

АДАПТИВНА СИСТЕМА ЗА ЦИФРОВИ ОБРАБОТКИ НА ИЗОБРАЖЕНИЯ И ОПРЕДЕЛЯНЕ ПАРАМЕТРИТЕ НА ДИНАМИЧНИ ОБЕКТИ В РЕАЛНО ВРЕМЕ

ADAPTIVE SYSTEM OF DIGITAL IMAGE PROCESSING AND DETERMINATION OF PARAMETERS FOR DYNAMIC OBJECTS IN REAL TIMES

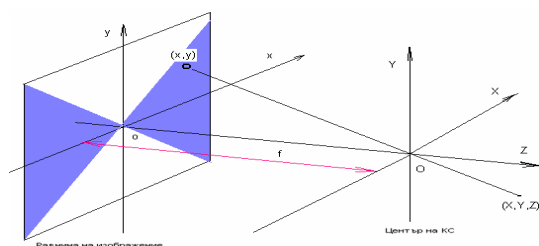
инж. Росен Спиров, Петко Цанов, инж. Нели Грънчарова

Резюме: Статията представя ефективна методика за адаптация на матричен фото-чувствителен прибор за реализация на адаптивна система за цифрова обработка на изображения и откриване на обекти при динамични условия и в реално време с FPGA.

Ключови думи: Обработка на Изображения, Откриване на обекти, Калманов филтър, FPGA

I. ВЪВЕДЕНИЕ

Статията представя изследвания на експериментална адаптивна система с матричен фото-чувствителен прибор със зарядна връзка за цифрови обработки на изображения и определяне параметрите на динамични обекти и работа в реално време [3].



Фиг.1 Схема на процеса на формиране на изображението.

Работната сцена от фиг.1се представя като съвкупност от обекти, разположени в координатната система OXYZ и зададени с коефициентите на отражение $\rho_{oi}, i=1...k$, където k са обектите с различни коефициенти на отражение.

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

Тук с $f(x, y)$ е обозначена функция, която описва изменението на яркостта в сцената, а функциите $s(x, y), g(x, y), n(x, y)$ описват съответно изображението на обекта, фона и широкопослелковия флуактуационен шум. g_0 е постоянната съставна, за която имаме положителни стойности на функцията $f(x, y)$, а x_0, y_0 са координатите на центъра на областта, която е заета от изображението на обекта. Функциите $s(x, y)$ и $g(x, y)$ са детерминирани функции и дават реализациите на случайно поле. При преход от фона към обекта или от обекта към фона,

ще имаме скок на яркостта в областта на границата. Сигнала в изхода на МФПЗВ може да се представи така:

$$U(t) = Q(t) + N(t) \quad (1)$$

Където $Q(t)$ е импулсния сигнал с амплитуда U_m , а $N(t)$ е шумението. Осветеността на фото-чувствителния слой на МФПЗВ E_0 , която се създава от обекта и осветеността E_ϕ , създавана от фона, изхождайки от (2.25) съответно могат да се представят и запишат във вида:

$$E_o = \frac{\rho_o E}{\pi F^2} \quad \text{и} \quad E_\phi = \frac{\rho_\phi E}{\pi F^2} \quad (2)$$

Тук ρ_o, ρ_ϕ са коефициентите на отражение съответно на обекта и фона, а E е общата осветеност на обекта и F е светлината мощ на обектива. Сега може да се запише:

$$\Delta U = \Delta E S_u K_y \frac{T_n}{T} = \frac{(\rho_o - \rho_\phi) E}{\pi F^2} S_u K_y \frac{T_n}{T} \quad (3)$$

За поддържане на постоянно напрежение в изхода на МФПЗВ, при изменение на осветеността е необходимо да се промени времето за натрупване на фото заряд.

