

## АНАЛІЗ ПРОТОКОЛІВ РОЗПОДІЛЕНИХ МЕРЕЖ ІЗ ВИКОРИСТАННЯМ ВИРІШАЛЬНОГО ЗВОРОТНОГО ЗВ'ЯЗКУ

У статті розглянуто вплив протоколів із вирішальним зворотним зв'язком на доступність та цілісність інформаційних об'єктів розподілених обчислювальних мереж. Пропонуються аналітичні вирази для визначення основного чинника, що впливає на доступність та цілісність: абсолютної швидкості передачі інформаційних об'єктів в телекомунікаційних системах.

Ключові слова: доступність інформації, зворотний зв'язок, пропускна спроможність каналу, протоколи обміну, розподілені обчислювальні мережі.

**Вступ.** Основними властивостями захищеності інформації в телекомунікаційних мережах, які слід забезпечувати при організації обміну інформацією між її елементами, є цілісність та доступність відповідних інформаційних об'єктів. Ці властивості суттєво залежать не лише від стану каналів передачі даних, а й від здатності відповідних протоколів щодо виявлення та усунення спотворень та від швидкості інформаційного обміну, яку забезпечують ці протоколи [1-6]. З цього погляду усю різноманітність протоколів обміну можна розподілити на два типи [2-6]: протоколи із забезпеченням високошвидкісного обміну без забезпечення вимог щодо цілісності та доступності інформаційних об'єктів (протоколи типу IP, Frame relay) та протоколи із забезпеченням певного рівня цілісності та доступності переданих даних – протоколи типу TCP та V.42ITU-T, MNP (у певних режимах). Протоколи першого типу використовуються, як правило, на нижніх рівнях семирівневої моделі взаємодії відкритих систем, коли завдання щодо захищеності інформаційних об'єктів покладаються на протоколи вищих рівнів; протоколи другого типу частіше застосовують на транспортному рівнях. Отже, у будь-якому випадку завдання забезпечення цілісності та доступності інформаційних об'єктів вирішуються в протоколах взаємодії того чи іншого рівня.

Характерна риса найбільш розповсюджених протоколів другого типу – забезпечення корекції можливих спотворень за рахунок використання кодів, які виявляють присутність перших, з наступним перезапиту спотвореної інформації. Це – протоколи із вирішальним зворотним зв'язком такі, як, наприклад, протоколи транспортного рівня TCP. Завдання забезпечення потрібного рівня доступності трансформується при цьому в завдання максимізації швидкості чи мінімізації часу в доставці відповідних інформаційних об'єктів.

Таким чином при створенні нових чи при використанні існуючих мереж постає завдання оцінки можливостей протоколів, застосування яких задовольняє існуючі вимоги щодо цілісності та доступності та, відповідно, швидкості передачі інформаційних об'єктів.

Оцінці швидкості передачі інформаційних об'єктів в телекомунікаційних протоколах присвячено досить широке коло робіт [2-6]. Аналіз цих робіт надав можливість дійти висновку щодо того, що в них для визначення відносної швидкості інформаційного обміну не повною мірою враховані можливості протоколів із відновлення спотворених даних і використовуються показники, які є функціями інтенсивності завад.

**Постановка задачі.** Як відомо з [3-6], на швидкість обміну інформацією в телекомунікаційних мережах має значний вплив стан каналів, одним із показників якого є вище згадана інтенсивність завад. Зважаючи на суттєві ускладнення практичного визначення цього показника, авторами статті акцентовано увагу на спробі визначення та порівняльного аналізу характеристик процедур із застосуванням вирішального зворотного зв'язку (ВЗЗ) при використанні більш поширеної характеристики стану каналів передачі цифрової інформації – ймовірності спотворення символу  $P_{cn}$ , яка є функцією співвідношення сигнал / завада. На погляд авторів, для одержання більш адекватних оцінок слід також більш повно врахувати можливості протоколів із відновлення спотворених даних.

Відомо [6], що ймовірність спотворення символу в точці приймання є функцією співвідношення сигнал / шум та застосованого в каналі методу модуляції сигналу – амплітудної, фазової чи частотної. Саме завдяки цьому визначення ймовірності спотворення символу  $P_{cn}$  – технічно більш просте завдання.

Для здійснення переходу між зазначеними характеристиками стану слід скористатися двома з відомих співвідношень. Перше дає оцінку кількості спотворень  $n_{cn}$ , що припадають на одне повідомлення (базове кодове слово (БКС), кадр, блок) із загальною кількістю символів  $n$  при відомому значенні ймовірності спотворення символу:

$$n_{cn} = n \cdot P_{cn}.$$

З другого співвідношення можна визначити оцінку кількості спотворень  $n_{cn}$ , що припадають на часовий інтервал тривалістю  $t_c = n/B$ , тобто на час, який необхідно витратити для передавання одного БКС при відомому значенні інтенсивності завад  $\lambda$ :

$$n_{cn} = \lambda \cdot t_c = \lambda \cdot n/B.$$

Тут:  $n$  – загальна кількість символів (елементів) БКС;  $B$  – швидкість посимвольного передавання елементів повідомлень (технічна швидкість передачі, символи / с).

