

14. Боротьба з помилками, які виникають у каналах передачі даних. Стисла характеристика методів боротьби з помилками

Однією з особливостей систем передачі даних є підвищена вимога до вірності інформації. Так, в різних АСУ імовірність помилки при прийомі кожного символу повинна бути порядку $10^{-3} \dots 10^{-8}$. Канали зв'язку забезпечують імовірність помилки порядку $10^{-3} \dots 10^{-4}$. Отже, необхідно застосовувати спеціальні методи, що знижують імовірність помилки на декілька порядків.

Вважалося, що необхідний ступінь вірності передачі даних по каналам зв'язку можна забезпечити збільшенням відношення сигнал/шум за рахунок підвищення потужності сигналу. Однак це не так, оскільки основною причиною різкого зниження вірності при передачі даних по каналах ТЧ є імпульсні завади і короточасні перерви, вплив яких неможливо усунути тільки лише за рахунок підвищення потужності сигналу. Саме тому, поряд з поліпшенням якості каналів зв'язку шляхом корекції їх амлітудно-фазочастотних характеристик, використання найбільш завадостійких засобів модуляції, застосуванням некоммутуємих каналів зв'язку та інш., для підвищення вірності передачі даних застосовують різноманітні спеціальні засоби, основані на введенні в повідомлення, що передаються надмірності, певним чином зв'язаної зі смисловою (корисною) інформацією.

Всі засоби підвищення вірності передачі даних діляться на дві групи:

- без використання зворотного зв'язку;
- з використанням зворотного зв'язку, між передавачем і приймачем взаємодіючих кінцевих пунктів (рис.14.1).

Засоби підвищення вірності передачі інформації першої групи використовуються при передачі даних по однонаправленим (симплексним) каналам зв'язку, а другої групи - при передачі даних по дуплексним каналам зв'язку.

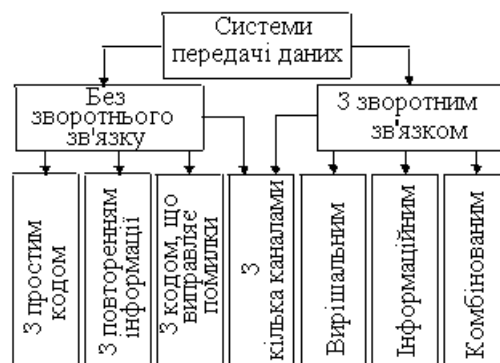


Рис.14.1

СПД, що використовують методи підвищення вірності передачі даних першої групи, в свою чергу, діляться на:

- * системи з простим кодом;
- * системи з багатократним повторенням однієї і тієї ж інформації;
- * системи з завадостійким кодом, що забезпечують виправлення помилок в кодових комбінаціях, що приймаються.

Найбільш простим і легко реалізуємим засобом підвищення вірності передачі інформації є багатократна передача одного і того ж повідомлення. При використанні даного засобу за істинне повідомлення приймається те, що має найбільше число збігів в багатократно прийнятій послідовності. Так, наприклад, при трьохкратної передачі літери **А**, отримавши послідовність літер **ААБ**, приймається рішення, що передана літера **А**. Якщо ж при передачі **ААА**, на приймальній стороні отримаємо **ВВА**, то буде прийнята літера **В**. Коли на прийомі будуть зафіксовані три різноманітні літери, повідомлення стирається. Таким чином, прийом повідомлень з помилкою буде тільки тоді, коли одні і ті ж викривлення відбудуться в двох або в усіх трьох повідомленнях.

Метод багатократного повторення простий і ефективний. Вибором числа повторень (S) можна забезпечити малу імовірність прийому кодової комбінації з помилкою, що визначається співвідношенням:

$$P_{\text{пом}} = \sum_{i=\frac{s+1}{2}}^s C_s^i p^i (1-p)^{s-i},$$

де C_s^i - число комбінацій з s елементів по i ;

$P_{\text{пом}}$ - імовірність викривлення кодової комбінації.

Істотним недоліком цих систем є мала пропускна спроможність і неефективне використання надмірності, що вводиться. Пропускна спроможність знижується до величини $C_n = \frac{1}{s} B$.

Різновидом засобу багатократного повторення є засіб підвищення вірності, що використовує одночасну передачу однієї і тієї ж інформації по декільком каналам зв'язку. При прийомі повідомлень в таких СПД також може бути використаний мажоритарний принцип (прийняття рішення по більшості збігів). В цьому випадку число паралельно працюючих каналів повинно бути не менше трьох. При двох паралельно працюючих каналах в повідомлення, що передаються може вводиться надмірність, що дозволить виявляти помилки. При відкритті помилки в одному каналі інформація вибирається з іншого. Важливою перевагою таких систем є їхня висока надійність і малий час запізнювання інформації. Виявлення помилок може вироблятися і шляхом контролю амплітуди, тривалості і інших первинних параметрів сигналів, що приймаються. При виході контрольованих параметрів за межі встановлених норм повідомлення вибирається з іншого каналу. Якщо ж в іншому каналі виявлені подібні викривлення, то кодова комбінація бракується. Для виявлення помилок в двоканальній системі може використовуватися спільно завадостійкий код і контроль первинних параметрів сигналу.

Очевидними перевагами розглянутих систем є їхня пропускна спроможність, високі вірність і надійність передачі даних. До числа недоліків

слідуює віднести вартість технічної реалізації, що неминуче при використанні структурної надмірності.

