

АКАДЕМИЯ НАУК УКРАИНСКОЙ ССР

Военная академия
противовоздушной обороны Сухопутных войск
имени Маршала Советского Союза Василевского А. М.

СТОХАСТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ СИСТЕМ

Сборник научных трудов

УДК 519.21

Стохастические модели систем. Сборник научных трудов.—
Киев: ВА ПВО СВ, 1991, с.

Содержатся статьи, посвященные проблематике создания
теоретических моделей и практических разработок в области
сложных систем стохастической природы.

В сборнике помещаются результаты по следующим направле-
ниям:

теоретические модели по указанной проблематике;

разработка математического обеспечения;

внедрение в производство и практику испытаний;

Сборник рассчитан на инженеров и научных сотрудников,
связанных с созданием и испытаниями систем указанного
класса. Он может быть также полезен студентам (слушателям)
и аспирантам (адъюнктам) вузов (ввузов), специализирующим-
ся в области прикладной математики и теории сложных
систем.

Редакционная коллегия:

акад. АН УССР В.С. Королюк /гл. редактор/, акад. АН УССР
И.Н. Коваленко, д.т.н. проф. И.Ф. Оленович /зам.гл.редактора/,
д.ф.-м.н. проф. А.Ф. Турбин, д.т.н. проф. В.А. Верухин,
д.т.н. проф. В.П.Сорокин, д.т.н. Дратий, к.т.н. И.П.
Петухов, к.т.н. доц. А.В. Голота.

С п и с о к л и т е р а т у р ы

1. Радиолокационные станции с цифровым синтезированием апертуры антенны /В.Н. Антипов, В.Т. Горлинов, А.Н. Кулин и др./ Под ред. В.Т. Горянова. М.: Радио и связь, 1988. С.42 - 46.
2. Барухин В.А., Покровский В.И., Сахно В.Ф. Модифицированная функция правдоподобия в задаче угловых координат источников с помощью антенной решетки. ДАН СССР, 1983. Т.270. №5. С.1092 - 1094.
3. Стохастические модели систем. Сборник научных трудов. Киев: ВА ПВО СВ, 1986. С.113 - 118.
4. Трифонов А.П., Шиняков Д.С. Совместное различение сигналов и оценка их параметров на фоне помех. М.: Радио и связь, 1986. С.239 - 249.

УДК 519.21

В.И. Покровский

В.Ф. Сахно

В.И. Слюсар

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРОСТРАНСТВЕННОГО ПОЛОЖЕНИЯ РАДИОЛОКАЦИОННЫХ ИСТОЧНИКОВ И ВРЕМЕНИ ЗАДЕРЖКИ ИХ ЭХО-СИГНАЛОВ РЛС НА БАЗЕ ЦАР

Отличительной особенностью РЛС на базе цифровых антенных решеток (ЦАР) является обеспечение возможности в режиме активной локации осуществлять измерение угловых координат источников и времен задержки перестраиваемых или сигналов в условиях,

когда объекты локации не разрешаются по скорости перемещения, при использовании простых зондирующих импульсов.

Ограничим круг рассматриваемых здесь вопросов случаем плоской эквидистантной ЦАР, состоящей из R элементов по строке и L - в столбце, на апертуру которой воздействуют эхо-сигналы M источников.

Представим напряжение на выходе r , ℓ -го приемного канала при поступлении m -го эхо-сигнала в S -ом отсчете ($1 < S < S$) P -го строба дальности ($P = 1, 2, \dots, P$) приближенно так:

$$U_{r\ell} \approx \sum_{m=1}^M z_m \cdot \hat{a}_m \cdot \alpha_m(p, S) \cdot \exp \left\{ j \frac{2\pi}{\lambda} \cdot \alpha_r \cdot \sin \vartheta_m \cdot \cos \epsilon_m \cdot \left[r - \frac{R+1}{2} \right] + j \frac{2\pi}{\lambda} \alpha_r \cdot \sin \vartheta_m \cdot \sin \epsilon_m \left[\ell - \frac{L+1}{2} \right] + j \frac{2\pi}{\lambda} \cdot \Delta t \left[[S-1] + [P-1] \cdot S \right] \right\} + \hat{n}_{r\ell}$$

где \hat{a}_m - комплексная амплитуда m -го источника сигнала ($m = 1, 2, \dots, M$);

S - количество временных отсчетов в стробе дальности;

$$\alpha_m(p, S) = 1, \text{ при } p = p_m, S_m \leq S \leq S \text{ и } p = p_m + 1, 1 \leq S \leq S - S_m;$$

$$\alpha_m(p, S) = 0, \text{ при } p < p_m \text{ и } p > p_m;$$

$$z_m = \frac{1}{2} S_m \text{ при } p = p_m \text{ и } S_m \leq S \leq S;$$

$$z_m = \frac{1}{2} [S - S_m] \text{ при } p = p_m + 1 \text{ и } 1 \leq S \leq S - S_m.$$

ϑ_m, ϵ_m - координаты m -го источника сигнала в сферической системе координат;

d_r, d_c — расстояние между фазовыми центрами приемных элементов по строке и столбцу соответственно

λ — длина волны;

Δt — интервал дискретизации сигнала;

$\hat{u}_{r,c}$ — комплексное значение шума в r, c -ом приемном канале, p -м строке;

V_m — радиальная скорость m -го источника сигнала.

