

ОЦЕНОЧНО-КОМПЕНСАЦИОННЫЙ АЛГОРИТМ ОБНАРУЖЕНИЯ-ИЗМЕРЕНИЯ ДАЛЬНОСТИ ЭЛЕМЕНТОВ ГРУППОВОЙ ЦЕЛИ В ОБЗОРНЫХ РАДИОЛОКАЦИОННЫХ СТАНЦИЯХ

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
г. Минск, Республика Беларусь*

Ву Тхань Ха

Козлов С.В. – д.т.н., доцент

Обоснован алгоритм совместного-обнаружения-измерения дальности элементов групповой цели, базирующийся на оценочно-компенсационном подходе. Алгоритм является многошаговыми и предусматривает на каждом шаге обнаружение, оценку времени прихода и комплексной амплитуды доминирующего сигнала, вычитание его копии из принимаемой реализации и оценку уровня шумов для последующего шага. Показано, что применение алгоритма обеспечивает стабилизацию ложных тревог и уменьшение среднеквадратической ошибки оценивания времени прихода сигналов от элементов групповой воздушной цели примерно на порядок.

Обзорные РЛС имеют невысокую разрешающую способность по дальности. При наблюдении групповых воздушных целей, выполняющих полет при расстоянии между отдельными летательными аппаратами, соизмеримыми с разрешающей способностью по дальности, РЛС неспособна правильно определить численный состав групповой цели и дальности до ее элементов. Повышение разрешающей способности за счет увеличения ширины спектра сигналов не всегда возможно технически и из экономических соображений. Для снижения взаимного влияния отраженных от элементов групповой цели сигналов может быть использована весовая обработка с соответствующими оконными функциями (Хемминга, Кайзера и т.д.). Однако это приводит к еще большему ухудшению разрешающей способности по дальности и точности оценивания дальности и является оправданным только при расстояниях между элементами групповой цели в 3...5 раза больше расстояния между элементами групповой цели. В этой связи обоснование алгоритма обнаружения-измерения дальности элементов групповой цели для обзорных РЛС с традиционной разрешающей способностью является актуальным.

При обнаружении каждого из отраженного от элемента групповой цели сигнала другие сигналы можно рассматривать как помехи с известной структурой. Поэтому для решения задачи обнаружения-измерения дальности до элементов групповой цели потенциально высокой эффективностью может обладать оценочно-компенсационный подход [1]. Плодотворность указанного подхода при решении близкой по постановке задачи селекции имитационных помех показана в [2].

Будем полагать, что наблюдению при цифровой обработке доступны сигналы на входе $\dot{Y}(t)$ и выходе $\dot{Y}_{out}(t)$ согласованного фильтра (СФ) РЛС:

$$\dot{Y}(t) = \sum_{k=1}^K A_k e^{j\varphi_k} \dot{S}(t - t_{c_k}) + \dot{N}(t); \quad \dot{Y}_{out}(t) = \int_{-\infty}^t \dot{Y}(\tau) \dot{G}(t - \tau) d\tau, \quad (1), (2)$$

где $\dot{S}(t)$ - опорный сигнал; A_k, φ_k, t_{c_k} - амплитуда, начальная фаза и времени прихода k -го истинного сигнала; $G(t) = S^*(t_0 - t)$ - импульсная характеристика СФ; t_0 - постоянная задержка в фильтре; $\dot{N}(t)$ - комплексный гауссовый шум с односторонней спектральной плотностью мощности N_0 .

По аналогии с [2] алгоритм обработки сформулируем в виде циклического выполнения следующих операций:

- 1) по реализации на входе СФ оценивается мощность шума

$$\sigma_{ш}^2 = \int_{-\infty}^{\infty} |\dot{Y}(t)|^2 dt; \quad (3)$$

- 2) известными способами по сигналу $\dot{Y}_{out}(t)$ обнаруживается $(\max_t |\dot{Y}_{out}(t)| > \ell_{п} \sigma_{ш}^2)$; $\ell_{п}$ - нормированный порог) и оценивается время прихода $\hat{t}_{c1} = \arg \max_t |\dot{Y}_{out}(t)|$ и комплексная амплитуда

$\hat{A}_1 e^{j\hat{\varphi}_1} = \dot{Y}_{out}(\hat{t}_{c1})$ доминирующего (имеющего максимальное значение модуля) сигнала в принимаемой реализации;

- 3) копия сигнала вычитается из принимаемой реализации на входе и выходе СФ

$$\dot{Y}(t) = \dot{Y}(t) - \hat{A}_1 e^{j\hat{\varphi}_1} \dot{S}(t - \hat{t}_{c1}) / K_{сж}; \quad \dot{Y}_{out}(t) = \dot{Y}_{out}(t) - \hat{A}_1 e^{j\hat{\varphi}_1} \dot{S}_{out}(t - \hat{t}_{c1}), \quad (4), (5)$$

где $\dot{S}_{out}(t) = \int_{-\infty}^t \dot{S}(\tau) \dot{G}(t - \tau) d\tau$ - эталонный сигнал на выходе СФ; $K_{сж}$ - коэффициент сжатия сигнала в СФ.

Шаги 1-3 повторяются до тех пор, пока происходит обнаружение сигнала на шаге 1.

