

Дальніші дослідження пов'язані з отриманням автоматических процедур оцінки величини задержки (τ) і оцінкою ефективності методу при

більш точному совмещенні оброблюваних рядів (совмещеніе до долей дискрету квантування по времени).

Література

1. Вайнштейн Л.А. Разделение частот в теории колебаний и волн [Текст] / Л.А. Вайнштейн, Д.Е. Вакман // М.: Наука. Главн. ред. физ.мат. литературы. 1983. – 288 с.
2. Бендат Дж. Прикладной анализ случайных данных [Текст] / Дж. Бендат, А. Пирсол // Пер. с англ. – М.: Мир, 1989. – 540 с., ил.
3. The Hilbert-Huang transform and its applications // editors, Norden E. Huang, Samuel S.P. Shen. – World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd. 5 Toh Tuck. Link, Singapore 596224. Режим доступа: http://en.pudn.com/downloads173/sourcecode/math/detail805586_en.html.
4. Huang N. E., Shen Z., Long S. R., Wu M. C., Shih H. H., Zheng Q., Yen N. C., Tung C. C., Liu H. H. The empirical mode decomposition and the Hilbert spectrum for nonlinear and non-stationary time series analysis // Proc. R. Soc. London, Ser. A – 1998. – No.454. – P. 903-995.
5. Пастушенко Н.С. Формирование квадратурной составляющей для одного класса сигналов. Электронное научное специализированное издание – журнал «Проблемы телекоммуникаций», №1(3), 2011. с.84-96. Режим доступа: <http://pt.jornal.kh.ua>.
6. Адаптивная компенсация помех в каналах связи [Текст] / Под ред. Ю.И. Лосева. – М.: Радио и связь, 1988. – 208 с.

Запропонована модель формування обсягів службових даних у процесі фрагментації та інкапсуляції пакетів. Обрано критерій оцінки та проведені дослідження надлишкової інформації стеків протоколів систем у магістральних IP мережах

Ключові слова: надлишковість інформації, пакет, стек протоколів

Предложена модель формирования объемов служебных данных в процессе фрагментации и инкапсуляции пакетов. Выбран критерий оценки и проведены исследования избыточной информации стеков протоколов систем в магистральных IP сетях

Ключевые слова: избыточность информации, пакет, стек протоколов

A model of service data amount formation during the fragmentation and encapsulation of packages is offered. The criterion for estimation is chosen and the research of systems stack protocols redundant information in trunk IP networks is carried out

Keywords: redundancy information, package, protocols stack

УДК 621.395.004.7

АНАЛІЗ НАДЛИШКОВОЇ ІНФОРМАЦІЇ КОМУНІКАЦІЙНИХ ПРОТОКОЛІВ СИСТЕМ У МАГІСТРАЛЬНИХ IP МЕРЕЖАХ

М.І. Струкало

Кандидат технічних наук, доцент, професор

Кафедра комутаційних систем*

Контактний тел.: (048) 778-05-81, 098-425-52-44

E-mail: m.strukalo@mail.ru

С.М. Горелік

Старший викладач

Кафедра теорії електричних кіл*

Контактний тел.: 067-977-75-83

*Одеська національна академія зв'язку ім. О.С. Попова
вул. Ковальська, 1, м. Одеса, Україна, 65029

1. Вступ

Дослідження даної статті відносяться до області телекомунікацій. Однією із актуальних проблем, розв'язуваних при виробництві обладнання, проектуванні та експлуатації IP мереж, є забезпечення ефективного використання пропускної здатності каналів систем передачі. Пропускна здатність каналу між системами значною мірою залежить від використовуваних транс-

портних технологій IP мереж. Реальна пропускна здатність каналу, тобто швидкість передавання даних користувача залежить від надлишкової інформації використовуваних протоколів взаємодіючих систем.

Проблеми надлишкової інформації протоколів систем у мережах з комутацією пакетів досліджувались в багатьох роботах, наприклад [1...8], де аналізувались обсяги технологічної інформації окремих протоколів [1, 2] та стеків протоколів взаємодіючих систем

[3], пропонувались інформаційні моделі взаємодії систем передачі даних [4, 5], розглядалися критерії оцінки інформаційної надлишковості (ІН) [5...7] та взаємозв'язок цих критеріїв [8], пропонувалась методика оцінки ефективності інформаційних систем банківських мереж [6]. Проте дослідження й аналіз ІН стеків протоколів сучасних систем магистральних ІР мереж у залежності від обсягів переданої інформації не виконувались.

