

Рассматривается применение методов адаптивной фильтрации и вейвлет-преобразований для подавления геометрического шума в ИК-изображениях, полученных с помощью многоэлементных фотоприемных устройств (ФПУ). Приводятся практические результаты по созданию цифровых аппаратно-программных комплексов обработки сигналов ФПУ.

Последнее время наблюдается интенсивное развитие средств инфракрасной техники, основу которых составляют линейчатые и матричные фотоприемные устройства. В первом случае фотоприемник представляет собой линейку фоточувствительных элементов, причем формирование кадра изображения получается при ее движении и последовательном опросе фоточувствительных элементов электронным коммутатором. Во втором случае строится матрица из независимых фоточувствительных элементов. При формировании кадра изображения с помощью подобных фотоприемных устройств (ФПУ) неизбежно возникают искажения оригинала, обусловленные действием так называемого геометрического шума [1]. Физическая природа появления подобного шума заключается в неоднородности фоточувствительных элементов и электрических схем первичной обработки сигналов ФПУ. В зависимости от физического источника неоднородности принято различать геометрический шум дефектов, коммутации, темнового тока и чувствительности. В частности, геометрический шум чувствительности обусловлен неоднородностью коэффициентов передачи каналов ФПУ, а геометрический шум дефектов появляется из-за пробоев p - n -переходов, отказа фоточувствительных элементов.

Для линейчатых фотоприемников визуальное действие геометрического шума чувствительности и дефектов проявляется в виде темных и светлых полос, причем минимальные яркости (полное затемнение) строк характерны для дефектных элементов. Для матричных фотоприемников действие геометрического шума чувствительности и дефектов вызывает появление темных и светлых пятен, то есть искажения изображений носят гранулированный (зернистый) характер.

Улучшение качества изображений, получаемых с помощью многоэлементных устройств, связывают в первую очередь с подавлением геометрического шума чувствительности и дефектов. Для его подавления применяются различные методы, но наиболее эффективным считается проведение предварительной калибровки каналов ФПУ с целью выравнивания их коэффициентов передачи. Для этого обычно в режиме так называемых “закрытых штор” объектива ФПУ включается источник опорного калибровочного излучения и далее либо средствами дискретно-аналоговой схмотехники, либо с помощью специализированного аналого-цифрового вычислителя осуществляется выравнивание коэффициентов передачи каналов ФПУ [1].

Ясно, что проведение предварительной калибровки приводит к увеличению аппаратных и временных затрат. Кроме того, во время работы ФПУ коэффициенты передачи его каналов имеют тенденцию “плавать”, что приводит к необходимости прерывать нормальный режим работы ФПУ на периодическую калибровку.

В последнее время намечается тенденция отказаться от размещения блока калибровочного сигнала в ФПУ и проводить обработку кадра изображения в ПЭВМ, поскольку сегодня ФПУ передает данные прямо в память сопряженного с ним компьютера. Такая идея становится вполне реализуемой с ростом быстродействия современных цифровых процессоров обработки сигналов. В докладе рассматриваются алгоритмы обработки изображений, сформированных с помощью ФПУ, способных эффективно и относительно быстро подавлять геометрический шум чувствительности. Главная идея, положенная в основу настоящих исследований, заключается в представлении искажений, вносимых неоднородностью коэффициентов передачи каналов ФПУ k , как последствия воздействия мультипликативного шума [2]:

$$z = kx, \quad (1)$$

где x - оригинал изображения, z - наблюдаемое изображение. Нижние индексы для простоты опущены.

Наибольший интерес с точки зрения эффективности и простоты реализации вызывают алгоритмы адаптивной фильтрации мультипликативных помех, использующие локальную, то есть в пределах окрестности каждого пиксела, статистику.

Исходя из вышесказанных соображений были исследованы фильтры Ли (Lee), Куана (Khuan), Фроста (Frost) и др. [5], относящихся к классу адаптивных фильтров первого порядка. Оценка оригинала (пикселя) ищется в виде [5]:

$$\hat{x} = \bar{z} + W(z - \bar{z}), \quad (2)$$

где весовая функция W определяется в зависимости от вида фильтра. Например, для фильтра Ли весовая функция имеет вид [5]:

$$W = 1 - C_k^2 / C_z^2, \quad (3)$$

здесь $C_k^2 = \sigma_k^2 / \mu_k^2$, $C_z^2 = \sigma_z^2 / \mu_z^2$ - коэффициенты вариации, вычисляемые через дисперсии и квадраты выборочных средних для мультипликативного шума и текстуры изображения соответственно. Для нахождения локальных коэффициентов вариации для мультипликативного шума обычно используется весовое окно малых размеров, например 3×3 , а для текстуры - большое окно, например 5×5 , 11×11 и т.п. Для линейчатых фотоприемников были использованы одномерные варианты вышеперечисленных фильтров [2].

