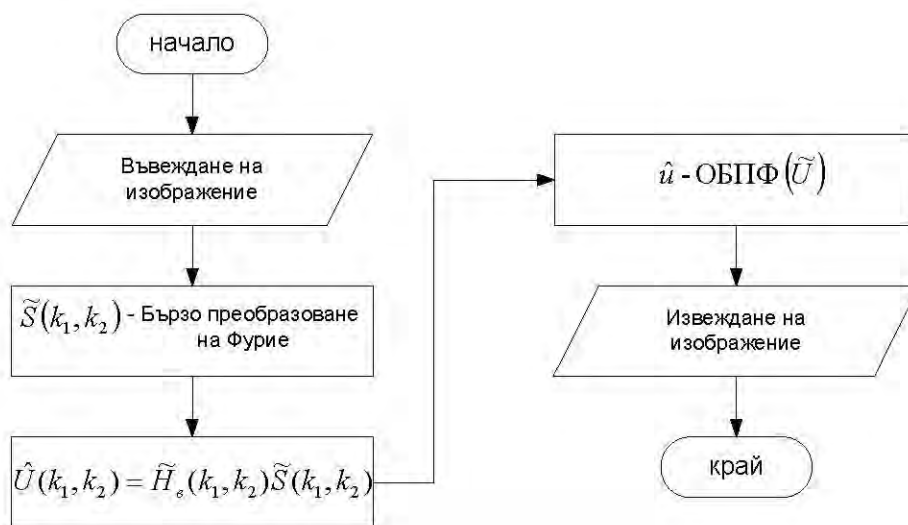
Друг метод за възстановяване на изображение е метода на „пространствената филтрация“. Методът за възстановяване на изображения се реализира с помощта на дискретно преобразование на Фурие в честотната област. При това, линейната конволюция се заменя с кръгова, както в модела за формиране на изкривеното изображение, така и в процедурата по възстановяването му, по метода на пространствената филтрация. Всички изображения и ФРТ се приемат за периодично повтарящи се и с еднакъв размер на кадъра.

При възстановяването на реално изкривено изображение с такъв филтър, по границите на изображението възникват ефекти, компенсацията на които е една от основните задачи при реализацията на алгоритми за възстановяване на изображения чрез пространствена филтрация.

От приведената обща теория на метода на „пространствената филтрация“ може да се предложи следният приложен алгоритъм за подобряване на неговите качествени показатели на полученото изображение.

Алгоритъм за обработка на изображения и подобряване на тяхното качество чрез метода на „пространствената филтрация“.

1. Формиране на входните данни: дефиниция на входното изображение $s(i, j)$ в цифров вид.
2. Пространствено дискретно преобразуване на Фурие на входното изображение.
3. Реализация на алгоритъма за пространствено честотна оценка.
4. Реализация на обратно дискретно бързо преобразуване на Фурие (ОБПФ - IDFT)
5. Извеждане на филтрираното изображение



Фиг. 3.7. Алгоритъм за „пространствена филтрация“ на изображение

3.3. Анализ на методите за геометрично преобразуване на изображения

Геометрическата трансформация е математическа основа за решаване на много задачи, прилагани при обработката на изображения, и съдържа множество подобласти. В този параграф се разглеждат някои от тях в случаите на: привързване, преобразуване и съвместяване на получените в различни моменти от време изображения на един и същ обект.

Анализират се различни видове преобразувания - евклидово, проективно, полиномно и афинно преобразувания, като са съставени приложени алгоритми за подобряване на качествените показатели на изображенията

Афинно преобразуване

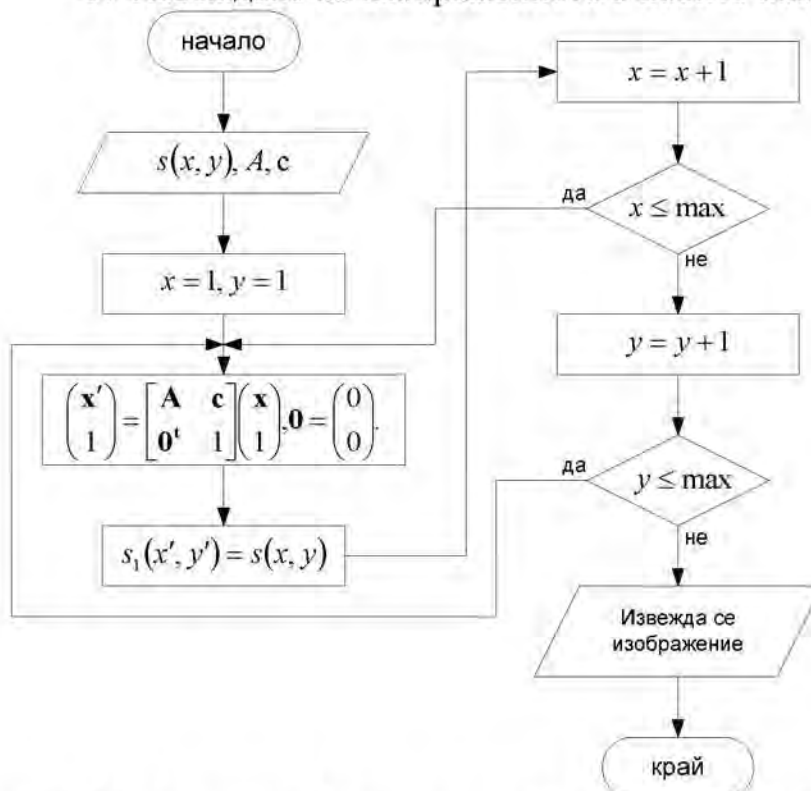
Афинното преобразуване е най-общото взаимно еднозначно изобразяване на равнина в равнина, при което се запазват правите линии.

Съхраняват се също съотношенията между дължините на отсечките, които лежат на една права (или на паралелни прави), и отношенията на площта на фигурите.

От общата теория на афинното преобразуване за координатна трансформация на изображения може да се състави следният приложен алгоритъм за подобряване на неговите качествени показатели.

Алгоритъм за обработка на оптични изображения и подобряване на тяхното качество чрез метода на „афинно преобразование”.

1. Формиране на входните данни: дефиниране на входното изображение $s(x, y)$ в цифров вид; дефиниране на трансформационната матрица A и векторът от коефициенти c .
2. Реализация на координатната трансформация чрез матричното уравнение.
3. Дефиниране на изображението в нови координати (x', y')
4. Реализация на трансформационната процедура за всеки пиксел от изображението.
5. Извеждане на изображението в новите координати.



Фигура 3.11. Алгоритъм за прилагане на афинно преобразование

3.4. Изводи по трета глава

1. Извършеният анализ на известните методи и разработените приложни алгоритми за филтрация на шума в изображенията показват, че по-добри резултати се получават при използване на статистически

алгоритми. При размери на изображението надвишаващи значително корелационния интервал, целесъобразно е използването на Винерова филтрация. По броя на операциите статистическият филтър превъзхожда най-простия прозоречен филтър, на практика три пъти.

2. Анализът на методите и разработените приложни алгоритми показват, че точното възстановяване на изображението е възможно при отсъствие на шум и изпълнение на допълнителни изисквания. На практика, в обработеното изображение има остатъчни изкривявания. За определяне на най-подходящия метод за възстановяване на оптични изображения, получени от оптико-електронни комплекси, е необходимо подробно да се изследват различните методи.

