

С.Т. Черепков¹, В.В. Юсов², С.Н. Шевкун², Е.С. Козелкова¹

¹Центральный научно-исследовательский институт навигации и управления, Киев

²Центральное управление метрологии и стандартизации, Киев

АНАЛИЗ МОДЕЛИ ШУМОПОДОБНЫХ ЗОНДИРУЮЩИХ ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННЫХ СИГНАЛОВ

В статье рассматриваются вопросы построения моделей шумоподобных зондирующих пространственно-временных сигналов измерительных радиосистем. Проанализирована возможность наиболее полного отражения реальных условий работы, более полного учета и реализации ее возможностей

Ключевые слова: измерительная радиосистема, шумоподобный зондирующий сигнал, пространственно-временная обработка сигналов, диаграмма направленности

Введение. Разработка теоретических основ анализа и синтеза оптимальных измерительных радиосистем, исследование их свойств и возможностей их применения в ракетно-космических комплексах для обеспечения требуемых значений качественных характеристик измерительной информации является важной и актуальной научной задачей [1].

Анализ литературы. Основы теории оптимальной пространственно-временной обработки измерительной информации разработаны в настоящее время на базе статистической теории оптимального приема сигналов [1...7]. Так на современном этапе развития измерительных радиосистем широко используются простые пространственно-временные сигналы. Для работы в широком секторе пространства при обработке пространственно-временных сигналов начинают использоваться сложные диаграммы направленности [8, 9, 10]. Продемонстрированы возможности использования сложных диаграмм направленности для формирования, разрешения и сжатия шумоподобных пространственно-временных сигналов [11, 12]. И хотя на этапе постановки задач выступают вопросы реализации моделей объемных и составных объемных сигналов, следует отметить все возрастающий интерес к системам многопозиционного приема, представляющих реальные возможности для реализации данных моделей. Однако все преимущества многопозиционных систем достигаются путем их значительного усложнения, необходимостью построения каналов управления и синхронизации отдельными позициями, повышенными требованиями к устройствам обработки сигналов и производительности ЭВМ, значительным усложнением задач навигационной привязки и юстировки позиций.

Постановка задачи. Основной задачей работы является разработка и анализ модели шумоподобных зондирующих пространственно-временных сигналов, применение которых позволяет существенно повысить разрешающую способность радиоизмерительной системы без увеличения размеров раскрыва антенны. Моделирование учитывает реальные условия работы измерительной системы и позволяет более полно реализовать ее возможности.

Цель статьи. Целью статьи является анализ возможностей достижения требуемых качественных характеристик измерительной информации путем совершенствования измерительных радиосистем на основе применения шумоподобных зондирующих пространственно-временных сигналов.

В соответствии с поставленной целью основное внимание в работе, наряду с совершенствованием систем обработки обычно используемых пространственно-временных сигналов, уделено анализу измерительных радиосистем, использующих пространственно-временные сигналы сложной формы.

Изложение основного материала. Исходя из решаемых задач и выбранной модели измерительной радиосистемы могут быть предложены следующие модели зондирующих пространственно-временных сигналов [8, 9]: простые (элементарные); сложные (шумоподобные); объемные (простые); составные объемные сигналы.

Под шумоподобным (сложным) пространственно-временным сигналом будем понимать сигнал, пространственная база которого, определяемая как произведение ширины спектра пространственных частот $2F_{np}$ на "длительность" (величину) интервала его пространственного определения $2\theta_M$, значительно больше единицы

$$B_{\theta} = 2F_{np} 2\theta_M \gg 1. \quad (1)$$

Рассмотрим модель такого сигнала для двумерного случая, представляя его в виде вертикальной либо горизонтальной составляющей вектора электрической напряженности поля с одномерной угловой плотностью $s(t, \vec{\theta}) = s(t, \theta)$, где $\theta = \sin v$, а v – угловая координата. При этом по аналогии с теорией временных сигналов, когда расширение базы сигнала осуществляется за счет глубокой внутриимпульсной модуляции сигнала на временной оси, можно с учетом некоторых ограничений осуществить такую же модуляцию сигнала и по пространственной координате. Такой сигнал $s(t, \theta)$, будем называть шумоподобным или сложным пространственно-временным сигналом и представлять его в виде

$$s(t, \theta) = s(t, \theta) \exp\{j(\omega_0 t + \varphi_0)\}, \quad (2)$$

где $s(t, \theta)$ – комплексная огибающая сигнала

$$s(t, \theta) = |s(t, \theta)| \exp\{j\varphi(t, \theta)\}, \quad (3)$$

определяемая видом используемой модуляции, а φ_0 – начальная фаза.

Сложные пространственно-временные сигналы могут быть классифицированы на сигналы с аналоговой модуляцией и сигналы с дискретной модуляцией.

Модель аналогового пространственно-временного сигнала рассмотрим на примере использования пространственно-временной линейно-частотной модуляции сигналов $s(t, \theta)$.

