

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, г.

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/,
п.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.

СОВМЕСТНЫЙ АЛГОРИТМ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЧАСТОТЫ И ДАЛЬНОСТИ МНОГОКАНАЛЬНЫМ АНАЛИЗАТОРОМ

При решении ряда задач многоцелевой локации весьма эффективным средством является использование цифровых многоканальных анализаторов (МА), содержащих L линейных каналов с известными линейно-независимыми характеристиками. Использование одноканальных по пространству, но многоканальных по времени приемных систем позволяет в рамках единой измерительной процедуры определять значения частот, принимаемых эхосигналов и расстояния от точки приема до источников излучения — дальность. В подтверждение этому рассмотрим случай воздействия M источников сигналов. Тогда, напряжение на выходе приемного канала для τ -го зондирующего импульса в S -ом временном отсчете P -го строка дальности представим так:

$$u_{\tau p} = \sum_{m=1}^M \{ \alpha_m [P, S] \cdot \dot{a}_m \cdot q_m [x_m, y_m] \cdot \cos \{ 2\pi [f_m + f_0] \cdot \Delta t \cdot \\ \cdot [(P-1) \cdot S + (S-1)] + 2\pi f_m (\tau-1) P \cdot S + \varphi_m \} \} + \dot{n}_{\tau p}, \quad (1)$$

$$\tau = 1, 2, \dots, R; \quad P = 1, 2, \dots, P; \quad S = 1, 2, \dots, S;$$

$$\alpha_m (P, S) = 1 \quad \text{при} \quad P = P_m; \quad S_m \leq S < S_m + S - 1;$$

$$\alpha_m (P, S) = 1 \quad \text{при} \quad P \neq P_m; \quad S_m + S - 1 < S; \quad S < S_m,$$

где R — количество зондирований,

P — число стробов на интервале однозначного измерения дальности;

S — количество временных отсчетов в строке дальности

Δt — интервал временной дискретизации сигнала;

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

($m = 1, 2, \dots, M$);

$q_m (x_m, y_m)$ — пространственная характеристика приемного канала на направление m -го источника сигнала с координатами

x_m, y_m ;

f_m — частота доплеровского приращения m -го источника сигнала;

f_0 — частота неподвижного источника сигнала;

φ_m — начальная фаза m -го источника сигнала;

$\dot{n}_{\tau p}$ — шум в канале.

После выделения ортогональных составляющих с использованием цифровой фильтрации, $[I]$ для каждого τ -го зондирующего импульса в P -м строке дальности напряжение на выходе приемного канала можно с определенной погрешностью записать в виде соотношения:

$$u_{\tau p} \approx \sum_{m=1}^M \{ \alpha_m [P] \cdot z_m \cdot \dot{a}_m \cdot q_m [x_m, y_m] \cdot \exp \{ j \cdot 2\pi \cdot f_m \cdot \Delta t \cdot \\ \cdot [(P \cdot (\tau-1) + (P-0)) \cdot S + [S-1]] \} \} + \dot{n}_{\tau p}, \quad (2)$$

где $z_m = \frac{1}{2} S_m$, если $p = p_m$; $\alpha_m(p) = 1$ при $p_m < p < p_{m+1}$;

$z_m = \frac{1}{2} (S - S_m)$, если $p = p_m$; $\alpha_m(p) = 0$ при $p_{m+1} < p, p < p_m$.

$\dot{u}_{\tau p}$ — комплексное значение шума.

Осуществим для всех стробов дальности $p = 1, 2, \dots, P$ временное некогерентное чакопление сигнала по R зондирующим импульсам в соответствии с выражением:

$$W_p = \sum_{\tau=1}^R \dot{u}_{\tau p} \cdot \dot{u}_{\tau p}^*, \quad p = 1, 2, \dots, P \quad (3)$$

Следует отметить, что анализ W_p может быть использован для обнаружения сигналов. При этом процесс обнаружения сводится к сравнению значения W_p с порогом ρ , величина которого определяется заданной вероятностью ложной тревоги.

Для стробов P_i , где выполняется условие

$$W_{P_i} > \rho \quad (i = h_1, \dots, h_v), \quad (4)$$

спределяем значения напряжений

$$\dot{u}_{\tau p i} = \sum_{i=h_1}^{h_v} \dot{u}_{\tau p i}, \quad (5)$$

на основе которых, вычислим оценки частот эхо-сигналов, применив модифицированное представление функции правдоподобия [2, 3]. С этой целью найдем значения f_m ($m = 1, 2, \dots, M$), при которых указанная функция F_M имеет глобальный максимум:

$$F_M = \frac{\Delta_1}{\Delta} \quad (7)$$

где

$$\Delta_1 = \begin{vmatrix} 0 & \dot{u}_1^* & \dot{u}_2^* & \dots & \dot{u}_M^* \\ \dot{u}_1 & R & G_{12} & \dots & G_{1M} \\ \dot{u}_2 & G_{21} & R & \dots & G_{2M} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dot{u}_M & G_{M1} & G_{M2} & \dots & R \end{vmatrix}, \quad \Delta = \begin{vmatrix} R & G_{12} & \dots & G_{1M} \\ G_{21} & R & \dots & G_{2M} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ G_{M1} & G_{M2} & \dots & R \end{vmatrix};$$

$$\dot{u}_i = \sum_{\tau=1}^R \dot{u}_{\tau p \tau} \cdot \exp \left\{ -j 2\pi f_i \Delta t \cdot \left(\tau - \frac{R+1}{2} \right) \right\} = u_i^c + j u_i^s; \quad \dot{u}_i^* = u_i^c - j u_i^s;$$

$$G_{ij} = \frac{\sin \frac{R}{2} [2\pi \Delta t \cdot (f_i - f_j)]}{\sin \frac{1}{2} [2\pi \Delta t \cdot (f_i - f_j)]}.$$

