

УДК 621.394.5

М.Ф. Логвиненко¹, Г.Ю. Під'ячий², В.А. Світличний¹¹Харківський національний університет внутрішніх справ, Харків²Національний технічний університет «ХПІ», Харків

МОДЕЛЮВАННЯ ДІЇ ДЖЕРЕЛ ЗАВАД В ДИСКРЕТНИХ БІНАРНИХ КАНАЛАХ ЗВ'ЯЗКУ

Приводиться методика імітаційного моделювання вектора помилок в дискретному бінарному каналі зв'язку і результати обробки такого вектора з отриманням статистичних оцінок для окремих імовірнісних характеристик. Джерело помилок представляється вектором імовірностей станів і вектором умовних імовірностей помилок в кожному із станів. Ці параметри формуються на підставі емпіричних функцій розподілів частоти помилок в дискретних каналах при використанні різних ліній зв'язку (кабельних, радіозв'язку декаметрового діапазону). На підставі обробки сформованих векторів помилок одержані статистичні оцінки для імовірностей прийому блоку завдовжки n -біт без помилок і для імовірності прийому блоку n -біт з помилками різних фіксованих кратностей.

Ключові слова: вектор завад, емпірична функція розподілення, імовірність прийому блоку без завад, імовірність прийому блоку з завадами фіксованої кратності.

Вступ

Постановка проблеми. Для ефективних аналізу, синтезу та експлуатації сучасних телекомунікаційних систем та засобів необхідні статистичні дані про якість дискретних каналів (ДК). Такі дані можуть оброблятися в декількох напрямках, достатньо повний перелік яких наведено, наприклад, в [1]. Формалізації дії завад в дискретних каналах та їх математичному моделюванню присвячена велика кількість робіт, систематизація яких була проведена ще в [2]. Цифровізація процесів обробки та передачі інформації призводить до появи все нових та нових ліній електрозв'язку, при цьому якість дискретних бінарних каналів неухильно зростає, хоча їх якість має широкі межі. Статистичні дані про якість ДК необхідні для узгодження параметрів апаратури передачі даних (АПД) та каналу. Натурні випробовування реальних ліній електрозв'язку потребують витрат на спеціальну апаратуру, обробку цих даних. В той же час накопичений досвід випробувань реальних каналів може використовуватись для адекватного аналітично-імітаційного моделювання.

Виклад основного матеріалу дослідження
Об'єктом дослідження даної роботи є дія джерел завад в ДК для різноманітних ліній електрозв'язку. Предметом дослідження є бінарний вектор завад з логічними одиницями на місцях виникнення завад на біт, що отримується на основі емпіричних функцій розподілення частоти бінарних завад, а також статистичні оцінки для імовірностей $P(n, 0), P(n, t)$ прийому блоку довжиною n біт без завад та прийому блоку з бінарними завадами кратності t відповідно.

Метою даної роботи є розробка методики та алгоритмів генерації бінарних векторів завад у ДК

на основі емпіричних функцій розподілення частот завад та отримання статистичних оцінок для показників $P(n, 0), P(n, t)$ для різних ліній електрозв'язку.

Для досягнення даної мети необхідно вирішення наступних задач:

- розробка методики побудови векторів завад;
- розробка алгоритмів генерації векторів бінарних завад та програмування функцій імітаційного моделювання;
- розробка та реалізація алгоритмів обчислень статистичних оцінок величин $P(n, 0), P(n, t)$.
- перевірка адекватності моделювання.

Одна з методик імітаційного моделювання джерел завад в каналах телекомунікаційних систем наведена у [3].

Основний матеріал

1. Методика генерації векторів завад. Генерацію векторів завад проведемо на основі емпіричних функцій розподілення, приклади яких наведено в [4]. Дані функції – це зсічені нормальні функції розподілення. Ідея роботи генератора достатньо проста – емпіричні функції апроксимуються ступеневими функціями з достатньо малими інтервалами зміни частоти бінарної завади. В середині кожного інтервалу вибираються значення частоти завади, яка є оцінкою для умовної імовірності виникнення завади у визначеному стані. При цьому за імовірність стану вибирається різниця значень функції розподілення на кінцях інтервалу. Вищезначене ілюструється рис. 1.

