

ЗАВАДОСТІЙКЕ КОДУВАННЯ ІНФОРМАЦІЇ

В даний час системи передавання дискретної (цифрової) інформації є основою сучасної техніки зв'язку.

Одним з найважливіших завдань при передачі цифрової інформації, є забезпечення високої достовірності переданих даних, так як в реальних каналах зв'язку присутні завади, які спотворюють інформацію. Найбільш ефективним методом забезпечення високої якості цифрової передачі є застосування завадостійких кодів. При використанні даного методу в вихідну кодову комбінацію вводиться надмірність, тобто додаткові елементи, сформовані за відомими правилами.

На сьогоднішній день існують різні класи завадостійких кодів, які відрізняються один від одного структурою, призначенням, методами кодування / декодування і т.д. [1 - 9].

3.1 Класифікація завад

Реальні системи передачі даних не ідеальні. Застосовуючи інформаційну техніку, ми повинні враховувати можливість виникнення помилок (імовірність помилок) при передачі і зберіганні інформації. Це в першу чергу відноситься до [19]:

- зберігання інформації на носіях з високою щільністю запису (магнітні носії, *CD-ROM*, *DVD*);
- передачі даних при обмеженій потужності сигналу (супутниковий і мобільний зв'язок);
- передачі інформації по дуже —зашумлених‖ каналах (мобільний зв'язок, високошвидкісні провідні лінії зв'язку);
- каналів зв'язку з підвищеними вимогами до надійності інформації (обчислювальні мережі, лінії передачі із ущільненням даних).

Причиною помилок є завади (*noise*), що діють в інформаційній системі [5].

Завада - сторонній вплив, що діє в системі передачі і заважає правильному прийому сигналів. Джерела завад можуть знаходитись як зовні, так і всередині самої системи передачі.

Якщо завада регулярна і відома, то боротьба з нею не викликає ускладнень. Однак, ситуація ускладнюється, якщо завади носять випадковий характер.

В загальному випадку дія завади ξ на сигнал, що передається, може бути виражена таким оператором [5]:

$$x = V(s, \xi), \quad (3.1)$$

де s – повідомлення, яке передається;

ξ – завада;

x – прийняте повідомлення.

В окремому випадку, якщо оператор V вироджується в суму

$$x = s + \xi, \quad (3.2)$$

то завада, яка діє в каналі, називається адитивною. Адитивну заваду часто називають шумом.

А якщо ж оператор V може бути поданий у вигляді

$$x = v \cdot s, \quad (3.3)$$

де випадковий процес $v(t)$ невід’ємний, то заваду v називають мультиплікативною.

Якщо v змінюється повільно у порівнянні з $s(t)$, то явище, викликане мультиплікативною завадою, називають *завмиранням каналу (феддинг)*.

В більш загальному випадку оператор V не може бути приведений до основних форм (3.2), (3.3). При одночасній наявності шуму і мультиплікативної завади зручно ввести два випадкових процеси, тобто оператор V подається так:

$$x = v \cdot s + \xi. \quad (3.4)$$

З фізичної точки зору випадкові завади породжуються різного роду флуктуаціями. Флуктуаціями у фізиці називають випадкові відхилення тих або інших випадкових величин від їх середніх значень. Так, джерелом шуму в електричних ланцюгах постійного струму можуть бути флуктуації струму навколо середнього значення, які викликані дискретною природою носіїв зарядів (іонів і електронів). Це явище носить назву дробового ефекту.

Найбільш універсальною причиною шуму є флуктуації, обумовлені тепловими рухами. Випадковий тепловий рух носіїв заряду в будь-якому провіднику викликає випадкову різницю потенціалів на його кінцях. Ця різниця потенціалів флуктує навколо середнього значення рівного нулю, її середній квадрат пропорційний абсолютній температурі. Завада, що виникає, називається тепловим шумом.

Є ще одне джерело принципово неусовного шуму, яке викликано дискретною природою електромагнітного випромінювання. Як відомо, випромінювання виконується дискретними порціями – квантами, які називають фотонами. При високих частотах шуми, викликані дискретною

фотонною структурою випромінювання, можуть перевищити всі інші завади.

Природа мультіплікативної завади полягає у випадкових змінах параметрів каналу передачі. Причому ці зміни можуть носити як лінійний, так нелінійний характер.

Таким чином, флуктуації і обумовлені ними завади, є природним результатом дискретної природи ряду фізичних явищ і статистичної природи ряду фізичних величин.

