

УДК 621.393.3

## ОЦЕНКА ПОМЕХОУСТОЙЧИВОСТИ ИНВАРИАНТНОЙ СИСТЕМЫ СВЯЗИ ПРИ КОГЕРЕНТНОМ ПРИЕМЕ

Е. И. Алгазин, ст. преподаватель НГТУ, к.т.н.; nat\_gus@ngs.ru

А. П. Ковалевский, доцент НГТУ, к.ф.-м.н.

В. Б. Малинкин, профессор СибГУТИ, д.т.н.

**Ключевые слова:** помехоустойчивость, инвариант, вероятность попарного перехода, отношение сигнал/шум.

Инвариантные телекоммуникационные системы могут быть основаны на различных способах обработки информации.

Система, базирующаяся на линейном детектировании, была рассмотрена в [1], где прямоугольная огибающая выделялась с помощью линейного детектора. Однако прямоугольную огибающую можно выделить и с помощью обычного синхронного детектора. При этом помеха будет распределена по нормальному закону, а не по релеевскому, как в [1].

Интерес представляет количественная оценка показателей такой системы, например, помехоустойчивости, и сравнение ее с помехоустойчивостью системы, основанной на линейном детекторе.

**Постановка задачи.** Имеется канал связи, ограниченный частотами  $f_n$  и  $f_v$ . Состояние канала определяется интервалом стационарности, внутри которого действие мультипликативной помехи описывается постоянством коэффициента передачи  $k(t)$  на определенной частоте.

Алгоритм приема характеризуется несущей частотой, задаваемой как средняя частота канала, амплитуда которой промодулирована прямоугольными импульсами.

**Решение поставленной задачи.** Каждый передаваемый блок будет содержать информационную часть и последовательность обучающих сигналов  $S_{об}$ .

На приемной стороне обучающие сигналы усредняются и используются для демодуляции информационной части блока. При этом из-за изменения параметров канала связи информационные и обучающие сигналы зашумлены аддитивной помехой. Для уменьшения влияния аддитивных шумов используется усреднение обучающих сигналов в каждом блоке [3].

На рис. 1 представлена структура, позволяющая реализовать предлагаемый алгоритм. Она состоит из синхронного детектора (СД); аналого-цифрового преобразователя (АЦП) и решающего устройства (РУ).

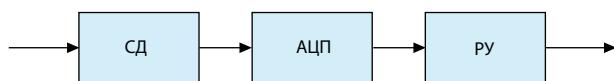


Рис. 1

Произведем расчет вероятности ошибочного приема при многоуровневой инвариантной амплитудно-модулированной (АМ) передаче сигналов. Для этого воспользуемся известным подходом [2]:

$$P_{пер} = P_1 \int_0^{Z_p} W_2(z) dz + P_2 \int_{Z_p}^{\infty} W_1(z) dz, \quad (1)$$

где  $P_{пер}$  — вероятность перехода первого инварианта во второй и наоборот;  $P_1$  и  $P_2$  — вероятности появления первого и второго инварианта;  $Z_p$  — пороговое значение, необходимое для вычисления  $P_{пер}$  при известных  $P_1$  и  $P_2$ . Первый интеграл — это вероятность появления второго инварианта, когда послан первый; второй интеграл — это вероятность появления первого инварианта, когда послан второй.

Величина  $Z_p$  определяется с помощью наилучшей байесовской оценки путем минимизации  $P_{пер}$  по  $Z_p$ . При неизвестных  $P_1$  и  $P_2$  выбираем  $P_1 = P_2 = 0,5$ .

Как видно из (1), необходимо знать аналитическое выражение  $W_1(z)$  и  $W_2(z)$ . Для когерентного приема с синусоидальной поднесущей расчет величин  $W_1(z)$  и  $W_2(z)$  известен и приведен в [3]. Такой же подход можно использовать и в нашем случае.

Итак, в рассматриваемой системе оценка инварианта:

$$INV_i^* = \frac{\sum_{i=1}^N [k INV_i + \xi(i)]}{\frac{1}{L} \sum_{m=1}^L \sum_{j=1}^N (k S_{об} + \eta(m, j))} S_{об}, \quad (2)$$

где в числителе  $INV_i$  —  $i$ -й передаваемый инвариант,  $\xi(i)$  —  $i$ -е значение гауссовой помехи; в знаменателе  $S_{об}$  — значение обучающего сигнала,  $\eta(m, j)$  —  $j$ -е значение гауссовой помехи в  $m$ -й реализации сигнала  $S_{об}$ ,  $k$  — коэффициент передачи канала связи,  $N$  — число отсчетов, взятых по огибающей  $INV_i$  или  $S_{об}$ ,  $L$  — число обучающих сигналов.

