

ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ АГРЕГАЦІЇ ТРАФІКУ В ОПТИЧНИХ ТРАНСПОРТНИХ МЕРЕЖАХ З КОМУТАЦІЄЮ БЛОКІВ

© Думич С. С., Жуковська Д. С., Максимюк Т. А., 2015

Проведено комплексне дослідження процесу передавання даних в оптичних транспортних системах з комутацією блоків (OBS). Розглянуто найважливіші проблеми, які виникають у мережах OBS, такі як агрегація блоків та їх ефективний розмір. Проведено дослідження ефективності процесу агрегації у крайовому вузлі мережі OBS. Отримані результати показують, що агрегація за критерієм завантаженості буфера дає змогу забезпечити нульові втрати пакетів. Проте це досягається за рахунок збільшення кількості блоків, що призводить до зниження ефективності використання пропускної здатності. З іншого боку, критерій часу очікування, навпаки, забезпечує максимальну ефективність використання пропускної здатності за рахунок блоків великого розміру. Але це спричиняє різке зростання кількості втрачених пакетів. Адаптивний метод підтримує максимально можливий розмір блоків, контролюючи завантаженість буфера. Це дає змогу підтримувати високий коефіцієнт використання пропускної здатності, уникаючи значних втрат пакетів, що є оптимальним компромісом для оптичних транспортних мереж з комутацією блоків.

Ключові слова: оптична комутація блоків, агрегація трафіку, оптична транспортна мережа, BHP, QoS.

S. S. Dumych, D. S. Zhukovska, T. A. Maksymyuk
Lviv Polytechnic National University

RESEARCH ON THE TRAFFIC AGGREGATION PROCESS IN OPTICAL BURST SWITCHED NETWORKS

© Dumych S. S., Zhukovska D. S., Maksymyuk T. A., 2015

Next generation optical networks should provide high capacity to support ever increasing traffic demands. Many technologies have been developed recently for optical transport networks to increase throughput, improve energy efficiency and simplify network deployment. One of most important problems in modern optical networks is IP traffic transmission. Although optical fibers provide tremendous throughput, the overall network performance is still limited by switching nodes. Currently there are three concepts of optical switching: circuit switching, packet switching and burst switching.

Optical circuit switched networks provide direct channels between nodes, separated by different wavelengths. In this case, channels are constantly utilized providing good throughput for transmission sessions. But for the case of low traffic intensity, throughput of optical channels will be underutilized that results in decreasing the capacity of optical transport network. On the other hand, packet switching allows to increase network performance by more effective utilizing of channels throughput. However, packet switched networks generate high overhead of signaling data, especially when traffic intensity is very high.

Optical burst switching (OBS) technology has been developed to overcome problems of circuit switched and packet switched networks by combining advantages of both switching technologies. This allows to provide good performance of packet data transmission. In OBS networks, all packets are assembling to logical bursts. Burst is a logical combination of similar

packets with the same destination address and quality of service (QoS) requirements. Such approach is used to rearrange traffic from different access networks and separate it in accordance to throughput requirements and destination nodes. Burst transmission is coordinated by using burst header packets (BHP) for each optical burst. BHP includes information about addresses of source and destination nodes, QoS requirements and additional supporting data for burst transmission, scheduling and switching.

In this article, we provide a comprehensive study of data transmission in OBS networks. We address most important issues in OBS networks such as burst aggregation and effective burst size. We have conducted simulations and performance analysis of burst aggregation in edge nodes of OBS network. Obtained results shows that buffer threshold method can maintain packets transmission without losses. However, such effect is achieved by sacrifice of channel utilizations efficiency due to small size of bursts (approximately 100 kB). On the other hand, time threshold method provides much larger size of bursts (approximately 250 kB) that allows to achieve the best channels utilization. But, in this case buffer is often overloaded that result in 30 % packet losses. Adaptive threshold method continuously provides buffer load around 80–90 %, but rarely touches 100 % limit resulting in only 3 % packet losses. Moreover, adaptive method keeps bursts size around 200 kB, which seems to be enough for effective throughput utilization. In summary, we can see that adaptive algorithm promises a good tradeoff between packet losses and channels utilization. In future research, we will provide more comprehensive study on the optical switching performance, traffic aggregation process and quality maintenance in optical transport networks.

