УДК 621.3

М. І. Кирик, Н. М. Плесканка, М. В. Плесканка
Національний університет “Львівська політехніка”

ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ МЕРЕЖІ CDN

© Кирик М. І., Плесканка Н. М., Плесканка М. В., 2017

Здійснено імітаційне моделювання роботи кешуючих серверів мережі доставки контенту (CDN). Розглянуто основні методи балансування навантаження, які дають змогу раціонально розподілити навантаження між серверами мережі. Описано процес маршрутизації запитів кінцевих користувачів, який дає змогу вибрати оптимальний сервер для отримання контенту із максимально дозволеною якістю. Запропоновано використання систем моніторингу мережевих ресурсів та вузлів обслуговування, що дасть змогу якісно оцінювати стан роботи мережі та вчасно повідомляти про можливі неполадки.

На основі отриманих результатів моделювання подано графічні залежності ефективності використання CDN, коефіцієнта попадання та часу відповіді від зміни розміру кешу. Отримані залежності демонструють важливу особливість, а саме те, що збільшення розміру кешу не завжди дає можливість ефективно використовувати CDN. Однак від розміру кешу безпосередньо залежатиме час відповіді сервера на запити кінцевих користувачів. Встановлено, що використання CDN істотно економить трафік, скорочує час відповіді сервера на отримання контенту і тим самим забезпечує надання послуг із задовільною якістю та оптимальним використанням мережевих ресурсів.

Ключові слова: мережа доставки контенту (CDN), балансування навантаження, якість обслуговування, час відповіді, система моніторингу.

M. Kyryk, N. Pleskanka, M. Pleskanka
Lviv Polytechnic National University

RESEARCH OF THE EFFICIENCY OF THE CDN NETWORK

© Kyryk M. I., Pleskanka N. M., Pleskanka M. V., 2017

The network architecture of the content delivery network (CDN) and methods of the load balancing were examined in this paper. We have described the algorithm of end users' request routing which allows selecting the optimum edge server to receive a content with maximum quality. The use of network system monitoring was offered. This system allows to efficiently assess the status of the network and promptly report possible problems. It was defined which parameters are needed to be monitored.

Graphic dependencies of CDN networks efficiency, hit ratio and response time depending on resizing cache were presented as result of the simulation. The dependencies demonstrate an important feature which means that increasing of the cache size doesn't allow an effective use of CDNs. However, server response time to end users' requests depends on a size of the cache. It was established that the use of CDN gives an opportunity to significantly save bandwidth, reduce server response time and in that way to provide services with a satisfactory quality and optimal use of network resources.

Key words: content delivery network, load balancing, quality of service, response time, system monitoring, caching rule.

Lviv Polytechnic National University Institutional Repository http://ena.lp.edu.ua

Вступ

Швидкий розвиток інтернет-технологій привів до ситуації, в якій сервери далеко не завжди можуть витримувати навантаження та якісно надавати сервіси кінцевим користувачам. Раніше був доволі поширеним термін “серверні ферми”, що являли собою сукупність серверів різних типів з однаковим географічним розташуванням. Тепер ці поняття відходять на задній план, а на зміну їм приходять хмарні (cloud) рішення та CDN мережі. Головне завдання, яке ставлять перед сучасними провайдерами послуг та контенту, – можливість масштабування мережевої інфраструктури в умовах постійного зростання трафіку та розподіл навантаження по різних локаціях. Для вирішення таких завдань використовують різні технології. Одна з них – створення мережі CDN, яка дає змогу зменшити навантаження, посилити захист від DDoS і прискорити завантаження сайта у віддалених локаціях [1].

Архітектура та сервіси CDN

Мережа доставки (розподілу) контенту (англ. Content Delivery Network або Content Distribution Network, CDN) – географічно розподілена мережева інфраструктура, що дає змогу оптимізувати доставку і розподіл контенту кінцевим користувачам у мережі Інтернет. Використання контент-провайдерами CDN мереж сприяє збільшенню швидкості завантаження інтернет-користувачами аудіо-, відеопрограмного, ігрового та інших видів цифрового контенту в точках наявності мережі CDN. Основне завдання CDN – максимальне наближення контенту до кінцевого користувача [2].

