

42

РАДИОТЕХНИКА

1985, № 10

В таблице приведена зависимость выигрыша  $\chi$  в отношении сигнал-шум от углового расстояния между РСН и источниками полезного  $\theta_0$  и мешающего  $\theta_n$  сигналов. Расчеты проведены в соответствии с (4) при  $N/N_0=10^2$ ;  $G_0=10^4$ ;  $F^2(\theta_0)=0,5$ . Диаграмма направленности аппроксимировалась функцией вида  $F(\theta) = \frac{\sin a\theta}{a\theta}$ .

| $\theta_n/\theta_{0,5}$ \ $\theta_0/\theta_{0,5}$ | 0,1    | 0,2            | 0,3            |
|---------------------------------------------------|--------|----------------|----------------|
| 0,01                                              | $10^2$ | $4 \cdot 10^2$ | $9 \cdot 10^2$ |
| 0,03                                              | 11,1   | 44,4           | $10^2$         |
| 0,05                                              | 4      | 16             | 36             |
| 0,1                                               | 1      | 4              | 9              |
| 0,2                                               | 0,25   | 1              | 2,25           |
| 0,3                                               | 0,11   | 0,44           | 1              |

Анализ приведенных в таблице результатов показывает, что в большинстве из рассмотренных случаев отношение сигнал-шум в разностном канале больше, чем в суммарном. Причем выигрыш в отношении сигнал-шум  $\chi$  возрастает с уменьшением  $|\theta_n|$  и увеличением  $|\theta_0|$ .

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Леонов А. И., Фомичев К. И. Моноимпульсная радиолокация. — М.: Радио и связь, 1984.
2. Ширман Я. Д., Манжос В. Н. Теория и техника обработки радиолокационной информации на фоне помех. — М.: Радио и связь, 1981.
3. Хелстром К. Статистическая теория обнаружения сигналов. — М.: ИЛ, 1963.
4. Тихонов В. И. Статистическая радиотехника. — М.: Сов. радио, 1966.

Поступила после доработки 1 апреля 1985 г.

УДК 621.391

А. П. ТРИФОНОВ, В. Б. МАНЕЛИС

### ОЦЕНКА КООРДИНАТ СЛОЖНОГО ОБЪЕКТА ПО ЕГО ИЗОБРАЖЕНИЮ

Выполнен синтез двух алгоритмов оценки координат пространственно-распределенного сложного объекта по его изображению на фоне помех. Произведено сравнение характеристик синтезированных алгоритмов.

Для описания реальных сложных целей и объектов широко используется модель в виде совокупности связанных между собой точечных рассеивателей («блестящих точек») [1]. В системах, обеспечивающих высокое разрешение, в частности при использовании радиолокационных станций бокового обзора, радиоизображения сложных объектов могут представлять собой совокупность относительно ярких неперекрывающихся участков (фрагментов) приблизительно одинаковой формы [2, 3].

В этой связи рассмотрим задачу оценки параметров сложного изображения, состоящего из  $p$  одинаковых по форме неперекрывающихся фрагментов. Обозначим:  $a_i$  — амплитуда (максимальная яркость)  $i$ -го фрагмента ( $i=1, p$ );  $f(x)$ ,  $x=(x_1, x_2)$  —

функция, описывающая распределение яркости одного фрагмента, причем  $\max f(x) = 1$ . Пусть  $q_i = (q_{1i}, q_{2i})$  — вектор, определяющий местоположение  $i$ -го фрагмента в системе координат  $x = (x_1, x_2)$ , связанной с плоскостью регистрации. Тогда реализация на-

блюдаемых данных  $u(x) = \sum_{i=1}^p a_{i0} f(x - q_{i0}) + n(x)$ ,  $x \in X$ , где  $n(x)$  — простран-

ственный гауссовский белый шум с односторонней спектральной плотностью  $N_0$ ,  $a_{i0}$ ,  $q_{i0}$  — истинные значения параметров изображения;  $X$  — область наблюдения. Будем считать, что местоположение сложного объекта описывается вектором  $l = (l_1, l_2)$ , компоненты которого представляют собой координаты центра тяжести дискретной плоской фигуры, состоящей из фрагментов одинаковой массы с координатами  $q_i$ , т. е.

