

УДК 004.45(045)

Заруцкий В. А., аспирант

### ОБЕСПЕЧЕНИЕ КАЧЕСТВА СВЯЗИ В СПЕЦИАЛИЗИРОВАННОЙ БЕСПРОВОДНОЙ СЕТИ В УСЛОВИЯХ ПОМЕХ

**Заруцкий В. О.** Забезпечення якості зв'язку в спеціалізованій бездротовій мережі за наявності завад. Розглянута задача стабілізації рівня помилок передачі даних в спеціалізованих безпроводових мережах за наявності зовнішніх імітаційних завад. Показано, що при зміні параметрів і поточного стану каналу передачі вплив імітаційних завад значно знижується. При необмеженому зростанні числа змінних параметрів каналу імовірність помилок передачі внаслідок завад асимптотично наближається до нуля.

**Ключові слова:** СПЕЦІАЛІЗОВАНА БЕСПРОВОДОВА МЕРЕЖА, ІМІТАЦІЙНИЙ ШУМ, ЗАВАДИ, СТАН КАНАЛУ, ІМОВІРНІСТЬ ПОМИЛОК, ОПТИМАЛЬНИЙ ПОРІГ

**Заруцкий В. А.** Обеспечение качества связи в специализированной беспроводной сети в условиях помех. Рассмотрена задача стабилизации уровня ошибок передачи данных в специализированных беспроводных сетях при наличии внешних имитационных помех. Показано, что при изменении параметров и текущего состояния канала передачи влияние имитационных помех значительно снижается. При неограниченном росте числа переменных параметров канала вероятность ошибок передачи из-за помех асимптотически приближается к нулю.

**Ключевые слова:** СПЕЦИАЛИЗИРОВАННАЯ БЕСПРОВОЛОЧНАЯ СЕТЬ, ИМИТАЦИОННЫЙ ШУМ, ПРЕПЯТСТВИЯ, СОСТОЯНИЕ КАНАЛА, ВЕРОЯТНОСТЬ ОШИБОК, ОПТИМАЛЬНЫЙ ПОРОГ

**Zarutskiy V. O.** Providing quality communication in wireless network in the presence of interference. Stabilization problem for data transmission errors level in specialized wireless networks in the presence of external simulated noise considered. It is shown that in changing parameters and current state of transmission channel the influence of simulated noise is considerably reduced. Under unlimited growth of a number of variable parameters of channel an error probability in transmission due to interferences asymptotically approaches zero.

**Keywords:** SPECIALIZED WIRELESS NETWORK, SIMULATION NOISE, INTERFERENCE, STATE OF CHANNEL, ERROR PROBABILITY, OPTIMAL THRESHOLD

Специализированные беспроводные компьютерные сети – весьма специфическая разновидность сетей. Во-первых, они работают в условиях острого дефицита времени и ресурсов (по аналогии с операционными системами жесткого реального времени). Во-вторых, они гораздо больше, чем обычные сети, подвержены различным помехам, как непреднамеренным, так и преднамеренным [1, 2]. Поэтому задача борьбы с внешними помехами непосредственно связана с обеспечением качества сервиса беспроводных сетей [3].

Рассмотрим задачу обнаружения и локализации имитационных помех, структура и характеристики которых максимально близки к соответствующим характеристикам сигналов. Ошибки, потери и искажения пакетов могут возникнуть за счет помех и других дестабилизирующих факторов. Статистики шумов и ошибок имеют различный характер.

Наиболее эффективным методом защиты от имитационных помех в каналах обмена является изменение состояния канала по равномерному псевдослучайному закону [4, 5]. Функция выбора текущего состояния описывается равномерным распределением:

$$w_n(i) = \sum_{i=1}^N w_{mp}(i) w_{st}(i) = \frac{1}{N_{st}} \sum_{i=1}^N w_{st}(i) = \frac{1}{N_{st}}, \quad (1)$$

где  $i$  – состояние канала связи;  $i \in [0, N_{st}]$ ;

$N_{st}$  – число возможных состояний канала связи;

$w_{mp}(i)$  – плотность распределения результирующей плотности распределения состояния канала связи;

$w_n(i)$  – плотность распределения функции смены состояний системы защиты канала связи;

$w_{st}$  – условная плотность распределения состояния канала.

Аналогичным образом можно показать, что влияние дестабилизирующих факторов также не меняет статистику распределения выбранного состояния канала при его сканировании.

В качестве основной меры защиты можно использовать псевдослучайную смену цикловой синхронизации [1]. При этом вероятность ошибки каждого бинарного элемента при равномерном распределении функции смены состояний также будет иметь равномерное распределение. С учетом этого, функция распределения числа ошибок приема будет описываться биномиальным законом:

$$P_{ima}(m) = \binom{n}{m} p_e^m (1 - p_e)^{n-m} = 0,5^n \binom{n}{m}, \quad (2)$$

где  $n$  – число циклов синхронизации;

$m$  – число ошибок приема.