Одним із способів боротьби з випадковими завадами в системах передачі та обробки інформації є застосування кодів, що контролюють помилки. Теорія завадостійкого кодування для кожного конкретного каналу дозволяє вибрати найбільш ефективний метод виявлення і виправлення помилок.

Існують два взаємодоповнювальних методи боротьби з завадами [19]:

- кодування з виправленням помилок (коректуючі коди) - приймач виявляє і виправляє помилки;
- кодування з виявленням помилок - приймач розпізнає помилки і, у разі потреби, проводить запит на повторну передачу помилкового блока.

Останній метод припускає наявність каналу зворотного зв'язку і знаходить своє застосування в каналах з достатньо малою імовірністю помилки у випадку, якщо цю імовірність помилки необхідно ще знизити. Така ситуація часто виникає в обчислювальних мережах і в інтернеті. Типове значення імовірності помилки на біт без кодування в обчислювальних мережах складає 10^{-6} . Використання простих кодів з невеликою надмірністю дозволяє досягти вірогідності 10^{-9} і нижче. Вимога до імовірності помилки 10^{-9} не є надмірно завищеною. У обчислювальних мережах, наприклад, може виникнути обрив зв'язку в результаті пошкодження оптоволокна при проведенні земляних робіт, недбалого підключення кабелю до модему і т.д. Такий обрив повинен бути швидко виявлений декодером, який у разі різкого зростання частоти запитів на повторну передачу видає сигнал обриву зв'язку.

Теорія завадостійкого кодування базується на результатах досліджень, проведених американським вченим К. Шенноном [1].

3.2 Теорема Шеннона про кодування для каналу із завадами

Теорема Шеннона задає умови, при яких можлива передача інформації по каналу зв'язку із завадами з як завгодно малою ймовірністю помилки. На цій теоремі ґрунтується теорія завадостійкого кодування.

Формулювання теореми таке [1].

1. При будь-якій продуктивності джерела інформації, меншій ніж пропускна здатність каналу, існує такий спосіб кодування, який дозволяє забезпечити передачу інформації, що створюється джерелом повідомлень з як завгодно малою ймовірністю помилки.
2. Не існує способу кодування, який дозволив би вести передачу інформації з як завгодно малою ймовірністю помилки, якщо продуктивність джерела повідомлення більша пропускної здатності каналу.

Теорема встановлює теоретичну межу можливої ефективності системи при достовірній передачі інформації. Теорема неконструктивна, в тому сенсі, що в ній не торкаються питань про шляхи побудови кодів, які забезпечують вказану ідеальну передачу. Однак, обґрунтувавши принципову можливість такого кодування, вона мобілізувала зусилля вчених на розробку конкретних кодів.

3.3 Основні принципи завадостійкого кодування

Кодування з виявленням і виправленням помилок є метод обробки повідомлень, призначений для підвищення надійності передачі по цифрових каналах. Ідея виявлення помилок дуже проста. Для передачі використовуються не всі $N_0 = m^n$ комбінацій, де m - основа коду, а n - значність (довжина) коду, а лише N комбінацій, причому $N < N_0$ [5].

Комбінації, які використовуються в даному коді, називаються *дозволеними*, а комбінації, що не використовуються, називаються *забороненими*. Якщо сукупність помилок в дозволеній кодовій комбінації перетворює її в іншу дозволену кодову комбінацію, то такі помилки не можуть бути виявлені.

Інтуїтивно зрозуміло, що чим більша відстань між дозволеними кодовими комбінаціями, тим більше помилок виправляє код. Для визначення відстані між двома кодовими комбінаціями прийнято використовувати таку метрику [4-5]:

$$d_{ij} = \sum_{k=1}^n |x_{ik} - x_{jk}|. \quad (3.5)$$

Визначену таким чином відстань часто називають відстанню Хеммінга. Для двійкового коду відстань просто дорівнює кількості знаків в яких одна кодова комбінація відрізняється від іншої. Зазвичай її визначають шляхом додавання за модулем 2 двох кодових комбінацій і підрахунку кількості одиниць в цій сумі.

Найменшу відстань для даного коду називають *ковою відстанню* і позначають символом d_{\min} .

Приклад 3.1. Визначити кодову відстань d_{\min} для наступного коду: $A_1=0000$, $A_2=0011$, $A_3=1100$, $A_4=1010$.

