Ссылка на статью:
// Ученые записки УлГУ. Сер. Математика и информационные технологии. УлГУ. Электрон. журн. 2017, № 1, с. 86-92.

Поступила: 19.06.2017
Окончательный вариант: 11.10.2017

© УлГУ

УДК 621.391

Борьба с помехами, возникающими за счет многолучевости на линиях дальнего тропосферного рассеяния

***Украинцев Ю. Д.*[1,*], *Гончаров А. В.*,[1]**
***Украинцев К. Ю.*[2]**

[*] 9019471930@mail.ru
[1]УлГУ, Ульяновск, Россия
[2] ФГУП «Российская телевизионная радиовещательная сеть».

Представлено устройство классификации помех, реализующее модифицированный - «наивный» метод Байеса. Отличие метода заключается в отказе от нормальной плотности распределения вероятностей (ПРВ) статистических характеристик – мгновенных значений огибающей смеси сигнала и помех. Устройство работает на основе текущей ПРВ, восстанавливаемой на основе метода Парзена-Розенблатта в ходе конкретного сеанса связи.

***Ключевые слова**: быстрые и медленные замирания, математическое ожидание, мода, метод максимального правдоподобия, порог решающей схемы, классификатор помеховой обстановки, парзеновская процедура восстановления ПРВ.*

Введение

Современные тропосферные линии связи используют явление дальнего тропосферного рассеяния (ДТР УКВ) на неоднородностях тропосферы – ее спорадических слоях. Принцип распространения радиоволн ДТР УКВ представлен на рис.1. Из рисунка видно, что в точку приема приходят радиоволны, отраженные от различных точек области пере излучения.

Разность хода отраженных лучей приводит к тому, что один и тот же сигнал, отраженный от разных точек объема переизлучения приходит в точку приема с различными фазами, что и вызывает появление так называемых быстрых замираний. Глубина этих замираний может колебаться от 60 до 80Дб, а их длительность - от десятков секунд до единиц минут, что значительно затрудняет использование автоматической регулировки усиления, позволяющей устранить или сгладить это явление. Таким образом, быстрые зами-

рания являются одним из серьезных факторов, влияющих на достоверность приема передаваемого сообщения.

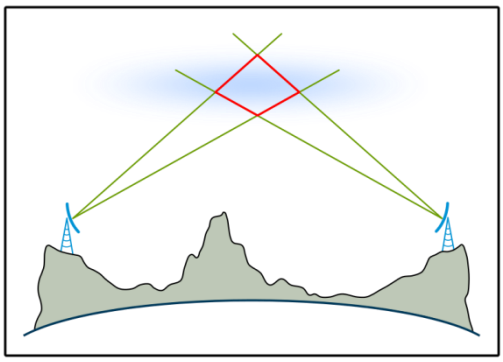

Рис. 1.

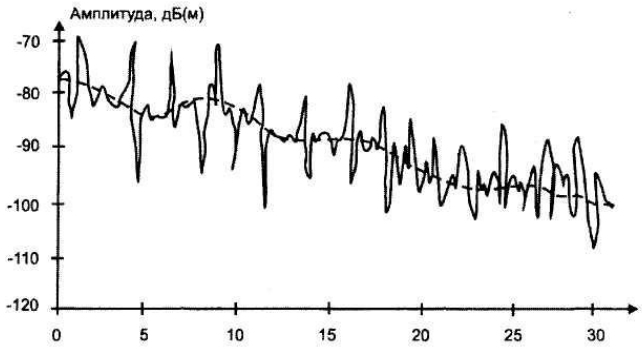

Рис. 2.

В свою очередь, эти быстрые замирания накладываются на так называемые медленные замирания, обусловленные сезонными условиями распространения радиоволн.

При этом глубина медленных замираний достигает 30Дб, а интервал медленных замираний от единиц часов до нескольких суток [2,3].

В результате взаимодействия этих двух рассмотренных факторов результирующую огибающую мгновенных значений огибающей сигнала на входе приемного устройства можно представить в виде рис. 2.