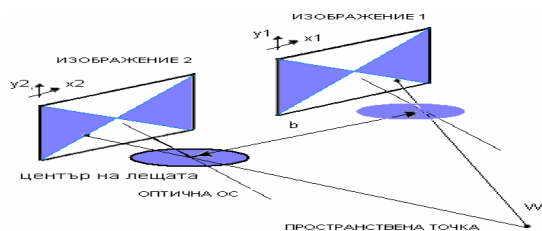
Непрекъснатия аналогов сигнал U_i , постъпва от изхода на МФПЗВ и се преобразува в цифров вид. С преобразуване по Фурие детерминирания съставна на квантувания сигнал се явява периодична функция, която се повтаря с честота ω_0 :

$$U^*(j\omega) = U^*(j(\omega + v\omega_0)), v=0, \pm 1, \pm 2, \dots \quad (4)$$

Следователно, в спектъра на сигнала наред с основния ($v=0$) присъстват безкрайно множество странични спектри, $\pm 1, \pm 2$ и отстоящи един от друг на разстояние ω_0 .

За подтискане на високочестотните шумове успешно се прилагат аналогови филтри.

Информацията за дълбочината на изображението може да се получи с използване на методи за обработка на стереоскопични изображения. То включва две отделни изображения на обекта и пространствената точка W . Задачата изисква да се определят координатите X, Y, Z на точката W , зададена с точките на нейните изображения, респективно (x_1, y_1) и (x_2, y_2) .



Фиг.2 Формиране на стереоизображение

Избира се такава глобална координатна система, началото на която O е разположено на линията по средата между оптичните центрове на ОЕП, а оста OZ е паралелна на оптичните оси. В този случай: $y_1 = y_2 = f \cdot Y/Z$:

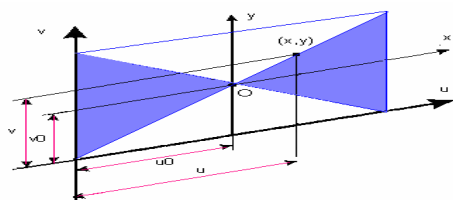
$$x_1 = \frac{f(X - \frac{b}{2})}{Z_1}, \quad x_2 = \frac{f(X + \frac{b}{2})}{Z_2} \quad (5)$$

Тъй както $Z_2 = Z_1 = Z$, то от (2.33) следва:

$$Z = \frac{fb}{x_2 - x_1} \quad (6)$$

Координатата Z на точката W се изчислява с известно разстоянието между съответстващите си координати x_2 и x_1 на изображенията, също стойностите на базовата линия и фокусното разстояние. Декартовите координати X и Y се получават с използването на координатите (x_1, y_1) и (x_2, y_2) и в общия си вид те ще се описват със [8]:

$$X = B \frac{(x_2 + x_1)}{2(x_2 - x_1)}, \quad Y = B \frac{(y_2 + y_1)}{2(x_2 - x_1)} \quad (7)$$



Фиг. 3. Координатна система на изображението

$$u = \frac{x}{w} + u_0, \quad v = \frac{y}{h} + v_0 \quad (8)$$

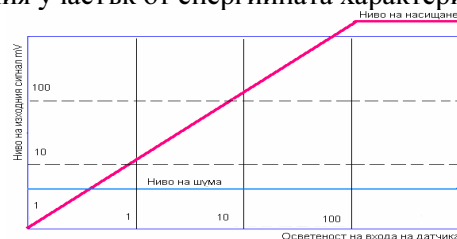
Тук (u_0, v_0) са координатите на главната точка относно началото на координатната система на изображението; w, h са мащабите по осите ox и oy . В новата координатна система проекциите на точките с координати (x, y) ще имат вида:

$$u = \frac{fX}{wZ} + u_0, \quad v = \frac{fY}{hZ} + v_0 \quad (9)$$

Така алгоритъма на процеса на формиране на изображения с МФПЗВ е:

