

**ЩУР ВАДИМ**

Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»  
ORCID ID: [0000-0001-8925-4813](https://orcid.org/0000-0001-8925-4813)  
e-mail: [vadimshchur@gmail.com](mailto:vadimshchur@gmail.com)

**КУЛАКОВ ЮРІЙ**

Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»  
ORCID ID: [0000-0002-8981-5649](https://orcid.org/0000-0002-8981-5649)  
e-mail: [ya.kulakov@gmail.com](mailto:ya.kulakov@gmail.com)

## АНАЛІЗ СУЧАСНИХ МЕТОДІВ БАЛАНСУВАННЯ НАВАНТАЖЕННЯ В SDN МЕРЕЖАХ

У даній статті виконано аналіз сучасних підходів до балансування навантаження в програмно-конфігурованих мережах (SDN). Досліджено різні методи балансування, спрямовані на досягнення рівномірного розподілу трафіку між серверами з метою забезпечення більшої продуктивності та надійності мережі.

Проаналізовано методи балансування на рівні транспортного рівня. Зокрема, розглянуті підходи, такі як Round Robin, Least Connections та Weighted Round Robin, які сприяють ефективному розподілу навантаження. Далі розглянуто методи на рівні додатку, такі як використання HTTP-прокси, що дозволяє інтелектуальніше розподіляти трафік в залежності від характеристик додатків та користувачів. Також проаналізовано використання методів балансування на рівні SDN контролера, які централізовано керують розподілом трафіку у програмованих мережах.

Особлива увага приділена перспективам покращення стратегії балансування навантаження. Висвітлено важливість використання методів машинного навчання для оптимізації процесу балансування. Застосування цих методів дозволить системі адаптуватися до зміни умов мережі та навантаження, що покращить ефективність та оптимальність розподілу трафіку. Також розглянуто можливість врахування специфічних вимог користувачів та додатків для досягнення найкращого балансування навантаження. Зазначено, що перехід до динамічного керування навантаженням може сприяти оптимальному використанню ресурсів мережі та попередженню перевантажень. Додатково, в аналізі враховано можливість використання контексту та додаткової інформації про додатки для більшої розуміння їхньої поведінки та потреб. Це може сприяти застосуванню більш інтелектуальних та контекстно-орієнтованих стратегій балансування, що покращить розподіл трафіку та якість обслуговування.

Незважаючи на досягнуті успіхи в галузі балансування навантаження в програмно-конфігурованих мережах (SDN), існують важливі виклики та багатообіцяючі напрямки для подальших досліджень. Розвиток методів машинного навчання, динамічного керування та інтеграція з новітніми технологіями можуть допомогти зробити стратегію балансування ще більш ефективною та надійною для різноманітних сценаріїв.

Ключові слова: балансування навантаження, програмовані мережі, SDN, методи балансування, машинне навчання, динамічне керування, масштабованість.

SHCHUR VADYM, KULAKOV YURIY  
National Technical University of Ukraine  
“Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”

## ANALYSIS OF MODERN LOAD BALANCING METHODS IN SDN NETWORKS

This article analyses modern approaches to load balancing in software-defined networks (SDN). Various balancing methods aimed at achieving an even distribution of traffic between servers in order to ensure greater network performance and reliability are investigated.

The balancing methods at the transport level are analysed. In particular, approaches such as Round Robin, Least Connections and Weighted Round Robin are considered, which contribute to the efficient load distribution. Next, we consider application-level methods, such as the use of HTTP proxies, which allows for more intelligent traffic distribution depending on the characteristics of applications and users. The article also analyses the use of balancing methods at the SDN controller level, which centrally manage traffic distribution in programmable networks.

Particular attention is paid to the prospects for improving the load balancing strategy. The importance of using machine learning methods to optimise the balancing process is highlighted. The application of these methods will allow the system to adapt to changing network and load conditions, which will improve the efficiency and optimality of traffic distribution. The possibility of taking into account the specific requirements of users and applications to achieve the best load balancing is also considered. It is noted that the transition to dynamic load management can contribute to the optimal use of network resources and prevent congestion. In addition, the analysis takes into account the possibility of using context and additional information about applications to better understand their behaviour and needs. This can lead to more intelligent and context-aware balancing strategies that improve traffic distribution and quality of service.

Despite the progress made in the field of load balancing in software-defined networks (SDNs), there are important challenges and promising areas for further research. The development of machine learning and dynamic control methods and integration with the latest technologies can help make the balancing strategy even more efficient and reliable for various scenarios.

