

УДК 621.3: 681.34

Р.А. КОЖЕМЯКИН, В.В. АБРАМОВА, С.К. АБРАМОВ*Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Украина***ФИЛЬТРАЦИЯ ИЗОБРАЖЕНИЙ, ИСКАЖЕННЫХ СМЕСЬЮ СИГНАЛЬНО-ЗАВИСИМЫХ И СИГНАЛЬНО-НЕЗАВИСИМЫХ ПОМЕХ**

Рассмотрены особенности фильтрации изображений в присутствии смеси сигнално-зависимой (пуассоновской) и сигнално-независимой (аддитивной гауссовской) компонент. Проанализировано качество фильтрации после применения к изображениям локально-адаптивных методов и вариационно-стабилизирующих преобразований. Перечислены основные факторы, влияющие на качество фильтрации. Приведены результаты фильтрации многоканальных изображений после применения предложенных методов для векторных сигма-фильтра и фильтра на основе дискретного косинусного преобразования.

Ключевые слова: многоканальные изображения, вариационно-стабилизирующее преобразование, сложные помехи, векторная фильтрация.

Введение

Изображения используются практически во всех областях человеческой деятельности. Системы дистанционного зондирования Земли, медицинские диагностические системы, бытовые цифровые фотоаппараты и видеокамеры – вот далеко не полный перечень систем, формирующих и обрабатывающих изображения. Несмотря на постоянное совершенствование элементной базы и методов обработки сигналов, в настоящее время не существует аппаратуры, позволяющей формировать изображения идеального качества. На выходе любой системы формирования изображений (СФИ) неизбежно присутствуют искажения и помехи. Например, в современной системе AVIRIS [1], формирующей изображения в инфракрасной и оптической областях спектра, основными причинами появления помех являются сам принцип формирования (подсчет количества фотонов, попавших на матрицу сенсоров системы) и собственные тепловые шумы. В результате, шум имеет сложную структуру и описывается моделью одновременно присутствующих сигнално-зависимой (пуассоновской) и сигнално-независимой (аддитивной гауссовской) компонент [2]. Наличие шума на изображениях ухудшает не только их визуальное качество, но и снижает эффективность применения различных процедур вторичной обработки, например, сжатия без потерь или обнаружения границ. В связи с этим, возникает необходимость в подавлении помех с помощью фильтрации [3].

Учитывая, что большинство современных СФИ являются многоканальными, т.е. полученное изображение является результатом съемки одной и той же сцены с использованием различных частот (длин

волн), для обработки таких данных целесообразно применять векторные методы фильтрации, поскольку они обеспечивают большую эффективность по сравнению с одномерными фильтрами [4].

На сегодняшний день предложено большое количество разнообразных векторных фильтров для обработки изображений. Наиболее перспективными среди них с точки зрения эффективного подавления помех при максимальном сохранении информационной составляющей являются векторный фильтр на основе дискретного косинусного преобразования [4, 5] (ВДКПФ) и векторный сигма-фильтр (ВСФ) [6]. Дополнительным достоинством этих фильтров является возможность их относительно простой адаптации под различные модели помех.

Сложность применения векторных фильтров для обработки изображений при рассматриваемом сложном типе шума заключается в том, что его характеристики в различных каналах могут существенно различаться. В то же время, для обеспечения высокой эффективности векторной фильтрации желательно, чтобы тип и характеристики помех (в частности, дисперсия) в различных каналах СФИ были одинаковы или, по крайней мере, сравнимы.

Возможными вариантами решения этой проблемы являются, во-первых, использование предварительного вариационно-стабилизирующего преобразования (ВСП) [7, 8], обеспечивающего выравнивание дисперсии помех в каналах, и, во-вторых, использование локальной адаптации векторных фильтров к сложному характеру помех.

Необходимо также учитывать тот факт, что количество каналов СФИ может достигать нескольких сотен и даже тысяч, поэтому проводить обработку необходимо в полностью автоматическом режиме.

Цель данной статьи – проанализировать эффективность фильтрации многоканальных изображений, искаженных смесью пуассоновских и гауссовских помех, при использовании различных подходов к фильтрации на основе ВСФ и ВДКПФ.

1. Анализируемые подходы к фильтрации

Рассмотрим принцип действия ВДКПФ и ВСФ.

