

УДК 621.391.17; 621.396.4

Єрохін Віктор Федорович,доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри
Інституту спеціального зв'язку та захисту інформації НТУ України "КПІ
імені Ігоря Сікорського", м. Київ, Україна**Полякова Анастасія Сергіївна,**аспірант науково-організаційного відділу науково-дослідного центру
Інституту спеціального зв'язку та захисту інформації НТУ України
"КПІ імені Ігоря Сікорського", м. Київ, Україна**Сбоєв Роман Юрійович,**курсант Інституту спеціального зв'язку та захисту інформації
НТУ України "КПІ імені Ігоря Сікорського", м. Київ, Україна

СЕРЕДНІЙ ЧАС ДО ПОЧАТКУ УСПІШНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ В ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ СИСТЕМАХ ІЗ ВИПАДКОВИМ МНОЖИННИМ ДОСТУПОМ ТА ВИЯВЛЕННЯМ КОНФЛІКТІВ

Сьогодні глобальне зростання потреб у зв'язку змушує нас більш ефективно використовувати частотний спектр. Якщо зробити припущення, що на одній частоті є можливість передавати одразу кілька взаємозаважаючих сигналів, то постає питання про їхнє розділення. Але складність процедур демодуляції значно зросла, порівнюючи з класичним випадком. Таким чином, необхідно визначити, чи буде доцільним збільшувати складність і наскільки зросте пропускна спроможність певної системи зв'язку та як зміниться середній час до початку успішного обслуговування. Для дослідження обрано протокол множинного доступу з контролем несівної та виявленням конфліктів за додаткового припущення про розв'язання конфліктів на фізичному рівні.

Ключові слова: випадковий множинний доступ, протокол множинного доступу з контролем несівної, виявлення конфліктів, розв'язання конфліктів на фізичному рівні, теорія багатокористувацького детектування, системи масового обслуговування, джерело повторних викликів.

Сегодня глобальный рост потребностей в связи делает нас более эффективными в использовании частотного спектра. Предполагая, что на одной частоте имеется возможность передавать несколько сигналов взаимомешающих сигналов одновременно, проблема заключается в разделении этих сигналов. Но сложность процедур демодуляции значительно возросла по сравнению с классической. Таким образом, мы должны определить, будет ли разумно увеличиваться сложность и как будет увеличиваться пропускная способность какой-либо системы связи, а также как изменится среднее время до начала успешного обслуживания. Для исследования избран протокол множественного доступа с контролем несущей и выявлением конфликтов при дополнительном предположении о решении конфликтов на физическом уровне.

© Yerokhin Victor, Poliakova Anastasiia, Sboiev Roman, 2019

Ключевые слова: случайный множественный доступ, протокол множественного доступа с контролем несущей, обнаружение конфликтов, разрешение конфликтов на физическом уровне, теория многопользовательского детектирования, системы массового обслуживания, источник повторных вызовов.

Вступ. З розвитком інформаційно-телекомунікаційного суспільства [1] стрімко зростає необхідність у збільшенні пропускних спроможностей перспективних телекомунікацій, включаючи системи мобільного зв'язку. Тому природно, що дослідники в галузі загальної теорії зв'язку приділяють пильну увагу розв'язанню низки відповідних нагальних проблем. Як приклад, аналіз протоколу множинного доступу з контролем несівної за припущення про розв'язання конфліктів на фізичному рівні навіть мінімальної кратності 2–3 (див. [2–10]) за одержаними результатами виявився багатообіцяючим. При розв'язанні найпростіших парних конфліктів пропускна спроможність такого класичного протоколу зростає в 1,33–2 рази, а при розв'язанні потрійних – у 1,63–3 рази. Виникає питання, як зміняться інші суттєві параметри протоколу, насамперед середній час \bar{T} , до початку успішного обслуговування.

Метою статті є оцінка і порівняльний аналіз середнього часу до початку успішного обслуговування в телекомунікаційних системах із протоколом випадкового множинного доступу з контролем несівної і виявленням конфліктів (МДКН-ВК) при розв'язанні конфліктів на фізичному рівні (РКФР).

Оцінки середнього часу до початку успішного обслуговування слід визначати через середню кількість повторних невдалих спроб [3].