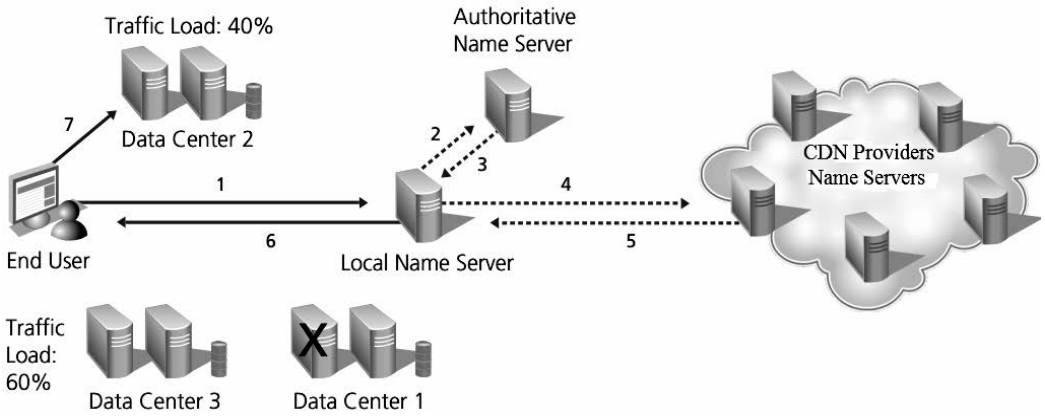

Рис. 1. Архітектура платформи CDN

Процес отримання контенту через CDN можна описати кількома етапами (рис. 1):

1. Користувач запитує ресурс (веб-сайт чи відеододаток) і його браузер надсилає запит до локального DNS для отримання IP-адреси.
2. Використовуючи стандартну політику роботи служби DNS, локальний сервер запитує IP-адресу в авторитетного (англ. *authoritative*) DNS.
3. DNS сервер дає відповідь, включаючи запис CNAME із посиланням (ip-alias) на CDN провайдера.
4. Локальний DNS звертається до DNS сервера CDN провайдера для отримання оптимального маршруту до запитуваного контенту.
5. DNS сервери CDN провайдера віддають список адрес серверів із оптимальним маршрутом до користувача, який запитує контент.
6. Локальний DNS відправляє одну із адрес браузеру чи іншому додатку кінцевого користувача.
7. Отримавши адресу сервера, кінцевий користувач звертається за контентом до конкретного сервера, який надає його користувачеві.

Lviv Polytechnic National University Institutional Repository http://ena.lp.edu.ua

Варто зазначити, що під час вибору сервера віддавання зі списку адрес, які повертають DNS сервери провайдера CDN, враховується завантаженість та доступність серверів віддавання контенту [3].

Основні сервіси CDN такі:

- *Потокове мовлення відео в режимі реального часу (Live Streaming)*. Можлива трансляція із сервера постачальника контенту або безпосередньо з IP-камери. Інша сфера застосування Live Streaming – трансляція прямого ефіру телеканалів через Інтернет.
- *Потокове мовлення відео за запитом (Video on Demand Streaming)*. Передбачає перегляд відеоконтенту в будь-який момент часу, зручний кінцевому користувачу. Можливий перегляд відео з будь-якого місця без завантаження всього вмісту.
- *Http-кешування*. Http-контент у міру потреби кешується на серверах роздавання і віддається з оптимального сервера за запитом користувача.
- *Кодування відео в режимі реального часу*. Конвертація та перекодування одного формату файлів у інші формати чи контейнери.
- *Транскодування відеопотоків*. Перетворення типу компресії (наприклад, MPEG2 в H.264), зміна бітрейту чи розміру відео [4].

Варто зазначити, що крім істотного зменшення навантаження на сервери додатків, CDN мережа виконує й інші функції. Всі сучасні провайдери розміщують копії своїх додатків на усіх доступних для них кешуючих серверах, які перенаправляють запити користувачів до найближчих з них. Результат – значно менша затримка у доставленні даних кінцевому користувачеві та якісніше надання послуг. Власне істотне зменшення часу доставки контенту і стало однією із найвагоміших переваг використання CDN мереж. Використання CDN також дає можливість суттєво економити трафік. Передати на інший континент файли один раз, зберігати їх там на локальному сервері й роздавати через локальні канали дешевше, аніж передавати той самий трафік тисячі разів через міжконтинентальні канали передавання даних. Всі ці методи необхідні для забезпечення ефективного використання ресурсів мережі та вузлів доставки контенту [5–6].

