

ТЕХНИЧЕСКИ УНИВЕРСИТЕТ - ВАРНА

маг. инж. Борис Николаев Николов

**ИЗСЛЕДВАНЕ НА АЛГОРИТМИ ЗА ДЕТЕКТИРАНЕ НА
ДВИЖЕНИЕ В ПОДВИЖНИ 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. Николай Т. Костов

Рецензенти:

1.

2.

Варна, 2015г.

**Дисертационният труд е обсъден на 07.04.2015 г. в катедра
“Комуникационна техника и технологии” и насочен за защита.**

**Докторантът работи в катедра “ Комуникационна техника и
технологии”.**

ТЕХНИЧЕСКИ УНИВЕРСИТЕТ - ВАРНА

маг. инж. Борис Николаев Николов

**ИЗСЛЕДВАНЕ НА АЛГОРИТМИ ЗА ДЕТЕКТИРАНЕ НА
ДВИЖЕНИЕ В ПОДВИЖНИ ИЗОБРАЖЕНИЯ**

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

**на дисертация за получаване на образователна и
научна степен “ДОКТОР”**

Варна, 2015г.

Дисертационният труд съдържа 159 страници, включително 104 фигури, 4 таблици и 3 приложения, оформени в 4 глави, общи изводи и списък на използваната литература от 133 заглавия, от които 13 на кирилица и 120 на латиница.

Защитата на дисертационния труд ще се състои 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.

АКТУАЛНОСТ НА ПРОБЛЕМА

Детектирането на движение в подвижни изображения е необходимо в съвременните системи за автоматизирано видео наблюдение на хора, трафик, и специфични процеси. Нарастващият брой видео камери е предпоставка за огромен поток от визуална информация, която трябва обработена чрез извличане само на полезните данни – тези на подвижните обекти.

В зависимост от обектите на наблюдение и условията на заснемане пред методите за детекция на движение се поставят разнообразни проблеми за решаване: динамичен фон, временно спиращи движението си обекти, непостоянно осветление, шум в картината и др. Въпреки напредъка и сложността на най-съвременните алгоритми за детекция, споменатите горе проблеми остават нерешени докрай.

Основния принос на разработката се изразява в разработването на модели за оценка качествените показатели на различни методи за детекция на движение. Анализ на влиянието на техните параметри върху качествените им показатели, при разнообразни условия на наблюдение и предложение за два нови варианта на алгоритъм за фоново изваждане.

Във връзка с поставената проблематика предмет на дисертационния труд ще бъдат методи и алгоритми за детекция на подвижни обекти във видео изображения.

Цел на дисертационния труд е изследване и оценка на различни алгоритми за детекция на движение в подвижни изображения при специфични условия на наблюдение и подобряване на качествените характеристики на отделни изчислително ефективни методи за детекция на движение.

ПРЕДМЕТ И ОБЕКТ НА ИЗСЛЕДВАНЕТО

В настоящия дисертационен труд са разгледани и анализирани методи и алгоритми за детекция на движение в подвижни изображения, което обуславя основния обект на настоящото изследване. От поставените проблеми се обуславя търсенето на подобрени алгоритми за детектиране на движение при условия затрудняващи разграничаването на подвижни обекти от фоните, както и анализ на свойствата на някои методи при разнообразни условия на наблюдение.

МЯСТО НА ИЗСЛЕДВАНЕТО

Изследванията в дисертационния труд са теоретични, аналитични и

експериментални. Изследванията са извършени в Технически Университет – Варна, като в основната си част са извършени в лаборатория по „Видео технологии“ към катедра ”КТТ”.

ЦЕЛ НА ИЗСЛЕДВАНЕТО

Цел на дисертационния труд е изследване и оценка на различни алгоритми за детекция на движение в подвижни изображения при специфични условия на наблюдение и подобряване на качествените характеристики на отделни изчислително ефективни методи за детекция на движение.

ЗАДАЧИ НА ИЗСЛЕДВАНЕТО

Във връзка с поставената цел се дефинират следните задачи:

Задача 1. Разработване на математични модели за експериментално изследване и оценка на алгоритми за детекция на движение в подвижни изображения.

Задача 2. Изследване и оценка на различни тип методи за детекция на движение при нормални и специфични условия на наблюдение.

Задача 3. Изследване и оценка на процеса на детектиране на движение при понижено качество на изображението.

Задача 4. Разработване на математичен модел и алгоритъм за оценка времето на адаптация при рязка промяна в осветеността на наблюдаваната сцена.

Задача 5. Разработване и изследване на подобрен метод за детекция на движение в подвижни изображения основаващ се на принципа на фоновото изваждане и достатъчно ефективен в изчислително отношение.

МЕТОДИ НА ИЗСЛЕДВАНЕ

При осъществяване на целта на дисертационния труд са използвани: математически анализ, компютърна реализация на алгоритми за детекция върху реално заснети видео записи, математически софтуер – MATLAB.

НАУЧНА НОВОСТ НА ИЗСЛЕДВАНЕТО

Предложен е математически модел на система за изследване и оценка на качествените показатели на различни методи за детекция на движение в подвижни изображения. Той може да бъде използван за бъдещи научни изследвания на нови алгоритми и методи за детекция.

Изследвано и анализирано е влиянието на параметрите на четири метода за детекция на движение, върху качеството на детекция на подвижни обекти. Резултатите могат да бъдат използвани при настройка параметрите на интелигентни системи за видеонаблюдение.

Предложен е математичен модел и алгоритъм за изследване на времето за реакция при промяна на нивото на осветеността на различни методи за детекция на движение в подвижни изображения. Този модел може да бъде използван за бъдеща оценка на инертността на нови алгоритми и методи за детекция.

Предложен и изследван е вариант на метода на фоново осредняване във времето, (Вариант А) използващ адаптивна скорост на опресняване на фоновия модел. Това позволява по-бърза адаптация на алгоритъма към внезапни промени в осветлението и др.

Предложен и изследван е вариант на метода на фоново осредняване във времето, (Вариант Б) използващ адаптивен праг на чувствителност в комбинация с адаптивна скорост на опресняване на фоновия модел. Изследванията показват, че този вариант е изключително устойчив при динамичен фон.

Разработките имат научно-приложен и приложен характер, доказани чрез публикуването им в редица списания и научни форуми.

ПРАКТИЧЕСКА ЦЕННОСТ НА ИЗСЛЕДВАНЕТО

Разработените модели за оценка на качествените показатели на методи за детекция на движение могат директно да бъдат прилагани при бъдещи научни изследвания на разнообразни алгоритми за детектиране на движение. Предложените варианти на алгоритъма за фоново изваждане са с опростен програмен код и могат успешно да бъдат вградени в системи за детектиране на движение с неголеми изчислителни ресурси.

АПРОБАЦИЯ НА ИЗСЛЕДВАНЕТО

По темата на дисертационния труд авторът има три самостоятелни публикации и пет в съавторство.

СТРУКТУРА И ОБЕМ НА ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД

Дисертационният труд съдържа 159 страници, включително 104 фигури, 4 таблици, оформени в 4 глави, общи изводи и списък на използваната литература от 133 заглавия, от които 13 на кирилица и 120 на латиница, 3 приложения с обем 21 страници.

Извършен е преглед и анализ на теоретичните и експериментални изследвания в областта на детекцията на движение в подвижни изображения, на основните методи за формиране на преден план на видео изображения и е направена класификация. Разгледани са различни величини дефиниращи качеството на детекция на движение. Направена е оценка на основните предимства и недостатъци на методите за детекция, на нерешените проблеми, в резултат на което са формулирани целта и задачите на дисертационния труд.

Обобщения и изводи

От направения литературен обзор и сравнителни анализи може да се обобщи, че въпреки съществените разлики в алгоритмите за детекция на движение в подвижни изображения са различни пред тях стоят общи проблеми.

Един от основните проблеми се явява трудното разграничаване на подвижните обекти от слабите движения във фоновата картина – разлюлени клони, участващи от водни басейни, трептене на камерата, корекция на авто-фокуса и др.

Непостоянно осветление на сцената на наблюдение е фактор влияещ пряко на нивото на яркостта на всички пиксели от картината – независимо дали принадлежат на подвижни обекти или фонов модел. Повечето методи за детекция на движение използват информацията на яркостния сигнал и в резултат, налице е високо ниво на грешно детектирани пиксели.

Проблем се явява и неравномерната скорост на движение на подвижните обекти. При сравнително бързо обновяване на фоновия модел евентуално спиране на подвижния обект за няколко кадъра, би довело до неговото причисляване към фоновия модел и той би изчезнал от предния план. За сметка на това при този недостатък се наблюдава повишено ниво на подтискане на шумовете причинени от динамичен фон на изображението.

При избор на метод за практическо приложение на детекция на движение трябва да се има предвид неговата изчислителна ефективност. Съхраняването в паметта на системата за анализ на n на брой предходни кадъра се използва за формиране на хронологичен модел на фоновата картина. Това повишава изискванията към наличната изчислителна памет. Сложността на самия алгоритъм и броя на операциите по обработка на изображението също влияят на изискванията за изчислителен ресурс. Обикновено по-прецизните методи за детектиране на подвижни обекти имат и сложни алгоритми, което ги прави трудни за приложение в реално време. Поради тази причина се търси компромис между качествените показатели на метода и неговото бързодействие.

Друг общ проблем при всички алгоритми е взаимовръзката между прецизност и чувствителност (1.49, 1.50). При повишаване на прецизността се намалява чувствителността, и обратно при максимално увеличение на чувствителността прецизността спада чувствително. Затова при подбора на работните параметри на всеки алгоритъм трябва да се търси оптимален компромис за постигане на най-добра взаимовръзка между тези качествени параметри. Подходяща величина отразяваща тази взаимовръзка е параметърът F (1.51).

ГЛАВА 2

Изследване на качествените показатели на отделни методи за детекция на движение.

2.1. Математически модел за оценка на качествените параметри на различни методи за детекция на движение.

Съставен е математически модел за намиране на броя на TP , TN , FP , FN пиксели в детектираното изображение и от там – изчисление на качествените показатели F -параметър, Pr -прецизност, Rcl -чувствителност.

Първата стъпка е класифицирането на пикселите от полученото изображение с две нива, на TP – вярно позитивни, FP – грешно позитивни, TN – вярно негативни, FN – грешно негативни. За целта дефинираме променливите: $Diff_{GTP}^{t(x,y)}$, $Diff_{GFP}^{t(x,y)}$, $Diff_{GTTN}^{t(x,y)}$, $Diff_{GTFN}^{t(x,y)}$, които приемат дискретните стойности -1 или 0. Тези променливи отразяват резултата от сравнението на полученото детектирано изображение със шаблоните на предния план.

$$Diff_{GTP}^{t(x,y)} = GT_{TRUE}^{t(x,y)} - M_{t(x,y)} \quad (2.1); \quad Diff_{GFP}^{t(x,y)} = GT_{FALSE}^{t(x,y)} - M_{t(x,y)} \quad (2.2)$$

$$Diff_{GTTN}^{t(x,y)} = M_{t(x,y)} - GT_{TRUE}^{t(x,y)} \quad (2.3); \quad Diff_{GTFN}^{t(x,y)} = M_{t(x,y)} - GT_{FALSE}^{t(x,y)} \quad (2.4)$$

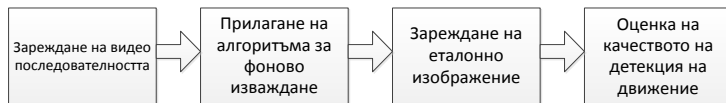
Където: $M_{t(x,y)}$ е детектираното изображение (преден план) във време t с координати x и y , $GT_{TRUE}^{t(x,y)}$ и $GT_{FALSE}^{t(x,y)}$ са шаблоните на вярно и съответно грешно детектираните пиксели във време t с координати x и y .