Влияние дестабилизирующих факторов на искажения пакетов определяется функцией распределения ошибок [4]:

$$\bar{P}_{fd}(m) = \frac{1}{2} \left( \frac{\lambda \tau_0 \bar{P}_{e-}^m}{(\lambda \tau_0 + \bar{P}_{e-})^{m+1}} + \frac{\lambda \tau_0 \bar{P}_{e+}^m}{(\lambda \tau_0 + \bar{P}_{e+})^{m+1}} \right), \quad (3)$$

где  $\lambda = \frac{1}{t_{fd}}$ ;  $\bar{t}_{fd}$  – средняя длительность вариаций интенсивности сигналов в канале;

$\bar{P}_{e-(+)}$  – средняя вероятность ошибки приема элемента сигнала при замирании (усилении) сигнала [6, 7].

Анализируя характер зависимостей функций вероятностей числа ошибок, можно заметить, что при использовании каналов с устойчивым приемом сигналов ( $\bar{P}_e < 0,01$ ), данные функции имеют противоположный характер монотонности.

Проанализируем эффективность метода обнаружения. В случае применения данного метода обнаружения могут возникнуть следующие ошибки: первого рода – в случае, когда число обнаруженных ошибок при передаче полезного сигнала превысит пороговое значение:

$$P_I = P(m > m_t) = \sum_{m=m_t+1}^n P_{fd}(m), \quad (4)$$

и второго рода, если число ошибок при обнаружении имитирующих помех не превысит пороговое значение:

$$P_{II} = P(m < m_t) = \sum_{m=0}^{m_t-1} \bar{P}_{ima}(m). \quad (5)$$

При возникновении каждого ложного решения равным образом произойдет нарушение функционирования канала связи, в связи с чем для оценки можно применить критерий риска с равными весами ошибок первого и второго рода:

$$P_{fd} = 0,5(P_I + P_{II}). \quad (6)$$

С учетом формул (3 – 6), выражение для оценки эффективности обнаружения помех примет вид:

$$P_{f.d}(m_t) = \frac{1}{2} \left( \frac{\lambda \tau_0}{2} \sum_{m=m_t+1}^n \left[ \frac{\bar{P}_{e-}^m}{(\lambda \tau_0 + \bar{P}_{e-})^{m+1}} + \frac{\bar{P}_{e+}^m}{(\lambda \tau_0 + \bar{P}_{e+})^{m+1}} \right] + \frac{1}{2^n} \sum_{m=0}^{m_t-1} \binom{n}{m} \right) . \quad (7)$$

При  $\bar{P}_{e-} \ll \bar{P}_{e+}$  можно использовать приближенное выражение:

$$P_{f.d}(m_t) \approx \frac{1}{4} \left( \frac{\bar{P}_{e-}^{m_t+1}}{(\lambda \tau_0 + \bar{P}_{e-})^{m_t+1}} - \frac{\bar{P}_{e-}^{n+1}}{(\lambda \tau_0 + \bar{P}_{e-})^{n+1}} + \frac{1}{2^{n-1}} \sum_{m=0}^{m_t-1} \binom{n}{m} \right) . \quad (8)$$

Анализ функции (8) показывает, что при данном методе обнаружения вероятность ложного решения является минимальной, что соответствует оптимальному пороговому значению числа ошибок  $m_{t,opt}$ .

Определим значение оптимального порогового значения числа ошибок из условия нулевого относительного приращения:  $\frac{\Delta P_{f.d}}{\Delta m_t} = 0$ , откуда с учетом, что на участке  $[0, n/2]$  в выражении (6) приращение первого слагаемого в силу убывания функции отрицательно, а приращение второго слагаемого положительно, можно записать:

$$\frac{1}{2_n} \binom{n}{m_t} = \frac{\lambda \tau_0}{2} \left( \frac{\bar{P}_{e-}^{m_t}}{(\lambda \tau_0 + \bar{P}_{e-})^{m_t+1}} + \frac{\bar{P}_{e+}^{m_t}}{(\lambda \tau_0 + \bar{P}_{e+})^{m_t+1}} \right) . \quad (9)$$

Так как первое слагаемое в правой части выражения (9) превышает второе более чем на порядок, последним слагаемым можно пренебречь. В результате выражение (9) примет вид:

$$\frac{2}{\sqrt{2n\pi}} \exp\left(-\frac{(2m_t - n)^2}{2n}\right) \approx \frac{\lambda \tau_0}{2} \frac{\bar{P}_{e-}^{m_t}}{(\lambda \tau_0 + \bar{P}_{e-})^{m_t+1}}$$

Прологарифмировав данное выражение, получим:

$$m_t \ln\left(\frac{\bar{P}_{e-}}{\lambda \tau_0 + \bar{P}_{e-}}\right) + \frac{(2m_t - n)^2}{2n} = \ln\left(\frac{4(\lambda \tau_0 + \bar{P}_{e-})}{\lambda \tau_0 \sqrt{2n\pi}}\right) .$$

