

УДК 681.5.015.75

ОБРАБОТКА ИНФОРМАЦИИ В СВЕРХШИРОКОПОЛОСНЫХ СИСТЕМАХ

С.Л. Чернышев

Московский государственный технический университет им. Н.Э.Баумана
Россия, 105005, Москва, 2-я Бауманская ул., 5
E-mail: chernshv@bmsu.ru

А.Р. Виленский

Московский государственный технический университет им. Н.Э.Баумана
Россия, 105005, Москва, 2-я Бауманская ул., 5
E-mail: temaforyou@yandex.ru

Ключевые слова: сверхширокая полоса частот, обработка информации, фильтры, неоднородные структуры.

Аннотация: Рассмотрена информативность сверхширокополосных систем. Показано, что в этих системах удельный расход полосы частот превышает удельный расход мощности сигнала. В случае, если аналого-цифровое преобразование невозможно, нужно применять распределенные неоднородные структуры. Их синтезируют по разработанным алгоритмам, позволяющим определить внутренние параметры неоднородных ступенчатых фильтров, обеспечивающих корреляционную обработку. Синтезированные фильтры применяются или в режиме отражения или в проходимом режиме в виде параллельных парных соединений. Приведены примеры таких структур.

1. Введение

Узкая полоса частот традиционных систем передачи и извлечения информации ограничивает их информативность. Для повышения информационных возможностей систем необходимо расширять полосу частот и поэтому одним из путей дальнейшего развития является переход к сигналам со сверхширокой (СШП) полосой частот. По определению управления перспективного планирования оборонных научно - исследовательских работ США (DARPA), системы относятся к классу сверхширокополосных, если их относительная полоса частот $\Delta f / f_0 > 0,5$. Известен стандарт IEEE 802.15.4a

(Ultra Wideband, UWB), согласно которому технология передачи и обработки информации основана на передаче множества закодированных импульсов негармонической формы очень малой мощности (0,05 мВт) и малой длительности в широком диапазоне частот (от 3,1 до 10,6 ГГц) со скоростью от 400 до 500 Мбит/сек. Выпущены соответствующие правительственные распоряжения [1,2]. При создании таких систем возникают проблемы как с генерацией, передачей, так и с обработкой информации в силу сверхширокой полосы частот. Настоящая статья посвящена возможностям обработки информации в таких системах.

2. Информативность сверхширокополосных систем

Формула Шеннона, связывает пропускную способность канала передачи или извлечения информации с параметрами сигнала и шума:

$$(1) \quad C = \Delta f \log_2 \left(1 + \frac{P_c}{\Delta f \cdot N_0} \right), \text{ [бит/с]},$$

где P_c – мощность сигнала, N_0 – спектральная мощность белого шума, действующего в канале. Как видно из формулы (1), в нее входит не относительная, а абсолютная полоса частот сигнала Δf .

С расширением полосы частот сигнала Δf пропускная способность C растет. Однако из-за наличия шума она не растет до бесконечности, достигая предельного значения:

$$\lim_{\Delta f \rightarrow \infty} C = 1,44 \frac{P_c}{N_0}, \text{ [бит/с]}.$$

Для характеристики систем иногда используют такие характеристики, как удельный расход полосы частот сигнала на единицу пропускной способности $F = \Delta f / C$ и удельный расход мощности сигнала на единицу пропускной способности при заданном уровне спектральной плотности шума $E = \frac{P_c}{N_0 C}$. Эти характеристики связаны между собой, так как из (1) нетрудно получить следующее выражение:

$$E = F(2^{1/F} - 1),$$

Из которого видно, что при фиксированной пропускной способности расширение полосы частот ведет к уменьшению удельного расхода мощности сигнала:

$$\lim_{\Delta f \rightarrow \infty} E = \ln 2 \approx 0,693$$

Зависимость E от F приведена на рис. 1.