В результаті маємо $2m$ параметрів для генерації вектору завад: $P_1, P_2, \dots, P_m$ – оцінки для імовірнос-

тей окремих станів ДК; $\varepsilon_1, \varepsilon_2, \dots, \varepsilon_m$ – оцінки для умовних імовірностей виникнення бінарної завади в окремому стані. При цьому виконується умова:

$$\sum_{i=1}^m P_i = 1. \quad (1)$$

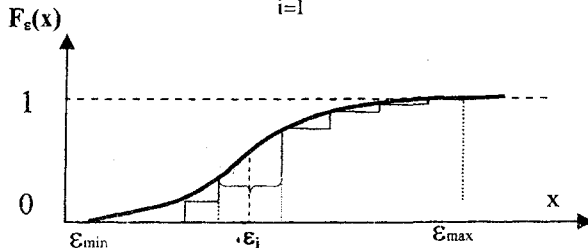


Рис. 1. Апроксимація емпіричної функції ступінчастою

Діапазон зміни умовних імовірностей буде залежати від типу лінії зв'язку та точок зсічення функції розподілення. Взагалі умовні імовірності завад можуть знаходитись у достатньо широких межах: $10^{-8} \leq \varepsilon \leq 10^{-1}$.

Для імітаційної генерації вектору завад тепер можна використати функції генерації псевдовипадкових чисел, що рівномірно розподілені на інтервалі $[0,1]$. Формування кожного біту вектора завад виконується в два етапи. При цьому на першому кроці імітується імовірність стану каналу, на другому – вибирається відповідна умовна імовірність та імітується поява (або відсутність) завади: при появі завади у вектор ставиться логічна одиниця, при її відсутності – логічний нуль. Перевірка адекватності вектору завад проводиться наступним чином: за методикою [5] визначається середнє, мінімальне та максимальне значення частоти бінарної завади та порівнюється з даними [4]. Середнє розрахункове значення частоти бінарних завад у векторі має вигляд:

$$\hat{\varepsilon} = \sum_{i=1}^m P_i \varepsilon_i. \quad (2)$$

Ця величина повинна з заданою точністю співпадати з отриманими на реальних статистичних даних результатами. Зрозуміло, що чим більше станів дискретного каналу виділено, тим точніше буде вектор завад відображати реальний дискретний канал.

2. Результати моделювання дискретних каналів при використанні різних ліній зв'язку.

Таблиця 1

Декаметровий канал малої потужності (КХ _{МП} до 1кВт)	
вектор P	[0,05; 0,3; 0,3; 0,09; 0,06; 0,05; 0,05; 0,05; 0,05]
вектор ε	[0,0354; 0,0158; 0,0070; 0,0044; 0,0036; 0,0028; 0,0020; 0,0013; 0,0006]
Декаметровий канал великої потужності (КХ _{ВП} до 5 кВт)	
вектор P	[0,025; 0,075; 0,25; 0,3; 0,1; 0,1; 0,1; 0,05]
вектор ε	[44e-4; 30e-4; 14e-4; 5e-4; 3e-4; 2e-4; 9e-5; 5e-5]

Канал тональної частоти кабельний (ТЧ _{КАБ})	
вектор P	[0,075; 0,075; 0,1; 0,1; 0,15; 0,15; 0,15; 0,1; 0,1]
вектор ε	[19e-4; 63e-5; 31e-5; 17e-5; 9e-5; 4e-5; 2e-5; 6e-6; 1e-6]
Канал тональної частоти що комутується (ТЧ _{КОМ})	
вектор P	[0,05; 0,05; 0,05; 0,1; 0,1; 0,15; 0,3; 0,075; 0,075; 0,05]
вектор ε	[1e-2; 6e-3; 4,2e-3; 3,2e-3; 2,5e-3; 1,8e-3; 9,5e-4; 4,9e-4; 2,8e-4; 1,4e-4]

3. Статистичні оцінки для імовірностей $P(n,0), P(n,t)$. Для усіх каналів кількість розмірів блоку i дорівнює 12, а розміри блоку n вибирались виходячи з середньої якості відповідного дискретного каналу.

