

# РАЗРАБОТКА И МОДЕЛИРОВАНИЕ МЕТОДОВ СЖАТИЯ ТЕЛЕМЕТРИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ ПРИ РЕГИСТРАЦИИ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ДАННЫХ

Витязев В.В., Зайцев А.А.

Рязанская государственная радиотехническая академия  
390000, Рязань, ул. Гагарина, 59, кафедра АиММ

Одной из актуальных проблем сбора, регистрации и анализа геофизических данных в многоканальных системах передачи телеметрической информации является разработка методов кодирования сейсмических сигналов в реальном времени. Трудность решения данной задачи обусловлена высокими требованиями точности восстановления телеметрической информации о геофизических сигналах при относительно низкой скорости передачи данных отдельно взятого канала, а, следовательно, при условии обеспечения большого коэффициента сжатия информации. Вместе с тем, значительные достижения в области теории частотно-временного анализа, векторного квантования и вейвлет-преобразования высоко динамичных процессов, полученные в последние годы, а также в области создания широкого спектра аппаратных и программных средств моделирования и реализации в реальном времени систем преобразования и кодирования информации, вселяют уверенность в возможность построения эффективных подсистем и устройств сжатия телеметрической информации применительно к многоканальным системам сбора и регистрации геофизических данных.

Движение частиц почвы под действием упругих волн совершается в трех измерениях, а траектории их имеют вид пространственных кривых. Однако в зависимости от типа используемых при разведке полезных волн форма траектории может оказаться более простой. Вид профиля и графиков колебаний упругой волны, вызванной взрывом, зависит от многих условий, таких как характер взрыва (включая строение среды вблизи взрыва), поглощающие свойства среды, особенности строения границ раздела на пути волны и т.п. Ввиду разнообразия этих условий форма колебаний может быть различной. Для их обобщенного описания применяют некоторые соотношения, имеющие формальный смысл. Для решения поставленной задачи построена модель сейсмического сигнала (2), основанная на сумме линейной комбинации множества импульсов с колокольной огибающей вида (1) со специальным образом подобранными параметрами [1].

$$\eta(t) = \eta_0 e^{-nt^2} \sin(\omega t + \varphi) \quad (1)$$

$$\eta(t) = S_{\text{сейсм}} + \sum_k \eta_k \cdot e^{-n_k(t-t_{\text{прих.к}})^2} \cdot \sin(\omega_k [t - t_{\text{прих.к}}] + \phi_k) \quad (2)$$

где  $\eta_k$  – амплитуда  $k$ -го импульса (уменьшается с ростом  $k$ );

$t_{\text{прих.к}}$  – время прихода  $k$ -ой волны;

$n_k$  – параметр, определяющий форму волны;

$\omega_k$  – частота  $k$ -ой волны;

$\phi_k$  – фаза  $k$ -ой волны;

$S_{\text{сейсм}}$  – сигнал, имитирующий естественный фон колебаний – микросейсмы (исследование реальных сейсмограмм показало, что микросейсмы могут быть представлены как случайная последовательность с равномерным распределением, обработанная НЧ фильтром с относительной частотой среза 0.6π; в результате отношение сигнал шум составляет 30дБ).

Сравнение реальных и синтезированных сейсмограмм показало хорошую схожесть как во временной, так и в частотной областях, а также в характере распределения значений модуля отсчетов сигнала.

