

$$\operatorname{tg} \gamma = \frac{\Delta H_{jk}}{l_{\Gamma(jk)}},$$

відкiля

$$\gamma = \operatorname{arctg} \left( \frac{\Delta H_{jk}}{l_{\Gamma(jk)}} \right).$$

Скоректована довжина геодезичної лiнii буде дорiвнює

$$l_{\Gamma(jk)}^* = \frac{l_{\Gamma(jk)}}{\cos \gamma}.$$

Таким чином, задача щодо знаходження способу вимiру на цифровiй (електроннiй) картi вирішена. Запропоновано теоретично бiльш строгий i бiльш точний метод вимiру вiдстаней мiж об'єктами земної поверхнi, точнiсть якого не залежить вiд виду проекцiї.

1. *Цветков В.Я.* Геоинформационные системы и технологии. – М. Финансы и статистика 1998. - 234 с.
2. *Бугаевский Л.М., Вахромеева Л.А.* Картографические проекции. – М. Надра, 1992. – 239с.
3. *Закатов П.С.* Курс вищої геодезії. - М.: Надра, 1976.- 510 с.
4. *Берлянт А.М., Гедимін А.В., Кельнер Ю.Г. та ін.* Довiдник з картографії. – М.:Надра, 1988. – 427 с.

*Поступила 28.01.2010р.*

УДК 621.391

С.Т. Черепков, С.Н. Шевкун

## **СИНТЕЗ ОПТИМАЛЬНОЙ ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННОЙ СИСТЕМЫ ОБРАБОТКИ СИГНАЛОВ**

В статье рассматриваются вопросы построения оптимальной пространственно-временной системы обработки сигналов. Предлагается оптимальный способ обработки сигнала, потенциальную точность измерения угловых координат.

**Ключевые слова:** измерительная радиосистема пространственно-временная система, оптимальный алгоритм обработки

**Введение.** При обработке сигналов точечных объектов оказывается, что антенна, осуществляющая пространственную обработку, должна иметь

равномерное по раскрытию амплитудно-фазовое распределение, как это имеет место и в обычно используемых антеннах. Использование методов оптимальной пространственно-временной обработки приводит к ранее известным результатам. Однако при рассмотрении более сложных задач, таких, как обработка сигналов протяженного объекта, применение системы обработки оптимальной для точечной объектов не дает оптимальных результатов [1].

Совершенствование систем обработки сигналов, исследование их свойств и возможностей реализации в перспективных измерительных радиосистемах ракетно-космических комплексов для обеспечения требуемых значений эффективности их применения является своевременной, актуальной и имеющей важное значение задачей [2].

**Анализ литературы.** Несмотря на достаточно полно разработанную в настоящее время теорию пространственно-временной обработки сигналов [1,2,3], отмеченные в ряде работ особенности обработки сигналов, отраженных от протяженных объектов не доведены до конкретных результатов, а также не оценены качественные характеристики таких систем обработки.

**Цель статьи.** Статья посвящена рассмотрению вопросов обработки сигналов протяженных объектов антеннами с плоской апертурой, определению преимуществ, получаемых при использовании оптимальных алгоритмов, рассмотрению особенностей обработки сигналов при совместной оценке угловых координат, угловых скоростей и ускорений, а также – вопросов разрешения сигналов по совокупности измеряемых параметров.

**Постановка задачи.** Рассмотрим задачу обработки сигналов протяженных объектов. Для этого [2,3]:

- определим оптимальный способ обработки сигнала от протяженного объекта;
- найдем потенциальную точность измерения угловых координат;
- определим преимущество, получаемое в результате применения методов оптимального синтеза систем обработки пространственно-временных сигналов.

### **Изложение основного материала**

Протяженный объект представим в виде двух источников монохроматического излучения, расположенных на ее краях. Будем полагать, что эти источники лежат в вертикальной плоскости, проходящей через ось  $Z$  (рис. 1). Угловые размеры объекта  $2\Delta$ .

Угол  $\nu$  отсчитывается от линии  $00'$ .

