**Научный семинар**

Отчет по научно-исследовательской работе

Тема: «**Моделирование потоков ошибок дискретных каналов связи**»

Выполнили: Скорбовенко С.А.

Преподаватель: д.т.н Черкесов Г.Н.

Группа: 53504/1

Оглавление

[Канал связи как поток ошибок. Способы задания потоков ошибок. 3](#_Toc407302716)

[Классификация каналов 3](#_Toc407302717)

[Дискретный канал связи 4](#_Toc407302718)

[Способы задания потоков ошибок. 5](#_Toc407302719)

[Простейшие модели дискретных каналов 7](#_Toc407302720)

[Модель двоичного симметричного канала 7](#_Toc407302721)

[Модель на основе Обобщённого Пуассоновского Потока (ОПП) 9](#_Toc407302722)

[Описание нестационарных каналов связи низкого качества на основе составной модели канала с независимыми и группирующимися ошибками. 12](#_Toc407302723)

[Список литературы 16](#_Toc407302724)

# Канал связи как поток ошибок. Способы задания потоков ошибок.

**Каналом передачи информации (каналом связи)** называют совокупность устройств, обеспечивающих передачу сигналов с определёнными свойствами с одного пункта к другому. При построении системы канал, как правило, является заданным звеном, с которым источники и получатели должны быть согласованы посредством передатчиков и приёмников.

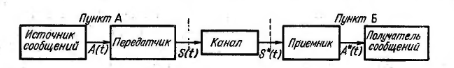


Рисунок 1 Система передачи информации от одного источника к одному получателю по одному каналу

A(t) – сообщение поступающее от источника.

S(t) – сигнал полученный после преобразования сообщения A(t) передатчиком.

S\*(t) – сигнал полученный на выходе канала (выходной или принимаемый).

A\*(t) – сообщение преобразованное из сигнала S\*(t) приёмником.

## Классификация каналов

Каналы связи характеризуются по различным признакам:

* По используемым линиям связи:
  + Кабельные;
  + Радиорелейные;
  + Тропосферные;
  + И др.
* По полосе частот сигнала в линии:
  + Тональные;
  + Высокочастотные;
  + Коротковолновые;
  + Световые;
  + И др.
* По техническому характеру сигналов и назначению систем связи:
  + Телефонные;
  + Звукового вещания;
  + Телевизионные;
  + Телеграфные;
  + Передачи цифровой информации;
  + И др.

При математическом описании каналы различают, в первую очередь, по типу множеств которым принадлежат входные и выходные сигналы (непрерывные и дискретные), и по характеру изменения этих сигналов во времени (каналы непрерывного и дискретного времени).

Среди непрерывных каналов непрерывного времени можно выделить два наиболее типичных:

1. Непосредственно линия связи, часто с усилительным или переприёмным (ретрансляционным) оборудованием. Такой канал входит в состав всех других каналов связи.
2. Отличается от первого наличием модуляционного и демодуляционного оборудования (часто многоступенного) и полосой пропускания. Примерами таких каналов могут служить телевизионные каналы, тракты систем высокочастотного телефонирования и т.п.

## Дискретный канал связи

Непрерывный канал дискретного времени состоит из непрерывного канала непрерывного времени и подключенных к нему на обоих концах синхронизированных стробирующих устройств, отсчитывающих передаваемые и принимаемые сигналы.

Дискретный канал чаще всего дискретен и по времени. Он состоит из непрерывного канала и подключенных к нему формирователя сигналов (дискретного модулятора) и решающего устройства. Последние и обуславливают дискретность множества входных и выходных элементарных сигналов. В идеальном случае эти два устройства действуют синхронно.

