

УДК 621.396.96

РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ РАСПОЗНАВАНИЯ КЛАССОВ ОБЪЕКТОВ НА ОСНОВЕ БЫСТРЫХ АЛГОРИТМОВ ЦИФРОВОЙ ОБРАБОТКИ СИГНАЛОВ

С.Н. ЯРМОЛИК, С.В. ШАЛЯПИН

*Военная академия Республики Беларусь
ВА РБ, Минск, 220057, Беларусь*

Поступила в редакцию 23 сентября 2003

Материалы статьи посвящены вопросам разработки эффективных по числу математических операций оптимальных и квазиоптимальных байесовских алгоритмов распознавания классов объектов по регулярно-коррелированным портретам. Данные алгоритмы основываются на процедурах обработки сигналов в частотной области с использованием разложения матриц обработки на элементарные сомножители по алгоритмам Левинсона и Холецкого.

Ключевые слова: радиолокационное распознавание, радиолокационный портрет, класс объекта, алгоритмы обработки портрета.

Введение

В настоящее время общее решение задачи радиолокационного распознавания класса объекта по байесовским критериям оптимальности сводится к формированию в каждом канале обработки логарифма отношения правдоподобия [1, 2]. Иногда решение удобнее принимать по логарифму функции правдоподобия

$$Z_{k0} = \ln[p_{k0}(\xi)] = a_{k0} + \xi \mathbf{B}^{k0} \xi^{*T} + \xi (\mathbf{R}^k + \mathbf{R}_0)^{-1} \xi^{*T}, \quad (1)$$

где Z_{k0} — результат обработки принятой реализации радиолокационного портрета (РЛП) в k -м канале; $k = \overline{1, M}$ — номер класса распознаваемого объекта; M — число распознаваемых классов; $p_{k0}(\xi)$ — многомерная плотность вероятности элементов портрета, представляющего собой смесь отраженного от объекта k -го класса сигнала и фона ($\xi = \xi^k + \xi_0$); $\mathbf{B}^{k0} = (\mathbf{R}^k + \mathbf{R}_0)^{-1}$, a_{k0} — матрица обработки реализации портрета и смещение в k -м канале; $\mathbf{R}^k = \overline{\xi^k \cdot (\xi^k)^{*T}}$ — корреляционная матрица объекта k -го класса; \mathbf{R}_0 — корреляционная матрица фона. Структурная схема k -го канала обработки РЛП приведена на рис. 1.

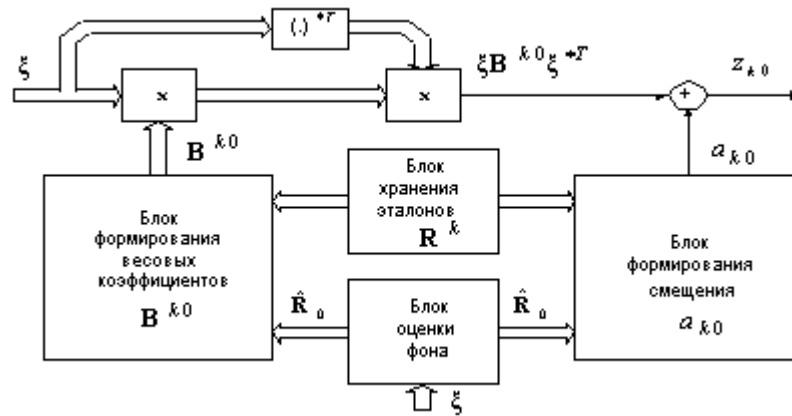


Рис. 1. Структурная схема k -го канала обработки радиолокационного портрета

Практическая реализация M -канальных систем распознавания, основанных на оптимальной обработке поступающего на вход портрета наблюдаемого объекта (1), существенно затруднена вычислительной сложностью имеющих алгоритмов, особенно при обработке коррелированных многоэлементных портретов. В случае обработки регулярно-коррелированных портретов ξ , характеризующихся теплицевыми корреляционными матрицами \mathbf{R}^k , известные алгоритмы (1) обладают определенной избыточностью. Эта избыточность обусловлена регулярной структурой эрмитовых, теплицевых корреляционных матриц \mathbf{R}^k .

Быстрые оптимальные алгоритмы обработки радиолокационных портретов

На основе алгоритма Левинсона обращения теплицевых матриц [3] известный матричный алгоритм обработки портрета (1), синтезированный по функции правдоподобия, может быть преобразован к виду

$$Z_{k0} = a_{k0} + \xi(\mathbf{R}^k + \mathbf{R}_0)^{-1} \xi^{*T} = a_{k0} + \frac{1}{\rho^k} [\xi \mathbf{V} I_i^{k0} (\xi \mathbf{V} I_i^{k0})^{*T} - \xi \mathbf{V} 2_i^{k0} (\xi \mathbf{V} 2_i^{k0})^{*T}], \quad (2)$$

где ρ^k — постоянный коэффициент для k -го канала обработки; $\mathbf{V} I_i^{k0}, \mathbf{V} 2_i^{k0}$ — нижние треугольные ленточные матрицы, характеризующие k -й канал обработки РЛП.