Key words: optical burst switching, traffic aggregation, optical transport network, BHP, QoS.

Вступ

Стрімкий розвиток інформаційно-комунікаційних технологій у наш час спричиняє появу великої кількості нових сервісів і, як наслідок, значне зростання кількості абонентів. Згідно із дослідженнями корпорації Cisco, кількість пристроїв у мережі Інтернет сьогодні становить 25 мільйонів, що втричі перевищує населення планети. Згідно з прогнозами, до 2020 р. ця кількість зросте до 50 мільйонів, спричиняючи зростання глобального IP-трафіку до 2 зеттабайт на рік. Тому багато сучасних досліджень спрямовані на розроблення нових архітектур та методів передавання даних для оптичних транспортних систем [1]. Зокрема, майбутні мережі мобільного зв'язку 5G, як очікують, матимуть у 1000 раз вищу сумарну пропускну здатність порівняно з мережами LTE-A [2]. Зростання трафіку у мережах доступу спричинить ще різкіше зростання трафіку в транспортних мережах. Незважаючи на те, що оптичні транспортні мережі здатні забезпечувати надзвичайно високі пропускі здатності за рахунок використання технології спектрального ущільнення каналів (DWDM – Dense Wavelength Division Multiplexing), їх ефективність обмежується вузьким місцем у вузлах комутації. Сучасні методи комутації довжин хвиль забезпечують високу ефективність за рівномірної інтенсивності трафіку. Проте у разі значних флуктуацій IP-трафіку продуктивність оптичної комутації довжин хвиль суттєво знижується [3]. Тому для подолання обмежень каналної комутації довжин хвиль розроблено методи пакетної комутації в оптичних транспортних мережах. Ці методи узагальнені у концепції IP over DWDM (IPoDWDM) [4]. Технології пакетної комутації ефективні за значних флуктуацій трафіку, проте вони спричиняють зростання обсягу службових даних та зниження корисної пропускну здатності. Найбільш гнучкою та масштабованою реалізацією концепції IPoDWDM є технологія оптичної комутації блоків OBS (Optical Burst Switching) [5]. Технологія OBS поєднує переваги каналної комутації та пакетної комутації, забезпечуючи високу масштабованість оптичної транспортної мережі та гнучке управління трафіком [6].

Архітектура та процес передавання даних у мережах з оптичною комутацією блоків

Канальна комутація оптичних мереж забезпечує неперервні шляхи між вузлами, відокремлені різними довжинами хвиль. У цьому випадку шляхи постійно використовуються в процесі передавання даних, забезпечуючи хорошу пропускну здатність. Однак за дуже низької інтенсивності пропускну здатність оптичних каналів недостатньо використовується, призводячи до зниження продуктивності мережі [7]. Пакетна комутація в оптичних транспортних мережах

дозволяє підвищити продуктивність мережі за рахунок ефективнішого використання пропускної здатності кожного каналу за допомогою технології MPLS (Multi-Protocol Label Switching) [8]. Проте для трафіку з високою інтенсивністю пакетна комутація потребує великого обсягу службових даних для забезпечення процесу передавання пакетів. У мережах з комутацією блоків усі IP пакети логічно об'єднуються і передаються як один блок даних. Блоком є логічна комбінація однорідних IP пакетів, з однаковими адресою призначення та вимогами до якості обслуговування (QoS). Блоки створюються для розподілу трафіку відповідно до вимог пропускної здатності та адреси кінцевого пристрою [9]. З метою координації передавання пакетів для кожного блока створюється пакет заголовка BHP (Burst Header Packet). BHP містить інформацію про джерело і кінцеві вузли мережі OBS та вимоги до якості обслуговування QoS і додаткові дані управління для підтримки передавання блоків, планування і комутації, які можуть змінюватися залежно від вибраної схеми сигналізації в мережі з оптичною комутацією блоків [9].

