

УДК 621.396.2

А.А. КРАСНОРУЦКИЙ

Харьковский университет Воздушных Сил им. И. Кожедуба, Украина

ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОЕ КОДИРОВАНИЕ НИЗКОЧАСТОТНЫХ СОСТАВЛЯЮЩИХ ТРАНСФОРМАНТ УОЛША

Излагается компактное представление трансформант Уолша, учитывающее отдельную обработку и устранение статистической избыточности. Обосновывается, что для дополнительного повышения степени сжатия изображений требуется организовывать дифференциальное представление низкочастотных компонент.

геоинформационные системы, изображения, информативность, энтропия, трансформанта Уолша дифференциальное представление низкочастотных компонент

Введение

Создание на Украине географических информационных систем (ГИС), позволяющих эффективно работать с пространственно-распределенной информацией, обеспечит повышение объема национального валового продукта и снижение вероятности нанесения экономического и экологического ущерба.

Основная часть информации аэрокосмического мониторинга ГИС представляет собой изображения местности с большим количеством мелких деталей. При этом объемы видеоинформации достигают сотен Мбит. Однако технические характеристики современных каналов связи в системах аэрокосмического мониторинга не позволяют передавать необходимую информацию в требуемые сроки [1 – 2].

Для уменьшения объемов информации в системах передачи данных используются методы компактного представления видеоданных.

Формулирование проблемы. Среди различных методов компрессии данных наиболее эффективен метод, который, с одной стороны, обеспечивает высокую степень сжатия, а с другой – сохранение достоверности декомпрессионного изображения [3 – 4].

Целью данной работы является разработка метода, позволяющего повысить степень сжатия, при

этом не внести дополнительных потерь данных при декодировании.

Обоснование дифференциального представления компонент Уолша

Поскольку случайные величины, вероятности которых подчинены нормальному закону распределения, при фиксированных дисперсиях D_y , имеют максимальную энтропию $H^{(n)}$

$$H^{(n)} = 1,43 \log_2 \sqrt{2\pi e D_y}, \quad (1)$$

то для ее уменьшения предлагается предварительно представлять низкочастотные составляющие в дифференциальном виде. В этом случае, вместо исходных значений низкочастотных компонент $y(k; \ell)$ используются величины $e(k; \ell)$, равные разности между текущим и предыдущим значениями компонент

$$e(k; \ell) = y(k-1; \ell) - y(k; \ell). \quad (2)$$

Поскольку возможны случаи, когда последующее значение $y(k; \ell)$ компоненты будет больше предыдущего $y(k-1; \ell-1)$ значения компоненты трансформанты и наоборот, т.е.

$$y(k-1; \ell) < y(k; \ell); \quad y(k-1; \ell) \geq y(k; \ell),$$

то значение величины $e(k; \ell)$ будет принимать как положительные, так и отрицательные значения. По-

нятно, что часть элементов массива разностей будут иметь одинаковые по модулю, но разные по знаку значения. Значит, для повышения степени неравномерности распределения, а, следовательно, для снижения количества информации $H_e^{(H)}$, приходящегося на одну величину разности, предлагается обрабатывать только абсолютные значения величин $e(k; \ell)$:

$$e(k; \ell)^* = |e(k; \ell)|, \quad (3)$$

где $e(k; \ell)^*$ – абсолютные значения дифференциального представления низкочастотных компонент трансформант Уолша.

Тогда между энтропией распределения вероятностей значений величин $e(k; \ell)^*$ и $e(k; \ell)$ будет выполняться неравенство

$$H_e^{(H)^*} < H_e^{(H)}, \quad (4)$$

где $H_e^{(H)}$, $H_e^{(H)^*}$ – количество информации, приходящееся в среднем на одну величину дифференциального представления низкочастотных компонент соответственно для $e(k; \ell)$ и $e(k; \ell)^*$.

Распределение вероятностей появления значений дифференциальных величин $e(k; \ell)^*$ соответствует закону распределения Лапласа

$$f_e = \frac{1}{\sqrt{2D_e}} \exp\left(-\frac{|e| \sqrt{2}}{\sqrt{D_e}}\right).$$

Тогда количество информации $H_e^{(H)^*}$, приходящееся в среднем на одну компоненту $e(k; \ell)^*$, равно

$$H_e^{(H)^*} = 1,43 \log_2 \sqrt{2 e D_e}, \quad (5)$$

где D_e – дисперсия величин $e(k; \ell)^*$.