Для того, щоб швидко віддавати контент з локального сервера (Edge server) без звернення до оригінального сервера (Origin server), треба, щоб цей контент на ньому з'явився (і залишався). Існує багато схем кешування, найпоширеніші серед яких такі:

- *Реплікація всього контенту*. Перевагою такого методу є велика швидкодія, навіть першої відповіді. До недоліків можна зарахувати високу вартість такої реалізації.
- *Реплікація за першим зверненням* (найпоширеніша схема). Перше звернення повільне, а всі наступні швидші.
- *Асинхронна реплікація* за перевищенням певного порога звернень. Економічніша версія, однак обслуговування більшості клієнтів повільне.

Поряд з політикою кешування реалізується політика очищення кешу: коли саме об'єкт видаляється із сервера в точці присутності? Найпоширеніші варіанти:

- за певний час "тайм-аут", за який не було звернень до ресурсу;
- якщо кількість звернень менша від деякої величини;
- "ніколи", через фіксований час.

Методи балансування навантаження у CDN

Завдяки постійному моніторингу доступності кешувальних (Edge) серверів балансер навантаження дає змогу оптимально розподіляти запити між ними. Варто зазначити, що прості методи балансування, такі як, наприклад, DNS, не можуть забезпечити розподіл навантаження, оскільки не контролюють фактичного трафіку, який надходить на кешувальні сервери [7]. Для забезпечення оптимального розподілу навантаження потрібно, щоб пристрій, що виконує це балансування, мав інформацію про завантаженість та кількість запитів, які обслуговує кожен сервер [8–9].

Для кращого масштабування балансування трафіку між серверами, розміщеними в одному чи кількох датацентрах, варто виконувати в хмарі (cloud). Навантаження рівномірно розподілятиметься між усіма роздавальними серверами та ефективно відбуватиметься перерозподіл у разі недоступності будь-якого із серверів роздавання контенту.

Lviv Polytechnic National University Institutional Repository http://ena.lp.edu.ua

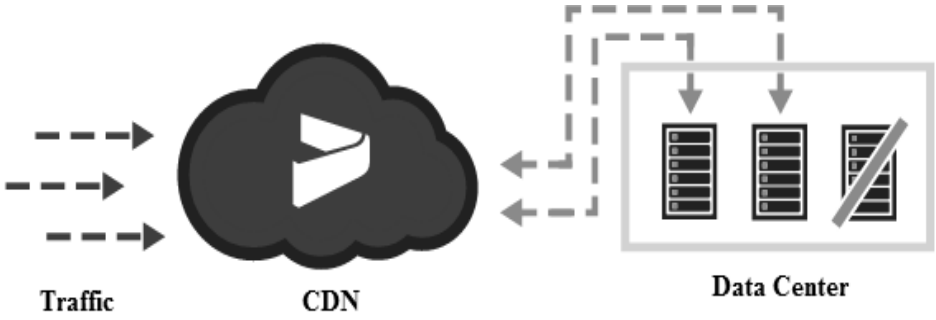

Рис. 2. Балансування навантаження з боку Cloud

Згідно із рис. 2, балансування навантаження може відбуватись за двома критеріями. Перший – періодично опитувати сервери роздавання контенту для визначення кількості запитів, які вони опрацьовують в цей момент часу, та відправляти запити на найменш завантажені.

Інший спосіб – перевіряти кількість доступних з'єднань на кожному сервері та направляти запити до сервера з найбільшою кількістю допустимих з'єднань.

