

ОПРЕДЕЛЯНЕ ПАРАМЕТРИТЕ НА ДИНАМИЧНИ ОБЕКТИ И АДАПТИРАНЕ НА ОЕП НА СТЕРЕО ТВИС

DETERMINATION OF PARAMETERS DYNAMICS OBJECTS AND ADAPTATION OF OPTICALELECTRONICS DEVICES OF STEREO TV MESURING SYSTEM

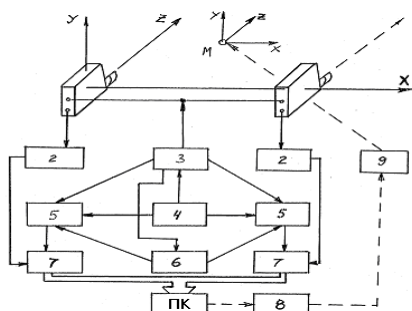
инж. Росен Спиров, Желязко Николов, Любомир Алексиев

Резюме: Статията представя методика за адаптиране на ОЕП за реализиране на адаптивна система за цифрова обработка на изображения и откриване на динамични обекти в реално време с FPGA.

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

I. ВЪВЕДЕНИЕ

Матрични фотопреобразователи със зарядна връзка са предпоставка за създаване на високоточни измерителни прибори и системи от телевизионен тип, предназначени за определяне на пространствената ориентация на динамичните обекти. ТВ системата с един датчик посредством адресация на развиващия лъч дава информация за разположението на даден обект в равнина успоредна на ТВ растера от предавателната ТВ-камера. Получените изображения от две видеокамери се различават по разположението на обектите върху техните растри и са обусловени от различните точки на наблюдение. Чрез несложни операции на базата на едноименните координати се изчислява третата координата. Системите от този тип чрез въвеждане на обратна връзка се превръщат в системи за автоматично регулиране и насочване. На фиг.1 е показана блок схемата на системата.



Фиг.1. Блокова схема на следяща система с автоматично регулиране и насочване

Обозначенията са: 1- ТВ камери, 2- Блок за формиране на сигнала, 3- синхрогенератор, 4-дискретизиращ генератор, 5-адресни броячи, 6-блок за управление, 7-блок за регистрация, 8-управляващо устройство, 9-изпълнително устройство, 10-М наблюдаван обект, ПК-персонален компютър.

Методите и алгоритмите за определяне на параметрите на динамичните обекти при

динамични условия се базират на използване на параметри, еднозначно описващи обекта и неговото поведение в пространството. Следящата ТВИС може да определи координатите и скоростта на обекта чрез координатите на центъра на тежестта му x_u, y_u от сигнала на изображението $U(x,y)$ [1]:

$$x_u = \frac{\iint U(x,y)x dx dy}{\iint U(x,y) dx dy}, \quad y_u = \frac{\iint U(x,y)y dx dy}{\iint U(x,y) dx dy} \quad (1)$$

Алгоритъмът изчислява моментната стойност на бинарно-квантов дискретен сигнал $U(x,y)$ от твърдотелен фото приемник, като за елемента x от реда y той е 0, или 1 [2]:

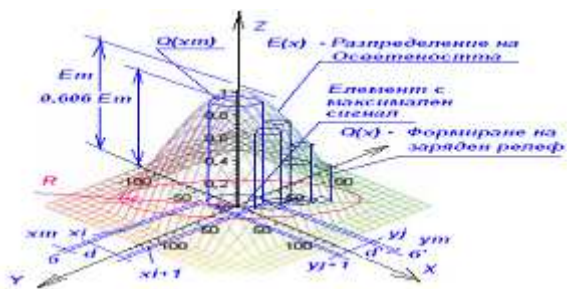
$$x_u = \frac{\sum_i \sum_j P_{ij} x}{\sum_i \sum_j P_{ij}}, \quad y_u = \frac{\sum_i \sum_j P_{ij} y}{\sum_i \sum_j P_{ij}} \quad (2)$$

Алгоритъмът съпоставя двойка изображения посредством еластично разтягане и свиване, което довежда до последователно съвпадане отначало на центровете на масите на целите изображения и така до съвпадане на отделните пиксели.

Под действието на светлината във всяка клетка се натрупва заряд, пропорционален на нейната осветеност и времето за натрупване. Ъгловите координати на безкрайно отдалечен точков източник еднозначно се привързват към линейните координати на изображението върху ПЗВ:

$$X = f \cdot \operatorname{tg} \psi \approx f \cdot \psi; \quad Y = f \cdot \operatorname{tg} \chi \approx f \cdot \chi, \quad (3)$$

Тук ψ и χ са ъгловите координати; X и Y са линейните координати на центъра на изображението в анализираната равнина; f е фокусното разстояние до обектива. Фиг.2 представя разпределение на осветеността по оста X от точков източник и формира *заряден релеф* $Q(X_i)$ върху повърхността на ПЗВ като функция на пространствените координати и положението на елементите.



Фиг.2 Разпределение на осветеноста и формиране на заряден релеф

Условията на работа на ОЕС налага бърза адаптация на МФПЗВ към изменението на външната осветеност така, че полезната част от видеосигнала винаги да се намира в работния участък от енергийната характеристика на МФПЗВ [2]. Както се вижда от графиката, ФЕП може да се разглежда като идеален, тъй като за широк динамичен диапазон експонирането може да се разглежда като адаптивно преместване, илюстрирано на фиг.3.



Фиг.3. Енергийна х-ка на ФЕП

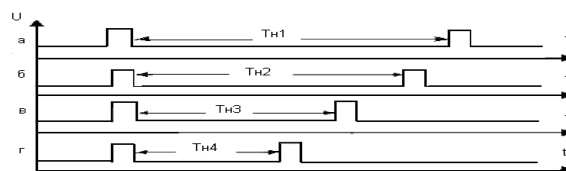
$U_{раб} = [U_{min}, U_{max}]$ е работния участък на енергийната характеристика на МФПЗВ, където U_{min}, U_{max} е допустимия диапазон на изходния сигнал, обезпечаващ зададено съотношение сигнал/шум $K_{сш}$, избрано за конкретната задача за разпознаване; а $D\phi$ е динамичния диапазон на МФПЗВ; като D е динамичния диапазон на идеалния ФЕП.

Идеята се заключава в предположението, че режима на натрупване е способен да компресира 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 идеален ФЕП.

II. ТЕОРЕТИЧНА ОБОСНОВКА

2.1. Автоматично регулиране на експозицията.

С регулиране на $t_{нат}$ се стабилизира амплитудата на сигнала в изхода на МФПЗВ [3] чрез регулиране честотата на управляващата импулсна поредица /фиг.4/.



Фиг.4. Различни времена за натрупване
За адаптацията на МФПЗВ може да се запише:

$$t_{нат} = \begin{cases} t_{нат-1} + \Delta t, & \text{ако } U_{изх} < U_{опт} \\ t_{нат-1} - \Delta t, & \text{ако } U_{изх} > U_{опт} \end{cases} \quad (4)$$

$t_{нат-1}$ е предходна стойност на $t_{нат}$; Δt е промяна във времето; $U_{опт}$ е оптималното напрежение, при което $K_{сш} \Rightarrow \max$ и може да се определи : $U_{опт} = \frac{U_{max} - U_{min}}{2}$ (5)

Величината Δt се определя от условията на работа на устройството във външната околна среда и зависи от скоростта на изменение външната осветеност $\frac{\partial E}{\partial t}$ и ширината на работния участък $U_{раб}$ от енергийната характеристика на МФПЗВ.

В предложения алгоритъм времето за натрупване $t_{нат} \in [t_{min}, t_{max}]$ се разбива на N интервала. На всеки интервал се съпоставя диапазон напрежения $\Delta U_N \in [U_i, U_{i+1}], i = \overline{1, N+1}$ Така при попадане на $U_{изх}$ в диапазона ΔU_N се избира съответстващо време за натрупване такова, че $U_{изх}$ да е в диапазона на $U_{раб}$

Ако $U_{изх} \in [U_{min}, U_{max}]$, то адаптацията ще протича в съответствие с уравнение (5). При промяна на амплитудата на изходния видеосигнал, АРЕ 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, АРЕ с мигновено приближение веднага формира времева поредица съответстваща на минималната грешка на отклонение на амплитудата на изходния видеосигнал от зададената стойност.

2.2. Определяне пределните граници на отдалеченост и скоростта на динамичния обект.

Относителната отдалеченост, отчитайки ъгъла на наблюдение на ОЕП може да се представи с израза [4]:

$$W_0 = 2L - tg\alpha \quad (5)$$

Тук W_0 е линейния размер на обекта по хоризонтала в равнината на изображението; L е разстоянието до обекта; α – ъгъл на наблюдение на

обекта, който се характеризира с величината:

$$tg\alpha = \frac{W_m^0}{2f} \quad (6)$$

Тук W_m^0 е размера на оптическата проекция на наблюдавания обект върху повърхността на МФПЗВ. От изразите (5) и (6) следва, че може да се запише:

$$L = \frac{W_0 f}{W_m^0} \quad (7)$$

За определяне на пределите на измерване на минимално и максимално разстояния може да се използва:

$$\frac{W_m^0}{W_m} = \frac{W_p^0}{W_p} \quad (8)$$

Тук W_m е размера на работната повърхност на МФПЗВ; W_p^0 е размера на пиксела; W_p е размера на пиксела в кадъра на изображението. Замества се W_m^0 в (7):

$$L = \frac{W_0 f W_p}{W_m W_p^0} \quad (9)$$

Вижда се, че минималното възможно разстояние до обекта ще е при $W_p^0 = W_p$, така $\frac{W_p}{W_p^0} = 1$, тогава

минималната стойност се получава при $W_p^0 = 1$.

Тогава минималното и максимално възможни разстояния:

$$L_{\min} = \frac{W_0 f}{W_m}; \quad L_{\max} = \frac{W_0 f W_p}{W_m} \quad (10)$$

Максималната стойност на скоростта на обекта може да се определи:

$$v_{\max} = \frac{W_k}{T_c} \quad (11)$$

Тук $W_k = \frac{W_m L}{f}$ е ширината на равнината на кадъра; а T_c е времето между две следващи кадрови изображения. От формули (10) и (11) става възможно определянето на границите на отдалеченост и скоростта на даден динамичен обект и неговото отделяне в сцената на изображението.

2.3. Отделяне на динамичния обект в сцената на наблюдение.

Качеството на процеса на отделяне на динамичните обекти може да бъде определено с изчисляване на съотношението на нивото на сигнала от обекта към нивото на сигнала от фоновия шум [5]. Обозначенията са: $n(i,j)$ - цифрово изображение на обекта, $m(i,j)$ - цифрово изображение на шума. Тогава за съотношението сигнал/шум [169,170]:

$$K_{cш} = \frac{\sum \sum n(i,j)}{\sum \sum m(i,j)} \quad (12)$$

Измерването на координатите на обекта по оста X в присъствие на фонен шум [139]:

$$X = \frac{X_{об} K_{cш}}{1 + K_{cш}} + \frac{X_{ш}}{1 + K_{cш}} \quad (13)$$

където $X_{об}$, $X_{ш}$ са координатите на обекта и шума. Изразът (13) показва, че резултите от измерването представляват сумарно претеглени координатите на обекта и шума. Специфичното тегло на шумовата съставна намалява с увеличаване на величината $K_{cш}$, а при $K_{cш} \ll 1$ резултата от измерването съвпада с координатите на шума, което означава срив на процеса на следене.

III. МЕТОДИКА

При реализирането на представената идея се взима в предвид направените съображения, че режима на натрупване е способен да компенсира част от смущенията $N_{нат}$ и пренастройва работата на МФПЗВ така, че динамичния диапазон $Dф$ се премества по линията на енергийната характеристика на идеалния ФЕП. За определяне на $K_{cш}$ в процеса на отделяне на динамични обекти се възможно да се приложи следната методика:

1. Изпълнява се поелементно сумиране на стойностите на пикселите съответно по редове и стълбове:

$$\sum_{i=1}^m S_y^i = \sum_{j=1}^n \hat{x}_{ij}; \quad \sum_{i=1}^m S_x^i = \sum_{j=1}^n \hat{x}_{ij} \quad (14)$$

2. Построяват се отделни интервали, разбиващи целия интервал с промяна в последователността. Интервалите са с еднаква дължина: $[z_i, z_j + h)$, $i = 1, 2, \dots, q$, (15)

Тук q е броя на интервалите. Дължината h следва да се избере така, че построената поредица да не бъде тровава, но в същото време това позволява да се открият характерните промени в случайните величини. За h [4]:

$$h = \frac{S_{\max} - S_{\min}}{1 + 3.2221 \lg n} \quad (16)$$

Където S_{\max} , S_{\min} е най-голямата и най-малката стойности във видеопоредиците S_y или S_x . За S_y , $n = 640$, за S_x $n = 480$, тогава от (16):

$$h_y = \frac{S_{\max}^y - S_{\min}^y}{10}; \quad h_x = \frac{S_{\max}^x - S_{\min}^x}{9.6} \quad (17)$$

Ако h е дробно число, то за продължителността на интервала се приема най-близката проста дроб или цяла стойност:

$$z_1 \leq S_{\min}; \quad z_m + h \geq S_{\max} \quad (18)$$

3. Определя се прагова стойност за S_n .

Ако полученото q е нечетно, то $S_n = z_i + \frac{z_{i+1} - z_i}{2}$

, където i е равно на най-малкото цяло, но по-голямо от $q/2$ число. Ако q е четно, то $S_n = z_i$, където i е равно на $q/2$.

4. Определят се средните стойности на сигнала и шума:

$$S_{\text{сигнал}}^X = \frac{1}{K} \sum_{i=1}^K S^X \geq S_N, S_{\text{шум}}^X = \frac{1}{K} \sum_{i=1}^K S^X \geq S_{\text{ш}} \quad (19)$$

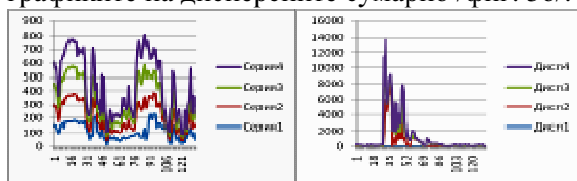
Тук K е количеството ненулеви стойности S_x , по-големи или по-малки от S_n . Аналогично се определят стойностите $S_{\text{шум}}^Y$ и $S_{\text{сигнал}}^Y$.

5. Определя се стойността на $K_{\text{сш}}$:

$$K_{\text{сш}} = \frac{K_{\text{сш}}^X + K_{\text{сш}}^Y}{2} = \frac{1}{2} \left[\frac{S_{\text{сигнал}}^X}{S_{\text{шум}}^X} + \frac{S_{\text{сигнал}}^Y}{S_{\text{шум}}^Y} \right] \quad (20)$$

За увеличаване на стойността на $K_{\text{сш}}$ би могло да се използват различни филтрации. Известно е, че филтъра на Калман дава най-добрите минимални средно квадратични отклонения в оценка на параметрите в сравнение с всички други линейни филтри, в това число и за негаусови шумове.

За всяка извадка от експерименталната поредица след статистическа обработка отчетливо се наблюдава наличие на динамичния обект в графиките на дисперсиите сумарно /фиг. 5б/.



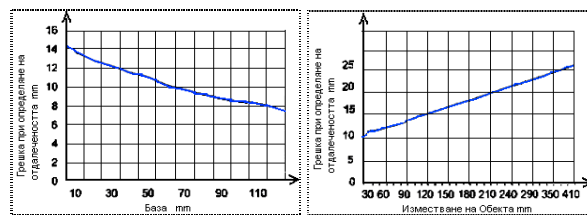
Фиг.5. Яркостта $E(n)$ и дисперсията $\sigma(n)$ на пикселите за всеки ред

Анализът показва има насищане с пикове, съответстващи на пикселите в контрастната област от изображението, но за разлика от тези на динамичния обект, те са разположени в една и съща локалност. Тяхното положение не се променя във времето и това може да бъде взето под внимание при последващо отделяне на динамичния обект. Аналогични са пиковите в дисперсията, неизменящи своето положение в изображенията, които съответстват на наличие на динамичен фон. Той е периодичен и с неголяма амплитуда на колебания. Ширината на лентата на дисперсионните максимуми $\delta_x > \delta_k^{\text{ДОП}}$ и при такива пикове тя е равна на амплитудата на колебанията на фона. За откриването на динамичен обект, дисперсията σ_x за пикселите от реда ширината на лентата на дисперсионните максимуми $\sigma_x > \sigma_k^{\text{ДОП}}$ остава практически една и съща и тя съответства на ширината на динамичния обект.

IV. ЕКСПЕРИМЕНТАЛНИ РЕЗУЛТАТИ

4.1. Експерименталното определяне и анализиране на пространствените координати на обекта.

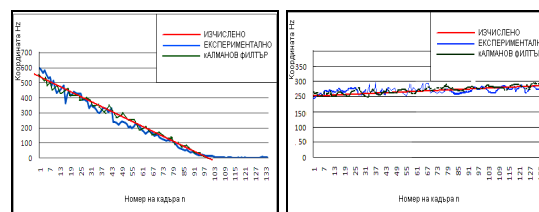
Извършва се с две изображения [5], където p_i и p_i^* са положенията на ОЕП по лъча OX така, че $p = Op_i^*$ и базата е $B = 2p$.



Фиг.6. Грешка при определяне на отдалечеността на обекта от базата (а), и от отместването Δx му (б)

Грешката при определянето на отдалечеността до обекта в зависимост от големината на базата B е показана на фиг. 6а, и в зависимост от отместването Δx на двата обекта относно оста OZ имаме фиг.6б.

4.2. Определяне на координатите на относителния център на динамичния обект и вероятността за откриване на динамични обекти в поредици изображения, се извършва с отделяне на динамичен обект и определяне координатите на неговия относителен център.

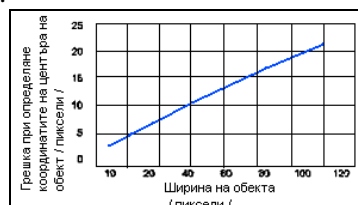


Фиг.7. Резултати от определяне на координатите на обекта по посока на оста OX (а); и по оста OY(б)

Получените експериментални данни се обработват с рекурентен Калманов филтър и сравнителните резултати при определяне на координатите в графична форма са показани на фиг.7. Отклонението на експерименталните резултатите от изчислените стойности по OX:

$$\Delta x = \frac{1}{K} \sum_{i=1}^K |x_{\text{експер}} - x_{\text{расч}}| \quad (21)$$

K е броя измервания. Аналогично се определя отклонението по оста OY- Δy . Зависимостта на грешката при определяне на координатите на центъра на обекта от размерите му е показана на графиката:



Фиг. 8. Грешка при определяне на координатите на центъра на обекта

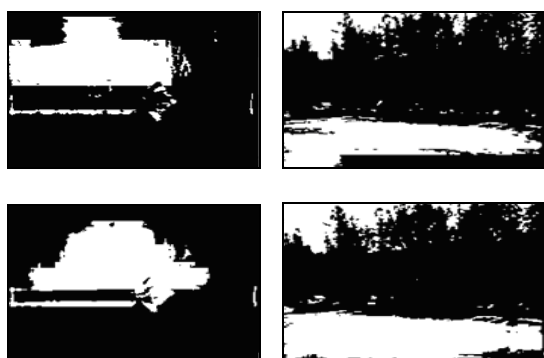
След обработката с филтъра на Калман грешката при определяне на координатите на центъра на обекта е по-малка от 7%. Оценката на вероятността за лъжлива тревога се определя като съотношение на количеството появявания на лъжливи обекти към общото количество кадри в

последователността, съдържаща динамичния обект.