Найдем суммарную напряженность поля в раскрытии антенной системы, создаваемую совместным действием этих источников

$$S_1(t, \vec{r}, \beta, \nu) = S_0 \exp \left\{ j2\pi \left[ f_0 t + \frac{r}{\lambda} \cos(\nu + \Delta) \cos(a - \beta) \right] \right\}, \quad (1)$$

$$S_2(t, \vec{r}, \beta, \nu) = \varepsilon S_0 \exp \left\{ j2\pi \left[ f_0 t + \frac{r}{\lambda} \cos(\nu - \Delta) \cos(a - \beta) \right] + j\nu \right\}. \quad (2)$$

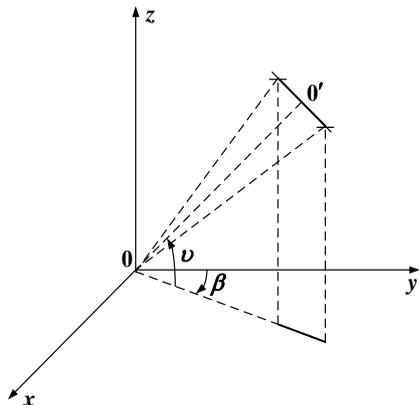


Рис. 1. Модели протяженного объекта

Рассмотрим случай, когда интенсивности полей одинаковы  $\varepsilon = 1$ , а начальные фазы совпадают  $\nu = 0$ . Тогда напряженность поля для некоторой точки апертуры  $\vec{r}$ , определяемая суммарным воздействием сигналов (1) и (2), будет иметь вид

$$S(t, \vec{r}, \beta, \nu) = S_1(t, \vec{r}, \beta, \nu) + S_2(t, \vec{r}, \beta, \nu) = \quad (3)$$

$$= S_0 e^{j2\pi f_0 t} \left[ \exp \left\{ j2\pi \frac{r}{\lambda} \cos(\nu + \Delta) \cos(a - \beta) \right\} + \exp \left\{ j2\pi \frac{r}{\lambda} \cos(\nu - \Delta) \cos(a - \beta) \right\} \right]$$

Как правило, угловые размеры объекта  $\Delta$  малы и можно воспользоваться следующими приближенными соотношениями

$$\cos(\nu + \Delta) \approx \cos \nu - \Delta \sin \nu \quad (4)$$

$$\cos(\nu - \Delta) \approx \cos \nu + \Delta \sin \nu$$

С учетом (4) получаем

$$S(t, \vec{r}, \beta, \nu) = S_0 e^{j2\pi f_0 t} \left[ \exp \left\{ j2\pi \frac{r}{\lambda} \cos(a - \beta) (\cos \nu - \Delta \sin \nu) \right\} + \right.$$

$$\left. + \exp \left\{ j2\pi \frac{r}{\lambda} \cos(a - \beta) (\cos \nu + \Delta \sin \nu) \right\} \right] =$$

$$= S_0 e^{j2\pi f_0 t} \exp \left\{ j2\pi \frac{r}{\lambda} \cos \nu \cos(a - \beta) \right\} + \exp \left\{ j2\pi \frac{r}{\lambda} \cos(a - \beta) \Delta \sin \nu \right\}. \quad (5)$$

Оптимальная обработка сигнала от протяженного объекта представляется в виде оптимальной временной и оптимальной пространственной обработок.

Оптимальная пространственная обработка заключается в формировании выражения

$$Y_{i\delta}(\beta, \nu, t) = \int_{\pi} y(t, \vec{r}) \cos\left(2\pi \frac{\vec{r}}{\lambda} \vec{p} \Delta t g \nu\right) e^{j2\pi \frac{\vec{r}}{\lambda} \vec{p}} d\vec{r}, \quad (6)$$

и может быть осуществлена антенной с диаграммой направленности

$$f_{\Sigma}(\beta, \nu) = \frac{1}{A} \int_{\pi} \cos\left(2\pi \frac{\vec{r}}{\lambda} \vec{p} \Delta t g \nu\right) e^{j2\pi \frac{\vec{r}}{\lambda} \vec{p}} d\vec{r}. \quad (7)$$

Светящиеся точки (характеризующий протяженный объект), будут отличаться только по азимуту (угол  $\beta$ ) на  $2\Delta$ , то соответствующие выражения будут определяться следующим образом.

Сигналы источников излучения

$$S_1(t, \vec{r}, \beta, \nu) = S_0 \exp\left\{j2\pi f_0 t + j2\pi \frac{r}{\lambda} \cos \nu \cos(a - (\beta + \Delta))\right\}, \quad (8)$$

$$S_2(t, \vec{r}, \beta, \nu) = S_0 \exp\left\{j2\pi f_0 t + j2\pi \frac{r}{\lambda} \cos \nu \cos(a - (\beta - \Delta))\right\}. \quad (9)$$

формируют суммарное поле на апертуре

$$S(t, \vec{r}, \beta, \nu) = 2S_0 e^{j2\pi f_0 t} \exp\left\{j2\pi \frac{r}{\lambda} \cos \nu \cos(a - \beta)\right\} \cos\left[2\pi \frac{r}{\lambda} \cos \nu \Delta \cos(a - \beta)\right] \quad (10)$$

