

УДК 621.397:004.056.57

ОПТИМАЛЬНЫЙ ПРИЕМНИК НА ОСНОВЕ НЕЛИНЕЙНОЙ МАРКОВСКОЙ ФИЛЬТРАЦИИ ПРИ ДЕЙСТВИИ НЕГАУССОВЫХ ПОМЕХ

К. т. н. Д. В. Астрецов, Р. И. Соколов

Уральский Федеральный Университет
Россия, г. Екатеринбург
rostik-king@yandex.ru, dv_astr@mail.ru

Разработан приемник сигналов побочного электромагнитного излучения, основанный на марковской теории нелинейной фильтрации. Оценка его эффективности проводилась на основании цифрового моделирования процесса обработки смеси сигнала, S_L -помехи Джонсона и белого гауссова шума. Показано, что разработанный приемник позволяет осуществлять прием бинарного сообщения, близкий к оптимальному приему по критерию минимума среднего, при меньшем количестве априорных сведений о сигнале.

Ключевые слова: нелинейная фильтрация, оптимальный прием сигналов побочного электромагнитного излучения, помехи Джонсона.

Актуальной задачей является определение степени защищенности средств вычислительной техники от перехвата информации по каналам побочного электромагнитного излучения (ПЭМИ). Как правило, возможность перехвата в значительной степени зависит от априорных сведений, которыми обладает перехватчик, о характере излучения, параметрах информационного сообщения и помехи [1].

Для построения оптимальных приемников требуются точные априорные сведения. Однако методы приема, основанные на нелинейной фильтрации, позволяют восстанавливать сигнал с достаточной точностью при меньшем количестве априорных сведений [2]. Таким образом, целью работы является разработка приемника сигналов побочного электромагнитного излучения, основанного на марковской теории нелинейной фильтрации [3], и оценка его эффективности.

Рассмотрим процесс формирования алгоритма нелинейной фильтрации бинарного сообщения при приеме суммы сигнала, несущего такое сообщение, помехи, имеющей S_L распределений Джонсона [4] и белого гауссова шума. Примем следующие основные допущения.

1. Сигнал представляет собой последовательность видеоимпульсов положительной полярности, параметры которых неизвестны за исключением частоты следования.

2. Помеха $\zeta(t)$ является дискретным случайным процессом, который можно описать как результат нелинейного безынерционного преобразования q марковского гауссова процесса z .

3. Сигнал и помехи представляют нестационарные процессы.

Пусть на вход приемника поступает сигнал:

$$y = \lambda(t) + q(z(t)) + n(t), \quad (1)$$

где $n(t)$ – белый гауссовый шум; $\langle n(t_1)n(t_2) \rangle = \frac{1}{2} N_0 \delta(t_2 - t_1)$.

Полезное сообщение $\lambda(t)$ и помеха $z(t)$, представляющие марковские процессы, задаются априори стохастическим дифференциальным уравнением [5]. Решая систему уравнений квазиоптимальной нелинейной фильтрации для двумерных марковских процессов в нестационарном режиме [3], получаем выражения, определяющие схему оптимального приемника:

$$\frac{\partial \lambda}{\partial t} = -k_1 \lambda + \frac{2}{N_0} (y - \lambda - q(z))(D_\lambda + D_{\lambda z} q'(z)), \quad (2)$$

$$\frac{\partial z}{\partial t} = -k_2 z + \frac{2}{N_0} (y - \lambda - q(z))(D_{\lambda z} + D_z q'(z)), \quad (3)$$

$$\frac{\partial D_{\lambda}}{\partial t} = \frac{1}{2} N_{\lambda} - 2k_1 D_{\lambda} - \frac{2}{N_0} (D_{\lambda}^2 + 2D_{\lambda} D_{\lambda z} q'(z) + D_{\lambda z}^2 (q'^2(z) - (y - \lambda - q(z))q''(z))), \quad (4)$$

$$\frac{\partial D_z}{\partial t} = \frac{1}{2} N_z - 2k_2 D_z - \frac{2}{N_0} [D_z^2 (q'^2(z) - (y - \lambda - q(z))q''(z)) + 2D_z D_{\lambda z} q'(z) + D_{\lambda z}^2], \quad (5)$$

$$\frac{\partial D_{\lambda z}}{\partial t} = \frac{1}{2} N_{\lambda z} - D_{\lambda z} (k_1 + k_2) - \frac{2}{N_0} [D_{\lambda} (D_{\lambda z} + D_z q'(z)) + D_{\lambda z} (D_z (q'^2(z) - (y - \lambda - q(z))q''(z)) + D_{\lambda z} q'(z))]. \quad (6)$$

