УДК 621.39

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 видеоинформацию 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 видеоинформации 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 $\mathbf{\Delta I}$ и $\mathbf{\Delta II}$ 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 ограниченно, 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 видеоинформации сериями необходимо уменьшить число арифметических операций и использовать только целочисленную арифметику, так как, если использовать обычные операции с плавающей точкой, то описание видеоинформации проходит гораздо медленнее [2, 5]. Таким образом, следует разработать способы нахождения коэффициентов функции регрессии, их округления и квантования для предлагаемого метода представления видеоинформации, 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

$$\begin{cases} \mathbf{a_n}\sum\limits_{i=1}^{L}\mathbf{x_i^{2n}}+\mathbf{a_{n-1}}\sum\limits_{i=1}^{L}\mathbf{x_i^{2n-1}}+\ldots+\mathbf{a_0}\sum\limits_{i=1}^{L}\mathbf{x_i^{n+1}}+\mathbf{a_0}\sum\limits_{i=1}^{L}\mathbf{x_i^{n}}=\sum\limits_{i=1}^{L}\mathbf{x_i^{n}y_i}; \\ \mathbf{a_n}\sum\limits_{i=1}^{L}\mathbf{x_i^{2n-1}}+\mathbf{a_{n-1}}\sum\limits_{i=1}^{L}\mathbf{x_i^{2n-2}}+\ldots+\mathbf{a_1}\sum\limits_{i=1}^{L}\mathbf{x_i^{n}}+\mathbf{a_0}\sum\limits_{i=1}^{L}\mathbf{x_i^{n-1}}=\sum\limits_{i=1}^{L}\mathbf{x_i^{n-1}y_i}; \\ \vdots \\ \mathbf{a_n}\sum\limits_{i=1}^{L}\mathbf{x_i^{n}}+\mathbf{a_{n-1}}\sum\limits_{i=1}^{L}\mathbf{x_i^{n-1}}+\ldots+\mathbf{a_1}\sum\limits_{i=1}^{L}\mathbf{x_i^{1}}+\mathbf{a_0}\mathbf{L}=\sum\limits_{i=1}^{L}\mathbf{y_i}, \end{cases} \tag{1}$$

где $\mathbf{a_0}$, $\mathbf{a_1}, \ldots, \mathbf{a_n}$ – 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

$$\mathbf{\Sigma X \cdot A = \Sigma XY},$$

где **ΣX** – отображение в матричной форме коэффициентов; **A** – отображение в матричной форме параметров полинома; **ΣXY** – 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 $\left|\sum \mathbf{X}\right| = \mathbf{0}$). 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 видеоинформации 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]

$$\mathbf{\Sigma X \cdot P = Q \cdot R},$$

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

Решение системы находится согласно соотношению

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

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 уравнений 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÷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 видеоинформации используется второй способ по следующим причинам. Во-первых, устраняется плохая обусловленность матрицы коэффициентов $\mathbf{\Sigma X}$, возникающая при ее формировании. Значение элемента матрицы коэффициентов с координатами $\mathbf{\Sigma x_{1,1}}$ с ростом длины серии $\mathbf{l > 3}$ на несколько порядков превышает значение элемента $\mathbf{\Sigma x_{n,n}}$. 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 ($\mathbf{\Delta x}$), которое бы изменялось пропорционально длине серии, использовалась формула

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

где $\mathbf{L_o}$ – длина в относительных единицах.

Проведенные исследования зависимости значения $\mathbf{L_o}$ от длин серий и качества восстанавливаемого изображения показали, что при $\mathbf{n = 3}$ длина в относительных единицах должна быть равной двум ($\mathbf{L_o = 2}$). 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 $\mathbf{L_o = 2}$, 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 // Информационно - управляющие системы на железнодорожном транспорте. – 1998. – № 3. – С. 95 - 101.