

Фрагментація пакетів в радіоканалах передачі даних

Головін В. А.

Національний технічний університет України “Київський політехнічний інститут”

E-mail: golva@meta.ua

В статті запропонована аналітична модель фрагментації пакетів в радіоканалі передачі даних. Так як максимальна довжина пакету для каналного та фізичного рівнів визначена з умов ефективної роботи мережі в цілому, то довжина пакету при малих значення бітової похибки в каналі може бути значно меншою від оптимальної, а при великих значення бітової похибки пропонується вибирати довжину фрагментів діленням максимальної довжини на рівні частини, за умови поліпшення ефективної швидкості передачі. Розроблена аналітична модель дозволяє, для вибраних параметрів циклу передачі даних протоколу ARQ з Stay And Wait, розрахувати значення ймовірності бітових помилок при яких необхідно змінити параметри фрагментації для отримання кращої ефективної швидкості передачі.

Ключові слова: фрагментація; радіоканал; ARQ; SAW

Вступ

Адаптивні алгоритми керування на різних рівнях архітектури забезпечують якісну роботу радіомережі із пакетною передачею даних.

Ефективна швидкість передачі даних в радіоканалі мережі визначається параметрами протоколу обміну на каналному та фізичних рівнях і характеристиками каналу поширення хвиль. Для гарантованої доставки пакетів використовують технологію з контролем достовірності отримання пакетів споживачем (ARQ, Automatic Repeat-reQuest) [1]. Ймовірність помилки в пакеті залежить від ймовірності бітової помилки (BER, Bit Error Rate) та довжини пакету. Наявність помилок в пакетах вимагає повторної передачі, що призводить до зменшення ефективної швидкості передачі даних. Фрагментація пакетів зменшує ймовірність помилки в пакеті, затримку повторної передачі фрагмента, що поліпшує ефективну швидкість передачі. Критерієм вибору розміру фрагментів пакету є ймовірність бітової помилки в каналі [1–4].

Максимальна довжина пакету в мережах обирається за критерієм ефективності роботи мережі в цілому. При фіксованій довжині пакету використання методики вибору оптимальної довжини фрагментів [2–4] ускладнює алгоритм та призводить до появи коротких фрагментів, після вибору фрагментів оптимальних довжин, і відповідно до зменшення ефективності. Для усунення такого ефекту та спрощення алгоритму пропонується виконувати фрагментацію методом ділення пакету на рівні частини в залежності від ймовірності бітової помилки в каналі.

1 Постановка задачі

Метою роботи є побудова аналітичної моделі для визначення точок, на шкалі ймовірності бітових помилок, в яких необхідно змінювати довжину фрагментів пакету для отримання кращої ефективної швидкості передачі даних.

2 Результати досліджень

Розглянемо ефективність протоколу ARQ із зупинкою та очікуванням (SAW - Stay And Wait), який використовується в IEEE 802.11 [5, 6].

Структура протокольного циклу [1] пакетної передачі даних ARQ SAW показана на рис. 1.

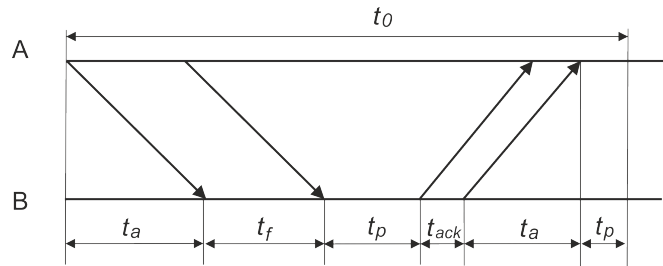


Рис. 1. Цикл передачі даних з підтвердженням
Загальна тривалість циклу передачі

$$t_0 = 2t_a + 2t_p + t_f + t_{ack} = 2(t_a + t_p) + \frac{n_f}{R} + \frac{n_a}{R} \quad (1)$$

де R – швидкість передачі в каналі, n_f – число біт корисної інформації, n_a – число біт пакету відповіді (ACK, Acknowledge), n_0 – число біт службової

інформації, в які входять заголовки, контрольна сума пакету, t_a — тривалість поширення, визначається відстанню між станціями, t_f — тривалість передачі пакету, t_p — тривалість обробки пакету в приймачі, t_{ask} — тривалість передачі відповіді (квитанції).