$$l_k = \sum_{i=1}^p q_{ki} / p, \quad k = 1, 2. \quad (1)$$

Точность некоторой оценки  $l_m$  местоположения сложного объекта будем характеризовать ее рассеянием, которое определим как средний квадрат расстояния между оценкой и истинным значением местоположения

$$V = \langle |l_m - l_0|^2 \rangle = \langle (l_{1m} - l_{10})^2 \rangle + \langle (l_{2m} - l_{20})^2 \rangle. \quad (2)$$

Если априори известны лишь количество фрагментов  $p$  и их форма, то оценку координат изображения  $l$  можно получить на основе оценок координат  $q_i$  каждого фрагмента. При этом обработка реализации  $u(x)$  сводится к формированию функции  $M_1(q) = (2/N_0) \int_X u(x) f(x - q) dx$ . Затем определяются координаты  $q_{im}$   $p$  наибольших максимумов этой функции при  $q \in X$ . Подставляя  $q_{im}$  в (1), получаем оценку  $l_m$  местоположения сложного объекта. Так как оценки  $q_{im}$  независимы, то используя [4], для рассеяния (2) оценки  $l_m$  получаем

$$V_1 = (l_{11} + l_{12}) \sum_{i=1}^p z_i^{-2} / [p^2 (l_{11} l_{12} - l_{12}^2)],$$

где

$$l_{km} = \int_X \frac{\partial f(x)}{\partial x_k} \frac{\partial f(x)}{\partial x_m} dx / \int_X f^2(x) dx, \quad k, m = 1, 2,$$

$z_i^2 = (2a_i^2/N_0) \int_X f^2(x) dx$  — отношение сигнал-шум для  $i$ -го фрагмента. Рассмотрен-

ный метод оценки (назовем его косвенным) относительно прост при технической реализации. Однако он обеспечивает удовлетворительную точность оценивания лишь при выполнении довольно ограничительного условия [4]:  $z_i^2 \gg 1$  для всех  $i = 1, p$ .

Точность оценки местоположения сложного объекта может быть повышена, если имеется априорная информация о его структуре. Введем в рассмотрение новую декартову систему координат  $\xi = (\xi_1, \xi_2)$ , начало которой расположено в точке  $l$ . В общем случае система координат  $\xi$ , жестко связанная с изображением, повернута на угол  $\varphi$  относительно исходной системы координат в плоскости регистрации (рис. 1). При этом, очевидно,  $q_{1i} = l_1 + \lambda \xi_{1i} \cos \varphi - \lambda \xi_{2i} \sin \varphi$ ,  $q_{2i} = l_2 + \lambda \xi_{1i} \sin \varphi + \lambda \xi_{2i} \cos \varphi$ . Положим, что координаты  $(\xi_{1i}, \xi_{2i})$ , характеризующие взаимное расположение фрагментов (структуру изображения) с точностью до масштаба (размера)  $\lambda$ , априори известны. Однако амплитуды  $a_i$  отдельных фрагментов, угол поворота  $\varphi$  (ракурс) сложного изображения и его масштаб  $\lambda$  в общем случае могут быть неизвестны. При известной структуре изображения можно использовать второй метод (назовем его прямым) оценки местоположения  $l$ . Теперь все сложное изображение рассматривается как один пространственный сигнал, зависящий от параметров [5]  $l, \lambda, \varphi, a_i, i = 1, p$ . Для получения оценки местоположения сложного объекта найдем оценки максимального правдоподобия всех неизвестных параметров. Когда амплитуды отдельных фрагментов известны, обработка реализации  $u(x)$  сводится к формированию функции [4, 5]

$$M_2(L) = (2/N_0) \sum_{i=1}^p a_i \int_X u(x) f(x - q_i(L)) dx - (1/N_0) \int_X f^2(x) dx \sum_{i=1}^p a_i^2 \quad (3)$$

и определению положения  $L_m$  ее абсолютного максимума. Вектор неизвестных параметров  $L$  может иметь четыре компонента:  $L_1 = l_1$ ,  $L_2 = l_2$  определяют местоположение,

