

Андрущак В.С., Кайдан М.В., Максимюк Т.А., Думич С.С., Пиріг Ю.В.

Національний університет "Львівська політехніка", Львів

ИНТЕЛЕКТУАЛЬНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ИНФОРМАЦИОННЫМИ ПОТОКАМИ В ОПТИЧЕСКИХ ТРАНСПОРТНЫХ СЕТЯХ

В роботі представлено алгоритм агрегації навантаження на граничному вузлі транспортної технології OLS. Даний алгоритм розроблений на базі методів штучного інтелекту. Він дозволяє спрогнозувати розмір транспортного модуля технології OLS на базі попередньої інтенсивності вхідного трафіку, що говорить про здатність працювати із різноманітним трафіком, який змінюється протягом доби. Розроблений алгоритм рекомендовано використовувати на SDN контролері, який відповідає за збір даних із кожного граничного вузла, що дозволить підвищити точність прогнозування розміру блоку транспортного модуля.

Ключові слова: оптична транспортна мережа, повністю оптичний комутатор, штучний інтелект, балансування трафіку.

Andrushchak V.S., Kaidan M.V., Maksymyuk T.A., Dumych S. S., Pyrih Y. V.

National University "Lviv Polytechnic", Lviv

INTELLIGENT DATA FLOW MANAGEMENT IN OPTICAL TRANSPORT NETWORK

Currently, telecommunication operators have many technical challenges because users need more telecommunication resources for their applications with high quality. Even in this case, telecommunication operators try to get profit based on their networks. That's why the task for improving the efficiency of using telecommunication resources is important. In our article, we suggest to use Optical Label Switching technology as technology of link level which allows to use optical, time, and energy resources in efficient way. Algorithm of traffic aggregation in an edge node of OLS network is presented. This algorithm predicts the size of transport block based on the intensity of income traffic for different part of day with using an artificial intelligence tool. This feature allows to reduce the amount of service data, and improve efficiency of using optical resources. This algorithm is used on the SDN controller which collects data from every node for increasing the accuracy of our algorithm.

Keywords: optical transport network, all-optical switch, artificial intelligence, balancing of traffic.

Андрущак В.С., Кайдан М.В., Максимюк Т.А., Думич С.С., Пирог Ю.В.

Национальный университет "Львовская политехника", Львов

ИНТЕЛЕКТУАЛЬНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ИНФОРМАЦИОННЫМИ ПОТОКАМИ В ОПТИЧЕСКИХ ТРАНСПОРТНЫХ СЕТЯХ

В работе представлены алгоритм агрегации нагрузки на предельном узле транспортной технологии OLS. Данный алгоритм разработан на базе методов искусственного интеллекта. Он позволяет спрогнозировать размер транспортного модуля технологии OLS на базе предыдущей интенсивности входящего трафика, что говорит о способности работать с

разнообразным трафиком, который меняется в течение суток. Разработан алгоритм рекомендуется использовать SDN контроллере который отвечает за сбор данных по каждому предельному узлу, что позволит повысить точность прогнозирования размера блока транспортного модуля.

Ключевые слова: оптическая транспортная сеть, полностью оптический коммутатор, искусственный интеллект, балансировка трафика.

1. Вступна частина

Постановка задачі. Телекомунікаційні оператори намагаються зменшити свої капітальні і операційні витрати за рахунок впровадження ефективного апаратного і програмного забезпечення. Тобто, задача зводиться до того що потрібно підвищити ефективність використання оптичних, часових, спектральних і енергетичних ресурсів. Тому можна вважати доцільною задачу підвищення ефективності використання мережевих ресурсів за рахунок зменшення кількості сигнальної інформації канального рівня оптичної транспортної мережі.

Аналіз літературних джерел. Телекомунікаційний трафік збільшується надзвичайно динамічно за рахунок збільшення кількості мережевих додатків, попиту на телекомунікаційні послуги, а також доступності інфокомунікаційної мережі. Відповідно, оператори зв'язку повинні забезпечити необхідну якість обслуговування (QoS) для користувачів [1-3]. З іншого боку, оператори намагаються знизити вартість обслуговування і знайти нові підходи та технології, які дозволяють це зробити.

Міжнародний телекомунікаційний союз (ITU-T) представив вимоги до майбутніх мереж, які працюватимуть у 2020 році [4]:

- 1 мс end-to-end затримки;
- 10 Гбіт/с на одне з'єднання;
- 1000 з'єднань на 1 км²;
- надання якісного зв'язку для швидкісної залізниці - 500 км/год;
- логічно ізольовані мережеві частини (Logically Isolated Network Partitions - LINP);

Перш за все, в наших дослідженнях ми намагаємося досягти необхідних параметрів в оптичних транспортних мережах, оскільки зараз це є ядро будь-якої телекомунікаційної мережі. Цілями наших досліджень є:

- підвищити ефективність використання оптичних ресурсів;
- зменшення кінцевої затримки для оптичної транспортної мережі;
- підвищення енергоефективності в цих мережах;

Для вдосконалення використання оптичних ресурсів пропонуємо зменшити кількість службових даних та збільшити розмір блоку даних [5-7]. Низька затримка може бути отримана шляхом попередньо визначених маршрутів без оптоелектронного перетворення на проміжних вузлах [6]. Уникнення опто-електронного перетворення, удосконалення протоколів передачі даних та розумне агрегування трафіку є ключовими підходами для зменшення споживання енергії в оптичних транспортних мережах [8-12].