Поскольку величины $e(k; \ell)^*$ образуются путем разности двух соседних низкочастотных компонент, то их дисперсия D_e будет равна

$$D_e = D(e(k; \ell)) = D(y(k-1; \ell)) - D(y(k; \ell)) +$$

$$+ 2R(y(k-1; \ell); y(k; \ell)) \times \sqrt{D(y(k-1; \ell)) D(y(k; \ell))}, \quad (6)$$

где $R(y(k-1; \ell); y(k; \ell))$ – коэффициент корреляции между величинами $y(k-1; \ell)$ и $y(k; \ell)$.

Отсюда следует, что дисперсия величин $e(k; \ell)^*$ не будет превышать значения дисперсии компоненты $y(k; \ell)$:

$$D_e < D_y. \quad (7)$$

В выражении (5), в отличие от соотношения (1), под знаком корня отсутствует величина π .

По этим двум причинам количество информации $H_e^{(H)^*}$ будет меньше, чем $H_e^{(H)}$:

$$H_e^{(H)^*} < H_e^{(H)}. \quad (8)$$

Значит, для уменьшения мощности алфавита массива низкочастотных составляющих, т.е. для повышения степени неравномерности, необходимо осуществлять представление низкочастотных компонент в разностном виде. Это обеспечит снижение степени информативности обрабатываемого массива и, как следствие, повышение степени сжатия. Суммарное количество информации, приходящейся на одну трансформанту ДПУ после ее разделения на низкочастотные и высокочастотные составляющие, будет равно:

$$\begin{aligned} H &= H^{(e)} + H_e^{(H)^*} = \\ &= -(n^2 - 1) \sum_{y(k; \ell)=0}^{S_{mp}-1} P(y(k; \ell)) \log_2 P(y(k; \ell)) + \\ &\quad + 1,43 \log_2 \sqrt{2 e D_e}. \end{aligned}$$

Низкочастотные компоненты несут информацию о структурных частях фрагмента изображения, поэтому являются важными для правильной идентификации объектов. Поэтому на приемной стороне необходимо осуществить восстановление низкочастотных компонент с минимальной погрешностью. Для этого, в соответствии с выражениями (2) и (3), требуется дополнительно передавать информацию о

знаке $u_e(k; \ell)$ величини $e(k; \ell)^*$:

$$u_e(k; \ell) = \begin{cases} 0, & \text{если } e(k; \ell) \geq 0; \\ 1, & \text{если } e(k; \ell) < 0. \end{cases} \quad (9)$$

Поскольку низкочастотная компонента, имеющая координаты в трансформанте ДПУ (1;1), определяется как среднее значение яркости в локальном фрагменте изображения, то она принимает всегда положительные значения, т.е.

$$y(1;1) \geq 0 \text{ и } u(1;1) = 0.$$

Поэтому в матрице знаков U величину с коор-

динатами (1;1) можно не передавать. С учетом разностного представления низкочастотных компонент величина $u(k; \ell)$ будет определяться значением $u_e(k; \ell)$. Значит, за счет передачи матрицы знаков U_e разностных величин $e(k; \ell)^*$ дополнительного увеличения объема кодовых комбинаций не происходит.

В этом случае вместо одного массива низкочастотных компонент трансформанты ДПУ образуется два массива данных (рис. 1).



Рис. 1. Схема формирования массива дифференциального представления низкочастотных составляющих трансформант Уолша, компоненты которого имеют положительные значения

Первый массив представляет собой массив разностного представления низкочастотных компонент трансформант ДПУ E^* , содержащий абсолютные значения $e(k; \ell)^*$:

$$E^* = \{e(k; \ell)^*\}; k = \overline{1, n_n}; \ell = \overline{1, n_n};$$

Вторым массивом является матрица знаков U_e :

$$U_e = \{u_e(k; \ell)\};$$

$$k = \overline{1, n_n}; \ell = \overline{1, n_n},$$

где n_n – размерность массива низкочастотных компонент трансформант ДПУ.

При экспериментальной обработке рассматривались реалистические цветные изображений классифицированных по степени межэлементной корреляции r как сильнонасыщенные ($r < 0,7$), средненасыщенные ($r < 0,9$), и слабонасыщенные ($r > 0,9$) [5].