Оптимальный выходной эффект системы пространственной обработки и диаграмма направленности оптимальной антенны соответственно приобретают вид

$$Y_{i\delta}(\beta, \nu, t) = \int_{\pi} y(t, \vec{r}) \cos\left(2\pi \frac{\vec{r}}{\lambda} \vec{p} \Delta t g (a - \beta)\right) e^{j2\pi \frac{\vec{r}}{\lambda} \vec{p}} d\vec{r}, \quad (11)$$

$$f_{\Sigma}(\beta, \nu) = \frac{1}{A} \int_{\pi} \cos\left(2\pi \frac{\vec{r}}{\lambda} \vec{p} \Delta t g (a - \beta)\right) e^{j2\pi \frac{\vec{r}}{\lambda} \vec{p}} d\vec{r}. \quad (12)$$

Как следует из выражений для диаграмм направленности (7), (12), при оптимальной обработке сигналов протяженного объекта оптимальное распределение  $I(\vec{r})$  в отличие от обработки сигналов точечного объекта не будет равномерным (рис. 2).

Перейдем к определению потенциальных погрешностей измерения координат протяженного объекта. Для этого воспользуемся случаем, когда источники излучения, имитирующего протяженного объекта, лежат в вертикальной плоскости (рис. 1).

Для нахождения значений потенциальных ошибок, определяемых информационной матрицей Фишера, определим корреляционную функцию сигнала по угловым координатам

$$\psi(\hat{\beta}, \hat{\nu}) = \int_{-\dot{O}Z}^{\dot{O}} \int S(t, \vec{r}, \beta, \nu) S^*(t, \vec{r}, \beta + \hat{\beta}, \nu + \hat{\nu}) dt d\vec{r} \quad (13)$$

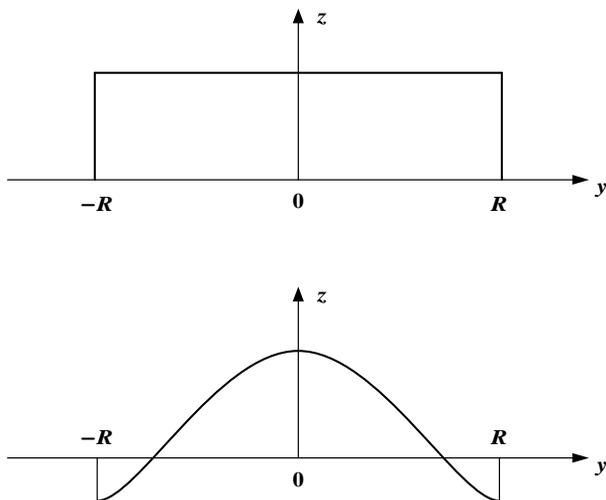


Рис. 2. Вид амплитудных распределений в раскрыве антенны для случая обработки сигналов точечного (а) и протяженного (б) объекта

Преобразовывая и интегрируя (13), получаем

$$\psi(\hat{\beta}, \hat{v}) = 2Q \left[ \frac{I_1\left(2\pi \frac{R}{\lambda} D_1\right)}{2\pi \frac{R}{\lambda} D_1} + \frac{I_1\left(2\pi \frac{R}{\lambda} D_2\right)}{2\pi \frac{R}{\lambda} D_2} + \frac{I_1\left(2\pi \frac{R}{\lambda} D_3\right)}{2\pi \frac{R}{\lambda} D_3} + \frac{I_1\left(2\pi \frac{R}{\lambda} D_4\right)}{2\pi \frac{R}{\lambda} D_4} \right]. \quad (14)$$

Воспользовавшись разложением в ряд функции  $I_1(x)$  [5] и проводя дифференцирование (14) по параметрам  $\hat{\beta}, \hat{v}$ , получим следующие расчетные соотношения для определения ошибок измерения угловых координат [4]

$$\begin{aligned} \sum_{\hat{\beta}\hat{v}} &= \sum_{\hat{v}\hat{\beta}} = \langle (\beta - \beta^*)(v - v^*) \rangle = 0; \\ \sigma_{\hat{\beta}}^2 &= \sum_{\hat{\beta}\hat{\beta}} = \langle (\beta - \beta^*)^2 \rangle = \frac{\frac{N_0 \lambda^2}{2\pi}}{0,5Q \left(2\pi \frac{R}{\lambda}\right)^2 \cos^2 v}; \\ \sigma_{\hat{v}}^2 &= \sum_{\hat{v}\hat{v}} = \langle (v - v^*)^2 \rangle = \frac{\frac{N_0 \lambda^2}{2\pi}}{0,5Q \left(2\pi \frac{R}{\lambda}\right)^2} \cdot \frac{1}{\sin^2 v + \Delta \cos^2 2v}. \end{aligned} \quad (15)$$

Оптимальная обработка сигналов от протяженного объекта позволяет реализовать потенциальные возможности системы обработки, которые практически совпадают с потенциальными возможностями системы обработки сигналов точечных объектов.