Транспортна мережа з оптичною комутацією блоків, як правило, базується на сітчастій топології, і кожен вузол може бути з'єднаний з декількома сусідніми вузлами. Кожен оптичний комутатор складається з двох частин, розділених відповідно до їх функцій: крайовий вузол і проміжний вузол [9]. Проміжний вузол відповідає за агрегацію трафіку від мереж з множинним доступом, створення блоків, а також генерацію або аналіз BHP. Проміжний вузол відповідає за комутацію та маршрутизацію блоків на основі інформації, отриманої від BHP. Передавання і комутація блоків здійснюються прозоро, без перетворення даних в електричну форму, за допомогою технології повністю оптичної комутації. Для того, щоб забезпечити прозоре передавання блоків, передавання BHP планується попереду блока і створює прозорий віртуальний канал до вузла призначення [10]. Оскільки час оптичної комутації визначається швидкістю поширення сигналу в оптичному волокні, для вищих рівнів передавання блока між двома вузлами розглядається як пряме з'єднання, хоч кожен блок проходить через багато вузлів. Приклад передавання даних у мережі OBS через віртуальний канал показано на рис.1. Як згадано вище, оптичний комутатор складається з крайового вузла та проміжного вузла. Проте для кращого розуміння на рис. 1 ці вузли представлені окремо.