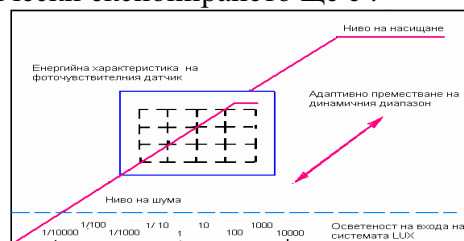
1. Установяване взаимовръзката между точката с координати $OXYZ$ и координатите (x, y) на нейната проекция в равнината на изображението.
2. Условно разделяне на сцената на локално еднородни области, и представяне с математичен модел.
3. Определяне на осветеността на фоточувствителния слой на МФПЗВ.
4. Определяне на сигнала в изхода на МФПЗВ.
5. Квантуване на сигнала и изобразяване на работната сцена във вид на кадри.
6. Изобразяване на динамичния обект с стереоскопични изображения, съпоставяне на точките и измерване на координатите.

Бързата адаптация на МФПЗВ към изменението на външната осветеност е такава, че полезната част от видеосигнала да се намира в пределите на работния участък от енергийната характеристика.



Фиг.4. Енергийната характеристика на МФПЗВ

ФЕП може се разглежда като идеален, тъй като за широк динамичен диапазон фактически експонирането ще е :



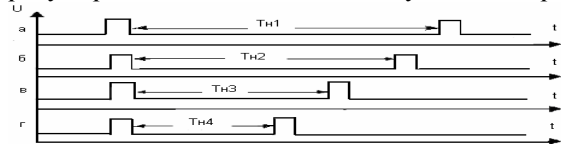
Фиг.5. Енергийната характеристика на ФЕП

За целите на анализа се обозначава с $U_{раб} = [U_{min}, U_{max}]$ работен участък на МФПЗВ, където U_{min}, U_{max} е допустимия диапазон на изходния сигнал, обезпечаващ зададено съотношение сигнал/шум $K_{си}$, а $D\phi$ е динамичния диапазон на МФПЗВ; като D е динамичния диапазон на идеалния ФЕП.

II. ТЕОРЕТИЧНА ОБОСНОВКА

Режима на натрупване може да компенсира част от смущенията $N_{нат}$ и да пренастрои работата на МФПЗВ, така че динамичния диапазон $D\phi$ да се премества по линията на енергийната характеристика на идеалния ФЕП. Реализира се с добавяне към ОЕП на блок за автоматично регулиране на експозицията. С регулиране на

параметъра $t_{нат}$ е възможно стабилизиране на амплитудата на сигнала в изхода на МФПЗВ. Регулирането на амплитудата на видеосигнала може да се осъществи с промяна на времето за натрупване на фотозаряд във МФПЗВ. Регулиране на времето на натрупване се осъществява с регулиране на честотата на импулсната поредица:



Фиг. 6. Диаграми, съответстващи на различните времена за натрупване.

Необходима е оценка на граничните стойности на времената за натрупване, тъй като динамичния диапазон е ограничен отгоре от нивото на насищане и отдолу от нивото на собствените шумове. Тогава t_{min} съответства на максималната осветеност на входа на ФЕП и ще зависи от физическите особености на МФПЗВ, от създаване на обратна връзка. А t_{max} съответства на минималната осветеност на входа на ФЕП и е ограничен от нивото на собствените шумове на МФПЗВ, и честотата на снемане на информацията от изхода на МФПЗВ за последващите обработки. Така за адаптацията на МФПЗВ може да се

запише:

$$t_{нат} = \begin{cases} t_{нат-1} + \Delta t, & \text{ако } U_{изх} < U_{опт} \\ t_{нат-1} - \Delta t, & \text{ако } U_{изх} > U_{опт} \end{cases}$$

(10)

Където $t_{нат-1}$ е предходна стойност на времето на натрупване; Δt е изменението във времето; $U_{опт}$ е оптималното напрежение, при което $K_{сш}$ клони към максимум, което може да бъде определено така:

$$U_{опт} = \frac{U_{max} - U_{min}}{2} \quad (11)$$

Величината Δt се определя от условията на работа на устройството във външната околна среда и ще зависи от скоростта на изменение външната осветеност $\frac{\partial E}{\partial t}$ и ширината на работния

