

Библиографический список

1. Саати, Т. Л. Принятие решений : перевод с англ. / Т. Л. Саати. М. : Радио и связь, 1993.
2. Горский, П. Введение в дисциплину «Поддержка принятия решений» [Электронный ресурс] / П. Горский. Электрон. дан. Режим доступа : http://www.cfin.ru/management/decision_science.shtml?printversion. Загл. с экрана.
3. Шахраманьян, А. М. Система поддержки принятия решений для страхования [Электронный ресурс] / А. М. Шахраманьян, Э. Э. Мамедов. Электрон. дан. Режим доступа : http://www.dataplus.ru/arcnev/number_40/14_strah.html. Загл. с экрана.
4. Веремей, Е. И. Система MATLAB в учебном процессе для специалистов по теории управления и информационным технологиям [Электронный ресурс] / Е. И. Веремей. Электрон. дан. Режим доступа: <http://2005.edu-it.ru/docs/4/4-07.Veremey.doc>. Загл. с экрана.
5. Шушкевич, Г. Ч. Введение в MathCAD 2000 : учеб. пособие / Г. Ч. Шушкевич, С. В. Шушкевич. Гродно : ГрГУ, 2001.
6. Большакова, И. В. Экономико-математические расчеты в системе MATHEMATICA : учеб. пособие для студентов экон. фак. БГУ / И. В. Большакова, В. С. Мастяница ; под общ. ред. М. М. Ковалева. Мн. : БГУ, 2005.
7. Лазарева, Т. Я. Введение в систему STATISTICA : метод. указ. / Т. Я. Лазарева, Р. Н. Абалуев. Тамбов : Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2002.
8. Аналитический комплекс «Прогноз» [Электронный ресурс]. Режим доступа : http://www.prognoz.ru/ru/products_akprognoz.php. Загл. с экрана.

A. I. Legalov, D. N. Ledyayev, A. V. Ankudinov

INSTRUMENTAL SUPPORT OF MULTICRITERION ANALYSIS IN COMPLEX TECHNICAL SYSTEM DEVELOPMENT

Nowadays program tools for multicriterion analysis are not adapted for an end-user or they are highly tailored information systems. The environment that can increase effectiveness of analysis multicriterion task solving at user level and independently of application area is proposed.

Keywords: software tools, decision accepting, multicriterion analysis.

УДК 681.332.531/519.676

Е. И. Алгазин, Е. Г. Касаткина, А. П. Ковалевский, В. Б. Малинкин

ПОМЕХОУСТОЙЧИВОСТЬ ИНВАРИАНТНОЙ СИСТЕМЫ ПЕРЕДАЧИ ИНФОРМАЦИИ, ОСНОВАННОЙ НА КОГЕРЕНТНОМ ПРИЕМЕ И ПРИ НАЛИЧИИ СЛАБЫХ КОРРЕЛЯЦИОННЫХ СВЯЗЕЙ

Рассматривается инвариантная система обработки информации, основанная на выделении прямоугольной огибающей при помощи синхронного детектора. Рассчитываются показатели помехоустойчивости такой системы. При этом полагается, что ближайшие отсчеты прямоугольной огибающей зашумлены аддитивной помехой, отсчеты которой слабо коррелированы между собой. Произведено сравнение количественных оценок работы такой системы с количественными показателями известной инвариантной системы при некоррелированности отсчетов шума.

Ключевые слова: помехоустойчивость, инвариант, инвариантная относительная амплитудная модуляция, вероятность попарного перехода, отношение «сигнал/шум», коэффициент корреляции.

Инвариантные системы передачи информации могут базироваться на разных способах обработки информации, основанных на принципе относительной амплитудной модуляции. Этот принцип предполагает снижать действие мультипликативной помехи путем применения алгоритма частного информационного параметра к обучающему [1].

Авторами рассмотрены ранее четыре способа обработки сигналов с помощью инвариантной относительной амплитудной модуляции и различной коррелированности отсчетов шума.

