

*В.С. Василенко, кандидат технічних наук, доцент,
О.В. Дубчак, старший викладач
(Національний авіаційний університет, Україна)*

ОЦІНКА АБСОЛЮТНОЇ ШВИДКОСТІ ІНФОРМАЦІЙНОГО ОБМІНУ В ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ СИСТЕМАХ

Проведено дослідження впливу способів організації обміну, стану та характеристик каналів на швидкість обміну інформацією в мережах телекомунікаційних систем. Запропоновано підходи щодо аналізу ефективності протоколів обміну інформацією в телекомунікаційних системах за швидкістю та вірністю передачі, наведено вирази для їх розрахунків

Вступ. Обмін інформаційними об'єктами у комунікаційних мережах забезпечується протоколами, кожний з яких характеризується певними показниками швидкості та вірності передачі. Відомо, що існуюча множина протоколів розподіляється на два типи: із забезпеченням високошвидкісного обміну; із забезпеченням певного рівня цілісності та доступності переданих даних [1]. Протоколи першого типу або взагалі не здійснюють контроль якості передачі, або в разі виявлення викривлень інформаційного об'єкту вилучають його, наприклад, протоколи типу Frame Relay, IP тощо. При цьому задача забезпечення цілісності чи достовірності інформаційних об'єктів покладається на протоколи більш високого рівня.

Більшість протоколів другого типу забезпечують виявлення та корекцію можливих викривлень, використовуючи коди, з наступним перезапиту викривленої інформації. Це – протоколи із вирішувальним зворотним зв'язком, прикладом яких є протоколи транспортного рівня TCP. Також, на основі теорії завадостійкого кодування, можлива розробка і використання протоколів, що забезпечують корекцію ймовірних викривлень за рахунок використання корегуючих кодів.

Мета статті. Авторами статті здійснено спробу визначити час доставки та час затримки в доставці інформаційних об'єктів і порівняти за цими показниками різновиди протоколів із застосуванням вирішуючого зворотного зв'язку (ВЗЗ) та протоколи із виявленням та корекцією викривлень – із застосуванням завадостійких корегуючих кодів (ЗКК).

Умови досліджень. Ряд важливих для практичного застосування рекомендацій отримано на основі аналізу впливу стану каналів на характеристики процедур обміну інформацією в телекомунікаційних мережах [1, 2]. Як визначальну характеристику стану каналів використано інтенсивність завад λ , яка добре описує стан каналу, але її практичне визначення має певні утруднення.

Автори даної статті пропонують здійснити порівняння процедур обміну з виявленням та корекцією викривлень (із ЗКК) та із застосуванням вирішуючого зворотного зв'язку (із ВЗЗ), базуючись на більш поширеній характеристиці стану каналів для передачі цифрової інформації – ймовірності викривлення символу $P_{\text{випр}}$. Її визначення є технічно більш простою задачею, оскільки, як відомо [2], ця ймовірність в точці приймання є функцією співвідношення сигнал/завада та застосованого в каналі методу модуляції сигналу – амплітудної, фазової чи частотної. Відомі співвідношення [2] дають оцінки кількості викривлень n_e , що припадають на один інформаційний об'єкт, наприклад на один пакет, із загальною кількістю символів n , і дозволяють перейти від характеристики стану каналу у вигляді інтенсивності завад λ до характеристики стану каналу у вигляді ймовірності викривлення символу $P_{\text{випр}}$:

$$n_e = n \cdot P_{\text{випр}},$$

З урахуванням того, що час, необхідний для передачі одного пакету, $t_n = n / B$, кількість викривлень n_e , які припадають на цей часовий інтервал, визначиться з виразу:

$$n_e = \lambda \cdot t_n = \lambda \cdot n / B,$$

де: n – загальна кількість символів базового кодового слова, B – технічна швидкість передачі інформації (символів/с).

