Технически университет — Варна

Росен Петров Спиров

Цифрова обработка на радиолокационни и телевизионни изображения

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т
на дисертация за получаване на
образователна и научна степен „Доктор“

Научен ръководител: доц. д–р инж. Димитър Михайлов Ковачев, ТУ–Варна

Рецензенти:

1. .....
2. .....

Варна, 2013 г.

Дисертационният труд е обсъден на 09.07.2013 г. в катедра „Електронна Техника и Микроелектроника“ и насочен за защита.

Докторантът работи като ръководител на ОУЛ по Електроника от I.2012 г.

Автор: Росен Петров Спиров, rspirov@tu-varna.bg
Заглавие: Цифрова обработка на радиолокационни и телевизионни изображения

Росен Петров Спиров

Цифрова обработка на радиолокационни и телевизионни изображения

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т
на дисертация за получаване на
образователна и научна степен „Доктор“

Дисертационният труд съдържа 121 страници, включително 92 фигури, 15 таблици, и 9 приложения (в отделно тяло 66 страници), и е оформен в 4 глави, общи изводи и списък на използваната литература от 177 заглавия, от които 79 на кирилица и 98 на латиница.

Защитата на дисертационния труд ще се състой на ..... г. от ..... ч. в ..... на открито заседание на жури сформирано със заповед на Ректора № ...../..... г.

Материалите по защитата (дисертацията, рецензиите и становищата) са на разположение на интересуващите се във ФД „Докторанти“, стая 318 НУК.

Характеристика на дисертационния труд

Актуалност на проблема

Цифровите обработки на изображения с различен по природа произход е актуална и динамично развиваща се сфера на научни изследвания.
Апаратно-програмните бордови комплекси за „разширено зрение" (EVS) днес гъвкаво съчетават оптически и електронни методи за цифрови обработки на изображения от различен спектър, което позволява да се създадат високоефективни и достатъчно бързодействащи системи за техническо зрение, обезпечаващи:

- достоверност,
- автоматично откриване и следене на динамични обеки на сложен фон,
- простота на конструкцията,
- надежност при експлоатацията,
- Функциониране в реално време.

В различни сфери на науката и техниката и в много от отраслите на промишлеността има необходимост от създаване на адаптиращи се към изменението на външната осветеност устройства, определящи параметрите на обектите при динамични условия, разположени в среда със сложен динамичен фон и работа в реално време.

Проблем

Процесите на цифрова обработка на изображения в системите за повишена видимост са обвързани с конкретното приложение и липсват достатъчно експериментални изследвания и сравнителен анализ на ефективността на използваните методи и алгоритми,

Увеличаването на пространственото разрешение и подобряването на геометричните характеристики на изображенията са положителни резултати от динамичното съвместяване на радиолокационни, телевизионни и с друга физична природа изображения за получаване на подобрена видимост. Необходимо е методиката за цифрова обработка на изображенията да отразява условията на средата с точна оценка на параметрите на динамичните обекти.
Недостатък на използваните методи е бавната скорост на изменение на осветеността на сцената. Необходим е модел, който да отчита динамиката на условията от заобикалящата среда, случайните и внезапни изменения в яркостта на фона и тяхното влияние им върху качеството на процеса на откриване на динамични обекти и да се отчетат и минимизират загубите при работа на ОЕП.

Специфичната особеност на динамичните изображения е наличието на пространствено-времева корелация в последователните кадри. Необходимо е създаване на бързодействащ алгоритъм за оптимално отделяне на динамични обекти и определяне техните параметри, съчетаващ скоростта на аналоговата и точността на цифровата обработки и възможностите за работа в реално време.

Цели и задачи на изследването

Целта на дисертационния труд е изследването и разработката на модели, алгоритми и системи за цифрова обработка на видео изображения и възможностите за автоматизирано откриване в реално време и сложен фон на динамични обекти и определяне параметрите им на движение.

За изпълнение на поставената цел се дефинират следните задачи:

1. Да се разработи и изследва математичен модел, алгоритъм и методика за цифрова обработка на експериментално получени изображения за определяне параметрите на динамичните обекти, и се дефинират работните условия и ограничения.

2. Да се разработи и реализира конкретно техническо решение на адаптивно оптоелектронно устройство с цифрова обработка на изображенията за работа в реално време.

3. Да се разработи и изследва ТВ система за наблюдение и определяне на параметрите на динамични обекти при сложен фон и динамични смущения.

4. Да се проведат експериментални и стимулационни изследвания, сравнителен анализ и потвърждаване работоспособността на предложените математически модели и алгоритми.

Обект и предмет на изследването

- Предметът на дисертационния труд и обект на дисертационното изследване са методите и алгоритмите за цифрова обработка на телевизионна и радиолокационна информация и изображения с различен по природа произход.
- Прилагане на аналитични и експериментални методи на изследване, математичния апарат на матричната алгебра, статистически анализ на изображения, математическо и схемотехническо моделиране,проектиране на вградени системи за цифрова обработка на изображения.
- Множество експериментални симулации с компютър и FPGA базирани изследователски инструментални развойни среди за изследване и наблюдаване на обекти в динамични условия и цифрова обработка на изображенията.

Средства за постигане целта на дисертационния труд

- Използване на основополагащи теоретични и аналитично-геометрични концепции за синтез и получаване на телевизионни, радиолокационни и с друга физична природа изображения.
- Използване на математическо моделиране на процесите за получаване на двумерно геометрично изображение на обектите на сложен динамичен фон с променлива осветеност и малка отразяваща повърхност, базирано на теорията на цифровата обработка на сигналите, статистически методи за обработка на данни, векторна геометрия.
- Използване на схемотехническо моделиране за изграждане на адаптивни системи, програмно и стимулационно експериментиране, използване на FPGA и ресурсите на Matlab/Simuling, Quartus II /ModelSim, IDL, Orcad10, борда Altera DE2, PAL/NTSC видео камери, VGA монитор, осцилограф др.

Място на изследване

Изследванията са провеждани чрез компютърни симулации и експерименти в Технически университет – Варна, ОУЛ по Електроника и технологичната база на фирма “Delta Enterprices”Ltd -гр.Плевен.

Научна новост на изследването

Научната новост се състои в:

1. Прилагане на нови подходи за анализ, разработване и реализация на методика за адаптация на ОЕ устройство към изменението на външната осветеност, базирана на параметрична адаптация на ФЕП на МФПЗВ, стабилизация на нивото на изходния сигнал на ОЕП и разширяване динамичния диапазон на работа.

2. Разработени са математичен модел и методика, успешно пресъздаващи от една страна модел на изменението на състоянието на обекта с неговата фазова траектория във времето, а от друга страна модел на процеса на измерване на фазовите координати в пространството на състоянието и ефективно определяне параметрите на динамичните обекти при наличие на сложен фон и утежнени условия на работа.

3. Приложена е методика за съкращаване на зоната на търсене. Направено е съчетаване на аналогов подход за откриване на междукадрови разлики с последваща цифрова обработка за отделяне на динамичните обекти в изображението, като е приложена и методика за получаване на висок $К_{сш}$ и техническа реализация с FPGA.

4. Създадена е ТВИС за дълбочинна стереоскопична обработка на изображенията за откриване на динамични обекти и определяне на параметрите им и работа в реално време.

Практическа ценност на изследването

Практическатаценност на изследването се заключава в:

1. Предложени и са изследвани функционални схеми на ТВИС и възможностите за адаптация на оптоелектронното устройството към изменението на външната осветеност.

2. Разработена и изследвана е функционална система за цифрова обработка на изображения за определяне параметрите на динамичните обекти с отчитане сложността на фона.

3. Резултатите от проведените в диссертационната разработка теоретични изследвания са сведени до нивото на инженерни формули и алгоритми, което позволява да се използват при проектиране на различни подобни устройства и като блок за вграждане в системи за определяне на параметрите на динамични обекти с разнообразно предназначение, в това число реализиране на набюдение в транспорта, контрол на процеса на сближаване на авио- и космически апарати, респективно в EVS системите за разширен обзор в авиониката.

4. Представените математичен модел и алгоритми за цифрова обработка на изображения позволяват обединяване на възможностите на програмируемите прибори FPGA с бързодействието и точността на CCD сензорите. Това съществено повишава производителността чрез работа в реално време.

Апробация на изследването

Основните положения и резултати от диссертационната работа са докладвани и дискутирани на национални и международни конференции, издания и форуми:

- XLV International Scientific Conference on Information, Communication and Energy Systems and Technologies ICEST 2010, ,Ohrid, R.Macedonia;
- XLVI International Scientific Conference on Information, Communication and Energy Systems and Technologies ICEST 2011, 29.VI–01.VII.2011, Ниш, Сърбия;
- Конференция на Съюза на Учените-Варна-Месец на науката-Варна 2012, 29- 30 Окт.2012г
- Electromagnetic and Medical Application – CEMA'12, Athens, Greece 2012;
- XXI International Scientific Conference Electronics-ET2012
- IV- Международна научно-техническа конференция "Управление и мехатроника- 2013", 16-21април, Севастопол, Украйна УДК 681.5
- XLVII International Scientific Conference on Information, Communication and Energy Systems and Technologies ICEST 2013, 26–30.VI.2013,Ohrid, R.Macedonia;

Публикации по дисертационния труд — 8 бр

Съдържание на дисертационния труд

Глава 1 Обзор и анализ на проблемите при прилагането на методите за цифрова обработка на радиолокационни и телевизионни изображения за изграждане на работещи в реално време системи с разширен обзор и определяне на параметрите на динамични обекти

Глава 1 е разработена в следната структура:

1.1 Особености и проблематика при прилагане на цифрови обработки на радиолокационни и телевизионни изображения в системи с разширен обзор

А. Получаване на подобрена видимост

Б Съвместяване на радиолокационни с телевизионни изображения

В.Обзорно сравнителни системи за навигация по еталонни карти на месносттаи по релеф

Извод: Особеностите на типовете данни в значителна степен определят избора на алгоритмите за предварителна обработка и разпознаване на изображенията.

1.2. Основни задачи при цифровите обработки на изображения за определяне параметрите на динамични обекти

А. Откриване на динамични области

Б. Класификация на откритите области

В. Определяне на параметрите на динамичните обекти.

1.3. Съвременен подход за откриване на динамични обекти в сцената на наблюдение и определяне на техните параметри

А. Цифровата обработка на изображенията и парадигма на Маар

Б. Основен проблем при откриване на сложни обекти

В. Работа на системата в реално време

Г. Специфична особеност на динамичните изображения.

1.4. Методи за отделяне на динамични обекти в сцената на наблюдение

А. Оптични методи

Б. Електронни методи

Извод: За отделяне на динамичните обекти в поредица изображения е необходим различен подход, съчетаващ двата метода.

1.4.1. Съвременна трактовка на методите, основаващи се на изчисляване на взаимнокорелационна функция при формиране на видео изображението

А. Метод на пълно търсене

Б. Метод на оптично уравняване

В. Комбинирани методи

Извод: За търсене на динамични обекти е необходима методика с различен подход.