За да се определи броя на всички TP_t , FP_t , TN_t , FN_t пиксели в даден кадър t е необходим брояч, който да работи при следните условия:

$$TP_t = \begin{cases} TP_t + 1, & Diff_{GTP}^{t(x,y)} = -1 \\ TP_t, & Diff_{GTP}^{t(x,y)} = 0 \end{cases} \quad (2.9); \quad FP_t = \begin{cases} FP_t + 1, & Diff_{GFP}^{t(x,y)} = -1 \\ FP_t, & Diff_{GFP}^{t(x,y)} = 0 \end{cases} \quad (2.10)$$

$$TN_t = \begin{cases} TN_t + 1, & Diff_{GTTN}^{t(x,y)} = -1 \\ TN_t, & Diff_{GTTN}^{t(x,y)} = 0 \end{cases} \quad (2.11); \quad FN_t = \begin{cases} FN_t + 1, & Diff_{GTFN}^{t(x,y)} = -1 \\ FN_t, & Diff_{GTFN}^{t(x,y)} = 0 \end{cases} \quad (2.12)$$

Предложеният модел за прилагане и оценка на алгоритми на различни методи за детекция на движение в най-общ вид е представен на Фиг.2.2. За развойна среда на разглеждания математически модел е използван Матлаб. Пълен текст на програмния код на изследваните методи е представен в Приложение1.



Фиг.2.2 Блок схема на модела за изпълнение и оценка на различни алгоритми за детектиране на движение.

2.2. Експериментални изследвания

В настоящата глава на дисертационен труд е направено е изследване на четири различни метода за детекция на движение в подвижни изображения:

- Метод на фоново осредняване във времето (ФОВ)
- Метод на апроксимирана медианна филтрация на фоновия модел (АМФ)
- Сигма-делта фоново моделиране (СД)
- Метод на смесица от Гаусови разпределения (СГР)

За количествена оценка на качеството на детектиране на подвижни обекти са използвани параметрите: чувствителност – Rcl (1.49), прецизност – Pr (1.50) и F – параметър (1.51). Изследването цели да направи оценка на качествените показатели на споменатите методи за детектиране на движение чрез обработка експериментален видеозапис заснет при типични условия на видео наблюдение. Видеозаписа показва автомобили от трафика на натоварено градско кръстовище. Подобно на повечето видео камери от автоматизираните системи за видео наблюдение, камерата е неподвижно закрепена на статив. Използвана е цветна дигитална камера записваща в некомпесиран RGB режим. Кадровата честота е 25 кадъра в секунда и разделителна способност от 720x576 пиксела. Тези параметри надвишават средните качествени показатели на камерите използвани широк кръг системи за видеонаблюдение.

Методите ФОВ, АМФ и СД фоново моделиране са изпълнени при оригиналната кадрова честота от 25 кадъра в секунда и разделителна способност от 720x576 пиксела. Метода на СГР е изпълнен при намалена кадрова честота от 15 кадъра в секунда и разделителна способност 320x240 пиксела.

2.2.1. Метод ФОВ

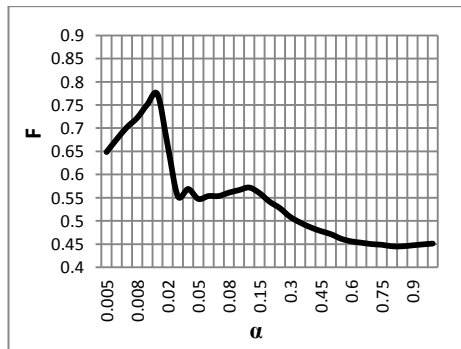
Основната особеност на този метод е, че създава хронологичен фоново модел на наблюдаваната сцена, (1.3). Коефициента на адаптиране α определя скоростта на опресняване на фоновия модел от новите кадри.

Коефициент на адаптация α

На Фиг. 2.3 са показани резултатите от изследване влиянието на стойността на коефициента на адаптация α върху качеството на детектиране на подвижни обекти. На Фиг.2.3а имаме максимална точност при $\alpha=0.01$. В следващия случай на Фиг. 2.3б при $\alpha=0.1$ имаме очевидна следа от грешно позитивни пиксели след движещите се обекти. Причината е че, автомобилите биват причислявани към фона прекалено бързо и когато преминават, истинския фон се възприема като преден план. В следващия случай, Фиг. 2.3в, α е близка до единица - $\alpha=0.8$. Тук само контурите на подвижните обекти се детектират като преден план. Колкото повече коефициента е по-близко до 1, фона ще се опреснява по бързо. Експерименталните изследвания показват че, за коректна оценка на бавно движещи се обекти α трябва да бъде близко до 0.01. Ако α е много близко до нула естествените промени във фона няма да бъдат възприети от алгоритъма и ще възникнат грешки от типа грешно позитивни пиксели. На Фиг.2.4 е показана графична зависимост получена при изследването на влиянието на стойността на коефициента на адаптация α върху качествения параметър за детектиране на подвижни обекти F . Прави впечатление резкия спад на ефективността на метода при стойности на α от 0.01 до 0.05, защото при тези стойности скоростта на опресняване на фоновия модел е такава че, след подвижните обекти се образуват „опашки“ от FP пиксели, Фиг.2.3б. Това рязко снижава Pr и респективно F .



Фиг. 2.3. Метода на времево осредняване изпълнен за три стойности на α , (а) $\alpha=0.01$; (б) $\alpha=0.1$; (в) $\alpha=0.8$;



Фиг.2.4. F параметъра като функция на коефициента на адаптация α

При увеличаване на α над 0.05 скоростта на адаптация на фоновия модел става толкова голяма, че само контурите на подвижните обекти биват детектирани, Фиг.2.3в.

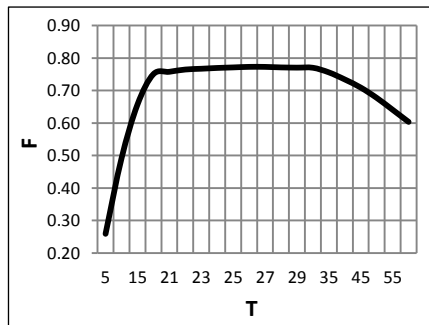
Праг на чувствителност T

Прага на чувствителност T , (1.5) определя чувствителността метода към промени в текущите стойности на видео сигнала и съответно способността за устойчивост на шум в изображението, и неутрализиране на ефектите на минимални движения във фона. На Фиг. 2.6 са показани три случая от обработката на видеозаписа при три стойности на T . Видими са ефектите от

прекалено ниска стойност на T и съответно, неговото прекалено увеличаване. Колкото повече увеличаваме прага на чувствителност, толкова по-малко пиксели принадлежащи на шумови влияния успяват да преминат през филтрирането. Недостатък в този случай е намалената чувствителност на детекция, в резултат нараства броя на FN - грешно негативни пиксели.



Фиг.2.6. Метода на времево осредняване изпълнен за три стойности на T , (а) $T=10$; (б) $T=26$; (в) $T=60$;



Фиг. 2.7. F параметъра като функция на прага T

На Фиг. 2.7 е показана графична зависимост на качествения параметър F от прага на чувствителност T . Стойността на F се запазва във високи стойности при $20 < T < 30$ и достига максимум при $T=26$.

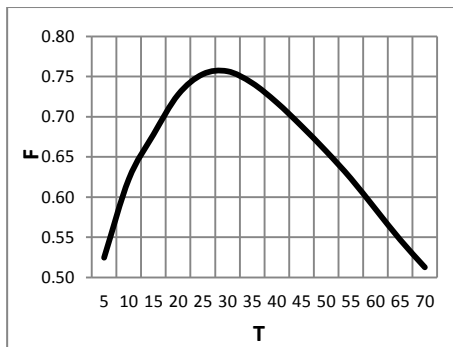
2.2.2. Метод АМФ

Метода на фоново изваждане използващ апроксимирана медианна филтрация на фоновия модел се различава от метода на ФОВ единствено по начина на адаптация на фона, (1.9). Единственият параметър, чрез който може да се регулира качеството на фоново изваждане и съответно на детектиране на подвижни обекти е прага на чувствителност T , (1.8). На Фиг.2.8 са показани резултатите от обработката на видео записа при различни стойности на T . На Фиг.2.8а прага на чувствителност е прекалено нисък – $T=5$, и минималния шум в картината бива определен като позитивен резултат. Белите следи след автомобилите се дължат на неизбежната промяна на фоновия модел при преминаване на подвижен обект.

Максимална ефективност метода достига при $T=30$, Фиг.2.8б. При по нататъшно повишаване на прага на чувствителност чувствителността на алгоритъма намалява и в силуетите на подвижните обекти преобладават FN пиксели, Фиг.2.8в.



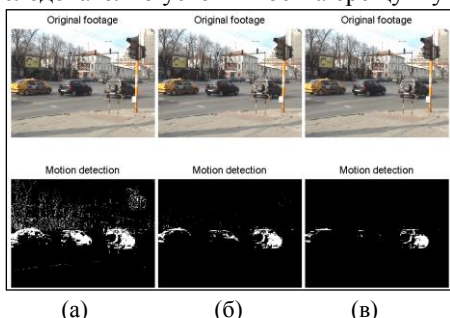
Фиг. 2.8. Метода АМФ изпълнен за три стойности на T ,
(а) $T=5$; (б) $T=30$; (в) $T=70$;



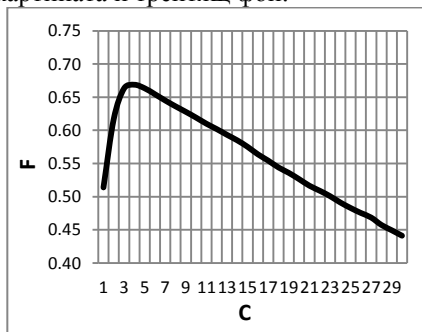
Фиг. 2.9. F параметър като функция на T

2.2.2. Сигма-делта фоново моделиране

На Фиг.2.11 са показани резултатите от прилагането на метода на Сигма-делта фоново моделиране за същия видеозапис използван при предходния метод. Променлива величина при това изследване е параметъра C , (1.10), който определя скоростта на нарастване на сигма-делта вариацията и следователно устойчивостта срещу шум в картината и трептящ фон.