Метою цієї статті є дослідження та аналіз інформаційної надлишковості стеків комунікаційних протоколів систем на магистральних ділянках ІР мереж у залежності від обсягу інформації, що передається.

Для досягнення цієї мети необхідно обрати: математичну модель інкапсуляції й фрагментації даних, критерій оцінки ІН протоколів та ієрархічні комбінації комунікаційних протоколів взаємодіючих ІР систем.

2. Моделювання процесів фрагментації та інкапсуляції пакетів

Кількість інформації $I^{(l+1)}$, яка надходить на вхід l -го рівня (підрівня) системи в процесі фрагментації (сегментації) даних розподіляється на $q^{(l)}$ окремих фрагментів [2, 4, 5]. Обсяг інформації $I^{(l+1)}$ може складатися з обсягу інформації на виході $(m+1)$ -го рівня системи $I^{(m+1)}$ та сумарного обсягу службової інформації $\Delta I^{(m,l+1)}$, яку формують комунікаційні протоколи між рівнями (підрівнями) m та $l+1$ системи, тобто

$$I^{(l+1)} = \begin{cases} I^{(m+1)} + \Delta I^{(m,l+1)}, & m > l, \\ I^{(m+1)}, & m = l. \end{cases} \quad (1)$$

$$\text{де } \Delta I^{(m,l+1)} = \sum_{i=0}^{m-l-1} \Delta I^{(l+1+i)}. \quad (2)$$

Зауважимо, що з формули (1) випливає $\Delta I^{(m,l+1)} = 0$ при $m = l$.

До кожного фрагмента (сегмента) даних протоколом l -го рівня (підрівня) в процесі інкапсуляції додається службова (технологічна) інформація, обсягом $\Delta I^{(l)}$. Сумарний обсяг службової інформації $\Delta I_q^{(l)}$ на l -му рівні (підрівні) системи передачі у $q^{(l)}$ пакетах з фрагментами (сегментами) даних визначимо за формулою

$$\Delta I_q^{(l)} = q^{(l)} \Delta I^{(l)}, \quad m \geq l. \quad (3)$$

Процедура фрагментації (сегментації) даних на l -му рівні (підрівні) системи в $q^{(l)}$ разів збільшує кількість службової інформації цього рівня (підрівня).

Виконаємо деталізацію моделювання процедури фрагментації (сегментації) даних [4]. Необхідною умовою фрагментації даних на l -му рівні (підрівні) системи є перевищення обсягу $I^{(l+1)}$ інформації $(l+1)$ -го рівня деякого значення $I_{MTU}^{(l)}$ максимальної одиниці передачі MTU (Maximum Transmission Unit) протоколу l -го рівня (підрівня), тобто

$$I^{(l+1)} > I_{MTU}^{(l)}, \quad m \geq l. \quad (4)$$

Математична модель опису кількісних перетворень інформації в процесі інкапсуляції блоків даних між рівнями (підрівнями) m та n системи з урахуванням процедури фрагментації (сегментації) даних на l -му рівні (підрівні) матиме вигляд:

$$I_q^{(n)} = I^{(m+1)} + \Delta I^{(m,l+1)} + \Delta I_q^{(l,n)}, \quad m \geq l \geq n \geq 1, \quad (5)$$

де $I_q^{(n)}$ – обсяг інформації в $q^{(l)}$ пакетах на виході n -го рівня (підрівня) системи передачі;

$$\Delta I_q^{(l,n)} = q^{(l)} \sum_{i=0}^{l-n} \Delta I^{(n+i)} \quad (6)$$

– сумарний обсяг службової інформації в $q^{(l)}$ пакетах з фрагментами (сегментами) даних, яку формують комунікаційні протоколи між рівнями (підрівнями) l та n системи, $l \geq n \geq 1$; $\Delta I^{(i)}$ – обсяг службової інформації комунікаційного протоколу i -го рівня (підрівня) системи.

