

АДАПТИВНЫЙ АЛГОРИТМ ОБНАРУЖЕНИЯ ТОЧЕЧНЫХ ЦЕЛЕЙ НА ФОНЕ ПРОТЯЖЕННЫХ ПО ДАЛЬНОСТИ ПОМЕХ

Родионов В.В.

НТЦ ЧРЗ «Полет»

Email: rww@okb.polyot.ru, rww@kyshtym.net.ru

Методы синтеза оптимальных алгоритмов обнаружения движущихся точечных целей на фоне пассивных гауссовских помех хорошо описаны в литературе [1].

В когерентных РЛС отраженный от цели сигнал во многих случаях может быть представлен медленно флуктуирующим гауссовским процессом (модель квазидетерминированного сигнала).

При синтезе алгоритма обнаружения в рамках этой модели предполагается известной доплеровская частота отраженного сигнала. При этом алгоритм, синтезированный при полной априорной информации как о сигналах, так и о помехах, будет оптимальным, а его характеристики обнаружения являются предельно достижимыми.

Однако в задачах радиолокационного обнаружения доплеровская частота сигнала обычно неизвестна, а во многих случаях и не нужна.

Кроме того, в реальных условиях неизвестна также и корреляционная функция пассивной помехи, от которой зависит алгоритм обнаружения.

В том случае, когда речь идет об обнаружении точечной цели на фоне протяженной по дальности помехи, имеется принципиальная возможность оценить неизвестную корреляционную функцию помехи и реализовать адаптивный алгоритм обнаружения.

Этот алгоритм можно построить, заменяя неизвестные параметры помехи в алгоритме, синтезированном для условий полной априорной определенности, на их оценки, сформированные по классифицированной обучающей выборке.

Структура же исходного (неадаптивного) алгоритма и его характеристики помехоустойчивости во многом зависят от выбранной модели отраженного сигнала и корреляционной функции помехи.

В том случае, когда информация о доплеровской частоте отраженного сигнала не требуется (например, в РЛС УВД), в качестве модели отраженного сигнала можно для синтеза использовать модель пачечного сигнала с независимо флуктуирующими импульсами.

Сравнивая характеристики обнаружения полученного алгоритма с предельно достижимыми, можно оценить минимально возможные потери в помехоустойчивости этого алгоритма.

Реальные потери и сложность адаптивного алгоритма будут зависеть от положенной в основу априорной информации о помехе и выбранного способа адаптации.

Ниже рассматривается вариант частично адаптивного обнаружителя, учитывающего специфику пассивных помех импульсных РЛС УВД (высокую межпериодную корреляцию).

Используя [2], можно показать, что алгоритм обнаружения сигнала в виде независимо флуктуирующей пачки импульсов с вобуляцией периода повторения на фоне пассивной помехи и белого гауссовского шума имеет вид:

$$L(x) = \sum_{k=0}^{N-1} \frac{1}{(d_{nh}^2 \mu_k + 1 + d_{sh}^2)(d_{nh}^2 \mu_k + 1)} \left| \sum_{i=0}^{N-1} A_{ik} \int_0^T x(t) s_0^*(t - t_i) dt \right|^2 \gg c. \quad (1)$$

Здесь: A_{ik} и μ_k - собственные вектора и собственные значения корреляционной матрицы флуктуаций пассивной помехи; d_{sh}^2 - отношение сигнал/шум, d_{nh}^2 - отношение помеха/шум; N - число импульсов в пачке.

Анализ показывает, что при числе импульсов в пачке меньше 20 потери в отношении сигнал/шум алгоритма (1) по сравнению с оптимальным составляют не более 3 дБ

При практической реализации адаптивного алгоритма обнаружения нужно задать класс помех, для которых осуществляется адаптация.

Исследования показали, что для РЛС дециметрового диапазона во многих случаях коэффициент межпериодной корреляции пассивных помех близок к единице ($\approx 0.97..0.99$). При этом метеоподобные объекты, как цельные объекты, могут иметь скорость перемещения, обуславливающую доплеровское смещение частоты корреляционной матрицы помех.

При такой высокой корреляции вид собственных векторов корреляционной матрицы флуктуаций (без учета доплеровского смещения частоты) мало зависит от тонкой структуры этой корреляционной матрицы и может быть определен заранее.

Поэтому можно определить класс помех, который допускает следующее представление корреляционной матрицы флуктуаций:

$$R_{ij} = \sum_{k=0}^{N-1} \mu_k \psi_{ki} \psi_{kj}^* C_i C_j^*.$$

Здесь $C_i = \exp(j2\pi f_g t_i)$; система ортонормированных векторов ψ_k выбрана заранее, а параметры μ_k и f_g - доплеровская частота помехи могут варьироваться.

Эти параметры должны оцениваться по обучающей выборке помехи $(\bar{x}_1, \bar{x}_2, \dots, \bar{x}_n)$.

Нетрудно видеть, что оценками максимального правдоподобия величин $C_0 C_j^*$ и μ_k являются:

$$C_0 C_j^* = \frac{\sum_{i=1}^n x_{0i} x_{ji}^*}{\left| \sum_{i=1}^n x_{0i} x_{ji}^* \right|}; \quad \mu_k = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left| \sum_{j=0}^{N-1} x_{ji} \psi_{kj}^* C_0 C_j^* \right|^2.$$

Заметим, что вычислительная сложность алгоритма не зависит от объема обучающей выборки, так как соответствующие максимально правдоподобные оценки могут быть вычислены рекуррентно.

