

ЗОНАЛЬНАЯ СЕЛЕКЦИЯ КОЭФФИЦИЕНТОВ ТРАНСФОРМАНТЫ УОЛША

к.т.н. Н.А. Королёва, к.т.н. К.А. Бохан,
А.Н. Сиренький, А.А. Красноруцкий

В статье предлагается способ зональной селекции коэффициентов трансформанты Уолша.

Введение. Объемы видеоинформации, которые передаются по каналам связи, постоянно возрастают. Это вынуждает решать новые задачи, связанные с хранением и передачей изображений, так как последние требуют для своего представления колоссальных объемов данных. В результате разработаны и нашли широкое применение форматы сжатия MPEG, JPEG и другие [1 – 5], позволяющие увеличить пропускную способность каналов. Тем не менее, задачи по сжатию видеоданных не решены полностью.

Анализ литературы. Анализ существующих средств сжатия видеоданных, использующих кодирование с преобразованием [1 – 4], показал, что задача селекции коэффициентов трансформанты решается путем использования двух методов – зонального и порогового. Пороговый метод отличает улучшенное качество восстанавливаемых изображений, однако для него характерны: некоторое увеличение объема цифрового описания сжатых массивов видеоданных; повышенная чувствительность к ошибкам при адресации значимых коэффициентов [2, 4].

Зональный метод характеризуется большей устойчивостью сжатых массивов видеоданных к воздействию помех при передаче по каналам связи, относительной простотой реализации процедур селекции и восстановления коэффициентов трансформант. Как следствие, данный метод применяют в системах обработки и передачи изображений в реальном времени.

Одним из важных этапов алгоритма сжатия является выполнение преобразования изображения из пространственно-временной области в спектрально-частотную. В работе [6] предложен алгоритм быстрого двумерного преобразования Уолша, применение которого значительно уменьшает время выполнения ортогонального преобразования, что позволяет применять его в системах обработки и передачи изображений в реальном времени.

Цель статьи. В данной статье рассматривается зональная селекция коэффициентов трансформанты, полученных путем применения быстро-

го двумерного преобразования Уолша (БДПУ).

Зональная селекция коэффициентов трансформанты Уолша. Суть данного метода отбора коэффициентов преобразования заключается в сохранении тех коэффициентов, которые занимают заранее очерченные, фиксированные области трансформанты (как правило соответствующие низкочастотным составляющим). Коэффициенты вне указанных зон отбрасываются, а при восстановлении изображения приравниваются нулю или среднему значению отброшенных коэффициентов. Для определения конфигурации зон селекции трансформанты Уолша введем следующее правило.

Правило. Зоны селекции коэффициентов преобразования Уолша формируются из рядом стоящих коэффициентов трансформанты, значения дисперсии которых одинаковые или незначительно отличаются друг от друга. При этом, функция распределения дисперсии коэффициентов в трансформанте определяется по выражению

$$\sigma^2(ij) = \frac{1}{pq-1} \sum_{s=1}^p \sum_{b=1}^q (w_{sb}(ij) - \bar{w}_{sb}(ij))^2, \quad (1)$$

где i, j – координаты элементов трансформанты в блоке размерностью $N \times N$ ($i, j = \overline{0, N-1}$, где N – размерность блока, выбранного для обработки, $N = 2^n$, $n = 1, 2, 3, \dots$); $\bar{w}_{sb}(ij)$ – общее среднее значение сформированной матрицы $w_{sb}(ij)$ по строкам и столбцам, которое определяется из выражения

$$\bar{w}_{sb}(ij) = \frac{1}{pq} \sum_{s=1}^p \sum_{b=1}^q w_{sb}(ij),$$

где p, q – количество блоков, на которые разбивается изображение по горизонтали и вертикали соответственно. Они определяются из выражений:

$$p = \left\lceil \frac{m}{N} \right\rceil; \quad q = \left\lceil \frac{n}{N} \right\rceil,$$

где m, n – размерность исходного изображения по вертикали и горизонтали соответственно; $\lceil \cdot \rceil$ – процедура округления в большую сторону.

При вычислении $\sigma^2(ij)$ получим матрицу, размерность которой соответствует размерности блока, выбранного для обработки изображения.

