

ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЦИФРОВЫХ БАНКОВ ФИЛЬТРОВ В ЦЕЛЯХ СЖАТИЯ СЕЙСМИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ

Витязев В.В., Зайцев А.А.

Рязанская государственная радиотехническая академия

Такое направление ЦОС как цифровые банки фильтров (ЦБФ) принимает все большую значимость как в радио, так и проводных системах связи. Сжатие информации и оптимальное кодирование обнаруживают новые решения, связанные с использованием цифровой частотной селекции сигналов.

Системы субполосного кодирования на основе ЦБФ строятся по следующей схеме:

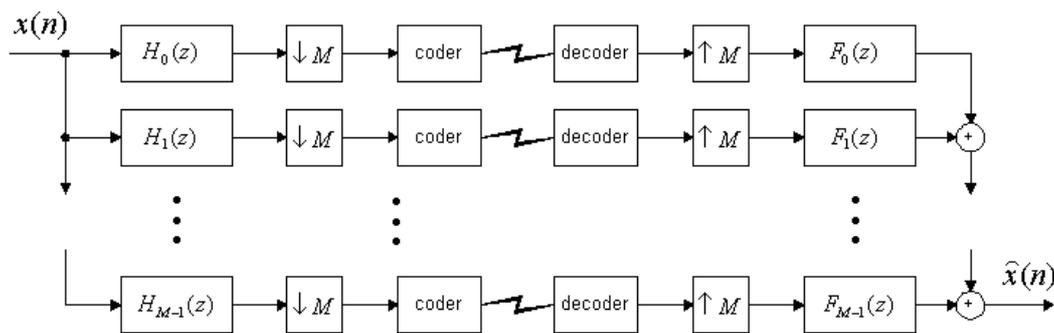


Рис. 1. Система субполосного кодирования

Основной проблемой при построении подобных систем является расчет таких коэффициентов фильтров анализа и синтеза, при которых восстановленный сигнал $\hat{x}(n)$ будет максимально близок к исходному $x(n)$. По степени близости различают банки фильтров с полным восстановлением (БФсПВ) и с «почти» полным восстановлением, то есть позволяющие восстанавливать сигнал с наперед заданной точностью. Проблемы построения БФсПВ были хорошо исследованы в работах П.П. Вайдьянатхана [1-3]. Кратко, алгоритм расчета коэффициентов БФсПВ сводится к структурному синтезу такой полифазной матрицы анализа, которая являлась бы «матрицей без потерь». При таком выборе матрицы в системе отсутствуют все три возможных вида искажений: фазовые, амплитудные и искажения, вызванные наложением (т.н. «элайзинг»), которые в свою очередь обусловлены наличием операций децимации и интерполяции. Данная матрица обычно строится на основе множества матриц плоских вращений и зависит от большого количества параметров. По этим параметрам, являющимся углами плоских вращений, производится оптимизация с целью обеспечения отдельными фильтрами заданных показателей частотной избирательности. При этом целевая функция обычно имеет вид (1)

$$\Phi(\theta) = \sum_{i=0}^{M-1} \left\{ \int_0^{\pi/M-\varepsilon} |H_i(e^{j\omega})|^2 d\omega + \int_{\pi(i+1)/M+\varepsilon}^{\pi} |H_i(e^{j\omega})|^2 d\omega \right\}, \quad (1)$$

где ε - параметр, определяющий ширину переходной зоны каждого фильтра, θ - вектор углов плоских вращений. Как показывает практика, решение данной оптимизационной задачи сопряжено с большими вычислительными затратами, которые при больших M и высокой заданной степени подавления в зоне непрозрачности фильтров приводят к невозможности получить требуемое решение в реальные сроки.

