

Линец Геннадий Иванович, к.т.н., доцент Кафедры инфокоммуникаций Института информационных технологий и телекоммуникаций (ИИТТ) Северо-Кавказского федерального университета (СКФУ). Тел. (8-865) 295-69-97; 8-919-733-71-32. E-mail: kbytw@mail.ru

Говорова Светлана Владимировна, старший преподаватель Кафедры информационной безопасности автоматизированных систем ИИТТ СКФУ. Тел. (8-865) 295-65-46; 249-89-92. E-mail: mitnik2@yandex.ru

УДК 621.395

## АНАЛИТИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА СТАТИСТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ДЕКОДИРОВАНИЯ ИТЕРАТИВНЫХ КОДОВ

Зеленевский В.В., Зеленевский Ю.В.

Получены новые аналитические выражения для оценки характеристик декодирования композиционных кодов.

**Ключевые слова:** вероятность ошибки, мягкий декодер, линейаризация данных, отношение «сигнал/шум», модуляция сигнала.

В статье представлены новые аналитические выражения для экспонент вероятностей ошибочного декодирования кодовой комбинации и бита сообщения на выходе мягкого декодера, полученные методом линейаризации данных. Для практической радиосвязи удобно иметь аналитическую зависимость вида  $P_{ош\ мдк} = f(h_{0\ мдк}^2)$ , где  $P_{ош\ мдк}$  – вероятность ошибочного декодирования кодовой комбинации, а  $h_{0\ мдк}^2$  – отношение «сигнал/шум» на входе мягкого декодера.

В ходе исследования методом имитационного моделирования получены координаты точек

$\{h_{0\ мдк}^2; P_{ош\ мдк}\}$  при мягком декодировании композиционного двоичного кода (16,8) [1], представленные в таблице 1.

Из таблицы 1 можно сделать вывод о том, что функция  $P_{ош\ мдк} = f(h_{0\ мдк}^2)$  принадлежит к классу кривых  $y = ce^{A\alpha}$ . Используем метод линейаризации данных и найдем экспоненциальную подгонку

$$P_{ош\ мдк} = ce^{Ah_{0\ мдк}^2} \quad (1)$$

по известным из таблицы 1 точкам  $\{h_{0\ мдк}^2; P_{ош\ мдк}\}$ . Для этого выполним логарифмирование  $\ln(P_{ош\ мдк}) = Ah_{0\ мдк}^2 + \ln(C)$  и заменим переменные:

$$Y = \ln(P_{ош\ мдк}); H = h_{0\ мдк}^2; B = \ln(C).$$

Таблица 1. Координаты точек  $\{h_{0\ мдк}^2; P_{ош\ мдк}\}$

$h_{0\ мдк}^2$	0,1	0,2	0,6	0,7	1,0	2,2	2,3	2,5	3,3	3,5	4
$P_{ош\ мдк}$	0,9	0,8	0,4	0,32	0,15	0,01	0,006	0,004	0,001	$5 \cdot 10^{-4}$	$2,5 \cdot 10^{-4}$

Таблица 2. Сравнительные оценки вероятности  $P_{ош\ мдк}$  при  $h_{0\ мдк}^2 = const$

$h_{0\ мдк}^2$	0,3	0,5	1,0	1,5	2	3	4
$P_{ош\ мдк}$ (им. мод)	0,7	0,5	0,15	0,03	0,015	0,002	$2,5 \cdot 10^{-4}$
$P_{ош\ мдк}$ (выр.6)	0,685	0,479	0,143	0,026	0,0147	0,00193	$3,5 \cdot 10^{-4}$

Таблица 3. Сравнительные оценки  $P_b$  при  $h_b^2 = const$

$h_b^2$	0,5	0,7	2	3	6
$P_b$ (им. мод)	0,0978	0,05733	$2,286 \cdot 10^{-3}$	$2,5 \cdot 10^{-4}$	$1,19 \cdot 10^{-6}$
$P_b$ (выр.8)	0,07915	0,05597	$3,04 \cdot 10^{-3}$	$3,2 \cdot 10^{-4}$	$9,21 \cdot 10^{-7}$

В результате получим линейные соотношения между новыми переменными  $H$  и  $Y$  вида:

$$Y = AH + B. \quad (2)$$

Исходные точки  $\{h_{0,мдк}^2; P_{ои,мдк}\}$  из таблицы 1 преобразуются в этом случае в точки  $\{H_i; Y_i\}$ .