В работе [1] рассмотрена инвариантная относительная модуляция (ИОАМ) при идеальных условиях. В работе [2] рассмотрена инвариантная некогерентная система обработки информации. В работе [3] рассмотрены качественные характеристики ИОАМ при наличии помехи в генераторе. В работе [4] получены качественные характеристики ИОАМ в случае слабой коррелированности соседних отсчетов информационного и обучающего сигналов.

Постановка задачи. Имеем канал связи, ограниченный частотами f_n и f_b . Состояние канала связи определяет

ся интервалом стационарности, внутри которого действие мультипликативной помехи описывается постоянством коэффициента передачи сигнала $k(t)$ на определенной частоте.

Мультипликативная помеха одинаково искажает информационные и обучающие части блока передаваемых сигналов. Однако отношение энергии информационного сигнала к энергии обучающего сигнала являются постоянными на интервале стационарности.

Помимо этого каждый передаваемый блок подвергается действию аддитивной помехи.

В данном исследовании предполагается, что ближайшие отсчеты аддитивной помехи слабо коррелированы между собой.

Необходимо произвести расчет вероятности попарного перехода инвариантов в рассматриваемой системе. Для этого необходимо найти аналитическое выражение плотности вероятности оценки инварианта.

Данная работа завершает исследование поведения ИОАМ при слабой коррелированности отсчетов информационного и обучающего сигналов.

Решение поставленной задачи. Структура приемной части инвариантной относительной амплитудной модуляции представлена на рис. 1. Такая структура содержит синхронный детектор (умножитель, ФАПЧ и ФНЧ) и спецвычислитель.

На передающей стороне модулирующий параметр включен в отношение энергии информационного сигнала к энергии обучающего сигнала.

В силу того, что мультипликативная помеха одинаково воздействует на обе части каждого передаваемого блока, то алгоритм демодуляции сигналов приема, с учетом выбранного способа обработки сигналов, будет заключаться в вычислении оценки инварианта, описываемой следующим выражением:

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

В числителе выражения (1) представлена сумма N мгновенных отсчетов сигнала информационной посылки. Информационный сигнал образован прямоугольной огибающей с амплитудой $k \cdot INV_i + \xi(i)$, где $\xi(i)$ – отсчеты аддитивной помехи, распределенные по нормальному закону [5].

В знаменателе формулы (1) представлена сумма N мгновенных отсчетов сигнала обучающей посылки, образованного прямоугольной огибающей $k \cdot S_{об} + \eta(m, j)$,

где $\eta(m, j)$ – помеха в m -й реализации обучающего сигнала, распределенная по нормальному закону [6].

Без ограничения общности полагаем, что $S_{об} = 1$. Если $S_{об} \neq 1$, то все исходные параметры, а именно INV_i и σ_ξ (среднеквадратичное отклонение помехи $\xi(i)$, $\eta(m, j)$) можно масштабировать на величину $S_{об}$. Тогда формула (1) с учетом введенных ограничений переписывается в виде

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

где $k \cdot INV_i$ – мгновенный отсчет сигнала информационной части посылки, поступающей из канала; $\xi(i)$ – i -е мгновенное значение помехи в информационном сигнале; k – коэффициент передачи канала; $\eta(m, j)$ – j -е мгновенное значение в m -й реализации обучающего сигнала.

Будем полагать, что случайные величины $\xi(i)$ и $\eta(m, j)$ одинаково распределены по нормальному закону с нулевым математическим ожиданием и дисперсией σ_ξ^2 . Кроме этого, предполагается, что в каждом блоке зависимы только соседние случайные величины. Тогда

$$\text{CORR}(\xi(i), \xi(i-1)) = \text{CORR}(\eta(m, j), \eta(m, j-1)) = R,$$

где R – коэффициент корреляции.