Все это приводит к тому, что сигнал на входе приемного устройства носит случайный характер, что в конечном итоге приводит к ухудшению линии ДТР УКВ. Для устранения этого характера и обеспечения качественного приема сигналов до настоящего времени используются методы математической статистики, с помощью которых определяется ПРВ мгновенных значений огибающей принимаемого сигнала.

На основе многолетних статистических испытаний трасс ДТР УКВ установлено, что за счет быстрых замираний ПРВ мгновенных значений огибающей принимаемого сигнала в 70% времени сеанса связи подчиняется релеевскому распределения. Для обоснования дальнейших рассуждений на рис. 3 представлен вид Релеевского распределения.

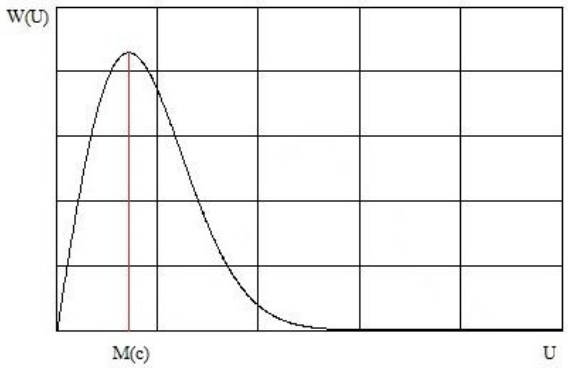

Рис.3

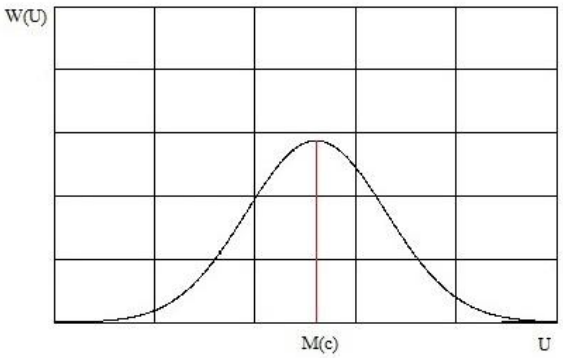

Рис. 4

Несимметричность распределения свидетельствует о том, что мода Мс (наиболее вероятное значение сигнала), математическое ожидание (выборочное среднее) и биссектриса (прямая делящая плотность пополам) располагаются в разных точках. Это свидетельствует о проблемах использования в задачах обнаружения двоичного сигнала хорошо изученного метода максимального правдоподобия, базирующегося на постулате о нормальном (симметричном) законе распределения, где мода, математическое ожидание и биссектриса находятся в одной точке.

До появления высокоскоростной компьютерной техники текущая оценка ПРВ огибающей принимаемого сигнала была практически невозможна. Именно поэтому при разработке решающего устройства любого радиоприемника пользовались статистикой, накопленной годами.

1. Постановка задачи

Для повышения помехоустойчивости на линиях современной беспроводной связи предлагается использовать адаптивно-непараметрический классификатор, основанный на текущем восстановлении плотности распределения (ПРВ) мгновенных значений огибающей принимаемого сигнала. Алгоритм работы восстановления ПРВ основан на непараметрической оценке ПРВ Парзена – Розенблатта, анализ которого проведен в работах [7,8,9,10, 11]. При этом в ходе сеанса связи определяются наиболее вероятные значения сигнала (мода) при отсутствии и наличии помех, устанавливается в соответствии с реальной обстановкой на линии связи порог решающей схемы, а затем на основе сдвига мод принимается решение о вероятности ошибочного приема. Для уточнения качества определения порога методом имитационного моделирования набиралась достаточная статистика (репрезентативная выборка) мод сигнала, мод смеси сигнала и помехи, а также порога решающей схемы. На основе этих выборок строились ПРВ сигнала, ПРВ смеси сигнала с помехой и порога решающей схемы, что позволило определить дисперсию (разброс) указанных параметров. В заключительной части работы приведен график вероятности ошибочной классификации помех при использовании классического байесовского подхода и подхода, основанного на «наивном» методе Байеса.

