

СОВМЕСТНАЯ ОБРАБОТКА ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТИ ИЗОБРАЖЕНИЙ ПРИ ПОИСКЕ ДВИЖУЩИХСЯ ОБЪЕКТОВ С ИЗВЕСТНЫМ ВЕКТОРОМ СКОРОСТИ

В. С. Киричук, В. П. Косых, Т. Курманбек уулу

Институт автоматике и электростроения СО РАН

г. Новосибирск

Введение. Известно, что на плоскости матрицы фотоприемного устройства (ФПУ) регистрируемые сигналы от малоразмерных объектов, размеры которых соизмеримы с размером элемента ФПУ, в зависимости от положения центра объекта относительно центра элемента ФПУ имеют различные формы. Для надежного обнаружения таких объектов требуется адаптивный фильтр, который подстраивается под каждую форму сигнала от объекта. В работе [1] был предложен алгоритм адаптивной фильтрации, основанный на методе максимального правдоподобия. Как показали численные эксперименты [1], адаптивная фильтрация дает существенное увеличение отношения сигнал/шум (на краях элемента ФПУ до 1.5 раза, а в угловой точке почти в 2 раза), а также позволяет оценить координаты объекта с субпиксельной точностью даже для сравнительно малого отношения сигнал/шум входного изображения. Но данный алгоритм требует значительных вычислительных затрат, поскольку его решение достигается итерационным способом.

Вместо итерационной подстройки адаптивного фильтра для каждого положения объекта можно построить множество фильтров, и затем выполнить процедуры многоканальной фильтрации. Подходы решения таким способом рассматривались в работах [2,3]. Однако на практике такой подход не применим опять же из-за большой вычислительной сложности, поскольку для обнаружения объекта необходимо каждый дискретный узел изображения обработать всем набором фильтров. Поэтому целесообразно ограничить набор фильтров достаточным количеством.

Исходя из исследований выполненных в работе [1], был реализован алгоритм четырехканальной фильтрации [4], где фильтр предлагается настраивать только в четырех положениях объекта: в центре, на краях и в угловой точке элемента ФПУ. По сравнению с адаптивной фильтрацией такая процедура, во-первых, требует меньшего количества вы-

числительных операций при незначительном ухудшении качества фильтрации, а во-вторых, может быть легко выполнена в целочисленной арифметике, что немаловажно при ее аппаратной реализации. Основным выигрыш достигается за счет исключения итерационной процедуры оценивания субпиксельных координат исследуемого объекта.

В работе [5] экспериментально было показано, что использование четырехканальной фильтрации по сравнению с пространственно-инвариантной фильтрацией в задаче обнаружения малоразмерных объектов по одному изображению дает более высокую вероятность обнаружения. В настоящей работе предлагается алгоритм, повышающий вероятность обнаружения движущихся малоразмерных объектов в последовательности изображений за счет накопления с выбором фильтров соответствующих субпиксельному положению объектов на каждом кадре.

Математическая модель. Оптическое изображение, проецируемое на плоскость матрицы ФПУ можно представить в следующем дискретном виде:

$$D_{ij}(t) = b + A(t)f(x_i - x_0(t), y_j - y_0(t)) + \xi_{ij}, \quad (1)$$

где $i = 1 \dots N_x$, $j = 1 \dots N_y$ - номер узла дискретной решетки, N_x, N_y - размеры изображений, $t = 0 \dots T$ - номер момента времени регистрации, T - количество кадров последовательности, b - постоянный фон, A - амплитуда объекта, f - форма объекта в момент времени t , $x_0(t), y_0(t) \leq 1$ - субпиксельные координаты в момент времени t , ξ_{ij} - случайная величина с нормальным распределением.

Субпиксельные координаты центра объекта меняются по времени согласно выражениям:

$$x_0(t) = x_0 + v_x t, \quad y_0(t) = y_0 + v_y t, \quad (2)$$

здесь v_x, v_y - известные скорости объекта по

соответствующим координатам.

