

Предисловие

Многоскоростная обработка (multirate processing) сигналов предполагает, что в процессе линейного преобразования цифровых сигналов возможно изменение частоты дискретизации в сторону уменьшения или увеличения и, как следствие, требуемой скорости обработки. Это приводит к более эффективной обработке сигналов, так как открывается возможность значительного уменьшения требуемой вычислительной производительности проектируемой цифровой системы.

Многоскоростная фильтрация и особенности ее применения стали предметом исследований многочисленных научных работ по цифровой обработке сигналов (ЦОС). Появились десятки монографий и учебных пособий, так или иначе связанных с научными и практическими достижениями в этой области [1–7]. Совершенно уникальные возможности дает использование многоскоростной обработки в системах адаптивной и нелинейной фильтрации, сжатия, анализа и восстановления речи, звука и изображений.

Считается, что исторически первыми работами по многоскоростной обработке сигналов (МОС) являются исследования американских ученых А. Крука, Ж. Крэйга [8], посвященные построению структур цифровых фильтров для уменьшения частоты дискретизации, и Р. Шафера, Л. Рабинера [9], Г. Оуткина, Т. Паркса [10] по применению линейных цифровых фильтров к интерполяции сигналов. В то время как полиномиальная интерполяция недостающих данных оставалась классической проблемой численного анализа, новый подход вызвал повышенный интерес у специалистов в области ЦОС. Однако точкой отсчета следует считать 1974 г., когда появилась статья французских ученых М. Белланже, Ж. Догета, Г. Лепанола «Интерполяция, экстраполяция и уменьшение скорости вычислений в цифровых фильтрах» [11]. Год спустя выходит серия работ американских специалистов Л. Рабинера, Р. Крошье [12, 13], Р. Шивели [14], в которых рассматривается оптимизация многоскоростных структур узкополосных КИХ-фильтров по критерию минимизации общего числа умножений и ячеек памяти данных. Дальнейшие исследования этих авторов были продолжены в работах [15, 16]. В [17] впервые была предложена полифазная форма фильтра-дециматора и фильтра-интерполятора, позволяющая эффективно использовать простые математические модели

односкоростных систем обработки сигналов для описания и программной реализации многоскоростных систем.

Начиная с 1975 г., проводятся активные исследования по многоскоростной фильтрации и в СССР. Хотя, если судить по работам отдельных российских ученых, вопросами ЦОС в СССР стали заниматься, по крайней мере, с середины 60-х годов прошлого столетия. В связи с этим хотелось бы выделить работы сотрудников Рязанского радиотехнического института (РРТИ). В частности, еще в 1969 г. Демашов В.С. защитил кандидатскую диссертацию по теме: «Многоступенчатые нисходящие и восходящие системы цифровой фильтрации». Речь шла о синтезе цифровых преобразующих и сглаживающих фильтров применительно к системам управления.

Впервые была показана эффективность использования вторичной дискретизации и последующей интерполяции при построении цифровых сглаживающих и преобразующих систем. Предполагалось, что многоступенчатая последовательность нисходящих цифровых фильтров решает задачу сглаживания шума, а преобразующий фильтр, эффективно работающий на пониженной частоте дискретизации, практически без влияния сглаженного шума, выполняет основную преобразующую функцию, связанную с минимизацией динамической ошибки управления. Поэтому не случайно, что именно в РРТИ получила дальнейшее развитие МОС применительно не только к обработке информации в системах автоматического управления, но и к системам цифровой частотной селекции сигналов и спектральному анализу. В период с 1975 по 1985 гг. только в центральной периодической печати было опубликовано по этому направлению несколько десятков статей. Большинство работ были переведены на английский язык и опубликованы в США, в частности, в журналах «Telecommunications and Radio Engineering» и «Radioelectronics and communications systems». Результаты проведенных исследований систематизированы в монографии «Цифровая частотная селекция сигналов» [2], в которой были изложены основы оптимального синтеза многоступенчатых и пирамидальных структур цифровых полосовых фильтров и их наборов с использованием эффектов прореживания по времени и по частоте.

Предлагаемая вниманию читателей монография открывает серию книг, посвященных разработке методов и применению МОС. В настоящей монографии рассматривается эволюция теории

и технологий многоскоростной обработки сигналов в период с начала 70-х годов прошлого столетия до наших дней с позиции вклада, который внесли в эту теорию и практику работы российских ученых и специалистов в области цифровой обработки сигналов. Предлагается ретроспективный взгляд на работы зарубежных и российских ученых, в которых были впервые предложены некоторые базовые методы и алгоритмы многоскоростной обработки. В основе описания методов и технологий МОС лежат материалы исследований и разработок, систематизированные автором в монографии [2], дополненные новыми результатами и многочисленными примерами оптимизации структур фильтров с использованием среды MATLAB.

Монография включает пять глав, в которых последовательно рассматриваются основные понятия и положения теории МОС, методы и алгоритмы многоскоростной узкополосной фильтрации на основе децимации и интерполяции преобразуемых сигналов и импульсной характеристики фильтра, основы теории построения банков цифровых фильтров-демодуляторов и полосовых фильтров на основе эффектов прореживания по времени и по частоте.

Дальнейшие планы по изданию серии книг связаны с вопросами оптимального проектирования многоступенчатых структур узкополосных фильтров и банков фильтров на цифровых сигнальных процессорах, а также их применение при решении задач адаптивной эхо-компенсации, борьбы с замираниями и межсимвольной интерференцией, повышения спектральной и энергетической эффективности систем передачи информации, адаптивного синтеза апертуры антенны и радиовидения.

Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда в Рязанском государственном радиотехническом университете (грант № 14-19-01263).