

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОБНАРУЖЕНИЯ ОБЪЕКТОВ И ИЗМЕРЕНИЯ ИХ КООРДИНАТ И ПАРАМЕТРОВ НА ИЗОБРАЖЕНИИ ЗА СЧЁТ АДАПТИВНОГО ФОРМИРОВАНИЯ ЭТАЛОННЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ

Цуприк С. В., Солонар А. С., Хмарский П. А., Михалковский А. А.

Военная академия Республики Беларусь, Минск, Беларусь, Serhio.Observer@yandex.ru

Одним из направлений применения цифровой обработки изображений является повышение эффективности обнаружения объектов и измерения их координат и параметров в оптико-локационных системах (ОЛС) различного назначения. Для систем данного типа, задачи обнаружения и измерения должны решаться в реальном масштабе времени, что накладывает ограничения на сложность применяемых методов и алгоритмов. Однако большинство из них либо разработаны для простейших моделей, либо не обеспечивают решение задач в условиях изменяющихся конфигурации фона и объекта со временем. В настоящей работе предложен корреляционный метод обнаружения объектов и измерения их координат с адаптивным формированием эталонного изображения.

Существует множество методов обнаружения и сопровождения объектов на изображении, среди которых можно выделить корреляционные, принцип работы которых описан в ряде публикаций [1,2,3,5]. Он заключается в последовательном перемещении по наблюдаемому изображению эталона, который представляет собой заранее известное изображение объекта. Результатом измерения координат объекта является положение эталона, при котором достигается максимум выбранного критерия. Благодаря наличию априорной информации о наблюдаемом объекте, его яркости, размерах и конфигурации, корреляционные способы обладают высокой точностью определения координат. Помимо этого, они обладают высокой помехоустойчивостью за счет сравнения изображения объекта и эталона в каждом элементе разрешения (пикселе). Однако корреляционные способы обладают рядом серьёзных недостатков, главными из которых являются большая вычислительная сложность и неустойчивость при геометрических изменениях изображения объекта в процессе наблюдения.

Для повышения устойчивости корреляционных методов обнаружения и измерения к геометрическим преобразованиям объекта, необходимо обновлять эталонное изображение. Одним из наиболее эффективных способов обновления эталонных изображений является экспоненциальное сглаживание, алгоритм которого определяется выражением:

$$\hat{\Theta}_{k+1} = \alpha \tilde{\Theta}_k + (1 - \alpha)\Theta_{k+1} \quad (1)$$

где $\tilde{\Theta}_k$ – эталонное изображение на k -м кадре; α – коэффициент экспоненциального сглаживания, Θ_{k+1} – изображение объекта на $k+1$ -м кадре.

На базе метода экспоненциального сглаживания изображений был разработан фильтр эталона, представленный на рисунке 1. Принцип работы фильтра эталонов заключается в следующем.

На вход коммутатора поступает изображение объекта Θ_{k+1} и эталонное изображение этого объекта $\tilde{\Theta}_k$ на k -м кадре при условии, что принято решение о правильном обнаружении A_1^* . Задача коммутатора заключается в поэлементном выделении значений интенсивности пикселей изображений Θ_{k+1} и $\tilde{\Theta}_k$, а так же в обратном преобразовании в единое изображение.

Таким образом, на выходе коммутатора формируются значения интенсивностей пикселей $\left\{ \Theta_{i,j(k+1)} \right\}_{i=0, j=0}^{N_x-1, N_y-1} \in \Theta_{k+1}$ и $\left\{ \tilde{\Theta}_{i,j k} \right\}_{i=0, j=0}^{N_x-1, N_y-1} \in \tilde{\Theta}_k$, где i, j – номер элемента матрицы

интенсивностей пикселей изображения Θ_{k+1} , N_x, N_y - число элементов изображения по горизонтали и вертикали соответственно. Принципиально важно, что бы число элементов изображений Θ_{k+1} и $\tilde{\Theta}_k$ были одинаковыми.