Результаты оценки количества информации сведены в табл. 1.

Таблица 1

Числовое значение энтропии для различных классов изображений при применении дифференциального представления низкочастотных компонент трансформант Уолша

	Сильнонасыщ.	Средненасыщ.	Слабонасыщ.
Энтропия коэффициентов трансформант Уолша (H)	2,5	2	0,2
Энтропия коэффициентов высокочастотных составляющих трансформант Уолша ($H^{(h)}$)	2	1,2	0,13
Энтропия коэффициентов низкочастотных составляющих трансформант Уолша ($H^{(n)}$)	5,36	5,51	4,16
Энтропия дифференциального представления коэффициентов низкочастотных составляющих трансформант Уолша ($H_e^{(n)}$)	4,87	4,92	1,92

Анализ результатов дифференциального представления коэффициентов массива НЧ-спектральных составляющих трансформант Уолша показывает (рис. 2), что количество информации, приходящейся на один коэффициент значений раз-

ностных величин $e(k, l)$ НЧ-спектральных составляющих, для слабонасыщенных и средненасыщенных изображений, снижается на 10%.

Это создает потенциальную возможность для повышения коэффициента сжатия.

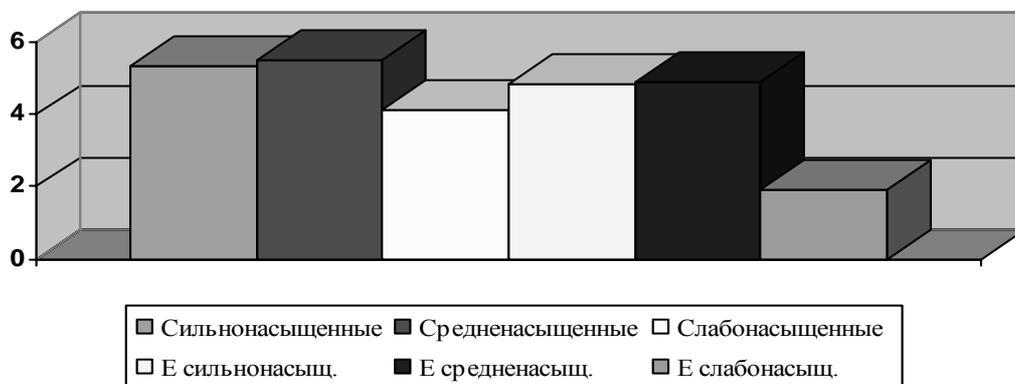


Рис. 2. Энтропия НЧ-спектральной составляющей трансформант рассматриваемых классов изображений и энтропия коэффициентов дифференциального представления коэффициентов массива НЧ-спектральных составляющих трансформант Уолша этих изображений

Заклучение

Результатом представления низкочастотных составляющих компонент трансформант Уолша в дифференциальном виде является уменьшение мощности алфавита массива трансформант Уолша, что ведет к повышению степени неравномерности распределения этих компонент. Это обеспечит снижение степени информативности обрабатываемого массива в среднем на 10% и, как следствие, при применении экономного кодирования, повышение степени сжатия.

Литература

1. Асташкин А.А. Космические системы, аппараты и приборы для решения задач природопользования и экологического контроля. – М.: ВИНТИ, 1991. – 142 с.

2. Виноградов Б.А. Аэрокосмический мониторинг экосистем. – М.: Наука, 1984. – 319 с.

3. Ватолин В.И., Ратушняк А., Смирнов М., Юкин В. Методы сжатия данных. Устройство архиваторов, сжатие изображений и видео. – М.: ДИАЛОГ – МИФИ, 2002. – 384 с.

4. Зубарев Ю.В., Дворкович В.П. Цифровая обработка телевизионных и компьютерных изображений. – М.: Международный центр научной и технической информации, 1997. – 212 с.

5. Королева Н.А., Красноруцкий А.А. Кодирование трансформанты преобразования Уолша // Збірник наукових праць ХУ ПС. – Х.: ХУ ПС, 2005. – Вип. 1 (1). – С. 101-103.

Поступила в редакцию 9.08.2008

Рецензент: д-р техн. наук, проф. П.Ю. Костенко, Харьковский университет Воздушных Сил им. И. Кожедуба, Харьков.