

## ОПИСАНИЕ И КОДИРОВАНИЕ СЕРИЙ

К.С. Клименко  
(представил проф. А.В. Королев)

В статье рассмотрены вопросы описания и кодирования серий, объединяющих элементы изображения с монотонной функцией зависимости параметра визуализации.

При построении современных автоматизированных систем управления (АСУ), использующих видеoinформацию для контроля состояния объектов управления и контроля, необходимо решить важную задачу, связанную с повышением эффективности каналов связи и устройств хранения видеоданных. Поэтому в подсистемах обработки, передачи и хранения видеoinформации АСУ применяют методы сжатия видеоданных, которые позволяют уменьшить объем передаваемых данных как без потери, так и с потерей информации [1, 2]. Одним из методов сжатия видеоданных является метод длин серий, который широко используется в технических средствах для кодирования статических и динамических изображений. Практическое применение этого метода показало, что он лучше работает с одно-, четырех- и восьмибитовыми изображениями и хуже при сжатии полноцветных или 24-битовых изображений, так как в полноцветных изображениях повторение цветов значительно меньше. Поэтому возникла задача: адаптировать метод серий для кодирования полноцветных изображений и при этом не ухудшить его временные характеристики.

Для решения этой задачи предлагается использовать метод анализа функций с помощью производных при формировании серий и метод регрессионного анализа при описании функции параметра визуализации серии [3, 4]. В этом случае последовательность элементов изображения (вдоль строки развертки) объединяется в серию, имеющую монотонную функцию зависимости параметра визуализации. Соседние серии отделяются скачком уровня – разрывами или контурами. Они делятся на разрыв первого и второго рода, и для каждого из них определен порог значения параметра визуализации  $\Delta I$  и  $\Delta II$  соответственно. Для каждой серии формируется множество параметров, описывающих зависимость параметра визуализации и длины серии. В качестве функции, описывающей зависимость параметра визуализации серии, применяется функция полиномиальной регрессии [3, 4]. Следует отметить, что описание серий

с помощью функции полиномиальной регрессии является обратимым процессом. Оно не выполняет сжатие видеоданных, а лишь осуществляет подготовку данных к процессу сжатия, которое осуществляется при округлении и квантовании. Выполняя округление и квантование, следует учитывать то, что число разрядов ограничено, а это, в свою очередь, приводит к появлению ошибки вычислений. При определенных условиях эти ошибки можно не учитывать, например, когда шаг квантования мал по сравнению с уровнем полезного сигнала. Для повышения производительности предлагаемого метода представления видеoinформации сериями необходимо уменьшить число арифметических операций и использовать только целочисленную арифметику, так как, если использовать обычные операции с плавающей точкой, то описание видеoinформации проходит гораздо медленнее [2, 5]. Таким образом, следует разработать способы нахождения коэффициентов функции регрессии, их округления и квантования для предлагаемого метода представления видеoinформации, которые позволят получать приемлемое качество изображения и минимальный объем видеоданных.

В данном методе в качестве функции регрессии используется полиномиальная регрессия [3]. Для определения значений ее параметров рекомендуется применять метод наименьших квадратов, так как он имеет такие достоинства: он приводит к сравнительно простому математическому способу определения параметров функции регрессии; позволяет получить минимальное среднеквадратичное отклонение функции регрессии от эмпирической зависимости для различных объемов значений выборки случайной величины [6, 7]. В этом случае, чтобы вычислить значения параметров полиномиальной регрессии порядка  $n$  для описания функции параметра визуализации серии длиной  $L$ , необходимо решить систему  $n$  линейных уравнений первой степени

$$\left\{ \begin{array}{l} a_n \sum_{i=1}^L x_i^{2n} + a_{n-1} \sum_{i=1}^L x_i^{2n-1} + \dots + a_0 \sum_{i=1}^L x_i^{n+1} + a_0 \sum_{i=1}^L x_i^n = \sum_{i=1}^L x_i^n y_i; \\ a_n \sum_{i=1}^L x_i^{2n-1} + a_{n-1} \sum_{i=1}^L x_i^{2n-2} + \dots + a_1 \sum_{i=1}^L x_i^n + a_0 \sum_{i=1}^L x_i^{n-1} = \sum_{i=1}^L x_i^{n-1} y_i; \\ \vdots \\ a_n \sum_{i=1}^L x_i^n + a_{n-1} \sum_{i=1}^L x_i^{n-1} + \dots + a_1 \sum_{i=1}^L x_i^1 + a_0 L = \sum_{i=1}^L y_i, \end{array} \right. \quad (1)$$