Спроба потрапити на другий етап обслуговування буде успішною лише у тому випадку, коли на першому етапі виявлена кількість заявок (що потім потрапляє на другий, безконфліктний етап обслуговування) не перевищує можливостей розв'язання конфліктів на фізичному рівні. В іншому випадку всі заявки після завершення першого етапу прямують у джерело повторних викликів (ДПВ).

Вираз для середнього часу \bar{T} до початку успішного обслуговування в телекомунікаційній системі з протоколом МДКН-ВК за неможливості розв'язання конфліктів на фізичному рівні має вид:

– при обслуговуванні виключно поодиноких заявок [2]:

$$\bar{T} = \left(\frac{1}{\mu_1} + \frac{1}{\mu_2} \right) x; \quad (1)$$

Тут і далі μ_1 і μ_2 – інтенсивності обслуговування за протоколом МДКН-ВК на першому і другому етапах відповідно, а x – інтенсивність потоку заявок із ДПВ.

Розмірковуючи аналогічно [2], за умови експоненціальних розподілів часу обслуговування на першому і другому етапах, можна одержати наступні вирази для \bar{T} [9, 10]:

© Yerokhin Victor, Poliakova Anastasiia, Sboiev Roman, 2019

– при обслуговуванні пар заявок, що збігаються за тривалістю:

$$\bar{T} = \left(\frac{1}{2\mu_1} + \frac{1}{\mu_2} \right) x; \quad (2)$$

– при обслуговуванні пар заявок, що не збігаються за тривалістю:

$$\bar{T} = \left(\frac{1}{2\mu_1} + \frac{1}{2\mu_2} + \frac{1}{\mu_2} \right) x; \quad (3)$$

– при обслуговуванні потрійних заявок, що збігаються за тривалістю:

$$\bar{T} = \left(\frac{1}{3\mu_1} + \frac{1}{\mu_2} \right) x; \quad (4)$$

– при обслуговуванні потрійних заявок, що не збігаються за тривалістю:

$$\bar{T} = \left(\frac{1}{3\mu_1} + \frac{1}{3\mu_2} + \frac{1}{2\mu_2} + \frac{1}{\mu_2} \right) x. \quad (5)$$

По індукції з (1) – (5) при розв'язанні конфліктів довільної кратності N маємо:

– при заявках, у яких збігаються тривалості:

$$\bar{T} = \left(\frac{1}{N\mu_1} + \frac{1}{\mu_2} \right) x$$

– при заявках, у яких не збігаються тривалості:

$$\bar{T} = \left(\frac{1}{N\mu_1} + \sum_{i=1}^N \frac{1}{i\mu_2} \right) x$$

Чисельні значення інтенсивностей x потоку заявок з ДПВ слід отримувати з рівнянь стаціонарності для зазначених вище протоколів, опублікованих у [8–10]. Зазначені рівняння аналогічно [2] одержані за припущення, що вхідний потік заявок – Пуассонівський з параметром λ .

Для наочності та зручності порівняльного аналізу залежності середнього часу T до початку успішної передачі від відношення інтенсивностей обслуговування

$k = \frac{\mu_1}{\mu_2}$ наведені на рис. 1.

© Yerokhin Victor, Poliakova Anastasiia, Sboiev Roman, 2019



Рис. 1. Середній час до початку успішного обслуговування у протоколах сімейства МДКН-ВК

Отже, плата за збільшення пропускної спроможності при РКФР – значне зростання середнього часу до початку успішного обслуговування при наближенні до пропускної спроможності. Наприклад, навіть при розв'язанні конфліктів кратності 2 середній час до початку успішного обслуговування збільшується в 2,79 рази при обслуговуванні двох заявок, у яких збігаються тривалості, і в 4 рази – якщо їх тривалості не збігаються.

