

ПРОГРАММНО-АППАРАТНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ АДАПТИВНОГО α -УСЕЧЕННОГО ФИЛЬТРА ДЛЯ ОБРАБОТКИ ИЗОБРАЖЕНИЙ С ВЫСОКИМ УРОВНЕМ СПЕКЛ-ШУМА.

Зеленский А.А., Цымбал О.В., Чемеровский В.И.

Харьковский государственный аэрокосмический университет "ХАИ",

каф. 507, ул. Чкалова 17, 310070, Харьков, Украина

Abstract

The software-hardware implementation of a new class of adaptive α -trimmed filters well suited for processing of images corrupted with non-symmetrical p.d.f. speckle and impulsive noise is proposed. It is shown that for considered situation, i.e. ultrasound machine diagnostic, biomedical, synthetic aperture radar images etc., it can provide the desirable efficiency of speckle reduction and impulse removal with simultaneous good edge and detail preservation. Due to algorithm peculiarities a high computational efficiency can be achieved in filter implementation. The efficient principles of software-hardware filter realization are proposed and its functional scheme is presented.

Введение

Применение дистанционных ультразвуковых методов диагностики машин и механизмов, биомедицинских технологий получения изображений, радиолокационного зондирования определяют необходимость разработки методов повышения качества формируемых изображений с целью облегчения их интерпретации [1]. Чаще всего для этого применяются различные методы фильтрации, однако лишь ограниченный круг фильтров может удовлетворять предъявляемым требованиям. Для систем с когерентным формированием изображений наиболее характерны такие требования к алгоритмам их фильтрации, как подавление спекл-шума с несимметричным законом распределения (например, экспоненциальным или Реллеевским), устранение возможных импульсных помех с сохранением деталей и границ при

несмещенном среднем уровне для однородных областей. Важным аспектом остается возможность обеспечения высокого быстродействия. С этой точки зрения серьезную проблему представляет реализация ряда эффективных фильтров, требующих вычислений с плавающей точкой (например фильтр Фроста) [2].

В работе [3] предложен адаптивный алгоритм фильтрации с жестким переключением, однако проблема его реализации практически не была затронута. Рассмотрению основных аспектов проблемы эффективной как программной, так и аппаратной реализации данного фильтра на основе его алгоритмических особенностей, а также основных принципов конвейеризации и распараллеливания вычислений посвящена данная статья.

Структура адаптивного фильтра и выбор его компонент

Однопроходные α -усеченные фильтры характеризуются достаточной эффективностью шумоподавления и хорошими робастными свойствами при достаточно большом размере сканирующего окна. Поэтому они хорошо работают на однородных участках, но как правило, плохо сохраняют границы и мелкие детали. Это является причиной для разработки адаптивных алгоритмов. Одним из возможных подходов к данной проблеме является использование процедур жесткого переключения.

Простейший адаптивный фильтр с жестким переключением работает в соответствии со следующим алгоритмом:

$$I_{ij}^f = \begin{cases} I_{ij}^{pas}, & \text{if } \eta_{ij} < \eta_t, \\ I_{ij}^{act}, & \text{if } \eta_{ij} \geq \eta_t, \end{cases} \quad (1)$$

где: I_{ij}^f - выход адаптивного фильтра; I_{ij}^{act} определяет выход фильтра, применяемого к распознанным локально активным, а I_{ij}^{pas} - соответственно к пассивным участкам изображения; η_{ij} - используемый показатель локальной активности (ПЛА); η_t определяет порог.

В качестве I_{ij}^{pas} , т.е. шумоподавляющего фильтра (ШПФ) предлагается использовать модификации α -усеченного фильтра с достаточно большой аперту-

рой сканирующего окна (5x5 для пространственно независимого спекла и 7x7 для пространственно коррелированного). В качестве же I_{ij}^{act} , т.е. сохраняющего детали фильтра (СДФ) хорошо себя показали малоапертурные α -усеченный фильтр или сохраняющий детали L_{pq} -фильтр [3] соответственно с размерами скользящих окон 3x3 и 5x5.

Выходное значение двух модификаций α -усеченного фильтра определяется следующим образом:

$$I_{ij}^{pax} = \frac{1}{q-p+1} \left(\sum_{r=p}^q I_{ij}^{(r)} \right) k_{corr}, \quad p = N_{\alpha_1}^{min}, \quad q = N - N_{\alpha_2}^{min}, \quad p+q = N+1, \quad N_{\alpha_1}^{min} = N_{\alpha_2}^{min} \quad (2)$$

или

$$I_{ij}^{pax} = \frac{1}{q-p+1} \sum_{r=p}^q I_{ij}^{(r)}, \quad p > N_{\alpha_1}^{min}, \quad q = N - N_{\alpha_2}^{min}, \quad p+q \neq N+1, \quad (3)$$

где: k_{corr} - коэффициент коррекции; $I_{ij}^{(r)}$ - r -я порядковая статистика в выборке, сформированной значениями пикселей, принадлежащими скользящему окну, центром которого является ij -й пиксель. Коэффициент коррекции k_{corr} для априорно известной ПРВ может быть аналитически определен заранее.

