

УДК 621.396.96:621.391.26

ПОПОВ Д. И., БЕЛОКРЫЛОВ А. Г.

АНАЛИЗ СИСТЕМ ОБНАРУЖЕНИЯ-ИЗМЕРЕНИЯ МНОГОЧАСТОТНЫХ СИГНАЛОВ

Проведен сравнительный анализ характеристик обнаружения одноканальных систем обработки многочастотных сигналов на фоне белого шума при различном характере междупериодной обработки (когерентной или некогерентной) в частотных каналах. Проведен анализ точности измерения радиальной скорости цели в зависимости от параметров многочастотного сигнала.

В [1] синтезированы алгоритмы обработки и соответствующие им многоканальные и одноканальные по доплеровской частоте системы обнаруже-

ния-измерения многочастотных сигналов. Анализ многоканальных систем проведен в [2]. Ниже проводится сравнительный анализ характеристик обнаружения одноканальных систем междупериодной обработки многочастотных сигналов, а также анализ точности измерения радиальной скорости цели.

Анализ характеристик обнаружения. Используем аналогичное [1, 2] статистическое описание многочастотных сигналов, представляющих в каждом из L частотных каналов когерентную последовательность N отсчетов $U_j^{(l)}$, следующих через период повторения T и образующих совокупность векторов $\{U_l\} = \{U_1, \dots, U_L\}$, где вектор-столбец $U_l = \{U_j^{(l)}\}^T$, $j = \overline{1, N}$, $l = \overline{1, L}$. Распределение статистически независимых между частотными каналами гауссовских сигналов и шумов описывается в каждом частотном канале корреляционной матрицей $R_l^{\text{сш}} = q_l R_l^{\text{с}} + R_l^{\text{ш}}$ для сигнала и шума и диагональной матрицей $R_l^{\text{ш}} = R^{\text{ш}} = I$ для одного шума, элементы которых соответственно имеют вид: $R_{jk}^{\text{сш}(l)} = q_l R_{jk}^{\text{с}(l)} + R_{jk}^{\text{ш}} = q_l \rho_l(j, k) e^{i(j-k)\phi_l} + \delta_{jk}$, $R_{jk}^{\text{ш}} = \delta_{jk}$, где q_l — отношение сигнал/шум для l -го частотного канала; $\rho_l(j, k)$ — коэффициенты междупериодной корреляции сигнала; ϕ_l — доплеровский сдвиг фазы сигнала за период повторения T в l -м частотном канале, причем $\phi_l = r_l \phi_1$, где $r_l = f_l/f_1 < 1$ — отношение несущих частот l -го и 1-го частотных каналов; δ_{jk} — символ Кронекера.

Адаптивная к доплеровским сдвигам фаз многочастотного сигнала система осуществляет в каждом частотном канале одноканальное когерентное накопление произведений комплексно-сопряженных соседних отсчетов $U_j^{(l)}$ с последующим использованием состоятельных оценок $\hat{\phi}_l$, в частности, оценок максимального правдоподобия [1]. Структурная схема данной системы предложена в [3], а алгоритм обработки имеет вид

$$u(\{\hat{\phi}_l\}) = \sum_{l=1}^L u_l(\hat{\phi}_l) = \frac{1}{2} \sum_{l=1}^L \left(e^{-i\hat{\phi}_l} X_l + e^{i\hat{\phi}_l} X_l^* \right) = \sum_{l=1}^L U_l^{\text{T}*} \hat{Q}_l U_l \geq u_0, \quad (1)$$

где $X_l = \sum_{j=2}^N U_{j-1}^{(l)*} U_j^{(l)}$, $X_l^* = \sum_{j=2}^N U_j^{(l)*} U_{j-1}^{(l)}$, Q_l — матрица обработки l -го частотного канала, элементы которой $\hat{Q}_{j-1,j}^{(l)} = 0,5e^{-i\hat{\phi}_l}$, $\hat{Q}_{j,j-1}^{(l)} = 0,5e^{i\hat{\phi}_l}$, в остальных случаях $\hat{Q}_{j,k}^{(l)} = 0$.

Для последующего анализа необходимо перейти от текущих значений оценок $\hat{\phi}_l$ в алгоритме (1) к параметрам их распределений путем выполнения соответствующих усреднений с использованием асимптотических свойств оценок максимального правдоподобия. Учитывая статистическую независи-

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Попов Д. И., Белокрылов А. Г. Синтез обнаружителей-измерителей многочастотных сигналов // Радиоэлектроника.— 2001.— № 11.— С. 33—40. (Изв. вузов).
2. Попов Д. И., Белокрылов А. Г. Анализ многоканальных систем обработки многочастотных сигналов // Радиоэлектроника.— 2003.— №10.— С. 50—55. (Изв. вузов).
3. Патент № 2166772 (Россия), МКИ⁷ G 01 S 13/58. Обнаружитель-измеритель многочастотных сигналов / Д. И. Попов, А. Г. Белокрылов. Опубл. 10.05.2001. Бюл. № 13.
4. Попов Д. И. Синтез автокомпенсаторов доплеровской скорости пассивных помех // Радиоэлектроника.— 1981.— № 11.— С. 26—30. (Изв. вузов).
5. Патент № 2165627 (Россия), МКИ⁷ G 01 R 25/00. Доплеровский фазометр многочастотных сигналов / Д. И. Попов, А. Г. Белокрылов. Опубл. 20.04.2001. Бюл. № 11.

Рязанская государственная радиотехническая академия. Поступила в редакцию 08.11.02.