Таблица 1. Експериментални резултати

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

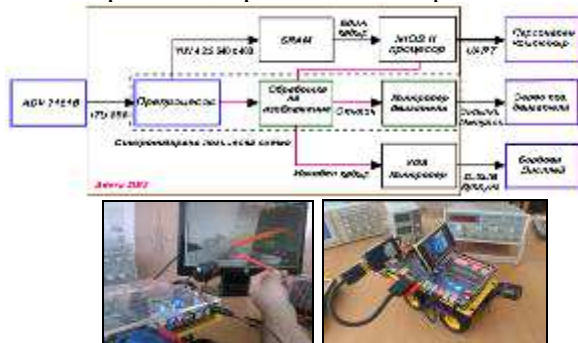
Използвани са кадри от стари записани касети по стандарта VHS, за да се осигури необходимото възможно и достатъчно ниско качество на изображението. Така се пресъздава качеството на изображението при усложнени реални условия на експлоатация и наличие на фрагменти, съдържащи динамични обекти, както илюстрира фиг.9.



Фиг.9. Тестови поредни изображения

Видеопоредиците на изображенията се записват в оперативната памет с честота 25 кадъра/sec. Поредиците изображения се състоят от 100 кадъра които постъпват за цифрова обработка. За всяко получено бинарно изображение по предложената методика, се изчислява стойността на $K_{сш}$. От таблица 1 се вижда, че разработената методика дава сходни резултати с известни методи при статичен, но превъзхожда при динамичен фон.

Базовите компоненти на системата трансформират борда Altera DE2 в специализирана система за цифрова обработка на ТВ изображения, представени на фиг.10.



Фиг.10. Експерименталната адаптивна система

III. ИЗВОДИ

1. Постигнато е съществено разширяване на динамичния диапазон на работа на ОЕП чрез регулиране на времето за натрупване на заряд в МФПЗВ.
2. Методиката за откриване на динамични обекти превъзхожда известните методи в условията на динамичен фон и дава сходни резултати при статичен фон.
3. Използването на стереоскопични изображения позволява анализирани в дълбочина на сцената на наблюдение.
4. Представената методика за ЦОИ обединява възможностите на програмируемите прибори FPGA с бързодействието и точността на CCD сензорите за работа в реално време и приложение в системите за разширен обзор EVS в авиацията.

ЛИТЕРАТУРА:

[1] Altera “DE2 Development and Education Board” DE2 Package, or [available online at] <http://www.altera.com>

[2] Advanced Microcontroller Final Projects, or: <http://people.ece.cornell.edu/land/courses/ece5760/FinalProjects/>

[3] Alexander S.T. Adaptive Signal Processings Theory and Applications. Springer-Verlag, 2006.

[4] Application Note AN-144, „Sync Dual-Ports for DSP & Comm Application. IDT Inc., 2000

[5] Kato N, Median and paired fin controllers for biomimetic marine vehicles, *Journal of Applied Mechanics Reviews*, vol. 58, pp. 238–252, 2005.

За контакти:

Росен Спиров
ТУ-Варна, “ОУЛ по Електроника”,
9010, Варна, Ул. Студентска № 1, 606Е
e-mail: rosexel@abv.bg

Желязко Николов, ВМУ „Никола Вапцаров”
Варна, e-mail: zelyazko_nikolov@abv.bg

Любомир Алексиев
ТУ-Варна, „ОУЛ по Мехатроника”,
9010, Варна, Ул. Студентска № 1, 523НУК
e-mail: aleksiev.l.i@abv.bg