Все остальные случайные величины, входящие в каждый принимаемый блок, будут независимыми. Для реализаций этой модели необходимо, чтобы [5]

$$|R| \leq 1/\sqrt{2}.$$

Воспользуемся известным подходом оценки вероятности попарного перехода, описанным, формулой полной вероятности

$$P_{пер} = P_1 \int_0^{Z_p} w_i(z) dz + P_i \int_{Z_p}^\infty w_i(z) dz, \quad (3)$$

где $P_{пер}$ – вероятность перехода INV_1 в INV_i и наоборот; P_1 – вероятность появления INV_1 ; P_i – вероятность появления INV_i . Первый интеграл – вероятность появления INV_i , когда послан INV_1 . Второй интеграл – вероятность появления INV_1 , когда послан INV_i ; Z_p – пороговое значение, необходимое для вычисления $P_{пер}$; при известных P_1 и P_i оно определяется с помощью полученной байесовской оценки путем минимизации $P_{пер}$ по Z_p . При неизвестных P_1 и P_i выбираем $P_1 = P_i = 0,5$.

Из анализа (3) видно, что для вычисления $P_{пер}$ необходимо знать аналитические выражения $W_1(z)$ и $W_i(z)$ плотности вероятности оценки инварианта.

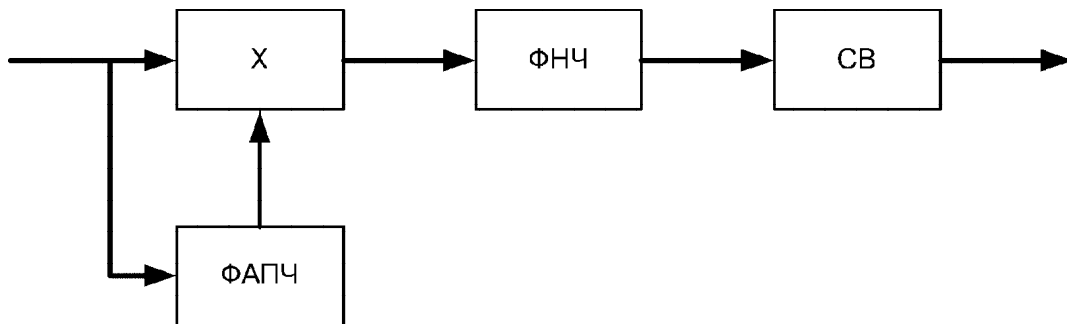


Рис. 1. Структурная схема инвариантной системы передачи информации: ФАПЧ – устройство фазовой автоподстройки частоты; ФНЧ – фильтр нижних частот; СВ – спецвычислитель

На основании выражения (2) вычислим математическое ожидание и дисперсию случайных величин A и B .

Математическое ожидание числителя будет равно [7]

$$m_A = N \cdot k \cdot \text{INV}_i \quad (4)$$

Математическое ожидание знаменателя будет равно [7]

$$m_B = N \cdot k. \quad (5)$$

Дисперсия числителя будет равна [7]

$$\begin{aligned} \sigma_A^2 &= D\left(\sum_{i=1}^N \xi(i)\right) = N \cdot \sigma_\xi^2 + 2(N-1)\text{cov}(\xi(i), \xi(i+1)) = \\ &= N \cdot \sigma_\xi^2 + 2(N-1)R \cdot \sigma_\xi^2 = \sigma_\xi^2 (N + 2(N-1)R). \end{aligned} \quad (6)$$

Дисперсия знаменателя будет равна [7]:

$$\sigma_B^2 = \frac{1}{L} \sigma_\xi^2 (N + 2(N-1)R). \quad (7)$$

Расчет частного двух случайных величин производится по следующей формуле [7]

$$W(z) = \int_{-\infty}^{\infty} \frac{1}{2\pi\sigma_A\sigma_B} e^{-\frac{(zx-m_A)^2}{2\sigma_A^2}} \cdot e^{-\frac{(x-m_B)^2}{2\sigma_B^2}} |x| dx, \quad (8)$$

где y_A и y_B определяются выражениями (6) и (7); m_A и m_B определяются выражениями (4), (5).