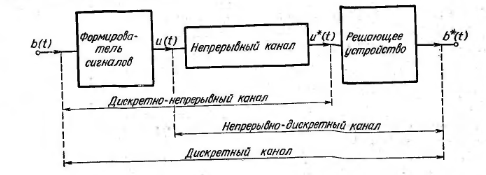


Рисунок 2 Дискретный канал

Дискретный канал связи предназначен для передачи дискретных сигналов (символов). При передаче по такому каналу сообщение S(t) представляется некоторой последовательностью элементарных дискретных сообщений X(t), принадлежащих конечному множеству. В результате кодирования последовательность X(t) заменяется другой последовательностью Y(t), которая ставится в соответствие E(t). Последовательность Y(t) подаётся на вход дискретного канала.

Основной характеристикой дискретного канала является вероятность того или иного изменения символа на данной позиции. Эта характеристика определяется теми изменениями, которые претерпевает символ при передаче по каналу:

* Смещение во времени;
* Отличие на некоторых позициях выходных символов от входных(аддитивные ошибки);
* Смещение номеров позиций выходной последовательности символов от позиций входной последовательности символов (ошибки синхронизации);
* Появление на некоторых ошибках символов стирания.

При действии рассмотренных факторов основная характеристика дискретного канала зависит от номера позиции, от значения передаваемого и всех ранее переданных символов.

## Способы задания потоков ошибок.

Поток ошибок представляет собой дискретный случайный процесс E. Каждая позиция E по определённому правилу складывается соответствующей позицией Y(сообщение на выходе).

Представляется логичным и достаточно удобным рассматривать поток ошибок дискретного канала связи как ступенчатый случайный процесс. Такой подход позволяет при исследовании каналов связи использовать многочисленные важные результаты, полученные для случайных процессов.

Среди способов задания потоков ошибок выделим два следующих:

1. Для задания потока ошибок этим способом необходимо для любого натурального числа и произвольного набора чисел , указать r-мерную функцию распределения случайного вектора , где – количество ошибок, появившихся в промежутке или найти

, где начало отсчёта времени. (1)

Таким образом, есть вероятность того, что на последовательно расположенных промежутках времени (откладываемого от момента времени ) появится соответственно ошибок. Это распределение полностью определяет поток ошибок. На практике (1) наиболее часто используется для r>1, что соответствует одномерному распределению числа ошибок в промежутке времени :

Для стационарного потока зависимость отсутствует.

1. Пусть моменты наступления событий потока ошибок. Можно определить поток, задав распределение r-мерного вектора:

Однако часто удобнее получать распределение моментов наступления событий потока не на основе,а несколько иначе. Положим

, тогда поток считается заданным, если определено r-мерное распределение вектора

т.е.

Если r=1, то имеем одномерную функцию распределения интервалов, которая в общем случае может зависеть от номера интервала, что отражается следующим образом:

Заметим, что если при первом способе определения потока через x() независимой переменной (аргументом потока) является время то при втором через роль аргумента потока играет номер интервала k. Соответственно величиной, случайной при фиксированном значении переменной, в первом случае является число событий потока (целочисленная безразмерная величина), во втором промежуток времени между событиями (непрерывная величина с размерностью времени). По этому, строго говоря, при втором способе мы имеем дело не со случайным процессом, а со случайной функцией. Однако, несмотря на такие принципиальные отличия оба способа равносильны, т.е. поток заданный одним из рассмотренных способов, однозначно определяется и другим. Но эта задача сложна, поскольку для перехода от одного способа к другому нужно знать его закон распределения. В связи с этим на практике используются модели.

К моделям предъявляется ряд требований:

1. Модель должна давать оценки, совпадающие с экспериментальными данными;
2. Модель должна быть простой и экономически обоснованной;
3. Модель должна быть универсальной;
4. Модель должна отражать взаимосвязь с физической сущностью.

# Простейшие модели дискретных каналов

Рассмотрим две модели:

* Модель двоично симметричного канала (ДСК);
* Модель на основе обобщенного пуассоновского потока (ОПП).