Фиг. 2.11. Метода СД изпълнен за три стойности на C , (а) $C=1$; (б) $C=4$; (в) $C=30$;



Фиг. 2.12. F параметъра като функция на C

В представения пример автомобилите от видео записа навлизат последователно в кадър, в който не е имало движение в продължение на 10 сек. Първият автомобил се движи в зона със сравнително ниска сигма-делта вариация, следователно там алгоритма има висока чувствителност за подвижни обекти. Поради тази причина първия автомобил е еднакво детектиран при трите случая на параметъра C , съответно, Фиг.2.11(а) $C=1$, Фиг.2.11(б) $C=4$ и Фиг.2.11(в) $C=30$. Колкото повече нараства C , толкова повече втората и третата кола стават по-трудно забележими в изображението показващо детекцията на движение, съответно Фиг.2.11(б) и Фиг.2.11(в). Това е така, защото те се движат в дирята на първия автомобил, където сигма-делта вариацията се е повишила по-бързо, поради повишената стойност на C , (1.10). Предимството при този случай

е изключително високата устойчивост на шум в картината и покращащи се фонове обекти.

На Фиг.2.12 е показан резултата от изследването на влиянието на параметъра на чувствителност C върху качествения параметър на детекция F . След достигане максимум при $C=4$ следва линейно намаляване на F определено от зависимостите в (1.10) и (1.11). Тук за разлика от метода ФОВ, интервалът от стойности на променливия параметър определящ максималната ефективност е доста по-тесен.

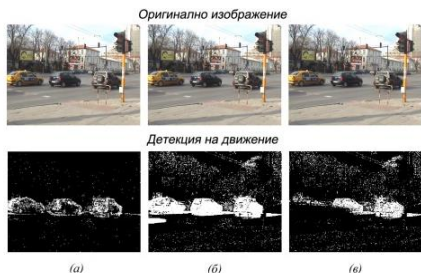
В заключение може да се отбележи че, недостатък на метода на Сигма-делта фоновото моделиране се явява замаскирането на последователно движещи се обекти в малък интервал от време. Това го прави неподходящ за приложение при детектиране на движение във видео сигнали изобразяващи натоварен трафик от автомобили, пешеходци и др.

2.2.3. Метод на смесица Гаусови разпределения

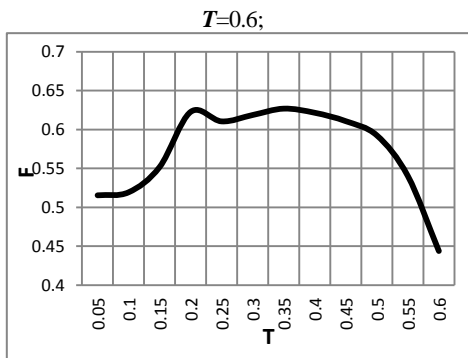
Направено е експериментално изследване на оригиналния метод СГР за детекция на движение. Влиянието на параметрите на алгоритъма върху ефективността на метода е изследвано, като е търсен максимум на качествения параметър F в зависимост от стойността на всяка една променлива. Експериментите са провеждани при промяна на всеки един параметър и съответно дефинирани константи за останалите параметри.

Праг на чувствителност T

Експерименталния видео запис е обработен с метода СГР за 12 различни стойности на прага на сортиране $\omega/\sigma - T$, (1.26). При промяна на параметъра T първоначалните стойности на останалите параметри са: $D=2.5$, $\alpha=0.01$, $K=3$. На Фиг.2.14 е показан оригиналният кадър и детектирания преден план при три стойности на T , (а) $T=0.05$; (б) $T=0.35$; (в)



Фиг. 2.14. Оригиналният кадър и детектирания преден план при три стойности на T , (а) $T=0.05$; (б) $T=0.35$; (в)



Фиг. 2.15. F параметъра като функция на прага T

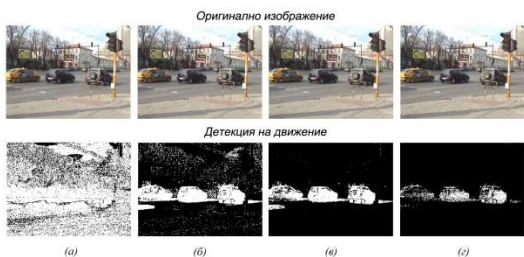
При случая от Фиг.2.14а прага на сортиране на ω/σ е нисък, затова и само контурите на подвижните обекти се класифицират като преден план, тъй като те

имат най-висока дисперсия. При високи стойности на прага T , чувствителността на метода към движение спада, тъй като все по-малко пиксели имат необходимата висока тежест за да се класират за разпределението преден план или фон. Това разпределение съответно се определя от съвпадението текущата стойност на пиксела в D пъти стандартното отклонение. Пикселите, при които е имало продължително движение и са загубили тежестта си, (Фиг.2.14в), не се класират за класификацията за преден план, и по подразбиране алгоритъма ги причислява като фонов пиксели.

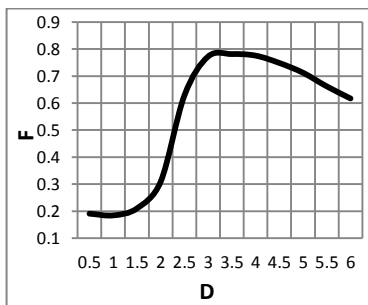
Графиката на Фиг.2.15 показва параметъра за ефективност F , като функция на T .

Множител на стандартно отклонение D

Точността на метода СР е изследвана за дванадесет различни стойности на множителя на стандартно отклонение D . Този параметър определя съвпадението между новата стойност на всеки пиксел и съответното Гаусово разпределение. При промяна на D фиксираните стойности на останалите параметри са: $T=0.35$, $\alpha=0.01$, $K=3$. На Фиг.2.17 са показани четири случая на детекция за четири различни стойности на множителя на стандартното отклонение D .



Фиг. 2.17. Оригинално видео изображение, детектирано видео изображение получени при четири различни стойности на D , (a) $D=1$; (b) $D=2.5$; (c) $D=3.5$; (d) $D=7$;



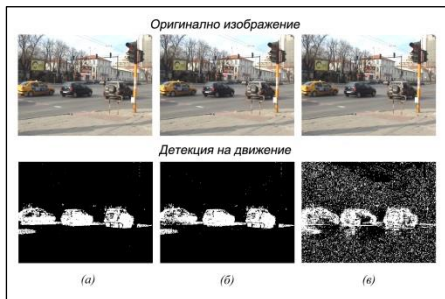
Фиг.2.18. F параметъра като функция на множителя на стандартното отклонение D

На Фиг.2.18 е показана експериментално получената графика отразяваща влиянието на D върху F . Най-висока стойност на $F=0.78$ е постигната при $D=3.5$. При повишаване стойността на D над 2 резултатите чувствително се подобряват, Фиг. 2.17в, Фиг.2.18.

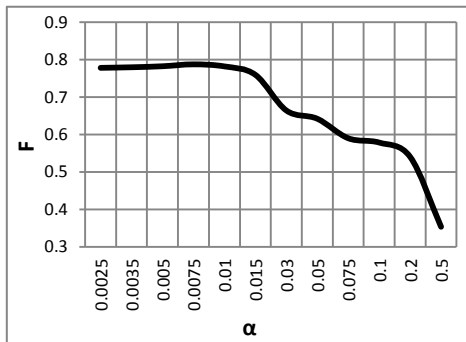
Коефициент на адаптация α

Коефициента на адаптация α (1.17), определя скоростта на нарастване или намаляване на тежестта на K -тото разпределение на елементите на изображението. F параметъра е изследван за 12 различни стойности на α . При промяна на α фиксираните стойности на останалите параметри са: $T=0.35$, $D=3.5$, $K=3$. На Фиг.2.20 са показани оригиналното изображение и детектираното изображение за три различни стойности на α . И от трите фигури е

видно че, няма разлика в ефективността на метода от $\alpha=0.025$ до $\alpha=0.1$. Прекалено ниските стойности на коефициента на адаптация биха причинили бавна адаптация на алгоритъма към движение в области от изображението, които дълго време са били възприемани като фонови (т.е. с висока тежест) и обратно. Поради тази причина най-подходяща стойност на α се оказва най-високата стойност преди параметъра на ефективност да започне да намалява – $\alpha=0.01$, стойност препоръчана от авторите на метода.



Фиг. 2.20. Оригинално видео изображение и детектирано видео изображение получени при три различни стойности на α , $\alpha=0.0025$ (а); $\alpha=0.01$ (б); $\alpha=0.5$ (в)



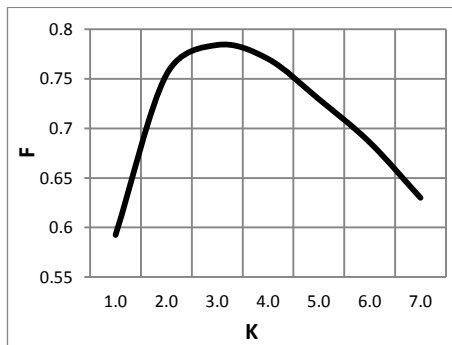
Фиг.2.21. F параметъра като функция на адаптивната стъпка α

Брой на Гаусовите разпределения K

На Фиг.2.23 са показани резултатите от изпълнението на алгоритъма за шест различни стойности на броя на Гаусовите разпределения K . При промяна на параметъра K , фиксираните стойности на останалите параметри са: $T=0.35$, $D=3.5$, $\alpha=0.01$. Експерименталното изследване показва че, увеличаването на K не повишава ефективността на детекцията на подвижните обекти. Най-висока стойност на F параметъра е постигната при $K=3$ и $K=4$.



Фиг. 2.23. Оригинално видео изображение и детектирано видео изображение получени при три различни стойности на K , $K=1$ (а); $K=2$ (б); $K=3$ (в)



Фиг.2.24. F параметъра като функция на броя на Гаусовите разпределения K

При прости по съдържание видео изображения с малко подвижни обекти, увеличаването на броя на Гаусовите разпределения ще доведе до често съвпадение на TP пиксели в някое от многото разпределения и в резултат те ще се превърнат във FN пиксели. Това е видимо на Фиг.2.23в, където с увеличаване на K чувствителността Rcl намалява. Това води и до намаляване на общата ефективност F – Фиг.2.24. При по-сложни видео изображения, където има много подвижни обекти с различни размери и скорост, броя на Гаусовите разпределения трябва да бъде по-голям от $K=4$. Например, когато подвижните обекти са малки и много, при слаб контраст и лоши атмосферни условия, при динамичен фон и непостоянно осветление. Проблем при увеличаването на броя на разпределенията е че, времето за обработка нараства значително.

2.3. Обобщение

В Таблица 2.1 е представена съпоставка на качествените параметри на изследваните методи. Избора на най-подходящ метод за детектиране на изображения зависи пряко от условията на наблюдение и наличната изчислителна мощност. Привидно метода на СД фоновото моделиране има най-нисък F параметър, но това се дължи на понижената му чувствителност при често преминаващи подвижни обекти. При по-прости условия на наблюдение, където подвижните обекти преминават на голям интервал от време този метод би постигнал много по-висок резултат.

Метода на ФОВ постига еднакъв резултат с доста по-сложния по алгоритъм метод на СГР. Това е така, защото в конкретния случай изследването се базира на видео сигнал с нормални условия на заснемане (осветление, контраст, шум в картината, нестатичен старт на видео последователността и др.). Предимствата на сложния алгоритъм на СГР пред простите методи изпъкват при специфични условия на видео заснемане, които са подробно разгледани в четвърта глава.