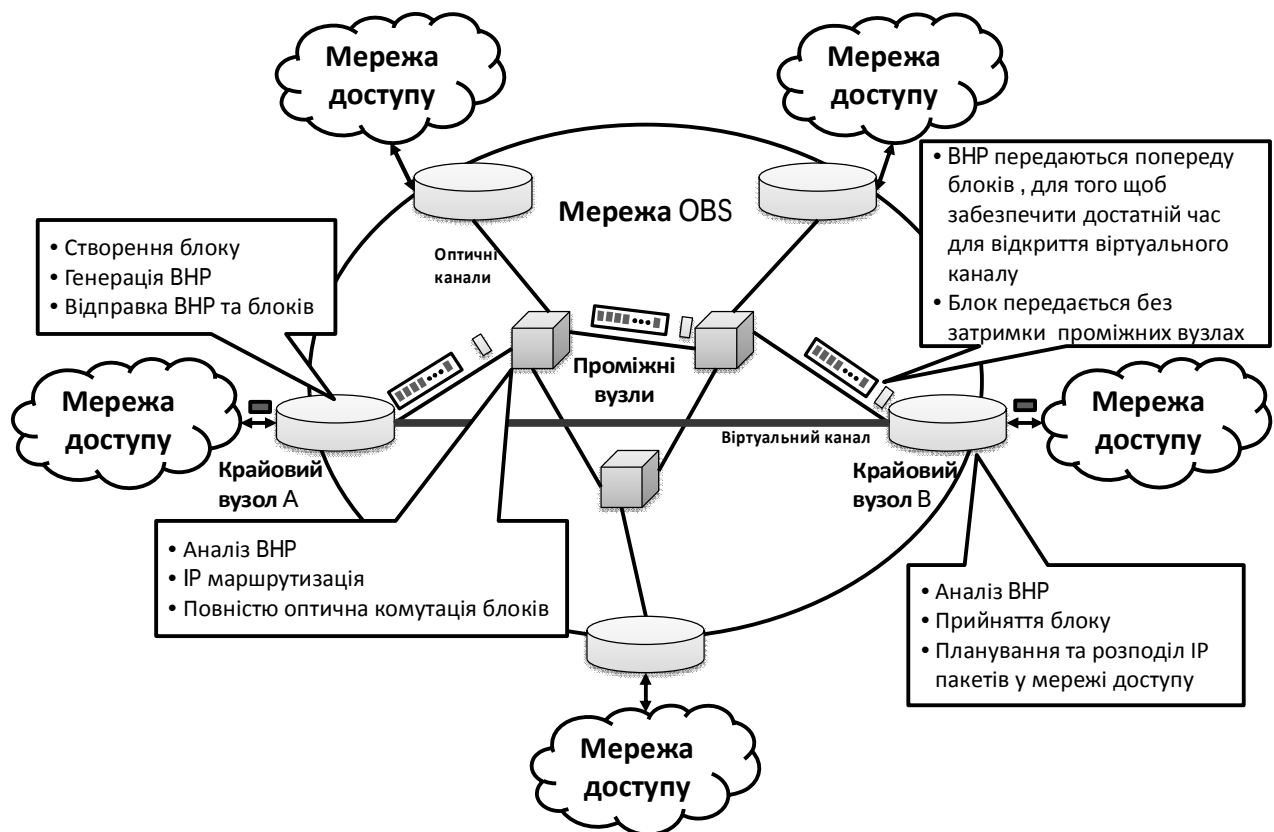


Рис. 1. Процес передавання даних у мережі з оптичною комутацією блоків

Архітектура та функції крайового вузла

Крайовий вузол є дуже важливою частиною мережі OBS, що забезпечує проміжні функції між транспортною мережею і мережею доступу. IP-трафік агрегується з різних мереж доступу, таких як пасивні оптичні мережі (PON), корпоративні мережі, мережі стільникового зв'язку, мережі зберігання та обробки даних тощо. Як результат, вхідний трафік виносного вузла є неоднорідним, тому що кожна мережа доступу задає різні параметри якості обслуговування, такі як пропускна здатність, час очікування та ймовірність втрати пакетів. Наприклад, пакети стільникової мережі можуть мати строгі вимоги до часу очікування, через велику затримку під час обробки в системі стільникового зв'язку, тоді як пакети оптичної мережі доступу з аналогічними початковими вимогами обслуговування можуть бути затримані на триваліший час у крайовому вузлі, забезпечуючи при цьому належну якість сервісу для кінцевих користувачів. З іншого боку, пакети нереального часу з високими вимогами до пропускної здатності можуть бути затримані на триваліший час, проте потребують високої пропускної здатності (сервіси "відео на вимогу"). Крім того, мережа OBS повинна підтримувати передавання IPv6 трафіку, який відрізняється від IPv4 за структурою пакета. Проблеми сумісності, що виникають під час агрегації трафіку від мереж з різним типом адресації, також повинні бути враховані в процесі функціонування мережі. Отже, через змінні параметри агрегації трафіку, планування блоків у крайовому вузлі є дуже складним завданням і досі не існує оптимального рішення для процесу створення і передавання блоків.

На рис. 2 показано процес агрегації блоків у крайовому вузлі мережі з оптичною комутацією блоків [11]. По-перше, вхідні потоки IP-пакетів з різних сегментів мереж доступу мультиплексуються в один потік залежно від моменту прибуття. По-друге, класифікатор пакетів розподіляє пакети відповідних блоків і повідомляє планувальнику про стан цих блоків. Водночас планувальник визначає необхідне волокно і відповідну довжину хвилі для кожного пакета в генераторі ВНР. По-третє, генератор ВНР створює контрольні пакети відповідно до даних, отриманих від планувальника. У кінцевому випадку, планувальник спочатку відправляє ВНР, а потім відправляє відповідний блок після заданої затримки. Затримку розраховують для кожного маршруту, щоб переконатися, що ВНР буде успішно оброблений у вузлі призначення до того, як відповідний блок досягне цього вузла. Оскільки блок передається без обробки в центральних вузлах, спостерігається ефект "переслідування", за якого відстань між ВНР і відповідним блоком зменшується після кожного проміжного вузла. У цьому випадку віртуальний канал є активним лише для передавання блока (блоків), для того щоб якомога ефективніше використовувати пропускну здатність оптичного каналу.