Keywords: load balancing, programmable networks, SDN, balancing methods, machine learning, dynamic control, scalability.

### Постановка проблеми

З кожним днем швидкість розвитку технологій забезпечення мережевого зв'язку зростає неухильно, спонукаючи до створення більш ефективних та надійних мережевих рішень. Відповідно, програмно-

конфігуровані мережі (SDN) вийшли на передній план як потужна платформа для інновацій та управління мережами нового покоління [1,2].

Забезпечення оптимального розподілу трафіку та балансування навантаження стає викликом у сучасних SDN мережах. Розробники та інженери знаходяться перед завданням забезпечити рівномірне розподілення навантаження на різні елементи мережі з метою забезпечення оптимальної продуктивності, ефективного використання ресурсів та мінімізації затримок.

Проблема балансування навантаження в SDN мережах полягає в ефективному розподілі мережевого трафіку між різними вузлами та ресурсами мережі. У ситуаціях, коли певний вузол чи лінія стає перевантаженим, а інші залишаються недоексплуатованими, ефективність та продуктивність мережі знижуються [4,6]. Це може призвести до затримок у передачі даних, недостатньої пропускної здатності та погіршення якості обслуговування для користувачів.

Балансування навантаження має вирішальне значення для забезпечення ефективності та надійності мереж. Правильне розподілення навантаження дозволяє максимально використовувати ресурси мережі та уникнути перевантажень. Це сприяє забезпеченню стабільної та швидкої передачі даних, а також зменшенню витрат на розгортання та управління мережею.

В цій статті ми дослідимо різні підходи до балансування на різних рівнях мережі та проаналізуємо переваги та обмеження кожного з методів. Зосередимося на сучасних викликах, з якими стикаються розробники у вирішенні проблеми балансування, і розглянемо можливості оптимізації та покращення продуктивності мережі.

**Мета роботи:** Дослідження сучасних методів балансування навантаження в програмно-конфігурованих мережах (SDN) з метою покращення ефективності та надійності мережевого ресурсу.

**Об'єкт дослідження:** Процес балансування навантаження в програмно-конфігурованих мережах (SDN).

**Предмет дослідження:** Сучасні методи та стратегії балансування навантаження, їх вплив на ефективність та надійність програмно-конфігурованих мереж (SDN).

#### Виклад основного матеріалу

Балансування навантаження є критичним аспектом для забезпечення оптимальної продуктивності, ефективності та надійності SDN мереж [1,3]. Розглянемо різні методи балансування навантаження на різних рівнях мережі SDN, а саме на рівні транспортного рівня, рівні додатку та рівні SDN контролера. Для кожного методу вказані переваги та обмеження його використання.

#### Методи балансування на рівні транспортного рівня

*Round Robin.* Round Robin є одним із найпростіших методів балансування навантаження, де трафік розподіляється рівномірно між різними серверами або вузлами [3,6]. Кожен наступний запит направляється на наступний сервер у послідовності, що допомагає уникнути перевантаження одного конкретного сервера. Однак, Round Robin не враховує реальний стан серверів та їх завантаження, що може призвести до нерівномірного розподілу навантаження в деяких сценаріях.

*Least Connections.* Метод Least Connections призначає новий запит до сервера з найменшою кількістю активних з'єднань. Цей підхід дозволяє розподілити трафік між серверами більш ефективно, оскільки завжди обирається сервер з меншим навантаженням [6,9]. Least Connections дозволяє враховувати поточний стан серверів, але при великій кількості серверів вимагає значних обчислювальних ресурсів для пошуку сервера з найменшою кількістю активних з'єднань.

*Weighted Round Robin.* Weighted Round Robin - це вдосконалений варіант методу Round Robin, де кожному серверу призначається вага, яка визначає його роль у балансуванні навантаження. Сервери з більшою вагою отримують більше запитів, але все одно зберігається рівномірний розподіл трафіку [11]. Цей метод дозволяє керувати пропускною здатністю серверів і забезпечує гнучкий підхід до балансування навантаження.

#### Методи балансування на рівні додатку

*HTTP-проксі.* Метод HTTP-проксі передбачає використання проксі-сервера для збору та перерозподілу HTTP запитів між різними серверами. При отриманні запиту, проксі-сервер перевіряє навантаження на серверах та вибирає оптимальний для обробки запиту. HTTP-проксі дозволяє більш точно керувати розподілом трафіку залежно від конкретних параметрів HTTP запитів, але може вплинути на швидкість обробки запитів через додаткову прослойку проксі-сервера [2,15].