Технологія комутації блоків на базі оптичних міток (Optical Label Switching - OLS) є ключовою технологією канального рівня в оптичних транспортних мережах в наших дослідженнях. Ми пропонуємо використовувати цю технологію, оскільки вона здатна забезпечити необхідні технічні вимоги:

- комутацію на базі оптичних міток (швидкий процес перемикавання);
- корисне навантаження комутується без опто-електронного перетворення (швидкий процес перемикавання та низьке енергоспоживання);
- оптичні та часові ресурси можуть бути зарезервовані на кожному проміжному вузлі маршруту або в граничному вузлі для всього маршруту (ефективне використання оптичних ресурсів);
- розмір блоку даних може динамічно змінюватися (низьке енергоспоживання, низька затримка та ефективне використання оптичних ресурсів);

Наші дослідження базуються на цих ключових підходах для вдосконалення оптичних транспортних мереж.

Невирішені питання. На основі аналізу літературних джерел можна зробити наступні висновки. Задача підвищення ефективності використання оптичних, часових, спектральних і енергетичних ресурсів є завжди актуальною для зменшення операційних і капітальних витрат телекомунікаційного оператора. Тому важливо розвивати нові підходи в напрямку балансування мережевого трафіку в оптичних транспортних мережах особливо в напрямку методів штучного інтелекту. Це дозволить швидко прогнозувати вузькі місця мережі і швидко без участі адміністратора приймати правильні рішення.

Мета та задачі дослідження. Метою роботи є підвищення ефективності використання мережевих ресурсів оптичної транспортної мережі.

Для досягнення мети розв'язуються такі наукові задачі:

- дослідження проблеми ефективності використання мережевих ресурсів в оптичних транспортних мережах;
- оцінити вплив динамічної зміни розміру блоку даних в технології OLS;
- розробити алгоритм прогнозування розміру блоку даних канального рівня технології OLS на базі попередньої інтенсивності вхідного трафіку використовуючи методи штучного інтелекту;
- оцінити адекватність даного алгоритму з точки зору втрати пакетів.

2. Структура архітектура оптичної транспортної мережі з використанням алгоритму штучного навчання.

На рисунках 1 і 2 зображено досліджувані структури мереж. Головною відмінністю між представленими структурами мереж є те що для використання алгоритмів буде використовувати SDN (Software defined network) контролер із алгоритмами машинного навчання.

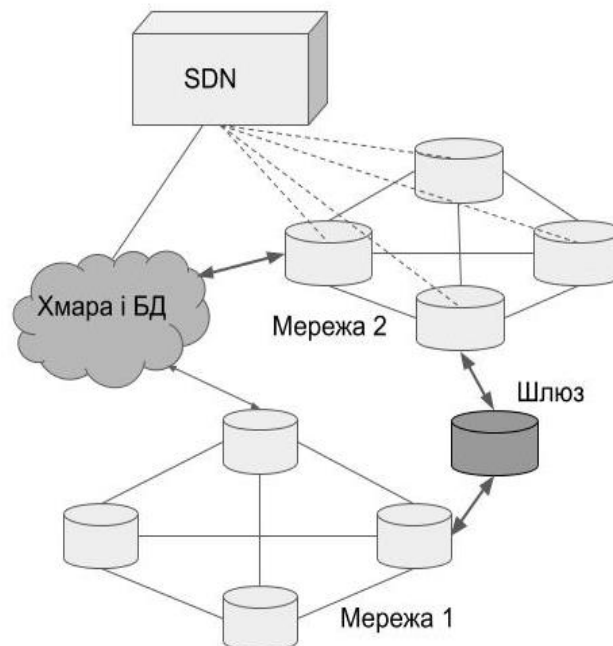


Рис 1. Поточні структури телекомунікаційних мереж

Перш за все SDN контролер буде відповідати за збір даних із вузлів оптичної транспортної мережі і зберігання їх в базі даних. Для зменшення навантаження на SDN контролер транспортної оптичної мережі пропонується частину розрахунків механізмів ML здійснювати на вузлах. Проте перед тим як перейти до вирішення задачі зменшення параметру мережевої затримки, підвищення енергоефективності чи підвищення ефективності використання

мережевих ресурсів необхідно визначити за які етапи роботи мережі будуть відповідати алгоритми ML а також які необхідні дані та характеристики необхідно збирати із вузлів мережі для цих же алгоритмів.

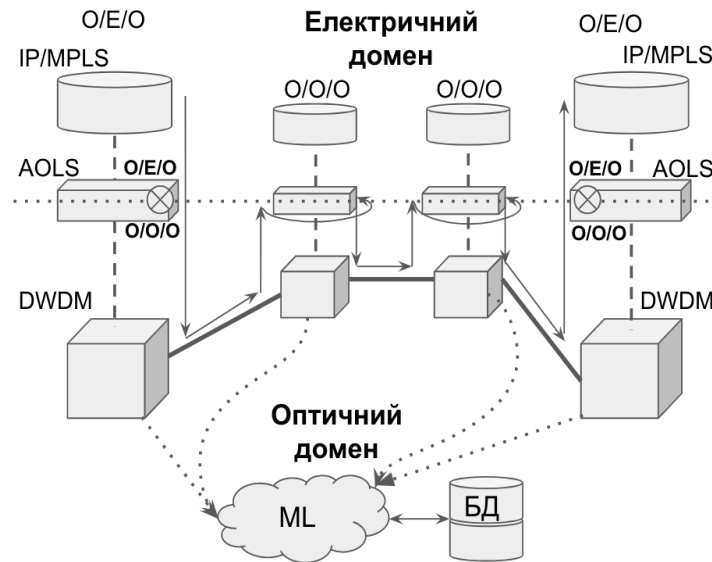


Рис.2. Запропонована архітектура оптичної транспортної мережі

Наша запропонована архітектура оптичної транспортної мережі має наступні вимоги:

- кожний вузол мережі підключений до SDN контролера;
- корисне навантаження повинно обходити IP/MPLS маршрутизатори на проміжних вузлах для зменшення затримки та енергоспоживання мережі;
- корисне навантаження має оброблятися без оптоелектронного перетворення на проміжних вузлах;
- службові дані обробляються в електричному домені;
- OLS обладнання агрегує/деагрегує IP-пакели на граничних вузлах, крім того, це обладнання генерує маршрут LSP (Label switching path) для кожного транспортного блоку;
- граничні вузли надсилають повідомлення про стан LSP на контролер, алгоритм зберігає дані про даний LSP в базі даних;
- інформація про маршрути, блок даних, втрачені пакети, енергоспоживання, затримки зберігаються в базі даних;
- алгоритми штучного інтелекту використовуються для управління потоком даних.