Случайные величины  $\xi(i)$ ,  $\eta(m, j)$  предполагаются независимыми в совокупности компонентами гауссовского вектора с нулевым математическим ожиданием и дисперсией  $\sigma^2$ .

Для удобства вычислений примем  $S_{об} = 1$ . Это предположение не ограничивает общности получаемых результатов, так как при  $S_{об} \neq 1$  можно нормировать все величины, разделив  $INV_i$ ,  $Z_p$  и  $\sigma$  на  $S_{об}$ .

Тогда из (2) получаем формулу:

$$INV_i^* = \frac{\sum_{i=1}^N [k INV_i + \xi(i)]}{\frac{1}{L} \sum_{m=1}^L \sum_{j=1}^N [k + \eta(m, j)]}. \quad (3)$$

Для расчета  $P_{пер}$  необходимо знать математические ожидания и дисперсии числителя и знаменателя выражения (3). Для их расчета воспользуемся следующим подходом.

Математическое ожидание числителя выражения (3):

$$m_{числ} = kN INV_i. \quad (4)$$

Дисперсия числителя (3):

$$D_{числ} = N\sigma^2. \quad (5)$$

После преобразований математическое ожидание знаменателя (3):

$$M_{\text{знам}} = kN. \tag{6}$$

Дисперсия знаменателя после преобразований:

$$D_{\text{знам}} = \frac{N}{L} \sigma^2. \tag{7}$$

Тогда выражение плотности вероятности оценки инварианта [3] с учетом (4) – (7) составит:

$$W(z) = \int_{-\infty}^{\infty} \frac{1}{2\pi\sigma_1\sigma_2} e^{-\frac{(zx - kN \text{INV}_i)^2}{2N\sigma_1^2}} e^{-\frac{L(x - kN)^2}{2N\sigma_2^2}} |x| dx, \tag{8}$$

где  $\sigma_1 = \sqrt{D_{\text{числ}}}$ ,  $\sigma_2 = \sqrt{D_{\text{знам}}}$ . Расчет  $P_{\text{пер}}$  проводился численно аппроксимацией формулы (8). Предложенную систему сравнили с некогерентной инвариантной системой.

Вероятность попарного перехода вычисляли как при когерентном, так и некогерентном приеме для одинаковых значений  $h$  — отношения сигнал/шум (ОСШ), которое при когерентном приеме вычисляется по формуле:

$$h^2 = \frac{\sum_{i=1}^N k^2 \text{INV}_i^2 \Delta t}{N \Delta t \sigma^2} = \frac{k^2 \text{INV}_i^2}{\sigma^2}.$$

Пороговые значения  $Z_p$  рассчитывали путем минимизации  $P_{\text{пер}}$  в (1). Для  $k = 1$  и  $\text{INV}_1 = 1, \text{INV}_2 = 2, 3, 4, 5, 6$  получаем  $Z_p = 1,5; 2; 2,5; 3; 3,5$ ; для  $k = 0,7$  и  $\text{INV}_1 = 1, \text{INV}_2 = 2, 3, 4, 5, 6$  — значения  $Z_p = 1,5; 2; 2,5; 3; 3,5$ .

Результаты моделирования приведены на рис. 2 и 3, из которых видно, что помехоустойчивость инвариантной когерентной системы в смысле передачи инварианта сопоставима с помехоустойчивостью инвариантной некогерентной системы, и лишь при существенном увеличении ОСШ (более 5) наблюдается незначительный проигрыш в вероятности  $P_{\text{пер}}$ . Это объясняется тем, что при некогерентном приеме появляется смещение математического ожидания и дисперсии [5] в формуле плотности вероятности оценки инварианта.

