Литература

1. Шейдеггер А.Е. Теоретическая геоморфология.– М.: Прогресс, 1964.– 450 с.
2. Девдариани А.С. Математический анализ в геоморфологии. – М.: Недра, 1967.– 156 с.
3. Трофимов А.М. Основы аналитической теории развития склонов.– Казань: КГУ, 1974.– 212 с.
4. Ефимов А.В. Математический анализ. – Ч.1. Общие функциональные ряды и их приложения.– М.: Высш. школа, 1980.– 279 с.
5. Литвин А.И., Солдатов В.Н. Численное решение уравнения теплопроводности //Методы и алгоритмы параметрического анализа линейных и нелинейных моделей переноса.– М.: МГЗПИ, 1985. – Вып. № 3. – С. 148–153.
6. Пайтген Х.-О., Рихтер П.Х. Красота фракталов.– М.: Мир, 993.– 176 с.

УДК 519.676

А.И. Литвин, А.И. Май

ЦИФРОВЫЕ МЕТОДЫ СЖАТИЯ И ВОССТАНОВЛЕНИЯ ИЗОБРАЖЕНИЙ

В настоящее время цифровые алгоритмические методы сжатия изображений с восстановлением – методы с наличием или отсутствием избыточности информации с поэлементной или пространственной обработкой. К методам сжатия-восстановления изображений с поэлементной обработкой можно отнести методы с сокращением информационной избыточности; на основе импульсно-кодовой модуляции с предсказанием, статистические; методы без сокращения информационной избыточности: статистические, с пополнением кадров. Методы сжатия-восстановления с пространственной обработкой, основанные преимущественно на сокращении избыточности информации, – этот интерполяционный, на основе преобразований, на основе выделения признаков, символьные, гибридные и т. д. [1]. В настоящее время многие из банков видеоданных используют системы, реализующие методы сжатия-восстановления изображений с целью экономии памяти для последующей обработки изображений. Предлагаются два способа сжатия-восстановление изображений: кодирование длин серий (КДС) и на основе ортогональных дискретных преобразований (ОДП).

Рассмотрим алгоритм КДС. Известно, что кодирование с предсказанием менее эффективно, чем оптимальное кодирование. Однако в ряде случаев, когда статистика передаваемых сообщений известна или можно заранее предположить характер их изменения, практическое осуществление системы с предсказанием становится реальным. В сочетании с другими методами кодирования информации, например с известными методами КДС и КПД (коды переменной длительности), операция предсказания может представлять практический интерес в силу простой ее реализации [2].

Рассмотрим способ КДС подробнее. Если двоичные сообщения имеют низкую энтропию (H<<1), а символы независимы или слабо зависимы, то применение классического кодирования по Фано-Шеннону невыгодно. В этих случаях эффективным является способ КДС. Он заключается в передаче только маловероятных символов (например единицы или нуля) в представлении кодом длины серий высоковероятными символами. Кратко проанализируем способ КДС. Будем считать, что сообщение состоит из нулей и единиц, которые статистически независимы. Пусть вероятность появления нуля в сообщении равна p, тогда вероятность появления единицы равна q = 1 – p. В этом случае под серией из k нулей будем понимать двоичную последовательность 1000…00, начинающуюся единицей, или 000…01, заканчивающуюся единицей. Последовательность из i единиц считывается, как i – 1 серий нулей, каждая нулевой длины. Тогда функция вероятности распределения серий нулей в сообщениях имеет вид $F(k) = (1-p)p^k = qp^k$, а среднее число нулей в серии находится $\sum_{k=0}^{\infty} kF(k) = (1-p)\sum_{k=0}^{\infty} kp^k = \frac{p}{1-p} = \frac{p}{q}$. Способ КДС является эффективным, хотя необходимость использования разделительных знаков между кодами длины серии снижает эффект сжатия сообщений. Среднее число двоичных символов определяется по формуле

$C = 1 + \frac{1}{p}\sum_{n=1}^{\infty} p^{2^n}$, где n – количество двоичных символов, охватывающих серию из нулей. При использовании разделительных знаков выходное сообщение будет закодировано троичным кодом, поэтому эквивалентное число двоичных символов на серию будет равно $C = \log_2 3$. Укажем способ эффективности такого кодирования.

Относительную эффективность можно определить как

$$R = \frac{-(p\log_2 p + q\log_2 q)}{qC\log_2 3},$$

где $-(p\log_2 p + q\log_2 q)$ – исходная энтропия на символ, 1/q – среднее число составляющих серию двоичных символов. Величина относительной эффективности показывает близость КДС к оптимальному кодированию.