Змінними в обох виразах ліворуч є кількість спотворень  $n_{cn}$ , з чого випливає рівність їх правих частин:

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

Отже, інтенсивність завад для каналу із відомими технічною швидкістю передачі інформації  $B$  та співвідношенням сигнал / шум можна визначити як  $\lambda = B \cdot P_{cn}$ .

**Результати дослідження.** З метою отримання більш достовірної інформації будемо враховувати, у будь-якому випадку, витрати часу для контролю, а в разі виявлення наявності спотворень, то і для поновлення порушеної цілісності інформаційних об'єктів. Ці витрати зменшують швидкість обміну інформацією, збільшуючи час затримки в доставці повідомлень. Крім технічної швидкості передачі  $B$ , тобто швидкості передачі будь-яких символів у відповідних каналах, незалежно від їх семантичного змісту та достовірності, споживача більш цікавить швидкість передачі суто інформаційних символів достовірної інформації – абсолютна швидкість інформаційного обміну, яку будемо позначати через  $B_a$ .

Нехай передача інформації здійснюється у вигляді кадрів, контроль її цілісності здійснюється після приймання кадру, а потік завад, що впливають на інформаційні об'єкти (і, як наслідок, потік спотворень) – найпростіший.

Припустимо, кожний інформаційний кадр (пакет) складається з  $n$  елементів, із яких  $m$  – власне інформаційні,  $k = (n - m)$  – службові (контрольні ознаки, заголовки тощо). Для приймання такого кадру довжиною  $n$  елементів знадобиться час  $t_k = n/B$ . При виявленні помилки на передаючий бік видається сигнал перезапиту (квитанція) для повторної передачі, яка відбудеться через так званий час очікування  $t_{оч} = 2 \cdot t_p + t_n + t_{фк} + t_{nc} + t_{нк} + t_{ак}$ . Тут:  $t_p$  - час розповсюдження сигналу від передавача до приймача й у зворотному напрямку у відповідному середовищі (різноманітні типи кабелів або вільний простір), такий що  $t_p = D/V_c$ , де  $D$  - довжина лінії зв'язку,  $V_c$  - швидкість передачі сигналу у відповідному середовищі розповсюдження;  $t_k$  - час, необхідний для передачі інформаційного кадру,  $t_k = n/B$ ;  $t_{фк}$  - час формування і видачі квитанції;  $t_{nc}$  - час декодування (пошуку наявності спотворення) отриманого кадру;  $t_{нк}$  - час, необхідний для приймання квитанції, такий що  $t_{нк} = (n - m)/B$ ;  $t_{ак}$  - час, необхідний для аналізу квитанції.

При організації процесу обміну інформацією з використанням ВЗЗ з очікуванням врахуємо, що передача одного кадру (повідомлення) здійснюється за  $t_k = n/B$  одиниць часу,

після чого протягом часового інтервалу в  $t_{оч}$  очікується повідомлення про правильність чи неправильність прийнятого приймачем кадру. Можливість повідомлення про неправильність прийнятого кадру (перезапиту) настане, у середньому, через часовий інтервал  $t_{noch} = 1/\lambda = 1/(B \cdot P_{cn})$ . За цей час з урахуванням того, що час передачі одного повідомлення при відсутності спотворень дорівнює  $(t_k + t_{оч})$  буде передано:

$$N_{noch} = t_{noch} / (t_k + t_{оч}) = 1 / [B \cdot P_{cn} \cdot (t_k + t_{оч})]$$

інформаційних повідомлень.

При цьому буде повторно переданим останнє з повідомлень, для чого буде витрачено додатково  $n/B$  одиниць часу. Тобто загальні часові витрати складуть:

$$t_{noch} + t_k = 1 / (B \cdot P_{cn}) + t_k = (1 + n \cdot P_{cn}) / (B \cdot P_{cn}).$$

Зрозуміло, якщо за такий час передаватиметься  $m \cdot N_{noch} = m / [B \cdot P_{cn} \cdot (t_k + t_{оч})]$  власне інформаційних символів, то швидкість передачі суто інформаційних символів на цьому інтервалі часу дорівнюватиме:

$$B_{a1} = m \cdot [B \cdot P_{cn}] / \{ [B \cdot P_{cn} \cdot (t_k + t_{оч})] \cdot (1 + n \cdot P_{cn}) \} = m / [(t_k + t_{оч}) \cdot (1 + n \cdot P_{cn})].$$

**Назвемо цю швидкість передачі суто інформаційних символів абсолютною швидкістю передачі.** За умов відсутності завад у каналі зв'язку, тобто при  $P_{cn} = 0$ , абсолютна швидкість передачі дорівнюватиме  $B_{a11} = m / (t_k + t_{оч}) = m \cdot B / (n + B \cdot t_{оч})$ , а при  $P_{cn} \rightarrow 1/n$ , ця величина становитиме:

$$B_{a12} = m / [2 \cdot (t_k + t_{оч})],$$

тобто зменшується удвічі, порівняно із каналом без завад.

