

УДК 621.3:681.34

Д.В. ФЕВРАЛЕВ, В.В. АБРАМОВА, С.К. АБРАМОВ, В.В. ЛУКИН

*Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Украина***ЭФФЕКТИВНОСТЬ ФИЛЬТРАЦИИ ИЗОБРАЖЕНИЙ ПРИ ОГРАНИЧЕННЫХ АПРИОРНЫХ СВЕДЕНИЯХ О СВОЙСТВАХ ПОМЕХ**

Проанализирована эффективность фильтрации изображений, искаженных сигнально-зависимыми помехами, при ограниченных априорных сведениях о типе и статистических характеристиках шума. Исследование проведено для фильтров на основе дискретного косинусного преобразования, способных легко учитывать доступную или извлекаемую непосредственно из изображений априорную информацию. Показано, что использование при фильтрации априорной или извлекаемой из данных информации позволяет на 0,3...1 дБ повысить эффективность фильтрации в соответствии с метриками PSNR и PSNR-HVS-M, однако желательно повышать точность оценивания характеристик сигнально-зависимых помех.

Ключевые слова: ДКП-фильтрация, сигнально-зависимые помехи, эффективность фильтрации, визуальное качество.

Введение

В настоящее время изображения формируются и используются в разнообразных типах систем: дистанционного зондирования (ДЗ) и мониторинга земной поверхности с аэрокосмических носителей, телекоммуникационных, следящих, медицинских диагностических и т.п. [1 – 3]. Однако качество исходных данных (первичных изображений) часто не удовлетворяет пользователей вследствие присутствия помех и искажений, влияющих на эффективность классификации и распознавания объектов, диагностическую ценность и даже визуальное восприятие. В связи с этим для повышения качества изображений применяют различные методы фильтрации и восстановления [4-8].

Несмотря на огромное количество разработанных к настоящему времени фильтров, среди них нет универсальных, способных успешно обрабатывать изображения при воздействии различных видов помех [2, 3]. Большинство существующих фильтров предназначено для подавления заранее известного типа помех, чаще всего при условии заранее известных характеристик этих помех (закона распределения или хотя бы дисперсии, вероятности появления импульсных помех и т.д.). Среди наиболее популярных можно назвать фильтры на основе ортогональных преобразований [4-7] и на основе порядковых статистик [8]. Быстрыми темпами развиваются нелокальные методы фильтрации [4, 9], использующие самоподобие изображений.

Наибольшее число методов фильтрации разработано для подавления аддитивных гауссовых пространственно-некоррелированных помех [1, 2, 4-6].

При этом предполагается, что дисперсия помех априорно известна или оценена достаточно точно. Однако для многих реальных изображений имеют место нестационарные (неаддитивные) помехи сложного вида с априорно неизвестными характеристиками, часто с присутствием заметной пространственной коррелированности.

Такая ситуация характерна не только для радиолокационных изображений дистанционного зондирования, для которых давно известно, что основной тип шума – мультипликативный, но и для гиперспектральных систем. Во многих работах по данным ДЗ системы авиационного базирования AVIRIS полагают, что шум аддитивный [10], однако последние исследования показали, что вклад сигнально-зависимой компоненты также является существенным [11], а для нового поколения гиперспектральных систем даже становится преобладающим [12].

Интуитивно понятно, что ошибочное исходное предположение о типе помех, присутствующих на изображении, может привести к заметному снижению эффективности последующей фильтрации по аналогии с тем, как учет пространственной коррелированности помех позволяет существенно (на 2...3 дБ) повысить эффективность фильтрации по сравнению с версиями фильтров того же класса, не учитывающими пространственную коррелированность помех [13]. Аналогично в [14] было показано, что неточность установки дисперсии (СКО) помех, используемой в качестве параметра для дискретного косинусного преобразования (ДКП) и сигма-фильтров, приводит к снижению выходного пикового отношения сигнал-шум (ПОСШ, PSNR) на величину до 0,5...1 дБ.

Таким образом, актуальной является задача сравнительного анализа эффективности фильтрации при ложных и правильных предположениях о типе шума, присутствующего на изображении, а также влияния неточности оценок характеристик помех на качество изображений на выходе фильтра в соответствии с различными метриками, как традиционными, так и способными более адекватно характеризовать визуальное качество.

