

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ОЦЕНОЧНО-КОМПЕНСАЦИОННОЙ ОБРАБОТКИ ПРИ СЕЛЕКЦИИ ИМИТАЦИОННЫХ ПОМЕХ

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

Нагорный Д.А.

Козлов С.В. – д.т.н., доцент

С использованием компьютерного моделирования выполнено исследование эффективности применения оценочно-компенсационного алгоритма селекции имитационных помех. Алгоритм селекции предусматривает оценку времени прихода и комплексной амплитуды сигнала на выходе согласованного с истинным сигналом фильтра, весовое вычитание копии истинного сигнала из входной реализации, формировании достаточной статистики в виде среднего значения квадрата модуля скомпенсированной реализации и сравнения ее с порогом. Показано, что требуемое отношение сигнал/шум для вероятности селекции имитационных помех 0,8 в диапазоне изменения максимума взаимно-корреляционной функции (ВКФ) истинного и ложного сигнала 0,7...0,99 составляет величину 20...50 дБ.

Для ряда применений средств радиолокации и радионавигации весьма актуальным является обеспечение их высокой помехоустойчивости в отношении имитационных помех (ИП) [1]. При использовании современных средства создания ИП их селекция операторами радиолокационных станций по таким параметрам, как форма сигнала на выходе согласованного фильтра, характеристики флуктуаций и т.д. практически исключается [2]. В [3] получены аналитические соотношения для вероятностей ошибочных решений - принятия истинного сигнала за ложный и ложного за истинный. Полученные соотношения характерны для задачи различения двух сигналов, когда в приемнике имеются копии обоих сигналов, а задача селекции сводится к формированию модульного значения разностного корреляционного интеграла и сравнении его с порогом. Наличие в приемнике достоверной копии ложного сигнала в реальных условиях маловероятно. Поэтому результаты [3] могут рассматриваться как верхние оценки вероятности правильной селекции ИП. В этой связи для оценки помехоустойчивости РЭС, с одной стороны, и требований к средствам создания ИП, с другой стороны, представляется актуальным обоснование и исследование эффективности алгоритма селекции ИП, в полном объеме учитывающем априорную неопределенность о параметрах последних. В наибольшей степени для решения этой задачи применим оценочно-компенсационный подход к функционированию радиотехнических систем в условиях помех [4].

Цель статьи – исследование эффективности метода селекции имитационных помех с использованием оценочно-компенсационного подхода.

Рассматривается задача статистической проверки гипотез: H_1 , H_2 - принимаемая реализация $\dot{Y}(t)$ содержит истинный и ложный сигнал, соответственно, причем

$$H_1: \dot{Y}(t) = A_1 e^{j\varphi_1} \dot{S}_1(t-t_1) + \dot{N}(t); \quad H_2: \dot{Y}(t) = A_2 e^{j\varphi_2} \dot{S}_2(t-t_2) + \dot{N}(t), \quad (1), (2)$$

где $\dot{S}_1(t)$, $\dot{S}_2(t)$ - временное представление истинного и ложного сигналов, $\int_{-\infty}^{\infty} |\dot{S}_{1(2)}(t)|^2 dt = e_{1(2)} = \tau_{1(2)}$;

$\tau_{1(2)}$ - эффективные длительности истинного и ложного сигналов, численно равные энергиям $e_{1(2)}$ сигналов с единичной амплитудой; $A_{1(2)}, \varphi_{1(2)}, t_{1(2)}$ - амплитуда, начальная фаза и время прихода истинного (ложного) сигнала; $\dot{N}(t)$ - комплексный гауссовый шум с односторонней спектральной плотностью мощности N_0 в полосе ΔF .

Оценочно-компенсационный алгоритм селекции:

$$H_1: z < z_p; \quad H_2: z \geq z_p \quad (3)$$

где z_p - порог селекции;

$$z = \frac{1}{\tau_1} \int_{\hat{t}}^{\hat{t}+\tau_1} |\dot{U}(t)|^2 dt; \quad (4)$$

$$\dot{U}(t) = \dot{Y}(t) - \hat{A} e^{j\hat{\varphi}} \dot{S}_1(t-\hat{t}) / K_{sg}; \quad \hat{t} = \arg \max_t |\dot{Y}_{sf}(t)|; \quad \hat{A} e^{j\hat{\varphi}} = \dot{Y}_{sf}(\hat{t}); \quad \dot{Y}_{sf}(t) = \int_0^t \dot{Y}(\tau) \dot{G}(t-\tau) d\tau \quad (5), (6), (7), (8)$$

- достаточная статистика, скомпенсированная реализация, максимальной правдоподобные оценки времени прихода и комплексной амплитуды сигнала и процесс на выходе согласованного фильтра, соответственно;

$\dot{G}(t) = \dot{S}_1^*(t_0 - t)$ - импульсная характеристика согласованного фильтра; K_{sg} - коэффициент сжатия сигнала.

Исследование эффективности алгоритма проводилось методом компьютерного моделирования путем прямого воспроизведения (1)-(8). Использовалась математическая модель, воспроизводящая процедуры согласованной фильтрации, поиска максимума модуля отклика сигнала на выходе СФ, аппроксимации отклика, оценивания времени задержки, компенсации, вычисления решающей статистики (3) и сравнения с порогом.