Накопление изображений с пространственно-инвариантной фильтрацией. Для обнаружения объекта на первом изображении последовательности $t' = 1 \dots K$ с помощью накопления двух или более K изображений с пространственно-инвариантной фильтрацией проводятся следующие шаги. Предполагается, что на первом $t'=0$ изображении координаты центра объекта находятся в центре элемента ФПУ, то есть в субпиксельных координатах $x_0 = 0, y_0 = 0$. С помощью выражений (2) вычисляется виртуальная траектория, то есть рассчитываются координаты объекта для всех остальных кадров последовательности t' . Далее находятся целочисленные смещения объектов $\Delta x(t') = x_0(t')$, $\Delta y(t') = y_0(t')$ на каждом кадре. Затем, смещая все K изображения на величины $\Delta x(t')$, $\Delta y(t')$ суммируем их относительно первого $t'=0$ изображения последовательности, то есть получаем

$$\tilde{D}_{ij} = \sum_{t'=0}^K D_{ij}(t') \quad (3)$$

Полученное суммарное изображение \tilde{D}_{ij} подвергается фильтрации пространственно-инвариантным фильтром $\mathbf{f}(x_0; y_0)$, настроенным на центр ($x_0 = 0, y_0 = 0$) элемента ФПУ. Отфильтрованное изображение подвергается к пороговой обработке. Для обнаружения объекта на втором и последующих кадрах последовательности проводятся операции, аналогичные описанным выше, каждый раз со смещением на один кадр вперед.

Накопление изображений с четырехканальной фильтрацией. В отличие от предыдущего алгоритма здесь предполагается, что на первом изображении первоначально центр объекта может находиться в одном из четырех положений: в центре элемента ФПУ ($x_0^{(1)} = 0, y_0^{(1)} = 0$), на краях ($x_0^{(2)} = 0, y_0^{(2)} = 0.5$), ($x_0^{(3)} = 0.5, y_0^{(3)} = 0$) или в угловой точке ($x_0^{(4)} = 0.5, y_0^{(4)} = 0.5$). Также с учетом заранее известных параметров v_x, v_y объекта для каждого из четырех положений рассчитываются четыре виртуальные траектории с помощью выражения (2) и вычисляются целочисленные и субпиксельные смещения объекта. Для каждого изобра-

жения отдельной виртуальной траектории в зависимости от субпиксельных координат объекта подбирается один из четырех фильтров $\mathbf{f}(x_0; y_0)$, где каждый фильтр настроен на первоначальные четыре положения объектов. Аналогично вышеприведенным операциям, для каждой виртуальной траектории получаем суммарные изображения (3), то есть:

$$\tilde{D}_{ij}^1 = \sum_{t'=0}^K D_{ij}(t') - \text{суммарное изображение первой возможной траектории,}$$

$$\tilde{D}_{ij}^2 = \sum_{t'=0}^K D_{ij}(t') - \text{суммарное изображение второй возможной траектории,}$$

$$\tilde{D}_{ij}^3 = \sum_{t'=0}^K D_{ij}(t') - \text{суммарное изображение третьей возможной траектории,}$$

$$\tilde{D}_{ij}^4 = \sum_{t'=0}^K D_{ij}(t') - \text{суммарное изображение четвертой возможной траектории.}$$

Далее из данных четырех суммарных изображений строится результирующее изображение \tilde{D}_{ij}^{\max} , путем выбора максимального значения из соответствующего i, j -элемента каждого суммарных изображений, то есть согласно выражению:

$$\tilde{D}_{ij}^{\max} = \max(\tilde{D}_{ij}^1, \tilde{D}_{ij}^2, \tilde{D}_{ij}^3, \tilde{D}_{ij}^4).$$

Затем полученное изображение \tilde{D}_{ij}^{\max} подвергается пороговой обработке с целью обнаружения объектов, а полученные оценки вероятности обнаружения относятся к первому кадру последовательности. Для последующих кадров последовательности описанная процедура накопления с четырехканальной фильтрацией повторяется со смещением на один кадр последовательности.