Рассматриваемые варианты фильтрации на основе ДКП

Прежде всего, следует рассмотреть четыре варианта фильтрации:

1) гипотетический 1, для которого априорно известен тип и характеристики помех и параметры фильтра выбраны таким образом, что обеспечивается оптимум в соответствии с используемым критерием для анализируемого изображения;

2) гипотетический 2, в соответствии с которым тип шума определен ошибочно, но при этом используются параметры соответствующего фильтра, обеспечивающие оптимум для данного изображения в соответствии с используемым критерием;

3) реальный 1, для которого тип шума (например сигнално-зависимый) определен правильно, его характеристики оценены (с некоторой погрешностью) по анализируемому изображению и параметры фильтра установлены с использованием полученных оценок согласно традиционным рекомендациям;

4) реальный 2, когда тип шума определен неверно (или исходные предположения о типе помех неверны), характеристики помех оценены согласно этим предположениям и полученные оценки использованы при фильтрации.

Ниже нами рассматривается подход к фильтрации, основанный на ДКП. Причины использования именно этой группы (класса) фильтров таковы. Во-первых, фильтры на основе ДКП относятся к числу наиболее эффективных в соответствии с различными критериями [4, 7, 13]. Во-вторых, они легко адаптируются к различным типам помех, включая аддитивные, мультипликативные и, в общем случае, сигнално-зависимые [7].

Кратко напомним принцип фильтрации на основе ДКП. Обработка может реализовываться в перекрывающихся или неперекрывающихся блоках фиксированного или переменного (адаптивного) размера [4, 7]. Ниже мы рассматриваем случай фиксированного размера блоков (8x8 пикселей), как более простой и обладающий высоким быстродействием. Рассматривается полное перекрытие блоков, то есть взаимный сдвиг ближайших блоков на один

пиксель – этот вариант обеспечивает более высокую эффективность, чем обработка без перекрытия или с частичным перекрытием.

Собственно фильтрация предусматривает выполнение прямого ДКП в каждом блоке, применение пороговой обработки к полученным ДКП-коэффициентам, выполнение обратного ДКП в каждом блоке и усреднение полученных фильтрованных значений для каждого пикселя для случая фильтрации с перекрытием. Пороговая обработка может предусматривать использование мягкого, жесткого (грубого) и комбинированного порога. Ниже рассматривается случай применения жесткого порога как более простой и достаточно эффективный.

Если заранее известна зависимость локальной дисперсии от истинного значения пикселя $\sigma_{ij}^2 = f(I_{ij}^{true})$, то для каждого блока с верхним левым углом в nm -м пикселе порог устанавливается как

$$T_{nm} = \beta \sqrt{f(\bar{I}_{nm})}, \quad (1)$$

где β – параметр, а среднее в блоке \bar{I}_{nm} служит оценкой I_{ij}^{true} для всех пикселей, принадлежащих данному блоку. Выражение (1) справедливо для случая пространственно-некоррелированных помех, который рассматривается в данной статье.

Значение β , при котором обеспечивается оптимум метрики, количественно характеризующей эффективность фильтрации, зависит от свойств обрабатываемого изображения (его сложности), свойств помех и собственно используемой метрики. Общие закономерности таковы:

1) если в качестве метрик используются стандартные критерии (метрики ПОСШ или среднеквадратическая ошибка на выходе фильтра - СКОш), то для жесткого порога оптимальное значение β_{opt}^{PSNR} немного меньше 2,6 (варьируется от 2,0 до 2,5), если уровень помех невысок и обрабатываемое изображение достаточно сложное; в противном случае β_{opt}^{PSNR} примерно равно или несколько больше 2,6 (до 3,0) [15];

2) если для описания качества выходных изображений используются метрики визуального качества (PSNR-HVS-M [16] или MSSIM [17]), то оптимальны значения β немного меньше, при этом выполняются следующие приближенные равенства:

$$\beta_{opt}^{PSNR-HVS-M} \approx 0,85\beta_{opt}^{PSNR}, \quad \beta_{opt}^{MSSIM} \approx 0,95\beta_{opt}^{PSNR}. \quad (2)$$

Это свидетельствует о том, что для обеспечения оптимального визуального качества нужно в первую очередь лучше сохранить границы, малоразмерные

объекты и текстуры, что достигается при $\beta \approx 2$, чем эффективно подавить шум, что обеспечивается при $\beta > 2,6$.

