

УДК 621.396.96

МОДЕЛЬ РАДИОЛОКАЦИОННОГО ПОРТРЕТА ЦЕЛИ В РЛС МАЛОЙ ДАЛЬНОСТИ С МНОГОЧАСТОТНЫМ ЗОНДИРУЮЩИМ СИГНАЛОМ

АДХАМ САЛИМ АЛЬ-МУАЗ, С.В. ШАЛЯПИН

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники

П. Бровка, 6, Минск, 220013, Беларусь

Поступила в редакцию 13 октября 2006

Рассматриваются статистические модели комбинированных усеченных радиолокационных портретов цели в бистатической РЛС малой дальности с многочастотным зондирующим сигналом.

Ключевые слова : комбинированный радиолокационный портрет , корреляционная матрица , спектральное преобразование.

Постановка задачи

Многопозиционная РЛС [1] содержит импульсное передающее устройство, осуществляющее многочастотное излучение, L многоканальных по частоте и эквидистантно расположенных в пространстве приемных устройств, структура которых представлена на рис. 1, и устройство обработки радиолокационного портрета.



Рис. 1. Структурная схема многоканального приемного устройства

Зондирующие сигналы (ЗС) передатчика разнесены по частоте

$$f_w = f_0 + \Delta f_w,$$

где f_0 — начальная частота ЗС; w — номер частоты ($w = \overline{1, W}$); $\Delta f_w = \Delta f(w-1)$ — отклонение w -й частоты ЗС от начального значения; Δf — интервал между соседними частотами.

Длительность одной пачки ЗС (длительность одного цикла зондирования)

$$T_H = NT_n \ll \tau_c,$$

где T_n — период повторения ЗС; N — число импульсов в пачке; τ_c — время корреляции флуктуаций.

Расстояние между передающими и приемными устройствами составляет несколько сотен метров и соизмеримо с дальностью действия системы. Такое небольшое расстояние обеспечивает передачу гетеродинного сигнала с передатчика на каждое приемное устройство, что позволяет предсказать среднюю разность фаз между отраженными от цели сигналами, поступающими на приемник в разные моменты времени и на разных частотах. Расстояния между приемными устройствами меньше дальности действия системы, но соизмеримы с интервалом пространственной корреляции отраженного от цели сигнала. В этом случае сигналы, отраженные от цели и принимаемые различными антеннами приемного устройства, обладают относительно высокой пространственной корреляцией. Более того, выполняются условия, обеспечивающие продолжительную пространственную когерентность сигнала, принятого различными приемниками [1].

Таким образом, на выходе приемных устройств снимается дискретная выборка комплексных сигналов $\xi^{g0} = (\xi_{111}^{g0}, \dots, \xi_{nlw}^{g0}, \dots, \xi_{NLW}^{g0})^T$, характеризующая отраженный от цели g -го класса сигнал ($g = \overline{1, G}$, G — число распознаваемых классов цели), полученный:

в различных периодах повторения ($n = \overline{1, N}$);

в нескольких разнесенных по пространству пунктах приема ($l = \overline{1, L}$);

на различных частотах ($w = \overline{1, W}$), от одного передающего устройства.

Принятый сигнал ξ^{g0} представляет собой аддитивную смесь отраженного от цели g -го класса сигнала $\xi^g = (\xi_{111}^g, \dots, \xi_{nlw}^g, \dots, \xi_{NLW}^g)^T$ и фона $\xi^0 = (\xi_{111}^0, \dots, \xi_{nlw}^0, \dots, \xi_{NLW}^0)^T$. Элементы комплексного вектора $\xi^{g0} = \xi^g + \xi^0$ образуют комбинированный радиолокационный портрет (РЛП), включающий в себя флуктуационный (ФП), частотно-коррелированный (ЧКП) и пространственно-коррелированный (ПКП) одномерные портреты [3]. Структурная схема приемного устройства, позволяющая выделить многочастотный сигнал в l -м пункте приема, изображена на рис. 1.

В данной работе решаются задачи:

определения корреляционной матрицы элементов комбинированного портрета с целью формирования его математической модели;

преобразования комбинированного радиолокационного портрета в спектральную область по каждой из трех координат: пространству, времени и несущей частоте.