Таблиця 2

Канал КХ _{МП}		13	27	55	83	110	138
n							
P(n,0)		0,6260	0,3782	0,1380	0,0503	0,0192	0,0071
P(n,1)		0,2986	0,3740	0,2777	0,1532	0,0769	0,0355
P(n,2)		0,0657	0,1787	0,2756	0,2300	0,1535	0,0877
P(n,3)		0,0089	0,0548	0,1785	0,2277	0,2017	0,1461
P(n,4)		0,0008	0,0120	0,0853	0,1675	0,1982	0,1811
P(n,5)		0,0001	0,0021	0,0320	0,0969	0,1546	0,1790

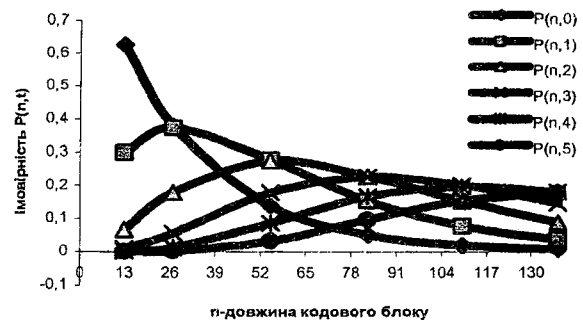


Рис. 2. Залежність статистичної $P(n,0)$ та $P(n,t)$ від довжини кодового блоку для КХ_{МП}

Таблиця 3

Канал КХ _{ВП}		113	226	453	680	906
n						
P(n,0)		0,6072	0,3692	0,1358	0,0500	0,0187
P(n,1)		0,3041	0,3686	0,2714	0,1489	0,0741
P(n,2)		0,0748	0,1832	0,2712	0,2251	0,1464
P(n,3)		0,0123	0,0607	0,1801	0,2246	0,1947
P(n,4)		0,0014	0,0147	0,0897	0,1693	0,1966
P(n,5)		0,0002	0,0030	0,0358	0,0997	0,1580

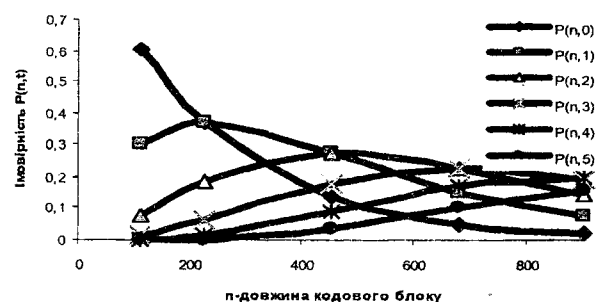
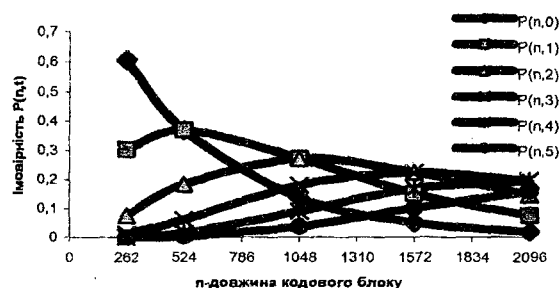


Рис. 3. Залежність статистичної $P(n,0)$ та $P(n,t)$ від довжини кодового блоку для КХ_{ВП}

Канал ТЧ_{КАБ}

n	262	524	1048	1572	2096
P(n,0)	0,6065	0,3681	0,1350	0,0500	0,0184
P(n,1)	0,3035	0,3679	0,2720	0,1505	0,0746
P(n,2)	0,0759	0,1838	0,2704	0,2238	0,1460
P(n,3)	0,0124	0,0616	0,1800	0,2234	0,1952
P(n,4)	0,0016	0,0150	0,0896	0,1677	0,1946
P(n,5)	0,0001	0,0031	0,0368	0,1006	0,1568

Рис. 4. Залежність статистичних оцінок P(n,0) та P(n,t) від довжини кодового блоку для ТЧ_{КАБ}

Як видно з наведених графіків статистичні оцінки для імовірності P(n,0) є монотонними зменшуваними функціями залежності від n. Функції P(n,t) як функції довжини блоку для всіх каналів мають виражені максимуми в залежності від кратності завади та довжини блоку n.