3. За привързване на различни оптични изображения на един и същ участък от земната повърхност могат да се използват предложените приложни алгоритми на геометрично-координатните преобразувания. Изборът на конкретна координатна трансформация зависи от качеството на изображението, системата за регистрация и параметрите на траекторията на носителите на оптични средства и оптико-електронни комплекси.

4. Анализираните методи и разработените приложни алгоритми могат да бъдат използвани за обработка на изображенията като едно цяло. За целите на наблюдателни и разузнавателни задачи е целесъобразно да се анализират определени детайли (настъпили изменения в средата на наблюдението), при което може да се използват изображения, получени в различни времеви моменти или от различни източници. За конкретизирането на детайлите е необходимо да се синтезира алгоритъм за обработка на група оптични изображения на една и съща територия на земната повърхност.

ГЛАВА IV. ЧИСЛЕНИ ЕКСПЕРИМЕНТИ НА РАЗРАБОТЕНИТЕ АЛГОРИТМИ ЗА ОБРАБОТКА НА И ОПТИЧНИ ИЗОБРАЖЕНИЯ

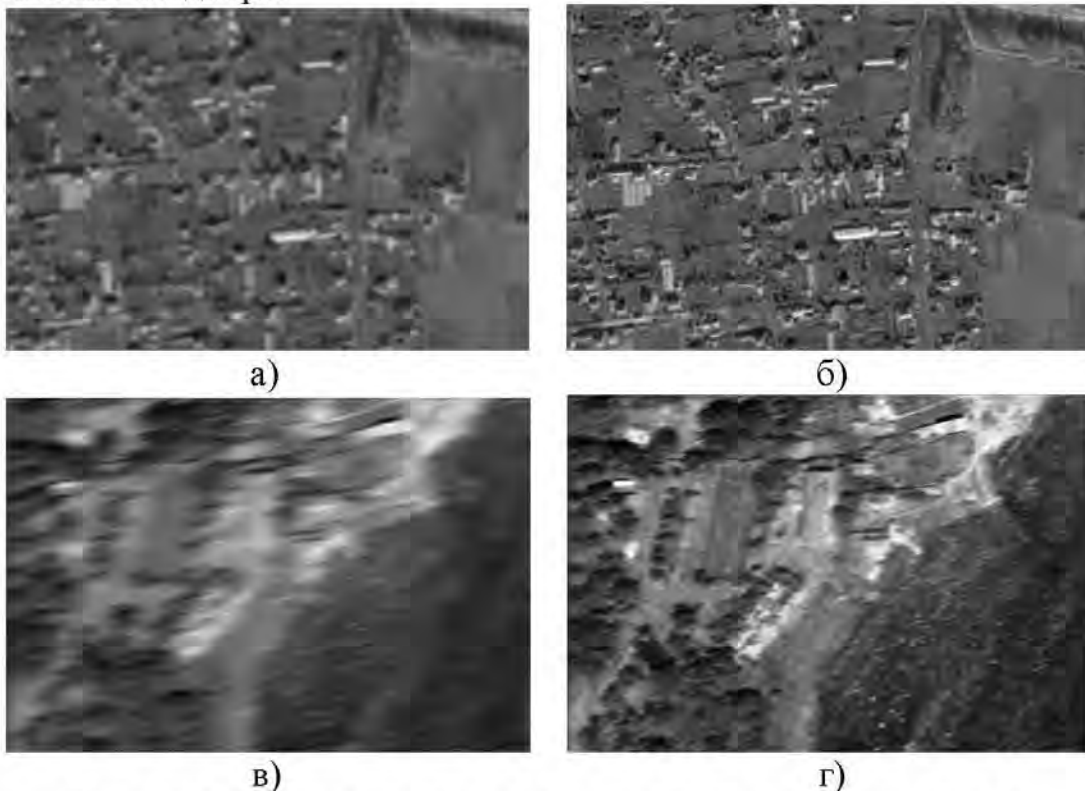
Изследвани са алгоритми за възстановяване и подобряване качеството на изображението, за възможни геометрични преобразования и алгоритми за анализ на изображенията. Предложена е методика за обработка на получените изображения от БЛА с цел повишаване на ефективността на БОЕК.

4.1. Изследване на алгоритми за възстановяване и подобряване качеството на изображенията

Изследвани са три алгоритъма за възстановяване на изображения с изкривявания, дължащи се на разфокусиране и некомпенсирано движение на регистриращата камера, при известна функция на разсейване на точки (ФРТ). За целите на изследванията е моделирано разфокусиране и

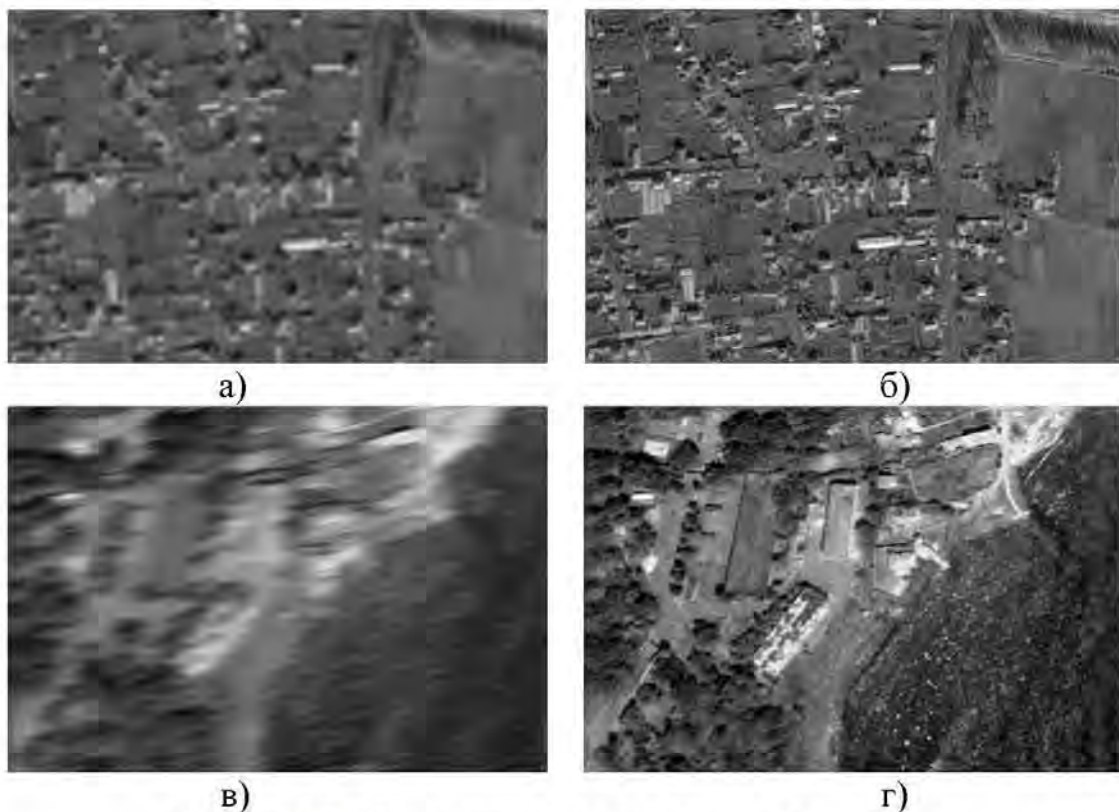
движение на камерата и така получените изображения са обработени с изследваните алгоритми.