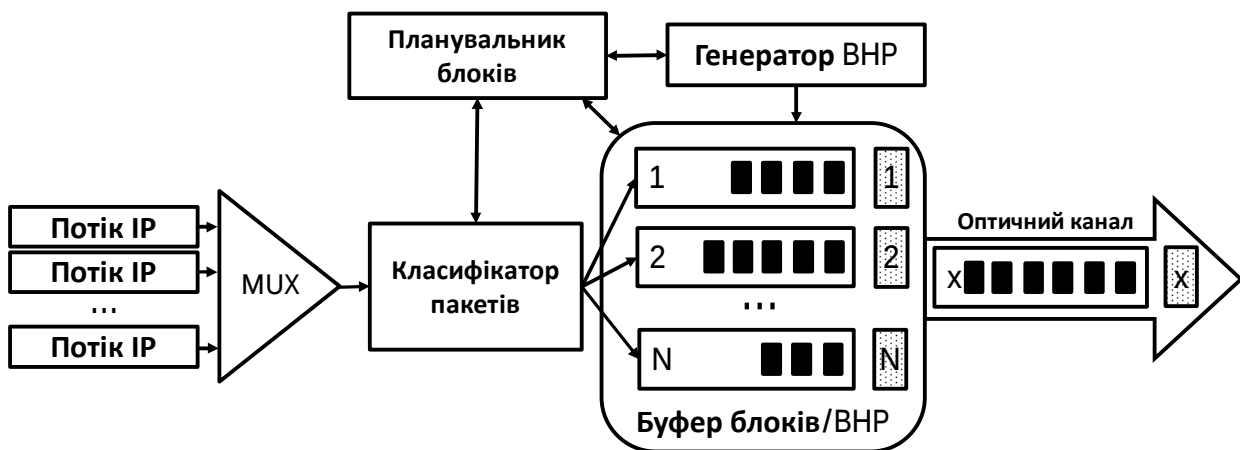


Рис. 2. Процес агрегації блоків у крайовому вузлі мережі OBS

Однією з важливих частин процесу агрегації блоків є визначення оптимального розміру для кожного блока. Розміром блока вважається сумарний розмір усіх IP-пакетів у блоці. Враховуючи встановлений інтервал між ВНР і блоком, очевидно, що більші блоки забезпечують краще використання пропускної здатності порівняно з меншими, оскільки за меншого розміру блоків зростає їх кількість, що потребує більшого обсягу службових даних. Однак максимальний розмір

блока також є обмеженим, оскільки за низької інтенсивності трафіку час життя першого пакета в блоці може завершитись до того, як сформується повний блок. Тому критерій розміру теж не є оптимальним для передавання блока. Альтернативним підходом є часовий критерій за максимальною затримкою пакета в блоці. Проте це призводить до перевантаження буфера у разі збільшення інтенсивності трафіку, тому що розмір блоків може бути занадто великим. Тому для забезпечення компромісу між часом затримки та ефективністю використання каналу використовується адаптивний алгоритм [12].

Архітектура та функції проміжного вузла

Проміжний вузол у мережі OBS здійснює повністю оптичну комутацію кожного вхідного блока до вузла-одержувача. Проміжний вузол складається з двох паралельних систем: повністю оптичної системи комутації та системи обробки ВНР [14]. Система обробки ВНР аналізує вхідний ВНР для того, щоб отримати інформацію про адресу призначення блока, вимоги до QoS, розмір блока та момент його прибуття. Згідно з отриманою інформацією, ВНР процесор забезпечує маршрутизацію з урахуванням усіх вхідних блоків за один інтервал часу, що дозволяє розподілити доступні ресурси каналу відповідно до вимог QoS. Повністю оптична система комутації забезпечує процес комутації блоків без оптоелектронних та електронно-оптичних перетворювань відповідно до отриманої комутаційної матриці з системи обробки ВНР. Повністю оптичний комутатор може бути реалізований з використанням різних технологій оптичної комутації, таких як мікроелектромеханічна, акустооптична, або рідкокристалічна [15, 16]. Процес оптичної комутації блоків у проміжному вузлі показано на рис. 3.