Залежність середнього часу до початку успішного обслуговування від нормованої інтенсивності вхідного потоку $\xi = \frac{\lambda}{\mu_2}$ продемонстрована на рис. 2. Порівняння цих графіків доводить, що при застосуванні зазначених протоколів із упровадженням процедур РКФР необхідно суттєво менше часу до початку успішного обслуговування при навантаженні, що дорівнює пропускній спроможності класичного протоколу МДКН-ВК без РКФР. Наприклад, при РКФР парних заявок, що збігаються за тривалістю, час \bar{T} , зменшується у 2,9 рази та 9,8 рази – при тривалостях, що збігаються, а при кратності 3 – у 7,6 та 18,7 рази відповідно (див. вертикальну пунктирну лінію на рис. 2).

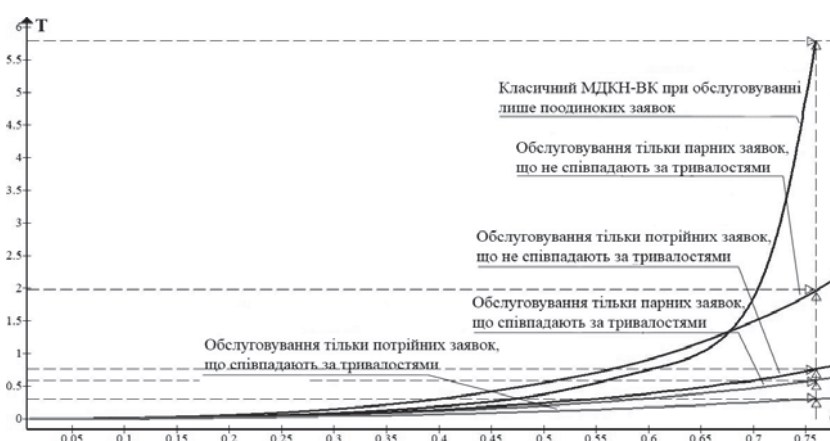


Рис. 2. Залежність середнього часу до початку успішного обслуговування від інтенсивності вхідного потоку

© Yerokhin Victor, Poliakova Anastasiia, Sboiev Roman, 2019

Якщо ж порівняти середній час до початку успішного обслуговування в системі з протоколом МДКН-ВК за тих же умов, але без РКФР, з цим параметром в інших протоколах зазначеного сімейства, то отримаємо збільшення пропускної спроможності при кратності РКФР 2 у 1,3 та 1,8 рази, а при кратності 3 – у 1,65 та 2,58 рази для заявок з експоненційно розподіленими тривалостями, що збігаються та не збігаються за тривалостями відповідно (див. горизонтальну пунктирну лінію на рис. 3).

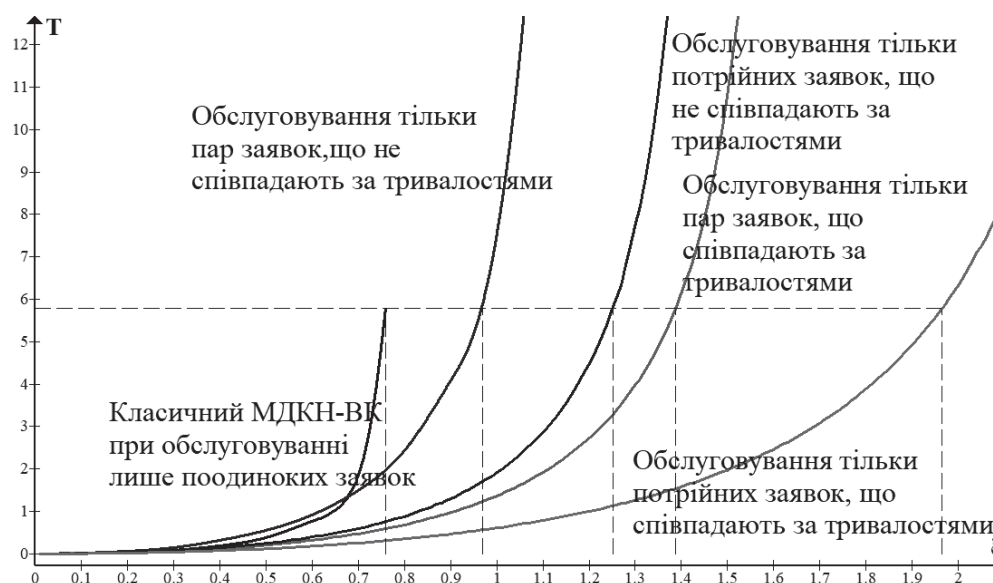


Рис. 3. Порівняння обслугованого навантаження протоколів МДКН-ВК із класичним при впровадженні РКФР

Результати порівняння залежностей пропускної спроможності та середнього часу до початку успішного обслуговування від інтенсивності вхідного потоку для різновидів протоколу МДКН-ВК зведені в табл. 1.