Обойти данную сложность позволяют методики построения ЦБФ на основе косинусного модулирования фильтра-прототипа [4-7]. Косинусно-модулированные ЦБФ не всегда обладают свойствами полного восстановления, однако, оптимизируя коэффициенты фильтра-прототипа, можно добиться требуемой точности. Одним из примеров может служить метод, предложенный в [4], который сводится к решению задачи минимизации целевой функции (2)

$$f = \sum_{\omega \in [0, \pi/2M] \cup [\omega_s, \pi]} B(\omega) |E(\omega)|^2, \quad (2)$$

$$E(\omega) = \begin{cases} \sum_{k=0}^{M-1} \left\{ \left| H \left[\omega + \frac{(2k+1)\pi}{2M} \right] \right|^2 + \left| H \left[\frac{(2k+1)\pi}{2M} - \omega \right] \right|^2 \right\} - 1, & \omega \in \left[0, \frac{\pi}{2M} \right], \\ H(\omega), & \omega \in [0, \pi] \end{cases} \quad (3)$$

где $B(\omega)$ - неотрицательная весовая функция, а ω_s - граница зоны непрозрачности фильтра. Полученный при этом вектор коэффициентов фильтра-прототипа h затем используется для получения фильтров анализа и синтеза:

$$h_k(n) = 2h(n) \cdot \cos \left\{ \frac{(2k+1)\pi}{2M} \left(n - \frac{N-1}{2} \right) + (-1)^k \frac{\pi}{4} \right\}, \quad (4)$$

$$f_k(n) = 2h(n) \cdot \cos \left\{ \frac{(2k+1)\pi}{2M} \left(n - \frac{N-1}{2} \right) - (-1)^k \frac{\pi}{4} \right\}, \quad (5)$$

где $0 \leq k \leq M-1$, $0 \leq n \leq N-1$. Моделирование подтвердило эффективность данного метода при построении ЦБФ с большим числом каналов ($M > 5$) и высокой частотной избирательностью.

При этом ошибка восстановления по модулю не превышала 2^{-16} , что отвечает требованиям обработки сейсмической информации при 16-ти разрядном представлении данных.

Использование ЦБФ, построенных как по методике П.П. Вайдьянатхана, так и с использованием косинусной модуляции фильтра-прототипа, в целях сжатия сейсмического сигнала показало высокую эффективность. В частности, были достигнуты значения коэффициента сжатия равные двум и более без потери точности.

Тем не менее, резервы для увеличения эффективности сжатия на основе субполосного кодирования остаются. Этот вывод основан на том, что равномерное разбиение спектра сигнала на субполосные составляющие в общем случае не является оптимальным. Проблемам построения оптимальных ЦБФ посвящены работы [8,9]. В частности, в них доказывается, что для определенного класса задач (в который входит и сжатие) обработки стационарных в широком смысле сигналов с известной СПМ наилучшим выбором является построение ЦБФ «основных компонент» (*Principal Component Filter Banks*) на основе набора сжимающих фильтров (*Compaction Filters*). В данной методике используются БФСПВ, но каждый фильтр при этом является многополосным, сохраняя суммарную ширину зоны пропускания и не допуская наложения при децимации. Несмотря на то, что сейсмический сигнал отличается своей высокой «нестационарностью» во временной области, спектральный состав различных сейсмограмм примерно одинаков. ЦБФ основных компонент, построенные на основе СПМ, усредненной по множеству сейсмограмм, позволили получить больший эффект сжатия, чем при традиционных ЦБФ с равномерным разделением на каналы. Тем не менее, в этом направлении еще остаются задачи, решение которых может дать значимый эффект.

Другим способом повышения оптимальности разбиения сигнала на субполосные составляющие является использование ЦБФ с неравномерным разбиением [10,11]. В таких ЦБФ ширина полосы пропускания каждого фильтра различна, также как и коэффициент децимации. Несмотря на то, что эта область построения ЦБФ еще слабо изучена, уже существуют работы по построению оптимальных наборов фильтров, аналогичных банкам фильтров основных компонент [12,13]. Есть все основания предполагать, что эти методики позволят значительно увеличить эффективность сжатия субполосного кодирования.