Въпреки това високите стойности на метода ФОВ сравнение с простотата му го представят като подходящ избор при системи за детекция на движение във видео изображение не изискващи висока достоверност на класификацията. По-задълбочено изследване на този метод е представено в четвърта глава.

Таблица 2.1. Сравнение на качествените параметри на изследваните методи.

<i>Метод</i>	<i>Pr</i>	<i>Rcl</i>	<i>F</i>
ФОВ	0.78	0.74	0.78
АМФ	0.79	0.72	0.76
СГ	0.79	0.58	0.67
СГР	0.73	0.84	0.81

2.4. Изводи

От проведените изследвания на четири метода за детекция на движение в подвижни изображения могат да бъдат направени следните изводи:

- Предложен е математически модел на система за изследване и оценка на качествените показатели на различни методи за детекция на движение в подвижни изображения. (**Принос 2**).
- Изследвано и анализирано е влиянието на параметрите на четири метода за детекция на движение, върху качеството на детекция на подвижни обекти. (**Принос 3**).
- Статистическият метод за детекция на движение – СГР очаквано показва най-високи стойности на F параметъра. Като недостатък може да се отбележи сложния му алгоритъм и многото параметри, които трябва да бъдат коректно настроени за максимална точност на детекция.
- Метода ФОВ се доближава най-много до високите по стойност резултати на метода СГР. Освен това метода показва и висока устойчивост на при промяна на прага на чувствителност, което важно за устойчивостта на метода при променливи условия на наблюдение.
- Метода АМФ показва стойности на F много близки то тези на ФОВ, но недостатък се оказва тесния диапазон на прага на чувствителност T , където се наблюдава максимум на F параметъра.
- Метода СД се оказва неподходящ за детектиране на множество от гъсто разположени последователно движещи се обекти. Това се дължи на адаптивния праг на чувствителност, който нараства в зоните на често повтарящо се движение. От друга страна методът постига по-високи резултати при подтискане на шума във фона, изразено във високи нива на параметъра P_r – прецизност.

ГЛАВА 3

Изследване на методи за детекция на движение при специфични условия.

В тази глава са изследвани методите от втора глава, но при специфични условия на наблюдение и са предложени мерки за повишаване на ефективността им чрез прецизен подбор на работните им параметри. Предложен е модел и алгоритъм за оценка на времето на адаптация на методи за детекция на движение при рязка промяна в осветеността на наблюдаваната сцена.

3.1. Изследване на методи за детекция на движение във видео изображения при нощни условия на заснемане.

Изследвани са методите за детектиране на движение разгледани във втора глава при три видео записа заснети при нощни условия.

Първия видео запис е заснет на светофарно градско кръстовище. Осветлението е изкуствено, непостоянно, има светлинни източници, които се изключват по време на изследваният запис. Продължителността на записа е 15 с., размер 720x576 пиксела, 25 кад/сек.

Втория видео запис е заснет при много слабо улично осветление и представя автомобили движещи се по път. Условията на наблюдение тук са критични. Продължителността на записа е 18 с., размер 640x480 пиксела, 30 кад/сек.

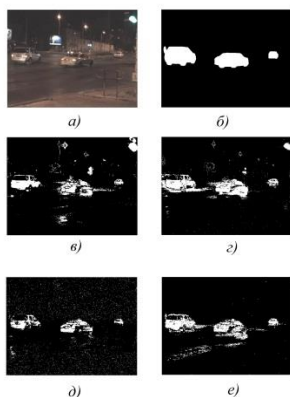
Третия видеозапис е заснет при нощен режим на заснемане на охранителна камера за видеонаблюдение на сграда. Осветлението е единствено от инфрачервеният светлинен източник разположен на самата камера. Продължителността на записа е 10 с., размер 640x480 пиксела, 30 кад/сек.

3.1.1. Изследване при нощни условия на динамичен градски трафик.

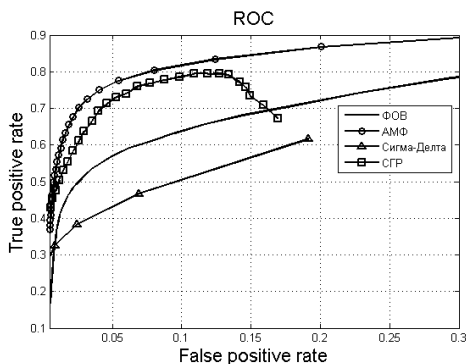
Детектирането на подвижни обекти във видео изображения при нощни условия на наблюдение на градски трафик поставя много предизвикателства пред методите за детекция на движение.

На Фиг.3.4. е показан оригинален кадър – Фиг.3.4.а и шаблон за истинност – Фиг.3.4.б, и кадри детектирани посредством методите: ФОВ – Фиг.3.4.в, АМФ – Фиг.3.4.г, СД – Фиг.3.4.д, СГР – Фиг.3.4.е. Видно е че, първите два метода реагират на промените в светенето на уличното осветление и светофара със закъснение. Кадъра показан на Фиг.3.4. е заснет 5 сек. след като е светнал светофара в горния десен ъгъл на изображението. Въпреки това методите ФОВ и АМФ не са успели да отразят тази промяна в техните фоновы модели, тъй като увеличението на нивото на яркостта за тези пиксели е 500%. Това се дължи на относително малката стъпка, с която те опресняват своите фоновы модели.

Метода СД има предимството че, използва сигма-делта вариация действаща като адаптивен праг на чувствителност - $V_{f(x,y)}$ и в резултат резките промени във фоните обекти са елиминирани, Фиг.3.4.г. Гореспоменатите проблеми липсват и при резултатите от метода СГР, Фиг.3.4.е.



Фиг.3.4. Резултати от детектирането на движение при нощни условия на наблюдение на светофарно кръстовище и автомобилен трафик.



Фиг.3.5. ROC характеристики на изследваните методи за детектиране на движение при нощни условия на наблюдение на светофарно кръстовище и автомобилен трафик.

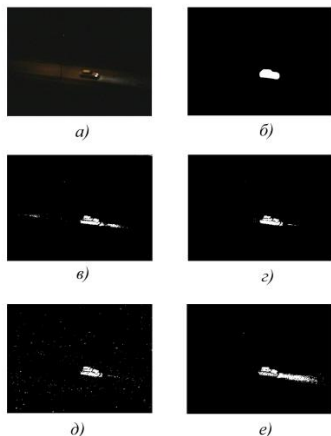
По-точна оценка за работата на всеки от изследваните методи за детекция на движение можем да добием от Фиг.3.5. Там са представени графични резултати от анализа чрез ROC характеристики. Максималния F -параметър на АМФ е 0.7, а на СГР е 0.65. Резултатите на ФОВ и СД са

съответно 0.56 и 0.46. Това се дължи на по-ниската чувствителност и на по-ниското подтискане на шума във фона, и при двата метода.

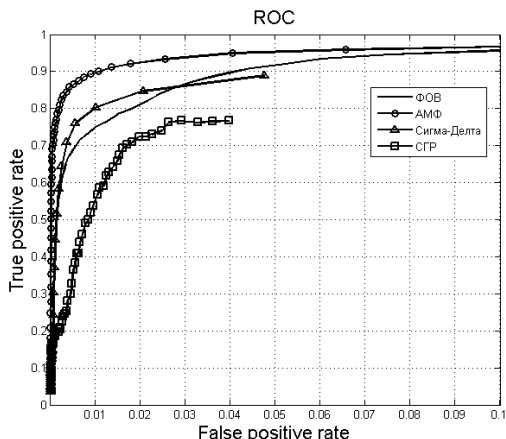
3.1.2. Изследване при нощни условия и много слабо осветление.

Ниското ниво на осветеност може да се дължи на много фактори, но резултатът е един същ – много ниско ниво на контраста на изображението. На Фиг.3.7 са показани кадри от резултатите на изследването на тестовия видео запис. Показани са съответно: оригинален кадър – Фиг.3.7.а, шаблон за истинност – Фиг.3.7.б и кадри детектирани посредством методите: ФОВ – Фиг.3.7.в, АМФ – Фиг.3.7.г, СД – Фиг.3.7.д, СГР – Фиг.3.7.е.

От Фиг.3.8 съдим че, метода АМФ е с най-добре разположена крива, а СГР е на последно място. Стойностите на *F-параметъра* съответно са: 0.81 и 0.46. Тази голяма разлика се дължи на факта че, метода на СГР има висока чувствителност и е разпознал като преден план и светлинното петно от фаровете на автомобила хвърляно върху пътя. Тъй като тази зона не се смята за част от подвижния обект, тя не е включена в шаблона за класификация на детектираните пиксели, Фиг.3.7.



Фиг.3.7. Резултати от детектирането на движение при нощни условия на наблюдение и много слабо осветление.



Фиг.3.8. ROC характеристики на изследваните методи за детектиране на движение при нощни условия на наблюдение и много слабо осветление.

Доста близки и средни по стойност са резултатите на методите СД и ФОВ с *F-параметър* съответно 0.68 и 0.65. СД изпъква с качествата си на метод подходящ за детектиране на обекти преминаващи през голям интервал от време през кадъра.

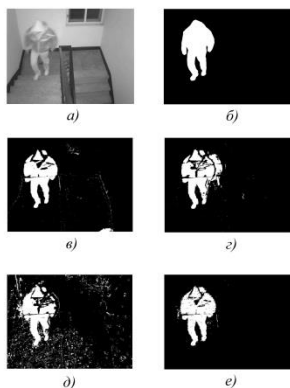
3.1.3. Изследване при нощни условия и инфрачервен режим.

При детектиране на движение във видео изображения заснети при инфрачервен режим на практика се обработва черно-бяло изображение. В случая резултатите показани на Фиг.3.10 са заснети с IP камера за видеонаблюдение,

която преди да предаде видео сигнала по IP протокол го компресира по стандарта MPEG-4. Поради тази причина постоянната съставна на видео записа се изменя скокообразно заради намалените нива на квантуване при компресията.

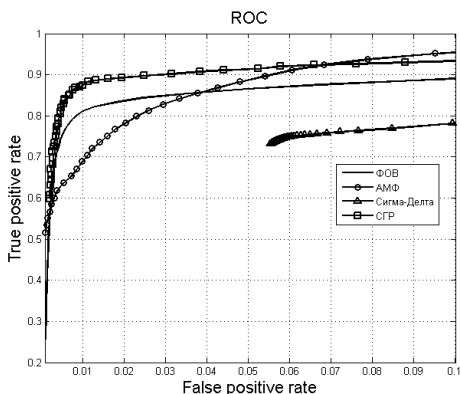
Влиянието на тази особеност е видно от Фиг.3.10 където са показани: оригинален кадър – Фиг.3.10.а, шаблон за истинност – Фиг.3.10.б и кадри детектирани посредством методите: ФОВ – Фиг.3.10.в, АМФ – Фиг.3.10.г, СД – Фиг.3.10.д, СГР – Фиг.3.10.е. Метода СД се оказва най-податлив на този вид смущения. Максимално отчетения *F-параметър* на СД при този видео запис е 0.65.

