

УДК 623.004.67

Н.О. Балабасьова, В.М. Лиска

Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків

## СИСТЕМНИЙ ПІДХІД ДО ПАКЕТНОЇ ПЕРЕДАЧІ ІНФОРМАЦІЇ

В статті досліджений різновид системи з пакетною передачею інформації, яка забезпечує більш високу інформаційну швидкість у порівнянні з існуючими системами з повним повтором пакету у випадку виявлення помилки при першій передачі, розробка системного підходу до пакетної передачі інформації та опис експерименту, який дозволяє зробити остаточний висновок про досягнення нової технології передачі пакетної цифрової інформації, в якій кожен пакет містить не тільки передавані дані, але і службові біти.

**Ключові слова:** пакетна передача інформації, протокол передачі з повним повтором.

## Вступ

**Постановка задачі.** Широке поширення технології передачі пакетної цифрової інформації, в якій кожен пакет містить не дані, які передаються, але і службові біти ("накладні витрати"), що не переносять інформацію, яка передається. Вирішення цієї задачі значно підвищило ефективність вимірювально-інформаційних систем різноманітних галузей промисловості народного господарства України. Питання, які присвячені застосуванню систем з пакетною передачею інформації розглядається і є актуальним для народного господарства України.

**Аналіз літератури** В відомій літературі [1 – 2] визначаються теоретичні основи системного аналізу передачі даних та підвищення швидкості інформаційного обміну в комп'ютерних мережах, але в цій літературі не визначається питання, пов'язані з дослідженням створення системи з пакетною передачею пакетної інформації.

**Метою статті** є розробка системного підходу до пакетної передачі інформації та опис експерименту, який дозволяє зробити остаточний висновок про досягнення нової технології передачі пакетної цифрової інформації, в якій кожен пакет містить не тільки дані, які передаються, але і службові біти ("накладні витрати"), що не переносять інформацію, яка передається.

## Основний матеріал

Сьогодні найбільш поширеною технологією передачі цифрової інформації є пакетна, в якій кожен пакет містить не тільки дані, які передаються, але і службові біти ("накладні витрати"), що не переносять інформацію, яка передається. До них відносяться прапори, адресні біти, надмірність, що штучно вводиться, при використанні, код, що коректують, контрольні біти. На рис. 1 приведена структура пакету.

Накладні витрати являються причиною того, що швидкість передачі інформації завжди нижча за швидкість передачі бітів. Це дозволяє говорити про ефективність передачі, яка має вираз

$$E = \frac{\text{Число біт передаваної інформації}}{\text{Число біт, використаних при передачі}}$$

Оскільки чисельник цього дробу завжди менше знаменника, то актуальним є завдання дослідження системи пакетної передачі з метою підвищення ефективності. Досягнення цієї мети можливо двома шляхами – зменшенням накладних витрат і/або збільшенням числа біт інформації, яка передається. Перший шлях має реальне обмеження, оскільки характер і розміри службових полів в пакеті стандартизовані. Використання другого шляху обмежується різким збільшенням часу передачі за рахунок повторної і подальших передач у разі виявлення помилки. Тому можна говорити про існування оптимальної довжини інформаційного поля пакету, при якій мінімізується час доставки повідомлення (пакету) в залежності від реальної ймовірності помилок.

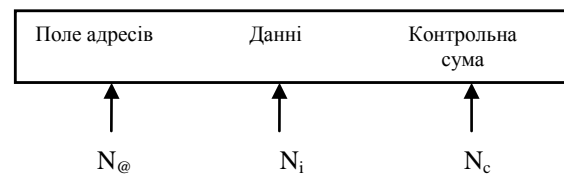


Рис. 1. Структура пакету

Визначимо важливі параметри протоколу передачі інформації:  $T$  – час передачі одного пакету;  $E$  – ефективність протоколу;  $N_{opt}$  – оптимальний об'єм інформації, при якому ефективність максимальна;  $L$  – межа ефективності, коли об'єм інформації  $N_i$  прагне до нескінченності.

Далі будуть використані наступні скорочення і аббревіатури:  $T_p$  – час розповсюдження сигналу між передавачем і приймачем, що є постійною величиною, залежною тільки від швидкості сигналу в лінії зв'язку і відстані між входом і виходом мережі;  $D$  – швидкість передачі в бітах/с, або електрична швидкість, залежна тільки від природи лінії зв'язку (кабель, волоконно-оптична лінія, супутниковий канал і

т. д.);  $P_b$  – ймовірність того, що один біт не буде прийнятий коректно, тобто ймовірність помилки на біт;  $N_i$  – об'єм передаваної інформації в бітах;  $N_{@}$  – розмір адресного поля в пакеті в бітах;  $N_c$  – розмір поля контрольної суми в пакеті в бітах;  $N_{ack}$  – розмір підтверджуючого повідомлення в бітах.