Общий вид корреляционной матрицы исходного комбинированного портрета

В рассматриваемом случае закон распределения элементов комбинированного РЛП можно полагать нормальным [2, 4]. При этом важнейшей характеристикой радиолокационного портрета, позволяющей получить описание многомерной плотности вероятности, является его корреляционная матрица. В силу регулярной корреляции всех перечисленных выше одномерных портретов [3, 5] каждый элемент корреляционной матрицы указанного выше комбинированного портрета может быть представлен в виде

$$R_{n_1 l_1 w_1; n_2 l_2 w_2} = 2\sigma_{n_1 l_1 w_1} \sigma_{n_2 l_2 w_2} \dot{r}_{n_1 l_1 w_1; n_2 l_2 w_2}, \quad (1)$$

где $\dot{r}_{n_1 l_1 w_1; n_2 l_2 w_2} = r_{n_1 l_1 w_1; n_2 l_2 w_2} \exp(i\Phi_{n_1 l_1 w_1; n_2 l_2 w_2})$ — комплексный коэффициент межэлементной корреляции; $r_{n_1 l_1 w_1; n_2 l_2 w_2}$, $\Phi_{n_1 l_1 w_1; n_2 l_2 w_2}$ — модуль и фаза коэффициента корреляции; $n_1, n_2 = \overline{1, N}$, $l_1, l_2 = \overline{1, L}$, $w_1, w_2 = \overline{1, W}$ — индексы по соответствующим размерностям портрета; σ_{nlw}^2 — дисперсия сигнала n, l, w -го элемента портрета.

В силу независимости физических причин, порождающих упомянутые выше одномерные портреты [4], коэффициент межэлементной корреляции можно представить в виде

$$\dot{r}_{n_1 l_1 w_1; n_2 l_2 w_2}^\Phi = \dot{r}_{n_1 n_2}^\Phi \dot{r}_{l_1 l_2}^\Pi \dot{r}_{w_1 w_2}^\Psi,$$

где $\dot{r}_{n_1 n_2}^\Phi = r_{n_1 n_2}^\Phi \exp(i\Phi_{n_1 n_2}^\Phi)$ — коэффициент корреляции между периодными флуктуациями; $r_{n_1 n_2}^\Phi$, $\Phi_{n_1 n_2}^\Phi$ — модуль и фаза коэффициента корреляции между периодными флуктуациями; $\dot{r}_{l_1 l_2}^\Pi = r_{l_1 l_2}^\Pi \exp(i\Phi_{l_1 l_2}^\Pi)$ — коэффициент пространственной корреляции; $r_{l_1 l_2}^\Pi$, $\Phi_{l_1 l_2}^\Pi$ — модуль и фаза коэффициента пространственной корреляции; $\dot{r}_{w_1 w_2}^\Psi = r_{w_1 w_2}^\Psi \exp(i\Phi_{w_1 w_2}^\Psi)$ — коэффициент частотной корреляции; $r_{w_1 w_2}^\Psi$, $\Phi_{w_1 w_2}^\Psi$ — модуль и фаза коэффициента частотной корреляции.

Дисперсию σ_{nlw}^2 можно представить в виде

$$\sigma_{nlw}^2 = K_l^2 \sigma_{\Phi n}^2,$$

где $\sigma_{\Phi n}^2$ — дисперсия n -го элемента флуктуационного портрета; K_l^2 — коэффициент усиления по мощности l -го приемного устройства.

Корреляционная матрица (1) имеет вложенную блочную структуру

$$\mathbf{R} = \begin{bmatrix} 2\sigma_{\Phi 1}^2 \dot{r}_{11}^\Phi \mathbf{R}_{\text{пч}} & \cdots & 2\sigma_{\Phi 1} \sigma_{\Phi N} \dot{r}_{1N}^\Phi \mathbf{R}_{\text{пч}} \\ \cdots & \cdots & \cdots \\ 2\sigma_{\Phi N} \sigma_{\Phi 1} \dot{r}_{N1}^\Phi \mathbf{R}_{\text{пч}} & \cdots & 2\sigma_{\Phi N}^2 \dot{r}_{NN}^\Phi \mathbf{R}_{\text{пч}} \end{bmatrix},$$

$$\text{где } \mathbf{R}_{\text{пч}} = \begin{bmatrix} K_1^2 \dot{r}_{11}^\Pi \mathbf{R}_\Phi & \cdots & K_1 K_L \dot{r}_{1L}^\Pi \mathbf{R}_\Phi \\ \cdots & \cdots & \cdots \\ K_L K_1 \dot{r}_{L1}^\Pi \mathbf{R}_\Phi & \cdots & K_L^2 \dot{r}_{LL}^\Pi \mathbf{R}_\Phi \end{bmatrix}, \quad \mathbf{R}_\Phi = \begin{bmatrix} \dot{r}_{11}^\Psi & \cdots & \dot{r}_{1W}^\Psi \\ \cdots & \cdots & \cdots \\ \dot{r}_{W1}^\Psi & \cdots & \dot{r}_{WW}^\Psi \end{bmatrix} \quad \text{— блочная матрица}$$

комбинированного РЛП, включающего в себя только ПКП и ЧКП, и корреляционная матрица ЧКП.