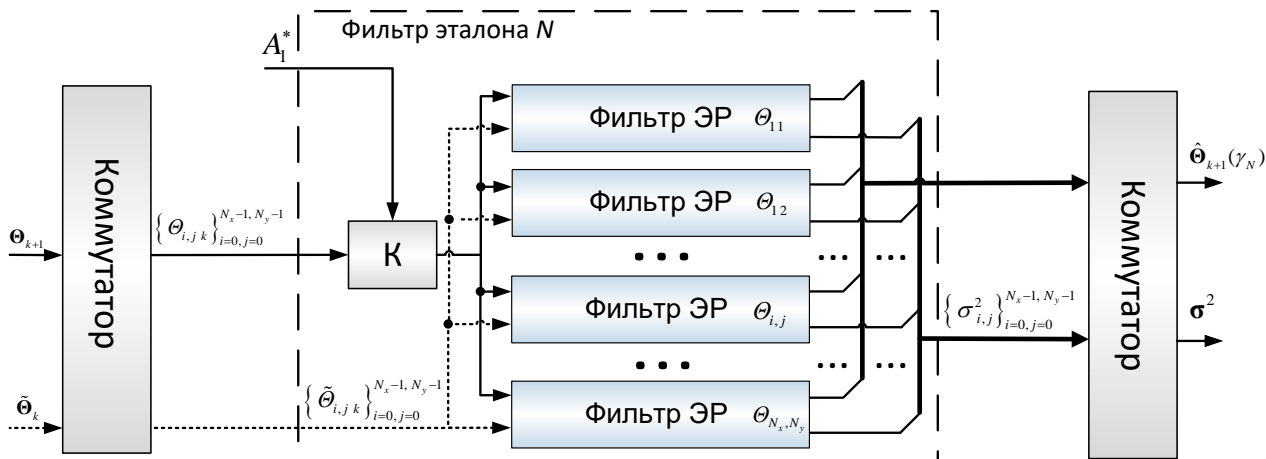


Рисунок 1 – Фильтр эталона наблюдаемого объекта

На вход фильтра элемента изображения (ЭР) поступает значение интенсивности пикселей изображения объекта $\Theta_{i,j}^{(k+1)}$ на $k+1$ -м кадре и эталонного изображения на k -м $\tilde{\Theta}_{i,j}^k$ (рисунок 2). В него входит экспоненциальный фильтр, сдвигающий буфер, устройство вычисления дисперсии.



Рисунок 2 – Фильтр элемента разрешения

На вход фильтра ЭР поступает $\Theta_{i,j}^{(k+1)}$ пиксель изображения объекта, который в свою очередь поступает на экспоненциальный фильтр и сдвигающий буфер. На выходе экспоненциального фильтра формируется значение интенсивности пикселя сглаженного изображения объекта $\hat{\Theta}_{i,j}^{(k+1)}$ согласно выражению 1. По мере заполнения сдвигающего буфера, элементы $\Theta_{i,j}^{(k+1)}$ поступают в устройство вычисления дисперсий σ_{ij}^2 . Необходимость оценки дисперсий σ_{ij}^2 вызвана флуктуацией элементов разрешения изображения объекта, за счет влияния ошибок дискретизации и аддитивного шума. В результате, на выходе фильтра эталона формируется сглаженное эталонное изображение на $k+1$ -м кадре $\hat{\Theta}_{k+1}(\gamma_N)$ для соответствующей модели движения γ_N , которая определяется значением коэффициента экспоненциального сглаживания α и матрица дисперсий σ^2 .

Достоинством данного фильтра является низкая чувствительность к ошибкам дискретизации. Использование межкадровой фильтрации позволяет повысить точность за счет подавления шумов, а наличие памяти в фильтре делает его более устойчивым к случайным сбоям при формировании нового эталона. Разработанный фильтр эталона способен отслеживать в эталоне все основные изменения, возникающие на изображении объекта: размеры, яркость, конфигурация. Однако в случае, когда объект скрывается за препятствием, либо покидает поле зрения видео датчика, происходит срыв сопровождения и объект теряется. Для эффективного отслеживания таких изменений как заезд за препятствие, необходимо увеличивать время памяти экспоненциального фильтра, что не позволит отслеживать в эталоне все основные изменения. Для решения данной проблемы разработан адаптивный фильтр эталонов, структурная схема которого представлена на рисунке 3 [6,7].

Адаптивный фильтр эталонов включает в себя N фильтров эталона, блок вычисления коэффициентов правдоподобия, блок вычисления вероятностей, линию задержки, блок коррекции условных оценок, блок взвешенного суммирования.