Алгоритм фильтрации изображений на основе дискретного косинусного преобразования (ДКП) состоит в том, что для каждого положения скользящего окна размером $N \times N$ пикселей рассчитываются ДКП коэффициенты, которые сравниваются с определенным порогом (обычно $T=2,6 \cdot \sigma$; где σ – значение среднеквадратического отклонения шума (СКО)). При этом полагается, что коэффициенты ДКП, имеющие абсолютное значение, меньше порогового, соответствуют помехам и поэтому обнуляются, а остальные коэффициенты остаются без изменений. Далее выполняется обратное ДКП, результат которого и определяет значения всех пикселей блока отфильтрованного изображения. Если используется обработка в перекрывающихся блоках, то отфильтрованные значения для каждого пикселя получаются путем усреднения значений, полученных во всех блоках, которые включают данный пиксель. Векторный вариант ДКП фильтра учитывает также межканальную корреляцию компонентов цветного изображения. Это достигается за счет применения ДКП к трехмерной матрице пикселей (вокселей) изображения, где третья координата соответствует цветовому каналу изображения. При этом обнуление коэффициентов ДКП происходит по единому порогу для всех цветовых компонент [4].

Принцип действия одномерного сигма-фильтра состоит в замене центрального элемента скользящего окна I^c на результат усреднения его элементов, значения которых попадают в интервал $\pm 2\sigma$ относительно I^c . В векторном фильтре границы интервала рассчитываются отдельно в каждом канале:

$$\begin{cases} I_z^{\min} = I_z^c - 2\sigma_z, \\ I_z^{\max} = I_z^c + 2\sigma_z, \end{cases}$$

где $z=1, \dots, Z$, Z – число каналов, σ_z – СКО шума в z -м канале, а усредняются только те элементы, которые попадают в интервал во всех каналах [6].

Будем рассматривать одну из наиболее адекватных моделей помех для изображений, сформированных с помощью сенсоров на основе ПЗС, представляющую собой смесь одновременно присутствующих сигнально-зависимого (пуассоновского) и гауссовского шумов [2]. Данная модель имеет вид:

$$I_{ij} = I_{ij}^{\text{pois}}(k, I_{ij}^{\text{true}}) + N_{ij}(g, \sigma_a^2), \quad (1)$$

где I_{ij} – искаженное изображение; I_{ij}^{pois} – пуассоновская компонента шума; k – коэффициент усиления изображения; I_{ij}^{true} – исходное незашумленное изображение; N_{ij} – аддитивная гауссовская компонента шума со средним g , полагаемым равным нулю, и дисперсией σ_a^2 . При такой модели дисперсия шума для каждого пикселя изображения определяется выражением $\sigma_{ij}^2 = k \cdot I_{ij}^{\text{true}} + \sigma_a^2$. Рассмотрение будем проводить на примере обработки цветных (3-х канальных RGB) изображений оптического диапазона.

Для фильтрации изображений, искаженных рассматриваемым сложным видом шума, можно предложить несколько подходов.

Во-первых, можно считать одну из компонент сложного шума превалирующей и проводить обработку методами, предназначенными конкретно для ее подавления. Такая ситуация может возникать и тогда, когда модель шума ошибочно (по причине неправильных исходных предположений или неверно проведенного анализа) считается более простой, чем в действительности.

В нашем случае возможны два варианта. Первый предполагает, что превалирующим является аддитивный шум. Тогда с помощью автоматического метода [9] можно оценить его дисперсию для каждой из цветовых компонент изображения, а затем использовать ее значения для расчета интервалов усреднения ВСФ. Для ВДКПФ ситуация несколько более сложная, поскольку для этого фильтра невозможно установить порог индивидуально для каждой цветовой компоненты. Поэтому будем определять его по оценке дисперсии для зеленой цветовой компоненты. Как правило, дисперсия помех для этой компоненты наименьшая, поэтому можно не опасаться появления эффектов перефильтрации в остальных цветовых компонентах. Обозначим такой подход для обоих фильтров как «Подход I».

Второй вариант предполагает, что превалирующим является пуассоновский шум. В этой ситуации можно применять ВСФ на основе прямого и обратного преобразования Энскомба [10, 11] (ПЭ):

$$X_{ij} = 2 \cdot \sqrt{I_{ij} + 3/8}, \quad (2)$$

$$X_{ij}^{\text{inv}} = (X_{ij}/2)^2 - 1/8. \quad (3)$$

ПЭ позволяет преобразовать пуассоновский шум в аддитивный гауссовский с фиксированной единичной дисперсией. В этом случае непосредственно перед фильтрацией ВСФ и ВДКПФ к изображению применяется прямое ПЭ, после которого дисперсия шума принимает единичное значение.

Это позволяет рассчитать порог для ВДКПФ и интервалы усреднения для ВСФ. Далее к отфильтрованному изображению применяется обратное ПЭ. Обозначим такой подход как «Подход II - ПЭ».

Кроме того, возможно применение локальной адаптации (ЛА) фильтров к пуассоновской модели шума. Обозначим такой подход «Подход II - ЛА». В этом случае параметры фильтров рассчитываются для каждого положения окна: σ для ВСФ как

$$\sigma = \sqrt{I^c}, \quad (4)$$

а порог для ВДКПФ как

$$T = 2,6 \cdot \sqrt{I_{\text{mean}G}}, \quad (5)$$

где $I_{\text{mean}G}$ – среднее значение яркости пикселей зеленой компоненты для текущего положения окна.