1.4.2. Съществуващи проблеми, съпътстващи прилагането на методите за пространствено-времеви обработки на изображението

Съчетаването на аналогова и цифрова обработка на сигнала на изображението е решение, което се явява оптимален способ за изграждане на методика за отделяне на динамичните обекти.

1.4.3. Методи за цифрова обработка на изображения за откриване на динамични обекти в сцената на изображението

Масива на изходното изображение се формира по пътя на дискретно свиване на входното поле и прозоречна функция, представена като балансирана сума от реакциите на нерекурсивен и рекурсивен филтри.

1.5. Подходи при използване на алгоритми и методи за определяне на основните параметрите на динамични обекти в сцената на изображението

А. Определяне на основните параметри на динамичните обекти с 3D координати,

Б. Получаване на параметрите скорост и изминат път

Извод: Необходимо е определяне на координатите и скоростта на преместване на обекта и на центъра на тежестта и сигнала на изображението.

1.6. Проблематика и оценка, свързани с прилагането на методите за определяне на пространствените координати на обекти при динамични условия

1. *Решението за наличие на движение остава нееднозначно и е базирано на разстоянието между ОЕП и сцената и еднозначност с определяне в дълбочина със стереоскопия.*
2. *Установяване на съответствие между едноименни фрагменти*

А. Представяне на двете изображения с модел като нанесени като върху лист гума и с минимум усилия еластично наслагване до максимално съвпадане. Използване на псевдоградиентни алгоритми за съчетаване на неизвестени типове изображения чрез геометрични трансформации.

Б. Използване на кооперативни алгоритми за бинокулярен стереосинтез и изчисляване на диспарантност във всяка точка от изображението, пирамидален алгоритъм.

Идея, модел и предложен алгоритъм:

Съпоставяне на двойката изображения с еластично разтягане и свиване, довеждащо до последователно съвпадане отначало на центровете на масите на целите изображения и в последствие центровете на масите на квадратите, представящи четвърт от изображението, и така до съвпадане на отделните пиксели. Определят се корелационните връзки между елементите на даден блок в кадъра и елементите в зоната на търсене в предходния кадър. Максимум открити връзки е най-доброто съответствие.

1.7. Съвременни устройства за цифрова видео обработка

А. Универсални процесори (УП),

Б. Сигнални процесори (DSP),

В. Устройства за цифрова обработка на сигнали на основата на FPGA

Извод: Всяка една от технологиите има своите достоинства и недостатъци, като всяка е способна в зависимост от конкретното приложение да превъзхожда другите.

1.8 Изводи

1. Увеличаването на пространственото разрешение и подобряването на геометричните характеристики на изображенията са положителни резултати от динамичното съвместяване на радиолокационни, телевизионни и с друга физична природа изображения за получаване на подобрена видимост. Необходимо е методиката за цифровата обработка на изображенията да отразява условията на средата с точна оценка на параметрите на динамичните обекти.
2. Специфичната особеност на динамичните изображения е наличието на пространствено-времева корелация в последователно сменящите се кадри.

Необходимо е създаване на бързодействащ алгоритъм за оптимално отделяне на динамични обекти и определяне техните параметри, съчетаващ скоростта на аналоговата и точността на цифровата обработки.

3. Недостатък на използваните методи е, че при работата им осветеността на сцената остава достатъчно висока и постоянна или се изменя много бавно. Необходимо е да се отчете динамиката на условията от заобикалящата среда върху качеството на процеса на откриване на динамични обекти, влиянието на случайните и внезапни изменения в яркостта на фона и да се отчетат и минимизират загубите при работа на ОЕП.
4. Процесите на цифрова обработка на изображения в системите за повишена видимост са обвързани с конкретното приложение и на практика липсват достатъчно експериментални изследвания и сравнителен анализ на ефективността на използваните алгоритми, което предоставя различни възможности за реализация и съкращаване на изчислителните загуби.

1.9 Цел и задачи на дисертацията

На основание на направените 4 извода от реферираните източници са конкретизирани целта и задачите на дисертацията.

Глава2 Разработване и изследване на математичен модел, алгоритъм и методика за цифрова обработка на експериментално получени изображения и определяне параметрите на динамични обекти, работни условия и ограничения

2.0 Обобщен модел за предаване на видеоинформацията

Важно условие за оценка на всяка ТВИС се явява определяне и съкращаване скоростта на цифровия поток на телевизионния сигнал.

2.1. Определяне на параметрите на обекти при динамични условия

Поставените в дисертационния труд цели, насочват към съчетаване на фундаментални методи за работа, с които от една страна се моделира канала на динамиката, а от друга се моделира канала на наблюдението. Така се осъществява характеризиране на изменението на състоянието на обекта във времето чрез фазовата му траектория и се реализира измерване на фазовите координати.

Изяснени са уравненията, описващи положението на обекта в пространството:

$$a^T(t_0) = \left[x(t_0),\ y(t_0),\ z(t_0)\right]^T \qquad \textbf{(2.1)}$$

движението му и *понятието* ***"уравнение на състоянието на динамичната система"***

$$\frac{da}{dt} = f\left[a, a_u\right] + w(t) \qquad \textbf{(2.2)}$$

За адекватен анализ са формулирани ***Уравнение на измерване:***

$$z_{k+1} = z(t_{k+1}) = h_{k+1}\left|a(t_{k+1})\right| + \eta_{k+1} \qquad \textbf{(2.5)}$$

модел на измерване $$z_{k+1}^{(n)} = H_{k+1}^{(n)} a_{k+1}^{(n)} + \eta_{k+1}^{(n)} \qquad \textbf{(2.7)}$$

модел на движение на динамичния обект $$a(k+1) = P(k+1)a(k) + w(k) \qquad \textbf{(2.8)}$$

$$z(k+1) = H(k+1)a(k+1) + \eta(k+1)k) \qquad \textbf{(2.9)}$$

Създадена е структура на линеаризирано математично описание на линейна система с обратна връзка. По данните на наблюдението, с отчитане на данните за вида на сигнала и характеристиките на шума може да се получи най-добрата по зададен критерий оценка на вектора на параметрите за текущите моменти на

наблюдение. Минимизира се грешката на оценяване $\varepsilon(k)=\hat{a}(k)-a(k)$ **(2.15)**
Обоснован е избора на. Калманов филтър за оптимална оценка $\hat{a}(k+1)$ при $a(0)=\vec{0}$ с $\hat{a}(k+1)=P(k+1)\hat{a}(k)+K(k+1)\left[z(k+1)-P(k+1)H(k+1)\hat{a}(k)\right]$ **(2.16)**

Тегловната матрица е $K(k+1)=V_g(k+1|k)H^T(k+1)\left[H(k+1)V_\varepsilon(k+1|k)H^T(k+1)+V_\eta(k+1)\right]^{-1}$ **(2.17)**
Корелационната матрица, характеризираща случайния процес с грешката на предсказване $\varepsilon(k+1|k)=a(k+1)-\hat{a}(k+1|k)$ е:

$$V_\varepsilon(k+1|k)=P(k+1)V_\varepsilon(k)P^T(k+1)+V_w(k) \quad \textbf{(2.18)}$$

Корелационата матрица, характеризираща случайния процес с грешка на оценката $\varepsilon(k+1|k)=a(k+1)-\hat{a}(k+1|k)$ е:

$$V_\varepsilon(k+1)=\left[E-K(k+1)H(k+1)\right]V_\varepsilon(k+1|k) \quad \textbf{(2.19)}$$

Предложен модел за определяне параметрите на динамичните обекти

А. Задаване стойности на компонентите на вектора на измерване.
Б. Формиране на двумерни стереоизображения на работната сцена
В. Отделяне на фрагменти от кадъра, които съдържат динамични обекти.
Г.Определяне за всеки открит фрагмент съответстващия фрагмент от изображението, получено по другия канал, и изчисляване на стойностите на вектора на измерване.

Предложена е методика за съответствие на получени параметри и обекти

А. Около всяка предсказана оценка на параметрите на обекта се построява клетка с обем V^n
Б. За всеки вектор параметри може да се изчисли попадне вътре $W_i=\sum_{j=1}^{k}\hat{a}^n(k)-a^i(k)$
В. Определя се принадлежността на елементите на вектора към даден ооект
Г. Представяне на изображението на обекта като формален контурен обект (ФКО).
Д. Изчисляване на радиуса на клетката, равен на максималния линеен размер на ФКО.

2.2. Математичен модел на процеса на формиране на изображения с матричен фото-чувствителен прибор с зарядна връзка /МФПЗВ/

Представяне на сцената на изображението, условно разделена на локално еднородни области и математичен модел:

$$f(x,y)=g_0+s(x-x_0,y-y_0)+g(x,y)n(x,y) \quad \textbf{(2.24)}$$

Тук *f(x, y)* описва изменението на яркостта в сцената, а *s(x , y), g(x , y),n(x , y)* описват съответно изображението на обекта, фона и шума. При преход от фона към обекта или от обекта към фона, има скок на яркостта.

Големината на заряда $Q_Д(T)$, натрупан от детектора за натрупване отразява ***експозицията*** на МФПЗВ:

$$Q_Д = E_И S_u K_y \frac{T_n}{T} \quad \textbf{(2.26)}$$

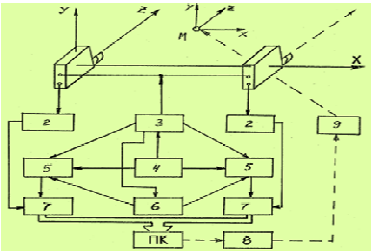
S_u е интегрална чувствителност на МФПЗВ; Ку е коефициента на усилване; T_n е паспортното време за експониране; и T е реалното време за експониране. Сигнала в изхода е: $U(t)=Q(t)+N(t)$ **(2.27)**
, като *Q(t)* е импулсния сигнал с амплитуда U_m, а *N(t)* е смущението. За коректни резултати е необходимо разликите в сигналите от обекта и фона в изхода на МФПЗВ да бъде по-голяма от зададен праг: $\Delta U=U_o-U_ф\geq K_{сш}U_n$ **(2.28)**

Извод: За поддържане на постоянно Uout на МФПЗВ, при изменение на осветеността е трябва а се промени Тп на фотозаряд

$$\Delta U=\Delta E S_u K_y \frac{T_n}{T}=\frac{(\rho_o-\rho_ф)E}{\pi F^2}S_u K_y\frac{T_n}{T} \quad \textbf{(2.29)}$$

Процес на формиране на стереоизображението.

Представено е получаването на координатите на точките, при известно разстоянието между съответсващи координати x_2 и x_1 на изображенията,



Фиг.2.7. Система за автоматично регулиране и насочване

съответно стойностите на базовата линия и фокусното разстояние, получаване на декартовите координати X и Y от изчислените и преобразуваните u,v координати на главната точка и w, h мащаби по x и y.

Структура на ТВ следящи системи

Разгледани са структурата и блоковете на телевизионната измервателна система /ТВИС/ за следене на динамични обекти.

2.3. Представяне на динамичните обекти и определяне на техните параметри

А. Откриване на тримерните координати на обект е автоматично с откриване на спрегнатите точки от изображенията, детектирани с ФКО и получени от двойка ОЕП.

