

«Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» (г. Воронеж)

МОДЕЛЬ НЕКОГЕРЕНТНОГО РАСПОЗНАВАНИЯ ДВОИЧНЫХ СИГНАЛОВ В УСЛОВИЯХ МЕШАЮЩИХ ОТРАЖЕНИЙ И ФЛУКТУАЦИОННЫХ ПОМЕХ

**Авторы: к.т.н., профессор Евстафиев А.Ф.,
к.т.н. Евстафиев Ф.А.**



Актуальность проблемы распознавания информационных сигналов в радиотехнических системах различного функционального назначения обусловлена наличием в радиоканалах мешающих радиосигналов, порожденных отражениями радиоволн от посторонних объектов, границ раздела сред и от тропосферных неоднородностей на пути их распространения. При взаимодействии перекрытых во времени информационных и мешающих радиосигналов возникают интерференционные замирания результирующего сигнала, существенно снижающие помехоустойчивость принимаемой информации.



ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Для борьбы с замираниями сигналов используются методы временного или (и) частотного разнесения элементов информационного сигнала, а так же применение широкополосных шумоподобных сигналов с последующей их оптимальной обработкой. Основным недостатком этих методов является увеличение частотно-временного ресурса радиоканала, что не всегда возможно.

Целью данной работы является разработка способа и соответствующей модели некогерентного распознавания двоичных сигналов в условиях мешающих отражений и флуктуационных помех без привлечения дополнительных энергетических и частотно-временных ресурсов радиоканала.