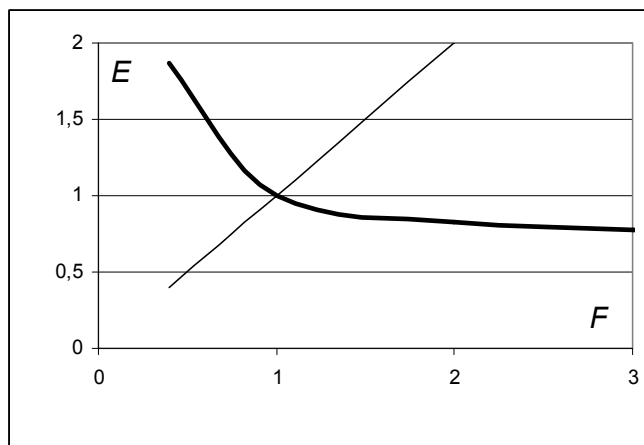


Рис. 1. Зависимость удельного расхода мощности сигнала от удельного расхода полосы частот.

Прямая линия на этом рисунке отделяет верхнюю область, где $E > F$, от нижней, где $E < F$. Точка пересечения этой прямой с графиком соответствует $E = 1, F = 1$, а эти значения соответствуют $C = \Delta f$. Таким образом, данная прямая является границей двух принципиально различных областей. К нижней области относятся такие системы, у которых для обеспечения необходимой пропускной способности расходуется больше полосы частот, нежели мощности сигнала. Они являются высокоинформативными и могут работать «под шумами», обладая способностью передачи или извлечения информации при меньшем удельном расходе мощности сигнала для заданного уровня

шума по сравнению с удельным расходом полосы частот ($F > E$). При этом $\Delta f > P_c/N_0$.

Предельно достижимые характеристики СШП систем делают их привлекательными для многих областей применения: передачи данных, распознавания объектов, радиолокации др. Одной из основных сложностей создания таких систем является невозможность прямой цифровой обработки информации в случае больших полос пропускания, примерно более 3 ГГц. Одним из способов обойти эту сложность является применение стробоскопического преобразования сигналов с «растяжением» оси времени [3]. Однако обработка информации в реальном масштабе времени возможна только с применением структур, обладающих неоднородными свойствами, что будет рассмотрено ниже.

3. Обработка информации на отражательных структурах

СШП сигнал, несущий информацию, имеет длительность от нескольких пикосекунд до нескольких наносекунд. Корреляционная обработка таких сигналов проводится на неоднородных структурах, в которых осуществляется сжатие. Они представляют собой чередующиеся неоднородности с разными волновыми свойствами. Между ними создаются переотражения, и такая структура может рассматриваться, как дискретная система с многочисленными обратными связями. Анализ этой системы позволил вывести математическую модель ступенчатой структуры в виде рекуррентных уравнений [4]:

$$b_i(z) = a_i(z)S_i + b_{i+1}(z)\sqrt{(1 - S_i^2)}/z,$$

$$a_{i+1}(z) = [a_i(z)\sqrt{(1 - S_i^2)} - S_i y_i(z)]/z,$$

где $a_i(k)$ и $b_i(k)$ – падающие и отраженные волны на входе i -й ступени, S_i – коэффициент отражения от нее, z – параметр Z-преобразования. На основе этих уравнений разработан алгоритм синтеза отражательных структур, позволяющий находить их внутренние параметры для обработки падающих СШП сигналов [4], в частности, их корреляционную обработку. На рис. 2 показан пример параметров синтезированного фильтра для обработки информации в СШП системе. Видно, что найденные коэффициенты отражения S_i изменяются ступенчато, формируя облик фильтра, обеспечивающего сжатие сигнала. Применение таких фильтров позволяет извлекать информацию, которую несет СШП сигнал [5].

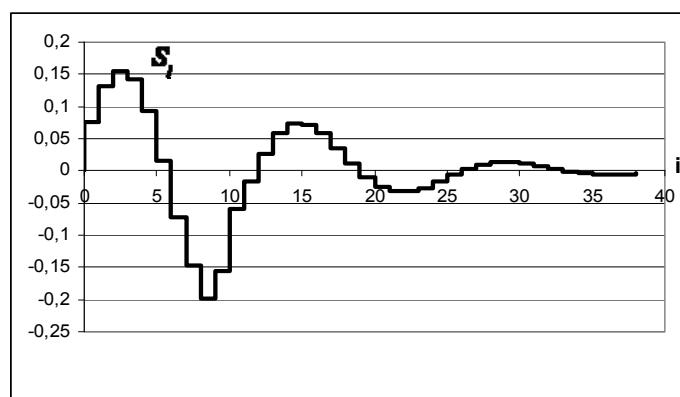


Рис. 2. Зависимость коэффициента отражения ступенчатой структуры фильтра обработки СШП сигнала от номера неоднородности.