На фигура 4.1 са показани част от резултатите от изследванията на възстановяването на черно-бели аерофото изображения по итеративния алгоритъм на Луси-Ричардсън. На фигура 4.1, а и 4.1, в са показани изкривените от разфокусиране и движение на камерата изображения. ФРТ на изкривяванията е известна и тя се използва за получаване на възстановените изображения, показани на фигура 4.1, б и 4.1, г. Както се вижда от фигурата след обработката качеството на изображенията е значително по-добро.



Фигура 4.1. Изследване на алгоритъма на Луси-Ридчардсън.

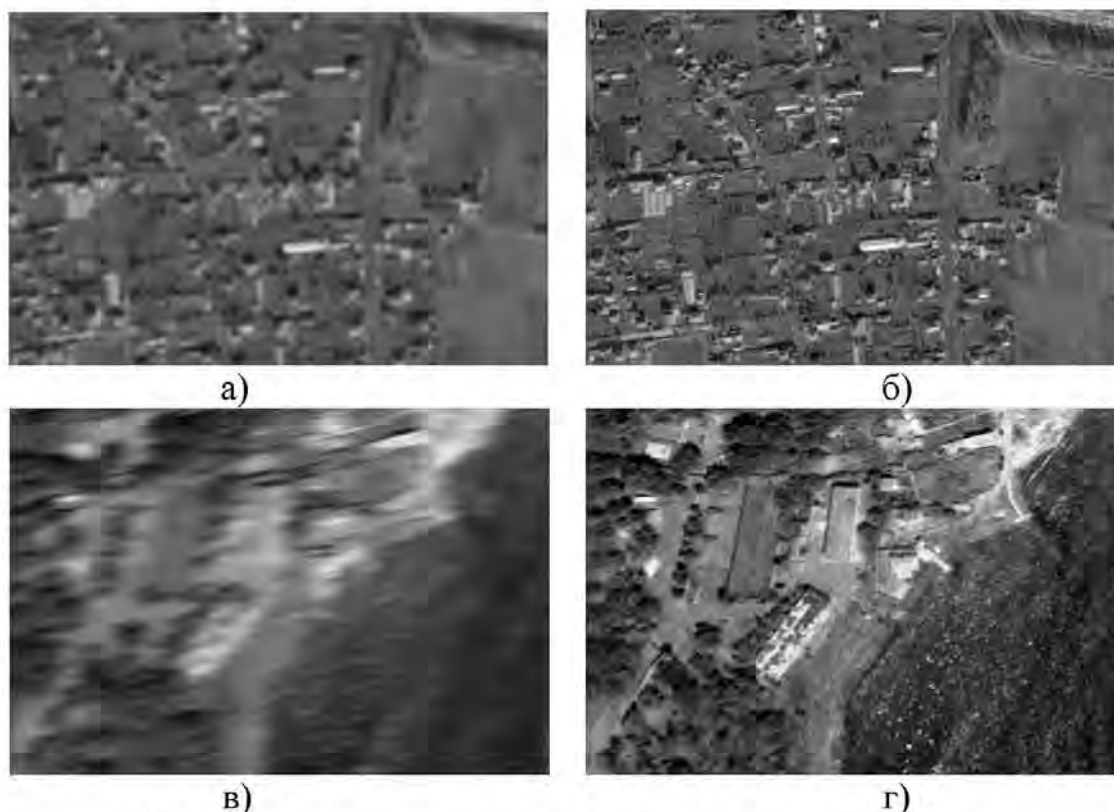
Направено е същото изследване на цветни изображения, като се констатира, че възстановените цветни изображения са със значително по-добро качество.



Фигура 4.3. Изследване на алгебричен алгоритъм.

На фигура 4.3 са показани част от резултатите от изследванията на възстановяването на черно-бели аерофото изображения по алгебричния алгоритъм.

За по-голямо удобство на фигурата са повторени изходните изображения и до тях са дадени обработените. Вижда се, че възстановените изображения са със значително по-високо качество от изходните. Сравнението на резултатите от използването на този метод с предходния показват, че при алгебричния метод се постигат по-високо качество, когато итерациите при използване на метода на Луси-Ричардсън са по-малко от 50. Недостатък на този метод е, че той дава по-лоши резултати, когато освен изкривяване в изображението има и шум. Тогава изображенията, възстановени по метода на Луси-Ричардсън са с по-високо качество. Направени са изследвания за възстановяване на цветни аерофото изображения по алгебричния алгоритъм, който е описан във втора глава. Изводите направени за обработката на черно-бели изображения по алгебричния алгоритъм са валидни и за цветните изображения. Различието е, че при цветните изображения изчислителните операции са повече, което увеличава времето, необходимо за обработка. Резултатите от изследванията показват, че след възстановяване на изображенията не се наблюдават изкривявания в цветовете им.



Фигура 4.5. Изследване на алгоритъма на Винер-Хопф.

На фигура 4.5 са показани част от резултатите от изследванията на възстановяването на черно-бели аерофото изображения чрез филтър на Винер-Хопф. Резултатите от изследванията показват, че при този метод се постига най-голямо подобряване на качеството на изображенията. Разликите между показаните възстановени изображения по този метод и алгебричния метод са незабележими, поради влошаване на качеството на изображението при отпечатването има и ниските нива на шум в тях.

Направени са изследвания за възстановяване на цветни изображения чрез филтър на Винер-Хопф. Изводите направени за черно-бели изображения са в сила и за цветните.

Изследванията на получените резултати показват, че при наличие на адитивен шум с нормално разпределение алгоритъма на Винер-Хопф дава най-добри резултати, а алгебричния най-лоши. При ниски нива на адитивен шум резултатите от обработката по алгебричния алгоритъм и по този на Винер-Хопф са практически неразличими, докато за постигане на същото качество на изображенията при метода на Луси-Ричардсън е необходимо да се извършат значителен брой итерации. При наличие на мултипликативен шум или такъв с разпределение, различно от нормалното, методът на Луси-Ричардсън дава най-добри резултати, при достатъчно голям брой итерации. Резултатите от изследванията показват, че при изкривени изображения с известна ФРТ е най-целесъобразно да се

използва алгоритъма на Винер-Хопф, а ако той не осигури необходимото качество на изображенията да се използва итеративния метод на Луси-Ричардсън с минимум 50 итерации.

За използване на изследваните до тук алгоритми е необходимо да се знае ФРТ на регистриращата камера. Понякога е възможно да се наложи обработката на изображения, получени с помощта на оптични сензори за които не са известни точните параметри. Тогава може да се приложи итеративен алгоритъм за сляпо възстановяване. При него е необходимо да се избере предполагаем размер на ФРТ.