При організації процесу обміну інформацією з **використанням ВЗЗ з потоковою (безперервною) передачею** слід врахувати, що передавання інформаційних блоків здійснюється на приймальний бік із одночасним їх записом у накопичувач. Необхідна ємності запам'ятовуючого пристрою є такою, що  $\gamma \geq 1 + t_{оч} / t_c$ . Це передавання триває поки з приймального боку не надійде сигнал про наявність спотворень у прийнятих повідомленнях. При цьому на приймальному боці здійснюється стирання, а передавач забезпечує повторну передачу усіх  $\gamma$  повідомлень (кадрів, блоків).

Для визначення швидкості при поточковій передачі врахуємо, що можливість чергового перезапиту настане також, у середньому, через часовий інтервал  $t_{nnp} = 1/\lambda = 1/(B \cdot P_{cn})$ . Оскільки передача одного повідомлення здійснюється за  $n/B$  одиниць часу, за цей час буде передано

$$N_{nnp} = t_{nnp} / (n/B) = B \cdot t_{nnp} / n = B / [(B \cdot P_{cn}) \cdot n] = 1 / (n \cdot P_{cn})$$

інформаційних повідомлень.

У запам'ятовуючому пристрої приймача, при необхідності перезапиту, повідомлення у кількості, що дорівнює ємності накопичувача (запам'ятовуючого пристрою) –  $\gamma$  видаляються, а передавач дублює їхню передачу. Враховуючи необхідність ємності запам'ятовуючого пристрою, такої що  $\gamma \geq 1 + t_{оч} / t_c$ , час повторної передачі складе  $t_{nn} = n \cdot (1 + t_{оч} / t_c) / B = n \cdot (1 + B \cdot t_{оч} / n) / B$ .

Отже, час для передачі  $N_{nnp} = 1 / (n \cdot P_{cn})$  повідомлень та  $\gamma$  повторень становитиме не менше ніж:

$$(t_{nnp} + t_{nn}) = 1 / (B \cdot P_{cn}) + n \cdot (1 + B \cdot t_{оч} / n) / B = (1 + P_{cn} \cdot (n + B \cdot t_{оч})) / (B \cdot P_{cn}).$$

Зрозуміло, якщо за такий час передаватиметься  $m \cdot N_{nnp} = m / (n \cdot P_{cn})$  власне інформаційних символів, то швидкість передачі суто інформаційних символів на цьому інтервалі часу дорівнюватиме:

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

або

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

За умов відсутності завад у каналі зв'язку, тобто при  $P_{cn} = 0$ , абсолютна швидкість передачі дорівнюватиме  $B_{a21} = m \cdot B / n$ , а при  $P_{cn} \rightarrow 1/n$ , ця величина становитиме:

$$B_{a22} = m \cdot B / (n + (1 + t_{oc}/t_k)) = m \cdot B / [n + (t_k + t_{oc})/t_k].$$

**Визначення абсолютної швидкості** при організації передачі інформації за допомогою протоколів з використанням ВЗЗ з адресним перезапитом (селективне повторення) ґрунтується на наступних розрахунках.

Для оцінки відносної швидкості передачі врахуємо, що передавання інформаційних блоків здійснюється як і при використанні ВЗЗ з потоковою (безперервною) передачею з тією відмінністю, що при наявності сигналу щодо спотворень у прийнятих повідомленнях здійснюється стирання і повторне передавання лише одного спотвореного повідомлення. Тоді час повторної передачі складе  $t_{nn} = n/B$ .

Отже, час для передачі  $N_{nпер} = 1/(B \cdot P_{cn})$  повідомлень та одного повторення складе:

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

Оскільки за такий час передаватиметься  $m \cdot N_{nпер} = m/(n \cdot P_{cn})$  власне інформаційних символів, то швидкість передачі суто інформаційних символів на цьому інтервалі часу дорівнюватиме:

$$B_{a3} = [m/(n \cdot P_{cn})] / [(1 + n \cdot P_{cn}) / (B \cdot P_{cn})],$$

або

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

За умов відсутності завад у каналі зв'язку, тобто при  $P_{cn} = 0$ , абсолютна швидкість передачі дорівнюватиме  $B_{a31} = m \cdot B / n$ , а при  $P_{cn} \rightarrow 1/n$ , ця величина становитиме  $B_{a32} = m \cdot B / (2n)$ , тобто зменшується удвічі, порівняно із каналом без завад.