где  $a_0, a_1, \dots, a_n$  – параметры регрессии;  $L$  – длина серии;  $n$  – порядок полинома;  $x$  – координата элемента в серии.

Решив систему линейных уравнений (1), можно получить значения параметров полиномиальной регрессии для любого значения порядка полинома. На практике решение системы уравнений связано с большими

затратами времени. Следовательно, в зависимости от требований по времени, предъявляемых к алгоритму сжатия видеоданных, и к качеству восстанавливаемого изображения подбирается порядок полинома. Предлагаемый метод сжатия разрабатывался для АСУ, поэтому использовался порядок полинома не выше четырех ( $n < 4$ ) [7].

Для численного определения параметров полиномиальной регрессии необходимо выбрать метод решения системы линейных уравнений (1). Обычно подобные системы линейных уравнений представляются в виде линейного отображения, записанного в матричной форме

$$\Sigma X \cdot A = \Sigma XY,$$

где  $\Sigma X$  – отображение в матричной форме коэффициентов;  $A$  – отображение в матричной форме параметров полинома;  $\Sigma XY$  – отображение в матричной форме левой части системы.

Для решения уравнений в матричной форме используется метод Крамера и исключения или метод Гаусса [17]. Исследования показали, что систему (1) невозможно решить методом Крамера, так как матрица линейного отображения является вырожденной (определитель равен нулю  $|\Sigma X| = 0$ ). Поэтому для решения системы необходимо применить метод Гаусса. Но так как значения элементов правой части зависят только от значений длины серии и порядка полиномиальной регрессии, следовательно, для уменьшения времени на создание системы линейных уравнений (1) предлагается до начала обработки видеoinформации формировать линейное отображение правой части в матричной форме. Это один из способов, позволяющих повысить быстродействие описания функции параметра визуализации серии. Другой способ – это применение QR-преобразования или преобразования Хаусхолдера. С его помощью полное прямоугольное отображение системы линейных уравнений в матричном виде преобразуется в верхнюю треугольную и ортогональную матрицы [8]

$$\Sigma X \cdot P = Q \cdot R,$$

где  $P$  – матрица преобразования;  $Q$  – ортогональная матрица;  $R$  – верхняя треугольная матрица.

Решение системы находится согласно соотношению

$$A = R \setminus (Q^T \cdot \Sigma XY),$$

где  $**$  – значок обратного хода вычисления по методу Гаусса.

Таким образом, перед началом процесса формирования серий следует в зависимости от порядка полинома функции регрессии сформировать с помощью преобразования Хаусхолдера для каждой длины серии две матрицы: ортогональную и верхнюю треугольную. Это позволит уменьшить время на формирование и решение системы линейных урав-

нений за счет уменьшения числа операций для выполнения прямого хода вычисления по методу Гаусса. Решение системы линейных уравнений методом Хаусхолдера позволяет получить минимум квадрата ошибки, и избавиться от такого недостатка как вычислительная неустойчивость, которая связана с ростом промежуточных элементов матриц и характерна для метода Гаусса [8].

Другой рассматриваемой задачей является задача кодирования параметров серии. Для кодирования длин серий предлагается использовать кодирование "гибкой" разрядной сеткой [9]. Исследования зависимости вероятности появления серии от длины показали, что достаточно использовать две кодовые группы. Чтобы закодировать длины серий, попадающие в первую группу, достаточно три разряда, так как  $70 \div 80\%$  всех длин находятся в этом диапазоне.