Від недоліків засобу багатократного повторення в певній мірі вільні системи, що використовують для виявлення і виправлення помилок в комбінаціях, що приймаються завадостійкі коди. В цих системах комбінація, що передається окрім інформаційних символів містить і перевірочні символи. Перевірочні символи формуються на стороні, що передає з інформаційних по певним правилам. На приймальній стороні за тими ж правилами здійснюються перевірки. В кожену перевірку входить певні інформаційні і перевірочні символи. Результат перевірок вказує номер викривленого розряду. Таким чином, виправлення помилок при використанні кодів з виправленням помилок забезпечується за рахунок внесення постійної, заздалегідь розрахованої, надмірності, яка не залежить від стану каналу. Стан же каналу в процесі експлуатації змінюється. Якщо кратність помилок, що виникають, тобто число викривлених розрядів в кодовій комбінації, буде перевищувати ту, на яку розрахований код, то в процесі кодування виникають додаткові викривлення. Так, якщо використовується код, що виправляє однократні помилки, то в випадку виникнення двократної помилки в процесі декодування викривиться ще один, третій символ кодової комбінації. Слідуює відзначити, що статистику помилок, що виникають в каналах зв'язку, важко передбачити. Тому правильно вибрати код з виправленням помилок надзвичайно тяжко.

Підвищити вірність передачі інформації без значного зниження пропускнує спроможності можна шляхом введення надмірності в залежності від стану каналу. Для реалізації даного засобу необхідно знати фактичний стан каналу. Ця інформація може бути отримана шляхом оцінки в каналах числа помилок, що виявляються, з передачею результатів цієї оцінки на сторону, що передає. Однак системи передачі інформації в цьому випадку стають складними. Практика побудови СПД, що використовують коди з виправленням помилок навіть при невеликій надмірності, що вводиться показала велику складність апаратури. Число логічних операцій при виправленні помилок, росте не прямо пропорційно числу помилок, що виправляються, а значно швидше.

В нинішній час в СПД, що серійно випускаються майже виняткове розповсюдження знайшли методи підвищення вірності передачі даних з використанням зворотного зв'язку між передавачем і приймачем. По вигляду зворотного зв'язку розрізняють системи:

- * з вирішальним зворотнім зв'язком (ВЗЗ);
- * інформаційним (ІЗЗ);
- * комбінованим зворотнім зв'язком (КЗЗ).

В **системах ВЗЗ** (рис.14.2) повідомлення, що передаються кодуються завадостійким кодом, що забезпечує виявлення помилок, і передаються по прямому каналу.

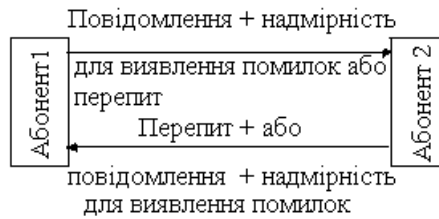


Рис.14.2

Кожне повідомлення, що передається (кодова комбінація) запам'ятовується в запам'ятовуючому пристрої передавача. На приймальній стороні здійснюється перевірка наявності помилок в прийнятому повідомленні. При відкритті помилок повідомлення споживачу інформації не видається (стирається), а по зворотному каналу передається сигнал перезапиту. По отриманні цього сигналу передавач повторює перепрошене повідомлення (кодову комбінацію). При гарному стані каналу і низькому рівні завад число перезапитів по зворотному каналу небагато. Тому пропускна спроможність зворотного каналу може бути істотно нижче пропускної спроможності прямого. На практиці ці канали часто однакові. В цих умовах з'являється можливість передавати по зворотному каналу потік інформації від приймача (ПРМ) передавачу (ПРД) (т. ч. використати цей канал в якості прямого для ПРМ), а по прямому каналу (що для ПРМ є зворотнім) передавати сигнали перезапиту від ПРМ ПРД.

В **системах з ІЗЗ** по прямому каналу передається кодова комбінація, що складається тільки з інформаційних розрядів. Ця кодова комбінація на ПРМ запам'ятовується і по зворотному каналу або вся вертається на передавач, або передається її згортка, що сформувалася по певним правилам. Такою згорткою можуть бути, наприклад, перевірочні розряди, що сформувалися при кодуванні якимось завадостійким кодом. На ПРД, здійснюється порівняння переданої по прямому і отриманої по зворотному каналу кодових комбінацій (згорток). Якщо ці кодові комбінації (згортки) співпали, то посиляється сигнал підтвердження і за ним передається нова кодова комбінація. Якщо кодові комбінації (згортки) не співпали, то посиляється сигнал заперечення і кодова комбінація повторюється знов (рис.10.3.). Таким чином, якщо в системах з ВЗЗ рішення про правильність прийому інформації приймається на приймальній стороні, то в системах з ІЗЗ це рішення приймається на стороні, що передає.

Достоїнством систем з ІЗЗ є порівняльна простота реалізації, особливо при побудові низько швидкісних СПД, а істотним недоліком, що обмежують їхнє застосування, є завантаження зворотного каналу передачею ре трансльованого потоку інформації. Саме тому в АСУ найбільш широко застосовуються системи з ВЗЗ.

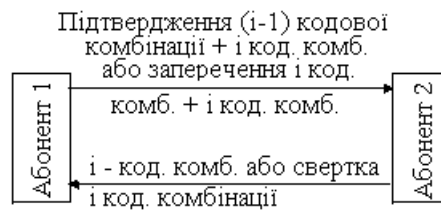


Рис.14.3

В системах з **КЗЗ** використовуються обидва види зворотного зв'язку - вирішальний і інформаційний, що забезпечує додаткове підвищення вірності передачі інформації у порівнянні з системами, що використовують один з видів зворотного зв'язку.