

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ СЛОЖНОЙ ДИАГРАММЫ НАПРАВЛЕННОСТИ В ШИРОКОМ СЕКТОРЕ ОБЗОРА ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ РАДИОСИСТЕМЫ

В статье рассматриваются вопросы разработки математической модели сложной диаграммы направленности радиосистемы. Проведен анализ возможности использования измерительных радиосистем с диаграммой направленности в широком секторе обзора.

Ключевые слова: математическая модель, диаграмма направленности, разрешающая способность, измерительная радиосистема,

Введение. Составной частью комплексов контроля и управления космическими аппаратами являются измерительные радиосистемы, требования, к качественным характеристикам которых непрерывно возрастают. В настоящее время в области ракетно-космической техники произошли такие изменения и наметились такие тенденции их развития, которые требуют нового подхода к проблемам траекторных измерений [1,2]. Суть этих изменений, обусловленных дальнейшим развитием и совершенствованием измерительных радиосистем, состоит в решении актуальной проблемы обеспечения требуемых значений точности измерений, пропускной и разрешающей способности измерительных радиосистем на основе использования пространственно-временных сигналов, обладающих улучшенными по сравнению с традиционно используемыми на практике сигналами, обладающими корреляционными, спектральными и структурными свойствами.

Анализ литературы [2,3] показал, что повышение пропускной способности измерительных радиосистем возможно за счет использования при пространственно-временной обработке сигналов сложных диаграмм направленности. Использование сложных диаграмм направленности в качестве передающих, позволяет формировать зондирующие пространственно-временные сигналы, отличающиеся сложной (шумоподобной) структурой как по временной так и по пространственным координатам. Однако применяемые методы [3,4] обработки пространственно-временных сигналов обладают рядом существенных недостатков: во-первых, радиосистемы обусловлены неравномерностью диаграммы направленности в секторе обзора, и во-вторых, сложностью схемной реализации, так как содержат большое число (хотя и низкочастотных) корреляционных каналов обработки. Поэтому для дальнейшего совершенствования и повышения пропускной способности измерительных радиосистем возникает необходимость разработки математической модели сложной диаграммы направленности в широком секторе обзора измерительной

радиосистемы.

В связи с этим **целью статьи** является построение математической модели сложной диаграммы направленности для измерительной радиосистемы.

Изложение основного материала

При разработке математической модели сложной диаграммы направленности в основу положен тот факт, что при пространственно-временной обработке сигналов отдельные операции этой обработки могут быть трансформированы к началу единой цели данной обработки - к точкам раскрыва антенной системы [4]. В соответствии, с чем можно полагать, что некоторые операции пространно-временной обработки осуществляются уже при раскрыве.

Такое утверждение справедливо для той части системы обработки, которая связана с формированием диаграммы направленности. Во всяком случае, эту часть операций пространственно-временной обработки всегда можно выявить и очертить, предполагая, что она осуществляется в раскрыве антенной решетки, а результат такой обработки можно отобразить наличием некоторого изменяющегося во времени амплитудно-фазового распределения на раскрыве $I(x; t)$, представив его как функцию двух переменных – координат точки раскрыва $X \in [-X_M, X_M]$ и времени $t \in [-T, T]$, отображающих соответственно пространственную и временную обработку сигналов в раскрыве антенной решетки, либо отобразив соответствующим видом диаграммы направленности $F(\theta; t)$, где $\theta = \sin \nu$, а ν – угловая координата, связанной с амплитудно-фазовым распределением. Тогда $F(\theta; t)$ и $I(x; t)$ можно определить как

$$F(\theta; t) = \int_{-x_m}^{x_m} I(x; t) \exp\{-j2\pi\theta x\} dx, |x| \leq x_m, \quad (1)$$

$$I(x; t) = \int_{-\theta_m}^{\theta_m} F(\theta; t) \exp\{j2\pi\theta x\} d\theta, |\theta| \leq \theta_m. \quad (2)$$

В этих выражениях используется относительная координата точки раскрыва, $x = \frac{x}{\lambda}$, $x \in [-x_M, x_M]$, где λ – рабочая длина волны.