В соответствии с выражением (1) вычислим значения дисперсии коэффициентов преобразования для сильнонасыщенных, средненасыщенных и слабонасыщенных изображений. Результаты расчетов значений дисперсии коэффициентов двумерного преобразования Уолша для различных классов изображений представлены в виде матриц размерностью 8×8 на рис. 1.

Из приведенных матриц на рис. 1 видно, что функция распределения дисперсии для БДПУ имеет максимум в левом верхнем углу трансформанты и монотонно убывает слева направо и сверху вниз вдоль главной диагонали по мере увеличения частоты.

67,32	14,48	7,17	7,04	3,03	2,80	3,39	3,13
15,89	9,55	6,26	4,61	2,89	3,00	2,55	1,80
7,97	6,11	5,20	3,51	2,77	2,52	2,28	1,37
7,64	4,66	3,62	3,06	2,38	1,97	1,70	1,18
3,35	2,76	2,60	2,27	1,95	1,66	1,29	0,83
3,37	3,12	2,61	2,04	1,73	1,46	1,20	0,78
3,49	2,75	2,29	1,71	1,29	1,19	1,06	0,68
3,43	1,89	1,44	1,13	0,81	0,81	0,67	0,49

а)

42,46	8,62	5,44	4,34	2,64	2,58	2,43	1,89
9,30	6,18	4,36	3,24	2,18	2,07	1,89	1,36
6,16	4,85	3,53	2,67	1,83	1,85	1,53	1,10
4,65	3,38	2,80	1,97	1,51	1,40	1,24	0,82
3,07	2,77	2,28	1,66	1,31	1,18	1,07	0,70
3,29	2,65	2,06	1,56	1,22	1,07	0,99	0,70
2,97	2,40	1,83	1,41	0,96	0,95	0,83	0,60
2,19	1,57	1,32	1,09	0,77	0,70	0,65	0,46

б)

24,89	4,50	1,60	2,16	0,49	0,62	0,70	0,99
5,24	2,12	1,13	0,92	0,53	0,49	0,49	0,37
2,41	1,44	0,95	0,60	0,30	0,34	0,38	0,27
2,58	0,95	0,60	0,47	0,23	0,29	0,29	0,22
1,01	0,59	0,46	0,35	0,25	0,19	0,17	0,14
1,01	0,68	0,41	0,35	0,29	0,24	0,21	0,14
1,16	0,53	0,39	0,31	0,13	0,17	0,18	0,12
1,20	0,40	0,32	0,27	0,11	0,15	0,15	0,10

в)

Рис. 1. Усредненные значения дисперсий коэффициентов трансформанты Уолша для сильнонасыщенных, средненасыщенных и слабонасыщенных изображений соответственно

В результате применения введенного правила к матрицам, изображенным на рис. 1, получим 16 зон селекции трансформанты Уолша, конфигурация которых представлена на рис. 2. Данная конфигурация не зависит от класса изображений. Для полученных зон введем следующую нумерацию: номер 1 присвоим зоне, содержащей коэффициент с наибольшим значением дисперсии. Он находится в левом верхнем углу трансформанты. Далее нумерация зон продолжается по мере уменьшения значений дисперсии вдоль диагонали трансформанты. Из

1		3			6		
2		4	5	7	8	9	10
3	4	5	7	8	9	10	11
	5	7	8	9	10	11	12
6	7	8	9	10	11	12	13
	8	9	10	11	12	13	14
	9	10	11	12	13	14	15
	10	11	12	13	14	15	16

Рис. 2. Конфигурация зон селекции трансформанты Уолша размерностью 8×8

рис. 2 видно, что сформированные зоны расположены симметрично относительно главной диагонали. При этом: 1 и 16 зоны объединяют по 1 коэффициенту трансформанты; 2, 5 и 14 зоны – по 3 коэффициента; 3, 7 и 13 зоны – по 4 коэффициента; 4 и 15 зоны – по 2 коэффициента; 8 и 12 зоны – по 5 коэффициентов; 9 и 11 зоны – по 6 коэффициентов; 10 зона – по 7 коэффициентов и 6 зона – по 8 коэффициентов. Необходимо также отметить, что в каждой зоне находятся коэффициенты, которые в равной степени вносят погрешность по вертикали и горизонтали в восстановленное изображение при удалении конкретной зоны. Для исследования зависимости среднеквадратического показателя погрешности отклонения (СППО) от количества исключаемых зон был проведен эксперимент, в ходе которого исключались зоны как по отдельности, так и группами.