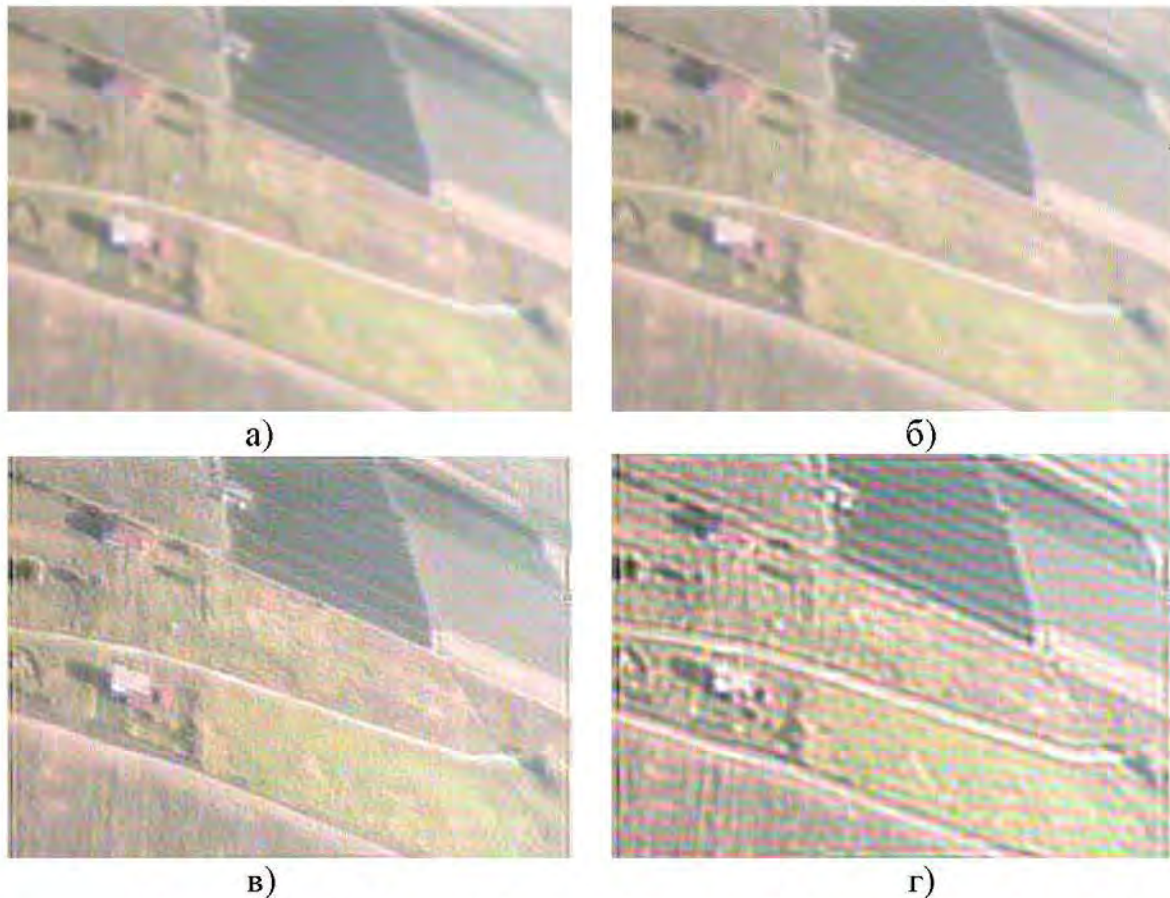
За да се определи точния размер на ФРТ е необходимо да се извърши обработка на изображението с няколко различни размера и след това да се определи точния размер. За определяне на размера, освен качеството на изображението се използва и изчисляваната при всяка итерация ФРТ. Функцията трябва да бъде с най-голямо ниво в центъра, а към краищата ѝ то да намалява постепенно, като по границите има приблизително еднакви стойности и вид, както по хоризонтала, така и по вертикала.

На фигура 4.7 са показани част от резултатите от изследванията на алгоритъм за сляпо възстановяване при обработка на изображение, получено от камера, разположена на БЛА (фиг. 4.7, *a*), при размерности на ФРТ 3x3 (фиг. 4.7, *b*), 7x9 (фиг. 4.7, *в*) и 15x15 (фиг. 4.7, *г*).

Резултатите от обработката показват, че при възстановяване на изображението с ФРТ по-малка от реалния размер, повишаването на качеството на изображението е малко (фиг. 4.7, *b*). При използване на ФРТ с по-голям размер се получават допълнителни изкривявания, при което изображението дори се влошава след обработката. При използване на ФРТ с реалния или близък до него размер се постига видимо подобряване в качеството на изображението.

Освен размера на ФРТ върху качеството на възстановяване на изображението влияние оказва и броя на итерациите. Направено е изследване за възстановяване на изображения при използване на оценен реален размер на ФРТ 7x9 при 3, 5, 7 и 10 итерации.

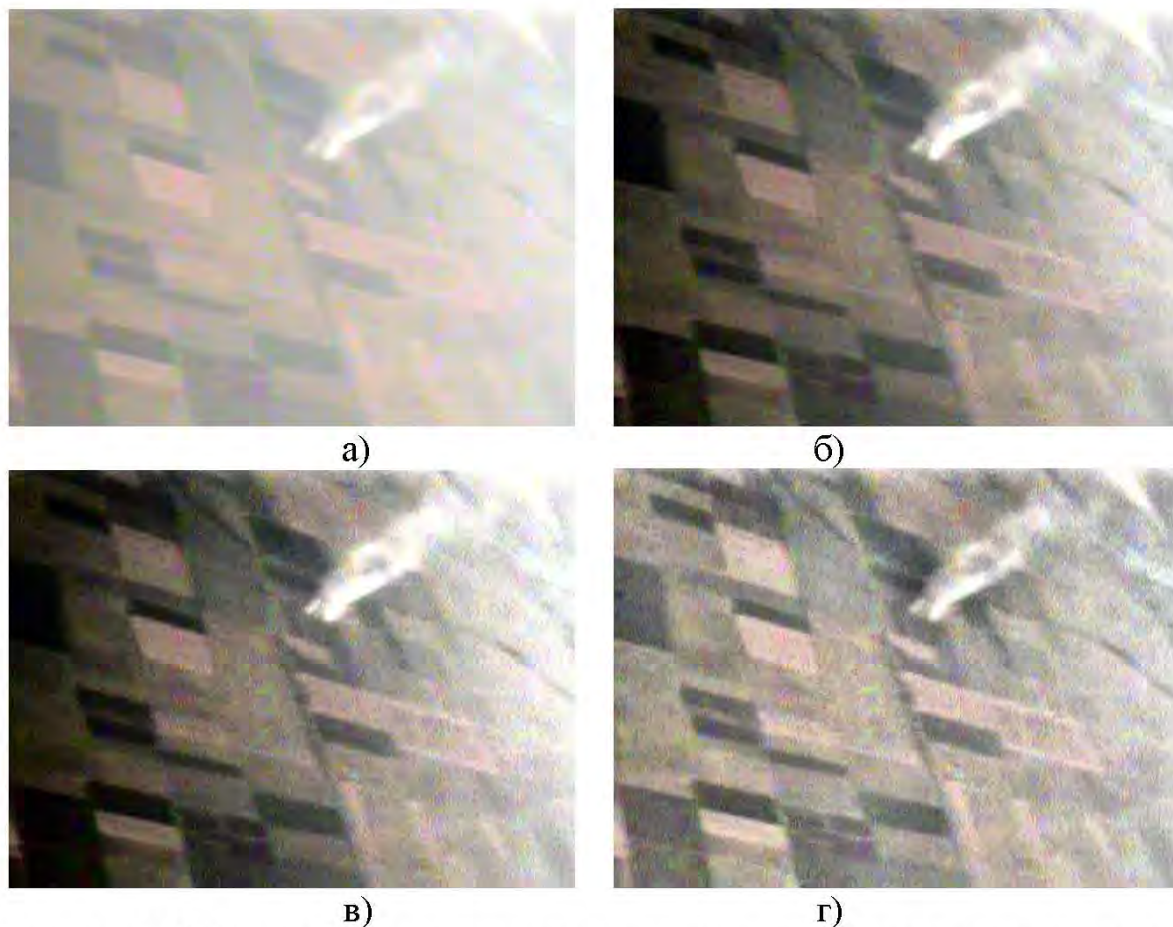
Получените при изследванията резултати позволяват да се направи извода, че най-целесъобразно е използването на 7 итерации. Ако след обработката се прецени, че полученото изображение не е с достатъчно високо качество, то може да бъде обработено допълнително чрез прилагане към него на допълнителен брой итерации.