4. Обработка информации на проходных структурах.

Применение отражательных структур требует разделения падающей и отраженной волны, что в СШП системах вызывает определенные сложности. С этой точки зрения проходные структуры выглядят предпочтительнее. Алгоритма синтеза проходных фильтров, с зависимостями, подобными рис. 2, не существует, поэтому в проходных структурах можно использовать отражательные фильтры, включенные параллельно. В таких структурах фильтры могут быть подключены либо одиночно, либо парно. На рис. 3 схематично показано подключение параллельных парных фильтров.

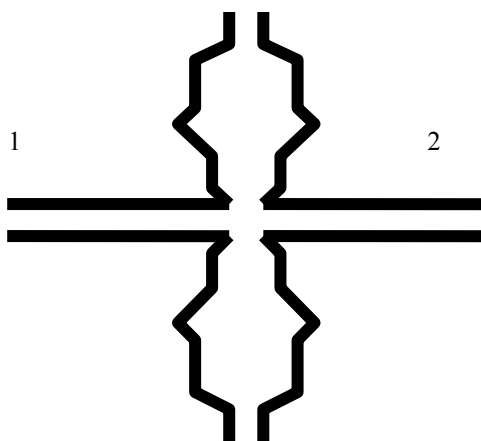


Рис. 3. Парное соединение фильтров.

В общем случае коэффициент передачи такого фильтра в частотной области рассчитывается [6] по формуле

$$S_{21}(\omega) = \frac{(1+S_3(\omega))(1+S_4(\omega))}{2+S_3(\omega)+S_4(\omega)},$$

где $S_3(\omega)$ и $S_4(\omega)$ – коэффициенты отражения от входов боковых фильтров. Если же структура симметрична, то есть $S_3(\omega) = S_4(\omega)$, удастся найти импульсную характеристику структуры на проход:

$$g_{21}(t) = \frac{g(t)+\delta(t)}{2},$$

где $g(t)$ – отражательная импульсная характеристика боковых фильтров, $\delta(t)$ - дельта-функция. Боковые фильтры в данном случае синтезируют по алгоритму, упомянутому выше, для заданной импульсной характеристики $g(t)$, необходимой для обработки СШП сигнала. При корреляционной обработке на выходе этих фильтров действует полусумма корреляционной функции и входного сигнала. Появление корреляционной функции позволяет судить о наличии необходимой информации в принятом сигнале.

5. Заключение

В сверхширокополосных системах пропускная способность обеспечивается при удельном расходе полосы частот, превышающем удельный расход мощности сигнала. Обработка информации в сверхширокополосных системах сопряжена с трудностями, связанными с величиной полосы пропускания, при которой аналого-цифровое преобразование невозможно. Для этой цели можно применять распределенные неоднородные

структуры. Они представляют собой отражательные или проходные структуры, которые синтезируются по разработанным алгоритмам, позволяющим определить внутренние параметры неоднородных ступенчатых фильтров, обеспечивающих корреляционную обработку.

Список литературы

1. Решение ГКРЧ № 09-05-02 от 15 декабря 2009.
2. Решение Федеральной комиссии по связи (FCC) США № FCC 02-48 от 14.02.2002.
3. Глебович Г.В., Андриянов А.В., Введенский Ю.В., Ковалев И.П., Крылов В.В., Рябинин Ю.А. Исследование объектов с помощью пикосекундных импульсов. М.: Радио и связь, 1984. 254 с.
4. Chernyshev S.L. Analysis and Synthesis of UWB Filters and Shapers in Time Domain // 2013 IEEE International Conference on Microwave Technology & Computational Electromagnetics. Proceedings. 6812452. Qingdao, China. 2013. P. 127-130.
5. Chernyshev S.L. Algorithm of restore shape of the object from the reflected UWB signal // 2017 Second Russia and Pacific Conference on Computer Technology and Applications (RPC).
6. Чернышев С.Л. Применение парных параллельных фильтров для обработки сверхширокополосных сигналов // Наука и образование. 2015. № 10. С. 331-339. DOI: 10.7463/1015.0818672.