Розв’язання. Знайдемо суми за модулем 2 всіх можливих кодових комбінацій і значення відстані між ними як кількість одиниць в отриманій сумі:

0000	0000	0000	0011	0011	1100
+	+	+	+	+	+
0011	1100	1010	1100	1010	1010
0011	1100	1010	1111	1001	0110

$$d_{12} = d_{21} = 2, d_{13} = d_{31} = 2, d_{14} = d_{41} = 2, d_{23} = d_{32} = 4, d_{24} = d_{42} = 2, d_{34} = d_{43} = 2$$

Таким чином, найменшим значенням $d_{ij} \in 2$, тобто кодова відстань для даного коду така: $d_{\min}=2$.

Для виявлення всіх помилок кратності q_d в кодовій комбінації необхідно і достатньо, щоб кодова відстань задовольняла таку нерівність [5]:

$$d_{\min} \geq q_d + 1. \quad (3.6)$$

Під кратністю помилок розуміють кількість неправильно переданих символів в межах однієї кодової комбінації. Тобто, мінімальне значення $d_{\min}=2$.

Для виправлення помилок кратності q_c необхідно і достатньо щоб кодова відстань задовольняла таку нерівність:

$$d_{\min} \geq 2q_c + 1. \quad (3.7)$$

Тобто, мінімальне значення $d_{\min}=3$.

Для виправлення помилок кратності q_c і виявлення помилок кратності q_d необхідно і достатньо щоб [5]:

$$d_{\min} \geq q_c + q_d + 1, \quad (3.8)$$

причому $q_d \geq q_c$.

Наведені вирази дозволяють будувати прості завадостійкі коди. Хоча різні схеми кодування дуже несхожі одна на одну і ґрунтуються на різних математичних теоріях, всім їм притаманні дві загальні властивості.

Перша - використання надмірності. Закодовані послідовності завжди містять додаткові, або надмірні, символи. Кількість символів в кодовій послідовності завжди більша, ніж необхідно для однозначного подання будь-якого повідомлення.

Друга - властивість усереднювання, це означає, що надмірні символи залежать від декількох інформаційних символів, тобто інформація, що міститься в кодовій послідовності, перерозподіляється також і на надмірні символи [19].

1. Вернер, М. Основы кодирования / М. Вернер – М. : Техносфера, 2004. – 288 с.
2. Золоторев, В. В. Помехоустойчивое кодирование. Методы и алгоритмы : Справочник / В. В. Золоторев, Г. В. Овечкин, Ю. В. Зубарев – М.: Горячая линия – Телеком, 2004. – 126 с. : ил.
3. Кларк, Дж. мл. Кодирование с исправлением ошибок в системах цифровой связи : Пер. с англ. / Дж. Кларк, мл., Дж. Кейн – М. : Радио и связь, 1987. – 392 с. : ил.
4. Мамаев, Н. С. Системы цифрового телевидения и радиовещания : [справ. изд.] / Н. С. Мамаев, Ю. Н. Мамаев, Б.Г. Теряев — М. : Горячая линия-Телеком, 2006. — 256 с. : ил.
5. Морелос-Сарагоса, Р. Искусство помехоустойчивого кодирования. Методы, алгоритмы, применение / Р. Морелос-Сарагоса – М. : Техносфера, 2005. – 320 с.
6. Сергиенко, А. Б. Цифровая обработка сигналов : учеб. пособие для студ. вузов, обуч. по напр. подгот. дипломир спец. "Информатика и выч. техника" : доп. Минобразования России / А.Б. Сергиенко — 2-е изд. — СПб. : Питер, 2006. — 750 с.: ил.
7. Шварцман, В. О. Передача дискретной информации. Уч. для студ. электротехн. институтов. / В. О. Шварцман, Г. А. Емельянов – М.: Радиосвязь, 1982.- 240 с.
8. Шульгин, В. И., Основы теории передачи информации, Ч.1. Экономное кодирование / В. И. Шульгин – Учеб. пособие – Х.: Нац. аэрокосм. ун-т «Харьк. авиац. ин-т», 2003. – 102 с.
9. Шульгин, В. И., Основы теории передачи информации, Ч.2. Помехоустойчивое кодирование / В. И. Шульгин – Учеб. пособие – Х.: Нац. аэрокосм. ун-т «Харьк. авиац. ин-т», 2003. – 87 с.
10. Банкет В. Л. Завадостійке кодування в телекомунікаційних системах: навч. посіб. з вивчення модуля 4 дисципліни ТЕЗ / В.Л. Банкет, П.В. Іващенко, М.О. Іщенко. – Одеса: ОНАЗ ім. О. С. Попова, 2011. – 100 с.
11. Бондаренко І.М., Глушко А.П., Меньков О.М. Коди та кодування. Навч. посібник. – Харків. ХІ ВПС, 2003. – 116с.