С по-добри резултати е метода АМФ, $F=0.8$. Недостатък в този случай е опашката от грешно позитивни пиксели след подвижния обект, Фиг.3.10г. Тя се дължи на ниската скорост на движение на подвижния обект спрямо скоростта на опресняване на фона. Най-високи резултати показват методите ФОВ – $F=0.85$ и СГР – $F=0.89$.



Фиг.3.10. Резултати от детектирането на движение при пълна тъмнина и инфрачервено осветление.

В заключение, метода СГР показва най-високи показатели при специфичния случай – нощни условия на наблюдение при много слабо осветление. Учудващо високи са резултатите на метода АМФ въпреки съвсем простия му алгоритъм на действие. Единствен недостатък се забелязва при видео записа при инфрачервено осветление, поради ниската скорост на движение на подвижният обект. Метода на фоново изваждане използващ ФОВ показва невисоки, но стабилни показатели при всички разгледани ситуации. Недостатък при него е явява по-бавната адаптация при промени във фоните обекти, които са резки и с голяма амплитуда. Най-слаби показатели в настоящото изследване постига метода СД. Неговите качества могат да се проявят в тесни условия на наблюдение, когато подвижните обекти са малко и отдалечени, когато видеосигнала е със стабилна постоянна съставяща, т.е. не бил подложен на компресия.



Фиг.3.11. ROC характеристики на изследваните методи за детектиране на движение при пълна тъмнина и инфрачервено осветление.

Обобщени числени резултати от максимално постигнатия F -параметър са показани в таблица 3.1.

Таблица 3.1. Сравнение на F -параметъра на изследваните методи при различни условия на наблюдение.

Метод	Видео запис		
	Кръстовище с трафик	Много слабо осветление	Инфракчервено осветление
ФОВ	0.56	0.65	0.85
АМФ	0.7	0.81	0.8
СД	0.46	0.68	0.65
СГР	0.65	0.46	0.89

3.2. Изследване на методи за детекция на движение във видео изображения при променливо осветление.

3.2.1. Анализ на проблема

Цел на настоящото изследване е да се даде качествена оценка на изследваните до тук методи за детекция на движение във видео изображения. Фактора за оценка ще бъде времето за адаптация при рязка промяна на осветлението.

3.2.2. Математически модел и алгоритъм за оценка времето на адаптация при рязка промяна в осветеността.

Основен подход към оценката на времето на адаптация е условието, че при липса на подвижни обекти в кадъра, при промяна в осветлението всички възникнали позитивни пиксели в предния план ще са грешни – FP. Следователно задачата се свежда до намиране броя на FP пикселите за n кадъра след момента на рязка промяна в осветлението.

За целта на изследването е разработен модел за измерване времето на реакция на различните методи за детекция на движение. Блок схема на алгоритъма на модела е показана на Фиг.3.16.



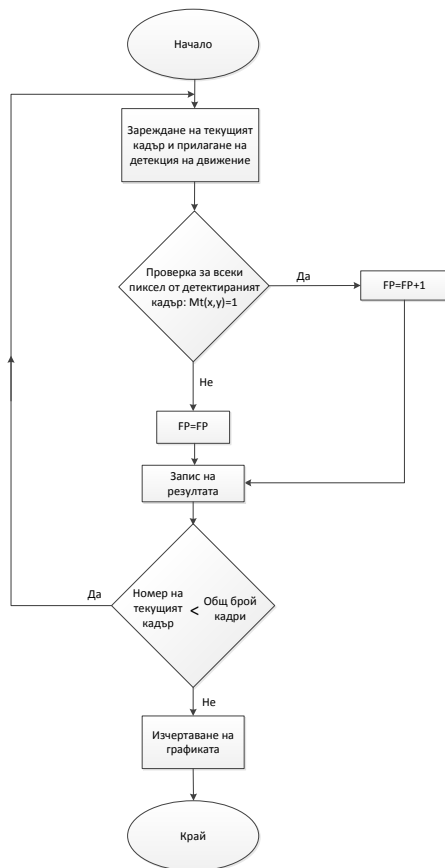
Фиг.3.16. Модел за изследване времето на адаптация при промяна на осветлението на методи за детекция на движение.

Синтезирият математически модел за класификацията на грешно позитивни пиксели (FP) е аналогичен на представения в Глава 2. Сумата на всички FP_t пиксели в даден кадър t е представена в (3.1). Броятът на FP пиксели от Фиг.3.19. може да бъде представен в следния вид – (3.2).

$$FP_t = \sum_{x=1, y=1}^{M, N} FP_{t(x,y)} \quad (3.1); \quad FP_t = \begin{cases} FP_t + 1, & M_{t(x,y)} = 1 \\ FP_t, & M_{t(x,y)} = 0 \end{cases} \quad (3.2)$$

Където: $M_{t(x,y)}$ е детектираното изображение (преден план) във време t с координати x и y .

Алгоритъма за работа на модела е представен на Фиг.3.17.



Фиг.3.17. Алгоритъм на работа на модела за изследване времето на адаптация при промяна на осветлението на методи за детекция на движение.

3.2.3. Експериментални изследвания

Основния търсен резултат на това изследване е времето за адаптация на всеки един от методите описани по горе. Нека това да бъде времето, измерено в брой кадри, за което броя на грешно позитивните пиксели – FP намалява с 90% от максималната си пикова стойност при скокообразно изменение на осветеността на заснетата сцена. За краткост това време ще отбелязваме с

$T_{зам}[кад]$. При експеримента няма да се отчита времето за напълно затихване на FP , защото то не винаги е възможно поради особеностите на самите методи за детекция и неизменното наличие на малък шум в картината.

За нуждите на изследването е заснет цветен видеозапис с дължина 16 секунди (400 кадъра). Разделителната способност на изображението е 720×576 пиксела. Кадровата честота е 25 кад/с. Камерата е неподвижно закрепена на статив. Видеозаписа е в некомпесиран 24bit, RGB режим. Пред камерата няма подвижни обекти, следователно всички детектирани пиксели ще бъдат грешно позитивни FP . Направени са експерименти с различна стойност на промяната на осветеността. Тя варира от 5% до 100%, съответно намаляваща и увеличаваща се. Промяната в нивото на осветеност е скокообразно и е след кадър 100. Параметрите на изследваните методи, които определят тяхната ефективност, са подбрани така че, да осигуряват максимална стойност на F -параметъра при преминаване на подвижен обект през сцената на запис.

За развойна среда на настоящото изследване е използван програмният продукт Matlab, версия 2010b.

При измерването на времето за адаптация при скокообразна промяна в осветлението в изследваното изображение не преминават подвижни обекти. На Фиг.3.19 са показани съответно: първоначално осветено изображение – Фиг.3.19.а, затъмнено с 25% изображение – Фиг.19.б и изображението получено от детекцията на движение 20 кадъра след промяната – Фиг. 3.19.в.



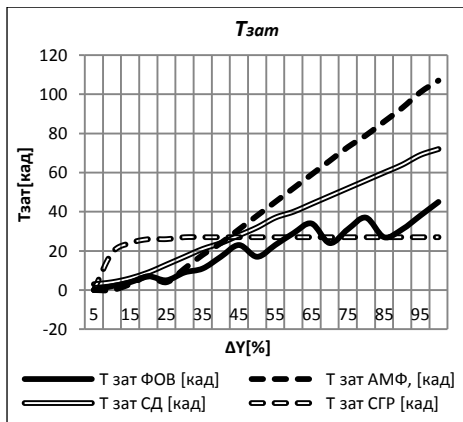
Фиг. 3.19. Кадри от тестовия видео запис преди и след промяната на осветлението, и кадър представящ грешно позитивните пиксели.

Изследванията показват че, времето за затихване на FP пряко зависи от нивото на промяна на осветеността. От математическите модели на алгоритмите се подразбира, а реалните експерименти потвърждават, че по-голямата разлика в нивата на яркостния сигнал отнема повече време за адаптация. Поставянето на оценка кой от изследваните методи реагира най-бързо на промените е направено на Фиг.3.24 и Фиг.3.25. По абсциса е обозначено изменението на осветеността, отбелязано с $\Delta Y[\%]$. По ордината е представено времето в кадри - $T_{зам}[кад]$, необходимо за затихване на преходния процес. На Фиг.3.24 трите метода са сравнени при случай на намаляване, а на Фиг.3.25 при случай на увеличаване на нивото на осветлението.

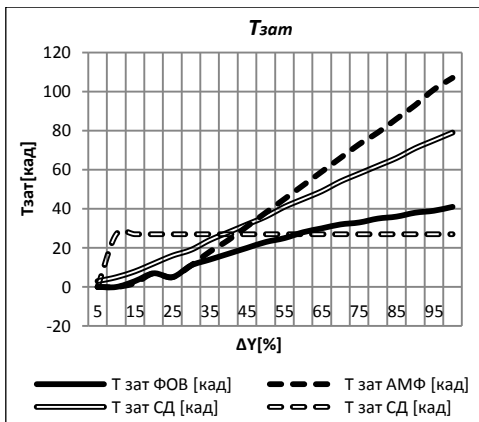
Изследването показва че, най-устойчив на резките промени в осветеността е статистическият метод СГР. Основният фактор, който влияе на времето за реакция на промените в осветлението е адаптивната стъпка α на тегловния коефициент на Гаусовите разпределения - $\omega_{i(x,y)}$, (1.22). Този

коэффициент определя скоростта, с която намалява тежестта на даденото разпределение, при наличие на несъвпадение на текущата стойност на даден пиксел $I_{i(x,y)}$ с D пъти стандартното отклонение. Разбира се тази стойност трябва да бъде регулирана в разумни граници, съобразени с изследванията на СГР в Глава 2.

Метода ФОВ се нарежда на второ място по устойчивост при нарастване на разликата в осветеността. Това се вижда и от (1.3), члена $aI_{i(x,y)}$ определя стъпката, с която ще се променя фоновия модел.



Фиг.3.24. Влияние на степента на спад в нивото на осветеност върху времето на затихване на грешно позитивните пиксели.



Фиг.3.25. Влияние на степента на скок в нивото на осветеност върху времето на затихване на грешно позитивните пиксели.

Не е такова положението при методите, АМФ и СД. При тях обновяването на $B_{i(x,y)}$ се извършва спрямо (1.9) и е с фиксирана стъпка. Заради това двата метода изостават във времето на адаптация спрямо ФОВ. Малко подобри резултати показва СД метода, който поради адаптивната си чувствителност $V_{i(x,y)}$ (1.10), успява по-бързо да подтисне FP спрямо АМФ.

В заключение може да се отбележи че, при условия на чести и големи промени в нивото на осветление е подходящо да се използва метода СГР за детекция на движение.

3.3. Изследване на методи за детекция на движение при компресирани видео изображения.

Проведено е изследване на качествените показатели на разглежданите в настоящата глава методи за детекция на движение във видео изображения, при различни стойности на компресия на обработвания видео поток. Това се явява частен случай на затруднени условия на детекция на движение.

Експерименталният видео запис е заснет на натоварено градско светофарно кръстовище и е със следните параметри: продължителност 30 сек.,

кадрова честота 25 кад/сек., разделителна способност 720x576 пиксела. Камерата е неподвижна. Заснети са два варианта – през деня и през нощта.