2. Решение задачи

Оценка ПРВ основывается на рекуррентной парзеновской процедуре [10]:

$W_N(X) = W_{N-1}(X) + \frac{1}{N}\left(W_{N-1}(X) + \frac{1}{h_N}K(y)\right)$, где:

N-объем выборки достаточной статистики;

h_N – ширина «окна» аппроксимирующей функции;

$K(y)$ – аппроксимирующая функция.

Обоснование параметров оценки ПРВ представлено в работах [7, 8, 9].

На основе этой процедуры определяются ПРВ сигнала и ПРВ смеси сигнала и помехи. На основе классического метода Байеса известно, что ПРВ смеси сигнала и помехи будет

сдвинута вправо относительно ПРВ сигнала. Место пересечения этих двух плотностей и является порогом решающей схемы радиоприемного устройства, т.е.

$$W(U_c)=W(U_{c+п})$$

На основе полученных значений ПРВ принимаемого сигнала определяется значение ее моды в соответствии с выражением:

$M(i,T) = \max_{(X)} W_N(X)$, где:

i – временной интервал набора достаточной статистики;

T – общее время, необходимое для набора статистики на заданном интервале.

На основе полученных значений ПРВ принимаемой смеси сигнала и помех определяется значение ее моды в соответствии с выражением:

$M(i,T) = \max_{(X+п)} W_N(X + П)$, где:

i – временной интервал набора достаточной статистики;

T – общее время, необходимое для набора статистики на заданном интервале.

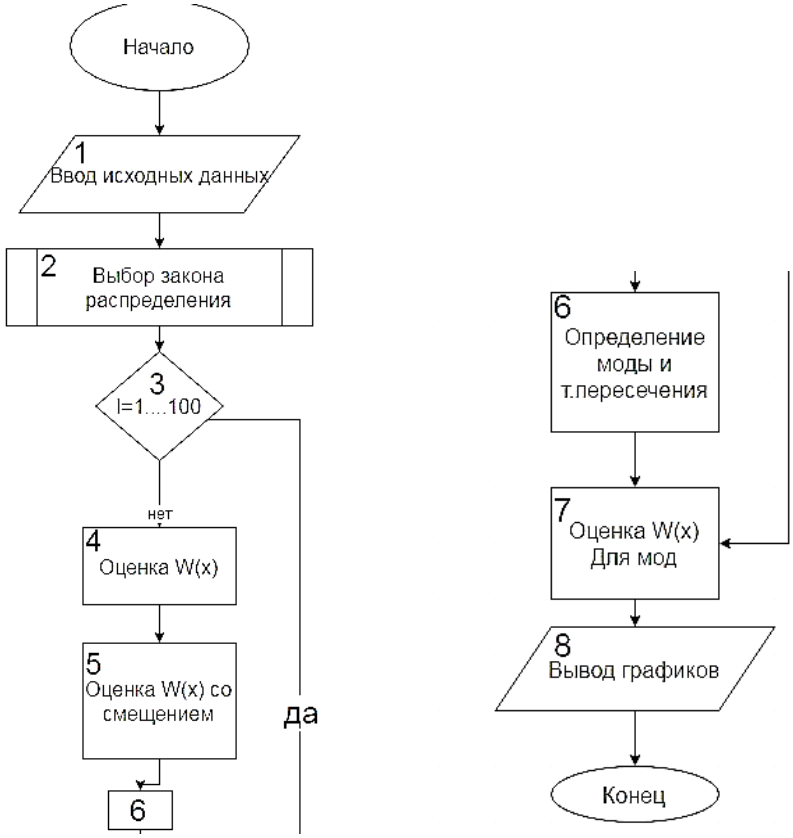

Рис.5

В принципе все параметры, необходимые для работы решающей схемы приемника определены на основе анализа текущей статистики по мгновенным значениям огибающей смеси сигнала и помех, наблюдаемой на входе радиоприемного устройства. При этом в дальнейшем вероятность ошибочного приема сигнала определяется, как и при классическом Байесовском подходе:

-если $U_c < U_{пор}$ - принимается решение об отсутствии помех;

-если $U_c > U_{пор}$ - принимается решение о наличии помех.