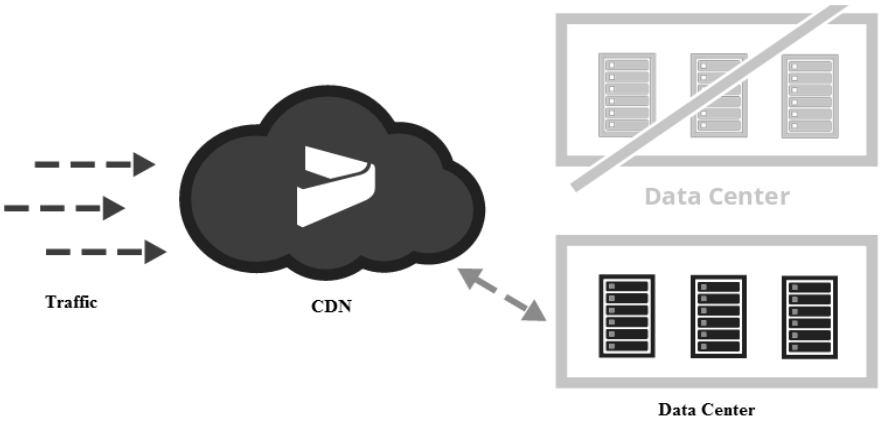

Рис. 3. Забезпечення відмовостійкості русурсу

На рис. 3 наведено схему резервування ресурсів, які передаватимуться через CDN, що уможливлює миттєве перемикання на резервний датацентр у разі виникнення проблем на основному. Зрозуміло, що забезпечення такого резервування збільшить фінансові витрати на організацію CDN.

Методи моніторингу та сповіщення

Очевидно та зрозуміло, що для того, щоб сервери та датацентри працювали надійно та безперебійно, необхідна система, яка стежитиме за їхньою роботою та надсилатиме сповіщення в разі виникнення несправності. Використання такої системи також дає змогу завжди отримувати актуальну інформацію про стан будь-якого сервера та здійснювати оптимальний розподіл навантаження між граничними серверами. Які ж параметри доцільно моніторити? Найкритичнішими є інтенсивність трафіку на інтерфейсі обслуговуючого вузла, кількість з'єднань, завантаженість дисків та інші. На рис. 4–5 наведено деякі з них.

Як бачимо на рис. 4–5, інтенсивність трафіку та кількість з'єднань достатньо високі в пікові періоди та істотно знижуються під час низької активності. Беручи до уваги ці значення, пристрій, що здійснює розподіл навантаження, визначатиме стан сервера та направлятиме оптимальну кількість запитів до цього вузла. Ці значення можна використовувати і для збирання статистики, і для прийняття рішення щодо завантаженості вузла та можливості вибрати його для обслуговування окремих ресурсів.

Не варто також недооцінювати роботу системи сповіщень та передбачень виникнення помилок, а також критичних проблем із роботою кешувальних серверів. Основною функцією такої системи є повідомлення власників обслуговуючих пристроїв про можливі проблеми в роботі вузлів,

Lviv Polytechnic National University Institutional Repository http://ena.lp.edu.ua

а також про передумови їх виникнення. Приклад сповіщення однієї із систем моніторингу, а саме сповіщення про ліміт швидкості передавання даних на інтерфейсі обслуговуючого пристрою, наведено на рис. 6.