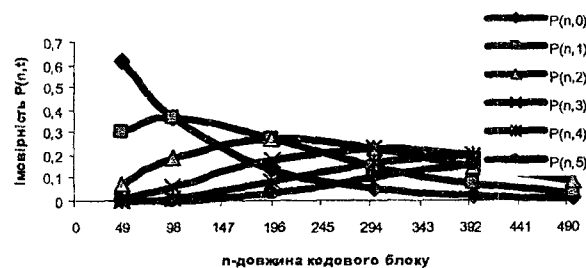
Канал ТЧ_{КОМ}

n	49	99	198	298	397	497
P(n,0)	0,6113	0,3698	0,1370	0,0500	0,0184	0,0067
P(n,1)	0,3021	0,3694	0,2729	0,1509	0,0741	0,0335
P(n,2)	0,0736	0,1832	0,2719	0,2248	0,1474	0,0844
P(n,3)	0,0115	0,0599	0,1795	0,2265	0,1979	0,1435
P(n,4)	0,0014	0,0145	0,0888	0,1675	0,1976	0,1761
P(n,5)	0,0001	0,0028	0,0347	0,0994	0,1554	0,1783

4. Розрахунки щодо перевірки адекватності моделювання. При перевірці адекватності моделювання було проведено порівняння середнього значення частоти бінарної завади на біт, що наведено в табл. 6. В даній таблиці наведені значення відповідних оцінок при довжині вектору завад $L_w = 10^8$ біт. В табл.6 також наведені статистичні оцінки для середньо-квадратичного відхилення частоти бінарної завади $\hat{\sigma}$, отриманого при обробці вектору

Таблиця 4

бінарної завади. Із табл.6 видно, що математичне сподівання частоти бінарної завади знаходиться в межах $\hat{\sigma} \pm 2\hat{\sigma}$, тобто забезпечується достатня точність з урахуванням правила трьох сигм [6].

Рис. 5. Залежність статистичної P(n,0) та P(n,t) від довжини кодового блоку для ТЧ_{КОМ}

Для перевірки точності статистичних оцінок для характеристики P(n,0) та P(n,3) були проведені відповідні розрахунки довірчих інтервалів при довірчих імовірностях 0,99 та 0,999. Розрахунки проводилися згідно методики наведеної в [6]. Результати цих розрахунків наведені в табл. 7, 8. Через p1, p2 в цих таблицях позначені відповідно нижня та верхня границі довірчого інтервалу. Як видно із табл. 7, 8 отримані статистичні оцінки для характеристик P(n,0) та P(n,3) мають достатньо вузькі довірчі інтервали (відмінність у третьому знаку після коми), що свідчить про достатність об'єму вибірки, яка визначалась як відношення всієї довжини L_w вектору помилок до довжини кодового блоку $N = \frac{L_w}{p}$.

Висновки

В роботі приведена методика побудови векторів завад на основі емпіричних функцій розподілення частот бінарних завад та результати обробки таких векторів з отриманням статистичних оцінок для імовірності прийому блоків різної довжини без завад та імовірностей прийому блоків з бінарними завадами фіксованої кратності. Дані результати можуть використовуватись для перевірки адекватності аналітичних моделей джерел завад в дискретних каналах, для вибору завадостійких кодів в системах передачі даних, для вибору параметрів протоколів обміну даними у телекомунікаційних системах.

Оцінки для математичного сподівання частоти бінарної завади

Таблиця 6

Середнє значення частоти завади	Тип каналу			
	КХмп	КХвп	ТЧкаб	ТЧком
Оцінка згідно результатів обробки статистичних даних [4]	0,016	0,003	0,0005	0,005
Оцінка на основі обробки вектору завад $\bar{W}$	0,030	0,004	0,0004	0,009
Оцінка $\hat{\sigma} = \sum_{i=1}^m P_i \varepsilon_i$	0,026	0,001	0,0003	0,003
Статистична оцінка для середньо-квадратичного відхилення частоти завади за даними [4]	0,009	0,002	0,001	0,002

Таблиця 7

Приклад довірчих інтервалів та довірчих імовірностей для оцінок характеристики $P(n,0)$

Статистична оцінка для $P(n,0)$		Тип каналу			
		КХмп	КХвп	ТЧкаб	ТЧком
n		27	113	262	49
$P(n,0)$		0,3782	0,6072	0,6065	0,6113
Число випробувань N		3703704	884956	381679	2040816
Довірча імовірність					
0,99	p1	0,3776	0,6059	0,6045	0,6104
	p2	0,3788	0,6085	0,6085	0,6122
0,999	p1	0,3774	0,6055	0,6039	0,6102
	p2	0,379	0,6089	0,6091	0,6124