Для проверки эффективности предложенных алгоритмов адаптации была проведена обработка реальных радиолокационных данных, полученных с выхода цифрового фазового детектора радиолокатора «Утес-А», любезно предоставленных главным инженером КБ «Ли́ра», к.т.н., Ефремовым В.С.

На рис. 1 представлены результаты обзора после фильтра сжатия до межпериодной обработки.

В черном прямоугольнике, который представляет собой отражения от искусственного метеообразования, движущегося со скоростью 20 км/ч, замаскирован сигнал от реальной цели с близким к нулю доплеровским сдвигом частоты.

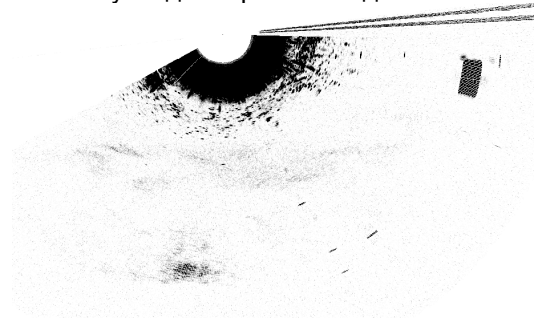


Рис. 1

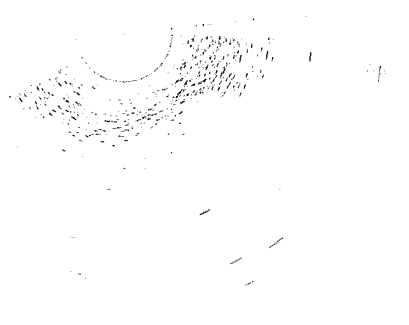


Рис. 2

На рис. 2 представлен результат обработки адаптивным фильтром, в котором реализован алгоритм (1) для семи обрабатываемых импульсов и размере обучающей выборки равной 36.

Как видно из рисунка, облако подавлено, а цель выделена.

На рис. 3 представлен вариант обработки с помощью череспериодной компенсации второго порядка.



Рис. 3

Из сопоставления рисунков 2 и 3 видно, что предложенный адаптивный алгоритм намного эффективнее стандартного метода селекции движущихся целей ЧПК-2, так как позволяет

обнаруживать цели с нулевым доплеровским сдвигом частоты на фоне движущейся помехи. Кроме того, он хорошо выделяет точечные цели на фоне протяженных помех.

Литература

1. Бакулев П.А., Степин В.М. Методы и устройства селекции движущихся целей. – М.: Радио и связь, 1986. – 288 с.

2. Левин Б.Р. Теоретические основы статистической радиотехники. – 3-е изд. – М.: Радио и связь, 1989. – 656 с.



ADAPTIVE ALGORITHM OF DETECTION OF THE DOT PURPOSES ON A BACKGROUND OF EXTENDED HINDRANCE ON RANGE

Rodionov V.

In coherent radars the signal reflected from the purpose in many cases can be submitted slowly fluctuation Gaussian process (model of a quasi-determined signal).

However in problems of radar-tracking detection Doppler frequency of a signal is usually unknown, and in many cases and is not necessary. Besides in real conditions it is unknown as well correlation function of a passive handicap on which the algorithm of detection depends.

In that case when the question is detection of the dot purpose on a background of an extended handicap on range, there is a basic opportunity to estimate unknown correlation function of a handicap and to realize adaptive algorithm of detection.

Real losses and complexity of adaptive algorithm will depend on the based aprioristic information on a handicap and the chosen way of adaptation.

It is possible to show, that the algorithm of detection of a signal as independent fluctuation packs of pulses with wobulation period of recurrence on a background of a passive handicap and white Gaussian noise can be submitted as, demanding calculation of own values and own vectors of a correlation matrix of fluctuations of a passive handicap.

Researches have shown, that for radar of a decimeter range the factor between-period correlation of passive hindrance in many cases is close to unit ($\approx 0.97..0.99$). Thus meteorological formations as integral objects can have the speed of moving causing displacement of Doppler frequency of a correlation matrix of hindrance.

At such high correlation the kind of own vectors of a correlation matrix of fluctuations (without taking into account displacement of Doppler frequency) depends on thin structure of this correlation matrix a little and can be determined beforehand.

Therefore it is possible to define a class of hindrance, which supposes the following representation of a correlation matrix of fluctuations:

$$R_{ij} = \sum_{k=0}^{N-1} \mu_k \psi_{ki} \psi_{kj}^* C_i C_j^* .$$

Here $C_i = \exp(j2\pi f_g t_i)$; the system of orthonormalized vectors ψ_k is chosen beforehand, and parameters μ_k and f_g - Doppler frequency of a handicap can vary.

It is uneasy to see, that estimations of the maximal plausibility of sizes $C_0 C_j^*$ and μ_k on training sample of a handicap $(\bar{x}_1, \bar{x}_2, \dots, \bar{x}_n)$, are:

$$\hat{C}_0 C_j^* = \frac{\sum_{i=1}^n x_{0i} x_{ji}^*}{\left| \sum_{i=1}^n x_{0i} x_{ji}^* \right|} ; \hat{\mu}_k = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left| \sum_{j=0}^{N-1} x_{ji} \psi_{kj}^* C_0 C_j^* \right|^2 .$$

Let's notice, that computing complexity of algorithm does not depend on volume of training sample as corresponding maximum plausible estimations can be calculated recurrently.

For check of efficiency of algorithm of adaptation processing of the real radar-tracking data received from an output of the digital phase detector of the radar «Утеc-A».