С учетом этого амплитудно-фазовое распределение $I(x, t)$, как функцию двух переменных, представим в виде двумерного разложения по системам ортонормированных базисных функций: пространственных – $\{\eta_k(x)\}$ и временных – $\{\xi_l(t)\}$ на отведенных под обработку сигналов интервалах пространства $x \in [-x_M, x_M]$ и времени $t \in [-T_M, T_M]$ [5]

$$I(x; t) = \xi^T C \eta, \quad (3)$$

что приводит (1) к следующему виду диаграммы направленности системы пространственно-временной обработки сигналов

$$F(\theta; t) = \xi^T C f, \quad (4)$$

где T – обозначает операцию транспонирования;

ξ – столбцовая матрица элементов $\{\xi_l(t)\}$;

η – столбцовая матрица элементов $\{\eta_k(x)\}$;

f – столбцовая матрица элементов $\{f_k(\theta)\}$.

$$f_k(\theta) = \frac{1}{2\mathcal{X}_M} \int_{-x_m}^{x_m} \eta_k(x) \exp\{-j2\pi\theta x\} dx, \quad (5)$$

C – прямоугольная матрица пространственно-временного кодирования, составленная из элементов

$$\begin{aligned} C_{kl} &= \frac{1}{2\mathcal{X}_M} \frac{1}{2T} \int_{-x_m}^{x_m} \int_{-T}^T I(x; t) \eta_k(x) \xi_l(t) dx dt = \\ &= \frac{1}{2\theta_M} \frac{1}{2T} \int_{-\theta_b}^{\theta_b} \int_{-T}^T F(\theta; t) f_k(\theta; t) \xi_l(t) d\theta dt, \end{aligned} \quad (6)$$

Матрица кодирования C (6) полностью определяет операции пространственно-временной обработки, реализуемые амплитудно-фазовым распределением (3) и приводящие к формированию диаграммы направленности (4).

Структурную схему системы формирования диаграммы направленности (4) можно представить в виде антенной решетки с блоком пространственно-временного кодирования (БПВК), управляемого сигналами блока генераторов ортогональных кодов (ГОК) сумматора (Σ), на выходе которого и осуществляется формирование диаграммы направленности (4).

Структура блока пространственно-временного кодирования определяется требуемыми характеристиками диаграммы направленности и в значительной мере зависит от вида используемых базисных разложений амплитудно-фазового распределения. В зависимости от вида используемых базисов в одних случаях блок пространственно-временного кодирования будет включать в свой состав такое сложное устройство, как диаграммообразующая схема, в других только отдельные фазосдвигающие элементы, что в конструктивном исполнении значительно проще диаграммообразующей схемы и приводит в конечном результате к меньшим энергетическим потерям и искажениям сигналов в цепях диаграммообразующих схем.

Конкретный вид диаграммы направленности (4) и, реализующего ее, амплитудно-фазового распределения полностью определяются тактико-техническими требованиями, предъявляемыми к измерительной

радиосистеме (системе пространственно-временной обработки). Рассмотрим более подробно вид диаграммы направленности (4) в измерительной радиосистеме, предназначенной для обзора и пеленгования объектов в заданном широком секторе обзора $[-\theta_M, \theta_M]$. При этом ограничимся следующими требованиями к измерительной радиосистеме:

Во-первых, требование непрерывного наблюдения за всем сектором, обзора $[-\theta_M, \theta_M]$.

Это требование к системе непосредственно трансформируется в требование к диаграмме направленности, которая должна быть равномерной во всем секторе обзора $2\theta_M$, и которое сформулируем в виде постоянства амплитудной характеристики диаграммы направленности в этом секторе

$$|F(\theta; t)| = F_0 = const, |\theta| \leq \theta_M. \quad (7)$$

Во-вторых, система должна обеспечивать требуемую разрешающую способность по угловым координатам, определяемую заданной величиной постоянной разрешения $\Delta\theta$.

Это требование к системе непосредственно трансформируется в требование к автокорреляционной функции диаграммы направленности (функции неопределенности)

$$\Psi(\theta_i; \theta_j) = c \left| \int_{-T}^T F(\theta_i; t) F^*(\theta_j; t) dt \right| \ll 1, \quad (8)$$

$$|\theta_i - \theta_j| \theta,$$

ширина, которой λ_θ не должна превышать значения заданной тактико-техническими условиями величины разрешающей способности

$$\lambda_\theta \{ \Psi(\theta_i, \theta_j) \} \leq \Delta\theta, \quad \theta_i, \theta_j \in [-\theta_M, \theta_M]. \quad (9)$$

При этом, как и прежде, коэффициент C в (8) такой, что $\Psi(0,0) = 1$, а величина постоянной $\Delta\theta$ не превышает значения, определяемого величиной релейского предела разрешения [5]

$$\Delta\theta = \frac{1}{2x_M} = \frac{\lambda}{2x_M}. \quad (10)$$

Данные требования (7,8) определяют класс диаграмм направленности, которые в отличие от традиционно используемых в системах обзора и пеленгования характеризуются величиной пространственной базы, определяемой как произведение ширины спектра пространственных частот $2x_M$ на “длительность” (ширину) интервала пространства $2\theta_M$ - значительно большей единицы.

$$B_\theta = 2x_M 2\theta_M,$$

Эти диаграммы направленности по аналогии с определением сложных

сигналов [5] получили название сложных диаграмм направленности [4] и соответственно, как и в теории и технике сложных сигналов появляется возможность формирования и сжатия, таких диаграмм направленности.

