

## ВЫДЕЛЕНИЕ КООРДИНАТ ПОЛЕЗНОГО ИСТОЧНИКА ИЗЛУЧЕНИЯ НА ФОНЕ ПОМЕХ С ФОТОПРИЕМНИКА МАТРИЧНОГО ТИПА

Понятский В.М.<sup>1</sup>, Карамов С.В.<sup>2</sup>, Макарецкий Е.А.<sup>3</sup>

<sup>1</sup>ГУП КБП г.Тула, <sup>2</sup>ЗАО "НТЦ ЭЛИНС" г. Зеленоград, <sup>3</sup>ТулГУ г. Тула

Современные фотоприемники матричного типа (ФПМТ) имеют большое количество элементов и широкий диапазон уровней градаций яркости. В связи с этим информация поступающая с ФПМТ имеет большой объем. Возникает задача реализации обработки изображения и выделения координат полезного источника излучения на фоне помех в реальном масштабе времени.

В общем случае структура оптико-электронного пеленгатора (ОЭП) может быть представлена в соответствии с рисунком. Фотоприемник матричного типа преобразует оптическое излучение в электрический сигнал, являющийся входным для вычислительного устройства. Полезный источник излучения имеет характерные признаки (уровень яркости, размеры, параметры движения).

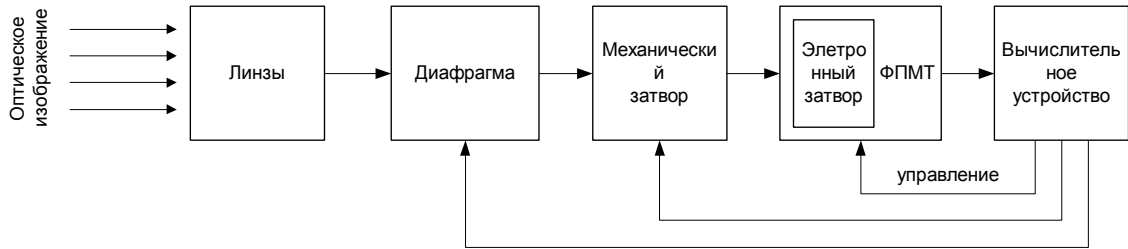


Рис.. Общая структурная схема ОЭП с элементами регулирования

Энергия излучения источника улавливаемая ФПМТ, без учета спектрального распределения, представляется:

$$W(t) = k_c k_a(t) \frac{S_o(t)}{L(t)^2} \tau_H(t) I_u(t), \text{ (Дж)}, \text{ где } S_o \text{ (м}^2\text{)} - \text{площадь объектива с учетом действия}$$

диафрагмы;  $\tau_H$ , (с) – время накопления световых квантов;  $I_u, \left( \frac{Bm}{cp} \right)$  – сила излучения источника;  $k_a$  –

коэффициент пропускания атмосферы;  $k_c$  – коэффициент пропускания оптики ОЭП.

Автоматическое регулирование уровня принимаемого оптического сигнала возможно по параметрам  $S_o$  и  $\tau_H$ . исходя из условия обеспечения постоянства  $W(t)$  вблизи заранее выбранного уровня стабилизации.

При реализации алгоритмов выделения координат полезного источника излучения главной задачей является обеспечение обработки изображения при заданной частоте дискретизации в реальном масштабе времени. Выбор частоты дискретизации выделения координат определяется в соответствии динамическими особенностями источника полезного излучения. Обработка изображения в реальном масштабе времени решается путем выбора наиболее простых алгоритмов обработки и рациональной организации процесса обработки /1/. Процесс обработки информации в вычислительном устройстве целесообразно разделить на два этапа. *Первый этап* обработки заключается в обнаружении характерных объектов на сложном фоне в условиях действия помех, т.е. размерно-яркостное выделение источников излучения. На этом этапе используются следующие алгоритмы: фильтрация изображения, сегментация изображения, выделение объектов, компенсация перемещения изображения. На *втором этапе* обработки происходит анализ характерных признаков объектов, фильтрация и экстраполяция траектории объекта. На выходе формируются координаты полезного источника излучения. Таким образом, вычислительное устройство должно обладать необходимой вычислительной мощностью для реализации двух рассмотренных процессов обработки информации и его целесообразно строить в виде программно-аппаратного комплекса. Первый этап обработки характеризуется большим объемом информации и сравнительно простыми методами ее обработки, легко допускающими распараллеливание процесса вычисления, и использующие операции с невысокой степенью разрядности. В связи с этим оптимальной является реализация этой стадии целиком аппаратным образом с использованием, к примеру, решений на основе программируемых логических интегральных схем (ПЛИС). Второй этап обработки информации характеризуется относительно меньшим объемом данных, но при этом значительно более сложным алгоритмом, использующим обычно представление чисел в формате с плавающей точкой. Для этого этапа оптимальным является использование высокопроизводительного цифрового процессора обработки сигналов (ЦПОС).