Таблиця 1

Модифікація протоколу	ξ^*	\bar{T}	ξ^*	\bar{T}	ξ^*	\bar{T}
	$k = 1$		$k = 10$		$k = 100$	
Обслуговування тільки поодиноких заявок	0.24	0.643	0.76	5.792	0.97	151.154
Обслуговування двох заявок, що збігаються за тривалістю	0.65	2.051	1.58	30.456	1.94	146.765
Обслуговування двох заявок, що не збігаються за тривалістю	0.48	2.14	1.13	25.14	1.31	290.46
Обслуговування трьох заявок, що збігаються за тривалістю	0.9	5.10	2.43	48.85	2.92	247.57
Обслуговування трьох заявок, що не збігаються за тривалістю	0.72	4.11	1.45	46.99	1.61	198.08

© Yerokhin Victor, Poliakova Anastasiia, Sboiev Roman, 2019

Висновки

Розв'язання конфліктів на фізичному рівні суттєво покращує пропускну спроможність протоколу МДКН – ВК: у 1,33–2 рази при успішному розв'язанні конфліктів кратності 2 і в 1,63–3 рази при розв'язанні конфліктів кратності 3. При реально досяжних значеннях $k \in (5 \div 50)$ таке збільшення лежить у межах від 1,38 до 2,2 при розв'язанні конфліктів кратності 2 та в межах від 1,72 до 3,46 при розв'язанні конфліктів кратності 3 відповідно (див. [9]).

Платою за підвищення пропускну спроможності є збільшення середнього часу до початку успішного обслуговування. Наприклад, навіть при $k = 5$ і розв'язанні конфліктів кратності 2 середній час до початку успішної передачі збільшується у 2,79 рази, якщо тривалості обслуговування обох заявок збігаються, та приблизно в 4 рази, якщо не збігаються (рис. 2 та рис. 3).

Але це має місце лише при наближенні до пропускну спроможностей протоколів, що аналізуються. Якщо ж обмежитись значенням $\xi = \frac{\lambda}{\mu_2}$ на межі пропускну спроможності протоколу МДКН-ВК без РКФР, спостерігається суттєве зменшення параметра T .

Порівняння пропускну спроможностей та середнього часу до початку успішного обслуговування протоколів ВМД сімейства МДКН–ВК доводить доцільність упровадження РКФР навіть мінімальних кратностей 2–3. Задача розв'язання конфліктів кратності більшої, ніж 2–3, експоненційно ускладнює схему демодулятора, до того ж при цьому подальше додаткове збільшення пропускну спроможності уповільнюється (за винятком, коли тривалості всіх обслуговуваних на другому етапі заявок збігаються).

Одержані результати дозволяють стверджувати про доцільність упровадження в демодулятори перспективних приймальних пристроїв алгоритмів розв'язання конфліктів кратності 2 та навіть 3 як таких, що характеризуються прийнятною складністю [11–12].