Для этого способа коэффициент сжатия информации определяется как

$$K_{сж} = \frac{1}{qC\log_2 3}.$$

Для оценки эффективности КДС можно применить следующий прием. Пусть запоминающее устройство состоит из m ячеек N-разрядной длины, которые заполняются k-информативными сообщениями $0 \le k \le N$. Ввиду того что в каждом испытании события независимы или слабо зависимы, используя известную формулу Бернулли, можно вычислить вероятность его появления ровно k – раз в N-разрядной ячейке:

$P_N(k) = C_N^k p^k q^{N-k}$, где p(0<p<1) – вероятность появления события, q = 1 – p. Вероятность того, что событие наступит не более k раз в каждой ячейке, будет иметь вид $P_j = P_N(0) + P_N(1) + \ldots + P_N(k)$.

Так как заполнение каждой ячейки события независимые, то по теореме умножения вероятностей $P = \prod_{j=1}^{m} P_j$.

Рассмотрим алгоритм сжатия-восстановления изображений на основе ОДП по зональному признаку [3], который заключается в сохранении спектральных точек внутри заранее определенных зон. В отличие от метода исключения точек по амплитудному признаку, который является адаптивным, этот метод может быть оптимальным лишь для определенного вида изображений. Выбор границ зон в этом методе должен быть таким, чтобы вероятность большей амплитуды внутри зоны была выше вероятности такого значения амплитуды в любой точке вне зоны. Преимущество зонального принципа сжатия изображений перед методом сжатия по амплитудному принципу заключается в том, что для сохраненных и переданных точек не требуется передача информации об их положении. Ввиду расположения элементов матриц Уолша-Пэли по энергетическим уровням существует возможность сжатия и восстановления изображений с использованием зонального принципа кодирования изображений. В этом случае изображения представим фрагментами в виде матриц (8×8), (16×16) и т. д. Двумерное прямое преобразование Уолша-Пэли будет иметь вид: $Y = \frac{1}{N^2} H_p(N) H_p(N)$, где X-матрица исходных данных, $H_p(N)$ – одномерное преобразование Уолша-Пэли, $N = 2^n$ – порядок матрицы X. После двумерного преобразования Уолша-Пэли матрицы X наибольшие компоненты будут располагаться в верхнем левом углу, что позволяет отбрасывать или добавлять дополнительные элементы, причем добавление или отбрасывание элементов преобразование практически не изменяет форму сигнала. Используя избыточность ОДП Уолша-Пэли, можно уменьшить искажения формы изображения.Известно, что сумма компонент, получаемых в результате одномерного преобразования вектора $Z = \{Z_1, \ldots, Z_N\}$, равна

$\sum_{i=1}^{N} Z_i = NX_1$, где X_1 – значение первой компоненты исходного вектора X. Пусть в результате преобразования вектора X от вектора Z отбрасываются m – компонент снизу. Тогда выражение $\sum_{i=1}^{N} Z_i = NX_1$ нарушается, и невязка будет равна $\delta_m = \sum_{i=1}^{N-m} Z_i - NX_1$. Распределим невязку относительно вектора Z: $\Delta = \delta_m / N$. Тогда положим, что $\overline{Z}_i = Z_i - \Delta$. Используя невязку δ_m относительно преобразованного вектора Z, можно улучшить качество восстановления "сжатого" изображения.

Данный алгоритм применялся для сжатия двумерных изображений, заданных в виде фрагментов размерности (8×8). Точность восстановления исходного изображения определялась путем нахождения коэффициентов корреляции R_k или коэффициентов ВКФ (взаимно-корреляционная функция) между исходными и "восстановленными" изображениями. При коэффициенте сжатия равном четырем коэффициены корреляции R_k и коэффициенты ВКФ находились на отрезке [0,95; 0,98].

Литература

1. Остапенко Е.А., Кужелев П.Д. Цифровые методы сжатия-восстановления полутоновых черно-белых изображений // Изв. вузов. Геодезия и фэросъемка. – 1993, № 3. – С. 48–57.
2. Соловьев В.Ф. Рациональное кодирование при передаче сообщений. – М.: Энергия, 1970. – 64 с.
3. Глызин В.В., Лизунов Н.Н. Использование естественной избыточности ортогонального преобразования Уолша-Пэли при выполнении масштабирования изображения, представленного матрицей яркости // VIII симпозиум по проблеме избыточности в информационных системах. Тез. докл. – Л.: 1983. – Ч. 6. – С. 28–34.