Существенно, что при отыскании глобального максимума функции

F_M решается задача как определения количества источников сигналов M [4], так и оценивания значений доплеровского приращения их частот.

Далее, для определения дальности до каждого из источников сигналов, доплеровские приращения частот которых мы определили, используем напряжения

$$\dot{u}_{\tau p i}, \quad \dot{u}_{\tau p \tau} \quad (i = h_1, h+1, \dots, h_v); \quad (8)$$

При этом осуществим операцию фазированного суммирования:

$$\dot{u}_{k p i} = \sum_{\tau=1}^R \dot{u}_{\tau p i} \cdot \exp \left\{ -j k \frac{2\pi}{R} \left(\tau - \frac{R+1}{2} \right) \right\}, \quad k = 1, 2, \dots, R; \quad (9)$$

$$\dot{V}_{k p \tau} = \sum_{i=h_1}^{h_v} \dot{u}_{k p i}$$

Затем, используя метод наименьших квадратов, по значениям найденных оценок $\hat{f}_m$ определим оценки обобщенных амплитуд $\hat{A}_m$ ($m = 1, 2, \dots, M$), дифференцируя функцию невязок

$$F = \sum_{k=1}^R \left\{ \left[V_{k p \tau}^c - \sum_{m=1}^M \hat{A}_m^c \cdot G_k(\hat{f}_m) \right]^2 + \left[V_{k p \tau}^s - \sum_{m=1}^M \hat{A}_m^s \cdot G_k(\hat{f}_m) \right]^2 \right\}, \quad (10)$$

$$\text{где} \quad G_k(\hat{f}_m) = \frac{\sin \frac{R}{2} (2\pi \hat{f}_m \Delta t - k \frac{2\pi}{R})}{\sin \frac{1}{2} (2\pi \hat{f}_m \Delta t - k \frac{2\pi}{R})}.$$

Искомые $\hat{A}_m$ получим, решив систему уравнений:

$$\begin{cases} \frac{\partial F}{\partial \hat{A}_1^c} = 0 \\ \frac{\partial F}{\partial \hat{A}_1^s} = 0 \\ \vdots \\ \frac{\partial F}{\partial \hat{A}_m^c} = 0 \\ \frac{\partial F}{\partial \hat{A}_m^s} = 0 \end{cases} \quad (II)$$

При определении $\hat{A}_m$ используем значения u_{kP_i} ,

$\hat{f}_m$ ($m = 1, 2, \dots, M$), $\hat{A}_m$, которые входят в функцию невязок вида:

$$F_s = \sum_{k=1}^R \sum_{P_i \in h_k} \left\{ \left[u_{kP_i}^c - \sum_{m=1}^M \hat{A}_m^c \cdot G_k(\hat{f}_m) \cdot z_m \cdot \alpha_m(P_i) \right]^2 + \left[u_{kP_i}^s - \sum_{m=1}^M \hat{A}_m^s \cdot G_k(\hat{f}_m) \cdot z_m \cdot \alpha_m(P_i) \right]^2 \right\}, \quad (12)$$

где $\alpha_m(P_i) = 1$, если $P_m < P_i < P_m + 1$;

$\alpha_m(P_i) = 0$, если $P_m + 1 < P_i$ или $P_i < P_m$;

$z_m = \frac{1}{2} S_m$ при $P_i = P_m$;

$z_m = \frac{1}{2}$ при $P_i = P_m + 1$.

Решив систему уравнений

$$\begin{cases} \frac{\partial F_s}{\partial S_1} = 0 \\ \frac{\partial F_s}{\partial S_2} = 0 \\ \vdots \\ \frac{\partial F_s}{\partial S_M} = 0 \end{cases} \quad (13)$$

определим значения S_m для каждого из источников.

Абсолютное удаление интересующих объектов локализации оценим по формуле:

$$D = \frac{\Delta t \cdot [(P_m - 1)S + (S - S_m)] \cdot C}{2} \quad (14)$$

где C — скорость света.

В заключение, следует отметить, что предложенный алгоритм позволяет определять искомые оценки параметров источников сигналов и в ситуациях, когда доплеровские приращения их частот отличаются на величину, меньшую ширины характеристики главного лепестка синтезированных частотных фильтров, а времена прихода эхо-сигналов совпадают. Кроме того, он может быть легко распространен на случай пеленгации плоской эквидистантной антенной решеткой нескольких источников, не разрешаемых по угловым координатам.

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. В а р ю 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 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 я к о в В.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-перестраженных ими сигналов в условиях,