Для нахождения коэффициентов  $A$  и  $B$  в (3) запишем систему нормальных уравнений [2]:

$$\begin{cases} \left( \sum_{i=1}^N H_i^2 \right) A + \left( \sum_{i=1}^N H_i \right) B = \sum_{i=1}^N H_i Y_i; \\ \left( \sum_{i=1}^N H_i \right) A + NB = \sum_{i=1}^N Y_i, \end{cases} \quad (3)$$

где  $N$  – число точек (в нашем случае  $N = 21$ ). Из системы нормальных уравнений (3) по известным значениям  $H_i = h_{0,мдк}^2$ ,  $Y_i = \ln(P_{ои,мдк})$  определим коэффициент  $C$  уравнения (1).

Используя данные таблицы 1 и обозначенную выше замену переменных, получим линейную систему уравнений:

$$\begin{cases} 77,75A + 32,3B = -163,430; \\ 32,3A + 21N = -65,925. \end{cases} \quad (4)$$

Решением системы уравнений (4) будут значения

$$A = -2,202; B = 0,241; C = e^B = 1,273.$$

Подставляя значения  $A$  и  $C$  в выражение (1), получим экспоненциальную подгонку:

$$P_{ои,мдк} = 1,273 e^{-2,202 h_{0,мдк}^2}. \quad (5)$$

При  $h_{0,мдк}^2 < 0,1$  выражением (5) пользоваться нельзя, однако такие значения  $h_{0,мдк}^2$  не представляют интереса для практики.

Сравнительные оценки результатов экспоненциальной подгонки имитационного моделирования представлены в таблице 2, анализ которой показывает, что (5) с достаточной для практики точностью определяет аналитическую зависимость  $P_{ои,мдк} = f(h_{0,мдк}^2)$ .

Аналогичным образом получим аналитическую зависимость вероятности ошибки в приеме бита сообщения  $P_b$  от отношения «сигнал/шум» на бит ( $h_b^2$ ) на входе мягкого декодера. Система нормальных уравнений для этого случая будет следующей (число точек  $N = 25$ ):

$$\begin{cases} 436,53A + 79,1B = -1021,379; \\ 79,1A + 25B = -202,682. \end{cases} \quad (6)$$

Ее решениями являются:

$$A = -2,041; B = -1,6505, C = e^B = 0,192.$$

Соответственно, выражение для экспоненциальной подгонки будет иметь вид (для  $h_b^2 > 0,1$ ):

$$P_b = 0,192 e^{-2,041 h_b^2}. \quad (7)$$

В таблице 3 представлены сравнительные оценки вероятностей  $P_b$ , полученные при имитационном моделировании и рассчитанные по выражению (7) для соответствующих значений  $h_{0,мдк}^2$ . Анализ таблицы 3 показывает незначительное для практики расхождение оценок вероятности  $P_b$ , полученных при имитационном моделировании и расчетных по выражению (7).

Выражения (5) и (7), полученные в результате экспоненциальной подгонки, могут быть использованы для проведения инженерных расчетов.

Для их использования в различных системах модуляции сигнала необходимо знать отношения «сигнал/шум» на входе приемника ( $h_{0,прм}^2$ ) и на входе мягкого декодера, в частности [2], для сигнала с относительной фазовой манипуляцией  $h_{0,мдк}^2 = 4h_{0,прм}^2$ , а для сигнала с частотной манипуляцией  $h_{0,мдк}^2 = 2h_{0,прм}^2$ .

## Литература

1. Зеленевский В.В., Зеленевский Ю.В. Оценка статистических характеристик мягкого декодирования итеративных композиционных кодов // Труды XXXI ВНТК. Серпухов: ФА РВСН им. Петра Великого, 2012. – С. 55-57.
2. Скляр Б. Цифровая связь. Теоретические основы и практическое применение. Пер. с англ. М.: ИД «Вильямс», 2003. – 1104 с.

## ANALYTICAL ASSESSMENT OF ITERATIVE DECODING CODES STATISTICAL CHARACTERISTICS

Zelenevsky V.V., Zelenevsky Ju.V.