Б. Изчисляване на функцията R_S -количествена оценка за съвпадение на елементите на изображенията при сместване на Fn[x,y] откритите с ФКО обекти така:

$$R_s = \frac{1}{(x_2 - x_1)(y_2 - y_1)} \sum_{i=1}^{x_2 - x_1} \sum_{j=1}^{y_2 - y_1} \left| F''(x_1 + i - 1, y_1 + j - 1) - B(k_s + i, j) \right| \qquad (2.38)$$

В. *Образуване на матрица с мерки за близост и осъществяване на координатно привързване на съответстващи фрагменти чрез описване на откритите ФКО в левия кадър по анализирания фрагмент от десния кадър.*

Предложена е методика за ограничаване на зоната за търсене като:

А. Определя се минималната раздалеченост /диспарантност/ с изчисляване на минимална стойност на k_S, като минимум диспарантност съответства на изображение на обект от безкрайността.

Б. Извършва се попикселно съвместяване на изображенията с изчисляване на R_S, като се опрделя максималната стойност на съвместяване.

В. Определят се тримерните декартови координати на центъра на обекта и търсените елементи на вектора на измерване.

Г. Определят се новите координати на относителните центрове на областите, съдържащи движещи се обекти при постъпването на нов кадър.

Д. Определянето на скоростта v_n на n – тия обект a_n $\quad v_n = \dfrac{a_n - a_{n-1}}{T_k}$ ***(2.41)***

и преместването на обекта $\quad L = \sqrt{(X_2 - X_1)^2 + (Y_2 - Y_1)^2 + (Z_2 - Z_1)^2}$ ***(2.42)***

Извод: Процеса на търсене на спрегнати точки е само върху един отрязък, принадлежащ на епиполярната линия, което намалява вероятността от лъжлива идентификация на фрагменти.

2.4. Методика на отделяне на динамичните обекти

А. Видеопоредицата се представя по кадри $\quad W = \sum_k A_k, k = 0,1,....$ ***(2.43)***

Б. Изображението се представя с дискретна функция на две променливи, а кадъра ***Ak*** от поредицата ***W*** с матрица от стойностите на пикселите.

В. Определя се функцията на принадлежност x_{mn}^{k} на всеки пиксел към динамичния обект или към фона.

2.4.1. Изследване на сцената на изображението и построяване на функцията за принадлежност на пиксела на динамичен обект

Целта на изследването е да пресъздаде процеса на следене на сложни пространствени многотонови динамични обекти върху сложен променлив фон, с непостоянно и нехомогенно изменение на осветеността.

Модела на статистическия пиксел в изображението е: $\hat{x}_{mn}^{k} = x_{mn}^{k} \pm \Delta x$ ***(2.46)***

където $\hat{x}_{mn}^{k}$ е получената стойност на нивото от гамата в сиво за пиксела; а Δx моделира стойността на шума и отчита варирането на осветеността на МФПЗВ, грешката от квантуване и т.н. Интервалната оценка за статистическия пиксел се задава с допустимата дисперсия $\sigma^{Доп}{}_{к}$, Надежността γ е се избира по–голяма от 0.95 и тогава събитието, за което интервала ($-\hat{x}_{mn}^{k}, +\hat{x}_{mn}^{k}$) покрива параметъра x_{mn}^{k}, ще бъде практически достоверно [169].

Функцията за принадлежност на пиксела $x_{mn}{}^{k}$ *на* динамичния обект се определя с евристичен израз [124]: $s_{\min}^{k} = \{1, \min\left|X_{\min} - x_{\min}^{k}\right| > \sigma^{доп}$ и $S^{k}{}_{\min}$ =0 за др ***(2.52)***

X_{min} е *N* –мерен вектор от допустими стойности за пиксела в изображението на фона, формиран от *N* последни стойности за пиксела. *N* характеризира допустимата големина на амплитудата на динамичния фон.

Извод: Като резултат се формира бинарно изображение, носещо информация за динамичните области от реалната сцена на изображението, съответстващи на динамични обекти в полето на кадъра.

2.4.2. Определяне на формалните контури на обекта, алгоритъм

Всеки пространствен индекс m,n на текущия елемент се различава от индексите на елемента, към който се долепя с не повече от ±1. Кода на варианта на свързаност е: $K_{BC} = a.2^{3} + b.2^{2} + c.2^{1} + d.2^{0}$ ***(2.53)***

Алгоритъмът формира масив от данни, съдържащ сведения за броя локални области, като първо от изображението S_k се определя ФКО на кадъра A_k и след това се изчисляват координатите на относителния център на обекта.

2.5. Приложение на преобразованието на Хаар при цифровата обработка на изображения за разпознаването на динамичните обекти.

Преобразованието позволява да се разпознаят репери в изображение с малък контраст. Процеса извършва редуциране на размерността на обекта и фиксира скалата на wavelet трансформацията.

2.6 Изводи

Резултатите от главата са обобщени в 4 извода. За отбелязване са фактите:

1. На база анализа на математичните модели и адаптивни алгоритми изпъква **необходимостта от определяне параметрите на динамичните обекти с описание в пространството**. Това води до разработване на методика за използване и адаптация на МФПЗВ за реализиране на ОЕС.
2. Процеса на формиране на изображението на сцената в декартова координатна система показва **възможност за адаптация на оптоелектронното устройство към изменящата се външна осветеност и автоматично определяне параметрите на обектите**. Необходимо е създаване на алгоритъм за функциониране и формиране архитектурата на устройство за определяне на параметрите на динамичните обекти.

3. Със **съкращаване на размера на зоната на търсене** значително увеличава бързодействието на изчислителната система. Необходима е оптимална методика за отделяне на динамични обекти и определяне техните параметри, базирана на представяне на изображението като случаен процес.
4. Възможността за използване на стерео изображения предоставя по-голяма информативност за елементите на обектите от сцената на **наблюдение в дълбочина** и оценка за пределните стойности на относителната отдалеченост и скоростта на динамичните обекти. Това е предпоставка за разработване на стерео ТВИС.

Глава 3 Разработване на конкретно техническо решение на адаптивно оптоелектронно устройство за определяне параметрите на динамичните обекти на сложен фон и динамични смущения в реално време, изграждане на ТВИС

3.1 Разглежда методика за адаптация на матричен фото-чувствителен прибор със зарядна връзка.

Функционирането на ОЕС налага бърза адаптация на МФПЗВ към изменението на външната осветеност така, че полезната част от видеосигнала винаги да се намира в работния участък от енергийната характеристика на МФПЗВ.

Фиг.3.1 Енергийна характеристика на ФЕП.

Идеята е : Режима на натрупване е способен да компесира част от смущенията $N_{нат}$ и да пренастрои работата на МФПЗВ така, че динамичния диапазон Dф да се премества по линията на енергийната характеристика на идеалния ФЕП.

Към ОЕП се добавя блок за автоматично регулиране на експозицията (АРЕ) и се следва алгоритъма на работа:

А. Регулира се параметъра $t_{нат}$ за стабилизиране амплитудата на Uout на МФПЗВ

Б. Прави се оценка на граничните стойности на времето за натрупване,

В. Адаптира се МФПЗВ като:

$$t_{нат} = \begin{cases} t_{нат-1} + \Delta t, & ако \quad U_{изх} < U_{ОПТ} \\ t_{нат-1} - \Delta t, & ако \quad U_{изх} > U_{ОПТ} \end{cases} \qquad (3.1)$$

Uопт е оптималното напрежение при което $K_{сш}$ клони към максимум е:

$$U_{ОПТ} = \frac{U_{\max} - U_{\min}}{2} \qquad (3.2)$$

Г. Времето за натрупване се разбива на N интервала и на всеки интервал се съпоставя диапазон от напрежения ΔU_N

$$\Delta U_N \in [U_i, U_{i+1}], i = \overline{1, N+1}$$

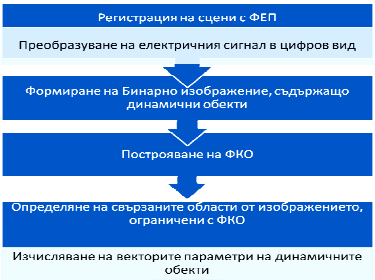
че при попадане на $U_{изх}$ в диапазона се избира времето за натрупване да е такова,че Uизх да попада в диапазона на Uраб. При $U_{изх}$ €[Umin, Umax] процеса на адаптация протича нормално съгл.***(3.2).***

Д. Добавя се блок за АРЕ, съответно:

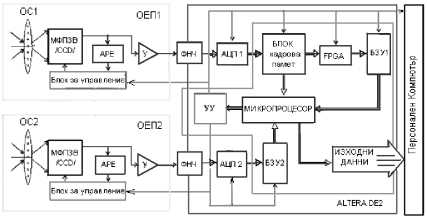
- *АРЕ с последователно приближение,*
- *АРЕ с мигновено приближение.*

3.2. Алгоритъм на функциониране и структура на изчислителната архитектура на устройство за определяне на параметрите на динамичните обекти

На фиг.3.4 е представен алгоритъма, а на фиг.3.5 блоксхемата. От ОЕП видеосигнала се преобразува в цифров вид. От изхода на АЦП 2 кода се записва в буферно запаметяващо устройство (БЗУ2), а от изхода на АЦП1 цифровия сигнал се записва в блока на кадровата памет, запомнящ *N* кадри.

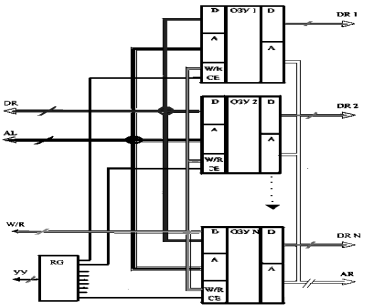


Фиг. 3.4. Алгоритъм

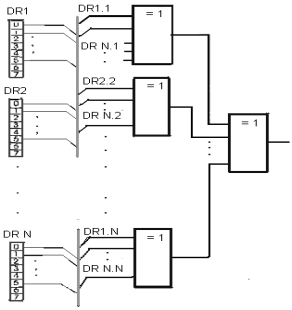


Фиг. 3.5. Стерео ТВИС

За висока скорост на обработка на данните изчисленията са паралелни. Предлаганата реализация включва специална структура на блока кадрова памет, организиран като обособен стек с размер *N* и тип на организация *FIFO* [83,87], като броя клетки в стека е равен на размера на кадъра. Използва се двупортови ОЗУ [62,67] с независимо четене и запис в клетките от масива през двата порта *R* и *L* [130,136]. При 8 разредно квантуване на изображение с размери 640x480 пиксели капацитета е 37.2 К байта. Чрез порта L се осъществява запис на данните от изходите на АЦП и четенето им от микропроцесора за определяне на свързаните области в изображението. Входовете за разрешение CE на порта L са свързани с изходите на преместващ регистър, които съответстват на броя на използваните ОЗУ. Работата на регистъра се конролира от устройство за управление (УУ). През порта L е достъпен за работа само един модул от ОЗУ. Чрез порта R се осъществява четене на данни за формиране на бинарното изображение, което съдържа динамични области от изображението *S(k).* УУ формира AL и AR, различаващи се с единица в младшия разред. Изхода на кадровата памет се представя с *N-1* – мерен вектор с допустимите стойности на пиксела от фона които се формират на базата на N-1 последните стойности и текущата стойност на пиксела в изображението. На всеки компонент от вектора X_{mn} има съответствие на байтовете данни *DR1-DR N-1*, а на текущата стойност на пиксела съответства байт данни DRN от ОЗУ. Задачата за проверка на условието: $\min\left|X_{\min} - x_{\min}^{k}\right| > \sigma^{ДОП}$ е осъществява с FPGA [2,4,13,17,61,93] .За