На рис.1 приведены плотности вероятности статистики (4) энергетического обнаружителя при наличии на входе истинного (сплошная кривая) и ложного (пунктирная кривая) сигналов. Истинный сигнал представлял собой ЛЧМ-импульс длительностью 10 мкс при коэффициенте сжатия 100. Отношение сигнал/шум $q_1^2 = 2E_1 / N_0 = 30$ дБ. Ложный сигнал имел ту же амплитуду, что и истинный, но длительность 9 мкс. Маркерами обозначены точки, полученные при имитационном моделировании при достаточном (5000) числе реализаций, кривыми – аппроксимация выборочной плотности вероятности нормальным распределением.

Как следует из рис.1, достаточная статистика нормализуется, причем ее математическое ожидание при наличии истинного сигнала равно 1. Дисперсии распределений одинаковы. При увеличении степени различия истинного и ложного сигналов, оцениваемого величиной максимума их взаимно-корреляционной функции, математическое ожидание статистики z для ложного сигнала смещается вправо.

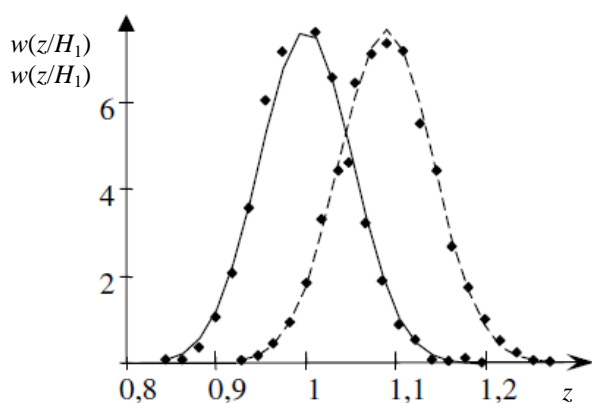


Рисунок 1 – Плотности вероятности статистики z энергетического обнаружителя при наличии истинного (сплошная кривая) и ложного (пунктирная кривая) сигналов

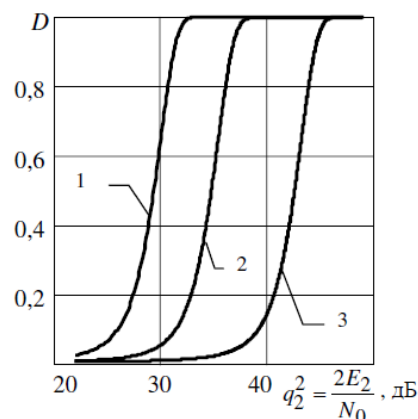


Рисунок 2 – Зависимости вероятности правильной селекции ложного сигнала от отношения сигнал/шум

На рис. 2 приведены зависимости вероятности правильной селекции ложного сигнала от отношения $q_2^2 = 2E_2 / N_0$. Для зависимостей на рис. 2 ложный сигнал формируется путем наделения истинного амплитудной модуляцией гармоническим сигналом с частотой, в 5 раз превышающей девиацию частоты истинного ЛЧМ сигнала, при индексе модуляции 0,5; 0,25 и 0,1 (кривые 1, 2 и 3). При этом значение ВКФ истинного и ложного сигналов в максимуме составляет 0,944; 0,984 и 0,997, соответственно. Отметим, что в этом случае форма ложного сигнала на выходе СФ неотличима от формы истинного в том числе, и при предельном высоком отношении сигнал/шум, так как паразитные компоненты спектра ложного сигнала (кратные частоте модуляции) находятся вне полосы частот согласованного фильтра. Поэтому распознавание имитационных помех операторов в этом случае оказывается невозможным. Требуемое отношение сигнал/шум для вероятности селекции 0,8 составляет 33...44 дБ. Для характерного случая формирования имитационных помех при временном разделении максимум ВКФ составляет 0,707, а требуемое отношение сигнал/шум около 20 дБ.

Таким образом, оценочно-компенсационный алгоритм обеспечивает уверенную селекцию имитационных помех при типовых их отличиях от истинных сигналов в области характерных для практических применений отношений сигнал/шум и может быть использован разработчиками радиотехнических средств, функционирующих в конфликтных условиях.

Список использованных источников:

1. Куприянов А.И., Сахаров А.В. Теоретические основы радиоэлектронной борьбы. М.: Вузовская книга, 2007. – 356 с.
2. Перунов Ю.М., Фомичев К.И., Юдин Л.М. Радиоэлектронное подавление информационных каналов систем управления оружием / под ред. Перунова Ю.М. М.: Радиотехника, 2008. – 416 с.
3. Современная радиоэлектронная борьба. Вопросы методологии / под ред. В.Г. Радзиевского. М.: Радиотехника, 2006. – 424 с.
4. Сосулин Ю.Г., Костров В.В., Паршин Ю.Н. Оценочно-корреляционная обработка сигналов и компенсация помех. М.: Радиотехника, 2014. – 632 с.