

АНАЛИЗ ВАРИАНТОВ ПОСТРОЕНИЯ МНОГОСТУПЕНЧАТЫХ ЦИФРОВЫХ СИСТЕМ ПРОРЕЖИВАНИЯ

Мингазин А.Т.

РАДИС Лтд

Россия, Москва, Зеленоград, 124460, а/я 20
Тел./факс. (095) 535-02-70, 532-06-63, e-mail: alexmin@orc.ru

Реферат. Рассмотрены многоступенчатые системы прореживания с цифровыми КИХ- и БИХ-фильтрами. Проведен анализ вариантов построения таких систем для конкретных требований с учетом конечной длины слова коэффициентов и внутренних переменных в фильтрах.

1. Введение. Для понижения (прореживания) или повышения (интерполяции) частоты дискретизации в цифровой обработке сигналов широко используются многоступенчатые системы, основными элементами которых являются КИХ- или БИХ-фильтры нижних частот. Сложность фильтров и требование к быстродействию элементной базы для их реализации зависит от варианта построения такой системы, а именно от количества ступеней и значений промежуточных коэффициентов прореживания (интерполяции). Четкие рекомендации по выбору лучшего варианта дать затруднительно [1]. Однако, когда число возможных вариантов не очень велико можно выполнить анализ сложности всех вариантов. В данном сообщении такой анализ проведен для систем прореживания с КИХ- и БИХ-фильтрами для конкретных требований к АЧХ с учетом конечной длины слова коэффициентов и внутренних переменных.

2. Требования к системе прореживания. Коэффициент прореживания $K=16$. АЧХ фильтра нижних частот должна удовлетворять следующим требованиям:

максимальная неравномерность в полосе пропускания $\Delta a_{\max}=0.1\text{дБ}$,
минимальное ослабление в полосе задерживания $a_{\min}=80\text{дБ}$,
граничная частота полосы пропускания $f_1=0.004$,
граничная частота полосы задерживания $f_2=0.0585$.

Указанные частоты нормированы относительно максимальной частоты дискретизации в системе прореживания. Как видим требуется достаточно узкополосный фильтр с коэффициентом прямоугольности ≈ 15 .

Для данного $K=16$ наряду с одноступенчатой структурой можно получить 7 вариантов многоступенчатых структур с $K=4 \times 4$, 8×2 , 2×8 , $2 \times 4 \times 2$, $4 \times 2 \times 2$, $2 \times 2 \times 4$, и $2 \times 2 \times 2 \times 2$. Например, вариант с $K=8 \times 2$ означает двухступенчатую структуру с промежуточными коэффициентами прореживания 8 и 2 и частотами дискретизации 1, 1/8 и 1/16. Требования к АЧХ фильтров на каждой ступени определяются согласно методике [1].

3. Программы для расчета фильтров. Для расчета КИХ-фильтров прямой формы применим программу из [2], включив в нее процедуру округления коэффициентов. Минимальная длина слова коэффициентов устанавливается путем итераций, начиная с некоторого заведомо малого значения длины.

Для расчета каскадных БИХ-фильтров используем программу DIFID [3] в режиме минимизации длины слова коэффициентов и отношения (шум округления)/сигнал при следующих установках: аналоговый прототип – фильтр Золотарева-Кауэра, форма звеньев – прямая, норма для масштабирования - L_{∞} , масштабные множители вводятся путем изменения коэффициентов числителей передаточных функции звеньев.

Для промежуточных коэффициентов прореживания равных 2 с помощью этих программ можно рассчитать полуполосные КИХ- и БИХ-фильтры, часть коэффициентов которых равна нулю. Воспользуемся этой возможностью для варианта $2 \times 2 \times 2 \times 2$.

4. Результаты. В таблице представлены требования к АЧХ для всех вариантов многоступенчатых систем прореживания и полученные значения параметров фильтров.

Таблица

Вариант	Ступень	Δa_{\max} , дБ	f_1	f_2	КИХ-фильтры		БИХ-фильтры		
					N	M	N	M	Δ
16	1	0.1	0.004	0.0585	69	19	4	10	7
4×4	1	0.05	0.004	0.246	12	15	3	7	5
	2	0.05	0.016	0.234	17	16	4	6	4
8×2	1	0.05	0.004	0.121	26	18	3	10	6
	2	0.05	0.032	0.468	6	9	3	4	1
2×8	1	0.05	0.004	0.496	3	3	2	3	1
	2	0.05	0.008	0.117	35	19	4	9	5
4×2×2	1	0.0167	0.004	0.246	12	15	3	7	5
	2	0.0167	0.016	0.484	5	13	2	7	2
	3	0.0167	0.032	0.468	6	9	3	5	1
2×4×2	1	0.0167	0.004	0.496	3	3	2	3	1
	2	0.0167	0.008	0.242	16	16	3	7	5
	3	0.0167	0.032	0.468	6	9	3	5	1
2×2×4	1	0.0167	0.004	0.496	3	3	2	3	1
	2	0.0167	0.008	0.492	3	3	2	4	1
	3	0.0167	0.016	0.234	17	17	4	7	4
2×2×2×2	1	0.0125	0.004	0.496	3(6)	3(5)	2(3)	3(2)	1(1)
	2	0.0125	0.008	0.492	3(6)	3(5)	2(3)	4(2)	1(1)
	3	0.0125	0.016	0.484	5(6)	11(5)	2(3)	7(8)	2(1)
	4	0.0125	0.032	0.468	6(6)	9(10)	3(4)	5(5)	1(1)

Здесь N – порядок фильтра, M – длина слова дробной части двоичных коэффициентов с фиксированной точкой, Δ – дополнительная длина слова необходимая для компенсации усиления шума округления в БИХ-структуре. Частоты f_1 и f_2 нормированы относительно частоты дискретизации на данной ступени прореживания. Для всех фильтров на любой ступени $a_{\min} = 80$ дБ. В скобках указаны значения N, M и Δ для полуполосных фильтров.

5. Выводы. Анализ данных в таблице позволяет сделать следующие выводы. Минимальный суммарный порядок фильтров для КИХ-структур соответствует варианту $2 \times 2 \times 2 \times 2$, а для БИХ-структур – варианту 16. Значения длины слова коэффициентов для КИХ-больше, чем для БИХ-структур. Наименьшие значения дают трех- и четырехступенчатые БИХ-структуры. Вариант $2 \times 2 \times 2 \times 2$ (полуполосный случай) обладает лучшими шумовыми свойствами (малые Δ), чем другие. Однако ему соответствует максимальный суммарный порядок из всех вариантов с БИХ-структурами. Дальнейший анализ построения системы прореживания необходимо проводить с учетом дополнительных требований к проекту, особенностей реализации и используемой элементной базы. Для исполнения на основе заказных или полузаказных СБИС по-видимому более пригодны варианты $2 \times 2 \times 4$ и $2 \times 2 \times 2 \times 2$ с БИХ-фильтрами и $2 \times 2 \times 2 \times 2$ с КИХ-фильтрами.

Литература

1. Крошьер Р.Е., Рабинер Л.Р. Интерполяция и децимация цифровых сигналов: Методический обзор. // ТИИЭР. 1981. Т.69. –С. 14-49.
2. Рабинер Л., Гоулд Б. Теория и применение цифровой обработки сигналов. // М.: Мир. 1978.-848 с.
3. Мингазин А.Т. Программа DIFID: эффективный синтез каскадных цифровых БИХ-фильтров. //4-я международная конференция 'Цифровая обработка сигналов и ее применение'. 2002. Т.1. -С. 90-93.