Изображению, полученному с ФПМТ, присуще наличие шумовой высокочастотной составляющей и значительный разброс яркости элементов изображения, что приводит к трудностям при определении порогов подавления фоновых составляющих или бинаризации изображения. Поэтому одной из основных

операций предварительной обработки изображения является коррекция (нормализация) его яркостно-контрастных характеристик.

$$b_{ij} = \frac{A_{\max} - b_{\max}}{A_{\max} / 2} a_{ij} + b_{\max}; a_{ij} > \bar{a};$$

$$b_{ij} = \frac{A_{\max} - b_{\max}}{A_{\max} / 2} a_{ij}; a_{ij} \leq \bar{a}.$$

, где  $b_{\max}, b_{\min}$  - максимальный и минимальный уровни

ограничения яркости;  $A_{\max}$  - максимальный уровень яркости.

Для подавления высокочастотного шума (сглаживания) обычно используется линейный фильтр с весовой функцией. Обработка происходит над каждым пикселем методом скользящего окна

$$g(x, y) = \sum_{i=-N}^N \sum_{j=-M}^M h(i, j) f(x+i, y+j),$$

где  $f$  - входной видеокадр,  $g$  - выходной видеокадр,

$h(i, j)$  - двухмерная весовая функция,  $N, M$  - размеры скользящего окна. Целесообразно весовую функцию выбирать в виде гауссиана:

$$h(x, y) = \frac{1}{2\pi\sigma^2} \exp\left(-\frac{(x^2 + y^2)}{2\sigma^2}\right),$$

где  $\sigma$  - среднеквадратическое отклонение гауссиана,

измеряемое в пикселях.

Для подавления импульсных помех эффективно использовать медианную фильтрацию.

$$g(x, y) = \text{med}[a(x+i, y+j), (i, j) \in R],$$

где  $R$  - апертура фильтра (прямоугольная область).

Для выделения объектов в видеокадре можно использовать два метода: селекция статическим порогом и селекция адаптивным порогом. Селекция статическим порогом используется при относительно несложной сцене и/или при условии достаточно больших размеров источника излучения.

По текущему видеокадру строится гистограмма яркостей пикселей изображения. Производится анализ гистограммы с целью оптимального выбора пороговых уровней для бинаризации изображения, при этом используется информация о том, что уровень яркости полезного источника заведомо выше уровня яркости фона, но может быть произвольным по отношению к уровням помех. Дополнительные вычисления заключаются также в нахождении среднего уровня яркости по всему изображению

$$\bar{m} = \frac{\sum_i \sum_j f(i, j)}{NM}.$$

В соответствии со средним уровнем яркости определяется порог.

Селекция адаптивным порогом используется при обработке сложных сцен и эффективна при малых размерах источника излучения. К примеру в случае сложного разнородного фона имеющего ярко выраженную градиентную составляющую. Порог обнаружения определяется как:

$$U_{\text{пор}} = K \cdot \hat{\sigma}_{\text{п}} + \bar{U},$$

где  $\bar{U}$  - математическое ожидание уровня сигнала в "скользящем окне";  $\hat{\sigma}_{\text{п}}$  -

оценка среднеквадратического отклонения помехи;  $K = -\ln(P_{\text{лт}})$ .

Следовательно, для определения порога обнаружения необходимо найти математическое ожидание и среднеквадратическое отклонение фонового шумового сигнала в анализируемом окне.

Алгоритм определения оценки математического ожидания и среднеквадратического отклонения шума следующий:

$$\bar{U}_{\text{п}} = \max\{\bar{U}_{\text{п}}(S_1), \bar{U}_{\text{п}}(S_2), \bar{U}_{\text{п}}(S_3), \bar{U}_{\text{п}}(S_4)\}, \quad \hat{\sigma}_{\text{п}} = \frac{\hat{\sigma}_{\text{п}}(S_1) + \hat{\sigma}_{\text{п}}(S_2) + \hat{\sigma}_{\text{п}}(S_3) + \hat{\sigma}_{\text{п}}(S_4)}{4} - \text{при}$$

однородном шуме, т.е., когда  $\hat{\sigma}_{\text{п}}(S_1) \approx \hat{\sigma}_{\text{п}}(S_2) \approx \hat{\sigma}_{\text{п}}(S_3) \approx \hat{\sigma}_{\text{п}}(S_4)$  и

$\hat{\sigma}_{\text{п}} = \max\{\hat{\sigma}_{\text{п}}(S_1), \hat{\sigma}_{\text{п}}(S_2), \hat{\sigma}_{\text{п}}(S_3), \hat{\sigma}_{\text{п}}(S_4)\}$  - при неоднородном шуме.