Якщо ввести позначення

$$\Delta I_q^{(m,n)} = \Delta I^{(m,l+1)} + \Delta I_q^{(l,n)}, \quad m \geq l \geq n \geq 1, \quad (7)$$

то модель кількісних перетворень інформації та інкапсуляції блоків даних (5), яка враховує фрагментацію (сегментацію) даних на l -му рівні (підрівні) системи передачі, за зовнішнім виглядом зводиться до відомої моделі [4], тобто

$$I_q^{(n)} = I^{(m+1)} + \Delta I_q^{(m,n)}, \quad m \geq l \geq n \geq 1. \quad (8)$$

У випадку, якщо $q^{(l)} = 1$, то математичні моделі (8) та [4] збігаються, тобто $\Delta I_q^{(m,n)} = \Delta I_q^{(m,n)}$, а $I_q^{(n)} = I_q^{(n)}$.

3. Вибір критерію оцінки ІН

Інформаційну надлишковість стека протоколів системи передачі оцінюють за допомогою абсолютних та відносних критеріїв:

$\Delta I_q^{(m,n)}$ – сумарний обсяг службової інформації в $q^{(l)}$ пакетах між протокольними рівнями (підрівнями) m та n системи, де $m \geq l \geq n \geq 1$;

$\eta^{(m,n)}$ – коефіцієнт зміни кількості інформації між рівнями (підрівнями) m та n системи [5], який визначатимемо за відношенням $I_q^{(n)} / I^{(m+1)}$;

$\rho^{(m,n)}$ – коефіцієнт додаткових інформаційних втрат [7], який будемо визначати за відношенням $\Delta I_q^{(m,n)} / I^{(m+1)}$ [8];

$\delta I^{(m,n)}$ – коефіцієнт надлишкової інформації [6], який вказує на частку службової інформації в $q^{(l)}$ інформаційних пакетах між протокольними рівнями (підрівнями) m та n системи [8].

У подальших дослідженнях для оцінки ІН стеків комунікаційних протоколів систем комутації пакетів доцільно використовувати відносний критерій – коефіцієнт надлишкової інформації сукупності $q^{(l)}$ пакетів системи

$$\delta I^{(m,n)} = \Delta I_q^{(m,n)} / (I^{(m+1)} + \Delta I_q^{(m,n)}), \quad m \geq n \geq 1. \quad (9)$$

Можна показати, що критерій (9) оцінки ІН стеків протоколів систем зв'язаний з критеріями $\eta^{(m,n)}$ і $\rho^{(m,n)}$ простим співвідношенням

$$\delta I^{(m,n)} = \rho^{(m,n)} / \eta^{(m,n)}, m \geq n \geq 1. \quad (10)$$

Вважаючи у формулах (5)...(10), що $m = N$, а $n = 1$ можна оцінити ІН будь-яких ієрархічних комбінації комунікаційних протоколів N-рівневих систем.

4. Аналіз ієрархічних комбінації протоколів систем

Для побудови мереж з комутацією пакетів сьогодні на вищих протокольних рівнях взаємодіючих систем застосовують протоколи стека TCP/IP (Transmission Control Protocol/Internet Protocol). На канално-му та фізичному рівнях використовуються технології кабельних мереж Asynchronous Transfer Mode (ATM), Frame Relay (FR), Fast Ethernet (FE), Gigabit Ethernet (GbE) та радіо мереж Wireless Fidelity (WiFi), Worldwide Interoperability for Microwave Access (WiMAX) тощо.

Взаємодію TCP/IP систем на магістральних ділянках мереж з комутацією пакетів забезпечують певні ієрархічні комбінації протоколів, наприклад, TCP (UDP, ...)/IP/ATM (FR, GbE, PPP, ...). При інкапсуляції кадрів (пакетів, комірок) у віртуальні контейнери Synchronous Digital Hierarchy (SDH) можливі ієрархічні комбінації протоколів системи дещо ускладнюються, наприклад, TCP (UDP, ...)/ IP/ATM (FR, GbE, PPP, ...)/GFP (LAPS, ...)/SDH. При застосуванні в IP мережах технології Multiprotocol Label Switching (MPLS) ієрархія протоколів збільшується, наприклад, TCP (UDP, ...)/IP/MPLS/ATM (FR, GbE, PPP, ...), але комутатори MPLS оброблюють заголовки протоколів нижніх рівнів стека, тобто заголовки MPLS/ATM (FR, GbE, ...).