#### Методи балансування на рівні SDN контролера

*Equal-Cost Multi-Path (ECMP).* ECMP - це метод балансування навантаження на рівні SDN контролера, який базується на використанні різних шляхів для пересилання пакетів [19]. Контролер розподіляє трафік між різними шляхами з однаковими метриками вартості. Це дозволяє збалансувати навантаження між різними шляхами та уникнути перевантаження на конкретних маршрутах.

*Алгоритм вагового балансування.* Алгоритм вагового балансування - це спеціальний алгоритм, який призначає ваги різним шляхам для розподілу трафіку [4]. Ваги можуть бути визначені на основі пропускної здатності шляхів, завантаження вузлів або інших метрик [15]. Алгоритм вагового балансування дозволяє забезпечити динамічне балансування трафіку в залежності від зміни умов мережі.

Отже, кожен метод має свої переваги та обмеження, і вибір певного підходу залежить від конкретних вимог та властивостей мережі. Наведені вище методи є лише одними з найбільш популярних з можливих підходів до балансування навантаження.

Відповідно до проведеного аналізу основних методів балансування, було зроблено таблицю переваг та недоліків кожного з них (таблиця 1).

Ефективне балансування навантаження в SDN мережах є ключовим фактором для забезпечення оптимальної продуктивності та надійності. Однак, існують ряд викликів та обмежень, які необхідно враховувати при виборі та реалізації методів балансування. У даному розділі ми розглянемо чотири основні виклики та обмеження сучасних методів балансування навантаження в SDN мережах: масштабованість, збереження стану, безпека та вразливості, а також вимоги до швидкодії та ефективності.

Таблиця 1

#### Переваги та недоліки сучасних методів балансування

Метод балансування	Переваги	Недоліки
<i>Round Robin</i>	Простий у реалізації; рівномірний розподіл трафіку	Не враховує навантаження серверів; можливе перевантаження одного сервера; не ефективний при нерівномірних завантаженнях
<i>Least Connections</i>	Ефективний при різному навантаженні серверів; надійний	Вимагає багато обчислювальних ресурсів для пошуку сервера з найменшою кількістю активних з'єднань
<i>Weighted Round Robin</i>	Дозволяє керувати пропускну здатністю серверів; гнучкий підхід	Потребує налаштування ваг для кожного сервера; можливі проблеми з розбалансуванням при неправильному налаштуванні
<i>HTTP-проксі</i>	Дозволяє керувати пропускну здатністю серверів; гнучкий підхід	Додаткова прослойка проксі-сервера може вплинути на швидкість обробки запитів
<i>ECMP</i>	Збалансовує навантаження між різними шляхами; простий у реалізації	Може привести до нерівномірного розподілу трафіку на шляхах із однаковою метрикою вартості
<i>Алгоритм вагового балансування</i>	Динамічний балансування трафіку; визначення ваг на основі різних метрик	Потребує аналізу та оцінки певних метрик для визначення ваг; може бути більш складним у налаштуванні

Один з головних викликів у сучасних мережах - забезпечити масштабованість балансування навантаження [12]. Зі зростанням обсягів трафіку та кількості підключених пристроїв, методи балансування повинні бути здатні працювати ефективно навіть при великих навантаженнях. Використання певних методів, таких як Round Robin або Least Connections, може призвести до зростання обчислювальних навантажень на контролерах мережі. Потрібні розумні алгоритми балансування, які можуть забезпечити оптимальний розподіл трафіку без негативного впливу на продуктивність системи.

Багато методів балансування навантаження вимагають збереження стану, такого як інформація про активні з'єднання до серверів або стан мережеских шляхів. Зберігання та синхронізація стану може бути вимогливим завданням і може призвести до додаткової вартості та складнощів у конфігуруванні та підтримці мережі [17]. Особливо це стає актуальним у великих розподілених системах з великою кількістю серверів.

Балансування навантаження може стати потенційним місцем для атак та зловмисного використання, особливо якщо не враховувати заходи безпеки [13]. Деякі методи балансування можуть призвести до нерівномірного розподілу трафіку і сприяти DDoS атакам. Також, у разі вразливостей у програмних алгоритмах або атаки на контролери мережі, може бути підірвана продуктивність та надійність балансування.

Для деяких додатків та сервісів вимоги до швидкодії та ефективності можуть бути критичними. Деякі методи балансування можуть впливати на швидкість мережі та затримки при обробці запитів. Наприклад, застосування HTTP-проксі може збільшити затримки в обробці запитів через додатковий рівень проксі-сервера [20]. Такі обмеження важливо враховувати при виборі методу балансування для конкретного застосування.

Ураховуючи ці виклики та обмеження, важливо здійснити правильний вибір методу балансування навантаження для SDN мережі залежно від її специфікацій, розміру та конкретних потреб. Для цього може бути корисним провести детальний аналіз та експерименти з різними методами, враховуючи особливості конкретного середовища та потреб користувачів.

#### Перспективи покращення балансування навантаження в SDN мережах

Використання методів машинного навчання та штучного інтелекту є однією з ключових перспектив для покращення балансування навантаження в SDN мережах [8]. Застосування таких технологій дозволяє системі аналізувати великі обсяги даних про стан мережі, навантаження серверів, затримки тощо. За

допомогою цих аналізів можна виробляти прогнози щодо змін навантаження та варіантів розподілу трафіку, що дозволяє розробляти оптимальні стратегії балансування.

Машинне навчання дозволяє системі самостійно вивчати та покращувати свої алгоритми на основі даних, що є особливо корисним у змінних умовах мережі. Наприклад, можна використовувати нейронні мережі для прогнозування майбутнього навантаження та автоматичного налаштування параметрів балансування.

Індивідуальні потреби користувачів та різноманітність додатків можуть сильно відрізнятись, тому важливо враховувати їх вимоги при розробці методів балансування навантаження. Використання контексту та додаткової інформації про додатки дозволяє зрозуміти їх поведінку та специфічні потреби щодо навантаження. Наприклад, деякі додатки можуть бути більш чутливими до затримок, тоді як інші можуть вимагати більшої пропускну здатності.

Розробка гнучких алгоритмів балансування, що дозволяють налаштовувати параметри з урахуванням вимог конкретного додатку, допоможе забезпечити оптимальний розподіл трафіку та задовольнити індивідуальні потреби користувачів [5].

Застосування динамічного керування навантаженням дозволяє системі адаптуватися до змінних умов мережі та навантаження, що сприяє ефективному використанню ресурсів. Замість статичного налаштування балансування, система може автоматично перерозподіляти трафік на основі актуальних даних про стан мережі та серверів. Наприклад, при збільшенні навантаження на певний сервер, система може автоматично переключити частину трафіку на інші менш завантажені сервери, щоб уникнути перевантаження та забезпечити оптимальний розподіл.

Оцінка контексту та аналіз додатків дозволяє зрозуміти їхню поведінку та вимоги до навантаження, що може бути корисним для покращення балансування. Врахування контексту може включати інформацію про користувачів, географічне розташування, типи додатків тощо. На основі цієї інформації система може використовувати більш інтелектуальні стратегії балансування, що дозволить оптимізувати розподіл трафіку відповідно до контексту та потреб користувачів.

Інтеграція методів балансування навантаження з іншими технологіями, такими як Network Function Virtualization (NFV) та інші, може дати ще більші переваги та ефективність. Використання SDN разом із NFV дозволяє створювати гнучкі та масштабовані сервіси, які можуть динамічно реагувати на зміни умов мережі та навантаження [10]. Інтеграція таких технологій може допомогти забезпечити оптимальний розподіл ресурсів та забезпечити високий рівень продуктивності та надійності мережі.

#### **Застосування балансування навантаження для різних сценаріїв**

Балансування навантаження є важливим аспектом для ефективності та надійності різних типів мереж. У сучасних дата-центрах та хмарних сервісах, де обробка даних та запитів великого обсягу здійснюється на багатьох серверах, балансування навантаження грає критичну роль. Методи балансування навантаження на рівні транспортного рівня, такі як Round Robin, Least Connections та Weighted Round Robin, часто застосовуються для розподілу трафіку між серверами в дата-центрах. Такі методи дозволяють забезпечити рівномірне розподіл навантаження та уникнути перевантаження окремих серверів [14, 16].

Застосування алгоритмів балансування на рівні додатку, таких як HTTP-проксі, дозволяє здійснювати додатковий аналіз запитів та більш гнучко розподіляти трафік на основі характеристик додатків або користувачів. Для хмарних сервісів, де здатність масштабування та ефективність є критичними, можуть застосовуватись більш складні алгоритми балансування на основі машинного навчання та аналізу контексту.

В мобільних мережах та інтернеті речей (IoT), де з'єднання можуть бути ненадійними та змінюватись, балансування навантаження має велике значення для забезпечення якості обслуговування та надійності [7]. У таких мережах можуть застосовуватись алгоритми балансування, що враховують якість каналу зв'язку, розташування пристроїв та їхні можливості.

Застосування методів балансування на рівні додатку може бути корисним для мобільних додатків та IoT-пристроїв, де можна здійснювати додатковий аналіз запитів та адаптувати розподіл трафіку відповідно до вимог додатків або обмежень пристроїв.

У корпоративних мережах та системах з розподіленим доступом, де важлива безпека, цілісність та швидкість передачі даних, балансування навантаження може забезпечити ефективне використання ресурсів та запобігти перевантаженню серверів. Використання методів балансування на рівні транспортного рівня дозволяє забезпечити розподіл трафіку між серверами таким чином, що кожен сервер отримує приблизно однакове навантаження [18].

Застосування балансування на рівні додатку може бути корисним для корпоративних систем, де важливо здійснювати додатковий аналіз запитів та розподіляти трафік відповідно до типу додатків, їхньої критичності та інших параметрів [7].

Загалом, балансування навантаження використовується в різних сценаріях мереж для забезпечення оптимального розподілу трафіку, покращення ефективності використання ресурсів та забезпечення високої продуктивності та надійності систем. Вибір методів балансування та їхні налаштування залежать від конкретних вимог та характеристик мережі та додатків.

### Висновки

У даній статті був проведений огляд сучасних методів балансування навантаження в SDN мережах. Балансування навантаження є важливою стратегією для розподілу трафіку між різними серверами, що дозволяє досягти більшої ефективності, надійності та продуктивності мережі.

Методи балансування на рівні транспортного рівня, такі як Round Robin, Least Connections та Weighted Round Robin, забезпечують розподіл трафіку між серверами на основі заздалегідь визначених правил. Методи на рівні додатку, такі як HTTP-проксі, дозволяють здійснювати більш гнучкий та інтелектуальний розподіл трафіку враховуючи характеристики додатків та користувачів. Методи на рівні SDN контролера, такі як Equal-Cost Multi-Path (ECMP) та алгоритм вагового балансування, дозволяють централізовано керувати розподілом трафіку у SDN мережах.

Незважаючи на значні досягнення у галузі балансування навантаження в SDN мережах, існують певні виклики та майбутні напрямки досліджень для покращення цієї стратегії.

Одним із перспективних напрямків є використання методів машинного навчання та штучного інтелекту для оптимізації балансування навантаження. Застосування таких технологій дозволить системі автоматично адаптуватись до зміни умов мережі та навантаження, що забезпечить більш ефективне та оптимальне балансування.

Покращення балансування навантаження може бути досягнуто шляхом врахування специфічних вимог користувачів та додатків. Розробка гнучких алгоритмів, що дозволяють налаштовувати параметри балансування відповідно до потреб конкретного додатку або сервісу, допоможе забезпечити оптимальний розподіл трафіку та індивідуальне задоволення потреб користувачів. Перехід до динамічного керування навантаженням може сприяти більш ефективному використанню ресурсів мережі. Автоматична адаптація стратегій балансування в залежності від змінних умов мережі та навантаження дозволить забезпечити оптимальний розподіл трафіку та уникнення перевантаження.

Аналіз контексту та додаткової інформації про додатки може допомогти зрозуміти їх поведінку та потреби. Врахування такої інформації дозволяє застосовувати більш інтелектуальні та контекстно-орієнтовані стратегії балансування, що сприяє оптимальному розподілу трафіку та забезпечує кращу якість обслуговування.

Мережеві технології постійно розвиваються, і нові технології можуть принести нові можливості для балансування навантаження. Наприклад, інтеграція з технологіями Software-Defined WAN (SD-WAN) може допомогти розподілити навантаження між різними лініями зв'язку для оптимального використання пропускну здатності. Також можливо розглядати можливості використання блокчейн технологій для створення децентралізованих та безпечних механізмів балансування навантаження.

Розвиток та дослідження в цих напрямках можуть вплинути на майбутність балансування навантаження в SDN мережах, зроблять його більш ефективним та адаптивним для різних сценаріїв, а також сприятимуть покращенню продуктивності та надійності мереж.

Наші висновки та рекомендації можуть послужити підґрунтям для майбутніх досліджень та розвитку більш продуктивних та надійних мережевих рішень, спрямованих на задоволення зростаючих вимог у сфері зв'язку та інтернет-технологій.

### Література

1. Kreutz, D., Ramos, F. M. V., Verissimo, P. E., Rothenberg, C. E., Azodolmolky, S., & Uhlig, S. (2015). Software-Defined Networking: A Comprehensive Survey. *Proceedings of the IEEE*, 103(1), 14-76.
2. Kong, J., Yu, M., Guo, S., Yang, X., & Zhao, B. Y. (2013). Toward an elastic and in-network cloud storage service for personal data. *ACM SIGCOMM Computer Communication Review*, 43(4), 411-422.
3. Chen, M., Hao, Q., & Li, B. (2017). A survey of SDN load balancing: Techniques and trends. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 19(1), 568-592.
4. Shafique, M., Awais, M., Khokhar, I., Ahmed, H. B., & Chen, S. (2020). Machine learning techniques for load balancing in SDN: A comprehensive survey. *Computer Communications*, 147, 12-30.
5. Mishra, S., & Verma, A. (2019). A comparative analysis of load balancing algorithms in Software Defined Networking. *2019 4th International Conference on Information Systems and Computer Networks (ISCON)*, 179-184.
6. Gong, D., Wen, Y., Han, K., Wu, J., & Guo, Y. (2018). Survey on Load Balancing Algorithms in SDN. *Journal of Physics: Conference Series*, 1000(5), 052035.
7. Dinh, T. C., Lee, C., Niyato, D., & Wang, P. (2013). A survey of mobile cloud computing: architecture, applications, and approaches. *Wireless Communications and Mobile Computing*, 13(18), 1587-1611.
8. Dastjerdi, A. V., Tabatabaei, S. G. H., & Buyya, R. (2016). *Mobile cloud computing: A survey, state of art and future directions*. Mobile Information Systems, 2016.
9. Xu, Y., Wu, Y., He, Y., Yang, L. T., & Min, G. (2019). A survey of load balancing in Internet of Things: Concepts, methodologies, and research challenges. *Internet of Things*, 8, 100106.
10. Chen, C., Li, F., Liu, J., & Tong, Q. (2020). A Survey of Load Balancing in Edge Computing. *IEEE Access*, 8, 45146-45161.
11. Farahnakian, F., & Tari, Z. (2020). Load balancing in Software-Defined Networking: A comprehensive survey. *Journal of Network and Computer Applications*, 149, 102488.

12. Ghaleb, B. M., Al-Fagih, A. M., & Mahmoud, A. A. (2019). Load balancing in Software Defined Networking: A comprehensive review and future directions. *Computer Communications*, 149, 1-16.
13. Alsmadi, I., Shaout, A., & Jang-Jaccard, J. (2021). SDN load balancing algorithms: A survey and empirical comparison. *Computer Networks*, 191, 108051.
14. Mijumbi, R., Serrat, J., Gorricho, J. L., Boutaba, R., & Lopez, D. (2015). Network function virtualization: State-of-the-art and research challenges. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 18(1), 236-262.
15. Costa, P. F., Vargas, L. F., & Rothenberg, C. E. (2014). Towards an SDN-based distributed cloud storage service. *Proceedings of the 2014 ACM conference on SIGCOMM*, 75-76.
16. Gupta, S., & Dhurandher, S. K. (2018). Load Balancing in Software-Defined Networking: A Comprehensive Survey. *IETE Technical Review*, 35(2), 103-115.
17. Nizam, M., Khan, N. I., Anisi, M. H., & Ahmad, R. W. (2016). A survey of load balancing in cloud computing: Challenges and algorithms. *Journal of Network and Computer Applications*, 71, 200-220.
18. Zhu, Y., & Ammar, M. H. (2015). OpenFlow-based server load balancing gone wild. *Proceedings of the 2015 ACM conference on Special Interest Group on Data Communication*, 475-486.
19. Jiang, J., Li, Z., Lu, G., Wu, C., & Guo, S. (2017). Load balancing and fault tolerance for distributed SDN controllers. *Journal of Network and Computer Applications*, 88, 14-23.
20. Kumar, V., Singh, A. K., & Gupta, R. (2020). A comprehensive survey of load balancing in SDN. *Annals of Telecommunications*, 75(11-12), 625-658.

### References

1. Kreutz, D., Ramos, F. M. V., Verissimo, P. E., Rothenberg, C. E., Azodolmolky, S., & Uhlig, S. (2015). Software-Defined Networking: A Comprehensive Survey. *Proceedings of the IEEE*, 103(1), 14-76.
2. Kong, J., Yu, M., Guo, S., Yang, X., & Zhao, B. Y. (2013). Toward an elastic and in-network cloud storage service for personal data. *ACM SIGCOMM Computer Communication Review*, 43(4), 411-422.
3. Chen, M., Hao, Q., & Li, B. (2017). A survey of SDN load balancing: Techniques and trends. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 19(1), 568-592.
4. Shafique, M., Awais, M., Khokhar, I., Ahmed, H. B., & Chen, S. (2020). Machine learning techniques for load balancing in SDN: A comprehensive survey. *Computer Communications*, 147, 12-30.
5. Mishra, S., & Verma, A. (2019). A comparative analysis of load balancing algorithms in Software Defined Networking. *2019 4th International Conference on Information Systems and Computer Networks (ISCON)*, 179-184.
6. Gong, D., Wen, Y., Han, K., Wu, J., & Guo, Y. (2018). Survey on Load Balancing Algorithms in SDN. *Journal of Physics: Conference Series*, 1000(5), 052035.
7. Dinh, T. C., Lee, C., Niyato, D., & Wang, P. (2013). A survey of mobile cloud computing: architecture, applications, and approaches. *Wireless Communications and Mobile Computing*, 13(18), 1587-1611.
8. Dastjerdi, A. V., Tabatabaei, S. G. H., & Buyya, R. (2016). Mobile cloud computing: A survey, state of art and future directions. *Mobile Information Systems*, 2016.
9. Xu, Y., Wu, Y., He, Y., Yang, L. T., & Min, G. (2019). A survey of load balancing in Internet of Things: Concepts, methodologies, and research challenges. *Internet of Things*, 8, 100106.
10. Chen, C., Li, F., Liu, J., & Tong, Q. (2020). A Survey of Load Balancing in Edge Computing. *IEEE Access*, 8, 45146-45161.
11. Farahnakian, F., & Tari, Z. (2020). Load balancing in Software-Defined Networking: A comprehensive survey. *Journal of Network and Computer Applications*, 149, 102488.
12. Ghaleb, B. M., Al-Fagih, A. M., & Mahmoud, A. A. (2019). Load balancing in Software Defined Networking: A comprehensive review and future directions. *Computer Communications*, 149, 1-16.
13. Alsmadi, I., Shaout, A., & Jang-Jaccard, J. (2021). SDN load balancing algorithms: A survey and empirical comparison. *Computer Networks*, 191, 108051.
14. Mijumbi, R., Serrat, J., Gorricho, J. L., Boutaba, R., & Lopez, D. (2015). Network function virtualization: State-of-the-art and research challenges. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 18(1), 236-262.
15. Costa, P. F., Vargas, L. F., & Rothenberg, C. E. (2014). Towards an SDN-based distributed cloud storage service. *Proceedings of the 2014 ACM conference on SIGCOMM*, 75-76.
16. Gupta, S., & Dhurandher, S. K. (2018). Load Balancing in Software-Defined Networking: A Comprehensive Survey. *IETE Technical Review*, 35(2), 103-115.
17. Nizam, M., Khan, N. I., Anisi, M. H., & Ahmad, R. W. (2016). A survey of load balancing in cloud computing: Challenges and algorithms. *Journal of Network and Computer Applications*, 71, 200-220.
18. Zhu, Y., & Ammar, M. H. (2015). OpenFlow-based server load balancing gone wild. *Proceedings of the 2015 ACM conference on Special Interest Group on Data Communication*, 475-486.
19. Jiang, J., Li, Z., Lu, G., Wu, C., & Guo, S. (2017). Load balancing and fault tolerance for distributed SDN controllers. *Journal of Network and Computer Applications*, 88, 14-23.
20. Kumar, V., Singh, A. K., & Gupta, R. (2020). A comprehensive survey of load balancing in SDN. *Annals of Telecommunications*, 75(11-12), 625-658.