Першим розглянемо протокол передачі з повним повтором. Цей протокол є найбільш простим і широко поширеним. Він ґрунтується на повторній передачі пакетів, прийнятих з помилкою. При виявленні помилки в прийнятому пакеті передача повторюється до тих пір, поки пакет не буде прийнятий вірно. Подібне завдання коротко розглядалися в роботах [1, 2]. При подальшому дослідженні приймається, що повідомлення, підтверджуюче правильність прийнятого пакету, контрольна сума і прапори передаються без похибок.

Кожен пакет складається з  $N_{@} + N_i + N_c$  біт.

Тому ймовірність правильної передачі пакета в загальному вигляді  $P = 1 - P_b^{N_i + N_{@} + N_c}$ .

Ймовірність  $j$  повторень передачі в загальному вигляді  $P = P_0 \cdot 1 - P_0^j$ .

Розглянемо два можливі випадки.

*Випадок без повторних передач (вдала перша спроба).*

Число передаваних біт  $N_0$  і час передачі:

$$N_0 = N_i + N_{@} + N_c + N_{ack};$$

$$T_0 = \frac{N_i + N_{@} + N_c + N_{ack}}{D} + 2T_p.$$

*Випадок повторних  $j$  передач.*

Кількість передаваних бити  $N_j$  час передачі  $T_j$ :

$$N_j = j+1 \cdot N_i + N_{@} + N_c + N_{ack} = j+1 \cdot N_0;$$

$$T = \frac{j+1 \cdot N_i + N_{@} + N_c + N_{ack}}{D} + 2 \cdot j+1 \cdot T_p = j+1 \cdot T_0.$$

Тому час передачі і ефективність

$$T = \frac{N_i + N_{@} + N_c + N_{ack} + 2T_p}{D \cdot 1 - P_b^{N_i + N_{@} + N_c}};$$

$$E = \frac{N_i \cdot 1 - P_b^{N_i + N_{@} + N_c}}{N_i + N_{@} + N_c + N_{ack}}. \quad (1)$$

Граничне значення ефективності:

$$L = \left[ \lim_{N_i \rightarrow \infty} N_i \cdot 1 - P_b^{N_i + N_{@} + N_c} \right] \times \left[ \lim_{N_i \rightarrow \infty} \frac{1}{N_i + N_{@} + N_c + N_{ack}} \right] = 0.$$

Це означає, що залежність ефективності від числа біт в передаваному пакеті має максимум, який відповідає оптимальному розміру пакету. Оптимальний об'єм інформації  $N_{opt}$ , при якому забезпечується максимум ефективності  $E$ , визначається з вирішення рівняння  $dE/dN_i = 0$

$$N_{opt} = \frac{N_{@} + N_c + N_{ack}}{2} \times \left( \sqrt{1 - \frac{4}{N_{@} + N_c + N_{ack} \ln 1 - P_b}} - 1 \right).$$

Як впливає з аналізу графіків рис. 2, зростання достовірності (шляхом зменшення ймовірності помилки на біт) розширенням області, прилеглою до оптимального значення  $N_{opt}$ . Це знижує вимогу до точності установки при апаратній реалізації розрахованого значення  $N_{opt}$ . Інформаційна частина пакету стає досить великою, так що її розміщення мало впливає на ефективність.

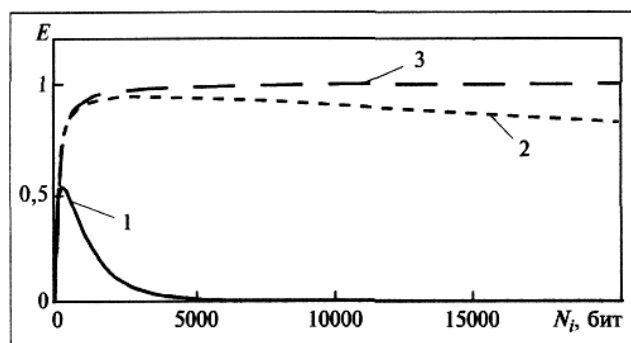


Рис. 2. Залежність  $E$   $N_i$  для трьох значень ймовірності похибки  $P_b$ :

$$1 - P_b = 10^{-3}; 2 - P_b = 10^{-5}; 3 - P_b = 10^{-7}$$

Розрахунки виконані для наступних початкових даних:  $T_p = 10$  мс;  $D = 65536$  біт/с;  $N_{@} = 32$  біт;  $N_c = 8$  біт;  $N_{ack} = 64$  біт. Ймовірність помилки  $P_b$  є одним з найбільш важливих параметрів, залеж-