Третий предлагаемый подход предполагает учет всех компонент сложного шума. В этом случае также возможны два варианта. В первом используется прямое и обратное обобщенные преобразования Энскомба (ОПЭ), специально разработанные для случая присутствия на изображении смеси пуассоновского и гауссовского аддитивного шума [7]:

$$X_{ij} = 2/k \cdot (k \cdot I_{ij} + 3/8 \cdot k^2 + \sigma_a^2 - k \cdot g), \quad (6)$$

$$X_{ij}^{\text{inv}} = (X_{ij}/2)^2 \cdot k - 3/8 \cdot k - \sigma_a^2/k. \quad (7)$$

Для реализации этого варианта возникает необходимость в оценивании параметров пуассоновской (k) и аддитивной (σ_a^2) компонент сложного шума, причем такое оценивание необходимо проводить в автоматическом режиме.

Подобная задача, связанная с оцениванием параметров смешанного мультипликативного и аддитивного шума, уже была решена авторами ранее [12]. Общий подход предполагает построение скаттерограммы пар оценок локальной дисперсии и локального среднего, полученных на однородных участках изображения, и вписывание в нее регрессионного полинома соответствующего порядка, параметры которого принимаются в качестве оценок характеристик помех. К основным этапам метода относятся: сегментация изображения, детектирование однородных участков, построение скаттерограммы и для каждого ее кластера нахождение его центра как моды значений по каждой из координат при помощи метода [9], вписывание прямой регрессии по полученным опорным точкам дважды взвешенным методом [13], определение по вписанной прямой оценок параметров шумовых компонент.

Модификация метода состоит в том, что вписывание регрессионной прямой производится по скаттерограмме пар оценок дисперсии и среднего, а не дисперсии и квадрата среднего, как в случае смеси аддитивных и мультипликативных помех. Тогда коэффициент нулевого порядка вписанного полино-

ма будет соответствовать оценке дисперсии аддитивного шума $\hat{\sigma}_a^2$, а коэффициент первого порядка – оценке коэффициента усиления изображения \hat{k} .

Такое ВСП с параметрами помех, определяемыми при помощи предложенного автоматического метода, было названо автоматическим вариационно-стабилизирующим преобразованием (АВСП) [8], а соответствующий подход «Подход III – АВСП».

Второй вариант предполагает адаптацию к модели шума (1), для этого параметр σ для ВСФ рассчитывается как:

$$\sigma = \sqrt{\hat{k} \cdot I^c + \hat{\sigma}_a^2}. \quad (8)$$

Порог для ВДКПФ при данном подходе рассчитывается для каждого положения скользящего окна как:

$$T = 2,6 \cdot \sqrt{\hat{k} \cdot I_{\text{mean}G} + \hat{\sigma}_{aG}^2}, \quad (9)$$

где $\hat{\sigma}_{aG}^2$ – оцененная величина дисперсии для зеленой цветовой компоненты. Назовем такой подход «Подход III - ЛА».

2. Описание эксперимента

Исследование эффективности фильтрации с применением предложенных подходов проводилось по набору тестовых изображений из базы TID2008 [14] (рис. 1). Данная база содержит 25 цветных изображений различного уровня сложности, характеризующегося процентным содержанием текстурных и однородных участков, а также границ и малоразмерных объектов. Изображения практически не содержат собственных шумов, что обеспечивает необходимую точность статистических исследований.

В ходе эксперимента на тестовые изображения накладывался искусственно сгенерированный шум, описываемый моделью (1), с различными комбинациями параметров. Цветовые компоненты изображения зашумлялись независимо.

Поскольку последние исследования в области оценки качества изображений [15] показали, что широко используемая метрика пикового отношения сигнал-шум (PSNR) не вполне адекватно характеризует визуальное качество изображений, в данной работе для оценки качества фильтрации была использована метрика PSNR-HMA [16]:

$$\text{PSNR-HMA} = 10 \lg(255^2 / \sigma_{\text{hma}}^2),$$

где σ_{hma}^2 рассчитывается с учетом особенности системы визуального восприятия человека. В частности, в ней учтены неравномерная чувствительность к искажениям в различных областях пространственных частот, эффекты маскирования, изменения контраста и сдвига среднего уровня яркости.