СТРУКТУРНАЯ СХЕМА АЛГОРИТМА РАСПОЗНАВАНИЯ

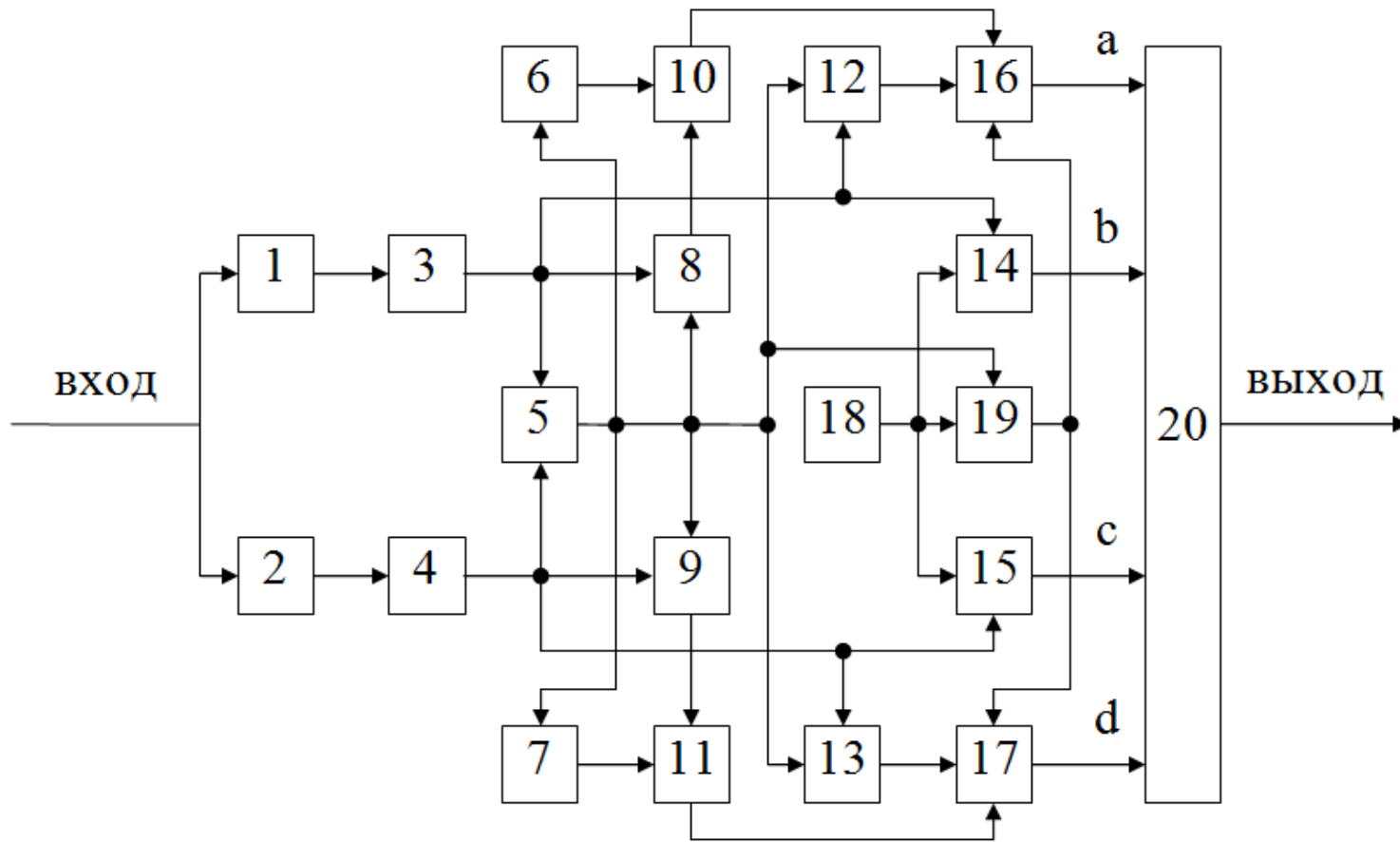


Рис. 1. Структурная схема алгоритма некогерентного распознавания двоичных сигналов в условиях мешающих отражений при пороговом принятии решения

На схеме 1, 2 – фильтры, согласованные с распознаваемыми сигналами; 3, 4 – линейные детекторы огибающих радиосигналов; 5 – устройство оценки моментов времени опорных отсчетов; 6, 7 – вычислители коэффициентов корреляции флуктуационных помех на выходах согласованных фильтров в моменты опорных отсчетов; 8, 9 – измерители сигнально-помеховых реализаций на выходах фильтров; 10, 11 – вычислители пороговых уровней; 12, 13, 19 – управляемые элементы задержки; 14, 15 – постоянные пороговые устройства; 16, 17 – управляемые пороговые устройства; 18 – генератор тактовых импульсов; 20 – решающее устройство.

Схема распознавания содержит два симметричных канала обработки сигналов, каждый из которых имеет по два выхода (а, б) и (с, д), которые объединены в общем решающем устройстве. Выходы б и с являются основными, которые реализованы по известной схеме порогового обнаружения сигналов, а выходы а и д являются дополнительными и реализованы схемами обнаружения с применением управляемых пороговых устройств с использованием дополнительной информации о сигнально-помеховых реализациях, полученных в опорных отсчетах.

Пусть распознаваемые выходные радиосигналы первого и второго согласованных фильтров имеют вид

$$e_{1,2}(t) = E_{1,2}(t) \cos(\omega_{01,2}t - \varphi_{1,2}), \quad 0 \leq t \leq T_{1,2}. \quad (1)$$

Поскольку каналы распознавания идентичны, то будем рассматривать прохождение только одного, например, первого сигнала, а во втором канале в это время будет присутствовать только помеха.

При этом мешающий радиосигнал на выходе первого согласованного фильтра будет определяться выражением:

$$V_1(t) = V_1[t - T(1 - \chi_1)] \cos(\omega_{01}t - \varphi_1 - \psi_1 - \varphi_{01}), \\ T(1 - \chi_1) \leq t \leq T(2 - \chi_1). \quad (2)$$

Результирующие амплитуды (огибающие) сигналов в информационном и опорном отсчетах с учетом (1) и (2) будут, соответственно, равны:

$$E_{1p}(0, \chi_1, \psi_1) = \{E_1^2(0) + V_1^2[-T(1 - \chi_1)] + 2E_1(0)V_1[-T(1 - \chi_1)] \cos(\psi_1 - \varphi_{01})\}^{1/2}. \quad (3)$$

$$E_{2p}(\tau_{01}, \psi_1) = E_1(\tau_{01}) \sqrt{2[1 + \cos(\psi_1 - \varphi_{01})]}. \quad (4)$$

Для получения вероятностных характеристик обнаружения сигнала по основному и дополнительному каналам обработки необходимо оперировать плотностью вероятности огибающей по информационному отсчету и двумерной плотностью вероятности огибающих между информационным и опорным отсчетами при наличии и отсутствии информационного сигнала.

