

ОПТИМИЗАЦИЯ СВЕРТОЧНЫХ ОКОН ДЛЯ СПЕКТРАЛЬНОГО АНАЛИЗА СИГНАЛОВ

А.В. Кабанов, В.В. Лукин, О.В. Цымбал

Государственный аэрокосмический университет "ХАИ", каф. 507,
ул. Чкалова 17, 310070, Харьков, Украина

Abstract

Kabanov A., Lukin V., Cimbalo O. A novel family of convolution windows is with integer value weighting factors is proposed. The characteristics of corresponding frequency responses are optimized and analyzed. A methodology of responses parameter improvement in case of restrictions imposed on bit number available for weighting factor representation is described and shown to be efficient for partial examples.

Введение

При решении широкого круга задач анализа свойств сигналов используют их представление в частотной области [1]. В настоящее время чаще используются цифровые анализаторы спектра, которые лишены многих недостатков, свойственных аналоговым средствам, при этом существенно расширяющие возможности спектрального анализа.

Для улучшения характеристик цифровых анализаторов, после аналого-цифрового преобразования сигнал может быть подвергнут предварительной обработке: например, операции взвешивания данных. Качество получаемых спектральных оценок в этом случае определяется свойствами частотного отклика, являющегося Фурье-образом используемого весового окна (ВО). Обычно желательно обеспечить низкий уровень максимального бокового лепестка (УМБЛ), при допустимом расширении главного лепестка (ГЛ).

Однако при цифровой обработке сигналов возникают определенные трудности. Так, достигаемый УМБЛ отклика зависит от эффектов квантования значений ВО, в частности, уменьшение числа разрядов для представления ВО приводит к повышению УМБЛ. Поэтому, целесообразно синтезировать ВО с целочисленными значениями весовых коэффициентов, для которых эффекты квантования значений ВО не оказывали бы дополнительного негативного влияния на параметры отклика.

В данной работе рассмотрены удовлетворяющие вышеописанным требованиям сверточные ВО и соответствующие им отклики при ограниченном числе уровней квантования, а также предложен метод их оптимизации.

Влияние эффектов квантования на характеристики откликов

Существует множество ВО, как оптимальных, так и эвристических [2]. К оптимальным относятся окна Дольфа-Чебышева, обеспечивающие предельно достижимый минимальный УМБЛ при заданной ширине ГЛ (ШГЛ), и окна Кайзера-Бесселя, имеющие максимальное соотношение энергии в ГЛ к общей энергии. Хотя ВО Дольфа-Чебышева имеют ряд существенных недостатков, ограничивающих их применение на практике, характеристики их откликов используются в качестве эталонов для сравнения с характеристиками анализируемых окон. ВО Кайзера-Бесселя по сравнению с ВО Дольфа-Чебышева реализуются проще и при этом также обеспечивают хорошие характеристики отклика, но при квантовании значений окна на ограниченное число уровней УМБЛ отклика может существенно ухудшиться (Табл.1). Поэтому, в условиях наличия ограничений на максимальное количество бит для представления ВО, на практике целесообразным может оказаться использование так называемых сверточных ВО.

Таблица 1

Снижение УМБЛ отклика при уменьшении числа уровней квантования.

Число уровней квантования	УМБЛ, дБ	Число уровней квантования	УМБЛ, дБ
Неквантованное ВО	-60	32	-46.7
256	-59.9	16	-40.2
128	-58.6	8	-32.9
64	-54.1	4	-26.6

Сверточные ВО

Предлагаемые нами ВО представляют собой свертку двух ступенчатых окон. Ступенчатое ВО, имеющее целочисленные значения весовых коэффициентов, с числом элементов (длина) N и количеством ступеней I , описываются в виде:

$$\omega_{ст}(n) = \sum_{i=1}^I a_i \omega_i(n, N_i), \quad n=1 \dots N, \quad (1)$$

где:

$$\omega(n, N_i) = \begin{cases} 1, & \text{if } n = \frac{N - N_i}{2}, N - \frac{N - N_i}{2} + 1, \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases}$$

$\{a_i\}$ - набор амплитудных коэффициентов; N_i - число элементов, формирующих i -ю ступень [3].

В зависимости от конкретных требований свертка двух двухступенчатых ВО позволяет получить величину УМБЛ отклика в диапазоне -35...-52 дБ (Табл.2), а свертка трехступенчатых окон до -58 дБ [4]. На рис.1,а представлен внешний вид ВО, полученной в результате свертки двух 2-ступенчатых окон (п.1 табл. 2), а на рис.1,б соответствующий ему отклик.

