

НАДЛИШКОВІСТЬ АДАПТИВНИХ СИСТЕМ ПЕРЕДАЧІ ДАНИХ

REDUNDANCY OF ADAPTIVE SYSTEMS OF DATA TRANSMISSION

Анотація. Отримані аналітичні вирази надлишковості в адаптивних системах за рахунок перевірюваних кодових символів та повторення спотворених кодових слів.

Summary. Analytical expressions of redundancy in adaptive systems due to verifying code symbols and recurrence of the distorted code words are received.

Сьогодні проблема підвищення якості прийому інформації набуває важливого значення для систем передачі даних. Підвищення якості прийому здійснюється двома методами:

1) метод односторонньої передачі [1], за якого використовуються надлишкові коди, що виправляють помилки. При цьому надлишковість коду визначається вимогою якості прийому й розподілом помилок у каналі [1]. Недолік методу полягає в тому, що на інтервалі всієї передачі використовується одна й та ж постійна надлишковість. У той же час відомо, що реальні канали зв'язку мають нестационарність потоку помилок: канал на інтервалі (95-97)% часу передачі перебуває в хорошому стані й (5-3)% у поганому. Внаслідок цього постійна надлишковість призводить до втрати пропускну здатності;

2) адаптивний метод передачі припускає зміну надлишковості при зміні якості каналу. При цьому передавач одержує інформацію про якість каналу від приймача, що дозволяє змінити режим передачі. Найпростіший спосіб зміни надлишковості – це зміни числа повторень переданого повідомлення. Системи такого типу називаються системами з вирішальним зворотним зв'язком (ВЗЗ) [2]. При цьому виявлення спотворених кодових слів проводиться за рахунок використання надлишкових кодів.

Питання, які вирішуються в даній статті були розглянуті в роботі [3], де проведено аналіз роботи систем з ВЗЗ, одержано аналітичні вирази для параметрів якості передачі – залишкова ймовірність помилкового прийому сигнальної конструкції в залежності від параметрів завад в каналі, ймовірність повторення кодового слова.

Проте аналіз показує, що процес передавання інформації в системах з ВЗЗ відрізняється великою складністю. Найбільш серйозним за своїми наслідками є припущення про ідеальний зворотний зв'язок: воно призводить до помилок в оцінці технічних показників систем з ВЗЗ, що зростають зі збільшенням рівня завад, швидкості передавання і довжини лінії зв'язку.

Метою даної роботи є проведення оцінки надлишковості системи з ВЗЗ з урахуванням параметрів кода та затрат на повторення при реальних каналах зворотного зв'язку.

Оцінка впливу завад та запізнювання сигналів зводиться до відшукування залежностей

$$P_{0к} = f(P_{вп}, P_{нп}, q_{вз}, \mu_0, N_{кп}); \bar{\mu} = f(P_{вп}, P_{нп}, q_{вз}, q_{зз}, \mu_0, N_{кп}), \quad (1)$$

де $P_{0к}$ – ймовірність спотворення кодового слова; $P_{вп}$, $P_{нп}$ – ймовірності появи виявлювальних помилок та невиявлювальних у прямому каналі; $q_{зз}$, $q_{вз}$ – ймовірності зникнення й виникнення помилкового сигналу запиту в зворотному каналі; $N_{кп}$ – число повторюваних кодових слів, затрачених на виправлення помилки; μ_0 – коефіцієнт повторювання кодових слів; $\bar{\mu}$ – математичне очікування коефіцієнта повторювання.

Оцінимо завадостійкість та швидкість передавання інформації в системах з ВЗЗ з безінерційним зворотним зв'язком. За відсутності завад у зворотному каналі вірність зв'язку визначається можливістю появи невиявлених помилок. Тому ймовірність [4]

$$P_{0к1} = P_{нп} + \sum_{v=1}^{\infty} P_{вп}^v P_{нп} = P_{нп} \sum_{v=1}^{\infty} P_{вп}^v = \frac{P_{нп}}{1 - P_{вп}}. \quad (2)$$

При виявленні помилки в прямому каналі та спотворенні сигналу в зворотному каналі передавач буде продовжувати передавати наступні слова тоді, коли реєструвальний пристрій при прийомі блокується на час $T_{бл} = N_{кп} T_k$, де T_k – тривалість кодового слова. У результаті слова, які

надходять протягом часу $T_{\text{обл}}$, виявляються втраченими, що еквівалентно спотворенню їх з імовірністю

$$P_{0к2} = N_{кп} \left(\frac{P_{вп}}{N_{кп}} + \frac{P_{вп}^2}{N_{кп}^2} + \frac{P_{вп}^3}{N_{кп}^3} + \dots \right) q_{зз} = N_{кп} \left[\sum_{v=0}^{\infty} \frac{P_{вп}^v}{N_{кп}^v} - 1 \right] q_{зз} = N_{кп} q_{зз} \frac{P_{вп}}{N_{кп} - P_{вп}}.$$