В процессе машинного моделирования на ряде тестовых изображений было выявлено, что на эффективность применения подобных фильтров сильно влияет разнообразие текстур изображений. Другими словами, "идеальный фильтр" должен "чувствовать" области как однородной (там, где отсчеты x имеют примерно одинаковые значения), так и разнородной текстур изображения (там, где значения отсчетов x сильно изменяются, например горная местность, контуры предметов, точечные источники и т.п.).

Известно, что в пределах однородной текстуры наиболее эффективным является усредняющий фильтр, вычисляющий оценку оригинала в каждой точке кадра как арифметическое среднее отсчетов окна: $\hat{x} = \bar{z}$. В пределах разнородной текстуры, очевидно, эффективным будет адаптивный фильтр. Однако в тех областях, где существует, например, одиночный точечный источник, или искажения, вносимые неоднородностью коэффициентов передачи, являются незначительными, фильтр должен оставить без изменения наблюдаемые отсчеты, то есть необходимо положить $\hat{x} = z$. В связи с этим для обработки изображений ФПУ был использован следующий алгоритм нелинейной фильтрации [2]:

$$\hat{x} = \begin{cases} \bar{z}, & C_z^2 \leq C_k^2 \\ \bar{z} + W(z - \bar{z}), & C_k^2 < C_z^2 < C_{\max} \\ z, & C_z^2 \geq C_{\max} \end{cases} \quad (4)$$

Для определения размеров окон и величины порога C_{\max} были разработаны несколько подходов.

В докладе приводятся результаты проведенных исследований, которые показывают эффективность предложенного подхода для обработки изображений многоэлементных линейчатых фотоприемников. Для матричных фотоприемников обосновывается необходимость применения других методов, в частности вейвлет-преобразований (wavelet).

Известно [3], что кодирование зашумленных изображений с одновременным подавлением шума эффективно при использовании вейвлет-преобразований с «отсечением» вейвлет-коэффициентов, значения которых находятся ниже определенного порога. Традиционно величина порога рассчитывается исходя из средневзвешенной оценки дисперсии шума для всего изображения. При этом не принимается во внимание тот факт, что изображение может содержать как зашумленные, так и незашумленные (относительно «чистые») данные. Такое утверждение справедливо для изображений матричных фотоприемников, если учесть, что технологический разброс коэффициентов передачи каналов (элементов) ФПУ в большей мере сосредоточен около единицы. При восстановлении изображения может оказаться, что искажения незашумленных данных будут больше, чем остаточный шум для зашумленных данных после отсечения коэффициентов.

Основная идея для данных исследований заключается в подборе для каждой частотной полосы оптимального значения порога, который удерживает баланс между двумя видами искажений [4]. Известно, что для ортогонального вейвлет-преобразования можно восстановить (с помощью обратного вейвлет-преобразования) ту часть изображения, которая соответствует данной частотной полосе, не принимая во внимание оставшиеся коэффициенты. Затем предлагается восстановить «шумовую» составляющую из тех коэффициентов, которые оказались ниже порога. Для разностного изображения – данного и «шумовой» составляющей – рассчитываются оценки среднеквадратических ошибок искажений незашумленных данных и остаточного шума в точках, где есть шум. Затем находится полная оценка искажений как взвешенная сумма двух составляющих, полученная при данном значении порога. Подобная процедура повторяется итеративно с приращением порога до тех пор, пока эта оценка не достигает своего минимума [4].

Для определения множеств зашумленных и незашумленных точек используются коэффициенты вариации, вычисляемые в пределах локальных окон на основе (4). Множество незашумленных точек образуется путем объединения двух множеств точек из (4), где первое множество образовано точками после усредняющего фильтра, а второе - точками, оставшимися без изменений [4]. Перед обработкой предложенным алгоритмом изображение подвергается логарифмическому преобразованию. Фактически, предложенный алгоритм осуществляет обработку изображений ФПУ также в соответствии с (4), где вместо адаптивной фильтрации применяется вейвлет-преобразование.

В докладе приводятся практические результаты по применению данных алгоритмов в разработанном аппаратно-программном комплексе, состоящем из фотоэлектронного модуля (линейка размером 2×256), платы аналого-цифрового ввода через шину PCI и персонального компьютера. Рассматриваются перспективы создания мобильных программно-аппаратных комплексов, имеющих USB интерфейс.

Литература

1. Кругликов С.В. Методы и средства подавления структурных помех многоэлементных фотоприемников // Аналитический обзор № 4628 за 1970-1987 гг. М., 1989.
2. Бехтин Ю.С. Подавление геометрического шума чувствительности без калибровки каналов ФПУ. Сб. научных трудов: Проблемы математического моделирования и обработки информации в научных исследованиях / Рязань, РГРТА, 1999.
3. Воробьев В.И., Грибунин В.Г. Теория и практика вейвлет-преобразования. С.-Петербург.: ВУС, 1999.
4. Yu.Bekhtin. Optimal Subband Wavelet Thresholding using Noisy and non-Noisy Data of Images. 2nd IEEE Region 8 EURASIP Symposium on Image and Signal Processing and Analysis, Pula, Croatia, June, 2001.
5. Gonzalez R.C. and Woods R.E. Digital Image Processing. Addison Wesley, 1992.