Оскільки ліві частини цих рівнянь визначені однією і тією ж змінною, то вірним є співвідношення:

$$n \cdot P_{\text{випр}} = \lambda \cdot n / B.$$

Отже, оцінка інтенсивності завад для каналу із визначеними технічною швидкістю передачі інформації B та співвідношенням сигнал/завада матиме вигляд:

$$\lambda = B \cdot P_{\text{випр}}.$$

Зрозуміло, що отримання цілісної та достовірної інформації вимагає витрати часу для контролю, а в разі виявлення наявності викривлень, і для поновлення порушеної цілісності інформаційних об'єктів. Це призводить до зменшення швидкості обміну інформаційними об'єктами і до збільшення часу затримки в доставці повідомлень. На відміну від технічної швидкості передачі B – швидкості передачі у відповідних каналах будь-яких символів, незалежно від їх семантичного змісту та вірності, назвемо швидкість передачі суто інформаційних символів достовірної інформації *абсолютною швидкістю* інформаційного обміну – B_a . Вважатимемо, що передача інформації здійснюється у вигляді пакетів, контроль цілісності виконується після приймання даного пакету, а потік впливів (викривлень) на інформаційні об'єкти - найпростіший. Останнє припущення дозволяє вважати підпорядкованою закону Пуассона кількість викривлень n_e на інтервалі передачі пакету t_n , а ймовірність виникнення рівно k подій обчислити із виразу

$$P_k(t_n) = (\lambda \cdot t_n)^k \exp(-\lambda \cdot t_n) / (k!) = (n \cdot P_{\text{випр}})^k \exp(-n \cdot P_{\text{випр}}) / (k!), \quad (1)$$

де t_n – часова тривалість пакету, λ – інтенсивність впливів.

Оцінювання впливу протоколів організації обміну в ТКС на абсолютну швидкість інформаційного обміну. У протоколах, що використовують ВЗЗ з очікуванням, передача чергового пакету здійснюється тільки після отримання з приймальної сторони сигналу правильності прийому V . Припустимо, при довжині пакету n елементів m символів – суто інформаційні, а $k = (n - m)$ – службові, такі як заголовок пакету, контрольні ознаки тощо. Після передачі чергового пакету передаюча сторона очікує на підтвердження – квитанцію, довжина інформаційної частки якої є вкрай незначною, так що її загальна довжина близька до величини $k \approx (n - m)$. Отримане повідомлення, у разі виявлення на приймальній стороні помилки, стирається, а на передаючу сторону видається квитанція – сигнал перезапиту W для повторення передачі попереднього пакету. За умов негативного підтвердження або перевищення часу тайм-ауту, пакет передається повторно. Пакет стирається з накопичувача передавача лише після отримання позитивного підтвердження.

При цьому після передачі попереднього пакету час очікування, через який передавач видасть черговий або повторить попередній пакет, визначатиметься:

$$t_{\text{оч}} = 2t_p + t_n + t_k + t_q + t_{nk} + t_{ac},$$

де: $t_p = D / V_c$ – час розповсюдження сигналу від передавача до приймача чи зворотно у відповідному середовищі (вільний простір, кабель тощо), D – довжина лінії зв'язку для передачі сигналу, V_c – швидкість передачі сигналу в середовищі розповсюдження; $t_n = n / B$ – час, потрібний для приймання пакету; t_k – час формування і видачі квитанції (V або W); t_q – час декодування (пошуку наявності помилки) прийнятого пакету; $t_{nk} = (n - m) / B$ – час, потрібний для приймання квитанції (V або W); t_{ac} – час аналізу квитанції (V або W).

Тобто $t_{\text{оч}} = 2t_p + n / B + t_k + t_q + (n - m) / B + t_{ac}$. За умов такої організації обміну в разі успішної передачі m інформаційних символів (тобто отримано сигнал V) витрачається

$(t_n + t_{oc})$ одиниць часу. На даному інтервалі часу абсолютна швидкість передачі інформації з імовірністю $P_0(t_n + t_{oc}) = \exp(-n \cdot P_{вукр})$ дорівнює $B_{a1}^l = m / t_{oc} = m / (t_n + t_{oc})$.

За умови неуспішної передачі на цьому ж інтервалі часу (отримано сигнал W) абсолютна швидкість передачі інформації з ймовірністю $P_{>0}(t_n + t_{oc}) = 1 - \exp(-n \cdot P_{вукр})$ дорівнює нулю $B_{a1} = 0$, оскільки передачі нової інформації при цьому не здійснюється.

Це означає, що середнє значення абсолютної швидкості для такої організації обміну:

$$B_{a1} = B_{a1}^l \cdot \exp(-n \cdot P_{вукр}) = \exp(-n \cdot P_{вукр}) \cdot m / (t_n + t_{oc}) \quad (2)$$

Зауважимо, що в каналі без завад при $P_{вукр} = 0$ абсолютна швидкість $B_{a10} = m / (t_n + t_{oc})$, а при $P_{вукр} \rightarrow 1/n$ абсолютна швидкість становитиме $B_{a11} = 0,37 \cdot m / (t_n + t_{oc})$.