Фигура 4.7. Изследване на алгоритъм за сляпо възстановяване.

Освен изкривяванията върху качеството на изображението влияние оказва и осветеността, както и контраста на получените изображения. Едни от най-използваните методи за подобряване качеството на изображенията са именно тези за повишаване на контраста.

По-нататък са показани част от резултатите от изследванията на три алгоритъма за повишаване контраста на изображенията. Единият извършва разширяване на динамичния диапазон на яркостите в цялото изображение. При втори се използва хистограмата на изображението, като при обработката се цели постигане на максимално възможна хистограма. Третият алгоритъм е адаптивен, като при него алгоритъмът на равномерната хистограма се прилага към отделни участъци на изображението, а не към цялото изображение.



Фигура 4.10. Изследване на алгоритмите за повишаване на контраста при оптични изображения.

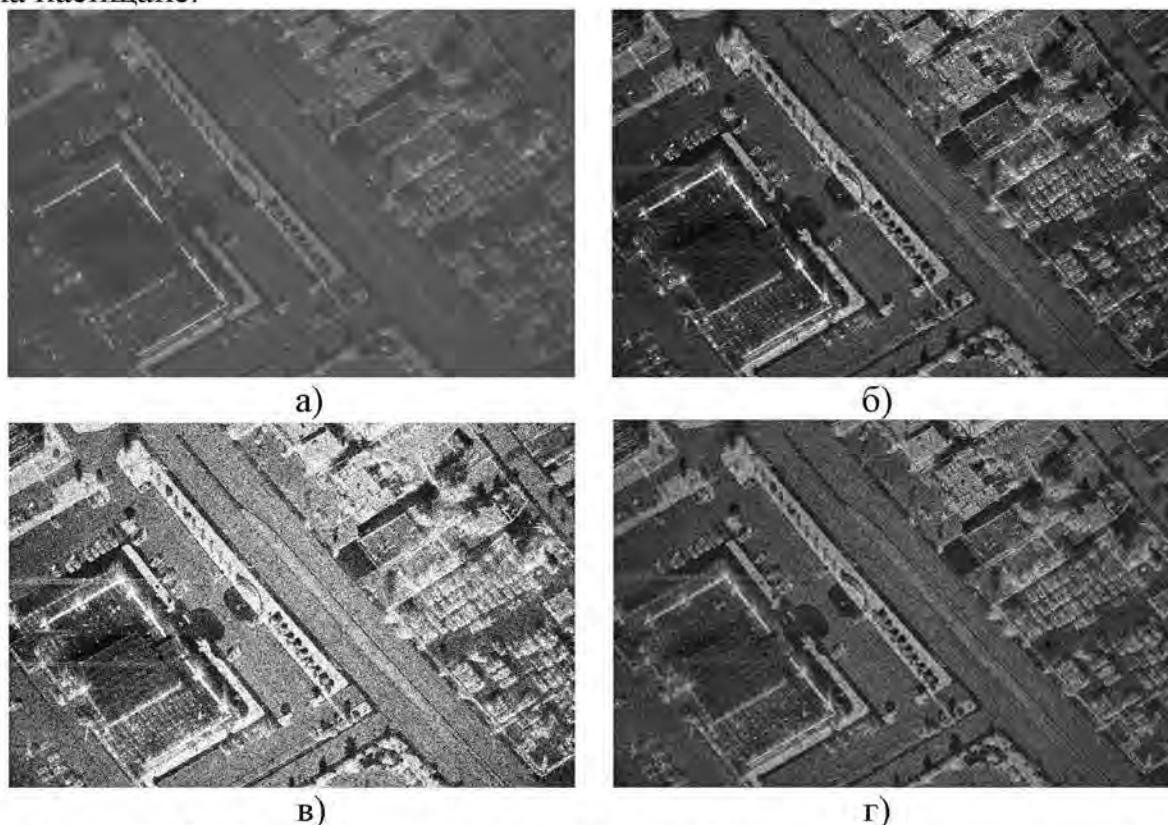
На фигура 4.10 са показани резултатите от обработката на оптично изображение, получено от видеокамера, разположена на борда на БЛА, по трите метода – разширяване на динамичния диапазон (фиг. 4.10, б), равномерна хистограма (фиг.4.10, в) и адаптивния метод (фиг. 4.10, г). От фигурата се вижда, че при линейното разширяване на диапазона част от изображението е по-тъмно. При метода на равномерната хистограма тъмните участъци са по-малки, но се получават области на насищане (много ярки участъци), което може да доведе до маскирането на обекти, които се намират там. Изображението получено при обработката по адаптивния метод е с най-високо качество и позволява най-добре да се различават детайлите върху изображението.

Освен визуалния анализ на изображенията са анализирани и хистограмите на изображенията. Изходното изображение на фигура 4.10 е с ниско качество тъй като не е заснето със специализирана висококачествена камера.

Същите три алгоритъма са приложени за обработка на изображения, получени от термовизионна камера. На фигура 4.14 са показани

резултатите от повишаването на контраста на изображение от термовизионна камера.

Резултатите показват, че използването на алгоритъма за разширяване на динамичния диапазон дава по-добри резултати отколкото при оптичните изображения, но отново се наблюдават по-тъмни области. При използване на алгоритъма на равномерната хистограма се наблюдават зони на насищане.



Фигура 4.14. Изследване на алгоритмите за повишаване на контраста при изображения от термовизионна камера.