Таким образом, для варианта фильтрации гипотетический 1 необходимо проанализировать эффективность фильтрации в соответствии с (1) для β в пределах от 2 до 3 и выбрать значение β , при котором достигается оптимум (максимум для рассматриваемых метрик). Для варианта фильтрации гипотетический 2 следует предположить простейший случай присутствия аддитивного шума и проанализировать эффективность фильтрации для широких пределов изменения параметра T , предполагаемого одинаковым для всех блоков, а затем найти оптимальные значения T для разных метрик. Для варианта обработки реальный 1 необходимо оценить вид $\hat{f}(\cdot)$ (или параметры этой функции) и при фильтрации устанавливать $T_{nm} = \beta_{\text{гес опт}} \sqrt{\hat{f}(T_{nm})}$, где $\beta_{\text{гес опт}}$ – рекомендованное оптимальное значение (2,6 для PSNR, 2,5 для MSSIM, 2,2 для PSNR-HVS-M). Наконец, для варианта обработки реальный 2 следует получить по изображению оценку дисперсии аддитивных помех $\hat{\sigma}_a^2$ и использовать фиксированный порог для всех блоков, равный $\beta_{\text{гес опт}} \hat{\sigma}_a$ в зависимости от рассматриваемой метрики.

Такая методика позволяет производить попарное сравнение эффективности вариантов фильтрации. Наиболее важным представляется сравнение вариантов гипотетический 1 и 2 и вариантов гипотетический 1 и реальный 1. Сравнение вариантов гипотетический 1 и 2 позволяет проанализировать, в

какой мере учет (или неучет) реальных свойств помех может сказаться на эффективности обработки в идеале. Сравнение данных для вариантов гипотетический 1 и реальный 1 позволяет оценить влияние неточности определения параметров сигнально-зависимых (неаддитивных) помех, а также адаптации (или неадаптации) к свойствам конкретного изображения на эффективность фильтрации.

Методика проведения исследования и анализ результатов

Рассмотрим практический случай пуассоновских помех, наблюдаемых для исходных оптических изображений до того, как к ним применяются различные преобразования типа гамма-коррекции [4]. Помехи с ПРВ Пуассона являются характерным типом сигнально-зависимого шума, для которого $\sigma_{ij}^2 = I_{ij}^{\text{true}}$ и имеется явная негауссовость при малых (меньше 10) значениях I_{ij}^{true} . Для анализа взяты три тестовых изображения: Airfield (рис. 1,а) как характерный пример изображений аэрофотосъемки местности, а также стандартные тестовые изображения Baboon и Goldhill, которые часто используются для тестирования разнообразных методов обработки изображений и при этом существенно отличаются друг от друга степенью сложности.

Изображения, искаженные пуассоновским шумом подвергались обработке с использованием ДКП-фильтра, согласно четырем вышеописанным вариантам подбора его параметров. Результаты фильтрации в соответствии с вариантами гипотетический 1 и гипотетический 2 приведены в табл. 1. В



а



б

Рис. 1. Тестовое изображение Airfield: исходное (а), зашумленное пуассоновским шумом ($k=1$) (б)

Таблица 1

Результаты фильтрации изображений в случаях гипотетический 1 и гипотетический 2

Изображение	Гипотетический 1					Гипотетический 2				
	β	Метрика				Порог	Метрика			
		СКОш	PSNR	PSNR-HVS-M	MSSIM		СКОш	PSNR	PSNR-HVS-M	MSSIM
Airfield (СКОш _{вх} =136)	2	64,06	30,07	32,15	0,832	16	95,17	28,35	31,26	0,786
	2,2	61,21	30,26	32,21	0,834	20	78,84	29,16	31,71	0,807
	2,4	60,70	30,30	32,15	0,830	24	68,21	29,79	32,03	0,821
	2,6	62,03	30,20	31,99	0,822	28	64,18	30,06	32,12	0,823
	2,8	64,71	30,02	31,75	0,810	32	65,58	29,96	31,94	0,813
	3	68,30	29,79	31,46	0,797	36	70,64	29,64	31,54	0,796
Goldhill (СКОш _{вх} =111)	2	35,37	32,64	33,89	0,861	16	59,78	30,37	32,54	0,79
	2,2	32,48	33,02	33,95	0,873	20	44,97	31,6	33,16	0,825
	2,4	30,997	33,22	33,97	0,879	24	37,29	32,42	33,46	0,845
	2,6	30,93	33,23	33,86	0,878	28	34,86	32,71	33,42	0,853
	2,8	31,84	33,1	33,66	0,874	32	36,45	32,51	32,97	0,848
	3	33,37	32,9	33,38	0,867	36	39,81	32,13	32,36	0,836
Baboon (СКОш _{вх} =130)	2	69,82	29,69	32,82	0,88	16	93,26	28,43	32,04	0,839
	2,2	67,08	29,86	32,88	0,8842	20	79,39	29,13	32,43	0,86
	2,4	66,43	29,91	32,84	0,884	24	71,19	29,61	32,68	0,874
	2,6	67,54	29,84	32,71	0,88	28	69,72	29,7	32,66	0,877
	2,8	70,08	29,68	32,51	0,873	32	73,61	29,46	32,39	0,868
	3	73,85	29,45	32,23	0,864	36	81,64	29,01	31,89	0,852

