

МОДИФИКАЦИЯ АЛГОРИТМА АДАПТИВНОЙ ФИЛЬТРАЦИИ ИЗОБРАЖЕНИЙ ТОЧЕЧНЫХ ОБЪЕКТОВ

Т. Курманбек уулу

*Институт автоматки и электрометрии СО РАН, г. Новосибирск
E-mail: ilim-elim@mail.ru*

Предложен алгоритм четырехканальной фильтрации изображений точечных объектов, полученный путем модификации алгоритма адаптивной фильтрации. Показано, что при незначительном ухудшении качества четырехканальной фильтрации по сравнению с адаптивной фильтрацией вычислительные затраты снижаются в несколько раз.

Постановка задачи. При регистрации матричным фотоприемным устройством (ФПУ) точечного объекта, т. е. объекта, размер которого сравним с размером элемента ФПУ, форма сигнала существенно изменяется при перемещении координат центра объекта в пределах элемента ФПУ [1]. С целью повышения надежности обнаружения точечных объектов на случайном фоне в [2] был предложен алгоритм адаптивной фильтрации, основанный на методе максимального правдоподобия.

Результатом адаптивной фильтрации является изображение

$$q = \frac{\mathbf{d}^T \mathbf{f}(\hat{x}_0, \hat{y}_0) - \mathbf{e}^T \mathbf{d} \mathbf{e}^T \mathbf{f}(\hat{x}_0, \hat{y}_0)/N}{\sqrt{\mathbf{f}^T(\hat{x}_0, \hat{y}_0) \mathbf{f}(\hat{x}_0, \hat{y}_0) - [\mathbf{e}^T \mathbf{f}(\hat{x}_0, \hat{y}_0)]^2/N}}, \quad (1)$$

где \mathbf{d} – вектор, построенный из измерений сигнала ФПУ (рассматривается окрестность Ω , состоящая из $N = 5 \times 5$ элементов); $\mathbf{f}(\hat{x}_0, \hat{y}_0)$ – определенный на Ω адаптивный фильтр, подстраивающийся под положение объекта; $\mathbf{e} = \underbrace{(1, \dots, 1)}_N^T$.

Оценки координат объекта \hat{x}_0, \hat{y}_0 относительно центрального элемента окрестности ($-0,5 \leq \hat{x}_0, \hat{y}_0 \leq 0,5$, в качестве единицы измерения координат и размера объекта принят шаг матрицы ФПУ) и вид фильтра \mathbf{f} получаются посредством минимизации функционала

$$J = \left[\mathbf{d}^T \mathbf{d} - \frac{(\mathbf{e}^T \mathbf{d})^2}{N} \right] - \frac{(\mathbf{d}^T \mathbf{f}(x_0, y_0) - \mathbf{e}^T \mathbf{d} \mathbf{e}^T \mathbf{f}(x_0, y_0)/N)^2}{\mathbf{f}^T(x_0, y_0) \mathbf{f}(x_0, y_0) - [\mathbf{e}^T \mathbf{f}(x_0, y_0)]^2/N} \quad (2)$$

по параметрам x_0, y_0 в окрестности Ω каждого элемента ФПУ.

Численные эксперименты показали [2], что адаптивная фильтрация дает существенное увеличение отношения сигнал/шум, но требует значительных вычислительных затрат, поскольку минимизация (2) осуществляется итерационным способом. Далее предлагается алгоритм, позволяющий существенно уменьшить объем вычислений при незначительном ухудшении отношения сигнал/шум.

Четырехканальная фильтрация. Вместо итерационной подстройки фильтра под положение объекта в предлагаемом алгоритме используются четыре фильтра вида (1), настроенные на четыре различных положения центра объекта: в центре ($x_0^{(1)} = 0, y_0^{(1)} = 0$), на краях ($x_0^{(2)} = 0, y_0^{(2)} = 0,5$), ($x_0^{(3)} = 0,5, y_0^{(3)} = 0$) и в угловой точке ($x_0^{(4)} = 0,5, y_0^{(4)} = 0,5$) элемента ФПУ. Результатом работы алгоритма является изображение, каждый элемент которого вычисляется как $q_{\max} = \max(q^{(1)}, q^{(2)}, q^{(3)}, q^{(4)})$.

По сравнению с адаптивной фильтрацией такая процедура, во-первых, требует меньшего количества вычислительных операций, и, во-вторых, может быть легко выполнена в целочисленной арифметике, что немаловажно при ее аппаратной реализации. Суть задачи состоит в выяснении, насколько при этом ухудшается качество фильтрации, характеризуемое величиной отклика на выходе фильтра.