Напряжения $\hat{u}_{r,c}$ получены с помощью цифровых фильтров "частичного суммирования" [1] по S временным отсчетам с интервалом времени Δt для каждого строка дальности R (длительность зондирующего импульса равна $S \cdot \Delta t$) из значений оцифрованных выходных напряжений r, c -го приемного канала ЦАР.

Обнаружение сигнала по дальности может осуществляться следующим образом:

для интересующих элементов дальности и пространства (например, для каждого из стробов R_1, R_2, \dots, R_k и направлений $\vartheta_m, \varepsilon_m$) формируются синтезированные каналы, напряжения которых могут быть записаны так:

$$\hat{u}_{k,p} = \hat{u}_{k,p}^c + j\hat{u}_{k,p}^s = \sum_{r=1}^R \sum_{c=1}^C \hat{u}_{r,c} \cdot \exp\left\{-j \left[kx_0 \left[r - \frac{R+1}{2} \right] + y_0 \left[c - \frac{L+1}{2} \right] \right]\right\},$$

где $x_0 = 2\pi/R$; $y_0 = 2\pi/L$,

затем определяют значения

$W_{k,p} = \hat{u}_{k,p} \cdot \hat{u}_{k,p}^*$ где $\hat{u}_{k,p}^* = \hat{u}_{k,p}^c - j\hat{u}_{k,p}^s$, которые сравнивают с величиной порога ρ (значение последнего определяется требуемой вероятностью ложной тревоги),

для стробов P , где выполняется условие

$$W_{k,p} > \rho$$

принимается решение о наличии источников сигналов.

Определение значений угловых координат осуществляют с использованием модифицированной функции правдоподобия [2, 3]. При этом соседних стробов дальности R_1, R_2, \dots, R_h , где обнаружены источники сигналов, образуем суммарные напряжения

$$\hat{u}_{k,p} = \sum_{i=1}^h \hat{u}_{k,p,i}$$

Далее, по значениям $\hat{u}_{k,p}$ определим координаты источников сигналов, при которых модифицированная функция F_m имеет глобальный максимум

$$F_m = \frac{\Delta z}{\Delta}$$

$$\Delta_z = \begin{vmatrix} 0 & \hat{V}_1^* & \hat{V}_2^* & \dots & \hat{V}_m^* \\ \hat{V}_1 & f_{11} & f_{12} & \dots & f_{1m} \\ \hat{V}_2 & f_{21} & f_{22} & \dots & f_{2m} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \hat{V}_m & f_{m1} & f_{m2} & \dots & f_{mm} \end{vmatrix}; \quad \Delta = \begin{vmatrix} f_{11} & f_{12} & \dots & f_{1m} \\ f_{21} & f_{22} & \dots & f_{2m} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ f_{m1} & f_{m2} & \dots & f_{mm} \end{vmatrix};$$

$$\hat{V}_m = \hat{V}_m^c + j\hat{V}_m^s = \sum_{k=1}^R \sum_{p=1}^C \hat{u}_{k,p} \cdot f_{k,p}[\vartheta_m, \varepsilon_m];$$

$$\hat{V}_m^* = \hat{V}_m^c - j\hat{V}_m^s;$$

$$f_{kq}[\vartheta_m, \varepsilon_m] = \frac{\left\{ \sin \frac{R}{2} \left[\frac{2\pi}{\lambda} d_r \sin \vartheta_m \cdot \cos \varepsilon_m - k \frac{2\pi}{R} \right] \right\} \cdot \sin \frac{L}{2} \left[\frac{2\pi}{\lambda} d_e \sin \vartheta_m \cdot \sin \varepsilon_m - q \frac{2\pi}{L} \right]}{\left\{ \sin \frac{1}{2} \left[\frac{2\pi}{\lambda} d_r \sin \vartheta_m \cdot \cos \varepsilon_m - k \frac{2\pi}{R} \right] \right\} \cdot \sin \frac{1}{2} \left[\frac{2\pi}{\lambda} d_e \sin \vartheta_m \cdot \sin \varepsilon_m - q \frac{2\pi}{L} \right]}$$

$$f_{ij} = \sum_{k=1}^R \sum_{q=1}^L f_{kq}[\vartheta_i, \varepsilon_i] \cdot f_{kq}[\vartheta_j, \varepsilon_j]$$

Использование анализа функции F_m позволяет решить задачу как определения количества источников M [4], так и измерения их угловых координат.