На рис. 1 приведены иллюстрирующий сущность предлагаемого обработки зависимости модуля сигнала на выходе СФ на первой, второй и третьей итерации алгоритма для одной из характерных реализаций смеси отраженного от групповой цели сигнала и шума. Рассматривался случай наличия четырех сигналов с временем прихода 0,5; 0,7; 0,95 и 1,2 мкс с амплитудами 1; 10; 3; 1,5 единиц и случайными начальными фазами. Опорным являлся ЛЧМ-сигнал длительностью 10 мкс с девиацией частоты 10 МГц ($t_0 = 10$ мкс; $K_{сж} = 100$). Как видно из рис.1а, визуальное определение наличия четырех сигналов практически невозможно. На каждой из итераций алгоритма условия наблюдения более слабых сигналов последовательно улучшаются: после компенсации сигнала с амплитудой 10 ед., явно выявляется сигнал с амплитудой 3 ед. и т.д. После компенсации всех сигналов в реализациях на входе и выходе СФ остаются только шумы, оценка которых по п. 1) алгоритма обеспечивает стабилизацию ложных тревог в РЛС.

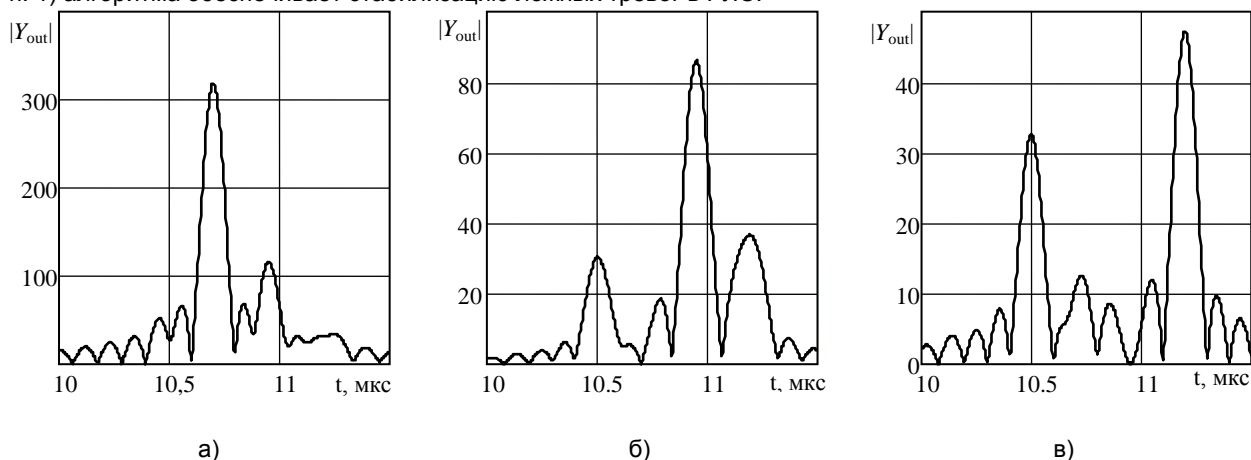


Рис. 1. Вид модуля сигнала на выходе СФ: а) для исходной реализации; б) после компенсации первого сигнала; в) после компенсации второго сигнала

Исследование эффективности предлагаемого алгоритма проводилось методом имитационного моделирования при сравнении результатов со штатным алгоритмом, предусматривающим оценку уровня шумов как среднего значения квадрата модуля сигнала на входе (В1) или выходе (В2) СФ. В результате сравнительного анализа установлены следующие закономерности:

использование штатных алгоритмов обработки характеризуются резким возрастанием уровня ложных тревог (В1) или существенным снижением вероятности правильного обнаружения (В2); так, при использовании штатного алгоритма в варианте В1, характерной является ситуация обнаружения в качестве элементов групповой цели первых боковых лепестков сигнала от более мощной цели; для варианта В2 более мощный сигнал от одного из элемента групповой цели, попадающий в интервал усреднения схемы стабилизации ложных тревог, приводит к невозможности обнаружения сигналов от других элементов групповой цели; выборочная среднеквадратическая ошибка оценки времени запаздывания обнаруженных отраженных сигналов примерно на порядок превышает потенциально возможную согласно неравенства Рао-Крамера;

использование оценочно-компенсационного алгоритма обеспечивает последовательное обнаружение элементов групповой цели в порядке уменьшения амплитуд отраженных сигналов с одновременной стабилизацией ложных тревог; вероятность правильного обнаружения и среднеквадратическая ошибка оценивания времени прихода сигналов от элементов групповой воздушной цели близки к теоретически возможным значениям для одиночной цели вплоть до величины отношения $\gamma = \delta_{ГЦ} / \Delta r$ среднего расстояния $\delta_{ГЦ}$ между элементами групповой цели к разрешающей способности Δr РЛС по дальности $\gamma \approx 0,8 \dots 1$.

Предлагаемый алгоритм является предельно простым в реализации ввиду использования при цифровой обработке только операций комплексного сложения.

Список использованных источников

1. Сосулин Ю.Г., Костров В.В., Паршин Ю.Н. Оценочно-корреляционная обработка сигналов и компенсация помех. М: Радиотехника, 2014. – 632 с.
2. Козлов С.В. Оценочно-компенсационный алгоритм селекции имитационных помех // Доклады БГУИР, № 2, 2018, С. 18-25.