У разі оцінювання швидкості передачі в протоколах з використанням *B33 з безперервною (послідовною) передачею*, слід урахувати, що один цикл такого обміну складається із інтервалу обміну випадкової довжини та інтервалу повторної передачі можливих викривлень у кількості γ повідомлень, де γ – ємність накопичувача. Для визначеного потоку викривлень із законом розподілу Пуассона середня тривалість часового інтервалу між викривленнями (між перезапитами) дорівнює $t_{нпер} = 1/\lambda = 1/(B \cdot P_{вукр})$. Оскільки передача одного пакету потребує n/B одиниць часу, за визначений часовий інтервал буде передано пакетів у кількості $N_{нпер} = B \cdot t_{нпер} / n = 1/(n \cdot P_{вукр})$.

За умови перезапиту із накопичувача приймача стираються всі γ повідомлень і здійснюється їх повторна передача. Оскільки ємність накопичувача має задовольняти виразу $\gamma \geq 1 + t_{oc} / t_n$, то час повторної передачі повідомлень складе $t_{nn} = n \cdot (1 + t_{oc} / t_n) / B$.

Отже для передачі $B \cdot t_{nn} / n$ пакетів та γ повторень потрібен час:

$$(t_{нпер} + t_{nn}) = 1/(B \cdot P_{вукр}) + n \cdot (1 + t_{oc} / t_n) / B = \{[1 + P_{вукр} \cdot (n + B \cdot t_{oc})] / (B \cdot P_{вукр})\}.$$

Оскільки за цей час передається $m \cdot N_{нпер} = m / (n \cdot P_{вукр})$ власне інформаційних символів, то абсолютна швидкість передачі інформації на інтервалі часу $(t_{нпер} + t_{nn})$ дорівнює:

$$B_{a2} = (m / (n \cdot P_{вукр})) / \{[1 + P_{вукр} \cdot (n + B \cdot t_{oc})] / (B \cdot P_{вукр})\}$$

$$\text{Звідки витікає:} \quad B_{a2} = (m \cdot B / \{n \cdot [1 + P_{вукр} \cdot (n + B \cdot t_{oc})]\}) \quad (3)$$

Акцентуємо увагу, що в каналі без завад при $P_{вукр} = 0$ абсолютна швидкість $B_{a20} = B \cdot m / n$, а при $P_{вукр} \rightarrow 1/n$ ця величина становить $B_{a21} = (B \cdot m / n) / (2 + t_{oc} / t_n)$.

При визначенні швидкості інформаційного обміну для протоколів з використанням *B33 з адресним перезапитом* слід урахувати, що, на відміну від попередньо розглянутого протоколу, цикл такого обміну містить інтервал обміну випадкової довжини $t_{нпер} = 1/(B \cdot P_{вукр})$ та інтервал повторної передачі лише одного, викривленого, повідомлення, який дорівнює $t_{nn} = n/B$. Отже, для передачі $B \cdot t_{nn} / n$ пакетів та одного повторення потрібен час:

$$(t_{нпер} + t_{nn}) = 1/(B \cdot P_{вукр}) + n/B = (1 + P_{вукр} \cdot n) / (B \cdot P_{вукр}).$$

Оскільки за цей час $(t_{нпер} + t_{nn})$ передається $m \cdot N_{нпер} = m / (n \cdot P_{вукр})$ суто інформаційних символів, то абсолютна швидкість передачі інформації становитиме

$$B_{a3} = (m / (n \cdot P_{вукр})) / [(1 + P_{вукр} \cdot n) / (B \cdot P_{вукр})], \text{ з чого випливає}$$

$$B_{a3} = m \cdot B / [(n \cdot (1 + P_{вукр} \cdot n))] \quad (4).$$

Зауважимо, що в каналі без завад при $P_{вукр} = 0$ абсолютна швидкість $B_{a30} = B \cdot m / n$, а при $P_{вукр} \rightarrow 1/n$ ця величина становитиме $B_{a31} = (B \cdot m / n) / 2$.