Принципы работы предлагаемого адаптивного фильтра эталонов в соответствии с его структурой заключаются в следующем.

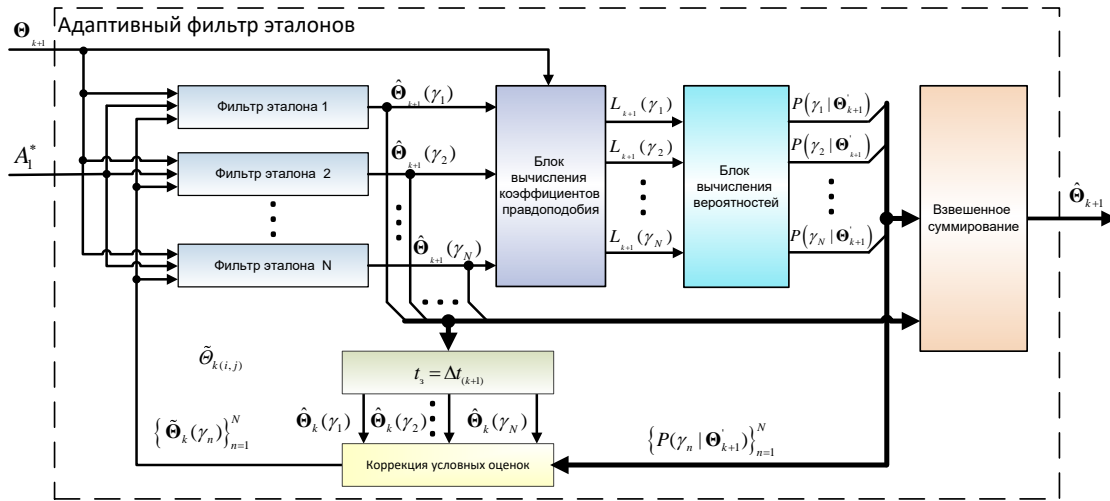


Рисунок 3 – Адаптивный фильтр эталонов

Совокупность сглаженных эталонных изображений $\hat{\Theta}_{k+1}(\gamma_N)$ поступает на вход блока вычисления коэффициентов правдоподобия в соответствии с выражением:

$$L_{k+1}(\gamma_N) = \sum_{i=1}^{N_{nz}} \sum_{j=1}^{N_{nv}} \frac{[\Theta_{i,j(k+1)} - \hat{\Theta}_{i,j(k+1)}]^2}{\sigma_{i,j}^2}, \quad (2)$$

где $\Theta_{i,j(k+1)}$ – интенсивность пикселя изображения объекта на текущем кадре, $\hat{\Theta}_{i,j(k+1)}$ – интенсивность пикселя сглаженного эталонного изображения объекта, $\sigma_{i,j}^2$ – дисперсия флуктуаций цвета пикселя для N -го изображения цели, N_{nz}, N_{nv} – число элементов разрешения изображения объекта по горизонтали и вертикали соответственно.

Совокупность коэффициентов правдоподобия $L_{k+1}(\gamma_N)$ поступает на вход блока вычисления вероятностей:

$$P(\gamma_N | \Theta_{k+1}) = \frac{P(\gamma_N) L_{k+1}(\gamma_N)}{\sum_{n=1}^N P(\gamma_n) L_{k+1}(\gamma_n)}, \quad (3)$$

где $P(\gamma_N) = \sum_{i=1}^N \pi_{iN} P(\gamma_i | \Theta_k)$ – априорная вероятность гипотезы γ_N , $L_{k+1}(\gamma_N)$ – коэффициент правдоподобия гипотезы γ_N .