При втраті пакету відповіді повторна передача пакету даних виконується після закінчення часу таймауту t_t .

Ефективна швидкість передачі корисної інформації визначається

$$R_{ef} = \frac{n_f - n_0}{t_0} \quad (2)$$

Підставимо (1) в (2) та отримаємо ефективність C_0 швидкості передачі даних в каналі без шумів та завад

$$C_0 = \frac{\frac{n_f - n_0}{t_0}}{R} = \frac{1 - \frac{n_0}{n_f}}{1 + \frac{n_a}{n_f} + \frac{2(t_a + t_p)R}{n_f}} \quad (3)$$

При бітових помилках з випадковим розподілом в каналі ймовірність помилки в пакеті довжиною n_f визначається [2] $P_f = 1 - P = 1 - (1 - p)^{n_f}$, де p — ймовірність бітової помилки.

Середній час циклу передачі пакетів з ймовірністю P_f визначається [1] $E[t_t] = t_0 + \sum_{i=1}^{\infty} (i - 1)t_t(1 - P_f)P_f^{i-1} = t_0 + \frac{t_t P_f}{1 - P_f}$, де t_t — час таймауту. Якщо вибрати $t_t = t_0$, то

$$E[t_t] = \frac{t_0}{1 - P_f} \quad (4)$$

Підставляємо (5) в (3) та отримуємо ефективність C передачі протоколу з зупинками та очікуванням (ARQ SAW)

$$C = \frac{\frac{n_f - n_0}{E[t_t]}}{R} = (1 - P_f) \frac{1 - \frac{n_0}{n_f}}{1 + \frac{n_a}{n_f} + \frac{2(t_a + t_p)R}{n_f}} = (1 - P_f)C_0 \quad (5)$$

В мережах максимальна довжина пакету задана, так в IEEE 802.11 відповідає 2312 байтам [5], і вибирається з умов ефективної роботи всієї мережі.

Побудуємо графік ефективності протоколу (5) в залежності від p для різних довжин фрагментів пакету отриманих шляхом ділення максимальної довжини на 2, 3, 4... k для заданих параметрів $R = 1,5 \cdot 10^6$ біт/сек, $n_f = 2312$ байт, $n_0 = 8$ байт, $n_a = 8$ байт, $t_a = 5 \cdot 10^{-6}$, $t_p = 10 \cdot 10^{-6}$ циклу передачі даних (рис. 1).

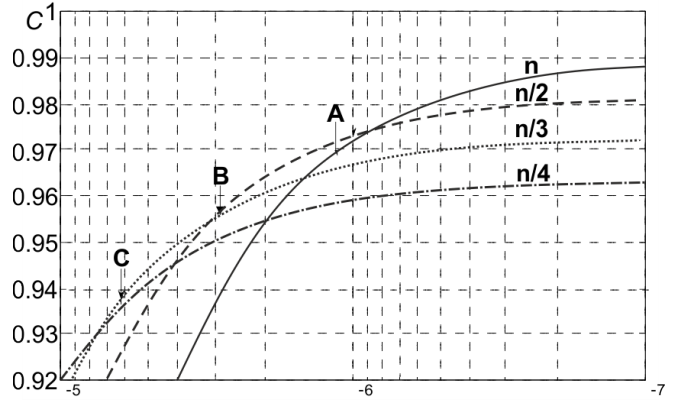


Рис. 2. Залежність ефективності передачі від ймовірності бітової помилки при різних довжинах фрагментів пакету

При виборі фрагментації пакету шляхом ділення максимальної довжини пакету на 2, 3, 4... k , максимальна ефективність швидкості передачі даних буде досягатись, якщо рухатись по обвідній графіків зліва направо. До точки А фрагментацію не виконуємо. Передача даних виконується на максимальній довжині пакету, яка вибрана в мережі. Від точки А до В пакет ділимо на два фрагменти, від точки В до С пакет ділимо на три фрагменти і т. д.