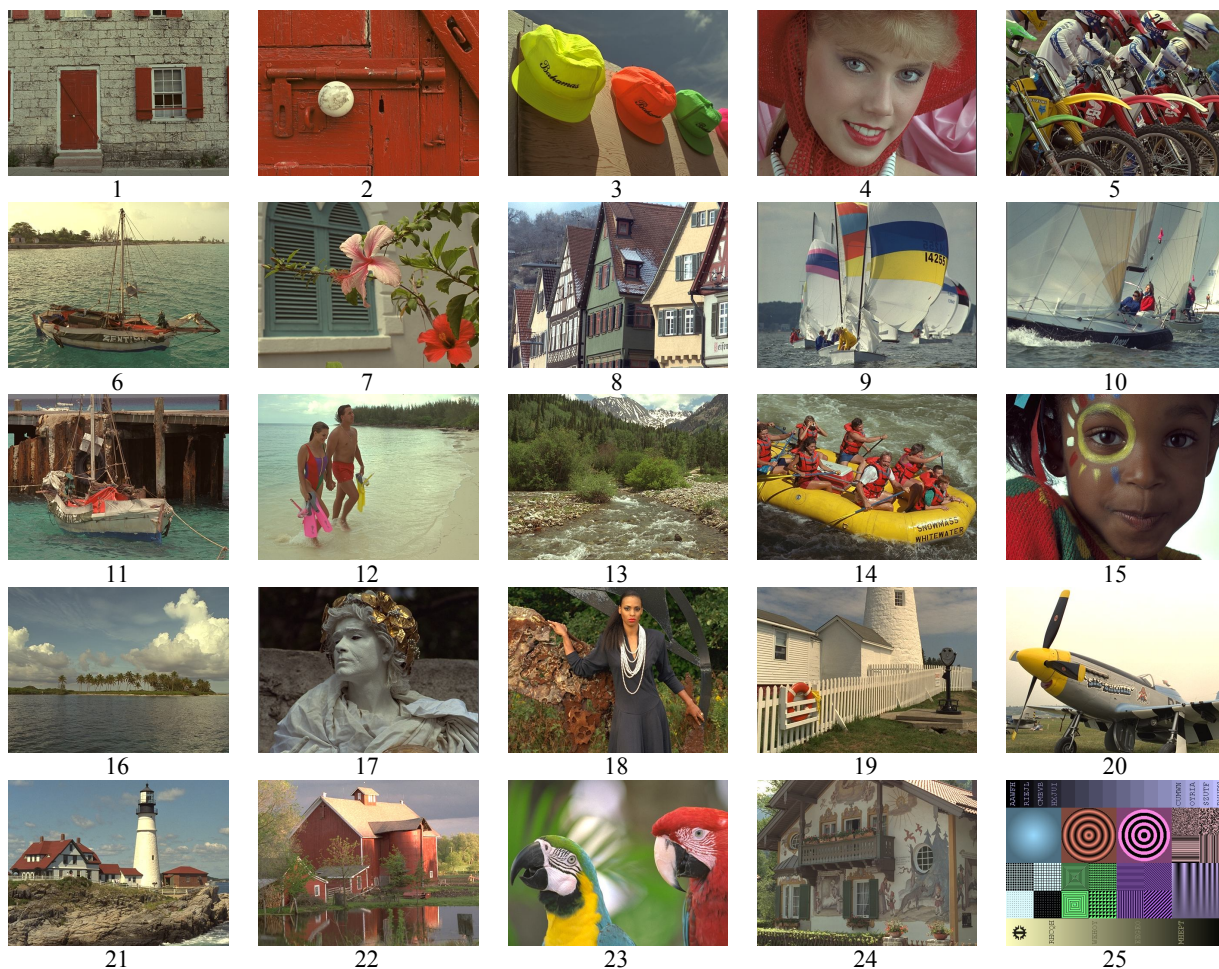


Рис. 1. База тестових изображений TID2008

Для получения статистически достоверных результатов фильтрация осуществлялась по 100 реализациям шума, а анализ проводился по усредненным значениям метрики PSNR-HMA.

3. Анализ полученных результатов

Ввиду большого объема полученных данных (анализировалось 5 подходов, 6 комбинаций параметров шума для 25 изображений) в статье приведены результаты только для шести изображений, соответствующих различным уровням сложности: низко- (изображения №3 и 23), средне- (№ 4, 17) и высоко-текстурные (№5, 18) (табл. 1).

Из полученных результатов (см. табл. 1) для изображения №3 при фильтрации в соответствии с подходом I видно, что использование ВДКПФ эффективно лишь при малых значениях коэффициента k , когда преобладающим является влияние аддитивной компоненты. В этом случае ее дисперсия оказывается больше или соизмерима с эквивалентной дисперсией пуассоновской компоненты, определяемой как произведение коэффициента k на средний уровень яркости для всего изображения. Для ВСФ

визуальное качество оказывается даже ниже по сравнению с зашумленным изображением, что связано с переоценкой реального уровня помех на темных участках и, как следствие, их перефильтрацией. При увеличении уровня пуассоновских помех наблюдается снижение визуального качества отфильтрованных изображений как для ВСФ, так и для ВДКПФ.