Алгоритм имитационного моделирования представлен на рис.5.

3. Результаты решения задачи

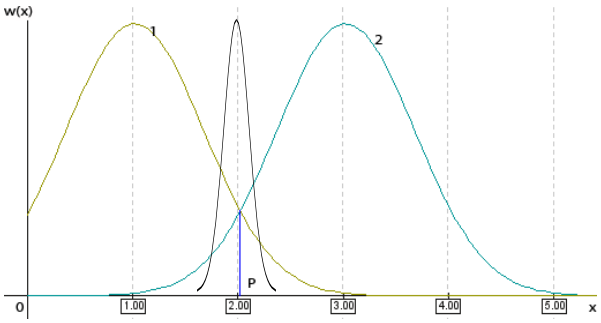

Рис.6

На рис. 6 приведены плотности распределения мгновенных значений огибающей принимаемого сигнала (релеевское распределение): кривая 1 – при отсутствии помех, кривая 2 – при наличии помех, P – порог решающей схемы. В связи с тем, что в рассматриваемом случае сам порог является случайной величиной, получаемой в результате обработки статистических данных на этапе анализа применяемым методом Парзена, была восстановлена плотность распределения порога решающей схемы. полученная плотность вероятности порога свидетельствует о том, что независимо от условий распространения радиоволн вероятность ошибки определения порога решающей схемы не хуже 10^{-5}, что весьма существенно для линий связи функционирующих в условиях многолучевости, которая рассмотрена выше.

4. Связь теории с практикой.

Для подтверждения теоретических исследований была разработана принципиальная схема и устройство обнаружения и классификации помех. Фото устройства представлено на рис.7.

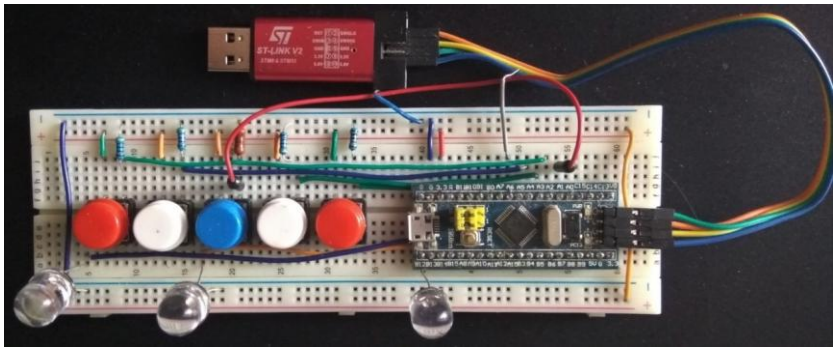

Рис.7

Результаты работы классификатора на имитационном стенде представлены на рис. 8 и 9.