Для визначення p в точках, де необхідно виконувати зміну довжини фрагментів (точки А, В, С...), складемо рівняння

$$(1 - (1 - (1 - p)^{n_f})) \frac{1 - \frac{n_0}{n_f}}{1 + \frac{n_a}{n_f} + \frac{2(t_a + t_p)R}{n_f}} - (1 - (1 - (1 - p)^{\frac{n_f}{k}})) \frac{1 - \frac{n_0}{n_f/k}}{1 + \frac{n_a}{n_f/k} + \frac{2(t_a + t_p)R}{n_f/k}} = 0 \quad (6)$$

де n_f — довжина фрагменту до точки зміни, n_f/k — довжина фрагменту після точки зміни.

Наведемо аналітичні рішення рівняння (6) (точки D, E на рис. 2 не показані): точка А

$$p_A = 1 - ((n_a n_f - 2n_a n_0 - 2n_f n_0 + n_f^2 + 2R n_f t_a - 4R n_0 t_a + 2R n_f t_p - 4R n_0 t_p) / (2n_a n_f - 2n_a n_0 - n_0 n_f + n_f^2 + 4R n_f t_a - 4R n_0 t_a + 4R n_f t_p - 4R n_0 t_p))^{\frac{2}{n_f}}$$

точка В

$$p_B = 1 - ((6667n_a n_f - 10000n_a n_0 - 10000n_f n_0 + 6667n_f^2 + 13334R n_f t_a - 20000R n_0 t_a + 13334R n_f t_p - 20000R n_0 t_p) / (10000n_a n_f - 10000n_a n_0 - 6667n_0 n_f + 6667n_f^2 + 20000R n_f t_a - 20000R n_0 t_a + 20000R n_f t_p - 20000R n_0 t_p))^{\frac{10000}{3333n_f}}$$

точка С

$$p_C = 1 - ((3n_a n_f - 4n_a n_0 - 4n_f n_0 + 3n_f^2 + 6Rn_{ft_a} - 8Rn_{0t_a} + 6Rn_{ft_p} - 8Rn_{0t_p}) / (4n_a n_f - 4n_a n_0 - 3n_f n_0 + 3n_f^2 + 8Rn_{ft_a} - 8Rn_{0t_a} + 8Rn_{ft_p} - 8Rn_{0t_p}))^{\frac{4}{n_f}}$$

точка D

$$p_D = 1 - ((4n_a n_f - 5n_a n_0 - 5n_f n_0 + 4n_f^2 + 8Rn_{ft_a} - 10Rn_{0t_a} + 8Rn_{ft_p} - 10Rn_{0t_p}) / (5n_a n_f - 5n_a n_0 - 4n_f n_0 + 4n_f^2 + 10Rn_{ft_a} - 10Rn_{0t_a} + 10Rn_{ft_p} - 10Rn_{0t_p}))^{\frac{5}{n_f}}$$

точка E

$$p_E = 1 - ((8333n_a n_f - 10000n_a n_0 - 10000n_f n_0 + 8333n_f^2 + 16666Rn_{ft_a} - 20000Rn_{0t_a} + 16666Rn_{ft_p} - 20000Rn_{0t_p}) / (10000n_a n_f - 10000n_a n_0 - 8333n_f n_0 + 8333n_f^2 + 20000Rn_{ft_a} - 20000Rn_{0t_a} + 20000Rn_{ft_p} - 20000Rn_{0t_p}))^{\frac{10000}{1667n_f}}$$

В табл. 5 приведені результати вимірювання значень p по графіку та розрахунку по формулах.

Табл. 5

Точки на графіку	Вимірювання на графіку p	Розрахунок p
A	$1,007 \cdot 10^{-6}$	$1,0078 \cdot 10^{-6}$
B	$3,016 \cdot 10^{-6}$	$3,0147 \cdot 10^{-6}$
C	$6,018 \cdot 10^{-6}$	$6,0186 \cdot 10^{-6}$

Якщо вибирати довжину фрагментів діленням довжини максимального пакету на 2, 4, 8, ..., то для визначення точок переходу на іншу довжину фрагментів достатньо одного рішення рівняння в точці A.