данном случае вариант гипотетический 1 соответствует ситуации, когда имеется верная информация о том, что шум пуассоновский и известны его характеристики, гипотетический 2 – ситуации, когда шум на изображении был классифицирован как гауссовский аддитивный. В таблице цветом выделены ячейки, соответствующие оптимальным по одному из выбранных критериев (метрик) значениям.

Рассмотрим результаты для изображения Airfield. Как видим, при оптимальном выборе параметров фильтра для случая гипотетический 1 результаты в соответствии со всеми метриками оказываются лучше, чем для случая гипотетический 2 (выигрыш составляет 3,48 по СКОш, 0,24 и 0,09 дБ по PSNR и PSNR-HVS-M и 0,011 по MSSIM). На рис. 1,б приведено искаженное пуассоновским шумом тестовое изображение Airfield, на рис. 2 приведены результаты его фильтрации для случаев гипотетический 1 и гипотетический 2. Анализ приведенных изображений показывает, что хотя для случая гипотетический 2 (см. рис. 2,б) на однородных участках шум подавлен лучше, чем для случая гипотетический 1, границы и малоразмерные объекты сохранены заметно хуже, что существенно снижает визуальное качество обработанного изображения. Следовательно, для обеспечения качественной фильтрации наличие верной информации о типе шума и его характеристиках имеет существенное значение. Посколь-

ку для всех метрик наблюдаются одинаковые тенденции, в дальнейшем анализ качества фильтрации будем проводить только по значениям метрик PSNR и PSNR-HVS-M.

Результаты для изображений Baboon и Goldhill схожи с результатами для Airfield. В случае гипотетический 1 возможно обеспечить PSNR и PSNR-HVS-M большее на 0,21 и 0,2 дБ для изображения Baboon и на 0,52 и 0,51 дБ для изображения Goldhill соответственно, что еще раз подтверждает вывод о том, что для обеспечения качественной фильтрации наличие верной априорной информации его характеристиках является важным условием. Прежде чем перейти к рассмотрению качества фильтрации в случаях реальный 1 и реальный 2, кратко ознакомимся с методами, которые использовались для оценивания характеристик шума.

Для оценивания характеристик пуассоновского шума (случай реальный 1) был использован модифицированный метод, основанный на методе [28]. Исходный метод предназначен для оценивания дисперсии смеси аддитивного и мультипликативного шума. Заключается он во вписывании регрессионной прямой по скаттерограмме пар локальных оценок дисперсии и квадрата среднего, полученных в блоках, соответствующих однородным участкам изображения. Для вписывания используется дважды взвешенный метод наименьших квадратов.

Результатом работы метода являются оценки дисперсии аддитивного и относительной дисперсии мультипликативного шума. Описанный метод был модифицирован для оценивания характеристик смеси аддитивного и пуассоновского шума. В отличие от исходного, в модифицированном методе вписывание производится не по скаттерограмме пар локальных оценок дисперсии и квадрата среднего, а по скаттерограмме пар локальных оценок дисперсии и среднего. Результатом работы модифицированного метода являются оценки дисперсии аддитивного шума ($\hat{\sigma}_a^2$) и коэффициента усиления пуассоновского (\hat{k}). Описанный модифицированный метод может также применяться в случаях, когда шум на изображении является чисто аддитивным или чисто пуассоновским. В этом случае одна из выходных оценок будет близка к нулю.

Для оценивания дисперсии аддитивного шума (случай реальный 2) был использован метод [29], предполагающий оценивание моды распределения локальных оценок дисперсии, полученных на однородных участках изображения при помощи интерквантильной оценки.