## Модель двоичного симметричного канала

В рамках данной модели дискретный канал связи может быть представлен как симметричный канал без памяти (ДСК), т.е. такой стационарный дискретный канал, в котором вероятности искажения любого из символов 0 или 1 одинаковы. В этом канале вероятность передачи не зависит от статистики передаваемой последовательности. Воздействие помехи можно представить как позиционное суммирование входной последовательности символов, выдаваемых условным источником помехи, статистическая характеристика которой полностью определяет канал. В ДСК ошибки кратности  подчиняются биномиальному закону распределения, поток ошибок задается через вероятность ошибки бита *р.* Вероятность -кратной ошибки на блоке из символов равна:



Поток ошибок в ДСК без памяти является процессом восстановления с геометрическим распределением интервалов между ошибками .

Параметр  легко находится по экспериментальным данным

, здесь  - число ошибочных символов за сеанс связи,  - число символов переданных за этот сеанс.

К сожалению, число реальных каналов, ошибки которых описываются моделью ДСК весьма мало. Это обычно каналы высокого качества локальных сетей. Основное достоинство данной модели – простота и возможность оценки по ней потенциальных границ вероятностных характеристик качества доставки сообщений в системе.

Генерация потока ошибок для ДСК осуществляется по следующему алгоритму:



Рисунок 3 Алгоритм генерации потока ошибок для ДСК

## Модель на основе Обобщённого Пуассоновского Потока (ОПП)

Наблюдаемое пакетирование ошибок в каналах связи при предположении о пуассоновском характере потока можно объяснить, если считать параметр  не константой, а случайной величиной или процессом. Получающийся путем рандомизации  новый случайный процесс называют обобщенным пуассоновским . Будем считать  случайной величиной, закон распределения которой известен . Тогда канал задается как поток ошибок первым способом:



Поскольку вид и параметры закона распределения для реальных каналов обычно неизвестны, указанной выше формулой воспользоваться не удается.

По экспериментальным данным относительно легко можно найти закон распределения интервалов между ошибками – функцию Пальма-Хинчина , которая полностью определяет ОПП (второй способ здания потока).

Справедлива формула:

,

где - параметр потока,

 и 

 - вероятность отсутствия ошибок за время .

Таким образом, для ОПП, зная функцию распределения интервалов между ошибками или , вычисляются вероятности , т.е. приходим к конструктивному заданию потока первым способом.

Для моделирования будем считать распределение интервалов заданное обобщенной гиперболой:

, .

Исследование записей потоков ошибок в телефонных каналах показало, что такая ситуация наблюдается довольно часто.

Тогда для параметра потока тогда получается

.

 и

.

Для расчетов вероятностей наиболее удобна рекуррентная формула:



.

Неизвестные параметры  и  легко находятся, например, методом моментов, поскольку обобщенная гипербола для интервалов между ошибками приводит к гамма-распределению параметра .

К недостаткам этой модели можно отнести более трудоемкие формулы для расчета, чем у модели ДСК и тот факт, что не все каналы имеют обобщенную гиперболу в качестве закона распределения между ошибочных интервалов.

Генерация потока ошибок для модели на основе ОПП осуществляется по следующему алгоритму:



Рисунок 4 Алгоритм генерации потока ошибок для ОПП

# Описание нестационарных каналов связи низкого качества на основе составной модели канала с независимыми и группирующимися ошибками.

Канал подвержен воздействию шумов, помех и т.п. Помеховая обстановка может изменяться довольно быстро.

Известно описание нестационарного канала на основе модели составного канала. Качество такого канала изменяется со временем при смене состояний. «Плохие» состояния нестационарного канала низкого качества характеризуются высоким коэффициентом ошибок.

Для каналов низкого качества характерно группирование ошибок. Состояния нестационарного канала в зависимости от величины коэффициента ошибок можно разделить на группы «плохие» состояния – p>0.01, среднего качества -0.001 <p≤0.01 и «хорошие» состояния - p≤0.001. В нестационарных каналах низкого качества «плохие» состояния занимают значительную долю времени (загрузка канала помехами > 10%).