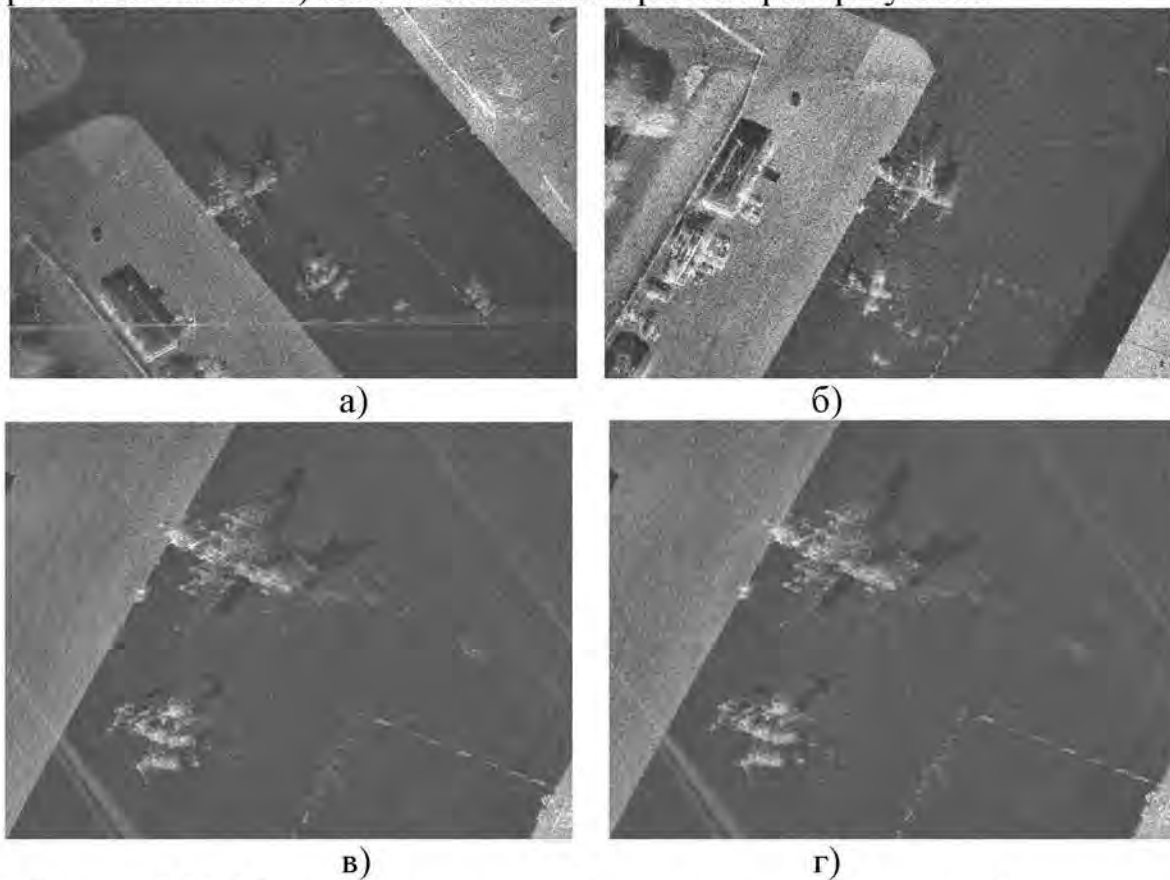
На базата на направените изследвания и получените резултати може да се обобщи, че независимо дали изображенията са оптични или топлинни, най-подходящ за повишаване на контраста е адаптивния алгоритъм.

4.2. Изследване на алгоритми за геометрични преобразования на изображенията

Много от задачите за специализирано разузнаване се свеждат до съпоставяне на изображения, получени с помощта на различни датчици, интегрирани в единна система. Развитието на дистанционните методи за наблюдение и откриване се основава на разглеждането на снимки на една и съща територия, които са получени в различно време и/или с помощта на различни сензори.

На практика, изображенията на един и същ обект или участък от местност, получени в различни моменти от време или с помощта на различни датчици, могат значително да се различават едно от друго. От тук следват ред важни задачи за привързване, а също така взаимна геометрична и амплитудна корекция за съвместен анализ

Направени са изследвания на методите за преобразуване и съвместяване на изображения, които са приложени върху кадри от термовизионна камера разположена на БЛА. На фигура 4.16 са показани две изходни изображения (фиг. 4.16 а и 4.16 б) и такива след привързване (фиг. 4.16 в и 4.16 г) като е използвано афинно преобразуване.



Фигура 4.16. Изследване на геометрично привързване на изображения.

Както се вижда афинното преобразуване дава много добри резултати при привързване на изображения от термовизионна камера. Това може да се обясни с факта, че камерата е фокусирана едновременно за всички далечини и всички точки от изображението лежат във фокусната равнина. Резултатите от изследванията показват, че използването на линейно преобразуване не дава добри резултати, тъй като мащабите по двете оси на изображенията не са еднакви. Това се дължи на факта, че дори да е налична еднаква разделителна способност по азимут и далечина, разделителната способност на изображението по едната ос зависи от

ЪГЪЛЪТ между наклоненото разстояние до точката и равнината на наблюдавания терен.

При оптичните изображения, ако височината на полето е достатъчно голяма, може да се използва афинното и дори линейното преобразуване, тъй като тогава може да се приеме, че всички точки от изображението лежат във фокусната равнина. Когато това условие не се изпълнява е необходимо да се използва проективното преобразуване, тъй като успоредните линии от наблюдавания терен, се преобразуват в наклонени една спрямо друга линии в изображението.

4.3. Изследване на алгоритми за анализ на изображенията

Един от най-елементарните методи за получаване на допълнителна информация за наблюдавания обект при съвместна обработка на изходните данни, е формирането на вторично изображение като линейни комбинации от яркостта на първичните изображения.

Нека изходните данни са набор от M отделни изображения на един и същ участък от земната повърхност, като всяко от тях, съдържа N пиксела, а в резултат на обработката се получават L изображения. Следователно, изходните данни и резултатите от обработка могат да се представят като N реализации на M и L – мерни вектори.

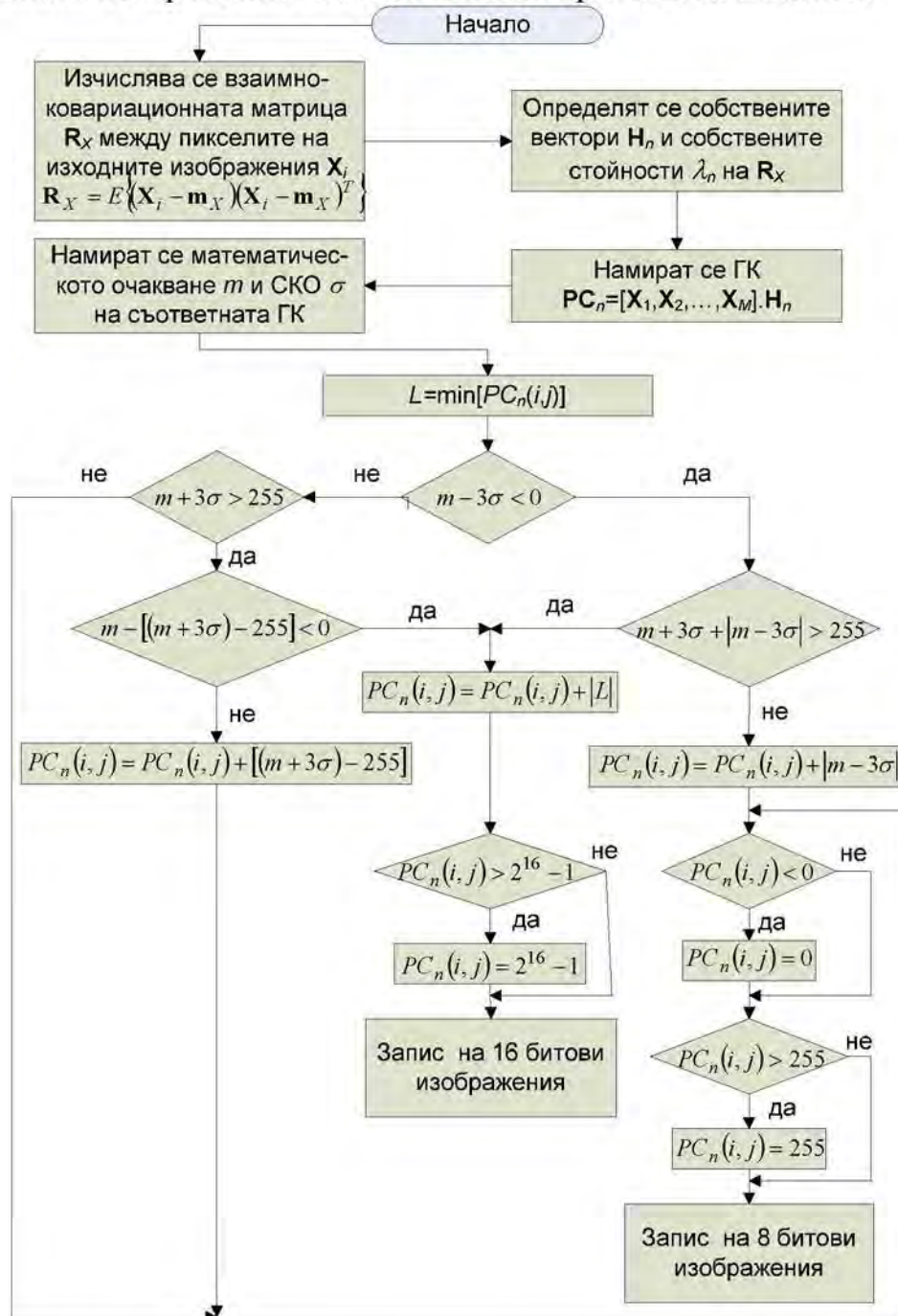
Казано с други думи, за всяко ново изображение се определя набор от теглови коефициенти, които, на свой ред са поставени в съответствие с изходното изображение.