У цьому виразі враховано, що при довжині циклу повторення $N_{кп} T_k$ – ймовірність виявлення помилки зменшується в $N_{кп}$ разів через зменшення в $N_{кп}$ разів числа перевірених елементів повідомлення. Тоді повна ймовірність помилки становитиме

$$P_{0к} = P_{0к1} + P_{0к2} = \left[1 + \left(\frac{1 - P_{вп}}{N_{кп} - P_{вп}} \right) \frac{P_{вп} q_{зз}}{P_{нп}} N_{кп} \right] P_{0к1} \left(\frac{P_{нп}}{1 - P_{вп}} \right). \quad (3)$$

Якщо як сигнал S_3 використовується одне з дозволених кодових слів, то $P_{нп} = q_{зз}$ й імовірність

$$P_{0к} = \left(1 + \frac{1 - P_{вп}}{N_{кп} - P_{вп}} N_{кп} P_{вп} \right) P_{0к1}. \quad (4)$$

У реальних каналах $P_{вп} \ll 1$ й імовірність $P_{0к} \approx P_{0к1}$.

Позначимо через $T_{к0}$ середню тривалість сигналів у системі ВЗЗ з урахуванням їхнього повторення. Величина

$$T_{к0} = T_k + N_{кп} T_k P_{вп} + N_{кп} T_k P_{вп}^2 + \dots = T_k \left(1 + \frac{P_{вп}}{1 - P_{вп}} N_{кп} \right) > T_k.$$

Коефіцієнт

$$\eta_v = \frac{T_{к0}}{T_k} = \frac{1 + (N_{кп} - 1) P_{вп}}{1 - P_{вп}} \quad (5)$$

характеризує збільшення часу (зниження швидкості) передавання інформації в системах зі зворотним зв'язком порівняно з системами одnobічної дії. Коефіцієнт η_v зменшується з підвищенням імовірності $P_{вп}$ і зменшенням запізнювання сигналів.

Швидкість передавання інформації при використанні виявлювального (n, k) – коду буде

$$v_1 = \frac{k}{n} \frac{(1 - p_0)^n + p_0}{1 + N_{кп} [1 - (1 - p_0)^n - p_0]}. \quad (6)$$

Уведемо поняття коефіцієнта повної надлишковості через відношення

$$R_{н0} = \frac{\bar{n}_0 - k}{n_0}, \quad (7)$$

де \bar{n}_0 – середнє число кодових символів, затрачуваних в обох каналах на передачу k одиниць інформації. За нульової пропускнуої здатності зворотного каналу $\bar{n}_0 = \bar{n}_1$, де \bar{n}_1 – середнє число кодових символів, затрачуваних у прямому каналі на передачу k одиниць інформації. За відсутності повторення $\bar{n}_1 = n$ и $R_{н0} = R_n$. Величина $R_{н0}$ залежить від типу зворотного зв'язку та логіки роботи системи.

Коефіцієнт $R_{н0}$ можна представити у виді

$$R_{н0} = R_{нк} + R_{нп} = \frac{n_1 - k}{n_0} + \frac{\bar{n}_п}{n_0}, \quad (8)$$

де $R_{нк}$ – коефіцієнт надлишковості, обумовлений завадостійким кодуванням при однократній передачі робочих та управляючих сигналів; $R_{нп}$ – коефіцієнт надлишковості, обумовлений повторенням спотворених кодових слів; n_1 – число кодових символів, затрачуваних в одному циклі роботи на передачу k одиниць інформації з урахуванням управляючого сигналу; $\bar{n}_п$ – середнє

число кодових символів, затрачених на виправлення виявлювальної помилки при повторенні сигналів з урахуванням їх запізнювання і логіки роботи системи.

У системах ВЗЗ, де зменшення ємності каналу за рахунок посилання сигналу запитування часто можна не враховувати, при позначковій перевірці $n_1 = n$, $n_0 = n_1$ і коефіцієнти

$$R_{нк} = \frac{n-k}{n+(\mu-1)m_0}; R_{нп} = \frac{\bar{\mu}-1}{n+(\mu-1)m_0}, \quad (9)$$

де $m_0 = nN_{кп}$ – загальне число кодових символів, затрачених на виправлення виявленої помилки за кожного повторення.

За рахунок перевірючих кодових символів та повторення сигналів швидкість передавання інформації знижується відповідно в

$$\eta_{v1} = \frac{n_1}{k} = \frac{n}{k} \quad \text{і} \quad \eta_{v2} = \frac{\bar{n}_1}{n_1} = \frac{n+(\mu-1)m_0}{n}$$

разів. Тому коефіцієнт

$$\eta_v = \eta_{v1}\eta_{v2} = \frac{1}{1-R_{н0}} = \frac{n+(\bar{\mu}-1)m_0}{k}. \quad (10)$$

Тоді коефіцієнт надлишковості в системі ВЗЗ буде

$$R_{н0} = 1 - \frac{k}{n+(\bar{\mu}-1)m_0} = 1 - \frac{k}{n[1+(\bar{\mu}-1)N_{кп}]}. \quad (11)$$

Вирази (8) та (10) справедливі також за посимвольної та групової перевірок. За $\bar{n}_0 = \bar{n}_1$ та посимвольній перевірці $R_{нк} = 0$ і $R_{н0} = R_{нп}$, що свідчить про хороше узгодження джерела з каналом. Цьому режиму роботи відповідають найменші порівняно з іншими видами перевірок значення $\bar{\mu}$ та m_0 .