При использовании подхода II - ПЭ, который ориентирован на чисто пуассоновский шум, высокое качество отфильтрованных изображений обеспечивается только если аддитивная компонента шума имеет относительно небольшой уровень и преобладающим является влияние пуассоновских помех. При увеличении дисперсии аддитивного шума происходит снижение визуального качества отфильтрованных изображений. Кроме того, такой подход оказывается эффективным лишь при значениях коэффициента k , близких к единице. При больших k визуальное качество ухудшается, однако при меньших, наоборот, значения PSNR-HMA возрастают. Это можно объяснить меньшей общей интенсивностью помех и, как следствие, более высокой эффективностью их подавления [15].

Таблица 1

Значения метрики PSNR-HMA, характеризующие качество фильтрации предложенными методами

Индекс изобр.	σ_a^2	k	Изобр. с шумом	Подход I		Подход II				Подход III			
				ВСФ	ВДКПФ	ПЭ		ЛА		АВСП		ЛА	
						ВСФ	ВДКПФ	ВСФ	ВДКПФ	ВСФ	ВДКПФ	ВСФ	ВДКПФ
3	10	0,5	37,14	32,41	40,12	38,03	42,18	38,02	43,19	39,49	42,65	39,56	43,70
		1,0	36,26	30,90	39,43	37,31	41,24	37,01	41,35	37,25	41,69	37,32	41,46
		1,2	34,63	29,37	38,01	36,00	40,56	36,38	40,52	36,53	41,09	36,58	40,83
	50	0,5	35,09	31,45	39,31	37,26	41,67	37,30	41,64	37,51	42,03	37,56	41,87
		1,0	34,72	30,76	38,02	36,05	38,78	35,98	39,51	36,54	40,52	36,48	40,38
		1,2	34,33	28,31	36,06	35,18	38,03	35,08	38,69	35,68	38,95	35,53	38,65
4	10	0,5	38,12	31,98	41,62	38,67	42,16	37,93	43,04	39,01	42,41	39,21	43,33
		1,0	36,84	31,36	40,28	37,42	41,11	36,84	40,96	37,01	41,13	37,40	41,01
		1,2	34,64	30,04	39,01	36,06	40,21	35,79	40,04	36,67	40,75	36,61	37,43
	50	0,5	35,64	31,49	39,12	36,74	39,46	37,12	40,96	37,49	40,52	37,45	40,88
		1,0	35,00	31,21	38,43	36,02	38,99	36,30	38,83	36,70	39,84	36,67	39,68
		1,2	34,37	29,87	37,45	34,38	37,51	35,62	38,02	36,38	38,12	35,91	37,97
5	10	0,5	37,59	24,87	40,06	38,48	41,14	36,78	42,94	38,65	41,59	38,93	43,40
		1,0	35,25	23,40	39,86	36,23	40,93	35,14	41,02	36,12	40,86	35,74	40,89
		1,2	35,46	22,87	36,12	34,89	38,94	33,32	40,26	35,10	38,87	35,06	39,04
	50	0,5	35,33	23,67	38,64	35,64	39,29	34,56	40,93	35,92	40,32	36,10	40,79
		1,0	34,38	23,37	38,12	35,33	38,77	34,01	39,12	35,21	39,28	35,23	39,27
		1,2	33,83	22,69	37,07	33,69	37,58	33,21	38,44	33,59	38,76	34,03	38,53
17	10	0,5	38,16	31,98	39,35	37,14	42,25	37,12	43,47	38,54	42,51	38,58	43,53
		1,0	36,18	31,17	38,58	33,43	41,67	33,38	41,74	36,41	41,73	36,38	41,58
		1,2	35,38	30,66	37,81	34,87	40,68	33,01	40,94	35,98	40,98	36,01	38,96
	50	0,5	36,50	30,54	39,86	35,78	41,02	36,41	41,10	37,64	42,49	37,06	41,92
		1,0	35,12	29,09	38,64	33,14	39,12	34,87	39,40	35,94	40,48	35,71	40,39
		1,2	34,16	28,41	37,52	33,01	38,56	34,21	38,72	34,94	39,63	34,38	39,90
18	10	0,5	37,82	26,35	41,39	35,86	41,89	35,80	42,71	37,92	42,04	38,12	43,26
		1,0	35,81	25,70	40,78	35,70	41,05	34,46	41,04	34,71	41,13	36,05	40,87
		1,2	35,19	24,87	38,98	33,85	39,67	33,64	40,33	34,44	40,25	34,43	39,48
	50	0,5	36,17	26,02	40,02	35,59	39,95	35,57	40,77	35,07	40,88	36,32	40,76
		1,0	35,07	25,65	39,03	35,12	38,74	34,16	39,05	33,28	39,48	35,77	39,27
		1,2	33,17	24,87	38,15	32,83	37,48	33,04	38,40	33,03	38,48	33,35	38,51
23	10	0,5	37,47	29,45	40,26	38,09	42,01	38,08	42,59	39,27	42,56	39,49	42,88
		1,0	36,61	28,74	39,60	37,10	40,36	36,23	40,60	36,92	40,58	37,06	40,70
		1,2	33,85	28,03	38,14	36,01	38,84	35,67	39,77	36,31	39,68	36,26	39,33
	50	0,5	35,30	29,15	40,18	36,83	40,12	37,35	41,22	37,97	41,46	37,58	41,35
		1,0	34,24	28,67	39,17	36,39	38,61	36,01	39,13	36,92	39,69	36,75	39,79
		1,2	32,73	27,36	38,13	35,03	38,02	34,93	38,30	36,59	39,06	35,33	38,45