Таблиця 8

Приклад довірчих інтервалів та довірчих імовірностей для оцінок характеристики $P(n,3)$

Статистична оцінка для $P(n,3)$		Тип каналу			
		КХмп	КХвп	ТЧкаб	ТЧком
n		83	680	1572	298
$P(n,3)$		0,2277	0,2246	0,2234	0,2265
Число випробувань N		1204819	147059	63613	335570
Довірча імовірність					
0,99	p1	0,2267	0,2218	0,2191	0,2246
	p2	0,2287	0,2274	0,2277	0,2284
0,999	p1	0,2264	0,221	0,218	0,2241
	p2	0,229	0,2282	0,2288	0,2289

Список літератури

1. Элементы теории передачи дискретной информации / Л.П. Пуртов, А.С. Замрий, А.И. Захаров, В.М. Охорзин; под ред. Л.П. Пуртова. – М.: Связь, 1972. – 232 с.
2. Блох Э.Л. Модели источника ошибок в каналах передачи цифровой информации / Э.Л. Блох, О.В. Попов, В.Я. Турин. – М.: Связь, 1971. – 312 с.
3. Жураковский Б.Ю. Імітаційна модель каналу управління і математичні методи завадостійкого кодування / Б.Ю. Жураковский // Вісник державного університету інформаційно-телекомунікаційних технологій. – 2007. – Спец. випуск. – С. 114-119.
4. Морозов В.Г. Обобщение экспериментальных данных по вероятности и показателю группирования ошибок / В.Г. Морозов, Л.П. Пуртов, А.С. Замрий //

Техника средств связи. Сер. ТПС. – Вып. 4(9) – 1981. – С. 53-60.

5. Логвиненко Н.Ф. Планирование эксперимента по измерению качества дискретного канала и обработки его результатов / Н.Ф. Логвиненко // Системы обработки информации: сб. науч. пр. – Х.: ХУ ПС, 2008. – Вып. 2(69). – С. 77-79.

6. Вентцель Е.С. Теория вероятностей. [Текст] : учебник для вузов / Е.С. Вентцель. – М.: Высшая школа, 1999. – 576 с.

Надійшла до редколегії 21.11.2008

Рецензент: д-р техн. наук, проф. М.М. Зацеркляний, Харківський національний університет внутрішніх справ, Харків.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ДЕЙСТВИЯ ИСТОЧНИКОВ ПОМЕХ В ДИСКРЕТНЫХ БИНАРНЫХ КАНАЛАХ СВЯЗИ

Н.Ф. Логвиненко, Г. Ю. Подьячий, В.А. Светличный

Приводится методика имитационного моделирования вектора ошибок в дискретном бинарном канале связи и результаты обработки такого вектора. Источник ошибок представляется вектором вероятностей состояний и вектором условных вероятностей ошибок в каждом из состояний. Эти параметры формируются на основании эмпирических функций распределений частоты ошибок в дискретных каналах при использовании различных линий связи (кабельных, радиосвязи декаметрового диапазона). На основании обработки сформированных векторов ошибок получены статистические оценки для вероятностей приема блока длиной n-бит без ошибок и для вероятностей приема блока n-бит с ошибками различных фиксированных кратностей.

Ключевые слова: вектор ошибок эмпирическая функция распределения, вероятность приема блока без ошибок, вероятность приема блока с ошибками фиксированной кратности.

SIMULATION OF ERROR SOURCE ACTION IN DISCRETE BINARY COMMUNICATION CHANNEL

N.F. Logvinenko, G.Y. Podyachiy, V.A. Svetlichny

Following is the technique of error vector simulation modeling in discrete binary communication channel and the results of processing of such a vector with obtaining of statistical estimates for separate probabilistic characteristics. The error source is presented by the vector of probability conditions and the vector of conditional probability of errors in every condition. These parameters are formed based on the created functions of error frequency distribution in discrete channels when using of different communication lines (cable, decametric range radio communication). Based on processing of the formed error vectors we obtained the statistical estimates for probability of reception of a block of n-bit length without errors and probability of reception of a block of n-bit length with errors of different fixed multiplicity.

Keywords: vector of errors, created function of distribution, probability of reception of block without errors, probability of reception of block with errors of fixed multiplicity.