5. Дослідження ІН пакетів

Інформаційний блок даних (пакет, кадр, комірка) будь-якої відкритої системи OpS (Open System) складається з інформації протоколу додатку (application), обсягом $I_{app} = I^{(m+1)}$ та службової інформації узаголовках комунікаційних протоколів, обсягом $\Delta I_{OpS} = \Delta I_q^{(m,n-1)}$. Обсяги службової інформації деяких комбінацій комунікаційних протоколів IP систем, що аналізувались в [3], подані в табл.1. Значення ΔI_{OpS} у табл.1 відповідають застосуванню IP протоколу версій IPv4 та IPv6 з мінімальними обсягами IP заголовків. Зауважимо, що пакети будь-якої технології каналного рівня ($k = 2$) моделі OSI (Open System Interconnection), крім комірки технології ATM, можуть переносити змінні обсяги інформації, але не більше ніж $I_{MTU}^{(k)}$.

Аналізуючи обсяги службової інформації табл.1, очевидно, що стеки протоколів TCP (UDP)/IPv6/ATM не можуть бути використані

Таблица 1

Обсяги службової інформації протоколів системи у пакеті

Стек протоколів	ΔI_{OpS} , байт		Стек протоколів	ΔI_{OpS} , байт		Примітка
	IPv4	IPv6		IPv4	IPv6	
TCP/IP/GbE	78	98	UDP/IP/GbE	66	86	$I_{MTU}^{(k=2)} = 1500$ 109В
TCP/IP/PPP	48	68	UDP/IP/PPP	36	56	$I_{MTU}^{(k=2)} = 1500$ 109В
TCP/IP/FR	46	66	UDP/IP/FR	34	54	$I_{MTU}^{(k=2)} = 1600$ 109В
TCP/IP/ATM	45	65	UDP/IP/ATM	33	53	$I_{MTU}^{(k=2)} = 48$ 109В застосовано два MPLS тунелі $I_B = 2$
TCP/IP/MPLS/GbE	86	106	UDP/IP/MPLS/GbE	74	94	
TCP/IP/MPLS/PPP	56	76	UDP/IP/MPLS/PPP	44	64	

для передачі інформації IP додатків без фрагментації даних.

Інформаційну надлишковість стеків протоколів систем будемо оцінювати за критерієм $\delta I = \delta I^{(m,n-1)}$. Очевидно, що зі збільшенням обсягу даних додатку I_{app} коефіцієнт надлишкової інформації у пакеті зменшується.

Мінімум коефіцієнта надлишкової інформації у пакеті (комірці) системи залежить від максимального обсягу даних додатку I_{app} , який не може перевищувати значення MTU протоколу транспортного рівня, тобто

$$\min\{\delta I\} = f(\max\{I_{app}\} \leq I_{MTU}^{(m)}), \quad (11)$$

$$\text{де } I_{MTU}^{(m)} = I_{MTU}^{(k)} - \Delta I^{(m,k+1)}, m \geq k \geq n \geq 1, \quad (12)$$

$I_{MTU}^{(k)}$ – MTU протоколу технології каналного рівня, $\Delta I^{(m,k+1)}$ – обсяг службової інформації інкапсулюючих протоколів між рівнями m та $k + 1$.

У табл.2 для досліджуваних стеків протоколів систем наведені мінімальні значення коефіцієнта надлишкової інформації (11) у пакеті (комірці), які досягаються при обсязі даних додатку, що відповідають MTU, тобто $I_{app} = I_{MTU}^{(m)}$.

Протоколи додатків можуть формувати різні обсяги даних, зокрема $I_{app} < I_{MTU}^{(m)}$, тому доцільні дослідження надлишкової інформації у TCP та UDP пакетах різного обсягу. Результати досліджень залежності ко-

Таблица 2

Мінімальні значення коефіцієнта ІН протоколів системи

Стек протоколів	$I_{MTU}^{(m)}$, байт		$\min\{f\}$, %		Стек протоколів	$I_{MTU}^{(m)}$, байт		$\min\{f\}$, %	
	IPv4	IPv6	IPv4	IPv6		IPv4	IPv6	IPv4	IPv6
TCP/IP/GbE	1460	1440	5,07	6,37	UDP/IP/GbE	1472	1452	4,29	5,59
TCP/IP/PPP	1460	1440	3,18	4,51	UDP/IP/PPP	1472	1452	2,39	3,71
TCP/IP/FR	1560	1540	3,05	4,38	UDP/IP/FR	1572	1552	2,12	3,36
TCP/IP/ATM	8	-	84,9	-	UDP/IP/ATM	20	0	62,3	100
TCP/IP/MPLS/GbE	1452	1432	5,59	6,89	UDP/IP/MPLS/GbE	1464	1444	4,81	6,11
TCP/IP/MPLS/PPP	1452	1432	3,71	5,04	UDP/IP/MPLS/PPP	1464	1444	2,92	4,24

ефіцієнта ІН (9) від обсягу даних додатків у TCP та UDP пакетах систем на магістральних ділянках IP мереж представлені відповідно на рис. 1 та 2.

