МАТЕМАТИЧЕСКАЯ ТЕОРИЯ ИНФОРМАЦИИ

1. Количество информации, и ее мера

На вход системы передачи информации (СПИ) от источника информации подается совокупность сообщений, выбранных из ансамбля сообщений (рис. 1).

Помехи

x1 y1

## СПИ

x2 y2

……

xn yn

Рис. 1. Система передачи информации

***Ансамбль сообщений*** – множество возможных сообщений с их вероятностными характеристиками – *{Х, р(х)}*. При этом: *Х={х1, х2,…, хm}* – множество возможных сообщений источника; *i = 1, 2,…, m*, где *m* – объем алфавита; *p(xi)* – вероятности появления сообщений, причем *p(xi) ≥ 0* и поскольку вероятности сообщений представляют собой полную группу событий, то их суммарная вероятность равна единице

.



Каждое сообщение несет в себе определенное количество информации. Определим количество информации, содержащееся в сообщении *xi*, выбранном из ансамбля сообщений источника *{Х, р(х)}.* Одним из параметров, характеризующих данное сообщение, является вероятность его появления – *p(xi)*, поэтому естественно предположить, что количество информации *I(xi)* в сообщении *xi* является функцией *p(xi).* Вероятность появления двух независимых сообщений *x1*и *x2*равна произведению вероятностей *p(x1,x2) = p(x1).p(x2)*, а содержащаяся в них информация должна обладать свойством аддитивности, т.е.:

*I(x1, x2) = I(x1)+I(x2).* (1)

Поэтому для оценки количества информации предложена логарифмическая мера:

. (2)



При этом наибольшее количество информации содержат наименее вероятные сообщения, а количество информации в сообщении о достоверном событии равно нулю. Т. к. все логарифмы пропорциональны, то выбор основания определяет единицу информации: *logax = logbx/logba.*

В зависимости от основания логарифма используют следующие единицы информации:

2 – [бит] (*bynary digit* – двоичная единица), используется при анализе ин-формационных процессов в ЭВМ и др. устройствах, функционирующих на основе двоичной системы счисления;

e – [нит] (*natural digit* – натуральная единица), используется в математических методах теории связи;

10 – [дит] (*decimal digit* – десятичная единица), используется при анализе процессов в приборах работающих с десятичной системой счисления.

***Битом*** (двоичной единицей информации) – называется количество информации, которое снимает неопределенность в отношении наступления одного из двух равновероятных, независимых событий.

Среднее количество информации для всей совокупности сообщений можно получить путем усреднения по всем событиям:

. (3)



Количество информации, в сообщении, состоящем из *n* не равновероятных его элементов равно (эта мера предложена в 1948 г. К. Шенноном):

. (4)



Для случая независимых равновероятных событий количество информации определяется (эта мера предложена в 1928 г. Р. Хартли):

*.* (5)



**2. Свойства количества информации**

1. Количество информации в сообщении обратно – пропорционально вероятности появления данного сообщения.

2. Свойство аддитивности – суммарное количество информации двух источников равно сумме информации источников.

3. Для события с одним исходом количество информации равно нулю.

4. Количество информации в дискретном сообщении растет в зависимости от увеличения объема алфавита – *m*.

**Пример 1.** Определить количество информации в сообщении из 8 двоичных символов (*n* = 8, *m* = 2), если вероятности равны: *pi0 = pi1*= 1/2.

Количество информации равно:

*I = n log m = 8 log2 2 = 8 бит.*

**Пример 2.** Определить количество информации в сообщении из 8 двоичных символов (*n* = 8, *m* = 2), если вероятности равны:

*pi0 =* 3/4; *pi1*= 1/4.

Количество информации равно:



**3. Энтропия информации**

**Э*нтропия***– содержательность, мера неопределенности информации.

**Э*нтропия*** – математическое ожидание *H(x)* случайной величины *I(x)* определенной на ансамбле *{Х, р(х)}*, т.е. она характеризует среднее значение количества информации, приходящееся на один символ.