New analytical expressions for the estimation of composite codes decoding are obtained.

**Keywords:** probability of error, soft decoder, linearization data, signal/noise ratio, signal modulation.

Зеленевский Владимир Владимирович, д.т.н., профессор Военной академии РВСН им. Петра Великого (филиал г. Серпухов). Тел. 8-905-548-48-54.

Зеленевский Юрий Владимирович, к.т.н., доцент Военной академии РВСН им. Петра Великого (г. Москва). Тел. 8-903-721-12-61. E-mail: sys1434@mail.ru

## ТЕХНОЛОГИИ КОМПЬЮТЕРНЫХ СИСТЕМ И СЕТЕЙ

УДК 004.75

### ОСОБЕННОСТИ МОДЕЛИРОВАНИЯ МЕХАНИЗМОВ NAT И КЭШИРОВАНИЯ В КОМПЬЮТЕРНЫХ СЕТЯХ

*Тарасов В.Н., Бахарева Н.Ф.*

В статье продемонстрированы возможности теории вычислительных систем при моделировании компьютерных сетей, использующих механизмы NAT, а также кэширования. В современных пакетах имитации сетей связи, таких как OPNET Modeler ITGURU и т.п., эти возможности не предусмотрены.

**Ключевые слова:** локальные вычислительные сети нижнего и верхнего уровней, механизм преобразования сетевых адресов NAT, основные характеристики сети, загрузка канала передачи данных и узлов, задержка Ethernet, время отклика пользовательских приложений, входящий и исходящий трафик.

#### Введение

Рассмотрим локальные вычислительные сети (ЛВС) нижнего уровня: такую структуру имеют сети отделов, офисов, кафедр вузов и т.д, широко распространенные в разных областях человеческой деятельности. Здесь важной является задача определения основных характеристик, определяющих качество работы ЛВС, таких как время отклика приложений и задержки, загрузки каналов передачи данных и обслуживающих устройств.

Механизм преобразования сетевых адресов (Network Address Translator, далее сокращенно NAT) позволяет подключать локальную сеть к Internet через единственный IP-адрес, при этом все компьютеры нашей сети работают (с некоторыми ограничениями) так, как если бы каждый из них был подключен к Internet напрямую. Другими словами, данные от маршрутизатора сети верхнего уровня, минуя прокси-сервер, попадают к сетям нижнего уровня через главный коммутатор.

Возможность подключения к Internet целой сети по одному зарегистрированному IP-адресу обеспечивается тем, что модуль NAT заменяет адреса отправителей пакетов данных, исходящих из локальной сети, адресом того компьютера,

на котором установлен программный комплекс WinRoute.

Механизм NAT радикально отличается от разнообразных прокси-серверов и шлюзов, реализованных в виде приложений, которые в принципе не способны поддерживать такое количество протоколов, которое поддерживает NAT. Кроме этого механизма, подключим к прокси-серверу функции веб-сервера с возможностью кэширования файлов. Веб-сервер обычно принимает HTTP-запросы от клиентов (веб-браузеров) и выдает им HTTP-ответы, обычно вместе с HTML-страницей, изображением, файлом, медиапоток или другими данными. В качестве веб-сервера может выступать как компьютер, так и специальное программное обеспечение.

#### Постановка задачи

Рассмотрим ЛВС нижнего уровня, включающую три учебных класса по 10 компьютеров (см. рис. 1), в каждом из которых установлен коммутатор (Swch1 – Swch3 – Cisco 1912). Группы рабочих станций на рис. 1 обозначены через LAN1 – LAN3 в виде подсетей. В качестве подсети используется стандартный объект 100BaseT\_LAN, представляющий собой сеть Fast Ethernet коммутируемой топологии (Fast Ethernet LAN in a switched topology). Коммутаторы учебных классов подключены к главному коммутатору (Swch0 – Cisco 2924).

К этому же коммутатору подключен сервер, предоставляющий такие сетевые сервисы, как доступ в Internet, доступ в локальное файловое хранилище по протоколам FTP и NetBIOS, электронная почта и базы данных. Трафик по этим основным протоколам и будет исследован в данной задаче. Тип подключения пользователей, показанный на рис. 1, называется PPPoE («точка-точка»), в отличие от Mesh-топологии, когда подсети LAN1-LAN3 связаны напрямую между собой. В