Алгоритм (3) обеспечивает немного большую эффективность подавления мультипликативного шума, причем смещение среднего уровня для однородных областей не превосходит 3%; $p \geq N_{\alpha_1}^{min}$, $(N-q) \geq N_{\alpha_2}^{min}$ [3]. Выбор $N_{\alpha_1}^{min}$ и $N_{\alpha_2}^{min}$ определяется требованиями к робастным свойствам фильтра, т.е. способности удалять выбросы и во многих практических ситуациях можно полагать $N_{\alpha_1}^{min} = N_{\alpha_2}^{min} = 0.2N$. Применение алгоритма с несимметричным усечением (3) является более предпочтительным, поскольку он обладает лучшими робастными свойствами (в том числе и по отношению к негативным выбросам) и отсутствует необходимость коррекции выходного среднего уровня.

Наиболее подходящими ПЛА в условиях воздействия мультипликативного шума могут являться Q-параметр $Q_{ij} = I_{ij}^{(q)} / I_{ij}^{(p)}$, а также нормированная усеченная локальная дисперсия (УЛД)

$$(\sigma'_{ij})^2 = \frac{1}{(q-p+1)(I_{ij}^{max})^2 \sigma_{\mu}^2} \sum_{r=p}^q (I_{ij}^{(r)} - I_{ij}^{max})^2. \quad (4)$$

Анализ показывает, что рассматриваемый локально-адаптивный фильтр обеспечивает эффективность подавления мультипликативных помех всего на 20-40% хуже чем усредняющие фильтры с той же апертурой, однако при этом устраняются импульсные помехи при вероятности их появления 3-5%, а способность сохранения деталей близка к наилучшим СДФ.

Как видно из выше изложенного, большая часть вычислений, которые необходимо выполнить для расчета, или пересекаются (сходны) или используют значительную часть данных, полученных на предыдущих этапах вычислений:

I_{ij}^{max} , I_{ij}^{act} , Q_{ij} , σ^1 . Эти особенности алгоритма закладывают основу его эффективной реализации.

Программно-аппаратная реализация фильтра

Простейшим подходом к реализации фильтра при необходимости достижения требуемого быстродействия (особенно при использовании фильтра для работы в реальном времени) является увеличение количества параллельных исполнителей, выполняющих однотипную работу по фильтрации различных участков изображения одновременно, однако это не будет эффективно с точки зрения минимизации вычислительных затрат.

Так как основные вычислительные затраты представляет сортировка выборки, а на каждом новом шаге сканирующее окно сдвигается только на один столбец (строку), то имеет смысл сохранять информацию о выборке, отсортированной на предыдущем шаге фильтрации, и только модифицировать ее с учетом новых данных. Наиболее подходящей для этой цели структурой данных является структура, организованная на основе односвязного списка с дополнительными полями, хранящими информацию о положении элемента в сканирующем окне. Фактически список будет представлять собой многомерный массив фиксированной длины, так как нет необходимости в стандартных операциях выделения и освобождения памяти - новые элементы будут размещены за

один проход на местах старых (в этом же цикле будет произведена вся необходимая коррекция полей элементов списка). Указатель на элемент списка - поле элемента массива с номером элемента списка в массиве. Добавление каждого нового элемента выполняется посредством бинарного поиска и вставки в отсортированный односвязный список.

Непосредственно реализация фильтра выполнена в соответствии с основными принципами распараллеливания и конвейеризации [4]. Структурная схема представлена на рис.1.

При использовании трех (без L_{pq} -фильтра достаточно 2-х) параллельных исполнителей (например, микропроцессоров или программных нитей) выполняется двухступенчатая конвейеризация вычислений. После начальных установок и организации списка на каждом отдельном участке конвейера параллельно выполняется:

- 1) добавление в список новых элементов с очисткой от старых и коррекцией необходимых полей;
- 2) расчет ПЛА Q-параметра ($Q_{ij} = I_{ij}^{(q)} / I_{ij}^{(p)}$), который по отсортированному списку не представляет особой сложности, или УЛД, расчет которой сходен по характеру с алгоритмом усеченного фильтра и может быть осуществлен в одном цикле с ШПФ ($I_{ij}^{(p)}$) и СДФ малоапертурным α -усеченным фильтром (I_{ij}^{act}); принимается решение о выборе выходного значения фильтра (1);
- 3) L_{pq} - фильтрация, если установлена соответствующая опция.

Заключение

В статье рассмотрена структура алгоритма адаптивного α -усеченного фильтра, хорошо зарекомендовавшего себя как эффективное средство для подавления импульсного и мультипликативного шума с несимметричными законами распределения, характерными для изображений, формируемых системами с когерентным формированием изображений (ультразвуковые, биомедицинские, РСА и др.). Показано, что алгоритмические особенности алгоритма адаптивного α -усеченного фильтра дают возможность его

эффективной реализации на основе использования установленной рекуррентной связи в выполняемых вычислениях, а также использования принципов распараллеливания и конвейеризации.