Всеки един от методите за детекция (ФОВ, АМФ, СГ, СГР) е изследван при оригинално некомпесирано изображение и при различни степени на компресия по стандарта MJPEG. Степента на компресия е оценявана по отношение сигнал/шум, PSNR[dB], (Peak to Signal Noise Ratio). Количествена оценка за качеството на детекция се измерва чрез мярката за точност F .

На Фиг.3.26 са показани резултати от обработката на дневния видео запис с метода ФОВ. На Фиг.3.26б ясно се вижда високо ниво на грешно детектираните позитивни пиксели (FP) във фона на сцената. Те са резултат от високата степен на компресия на обработеното изображение. На Фиг.3.27 са показани аналогични резултати, но изпълнени за видео записа заснет през нощта.

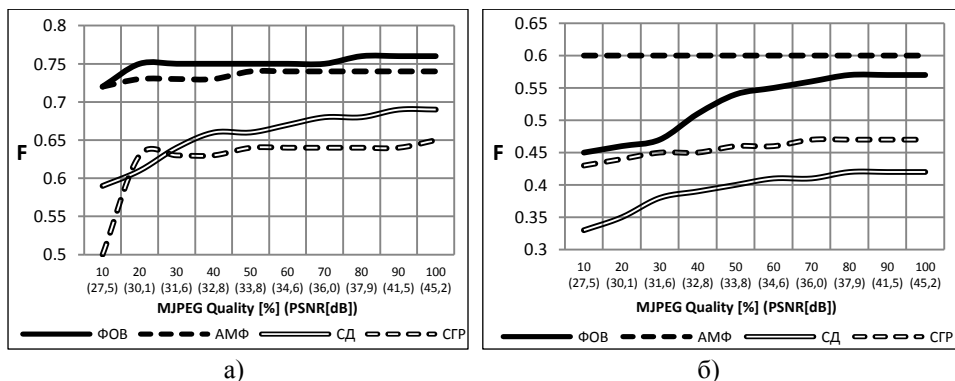


Фиг.3.26. Сравнение на резултатите от детекция на движение при: а) некомпесиран и б) компресиран видео сигнал. Дневен запис.



Фиг.3.27. Сравнение на резултатите от детекция на движение при: а) некомпесиран и б) компресиран видео сигнал. Нощен запис.

На Фиг.3.28 са показани зависимостите на качествения параметър F от качеството на компресия в проценти, по стандарта MJPEG и съответстващите нива сигнал/шум (PSNR).



Фиг.3.28. Влияние на степента на компресия върху точността на детектиране на подвижните обекти, за видео запис заснет на дневна светлина – (а) и при нощен запис – (б).

Разгледано за записа на дневна светлина, методите ФОВ и АМФ запазват качествата си при намаляване на отношението сигнал/шум. Другите два метода – СД и СГР бележат значителен спад на *F-параметъра* при качество на MJPEG под 30%.

При нощния видео запис, висока устойчивост показват методите на АМФ и СГР, докато ФОВ и СД показват по-голяма чувствителност към резултатите от компресията. Техните показатели за удовлетворителни едва при качество на MJPEG компресията над 50%.

От направеното изследване посредством резултатите от Фиг.3.28 може да се заключи че, препоръчителна минимална стойност на отношението сигнал/шум при предаване на видео с цел бъдеща детекция на движение е $PSNR > 34dB$.

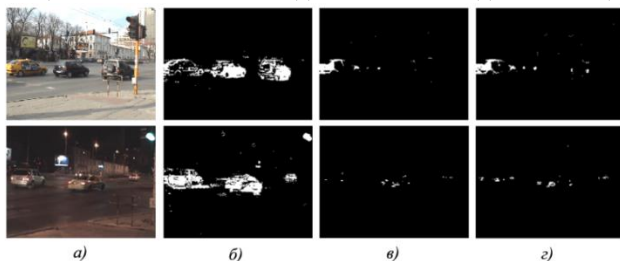
3.4. Изследване влиянието на цветовете сигнали при детекция на движение в подвижни изображения.

Проведено е изследване на влиянието на цветоразликовите сигнали върху качествата на детекцията на движение, ако бъдат използвани заедно с яркостния сигнал. Изследването отново е приложено върху разглежданите в настоящата глава четири метода за детекция на движение.

В настоящия експеримент е извършен анализ на изображението освен по яркостен сигнал Y , така и по отношение на цветоразликовите сигнали Cb и Cr .

За целите на изследването са използвани тестовите видео записи от Глава 3, т.3.3, но в некомпесиран RGB формат. Целта е да се разграничи влиянието на цветовете сигнали върху детекцията на движение при двата най-разпространени случаи на видео наблюдение – през деня и през нощта. И в двата записа присъстват, както ярко оцветени обекти, така обекти близки до сивата гама.

На Фиг.3.30 е даден визуален пример за разликите при детектирането на подвижни обекти ако се използва само яркостния сигнал Y - Фиг.3.30б и съответно цветоразликовите сигнали - Фиг.3.30в и Фиг.3.30г за Cb и Cr . Както се вижда на фигурата при по-ярко оцветените подвижни обекти има зони, които остават недетектирани при Y детекцията. Разбира се очевидно е че, използването само на цветоразликовите сигнали за детекция на движение е неефективно, защото тези сигнали са с доста по-малък динамичен диапазон.



Фиг.3.30. Резултати от детекция на движение по Y , Cb , Cr .

Включването на цветоразликовите сигнали в детектирането на движение оказва най-голямо влияние на метода СД. Това се дължина повишаването на чувствителността поради участието на цветовата компонента във фоновото изваждане. Разликата в стойността на *F-параметъра* е съответно 7% и 8%, това е показано в таблица 3.2.

Изследванията показват, че използването на цветоразликовите сигнали повишава основно чувствителността на детектирането на движение. Поради тази причина влиянието им при метода СГР е почти незабележимо, тъй като неговата чувствителност винаги е показвала най-високи стойности в предходните изследвания на този дисертационен труд.

При методите ФОВ и АМФ подобрението на резултатите при цвeтова детекция зависи от типа на записа. При дневни условия, повишение в стойността на *F* от 8% бележи ФОВ докато при АМФ са само 2%. При нощни условия резултатите са противоположни.

Таблица 3.2. Сравнение на *F-параметъра* на изследваните методи при детекция на движение по *Y* и по *Y,Cb,Cr*.

<i>Използвани сигнали</i>	Нощен запис		Дневен запис	
	<i>Y</i>	<i>Y,Cb,Cr</i>	<i>Y</i>	<i>Y,Cb,Cr</i>
ФОВ	0.56	0.64	0.78	0.8
АМФ	0.7	0.72	0.76	0.81
СД	0.46	0.54	0.67	0.74
СГР	0.65	0.65	0.78	0.79

Недостатък при използването на *Cb* и *Cr* сигнали е увеличеното време за обработка последователността от кадри. При изследванията проведени в средата на Matlab, времето на обработка се увеличи около 3 пъти. Имайки предвид минималната разлика отбелязана при цвeтовата детекция, може да се заключи че, при метода СГР използването на *Cb* и *Cr* сигнали е абсолютно неоправдано.

При останалите изследвани методи използването на цвeтова детекция би била от значителна полза за увеличаване качествените им показатели. Специфични случаи на неоправдано използване на цветоразликови сигнали за детекция на движение са: черно бяло изображение получено от видео камера работеща в инфрачервен режим или от черно бяла камера, и изображение, където отсъстват ярко оцветени обекти.

3.5. Изводи

От проведените изследвания на детекция на движение в подвижни изображения при специфични условия на наблюдение могат да бъдат направени следните изводи:

- Предложен е математичен модел и алгоритъм за изследване на времето за реакция при промяна на нивото на осветеността на различни по тип методи за детекция на движение в подвижни изображения. (**Принос 4**).

- Формулирани са факторите влияещи върху резултатите от детекцията на движение на подвижни обекти при специфични условия на наблюдение.
- Направен е анализ на особеностите на четири метода за детекция на движение при специфични условия и е предложен избор на най-подходящ метод в зависимост от случая и целта на наблюдение.
- Установено е че, методите СГР и ФОВ показват най-бърза адаптация при рязка промяна в осветеността. При Метода СГР времето на адаптация - $T_{зам}$ е константа независимо от степента на промяна осветлението, докато при останалите три изследвани метода то расте увеличаване на разликата в осветеността.
- Установено е че, минималната стойност на отношението сигнал-шум (PSNR) при компресиран видео сигнал използван за детекция на движение не бива да е по-малко от 34 dB.

ГЛАВА 4

Разработване и изследване на адаптивен метод за детекция на движение използващ фоново осредняване във времето.

В Глава 4 от дисертационния труд са предложени два нови варианта на алгоритъма на класическия метод за фоново изваждане използващ фоново осредняване във времето - ФОВ. Предложените алгоритми използват адаптивна скорост на опресняване на фоновия модел и адаптивен праг на чувствителност. В главата е изложено и експериментално изследване на предложените варианти на метода ФОВ при разнообразни условия на наблюдение.

4.2. Алгоритъм за детекция на движение с фоново осредняване във времето и адаптивна скорост на формиране на фоновия модел - Вариант А

В настоящия дисертационен труд е предложен нов вариант на алгоритъма за детектиране на движение чрез фоново осредняване във времето. Целта на модификацията на алгоритъма е да се преодолеят неговите недостатъци, чрез двойна адаптивност на фоновия модел. Това се постига чрез дефиниране на правило, при което α не е константа за всички пиксели от изображението, а е променлива величина във времето t и за всеки пиксел с координати (x,y) . Оттам и зависимостта за формиране на фоновия модел придобива вида (4.3).

$$B_{t+1(x,y)} = \alpha_{t(x,y)} I_{t(x,y)} + (1 - \alpha_{t(x,y)}) B_{t(x,y)} \quad (4.3); \quad D_{t(x,y)} = \left| I_{t(x,y)} - B_{t(x,y)} \right| \quad (4.4)$$

Нека критерий за определяне стойността на α да бъде текущата разлика $D_{t(x,y)}$ между кадъра $I_{t(x,y)}$ и фоновия модел $B_{t(x,y)}$. Тя се определя от правилото (4.4).

Целта е резките промени във фона или осветеността да бъдат отразени в стойността на α с цел по-бърза адаптация на фоновия модел. При големи промени в стойността на яркостта в новия кадър, α трябва пропорционално да

расте, а с нея и скоростта на адаптация на фоновия модел. Нормираната абсолютна стойност на разликата $D_{t(x,y)}$ можем да запишем като:

$$D_{N t(x,y)} = \frac{|I_{t(x,y)} - B_{t(x,y)}|}{N} \quad (4.5)$$

където N е броя на нивата на квантуване на видео сигнала.