Результаты оценивания характеристик шума для случаев реальный 1 и реальный 2 приведены в табл. 2. Истинные параметры шума $\sigma_a^2=0$, $k=1$. В случае, когда оценивание дисперсии шума производится в предположении, что шум аддитивный гауссовский (реальный 2), значения оценок его дисперсии оказываются достаточно высокими (больше оценок СКОш_{вх}, приведенных в табл. 1). Связано это с тем, что в случае оценивания характеристик сигнално-зависимого шума при помощи метода, адап-

Таблица 2
Оценки характеристик шума
для случаев реальный 1 и реальный 2

Изображение	Реальный 1		Реальный 2
	$\hat{\sigma}_a^2$	\hat{k}	$\hat{\sigma}_a^2$
Airfield	22,76	1,17	190,66
Goldhill	23,48	0,89	154,13
Baboon	58,76	0,86	194,49

тированного под аддитивный шум, полученные оценки дисперсии соответствуют истинным для некоторых средних уровней, преобладающих на данном изображении. Для более низких средних уровней эти оценки являются завышенными и, соответственно заниженными для более высоких уровней локального среднего.

Если тип шума определен правильно (реальный 1) и используется метод, адаптированный под такой тип шума, обеспечиваются оценки дисперсии, более адекватные истинным. Как видим, метод обеспечивает оценки коэффициента усиления достаточно близкие к единичному значению, однако при этом значения оценок дисперсии аддитивной компоненты шума не являются нулевыми и довольно существенно смещены относительно истинного значения. Наибольшая смещенность наблюдается в случае, когда обрабатываемое изображение является высокотекстурным (Baboon).

Наша задача заключается в том, чтобы проверить, как неточность оценивания характеристик шума скажется на качестве фильтрации рассматриваемых тестовых изображений. Результаты фильтрации для случаев реальный 1 и реальный 2 приведены в табл. 3. В этой же таблице для сравнения



а



б

Рис. 2. Результаты фильтрации тестового изображения Airfield, зашумленного пуассоновским шумом при оптимальном выборе параметров в случаях гипотетический 1 (а) и гипотетический 2 (б)

Таблица 3

Результаты фильтрации изображений для различных вариантов

Изображение	Метрика	Вариант фильтрации			
		Гипотетический 1	Гипотетический 2	Реальный 1	Реальный 2
Airfield	MSEout	60,70	64,18	68,38	70,6
	PSNR	30,30	30,06	29,78	29,6
	PSNR-HVS-M	32,21	32,12	31,47	31,6
	MSSIM	0,834	0,823	0,797	0,797
Goldhill	MSEout	30,93	34,86	31,77	32,27
	PSNR	33,23	32,71	33,11	32,49
	PSNR-HVS-M	33,97	33,46	33,7	32,94
	MSSIM	0,879	0,853	0,873	0,847
Baboon	MSEout	66,43	69,72	74,64	81,6
	PSNR	29,91	29,7	29,4	29,1
	PSNR-HVS-M	32,88	32,68	32,28	31,9
	MSSIM	0,8842	0,877	0,864	0,852

приведены данные для случаев гипотетический 1 и гипотетический 2, соответствующие оптимальным по каждому критерию параметрам ДКП-фильтра.

Интуитивно понятно, что качество фильтрации для реальных случаев должно быть ниже, чем для гипотетических. Данные из табл. 3 подтверждают это предположение.

По сравнению со случаем гипотетический 1, характеризующим качество фильтрации в идеальном случае, в случае реальный 2 проигрыш для всех тестовых изображений составляет порядка 0,75 дБ по PSNR и в районе 1 дБ согласно метрике PSNR-HVS-M.

В случае, когда при фильтрации учитывается информация о сигнально-зависимом характере помех и при определении порога ДКП-фильтра используются оценки характеристик шума (случай реальный 1) результаты фильтрации оказываются заметно лучше, однако также существенно проигрывают по сравнению с идеальным (гипотетический 1) случаем. В реальном 1 случае PSNR ниже, чем в случае гипотетический 1, в среднем на 0,12...0,5 дБ, PSNR-HVS-M ниже на 0,27...0,75 дБ. Следовательно, даже при существующей точности оценивания характеристик сигнально-зависимых помех, в результате соответствующей фильтрации можно обеспечить PSNR на 0,2...0,6 дБ выше по сравнению со случаем, когда сигнально-зависимый характер помех не учитывается и оценивание дисперсии производится в предположении, что шум гауссовский аддитивный. Тем не менее, как показывают приведенные результаты (см. табл 2), при более точном оценивании характеристик сигнально-зависимого шума потенциально можно повысить качество фильтрации на 0,5 дБ в соответствии с метрикой PSNR и 0,75 дБ согласно метрике PSNR-HVS-M. Неточность оценивания характери-

