

Коррекция неравномерной чувствительности сканирующего ФПУ при межкадровой обработке последовательности изображений

Г.И. Громилин¹, В.П. Косых¹

¹Институт автоматики и электрометрии СО РАН, проспект академика В.А. Коптюга, 1, Новосибирск, Россия, 630090

Аннотация

Предлагается метод оценки и коррекции неоднородной чувствительности сканирующего фотоприемного устройства (ФПУ) без эталонного источника излучения. Экспериментально подтверждена эффективность применения метода при межкадровом подавлении фона и обнаружении малоразмерных объектов.

Ключевые слова

Малоразмерные объекты, подавление фона, коррекция чувствительности ФПУ

1. Введение

Актуальной задачей для космических систем глобального мониторинга околоземного пространства является обнаружение в изображениях с мощным пространственно-нестационарным фоном малоразмерных слабоконтрастных динамических объектов. Межкадровое подавление фона в последовательности изображений [1,2] обеспечивает надежность обнаружения подвижных объектов значительно более высокую, чем внутрикадровая обработка, базирующаяся на априорном знании или оценивании статистических моделей фона. Эффективность подхода снижается пространственно-неоднородной чувствительностью приемника изображений (матрицы или линейки фоточувствительных элементов). Сохранить высокую надежность обнаружения позволяет коррекция, использующая калибровку чувствительности, которая в процессе эксплуатации время от времени должна повторяться из-за временного дрейфа параметров приемника. Обычно калибровка выполняется с помощью эталонного источника излучения, обеспечивающего равномерное освещение приемника, и влечет усложнение регистрирующей бортовой аппаратуры, в связи с чем постоянно ведется поиск способов коррекции без эталонных средств непосредственно по регистрируемым данным [3,4]. В работе предлагается коррекция, реализуемая при анализе последовательности содержащих подвижный фон изображений, формируемых сканирующим ФПУ, и не требующий эталонного источника.

2. Оценивание и коррекция чувствительности элементов фотоприемника

Пусть сканирование выполняется вдоль строк кадров, формируемых ФПУ. Межкадровая разность вычисляется после совмещения фона текущего и предыдущего кадров не хуже, чем с точностью до пикселя. Если кадры содержат мощный фон, оценивание целочисленного смещения не представляет серьезной проблемы. Представим некоторый столбец зарегистрированного в кадре сигнала диагональной матрицей \mathbf{S} , истинную интенсивность фона в этом столбце – вектором \mathbf{b} , а величины, обратные чувствительности элементов ФПУ – вектором \mathbf{k} . С точностью до шума фотоприемника они удовлетворяют соотношению

$$\mathbf{b} = \mathbf{S}\mathbf{k}. \quad (1)$$

Интенсивность фона в столбце текущего кадра выразим, пренебрегая краевым эффектом, через интенсивность фона в соответствующем столбце предыдущего кадра:

$$\mathbf{b}_c = \mathbf{P}\mathbf{b}_p, \quad (2)$$

где \mathbf{P} – матрица циклической перестановки. Из (1) и (2) следует, что вектор \mathbf{k} должен удовлетворять системе линейных однородных уравнений $(\mathbf{S}_c - \mathbf{P}\mathbf{S}_p)\mathbf{k} = \mathbf{0}$. МНК-решением этой системы является собственный вектор матрицы $(\mathbf{S}_c - \mathbf{P}\mathbf{S}_p)^T(\mathbf{S}_c - \mathbf{P}\mathbf{S}_p)$, соответствующий ее минимальному собственному числу [5]. Для сканирующего ФПУ вектор \mathbf{k} одинаков во всех столбцах кадра, поэтому окончательная оценка $\hat{\mathbf{k}}$ получается его усреднением по столбцам, а столбцы разностного кадра вычисляются как $\mathbf{S}_d = (\mathbf{S}_c - \mathbf{P}\mathbf{S}_p)\hat{\mathbf{k}}$. На рис. 1 приведены результаты межкадрового подавления фона: a и b – фрагменты двух взаимно смещенных кадров (формат 512x512 пикселей) с интенсивным фоном и слабоконтрастными объектами, сформированными сканирующим матричным ИК приемником с неравномерной чувствительностью (СКО – 10% от среднего значения); Рисунки 2, $в$ и $г$, демонстрируют результаты межкадровой обработки без ($в$) и с коррекцией ($г$) неравномерной чувствительности. СКО фона в исходных кадрах – 53,3, СКО остаточного фона без учета неравномерности – 29,9, с учетом неравномерности – 5,0. Среднее значение амплитуды объектов ~ 27 , уровень случайного шума фотоприемника $\sim 2,5$. Все данные представлены в одинаковых единицах.

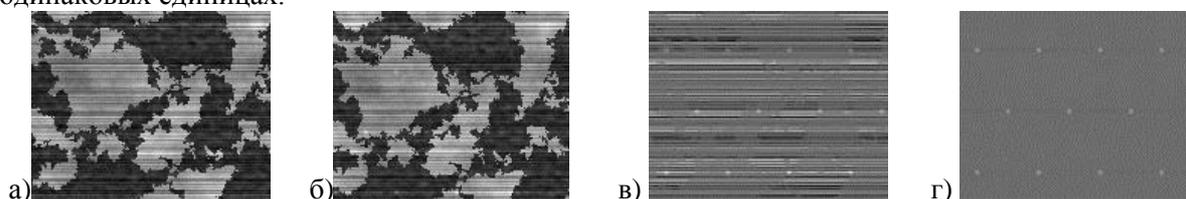


Рисунок 1: Коррекция неравномерности чувствительности сканирующего ФПУ

3. Заключение

Метод коррекции пространственно-неравномерной чувствительности ФПУ, основанный на анализе взаимно смещенных кадров, в вычислительном эксперименте позволил в 10 раз снизить остаточный фон в разностном кадре, практически не ухудшая изображений объектов.

4. Благодарности

Работа поддержана Минобрнауки России (Проект АААА-А17-117052410034-6).

5. Литература

- [1] Киричук, В.С. Применение статистических методов в задаче оценивания стационарной части фона по серии изображений / В.С. Киричук, А.И. Пустовских // Автотметрия. – 1988. – № 3. – С. 74-78.
- [2] Громилин, Г.И. Подавление фона с резкими перепадами яркости в последовательности изображений динамических малоразмерных объектов / Г.И. Громилин, В.П. Косых, С.А. Попов, В.А. Стрельцов // Автотметрия. – 2019. – Т. 55, № 3. – С. 3-12.
- [3] Chao, Z. Scene-based nonuniformity correction algorithm based on interframe registration / Z. Chao, Ch. Qian, G. Guohua, S. Xiubao // J. Opt. Soc. Am. A. – 2011. – Vol. 28(6). – P. 1164-1176.
- [4] Rong, Sh.-H. Guided filter and adaptive learning rate based non-uniformity correction algorithm for infrared focal plane array / Sh.-H. Rong, H.-X. Zhou, H.-L. Qin, R. Lai, K. Qian // Infrared Physics & Technology. – 2016. – Vol. 76. – P. 691-697.
- [5] Пао, С.Р. Линейные статистические методы и их применение / С.Р. Пао. – Москва: «Наука», 1968. – 548 с.