Аналогичные зависимости наблюдаются и для подхода II – ЛА на основе локальной адаптации, для которого наилучшее качество отфильтрованных изображений также наблюдается в ситуациях, когда шум близок к чисто пуассоновскому, т.е. при наименьшем σ_a^2 и k, близким к единице.

Подход III как с применением АВСП, так и на основе адаптации, обеспечивает хорошие показатели качества выходных изображений как для ВДКПФ, так и для ВСФ. Как и для предыдущих подходов, более высокие значения PSNR-HMA наблюдаются при меньшей интенсивности помех.

Анализируя результаты фильтрации изображения №3 в соответствии со всеми предложенными

подходами можно сделать следующие выводы. Наилучшее качество отфильтрованных изображений для ВСФ обеспечивается при использовании подхода III, несколько меньшее (на величину до 1,5 дБ) – при использовании подхода II. Самое низкое качество (ниже примерно на 6 дБ по сравнению с подходом II) обеспечивается при использовании подхода I. При этом в рамках каждого из подходов II и III показатели для различных вариантов практически одинаковые. В целом, для подхода II лучшим оказывается вариант ПЭ, а для подхода III – вариант ЛА.

Для ВДКПФ также наилучшие показатели наблюдаются для подхода III, по сравнению с ним подход II обеспечивает результаты хуже примерно

на 0,5 дБ, а подход I уступает подходу II около 2 дБ.

Наилучшей эффективностью для большинства ситуаций (значения в табл. 1 выделены жирным шрифтом) среди всех рассматриваемых вариантов фильтрации обладает подход III - АВСП на основе ВДКПФ. Он обеспечивает выигрыш по сравнению с наилучшим подходом III - ЛА на основе ВСФ на величину от 1 до 3 дБ. При этом по сравнению с зашумленным изображением качество возрастает на величину от 4,5 до 7 дБ. По сравнению с другими подходами при использовании АВСП величина выигрыша по визуальному качеству в наименьшей степени зависит от параметров помех, что делает такой подход более универсальным.

Основные закономерности, выявленные при анализе эффективности фильтрации изображения № 3, остаются справедливыми и для изображения № 23, также относящегося к классу низко-текстурных. Отличие состоит лишь в меньших показателях качества отфильтрованных изображений, что связано с большей сложностью изображения № 23, содержащего больше текстурных участков.

Для средне- (№ 4, 17) и высоко-текстурных (№ 5, 18) изображений соотношение между эффективностью различных подходов сохраняется. Для ВСФ наиболее эффективными оказываются подходы III - АВСП и III - ЛА. Причем подход на основе АВСП лучше при больших уровнях помех, а ЛА - при меньших. Для ВДКПФ наилучшие результаты в большинстве ситуаций дает подход III - АВСП.

Однако в некоторых ситуациях подход III - АВСП оказывается не наилучшим. Например, для ситуаций интенсивных пуассоновских помех ($k=1$; 1,2) и относительно малых аддитивных ($\sigma_a^2 = 10$) лучшие результаты дает подход II - ЛА, а в случае помех малой интенсивности ($k = 0,5$; $\sigma_a^2 = 10$) - подход III - ЛА. Объясняется это неточностью оценок характеристик шума, используемых при проведении АВСП [8]. Как правило, оценки для аддитивной составляющей оказываются несколько завышенными, а для коэффициента - k , наоборот, заниженными. В результате реальная дисперсия помех после ВСП оказывается несколько больше единицы [8], порог фильтрации устанавливается слишком низким, и сглаживание помехи оказывается недостаточным. В то же время, у подходов II - ЛА и III - ЛА для соответствующих ситуаций порог фильтрации более близок к оптимальному, поэтому они и обеспечивают более высокие показатели качества выходных изображений.

С увеличением сложности изображений показатели визуального качества при применении ВСФ уменьшаются на величину порядка 0,5-1,5 дБ. Для ВДКПФ снижение также наблюдается, но величина

его незначительна и составляет примерно 0,5 дБ. Если сравнивать эффективность фильтрации ВСФ и ВДКПФ при условии использования наилучших для них подходов, то более высокие показатели обеспечивает ВДКПФ. При этом разница значений метрики PSNR-НМА может достигать 3-5 дБ.