С учетом вычисленных условных вероятностей $P(\gamma_N | \Theta_{k+1})$, совокупность сглаженных эталонных изображений $\hat{\Theta}_{k+1}(\gamma_N)$ поступает на весовой сумматор, на выходе которого формируется результирующее эталонное изображение $\hat{\Theta}_{k+1}$. Помимо весового суммирования условные вероятности $P(\gamma_N | \Theta_{k+1})$ и совокупность сглаженных эталонных изображений $\hat{\Theta}_{k+1}(\gamma_N)$, задержанных на величину $t_s = \Delta t_{k+1}$, поступают на блок коррекции условных оценок. Коррекция эталонных изображений осуществляется попиксельным суммированием эталонов k -го кадра согласно выражению:

$$\tilde{\Theta}_{k+1}(\gamma_N) = \sum_{i=1}^N \hat{\Theta}_k(\gamma_N) P(\gamma_N / \gamma_i | \Theta_k), \quad (4)$$

где $P(\gamma_N / \gamma_i | \Theta_k) = \frac{\pi_{iN} P(\gamma_i | \Theta_k)}{P(\gamma_N)}$ – условные вероятности перехода i -го изображения цели в N -е.

Коррекция эталонных изображений позволяет быстро отреагировать на изменения условий наблюдения и скорректировать все эталонные изображения. Совокупность скорректированных эталонных изображений $\left\{ \tilde{\Theta}_k(\gamma_n) \right\}_{n=1}^N$ поступает на вход фильтров эталона в качестве нового эталонного изображения.

Результаты экспериментов показывают, что для эффективной работы адаптивного фильтра эталонов достаточно двух каналов обработки (фильтров эталона). Один канал, настроенный на большее время памяти (7-9 с), а второй на меньшее время памяти (1-3 с). Использование двух экспоненциальных фильтров эталонного изображения позволяют не только компенсировать влияние аддитивного шума и эффектов дискретизации, но и эффективно отслеживать быстрые изменения в эталонном изображении и пропадание объекта из поля зрения видео датчика.

Заключение. В докладе рассмотрен корреляционный способ обнаружения объектов и измерения их координат с адаптивным обновлением эталонных изображений. Для адаптации эталонных изображений к возможным изменениям яркости, размеров или конфигурации объекта и фона, разработан фильтр эталонов (рисунок 1). Принцип его работы основан на алгоритме экспоненциального сглаживания. Однако, использование одного фильтра эталона не позволяет учесть возможные пропадания объекта из поля зрения видео датчика. Для этого разработан адаптивный фильтр эталона (рисунок 3), который позволяет сформировать несколько эталонных изображений с разным интервалом их обновления. Результаты экспериментов показала, что для эффективной работы адаптивного фильтра эталонов достаточно двух каналов обработки. Один канал настроен на отслеживание быстрых изменений в эталонном изображении (1-3 с), а второй на возможные пропадания объекта из поля зрения видео датчика (7-9 с). Это позволяет скомпенсировать влияние аддитивного шума и эффектов дискретизации, эффективно отслеживать быстрые изменения в эталонном изображении и пропадание объекта из поля зрения видео датчика.

Литература:

1. Алпатов, Б.А. Методы автоматического обнаружения и сопровождения объектов. Обработка изображений и управление / Б.А. Алпатов (и др.). – М: Радиотехника, 2008. – 176 с.

2. Алпатов, Б.А. Методы обработки и анализа изображений в бортовых системах обнаружения и сопровождения объектов / Б.А. Алпатов, П.В. Бабаян – М: Цифровая обработка сигналов, №2/ 2006.

3. Гонсалес, Р. Цифровая обработка изображений / Р. Гонсалес, Р. Вудс. – М.: Техносфера, 2005. – 1027 с.

4. Солонар, А.С. Оптико-локационный координатор системы самонаведения беспилотного летательного аппарата / А.С. Солонар, П.А. Хмарский, А.А. Михалковский, С.В. Цуприк, В.С. Иванюк // Докл. БГУИР. – 2018. – № 3 (113). – С. 19 – 25.

5. Хмарский, П.А. Особенности реализации адаптивных дискретных квазилинейных фильтров параметров траекторий / П.А.Хмарский, А.С.Солонар // Доклады БГУИР. - 2012. - №8 (70). - С. 57-64.

6. Хмарский, П.А. Влияние условий наблюдения на показатели качества дискретных фильтров Калмана при наблюдении прямоугольных координат / П.А.Хмарский, А.С.Солонар // Приложение к известиям НАН РБ, физико-технические науки. - 2014. - №2. - С. 102-109.

7. Обнаружение и координатометрия оптико-электронных средств, оценка параметров их сигналов / Под ред. Ю.Л. Козирацкого. – М.: Радиотехника, 2015. – 454 с.