. (6)



Определим максимальное значение энтропии *Hmax(x)*.Воспользуемся методом неопределенного множителя Лагранжа -λ для отыскания условного экстремума функции [6]. Находим вспомогательную функцию:

(7)



Представим вспомогательную функцию *F* в виде:

. (8)



Найдем максимум этой функции

т. к.



.



Как видно из выражения, величина вероятности *pi* не зависит от *i*, а это может быть в случае, если все *pi*равны, т.е. *p1 =p2 =…=pm =1/m*.

При этом выражение для энтропии равновероятных, независимых элементов равно:

. (9)



Найдем энтропию системы двух альтернативных событий с вероятностями *p1* и *p2*. Энтропия равна



**4. Свойства энтропии сообщений**

1. Энтропия есть величина вещественная, ограниченная, не отрицательная, непрерывная на интервале *0 ≤ p ≤ 1*.

2. Энтропия максимальна для равновероятных событий.

3. Энтропия для детерминированных событий равна нулю.

4. Энтропия системы двух альтернативных событий изменяется от 0 до 1.

Энтропия численно совпадает со средним количеством информации но принципиально различны, так как:

*H(x)* – выражает среднюю неопределенность состояния источника и является его объективной характеристикой, она может быть вычислена априорно, т.е. до получения сообщения при наличии статистики сообщений.

*I(x)* – определяется апостериорно, т.е. после получения сообщения. С получением информации о состоянии системы энтропия снижается.

**5. Избыточность сообщений**

Одной из информационных характеристик источника дискретных сообщений является избыточность, которая определяет, какая доля максимально-возможной энтропии не используется источником

, (10)



где – коэффициент сжатия.

Избыточность приводит к увеличению времени передачи сообщений, уменьшению скорости передачи информации, излишней загрузки канала, вместе с тем, избыточность необходима для обеспечения достоверности передаваемых данных, т.е. надежности СПД, повышения помехоустойчивости. При этом, применяя специальные коды, использующие избыточность в передаваемых сообщениях, можно обнаружить и исправить ошибки.

**Пример 1.** Вычислить энтропию источника, выдающего два символа 0 и 1 с вероятностями *p(0) = p(1) = 1/m* и определить его избыточность.

**Решение:** Энтропия для случая независимых, равновероятных элементов равна: *H(x) = log2m = log22 = 1 [дв. ед/симв.]*

При этом *H(x) = Hmax(x)* и избыточность равна *R = 0*.

**Пример 2.** Вычислить энтропию источника независимых сообщений, выдающего два символа 0 и 1 с вероятностями *p(0) = 3/4, p(1) = 1/4*.

**Решение:** Энтропия для случая независимых, не равновероятных элементов равна:



При этом избыточность равна *R = 1–0,815=0,18*

**Пример 3.** Определить количество информации и энтропию сообщения из пяти букв, если число букв в алфавите равно 32 и все сообщения равновероятные.

**Решение:** Общее число пятибуквенных сообщений равно: *N = mn*= 32

Энтропия для равновероятных сообщений равна:

*H = I = – log2 1/N = log2325 = 5 log232 = 25 бит./симв.*

**Литература**

1. Гринченко А.Г. Теория информации и кодирование: Учебн. пособие. – Харьков: ХПУ, 2000.
2. Цымбал В.П. Теория информации и кодирование. – М.: Высш. шк., 1986.
3. Кловский Д.Д. Теория передачи сигналов. – М.: Связь, 1984.
4. Кудряшов Б.Д. Теория информации. Учебник для вузов Изд-во ПИТЕР, 2008. – 320 с.
5. Цымбал В.П. Теория информации и кодирование. – М.: Высш. шк., 1986.
6. Асанов М.О., Баранский В.А., Расин В.В. Дискретная математика: графы матроиды, алгоритмы. – Ижевск: НИЦ «РХД», 2001, 288 стр.