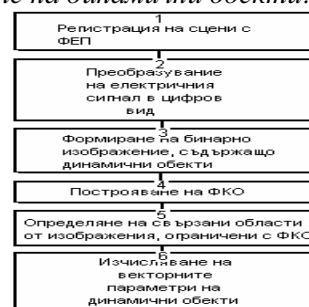
участък $U_{раб}$ от енергийната характеристика на МФПЗВ.

Адаптацията на ФЕП на практика протича стабилно и изходния сигнал на МФПЗВ $U_{изх}$ уверено влиза в режим на следене до $U_{опт}$ за неголеми стойности на Δt , когато външната осветеност се изменя хомогенно, каквото е например сутрешната осветеност [2].

При промяна на амплитудата на изходния видеосигнал, автоматичното регулиране на

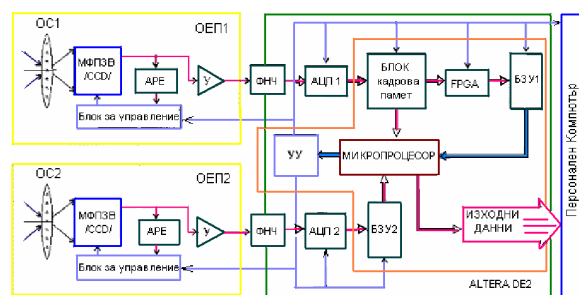
експозицията APE с последователно приближение формира поредици импулси до минимизиране на грешката при отклонението на амплитудата на изходния видеосигнал от зададената стойност. При промяна на амплитудата на изходния видео сигнал, APE с мигновено приближение веднага формира времева поредица съответстваща на минималната грешка на отклонение на амплитудата на изходния видеосигнал от зададената стойност.

Алгоритъм и структура на процесорната архитектура на устройството за определяне на параметрите на динамични обекти.



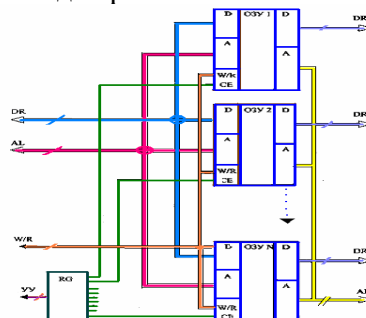
Фиг.7. Алгоритъм

От изхода на АЦП сигнала се записва в блок за кадрова памет. Този блок запомня N кадри от поредицата изображения на работната сцена.



Фиг. 8. Структурна схема на системата за определяне параметрите на динамичните обекти.

Проекта включва организиране на блок за кадрова памет, който е стек с размер N и тип FIFO, като броя клетки му е равен на размера на кадъра. Използват се двупортови ОЗУ. Двата порта R и L допускат независимо заявките за четене и запис до произволна клетка.



Фиг. 9. Структура на блока на кадрова памет

Всеки кадър от поредицата изображения да се съхранява в отделна ОЗУ. За изображение с