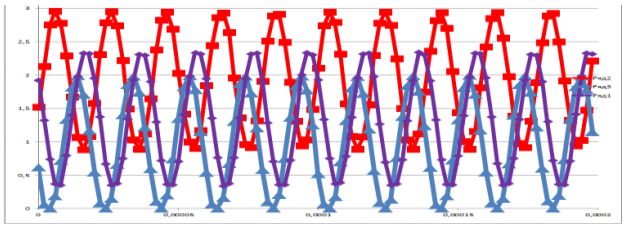

Рис.8

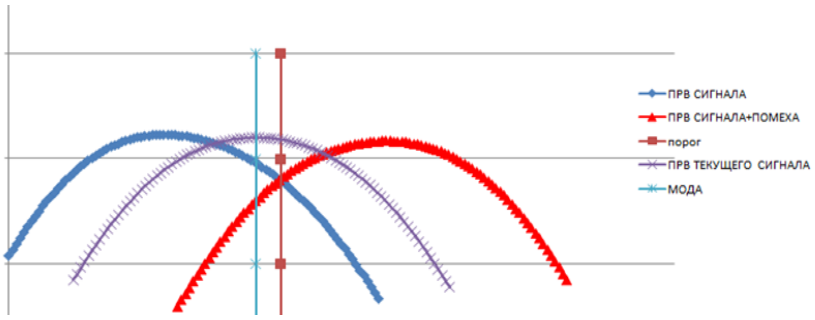

Рис. 9

Сравнение результатов имитационного моделирования с использованием программного обеспечения и натурного эксперимента подтверждают целесообразность продолжения работ для совершенствования решающих схем перспективных телекоммуникационных систем.

Заключение

Современные быстродействующие микропроцессорные вычислительные системы позволяют обрабатывать объемы достаточной статистик (в рассматриваемом варианте достаточно 100 независимых отсчетов мгновенных значений принимаемого сигнала) в реальном масштабе времени.

В свою очередь, это позволяет, не увеличивая массо-габаритные показатели современных беспроводных систем связи, повысить их эффективность работы в условиях непараметрической неопределенности относительно сигналов и помех.

Целесообразно продолжить работы по оценке качества определения адаптивного порога решающей схемы методами «наивного» метода Байеса.

Список литературы

1. Васильев К.К., Глушков В.А., Дормидонтов А.В., Нестеренко А.Г. *Теория электрической связи; под общей редакцией К.К. Васильева.* Ульяновск: УлГТУ, 2008.
2. Гусятинский И. А., Немировский А. С. И др. *Дальняя тропосферная радиосвязь.* М.: Связь,1968.

3. Немировский М.С., Шорин О.А., Бабин А.И., Сартаков А.Л. *Беспроводные технологии от последней мили до последнего дюйма: Учебное пособие.* М.: Эко - Тренз, 2010.
4. Орлов А. И. *Прикладная статистика.* М.: Экзамен, 2004.
5. Репин В.Г. Обнаружение сигнала с неизвестными моментами появления и исчезновения // *Пробл. передачи информ.* 1991. Т. 27, № 1, с. 61-72.
6. Смирнов Н. В. Асимптотическая мощность некоторых непараметрических критериев / *труды Всесоюзного совещания по математической статистике* / Ереван, 1960.
7. Украинцев Ю. Д., Украинцев К. Ю. Сравнительный анализ парзеновских (непараметрических) процедур восстановления ПРВ // *В сб. «Современные проблемы создания и эксплуатации радиотехнических систем». Труды шестой научно – практической конференции (с участием СНГ).* Ульяновск, УлГТУ, 2009, стр. 233-236.
8. Украинцев К. Ю. Селиверстов М.В. Методика определения порога решающей схемы адаптивно-непараметрического классификатора помеховой ситуации // *В сб. «Современные проблемы создания и эксплуатации радиотехнических систем: Труды седьмой всероссийской научно-практической конференции (с участием стран СНГ),* г. Ульяновск, 22-23 сентября 2011 г. Ульяновск, УлГТУ, 2011.
9. Украинцев Ю. Д. Украинцев К. Ю. Обоснование параметров непараметрической процедуры восстановления априорно неопределенной плотности распределения вероятностей // *Ученые записки ульяновского государственного университета. Сер. Математика и информационные технологии. Вып 1 (3) / Под ред. А.А. Смагина.* Ульяновск: УлГУ, 2012.
10. Украинцев Ю. Д. Гончаров А. В. Статистическая оценка качества определения порога решающей схемы радиоприемного устройства, построенного на основе «наивного» Байесовского метода // *Современные проблемы проектирования, производства и эксплуатации радиотехнических систем: сборник научных трудов.* Ульяновск: УлГТУ, 2016.
11. Parzen, On estimation of a probability density function and mode // *Ann. Math. Statist*. 1962, v.33, №3, p. 1065-1-76.
12. M. Rosenblatt, Remarks on some nonparametric estimates of a density function // *Ann. Math. Statist.* 1956, v.27, №3, p. 832-837.