У роботі представлені два типи передачі даних служби [6]:

- дані про корисне навантаження та обслуговування передаються в загальному оптичному каналі;
- дані про корисне навантаження та обслуговування передаються окремими оптичними каналами;

Ці типи передачі даних впливають на структуру повністю оптичного вимикача на проміжному вузлі. В роботі представлена архітектура повністю оптичного комутатора для обох протоколів [6]. Для мереж OLS потрібні потужні комутатори, які підходять для роботи сотень оптичних волокон як портів. Це означає, що оптична транспортна мережа втратить усі переваги технології OLS, якщо оптичні комутатори не зможуть підтримувати необхідний параметр масштабованості.

З іншого боку, крайній вузол повинен забезпечувати інтелектуальну агрегацію трафіку на основі вхідного трафіку. Власне наша ідея полягає в розробці алгоритму, який дозволяє динамічно змінює розмір блоку даних. Це дає змогу:

- зменшити кількість службових даних;

- підвищити ефективність використання оптичних ресурсів;
- забезпечити необхідні параметри QoS;
- зменшити навантаження для проміжного вузла.

У наступному розділі представлений алгоритм інтелектуального агрегування трафіку на основі штучного інтелекту (Artificial Intelligence - AI надалі) в крайовому вузлі.

3. Опис збору і обробки даних для алгоритму машинного навчання оптичної транспортної мережі.

Для забезпечення необхідних параметрів мережі в роботі запропоновано використовувати алгоритми на базі штучного інтелекту. Як було наголошено, важливо визначити які необхідні дані мережі потрібно збирати із вузлів для роботи запропонованих алгоритмів. Існує певна процедура для вибору, агрегації, очистки і декомпозиції даних в алгоритмах машинного навчання (Machine Learning - ML) [13]. На рис. 3 зображено стадії процесу обробки даних власне із акцентом на телекомунікаційні мережі.

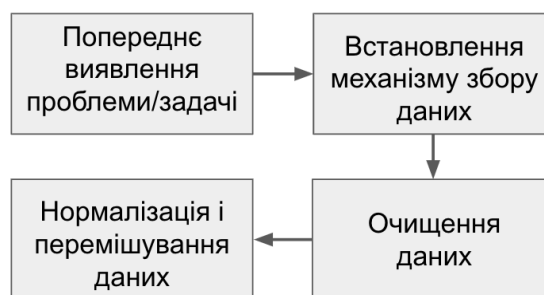


Рис. 3. Процес збору і обробки даних для алгоритмів ML

Перший етап передбачає визначення телекомунікаційної задачі. В даному випадку ми намагаємось підвищити ефективність використання оптичних ресурсів і зменшити параметр затримки що буде досягнуто за рахунок динамічної зміни розмірів транспортних блоків.

Другий етап передбачає визначення механізму збору даних для тренування нейронної мережі. Для збору даних використовуємо SDN контролер до якого по низькошвидкісних каналах будуть передаватись службові дані від вузлів мережі. Для цього нам потрібно збирати наступні дані:

- час відправки із вузла відправлення;
- час прибуття на вузол;
- LSP;
- розмір транспортного модуля;
- кількість втрачених пакетів;
- персональну затримку пакетів.

Третій і четвертий етапи передбачає очищення даних від аномальних чи помилкових даних і нормалізацію даних. Це важливий етап оскільки помилкові дані можуть суттєво вплинути на нормалізацію і це призведе до невдалого тренування нейронної мережі. Відповідно до розглянутої телекомунікаційної задачі слід врахувати:

- інформація від всіх LSP повинна бути збалансована для рівномірного тренування;
- визначити граничні значення параметру затримки, кількості втрачених пакетів і т.п.;
- здійснити очищення даних від помилкових значень які є аномальними;
- визначити критичні характеристики які нейронна мережа повинна правильно обробити і здійснити додаткову генерацію даних якщо це потрібно.

Дані кроки є важливі для правильної нормалізації даних і підвищення точності правильних рішень нейронної мережі.

4. Алгоритм підвищення ефективності використанням оптичних ресурсів в оптичній транспортній мережі на базі технології OLS.

Однією із головних причин затримки в оптичних транспортних мережах є використання оптоелектронного перетворення і обробка даних на проміжних вузлах мережі. Власне технологія OLS передбачає що корисне навантаження залишається на оптичному рівні, а мітки, прокладаючи маршрут, обробляються в електричному домені [5, 9]. В роботі [7] було представлено два режими передачі даних корисного навантаження. Один із режимів передбачає використання оптичних буферів в яких перебуває корисне навантаження на час обробки службової мітки. Інший режим передачі даних передбачає надсилання стеку мітки кожна з яких резервує часові і спектральні ресурси відповідного оптичного тракту і після цього відбувається передача корисного навантаження. Однією із переваг другого методу є відсутність оптичних буферів. Проте цей метод має деякі складнощі. Мітка в даному режимі переносить інформацію про час початку і завершення процесу комутації певного вхідного волокна і оптичного каналу у відповідний вихідний оптичний канал і волокно. Мітки передаються по окремому оптичному каналі, які попадають в чергу на проміжних вузлах. До корисного навантаження додаються захисні часові інтервали для того щоб комутатор комутував корисне навантаження у правильні часові інтервали. Використання даних інтервалів призводить до зменшення ефективності використання часових і оптичних ресурсів мережі проте підвищує надійність передачі даних. Проте важливий той факт щоб корисне навантаження доходило до кінцевого вузла неушкодженим. Тому пропонується використовувати алгоритм ML який буде зводити до мінімуму такі помилки мережі і буде зменшувати захисний час для кожного із блоків (рис. 4).