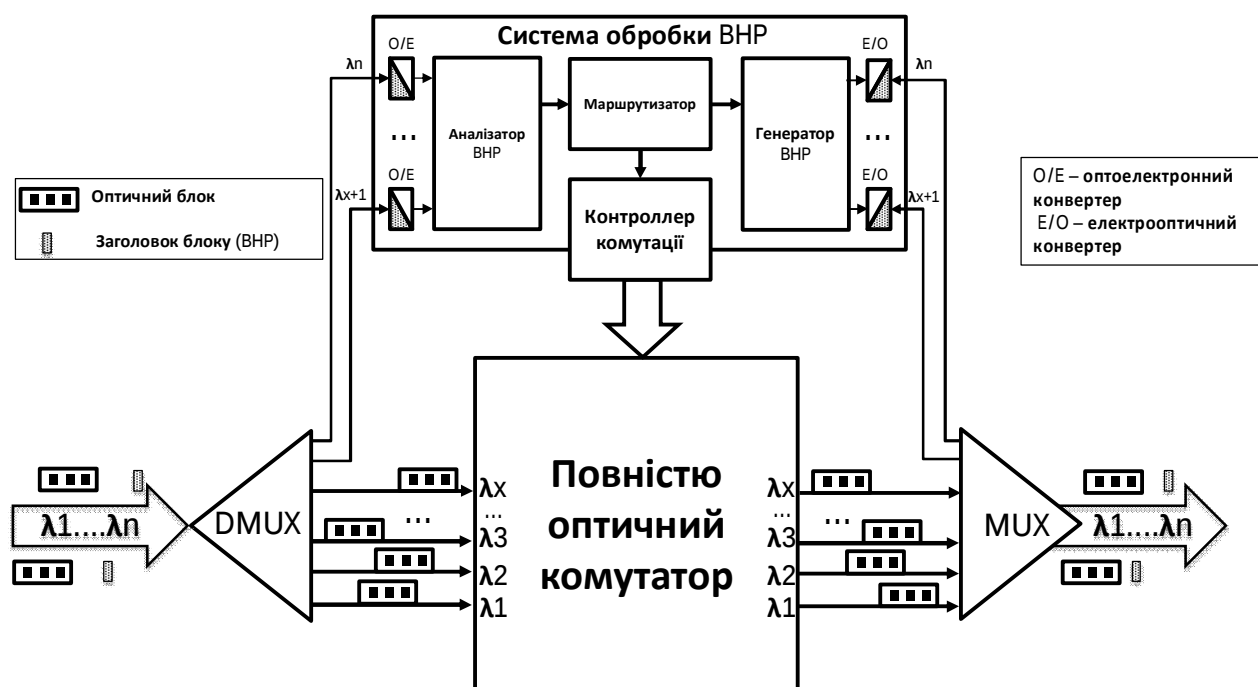


Рис. 3. Процес оптичної комутації блоків у центральному вузлі мережі з оптичною комутацією блоків

Вхідні блоки та ВНР пакети передаються по оптичних каналах DWDM на відокремлених довжинах хвиль. Демультимплексор (DMUX) розділяє усі вхідні канали та ділить їх між службовим трафіком та трафіком даних. Як показано на рис. 3, довжини хвиль від λ_1 до λ_x використовуються для прозорієї передачі блоків і підключені безпосередньо до повністю оптичного комутатора. Решта каналів з довжиною хвилі від λ_{x+1} до λ_n під'єднані до системи обробки ВНР і відповідають за передавання ВНР.

Процес комутації у проміжному вузлі описаний нижче. Спочатку службові пакети надходять у систему обробки ВНР. Після перетворення з оптичної форми сигналу в електричну здійснюється маршрутизація, планування та комутація за допомогою цифрових обчислювальних пристроїв.

Аналізатор ВНР здійснює процес планування залежно від часу надходження блока і класифікує блоки за відповідними часовими інтервалами. Після планування маршрутизатор обчислює оптимальні шляхи за комплексним алгоритмом маршрутизації, відносно вимог QoS блоків, що надійдуть у межах часового інтервалу. Після цього комутаційний контролер реконфігурує оптичний комутатор відповідно до інформації, що надходить з маршрутизатора. Потім генератор ВНР створює оновлені ВНР, перетворює їх в оптичну форму та передає до наступного вузла. Зрештою блоки даних надійдуть до проміжного вузла і перейдуть до одержувача без перетворення в електричну форму.

Моделювання характеристик оптичних транспортних систем з комутацією блоків

Проведемо моделювання процесу агрегації блоків у крайовому вузлі мережі з оптичною комутацією блоків, припустивши, що вхідний трафік у мережі OBS є самоподібним, як досліджено в [17]. Отже, ми моделюємо крайовий вузол як систему масового обслуговування G/M/1 з нормальним розподілом вхідного трафіку і пуассонівським розподілом розміру IP пакетів. Дослідження виконано для трьох методів агрегації блоків: метод за критерієм завантаженості буфера, критерієм часу, і запропонованим нами адаптивним пороговим критерієм [12, 13], який оцінює динаміку зростання завантаженості буфера для виявлення різких флуктуацій навантаження. Результати моделювання представлені на рис. 4.