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. *Бертсекас Д., Галлагер Р.* Сети передачи данных: пер. с англ. М.: Мир, 1989. 544 с.
2. *Назаров А.А.* Асимптотический анализ марковизируемых систем. Томск: ТГУ, 1991. 158 с.
3. *Єрохін В.Ф.* Випадковий множинний доступ при розв'язанні конфліктів на фізичному рівні: навч. посіб. К: ІСЗЗІ НТУУ “КПІ”, 2014. 294 с.
4. *Єрохін В.Ф.* Багатокористувацьке детектування: навч. посіб. К.: ІСЗЗІ КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2017. 162 с.
5. *Полякова А.С., Сбоєв Р.Ю.* Протокол випадкового множинного доступу МДКН-ВК при розв'язанні конфліктів на фізичному рівні. Спеціальні телекомунікаційні системи та захист інформації: збірник наукових праць. 2017. № 2(2). С. 20–26.
6. *Єрохін В.Ф., Полякова А.С.* Порівняльний аналіз протоколів множинного доступу з контролем несівної та виявленням конфліктів. Сучасна спеціальна техніка: науково-практичний журнал. 2018. № 3(54). С. 44–50.
7. *Єрохін В.Ф., Євдоченко Л.О., Полякова А.С.* Пропускна спроможність протоколів множинного доступу з контролем несівної і розв'язанням конфліктів на фізичному рівні. Спеціальні телекомунікаційні системи та захист інформації: збірник наукових праць. 2018. № 2(4). С. 5–10.
8. *Єрохін В.Ф., Полякова А.С., Сбоєв Р.Ю.* Comparison of the throughput of the carrier sense multiple access protocol which conflicts resolving on the physical layer. Сучасна спеціальна техніка: науково-практичний журнал. 2019. № 1(55). С. 19–31.

© Yerokhin Victor, Poliakova Anastasiia, Sboiev Roman, 2019

9. Полякова А.С. Параметри протоколу множинного доступу з контролем несівної та виявленням конфліктів при розв'язанні конфліктів на фізичному рівні. Збірник наукових праць НДІ ГУР МО України. № 47. С. 68–73.

10. Єрохін В.Ф., Полякова А.С., Сбоєв Р.Ю. Параметри протоколів множинного доступу з контролем несівної при обслуговуванні поодиноких та парних заявок. Спеціальні телекомунікаційні системи та захист інформації: збірник наукових праць. 2019. № 1(5). С. 16–21.

11. Бураченко Д.Л. Оптимальное разделение цифровых сигналов многих пользователей в линиях и сетях связи в условиях помех. Ленинград: ВАС, 1990. 302 с.

12. Verdu S. Multiuser Detection. Cambridge: Cambridge university Press, 1998, 474 p.

REFERENCES

1. Bertsekas D., Gallager R. (1989). Seti peredachi dannykh. "Data transmission networks": trans. from English M.: Mir. 554 p. [in Russian].

2. Nazarov A.A. (1991). Asimptoticheskiy analiz markoviziruyemykh sistem. "Asymptotic analysis of markovized systems". Tomsk: TSU.158 p. [in Russian].

3. Yerokhin V.F. (2014). Vypadkovyi mnozhynnyi dostup pry rozv'iazanni konfliktiv na fizychnomu rivni: navch. posibn. "Random Multiple Access at Physical Conflict Resolution: training manual". K: ISPI of NTUU "KPI". 294 p. [in Ukrainian].

4. Yerokhin V.F. (2017). Bahatokorystuvatske detektuvannia: navch. posib. "Multiuser Detection: training manual. K.: Igor Sikorsky ISCIP KPI. 162 p. [in Ukrainian].

5. Poliakova A.S., Sboiev R.Yu. (2017). Protokol vypadkovoho mnozhynnoho dostupu MDKN-VK pry rozv'iazanni konfliktiv na fizychnomu rivni. Spetsialni telekomunikatsiini systemy ta zakhyst informatsii. "Protocol of accidental multiple access of MDDK-VK when solving conflicts at the physical level. Special telecommunications systems and information protection": a collection of scientific papers. No. 2 (2). P. 20–26 [in Ukrainian].

6. Yerokhin V.F., Poliakova A.S. (2018). Porivnialnyi analiz protokoliv mnozhynnoho dostupu z kontrolem nesivnoi ta vyivlenniam konfliktiv. "Comparative analysis of multiple access protocols with non-axial control and conflict detection". Modern Special Technique: Scientific and Practical Journal. No. 3(54). P. 44–50 [in Ukrainian].

7. Yerokhin V.F., Yevdochenko L.O., Poliakova A.S. (2018). Propuskna spromozhnist protokoliv mnozhynnoho dostupu z kontrolem nesivnoi i rozv'iazanniam konfliktiv na fizychnomu rivni. Spetsialni telekomunikatsiini systemy ta zakhyst informatsii. "Multiple access protocol bandwidth with carrier control and physical conflict resolution". Special telecommunications systems and information protection: a collection of scientific papers. No. 2 (4). P. 5–10 [in Ukrainian].