$L_3 \equiv \lambda$  — масштаб и  $L_4 \equiv \varphi$  — ракурс изображения. Согласно [4, 5] оценка максимального правдоподобия  $L_m$  обладает корреляционной матрицей

$$K_{j,v} = A_{j,v}/\Omega, \quad j, v = \overline{1, h}. \quad (4)$$

Здесь  $\Omega$  — определитель с элементами  $\omega_{j,v} = \sum_{i=1}^p z_i^2 \sum_{n,m=1}^2 I_{mn} \frac{\partial q_{ni}}{\partial l_j} \frac{\partial q_{mi}}{\partial l_v}$ ;  $A_{j,v}$  — алгебраические дополнения этого определителя;  $h=2, 3, 4$  в зависимости от числа неизвестных параметров сложного изображения. Согласно (2), (4) рассеяние оценки местоположения объекта при использовании прямого метода

$$V_h = (A_{11} + A_{22})/\Omega. \quad (5)$$

Формула (5) верна [4], когда  $z^2 \gg 1$ , где  $z^2 = \sum_{i=1}^p z_i^2$  — суммарное отношение

сигнал-шум для всего сложного изображения. Если значения  $\lambda$  и  $\varphi$  априори известны, то (5) принимает вид

$$V_2 = (I_{11} + I_{22})/[z^2 (I_{11} I_{22} - I_{12}^2)]. \quad (6)$$

Эта формула несколько упрощается, если изображение состоит из осесимметричных фрагментов [5]. Тогда  $I_{11} = I_{22} = I$ ,  $I_{12} = 0$  и (6) перепишется как  $V_2 = 2/(I z^2)$ .

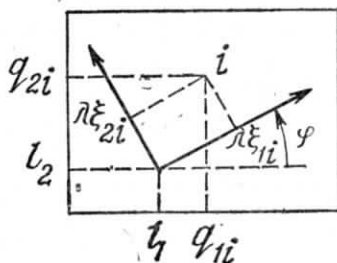


Рис. 1

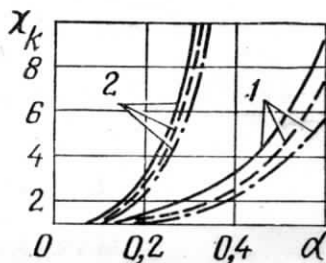


Рис. 2

При априори неизвестном значении масштаба  $\lambda$  (или ракурса  $\varphi$ ) и осесимметричных фрагментах из (5) получаем величину рассеяния оценки местоположения (2)

$$V_3 = V_2(1 + \theta/2), \quad (7)$$

$$\text{где} \quad \theta = \left[ \left( \sum_{i=1}^p a_i^2 \xi_{1i} \right)^2 + \left( \sum_{i=1}^p a_i^2 \xi_{2i} \right)^2 \right] \left[ \left( \sum_{i=1}^p a_i^2 \right) \sum_{i=1}^p a_i^2 (\xi_{1i}^2 + \xi_{2i}^2) - \left[ \left( \sum_{i=1}^p a_i^2 \xi_{1i} \right)^2 + \left( \sum_{i=1}^p a_i^2 \xi_{2i} \right)^2 \right] \right]^{-1}.$$

Когда априори неизвестны  $\lambda$  и  $\varphi$ , для рассеяния (2) из (5) имеем

$$V_4 = V_2(1 + \theta). \quad (8)$$

В случае, если амплитуды отдельных фрагментов априори неизвестны, надо максимизировать логарифм функционала отношения правдоподобия (3) по  $a_i$ ,  $i = \overline{1, p}$  [4]. В результате получаем, что искомая оценка определяется как положение абсолютного максимума функции

$$M_3(L) = \sum_{i=1}^p \left\{ \int_X u(x) f[x - q_i(L)] dx \right\}^2 \left\{ N_0 \int_X f^2(x) dx \right\}^{-1}.$$

Выделяя здесь детерминированную и случайную составляющие и следуя известной методике [4], находим элементы корреляционной матрицы оценок

$$K_{j,v}^* = K_{j,v}(1 + p/z^2), \quad \text{где } j, v = \overline{1, h}, \quad K_{j,v} \text{ определяются из (4).}$$