Для оцінки відхилення вибраної довжини фрагментів від оптимальної при заданій ймовірності p визначимо з (5) оптимальну довжину пакету

$$n_{opt} = n_o/2 - n_a/2 - Rt_a - Rt_p - ((4R^2t_a^2 + 8R^2t_a t_p + 4R^2t_p^2 + 4Rn_a t_a + 4Rn_a t_p + 4Rn_0 t_a + 4Rn_0 t_p + 2n_a n_o + n_a^2 + n_o^2) \log(1-p)^2 + (-8Rt_a - 8Rt_p - 4n_a - 4n_o) \cdot \log(1-p))^{\frac{1}{2}} / 2 \log(1-p) \quad (7)$$

Оптимальна довжина пакету для вибраних параметрів циклу передачі даних при значеннях $p = 1,0078 \cdot 10^{-6}$ в точці A. Довжина пакету n_{opt} справа від точки A менше, а зліва більша на 30 % від вибраних довжин фрагментів $n_r = n_f = 2312$ та $n_l = n_f/2 = 1156$. В околі точок зміни розміру фрагментів ефективна швидкість передачі даних менше оптимальної через невідповідність розмірів довжини фрагментів оптимальній довжині, але досягає її величини в центральній частині інтервалу.

Визначимо з (7) ймовірність P_m бітової помилки для заданої довжини фрагменту

$$P_m = 1 - 1/exp((n_a + n_0 + 2Rt_a + 2Rt_p) / (N_m n_a - N_m n_0 - n_a n_0 + N_m^2 + 2N_m Rt_a + 2N_m Rt_p - 2Rn_{0t_a} - 2Rn_{0t_p})) \quad (8)$$

де N_m — довжина фрагменту.

Розрахуємо значення p , для яких довжини фрагментів n_r та n_k будуть оптимальними $P_{mr} = 5.0448 \cdot 10^{-7}$, $P_{mlr} = 2.032 \cdot 10^{-6}$. Таким чином, зміни кількості фрагментів в точці A можуть бути виконані при значенні $p = 1.0078 \cdot 10^{-6}$ або в середині інтервалу p від $2.032 \cdot 10^{-6}$ до $5.044 \cdot 10^{-7}$.

Наведені аналітичні рішення рівняння (6) дозволяють виконати розрахунок ймовірності бітових помилок в точках A, B, C, E, D при заданих параметрах циклу передачі даних і вибрати відповідний коефіцієнт ділення пакету на фрагменти.

Висновки

Запропоновано алгоритм фрагментації для каналів передачі даних з фіксованою максимальною довжиною пакетів шляхом ділення пакету на рівні частини та отримані аналітичні вирази для обчислення значень ймовірностей бітової помилки точок, в яких необхідно виконувати зміну довжини фрагментів для будь-яких параметрів циклу передачі даних.

Перелік посилань

1. Communication networks fundamental concepts and key architectures [Електронний документ]. – Режим доступу: <https://drive.google.com/file/d/0BwqixkskqQeUUtHbU45UH1oLU0>
2. Войтер А.П. Комплексний аналіз ефективної швидкості передачі в адаптивних пакетних радіомережах / А.П. Войтер // Наукові вісті НТУУ “КПІ”. – 2013. – № 6. – с. 7-12.
3. Yazid M. Analytical analysis of applying packet fragmentation mechanism on IEEE 802.11b DCF network in non ideal channel with infinite load conditions / M. Yazid, L. Bouallouche-Medjkoune, D. Aissani, L. Ziane-Khodja // Journal Wireless Networks. – 2014. – Vol. 20, Iss. 5. – pp. 917-934.
4. Minho K. Joint rate and fragment size adaptation in IEEE 802.11n wireless LANs / K. Minho, C. Chong-Ho; 2011 IEEE Consumer Communications and Networking Conference (CCNC). – Las Vegas, 9-12 Jan. 2011. – pp. 942 – 847.
5. Шиллер Й. Мобильные коммуникации / Йоган Шиллер; под ред. А.В. Назаренко. – М.: Изд-во “Вильямс”. – 2002. – 384 с.
6. Рощан П. Основы построения беспроводных локальных сетей стандарта 802.11 / П. Рощан, Дж. Лиэри; пер с англ. В.С. Гусева. – М.: Изд-во “Вильямс”. – 2004. – 304 с.