Корреляционная матрица комбинированного портрета при переходе в спектральную область

В силу высокой корреляции комбинированного РЛП по каждому из трех сечений возможно упрощение математической модели портрета путем перехода в спектральную область. Для этого следует выполнить ДПФ для каждого из трех сечений исходного РЛП:

$$\boldsymbol{\eta} = \mathbf{M}_{\text{дпф}} \boldsymbol{\xi}, \quad (2)$$

где $\boldsymbol{\eta} = (\boldsymbol{\eta}_{111}, \dots, \boldsymbol{\eta}_{nlw}, \dots, \boldsymbol{\eta}_{NLW})^T$ — комбинированный РЛП после трехкратного спектрального преобразования; $\mathbf{M}_{\text{дпф}} = \mathbf{M}'_{\text{дпф}} \mathbf{M}''_{\text{дпф}} \mathbf{M}'''_{\text{дпф}}$ — матрица преобразования комбинированного портрета в спектральную область, соответствующая размерности матрицы \mathbf{R} ; $\mathbf{M}'_{\text{дпф}}$ — матрица преобразования первого этапа в сечении ФП; $\mathbf{M}''_{\text{дпф}}$ — матрица преобразования второго этапа в сечении ПКП; $\mathbf{M}'''_{\text{дпф}}$ — матрица преобразования третьего этапа в сечении ЧКП.

Матрицы преобразований портрета в различных сечениях представляют собой блочные разреженные матрицы. Так в [7] приведены выражения для матриц $\mathbf{M}'_{\text{дпф}}$ и $\mathbf{M}''_{\text{дпф}}$ в сечениях ФП и ПКП. При первом преобразовании осуществляется когерентное накопление отраженного от цели сигнала по времени [7] и выделяется спектральный портрет цели. При втором

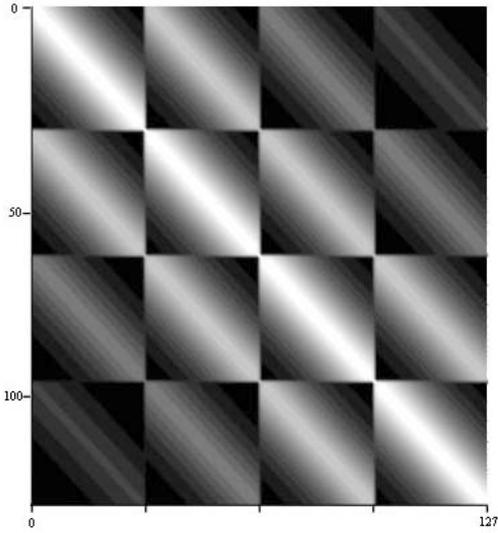


Рис. 2. Корреляционная матрица флуктуационно-частотного портрета

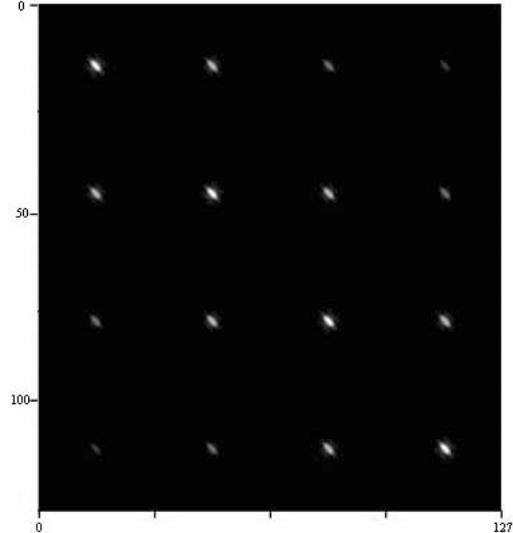


Рис. 3. Корреляционная матрица спектрально-частотного портрета

При этом происходит межблочное сжатие корреляционной матрицы (рис. 4).

Возможен и другой путь, когда на первом этапе производится преобразование в сечении ЧКП (рис. 5), а на втором этапе в сечении флуктуационного портрета (ФП) (рис. 4).