Фиг.3.6. „Кадрова памет"



Фиг3.7. Логическа структура

всеки компонент на получения вектор с разлики $X_{\min} - x_{\min}^{k}$ е необходимо да се направи проверка на условието X>C, където X и C са осем разредни двоични числа *x7…x0* и *c7…c0,* като *x0 и c0* младшите разреди. От изхода се снема сигнала Q=1 при X>C или Q =0 при X ≤ C. Условието X>C за *n* брой разреди е *:*

$$Q = x_{n-1}\overline{c}_{n-1} + x_{n-2}\overline{c}_{n-2}\,(\overline{x_{n-1} \oplus c_{n-1}}) + x_{n-3}c_{n-3}\,(\overline{x_{n-1} \oplus c_{n-1}})\,(\overline{x_{n-2} \oplus c_{n-2}}) + \ldots \qquad \textbf{(3.8)}$$

$$\ldots + x_0 c_0\,(\overline{x_{n-1} \oplus c_{n-1}})\,(\overline{x_{n-2} \oplus c_{n-2}})\ldots(\overline{x_1 \oplus c_1})$$

След опростяване броя логически произведения $Q=x_{n-1}+x_{n-2}+x_{n-3}+\ldots+x_0$ ***(3.9)***
при кодирането в FPGA е равен на броя на нулите в двоичното число. За паралелната обработка на данни в FPGA трябва да бъдат реализирани *N-1* структури и съединени изходите им с логически елемент *AND.* За целта се прави проверка на $\min\left|X_{\min} - x^{k}_{\min}\right| > \sigma^{ДОП}$ и задача е свежда до откриване на съвпадение на стойностите на компонентите на векторите X_{mn} с еталоните кодове $X_{mn}^{k.}$ за отчитане на допустимите стойности на дисперсията $\delta^{доп}$. Сравняват се 6-те старши разреди от DR. Организацията на изходните данни е :

$$Q = (DR1_5 \oplus DR2_5 \oplus ... \oplus DRN_5) \oplus (DR1_4 \oplus DR2_4 \oplus ... \oplus DRN_4) \oplus ...$$
$$... \oplus (DR1_0 \oplus DR2_0 \oplus ... \oplus DRN_0) \qquad \textbf{(3.11)}$$

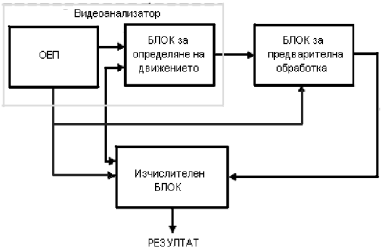
Реализацията с логически елементи формира лог. структура. Изчислителният блок се реализира във FPGA и обработва данните от кадровата памет и ги записва в БЗУ1 с обем 37.5 КВ. Микропроцесора реализира ФКО с алгоритъма, разгледан в глава 2, като цялото време за работа на устройството Ту е:

$$T_У = T_{АЦП} + T_n + T_{FPGA} + T_1 + T_2 \qquad \textbf{(3.12)}$$

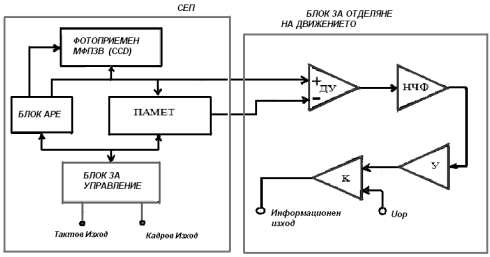
$T_{АЦП}$ е времето на задръжка на АЦП; Tn – е времезадръжка при четене от кадровата памет, T_{FPGA} е времето за обработката с FPGA; T_1 -времето за създаване на ФКО в БЗУ1 включващо предварителна филтрация, запълване на празнини и сегментация; T_2 -време за откриване на съответстващи фрагменти от стереоизображенията и определяне параметрите на динамичните обекти.

3.2.2. Отделяне на динамичните области от изображението. При стойност на параметъра *N* = 1, то процеса на откриване на динамичните области в изображението може да се сведе до: $D(t) = A(t) - A(t-1)$ ***(3.13)***

Динамичното разделяне на областите се получава в резултат на аналогова обработка на сигнала с ОЕП. За целта кадрова памет е еднаква по структура и по брой с елементите на МФПЗВ. Главна задача е намиране на оптимален режим на работа на МФПЗВ и обезпечаване на минимални линейни и нелинейни изкривявания при запазване на динамичния обхват. ОЕП формира 2 последователни видеоимпулси, анонсиращи текущия и предходния кадър на



Фиг.6 Видеоанализатор



Фиг.7 Система с видеоанализатор

изображението. Блока за отделяне на движение сравнява тези видеопоредици и генерира бинарно изображение, което съдържа движещия се обект. ОЕП и блока за отделяне на движението образуват блока на видеоанализатора. Той разделя информацията за обектите и фона, като се определят параметрите на движението. Функционирането на видеоанализатора се пояснява със следващата блок-схема и работата на диференциалния усилвател ДУ и компаратора К. Основен източник на изкривявания на сигнала в запомнящата матрица е входното устройство. За намаляване на нелинейността на двупортовото входно устройство сигнала се записва в МФПЗВ. За грешното отчитане допринася и неравномерността на тока на тъмно на запомнящата матрица, която може значително да бъде намалена с охлаждане на МФПЗВ.

3.3. Методика за определяне пределните граници на отдалеченост и скоростта на динамичен обект

А. Определяне на границите на отдалеченост и скоростта на обекта при динамични условия, като се отчита факта, че зрителното поле зависи от ***ъгъла на наблюдение на ОЕП и относителната отдалеченост*** [127]***:*** $W_0 = 2L - tg\alpha$ ***(3.17)***

W_0 е линейния хоризонтален размер на обекта в равнината на изображението,, L е разстоянието до обекта; α –ъгъл на наблюдение:

$$tg\ \alpha = \frac{W_m^0}{2f} \qquad (3.18)$$

W^0_m е размера на оптическата проекция на наблюдавания обект върху фото чувствителната повърхност на МФПЗВ. От (3.17) и (3.18)

$$L = \frac{W_0 f W_p}{W_m W_p^0} \qquad (3.19)$$

Б. Определяне на ***пределите на измерване на минимално и максимално разстояния:***

$$\frac{W_m^0}{W_m} = \frac{W_p^0}{W_p} \qquad 20)$$

W_p -размер на работната повърхност на МФПЗВ,
W^0_p е размер на пиксела, W_p е размера на пиксела в кадъра.

Минимума възможно разстояние до обекта е при $W^0_p = W_p$,,

$$L = \frac{W_0 f W_p}{W_m W_p^0} \qquad (3.21)$$

Минималната стойност се получава при $W^0_p = 1$.
Минималното и максималното разстояния са:

$$L_{\min} = \frac{W_0 f}{W_m} \quad L_{\max} = \frac{W_0 f W_p}{W_m} \qquad (3.22)$$

В. Максималната скорост на обекта е:

$$v_{\max} = \frac{W_k}{T_c} \qquad (3.23)$$

3.4. Отделяне на динамичен обект в сцената на наблюдение

Качеството на процеса на отделяне на динамичните обекти може да бъде определено с изчисляване на съотношението на нивото на сигнала от обекта към нивото на сигнала от фоновия шум [176,177] така:

$$X = \frac{X_{об} K_{СШ}}{1 + K_{СШ}} + \frac{X_Ц}{1 + K_{СШ}} \qquad (3.29)$$

Извод: С направената обосновка става възможно реализирането на представената идея, че режима на натрупване е способен да компесира част от смущенията $N_{нат}$ и да пренастрои работата на МФПЗВ така, че динамичния диапазон Dф да се премества по линията на енергийната характеристика на идеалния ФЕП.

Предложената методика за определяне на $K_{сш}$ е:

$$\sum_{i=1}^{n} S_X^i = \sum_{j=1}^{m} \hat{x}_{ij} \quad \sum_{i=1}^{m} S_Y^i = \sum_{j=1}^{n} \hat{x}_{ij} \qquad (3.30)$$

1. *Поелементно сумиране на пикселите в ред и стълб*
2. *Построяване на интервал за разбиване на подинтервали с промяна в последователността* $[z_i, z_j + h)$ $i = 1,2,...,q,$ ***(3.31)***

q е броя, а h е дължината на интервалите

$$h = \frac{S_{\max} - S_{\min}}{1 + 3.222 \lg n} \qquad (3.32)$$

S_{max}, S_{min} е най-голямата и най-малката стойности във видеопоредиците S_v или S_x. Ако h е дробно число, то за продължителността на интервала се приема възможно най-близката проста дроб или цяла стойност при: $z_1 \le S_{\min}$ $\quad z_m + h \ge S_{\max}$ ***(3.34)***

3. *Определя се прагова стойност за сигнала S_n. Ако полученото q е нечетно, то* $S_n = z_i + \frac{z_{i+1} - z_i}{2}$ *където i е равно на най-малкото цяло, но по-голямо от q/2 число. Ако q е четно, то $S_n = z_i$, където i е равно на q/2 .*
4. *Определят се средните стойности на сигнала и шума:*

$$S^X_{сигнал} = \frac{1}{K}\sum_{i=1}^{K} S^X \ge S_N \qquad S^X_{шум} = \frac{1}{K}\sum_{i=1}^{K} S^X \ge S_ш \qquad (3.35)$$

К е количеството ненулеви стойности Sx, по- големи или по-малки от Sn. Аналогично се определят стойностите Svшум и Svсигнал.

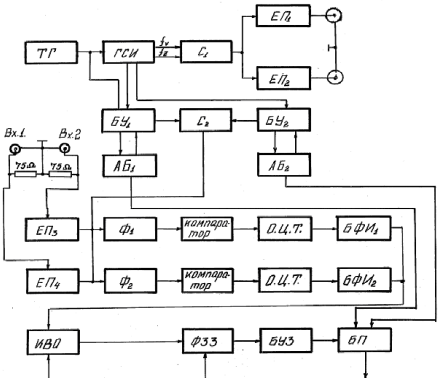
5. *Определя се $K_{сш}$.*

$$K_{СШ} = \frac{K^X_{сш} + K^Y_{сш}}{2} = \frac{1}{2}\left[\frac{S^X_{сигнал}}{S^X_{шум}} + \frac{S^Y_{сигнал}}{S^Y_{шум}}\right] \qquad (3.36)$$

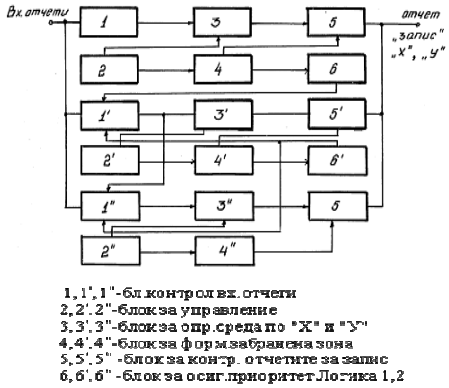
Използването на филтъра на Калман е продиктувано от получаването на най–добрите минимални средно квадратични отклонения в оценката на параметрите и се препоръчва в сравнение с всички други линейни филтри, в това число и за негаусови шумове.