Так как в качестве компонент свертки использовались целочисленные ступенчатые ВО, то результирующее окно также имеет целые значения и для $N=100$ их легко уместить в 7-разрядный цифровой код. Однако, при использовании ВО, получаемых на основе свертки трехступенчатых окон или при большем значении N , а также при необходимости представления ВО меньшим ко-

личеством бит следует проводить дополнительную оптимизацию.

Таблица 2

Результаты оптимизации параметров сверточных окон

Амплитуды ступеней a_1, a_2	Соотношение длин ступеней N_2/N_1		УМБЛ, дБ	ОШГЛ*
	1-е окно	2-е окно		
1,1	44/100	66/100	-52.7	1.08
1,2	52/100	68/100	-49.9	1.18
2,1	34/100	52/100	-40.3	1.01
2,3	30/100	54/100	-44.4	1.17

* ОШГЛ - отношение ШГЛ откликов анализируемого сверточного ВО и ВО Дольфа-Чебышева при равных УМБЛ

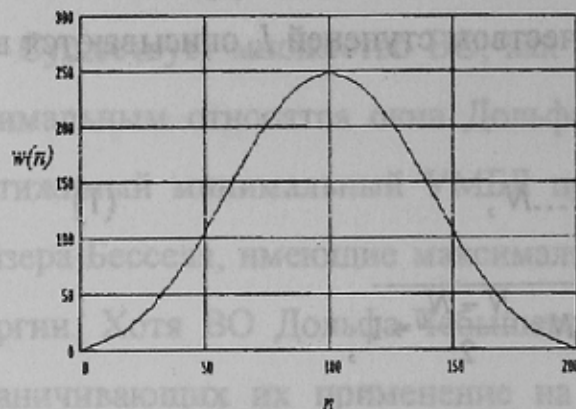


Рис. 1,а

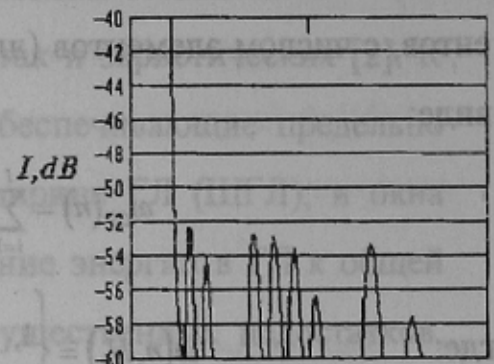


Рис. 1,б

Оптимизация сверточных ВО при ограничениях

При указанных выше ограничениях эффективной оказалась методика фактически основанная на рандомизации значений ВО.

Суть методики заключается в следующем. Сначала необходимо получить большое количество ВО в виде:

$$\omega_{RND}(n) = INT(\omega'(n) \cdot k_{max} + n_{корр}(n)), \quad (2)$$

где: $\omega'(n)$ - нормированное сверточное ВО (максимальный элемент равен единице); $n_{корр}$ - выборка коррелированных случайных чисел; k_{max} - максимальное значение ВО для заданного числа уровней квантования; $INT(...)$ - операция округления.

Для обеспечения симметричности ВО значения $n_{\text{корр}}$ должны удовлетворять требованию $n_{\text{корр}}(n) = n_{\text{корр}}(N-n)$ при $n=0 \dots N$. При генерировании данных ВО использовались реализации коррелированного случайного процесса с равномерным распределением, нулевым средним и дисперсией равной 0.25.

Далее, для каждого ВО из данного множества определяется отклик и находится наилучший из них, УМБЛ которого минимальный. Значения ВО, соответствующие наилучшему отклику, запоминаются и могут быть использованы в дальнейшем для весовой обработки.

Неплохих результатов удастся добиться при домножении $\omega'(n)$ на некоторый, подбираемый экспериментально, коэффициент $k_{\text{опт}}$ так, чтобы максимальное значение ВО не превосходило требуемого k_{max} ($k_{\text{опт}} < k_{\text{max}}$), с последующим округлением значений ВО до целых чисел. Этот метод, по сути, является упрощенной версией предыдущего, но, иногда, результаты его применения оказываются не хуже, а вычислительные затраты значительно меньше.