Найдем выигрыш в точности оценки местоположения, обеспечиваемый прямым методом по сравнению с косвенным. Можем записать на основе полученных соотношений, что отношение рассеяния оценки при косвенном методе к рассеянию при прямом методе равно

$$\chi_k = \eta \left( \sum_{i=1}^p a_i^2 \right) \left( \sum_{i=1}^p a_i^{-2} \right) p^{-2} \gamma_k^{-1}, \quad k=0,1,2. \quad (9)$$

В (9) следует подставить значение  $\gamma_0=1$ , когда априори известны  $\lambda$  и  $\varphi$ ;  $\gamma_1=1+\theta/2$  — когда неизвестно либо  $\lambda$ , либо  $\varphi$ ;  $\gamma_2=1+\theta$  — когда неизвестны как  $\lambda$ , так и  $\varphi$ . Если амплитуды всех фрагментов априори известны, то в (9) множитель  $\eta=1$ . При априори неизвестных амплитудах  $\eta=(1+p/z^2)^{-1}$ .

В качестве примера рассмотрим изображение, фрагменты которого расположены на двух отрезках прямых линий одинаковой длины, пересекающихся под прямым углом («крест»). Полагаем, что фрагменты расположены на расстоянии  $\exp(-\beta i)$  от начала каждого отрезка, а амплитуды фрагментов убывают по закону  $a_i = \exp(-\alpha i)$ . При этом точка пересечения отрезков выбрана совпадающей с местоположением объекта. На рис. 2 приведены зависимости  $\chi_k$  (9) от  $\alpha$  при  $\eta=1$ ,  $\beta=0,2$ ,  $p=10$  (кривые 1) и  $p=20$  (кривые 2). Сплошные кривые соответствуют  $k=0$  в (9), штриховые —  $k=1$ , штрихпунктирные —  $k=2$ . Кривые рис. 2 показывают возможность получения существенного выигрыша в точности оценки при использовании прямого метода. Кроме того,

условие применимости прямого метода  $\left( \sum_{i=1}^p z_i^2 \gg 1 \right)$  является гораздо менее ограни-

чительным, чем условие применимости косвенного метода ( $z_i^2 \gg 1$  для всех  $i=1, \dots, p$ ).

Таким образом, полученные выражения позволяют сделать обоснованный выбор между двумя методами оценки в зависимости от имеющейся априорной информации и от требований, предъявляемых к точности оценки местоположения и к степени простоты технической реализации метода.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Штаггер Е. А., Чаевский Е. В. Рассеяние волн на телах сложной формы. — М.: Сов. радио, 1974.
2. Черняк В. С. Радиотехника и электроника, 1979, т. XXIV, № 12.
3. Розенфельд А., Дейвис Л. С. ТИИЭР, 1979, т. 67, № 5.
4. Куликов Е. И., Трифонов А. П. Оценка параметров сигналов на фоне помех. — М.: Сов. радио, 1978.
5. Трифонов А. П., Зюльков А. В., Маршаков В. К. — Изв. вузов СССР. Сер. Радиоэлектроника, 1981, № 1.

Поступила после доработки 18 марта 1985 г.

УДК 621.397.2.037.372

С. В. НОВАКОВСКИЙ, Г. К. ЛИТВИНОВ

### КВАДРАТУРНО-ВРЕМЕННОЙ МЕТОД ОДНОВРЕМЕННОЙ ПЕРЕДАЧИ ТВ СИГНАЛОВ

Предложен квадратурно-временный метод одновременной передачи двух независимых ТВ сигналов. Рассмотрена работа устройства, реализующего предложенный метод, указаны параметры восстановленного изображения.

Метод одновременной передачи двух телевизионных (ТВ) сигналов на основе квадратурной модуляции [1, 2] наилучшим образом подходит для сильнокоррелированных сигналов, поскольку в этом случае перекрестные помехи незаметны, что обуславливает возможность одновременной передачи двух соседних кадров (полей, строк или элементов) ТВ сигнала, которые, как известно, обладают сильной корреляцией. При сочетании указанного метода с временными методами одновременной передачи ТВ сигналов можно осуществить передачу двух независимых ТВ сигналов без заметных перекрестных помех. Поскольку в телевидении сигналы передаются с частично подавленной одной боковой полосой частот, то при переносе ТВ сигналов на квадратурные поднесущие между ними возникают перекрестные помехи, обусловленные этим ограни-