Известно, что  $\bar{U} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N a_i$ ,  $\hat{\sigma}_{\text{п}}^2(S_j) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N a_i^2 - \bar{U}^2$ , где  $a_i$  - амплитуда сигнала в текущей ячейке.

Простейшими операциями межкадровой обработки являются сложение и вычитание изображений. Межкадровое вычитание позволяет подавить сигнал от неподвижного фона и выделить изображения движущихся источников излучения. Несмотря на кажущуюся простоту операций, они имеют для изображений свои особенности и разновидности.

Операция вычитания может иметь следующие разновидности: вычитание по модулю, при котором каждый элемент результирующего массива  $C_{ij}$ , описывающего яркости пикселей:  $C_{ij} = |A_{ij} - B_{ij}|$ ;

вычитание с приоритетом первого изображения  $A_{ij}$ :  $C_{ij} = A_{ij} - B_{ij}, A_{ij} > B_{ij}$ , вычитание с приоритетом второго изображения  $B_{ij}$ :  $C_{ij} = 0, A_{ij} < B_{ij}$ ;

$C_{ij} = |A_{ij} - B_{ij}|, A_{ij} < B_{ij}$ ,  
 $C_{ij} = 0, A_{ij} > B_{ij}$ .

При размерной селекции изображения источника полезного сигнала целесообразно учитывать его геометрические размеры, в соответствии с которыми можно определить размеры его изображения на фоточувствительной поверхности ФПМТ. Селекция источника на фоне помех осуществляется в этом случае по следующим условиям:

$R \min[n] < R[n] < R \max[n]$ , где  $R[n]$  реальная величина характерного размера источника;  $R_o[n]$  номинальная величина характерного размера источника;  $R \max[n] = R_o[n] + \Delta R[n]$ ,  $R \min[n] = R_o[n] - \Delta R[n]$  – максимальное и минимальное значение характерного размера.

Выделение источника излучения осуществляется по скорости перемещения:

$$V \min[n] < V[n] < V \max[n]$$

где  $V \min[n], V \max[n]$  – минимальная и максимальная линейные скорости движения бортового источника излучения:  $V \max[n] = \omega_{\max}[n] B[n]$ ,  $V \min[n] = \omega_{\min}[n] B[n]$ ,  $\omega_{\min}[n], \omega_{\max}[n]$  – минимальная и максимальная угловые скорости движения источника излучения,  $B[n]$  – величина смещения источника относительно оси вращения.

После выделения координат полезного источника осуществляется формирование пространственного строга и сопровождение источника в строге. Размер строга может задаваться равным нескольким диаметрам области засветки от полезного источника излучения.

Для того чтобы определить смещение изображения, необходимо вычислить корреляционную функцию. При большом размере изображения данная процедура связана с большими вычислительными затратами. Для их снижения можно использовать разностную функцию

$$SMD(n, m) = \sum_{i=0}^N \sum_{j=0}^M [A(i, j) - A(i - n, j - m)].$$

Построение траектории вращающегося источника излучения (второй этап обработки) по последовательности видеок кадров предлагается осуществлять следующим образом /2/.

Расчет длины вектора и угла поворота относительно предыдущего вектора осуществляется по формулам:

$$r[n] = \sqrt{(X[n] - X[n-1])^2 + (Y[n] - Y[n-1])^2}$$

$$\phi[n] = \arctg \frac{(X[n-1] - X[n-2])(Y[n] - Y[n-1]) - (Y[n-1] - Y[n-2])(X[n] - X[n-1])}{(X[n-1] - X[n-2])(X[n] - X[n-1]) - (Y[n-1] - Y[n-2])(Y[n] - Y[n-1])}$$

Координаты центра вращения определяется:

$$X_u[n] = X[n-1] + ((X[n]-X[n-1])\cos\beta[n] - (Y[n]-Y[n-1])\sin\beta[n]) \left( \frac{1}{(2\sin(\phi[n]/2))} \right),$$

$$Y_u[n] = Y[n-1] + ((X[n]-X[n-1])\sin\beta[n] + (Y[n]-Y[n-1])\cos\beta[n]) \left( \frac{1}{(2\sin(\phi[n]/2))} \right), \quad \text{где}$$

$$\beta[n] = \frac{\pi}{2} - \frac{\phi[n]}{2}.$$

С помощью дискретного фильтра Калмана проводится сглаживание и прогнозирование переменных  $\phi[n], R[n], X_u[n], Y_u[n]$ .

$$\begin{cases} X_o[n+1/n] = F[n] X_o[n] + B[n] U[n]; \\ X_o[n] = X_o[n/n-1] + S[n] K[n] \{Y[n] - H[n] X_o[n/n-1]\}; \\ Y_o[n] = H[n] X_o[n/n-1], \end{cases}$$