При этом, опуская промежуточные преобразования, можно показать, что вероятность правильного обнаружения сигнала в первом (основном) канале обработки, выраженная через вероятность ложной тревоги P_{1F} при известной мощности флуктуационной помехи P_n на выходе согласованного фильтра, будет равна

$$P_{1Д}(\psi_1) = Q\left(\frac{E_{1p}(0, \chi_1, \psi_1)}{\sqrt{P_n}}, \sqrt{-2 \ln P_{1F}}\right). \quad (5)$$

Вероятность правильного обнаружения этого же сигнала, выраженная через вероятность ложной тревоги во втором (дополнительном) канале обработки будет равна

$$P_{2Д}(\psi_1) = Q \left(\frac{E_{1p}(0, \chi_1, \psi_1) - r_{01} E_{2p}(\tau_{01}, \psi_1)}{\sqrt{P_n(1 - r_{01}^2)}}, \sqrt{-2 \ln P_{2F}} \right). \quad (6)$$

Ошибка при распознавании сигналов будет в том случае, если при передаче сигнала $e_1(t)$ регистрируется сигнал $e_2(t)$ и наоборот. При этом предполагается равенство априорных вероятностей передачи информационных символов.

Обозначим через $P_{1Д}...P_{4Д}$; $P_{1F}...P_{4F}$ – частные вероятности правильного обнаружения и ложной тревоги по выходам (а), (б), (с), (д) и предположим, что $\tau_{01} = \tau_{02} = \tau_0$ и $r_1(\tau_{01}) = r_2(\tau_{02}) = r(\tau_0)$. При этом вероятности правильного обнаружения сигнала по основным и дополнительным каналам обработки будут, соответственно, равны $P_{1Д} = P_{3Д}$; $P_{2Д} = P_{4Д}$. Обеспечим также равенство частных вероятностей ложной тревоги в каналах обработки: $P_{1F} = ... = P_{4F} = P_F$.

Поскольку решающее устройство имеет четыре входа то, следовательно, возможны четыре исхода, при которых возникают ошибки при распознавании сигналов.

Первый исход: на входе (a) сигнал присутствует, а на входе (b) отсутствует. При этом ошибка возникает, когда на входе (c) сигнал присутствует, а на входе (d) отсутствует. Такая неопределенность принимается за ошибку и решающее устройство с равной вероятностью регистрирует либо сигнал $e_1(t)$, либо $e_2(t)$. Явная ошибка имеет место при одновременном наличии сигналов на входах (c) и (d). Наличие сигнала на входе (d) при его отсутствии на входе (c) не будет являться ошибкой, так как приоритет отдается наличию сигнала в основном канале. В результате частная вероятность ошибки будет равна

$$P_{01} = 0,5 P_{1Д} (1 - P_{2Д}) (P_F + P_F^2). \quad (7)$$

Второй исход: на входе (a) сигнал отсутствует, а на входе (b) присутствует. При этом ошибка будет в том случае, если на входе (c) сигнал присутствует, а на входе (d) отсутствует (приоритетная ситуация), либо на входе (c) сигнал отсутствует, а на входе (d) присутствует (неопределенность), либо сигнал присутствует одновременно на входах (c) и (d). В этом случае частная вероятность ошибки будет равна

$$P_{02} = 0,5 P_{2Д} (1 - P_{1Д}) (3P_F - P_F^2). \quad (8)$$

Третий исход: на входах (a) и (b) сигналы отсутствуют. При этом ошибка будет в том случае, если на входах (c) и (d) сигналы также отсутствуют (неопределенность), либо на входе (c) сигнал присутствует, а на входе (d) отсутствует, либо на входе (c) сигнал отсутствует, а на входе (d) присутствует, либо сигналы одновременно присутствуют на входах (c) и (d). В этом случае частная вероятность ошибки будет равна

$$P_{03} = (1 - P_{1Д}) (1 - P_{2Д}) (0,5 + P_F - 0,5 P_F^2). \quad (9)$$

Четвертый исход: на входах (а) и (b) сигналы присутствуют. В этом исходе ошибка в виде неопределенности будет в единственном случае, одновременного присутствия сигналов на входах (с) и (d), вероятность которой будет равна