Литература

1. П.П. Вайдьянатхан, Цифровые фильтры, блоки фильтров и полифазные цепи с многочастотной дискретизацией: Методический обзор // ТИИЭР, т.78, №3, март 1990 г.
2. Vaidyanathan, P.P. Theory and design of M-channel maximally decimated quadrature mirror filters with arbitrary M, having perfect reconstruction property// IEEE Trans. on Acoustics, Speech and Signal Processing, vol. ASSP-35, April 1987.
3. Doganata, Z., Vaidyanathan, P.P., and Nguyen, T.Q. General synthesis procedures for FIR lossless transfer matrices, for perfect-reconstruction multirate filter bank applications // IEEE Trans. on Acoustics, Speech and Signal; Proc., vol. ASSP-36, Oct. 1988.
4. Chee-Kiang & Yong-Ching Lim, An Efficient Algorithm for the Design of Weighted Minimax M-channel Cosine -Modulated Filter Banks // IEEE Transactions on Signal Processing, vol-46, № 5, May 1998.
5. P.L. Chu, Quadrature Mirror Filter Design for an Arbitray Number of Equal Bandwidth Channels // IEEE Trans. on Acoustics, Speech and Signal Processing, vol. ASSP-33, February 1985.
6. Yuan-Pei Lin and P. P. Vaidyanathan, Linear phase cosine modulated maximally decimated filter banks with perfect reconstruction // IEEE Trans. Signal Proc., vol. SP-43, Nov. 1995.
7. R.D. Koilpillai and P.P. Vaidyanathan, A Spectral Factorization Approach to Pseudo-QMF Design // IEEE Trans. on Signal Processing, vol. 41, January, 1993.
8. P.P. Vaidyanathan, Theory of optimal orthonormal subband coders // IEEE Trans. on Signal Processing, Volume 46, June 1998.
9. A.Kirac, and P. P. Vaidyanathan Theory and Design of Optimum FIR Compaction Filters // IEEE Trans. Signal Proc., Volume 46, April 1998.
10. K. Nayebi, T.P. Barnwell, and J.T. Spith, Nonuniform filter banks: A reconstruction and design theory // IEEE Trans. Signal Proc., vol. SP-41, March 1993.
11. John Princen, The Design of nonuniform modulated filterbanks // IEEE Trans. Signal Proc., vol. SP-43, Nov. 1995.
12. S. Akkarakaran and P. P. Vaidyanathan, Are nonuniform principal component filter bank optimal? // Proc. EUSIPCO, Tempere, Finland, September 2000
13. S. Akkarakaran and P. P. Vaidyanathan, On Nonuniform Principal Component Filter Banks: Definitions, Existence and Optimality // Proc. SPIE, San Diego, CA, July 2000



OUTLOOKS OF DIGITAL FILTER BANKS USAGE FOR SEISMIC SIGNALS COMPRESSION

Vitjazev V., Zaytsev A.

Ryazan State Radioengineering Academy

The role of digital filter banks (DFB) in modern communication systems grows. Their usage allows to find new paths of problem solving of a signals compression. Subband coding scheme is depicted in a Fig. 1.

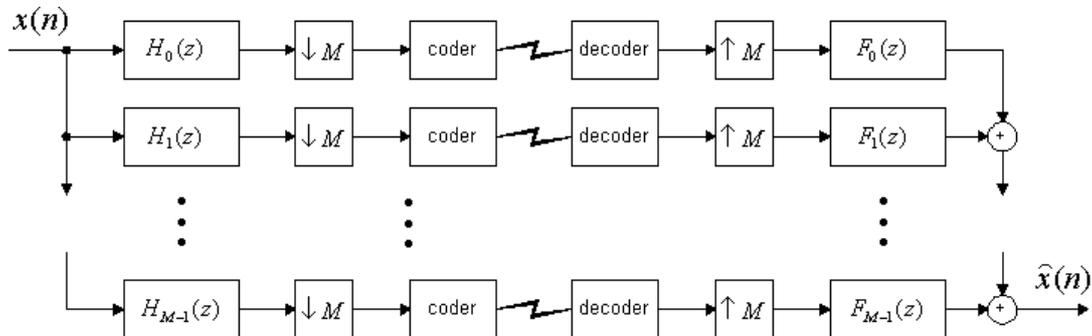


Fig. 1. Subband coding scheme

The main problem at design of such systems is the calculation of filters coefficients. On degree of accuracy of signal recovery DFB are divided on perfect reconstruction filter banks (PRFB) and "near"-PRFB. The activities P.P. Vaidyanathan are devoted to a problem of calculation PRFB [1-3]. He propose the technique of calculation, which founded on lossless matrixes. However, this method results in complicated optimisation procedure. Cosine-modulated filter Banks [4-7] allows bypass the above complexity. In this filter banks all the analysis and synthesis filters can be obtained by modulating the coefficient of one prototype filter. Applying of this methods for constructing subband coders had allowed to achieve compress ratio of 2 and above without less of accuracy. However, there are paths to increasing of effectivity of subband coder. In general case, the uniform split of signal spectrum is not optimal.