Полученные уравнения позволяют синтезировать квазиоптимальный нестационарный приемник сигналов ПЭМИ и оценить его эффективность. В результате моделирования получена зависимость вероятности ошибки правильного приема (минимума среднего риска) бинарного сообщения $p_{ош}$ от отношения мощности S_L -помехи $Ш_{SL}$ к мощности сигнала S , представленная на рис. 1 кривой 4. Синтез оптимального приемника по критерию минимума среднего риска был также проведен авторами, в частности в [2].

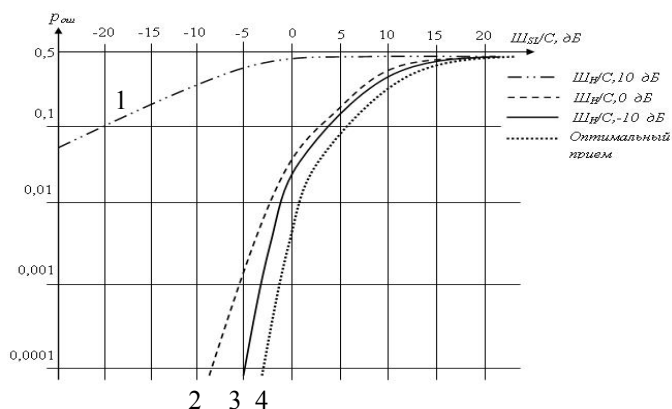


Рис. 1. Зависимости вероятности ошибки приема бинарного сообщения $p_{ош}$ от отношения мощности S_L -помехи к мощности сигнала для различных приемников

Полученные результаты моделирования, представленные на рис. 1 кривыми 1—3, отображают зависимость вероятности правильного приема от отношения мощности S_L -шума к сигналу для трех различных значений мощности нормального (белого гауссового) шума $Ш_{ш}$, характеризующего, например, внутренние шумы приемника или дополнительную аддитивную помеху.

График 3 построен для условий действия негауссовой S_L -помехи Джонсона и внутреннего шума приемника с мощностью -10 дБ по отношению к сигналу. Фактически, графики 3 и 4 определяют эффективность приемников по критерию минимума среднего риска и по нелинейной фильтрации для одинаковых условий. Проигрыш в

эффективности приемника нелинейной фильтрации не превышает 2 дБ и является незначительным при приеме ПЭМИ, когда мощность помехи превышает мощность сигнала. При этом более сложная схема приемника компенсируется меньшим количеством априорных сведений о сигнале и помехе, что важно при перехвате ПЭМИ.

ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ИСТОЧНИКИ

1. Хорев А.А. Техническая защита информации.— Москва: НПЦ «Аналитика», 2008.
2. Астретцов Д.В., Нифонтов Ю.А., Соколов Р. И. Сравнение эффективности гауссовских и негауссовских помех при передаче бинарных сообщений // Сборник трудов УрФУ, Екатеринбург. – 2013. – №13. – С. 60 – 68.
3. Тихонов В.И., Кульман Н.К. Нелинейная фильтрация и квазикогерентный прием сигналов.— Москва: Сов. радио, 1975.
4. М. Кендал, А.Стюарт. Теория распределений.— Москва: Наука, 1966.
5. Первачев С. В. Радиоавтоматика.— Москва: Радио и связь, 1982.

D. V. Astretsov, R. I. Sokolov

Optimum receiver based on Markov nonlinear filtering under the action of non-Gaussian noise.

An E-field radiation signal receiver based on Markov theory of nonlinear filtering is designed. Efficiency of the receiver is analyzed on the basis of digital simulation of mixed signal, S_L Johnson noise and white Gaussian noise. The new receiver allows realizing binary signal extraction similar to optimal reception of minor average risk method without complete prior information about the signal.

Keywords: *nonlinear filtering, optimal receiver of electromagnetic eavesdropping, Johnson noise.*