3.5 Проектиране на телевизионна измервателна система (ТВИС).

На основа представената базова схема е синтезирана разширена блокова схема на ТВИС с блок логика за селектиране на динамични обекти.



Фиг.3.18. Разширена блокова схема на ТВИС



Фиг.3.21 Блок логика за селектиране

3.6 Изводи

Резултатите от главата са обобщени в 4 извода.

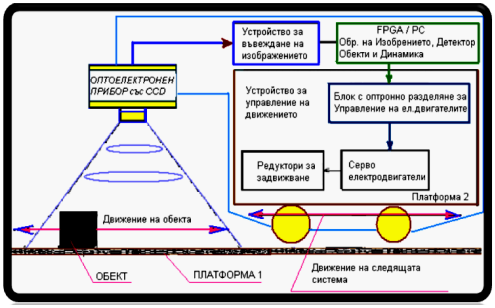
1. **Разработена е методика за бърза адаптация на оптоелектронно** устройство, на основата на регулиране на времето за натрупване на заряд в МФПЗВ води до съществено разширяване на динамичния диапазон на работа на ОЕП и обезпечава изменението на чувствителността на прибора и стабилизира нивото на изходния сигнал при изменение във външната осветеност. На базата на алгоритъм за АРЕ става възможно проектирането на адаптивно оптоелектронно устройство.
2. **Предложено е съчетаване** на аналогов подход за откриване на междукадрови разлики и последваща цифрова обработка на изображението, което ускорява на процеса на качествено отделяне на динамични обекти и е предложена методика за получаване на висок $К_{сш}$ Това е основа за експериментални изследвания.
3. **Представен е алгоритъм за определяне параметрите на динамичните** обекти, базиран на разработена методика за обработка на поредици стереоизображения за получаване на по-голяма информация за елементите на изображението в дълбочина и по-точна оценка на пределните стойности на относителната отдалеченост и скоростта на динамичните обекти. Възможност за реализация на стерео ТВИС.
4. **Моделираните процеси се реализират** от базовите изчислителни модули на системата за цифрова обработка на изображения за откриване на динамични обекти и определяне параметрите им. За ускоряване на бързодействието и работа в реално време решителен фактор е използването ресурса на FPGA технологията.

Глава 4 Експериментални и симулативни изследвания, сравнителен анализ и потвърждаване работоспособността на предложените математически модели и алгоритми

4.1 Експериментална установка, проектирани модули, инструменти

За целите на изследването е създадена експериментална установка и са проведени експерименти като инженерни задачи. Блок-схемата е:

4.1.1. Техническа реализация на базовата експериментална установка

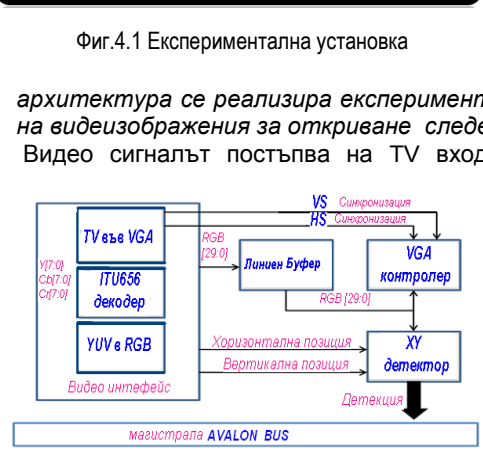


Фиг.4.1 Експериментална установка

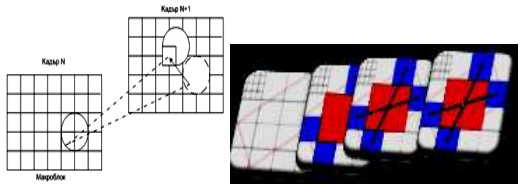
Фиг.4.2 Борд Altera DE2

Това е първата инженерна задача, която с апаратна част от борда Altera DE2 и вградена изчислителна IP архитектура се реализира експерименталната система за цифрова обработка на видеоизображения за откриване следене на динамичните обекти.

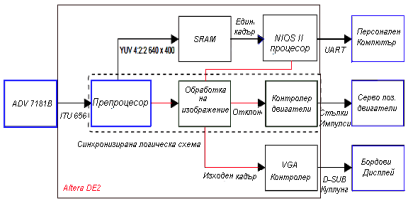
Видео сигналът постъпва на TV входа на борда. Данните за всеки ред от изображението се изпращат в обособен за целта буфер в SRAM. Той се използва от DMA контролер в противотакт на основния процесор а обработка на изображенията , представени в матричен вид. Визуализирането на резултатите от текущата цифрова обработка на изображението става като, съдържанието на буфера се изпраща към VGA контролера на борда DE2 към дисплей. Следвайки предложената методика и математичния модел се извършва. Следва процес на цифрова обработка (2.21) , описваща откритите динамични обекти в равнината на изображението, апроксимирани в минимална правоъгълна област ФКО, координатите на центъра на която стават параметри на обекта $a^n(k)$, от глава3. Следвайки предложения подход всеки входен кадър се разделя на малки блокове, изчислява се броя на пикселите съвпадащи с цвета на целевия обект, чийто център има цвета на обекта, получен от последния кадър. При първия кадър се използва центъра на екрана като център за ориентиране на обекта.



Фиг.4.5 Вход на видеоситемата с Altera DE2

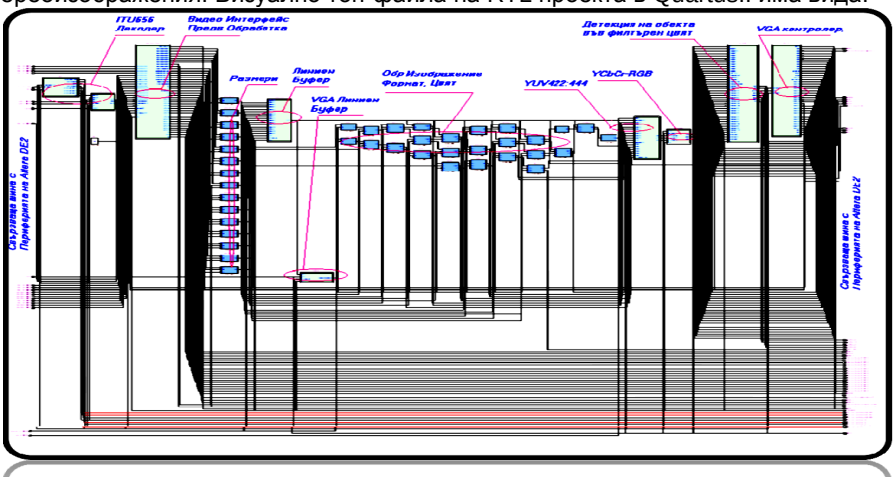


Фиг.4.8 Алгоритъм



Фиг.4.10 Схема на системата за ЦОИ

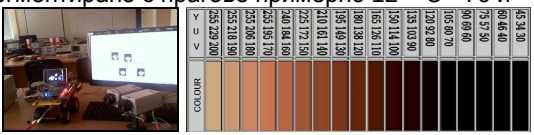
Цифровата обработка на изображенията се реализира на база IP процесора за вграждане NIOS II и мега-функции, като в основния проект DE2_TV е добавен фрагмента “Real-Time Object Detection and Tracking in difficulty environment in Real-Time”. Неговата функция обезпечава задачата за откриване на динамичните обекти и определяне параметрите им. За дълбочинно изследване на изображенията е реализирана ТВИС за получаване и обработка на стереоизображения. Визуално топ-файла на RTL проекта в QuartusII има вида:



Фиг.4.12 MAP архитектура на системата от Quartus II

А. Реализиране и тестване на алгоритъма с пространствено и времево филтриране за откриване на обекти в изображения .

Резултатите от софтуерната (MATLAB) и хардуерната (FPGA) реализации на алгоритъма накрая се сравняват. Процеса на цифровата обработка започва с превръщане на оригиналното изображение в YUV цветови формат. Последва сегментиране на изображението с подходящ базов набор U. Изчисляването на съотношенията Y= (R+2G+B)/4; U=R-G; V=B-G позволява независимо от интензитета на основния цвят да се извърши преобразуване и откриване чрез сегментиране с прагове примерно 12 < U <76 и - 42 < V < 10.



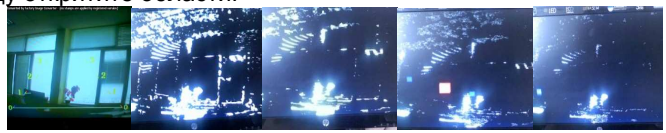
Фиг.4.13 FPGA система и цветови еталони

Покадровата обработка в МАТЛАБ на изображението от следващата фигура на сцена с 3 човека показва ефикасността на алгоритъма, като с праговане на компонентата U се получава бинарно изображение и редово сегментиране на резултата.

Фиг.4.14 Резултати от етапите на обработка с алгоритъма в МАТЛАБ

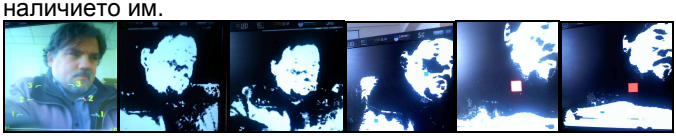
На следващия етап се изчислява центъра на тежестта на обекта и и се открива обекта. Когато пикселите на дадения обект не могат да бъдат свързани, с изчисляване на центъра на тежестта на всички открити пиксели може да даде вярна оценка за местоположението на образа. При наличие на 2 лица се

изчислява и следи един общ център, а не центрите на всяко лице поотделно. Следва да се извърши проверка за принадлежност на съседните за центъра пиксели. При отрицателен резултат, центъра на тежестта се проектира във фона между откритите области.



Фиг.4.16 Откриване на центъра на неподвижен обект и игнориране на светлинните ефекти

Според местоположението на откритият център, кадъра се разделя на две части. За варианта, когато в сцената лица седят един до друг, алгоритъмът извършва отделно изчисляване на центрите за всеки открит регион. Това позволява откриване и на двете лица в кадъра. За проследяване на дадено лице, се строи област с минимален обем *V* около центъра на тежестта. Резултатите показват, че въпреки, че не е в състояние да следи всяко лице поотделно при налични три или повече лица в кадъра, алгоритъма е способен да открива наличието им.



Фиг.4.17 Откриване и следене на движещ се човек в реално време с FPGA

Б. Детектиране и следене на динамичен обект при динамични условия.