Наиболее простой и естественной способ сжатия (кодирования) временной последовательности  $x(n)$ , заданной на конечном интервале наблюдения  $0 \leq n \leq L-1$ , предполагает возможность отбрасывания (передача одного бита 0) всех временных отсчетов, модуль которых лежит ниже установленного порога  $\alpha_{\text{ПОР}}$ :  $x^*(n) = \{x(n), \text{ если } |x(n)| \geq \alpha_{\text{пор}}; \text{ иначе } x^*(n) = 0\}$ . Кроме того, большой динамический диапазон сигнала позволяет использовать переменную длину регистров памяти двоичного представления отсчетов сейсмического сигнала. Исследования показали, что эффективность сжатия сейсмического сигнала во временной области не высока: при простом сравнении с порогом лежит в пределах 2% даже при увеличении значения порога до 15-го двоичного разряда, а при переходе к переменной разрядности представления временных отсчетов гарантированно составляет 20% практически без потери точности. Использование для повышения эффективности сжатия дополнительных приемов, таких как линейная интерполяция, не дает ощутимого эффекта.

Поскольку частотное представление сейсмического сигнала сосредоточено в большой степени в области низких частот и с ростом частоты имеет тенденцию к сравнительно быстрому затуханию, теоретически возможно усечение высокочастотных составляющих  $X(k), k = \overline{0, L-1}$ , по алгоритму пороговой обработки

$$X^*(k) = \{X(k), \text{ если } |X(k)| \geq \alpha_{\text{пор}}; \text{ иначе } X^*(k) = 0\}$$

Более того, вследствие частотного разделения мощных («забывающих») динамический диапазон и не требующих высокой точности представления) и относительно небольших по уровню спектральных составляющих целесообразно вторичное квантование с шагом, гарантирующим заданную относительную погрешность преобразования. В результате нелинейной пороговой обработки передаваемая последовательность коэффициентов Фурье  $X^*(k)$  может быть представлена в виде (2)

$$X^*(k) = F\{X(k)\} = \sum_{i=0}^{qk-1} \beta_{k,i} 2^{-i}, \quad \beta_{k,i} = \{0,1\}, \quad k = \overline{0, M-1}, \quad (3)$$

где  $M \leq L$  - число коэффициентов Фурье, превышающих заданный порог [3].

Исследования показали, что эффективность сжатия за счет отбрасывания части передаваемых коэффициентов Фурье, модуль которых не превышает установленный порог, не более 1% (при точности восстановления  $< 2 \cdot 10^{-6}$ ) и лежит в пределах 30% при увеличении значения порога до 15 двоичных разрядов. При переходе к переменной разрядности представления коэффициентов Фурье эффективность сжатия возрастает до 37% фактически без потери точности восстановления. Введение неравномерного шага квантования по уровню коэффициентов Фурье (при разрядности представления мантииссы  $q=16$ ) эффективность сжатия в частотной области может быть повышена до 50% при сохранении высокой точности восстановления ( $< 10^{-5}$ ).

Известный на протяжении многих десятилетий и хорошо зарекомендовавший себя в задачах сжатия речевых сигналов метод линейного предсказания хорошо показал себя и при решении задачи сжатия сейсмических сигналов [2]. Получающийся в результате работы этого метода остаток предсказания имеет значительно меньший динамический диапазон, чем исходный сигнал. Исследования показали, что оптимальными для автокорреляционного метода линейного предсказания в смысле уменьшения динамического диапазона остатка предсказания являются следующие значения параметров:  $M=12$  (порядок предсказания),  $N=300$  (длина временного окна обработки). При использовании переменной разрядности представления отсчетов остатка предсказания эффективность сжатия гарантированно больше 20% (при точности восстановления  $< 1 \cdot 10^{-6}$ ) и достигает 65% (при точности восстановления  $< 1 \cdot 10^{-5}$ ).