Экспериментальные результаты. Сравнение качества адаптивной и четырехканальной фильтраций проводилось путем численного моделирования. Изображение объекта в плоскости ФПУ, как и в [2], формировалось в виде гауссоиды $\frac{A}{2\pi r^2} e^{-(x^2 + y^2)/(2r^2)}$ ($r = 0,4; 0,5; 0,6; 0,7, A = 100$), искаженной

аддитивным некоррелированным нормальным шумом с нулевым средним и среднеквадратичным отклонением (СКО) $0 \leq s \leq 0,1A$. Для каждого размера и положения объекта проводилось по 1000 экспериментов, различающихся реализациями шума.

Изменение амплитуды сигнала на выходе ФПУ в зависимости от положения центра объекта относительно центрального элемента окрестности Ω для объекта с $r = 0,4$ показано на рис. 1. Из рисунка следует, что при смещении координат центра изображения объекта от центра элемента к его углу от-

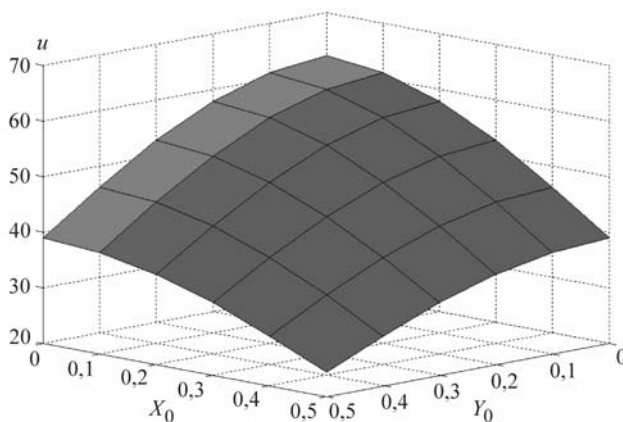


Рис. 1. Зависимость амплитуды выходного сигнала ФПУ от положения центра объекта

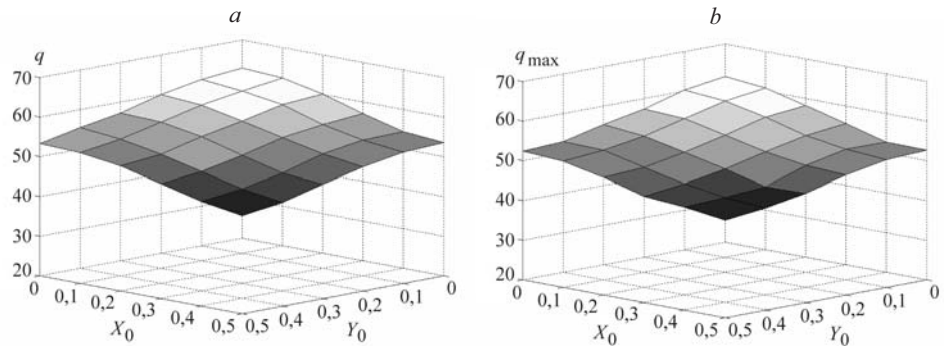


Рис. 2. Отклики фильтров в зависимости от положения центра объекта: адаптивного (а) и четырехканального (b)

ношение сигнал/шум падает почти в 3 раза (с 62 в центре до 24 в угловой точке). При увеличении размера объекта изменение отношения сигнал/шум уменьшается, но остается значительным, пока размер объекта сравним с размером элемента ФПУ.

Отклики q адаптивного и q_{\max} четырехканального фильтров, полученные фильтрацией изображения объекта с $r = 0,4$ и $s = 10$, приведены на рис. 2. Четырехканальный фильтр дает практически такой же результат, как и адаптивный фильтр, позволяющий увеличить отношение сигнал/шум входного изображения в углу элемента в 1,8 раза, а на краях в 1,4 раза (см. рис. 1 и рис. 2, а).

Качество четырехканальной фильтрации в сравнении с адаптивной фильтрацией иллюстрирует рис. 3. Здесь приведено отношение q/q_{\max} для случая, когда $r = 0,4$ и $s = 0$. Как следует из рисунка, при совпадении положения объекта с положением фильтров $q^{(1)}$, $q^{(2)}$, $q^{(3)}$, $q^{(4)}$ применение четырехканального и адаптивного фильтров дает одинаковое увеличение отношения сигнал/шум, а в других положениях объекта качество четырехканальной фильтрации незначительно ухудшается (в рассматриваемом случае максимальное ухудшение составляет 11 %).