Наилучшим методом нахождения требуемого вида диаграммы направленности является синтез диаграммы по предъявленным к ней требованиям. В обычно используемых системах обзора и пеленгования разрешающая способность и точность отсчета угловых координат практически определяется амплитудной характеристикой диаграммы направленности, что соответствует общепринятым требованиям [3], так как ширина ее оказывается примерно равной в этом случае ширине корреляционной функции диаграммы направленности. Иное дело сложные диаграммы направленности, которые должны иметь широкую амплитудную характеристику, обеспечивающую непрерывность обзора, и узкую функцию неопределенности, обеспечивающую возможность разрешения всех объектов в секторе обзора (в рамках используемого критерия разрешения). Амплитудная характеристика диаграммы направленности в данном случае определяет в основном энергетические характеристики системы, а внутренняя структура диаграммы направленности - ее фазовая характеристика - определяет требуемый вид функции неопределенности и соответственно разрешающую способность, и точность измерений. При таком подходе к синтезу диаграммы направленности формирование требуемой амплитудной характеристики диаграммы может быть осуществлено методами пространственного синтеза (синтез антенн), а формирование требуемой фазовой характеристики диаграммы направленности методами временного синтеза (синтез сигналов). Удовлетворение требований (8), предъявляемых к диаграмме направленности, может быть реализовано в различных базисах. При этом использование того или иного базисного представления предопределяет и структуру схем с практической реализации синтезируемых устройств обработки сигналов.

Выводы. Использование сложных диаграмм направленности позволяет в значительной степени повысить пропускную способность измерительных радиосистем и существенно расширяет возможности систем с пространственно-временной обработкой сигнала, реализовать высокую угловую разрешающую способность в заданном секторе пространства.

Разработанная математическая модель сложной диаграммы направленности в широком секторе обзора измерительной радиосистемы, позволяет в дальнейшем проводить анализ и синтез систем формирования сложных диаграмм направленности измерительных радиосистем.

1. Карпов А.М., Леонов М.С., Жодзитский А.Н. Основные направления развития наземного командно-измерительного комплекса управления космическими аппаратами // Радиотехника. 1996. – № 4. – С. 85-90.
2. Чердынцев В.А. Радиотехнические системы. – Минск.: Вышэйшая школа, 1988. – 369 с.
3. Кочержевский Г.Н., Ерохин Г.А., Козырев Н.Д. Антенно-фидерные устройства. –

М.: Радио и связь, 1989. – 352 с.

4. Чернышов В.П., Шейнман Д.И. Распространение радиоволн и антенно-фидерные устройства. – М.: Радио и связь, 1989. – 240 с.

5. Страхов А.Ф. Автоматизированные антенные измерения. – М.: Радио и связь, 1985. – 136 с.

Поступила 8.02.2010р.

УДК 358.3

В.О.Лаптев, Т.В. Уварова, М.М.Степанов

ВИМІР ВІДСТАНЕЙ НА ЦИФРОВИХ КАРТАХ З УРАХУВАННЯМ ЕЛІПСОЇДУ

Запропоновано новій підхід до виміру відстаней на поверхні відносності (еліпсоїді) обертання з коректуванням для земної поверхні.

При проведенні екологічного моніторингу виникає потреба в обробки більшого об'єму даних. При своєчасному отриманні точних координат небезпечних об'єктів суттєво збільшується вірогідність їх ліквідації при зменшенні кількості витрачених для цього сил та засобів. Тому використання геоінформаційних технологій при розробці нових і модернізації існуючих зразків інформаційних систем приведе до підвищення ефективності їх використання. На цей час в Україні використовуються цифрові карти місцевості, які створені на основі даних паперових карт і запозичили всі їх недоліки. Виходячи з цього задача з уточнення старих та винаходу нових методів обчислення даних на цифрових (електронних) картах є актуальною.

Аналіз існуючих методів виміру відстаней на цифрових картах свідчить про те, що більшість методів створюються за допомогою двох способів [1]:

1) інтегруванням, якщо відстань між пунктами А і В може бути описано функцією $y = f(x)$, заданої в явному виді;

2) по ламаній, яка апроксимує криву АВ, якщо функція $y = f(x)$ невідома.

Потенційні можливості першого (точного) способу дуже обмежені, тому що функція $y = f(x)$ в більшості практичних задач невідома. Також нелінійна кусочно-функціональна апроксимація кривої АВ буде неточною і, у порівнянні із способом 2) громіздкою. Тому спосіб 2) залишається найбільше широко застосовуваним, але точність розрахунків, що проводяться з використанням 2) способу може складати (враховуючи місцевість) від десятків метрів до декількох кілометрів. Наприклад, при розрахунках відстані