Для осуществления пространственно-временной линейной частотной модуляции осуществим плавное циклическое сканирование сигнала в секторе обзора $2\theta_M$

$$s(t, \theta) = s_0 \exp \left\{ j\pi \frac{\chi_M}{\theta_M} \left(\theta - t \frac{\theta_M}{T} \right)^2 \right\}. \quad (4)$$

Полагая, что полный цикл сканирования заканчивается за время $2T$, приходим к следующему выражению для пространственно-временного линейно-частотно модулированного сигнала

$$\begin{aligned} s(t, \theta) &= s_0 \sum_{t=-\infty}^{\infty} \prod \left[\frac{\theta - t \frac{\theta_M}{T} - i2\theta_M}{\theta_M} \right] \times \\ &\times \exp \left\{ j \left[\omega_0 t + \pi \frac{\chi_M}{\theta_M} \left(\theta - t \frac{\theta_M}{T} - i2\theta_M \right)^2 + \varphi_0 \right] \right\} = \\ &= s_0 \sum_{t=-\infty}^{\infty} \prod \left[\frac{\theta - t \frac{T}{T} - i2T}{T} \right] \times \\ &\times \exp \left\{ j \left[\omega_0 t + \pi \frac{F_M}{T} \left(t - \theta \frac{T}{\theta_M} - i2T \right)^2 + \varphi_0 \right] \right\}, \quad (5) \end{aligned}$$

где $\prod(x)$ – срезающая функция,

$2F_M$ – величина девиации частоты колебания $s(t, \theta)$.

Рассмотрим модель дискретно кодированного пространственно-временного сигнала. Основные затруднения при построении модели дискретно кодированного по пространственной координате сигнала вызваны ограниченностью спектра пространственных частот, обусловленной конечными размерами реальных раскрывов антенных систем. Однако, эти затруднения вполне преодолимы и реализация методов формирования дискретно кодированных сигналов имеет практическую значимость.

Для разработки модели дискретно кодированного сигнала при заданной

ширине спектра пространственных частот $2\chi_M$ интервал дискретизации по пространственной координате $\Delta\theta$ выберем в виде

$$\Delta\theta = \frac{1}{2\chi_M} = \frac{\lambda}{2\chi_M}. \quad (6)$$

Обозначая интервалы временной дискретизации через Δt и выбирая количество пространственных и временных элементов одинаковыми. С учетом этого для общего случая дискретного пространственно-временного кодирования можно записать

$$s(t, \theta) = \sum_{i=-\infty}^{\infty} \sum_{j=-\infty}^{\infty} \sum_{k=-m}^m \sum_{l=-m}^n s_l \exp\{j[(\omega_0 + \Omega_l)t + \varphi_l]\} \times \\ \times a_l \prod \left[\frac{t - (l+k)\Delta t - i2T}{\Delta t} \right] f_k(\theta) \prod \left[\frac{\theta - k\Delta\theta - i2\theta_M}{\Delta\theta} \right], \quad (7)$$

где s_l, Ω_l, φ_l – соответственно значения амплитуды, частоты и фазы на l -ой позиции, $a_l = +1; -1$ в соответствии с избранным законом кодирования элементов временного кода, $f_k(\theta)$ – определяет форму элементов пространственного кода.

Представленное выражение пространственно-временного дискретно кодированного сигнала носит достаточно общий характер и моделирует возможности различных видов дискретного кодирования.

Дискретно кодированные сигналы могут быть классифицированы на амплитудно-манипулированные; фазоманипулированные; частотно-манипулированные; сигналы с комбинированной манипуляцией.

Значительное расширение пространственной базы сложного пространственно-временного сигнала по сравнению с простым сигналом достигается за счет значительного расширения спектра пространственных частот путем пространственно-временного кодирования сигнала по пространственной координате. Это является предпосылкой возможности сжатия пространственно-временных сигналов.

Основные качественные показатели измерительной системы непосредственно от формы сигнала не зависят, а определяются видом его функции неопределенности.

При используемых методах построения моделей аналоговых и дискретных пространственно-временных сигналов осуществляется по сути дела сканирование фазовой характеристики сигнала (диаграммы направленности) в секторе обзора. Это приводит к взаимоднозначной зависимости между пространственными и временными характеристиками сигнала и соответственно функции неопределенности.

Сложный пространственно-временной сигнал имеет функцию неопределенности значительно отличающуюся от функции неопределенности обычно используемых простых пространственно-временных сигналов, как по

ширине главного лепестка, так и по уровню боковых.

На рис. 1 приведен вид функций неопределенности простого (пунктир) и сложного (сплошная линия) сигналов. Так как вид функции неопределенности описывает выходной эффект оптимальной системы обработки, то использование в измерительных радиосистемах сложных пространственно-временных сигналов открывает дополнительные возможности для улучшения качественных показателей измерительных систем. Это обусловлено тем фактом, что при формировании сложных зондирующих сигналов осуществляется их предварительная модуляция, которая приводит к тому, что в каждом направлении сектора обзора излучается сигнал вполне определенной (известной) формы, что позволяет учесть это при обработке таких сигналов и соответственно улучшить качественные характеристики системы обработки (разрешающая способность, точность и однозначность отсчета параметров) по сравнению со случаем использования простых сигналов.