При выборе сетки кодирования для параметров полиномиальной функции регрессии в первую очередь необходимо решить задачу, связанную с округлением значений параметров. Она решается двумя способами:

- 1) округлением значений параметров после проведения вычисления;
- 2) изменением масштаба или значений координат элементов серии (значения функции регрессии не зависят от изменения выбора начала отсчета и масштаба измеряемой величины [6]).

В предлагаемом методе кодирования видеoinформации используется второй способ по следующим причинам. Во-первых, устраняется плохая обусловленность матрицы коэффициентов  $\Sigma X$ , возникающая при ее формировании. Значение элемента матрицы коэффициентов с координатами  $\Sigma x_{1,1}$  с ростом длины серии  $l > 3$  на несколько порядков превышает значение элемента  $\Sigma x_{n,n}$ . Вследствие этого могут возникнуть значительные погрешности при вычислении параметров регрессии. Во-вторых, уменьшается число операций, необходимых для округления дробных чисел. В-третьих, в виду большого разброса значений матрицы коэффициентов потребуются длинные кодовые слова для их записи в двоичном виде, что приведет к нерациональному использованию памяти и к увеличению времени, приходящегося на вычисление параметров функции регрессии. Для задания значения масштаба ( $\Delta x$ ), которое бы изменялось пропорционально длине серии, использовалась формула

$$\Delta x = \frac{L_0}{L},$$

где  $L_0$  – длина в относительных единицах.

Проведенные исследования зависимости значения  $L_0$  от длин серий и качества восстанавливаемого изображения показали, что при  $n = 3$  длина в относительных единицах должна быть равной двум ( $L_0 = 2$ ). При

этом длина кодового слова, необходимая для записи матрицы коэффициентов, уменьшается в несколько раз. Например, когда максимальная длина серии не более 200 элементов, то нужна длина кодового слова, равная 11 бит при  $L_0 = 2$ , а без дополнительного масштабирования – 51 бит.

Как уже указывалось, при изменении масштаба упрощаются процессы округления и определения разрядной сетки, с помощью которой записываются параметры полиномиальной регрессии. В этом случае, для округления параметров регрессии достаточно отсечь дробную часть, а для кодирования использовать фиксированную разрядную сетку для записи каждого параметра с учетом знака.

Таким образом, разработанные способы описания и кодирования позволяют представлять серии, имеющие монотонную функцию зависимости параметра визуализации, в цифровом виде с использованием целочисленной арифметики, что позволит снизить временные затраты, необходимые для сжатия и восстановления, и уменьшить объем видеоданных.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Прэтт У.К. Цифровая обработка изображений. – М.: Мир, 1982. – Кн. 2. – 480 с.
2. Зубарев Ю.В. Цифровая обработка телевизионных и компьютерных изображений. – М.: Международный центр научной и технической информации, 1997. – 212 с.
3. Клименко К.С. Формирование серий видеоданных // Системи обробки інформації. – Харків: НАНУ, ПАНИ, ХВУ. – 1999. – Вип.1(5). – С.147 - 150.
4. Клименко К.С. Метод анализа и описания видеоданных // Інформаційно - керуючі системи на залізничному транспорті. – 1999. – №5. – С. 35-38.
5. Бондарев В.Н, Трестер Г., Чернега В.С. Цифровая обработка сигналов: методы и средства. – Севастополь: СевГТУ, 1999. – 398 с.
6. Вентцель Е.С. Теория вероятности. – М.: Наука, 1964. – 576 с.
7. Плис А.И., Сливина Н.А. Mathcad: математический практикум для экономистов и инженеров. – М.: Финансы и статистика, 1999. – 656 с.
8. Потемкин В.Г. Система MATLAB. Справочное пособие. – М.: ДИАЛОГ-МИФИ, 1997. – 350 с.
9. Клименко Л.А. Сжатие видеоданных с помощью "гибкой" разрядной сетки // Інформаційно - управляючі системи на залізничному транспорті. – 1998. – № 3. – С. 95 - 101.