Наблюдаваното пространство се обхожда посредством изчисляване на координатите на пикселите от вътрешността на заграждащ правоъгълник. Управляващият FPGA модул извежда модифицирана цветова стойност за всеки текущ пиксел към VGA контролера и дисплея. За *определяне местоположението на обекта в сканираното зрително поле се извършва детектиране на обекта с еталонен филтърен цвят.*

Фиг.4.19. Детектиране и следене на динамичен обект

4.1.2. Експериментални резултати и сравнителен анализ от изследването на динамични обекти и техните параметри

Целта на изследването предполага различни подходи.

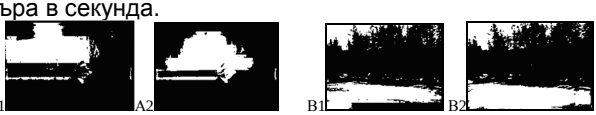
А. Първия изисква априорно познаване на формата на обекта или началното положение на обекта за формиране на множество от признаци и последващо установяване съответствие при преход от кадър към кадър.

Б. Втория се основава на прилагане на метода на изчисляване на оптичен поток, което е двумерно векторно поле от моментни стойности на точките от яркостната полутонова картина на изображението.

С извършване на корелационна обработка се премахва наличието на глобално движение в сцената. За целите на експеримента е приложена комбинирана пространствена, времева и Калманова филтрация. В резултат е получено ефикасно премахване на смущенията, а използването на FPGA осигурява работа в реално време.

С архивни военни видео кадри е осигурено е нужното влошено качество на изображението за пресъздаване на усложнени тежки реални условия на експлоатация и откриване на фрагменти, съдържащи динамични обекти.

Видеопоредици от 100 изображения се записват оперативната памет със скорост 25 кадъра в секунда.



За всяко получено бинарно изображение по предложената методика се изчислява стойността $K_{сш}$.

<u>Извод:</u> От получените резултати, илюстрирани с таблицата ясно се вижда, че разработената методика дава сходни резултати с известни методи при статичен фон, но ги превъзхожда при динамичен фон.

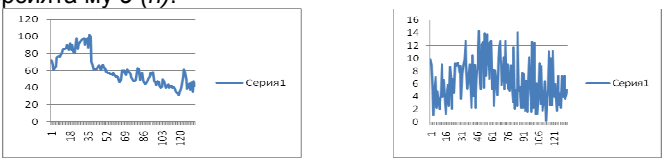
Метод		Отношение сигнал/шум $K_{сш}$		
		Памет, кадрова	статичен фон	динамичен фон
Отделяне с помощта на преобразование на Лаплас		3	2,4	1,5
Времева диференциация	Едностранна	1	1,6	1,2
		2	2,54	1,32
		3	3,7	1,38
		4	4,27	1,7
	Двустранна	3	4,32	1,77
Пространствена диференциация		3	3,92	1,6
Разработена методика с памет		1	1,8	1,31
		2	2,4	1,83
		3	3,71	2,43
		4	4,36	2,97

Таблица 9

<u>Извод:</u> От получените резултати, илюстрирани с таблицата се вижда, че разработената методика дава сходни резултати с известни методи при статичен фон, но ги превъзхожда при динамичен фон.

4.2. Изследване на сцената на изображението и построяване на функцията за принадлежност на пиксела от изображението на динамичния обект.

Целта на задачата е пресъздаване процеса на следене на сложни пространствени многотонови динамични обекти върху сложен динамичен фон, като акцента пада върху непостоянността и нехомогенното изменение на осветеността в анонс с динамиката на околната среда и яркостта на фона. Заснетата дадената сцена е поредица от 50 кадъра. Отчети на минималната и максималната яркости *E(n)* за всеки пиксел в реда на изображението , и дисперсията му *σ (n)*.



фиг.4.24

Изчислената точковата оценка $\hat{x}^k_{mn}$ на неизвестния параметър. Величината $\hat{x}^k_{mn}$ се явява, по силата на своята случайност, само една приближена стойност на параметъра x^k_{mn} .

Надежността γ е прието да се избира по–голяма от 0.95. Тогава събитието, за което интервала ($-\hat{x}^k_{mn}$, $+\hat{x}^k_{mn}$) покрива параметъра x^k_{mn} ще бъде практически достоверно. След определянето на

$$\delta = 2{,}58\frac{\sigma_\chi}{\sqrt{N}}$$

следва да се намери съответстващата таблична стойност за функцията на Лаплас. Така при γ= 0.99, то $\Phi(x_\gamma)$ = 0.495 и следователно: x_γ = 2.58 , а доверителния интервал ще е:

$$(\bar{x}_B - 2{,}58\frac{\sigma_\chi}{\sqrt{N}}, \bar{x}_B + 2{,}58\frac{\sigma_\chi}{\sqrt{N}}) \qquad \Phi(x_\gamma) = \frac{\gamma}{2} \qquad \textbf{(4.1)}$$

Следователно, с вероятност 0,99 може със сигурност да се зключи, че интервала обхваща параметъра m_x. С вероятност 0.99 величината x^k_{mn}

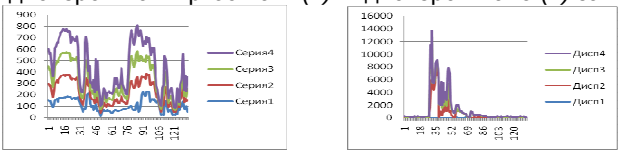
задава стойност за параметъра m_x с точност $\delta = 2{,}58\frac{\sigma_\chi}{\sqrt{N}}$ от експерименталните данни при N=50 се получава $\max(\sigma_\chi)=14$ тогава

$$\delta = 2{,}58\frac{14}{\sqrt{50}} \approx 5{,}1$$

Със закръгляне до по-голямо цяло число, се получава $\sigma = 6$,
или минималната разлика между нивата на яркостите на фона и на динамичния обект, заложени в алгоритъма трябва да е число не по малко от 6.

Анализът на данните показва, че има насищане с пикове, съответстващи на пикселите в контрасната област от изображението, но за разлика от тези на динамичния обект, те са разположени в една и съща локалност.

Тяхното положение не се променя във времето и това може да бъде взето под внимание при последващо отделяне на динамичния обект. Аналогични са пиковете в дисперсията. Яркостта *E(n)* и дисперсията *σ (n)* за всеки ред:



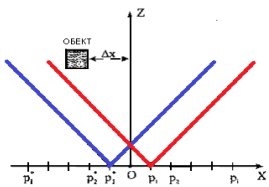
Фиг.4.28

Ширината на лентата на дисперсиите максимуми е $\delta_x > \delta_k^{ДОП}$ и при такива пикове тя е равна на амплитудата на колебанията на фона.

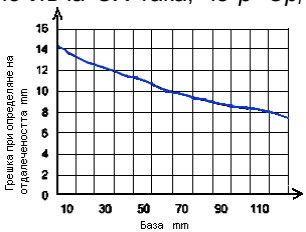
<u>Извод:</u> За наличието на динамичен обект е видно, че дисперсията σ_x, за пикселите от реда ширината на лентата на дисперсионните максимуми $\sigma_x > \sigma_k^{ДОП}$ остава практически една и съща и тя съответства на ширината на динамичния обект в изображението.

4.2.1. Експериментално определяне и анализиране на пространствените координати на обекта

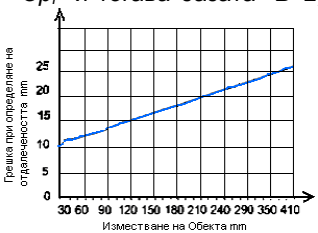
Определянето на пространствените координати на обекта се извършва по схема за формиране на стереоскопични изображения от фиг.4.29 , p_i и p_i* - са положенията на ОЕП по лъча OX така, че $p=Op_i=Op_i$* и тогава базата $B=2p$.



Фиг.4.29



Фиг.4.30



Фиг.4.31

Грешката при определянето на отдалечеността до обекта в зависимост от големината на базата B е показана на фиг.4..30 и зависимостта от отмесването Δx на двата обекта относно оста OZ на фиг.4.31.

4.2.2. Определяне на матрицата на корекция на Калмановия филтър

При начални условия $\hat{x}(0) = m_x(0)$ се задават конкретни стойности на параметрите . Така: *E=[1]*, Vε (0)=100 , *Q=25, R=15*. Тогава :

$$V_\varepsilon(k+1|k) = V_\varepsilon(k) + 25 \; ; \quad K(k+1) = \frac{V_\varepsilon(k)+25}{V_\varepsilon(k)+40} \; ; \quad V_\varepsilon(k+1) = \frac{15.(V_\varepsilon(k)+25)}{V_\varepsilon(k)-40} = 15.K(k+1) \; ;$$

Получени стойности на параметрите на Калмановия филтър:

к	Vt{k + /Nk)	K(к + 1)	V(к + 1)
0		—	100.00
1	125.00	0.893	13.393
2	38.393	0.719	10.786
3	35.786	0.705	10,570
4	35.570	0,703	10.549
5	35.551	0.703	10,549
6	35.549	0.703	10,549
7	35.549	0.703	10,549

Таблица 10

От последните редове на таблицата се вижда наличието на пределни стойности за тези величини. Пределната стойност $\overline{V}_\varepsilon$ е получена в резултат на задаване на стойности на $V_\varepsilon(k)(V_\varepsilon(k)+40)=15V_\varepsilon(k)+375$ Тогава: $\overline{V}_\varepsilon^2+25.\overline{V}_\varepsilon-375=0$

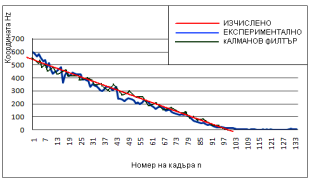
Тъй като $\overline{V}_\varepsilon \geq 0$ се допуска, че има само един корен на това квадратно уравнение., и той е $V_\varepsilon(k+1)=V_\varepsilon(k)=\overline{V}_\varepsilon$ Тогава установеният коефициент на предаване на Калмановия филтър може да се определи така: $\overline{K}=\dfrac{\overline{V}_\varepsilon+25}{\overline{V}_\varepsilon+40}=0{,}703$

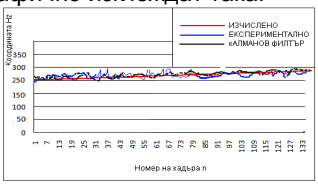
Калмановия филтър се установява в състояние k ≥ 5 и се описва с уравнението: $\hat{x}(k+1)=\hat{x}(k)+0.703(z(k+1)-\hat{x}(k))=0.297\hat{x}(k)+0.703z(k+1)$ ***(4.6)***

Уравнението илюстрира приноса в „новата" оценка $\hat{x}(k+1)$ „старата" оценка $\hat{x}(k)$ и новото измерване $z(k+1)$.