Частота и начальная фаза вращения источника излучения:

$$f_\phi[n] = \left( \frac{\Phi_\phi[n]}{2\pi T} \right), \quad \gamma_o[n] = \arctg \left( \frac{Y_k[n]}{X_k[n]} \right) - 2\pi T \Sigma f_\phi[n].$$

Расчет координат источника излучения в видеоизображении при их не выделении проводится исходя из экстраполированных координат движения источника

$$\begin{aligned} X[n] &= X_{ис}[n] + R_x[n] \cos(2\pi T \sum f_x[n] + \gamma_{ос}[n]) \\ Y[n] &= Y_{ис}[n] + R_y[n] \sin(2\pi T \sum f_y[n] + \gamma_{ос}[n]) \end{aligned}$$

Таким образом, обеспечено выделение координат полезного источника излучения на фоне помех по изображению с ФПМТ в реальном масштабе времени за счет выбора наиболее простых алгоритмов и рациональным их разделением для реализации на ПЛИС и ЦПОС.

#### Литература

1. Степаничев И.В., Погорельский С.Л., Галантэ А.И., Понятский В.М., Пальцев М.В. Селекция малоразмерного источника полезного сигнала на фоне различных оптических помех - // 3-я междунар. конф. "Телевидение: передача и обработка изображений" С.-Петербург, 5–6 июня 2003 г. СПб.: Изд-во СПбГЭТУ "ЛЭТИ" - 2003. - С. 50–51.

2. Понятский В.М., Карамов С.В. Интеллектуальная система формирования строка в видеокадре при слежении за вращающимся источником полезного излучения // Материалы межрег. научно-технической конференции «Интеллектуальные и информационные системы» (г. Тула, 14 – 15 декабря 2004 г), - Тула: ТулГУ, 2004.



## SEPARATION OF COORDINATES OF A USEFUL STIMULUS SOURCE ON A NOISE BACKGROUND FROM A PHOTODETECTOR OF A MATRIX TYPE

Ponjatsky V., Karamov S., Makaretsky E.

SUE KBP Tula, JSC "ALINS" Zelenograd, Tula State University

Modern photodetector of a matrix type (PMT) have a great many of members and broad band of levels of gradation of brightness. In this connection the information acting with PMT has large bulk. There is a problem of realization of treating of the map and separation of coordinates of a useful stimulus source on a noise background realtime.

At realization of algorithms of separation of coordinates of a useful stimulus source, a major problem is the supply of treating of the map at given sampling rate realtime. The process of information processing in a computing device is expedient for sectioning into two stages. The maiden development phase is encompass byed discovery of characteristic plants on a composite background in conditions of operating of clutters, i.e. dimensionally - brightness separation of stimulus sources. At this stage the following algorithms will be utilized: filtering of the map, segmentation of the map, separation of plants, compensation of movement of the map. On the second development phase there is an analysis of the characteristic signs of plants, filtering and track coasting of plant.

The maiden development phase is characterized by a large amount of information and rather simple methods of its treating easily supposing a parallelizing of process of calculus, and operating operations with a low-level extent of digit capacity. In this connection optimal the realization of this stage bodily by hardware image with usage of programmed logical integrated circuits (PLIC) is. The second development phase of the information is characterized by a rather smaller data volume, but thus is significant by more composite algorithm operating usually submission of numbers in the format with a floating dot. For this stage optimal usage of a high-performance digital processor of a signal processing (SP) is.

The considerable inaccuracy of brightness of pixels is generic in the map obtained with PMT, that results in difficulties at definition of thresholds of suppression background component or binarization of the map. Therefore one of the basic operations of pretreatment of the map is the police of its brightness -contrast performances. For suppression of an intermittent interference effectively to utilize a median filtering.

For separation of plants in the videosnapshot it is possible to utilize two methods: selection by a static threshold and selection by an adaptive threshold. The selection by a static threshold will be utilized at the rather foolproof scene or under condition of enough large sizes of a stimulus source. The selection by an adaptive threshold will be utilized at treating the composite scenes and is effective at mesh sizes of a stimulus source.

The elementary operations of interframe treating are adding up and deduction of the maps. The interframe deduction allows to suppress a cue from a fixed background and to dedicate the maps of driving stimulus sources.

At dimensional selection of the map of a source of a useful cue it is expedient to allow for its geometrical sizes and signs of a pathway of move. After separation of coordinates of a useful source forming a dimensional strobe and accompaniment of a source in a strobe is carried out.

At a stage of trajectory treating the separation of rotational variables of a stimulus source (radius and frequency), as coordinates of center of rotation is carried out. At not separation of coordinates of a useful stimulus source in the flowing snapshot the forecast of a pathway is carried out with the help of filtering Kalman.

Thus, the separation of coordinates of a useful stimulus source on a noise background under the map with PMT is provided realtime at the expense of a choice of the most simple algorithms and their rational separation for realization on PLIC and SP.