размери 640x480 пиксели ОЗУ е 307.2 К байта. Съответните входни адреси AL, данни DL, също входовете W/R, на порта L, се обединяват. 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 SE на порта L са свързани с изходите на преместващ регистър, изходите на който съответстват на броя на използваните ОЗУ. Регистъра осъществява преместване на ниво логическа единица за завършване на запис на един кадър от изображението в ОЗУ. Достъпен за работа през порта L е само един модул от ОЗУ, наречен работен. С преместващия регистър се организира стек FIFO. Чрез порта R се осъществява четене на данни за формиране на бинарното изображение, което съдържа динамични области от изображението $S(k)$ с помощта на FPGA. Съответстващите входни адреси AR, а също така и входовете W/R на порта R се обединяват заедно и постъпват към блока за управление. Двупортовата ОЗУ позволява да се реализира четене на информацията и едновременно с нейния запис, без да е необходимо изчакване на пълното запълване на работното ОЗУ[5]. УУ формира AL и AR, различаващи се само с единица в младшия разряд, което на практика също опростява схемата за формиране на адреси. Изхода на блока на кадровата памет се представя с $N-1$ – мерен вектор с допустимите стойности на пиксела от изображението на фона $X_{min} = [x_{min}^1, x_{min}^2, \dots, x_{min}^{N-1}]$, които се формират на базата на $N-1$ последните стойности $\{x_{min}^k, k = 0, 1, \dots\}$ за пиксела в процеса, и текуща стойност на пиксела в изображението x_{min}^k . На всеки компонент от вектора X_{min} съответстват байтовете данни DR1-DR N-1, а на текущата стойност на пиксела съответства байт данни DR N от работното ОЗУ.

Проверката на условието $\min |X_{min} - x_{min}^k| > \sigma^{ДОП}$ в израза (2.39), се осъществява с FPGA. За 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 сема сигнала $Q=1$ при $X > C$ или $Q=0$ при $X \leq C$. Условието $X > C$ за три разреда може да се зададе:

$$Q = x_2 \bar{c}_2 + x_1 \bar{c}_1 (\bar{x}_2 \oplus \bar{c}_2) + x_0 \bar{c}_0 (\bar{x}_2 \oplus \bar{c}_2) (\bar{x}_1 \oplus \bar{c}_1) \quad (12)$$

Условието (3.4) се разпростира върху произволен брой разреди n :

$$Q = x_{n-1} \bar{c}_{n-1} + x_{n-2} \bar{c}_{n-2} (\bar{x}_{n-1} \oplus \bar{c}_{n-1}) + x_{n-3} \bar{c}_{n-3} (\bar{x}_{n-1} \oplus \bar{c}_{n-1}) (\bar{x}_{n-2} \oplus \bar{c}_{n-2}) + \dots + x_0 \bar{c}_0 (\bar{x}_{n-1} \oplus \bar{c}_{n-1}) (\bar{x}_{n-2} \oplus \bar{c}_{n-2}) \dots (\bar{x}_1 \oplus \bar{c}_1) \quad (13)$$

От формулата следва, че при $c_i = 1 (i = 0, 1, 2, \dots, n-1)$, съответното булево произведение става нула. По такъв начин, при зададено C от дясно във формулата се премахват всички произведения, съответстващи на единичните разреди с двоично представяне $c7...c0$. При $C=1$ от дясно във формулата, аналогично се премахват всички произведения и променливата Q става 0. И обратното при $C=0$ след опростяване формулата ще е:

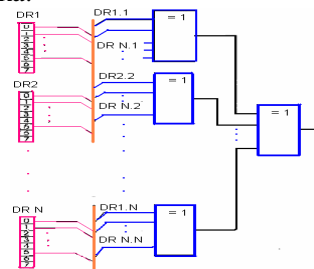
$$Q = x_{n-1} + x_{n-2} + x_{n-3} + \dots + x_0 \quad (14)$$

От формулата (3.6) следва, че $Q=0$ само при $x_{n-1} = x_{n-2} = x_{n-3} = \dots = x_0 = 0$, а за другите случаи $Q=1$, т.е. $X > C=0$. Така броят на логическите произведения при кодирането на FPGA е равен на броя на нулите в двоичното