Визначимо значення $N_{кп}$ та m_0 для системи ВЗЗ з посимвольною перевіркою. На рис.1 зображено часову діаграму передачі та прийому кодових слів з ВЗЗ. З рисунку випливає, що повний час, затрачений на виправлення помилки,

$$T_{н0} = 2t_p + T_k + 2T_s + 2t_{об} + \Delta T, \quad (12)$$

де $t_p = \frac{R}{v_p}$ – час поширення сигналу по лінії зв'язку в одному напрямку зі швидкістю v_p ; T_k , T_s –

тривалість інформаційних та управляючих слів; $t_{об}$ – час обробки сигналу; $0 \leq \Delta T \leq 1$ – величина тимчасової неузгодженості кодоперетворювачів.

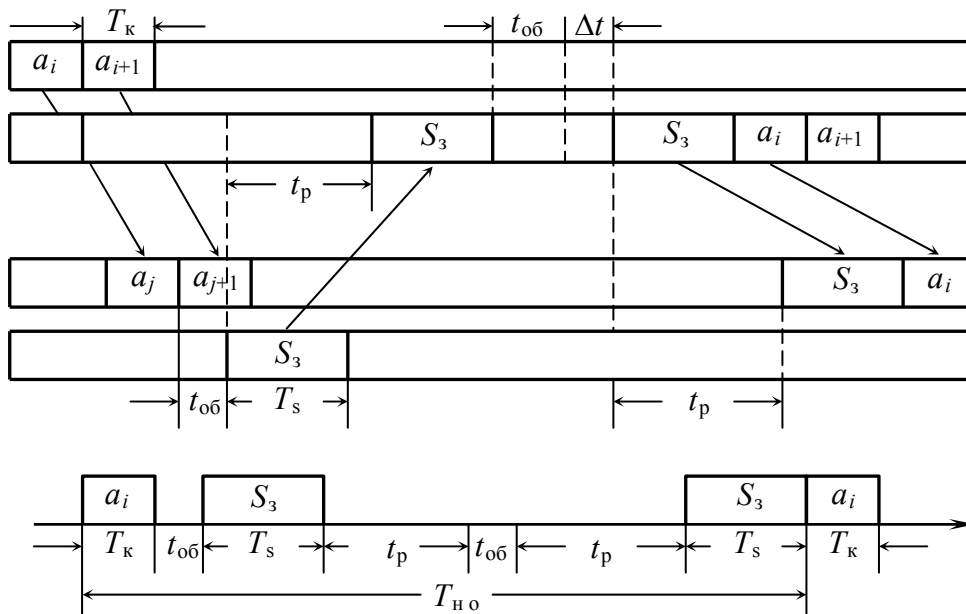


Рисунок 1 – До визначення значень $N_{кп}$ та m_0 для систем з посильною перевіркою

Нехай величина $v_T = \frac{1}{T_c}$ в обох каналах однакова, час $t_{об} = T_c$, $T_k = nT_c$ і $T_s = n_s T_c$, де n , n_s – значність інформаційних та управляючих сигналів. Тоді на виправлення помилки буде витрачене

$$N_{кп} = \frac{T_{н0}}{nT_c} = 1 + \frac{2}{n}(t_p v_T + n_s + 1) + \Delta T$$

кодових слів або

$$m_0 = 2(t_p v_T + n_s + 1) + \Delta T$$

кодових символів. Значення $N_{кп}$ чи m_0 визначають ємність накопичувача на стороні передачі.

Одержані аналітичні вирази дозволяють з більшою точністю оцінювати основні параметри систем з ВЗЗ – загальну надлишковість системи передачі та залишкову ймовірність якості прийому, тому що враховують характеристики реальних каналів зв'язку.

У висновку відзначимо, що одержані результати можуть бути використані в адаптивних системах передачі та дозволять підвищити якість прийому інформації.

Література

1. *Захарченко В.М.* Синтез багатопозиційних часових кодів. – К.: Техніка, 1999. – 281 с.
2. *Захарченко В.Н.* О целесообразности декорреляции ошибок в системах с решающей обратной связью // *Праці УНДІРТ "Рухомі засоби зв'язку"*. – Одеса, 1998. – №3 (15). – С.55-57.
3. *Захарченко В.Н., Корчинский В.В.* Исследование эффективности систем передачи данных с РОС: Зб. наук. пр. УДАЗ ім. О.С. Попова. – Одеса, 1997. – С. 17-21.
4. *Захарченко В.Н., Улеев А.П., Липчанский А.И.* Эффективность исправления ошибок смещения ЗМВ в системах РОС на базе МВС // *Вестник Харьковского государственного политехнического университета*. – Харьков: ХГПУ, 1999. – Вып. 35. – С. 85-91.