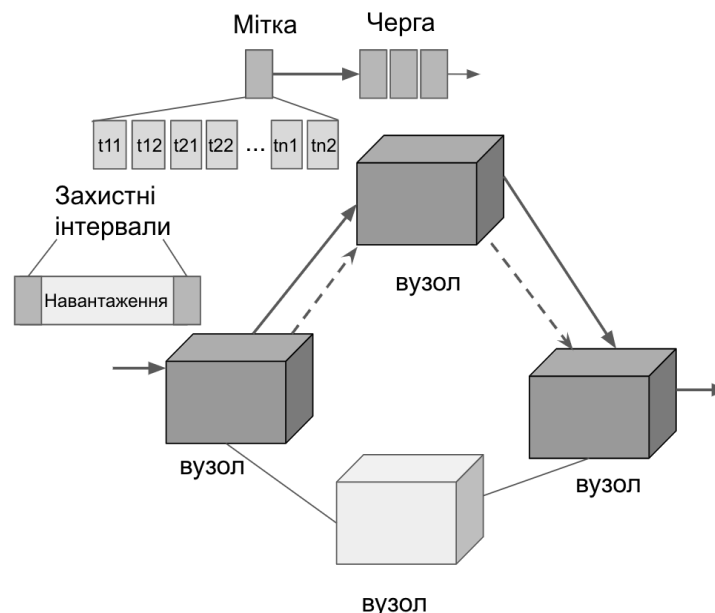


Рис. 4. Процес передачі даних в транспортній оптичній мережі на базі OLS

Іншим важливим параметром яким буде керувати алгоритм ML є розмір транспортного блоку OLS. В якості прототипу використано алгоритм агрегації корисного навантаження на граничних вузлах технологій OBS який був розроблений в роботі [14]. Ключовим параметром в цій роботі є кількість IP пакетів які входять в транспортний модуль. Це означає що кількість пакетів в блоці визначає час t - час на формування блоку який залежить від пакета із найвищими параметрами QoS. Наприклад якщо в блоці знаходиться пакет із високими вимогами параметрів QoS то відбувається перегляд розміру блоку даних і відсилання його із меншою кількістю пакетів. Це призводить до збільшення кількості службової інформації в мережі, а також до зменшення ефективності використання спектральних ресурсів оптичних каналів. Тому, власне, запропонований удосконалений алгоритм агрегації трафіку на базі ML

буде відповідати за динамічне коригування довжини транспортного модулю із підтримкою необхідних параметрів QoS (див. рис. 5).

Розроблений алгоритм також займатиметься динамічною зміною захисних інтервалів технології OLS. Якщо виникатимуть черги на проміжних вузлах чи по інших причинах будуть відбуватись затримки блоків що призведуть до помилкової часової комутації алгоритм збільшить розміри захистних інтервалів.

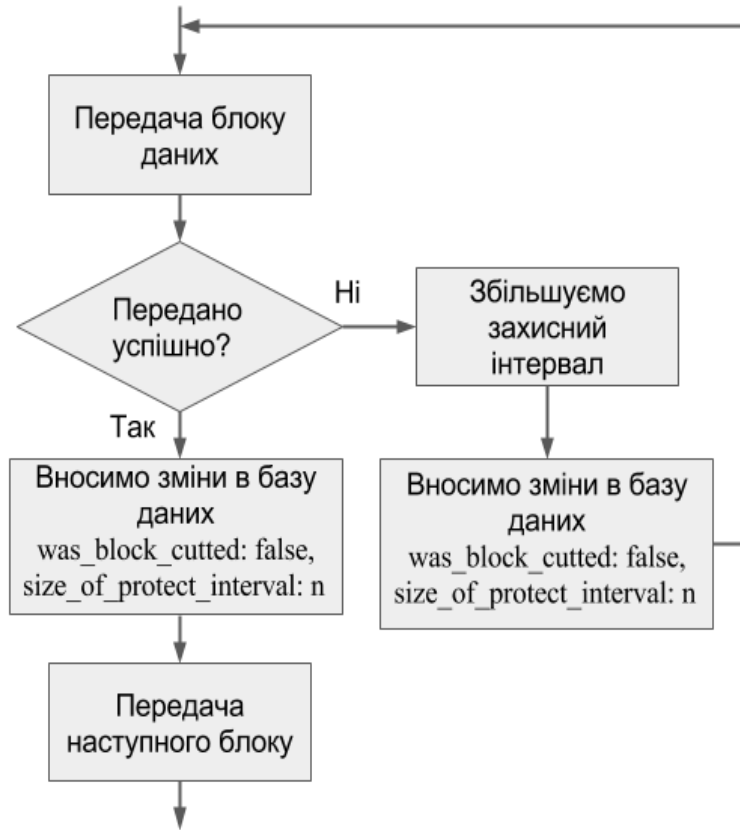


Рис. 5. Алгоритм модифікації захисного інтервалу для блоку корисного навантаження

На першому етапі (навчання і збору даних) роботи алгоритму ML збирає інформацію про кожен маршрут мережі. Крім того на кінцевому вузлі надсилається інформація про успішність передачі транспортного блоку на SDN контролер (рис.6). Мається на увазі наступне:

- чи було передано блок із необхідними параметрами QoS;
- чи було успішно передано блок і комутатор не здійснив процес перемикання каналів під час передачі корисного навантаження, а не після.

