

УДК 681.3.21

А.С. РУБЕЛЬ, В.В. ЛУКИН

Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Украина

АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ ФИЛЬТРАЦИИ НА ОСНОВЕ ДКП ПРИ ПОДАВЛЕНИИ АДДИТИВНОГО ПРОСТРАНСТВЕННО-КОРРЕЛИРОВАННОГО ШУМА

Исследована эффективность фильтрации на основе дискретного косинусного преобразования для изображений, искаженных аддитивным пространственно-коррелированным шумом. Исследование проведено для базы тестовых изображений с различными свойствами с использованием, как традиционных критериев, так и метрик визуального качества. Проанализировано влияние свойств изображения на величину оптимального порога. Показано, что применение ранее вычисленного спектра шума для установки частотно-зависимых порогов при обработке отдельных спектральных компонент повышает эффективность фильтра в целом.

Ключевые слова: изображение, эффективность, ДКП фильтр, оценка спектра, аддитивные помехи.

Введение

Фильтрация занимает важное место среди задач обработки изображений, поскольку шум является одним из преобладающих факторов ухудшающих визуальное качество исходных (первичных) изображений [1]. Качество таких изображений часто не удовлетворяет требованиям, предъявляемым конечным пользователем, особенно когда речь идет о дальнейшей обработке визуальной информации. Исследования, посвященные данной тематике, ведутся достаточно интенсивно продолжительное время, что свидетельствует об актуальности проблемы подавления различных типов помех на изображениях [2].

На сегодняшний день разработано большое количество фильтров, подавляющих различные типы помех, в частности, аддитивный шум, который является традиционной моделью помех на изображениях [3]. Особый интерес представляют фильтры, способные подавлять аддитивный пространственно-коррелированный шум, который характерен для многих оптических изображений, например, формируемых современными цифровыми фотоаппаратами [4-7]. Важной и современной тенденцией при разработке подобных фильтров является обработка данных в спектральных областях. Для преобразования из пространственной области в спектральную область представления чаще всего используют дискретное косинусное преобразование (ДКП) и ряд вейвлет-преобразований.

Классической стратегией подавления шума в спектральной области является жесткая пороговая

фильтрация, подразумевающая выявление и обнуление спектральных компонент, не превышающих заранее заданный порог. Под порогом подразумевается величина, учитывающая статистические характеристики шума в конкретной пространственной спектральной компоненте.

Ярким представителем семейства нелокальных фильтров, работающих в области ортогональных преобразований, является ДКП-фильтр [8, 9]. При фильтрации изображений обычно используются блоки с характерным размером 8x8. Для повышения эффективности фильтрации и уменьшения степени искажений, вносимых ДКП фильтром, используются блоки с полным перекрытием.

Для эффективной обработки необходимо предварительно знать дисперсию шума, которая может быть вычислена заранее достаточно точно [10]. Более того, при фильтрации необходимо учитывать пространственный спектр шума. Однако на практике спектр пространственно-коррелированного шума либо не учитывают, либо не принимают во внимание тот факт, что точность оценивания этого спектра обычно ограничена.

Целью данного исследования является анализ влияния порогов на эффективность обработки изображений различными ДКП фильтрами с полным перекрытием блоков. Особое внимание следует обратить на тот факт, что на эффективность фильтрации влияют и свойства самих изображений (их информативной компоненты). Актуальным остается вопрос о характере зависимости порогов от интенсивности помех и характеристик изображения.

Методика проведения исследования

В качестве тестовых нами были использованы 25 изображений из базы TID2013 [11]. Изображения в этой базе обладают различными свойствами, отличаясь между собой наличием или практическим отсутствием однородных областей, текстурами, средним уровнем яркости и т.д. (см. рис. 1), то есть степенью сложности.

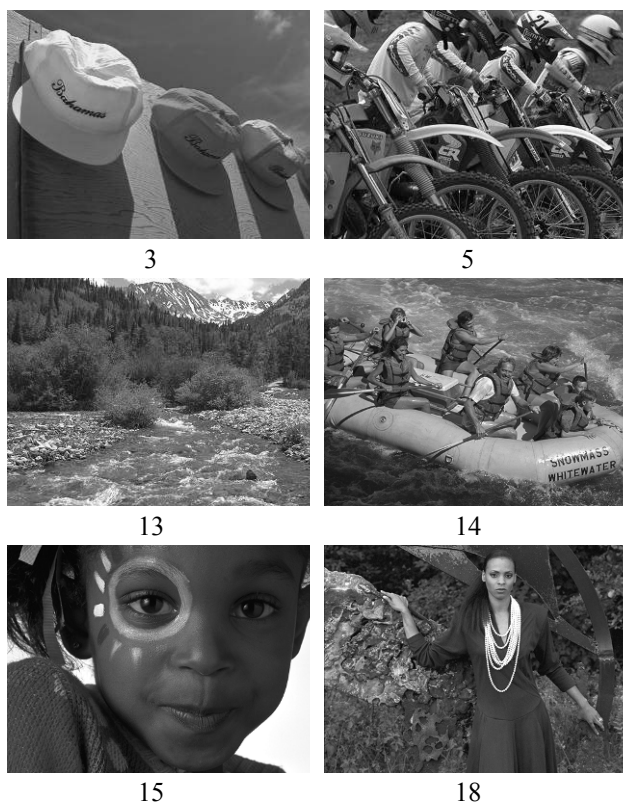


Рис. 1. Пример тестовых изображений из базы TID2013 с указанием их порядковых номеров (индексов) в базе

Исходные 25 тестовых изображений (их размер одинаков и составляет 384x512 пикселей) являются цветными с RGB компонентами размерностью 8 бит, которые сильно коррелированы между собой. Для исследования, результаты которого приведены ниже, цветные изображения были преобразованы в изображения в градациях серого, то есть анализировалась только яркостная компонента. При этом было учтено, что большая часть информации об объектах находится именно в яркостной компоненте. К изображениям не применялось каких-либо дополнительных операций.