Выводы, полученные на основе метрики PSNR-НМА, подтверждаются также и визуальным анализом. Для примера на рис. 2 приведены результаты обработки зашумленного ($k = 1$; $\sigma_a^2 = 50$) тестового изображения №4 ВДКПФ в соответствии со всеми рассматриваемыми подходами. Видно, что при использовании подхода I (рис. 2, б) на участках с низкой яркостью остаточный шум практически отсутствует, однако на ярких участках он явно заметен.

Для подходов II - ПЭ и II - ЛА (рис. 2, в и г) характерна примерно одинаковая эффективность подавления шума на участках разной яркости, но она недостаточна и шум заметен визуально.

Наилучшие результаты обеспечивают подходы III - АВСП и III - ЛА (рис. 2, д и е). Однако видно, что на выходном изображении для подхода III - ЛА все же присутствует небольшой остаточный шум, в то же время, выходное изображение для подхода III - АВСП шума практически не содержит, при этом детали и текстура сохранены хорошо.

Заключение

Анализ качества фильтрации изображений, искаженных смесью сигнально-зависимых (пуассоновских) и сигнально-независимых (аддитивных) помех, показал, что наиболее эффективным и универсальным подходом является совместное использование АВСП с последующим применением векторных фильтров. Наилучшие результаты среди рассматриваемых векторных фильтров дает использование ВДКПФ, при этом применение ВСФ также оказывается достаточно эффективным.

Полученные в соответствии с метрикой PSNR-НМА оценки свидетельствуют о том, что визуальные искажения на отфильтрованных изображениях при использовании АВСП практически отсутствуют (значения метрики больше либо близки к 40 дБ [17]). В то же время, для данного подхода критичной оказывается точность оценок параметров компонент помехи, что требует дальнейшего совершенствования соответствующих методов оценивания.

Литература

1. *Airborne visible/infrared imaging spectrometer [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://aviris.jpl.nasa.gov/>. - 20.05.2012 г.*



Рис. 2. Результаты фильтрации зашумленного ($k = 1$; $\sigma_a^2 = 50$; PSNR-HMA = 33,57 дБ) тестового изображения №4 (а) ВДКПФ в соответствии с подходом I (PSNR-HMA = 39,01 дБ) (б), подходом II – ПЭ (PSNR-HMA = 38,23 дБ) (в), подходом II – ЛА (PSNR-HMA = 38,03 дБ) (г), подходом III – ABCП (PSNR-HMA = 39,47 дБ) (д) и подходом III – ЛА (PSNR-HMA = 38,32 дБ) (е)

2. Practical Poissonian-Gaussian noise modeling and fitting for single-image raw-data [Text] / A. Foi, M. Trimeche, V. Katkovnik, K. Egiazarian // IEEE Trans. Image Process. – 2008. – Vol. 17. – P. 1737-1754.

3. Pratt, W.K. Digital Image Processing. Fourth Edition [Text] / W.K. Pratt. – NY.: Wiley-Interscience, USA. – 2007. – 1429 p.

4. 3D DCT Based Filtering of Color and Multichannel Images [Text] / N.N. Ponomarenko, V.V. Lukin, A.A. Zelensky, P.T. Koivisto, K. Egiazarian // Telecommunications and Radio Engineering. – 2008. – Vol. 15. – P. 1369-1392.

5. Лукин, В.В. Исследование потенциальной эффективности фильтрации на основе дискретного косинусного преобразования [Текст] / В.В. Лукин, Д.В. Февралев, Н.Н. Пономаренко // Радиоэлектронные и компьютерные системы. – 2009. –

Вып. 4(38). – С. 17–24.

6. Двухэтапная обработка многоканальных радиолокационных изображений с использованием векторного сигма-фильтра [Текст] / А.А. Зеленский, В.В. Лукин, А.А. Курекин, Я. Астола // Успехи современной радиоэлектроники. – 2003. – Вып. 11. – С. 55-62.

7. Murtagh, F.D. Image Processing and Data Analysis: The Multiscale Approach [Text] / F.D. Murtagh, S. Jean, B. Albert. – Cambridge: Cambridge University Press, England. – 1998. – 338 p.

8. Кожемякин, Р.А. Анализ эффективности дисперсионно-стабилизирующих преобразований в случае присутствия на изображениях сложных помех [Текст] / Р.А. Кожемякин, С.К. Абрамов // 15-й Международный молодежный форум «Радиоэлек-

троника и молодежь в 21 веке», матер. конф., Харьков, ХНУРЭ. – 2011. – Т. 3. – С. 119-120.

9. Improved minimal inter-quantile distance method for blind estimation of noise variance in images [Text] / V.V. Lukin, S.K. Abramov, A.A. Zelensky, J.T. Astola, B. Vozel, K. Chehdi // Proceedings of the SPIE on Image and Signal Processing for Remote Sensing XIII. – 2007. – Vol. 6748. – 12 p.