Виходячи із даного контексту можна стверджувати що об'єкт який буде надсилатись граничним вузлом і буде зберігатись в базі даних для роботи алгоритму ML матиме наступний вигляд:

```

{
  id: 'id',
  route: [
    { id_node: '1234567890',
      time_input: '123761273126',
      time_output: '213123',
      id_opt_channel_input: '1',
      id_opt_fiber_input: '2',
      id_opt_channel_output: '3',
      id_opt_fiber_output: '4',
  
```

```

    },
    {...}, {...}, ... {...}
  ],
  time_for_block_agregation: 56,
  size_of_protect_interval: 0.23
  was_block_transferred_in_QoS: false,
  was_block_cutted: false
}

```

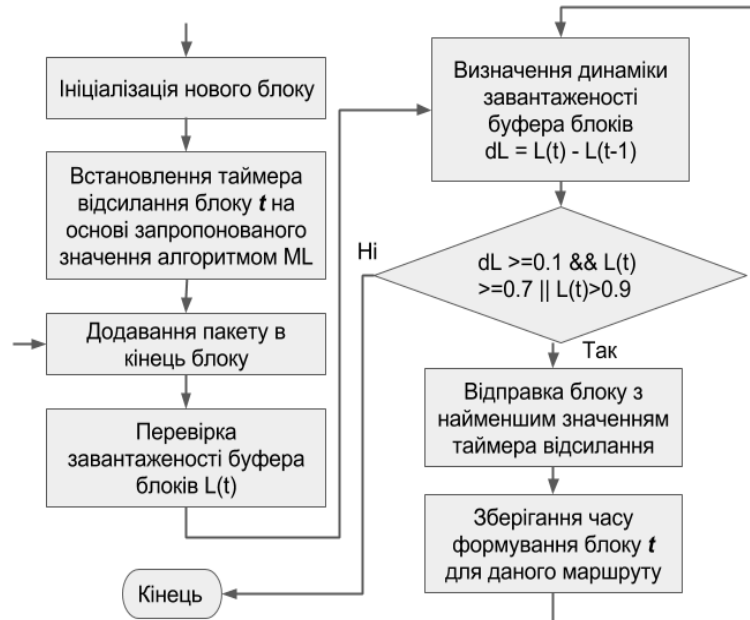


Рис. 6. Частина алгоритму агрегації трафіку на граничному вузлі на базі ML

Вище представлений об'єкт містить інформацію про шлях (граничні і проміжні вузли, часи комутації їх для відповідних оптичних каналів і волокон), час для агрегації навантаження, розмір захисних блоків, флаги про успішне передавання блоку без помилкової комутації корисного навантаження і з дотриманням відповідних параметрів QoS.

Тоді для даного маршруту вносяться відповідні зміни до бази даних (див рис. 5). Алгоритм ML на базі поточного навантаження і стану мережі, часового дня і записів в базі даних модифікує запропоноване значення захисного інтервалу і довжину транспортного модуля.

На другому етапі алгоритм пропонує відповідне значення захисного інтервалу при ініціюванні передачі даних на основі існуючої бази і знаходить найбільш підходяще рішення для даного випадку.

5. Моделювання алгоритму агрегації трафіку на граничному вузлі

В даному розділі представлено моделювання алгоритму агрегації трафіку на граничному вузлі технології OLS на базі алгоритму ML і оцінка здійснена із точки зору втрат згідно параметрів QoS. В даній моделі пакет вважається втраченим якщо не забезпечено передачу даних із дотриманням вимог максимальної затримки. Вхідний трафік представлений на рис. 7. Девіація вхідного трафіку становить приблизно 25% (без імпульсних стрибків). Імпульсні стрибки - це імітація відкриття каналу на вимогу або аномальне збільшення трафіку.

Вхідні параметри для моделі AI представлені в таблиці 1. Дана нейронна мережа є повнозв'язною зі структурою 100x100.

Вхідні параметри для моделювання

Параметр	Значення	Параметр	Значення
Ітерація	20000	Точність навчання	0.0001
Приховані шари	100	Активувальна функція	ReLU або tanh
Кількість нейронів у шарах	100		

Моделювання здійснюється для різних типів трафіку (голос, відео, дані) і різних пір доби (ранок, обід, вечір, ніч) оскільки закон розподілу в цих випадках не є статичним. Закони розподілу були отримані на базі реального трафіку (рис. 7). Оцінка також здійснюється із точки зору адаптивності запропонованого алгоритму агрегації трафіку згідно параметрів QoS. Результати моделювання представлені на рисунках 8-11 та в таблиці 2.

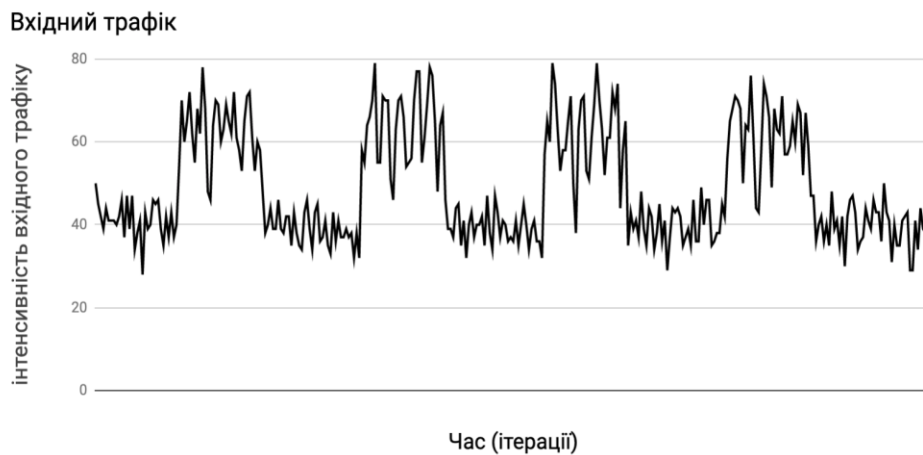


Рис. 7. Вхідний трафік

Таблиця 2.