Бурно развивающийся более десяти лет вейвлет (маловолновой) анализ позволяет получить частотно-временное многомасштабное (multiresolution) представление сигнала [4,5,6]. Вейвлет-анализ – это математическая конструкция, синтезирующая две идеи обработки сигналов. Первая идея – разложение сигнала по поддиапазнам (subband decomposition) при помощи квадратурных зеркальных фильтров (quadrature mirror filters) – появилась в задаче сжатия речи. Вторая идея – пирамидное представление (pyramid representation) – в задаче сжатия изображений. Обе идеи связаны с применением к сигналу фильтров специального вида, которые позволяют разделить низкочастотные и высокочастотные составляющие сигнала. Опираясь на предположение о том, что вся полезная информация в сейсмическом сигнале содержится в диапазоне от 0 до 100 Гц, можно было бы ожидать высокой эффективности сжатия при применении данного метода. Однако, использование аналогичных предыдущим методам критериев оценки точности восстановления не оправдало подобных ожиданий. В частности, использование вейвлет представления сигнала с равномерным шагом квантования коэффициентов разложения и отбрасыванием коэффициентов, не превышающих установленный порог, не дает ощутимого эффекта по сжатию в допустимом диапазоне значения ошибки восстановления. Использование переменной разрядности представления отсчетов дает гарантированную эффективность сжатия в 31% без потери точности восстановления. Повышение значения порога до уровня, при котором точность восстановления уменьшается до  $10^{-3}$ , позволяет сжимать сигнал в 5-8 раз, при этом сохраняются основные частотно-временные особенности сигнала.

#### Литература

1. Гурвич И.И. Сейсмическая разведка. М.: Недра, 1970.
2. Маркел Д.Д., Грэй А.Х. Линейное предсказание речи - М.: Связь, 1980.
3. Френкс Л. Теория сигналов / Перевод с англ. под ред. Д.Е. Вакмана М.: Советское радио, 1974.
4. Wavelet – системы и их применение в обработке сигналов. В.Ф. Кравченко, В.А. Рвачев //Зарубежная радиоэлектроника, - №4, - 1996.
5. Два курса по вейвлет анализу. Л. Левкович-Маслюк, А. Переберин // Учебная программа 8-й международной конференции по компьютерной графике и визуализации ГрафиКон'98. [http://www.keldysh.ru/gc98/cd/tutorial/leo\\_lev](http://www.keldysh.ru/gc98/cd/tutorial/leo_lev)
6. Введение в вейвлеты и вейвлет-преобразования. М. Фомичев – <http://globus.smolensk.ru/user/sgma/mmorhp/n-4-html/1.htm>

MINING AND SIMULATION OF METHODS OF COMPRESSION THE TELEMETRY INFORMATIONS AT REGISTRATION THE GEOPHYSICAL DATA

Vityazev V., Zaytsev A.

The Ryazan state radio academy  
390000, Ryazan, street. Gagarina, 59, stand A&MM

Designing compact coding methods of seismic signals in real time is one of actual problems closely related with collecting? Registration and analysis of the geophysical data in multichannel systems of the telemetry information transfer. The main difficulty is determined by the requirement of the information large aspect ratio, under condition of high restoration accuracy of the telemetry information on geophysical signals. However, achievements in the theory field of the time-and-frequency analysis, vectoral quantizing and wavelet-transformation of high dynamical processes, and also in the field of hardware and software creation of simulation and the implementations in a real time of data processing systems, allow to speak about the possibility of finding a key to the set problem.

The motion of soil fragments affected by elastic waves and committed in three dimensions has trajectory looking like space curves [1]. Nevertheless depending on the type of useful waves, used at prospecting, the shape of the trajectory can appear more simple. To cope with the set problem the seismic signal model (2), founded on the linear combination of impulses (1) with special fitted parameters is constructed.

$$\eta(t) = \eta_0 e^{-nt^2} \sin(\omega t + \varphi) \quad (1)$$

$$\eta(t) = S_{\text{мсейсм}} + \sum_k \eta_k \cdot e^{-n_k(t-t_{\text{прих.к}})^2} \cdot \sin(\omega_k [t - t_{\text{прих.к}}] + \phi_k) \quad (2)$$

where  $\eta_k$  – amplitude of impulse;  $t_{\text{прих.к}}$  – time of the wave arrival;  $n_k$  – parameter determining waveform;  $\omega_k$  – frequency of the wave;  $\phi_k$  – wave phase;  $S_{\text{мсейсм}}$  – signal cloning natural background of oscillations. The matching of the actual and synthesised seismograms has shown good similarity both in temporary, and in frequency areas.