За определяне на текущата стойност $\alpha_{t(x,y)}$ използваме същия рекурсивен филтър от първи ред:

$$\alpha_{t+1(x,y)} = \beta \cdot C \cdot D_{N t(x,y)} + (1 - \beta) \cdot \alpha_{t(x,y)}, \quad (4.6)$$

където: C е параметър определящ порядъка на α , β е коефициент на адаптация. В зависимост от условията на наблюдение параметрите C и β се подбират в следните диапазони: $C \in (0.1 - 1)$, $\beta \in (0.03 - 0.5)$. Функцията на C е да ограничи α по максимална стойност, защото при големи стойности на D стойността и нараства над $\alpha > 0.5$. Това силно би намалило чувствителността на алгоритъма. Друг важен фактор възпрепятстващ прекалено бързото увеличаване на α и съответната ниска чувствителност е коефициента на вторична адаптация β .

Критерият за класификация на пикселите от предния план остава същия:

$$M_{t(x,y)} = \begin{cases} 0, & D_{t(x,y)} \leq T_{t(x,y)} \\ 1, & D_{t(x,y)} > T_{t(x,y)} \end{cases} \quad (4.7)$$

4.3. Алгоритъм за адаптивно по скорост фоново осредняване във времето и адаптивен праг на чувствителност – Вариант Б

Разработен е и втори вариант на изложения по-горе алгоритъм на адаптивно по скорост фоново изваждане. Математическият модел на алгоритъма е същия като от т. 4.3 с единствена разлика, че прага на чувствителност T е променлива величина – $T_{t(x,y)}$. Основната идея е стойността на прага на чувствителност да бъде $T_{t(x,y)} > D_{t(x,y)}$. Целта е да бъде предотвратено влиянието на смущаващите естествени движения във фоновия модел. Нека разликата между $T_{t(x,y)}$ и $D_{t(x,y)}$ да бъде константата ΔT , чиято функция ще бъде превенция на FP в предния план причинени от шум във видео сигнала. Следователно за стойността на динамичния праг на чувствителност получаваме (4.8):

$$T_{t(x,y)} = D_{t(x,y)} + \Delta T \quad (4.8); \quad T_{t+1(x,y)} = \frac{\alpha_{t(x,y)}}{C} \cdot (D_{t(x,y)} + \Delta T) + \left(1 - \frac{\alpha_{t(x,y)}}{C}\right) T_{t(x,y)} \quad (4.9)$$

За опресняване на тази стойност, при всеки нов кадър използваме рекурсивен филтър от първи ред - (4.9), където: $\alpha_{t(x,y)}$ и C са същите коефициенти на адаптивност от (4.6). По този начин прага на чувствителност ще приема осреднена във времето стойност и ще се променя с известна инертност. Това е задължително за предотвратяване появата на зони от FN – грешно

негативни пиксели, които биха значително намалили чувствителността на детектиране.

4.4. Експериментално изследване на предложените алгоритми и сравнение с други методи за детектиране на движение.

Предложените два варианта на метода на фоново осредняване във времето са изследвани експериментално за пет различни случая на наблюдение. Изследвани са както качествените показатели при различни реални условия на наблюдение, така и времето за реакция при внезапна промяна в нивото на осветления на заснемания образ. Математическите модели показани по-горе са реализирани в средата на Матлаб. Пълният програмен код е представен в Приложение 3. Показано е подобрението в характеристиките спрямо оригиналния метод ФОВ.

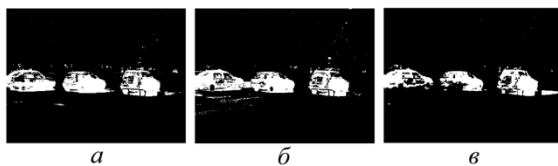
4.4.1. Изследване на предложените методи по отношение на F-параметър, чувствителност, прецизност и ROC характеристики при разнообразни условия на наблюдение.

За максимално обективно оценяване на качествените показатели на предложените варианти на метода на ФОВ и за сравняването им с оригиналния метод са използвани набор от параметри. Те са познатите ни от предходните раздели на дисертацията F-параметър, Pr – прецизност (Precision), Rcl – чувствителност (Recall) и ROC характеристика. Първите три величини са представени заедно като функция на прага на чувствителност T. Това позволява да се добие представа за поведението на Rcl при промяна на Rr и обратно. ROC характеристиката представя едновременно ефективността на трите изследвани алгоритма – оригиналния метод на ФОВ и предложените два варианта на метода.

4.4.1.1. Изследване при дневни условия на динамичен градски трафик.

Резултатите от изследването дневни условия на наблюдение показват, че предложените варианти на алгоритъма не постигат по-високи резултати в F-параметъра от оригиналния метод. Вариант А постига почти идентични резултати с оригиналния метод. При Вариант Б стойностите са чувствително пониски.

При предложения вариант Б на метода ФОВ прага на чувствителност е адаптивен и реагира на продължително повишаване на разликата D, (4.9). Във видеозаписа от конкретния експеримент присъстват подвижни обекти движещи се един след друг, Фиг.4.6. В резултат в зоната на движение се образува област с висок праг на чувствителност и общият коефициент на чувствителност на детекцията на движение спада. Този вариант на метода ФОВ очевидно не е подходящ за сцени на наблюдение изпълнени с подвижни обекти преминаващ на малък интервал от време.



Фиг.4.6. Преден план на детекция при: а) ФОВ; б) Вариант А; в) Вариант Б.
Дневни условия на динамичен трафик.

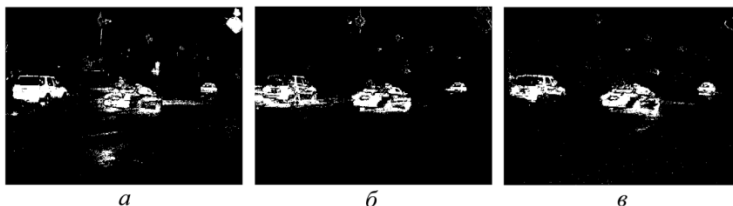
Детектирането на подвижни обекти при нормални условия на наблюдение не поставя особени предизвикателства пред похватите за фоново изваждане. Поради това вариант А на алгоритъма не се различава особено от качествата на оригиналния метод.

4.4.1.2. Изследване при нощни условия на динамичен градски трафик.

При тези специфични условия на наблюдение се проявяват предимствата на предложенния вариант А на метода ФОВ. Адаптивния коефициент на опресняване α , (4.6), по бързото адаптиране на зоните с голяма разлика между новия кадър и фона. Вариант А постига 4% повишение на F параметъра.

За разлика, Вариант Б отчита понижени резултати. Причината отново се дължи на повишената гъстотата на подвижните обекти и на намаляващата в резултат на това чувствителност. Този алгоритъм постига най-високи нива на подтискане на грешно позитивни пиксели – 0.95,

На Фиг.4.11 са представени кадри на предния план при трите изследвани алгоритъма. Видно е как адаптивните варианти на ФОВ метода компенсират смущаващото влияние на светофарната уредба (в горния десен ъгъл на кадъра). Това е пряко следствие от адаптивния характер на коефициента α , а за вариант Б – и от комбинацията с адаптивния праг на чувствителност. Видно е понижението на чувствителността при вариант Б.

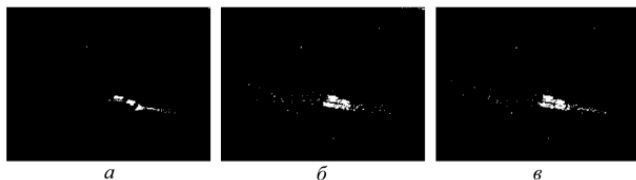


Фиг.4.11. Преден план на детекция при: а) ФОВ; б) Вариант А; в) Вариант Б.
Нощни условия на динамичен трафик.

4.4.1.3. Изследване при нощни условия и много слабо осветление.

И при този случай на изследване е отчетено предимството на предложените адаптивни алгоритми пред оригиналния метод ФОВ. Може да се отбележи че, оптималните нива на прага на чувствителност T са чувствително по-ниски от преходните изследвани сцени. Това се дължи на по-малкия

динамичен диапазон на цветоразликовите сигнали от яркостния сигнал. Вариант А и вариант Б постигат подобрене в F-параметъра със 6% и 7%.



Фиг.4.17. Преден план на детекция при: а) ФОВ; б) Вариант А; в) Вариант Б.
Нощни условия – много слабо осветление.

4.4.1.4. Изследване при нощни условия и инфрачервен режим.

Въпреки че, записа е заснет при нощни условия, инфрачервеното осветление осигурява добър контраст на изображението и подвижният обект е ясно разграничим. Това обяснява и еднаквите резултати на оригиналния метод на ФОВ и неговите адаптивни варианти.



Фиг.4.22. Преден план на детекция при: а) ФОВ; б) Вариант А; в) Вариант Б.
Нощни условия – инфрачервен режим.

4.4.1.5. Изследване при динамичен фон.

Това е сценария на видео наблюдение, който най-често създава проблеми на системите за откриване и проследяване на подвижни обекти. На Фиг.4.23 е показан оригинален кадър и съответните фонові модели за класическия метод ФОВ и адаптивния му вариант А, за изследваната видео последователност на динамичен фон.



Фиг.4.23 Детектиране при динамичен фон. а) оригинален кадър; фонові модели на: б) оригинален ФОВ; в) Вариант А и Б.

Разликите във фоновото моделиране трудно могат да бъдат отчетени с просто око, но резултатите на при ROC характеристиката показват неоспоримо предимство на вариант Б на алгоритъма. След него се нарежда предложеният вариант А и накрая е оригиналният метод.

Детайлният анализ на влиянието на прага на чувствителност T върху F , P_r , R_{cl} , също показва предимство на вариант Б с 7% и на вариант А с 4% пред

оригиналния метод. Причината за по-големия аванс на втория вариант на алгоритъма е комбинацията от адаптивната скорост на адаптация на фоновия модел – V_t с адаптивния праг на чувствителност T_t .

На Фиг.4.28 ясно се вижда повишеното подтискане на FP при адаптивните варианти на алгоритъма.



Фиг.4.28. Преден план на детекция при: а) ФОВ; б) Вариант А; в) Вариант Б.
Нощни условия – динамичен фон.

4.4.2. Обобщение.

Резултатите показват, че при условия на наблюдение с висок контраст на картината предложените адаптивни варианти А и Б на метода на ФОВ показват същите високи резултати. При условия на наблюдение, където контраста е понижен, присъстват резки промени в осветеността, наличен е динамичен фон, предложените варианти на алгоритъма показват забележително по-добри резултати в стойностите на F -параметъра.

Таблица 4.1. Сравнение на F -параметъра на изследваните методи при различни условия на наблюдение.