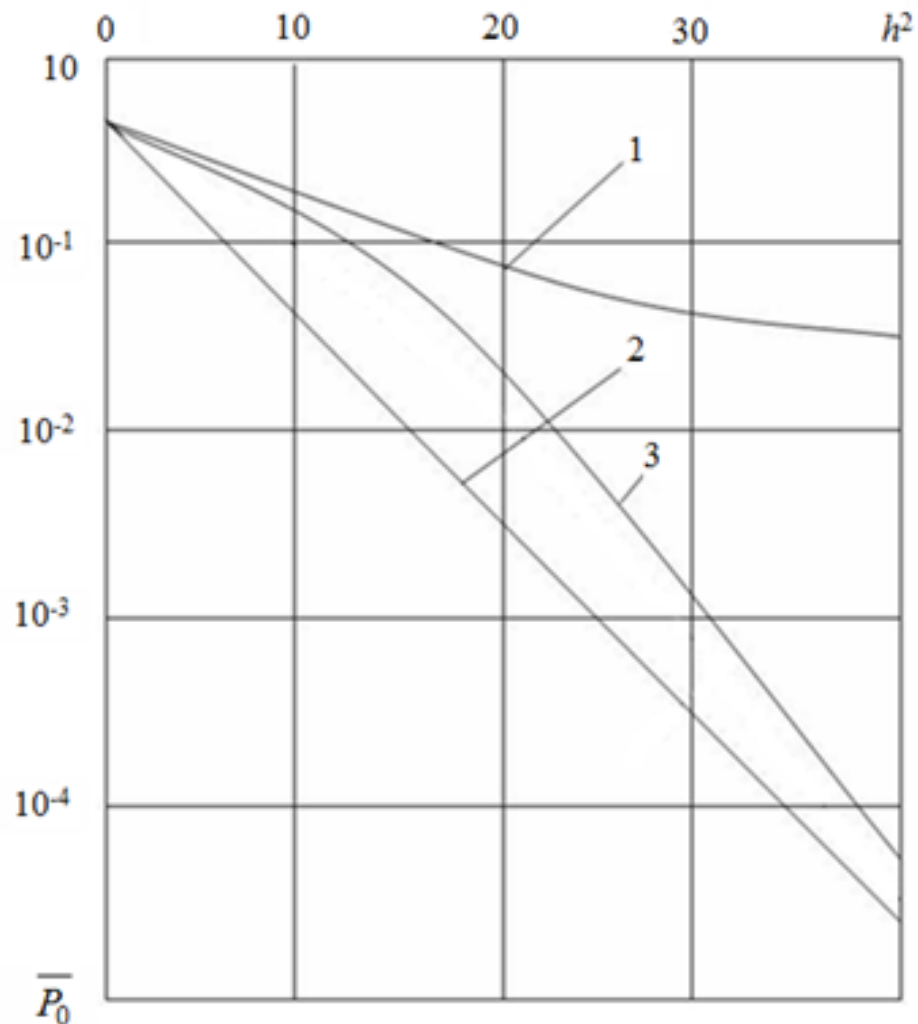
$$P_{04} = 0,5 P_{1Д} P_{2Д} 0,5 P_F^2. \quad (10)$$

Результирующая вероятность ошибки в приеме сигнала $e_1(t)$ будет равна сумме частных вероятностей ошибок по всем исходам и зависеть от случайной фазы Ψ_1 :

$$P_0(\Psi_1) = \sum_{i=1}^4 P_{0i}(\Psi_1). \quad (11)$$

Путем осреднения выражения (11) по всем возможным изменениям фазы Ψ_1 , получим среднюю вероятность ошибки при некогерентном распознавании двоичных сигналов:

$$\overline{P_0} = \frac{1}{2\pi} \int_{-\pi}^{\pi} P_0(\Psi_1) d\Psi_1. \quad (12)$$



Характеристика 1 соответствует случаю оптимального некогерентного распознавания двоичных ортогональных сигналов, но при наличии мешающих отражений на фоне флуктуационной помехи.

Характеристика 2 отображает потенциально-возможный случай, при котором отсутствуют мешающие отражения, а распознавание сигналов осуществляется только на фоне флуктуационной помехи.

Характеристика 3 соответствует разработанной модели некогерентного распознавания двоичных сигналов с вероятностью ложной тревоги в каждом частном решении $P_F = 10^{-3}$.

Рис. 2. Зависимость средней вероятности ошибки некогерентного распознавания двоичных сигналов от отношения сигнал-помеха



ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработана математическая модель и соответствующий алгоритм некогерентного распознавания двоичных сигналов в условиях мешающих отражений и флуктуационных помех с получением аналитических выражений для расчета соответствующих характеристик помехоустойчивости, не требующих увеличения энергетических и частотно-временных ресурсов канала связи. Полученные результаты могут быть использованы как при модернизации существующих, так и при разработке перспективных систем передачи и приема информации, функционирующих в условиях сложной помеховой и электромагнитной обстановки.