Закон розподілу трафіку для різних пір доби

Частина для	Ранок			Обід			Вечір			Ніч		
Інтенсивність	низька			висока			висока			низька		
Тип трафіку	голос	відео	дані	голос	відео	дані	голос	відео	дані	голос	відео	дані
Розподіл	0.1	0.7	0.2	0.3	0.3	0.4	0.6	0.3	0.1	0.5	0.1	0.4

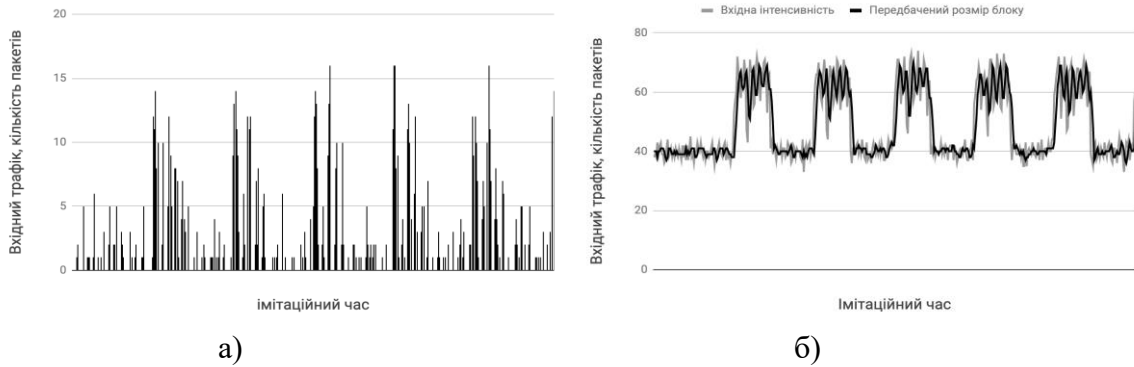


Рис. 8. Графіки розподілу кількості втрачених пакетів (а) і прогнозованого розміру транспортного модуля OLS (б) для частини дня - ранок

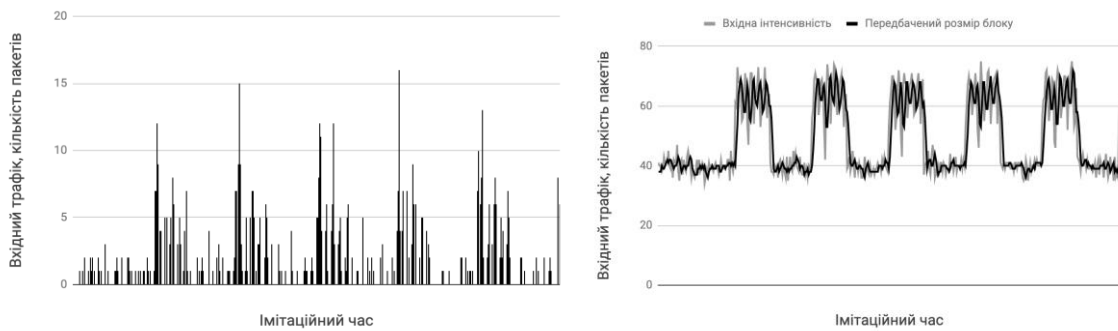


Рис. 9. Графіки розподілу кількості втрачених пакетів (а) і прогнозованого розміру транспортного модуля OLS (б) для частини дня – обід

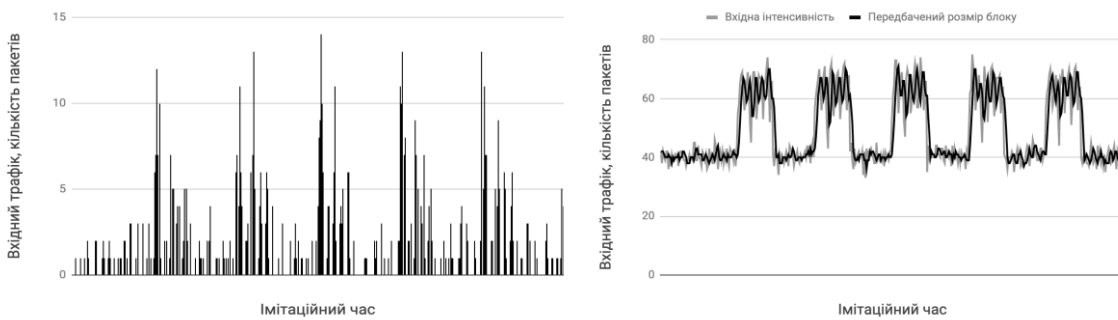


Рис. 10. Графіки розподілу кількості втрачених пакетів (а) і прогнозованого розміру транспортного модуля OLS (б) для частини дня – вечір

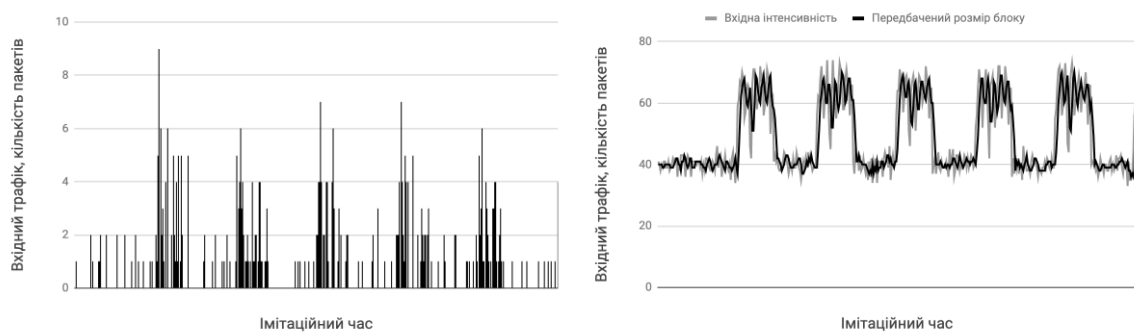


Рис. 11. Графіки розподілу кількості втрачених пакетів (а) і прогнозованого розміру транспортного модуля OLS (б) для частини дня – ніч