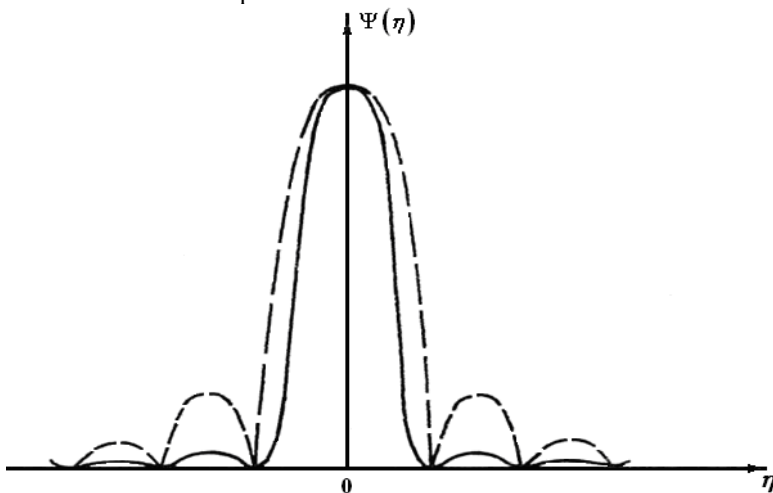


Рис.1. Вид функции неопределенности простых (---) и сложных (—) пространственно-временных сигналов

Анализируя сигнал в каждой точке пространства при известной структуре модулирующих последовательностей, можно определить координаты этой точки, при этом появляется возможность, как и в системах быстрого сканирования, значительного повышения разрешающей способности и точности угломерных измерений.

1. Ширман Я.Д. Разрешение и сжатие сигналов. -М.: Сов. радио, 1974. - 360с.
2. Хонгоров Д.С., Голмбеев-Ювожиллов Ю.С. Введение в радиолокационную системотехнику.-М.: Сов. радио, 1971. -368с.

3. *Олянюк Я.В.* Оптимальный прием сигналов и оценка потенциальной точности космических измерительных комплексов. -М.: Сов. радио, 1973. - 182с.
4. *Пространственно-временная обработка сигналов /И.Я. Кремер, А.И. Кремер, В.М. Петров и др.; Под ред. И.Я. Кремера.* –М.: Радио и связь, 1984. – 224с.
5. *Коростелев А.А.* Пространственно-временная теория радиосистем: Учеб. пособие для ВУЗов. -М.: Радио и связь, 1987. 320с.
6. *Фалькович С.Е.* Оценка параметров сигнала. -М.: Сов. радио, 1970. - 336с.
7. *Фалькович С.Е., Хомяков Э.Н.* Статистическая теория измерительных радиосистем. - М.: Радио и связь, 1981. -288с.
8. *Погорелов А.И., Перехватов С.В.* О возможной структуре зондирующих пространственно-временных сигналов измерительных радиосистем. - В кн.: Измерение параметров формы и спектра радиотехнических сигналов: Тез. докл. II-й Всесоюзной НТК. Харьков: НПО Метрология, 1989, - с.242.
9. *Глушанков Е.И., Погорелов А.И., Трофимов Ю.В.* Математические модели пространственно-временных сигналов и помех. -Киев, 1991, ст. 42-51.
10. *Погорелов А.И., Чумак Б.А., Троицкий Ю.Д.* Энергетические характеристики систем пространственно-временной обработки сигналов. -В кн.: Обработка сигналов в радиотехнических системах.- Харьков: ХАИ, 1990, - с. 12-20.
11. *Рудякова А.Н., Литинский А.Ю., Данилов В.В.* Макет экспериментальной установки для исследования пространственно-временного интегрирования. - Донецк: Технологические процессы и оборудование, ДНУ, 2008, - с. 50-55.
12. *Nakazawa M., Hirooka T.* Distortion-free optical transmission using time-domain optical Fourier transformation and transformlimited optical pulses // J. Opt. Soc. Amer. B, Opt. Phys.. 2005.. Vol. 22, N 9.. P. 1842.1855.

Поступила 27.09.2010р.

УДК 681

А.А.Владимирский, И.А.Владимирский

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ПРОВЕРКА ВОЗМОЖНОСТИ ЗАМЕНЫ ИЗМЕРЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ В ГИЛЬЗАХ ИЗМЕРЕНИЕМ ТЕМПЕРАТУРЫ НА ПОВЕРХНОСТИ ТРУБОПРОВОДОВ ТЕПЛОСЕТЕЙ ПРИ ОПРЕДЕЛЕНИИ ТЕПЛОВЫХ ПОТЕРЬ

Правила технической эксплуатации электрических станций и сетей, нормы и указания по нормированию расхода топлива и тепловой энергии на отопление жилых и общественных сооружений, а также на хозяйственно-бытовые нужды в Украине предусматривают периодическое проведение испытаний тепловых сетей на тепловые потери.

В настоящее время для определения тепловых потерь в России и в Украине разработано и применяется несколько методик. Наиболее