них від каналу, тому розрахунки проведені для значень  $P_b$ . Найцікавіший результат відноситься до часу передачі, що виражено на рис. 3 для трьох значень  $P_b$ .

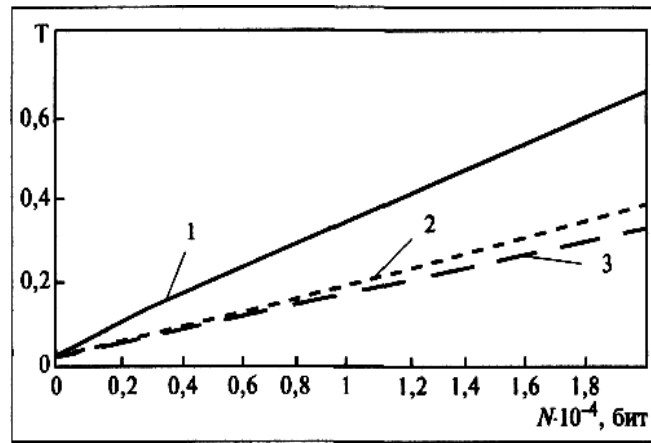


Рис. 3. Залежність  $T N_i$  від ймовірності помилки  $P_b$  в системі з повним повтором: 1 –  $P_b=10^{-3}$ ; 2 –  $P_b=10^{-5}$ ; 3 –  $P_b=10^{-7}$

Графік демонструє істотний вплив ймовірності помилки на час передачі  $T$ . Як правило, час передачі зменшується при вищій достовірності передачі інформації в каналі.

Мінімальний час передачі забезпечується при  $N_i = 0$ . При цьому  $T > 0$ , оскільки службова інформація передається у будь-якому випадку.

Як видно з графіків, оптимальне значення ефективності збільшується зі зменшенням ймовірності помилки. Це пояснюється тим, що пакет конкретного розміру в цьому випадку передається з меншої кількості спроб.

Розглянута система зв'язку з повним повтором пакету, прийнятого з помилкою, володіє визначеною надмірністю з позиції витрат часу на передачу повідомлення.

Одним з шляхів використання резерву підвищення ефективної швидкості доставки інформації в системі зв'язку є організація передачі з діленням пакета.

Методична основа цього – довільне виникнення помилки в першій або в другій половині пакету. Відношення сигнал/шум в системі визначає вибір такого розміру пакету, при якому ймовірність появи двох помилок в одному пакеті стає малою.

При виявленні помилки повторно передається тільки одна половина пакету.

Потім перші половини пакету, передані в першій і другій спробах, зіставляються і, при необхідності, передається також і друга половина пакету. Час передачі в цьому випадку:

$$T = \left( \frac{5}{2} - \frac{3}{2} 1 - P_b^{N_i + N_{@} + N_c} \right) \times \left( 2T_p + \frac{N_i + N_{@} + N_{ack}}{D} \right) + \frac{3}{4} \frac{N_i}{D} 1 - P_b^{N_i + N_{@} + N_c} - 1. \quad (2)$$

Перші два протоколи можна зіставити по  $N_{opt}$  – оптимальному розміру пакету, при якому ефективність досягає максимуму. Ці значення зведені в таблицю. Як випливає з таблиці, є деякі відмінності в оцінці оптимальних розмірів блоків для двох протоколів відповідно до ймовірності помилки на біт. Другий протокол забезпечує вище значення  $N_{opt}$ , ніж перший.

Наступний, ще складніший протокол взаємодії передавальної і приймальної сторін системи зв'язку, полягає в розбитті пакету на блоки. Кожен блок супроводжується контрольною сумою, а адресне поле є загальним для всіх блоків. Можна показати, що час передачі  $T$  і ефективність  $E$  визначається:

$$T = 1 - p^k \left( 2T_p + \frac{N_{@} + N_{ack}}{D} \right) + k - p^k \frac{N_{block} + N_c}{D}; \quad (3)$$

$$E = \frac{N_i}{1 - p^k N_{@} + N_{ack} + k - p^k N_{block} + N_c}; \quad (4)$$

$$k = R \left[ \frac{N_i - 1}{N_{block}} \right] + 1,$$

де  $R x$  — ціла частина числа.