Алгоритъмът за обработка на първичните данни при избор на теглови коефициенти се нарича “метод на главните компоненти” (МГК), а резултатът от неговото прилагане са множества, които се наричат съответно първи (РС-1), втори (РС-2) и т.н. главни компоненти.

Елементите от двойките на вторичните изображения, съответстващи на двойка решения се отнасят между себе си както позитив и негатив. Избирането на някое от изображенията, което по формален признак да се отнесе към позитивното, а друго към негативното е невъзможно, поради което този избор е произволен. Трябва да се отбележи, че от гледна точка на проявата на някои характерни особености на разглеждания кадър, изборът може да се окаже напълно еднозначен. Направените изследвания показват, че удачен критерий за избор на едно от двете решения е математическото очакване m_T на съответното изходно изображение да има положителна стойност.

Разработен е алгоритъм за преобразуване на получените в резултат на обработката изображения, така че всички техни пиксели да имат положителна стойност. Алгоритъмът е разработен и приложен за изходни изображения с 256 нива на яркост (8-битови), но лесно може да бъде адаптиран и за такива с по-голям брой нива. За оценка на разпределението

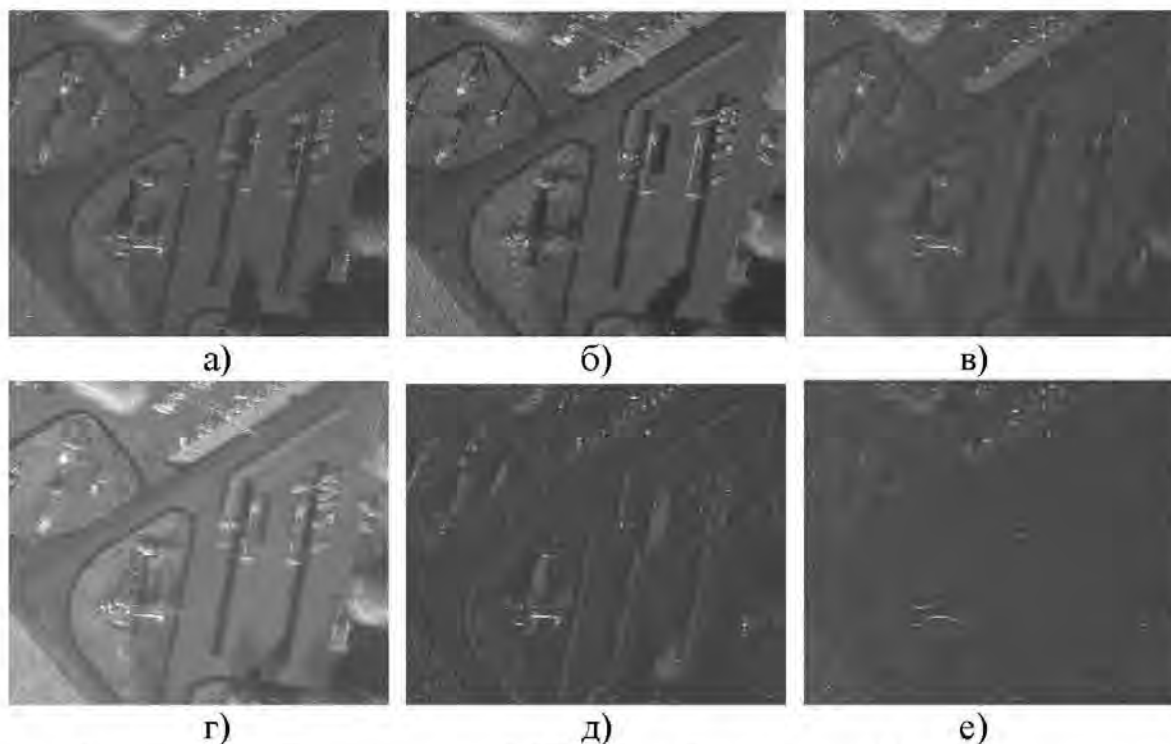
на яркостите на различните пиксели се използват математическото очакване m и средноквадратичното отклонение σ на яркостите в обработеното изображение. Стъпките на алгоритъма са следните:



Фигура 4.17. Модифициран алгоритъм за обработка на изображения, където P_x е пиксел, E_x - математическото очакване, σ - средното квадратично отклонение и L - яркостта.

МГК може да се използва в системите за възпроизвеждане. В случай на силна корелация на данните от различните източници, често основната част от информацията се съдържа в първите три главни компоненти. Тогава е възможно те да бъдат изобразени на дисплея чрез трите цветови канала, при формирането на псевдоцветно изображение. Този метод може да се използва също и за компресиране на данни, което е полезно при тяхната регистрация или предаване, при което се предават само главните компоненти, в които е съсредоточена основната част от информацията. МГК е перспективен при наличие на различия между отделни изображения. Той е приложим при съвместяване на изображенията, получени от различни източници, с различна разделителна способност.

На фигура 4.18 са показани резултатите от прилагане на МГК за обработка на 3 изображения (а, б и в) от термовизионна камера. Преди обработката изображенията са привързани чрез афинно преобразуване.



Фигура 4.18. Прилагане на МГК при обработка на 3 изображения.

От фигурата се вижда, че изображението на първата компонента (фиг. 4.18 г) е с по-високо качество от всяко от трите изходни изображения. Освен това на него и на другите главни компоненти (фиг. 4.18 д, е) някои детайли на изображенията са по-добре видими (това не се забелязва на фиг. 4.18 поради значителното намаляване на размерите на изображенията).

Резултатите от изследванията показват, че МГК е подходящ за анализ на изображения, получени от БОЕК при наличие на база данни от

изображения. Целесъобразността от бъдеща употреба на МГК за откриване и разпознаване на конкретни обекти при обработката на данни от многоканално дистанционно наблюдение прави необходимо създаването и поддържането на база данни от изображения. Тази база данни може да съдържа както оптични, така и изображения термовизионна камера.