В качестве фильтра, работающего в спектральной области, нами был выбран ДКП-фильтр с полным перекрытием блоков размером (8x8 пикселей). Такой размер блоков является достаточным для дос-

таточно эффективного подавления помех и учета информативных признаков участка изображения, обеспечивая приемлемо высокое быстродействие при обработке.

Реализации аддитивного пространственно-коррелированного шума были получены следующим образом. К сгенерированной реализации двумерного некоррелированного случайного процесса с нулевым средним, гауссовым распределением и заданной дисперсией применялся линейно-усредняющий фильтр с окном 3x3 пикселя и последующим умножением значений массива на 3. На практике для аддитивного пространственно-коррелированного шума корреляция наблюдается в пределах такого размера окна. Следует обратить внимание на то, что спектр данного шума не является равномерным в любом ортогональном базисе и это желательно учитывать при фильтрации.

Как уже говорилось ранее, главным принципом работы фильтров в спектральной области является жесткая пороговая обработка. Описать процесс фильтрации в спектральной области для одного блока можно следующим образом:

$$V_{out} = \begin{cases} V_{in} \leftarrow V_{in} < \beta \cdot \sigma(k,l), \\ 0 \leftarrow V_{in} \geq \beta \cdot \sigma(k,l), \end{cases} \quad (1)$$

где V_{out} – отфильтрованный блок в спектральной области, V_{in} – блок спектральных компонент зашумленного изображения, $\sigma(k,l)$ – среднеквадратическое отклонение (СКО) шума для компоненты ДКП с индексами $k=0, \dots, 7, l=0, \dots, 7$; β – пороговый параметр, влияющий на качество фильтрации.

Возможны два варианта обработки. Первый – пространственный спектр шума не учитывается и тогда в (1) используется $\sigma(k,l) = \sigma$, где σ – СКО помех. При этом предполагается, что дисперсия (или СКО) помех заранее известна или точно определена. Назовем этот метод ДКП-БУС.

Второй вариант – $\sigma(k,l) = \sigma \sqrt{W_{DCTn}(k,l)}$, где $W_{DCTn}(k,l)$ – нормированный пространственный ДКП спектр помех, который полагается заранее известным. Назовем метод фильтрации с такой установкой частотно-зависимого порога ДКП-СУС (с учетом спектра).

Традиционными оценками эффективности фильтрации служат среднеквадратическая ошибка (MSE) или пиковое соотношение сигнал-шум (PSNR). Помимо стандартных метрик, к настоящему времени были разработаны метрики визуального

качества, в том числе и учитывающие особенности человеческого зрения [12]. Среди наилучших метрик качества фильтрации можно выделить метрики MSSIM, FSIM, PSNR-HVS, PSNR-HVS-M [13] и т.д. В дальнейшем исследовании будут использоваться метрики PSNR и PSNR-HVS-M.

Свойства метода обработки ДКП-БУС активно изучались [14] для случая пространственно-некоррелированных помех. Было показано, что оптимальные значения β для традиционных критериев эффективности фильтрации (MSE или PSNR) лежат в пределах от 2,3 до 2,8 в зависимости от сложности изображения и уровня помех. Для метрик визуального качества (MSSIM, PSNR-HVS-M) диапазон оптимальных значений несколько иной – от 2,2 до 2,7, но в обоих случаях зависимости значений метрик от β в окрестностях оптимумов – гладкие и медленно меняющиеся функции. Это дало возможность рекомендовать использовать $\beta=2,6$, если ориентироваться на стандартные критерии эффективности, и $\beta=2,5$, если основная задача – обеспечить высокое визуальное качество, без адаптации к свойствам помех и изображений и одновременной заметной потери качества обработки и с упрощением процедуры обработки.

Кроме того, эффективность фильтрации как для метода ДКП-БУС, так и ДКП-СУС анализировалась для случая пространственно-коррелированных помех [15]. При этом не были проведены исследования, подтверждающие правомерность использования значения $\beta=2,6$ как квазиоптимального для обоих вариантов фильтров и для любых изображений и уровней помех. Поэтому главным вопросом, который будет рассматриваться в данной работе, являются зависимости величин порогов, а именно порогового параметра β , от свойств тестовых изображений и оценка влияния точности установки порогов для спектральных компонент с учетом заранее оцененного спектра шума.

Экспериментальные результаты

Рассмотрим сначала, в какой степени пороговый параметр β влияет на эффективность обработки изображений для методов ДКП-СУС и ДКП-БУС при коррелированных помехах.

На рис. 2 показаны зависимости эффективности фильтрации от номера тестового изображения при дисперсии помех, равной 65 (PSNR=30 дБ), и фиксированном значении $\beta=2,6$ (обозначение

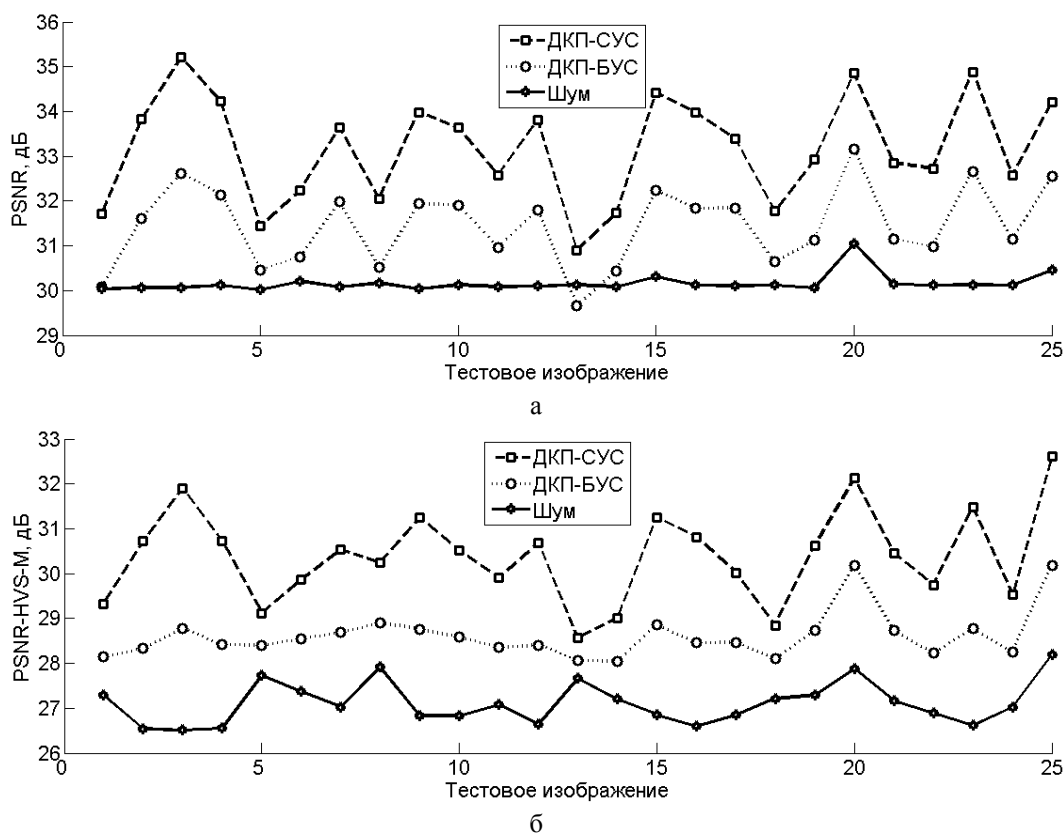


Рис. 2. Зависимости величин метрик PSNR (а) и PSNR-HVS-M (б) от номера изображения при $\beta = 2,6$ и дисперсии шума $\sigma^2 = 65$

«Шум» использовано для зашумленных изображений). Отличие этих графиков от приведенных ранее в работе [14] состоит в том, что они получены для обработки компоненты интенсивности цветных изображений, а не конкретных цветовых компонент.

Как видно из анализа графиков, учет спектра шума при обработке дает положительный эффект для обеих метрик качества и всех тестовых изображений. Характеры зависимостей PSNR и PSNR-HVS-M, в целом, схожи.

Необходимо отметить, что для некоторых изображений (№ 5, 7, 13, 14, 18, которые имеют достаточно сложную структуру) повышение эффективности фильтрации за счет учета спектра шума оказывается небольшим. Для группы других изображений (№ 3, 8, 12, 15, 23, все эти изображения являются относительно простыми) использование спектра шума при обработке, наоборот, дает существенный положительный результат.

Такие результаты могут косвенно свидетельствовать о том, что используемое значение порогового параметра β может быть неоптимальным, и оно может при коррелированных помехах зависеть от свойств изображений.

Для дальнейшего анализа зависимостей величин порогов с учетом указанных выше особенностей было выбрано пять тестовых изображений с различными свойствами: № 3, 5, 8, 13, 20. Большой интерес для исследования представляют собой оптимальные значения порогового параметра β для разных изображений при учете спектра шума в процессе обработки (метод ДКП-СУС).

Еще один важный вопрос заключается в соответствии полученных результатов для разных метрик качества фильтрации. На рис. 3 показаны графики зависимостей метрик PSNR и PSNR-HVS-M для методов ДКП-БУС и ДКП-СУС от параметра β при дисперсии шума, равной 65.

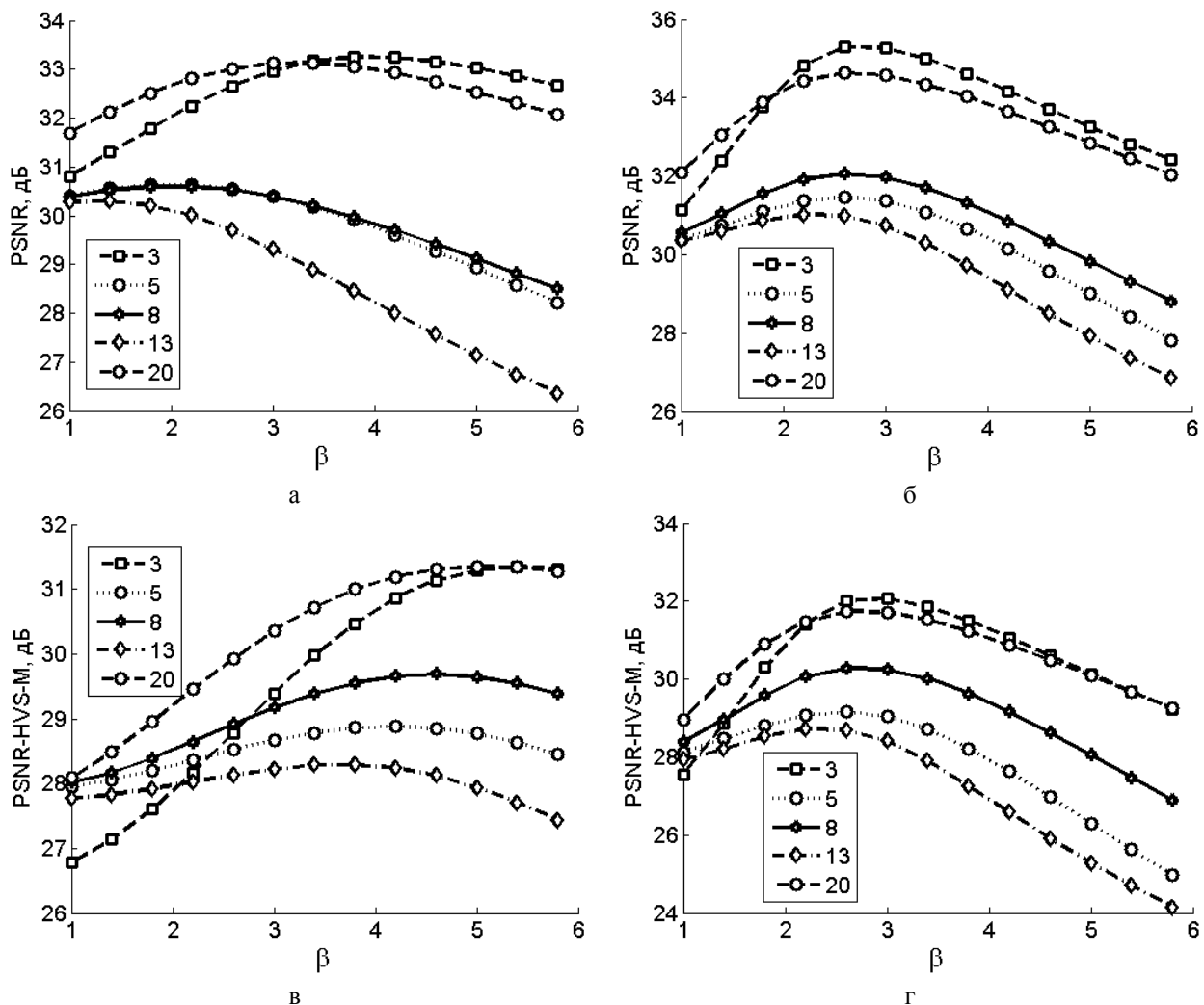


Рис. 3. Зависимости эффективности фильтрации для метрик PSNR (а, б) и PSNR-HVS-M (в, г) от параметра β , для методов ДКП-БУС (а, в) и ДКП-СУС (б, г) при дисперсии шума $\sigma^2 = 65$

Как видно из результатов, оптимальные значения параметра β заметно не совпадают для рассмотренных 5 тестовых изображений при обработке изображений ДКП-БУС. Для более простых изображений (№ 3 и № 20) значения метрики PSNR являются наибольшими и имеют место при β порядка 2,8-3,6. Вместе с тем, для более текстурных изображений (№5, 8, 13) максимумы PSNR наблюдаются при меньших значениях β , лежащих в пределах от 1,4 до 2,6. Значения метрики PSNR-HVS-M оказываются наибольшими для изображений №5, 8, 13 при β порядка 3-5, а для изображений №3 и 20 оптимальные значения β лежат в пределах от 4 до 6.

В целом, оптимальные значения β для метода ДКП-БУС варьируются в широких пределах. Рекомендованное значение 2,7 может сильно отличаться от оптимального для конкретного изображения, что может отрицательно повлиять на результаты фильтрации (снижение ее эффективности может достигать 1 дБ).

Оптимумы параметра β для зависимостей мет-

рик PSNR и PSNR-HVS-M при использовании метода ДКП-СУС находятся в гораздо более узких пределах (см. рис. 3 в, г). Данное наблюдение касается всех пяти тестовых изображений. Для метрики PSNR оптимальные значения β отличаются от ранее рекомендованных 2,6 и изменяются в небольших пределах: от 2,3 (изображения №5, 8, 13) до 3 (№ 3 и № 20). Для метрики PSNR-HVS-M ситуация аналогична.

В таблице 1 показаны оптимальные значения β и достигаемые максимальные значения метрик для двух методов. Использование учета спектра шума потенциально позволяет осуществлять фильтрацию более эффективно как в соответствии с метрикой PSNR, так и метрикой PSNR-HVS-M по сравнению с методом ДКП-БУС, хотя для второй метрики различия менее существенны.

Как уже было сказано ранее, оптимальные значения β и метрики PSNR для метода ДКП-БУС варьируются в широких пределах от 1,2 до 4,4, что создает определенные сложности при выборе реко-

Таблица 1

Оптимальные значения параметра β , метрик PSNR и PSNR-HVS-M

№ изображения	ДКП-БУС				ДКП-СУС			
	Опт. β	PSNR, дБ	Опт. β	PSNR-HVS-M, дБ	Опт. β	PSNR, дБ	Опт. β	PSNR-HVS-M, дБ
1	1,6	30,37	4,2	28,69	2,5	31,73	2,6	29,33
2	3,5	31,8	4,9	29,95	2,5	33,82	2,6	30,72
3	3,9	33,24	5,4	31,29	2,8	35,24	2,8	31,99
4	4,4	32,72	5,3	30,22	2,6	34,22	2,7	30,73
5	2	30,55	4,2	28,82	2,6	31,43	2,6	29,12
6	2,1	30,84	4,3	29,25	2,5	32,25	2,5	29,86
7	3,5	32,21	5,1	30,15	2,7	33,67	2,7	30,56
8	2	30,62	4,5	29,65	2,6	32,04	2,7	30,25
9	3,6	32,23	5,2	30,66	2,7	34	2,8	31,3
10	3,5	32,12	4,8	30	2,6	33,64	2,6	30,52
11	2,5	30,97	4,5	29,28	2,6	32,58	2,6	29,91
12	3,6	32,04	4,9	30	2,6	33,81	2,6	30,68
13	1,2	30,24	3,6	28,2	2,3	30,95	2,3	28,62
14	1,9	30,56	4,2	28,52	2,5	31,75	2,5	29,01
15	3,6	32,47	5,1	30,64	2,6	34,42	2,7	31,28
16	3,3	31,98	4,8	30,06	2,6	33,97	2,7	30,83
17	3,5	32,04	4,8	29,75	2,6	33,38	2,6	30,02
18	2,1	30,7	4,1	28,54	2,4	31,81	2,4	28,91
19	2,9	31,14	4,8	29,96	2,6	32,92	2,7	30,64
20	3,2	33,28	5,1	31,68	2,7	34,86	2,8	32,16
21	2,5	31,17	4,7	29,88	2,6	32,85	2,7	30,47
22	2,4	30,91	4,4	29,12	2,5	32,74	2,5	29,76
23	4,3	33,51	5,7	31,19	2,8	34,92	2,9	31,56
24	2,7	31,15	4,4	29,07	2,5	32,58	2,5	29,54
25	3,3	32,71	5,6	32,15	2,9	34,26	3	32,73

мендованного значения β . Для метрики PSNR-HVS-M оптимальные значения β возрастают и лежат в пределах от 3,6 до 5,7. Возможно, существуют пути определения оптимального значения адаптивно на основе учета контента изображений и уровня помех, но в настоящий момент эти пути, насколько нам известно, не изучались.

При работе ДКП-СУС оптимум β находится в узких диапазонах значений – 2,3-3, и более того, в большинстве случаев оптимальные значения практически совпадают для обеих метрик. В связи с приведенными данными и меньшей шириной области оптимальных значений β , могут быть даны следующие рекомендации.

При использовании ДКП-БУС в качестве значения параметра β можно использовать 3 (если желательно обеспечить максимальное PSNR) и 3,4 (для PSNR-HVS-M). Для метода ДКП-СУС рекомендованным значением β является величина порядка 2,7. Также следует отметить небольшое возрастание оптимальных значений β при возрастании интенсивности помех, что было экспериментально подтверждено в ходе анализа данных и зависимостей, аналогичных приведенным выше, для дисперсии помех 130 (такие зашумленные изображения также имеются в базе TID2013).

Влияние точности оценивания спектра шума

Таким образом, использование фильтрации с учетом спектра шума более эффективно и установить параметры алгоритма для обеспечения эффективности, близкой к предельной, проще. Однако

есть один практический аспект, который может снизить эффективность обработки. Выше предполагалось, что нормированный спектр пространственно-коррелированных помех точно известен. Но это условие на практике выполняется редко, поскольку для получения точных оценок спектра шума (и далее нормированного спектра) необходимо иметь на изображениях однородные участки большой площади (десятки тысяч пикселей), что возможно далеко не всегда. Поэтому рассмотрим, каким образом ошибки оценивания нормированного спектра влияют на эффективность работы ДКП-СУС, предполагая, что вместо $W_{DCTn}(k,l)$ при пороговой обработке в блоках используется оценка $\hat{W}_{DCTn}(k,l)$.

Ошибка оценивания спектра шума моделировалась следующим образом. Спектр шума поэлементно домножался на случайную величину $S(k,l)$ со средним 1 и дисперсиями, равными 0,005, 0,01, 0,02, 0,04:

$$\hat{W}_{DCTn}(k,l) = W_{DCTn}(k,l) \cdot S(k,l). \quad (2)$$

В данном эксперименте для каждого из фиксированных значений дисперсии σ_{ϕ}^2 генерировались 100 реализаций случайной величины $S(k,l)$. Гистограммы распределения значений эффективности фильтрации (метрика PSNR) с ошибкой оценивания спектра шума для тестовых изображений №3 и 13 показаны на рис. 4 и 5. Математические ожидания M_{PSNR} и дисперсии σ_{PSNR}^2 распределений приведены в таблицах 2 (метрика PSNR) и 3 (метрика PSNR-HVS-M):

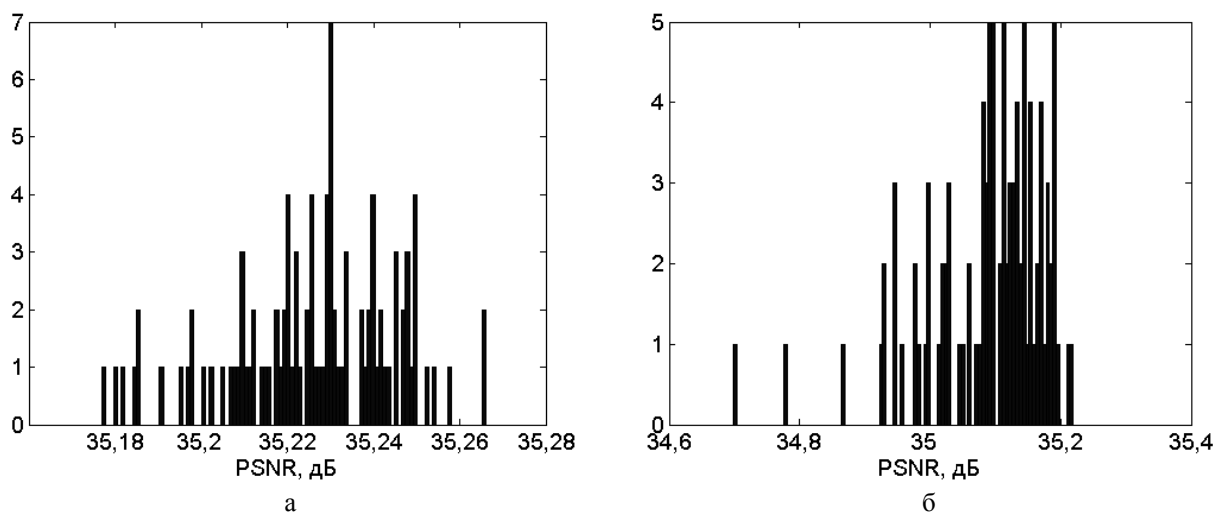


Рис. 4. Гистограммы распределения эффективности фильтрации методом ДКП-СУС с ошибкой оценки спектра шума для изображения №3 при дисперсии случайной величины σ_{ϕ}^2 0,005 (а) и 0,04 (б)