После громоздких, но несложных преобразований данного выражения получим квадратное уравнение:

$$\frac{m_t^2}{2} - \frac{m_t}{2} n \left[ 1 - \frac{1}{2} \ln\left(\frac{\bar{P}_{e-}}{\lambda \tau_0 + \bar{P}_{e-}}\right) \right] - \frac{n}{4} \left[ \ln\frac{4(\lambda \tau_0 + \bar{P}_{e-})}{\lambda \tau_0 \sqrt{2n\pi}} - \frac{n}{2} \right] = 0$$

В результате решения уравнения получим выражение для оптимального порогового значения числа ошибок (рис.1):

$$m_{t,opt} = \frac{n}{2} \left\{ 1 + \frac{1}{2} \ln\left(1 + \frac{\lambda \tau_0}{\bar{P}_{e-}}\right) - \sqrt{\left[ 1 + \frac{1}{2} \ln\left(1 + \frac{\lambda \tau_0}{\bar{P}_{e-}}\right) \right]^2 + \frac{2}{n} \ln\left[\frac{4}{\sqrt{2\pi n}} \left(1 + \frac{\bar{P}_{e-}}{\lambda \tau_0}\right)\right] - 1} \right\} \quad (10)$$

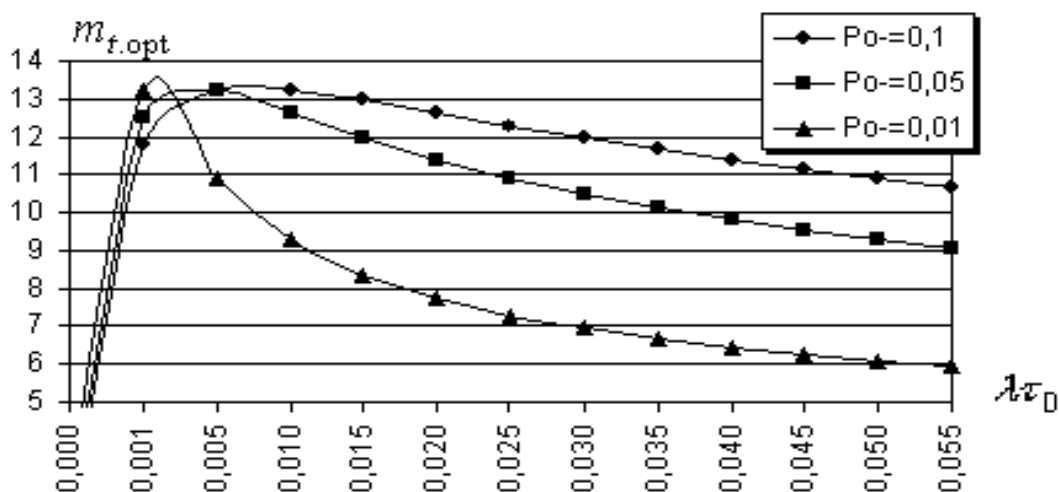


Рис.1. Оптимальное пороговое значение числа ошибок

Анализируя выражение (8), можно заметить, что оптимальное пороговое значение  $m_{f,opt}$  возрастает с увеличением установленной в канале скорости манипуляции (при уменьшении  $\tau_0$ ) и с увеличением средней длительности вариаций интенсивности (при уменьшении  $\lambda$ ), а также при снижении уровня полезного сигнала (при увеличении вероятности ошибки в канале в момент замирания  $\bar{P}_{e-}$ ).

Поэтому при наличии изменений параметров канала и дестабилизирующих факторов для обеспечения эффективной защиты сети целесообразно устанавливать среднее значение  $\bar{m}_{f,opt}$ , благодаря чему обеспечивается минимальное приращение вероятности ложного обнаружения имитационных помех.

### Литература

1. Петров А. А. Компьютерная безопасность / А. А. Петров. – М.: ДМК, 2000. – 448 с.
2. Гордейчик С.В., Дубровин В.В. Безопасность беспроводных сетей / С. В. Гордейчик, В. В. Дубровин. – М.: Горячая линия-Телеком, 2008. – 288 с.
3. Широкополосные беспроводные сети передачи информации / В. М. Вишневецкий, А. И. Ляхов, С. Л. Портной, И. В. Шахнович. – М.: Техносфера. – 2005. – 592 с.
4. Левин Б. Р. Теоретические основы статистической радиотехники / Б. Р. Левин; [3-е изд.] – М.: Радио и связь, 1999. – 656 с.
5. Oroschchuk I.M. New technologies of unauthorized influence on automatic radio communication systems //The 3-rd international symposium «Sibconvers'99», TUSUR, V-2, 1999. pp. 336-338.
6. Амиантов И. Н. Избранные вопросы статистической теории связи / И. Н. Амиантов. – М.: Советское радио, 1971. – 416 с.
7. Бертсекас Д. Сети передачи данных / Бертсекас Д., Галлагер Р.. – М.: Мир, –1989. – 544 с.