

ПРОБЛЕМЫ СИНТЕЗА СОГЛАСОВАННОГО АНАЛОГОВОГО ВЕЙВЛЕТ ФИЛЬТРА

SYNTHESIS PROBLEM CONSISTENT WAV ELET ANALOG FILTER

*O. Germanovich
I. Katsan*

Annotation

Widely used systems based on wavelet signals. To filter these signals using digital filters. However, when processing signals with duration of 1 ns digital processing of these signals can not be effected. For optimum processing of the primary signal in such a case it is proposed to use a selective parametric filters. The paper discusses the issues of practical implementation of such filters.

Keywords: GPR, optimal filtering, the wavelet, reflected signal, near zone, a parametric filter.

Германович Олег Пантелеймонович

*Д.т.н., профессор, Национальный
минерально-сырьевой университет "Горный"*

Кацан Игорь Фёдорович

*К.т.н., доцент, Национальный
минерально-сырьевой университет "Горный"*

Аннотация

Широкое применение получили системы, основанные на использовании вейвлет сигналов. Для фильтрации таких сигналов используются цифровые фильтры. Однако при обработке сигналов длительностью порядка 1 нс цифровая обработка таких сигналов не может быть осуществлена. Для первичной оптимальной обработки сигнала в таком случае предлагается использовать параметрические избирательные фильтры. В работе рассмотрены вопросы практической реализации таких фильтров.

Ключевые слова:

Георадар, оптимальная фильтрация, вейвлет, отраженный сигнал, ближняя зона, параметрический фильтр.

Непрерывный рост требований к радиотехническим системам передачи и обработки информации, расширение области их применения неизбежно приводит к необходимости использования сложных сигналов, отличных от традиционных гармонических или импульсных колебаний. При этом естественно возникает задача создания избирательных фильтров, обеспечивающих эффективное разделение таких сигналов.

Широкое применение получили системы, основанные на использовании вейвлет сигналов. Для фильтрации таких сигналов используются цифровые фильтры. Однако при обработке сигналов длительностью порядка 1 нс прямая цифровая обработка таких сигналов не может быть осуществлена. Для решения задачи обработки таких сигналов применяется масштабно-временной (стробоскопический) преобразователь. При таком решении не возможна первичная оптимальная обработка принимаемого сигнала и, соответственно, становятся не достижимыми потенциально возможные технические характеристики устройства.

В обычных (узкополосных) системах, использующих сигналы с базой B (B – произведение ширины полосы частот на длительность сигнала), близкой к единице или, во всяком случае, мало отличающейся от базы сообщения, то есть

$$B = F \cdot T \approx F_c \cdot T_c \approx 1,$$

где

F и T – соответственно ширина спектра и длительность сигнала;

F_c и T_c – ширина спектра и длительность сообщения.

В широкополосных системах используются сигналы, для которых $B \gg 1$ эффективная селекция сигналов с большой базой B , то есть сигналов, имеющих и относительно широкую полосу и большую скорость передачи информации, может быть успешно осуществлена только на основе такого современного метода фильтрации – каким является разделение по форме или иначе – ортогональное разделение сигналов [1, 2].

Селекция сигналов по форме может быть реализована на основе использования цифровых фильтров или параметрических аналоговых избирательных фильтров (ПАИФ), а в СВЧ диапазоне частот, – как правило, – на основе ПАИФ, которые реализуются, к примеру, с помощью линейных параметрических колебательных систем с распределенными параметрами (ЛПКС с РП) [1].

Быстроразвивающейся и перспективной областью современной радиотехники, в которой несомненно должны найти свое применение ЛПКС с РП, является радио-

видение и интроскопия (радиолокационное поверхностное зондирование). В настоящее время ряд зарубежных фирм уже серийно выпускают РЛС для поверхностного зондирования (георадары). Хотя современные георадары обладают сравнительно небольшой глубиной зондирования (до 10 – 15 метров), интерес к ним велик и объясняется обширным и важным кругом задач, которые могут быть разрешены с их помощью.

Достаточно указать такие, решаемые с помощью георадаров задачи, как

- ◆ поиск песчано-гравийных отложений и определение положения в них уровня грунтовых вод;
- ◆ определение мощности сезонного промерзания и оттаивания рыхлых отложений, оконтуривание участков многолетнемерзлых и растепленных пород;
- ◆ разведка и определение запасов торфяных и сапропелевых отложений;
- ◆ определение местоположения и состояния подземных коммуникаций;
- ◆ контроль влажности материалов грунтов в естественном состоянии;
- ◆ определение, обнаружение степени загрязнения и границ распространения засоления грунтов и нефтепродуктов в грунтах различного типа;
- ◆ обследование состояния мелиоративных, дренажных и других систем, находящихся под землей;
- ◆ экспресс анализ структуры и состояния почв на большой территории без взятия проб и их лабораторного анализа.

Помимо применения РЛС для целей поверхностного зондирования интенсивное развитие и совершенствование современных РЛС связано также с общей тенденцией повышения точности и разрешающей способности в интересах получения некоординатной информации, а именно: габаритных размеров, ориентации и состояния объектов вплоть до построения трехмерных изображений их (радиовидение). РЛС предназначенные для решения указанных задач используют сверхширокополосные сигналы (СШП).