Для нахождения дальности по каждому источнику по значениям полученных $\hat{\vartheta}_m$, $\hat{\varepsilon}_m$ первоначально определим оценки амплитуд их сигналов \hat{A}_m ($m = 1, 2, \dots, M$) из системы уравнений вида:

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{\partial \mathcal{F}}{\partial \hat{A}_1^c} = 0 \\ \frac{\partial \mathcal{F}}{\partial \hat{A}_1^s} = 0 \\ \vdots \\ \frac{\partial \mathcal{F}}{\partial \hat{A}_M^c} = 0 \\ \frac{\partial \mathcal{F}}{\partial \hat{A}_M^s} = 0 \end{array} \right.$$

где
$$\mathcal{F} = \sum_{k=1}^R \sum_{q=1}^L \left\{ \left[u_{kqP_1}^c - \sum_{m=1}^M \hat{A}_m^c \cdot f_{kq}[\vartheta_m, \varepsilon_m] \right]^2 + \left[u_{kqP_2}^s - \sum_{m=1}^M \hat{A}_m^s \cdot f_{kq}[\vartheta_m, \varepsilon_m] \right]^2 \right\}$$

Используя функцию невязок вида

$$\mathcal{F}_2 = \sum_{i=1}^h \sum_{k=1}^R \sum_{q=1}^L \left\{ \left[u_{kqP_i}^c - \sum_{m=1}^M \hat{A}_m^c \cdot f_{kq}[\vartheta_m, \varepsilon_m] \cdot z_m \cdot d_m(\rho_i) \right]^2 + \left[u_{kqP_i}^s - \sum_{m=1}^M \hat{A}_m^s \cdot f_{kq}[\vartheta_m, \varepsilon_m] \cdot z_m \cdot d_m(\rho_i) \right]^2 \right\},$$

где $d_m[\rho_i] = 1$, если $\rho_m \leq \rho \leq \rho_{m+1}$;

$d_m[\rho_i] = 0$, если $\rho_{m+1} < \rho$ или $\rho < \rho_m$;

$z_m = S_m/2$ при $\rho_m = \rho_i$;

$z_m = \frac{1}{2} [S - S_m]$ при $\rho_i = \rho_{m+1}$,

составим систему уравнений:

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{\partial \mathcal{F}_2}{\partial S_1} = 0; \\ \frac{\partial \mathcal{F}_2}{\partial S_2} = 0; \\ \vdots \\ \frac{\partial \mathcal{F}_2}{\partial S_M} = 0, \end{array} \right.$$

решая которую относительно S_m можно определить дальность по каждому m -го, источнику сигнала:

$$D_m = \frac{\Delta t \cdot [(P_m - 1) \cdot S + (S - S_m)] \cdot c}{2},$$

где c - скорость света.

Рассмотренный алгоритм позволяет обеспечить в одном акте зондирования "сверхрелеевское" разрешение источников

сигналов по угловым координатам и измерение их дальности в условиях нахождения пеленгуемых объектов внутри перциального лепестка пространственной диаграммы направленности ЦАР, даже при полном совпадении времени прихода их эхо-сигналов.

С п и с о к л и т е р а т у р ы

1. Радиолокационные станции с цифровым синтезированием апертуры антенны /В.Н. Антипов, В.Т. Горяинов, А.Н. Кулин и др./ Под ред. В.Т. Горяинова. М.: Радио и связь, 1988. С.42 - 46.
2. В а р х и н В.А., П о к р о в с к и й В.И., С а х н о В.Ф. Модифицированная функция правдоподобия в задаче определения угловых координат источников с помощью антенной решетки. ДАН СССР, 1983. Т.270. № 5. С.1092 - 1094.
3. Стохастические модели систем. Сборник научных трудов. Киев: ВА ПВО СВ, 1986. С.113 - 118.
4. Т р и ф о н о в А.П., Ш и н е к о в Ю.С. Совместное различение сигналов и оценке их параметров на фоне помех. М.: Радио и связь, 1986, С.239 - 249.

УДК 681.518

О.В. Зайцев

Е.А. Свиридов

К ВОПРОСУ ОБ АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОЦЕССА ПОДГОТОВКИ И ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЯ В УСЛОВИЯХ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ

Автоматизация в неодинаковой степени затронула различ-