Для оценки различия исходного и восстановленного изображений использовался СППО, значение которого вычисляется по выражению

$$\sigma = \frac{1}{3} \sum_{RGB} \sqrt{\frac{\sum_{i=0}^m \sum_{j=0}^n (x_{ij}^B - x_{ij}^H)^2}{m \cdot n}},$$

где x_{ij}^B – элемент восстановленного изображения; x_{ij}^H – элемент исходного изображения; m, n – размерность исходного изображения по вертикали и горизонтали соответственно; R, G, B – три цветовые компоненты.

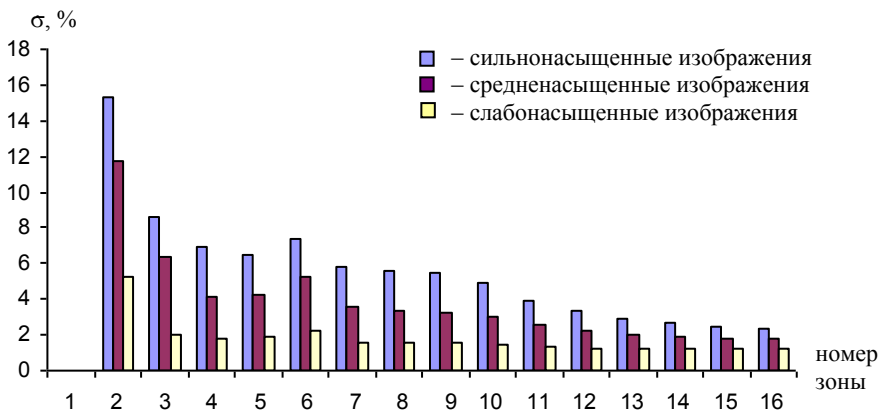


Рис. 3. Зависимость значений СППО от зоны, в которой выполняется замена значений коэффициентов преобразования на нули

На рис. 3 изображен график зависимости значений СППО от номера зоны, исключаемой из трансформанты. При восстановлении изображения значения коэффициентов преобразования в исключенных зонах при-

равнивались «0». Из рис. 3 видно, что:

1. В группе слабонасыщенных изображений при поочередном исключении с 3 по 16 зоны значение σ изменяется в пределах 0,05 – 1,5%.

2. В группе средненасыщенных изображений можно выделить зоны 7, ... , 10 и 11, ... , 16, при поочередном исключении которых значение σ изменяется незначительно – в пределах 0,05 – 0,9%.

3. В группе сильнонасыщенных изображений также можно выделить зоны 7, ... , 9 и 13, ... , 16, при поочередном исключении которых, значение σ изменяется незначительно - в пределах 0,07 – 0,9%.

Так как максимальная энергия концентрируется в 1 – 3 зонах, то при их исключении значение σ принимает наибольшие значения (на графике значение σ 1 зоны не приведено).

Для проведения эксперимента с исключением группы зон введем обозначение количества исключаемых зон – Z ($Z = \overline{0,15}$). При этом сохранялись первые $16 - Z$ зон коэффициентов преобразования. Так, при отбрасывании 16-й зоны – $Z = 1$, 15 и 16 зоны – $Z = 2$ и т.д., пока не останется только первая зона. При $Z = 0$ зоны не исключаются.

На рис. 4 изображен график, на котором представлена зависимость значений СППО от количества отбрасываемых зон Z .