Для описания потока ошибок используют математические модели ошибок. Известны Марковские модели канала с m состояниями, модель Гильберта-Эллиота (m=2), Попова-Турина для каналов с группированием ошибок и др. Модели ошибок по назначению можно разделить на модели для расчёта распределения ошибок и модели генерации побитового потока ошибок канала. Первые более удобны для расчёта помехоустойчивости кодов, а вторые – собственно для моделирования канала связи.

Рассмотрим дискретный двоичный нестационарный канал связи.

Составной канал может находиться в m состояниях в каждом из которых ошибки описываются собственно либо моделью канала с независимыми ошибками, либо блоковой моделью ошибок с группированием. Последовательность состояний канала образует простую однородную цепь Маркова. Цепь Маркова определяют матрицей переходных вероятностей

где есть вероятность перехода в состояние , если известно, что в предыдущий момент времени канал находился в состоянии .

Будем предполагать, что канал переходит в состояние из состояния с вероятностью только по истечении времени не менее

В каждом состоянии канала ошибки возникают либо независимо с вероятностями равными либо с вероятностями, определяемыми распределением блоковой статистики ошибок

Простейшей Марковской моделью канала является модель канала с двумя состояниями типа расширенной модели Гильберта-Эллиота. Эта модель описывается матрицей переходных вероятностей

И вероятность ошибок в каждом состоянии p0, p1.

Обычно p1>>p0 и состояние s0, в котором вероятность ошибки мала, называется «хорошим» состоянием, а состояние канала с большой вероятностью ошибки на бит – «плохим» состоянием.

Безусловную (финальную) вероятность p3 канала в «плохом» состоянии будем называть коэффициентом загрузки канала помехами.

Для составного канала, построенного на основе канала с независимыми ошибками качество канала связи в каком-либо состоянии описываю описывается одним параметром – средней вероятностью ошибки на бит.

Более сложной моделью канала является модель составного канала с группированием ошибок в каждом состоянии. Эта модель использует распределение блоковой статистики ошибок.

Модель блоковой статистики ошибок задаётся вероятностями t и менее ошибок в блоке длинны n бит – P(≤t,n), n=1,2,…, t≤n. Достоинством модели являются:

* Удобство расчёта помехоустойчивости;
* Простое определение параметров модели { P(≤t,n) };
* Совместимость с другими моделями ошибок.

Недостатки модели:

* Большое число параметров модели;
* Сложность генерации потока ошибок.

Распределение блоковой статистики ошибок позволяет оценивать вероятность доведения сообщения через вероятность доведения сообщения в каждом состоянии канала связи

Где – вероятность доведения сообщения в i- ом состоянии канала связи,

– вероятность нахождения канала в i-ом состоянии.

Для составного канала на основе независимых ошибок описать закон генерации ошибок не представляет труда. Для моделирования потока независимых ошибок с некоторой вероятностью p используют функцию генерации случайных чисел r:=random. Эта функция возвращает равномерно распределённые числа в диапазоне от 0 до 1. Для получения ошибки в состоянии c вероятностью достаточно взять случайное число r:=random и проверить выполнения условия r≤ ошибка e=1, в противном случае ошибка e=0.

Сложнее дело обстоит с моделью блокового распределения ошибок. Эта модель определяет интегральную блоковую статистику ошибок, и не задаёт в явном виде законы генерации ошибок канала. Однако, эти законы можно получить на основе условного распределения безошибочных интервалов.

Для генерации потоков ошибок выполняем следующее. В текущий момент времени определяем состояние канала связи. В зависимости от состояния канала по формулам и , где – вероятность появления безошибочного интервала длинной i бит, i=0,1,… , вычисляем условные вероятности или и в соответствии с этими вероятностями определяем последовательность вида , которая составляет побитный поток ошибок канала связи. Ошибки генерируются на основании распределения вероятностей безошибочных интервалов.

