

В.Я.ПЕВНЕВ, канд. техн. наук, доцент ХНУВД, Харьков;
М.В.ЦУРАНОВ, преподаватель, ХНУВД, Харьков

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ МОДЕЛЕЙ ГРУППОВЫХ ОШИБОК В КАНАЛЕ СВЯЗИ

У статті проведено аналіз основних математичних моделей групових помилок у каналах зв'язку. На основі аналізу здійснена комп'ютерна реалізація моделей помилок і проведений експеримент залежності помилок від довжини каналу зв'язку.

The article analyzes the main group of mathematical models of errors in communication channels. Based on the analysis performed computer implementation of error models and an experiment depending on the length of error channel.

В статье проведен анализ основных математических моделей групповых ошибок в каналах связи. На основе анализа осуществлена компьютерная реализация моделей ошибок и проведен эксперимент зависимости ошибок от длины канала связи.

Постановка задачи. Современные технологии передачи информации позволяют осуществлять обмен данными на большие расстояния, создавать глобальные и корпоративные сети. В зависимости от условия реализации и эксплуатации таких сетей передача данных в них подвергается влиянию различного рода помех. Исходя из задач, возникающих при проектировании этих систем, строятся различные математические модели ошибок в каналах связи.

Одной из первых моделей ошибок в канале связи является модель двоичного симметричного канала связи с независимыми ошибками [1]. Единственным параметром канала, необходимым для определения всех характеристик системы является вероятность искажения символа $p_{ош}$. Данная модель отличается своей простотой, но, как показали исследования возникновения ошибок в реальных каналах, реальная статистика ошибок не удовлетворяет столь простой модели.

Значительная группа разработанных моделей использует чисто математический подход к описанию потока ошибок, а именно, предполагается взаимонезависимость длин интервалов между одиночными ошибками и подбирается такое распределение длин интервалов, которое достаточно хорошо согласуется с опытными данными. Таковы модели Бергера-Манделброта [2], Брусиловского [1], Аксенова-Воронина [5]. Во всех этих моделях игнорируется физическая сторона процессов, происходящих в каналах связи, механизм образования групповых ошибок выражен неявно.

Более близкие к реальной работе канала связи результаты можно получить, если строить математическую модель потока ошибок, оперируя математическими понятиями, близкими к физическим явлениям, происходящим в канале связи. Существует ряд моделей, которые в определенной степени учи-

тывают физику явлений, приводящих к искажению передаваемой информации. Наиболее известные среди них модели Гильберта [3], Эллиота-Гильберта [4], Фричмана-Свободы [4], Флойлиха-Беннета [5], Попова-Турина [2].

Модели Гильберта, Эллиота-Гильберта, Фричмана-Свободы оперируют понятиями «состояние канала», в котором задаются условные вероятности появления ошибок. Переходы из одного состояния в другое описываются с помощью марковских цепей. Модели Гильберта, Эллиота-Гильберта используют простую марковскую цепь с двумя состояниями и отличаются лишь тем, что в модели Эллиота-Гильберта в «хорошем» состоянии канала задается конечная, ненулевая вероятность ошибки [3]. В модели Фричмана-Свободы число состояний произвольное, что позволяет более точно описать реальный канал. Согласно модели Флойлиха-Беннета поток ошибок состоит из пакетов, возникающих независимо друг от друга с некоторой постоянной вероятностью. Внутри пакета ошибки также независимы, распределение длин пакетов произвольно, но вероятность появления пакета ошибок определенной длины не зависит от длин других пакетов. Обобщением модели Фройлиха -Беннета является модель Попова-Турина, которая предполагает существование в канале независимых возникающих групп ошибок, внутренняя структура которых является зависимой. Любая позиция в пакете ошибок может стать началом новой цепочки пакетов ошибок с вероятностью, не зависящей от того, на каких других позициях возникли цепочки. Распределение длин цепочек подчиняется геометрическому закону. Внутри цепочек независимо появляются пакеты ошибок, длины которых распределены по полигеометрическому закону, а внутри пакетов задается условная вероятность появления ошибок.

Следует учесть, что рассмотренные модели ошибок могут быть использованы лишь на сравнительно коротких интервалах времени работы канала связи. Практически во всех реальных каналах при длительных наблюдениях можно заметить значительную неравномерность распределения ошибок во времени [6]. В часы наиболее напряженной работы возрастает и уровень групповых помех, перегружаются источники питания, увеличивается число коммутаций аппаратуры, что ведет к росту числа ошибок.