стик шума сказывается, главным образом, на визуальном качестве отфильтрованных изображений. Если согласно метрике PSNR его значения в случае реальный 1 для всех изображений оказались выше по сравнению со случаем реальный 2, то значение метрики PSNR-HVS-M для изображения Airfield оказалось на 0,13 дБ ниже. Как видим из табл. 2, для этого изображения оценка коэффициента усиления пуассоновского шума оказалась завышенной (в отличие от изображений Baboon и Goldhill, для которых эти оценки были заниженными). В результате обработанное изображение оказалось перефильтрованным, что негативно сказалось на его визуальном качестве. Все эти факты свидетельствуют о том, что для обеспечения качественной фильтрации необходимо учитывать реальные характеристики помех, в частности их сигнально-зависимый характер, а также повышать точность методов оценивания характеристик сигнально-зависимых и смешанных помех.

Заключение

Согласно результатам проведенного исследования наличие априорной информации о типе и характеристиках шума позволяет существенно (на 0,3...1 дБ) повысить качество фильтрации в соответствии с метриками PSNR и PSNR-HVS-M. Качество фильтрации при правильном определении типа шума и оценивании его характеристик при помощи автоматических методов оказывается существенно хуже, чем в ситуации, когда характеристики шума априорно известны. Связано это с недостаточной точностью используемых методов и свидетельствует о необходимости ее повышения, чему и будут посвящены наши дальнейшие исследования в этой области.

Литература

1. Bovik, A. *Handbook on Image and Video Processing [Text]* / A. Bovik. – USA: Academic Press, 2000. – 1354 p.
2. Pratt, W.K. *Digital Image Processing. Fourth Edition [Text]* / W.K. Pratt. – NY: Wiley-Interscience, 2007. – 720 p.
3. Беседин, А.Н. *Обработка случайных сигналов и процессов [Текст]: учеб. пособие / А.Н. Беседин, А.А. Зеленский, Г.П. Кулемин, В.В. Лукин. – Харьков: Нац. аэрокосм. ун-т «Харьк. авиац. ин-т», 2005 – 469 с.*
4. Foi, A. *Pointwise Shape-Adaptive DCT Image Filtering and Signal-Dependent Noise Estimation [Text]: Thesis for the degree of Doctor of Technology / Alessandro Foi. – Tampere (Finland): Tampere University of Technology, 2007. – 194 p.*
5. Donoho, D.L. *De-noising by Soft Thresholding [Text]* / D.L. Donoho // *IEEE Trans. on Information Theory.* – 1995. – Vol. IT-41, No 3. – P. 613 – 627.
6. Sendur, L., *Bivariate Shrinkage Functions for Wavelet Based Denoising Exploiting Interscale Dependency [Text]* / L. Sendur, I. W. Selesnick // *IEEE Trans. on Signal Processing.* – 2002. – Vol. 50, No. 11. – P. 2744 – 2756.
7. *Locally Adaptive DCT Filtering for Signal-Dependent Noise Removal [Text]* / R. Oktem, K. Egiazarian, V. Lukin, N. Ponomarenko, O. Tsymbal // *EURASIP Journal on Advances in Signal Processing.* – 2007. – Article ID 42472. – 10 p.
8. Astola, J. *Fundamentals of nonlinear digital filtering [Text]* / J. Astola, P. Kuosmanen // Boca Raton (USA): CRC Press LLC, 1997. – 276 p.
9. Kervrann, C. *Local adaptivity to variable smoothness for exemplar-based image regularization and representation [Text]* / C. Kervrann, J. Boulanger // *International Journal of Computer Vision.* – 2008. – Vol. 79, No 1. – P. 45 – 69.
10. *An automatic approach to lossy compression of AVIRIS images [Text]* / N. Ponomarenko, V. Lukin, M. Zriakhov, A. Kaarna, J. Astola // *Proceedings of IGARSS, Barcelona Spain, July 2007.* – P. 472 – 475.
11. *Local signal-dependent noise variance estimation from hyperspectral textural fragments [Text]* / M.L. Uss, B. Vozel, V. Lukin, K. Chehdi // *IEEE Journal of Selected Topics in Signal Processing.* – 2011. – Vol. 5, No. 2. – P. 469 – 486. DOI: 10.1109/JSTSP.2010.2104312.
12. *Noise modelling and estimation of hyperspectral data from airborne imaging spectrometers [Text]* / B. Aiazzi, L. Alparone, A. Barducci, S. Baronti, P. Marcoccini, I. Pippi, M. Selva // *Annals of Geophysics.* – 2006. – Vol. 49, No. 1. – P. 1 – 9.
13. *Efficiency analysis of color image filtering [Text]* / D. Fevralev, V. Lukin, N. Ponomarenko, S. Abramov, K. Egiazarian, J. Astola // *EURASIP Journal on Advances in Signal Processing.* – 2011. – Vol. 2011:41. Doi:10.1186/1687-6180-2011-41.
14. *Influence of multiplicative noise variance evaluation accuracy on MM-band SLAR image filtering efficiency [Text]* / S.K. Abramov, V.V. Lukin, N.N. Ponomarenko, K.O. Egiazarian, O.B. Pogrebnyak // *Proceedings of the Fifth International Kharkov Symposium “Physics and Engineering of Millimeter and Sub-Millimeter Waves”, Kharkov, Ukraine, June 2004. – Vol. 1. – P. 250 – 252.*
15. *Lukin, V. HVS-Metric-Based Performance Analysis Of Image Denoising Algorithms [Text]* / V. Lukin, N. Ponomarenko, K. Egiazarian // *Proceedings of EUVIP, Paris, France, 2011. – 6 p.*
16. *On between-coefficient contrast masking of DCT basis functions [Text]* / N. Ponomarenko, F. Silvestri, K. Egiazarian, M. Carli, J. Astola, V. Lukin // *CD-ROM Proceedings of VPQM, USA, 2007. – 4 p.*
17. *Wang, Z. Multi-scale Structural Similarity for Visual Quality Assessment [Text]* / Z. Wang, E.P. Simoncelli, A.C. Bovik // *Proceedings of the 37th IEEE Asilomar Conference on Signals, Systems and Computers. – 2003. – Vol. 2. – P. 1398–1402.*
18. *Combined bispectrum filtering technique for signal shape estimation with DCT based adaptive filter [Text]* / D.V. Fevralev, V.V. Lukin, A.V. Totsky, K. Egiazarian, J. Astola // *Proceedings of the 2006 International TICSP Workshop on Spectral Methods and Multirate Signal Processing, SMMSP2006, Florence, Italy, Sept 2006. – P. 133–140.*
19. *Применение устойчивых оценок параметров выборок данных при обработке изображений [Текст]* / А.А. Роечко, Д.В. Февралева, Н.Н. Пonomarenko, В.В. Лукин // *Восточноевропейский журнал передовых технологий. – 2007. – N 3/2 (27). – С. 21 – 31.*
20. *Edge Detection and Filtering of Images Corrupted by Nonstationary Noise Using Robust Statistics [Text]* / N. Ponomarenko, D. Fevralev, A. Roenko, S. Krivenko, V. Lukin, I. Djurovic // *Proceedings of the X-th International Conference CADSM, Polyana – Svalyava, Ukraine, 2009. – P.129 – 136.*
21. *Local adaptive filtering of images corrupted by nonstationary noise [Text]* / V.V. Lukin, D.V. Fevralev, N.N. Ponomarenko, O.B. Pogrebnyak, K.O. Egiazarian, J.T. Astola // *SPIE Proceedings of the Conference Image Processing: Algorithms and Systems VII, San Jose, USA, Jan. 2009. – Vol. 7245. – 12 p.*
22. *Suoranta, R. Amplitude domain approach to digital filtering. Theory and applications of L-filters [Text]: Thesis for the degree of Doctor of Technology / R. Suoranta. – Espoo: Technical Research Centre of Finland, 1995. – 199 p.*
23. *Melnik, V. Nonlinear locally adaptive techniques for image filtering and restoration in mixed noise environments [Text]: Thesis for the degree of Doctor of Technology; defended 31.03.2000 / Vladimir Melnik. – Tampere (Finland): Tampere university of technology, 2000. – 234 p.*
24. *Evans, A.N. Nonlinear Edge Detection in Color Images [Text]* / A.N. Evans // *Advances in Nonlinear*

Signal and Image Processing. – USA: Hindawi, 2006. – P. 329 – 355.

25. *Processing of images based on blind evaluation of noise type and characteristics [Text]* / V.V. Lukin, S.K. Abramov, N.N. Ponomarenko, M.L. Uss, B. Vozel, K. Chehdi, J.T. Astola // *Proceedings of SPIE Symposium on Remote Sensing, Berlin, Germany, Sept 2009*. – Vol. 7477. – 12 p.

26. Chang, S. *Adaptive Wavelet Thresholding for Image Denoising and Compression [Text]* / S. Chang, B. Yu, M. Vetterli // *IEEE Transactions on Image Processing*. – 2000. – Vol. 9. – P. 1522–1531.

27. Роечко, А.А. *Мультианализ оценка параметра сдвига и особенности ее применения для процессов с САС распределением [Текст]* / А.А. Роечко, В.В. Лу-

кин, С.К. Абрамов // *Системы управління, навігації та зв'язку*. – 2008. – Вип. 4 (8). – С. 178–185.

28. 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 // *Радіоелектронні і комп'ютерні системи*. – 2010. – №4. – С. 149 – 155.

29. *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 // *Proc. of the SPIE on Image and Signal Processing for Remote Sensing XIII, Florence, Italy, 2007, Vol. 6748*. – P. 6748-11.

Поступила в редакцію 29.09.2011

Рецензент: д-р техн. наук, проф., проф. каф. «Проектирования радиоэлектронных систем летательных аппаратов» Э.Н. Хомяков, Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Харьков.

ЕФЕКТИВНІСТЬ ФІЛЬТРАЦІЇ ЗОБРАЖЕНЬ ПРИ ОБМЕЖЕНИХ АПРІОРНИХ ВІДОМОСТЯХ ПРО ВЛАСТИВОСТІ ЗАВАД

Д.В. Февральов, В.В. Абрамова, С.К. Абрамов, В.В. Лукін

Проаналізовано ефективність фільтрації зображень, спотворених сигнально-залежними завадами, при обмежених відомостях щодо типу та статистичних характеристик шуму. Дослідження проведено для фільтрів на основі дискретного косинусного перетворення, що здатні легко враховувати доступну або видобуту безпосередньо із зображень апріорну інформацію. Показано, що використання при фільтрації апріорної або видобутої з даних інформації дозволяє на 0,3...1 дБ підвищити ефективність фільтрації згідно метрикам PSNR та PSNR-HVS-M, проте бажано підвищувати точність оцінювання характеристик сигнально-залежних завад.

Ключові слова: ДКП-фільтрація, сигнально-залежні завади, ефективність фільтрації, візуальна якість.

EFFICIENCY OF IMAGES FILTERING WITH LIMITED APRIORY INFORMATION ON NOISE PROPERTIES

D.V. Fevralev, V.V. Abramova, S.K. Abramov, V.V. Lukin

The filtering efficiency of images corrupted by the signal-dependent noise with limited information about noise type and its statistical properties has been analyzed. The study is carried out for filters based on discrete cosine transform because such filters are able to take into consideration a-priori or retrieved from the images information. It has been shown that the use of a-priori or retrieved from data information in filtering allows increasing filtering efficiency by 0.3...1 dB according to PSNR and PSNR-HVS-M metrics, but it is desirable to improve the evaluation accuracy of signal-dependent noise characteristics.

Key words: DCT-filtering, signal-dependent noise, filtering efficiency, visual quality.

Февральов Дмитрій Владимирович – канд. техн. наук, с.н.с. каф. приёма, передачи и обработки сигналов, Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «Харьковский авиационный институт», Харьков, Украина, e-mail: fevralev_@mail.ru.

Абрамова Виктория Валерьевна – аспирантка каф. приёма, передачи и обработки сигналов, Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «Харьковский авиационный институт», Харьков, Украина, e-mail: Victoriya_Zabr@mail.ru.

Абрамов Сергей Клавдиевич – канд. техн. наук, доцент, доцент каф. приёма, передачи и обработки сигналов, Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «Харьковский авиационный институт», Харьков, Украина, e-mail: ask379@mail.ru.

Лукін Владимир Васильевич – д-р техн. наук, профессор, профессор каф. приёма, передачи и обработки сигналов, Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «Харьковский авиационный институт», Харьков, Украина, e-mail: lukin@ai.kharkov.com.