4.4. Методика за обработка на получените изображения от БОЕК за анализиране на специализирани задачи

На базата на извършените изследвания и получените резултати е разработена методика, която може да се използва при обработка на изображения, получени от БОЕК. Поради някои особености методиките за оптични и термовизионни изображения са дадени отделно.

Методика за обработка на изображения от телевизионна камера, получени от БОЕК, се състои от следните стъпки:

1. Ако в изображенията има изкривявания се прилагат следните операции:
 - 1.1. При известни параметри на камерата (ФРТ) се използва алгоритъма на Винер-Хопф за възстановяване на изображението.
 - 1.2. При неизвестни параметри на камерата се използва алгоритъма за сляпо възстановяване на изображението.
2. Прилага се адаптивният алгоритъм за повишаване на контраста на изображението.
3. При наличие на база данни с изображения на територията, включена в текущото изображение се изпълняват следните стъпки:
 - 3.1. Извършва се привързване на текущото изображение с тези от базата данни чрез проективно преобразуване.
 - 3.2. Прилага се предложени в глава 4 алгоритъм за реализиране на метода на главните компоненти, като се намират не повече от 3-4 главни компонента (изображения).
4. Извършва се анализ на получените след обработката изображения за осъществяване на мониторинг над заснетата територия.

Методика за обработка на изображения от термовизионна камера, получени от БОЕК, се състои от следните стъпки:

1. Прилага се адаптивният алгоритъм за повишаване на контраста на изображението;
2. При наличие на база данни с изображения на територията, включена в текущото изображение се изпълняват следните стъпки:
 - 2.1. Извършва се привързване на текущото изображение с тези от базата данни чрез афинно преобразуване;
 - 2.2. Прилага се предложени в глава 4 алгоритъм за реализиране на метода на главните компоненти, като се намират не повече от 3-4 главни компонента (изображения);

3. Извършва се анализ на получените след обработката изображения за осъществяване на мониторинг над заснетата територия.

Методиките са разработени за изпълнение от оператор, който взема съответните решения. Като по-нататъшно развитие на проблема може да се разработи и методика при която анализа и обработките да се извършват от автоматизирана система.

4.5. Изводи по четвърта глава

1. Резултатите от изследванията показват, че при наличие на разфокусировка или изкривяване на оптичните изображения в следствие от движението на БЛА, целесъобразно е прилагането на специфичен алгоритъм за корекция и възстановяване на оптично и/или изображения получени от термовизионна камера.

2. Направените изследвания показват, че при изкривявания с известна ФРТ и адитивен бял Гаусов шум най-добри резултати се получават при използване на винерова филтрация за възстановяване на изходното изображение, а при неизвестна ФРТ е целесъобразно използването на итеративния алгоритъм за сляпо възстановяване.

3. Резултатите от изследването на различни алгоритми за повишаване на контраста доказват, че за снимки, получени от борда на БЛА, най-добри резултати се получават при използване на адаптивния алгоритъм.

4. При извършване на привързване е необходимо да се използват различни геометрични преобразувания за оптичните изображения от БЛА. За кадри от телевизионна камера се използва проективно, а за тези от термовизионна камера афинно преобразуване.

5. Използването на предложения алгоритъм на метода на главните компоненти позволява да се получат некорелирани изображения. Това позволява по-добро отделяне на детайлите и измененията върху дадена територия при осъществяване на периодично наблюдение. По-този начин може да се откриват огнища на пожари в труднодостъпни местности, както и да се оценява степента на поражения от природни бедствия и военни операции.

6. Използването на изображения термовизионна камера от БЛА позволява наблюдение през цялото денонощието и при различни метеорологични условия (прах, сняг, мъгла, дъжд и др.).

7. Използването на БОЕК, монтирани на БЛА с цел получаване на изображения на земната повърхност, позволява да се създаде база данни за различни райони, което улеснява последващ анализ на промените настъпващи, както в резултат от човешка дейност, така и от природни бедствия.

НАУЧНО-ПРИЛОЖНИ И ПРИЛОЖНИ ПРИНОСИ

На базата на извършените анализи и реализирани изследвания по обработката изображения чрез прилагане на съответни алгоритми е постигната основната цел на дисертационния труд.

В резултат на извършеният теоретичен разбор и проведените експериментални изследвания могат да се формулират следните научно-приложни и приложни приноси на дисертационния труд:

1. Изследвана е възможността за все по-широкото използване, на територията на страната ни, на безпилотни летателни апарати с монтиран на борда оптико-електронен комплекс, с помощта на който се осигурява решаване на специализирани наблюдателни задачи.

2. Извършен е сравнителен анализ на методите, които могат да бъдат използвани за подобряване на качеството на изображенията, получени от бордови оптико-електронен комплекс на БЛА. Обосновано е прилагането на винеровата филтрация, като високоефективен инструмент за отстраняване на шумовите въздействия върху изображенията.

3. Извършен е сравнителен анализ на методите за подобряване качеството на телевизионните и термовизионни изображения, притежаващи определени деформации. Осъществените експерименти показват, че при неизвестна ФРТ най-ефективен е итеративния алгоритъм за сляпо възстановяване, а при известна функция на разсейване на точките (ФРТ) - винеровият алгоритъм.

4. Направен е анализ за сравняване на различни алгоритми, имащи за цел да повишат контраста на изображения. Резултатите показват, че най-подходящ за оптични и топлинни изображения е адаптивният метод на равномерната хистограма.

5. Разработени са алгоритми на основни геометрични трансформации за привързване на оптични и изображения, получени от термовизионни камери, направени при различни времеви и пространствени базови вектори. Резултатите показват, че при изображения, получени с термовизионни устройства, най-подходяща е афинната трансформация, а за изображения, получени с телевизионни прибори – проективната трансформация.

6. Съставен е алгоритъм, реализиращ „метода на главните компоненти” при възстановяване на множество от оптични или топлинни изображения. В резултат на проведения експеримент са получени некорелирани високо информативни изображения, които потвърждават точността на разработения алгоритъм и неговата приложимост при обработката на изображения с цел повишаване на ефективността на БОЕК.

7. Разработени са отделни методики за оптимална обработка на изображения, получени от оптични и термовизионни средства, с което се увеличава възможността за анализ и оценка на резултатите, получени от наблюдение с БОЕК.

ПУБЛИКАЦИИ ПО ДИСЕРТАЦИЯТА

1. Живо Б. Петров, Бойка П. Муглева, (2017) Методика за оценка ефективността на бордна телевизионна апаратура за безпилотни летателни апарати, Сборник доклади на Юбилейна научна конференция „Съвременни тенденции в авиационното обучение”, Долна Митрополия 2017 г., стр. 191-196, ISBN 978-954-713-110-1.
2. Бойка Пешкова Муглева, (2017) Многоканални оптико-електронни средства за наблюдение и целеуказване, Сборник доклади на Юбилейна научна конференция „Съвременни тенденции в авиационното обучение”, Долна Митрополия 2017 г., стр.186-190, ISBN 978-954-713-110-1.
3. Бойка Пешкова Муглева, (2016) Бордови оптико-електронен комплекс на безпилотен летателен апарат - възможности и приложения, Сборник доклади на Юбилейна научна конференция „Съвременни тенденции в авиационното обучение” Долна Митрополия 2016 г., стр.86-92, ISBN 978-954-713-109-5.