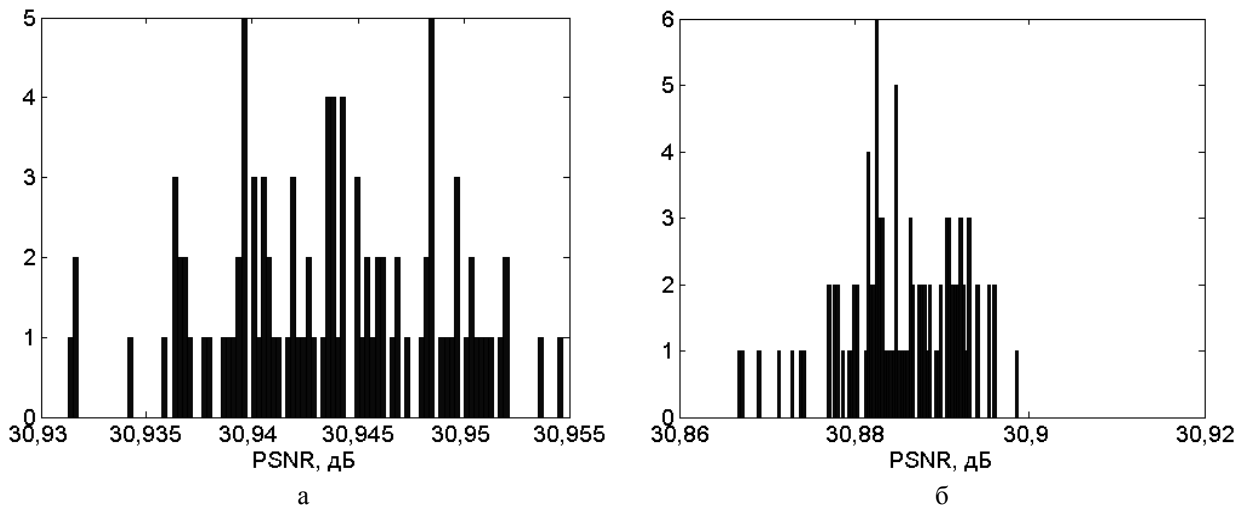


Рис. 5. Гистограммы распределения эффективности фильтрации методом ДКП-СУС с ошибкой оценки спектра шума для изображения №13 при дисперсии случайной величины σ^2_{ϕ} 0,005 (а) и 0,04 (б)

Таблица 2

МО и дисперсии значений PSNR

σ^2_{ϕ}	Изображение №3		
	PSNR	M_{PSNR}	σ^2_{PSNR}
0,005	35,24	35,23	$3,7 \cdot 10^{-4}$
0,01		35,21	$7,8 \cdot 10^{-4}$
0,02		35,16	$2,5 \cdot 10^{-3}$
0,04		35,09	$8,2 \cdot 10^{-3}$
σ^2_{ϕ}	Изображение №13		
	PSNR	M_{PSNR}	σ^2_{PSNR}
0,005	30,95	30,94	$2,6 \cdot 10^{-5}$
0,01		30,94	$5,9 \cdot 10^{-5}$
0,02		30,93	$1,8 \cdot 10^{-4}$
0,04		30,91	$2,6 \cdot 10^{-4}$

Исходя из приведенных выше результатов, можно сделать следующие выводы. Случайная ошибка оценивания спектра, как и можно было ожидать, снижает эффективность фильтрации. Как видно, на рис. 4,а и 5,а для изображений №3 и 13 случайная ошибка оценивания спектра шума при дисперсии незначительно снижает эффективность фильтрации для рассмотренных дисперсий σ^2_{ϕ} .

При дисперсии случайной величины $\sigma^2_{\phi} = 0,04$ для более простого изображения №3 снижение эффективности фильтрации составляет порядка 0,2 дБ, для изображения №13 порядка нескольких сотых дБ, если анализировать величины математического ожидания значений метрик M_{PSNR} и $M_{PSNR-HVS-M}$. Величины дисперсий значений метрик σ^2_{PSNR} и $\sigma^2_{PSNR-HVS-M}$ показывают, что отклонения от среднего небольшие и в некоторых случаях случайной ошибкой можно пренебречь. Аналогичная ситуация наблюдается и для метрики PSNR-HVS-M (см. таблицу 3) – качество фильтрации незначительно ухудшается.

Таблица 3

МО и дисперсии значений PSNR-HVS-M

σ^2_{ϕ}	Изображение №3		
	PSNR-HVS-M	$M_{PSNR-HVS-M}$	$\sigma^2_{PSNR-HVS-M}$
0,005	35,24	31,96	$9,1 \cdot 10^{-4}$
0,01		31,94	$2,1 \cdot 10^{-3}$
0,02		31,88	$5,8 \cdot 10^{-3}$
0,04		31,79	0,023
σ^2_{ϕ}	Изображение №13		
	PSNR-HVS-M	$M_{PSNR-HVS-M}$	$\sigma^2_{PSNR-HVS-M}$
0,005	30,95	28,61	$4,7 \cdot 10^{-5}$
0,01		28,61	$1,4 \cdot 10^{-4}$
0,02		28,59	$4,9 \cdot 10^{-4}$
0,04		28,57	0,001

Систематическая ошибка, обусловленная особенностями конкретного изображения, затрудняет оценивание спектра шума, что также негативно влияет на эффективность фильтрации. В работе [15] было показано, что систематическая ошибка проявляется в большей степени для высокочастотных компонент, оценки спектра для которых обычно оказываются завышенными. Такая ошибка моделировалась следующим образом:

$$\hat{W}_{DCTn}(k,l) = W_{DCTn}(k,l) \cdot \exp(\alpha(k+l)), \quad (3)$$

где α – параметр регулировки степени искажения спектральных компонент.