The papers [8,9] are devoted to problems of construction optimal DFB. In particular, in them is demonstrated, that for the some class of the signal processing tasks (which one includes also compression) by the best selection is the construction DFB of "principal components" founded on the set of Compaction Filters. Every filter of such filter bank can be multicomponent, but common band width is equal to $1/M$ (1 correspond to Nyquist frequency). In spite of the fact that the seismic signal differs high "nonstationarity" in a time domain, the spectral content of the different seismograms is approximately identical. DFB of principal components founded on the psd, which obtained by average of seismograms set, have allowed to receive the greater effect of compression, than at traditional DFB with uniform division of channels.

The other way to increasing of compression effect is nonuniform filter bank [10,11]. In such DFB the bandwidth of each filter is various, as well as a factor of decimation. This area of DFB construction is still gentle is learnt. However, there are activities on construction of optimum filter banks similar to banks of filters of principal components [12,13]. To our mind, these techniques will allow considerably to increase efficiency of compression in subband coders.

References

1. П.П. Вайдьянатхан, Цифровые фильтры, блоки фильтров и полифазные цепи с многочастотной дискретизацией: Методический обзор // ТИИЭР, т.78, №3, март 1990 г.
2. Vaidyanathan, P.P. Theory and design of M-channel maximally decimated quadrature mirror filters with arbitrary M, having perfect reconstruction property// IEEE Trans. on Acoustics, Speech and Signal Processing, vol. ASSP-35, April 1987.
3. Doganata, Z., Vaidyanathan, P.P., and Nguyen, T.Q. General synthesis procedures for FIR lossless transfer matrices, for perfect-reconstruction multirate filter bank applications // IEEE Trans. on Acoustics, Speech and Signal; Proc., vol. ASSP-36, Oct. 1988.
4. Chee-Kiang & Yong-Ching Lim, An Efficient Algorithm for the Design of Weighted Minimax M-channel Cosine -Modulated Filter Banks // IEEE Transactions on Signal Processing, vol-46, № 5, May 1998.
5. P.L. Chu, Quadrature Mirror Filter Design for an Arbitray Number of Equal Bandwidth Channels // IEEE Trans. on Acoustics, Speech and Signal Processing, vol. ASSP-33, February 1985.
6. Yuan-Pei Lin and P. P. Vaidyanathan, Linear phase cosine modulated maximally decimated filter banks with perfect reconstruction // IEEE Trans. Signal Proc., vol. SP-43, Nov. 1995.
7. R.D. Koilpillai and P.P. Vaidyanathan, A Spectral Factorization Approach to Pseudo-QMF Design // IEEE Trans. on Signal Processing, vol. 41, January, 1993.
8. P. P. Vaidyanathan, Theory of optimal orthonormal subband coders // IEEE Trans. on Signal Processing, Volume 46, June 1998.
9. A.Kirac, and P. P. Vaidyanathan Theory and Design of Optimum FIR Compaction Filters // IEEE Trans. Signal Proc., Volume 46, April 1998.
10. K. Nayebi, T.P. Barnwell, and J.T. Spith, Nonuniform filter banks: A reconstruction and design theory // IEEE Trans. Signal Proc., vol. SP-41, March 1993.
11. John Princen, The Design of nonuniform modulated filterbanks // IEEE Trans. Signal Proc., vol. SP-43, Nov. 1995.
12. S. Akkarakaran and P. P. Vaidyanathan, Are nonuniform principal component filter bank optimal? // Proc. EUSIPCO, Tempere, Finland, September 2000
13. S. Akkarakaran and P. P. Vaidyanathan, On Nonuniform Principal Component Filter Banks: Definitions, Existence and Optimality // Proc. SPIE, San Diego, CA, July 2000