Следует отметить, что в формуле (3) при расчете $W_i(z)$ используется INV_i и при расчете $W_i(z) - \text{INV}_i$, где $i = 2, 3, 4, 5, 6, 7$. Значение вероятности попарного перехода $P_{\text{пер}}$ находилось методом численного интегрирования. Число накоплений с усреднениями равно 40 [1].

Полученные данные ограничены первыми шестью парами сравниваемых инвариантов, когда $\text{INV}_1 = 1$, $\text{INV}_i = 2, 3, 4, 5, 6, 7$.

Вероятность попарного перехода вычисляется при значениях h – отношения «сигнал/шум», которое находилось по формуле, определяемой отношением мощности сигнала и мощности шума [6]

$$h^2 = \frac{k^2 \text{INV}_i^2}{N\sigma_\xi^2}.$$

Пороговые значения Z_p отыскивались минимизацией $P_{\text{пер}}$ в формуле (3).

Результаты расчетов для различных значений коэффициента передачи канала k , коэффициента корреляции R и величины $\text{INV}_i = 1; \text{INV}_i = 2; 3; 4; 5; 6; 7$ сведены в табл. 1, 2.

Если в формулах (6) и (7) положить $R = 0$ (отсчеты шума некоррелированы), то общее выражение плотности вероятности оценки инварианта, полученное в данной работе, переходит в соотношение по расчету аналогичного параметра, полученного авторами ранее при действии некоррелированных отсчетов белого шума [1]. Однако полученное выражение плотности в данной работе является уточняющим и наиболее полно отражает реальную ситуацию.

Особенностью любой инвариантной системы, основанной на принципе инвариантной относительной амплитудной модуляции является то, что по каналу передаются амплитудно-модулированные сигналы, образованные INV_i и $S_{\text{об}}$.

Передача этих сигналов обеспечивается на основе классических алгоритмов обработки информации и имеет невысокую помехоустойчивость.

Кривая 3 на рис. 2 и рис. 3 соответствует вероятности ошибки $P_{\text{ош}}$, является аналогом вероятности попарного перехода $P_{\text{пер}}$ и рассчитывается по известным формулам [5] и только после обработки этих сигналов в соответствии с алгоритмом частного по выражению (1), получаем оценку инварианта, по сути являющуюся числом, а не сигналом.

Как видно, вероятность попарного перехода в инвариантной системе определяется величинами $(10^{-1} \dots 10^{-33})$ (рис. 2, 3). При тех же значениях «сигнал/шум» вероятность ошибочного приема единичного символа в классических системах лежит в пределах $(10^{-1} \dots 10^{-7})$.

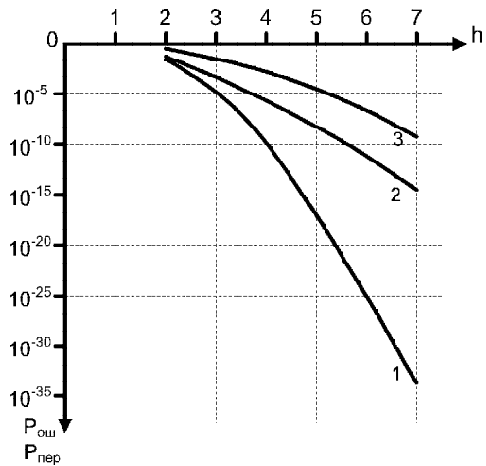


Рис. 2. Помехоустойчивость ИОАМ при $k = 1$ и $\text{INV}_1 = 1$; $\text{INV}_i = 2; 3; 4; 5; 6; 7$: кривая 1 – вероятность попарного перехода в ИОАМ при некоррелированности отсчетов шума (теоретический предел); кривая 2 – вероятность попарного перехода ИОАМ при $R = 0,7$; кривая 3 – вероятность ошибки классической АМ

Проведенный анализ инвариантной системы показывает, что инвариантная система передачи информации при слабой корреляции отсчетов аддитивной помехи обладает высокой помехоустойчивостью. Вероятность ошибки классического алгоритма с амплитудной модуляцией как минимум на два порядка больше вероятности попарного перехода в инвариантной системе. Поэтому данную систему следует использовать в телекоммуникационных системах, системах телеуправления и других

Таблица 1

Значения Z_p при заданных K, R

$K = 1$			$R = 0,7$		
Z_p	1,627	2,057	2,488	3,062	4,162

Таблица 2

Значения Z_p при заданных K, R

$K = 0,7$			$R = 0,7$		
Z_p	1,820	2,226	2,632	3,038	4,078

системах, предъявляющих высокие требования к помехоустойчивости.