Для протоколів з використанням ЗКК характерна відсутність перезапиту і цикл обміну складатиметься лише із інтервалу передачі одного пакету $t_n = n/B$. У разі, якщо кількість викривлень не перевищує можливості коду, здійснюється передача пакету із n символів, із яких $m_{ЗКК}$ є інформаційними. Для визначеності вважатимемо, що протокол обміну передбачає використання завадостійкого корегувального коду із можливістю виявлення та виправлення *поодиноких* викривлень. Тоді за час передачі пакету t_n ймовірність передачі пакету із n символів, із яких $m_{ЗКК}$ є інформаційними, дорівнює ймовірності появи не більше одного викривлення, тобто дорівнюватиме:

$$P_0(t_n) + P_1(t_n) = \exp(-\lambda \cdot t_n) + (\lambda \cdot t_n) \cdot \exp(-\lambda \cdot t_n) = (1 + \lambda \cdot t_n) \cdot \exp(-\lambda \cdot t_n) = (1 + P_{\text{викр}} \cdot n) \cdot \exp(-P_{\text{викр}} \cdot n).$$

Тоді з імовірністю $\{1 - [P_0(t_n) + P_1(t_n)]\}$ кількість викривлень на інтервалі тривалості пакету перевищить можливості коду, що слід сприймати як надходження недостовірної інформації, а отже – як відсутність обміну.

З урахуванням викладеного середня кількість прийнятих на інтервалі t_n суто інформаційних символів складе $m_{ЗКК} \cdot (1 + P_{\text{викр}} \cdot n) \cdot \exp(-P_{\text{викр}} \cdot n)$, а абсолютна швидкість передачі інформації відповідно:

$$B_{a4} = (B \cdot m_{ЗКК} / n) \cdot (1 + P_{\text{викр}} \cdot n) \cdot \exp(-P_{\text{викр}} \cdot n) = m_{ЗКК} / n \cdot B \cdot (1 + P_{\text{викр}} \cdot n) \cdot \exp(-P_{\text{викр}} \cdot n).$$

Залежності абсолютної швидкості передачі B_a від імовірності викривлень $P_{\text{викр}}$ представлено на рис. 1.

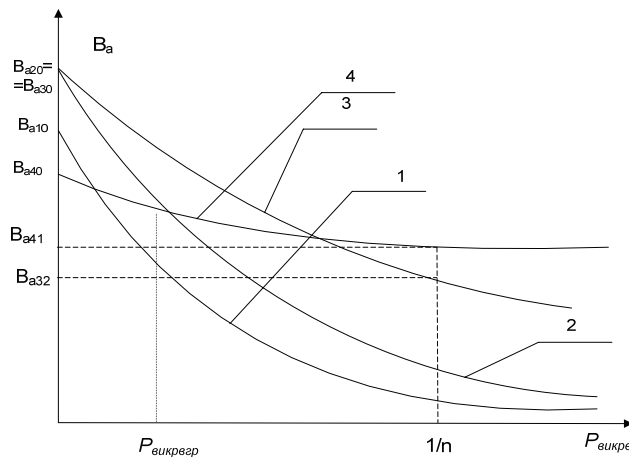


Рис. 1. Залежності абсолютної швидкості від імовірності викривлень для ВЗЗ: 1 – із очікуванням; 2 – із послідовною передачею; 3 – із адресним перезачитом; 4 – із застосуванням ЗКК.

Зауважимо, що в каналі без завад при $P_{\text{викр}} = 0$ абсолютна швидкість $B_{a40} = B \cdot m_{ЗКК} / n$, а при $P_{\text{викр}} \rightarrow 1/n$ відповідно $B_{a41} = 0,74 \cdot (B \cdot m_{ЗКК} / n)$.

Висновки. Отже, протоколи організації обміну із ВЗЗ за абсолютною швидкістю передачі є більш ефективними (за умови $B_{a1} > B_{aЗКК}$) ніж протоколи організації обміну з ЗКК лише при доброму стані каналу, тобто малому значенні $P_{\text{викр}} < P_{\text{викр}_грі}$, де $P_{\text{викр}_грі}$ – величина імовірності викривлень, при якій абсолютна швидкість передачі даних для i – го типу протоколів із ВЗЗ дорівнює абсолютній швидкості передачі інформації для ЗКК (на рис. 1 $i = 4$). Окрім того відмітимо, що серед розглянутих протоколів із ВЗЗ найефективнішими є протоколи із адресним перезачитом.

Список літератури

1. Матов О.А., Василенко В.С. Будько М.М. Аналіз протоколів обміну інформацією у телекомунікаційних системах.// К.: Реєстрація, зберігання і обробка даних. - 2004. - № 4, том 6. с. 82 – 93.
2. Матов А.Я. Основы передачи дискретной информации. – Киев: КВИРТУ ПВО, 1977. –242 с.