Сомножители алгоритма (2) $\eta = \xi \mathbf{V}^{k0}$ могут быть заменены циклической сверткой (ЦС)

$$\eta' = \xi' \mathbf{L}_{\hat{o}\hat{n}}^{k0},$$

где $\xi' = \{\xi_1, \xi_2, \dots, \xi_N, 0, \dots, 0\}$ — вектор, полученный из ξ добавлением нулей; N — число элементов обрабатываемого портрета; η' — вектор, в котором последние N элементов совпадают с вектором η .

Циклическая свертка может быть вычислена в частотной области на основе процедуры быстрого преобразования Фурье (БПФ) [4]:

$$\hat{\mathbf{E}} = \hat{\mathbf{I}} \otimes \zeta,$$

где \mathbf{K}, ζ — коэффициенты БПФ от последовательностей ξ', h ; h — отсчеты импульсной характеристики матричного фильтра $\mathbf{L}_{\hat{o}\hat{n}}^{k0}$; \otimes — символ поэлементного произведения.

В результате проделанных операций получаем быстрый алгоритм обработки входного РЛП в интересах распознавания класса объекта, реализация которого возможна с меньшими вычислительными затратами при одновременном сохранении оптимальности исходного алгоритма (1). Схема k -го канала быстрой оптимальной обработки РЛП в частотной области, согласно (2), приведена на рис. 2.

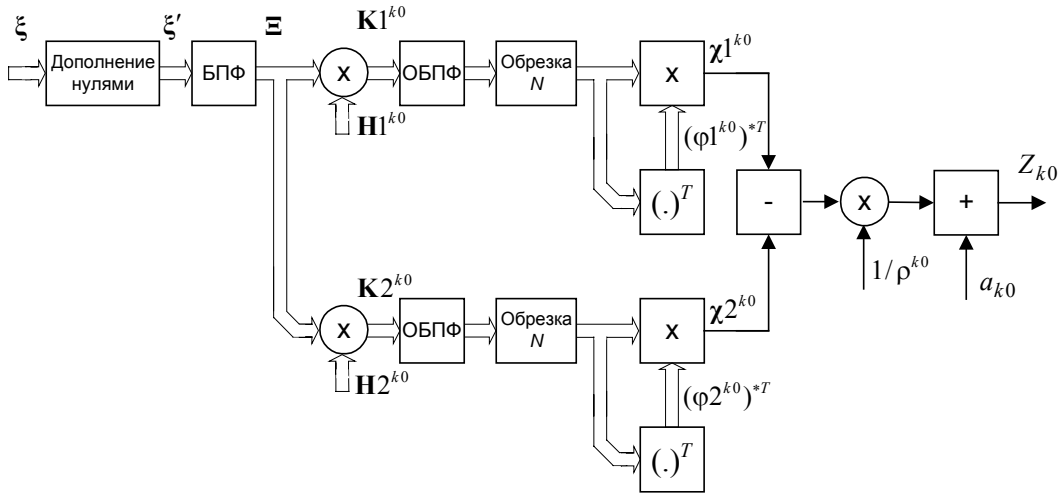


Рис. 2. Схема оптимальной обработки радиолокационного портрета

Используя аналогичный подход, можно получить быстрые алгоритмы обработки одномерных портретов, синтезированные по отношению правдоподобия. В этом случае схема обработки будет содержать не два, а четыре подканала обработки. Кроме того, на основе многоканального алгоритма Левинсона обращения блочно-теплицевых матриц [3] можно получить быстрые алгоритмы обработки многоэлементных комбинированных РЛП, характеризующихся блочными теплицевыми матрицами.

Быстрые квазиоптимальные алгоритмы обработки радиолокационных портретов

Дальнейшее упрощение алгоритмов обработки регулярно-коррелированных радиолокационных портретов возможно при переходе к квазиоптимальным алгоритмам обработки [5]. Для получения быстрого квазиоптимального алгоритма обработки РЛП, синтезированного по функции правдоподобия, представим матрицу обработки РЛП по методу Холецкого в виде треугольных сомножителей $\mathbf{V}^{k0} = \mathbf{V}^{k0} (\mathbf{V}^{k0})^{*T}$. Осуществляя переход к ленточной матрице $\mathbf{V}_{ij}^{k0} \approx \mathbf{V}_{i-j}^{k0}$, получим квазиоптимальный алгоритм обработки РЛП:

$$Z_{k0} \approx \xi \mathbf{V}^{k0} (\xi \mathbf{V}^{k0})^{*T} + a_{k0}. \quad (3)$$

Схема k -го канала квазиоптимальной обработки РЛП в частотной области приведена на рис. 3.