IPv4/MPLS/GbE та UDP/IPv4/GbE при обсязі корисних даних 100 байт це збільшення становить 2,7%, при обсязі даних 1400 байт – 0,5%.

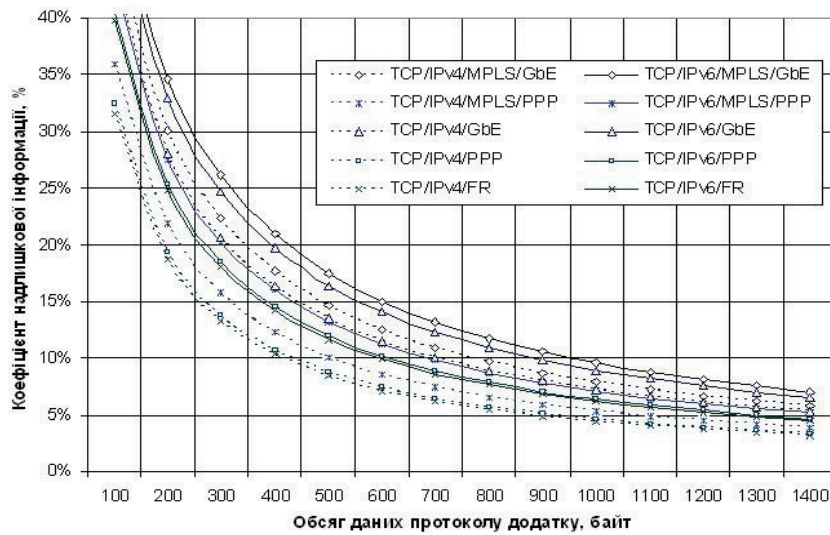


Рис. 1. Коефіцієнт надлишкової інформації TCP сегмента

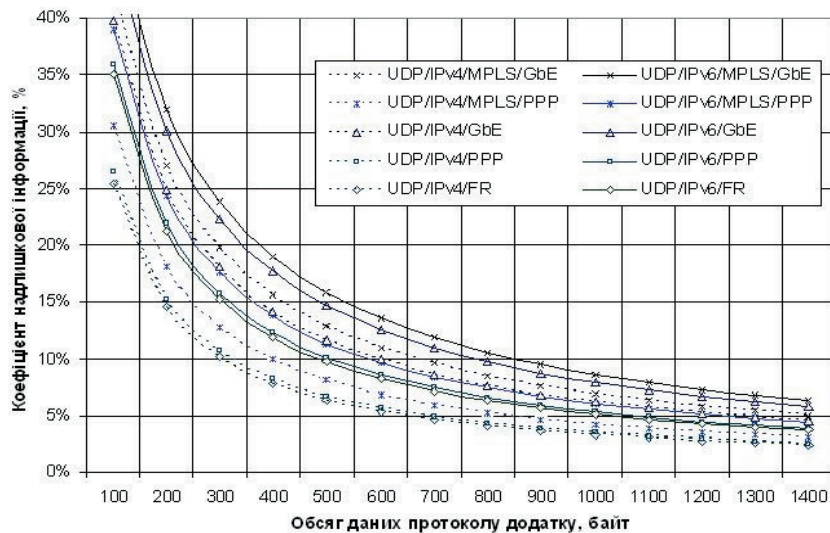


Рис. 2. Коефіцієнт надлишкової інформації UDP датаграми

Аналізуючи результати досліджень ІН стеків протоколів можна зробити такі висновки. Коефіцієнт надлишкової інформації у пакеті суттєво залежить від обсягу даних додатку у пакеті системи. Наприклад, за лінійного збільшення обсягу корисних даних від 100 до 1400 байт коефіцієнт надлишкової інформації стека протоколів TCP/IPv4/GbE нелінійно зменшується від 43,8 до 5,3%.

Розкид значень коефіцієнта ІН для різних транспортних технологій більш суттєвий за невеликих обсягів даних. Наприклад, при збільшенні обсягу корисних даних від 100 до 1400 байт розкид значень ІН для розглядуваних транспортних технологій, зокрема TCP/IPv4/GbE та TCP/IPv4/FR, зменшується від 12,5 до 2,1%.