10. Anscombe, F.J. The transformation of Poisson, binomial and negative binomial data [Text] / F.J. Anscombe // Biometrika. – 1948. – Vol. 35. – P. 246-254.

11. Optimization of variance-stabilizing transformations [Электронный ресурс] / A. Foi. – Режим доступа: <http://www.cs.tut.fi/~foi/>. – 20.05.2012 г.

12. Methods for Blind Estimation of the Variance of Mixed Noise and Their Performance Analysis [Text] / S. Abramov, V. Zabrodina, V. Lukin, B. Vozel, K. Chehdi, J. Astola // Numerical Analysis. Theory and Applications. – Vol. 3. – 2011. – P. 49-70.

13. Забродина, В.В. Применение робастных методов вписывания регрессионной прямой для повышения точности оценивания дисперсии сложных

помех на изображениях [Текст] / В.В. Забродина, С.К. Абрамов // Радиоэлектронні і комп'ютерні системи. – 2010. – Вып.4(45). – С. 149-155.

14. Tampere image database 2008 tid2008 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.ponomarenko.info/tid2008.htm>. – 20.05.2012 г.

15. Исследование эффективности фильтрации цветных изображений с использованием различных метрик [Текст] / Д.В. Февралев, С.К. Абрамов, Н.Н. Пономаренко, В.В. Лукин // Радиоэлектронные и компьютерные системы. – 2010. – Вып. 2(43). – С. 97-107.

16. Modified Image Visual Quality Metrics for Contrast Change and Mean Shift Accounting [Text] / N. Ponomarenko, O. Ieremeiev, V. Lukin, K. Egiazarian, M. Carli // Proceedings of CADSM, Polyana-Svalyava, Ukraine, 23-25 February 2011. – 2011. – P. 305-311.

17. Lossy compression of images without visible distortions and its applications [Text] / V. Lukin, M. Zriakhov, S. Krivenko, N. Ponomarenko, Z. Miao // Proceedings of ICSP, Beijing, China, 13-18 September 2010. – 2010. – P. 698-701.

Поступила в редакцию 22.05.2012

Рецензент: д-р техн. наук, проф., проф. каф. «Проектирование радиоэлектронных систем летательных аппаратов» В.К. Волосюк, Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского "ХАИ", Харьков.

ФІЛЬТРАЦІЯ ЗОБРАЖЕНЬ, СПОТВОРЕНИХ СУМІШЧЮ СИГНАЛЬНО-ЗАЛЕЖНИХ ТА СИГНАЛЬНО-НЕЗАЛЕЖНИХ ЗАВАД

Р.О. Кожемякін, В.В. Абрамова, С.К. Абрамов

Розглянуто особливості фільтрації зображень у присутності суміші сигнально-залежної (пуассонівської) та сигнально-назалежної (адитивної гаусівської) компонент. Проаналізовано якість фільтрації після застосування до зображень локально-адаптивних методів та варіаційно-стабілізуючих перетворень. Перелічені основні фактори, що впливають на якість фільтрації. Наведено результати фільтрації багатоканальних зображень після застосування запропонованих методів для векторних сигма-фільтра і фільтра на основі дискретного косинусного перетворення.

Ключові слова: багатоканальні зображення, варіаційно-стабілізуюче перетворення, складні завади, векторна фільтрація.

FILTERING OF IMAGES CORRUPTED BY MIXED SIGNAL-DEPENDENT AND SIGNAL-INDEPENDENT NOISE

R.A. Kozhemyakin, V.V. Abramova, S.K. Abramov

Peculiarities of filtering of images corrupted by mixed signal-dependent (Poisson) and signal-independent (additive Gaussian) noise are considered. Quality of the filtered images after applying locally adaptive methods and variance-stabilizing transformations is analyzed. The main factors affecting quality of filtered images are discussed. The results of filtering of multichannel images after applying the proposed methods for vector sigma and vector discrete cosine transform filters are presented.

Key words: multichannel images, variance-stabilizing transformation, mixed noise, vector filtering.

Кожемякин Руслан Александрович – інженер каф. приёма, передачі і обробки сигналів, Національний аэрокосмічний університет ім. Н.Е. Жуковського «Харьківський авіаційний інститут», Харків, Україна, e-mail: Arctic818@gmail.com.

Абрамова Виктория Валерьевна – аспірант каф. приёма, передачі і обробки сигналів, Національний аэрокосмічний університет ім. Н.Е. Жуковського «Харьківський авіаційний інститут», Харків, Україна, e-mail: Victoriya_Zabr@mail.ru.

Абрамов Сергей Клавдиевич – канд. техн. наук, доцент, доцент каф. приёма, передачі і обробки сигналів, Національний аэрокосмічний університет ім. Н.Е. Жуковського «Харьківський авіаційний інститут», Харків, Україна, e-mail: ask379@mail.ru.