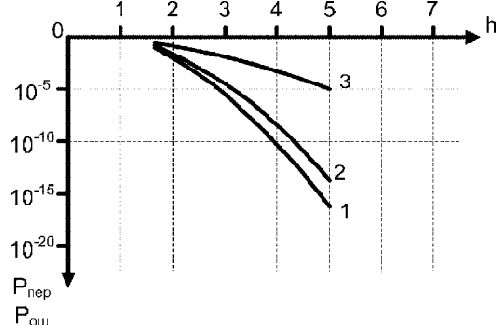


Рис. 3. Помехоустойчивость ИОАМ при $k = 0,7$ и $INV_1 = 1$; $INV_i = 2; 3; 4; 5; 6; 7$: кривая 1 – вероятность попарного перехода в ИОАМ при некоррелированности отсчетов шума (теоретический предел); кривая 2 – вероятность попарного перехода ИОАМ при $R = 0,7$; кривая 3 – вероятность ошибки классической АМ

Библиографический список

1. Малинкин, В. Б. Инвариантный метод анализа телекоммуникационных систем передачи информации : мо-

ногр. / В. Б. Малинкин, Е. И. Алгазин, Д. Н. Левин, В. Н. Попантопуло // Красноярск, 2006.

2. Алгазин, Е. И. Оценка помехоустойчивости инвариантной системы обработки информации при некогерентном приеме / Е. И. Алгазин, А. П. Ковальский, В. Б. Малинкин // Вестник СибГАУ. Красноярск, 2008. Вып. 2(19). С. 38–41.

3. Алгазин, Е. И. Помехоустойчивость инвариантной относительной амплитудной модуляции / Е. И. Алгазин, А. П. Ковалевский, В. Б. Малинкин // Актуальные проблемы электронного приборостроения : материалы IX Междунар. конф. Т. 4. Новосибирск, 2008. С. 20–24.

4. Алгазин, Е. И. Помехоустойчивость инвариантной системы передачи информации при наличии слабых корреляционных связей / Е. И. Алгазин, А. П. Ковалевский, В. Б. Малинкин // Вестник СибГАУ. Красноярск, 2008. Вып. 4(21). С. 29–32.

5. Боровков, А. А. Теория вероятностей / А. А. Боровков. М. : Эдиториал УРСС, 1999.

6. Теплов, Н. Л. Помехоустойчивость систем передачи дискретной информации / Н. Л. Теплов. М. : Связь, 1964.

7. Левин, Б. Р. Теоретические основы статистической радиотехники / Б. Р. Левин. 3-е изд. М. : Радио и связь, 1989.

E. I. Algazin, E. G. Kasatkina, A. P. Kovalevsky, V. B. Malinkin

NOISE IMMUNITY OF THE INVARIANT SYSTEM OF INFORMATION TRANSMISSION BASED ON COHERENT RECEPTION BY EXISTENCE OF WEAK CORRELATION COMMUNICATIONS

The invariant system of information processing based on obtaining of the rectangular envelope using a synchronous detector is considered. The noise indexes are calculated. It is supported that the closest nearest reading of the rectangular are interfered with the adaptive noise whose readings are weakly correlated with each other.

The quantitative estimation of the operation of such kind system is compared with the quantitative indexes of the known invariant system by non-correlativeness of the noise readings.

Keywords: noise immunity, invariant, invariant relative amplitude modulation, probability of pair wise transition, signal/noise relation, coefficient of correlation.