Независимо от конкретного применения перед упомянутыми РЛС ставится задача определения радиолокационных характеристик (РЛХ) объекта как оператора рассеяния, отражающих связь параметров падающей на объект и отраженной волн. РЛХ объекта – это совокупность всех характеристик и параметров, описывающих связь между облучающей и отраженной волнами. Обычно сверхширокополосные РЛ характеристики представляют собой отклики объекта на типовые, тестовые воздействия – зондирующие поля. Наиболее распространены тестовые (зондирующие) поля с временной структурой, такие как НААР-вейвлет, FHAT-вейвлет, Wave вейвлет,

MHAT-вейвлет, вейвлет Морле. Семейство откликов, получаемое при использовании таких воздействий, называют семейством импульсных характеристик. Импульсную характеристику можно использовать для определения формы объекта, в интересах его распознавания или построения его радиоизображения.

Оставляя в стороне многочисленные проблемы практической реализации РЛС с СШП сигналами, остановимся на одной из них, связанной с использованием ЛПКС с РП СВЧ диапазона, а именно: проблеме построения селективных усилителей приемного устройства СШП РЛС с учетом работы таких устройств в ближней зоне.

Назначение приемного устройства РЛС с СШП сигналами состоит в приеме, усилении и регистрации изменения во времени сигнала рассеянного объектом. Поскольку сигнал-отклик на зондирующий импульс даже от простейших, эталонных объектов является достаточно сложным по форме, постольку приемное устройство помимо линейного широкополосного усилителя СВЧ диапазона должно иметь в своем составе, по меньшей мере, соответствующий квазиоптимальный согласованный фильтр СВЧ диапазона. Такой фильтр может быть организован на базе ЛПКС с РП, что является наилучшей аппаратурной реализацией управляемого квазиоптимального согласованного фильтра СВЧ диапазона. Однако в настоящее время преобладает тенденция осуществлять обработку радиосигналов только средствами вычислительной техники, что может быть реализовано лишь в мегагерцовом диапазоне частот. Поскольку СШП сигнал-отклик на зондирующий импульс расположен в диапазоне частот, достигающем нескольких гигагерц, то для обработки сигнала средствами вычислительной техники приходится при приеме СШП сигналов применять устройства масштабно-временного преобразования сигналов с коэффициентом преобразования $q = 10^2 \div 10^3$, что неминуемо приводит, по меньшей мере, к существенному увеличению времени анализа РЛХ.

Итак, еще раз подчеркнем, что существующая, традиционная структурная реализация георадаров предусматривает только вторичную оптимальную обработку сигнала, что достижимо только на мегагерцовом уровне. Вместе с тем, несомненное улучшение характеристик георадаров может быть достигнуто в том случае, если осуществить первичную квазиоптимальную согласованную селекцию сигнала на СВЧ уровне, то есть в гигагерцовом диапазоне частот. Поскольку в этом диапазоне частот квазиоптимальную фильтрацию алгоритмическими, цифровыми методами осуществить не удастся, то единственным способом здесь является аппаратная реализация квазиоптимальной фильтрации сигнала. Решение этой задачи существенно усложняется тем, что сигнал является сверхширокополосным. В настоящее время, на

наш взгляд, путь решения этой задачи существует и состоит в применении параметрических избирательных фильтров СВЧ диапазона. Такие устройства позволяют не только осуществлять фильтрацию заданного сложного по форме сигнала, но также позволяют легко и просто перестраивать устройство, адаптируя его под тот или иной сверхширокополосный сигнал, позволяют реализовать различные квазиоптимальные процедуры обработки сложного сигнала.

Итак, подведем итог.

Линейные параметрические колебательные системы с распределенными параметрами по сравнению с другими аппаратными методами и средствами наилучшим образом приспособлены для решения задач селекции сигналов сложной формы в СВЧ диапазоне, поскольку они:

- ◆ позволяют осуществлять оптимальную согласованную селекцию сигналов сложной формы на частотах порядка единиц гигагерц и более, то есть на входе приемных устройств;

- ◆ допускают быстрое синтезирование их для достижения эффективной селекции конкретных сигналов-откликов на зондирующий импульс от эталонных объектов;

- ◆ допускают простое и эффективное управление параметрами с целью их перестройки и адаптации под заданный селектируемый сигнал.

По совокупности возможностей ЛПКС с РП СВЧ диапазона составляют, на наш взгляд, серьезную конкуренцию в СВЧ диапазоне методам, использующим цифровые фильтры в устройствах селекции сложных по форме сигналов, представляют оптимальное решение задач селекции сигналов сложной формы в приемных устройствах СШП РЛС радиовидения и интроскопии. Однако до настоящего времени, несмотря на, казалось бы, многочисленные достоинства, ЛПКС с РП не нашли еще широкого применения на практике. Причиной тому, на наш взгляд, являются, с одной стороны, определенные трудности практической реализации ЛПКС с РП, и, с другой стороны, существенные пробелы в теории их, которые своим происхождением были обязаны отсутствию содержательной теории математических моделей таких устройств.

ЛИТЕРАТУРА

1. Германович, О.П. Линейные периодические разностные и дифференциально-разностные уравнения нейтрального типа и их приложения /О.П. Германович, И.Ф. Кацан. – СПб.: Изд-во СЗТУ, 2007.– 269с.
2. Тихонов А.Н. Методы решения некорректных задач /А.Н. Тихонов, В.Я. Арсенин.– М.: Главная редакция физико-математической литературы, 1979.– 285с.

© О.П. Германович, И.Ф. Кацан, (ikatsan@hotmail.com), Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»,