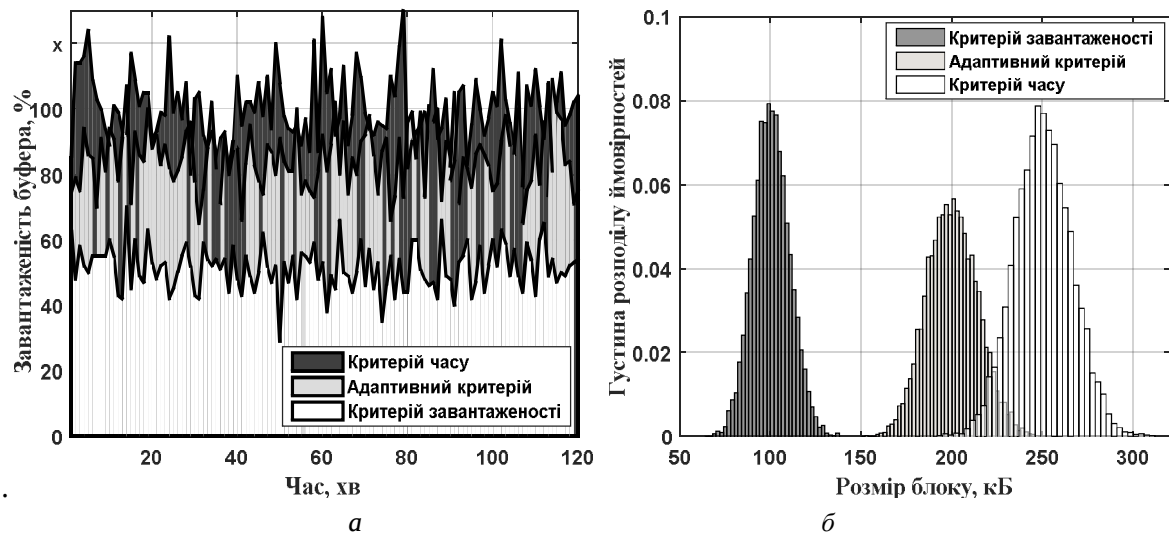


Рис. 4. Результати моделювання методів агрегації блоків:
а – завантаженість буфера; б – густина розподілу розміру блоків

Як видно з отриманих результатів, за критерію завантаженості буфера розмір блоків найменший, в середньому 100 кбайт (рис. 4, б). Однак протягом двох годин моделювання за цим методом завантаженість буфера не перевищувала 60 % (рис. 4, а). У разі моделювання за критерієм часу середній розмір блока становить 250 Кб (рис. 4, б). Проте в такому випадку спостерігались часті перевантаження, що призвело до втрати 30 % переданих пакетів. За використання адаптивного методу буфер завжди є завантаженим мінімум на 80 %, проте дуже рідко досягає межі 100 % завантаженості, призводячи до втрати лише 3 % переданих пакетів (рис. 4, а). Незважаючи на це, середній розмір блока становить близько 200 Кб (рис. 4, б), що є доволі великим значенням для ефективного використання пропускну здатності.

Висновки

У статті детально проаналізовано архітектуру та принципи функціонування повністю оптичних транспортних систем з комутацією блоків. Окремо розглянуто архітектуру та функції крайового вузла мережі OBS, який відповідає за процес агрегації трафіку від мереж доступу в

транспортну мережу. Крім того, розглянуто архітектуру проміжного вузла та проаналізовано процес повністю оптичної комутації інформаційних потоків у транспортній мережі OBS. В статті зосереджено увагу на проблемах агрегації блоків та їх ефективному розмірі. Проведено дослідження трьох методів агрегації блоків, а саме: метод за критерієм завантаженості буфера, метод за критерієм часу, і адаптивний пороговий метод. Результати моделювання показують, що критерій завантаженості є найефективнішим стосовно втрат пакетів внаслідок перевантаження. Проте для цього методу характерний низький коефіцієнт використання пропускну здатності за рахунок великої кількості блоків. Найефективнішим за пропускну здатністю є метод за критерієм часу, який формує блоки максимально можливого розміру, що дає змогу найефективніше використовувати пропускну здатність каналів. Проте у такому випадку, зростає кількість втрачених пакетів внаслідок перевантажень буфера. Адаптивний алгоритм дає змогу досягти компромісу між ефективністю використання пропускну здатності та коефіцієнтом втрати пакетів, завдяки чому мережа ефективно функціонуватиме в умовах динамічно змінного трафіку.