Данные факторы приводят к тому, что поток ошибок становится нестационарным. Более близкой к реальности окажется модель, отражающая в той или иной степени указанные выше особенности каналов - модель, параметры которой будут зависеть от времени. Учитывая, что на практике необходимо формализация расчета показателей реальных телекоммуникационных систем, можно прийти к выводу, что наиболее перспективными являются квазистационарные модели, в которых основные параметры канала связи являются переменными, зависящими от времени. В этом случае сложную модель возникновения ошибок в канале связи можно представляется в виде простой модели, параметры которой случайным образом меняются во времени. При медленном изменении параметров канала можно допустить их скачкообразность,

то есть дискретность основных параметров канала. При таком подходе, единый источник ошибок распадается на несколько составляющих, которые можно поставить в соответствие дискретным составляющим. Эквивалентная схема такой модели ошибок представлена на рис. 1 [2].

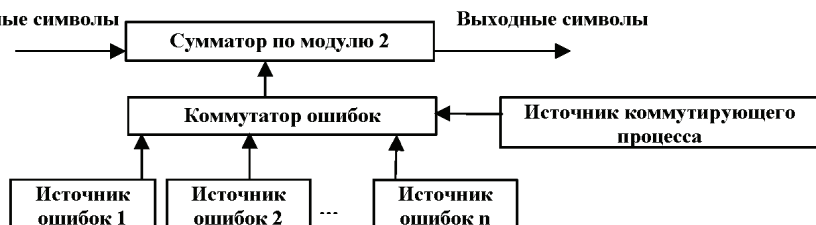


Рисунок 1 – Эквивалентная схема модели ошибок

Для разложения результирующей последовательности ошибок на составляющие можно использовать различные способы, что позволяет создавать определенный резерв при выборе источников ошибок и их комбинаций. При выборе источников ошибок, который в значительной мере произволен и обусловлен лишь самыми характерными особенностями поведения канала, следует взять модель, отражающую реальное группирование ошибок в канале связи, поскольку в реальных каналах тенденция к группированию ошибок ярко выражена и может проявляться в течении первых минут работы канала. При рассмотрении реальных каналов следует отметить тот факт, что чаще всего наблюдаются периоды работы со сравнительно редкими пакетами ошибок, т.е. нормально работающая магистраль имеет малую плотность пакетов ошибок и продолжительность таких состояний наибольшая.

Целью данной работы является экспериментальное установление зависимостей возникновения невосстанавливаемых ошибок в передаваемых сообщениях от его размера и модели групповых ошибок.

Разработка и проведение эксперимента. Проанализировав существующие модели ошибок, авторы пришли к выводу о наиболее точных моделях. Это модели построенные на многомерном распределении Беннета – Фройлиха. В ходе эксперимента определялись зависимости количества ошибок в сообщении от характеристик канала связи и длины сообщения. При этом предполагалось, что канал является бинарным и симметричным. Для проведения эксперимента авторы программно реализовали рассмотренные выше модели ошибок с параметрами, отвечающими показателям в реальных каналах связи. Канал связи – бинарный, симметричный.

В ходе эксперимента подсчитывалось количество блоков, в которых обнаружена хотя бы одна ошибка, вероятность появления более одной ошибки в

миниблоках размерами 4 и 8 бит, количество таких миниблоков в передаваемом сообщении. Схема алгоритма проведенного эксперимента, представлена на рис. 2.