Кількість втрачених пакетів

Пора доби	Втрачені пакети, %
Ранок	8,09
Обід	3,01
Вечір	2,96
Ніч	1,65

Результати моделювання демонструють що запропонований алгоритм агрегації трафіку на базі ML здатний спрогнозувати розмір блоку даних технології OLS із допустимими втратами навіть при зміні закону розподілу вхідного трафіку. Згідно результатів моделювання, найбільші втрати відбулися вранці оскільки трафік потокового відео переважав у цю пору. Це пояснюється тим що відео трафік є чутливим до затримок. Тобто даний алгоритм на базі AI/ML здатний підвищити ефективність використання оптичних ресурсів за рахунок динамічної зміни розміру блоку даних.

Цей алгоритм слід також порівнювати на основі інших параметрів: ефективність використання оптичних ресурсів, затримка, споживання енергії тощо. Це буде досліджено в нашій наступній роботі.

Висновок

В роботі запропоновано архітектуру мережі на базі SDN контролера, транспортної технології OLS із використанням алгоритмів ML. Роль SDN контролера визначається збором, зберіганням інформації, а також фоновим виконанням алгоритмів ML. Наведено приклад типу даних для обробки його алгоритмом. Запропоновано алгоритм на базі методів ML для коригування захисних інтервалів корисного навантаження і коригування тривалості формування блоку при агрегації трафіку на граничних вузлах мережі. Крім того алгоритми ML можна використовувати для зменшення енергетичного споживання транспортної мережі на базі виведеної математичної моделі [9]. Вдосконалення мережевої енергоефективності було проведено для технологій GMLS, OTN та OBS в роботі [9].

Список використаної літератури

1. Nail Akar. A survey of quality of service differentiation mechanisms for optical burst switching networks / Ezhan Karasana, Kyriakos G. Vlachos, Emmanouel A. Varvarigos, Davide Careglioc, Mirosław Klinkowski, Josep Solé-Pareta // Optical Switching and Networking. – 2010. – Vol. 7. – pp. 1-11.
2. Jae-II Jung. Quality of service in telecommunications. I. Proposition of a QoS framework and its application to B-ISDN / Jae-II Jung // IEEE Communications Magazine, Aug 1996. – Vol. 34, Issue 8. – pp. 108-111.
3. Sua F. An Overview of Optical Label Switching Technology / F. Sua, H. Jinb, F. Jin // International Conference on Physics Science and Technology (ICPST 2011). – 2011. – pp. 392-396.
4. Kaidan M. Model for determination the energy efficiency of all-optical transport networks / M. Kaidan, V. Andrushchak, M. Klymash // Smart Computing Rewiev. – August, 2016. – Vol.6, no.4. – pp.34-44.
5. ITU-T. 'IMT-2020 Network high level requirements, how african countries can cope. Draft ITU-T Rec. Y.IMT 2020-reqts.' [online]. Available: <https://www.itu.int/en/ITU-T/Workshops-and->

Seminars/standardization/20170402/Documents/S2_4.%20Presentation_IMT%202020%20Requirements-how%20developing%20countries%20can%20cope.pdf

6. Andrushchak V. Intelligent data flows management for performance improvement of optical label switched network / V. Andrushchak, T. Maksymyuk, S. Dumych, M. Kaidan, O. Urikova // 14th International Conference on Advanced Trends in Radioelectronics, Telecommunications and Computer Engineering (TCSET). – Slavsk. – 2018. – pp. 1143-1146.

7. Кайдан М.В. Дослідження принципів побудови транспортних мереж на основі технології OLS / М.В. Кайдан, В.С. Андрущак, С.С. Думич, В.З. Пашкевич // Вісник Національного університету “Львівська політехніка”. – 2016. – № 289 – С. 203-209.

8. Kaidan M. Research on the efficiency of optical resources utilization for OLS networks. / M. Kaidan, V. Andrushchak, M. Klymash // 3rd International Scientific-Practical Conference Problems of Infocommunications Science and Technology, PIC S and T. – Kharkiv, October 2016. – pp.1-3.

9. Kaidan M. Calculation model of energy efficiency in optical transport networks / M. Kaidan, V Andrushchak, M. Pitsyk // 2nd International Scientific-Practical Conference Problems of Infocommunications Science and Technology, PIC S and T 2015. – Kharkiv, October, 2017. – pp. 167-170.

10. Kaidan M. Configuration of network management for energy efficiency in optical transport networks using GMPLS and OBS techniques / M. Kaidan, V. Andrushchak, N. Kryvinska, M. Klymash, M. Seliuchenko // Simulation Modelling Practice and Theory. – 2017. – Vol.74. – pp.17-27.

11. Maksymyuk T. Study and Development of Next-Generation Optical Networks / T. Maksymyuk, S. Dumych, O. Krasko, M. Kaidan, B. Strykhalyyuk // Smart Computing Review, August, 2014. – Vol.4, no.6. – pp. 470-480.

12. Dumych S. Simulation of burst aggregation and signalling schemes for optical burst switched networks/ S. Dumych, T. Maksymyuk, P. Guskov // Proc. of Int. Conf. Computer Science and Engineering, Lviv Polytechnic National University, CSE-2013, Ukraine. – 2013. – pp.40-41.