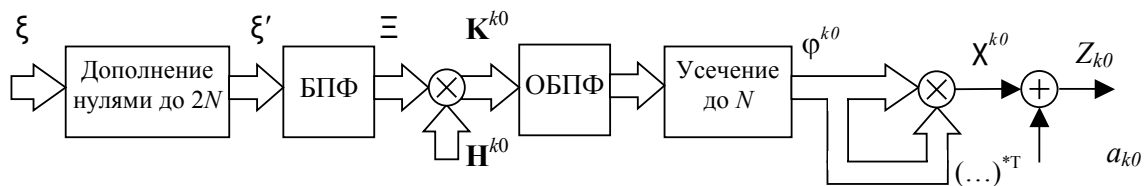


Рис. 3. Схема квазиоптимальной обработки радиолокационного портрета

По аналогии могут быть получены быстрые квазиоптимальные алгоритмы обработки РЛП, синтезированные по отношению правдоподобия.

Результаты сравнения вычислительной сложности алгоритмов

На рис. 4 приведены сравнительные графики необходимого числа вычислительных операций для оптимальной обработки N элементного РЛП в интересах распознавания объектов. По числу выполняемых комплексных умножений и сложений сравниваются исходный матричный алгоритм (1) и быстрый алгоритм, основанный на вычислении ЦС с помощью процедуры

БПФ (2). На этом же рисунке приведены графики числа вычислительных операций, необходимых для реализации быстрого квазиоптимального алгоритма (3).

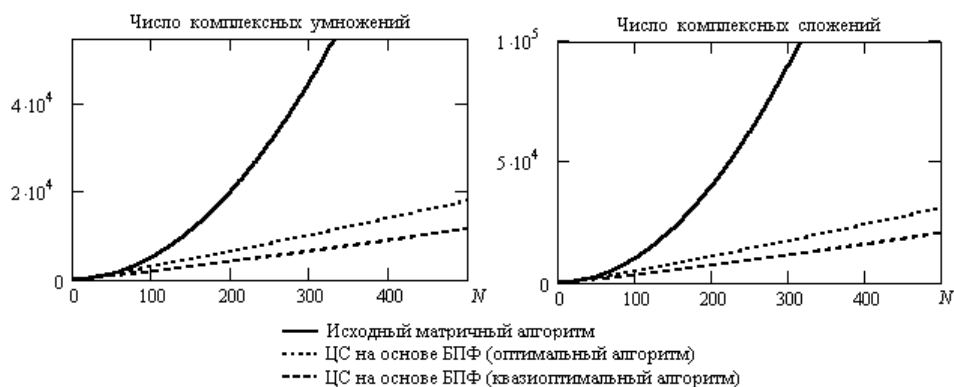


Рис. 4. Сравнительные графики числа математических операций алгоритмов обработки РЛП

Из рис. 4 видно, что предложенный подход позволяет снизить нагрузку на вычислительные средства при обработке распознаваемых реализаций РЛП. Освободившийся вычислительный ресурс может использоваться для повышения качества решения задачи радиолокационного распознавания путем обработки портретов с большим числом элементов.

Заключение

Использование разложения матриц обработки на элементарные сомножители по алгоритмам Левинсона и Холецкого позволяет на базе известных алгоритмов получить эффективные алгоритмы обработки коррелированных радиолокационных портретов, которые сохраняют оптимальность известных алгоритмов и являются более предпочтительными по критерию минимума числа математических операций.

THE SOLUTION OF OBJECTS CLASSES RECOGNITION TASK ON THE BASIS OF FAST ALGORITHMS OF SIGNALS DIGITAL PROCESSING

S.N. YARMOLIK, S.V. SHALIAPIN

Abstract

The materials of paper are devoted to questions of effective development of mathematical operations optimum and quazi-optimum Baies algorithms of objects classes recognition of regularly correlated portraits. These algorithms are based on procedures of signals processing in frequency area with use of decomposition of processing matrixes on simple factors on Levinson and Cholesky algorithms.

Литература

1. Охрименко А.Е. Основы радиолокации и РЭБ. Ч. 1. Основы радиолокации. М., 1983.
2. Ширман Я.Д., Гориков С.А., Леценко С.П., Братченко Г.Д., Орленко В.М. // Зарубежная радиоэлектроника. 1996. № 11. С. 5–65.
3. Марпл.-мл. С.Л. Цифровой спектральный анализ и его приложения. М., 1990.
4. Крот А.М., Минервина Е.Б. Быстрые алгоритмы и программы цифровой спектральной обработки сигналов и изображений. Мн., 1995.
5. Kurlovich V.I., Shaliapin S.V., Bashkevich V.Ya. // Electromagnetic Waves & Electronic Systems. 1999. Vol. 4, № 1. P. 17–28.