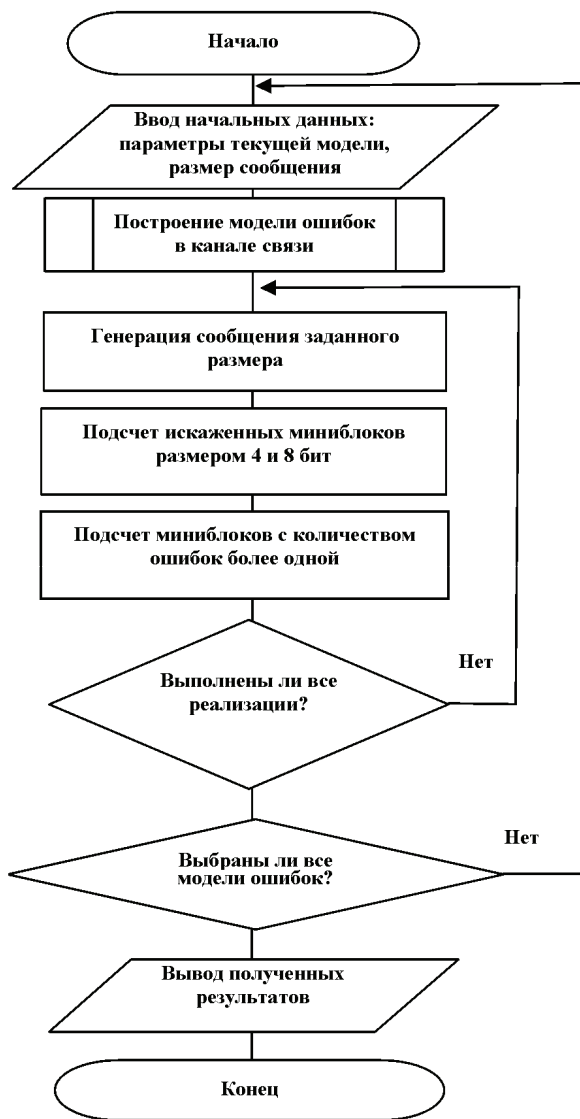


Рисунок 2 – Схема алгоритма

Программно были реализованы следующие модели ошибок:

- модель, построенная на многомерном распределении;
- модель Беннета – Фройлиха.

При проведении эксперимента, в модели, построенном на многомерном распределении были использованы следующие параметры:

- количество состояний – 4;
- вероятности перехода системы в эти состояния и, соответственно, вероятности ошибок в этих состояниях (см. табл. 1);
- вероятности перехода системы из одного состояния в другое (см. табл. 2).

Для модели Беннета-Фройлиха в ходе эксперимента были использованы следующие параметры:

- вероятность появления пакета ошибок $P_{\text{пак}} = 10^{-4}$;
- вероятность ошибки внутри пакета $P_{\text{ош}} = 10^{-3}, 10^{-2}$;
- математическое ожидание длины очередного пакета $M_{L_n} = 50$;
- среднее квадратичное отклонение длины пакета $\sigma_{L_n} = 16,66$.

Таблица 1 – Параметры состояний модели, построенной на многомерном распределении

№ п.п.	$P_{\text{сост}}$	$P_{\text{ош}}$
1	0,6	$10^{-4} \div 10^{-3}$
2	0,2	$10^{-3} \div 10^{-2}$
3	0,09	10^{-2}
4	0,11	10^{-2}

Таблица 2 – Параметры смены состояний модели, построенной на многомерном распределении

№ сост	1	2	3	4
1	0,5	0,2	0,15	0,15
2	0,7	0,15	0,1	0,05
3	0,29	0,26	0,25	0,2
4	0,4	0,25	0,2	0,15

Эксперимент проводился на потоке блоков размером от 256 до 8192 бит с шагом 256 бит. В каждой точке исследования для каждой из моделей было проведено 1000 реализаций. Границы интервалов определялись в соответствии с вероятностями появления одиночных ошибок в существующих каналах связи. Данные каналы определяются существующими топологиями, которые используются в современных телекоммуникационных системах.

Результаты эксперимента. При обработке результатов эксперимента была обнаружена зависимость появления ошибок в сообщении от длины блока данных и выбранных моделей появления групповых ошибок в каналах связи. В ходе эксперимента определялось количество ошибок в блоке. В табл. 3 показана зависимость вероятности одиночной ошибки от размера передаваемого блока и максимальное количество ошибок, которые возникли в блоке при передаче при заданных параметрах модели. Следует отметить, что максимальное количество ошибок в блоке значительно превосходит среднее.