1. Maksymyuk T., Dumych S., Krasko O., Kaidan M., Strykhalyuk B. Study and Development of Next-Generation Optical Networks // *Smart Computing Review*, vol. 4, no. 6. – P. 470-480, Dec. 2014.
2. Bhushan N., Li J., Malladi D., Gilmore R., Brenner D., Damnjanovic A., Sukhvasi R. T., Patel C. and Geirhofer S. Network densification: the dominant theme for wireless evolution into 5G // *IEEE Communications Magazine*, vol. 52, no.2. P. 82–89, 2014.
3. Xu L., Perros H.G., Rouskas G. Techniques for optical packet switching and optical burst switching // *IEEE Communications Magazine*, vol. 39, no. 1, P. 136–142, 2001.
4. Dixit S. IP over WDM: building the next-generation optical internet // John Wiley & Sons, 2004.
5. Chen Y., Qiao C., Yu X. Optical burst switching: a new area in optical networking research // *IEEE Network*, vol. 18, no. 3, pp. 16–23, 2004.
6. Dumych S., Guskov P., Maksymyuk T. and Klymash M. Simulation of characteristics of optical burst switched networks // In Proc. IEEE International Conference on Microwave & Telecommunication technology (CriMiCo'2013), pp. 492–493, Sep. 2013.
7. Ramaswami R., Sivarajan K. N. Routing and wavelength assignment in all-optical networks // *IEEE/ACM Transactions on Networking (TON)*, vol. 3, no. 5, pp. 489–500, 1995.
8. Xiao X., Hannan A., Bailey B., Ni L. M. Traffic Engineering with MPLS in the Internet // *IEEE Network*, vol. 14, no.2, P. 28–33.
9. Dolzer K., Gauger C. On burst assembly in optical burst switching networks – a performance evaluation of Just-Enough-Time // In Proceedings of ITC 18, P. 149–161, Sep. 2001.
10. Dumych S., Maksymyuk T., Krasko O., and Guskov P. The Virtual Channel Parameters Calculation in All-Optical Network // In Proc. IEEE International Conference on The Experience of Designing and Application of CAD Systems in Microelectronics, (CADSM 2013), p.87, Feb. 2013.
11. Vokkarane V. M., Jue J. P. Prioritized burst segmentation and composite burst-assembly techniques for QoS support in optical burst-switched networks // *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, vol. 21, no. 7, P. 1198-1209, 2003.
12. Dumych S., Maksymyuk T. and Guskov P. Simulation of Burst Aggregation and Signaling schemes for Optical Burst Switched Networks // Int. Conf. Computer Science and Engineering, Lviv Polytechnic National Univ., Ukraine, P.40-41 Nov. 2013.
13. Maksymyuk T., Dumych S., Krasko O., Jo M. Software defined optical switching for cloud computing transport systems // ACM International Conference on Ubiquitous Information Management and Communication (IMCOM'2015), Article No. 46, Jan. 2015.
14. Liu L., et al Experimental comparison of high-speed transmission control protocols on a traffic-driven labeled optical burst switching network test bed for grid applications // *Journal of Optical Networking*, vol. 8, no. 5, P. 491–503, May 2009.
15. Krause T. Migration to All-Optical Networks // Alcatel Network Systems, 1998, <http://www.usa.alcatel.com/telecom/transpt/optical/techpaps/migration/>.
16. Andrushchak A. S., Kaidan M. V., Chernyhivskiy Ye. M., Yurkevych O. V., Maksymyuk T. A., Mytsyk B. G., and Kityk A. V. Application efficiency increasing of LiNbO₃:MgO and GaP crystals for acoustooptical high-frequency control of powerfull laser irradiation // In Proc. IEEE International Conference on Laser and Fiber-Optical Networks Modeling, (LFNM 2010), P.173–175, 2010.
17. Ge A., Callegati F., Tamil L. S. On optical burst switching and self-similar traffic // *IEEE Communications Letters*, vol. 4, no.3, P. 98-100, 2000.