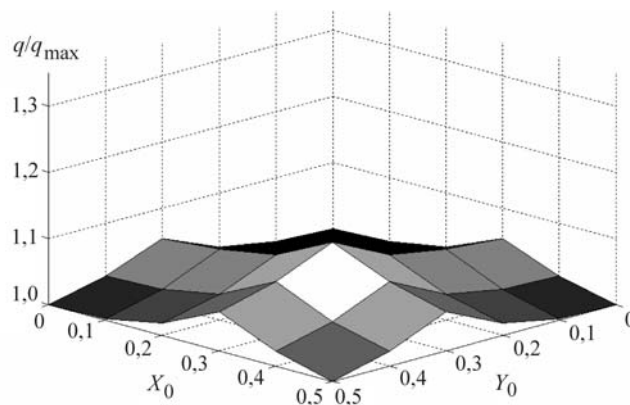


Рис. 3. Отношение отклика адаптивного фильтра к отклику четырехканального фильтра в зависимости от положения центра объекта

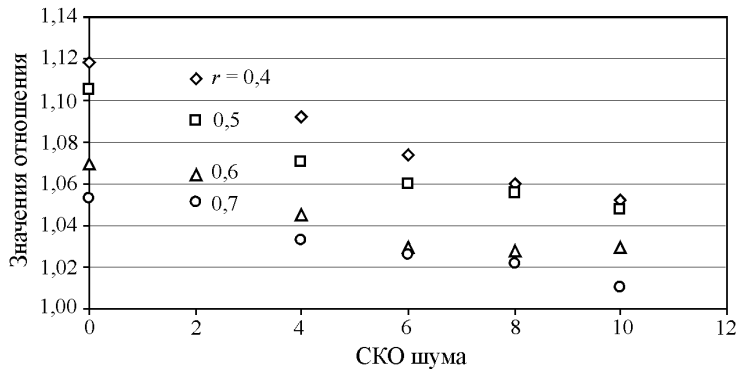


Рис. 4. Отношение отклика адаптивного фильтра к отклику четырехканального фильтра

Зависимость качества четырехканальной фильтрации в сравнении с адаптивной фильтрацией (q/q_{\max}) от уровня входного шума для положения объекта в координатах ($x_0 = 0,3, y_0 = 0,3$) показана на рис. 4, что является наихудшим случаем в данном алгоритме. Из рисунка видно, что с увеличением уровня входного шума качество четырехканальной и адаптивной фильтраций сближается.

Уменьшение количества фильтров приводит к значительному ухудшению качества фильтрации. Например, когда фильтр вида (1) настраивается только на центр ($x_0^{(1)} = 0, y_0^{(1)} = 0$) и угловую точку ($x_0^{(2)} = 0,5, y_0^{(2)} = 0,5$) элемента ФПУ, то при фильтрации таким двухканальным фильтром на краях элемента замечено уменьшение значения его отклика на величину $\sim 31\%$ по сравнению с откликом адаптивного фильтра. Отношение отклика адаптивного фильтра к отклику двухканального фильтра для объекта с $r = 0,4$ и $s = 0$ иллюстрирует рис. 5.

Вычислительные затраты. Численные эксперименты проводились на персональном компьютере, оснащённом процессором Intel Celeron 600 МГц, ОЗУ 256 Мбайт. Программа была реализована в среде разработки Visual C++ 6.0 на языке программирования C++. При реализации алгоритма четырехка-

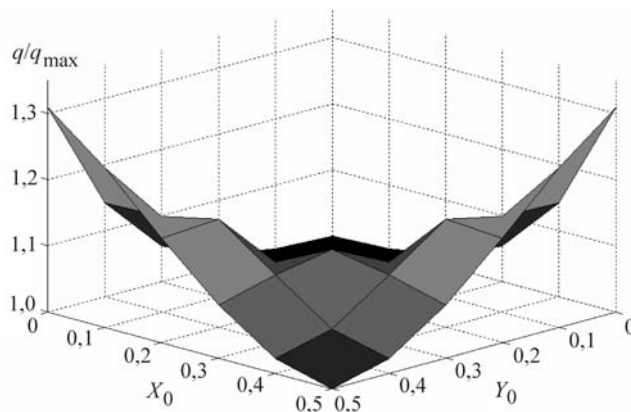


Рис. 5. Отношение отклика адаптивного фильтра к отклику двухканального фильтра в зависимости от положения центра объекта

нальной фильтрации вычислительные затраты снизились в 50–60 раз в сравнении с алгоритмом адаптивной фильтрации. Основной выигрыш достигается за счет исключения итерационной процедуры оценивания параметров x_0, y_0 .

Автор выражает благодарность научному руководителю д-ру техн. наук В. С. Киричуку и канд. техн. наук В. П. Косых за полезные обсуждения работы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Курманбек уулу Т.** Субпиксельное оценивание координат точечных объектов // Технологии Microsoft в теории и практике программирования. Новосибирск: НГУ, 2006. С. 195.
2. **Киричук В. С., Косых В. П., Курманбек уулу Т.** Адаптивная фильтрация с субпиксельным оцениванием координат точечных объектов // Автометрия. 2006. **42**, № 1. С. 3.

Поступила в редакцию 24 мая 2006 г.