Таблица 3 – Результаты эксперимента

Длина блока (бит)	Модель Беннета-Фройлиха								Многомерное распределение			
	P = 0,01				P = 0,001				P _{ош}	Макс кол. ошибок в блоке	Кол-во мини-блоков с >1 ошибкой	
	P _{ош}	Макс кол.ошибок в блоке	Кол-во мини-блоков с >1 ошибкой		P _{ош}	Макс кол.ошибок в блоке	Кол-во мини-блоков с >1 ошибкой				4 бита	8 бит
			4 бита	8 бит			4 бита	8 бит				
256	1,62E-03	2	0	0	2,03E-04	1	0	0	8,15E-03	9	0	0
512	7,64E-04	2	0	0	1,02E-04	2	0	0	8,38E-03	12	0	0
768	5,27E-04	2	0	0	5,47E-05	1	0	0	8,26E-03	15	0	0
8192	8,02E-05	4	0	0	9,77E-06	4	0	0	8,11E-03	96	0	3
1024	4,32E-04	2	0	0	6,15E-05	1	0	0	8,13E-03	19	0	0
1280	3,19E-04	3	0	0	4,61E-05	1	0	0	8,11E-03	23	0	1
1536	2,81E-04	3	0	0	4,04E-05	2	0	0	8,16E-03	25	0	1
1792	2,54E-04	3	0	0	3,24E-05	2	0	0	8,19E-03	30	0	2
2048	2,23E-04	3	0	0	2,54E-05	1	0	0	8,15E-03	31	0	3
2304	2,09E-04	2	0	0	2,73E-05	2	0	0	8,19E-03	33	0	3
2560	1,86E-04	3	0	0	2,46E-05	1	0	0	8,11E-03	39	1	4
2816	1,76E-04	3	0	0	1,99E-05	2	0	0	8,15E-03	39	0	2
3072	1,57E-04	3	0	0	1,99E-05	2	0	0	8,14E-03	43	1	2
3328	1,52E-04	3	0	0	1,74E-05	1	0	0	8,16E-03	44	0	2
3584	1,47E-04	3	0	0	1,87E-05	2	0	0	8,12E-03	49	0	1
3840	1,37E-04	3	0	0	1,54E-05	1	0	0	8,09E-03	47	0	2
4096	1,21E-04	3	0	0	1,93E-05	2	0	0	8,16E-03	51	0	1
4352	1,25E-04	3	0	0	1,49E-05	2	0	0	8,08E-03	55	0	0
4608	1,18E-04	4	0	0	1,45E-05	2	0	0	8,11E-03	54	0	0
4864	1,14E-04	3	0	0	1,30E-05	1	0	0	8,15E-03	59	0	0
5120	1,12E-04	4	0	0	1,74E-05	2	0	0	8,12E-03	65	1	3
5376	1,08E-04	3	0	0	1,41E-05	1	0	0	8,10E-03	63	0	0
5632	1,05E-04	3	0	0	1,35E-05	2	0	0	8,09E-03	66	0	1
5888	9,56E-05	3	0	0	1,36E-05	2	0	0	8,14E-03	75	0	1
6144	1,05E-04	4	1	1	1,20E-05	2	0	0	8,11E-03	70	0	0
6400	9,95E-05	3	0	0	1,30E-05	2	0	1	8,10E-03	73	1	1
6656	9,33E-05	3	0	0	9,62E-06	2	0	0	8,10E-03	77	0	2
6912	9,10E-05	4	0	0	1,07E-05	1	0	0	8,10E-03	78	0	1
7168	9,36E-05	5	0	0	1,21E-05	2	1	1	8,12E-03	85	0	0
7424	8,73E-05	5	0	1	1,29E-05	2	0	0	8,10E-03	91	0	3
7680	8,85E-05	3	0	0	1,11E-05	2	0	0	8,13E-03	85	0	4
7936	8,86E-05	4	0	0	1,05E-05	2	0	1	8,08E-03	88	0	0

Вероятность появления ошибки определялось как отношение общего количества ошибок к размеру блока и количеству опытов

Важным результатом эксперимента стало выявление миниблоков, содержащих две и более ошибки. В качестве размера такого миниблока были выбраны последовательности размером 4 и 8 бит. Данные зависимости представлены в табл. 3.

Выводы. Представленные в работе результаты эксперимента по моделированию канала связи с использованием предложенных моделей групповых ошибок показывает возможность:

- применения способа восстановления информации при обмене данными в телекоммуникационных системах, изложенного в [7];
- использования, при работе с миниблоками указанной в работе длины, в качестве моделей возникновения ошибок – модели возникновения независимых ошибок, так как являются более «жесткими», по сравнению предложенными моделями групповых ошибок.

Список литературы: 1. *Р.Фано* Передача информации. Статистическая теория связи. – М.: Мир, 1965. 2. *Блох Э.Л., Попов О.В., Турин В.Я.* Модель источника ошибок в каналах передачи цифровой информации. – М.: Связь, 1971. 3. *Гильберт Э.Н.* Пропускная способность канала связи с пакетными ошибками / Кибернетический сборник. – № 9. – М.: Мир, 1964. 4. Статистика ошибок при передаче цифровой информации / Под ред. *С.И.Самойленко.* –М.: Мир, 1966. 5. *Советов Б.Я., Стах В.М.* Построение адаптивных систем передачи информации для автоматизированного управления. – Л.: Энергоиздат, 1982. 6. Каналы передачи данных / *Л.И.Зубовский, А.Б.Пугач, Н.Л.Беркман.* – М.: Связь, 1970. 7. *Левнев В.Я.* та ін. Спосіб відновлення інформації при обміні даними у телекомунікаційних системах. – Патент на корисну модель № 26778, МПК Н04L 12/00, заяв. 23.04.07, опубл. 10.10.2007, Бюл. № 16.

Поступила в редколлегию 27.10.2011