Обозначим r=random. Алгоритм генерации последовательности N ошибок будет состоять из следующих шагов:

1. Начальная установка: две последние ошибки
2. Счётчик числа ошибок j:=0
3. Если j>N, то идти к 22
4. Если , то идти к 5, иначе идти к 13
5. i:=1
6. Если , то идти к 10
7. i:=i+1
8. Идти к 6
9. j:=j+1
10. Идти к 3
11. i:=1
12. Если , то идти к 19
13. i:=i+1
14. Идти к 14
15. j:=j+1
16. Идти к 3
17. Конец

Генерация ошибок канала связи по распределению неискаженных интервалов существенно проще аналогичной процедуры для других моделей канала. Для сравнения Марковская модель рассматриваемой блоковой модели, позволяющая генерировать побитный поток ошибок и обеспечивающая приемлемую точность, будем иметь не менее 7 состояний. Число независимых параметров такой модели составляет не менее 49. Для получения параметров Марковской модели по блоковой статистике канала связи требуется большой объём вычислений.

Рассматриваемы алгоритм, даже при генерации потока ошибок на основе всего лишь двух состояний канала связи, обеспечивает высокую точность модели и имеет значительно более простую реализацию. Кроме того, в каждом состоянии канала можно получать последовательность ошибок вида , состоящую из одного или большего числа бит. Это увеличивает скорость генерации потока ошибок.

Таким образом, предлагаемый алгоритм можно использовать для генерации ошибок канала по экспериментальной блоковой статистике канала. Описание канала блоковой статистики ошибок удобно по следующим причинам:

Блоковую статистику канала без труда можно получить как по результатам передачи и приёма специальных тестовых последовательностей, так по результатам декодирования помехоустойчивого кода;

Расчёт вероятностей приёма кода по блоковой статистике ошибок не вызывает затруднений, поскольку в расчётные формулы входят вероятности ошибок в кодовом блоке;

Генерация ошибок канала на основе блоковой статистики позволяет моделировать нестационарный канал и оценивать эффективность методов адаптивного кодирования.

# Заключение

В данной работе были рассмотрены методы генерирования потоков ошибок и алгоритмы генерирования потоков ошибок. Были приведены примеры использования методов и блок-схемы алгоритмов.

# Список литературы

1. Хромов В.В. Помехоустойчивое кодирование, СПб ГПУ, 2011, 138 с.
2. Блох Э.Л., Попов О.В., Турин В.Я. Модели источника ошибок при передаче дискретной информации. – М.: Связь, 1971. – 312 с.
3. Квашенников В.В. Методы адаптивной коррекции параметров помехоустойчивого кода и их применение в перспективных системах радиосвязи. Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук. Владимир. – 2010. – 302 с.

# Приложение

Написана программа генерирующая поток ошибок для модели на основе ОПП

Код:

private int GenoppNextPos(double a, double v)//Генерация позиции ошибочного бита

{

double y = rnd.NextDouble();

double x= (a/Math.Pow(y,(1/v)))-a;

return (int)Math.Round(x, 0);

}

public override BitSet Generate(int length)//Генерация потока ошибок

{

bool[] list = new bool[length];

int pos = GenoppNextPos(A, V);

for (int i = 0; i < length; i++)

{

if (pos == i)

{

list[i] = (true);

pos = i + 1 + GenoppNextPos(A, V);

}

else if (pos != i)

list[i] = (false);

}

return new BitSet(list);

}

Результат работы:

первые 50 позиций ошибочных бит при длине сеанса N = 1600000 , a=18, v = 1.084

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 86 | 1101 | 1710 | 2370 | 3845 |
| 110 | 1125 | 1804 | 2497 | 3870 |
| 205 | 1147 | 1806 | 2504 | 4831 |
| 240 | 1165 | 1807 | 2517 | 4907 |
| 976 | 1167 | 1825 | 3622 | 4954 |
| 989 | 1310 | 2272 | 3652 | 4962 |
| 1053 | 1340 | 2277 | 3687 | 4965 |
| 1076 | 1342 | 2292 | 3731 | 4967 |
| 1077 | 1387 | 2293 | 3788 | 4987 |
| 1080 | 1689 | 2307 | 3790 | 5206 |