число $C = \delta^{ДОП}$. За паралелната обработка на данни в FPGA трябва да бъдат реализирани $N-1$ структури, изходите на които са съединени с входовете на логически елемент AND. За целта задачата се опростява с проверка на условието: $\min |X_{min} - x_{min}^k| > \sigma^{ДОП}$ и задачата се свежда до откриване на съвпадение на стойностите на компонентите на векторите X_{min} с еталоните кодове X_{min}^k , при отчитане на допустими стойности на дисперсията $\delta^{ДОП}$ за сравнение подлежат шесте старши разреди от байта данни DR. Съответната организация е:

$$Q = (DR1_5 \oplus DR2_5 \oplus \dots \oplus DRN_5) \oplus (DR1_4 \oplus DR2_4 \oplus \dots \oplus DR1_0 \oplus DR2_0 \oplus \dots \oplus DRN_0) \quad (15)$$

Това сравнение се реализира лесно с логически елементи така:



Фиг.10 Опростена функционална организация
Данните се записват БЗУ1 с обем 37.5 Кбайта. Микропроцесора създава ФКО. Този модул на практика се изпълнява от процесора за вграждане NIOS II Altera[3]. Изчислява се матрицата за корекция на Калмановия филтър и трансфер на изчислените данни към ПК за статистическа обработка и измервания.

Изчисляване на матрицата на корекция на Калмановия филтър [4].

Определянето на матрицата $K(k+1)$, изисква използването на матрица $p \times p$, където p е броя на проекциите на вектора на измерване $z(k)$. Важна особеност на филтъра се явява това, че матрицата $K(k+1)$ не зависи от векторите на измерванията $\{z(1), \dots, z(k+1)\}$ и смущенията $\{w(1), \dots, w(k+1)\}$. Затова тя може да бъде изчислена априори, и нейните елементи се съхраняват до стартирането на обработката на информацията. След това в процеса на обработка, с вектора на измерванията $z(k+1)$ се изчислява матрицата $K(k+1)$, като се прави нова оценка $\hat{x}(k+1)$. За разгледания модел на движение на един динамичен обект, зададен с изрази (2.8), (2.9), процеса $\{w(k), k=0,1,2,\dots\}$ е гаусова бяла поредица с нулево осредняване и постоянна дисперсия Q ; а пък процеса $\{\eta(K+1), K=0,1,\dots\}$ е Гаусова бяла поредица с нулево осредняване и дисперсия R . Така уравненията на Калмановия филтър ще са:

$$\hat{x}(k+1) = E\hat{x}(k) + K(k+1)[z(k+1) - E\hat{x}(k)] \quad (14)$$

$$K(k+1) = \frac{EV_\varepsilon(k) + Q}{EV_\varepsilon(k) + Q + R} \quad (15)$$

$$V_\varepsilon(k+1|k) = EV_\varepsilon(k) + Q \quad (16)$$

$$V_\varepsilon(k+1) = \frac{R(EV_\varepsilon(k) + Q)}{EV_\varepsilon(k) + Q + R} \quad (17)$$

При начални условия $\hat{x}(0) = m_x(0)$, задават се конкретни стойности на параметрите $V_x(0) = 100, V_\varepsilon(0) = 100, Q=25, R=15$. Тогава:

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

$$V_\varepsilon(k+1) = \frac{15(V_\varepsilon(k) + 25)}{V_\varepsilon(k) + 40} = 15K(k+1), \quad k = 0, 1, \dots$$

Таб.1 Експ. стойности на Калмановия филтър:

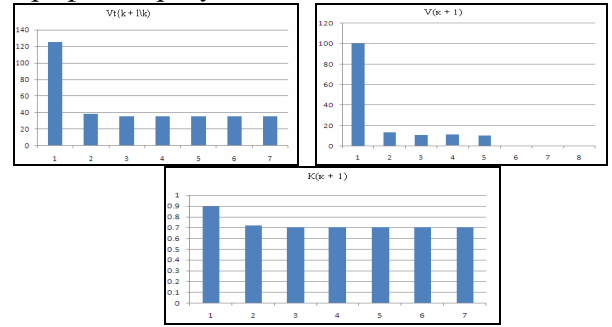
к	Vt{k+1 k}	K(k+1)	V(k+1)
0		—	100.00
1	125.00	0.893	13.393
2	38.393	0.719	10.786
3	35.786	0.705	10,570
4	35.570	0.703	10,549
5	35.551	0.703	10,549
6	35.549	0.703	10,549
7	35.549	0.703	10,549