8. Yerokhin V.F., Poliakova A.S., Sboiev R.Yu. (2019). Comparison of the throughput of the carrier sense multiple access protocol whith conflicts resolving on the physical layer. Modern Special Technique: Scientific and Practical Journal. No. 1(55). P. 19–31 [in English].

9. Poliakova A.S. Parametry protokolu mnozhynnoho dostupu z kontrolem nesivnoi ta vyivlenniam konfliktiv pry rozv'iazanni konfliktiv na fizychnomu rivni. "Parameters of multiple access protocol with non-greener control and physical conflict detection of conflict resolution". Collection of scientific works of the DIMD of Ukraine. No. 47, P. 68–73 [in Ukrainian].

10. Yerokhin V.F., Poliakova A.S., Sboiev R.Yu. (2019). Parametry protokoliv mnozhynnoho dostupu z kontrolem nesivnoi pry obsluhovuvanni poodynokykh ta parnykh zaiavok. "Parameters of multiple access protocols with inactive control when servicing single and paired applications". Special telecommunication systems and information protection: a collection of scientific works. No. 1(5). P. 16–21 [in Ukrainian].

11. Burachenko D.L. (1990). Optimalnoie razdeleniye tsifrovyykh signalov mnogikh polzovateley v liniyakh i setyakh svyazi v usloviyakh pomekh. "Optimal separation of digital signals of many users in communication lines and networks under interference conditions". Leningrad: VAS. 302 p. [in Russian].

12. Verdu S. (1998). Multiuser Detection. Cambridge: Cambridge university Press, 474 p. [in English].

Yerokhin Victor,

Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department,
Institute for Special Communications and Information Protection
“Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”, Kyiv, Ukraine

Poliakova Anastasiia,

Postgraduate, Institute for Special Communications and Information
Protection “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”, Kyiv, Ukraine

Sboiev Roman,

Cadet of the Institute of Special Communications and Information
Protection “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”, Kyiv, Ukraine

AVERAGE TIME BEFORE SUCCESSFUL MAINTENANCE IN TELECOMMUNICATIONS SYSTEMS WITH RANDOM MULTIPLE ACCESS AND CONFLICT DETECTION

At present, the global growth of communication needs makes us more efficient in using of the frequency spectrum. The development of communication systems requires an increase of throughput, while the frequency spectrum is limited, which will not allow to increase the width of the channel or their number.

Assuming that it is possible to transmit several interfering signals at one frequency, then the problem is to separate these signals. It is obvious that the complexity of demodulation procedures will increase significantly compared to the classical ones. Therefore, it is necessary to determine whether such an increase of complexity will be justified. To answer this question, you need to determine how the throughput of some random multiple access system, where multiple reusing of the frequency resource is possible, may increase.

For the research carrier sense multiple access protocol with conflicts detection was chosen, which have become widespread in the packet networks for their successful combination of the relative simplicity of access algorithms and sufficiently high efficiency.

The main characteristics of the random multiple access protocols are the throughput and the average time before the start of successful service and we choose the second for research.

The purpose of the research is evaluation and comparative analysis of the average time before the start of successful service of varieties of multiple access protocols with carrier sense and conflict detection with additional assumptions about the conflicts resolving at the physical layer.

The object of research is random multiple access communication systems.

The subject of research is asymptotic methods for analyzing multiple access protocols.

This method was first proposed by A. Nazarov. In this case, complete solutions can usually be obtained only in exceptional situations characterized by the forced

© Yerokhin Victor, Poliakova Anastasiia, Sboiev Roman, 2019

imposition of rigid simplifying restrictions on the statistical nature of the processes in research. Due to these limitations, approximate solutions to the problem can be obtained with fairly broad assumptions about inbound flow statistics and service discipline, even in the absence of an explicit form of appropriate distributions. Therefore, estimates of the basic parameters random multiple access protocols can be obtained in a low-cost analytical way, without full-scale or simulation modeling.

Keywords: RMA – random multiple access, CSMA – carrier sense multiple access, CD – collision detection, CRPL – conflicts resolving on the physical layer, MDT – multiuser detection theory, QS – queuing system, SRC – source of recurring calls.

Отримано 15.10.2019