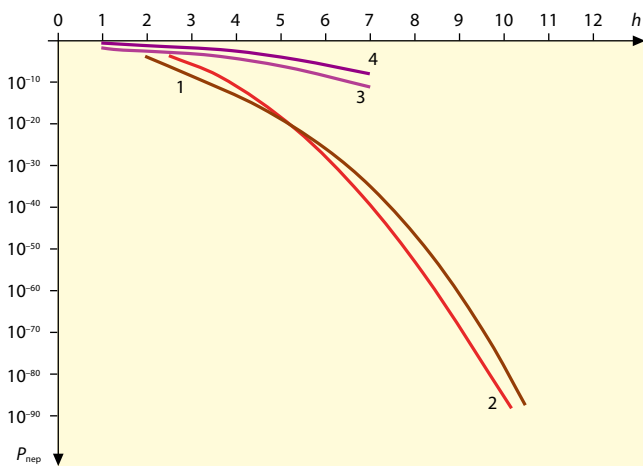


Рис. 2

На рис. 2 при  $k = 1, \text{INV}_1 = 1, \text{INV}_2 = 2, 3, \dots, 10$  имеем: кривой 1 соответствуют когерентный прием, инвариантная относительная АМ, прямоугольная огибающая; кривой 2 — некогерентный прием, инвариантная относительная АМ, прямо-

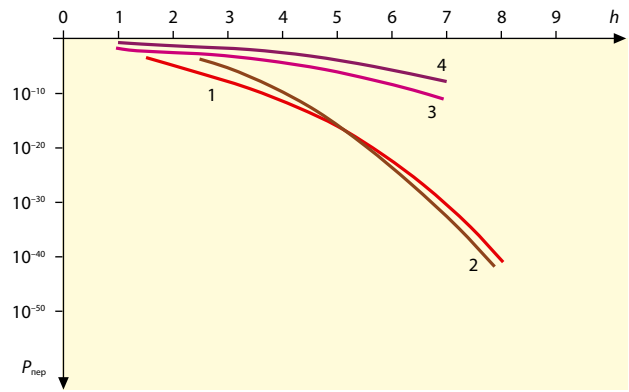


Рис. 3

угольная огибающая; кривой 3 — классический когерентный прием; кривой 4 — классический некогерентный прием.

На рис. 3 при  $k = 0,7; \text{INV}_1 = 1, \text{INV}_2 = 2, 3, \dots, 10$  для кривых, приведенных на рис. 2, сохраняется соответствие способа обработки сигнала.

Особенностью любой инвариантной системы, основанной на принципе инвариантной относительной АМ, является то, что по каналу передаются АМ сигналы, образованные  $\text{INV}_i$  и  $S_{\text{об}}$ . Передача этих сигналов обеспечивает на основе классических алгоритмов обработки информации, как правило, невысокую помехоустойчивость [2]. И только после обработки сигналов в соответствии с алгоритмом частного по выражению (2), получаем оценку инварианта, по сути являющуюся числом, а не сигналом.

Как видно из рис. 2 и 3, вероятность попарного перехода одного инварианта в другой при больших ОСШ определяется величинами  $10^{-30} \div 10^{-80}$ . При пересчете указанных выше величин вероятность ошибочного приема единичного сигнала в классических системах лежит в пределах  $10^{-6} \div 10^{-10}$ .

По мнению авторов, помехоустойчивость исследуемой инвариантной системы необходимо сравнивать с помехоустойчивостью аналогичных инвариантных систем, что и будет сделано в последующих работах.

**Заключение.** Предложенная инвариантная когерентная телекоммуникационная система и метод определения ее количественных характеристик несомненно найдут свое применение в системах связи.

**ЛИТЕРАТУРА**

1. Алгазин Е.И., Ковалевский А.П., Малинкин В.Б. Оценка помехоустойчивости инвариантной системы обработки информации при некогерентном приеме // Вестник СибГАУ. — 2008. — Вып. 2(19). — С. 38—41.
2. Теплов Н.Л. Помехоустойчивость систем передачи дискретной информации. — М.: Связь, 1964.
3. Малинкин В.Б., Алгазин Е.И., Левин Д.Н., Попантопуло В.Н. Инвариантный метод анализа телекоммуникационных систем передачи информации. — Красноярск, 2006.
4. Левин Б.Р. Теоретические основы статистической радиотехники. 3-е изд. — М.: Радио и связь, 1989.
5. Гоноровский И.С. Радиотехнические цепи и сигналы. — М.: Советское радио, 1971.

Получено 8.04.08