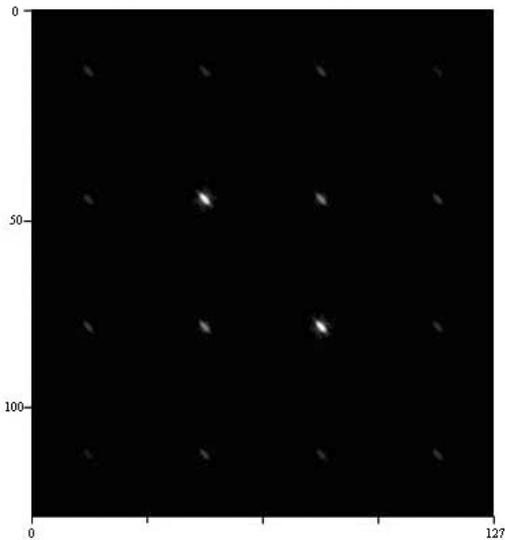


Рис. 4. Корреляционная матрица спектрально-дальностного портрета

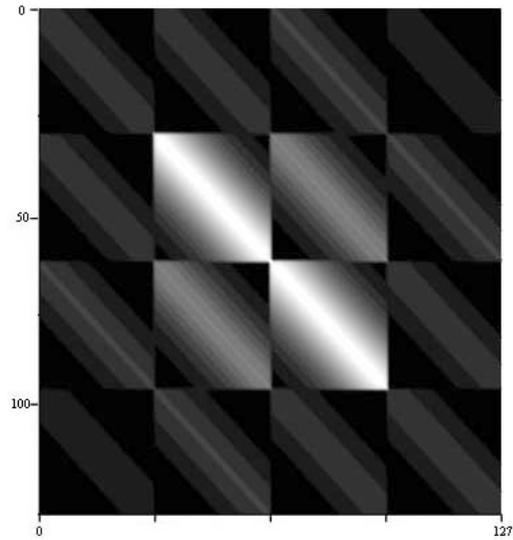


Рис. 5. Корреляционная матрица флуктуационно-дальностного портрета

Заключение

В результате преобразования в спектральную область из исходного трехмерного комбинированного радиолокационного портрета, включающего в себя флуктуационный (ФП), частотно-коррелированный (ЧКП) и пространственно-коррелированный (ПКП) одномерные портреты, получен комбинированный трехмерный портрет, включающий в себя спектральный, картинный и дальностный портрет. Полученный в результате преобразования портрет характеризуется меньшим числом значащих элементов корреляционной матрицы, а значит,

требует существенно меньшего числа вычислительных операций при обработке такого портрета [5,6].

Информационные признаки исходного РЛП [3] характеризуются распределением элементов корреляционной матрицы вдоль побочной диагонали, а информационные признаки портрета, полученного в результате спектрального преобразования, характеризуются распределением элементов корреляционной матрицы вдоль главной диагонали. Это дает возможность отказаться от учета элементов, расположенных вне главной диагонали матрицы и перейти к трехмерному комбинированному некоррелированному портрету.

Переход к некоррелированному портрету существенно снизит число обрабатываемых элементов с величины $(N \cdot W \cdot L)^2$ до $N \cdot W \cdot L$, а число операций умножения уменьшится с $4(N \cdot W \cdot L)^2$ до $3(N \cdot W \cdot L)$. Выигрыш составит $4(N \cdot W \cdot L)/3$ раз. Например, при $N=128$, $W=4$ и $L=3$ обработка исходного РЛП потребует 9 437 184 операций умножения. Обработка портрета, преобразованного в спектральную область, потребует всего 4 608 операций. Выигрыш составит 2048 раз.

MODEL OF RADAR TARGET PORTRAIT IN THE BISTATIC SHORT RANGE RADAR SYSTEMS WITH MULTIFREQUENCY RANGING SIGNAL

ADHAM MOUAZ SALIM, S.V. SHALIAPIN

Abstract

The statistical models of the combined and truncated radar portraits of the targets in the bistatic short range radar systems with a multifrequency ranging signal are considered.

Литература

1. *Охрименко А.Е.* Основы обработки и передачи информации. Минск, 1990.
2. *Охрименко А.Е.* Основы извлечения, обработки и передачи информации. Часть 3. Распознавание-различение сигналов. Минск, 1995.
3. *Курлович В.И., Шаляпин С.В.* Основы теории радиосистем. Минск, 2000.
4. *Ширман Я.Д., Горшков С.А. и др.* Радиолокационное распознавание / Под ред. Я.Д. Ширмана Харьков, 1994.
5. *Шаляпин С.В., Ярмолик С.Н.* // Материалы VIII Международной НТК "Радиолокация, навигация, связь", 23–25 апреля 2002 г., Воронеж. Воронеж, 2002. С. 1801–1810.
6. *Ярмолик С.Н., Шаляпин С.В.* // Докл. БГУИР. 2003. Т. 1, №3. С. 24–27.
7. *Шаляпин С.В., Адхам С. Муаз, Фирсаков А.А.* // Материалы XII Международной НТК "Радиолокация, навигация, связь", 18–20 апреля 2006 г. Воронеж. Воронеж, 2006. С. 1507–1518.
8. *Eleanor Chu, Alan George.* Inside the FFT Black Box. Serial and Parallel Fast Fourier Transform Algorithms. International Standard Book Number 0-8493-0270-6. 2000.