При проведении эксперимента были рассмотрены значения α от 0 до 0,1 с шагом 0,01. При $\alpha = 0$ никакого искажения компонент не происходит, при

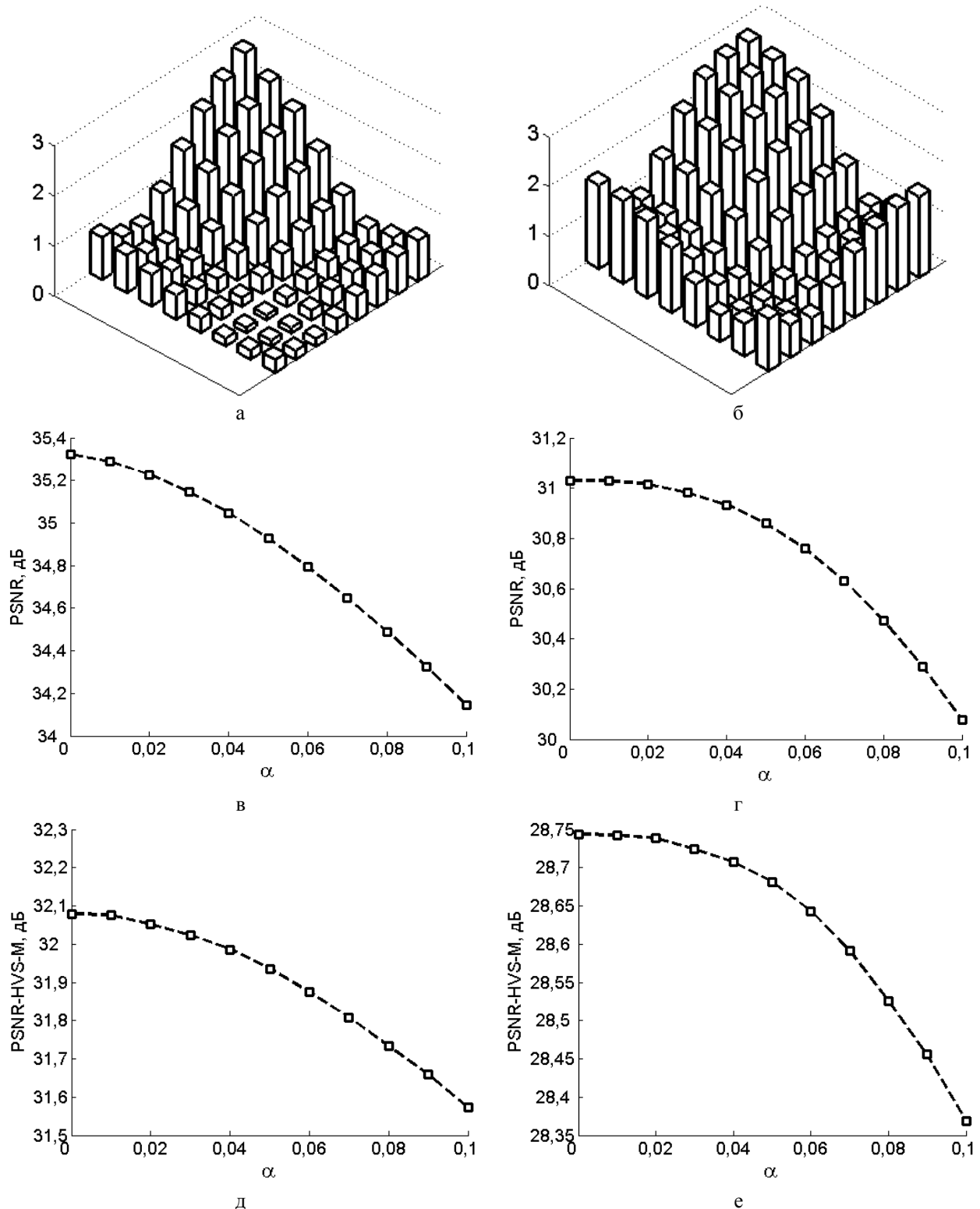


Рис. 6. Оцененный спектр шума (без ошибок) (а) и спектр, искаженный систематической ошибкой (б), зависимости метрик PSNR (в, г) и PSNR-HVS-M (д, е) от параметра α для изображений №3 (в, д) и 13 (г, е)

возрастании α высокочастотные компоненты искажаются больше, чем низкочастотные, и эти оценки являются завышенными. На рис. 6,а и 6,б изображены «чистый» спектр шума (предположительно точно оцененный) и спектр, искаженный систематической

ошибкой ($\alpha = 0,1$). На рис. 6, в-е показаны графики зависимостей метрик от параметра α .

При $\alpha = 0,1$ для изображения №3 ухудшение является ощутимым порядка 1дБ (PSNR) и 0,5 дБ (PSNR-HVS-M), а для изображения №13 - 1 дБ и 0,3

дБ, соответственно. «Завалы» кривых начинаются с $\alpha = 0,04$, причем кривые для изображения №13 более «крутые». В целом, систематическая ошибка вносит серьезные искажения спектра шума и существенно понижает эффективность фильтрации. Адаптация к случайной и, особенно, систематической ошибке при оценивании спектра шума (если такая адаптация возможна) может быть важной задачей при стремлении повысить степень подавления аддитивного пространственно-коррелированного шума. С другой стороны, приведенные результаты позволяют сформулировать требования к точности методов автоматического оценивания спектра помех.

Заключение

Проанализирована эффективность методов фильтрации изображений на основе ДКП без учета и с учетом спектра шума при подавлении аддитивного пространственно-коррелированного шума. Использование спектра шума для установки порогов фильтрации при обработке спектральных компонент повышает эффективность фильтрации. Также следует обратить внимание на то, что учет спектра шума позволяет выбирать квазиоптимальное значение параметра $\beta = 2,6$, ранее рекомендованного для случая аддитивного гауссова некоррелированного шума. При оценивании спектра шума могут возникать случайные и систематические ошибки, обусловленные влиянием конкретного изображения. Показано, что ошибки оценивания спектра могут в различной степени негативно влиять на эффективность фильтрации. Поскольку случай коррелированных помех достаточно мало изучен, но важен для практики, именно этой теме будут посвящены дальнейшие исследования.