В то же время обращает на себя внимание факт резкого отличия алгоритмов оптимальной пространственной обработки сигналов.

Значительное усложнение оптимальных алгоритмов обработки сигналов протяженного объекта, их зависимость от ряда неизвестных параметров ( $\Delta$ ,  $\beta$ ,  $\nu$ ) вызывает необходимость определения возможностей использования неоптимальных для этого случая алгоритмов – алгоритмов обработки сигналов точечного объекта и определения возможных областей использования оптимальных алгоритмов, где могут быть получены существенные выигрыши. Приближенное выражение для определения выигрыша, обеспечиваемого применением оптимальной обработки сигналов протяженного объекта, имеет вид [2]

$$\gamma^2 \approx \frac{\frac{1}{2} + \frac{1}{2} \left( 2 \frac{2\pi}{\lambda} \Delta R \right)}{2 \frac{2\pi}{\lambda} \Delta R} \cdot \frac{1}{2 \frac{2\pi}{\lambda} \Delta R} \quad (16)$$

Трудности реализации оптимальной антенны определяются тем, что амплитудное распределение зависит от таких неизвестных параметров как  $\Delta$ ,  $\beta$ ,  $\nu$ . Однако во многих реальных ситуациях они обычно априорно известны.

В целом, используемая модель протяженного объекта хорошо согласуется с рядом реально имеющих место ситуаций, а предложенный алгоритм обработки сигналов протяженного объекта может привести к достаточно хорошим результатам, а также использоваться при реализации методов адаптации антенных решеток при работе с различными объектами.

**Выводы.** Для построения оптимальной системы обработки пространственно-временных сигналов неподвижных объектов (как точечных, так и протяженных) необходимо отдельно определить систему оптимальной пространственной обработки (оптимальную антенну) и систему оптимальной временной обработки (оптимальный приемник). Реализация алгоритмов оптимальной обработки сигналов протяженных объектов предполагает использование согласованных с принимаемым сигналом амплитудно-фазовых распределений в раскрытии антенной системы. Применение этих алгоритмов приводит к получению существенных преимуществ по сравнению с применением традиционно используемых на практике алгоритмов пространственно-временной обработки сигналов при  $R/\lambda \geq 200$ .

При  $R/\lambda < 200$  можливості оптимальних і неоптимальних алгоритмів практично збігаються. Крім цього використання оптимальних алгоритмів обробки сигналів протяжених об'єктів відкриває широкі можливості для ідентифікації об'єктів і побудови адаптивних систем просторово-часової обробки сигналів.

1. Просторово-часова обробка сигналів / Під ред. *И.Я.Кремєра*. - М.: Радио і зв'язь, 1984. - 224с.
2. Радиоелектронні системи: основи побудови і теорія. / Справочник. Під ред. *Я. Д. Ширмана*. - М.: Радиотехніка, 2007. - 512 с.
3. Оптична обробка, інформації. Применення /Під ред. *Д.Кейсєнта*. Пер. с англ. - М.: Мир, 1980.-352с.
4. *Олянюк Я.В.* Оптимальний прийом сигналів і оцінка потенціальної точності космічних і вимірних комплексів. - М.: Сов. радио, 1973. – 182 с.

*Поступила 12.02.2010р.*

УДК 685.03

О.Ф.Нікулін, С.О. Нікулін

## **МОДЕЛЮВАННЯ ОКРЕМИХ НЕБЕЗПЕК СПЕЦІАЛІЗОВАНОЇ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ**

Асортимент засобів захисту системи захисту в цілому визначається цілим рядом факторів, до яких відносяться наступні вимоги:

1. вимоги по забезпеченню заданої величини ризику роботи системи управління,
2. особливості реалізації об'єкту управління (OU), для якого створюється спеціалізована система управління,
3. вимоги до міри універсальності та структурної простоти організації системи захисту, що дозволяє забезпечити необхідну простоту її експлуатації.
4. Загальна структура SZ буде складатися з наступних логічних і фізичних компонент. До фізичних компонент відносяться:
5. загальна система управління SZ (USZ)
6. універсальні локальні засоби захисту  $Zhi$ , кількість яких може бути різною, що залежить від загальних вимог до системи захисту.

До логічних компонентів будуть відноситися компоненти, що реалізуються в рамках системи USZ на окремих засобів, до яких відносяться наступні: