УДК 621.395

НАПРЯМКИ ВПРОВАДЖЕННЯ ТЕХНОЛОГІЙ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ В SDN-МЕРЕЖІ

Нестеренко М.М., Устинов Д.А., Романов М.О.
Військовий інститут телекомунікацій та інформатизації ім. Героїв Крут, Україна
Національний авіаційний університет, Україна
E-mail: nikolaiy.nesterenko@gmail.com, dmytro.ustynov@viti.edu.ua, smartboobs1927@gmail.com

DIRECTIONS IMPLEMENTING TECHNOLOGIES ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN SDN

Integration of artificial intelligence methods and the main trends in the use of machine learning methods in SDN to improve traffic classification, prediction, routing, optimization flows, and security.

Мережі SDN мають великий потенціал за рахунок наявних програмних інтерфейсів, що дозволяє використовувати засоби штучного інтелекту (ШІ) для їх оперативної переконфігурації та оптимізації управління, навіть в режимі реального часу. Проведений аналіз показує, що найбільш ефективне застосування ШІ в SDN мережах може бути при рішенні наступних задач:

- класифікація мультисервісного трафіку на основі методів машинного навчання;
- прогнозування мережевого трафіку;
- інтелектуальна маршрутизація та оптимізація потоків даних;
- підвищення безпеки.

Розглянемо можливі рішення впровадження ШІ в цих напрямках.

Класифікація трафіку є фундаментальною для впровадження політик якості обслуговування (QoS), заходів безпеки та маршрутизації з урахуванням типу сервісів. Поточні підходи ШІ у цій галузі включають:

- навчання з учителем (supervised learning): моделі, такі як машини опорних векторів (SVM), випадковий ліс (RF), дерева рішень (DT) та *k*-найближчих сусідів (KNN), використовуються для класифікації мережевого трафіку на основі різних характеристик, таких як розмір пакету, час передачі пакету та тривалість сесії;
- глибоке навчання (deep learning): згорткові нейронні мережі (CNN), багатошарові перцептрони (MLP) та стекові автоенкодери (SAE) використовуються для більш складних завдань класифікації, особливо для зашифрованого трафіку. Підходи глибокого навчання усувають потребу в ручному проектуванні ознак і можуть досягти вищої продуктивності з великими наборами даних.
- напівконтрольоване навчання (semi-supervised learning): для вирішення проблеми обробки некласифікованих даних. Тобто напівконтрольовані методи,

такі як Лапласівський SVM, були впроваджені для класифікації трафіку з використанням як промаркованих, так і немаркованих даних, що ближче до реальних сценаріїв.

Прогнозування мережевого трафіку. Методи ШІ дозволяють контролерам SDN прогнозувати шаблони мережевого трафіку, дозволяючи проактивне розподілення ресурсів та уникнення перевантажень. Існує декілька основних підходів для використання ШІ у прогнозування трафіка, а саме: аналіз часових рядів, глибоке навчання та федеративне навчання.

Аналіз часових рядів використовує моделі, такі як авторегресійне інтегроване ковзне середнє (ARIMA) та регресія опорних векторів (SVR), використовуються для прогнозування трафіку на основі попередньо отриманих даних.

Глибоке навчання для прогнозування: довга короткочасна пам'ять (LSTM), вентильні рекурентні вузли (GRU) та рекурентні нейронні мережі (RNN) показали вищу продуктивність для прогнозування трафіку завдяки їхній здатності фіксувати часові залежності в процесі передачі трафіку.

Федеративне навчання. Цей підхід дозволяє кільком контролерам SDN спільно навчатися та використовувати моделі прогнозування без обміну необробленими даними, як наслідок підвищувати конфіденційність, одночасно отримуючи переваги від колективного інтелекту.

Інтелектуальна маршрутизація та оптимізація потоків даних. Технології ШІ можуть визначати оптимальні маршрути в режимі реального часу на основі мережевих умов.

Навчання з підкріпленням (RL): Q-навчання та інші алгоритми RL дозволяють контролерам SDN вивчати оптимальні політики маршрутизації через взаємодію з мережевим середовищем. Підхід FAST (Framework for Analyzing SDN Traffic) використовує RL для вибору шляху на основі шаблонів трафіку.

Ройовий інтелект: Алгоритми, що описують колективну поведінку децентралізованої системи із здатністю до самоорганізації, були застосовані для пошуку ефективних маршрутів у динамічних мережевих середовищах.

Глибоке навчання з підкріпленням (DRL): поєднуючи глибоке навчання з навчанням з підкріпленням, DRL використовувалось для оптимізації рішень маршрутизації в складних мережевих сценаріях.

Підвищення безпеки мереж SDN через інтелектуальне виявлення та попередження кіберінцидентів.

Виявлення аномалій: техніки навчання без учителя, такі як кластеризація та автоенкодери, допомагають ідентифікувати незвичайні зміни в мережевому трафіку, які можуть вказувати на загрози безпеки.

Виявлення DDoS-атак: моделі машинного навчання, включаючи CNN, SVM та RF, були розгорнуті для виявлення розподілених атак типу відмова в обслуговуванні (DDoS) шляхом аналізу шаблонів трафіку.

Також системи раннього виявлення вторгнень (IDS) на основі глибокого навчання можуть ідентифікувати складні атаки, навчаючись на історичних інцидентах безпеки.

Необхідно відмітити, хоча ШІ пропонує значний потенціал для мереж SDN, для його ефективного впровадження потрібно забезпечити наступні вимоги:

- обчислювальні (розрахункові) витрати (контролер SDN може стати вузьким місцем при реалізації складних алгоритмів ШІ);
- якість навчальних (вхідних) даних (продуктивність моделей машинного навчання сильно залежить від якості та репрезентативності навчальних даних);
- реалізація управління в режимі реального часу (велика кількість мережевих рішень потребують відповідей у реальному часі, що може бути складно для складних моделей ШІ);
- масштабованість (збільшення розмірності мереж масштабованість рішень ШІ стає критичною проблемою);
- безпека моделей машинного навчання (моделі ШІ можуть бути вразливими до атак зловмисників).

Інтеграція методів ШІ в SDN представляє зсув в парадигмі управління мережею, дозволяючи мережам стати більш інтелектуальними, адаптивними та автономними. Різні техніки ШІ, від навчання з учителем до глибокого навчання з підкріпленням, показують перспективи покращення класифікації трафіку, прогнозування, маршрутизації та безпеки.

Що стосується конкретно балансування навантаження та оптимізації трафіку, ШІ пропонує інструменти для прогнозування шаблонів трафіку, класифікації типів трафіку, динамічного коригування розподілу ресурсів та оптимізації рішень маршрутизації. Ці можливості стануть все більш важливими, оскільки сучасні мережі продовжують зростати в складності та масштабі, а також при появі нових технологій та послуг.

Література

1. Romanov, O., Nesterenko, M., Boggia, G., Striccoli, D. Construction and Methods for Solving Problems at the SDN Control Level // Lecture Notes in Electrical Engineering,t2023, 965 LNEE, p. 85–101; DOI:10.1007/978-3-031-24963-1_6
2. O. Romanov, V. Mankivskyi, I. Saychenko and M. Nesterenko, "Event Model Algorithm with Microservice Architecture Implementation," *2022 IEEE 9th International Conference on Problems of Infocommunications, Science and Technology (PIC S&T)*, Kharkiv, Ukraine, 2022, pp. 561-566, doi: 10.1109/PICST57299.2022.10238498.
3. Романов О., Бурлака Г., Берестовенко О., Підпалий О. Технічні особливості побудови Li-Fi мережі за допомогою методів керування SDN/ Вісник ЧДТУ 2023; 0 (3): С:16-25; DOI: 10.24025/2306-4412.3.2023.284893
4. O. Romanov, V. Mankivskyi, I. Saychenko and M. Nesterenko, "Event Model Algorithm with Microservice Architecture Implementation," *2022 IEEE 9th International Conference on Problems of Infocommunications, Science and Technology (PIC S&T)*, Kharkiv, Ukraine, 2022, pp. 561-566, DOI: 10.1109/PICST57299.2022.10238498.
5. Lin B.-S. P. Toward an AI-Enabled SDN-based 5G & IoT Network. Network and Communication Technologies. 2020. Vol. 5, no. 2. P. 7. URL: https://doi.org/10.5539/nct.v5n2p7