Литература

1. Pratt, W.K. *Digital Image Processing. Fourth Edition [Text]* / W.K. Pratt. – NY.: Wiley-Interscience. – USA. – 2007. – 1429 p.
2. Lim, S.H. *Characterization of Noise in Digital Photographs for Image Processing [Text]* / S.H. Lim // *Proceedings of Digital Photography II, San Jose, CA, USA. – 16 January 2006. – SPIE vol. 6069. – 9 p.*
3. Plataniotis, K.N. *Color Image Processing and Applications [Text]* / K.N. Plataniotis, A.N. Venetsanopoulos. – NY.: Springer-Verlag. – 2000. – 355 p.
4. *Фильтрация цветных изображений: когда она необходима? [Текст]* / В.В. Лукин, Д.В. Февралев, Н.Н. Пономаренко, С.К. Абрамов //

Радиоэлектронні та комп'ютерні системи. – 2010. – №4(44). – С. 65-74.

5. Chatterjee, P. *Is Denoising Dead? [Text]* / P. Chatterjee, P. Milanfar // *IEEE Transactions on Image Processing. – April 2010. – vol. 19, no. 4. – P. 895-911.*
6. Elad, M. *Sparse and Redundant Representations [Text]* / M. Elad // *Springer: From Theory to Application in Signal and Image Processing. – August 2007. – vol. 16, is. 8. – P. 2080-2095.*
7. Deerga, R.K. *An hybrid filter restoration of color images in the mixed noise environment [Text]* / R.K. Deerga // *Acoustics, Speech, and Signal Processing (ICASSP), IEEE International Conference. – 2002. – vol. 4. – P. 3680-3683.*
8. *Adaptive DCT-based filtering of images corrupted by spatially correlated noise [Text]* / V. Lukin, N. Ponomarenko, K. Egiazarian, J. Astola // *Proc. SPIE Conference Image Processing: Algorithms and Systems VI. – 2008. – vol. 6812. – 12 p.*
9. Foi, A. *Pointwise Shape-Adaptive DCT Image Filtering and Signal-Dependent Noise Estimation: Thesis for the degree of Doctor of Technology [Text]* / A. Foi. // *Tampere University of Technology, Tampere, (Finland). – 2007. – 194 p.*
10. *Blind evaluation of additive noise variance in textured images by nonlinear processing of block DCT coefficients [Text]* / N.N. Ponomarenko, V.V. Lukin, S.K. Abramov, K.O. Egiazarian, J.T. Astola // *Proceedings of International Conference Image Processing: Algorithms and Systems II, Santa Clara, CA, USA, SPIE. – 2003. – vol. 5014. – P. 178-189.*
11. *Color Image Database TID2013: Peculiarities and Preliminary Results [Text]* / N. Ponomarenko, O. Ieremeiev, V. Lukin, K. Egiazarian, L. Jin, J. Astola, B. Vozel, K. Chehdi, M. Carli, F. Battisti, C.-C. Jay Kuo // *4th European Workshop on Visual Information Processing EUVIP2013, Paris, France. – June 2013. – 6 p.*
12. *New full-reference quality metrics based on HVS [Text]* / K. Egiazarian, J. Astola, N. Ponomarenko, V. Lukin, F. Battisti, M. Carli // *Proceedings of the Second International Workshop on Video Processing and Quality Metrics, Scottsdale, USA. – 2006. – 4 p.*
13. 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.*
14. *Efficiency analysis of DCT-based filters for color image database [Text]* / D. Fevrlev, V. Lukin, N. Ponomarenko, S. Abramov, K. Egiazarian, J. Astola // *Proceedings of SPIE Conference Image Processing: Algorithms and Systems VII, San Francisco, USA. – 2011. – vol. 7870. – 12 p.*
15. *A method for blind estimation of spatially correlated noise characteristics [Text]* / N.N. Ponomarenko, V.V. Lukin, K.O. Egiazarian, J.T. Astola // *Proceedings of SPIE Conference Image Processing: Algorithms and Systems VII, San Jose, USA. – 2010. – 12 p.*

Поступила в редакцію 04.09.2013, рассмотрена на редколлегии 11.09.2013

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

АНАЛІЗ ЕФЕКТИВНОСТІ ФІЛЬТРАЦІЇ НА ОСНОВІ ДКП ПРИ ПРИДУШЕННІ АДИТИВНОГО ПРОСТОРОВО-КОРЕЛЬОВАНОГО ШУМУ

О.С. Рубель, В.В. Лукін

Досліджено ефективність фільтрації на основі дискретного косинусного перетворення для зображень, спотворених адитивним просторово-корельованим шумом. Дослідження проведено для бази тестових зображень з різноманітними властивостями з використанням, як традиційних критеріїв, так і метрик візуальної якості. Проаналізовано вплив властивостей зображень на величину оптимального порогу. Показано, що застосування раніше обчисленого спектру шуму для встановлення частотно-залежних порогів при обробці окремих спектральних компонент підвищує ефективність фільтра в цілому.

Ключові слова: зображення, ефективність, ДКП фільтр, оцінка спектра, адитивні завади.

EFFICIENCY ANALYSIS OF DCT-BASED FILTER BY REMOVAL OF ADITIVE SPATIALLY CORRELATED NOISE

A.S. Rubel, V.V. Lukin

Efficiency of filtering based on discrete cosine transform for distorted images by additive spatially correlated noise is investigated. Study is carried out for test image database, including images with different features, by using traditional criterions and visual quality metrics. Effect of test image features on optimal threshold value is analyzed. It is shown that using of early estimated noise spectrum for setting of frequency-dependent threshold by processing separate spectral components improves filter effectiveness overall.

Key words: image, effectiveness, DCT-based filter, spectrum estimation, additive noise.

Рубель Алексей Сергеевич – аспирант каф. «Приема, передачи и обработки сигналов», Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «Харьковский авиационный институт», Харьков, Украина, e-mail: edu.rubel@gmail.com.

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