Экспериментальные результаты. На приведенных рисунках показаны экспериментально оцененные вероятности обнаружения от уровня ложных тревог. Обозначение маркеров:

- - теоретический предел,
- ◆ - четырехканальная фильтрация
- × - пространственно-инвариантная фильтрация.

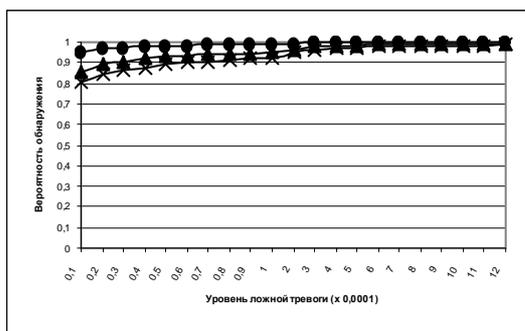


Рисунок 1 – Вероятность обнаружения объектов

На рисунке 1 приведены графики, когда начальное положение объекта на первом кадре последовательности находилось в центре элемента ФПУ, а вектор скорости составлял $v_x = 0.5, v_y = 0.5$ соответственно по координатам x и y . Из рисунка 1 видно, что накопление с четырехканальной фильтрацией позволяет с большей вероятностью обнаруживать объект, чем накопление с пространственно-инвариантной фильтрацией. Но увеличение вероятности обнаружения составляет не более 0,05, поскольку объект во всех кадрах находится в наихудшем для обработки четырехканальной фильтрации положении.

Когда же начальное положение объекта на первом кадре последовательности соответствовало угловой точке элемента ФПУ, а вектор скорости составлял $v_x = 1, v_y = 1$, то эффективность четырехканальной фильтрации существенно увеличивалась. Как показано на рис.2, оценка вероятности обнаружения при накоплении с четырехканальной фильтрацией, для заданного уровня ложной тревоги 10^{-5} , увеличение составляет до 3, по сравнению с накоплением с пространственно-инвариантной фильтрацией.

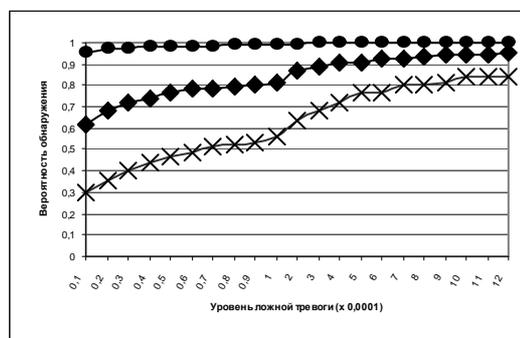


Рисунок 2 – Вероятность обнаружения объектов

Заключение. Экспериментальные исследования показали, что предлагаемый алгоритм накопления с четырехканальной фильтрацией даже для малого отношения полезного сигнала и шума обеспечивает высокую вероятность обнаружения по сравнению с накоплением с пространственно-инвариантной фильтрацией.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Киричук В.С. Адаптивная фильтрация с субпиксельным оцениванием координат точечных объектов / Киричук В.С., Косых, В.П. Курманбек уулу Т. // Автометрия. 2006. 42, №1.С.3.
2. Киричук В.С. Многоканальная линейная фильтрация // Автометрия. 1988. №3.С.84.
3. Kosykh V.P. Subpixel estimating coordinates of point targets. // 7th International Conference on Pattern Recognition and Image Analysis: New Information Technologies (PRIA-7-2004). St. Petersburg: SPbETU, 2004. Vol.3, P. 744-747.
4. Т.Курманбек уулу Модификация алгоритма адаптивной фильтрации изображений точечных объектов // Автометрия. 2007. 43, №1.С.44.
5. Киричук В.С. Обнаружение точечных объектов с помощью модифицированного алгоритма адаптивной фильтрации / Киричук В.С., Курманбек уулу Т. // Хаос и структуры в нелинейных системах. Теория и эксперимент Астана, 2006
6. Бакут П.А. Сегментация изображений: методы пороговой обработки / Бакут П.А., Колмогоров Г.С., Ворновицкий И.Э. // Зарубежная радиоэлектроника. 1987. № 10. С. 6...24.