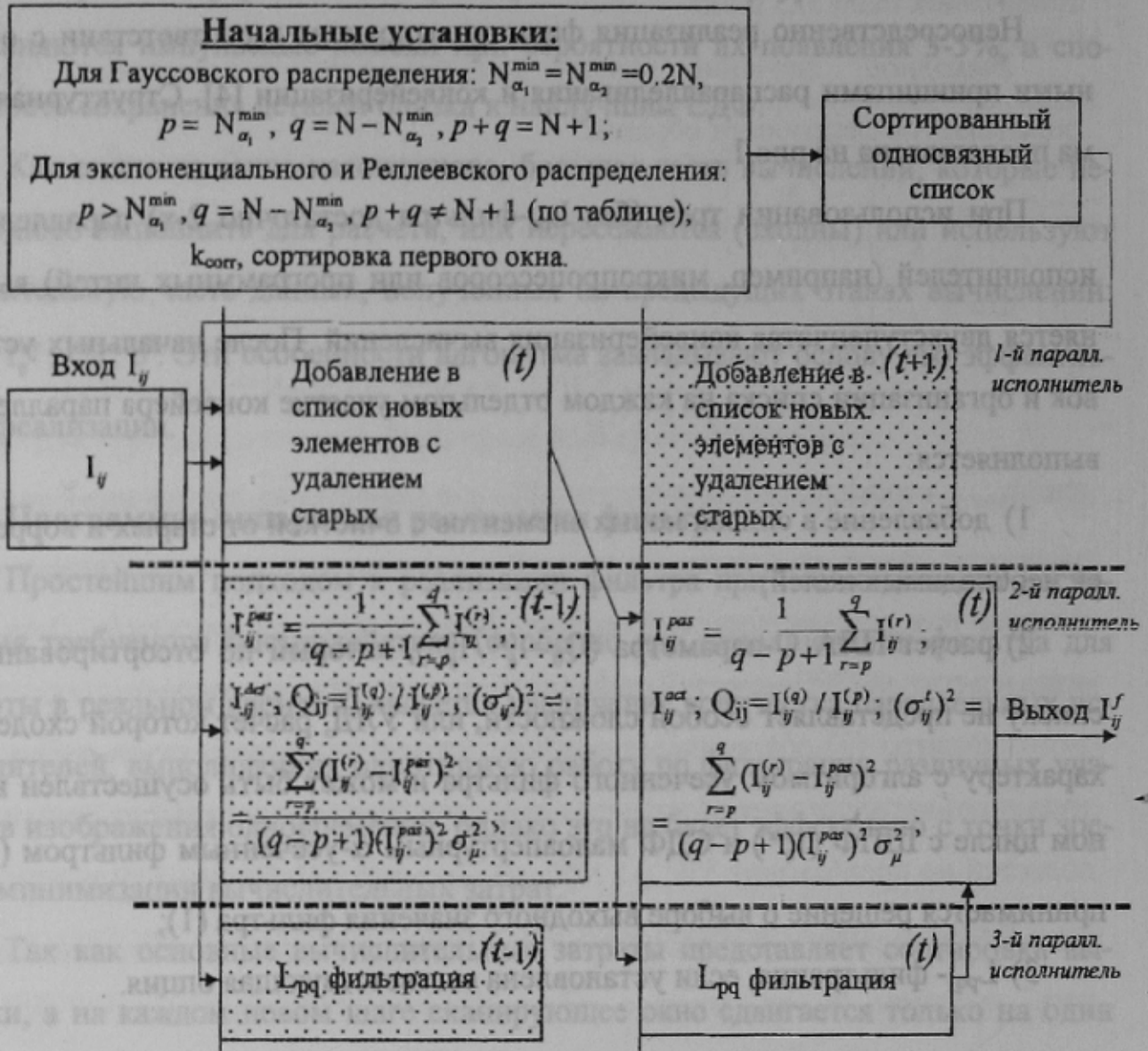


Рис.1 Структурная схема реализации адаптивного α -усеченного фильтра

Литература

1. Ярославский Л.П. «Цифровая обработка сигналов в оптике и голографии: Введение в цифровую оптику.»-М.: Радио и Связь, 1987.
2. V.S.Frost, K.S.Shanmugan, "The Information Content of Synthetic Aperture Radar Images", *IEEE Trans., V.AES-19, No 5*, pp.768-774, 1983.
3. V.V.Lukin, V.P.Melnik, V.I.Chemerovsky, "Adaptive α -trimmed filters for speckle image processing", *Proceed. of IS&T/SPIE Symp. on Electronic Imagine: Science and Technology*, v.3026, pp.21-33, San Jose, California, USA, Feb. 1997.
4. I.Pitas, A.N.Venetsanopoulos, "Nonlinear Digital Filters: Principles and Applications", *Kluwer Academic Publisher*, 1990.