Застосування технології MPLS дещо збільшує коефіцієнт ІН. Зокрема, для стеків протоколів UDP/

Використання протоколу IPv6 замість IPv4 приводить до більш значного підвищення коефіцієнта ІН. Наприклад, при обсязі корисних даних 100 байт коефіцієнт ІН стека протоколів TCP/IPv6/GbE на 5,7% більший ніж для стека TCP/IPv4/GbE, а при обсязі – 1400 байт це збільшення становить 1,2%.

5. Аналіз ІН фрагментованих пакетів

Умова (4) фрагментації (сегментації) даних додатку протоколом l-го рівня з урахуванням (1) матиме вигляд:

$$I_{app} + \Delta I^{(m,l+1)} > I_{MTU}^{(l)}, m \geq 1, \quad (13)$$

$$\text{де } I_{MTU}^{(l)} > I_{MTU}^{(k)} - \Delta I^{(l,k+1)}, l \geq k. \quad (14)$$

З урахуванням формул (1), (3) коефіцієнт ІН (9) для сукупності q фрагментованих пакетів на виході системи можна розрахувати за формулою

$$\delta I = \frac{\Delta I^{(m,l+1)} + q \Delta I^{(l,n-1)}}{I_{app} + \Delta I^{(m,l+1)} + q \Delta I^{(l,n-1)}},$$

$$m \geq l \geq n = 1, \quad (15)$$

де $I_{app} = \sum_{i=1}^q I_{app,i}$; $I_{app,i}$ – обсяг даних додатку в i-му фрагментованому пакеті.

Результати досліджень залежності коефіцієнта ІН (15) від обсягу даних додатків, які передаються в трьох (q = 3) TCP та UDP фрагментованих IPv4 протоколом пакетах

на виходах взаємодіючих систем у магістральних мережах, представлені відповідно на рис. 3 та 4. При розрахунках обсяг даних додатку I_{app} змінювався від 1300 до 3100 байт, а розподіл даних I_{app} на фрагменти $I_{app,i}$ (16) відбувався з урахуванням MTU технології канального рівня.

Аналізуючи результати досліджень ІН фрагментів IP пакетів можна зробити такі висновки. Коефіцієнт ІН при збільшенні даних додатку I_{app} експоненціально зменшується, але при обсягах I_{app} , які відповідають значенням $q I_{MTU}^{(l)}$, відбувається його стрибок збільшення. Причому величина стрибка при збільшенні обсягу даних I_{app} зменшується. Зокрема для стека протоколів TCP/IPv4/GbE перший стрибок збільшення ІН на 3,4% (від 5,1 до 8,5%) відбувається при $I_{app} = 1460$ байт, а наступний стрибок ІН на 1,8% (від 2,6 до 4,4%) – при $I_{app} = 2940$ байт.