Метод	Видео запис				
	Кръстовище с трафик - ден	Кръстовище с трафик - нощ	Много слабо осветление	Инфрочервено осветление	Динамичен фон
ФОВ	0.79	0.68	0.75	0.85	0.69
Вариант А	0.72	0.63	0.76	0.83	0.72
ФОВ	0.78	0.64	0.65	0.85	0.65
Ха и Ли	0.79	0.65	0.67	0.85	0.58
Кьолер и Вебер	0.78	0.6	0.7	0.81	0.61
АМФ	0.76	0.7	0.81	0.8	0.57
СД	0.67	0.46	0.68	0.65	0.42
СГР	0.81	0.76	0.46	0.89	0.68

При изброените проблемни условия на наблюдение най-високи резултати показва вариант Б – алгоритма комбиниращ адаптивна скорост на адаптация на фоновия модел и адаптивен праг на чувствителност. Същият алгоритъм проявява недостатъка на понижена Rcl при сцени на детектиране съставени от гъсто разположени подвижни обекти. Това обстоятелство налага

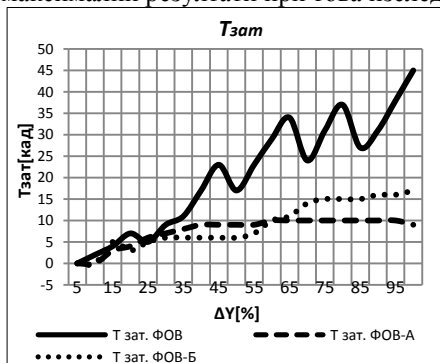
специализирано приложение на този алгоритъм – при сцени с влошени условия на наблюдение и малко на брой подвижни обекти.

В таблица 4.1 е представено сравнение на измерените стойности на F-параметъра при различни условия на наблюдение. Освен, че са обобщени резултатите от оригиналния ФОВ метод и предложените два адаптивни варианта, са изложени резултатите и от други известни варианти на ФОВ метода, така и някои други методи за детектиране на движение изследвани в предишните глави на дисертацията.

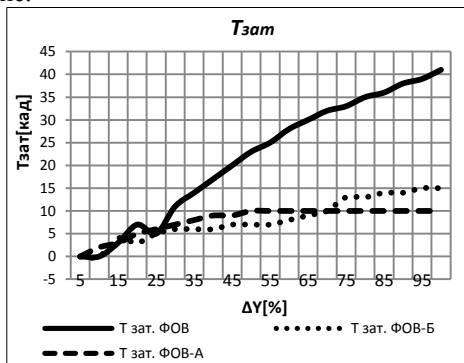
4.4.3. Изследване на предложените методи по отношение на време на адаптация към резки промени в осветеността.

В този раздел е представено изследване на времето на адаптация към резки промени в осветеността за предложените адаптивни варианти на метода на ФОВ. Използван е същият тестови запис, както в Глава 3 – Фиг.3.20. Изследвано е времето на затихване на FP при променящ се през 10% скок или спад в нивото на осветлението.

Обобщаващи резултати са представени на фигурите 4.32 и 4.33. Видно е предимството на предложените варианти на алгоритъма на ФОВ, тъй като адаптацията към резки промени в осветеността се извършва за по-малко време. В зависимост от степента на рязката промяна във фона вариант А и Б показват максимални резултати при това изследване.



Фиг.4.32. Влияние на степента на спад в нивото на осветеност върху времето на затихване на грешно позитивните пиксели.



Фиг.4.33. Влияние на степента на повишаване в нивото на осветеност върху времето на затихване на грешно позитивните пиксели.

4.5. Изводи

От проведените изследвания на предложените два варианта на метода ФОВ за детекция на движение в подвижни изображения могат да бъдат направени следните изводи:

- Предложен и изследван е вариант на метода на фоновото осредняване във времето, (Вариант А) използващ адаптивна скорост на опресняване на фоновия модел. (Принос 5).
- Предложен и изследван е вариант на метода на фоновото осредняване във времето, (Вариант Б) използващ адаптивен праг на чувствителност в

комбинация с адаптивна скорост на опресняване на фоновия модел. **(Принос 6).**

- Направено е изследване на F-параметъра на предложените два варианта на метода ФОВ, както и на други негови варианти и на известни методи за детектиране на движение. Изследването е извършено при различни условия на наблюдение.
- Предложените варианти на оригиналния метод ФОВ са изследвани и по отношение на времето си на реакция на резки промени в осветеността. Получените резултати показват по-бърза адаптация на предложените варианти на алгоритма спрямо оригиналния метод.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В дисертационния труд са изследвани и анализирани различни алгоритми за детектиране на движение в подвижни изображения. След направения обзор в Глава 1, се вижда, че към момента са разработени множество различни методи за разграничаване на подвижните обекти от фоновия модел във видео изображения. Въпреки това остава отворен проблема за подобрене на основните качествени характеристики при детектиране на движение и намаляване на грешните класификации.

В съответствие с поставените задачи във втора глава е разработен модел за експериментално изследване и оценка на алгоритми за детекция на движение в подвижни изображения. С негова помощ е направено изследване на качествените показатели на различни методи за детектиране на движение при различни условия на наблюдение.

В трета глава са изследвани различни методи за детекция при разнообразни условия на наблюдение – при непостоянно осветление, при ниска осветеност, при лошо качество на изображението и др. Разработен е модел за оценка времето на адаптация при рязка промяна в нивото на осветлението. Направено е измерване на зависимостта на времето на адаптиране на метода на детектиране от нивото на промяна на осветлението при скокообразна промяна в неговото ниво. Изследвано е и влиянието на сигналите за цетова разлика при детектиране на движение в различни условия на наблюдение.

В четвърта глава са предложени два нови варианта на алгоритма на метода ФОВ за детекция на движение. В единия вариант скоростта на опресняване на фоновия модел е модифицирана и е адаптивна са за всеки един пиксел от изображението. В другия предложен алгоритъм освен че, скоростта на опресняване на фона е адаптивна, въведен е и адаптивен праг на чувствителност. Комбинацията от тези две нови условия осигурява високо качество на фоново изваждане при някои специфични условия на детектиране на движение, където традиционните методи срещат затруднения.

Приноси на дисертационния труд

В резултат на изследванията, получените резултати и обобщавайки приносите в края на всяка глава в дисертационния труд, според автора могат да се формулират следните основни научно-приложни и приложни приноси:

Научно-приложни приноси:

Принос 1. Направен е задълбочен теоретичен анализ и е изготвена подробна класификация на методите за детекция на движение в подвижни изображения.

Принос 2. Предложен е математически модел на система за изследване и оценка на качествените показатели на различни методи за детекция на движение в подвижни изображения.

Принос 3. Изследвано и анализирано е влиянието на параметрите на четири метода за детекция на движение върху качеството на детекция на подвижни обекти.

Принос 4. Предложен е математичен модел и алгоритъм за изследване на времето за реакция при промяна на нивото на осветеността на различни по тип методи за детекция на движение в подвижни изображения.

Принос 5. Предложен и изследван е вариант на метода на фоновото осредняване във времето, (Вариант А) използващ адаптивна скорост на опресняване на фоновия модел.

Принос 6. Предложен и изследван е вариант на метода на фоновото осредняване във времето, (Вариант Б) използващ адаптивен праг на чувствителност в комбинация с адаптивна скорост на опресняване на фоновия модел.

Приложни приноси:

Принос 7. Разработено е програмно осигуряване за изследване на предложените модели и алгоритми за детекция.

Приложения

- В интелигентни системи за видео наблюдение изискващи разграничаване на подвижните обекти, тяхната класификация и модел на поведение.
- В системи за видеонаблюдение за контрол трафика по пътищата.
- В компютърното и машинно зрение.
- В специализирани системи за видео наблюдение, за разпознаване контура и броя на подвижните обекти.

Списък на публикуваните работи по темата на дисертационния труд

[Д-1] **Nikolov B., Kostov N., Velikov N.**, “Background Subtraction Methods For Motion Detection in Video Surveillance Systems”, *Journal of Marine Technology and Environment* (biannual publication of Constanta Maritime University and its partners), Romania, vol.2, 2010, ISSN 1844 – 6116, pp. 107-117, 2010.

[Д-2] **Nikolov B., Kostov N.**, “Precision of Some Motion Detection Methods Using Background Subtraction in Traffic Surveillance Video”, *In Proceedings of ICEST Conference 2011*, Nis, Serbia, ISBN: 978-86-6125-031-6, pp. 19-23, June 2011.

[Д-3] **Nikolov B., Kostov N., Yordanova S.**, “Investigation of Mixture of Gaussians Method for Background Subtraction in Traffic Surveillance”, *In Proceedings of ICEST Conference 2012*, Veliko Tarnovo, Bulgaria, ISBN: 978-619-167-002-4, Vol. 2, pp. 395-399, June 2012.

[Д-4] **Nikolov B., Kostov N., Yordanova S.**, “Investigation of Mixture of Gaussians Method for Background Subtraction in Traffic Surveillance”, *International Journal of Reasoning-based Intelligent Systems*, Vol. 5, No. 3, 2013, ISSN 1755-0564, pp.161-168.

[Д-5] **Николов Б.**, „Детекция на движение във видео изображения при непостоянно осветление“, *Морски научен форум - ВВМУ "Никола Йонков Ванцаров"*, ISSN 1310-9278, Том 4, 16-17 май 2013г., Варна, pp. 169-173.

[Д-6] **Николов Б.**, „Детекция на движение при компресирани видео изображения“, *9th International Conference STRATEGY OF QUALITY IN INDUSTRY AND EDUCATION*, Vol. 1, ISBN 978-966-2637-19-9, 31May-7June 2013, Varna, Bulgaria, pp. 357-360.

[Д-7] **Николов Б.**, “Изследване влиянието на цветовите сигнали при детекция на движение в подвижни изображения”, *Сборник научни доклади към: Проект: BG051PO001- 3.6.06, Договор № D01-89/19.03.2012 „Развитие потенциала на докторанти, постдокторанти, млади учени и специализанти от инженерните науки в ТУ- Варна и техния принос за развитие на икономика, базирана на знанието“*, 2013, ISBN 978-954-760-316-5, pp.27-31.

[Д-8] **Nikolov B., Kostov N.**, “Motion Detection Using Adaptive Temporal Averaging Method”, *Radioengineering*, ISSN 1210-2512, Vol. 2, June, 2014, pp. 652-658.

Investigation of Video Motion Detection Algorithms

by Boris Nikolaev Nikolov

A Dissertation for the Degree of Doctor of Philosophy

(ABSTRACT)

The PhD thesis main scope is investigation of different motion detection algorithms in specific video surveillance scenarios.

The literature review of the thesis is dedicated to studying and investigating the different methods motion detection. The Existing methods are analysed and their advantages and disadvantages are examined. Despite the proposed algorithms the basic problems remains – low quality of motion detection in specific problematic surveillance scenarios.

The scope, aim and tasks are derived from the review.

In Issue 2 is proposed a mathematical model for quality parameters evaluation, which are F-measure, Precision, Recall. Four motion detection methods are investigated for typical unproblematic scenario. The methods are: Temporal averaging, Approximate median, Sigma-delta and mixture of Gaussians. The methods parameters are analysed and recommendation for best algorithm performance is proposed.

Issue 3 is dedicated to investigation motion detection algorithms in specific conditions: low light, inconstant illumination, IR images and compressed video signals. The performance of different examined algorithms is compared to different scenarios. Mathematical model and algorithm for measurement the time of adapting the motion detection algorithms after sudden illumination changes are proposed.

In Issue 4 is proposed new version of the original Temporal averaging algorithm. The speed of updating the background model has been modified to be adaptive and determined by pixel difference. Another approach with simultaneously adaptive threshold and background update speed is also proposed. The goal is increasing the F-measure of the method by making the algorithm more versatile for different scene scenarios. Experimental results are shown and analysed. The quality parameters of original method and the proposed method are compared.