4.2.3. Определяне координатите на относителния център на динамичния обект. Вероятност за откриване на динамични обекти

За поредиците изображения, получени с експерименталната установка, се извършва отделяне на динамичния обект и се определят координатите на неговия относителен център с помоща на алгоритъма, представен в глава 2. Получените експериментални данни се обработват с рекурентен Калманов филтър. Резултатите от определянето на координатите на обекта по посока на оста OX и по посока на оста OY графично изглеждат така:





Фиг.4.32

Отклонението на експерименталните резултатите от изчислените стойности по оста OX, (получени на основата на сравнение с еталон) може да се определят:

$$\Delta x = \frac{1}{K}\sum_{i=1}^{K}\left|x_{експер} - x_{расч}\right| \qquad \textbf{(4.7)}$$

К—брой на измерванията. Аналогично се определя отклонението по оста OY Δy. Зависимостта на грешката при определяне на координатите на центъра на обекта от размерите е представена на фиг4.33,резултатите на фиг.4.34 и таб14.

Фиг.4.33

Вероятност за откриване		Вероятност за пъклива тревога	
статичен фон	динамичен фон	статичен фон	Динамичен фон
0,98	0,98	0,06	0,26

Фиг.4.34

Frame Number	Optical Flow	Kalman Filter
1 Frame	-0.49883	-1
2 Frame	-0.48995	-0.50219
3 Frame	-0.48615	-0.54989
4 Frame	-0.55982	-0.55775
5 Frame	-0.65988	-0.65408
6 Frame	-0.71012	-0.70244
7 Frame	-0.42995	-0.43128
8 Frame	-0.55981	-0.50974
9 Frame	-0.45776	-0.46228
10 Frame	-0.64996	-0.64356

Таб.14

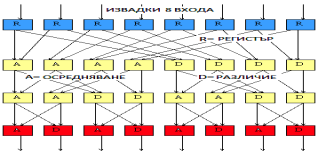
След обработката с филтъра на Калман грешката при определяне на координатите на центъра на обекта е по-малка от 7%.

Направена е оценка на вероятността за откриване на динамичен обект, която е определена като отношение на количеството правилно открити обекти към общото количество кадри в последователността, съдържаща динамичен обект. Направен сравнителен анализ с използване на резултати, получени по метода на изчисляване на оптичен поток с тези, получени при Калманова филтрация . Приложения подход сравнява изчисления с FPGA резултат за пространството на оптичния поток чрез изваждане от съответното пространство, изчислено в средата на Matlab. Отклоненията в стойностите за позициите на пикселите след прилагане на Калманова филтрация и стойностите изчислени по метода на оптичен поток в средата на Matlab са представени в таблицата и графика та, като от анализа се вижда преимуществото на Калмановия филтър.

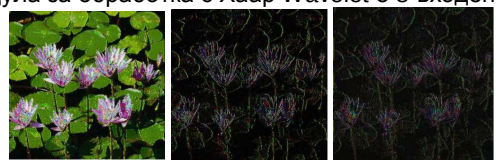
Извод: *Оптичния поток показва добри резултати за детекция и следене при локални движения, но дава голяма грешка при съвместяване на локално с глобално движения.*

4.2.4. Оценяване на параметрите, началните и гранични условия за изследване на обектите.

От направения модел, следвайки принципа на дуалност с прилагане на паралелно съпоставяне са направени два идентични експеримента респективно за Matlab от една страна и за QuartusII от друга. Дизайна на паралелната изчислителна архитектура на модула за обработка с Хаар Wavelet е 8-входен.



Фиг.4.38 Wavelet-структура

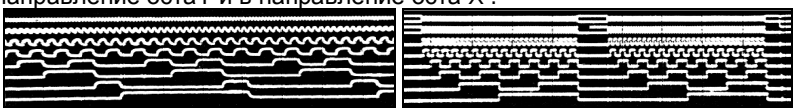


Фиг.4.39 Трансформиране по редове и линии

Получените при изчисленията стойности се явяват инвариантни към произволни поелементни монотонно нарастващи линейни яркостни преобразувания на изображението, които не изменят класа на принадлежност, но могат съществено да изменят разпределението на яркостите в изображението. Така автоматично се получи корекция и подобряване на качеството.

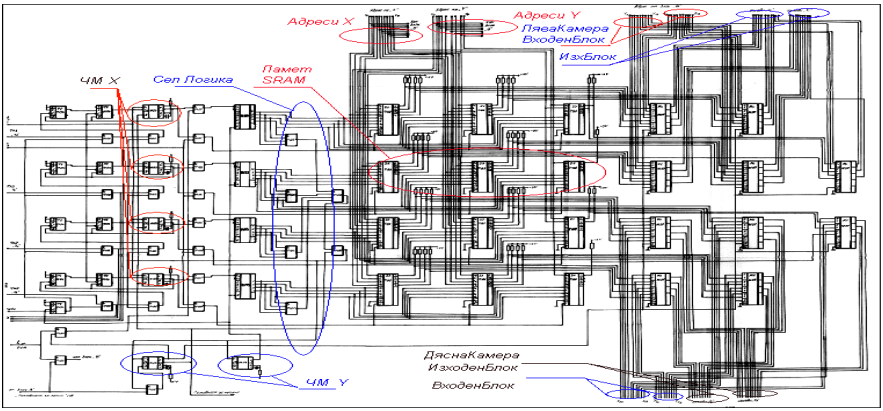
4.3. Техническа релизация и изследване на ТВИС с обработка на стероизображения.

Анализа на работоспособността на ТВИС се потвърждава с положителните резултати, илюстрирани с приложените осцилограми на работа на отделните блокове на ТВИС, снети с помощта на осем-канален комутатор и заснети от екрана на осцилограф. Блоковете на ТВИС функционират правилно с точно сработване по фазите и циклите на управляващите импулси. Фиг.4.34 показава осцилограмите на импулсните поредици в изходите на блока за адресиране по направление остаY и в направление оста X .



Фиг.4.40/41

Осцилограмите на импулсните поредици в изходите на логиката, контролираща режима на запис на отчетите по направления "X"и "У". Следва процес селекция на пикселите за времето на формираната защитна зона, като се забранява постъпването на входящи отчети от другите точки от другия кадър за същия ред. Отчета, запускащ защитна зона, позволява постъпване на входящи отчети и осъществява приоритет. Следва определяне средата на зоните по направление оста X и по оста Y. Следващата схема представя обработващия блок с реализирана двупортова памет.



Фиг.4.45 Схема на обработващия блок с памет

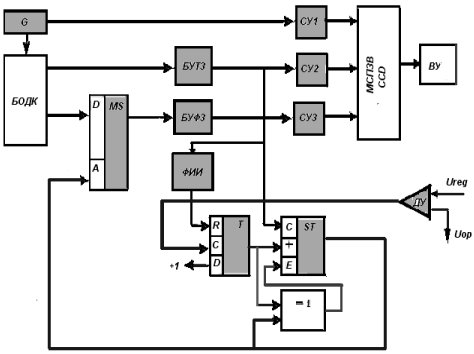
Извод: Получените резултати потвърждават верността на направените предположения със стабилно функциониране на ТВИС.

4.4. Техническа реализация и изследване на устройство за адаптация на фотоелектронния преобразувател

Реализацията акцентува върху:

❖ ***Автоматично регулиране на експозицията по метода на последователното приближение*** Блокът АРЕ съдържа:

генератор на тактови импулси (G),
блок за отчитане дължината на кадъра (БОДК),
мултиплексор (MS),
реверсивен брояч (ST),
елемент ИЗКЛЮЧВАЩО ИЛИ
блок за управление и разрешаване на портове (БУРП),
блок за управление на фотопорта (ЕУФП),
D-тригер, съгласуващи усилватели (СУ1-СУ3),
формирователи на импулс за изчистване (ФИИ),
МФПЗВ, видеоусилвател (ВУ),
детектор на ниво (ДН).

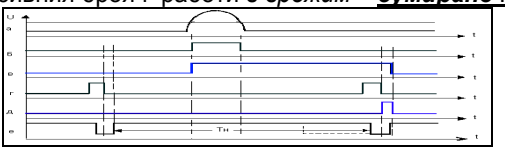


Фиг.4.46 Функционална схема на блока АРЕ

Реализация на Устройството за стабилизация на амплитудата на видеосигнала

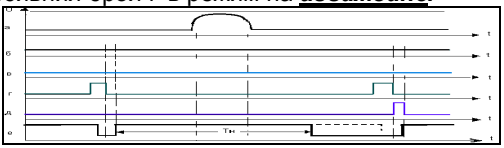
Управлението на амплитудата на видеосигнала се осъществява с изменение на времето за натрупване на фотозаряд Тн във фоточувствителната секция на МФПЗВ. Блокът за отчитане на продължителността на редовете формира импулсни поредици, съответстващи на различните времена за натрупване, които се комутират от мултиплексора на блока за управление на фотопорта. С промяна на кода в изходите на реверсивния брояч, свързани с адресните входове на мултиплексора се получава регулиране на момента на опяване на импулс за край на кадъра. С мултиплексора се осъществява комутация, като появата на импулс за край на кадъра става при смяна на кода в изхода на реверсивния брояч. Така се осъществява регулиране на времето на натрупване на фотозаряд Тн и регулиране на амплитудите на видеосигнала.

<u>Случай 1</u> - амплитудата на видеосигнала превишава зададено ниво на опорния сигнал U_{on} . Реверсивния брояч работи *в врежим* – ***<u>сумиране</u>*** :



Фиг.4.47

<u>Случай 2</u> - амплитудата на видеосигнала не превишава зададеното ниво U0 детектора на ниво не сработва и D-тригера остава в изходно състояние, *установява* реверсивния брояч в режим на ***<u>изваждане</u>.***

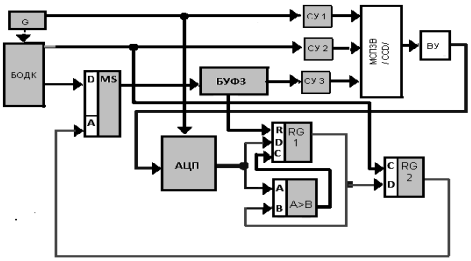


Фиг.4.48

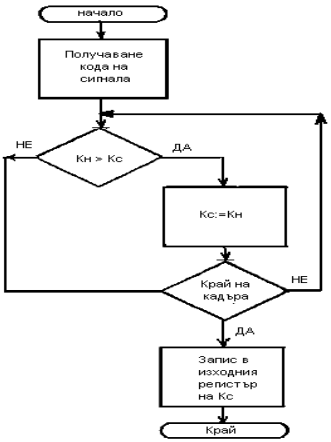
<u>Извод:</u> *Промяната на кода в изхода на реверсивния брояч означава, че мултиплексора осъществява комутация и в изхода му се появява импулсна поредица, пропорционална на намаленото време за натрупване . Съкращаването на времето за натрупване на фотозаряд Тн в МФПЗВ (CCD), довежда до намаляване на амплитудите на видеосигнала в неговия изход. Респективно - увеличаването на времето на натрупване на фотозаряд Тн в секцията за натрупване довежда до увеличаване на амплитудите на видеосигнала в неговия изход.*

В предложеното АРЕ амплитудата на видеосигнала се сравнява допълнително с определен праг, показващ отсътствие на зона на нечувствителност. Между амплитудата на видеосигнала и зададеното ниво се осъществява динамично равновесие, позволявашо постоянно поддържане на съотношението сигнал/шум.