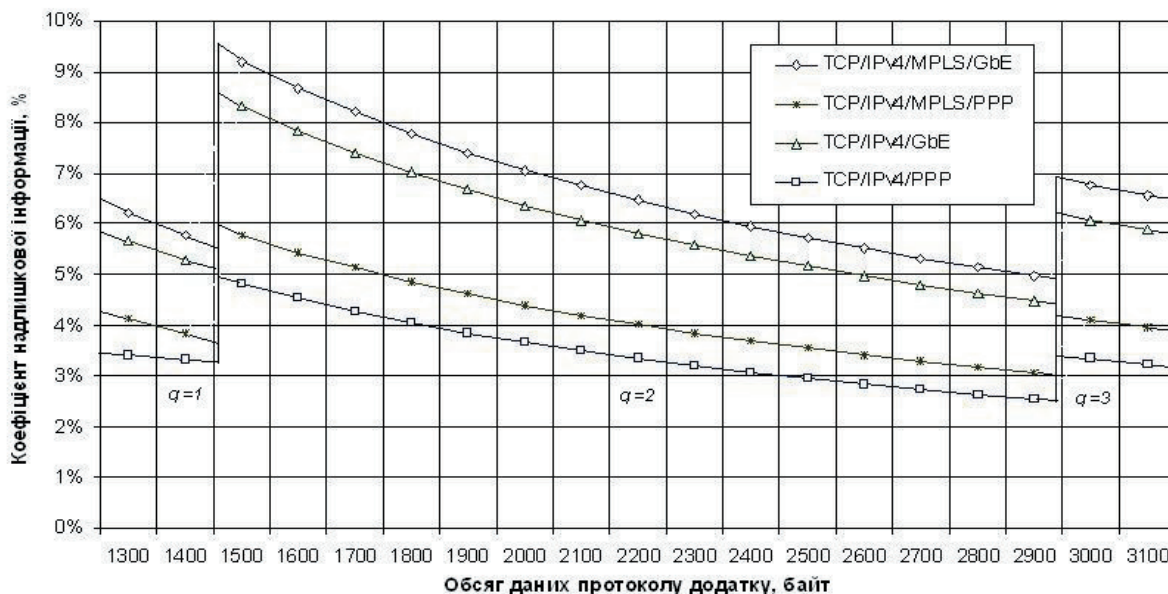


Рис. 3. Коэффициент надлишковой информации в TCP/IPv4 пакетах

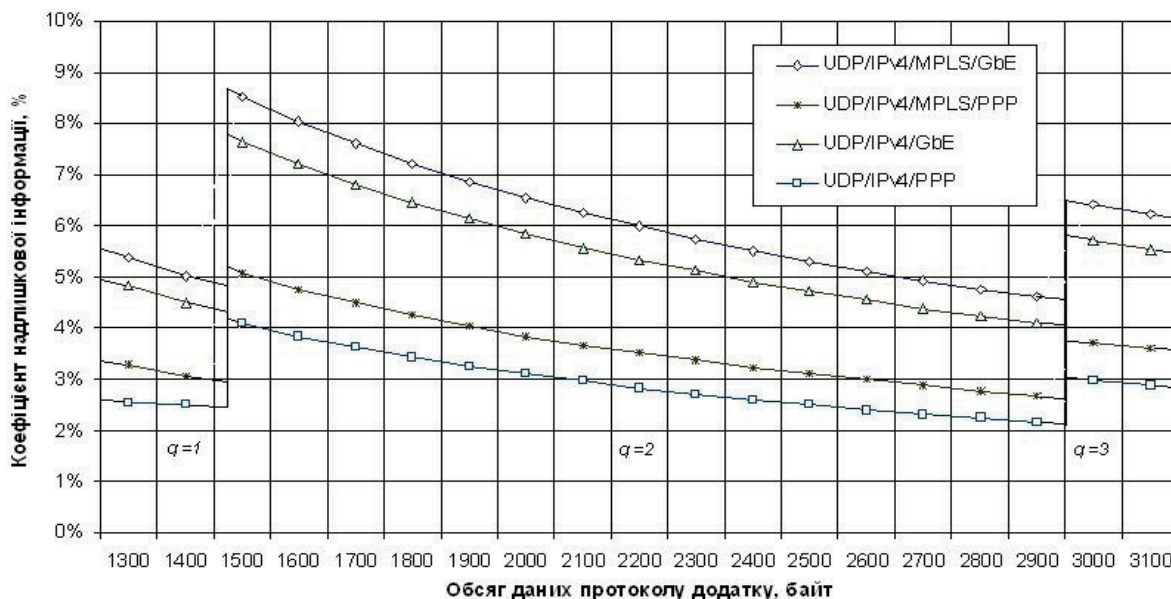


Рис. 4. Коэффициент надлишковой информации в UDP/IPv4 пакетах

5. Висновки

На завершення зазначимо, що запропоновано метод дослідження ІН пакетів, який базується на моделюванні процесів фрагментації та інкапсуляції пакетів. Запропоновано критерій оцінки ІН фрагментованих пакетів та проведено аналіз надлишкової інформації комунікаційних протоколів систем застосовуваних у магістральних ІР мережах у залежності від обсягу даних додатку. Знайдені мінімальні значення ІН пакетів, які досягаються за максимальних обсягів даних до-

датку, що не перевищують MTU досліджуваних стеків протоколів.

Метод дослідження ІН пакетів може бути використано для аналізу обсягів надлишкової інформації будь-яких комбінацій комунікаційних протоколів взаємодіючих систем.

Отримані результати дослідження дозволять аналізувати та диференціювати трафік завантаженої взаємодіючих систем, виконувати оцінку ефективності використання параметрів каналів зв'язку тощо.