Порівняння результатів розрахунків часу передачі  $T$  і ефективності  $E$  по формулах (1), (2) і (3) показує, що із зростанням достовірності передачі інформації в системі залежності  $T N_i$  і  $E N_i$  зближуються і для  $P_b < 10^{-6}$  практично збігаються для всіх розглянутих протоколів.

На рис. 4 приведені залежності ефективності для трьох протоколів при ймовірності помилки  $P_b = 10^{-5}$ .

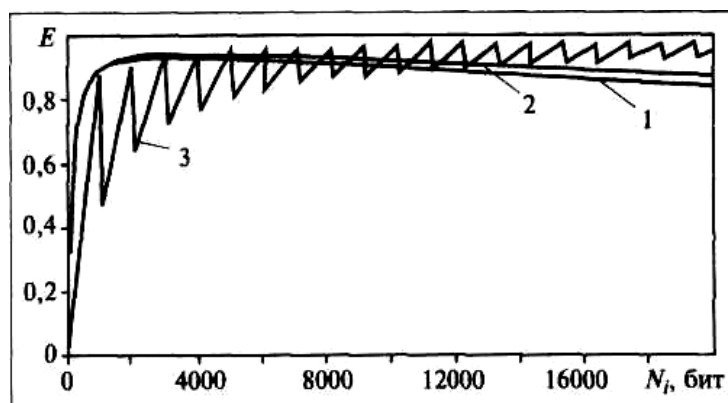


Рис. 4. Ефективність передачі пакету:  
1 – протокол 1; 2 – протокол 2; 3 – протокол 3

Розривний характер кривої ефективності передачі викликаний дискретною природою блоків, у відповідності до формули 4, тому криві не мають явно вираженого глобального максимуму за наявності великої кількості локальних екстремумів.

Даний протокол ефективний, коли розмір пакету, що відправляється, цілочисельно кратний розміру блоку, тобто коли всі блоки заповнені інформацією повністю. Якщо ж відношення  $N_i$  до  $N_{\text{block}}$  не ціле, то відправник повинен доповнювати останній блок довільними даними, що знижує ефективність. Зменшення ефективності стає більш істотним, якщо врахувати, що в цьому випадку необхідно передати певну кількість неінформативних біт.

## Список літератури

1. Пасько С.П. Повышение скорости информационного обмена в компьютерных сетях / С.П. Пасько, А.Г. Пресняков // Информационные технологии. – 1997. – № 8. – 158 с.
2. Мартин Дж. Системный анализ передачи данных / Дж. Мартин – Т. 2. – М.: Мир, 1975. – 462 с.

Надійшла до редколегії 20.08.2009

Рецензент: канд. фіз.-мат. наук, ст. наук. співр. О.О. Можасв, Національний технічний університет «ХПІ», Харків.

## СИСТЕМНЫЙ ПОДХОД К ПАКЕТНОЙ ПЕРЕДАЧЕ ИНФОРМАЦИИ

Н.А. Балабасєва, В.Н. Лиска

*В статье исследована разновидность системы с пакетной передачей информации, которая обеспечивает более высокую информационную скорость в сравнении с существующими системами с полным повтором пакета в случае обнаружения ошибки при первой передаче, разработка системного подхода к пакетной передаче информации и описание эксперимента, который позволяет сделать окончательный вывод о достижении новой технологии передачи пакетной цифровой информации, в которой каждый пакет имеет не только передаваемые данные, но и служебные биты.*

**Ключевые слова:** пакетная передача информации, протокол передачи с полным повтором.

## SYSTEMS APPROACH TO BATCH COMMUNICATION OF INFORMATION

N.A. Balabaseva V.N. lyska

*In the article there is the explored variety of the system with batch communication of information, which provides more high informative speed in comparison with the existent systems with complete repetition of package in the case of exposure of error at the low gear, development of systems approach to batch communication of information and description of experiments, to which allows to do a final conclusion about achievement of a new technology of package digital information transfer, in which every package the not passed information, but also official bats.*

**Keywords:** batch communication of information, protocol of transmission with complete repetition.