The threshold processing of a time sequence is the most simple and natural way of compression. In this case instead of samples, which one does not exceed an captured threshold, one zero bit is transmitted. The large volume range of a signal allows to use variable length of the memory registers of a binary representation of sample of a seismic signal. The researches have shown, that the efficiency of compression of a seismic signal in a time domain is not high. The threshold processing allows to receive efficiency of compression about 2 %. Usage of a variable digit capacity allows to achieve 20 %. Usage for increase of compression efficiency the linear interpolation, does not give of appreciable effect.

The frequency representation of a seismic signal is massed in the field of low frequencies and with growth of frequency fast damps. Truncating high frequency components on algorithm of threshold processing therefore is possible [3]. Owing to frequency separation powerful and small spectral components expediently secondary quantizing with a step guaranteeing given relative error of restoration. The researches have shown, that the efficiency of compression at the expense of threshold processing of Fourier coefficient, module which one does not exceed an established threshold, no more than 4 % (at accuracy of recovery  $< 2 \cdot 10^{-5}$ ) and lies within the limits of 30 % at increase of value of a threshold up to 15 binary digits. Usage a variable digit capacity of representation of Fourier coefficients the efficiency of compression increases up to 37 % actually without loss of accuracy of restoration. The introducing of an irregular quantum on a level of Fourier coefficients (at a digit capacity of representation of a significant  $q=16$ ) efficiency of compression in frequency area can be heightened up to 50 % at preservation of a hi accuracy of recovery ( $< 10^{-5}$ ).

Widely known a linear prediction coding method [2], which one well has shown itself in problems of speech compression, was tested for compression of seismic signals. It has resulted in good outcome. At usage of a variable digit capacity of representation of prediction residue efficiency of compression is guaranteed more than 20 % (at accuracy restoration  $< 1 \cdot 10^{-6}$ ) and reaches 65 % (at accuracy of restoration  $< 1 \cdot 10^{-5}$ ).

Roughly developing more than ten years wavelet decomposition allows to receive time-frequency multiresolution representation of a signal [4,5,6]. Wavelet is a mathematical construction synthesising two ideas of a signal processing: subband decomposition at the help quadrature mirror filters and pyramid representation. Both ideas are consist in application to a signal a special kind of filters, which one allow to section low frequency and high frequency components of a signal. Usage of a variable digit capacity of wavelet coefficients representation gives guaranteed efficiency of compression in 31 % without loss of restoration accuracy. The increase of value of a threshold up to a level, at which one accuracy of restoration decreases up to  $10^{-3}$ , allows to compress a signal in 5-8 times, thus the main time-frequency features of a signal are saved.

References:

1. Гурвич И.И. Сейсмическая разведка. М.: Недра, 1970.
2. Маркел Д.Д., Грэй А.Х. Линейное предсказание речи - М.: Связь, 1980.
3. Френкс Л. Теория сигналов / Перевод с англ. под ред. Д.Е. Вакмана М.: Советское радио, 1974.
4. Wavelet – системы и их применение в обработке сигналов. В.Ф. Кравченко, В.А. Рвачев //Зарубежная радиоэлектроника, - №4, - 1996.
5. Два курса по вейвлет анализу. Л. Левкович-Маслюк, А. Переберин // Учебная программа 8-й международной конференции по компьютерной графике и визуализации ГрафиКон'98. [http://www.keldysh.ru/gc98/cd/tutorial/Leo\\_lev](http://www.keldysh.ru/gc98/cd/tutorial/Leo_lev)
6. Введение в вейвлеты и вейвлет-преобразования. М. Фомичев – <http://globus.smolensk.ru/user/sgma/mmorhp/n-4-html/1.htm>