На рис.2,а изображен отклик сверточного ВО с параметрами п.1, табл.2, полученный с учетом ограничения $k_{\text{max}}=31$. Благодаря использованию предложенной методики удалось снизить УМБЛ отклика при введенных ограничениях (рис.2,б). УМБЛ оказался на 4дБ ниже, чем для квантованного ВО Кайзера-Бесселя (см. табл. 1, число уровней квантования - 32). Более того, для сверточных ВО отклик имеет ШГЛ на 15% меньше, чем для ВО Кайзера-Бесселя, что является дополнительным преимуществом сверточных ВО.

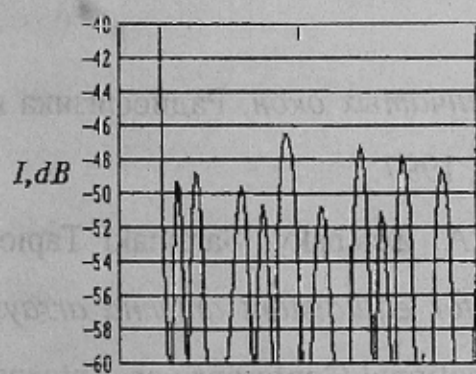


Рис.2,а

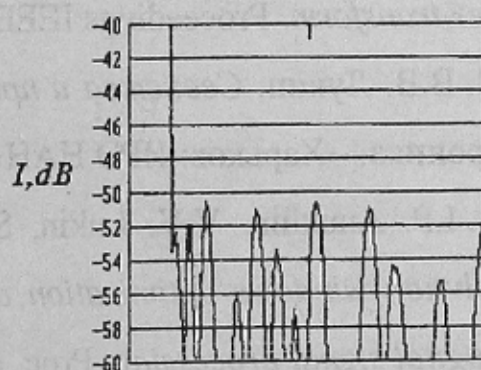


Рис. 2,б

На рис.3,а и рис.3,б представлены отклики полученные в результате оптимизации данного сверточного ВО для $k_{\text{max}}=15$ и $k_{\text{max}}=63$ соответственно.

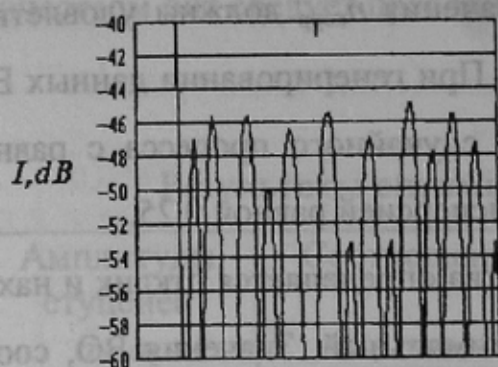


Рис.3,а

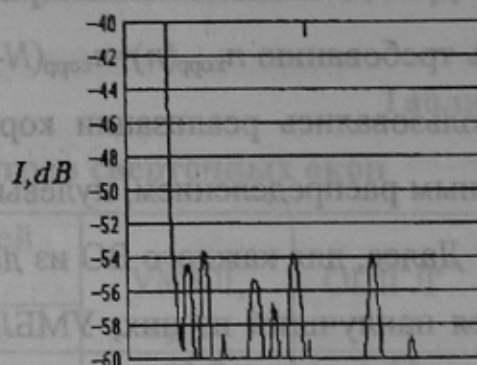


Рис.3,б

Заключение

В работе рассмотрены сверточные ВО, которые хорошо реализуемы в блоках предварительной обработки сигналов цифровых спектроанализаторов для проведения операции взвешивания данных, позволяющей повысить качество получаемых спектральных оценок. Также предложен метод оптимизации сверточных ВО при условии ограничения на количество уровней квантования окна. Результаты оптимизации, представленные в работе, показывают целесообразность использования данной методики для количества уровней квантования $k_{\max}=63$ и менее.

Литература

1. Ж.Макс. *Методы и техника обработки сигналов при физических измерениях*. - Москва.: Мир, 1983.
2. Herris F.J. *On the use of windows for harmonic analysis with the discrete Fourier transform*. Proceedings IEEE. - № 1, 1978.
3. В.В. Лукин. *Свойства и применения ступенчатых окон*. Радиофизика и электроника. - Харьков: ИРЭ НАН Украины. - №2, 1997.
4. I.P. Anukhin, V.V. Lukin, S.N. Kobzev, A.A. Zelensky, Saramaki Tapio. *Convolution windows optimization and application for equidistant antenna arrays wish digital signal processing*. Proc. of the 2nd International Conference on Antenna Theory and Techniques, Kyiv, 1997.