References

- [1] Communication networks fundamental concepts and key architectures. Available at: <https://drive.google.com/file/d/0BwqxikxskqQeUUtHbU45\UH1oLU0>
- [2] Voiter A.P. (2013) Comprehensive Analysis of the Effective Rate in Adaptive Packet Radio Networks. *Naukovi visti NTUU "KPI"*, No 6, pp. 7-12.
- [3] Yazid M., Bouallouche-Medjkoune L., Aissani D. and Ziane-Khodja L. (2014) Analytical analysis of applying packet fragmentation mechanism on IEEE 802.11b DCF network in non ideal channel with infinite load conditions. *Journal Wireless Networks*, Vol. 20, Iss. 5, pp. 917-934. DOI: 10.1007/s11276-013-0653-2
- [4] Minh K. and Chong-Ho C. (2011) Joint rate and fragment size adaptation in IEEE 802.11n wireless LANs. *Consumer Communications and Networking Conference (CCNC), 2011 IEEE*, pp. 942-947. DOI: 10.1109/CCNC.2011.5766646
- [5] Schiller J. H. (2003) *Mobile communications*. Pearson Education.
- [6] Roshan P. and Leary J. (2003) *Wireless Local-Area Network Fundamentals*. Cisco Press.

Фрагментация пакетов в радиоканалах передачи данных

Головин В. А.

В статье предложена аналитическая модель фрагментации пакетов в радиоканале передачи данных. Так как максимальная длина пакета для канального и физического уровней определена из условий эффективной работы сети в целом, то длина пакета при малых значениях битовой ошибки в канале может быть значительно меньше оптимальной и не может быть изменена, а при больших значениях битовой ошибки предлагается выбирать длину фрагментов делением максимальной длины на равные части, при условии улучшения эффективной скорости передачи. Разработана аналитическая модель позволяет для выбранных параметров цикла передачи данных протокола ARQ с Stay And Wait, рассчитать значение вероятности битовых ошибок при которых необходимо изменить параметры фрагментации для получения лучшей эффективной скорости передачи.

Ключевые слова: фрагментация; радиоканал; ARQ; SAW

Fragmentation of packets in the radio data channels

Golovin V. A.

Introduction. Effective data transmission speed in the radio data channels network is determined by the parameters of the exchange report on the data link layer and physical levels and the wave emission channel characteristics. For guaranteed delivery of packets the technology with the supervision of packages receiving validity by consumer is used. Errors availabilities in packets demand retransmission, which leads to a decrease the effective data transmission speed. Fragmentation of packets reduces the probability of an error in the packet, the delay of the fragment retransmission, which improves the effective transmission speed. Problem statement. The maximum packet length for data link layer and physical levels is determined according to the conditions of the effective network functioning in general, consequently the packet length with low values of bit error in the channel can be significantly less than optimal, and with large values of bit error the possibility to select the division fragments of the maximum length into equal parts exists, under the terms of improving effective transmission speed. The aim of this work is to build analytical model for points determination on the scale of probability of bit errors, where the length of packet fragments is necessary to be changed in order to better efficiency of data transmission speed. Theoretical results. Based on the analysis of data transmission report with a stoppage and expectations the analytical model of effective data transmission speed in the radio data channel with bit errors and random distribution is received. There is equation to calculate the bit errors probability at the points of the fragments length changing. The obtained analytical solutions of the equations allow calculating the value of the bit errors probability for any parameters of data transmission cycle. Also, analytical expressions for calculating the optimal fragments length with a given probability of bit errors and probability of bit errors for a given fragment length are obtained. Conclusion. Proposed analytical model and analytical calculations can be used on data link layer and physical levels of the channels with packet data transmission according to the ARQ SAW algorithm to select parameters of fragmentation depending on the bit errors in the channel.

Key words: fragmentation; radio channel; ARQ; SAW