Залежності абсолютної швидкості передачі  $B_a$  від імовірності спотворень  $P_{випр}$  подано на рис. 1, з якого видно, що найбільш ефективними за абсолютною швидкістю передачі є протоколи організації обміну із ВЗЗ з адресним перезапитом.

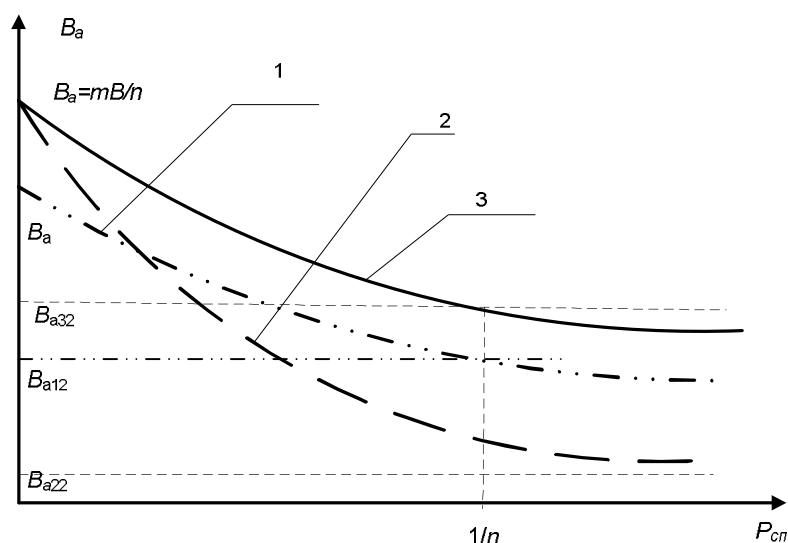


Рис. 1. Залежності абсолютної швидкості від імовірності спотворень: 1 – ВЗЗ із очікуванням; 2 – ВЗЗ із послідовною передачею; 3 – ВЗЗ із адресним перезапитом

**Висновки.** В статті з метою більш адекватних оцінок щодо швидкості передачі інформаційних об'єктів як основну характеристику систем передачі даних використано імовірність спотворення символів. Одержано вирази для визначення швидкості інформаційного обміну і здійснено порівняння за цим показником основних протоколів із застосуванням вирішального зворотного зв'язку: із очікуванням, потоковий метод та адресний перезапит. Такі математичні вирази дозволяють здійснювати обґрунтований вибір найефективнішого протоколу шляхом їх порівняння за цим показником. Зокрема, можна стверджувати, що за абсолютною швидкістю інформаційного обміну протоколи із застосуванням вирішального зворотного зв'язку з адресним перезапитом є ефективнішими за інші протоколи з вирішальним зворотним зв'язком.

#### ЛІТЕРАТУРА:

1. Олифер В. Г. Компьютерные сети. Принципы, технологии, протоколы. / В. Г. Олифер, Н. А. Олифер: Учебник для вузов. 3-е изд. // СПб.: Питер, 2006. – 958 С: ил.
2. Пасковатый А. Модемные протоколы коррекции ошибок: V.42 против MNP2-4. /А. Пасковатый // На сайті: <http://www.analytic.ru>.
3. Бунин С.Г. Сравнительная оценка СПД с решающей обратной связью и с использованием корректирующих кодов. / С.Г. Бунін, В.С. Василенко// К.: Управляющие системы и машины. –1992. – № 9/10. – с. 30 – 35.
4. Матов О.А. Аналіз протоколів обміну інформацією у телекомунікаційних системах. / О.Я. Матов, В.С. Василенко, М.М. Будько // К.: Реєстрація, зберігання і обробка даних. - 2004. - № 4, том 6. с. 82 – 93.
5. Матов О.А. Порівняльний аналіз процедур обміну інформацією в телекомунікаційних системах. / О.Я. Матов, В.С. Василенко К.: Реєстрація, зберігання і обробка даних. - 2005. - № 4, том 6. с. 85 – 98.
6. Василенко В.С. Модель підвищення пропускної спроможності каналів обчислювальних мереж. Рівняння частотно – енергетичного балансу. / В.С. Василенко // Матеріали VI Міжнародної науково-практичної конференції “NÁSTROLNÍ MODERNÍ VĚDY – 2010” (27.09 – 05.10.2010). – Т. 9. Moderní informační technologie.: Praha: “Publishing House” ”Education and Science” s.r.o. 2010. – с. 88–91.

Надійшла: 11.04.2012

Рецензент: д.т.н., проф. Коначович Г.Ф.