Література

1. Кульгин М. Технологии корпоративных сетей. Энциклопедия [Текст] / М. Кульгин. – СПб.: Питер, 2000. – 704 с.
2. Компьютерные сети. Принципы, технологии, протоколы: учеб. для вузов. – [4-е изд.] [Текст] / В.Г. Олифер, Н.А. Олифер. – СПб.: Питер, 2010. – 944 с.

3. Воробієнко П.П. Аналіз обсягів технологічної інформації комунікаційних протоколів систем, що взаємодіють, у мережах з комутацією пакетів [Текст] / П.П. Воробієнко, М.І. Струкало, С.М. Струкало // Зв'язок. – 2011. – № 2. – С. 13-18.
4. Моделирование процессов формирования служебной информации при передаче данных в сетях с коммутацией пакетов [Текст] / П.П. Воробієнко, М.І. Струкало, І.Ю. Рожновская, С.М. Струкало // Наукові праці ОНАЗ. – 2009. – № 1. – С. 3-12.
5. Воробієнко П.П. Обобщенная информационная модель взаимодействия систем инфокоммуникаций [Текст] / П.П. Воробієнко, М.І. Струкало // Электросвязь. – 2004. – № 6. – С. 24-26.
6. Парамонов А.А. Методика оценки эффективности информационных систем с использованием технологий открытых систем (на примере сетевой среды банка) [Электронный ресурс]: автореф. дис. на соиск. ученой степени канд. техн. наук: спец. 05.13.13 "Телекоммуникационные системы и компьютерные сети" / А.А. Парамонов. – М., 2006. – 24 с. – Режим доступа: <http://www.ineum.ru/download/areft.doc>.
7. Воробієнко П.П. Деякі граничні співвідношення в мережах з комутацією пакетів [Текст] / П.П. Воробієнко // Радиотехника. – Харьков: ХНУРЕ, 2002. – Вып. 125. – С. 170-173.
8. Струкало С.М. Аналіз критерієв оцінки інформаційної избыточності протоколів взаємодіючих телекомунікаційних систем [Текст] / С.М. Струкало // Інфокомунікації: проблеми та перспективи розвитку: матер. Міжнародної наук.-практ. конф., 8-10 верес. 2010 р. Одеса. – Одеса: ВМВ, 2010. – С. 76-78.

Запропоновано метод множення цілих чисел на додатні дійсні числа менші одиниці у базових нейроавтоматно-мережних структурах "Множення" і відповідний засіб подання цих чисел

Ключові слова: базові нейроавтоматно-мережні структури, множина, упорядкована пара, цілі числа, невід'ємні дійсні числа, множення

Предложен метод умножения целых чисел на положительные действительные числа меньше единицы в базовых нейроавтоматно-сетевых структурах "Умножения" и соответствующий способ представления этих чисел

Ключевые слова: базовые нейроавтоматно-сетевые структуры, множества, упорядоченная пара, целые числа, неотрицательные действительные числа, умножение

This article presents a method of multiplication of integers by positive real numbers less than 1 in the base neuro-automaton network structures of "Multiplication" and the corresponding technique of representing these numbers

Key words: base neuroautomaton-network structures, set, ordered pair, integers, non-negative real numbers, multiplication

УДК 681.30001.571

МЕТОД УМНОЖЕНИЯ В БАЗОВЫХ НЕЙРОАВТОМАТНО- СЕТЕВЫХ СТРУКТУРАХ "УМНОЖЕНИЕ"

О.И. Филиппенко

Кандидат технических наук

Кафедра телекоммуникационных систем*

Контактный тел.: (057) 702-14-21

И.О. Филиппенко

Кафедра "Автоматизация проектирования

вычислительной техники"*

*Харьковский национальный университет

радиоэлектроники

пр. Ленина, 14, г. Харьков, 61166

Введение

Узлами нейроавтоматной сети [1] являются базовые нейроавтоматно-сетевые структуры (БНАСС). Каждая БНАСС предназначена для выполнения определенной математической операции. БНАСС "Умножение" представляет собой два множества M_1 , M_2 , элементы которых имеют конечное и одинаковое число состояний. При помощи встроенного в БНАСС "Умножение" механизма предопределенно-случайного взаи-

модействия элементов множеств M_1 и M_2 между собой осуществляется операция целочисленного умножения и деления на целое число.

1. Постановка задачи

БНАСС "Умножение" не имеет операции умножения целых чисел на числа из числового промежутка $]0,1[= \{c \in \mathbf{P} | 0 < c < 1\}$.