От последните редове на таблицата се вижда наличието на пределни стойности. Пределната стойност \bar{V}_ε се получава в резултат на задаване на стойности на $V_\varepsilon(k+1) = V_\varepsilon(k) = \bar{V}_\varepsilon$ в последния израз.

$$V_\varepsilon(k)(V_\varepsilon(k) + 40) = 15V_\varepsilon(k) + 375;$$

$$\bar{V}_\varepsilon^2 + 25.\bar{V}_\varepsilon - 375 = 0$$

Графично резултатите изглеждат така:



Фиг. 11. Графично представяне на данните

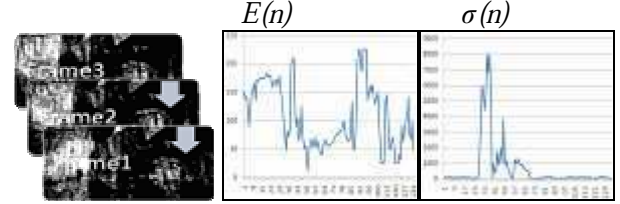
Тъй като $\bar{V}_\varepsilon \geq 0$, то се допуска, че има само един корен на това квадратно уравнение, и той е $\bar{V}_\varepsilon = 10,55$. Тогава установения коефициент на предаване на калмановия филтър е:

$$\bar{K} = \frac{\bar{V}_\varepsilon + 25}{\bar{V}_\varepsilon + 40} = 0,703$$

Калмановия филтър се установява в състояние $k \geq 5$ и се описва с уравнението:

$$\hat{x}(k+1) = \hat{x}(k) + 0.703(z(k+1) - \hat{x}(k)) = 0.297\hat{x}(k) + 0.703z(k+1) \quad (3.12)$$

Количеството кадри N , участващи във формирането на стойностите на извадките от поредицата W , се избира да е 3.

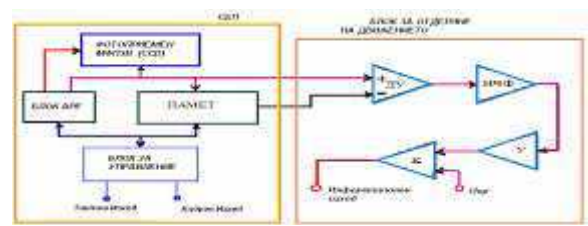


Фиг. 12. Поредица, отчети на яркост и дисперсия

На фигурата визуално са показани стойностите на отчетите на яркостта за всеки пиксел от изображението и съответната дисперсия при всяка извадка от поредицата. Отчетливо се вижда наличие на динамичен обект.

За откриването на динамичен обект се вижда, че ширината на лентата на дисперсионните максимуми $\sigma_x > \sigma_k^{доп}$ и практически остава една и съща, съответстваща на ширината на динамичния обект в изображението [6].

Видеоанализатора разделя информацията на обектите от фона и микропроцесора определя параметрите на движението



Фиг. 13. Видеоанализатор

Записа на аналоговия сигнал се съпровожда с изкривявания и прочитането на сигнала от неговото изкривено копие предизвиква появата на ненулев разликосignal, което е грешката при четене. Тези образи с разликови сигнали имат вида:

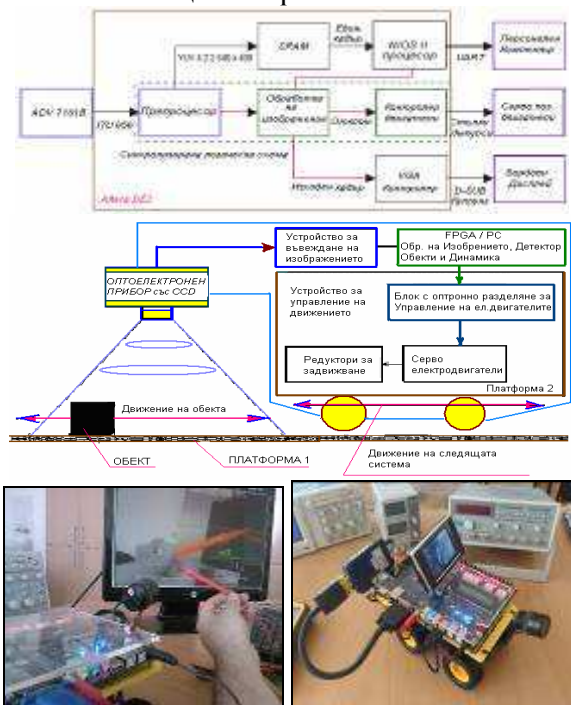
$$D(t) = D_{ДВ}(t) + N_{Отч} \quad (18)$$

Където $D_{ДВ}(t)$ е сигнала характеризиращ движението на обекта; $N_{Отч}$ е грешката на отчитане. Големината на заряда от детектора за времето на експозицията с МСПЗВ е:

$D_{ДВ}(t) = [A(t) - A(t-1)] + N_{Отч} = [U_1(t) + N_1] - [U_2(t) + N_2] + N_{Отч}$
 Натрупаната грешка отчита технологичната особеност на МФПЗВ, затова в извеждения резултат с изваждане се получава само частичната й минимизация. Така, вместо разликата $(U_1(t) - U_2(t))$ и $U_{Отч}(t)$, $(N_1 - N_2)$ на N_{ϵ} , получаваме:

$$X_{ДВ}(t) = U_{Отч}(t) + N_{Отч} + N_{\epsilon} \quad (19)$$

Блок-схемата от фиг.14 показва базовите компоненти на системата, трансформирайки борда Altera DE2 в специализирана система



Фиг.14 Експерименталната адаптивна система за следене на динамични обекти

за цифрови обработки на изображения, адаптирана за следене на динамични обекти.

IV. ИЗВОДИ

Математичния модел предоставя методика и реализация за бърза адаптация на ОЕ устройство на база регулиране на времето за натрупване на заряд в МФПЗВ. Разширява се динамичния диапазон на работа на устройството.

FPGA предоставя бързодействие и точност на работа в реално време на системата паралелни процеси на обработване на изображенията, също гъвкавост при синтеза и корекции.

ЛИТЕРАТУРА:

[1] Киричук Н, Н. Яковенко. Адаптивные алгоритмы поиска малоразмерных объектов на изображениях // Автометрия.-2004
 [2] Костяшкин Л, А. Логинов, Ю Конкин Технология определения координат летательного аппарата на основе совмещения радиолокационной и картографической информации // Мир авионики. 2007.
 [3] Altera “DE2 Development and Education Board” DE2 Package, available online at <http://www.altera.com>
 [4] Alexander S.T. Adaptive Signal Processings Theory and Applications. -N.Y.: Springer-Verlag, 2006.
 [5] Application Note AN-144, Sync Dual-Ports for DSP & Comm Application. IDT Inc., 2000
 [6] Курочкин Е.П., С.В. Копейкин Адаптивные методы обработки измерительной информации. Ташкент.Фан 1986

За контакти:
 9010, Варна, ул. “Студентска” 1
 ТУ-Варна “ОУЛ по Електроника”,
 9010, Варна, Ул. Студентска № 1, 606E
 e-mail: rosexel@abv.bg

Петко Цанов
 ТУ-Варна, кат. ЕТМ, ФЕ,
 9010, Варна, Ул. Студентска № 1,
 e-mail: : pepitas@dir.bg

Нели Грънчарова
 ТУ-Варна “ОУЛ по Електроника”,
 9010, Варна, Ул. Студентска № 1,
 e-mail: : nellv2000@abv.bg