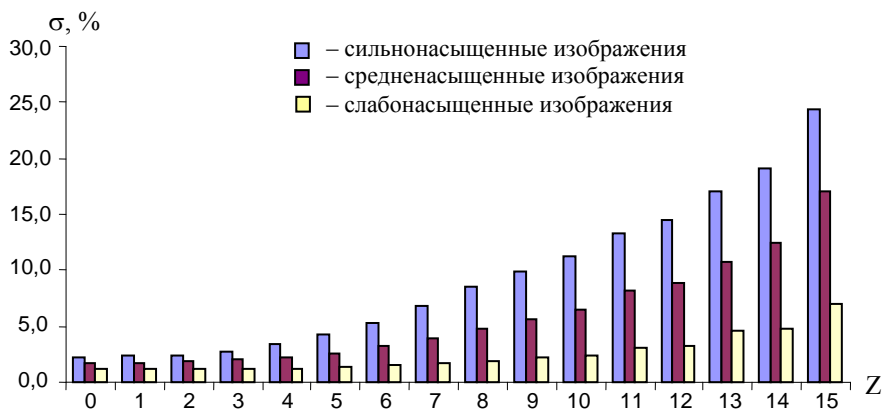


Рис. 4. Зависимость значений СППО от количества отбрасываемых зон

Из рис. 4 видно, что при изменении Z от 1 до 4 значение σ изменяется незначительно и практически не отличается от значения σ при $Z = 0$ для всех изображений.

В группе слабонасыщенных изображений при изменении Z от 1 до 15 значение σ изменяется незначительно и составляет 0,01 – 2,5%. В некоторых

изображениях значение σ при $Z = 15$ отличается от значения σ при $Z = 0$ на 2%.

В группе среденасыщенных и сильнонасыщенных изображений при изменении Z от 5 до 15 значение σ изменяется на 1 – 3%.

Таким образом, предложенный способ зональной селекции трансформанты Уолша, позволяет определить группы коэффициентов преобразования, исключение которых внесет минимальное значение σ в восстановленное изображение.

Выводы. В статье сформулировано правило формирования зон селекции трансформанты Уолша, применение которого позволяет сформировать зоны на основе дисперсионного критерия. Так как в зоне 1 сконцентрирована максимальная энергия, то ее исключение внесет максимальную погрешность в восстановленное изображение. Наименьшее значение σ получается при исключении 14 – 16 зон ($Z = 4$) и составляет 0,05 – 0,9% для всех классов изображений.

В зависимости от насыщенности изображения количество исключаемых зон при допустимом значении погрешности разное. Эти свойства могут быть использованы при разработке адаптивных алгоритмов сжатия изображений с потерями, которые будут адаптироваться под насыщенность каждого блока, на которые разбивается изображение при обработке.

ЛИТЕРАТУРА

1. Зубарев Ю.Б., Дворкович В.П. *Цифровая обработка телевизионных и компьютерных изображений*. – М.: МЦНТИ, 1997. – 212 с.
2. Ахмед Н., Рао К.Р. *Ортогональные преобразования при обработке цифровых сигналов / Под ред. И.Б. Фоменко*. – М.: Связь, 1980. – 248 с.
3. Прэтт У. *Цифровая обработка изображений*. – М.: Мир, 1982. – 736 с.
4. Бондарев В.Н., Трестер Г., Чернега В.С. *Цифровая обработка сигналов: методы и средства*. – Севастополь: СевГТУ, 1999. – 398 с.
5. Ватолин Д., Ратушняк А. и др. *Методы сжатия данных. Устройство архиваторов, сжатие изображений и видео*. – М.: ДИАЛОГ-МИФИ, 2002. – 384 с.
6. Королёва Н.А., Бохан К.А., Сиренький А.Н. *Алгоритм быстрого двумерного преобразования Уолша // АСУ та прилади автоматики*. – 2004. – Вип. 127. – С. 42 – 46.

Поступила 13.04.2004

КОРОЛЁВА Наталья Анатольевна, кандидат технических наук, преподаватель УкрГАЖТ. В 1999 году окончила ХарГАЖТ. Область научных интересов – обработка и передача информации.

БОХАН Константин Александрович, кандидат технических наук, научный сотрудник ХВУ. В 1998 году окончил ХВУ. Область научных интересов – обработка и передача информации.

СИРЕНЬКИЙ Александр Николаевич, адъюнкт ХИ ВВС. В 1996 году окончил ХИЛ ВВС. Область научных интересов – обработка и передача информации.

КРАСНОРУЦКИЙ *Андрей Александрович*, адъюнкт ХИ ВВС. В 1990 году окончил ХВВАУРЭ. Область научных интересов – обработка и передача информации.