13. Altexsoft. ‘Preparing Your Dataset for Machine Learning: 8 Basic Techniques That Make Your Data Better’, 2017. [online]. Available: <https://www.altexsoft.com/blog/datascience/preparing-your-dataset-for-machine-learning-8-basic-techniques-that-make-your-data-better/>

14. Andrushchak V. Research on the Scalability of All-Optical Switches in the OLS Networks / V. Andrushchak, M. Kaidan, S. Dumych, Y. Pyrih, T. Maksymyuk. // 2019 IEEE 15th International Conference on the Experience of Designing and Application of CAD Systems, CADSM 2019. – Polyana-Svalyava. – 2019.

References

1. Nail Akar, Ezhan Karasana, Kyriakos G. Vlachos, Emmanouel A. Varvarigos, Davide Careglioc, Mirosław Klinkowski, and Josep Solé-Pareta. “A survey of quality of service differentiation mechanisms for optical burst switching networks.” *Optical Switching and Networking*, vol. 7(2010): 1-11. Print.

2. Jae-II Jung. “Quality of service in telecommunications. I. Proposition of a QoS framework and its application to B-ISDN.” *IEEE Communications Magazine* (Aug 1996), vol. 34 , Issue. 8: 108-111. Print.

3. Sua F., Jinb H., and Jin F. “An Overview of Optical Label Switching Technology.” *2011 International Conference on Physics Science and Technology (ICPST 2011)* (2011): 392-396. Print.

4. Kaidan M., Andrushchak V., and Klymash M. “Model for determination the energy efficiency of all-optical transport networks.” *Smart Computing Review* (August, 2016), vol.6, no.4: 34-44. Print.

5. ITU-T. ‘IMT-2020 Network high level requirements, how african countries can cope. Draft ITU-T Rec. Y.IMT 2020-reqts.’ (2016) [online]. Available: <https://www.itu.int/en/ITU-T/Workshops-and->

Seminars/standardization/20170402/Documents/S2_4.%20Presentation_IMT%202020%20Requirements-how%20developing%20countries%20can%20cope.pdf

6. Andrushchak V., Maksymyuk T., Dumych S., Kaidan M., and Urikova O. "Intelligent data flows management for performance improvement of optical label switched network." *14th International Conference on Advanced Trends in Radioelectronics, Telecommunications and Computer Engineering (TCSET), Slavsk* (2018): 1143- 1146. Print.

7. Kaidan M. V. Andrushchak V.S, Dumich S.S., and Pashkevich V. "Research of principles of transport networks construction based on OLS technology." *Bulletin of the National university "Lviv Polytechnic"* 289 (2016): pp 203-209. Print.

8. Kaidan M., Andrushchak V., and Klymash M. "Research on the efficiency of optical resources utilization for OLS networks." *International Scientific-Practical Conference Problems of Infocommunications Science and Technology, PIC S and T, Kharkiv* (October 2016): 1-3. Print.

9. Kaidan M., Andrushchak V., and Pitsyk M. "Calculation model of energy efficiency in optical transport networks." *2nd International Scientific-Practical Conference Problems of Infocommunications Science and Technology, PIC S and T 2015, Kharkiv*, (October, 2017):167-170. Print.

10. Kaidan M., Andrushchak V., Kryvinska N., Klymash M., and Seliuchenko M. "Configuration of network management for energy efficiency in optical transport networks using GMPLS and OBS techniques." *Simulation Modelling Practice and Theory* (2017), vol.74: 17-27. Print.

11. Maksymyuk T., Dumych S., Krasko O., Kaidan M., and Strykhalyuk B. "Study and Development of Next-Generation Optical Networks." *Smart Computing Review* 6 (August, 2014), vol.4: 470-480. Print.

12. Dumych S., Maksymyuk T., and Guskov P. "Simulation of burst aggregation and signalling schemes for optical burst switched networks." *Proc. of Int. Conf. Computer Science and Engineering, Lviv Polytechnic National University, CSE-2013, Ukraine* (2013):40-41. Print.

13. Altexsoft. 'Preparing Your Dataset for Machine Learning: 8 Basic Techniques That Make Your Data Better' (2017) [online]. Available: <https://www.altexsoft.com/blog/datascience/preparing-your-dataset-for-machine-learning-8-basic-techniques-that-make-your-data-better/>

14. Andrushchak V., Kaidan M., Dumych S., Pyrih Y., and Maksymyuk T. "Research on the Scalability of All-Optical Switches in the OLS Networks." *2019 IEEE 15th International Conference on the Experience of Designing and Application of CAD Systems, CADSM 2019, Polyana-Svalyava* (2019): Print.

Автори статті (Authors of the article)

Андрущак Володимир Степанович – аспірант кафедри телекомунікацій (Andrushchak Volodymyr Stepanovych – postgraduate student of Telecommunication Department). Phone:+38 (032) 258 27 43. E-mail: volodya1andrushchak@gmail.com.

Кайдан Микола Володимирович – д.т.н., доцент кафедри телекомунікацій (Kaidan Mykola Volodymyrovych – Doctor of Sciences (Technic), Associate Professor of Telecommunication Department). Phone:+38 (032) 258-27 43. E-mail: kaidanmv@gmail.com.

Максимюк Тарас Андрійович – к.т.н., докторант (Maksymyuk Taras Andriyovych – PhD, Assistant Professor of Telecommunication Department). Phone:+38 (032) 258 27 43. E-mail: taras.maksymyuk@gmail.com.

Думич Степан Степанович – к.т.н., доцент кафедри телекомунікацій (Dumych Stepan Stepanovych – PhD, Associate Professor of Telecommunication Department) Phone:+38 (032) 258 27 43. E-mail: stiv.dumych@gmail.com.

Пиріг Юлія Володимирівна – к.т.н., асистент кафедри телекомунікацій (Pyrih Yulia Volodymyrivna – PhD, Assistant Professor of Telecommunication Department.). Phone:+38 (032) 258 27 43. E-mail: yulia.v.pyrih@lpnu.ua.