❖ ***Автоматично регулиране на експозицията по метода на мигновенното приближение.***

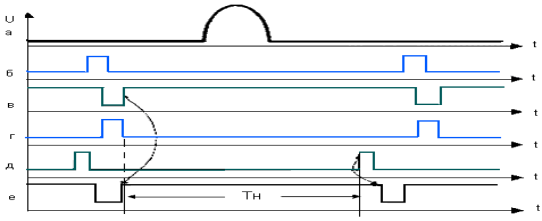


Фиг.4.49 Функционална схема на блока АРЕ



Фиг.4.50 Алгоритъм

Управлението на амплитудата на видеосигнала се осъществява с изменение на времето за натрупване на фотозаряд Тн във МФПЗВ. Блокът за отчитане на дължината на кадъра формира импулсни поредици, пропорционални на различните времена на натрупване, които се комутират от мултиплексора на блока за управление на фотопорта. Чрез изменение на кода в изхода на втория регистър се отварят адресните входове на мултиплексора и настъпва край на кадъра. Така с промяна на кода в изхода на втория регистър се осъществява регулиране на времето за натрупване на фотозаряд Тн и съответно се коригира амплитудата на видеосигнала.



Фиг.4.51АРЕ с мигновено приближение

В момента на подаване на импулс от изхода на блока за разрешение надостъпа до порта, на тактовия вход на втория регистър постъпва импулс (фиг. 4,45б) и по предния му фронт в порта се извършва запис на максималния код. С пристигането на импулс от втория изход наБУ на фотопорта се разрершава работата на първия регистър (в). Импулса от изхода на БУ за управление на фотопорта (г) е инверсен. Настъпва нулиране на първия регистър по преден фронт и се стартира процеса на търсене на максимален код, съответстващ на максимална стойност на амплитудата на видеосигнала за време на следвашия кадър. Получения код се комутира от мултиплексора и в изхода на мултиплексора се появява импулсна поредица, съответстваща на времето за натрупване на заряд в МФПЗВ.

4.5 Изводи

Резултатите от глава 4 са обобщени в 5 извода.

1. **Постигнато е съществено разширяване на динамичния диапазон** на работа на ОЕП чрез регулиране на времето за натрупване на заряд в МФПЗВ, с което се обезпечава изменение на чувствителността и се стабилизира нивото на изходния сигнал на прибора при изменение на външната осветеност.
2. **Постигната е висока вероятност за откриване на обекти** при динамичен фон от 0.98 и ниска вероятност за лъжлива тревога 0.26 за динамичен и 0.06 за статичен фон в резултат от обединяването на пространствена с времева филтрация е постигнато ефикасно премахване на смущенията.
3. **Получено е потвърждение за превъзходството на разработените математични модели, методики и алгоритми** за цифрова обработка на изображения за откриване на динамични обекти спрямо известните методи в условията на динамичен фон и сходни резултати при статичен фон при анализа на получените експериментални резултати.
4. **Реализирано е анализиране на сцената на наблюдение в дълбочина** със стереоскопични изображения, позволяващо точно определяне координатите на обектите в пространството, което една от насоките за бъдещи изследвания.
5. **Получено е потвърждаване правилността на направените теоретични предположения** с проведените експериментални и симулативни изследвания. От сравнителния анализ може да се направи заключение, че с предложените методика и алгоритми се постига висока ефективност и надеждност в процеса на откриване на динамични обекти в сцената наблюдение и определяне на техните параметри в процеса на работа.

Основни изводи и приложения за практиката

Дисертационният труд представя възможности за практическо прилагане на избрани аналитични и експериментални методи за изследвания, използване математичния апарат на матричната алгебра, статистическия анализ на изображенията, математическо и схемотехническо моделиране, симулации с помоща на компютър и FPGA базирана изследователска САП QUARTUS II и средата на Matlab за изследване и реализиране на процесите на цифрова обработка на изображенията и отделяне на динамични обекти в реално време.

Поставената цел и задачи на докторантурата са изпълнени, като постигнатите

резултати могат да се обобщят в следните направления:

1. Направен е Обзор и са анализирани проблемите при прилагане на съществуващите решения, особеностите и методите за изграждане на адаптивни опто-електронни системи за обработки на изображения с динамични обекти и моделиране на процесите на обработка на видеоинформацията.
2. Разработени са и са изследвани математичен модел, алгоритъм и методики за цифрова обработка на експериментално получени изображения за определяне параметрите на динамичните обекти, и се дефинират работните условия и ограничения.
3. Реализирани и изследвано е конкретно техническо решение на адаптивно оптоелектронно устройство с цифрова обработка на изображенията за работа в реално време.
4. Разработена и изследвана е ТВИС за наблюдение и определяне на параметрите на динамични обекти при сложен фон и динамични смущения.
5. Проведени са експериментални и симулационни изследвания, сравнителен анализ потвърждават работоспособността на предложените математически модели и алгоритми.

Основните резултати с приносен характер и приложими в практиката са:

Приноси на дисертационния труд

Научни приноси

1. Разработена е методика за адаптация на оптоелектронното устройство към изменението на външната осветеност, базирана на параметрична адаптация на фотоелектронния преобразувател на многоелементния фоточувствителен прибор със зарядна връзка. По този начин се обезпечава стабилизацията на нивото на изходния сигнал на оптоелектронния прибор за времето на кадъра и се разширява динамичния диапазон на работа на устройството.
2. Разработени са методика и математичен модел, успешно пресъздаващ от една страна изменението на състоянието на обекта с неговата фазова траектория във времето, а от друга страна моделиращ процеса на измерване на фазовите координати в пространството на състоянието. Това позволява ефективно описание на процеса на определяне на параметрите на динамичните обекти.
3. Предложено е съчетаване на аналогов подход за откриване на междукадрови разлики и последваща цифрова обработка на изображението, което ускорява на процеса на качествено отделяне на динамични обекти и е предложена методика за получаване на висок $К_{сш}$. Със съкращаване на размера на зоната на търсене значително увеличава бързодействието на изчислителната система.
4. Създадените алгоритми и методика за цифрова обработка на изображенията обезпечават дълбочинна стереоскопична обработка на кадрите от ТВИС, определяне на параметрите на динамичните обекти при наличие на сложен фон и утежнени условия на работа.

Приложни приноси

1. Представените математичен модел и алгоритми за цифрова обработка на изображения позволяват обединяване на възможностите на програмируемите прибори FPGA с бързодействието и точността на CCD сензорите. Това съществено повишава производителността чрез работа в реално време.
2. Предложени и са изследвани функционални схеми на ТВИС и адаптация на оптоелектронното устройството към изменението на външната

осветеност.

3. Разработена и изследвана е функционалността на цифровата система за обработка на изображения за определяне на параметрите на динамични обекти с отчитане сложността на фона.

4. Резултатите от проведените в диссертационната разработка теоретични изследвания са сведени до нивото на инженерни формули и алгоритми, което позволява да се използват при проектиране на различни подобни устройства и като блок за вграждане в системи за определяне на параметрите на динамични обекти с разнообразно предназначение, в това число реализиране на набюдение в транспорта, контрол на процеса на сближаване на авио- и космически апарати, респективно в EVS системите за разширен обзор в авиониката.

Публикации по дисертационния труд

[1] Spirov R. – Algorithm for mage Recognition on FPGA, XLV International Scientific Conference on Information, Communication and Energy Systems and Technology ICEST2010, 23-26 June, Ohrid, Macedonia, 2010.

[2] Spirov R, D. Kovachev - Algorithm for Object Recognition and Tracking on FPGA, International Cientific Conference on Information, Communication and Energy Systems and Technology ICEST2011 Nis, Serbia, 2011.

[3] Спиров Р, П. Цанов, Н. Гранчарова – Адаптивна система за цифрови обработки на изображения и определяне параметрите на динамични обекти в реално време „Месец на Науката-Варна 2012”, Съюз на Учените Варна, 26.10.2012г, ISSN 1310-5833.

[4] Spirov R, P. Tzanov, N. Grancharova - Adaptive FPGA System of Recognition Dynamic Objects, Annual Journal of Electronics, 2012, ISSN 1314-0078.

[5] Спиров Р, Н. Грънчарова, А. Ангелов - Адаптиране на ОЕП на стерео ТВИС, Юбилейна Научна Международна Конференция 50 години ЕТЕТ 2013, 4-5 Октомври 2013, ТУ-Варна,

[6] Спиров Р, Л. Алексиев, П. Цанов - „Телевизионная стерео система для обнаружения и слежения динамических объектов”, Севастополь, 14-21апр.2013, УДК 004.383.3: 681.51.

[7] Спиров Р, Л. Алексиев, П. Парушев, „Стерео телевизионна измервателна система за откриване и следене на динамични обекти”, 30май-07 юни2013, ТУ-Варна, Межнародная конференция качества обучения и технологии, ISSN 978-966-2637-18-2.

[8] Spirov R, N. Grancharova, “Practical Object Tracking System on FPGA”, International Scientific Conference of Electrical and Telecommunication Technologies ISEST 2013, 26-29 June Ohrid, R.Macedonia.

Abstract

This dissertation thesis presents possibilities for practical application of selected analytical and experimental research methods with use of the mathematical framework of matrix algebra, statistical image analysis, mathematical and circuit design modeling. A method is developed for fast adaptation of an opto-electronic device based on adjusting the charge accumulation time. The proposed models are implemented through the VHDL and Verilog hardware description languages; C++ program fragments are used for the interface. It is important to note that the created models are designed and synthesized in only one FPGA. The practically created system realizes the processes of digital image processing, separating dynamical objects from a complicated background, determining their parameters and positioning.

Резюме на русском языке

Диссертационный труд предоставляеть возможность для практических приложениях выбраных аналитических и експерименталных методов для изследовании с изпользовании математической рамки матричной алгебры, статистический анализ изображении, математического и схемотехнического моделирования. Разработан метод быстрой адаптации опто-електронного устройства на основе регулировании времени накоплении заряда. Предложеные модели имплементированые посредством языков хардуерного описания VHDL и Verilog; изпользованых програмных фрагментов C++ для интерфейсов. Важно отметить, что созданные модели проектированы и синтезированы в одном единственном FPGA. Практиком созданная система реализирует процессы цифровой обработки изображении, выделении динамических обьектов из сложного фона, определении их параметров и позиционировании.

Съдържание

Характеристика на дисертационния труд 1
Актуалност на проблема 1
Проблем 1
Цели и задачи на изследването 2
Обект и предмет на изследването 2
Средства за постигане целта на дисертационния труд. 3
Място на изследване 3
Научна новост на изследването 3
Практическа ценност на изследването 4
Апробация на изследването 4
Публикации по дисертационния труд — 8 бр. 4

Съдържание на дисертационния труд 5
Глава 1 5
Глава 2 7
Глава 3 11
Глава 4 15
Основни изводи и приложения за практиката 25
Приноси на дисертационния труд 26
Научни приноси 26
Приложни приноси 26
Публикации по дисертационния труд 26
Abstract (Резюме на английски език) 27
Резюме на русском языке (Резюме на руски език) 27