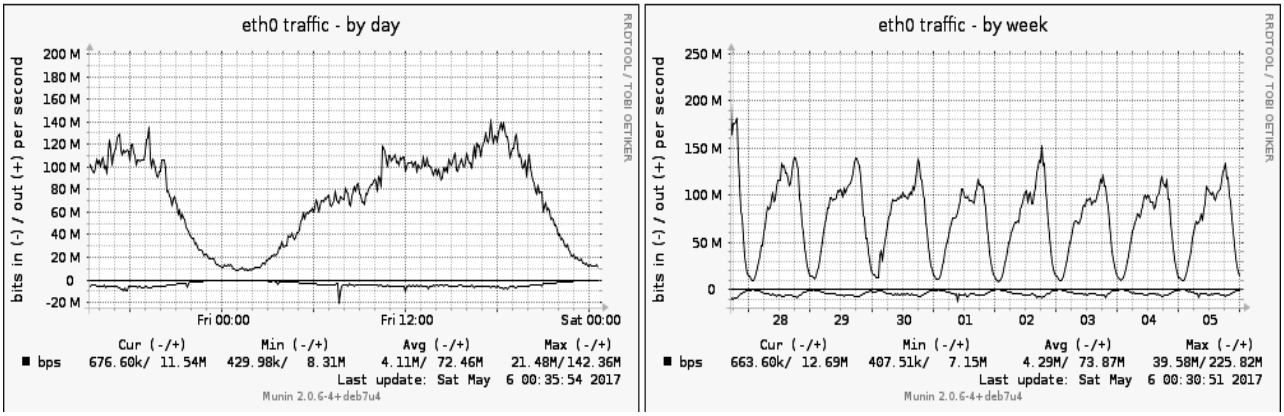

Рис. 4. Інтенсивніть трафіку на інтерфейсі обслуговуючого вузла

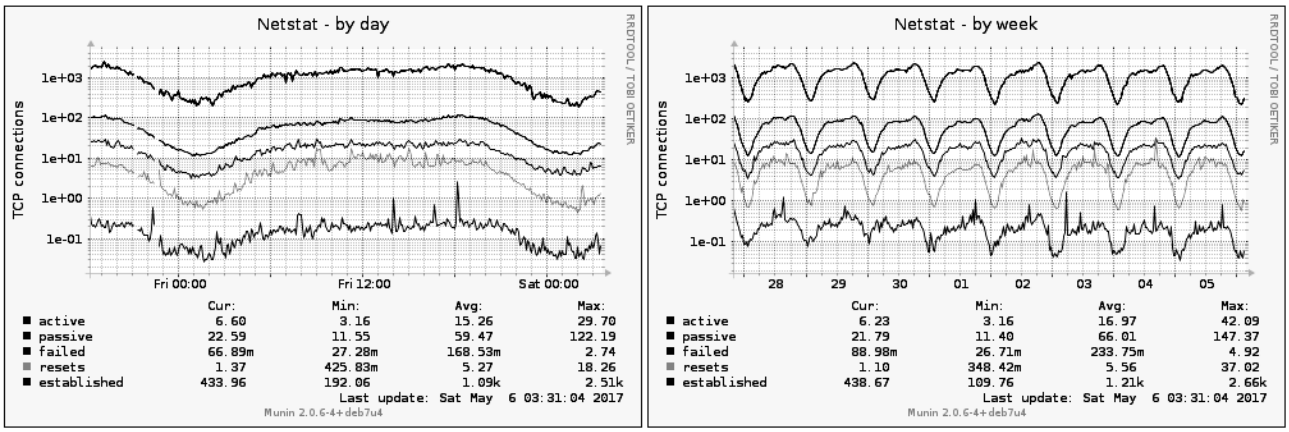

Рис. 5. Кількість з'єднань на обслуговуючому вузлі

[2017-05-07 15:27:04] SERVICE ALERT: 93.170.216.18;check_network;OK;HARD;4;Outgoing speed: 1150.5443 Mbps
[2017-05-07 15:17:04] SERVICE ALERT: 93.170.216.18;check_network;CRITICAL;HARD;4;Outgoing speed: 1340.2505 Mbps
[2017-05-07 15:15:23] Nagios 3.4.1 starting... (PID=3154)
[2017-05-07 15:15:23] Caught SIGHUP, restarting...
[2017-05-07 15:14:57] SERVICE ALERT: 93.170.216.18;check_network;CRITICAL;SOFT;3;Outgoing speed: 1277.6790 Mbps
[2017-05-07 15:12:57] SERVICE ALERT: 93.170.216.18;check_network;WARNING;SOFT;2;Outgoing speed: 1213.2487 Mbps
[2017-05-07 15:10:57] SERVICE ALERT: 93.170.216.18;check_network;WARNING;SOFT;1;Outgoing speed: 1203.0727 Mbps
[2017-05-07 15:05:57] SERVICE ALERT: 93.170.216.18;check_network;OK;SOFT;3;Outgoing speed: 1180.7533 Mbps
[2017-05-07 15:03:57] SERVICE ALERT: 93.170.216.18;check_network;CRITICAL;SOFT;2;Outgoing speed: 1289.1538 Mbps
[2017-05-07 15:01:57] SERVICE ALERT: 93.170.216.18;check_network;CRITICAL;SOFT;1;Outgoing speed: 1339.2250 Mbps
[2017-05-07 15:00:16] Nagios 3.4.1 starting... (PID=3154)

Рис. 6. Приклад сповіщення системи моніторингу

Коли може виникати таке сповіщення? Для прикладу вважатимемо, що наш кешувальний сервер під'єднаний двома інтерфейсами 1 Гбіт/с, використовуючи технологію агрегування каналів (bond). Гранично допустимою швидкістю для передавання контенту вважатимемо 1350 Мбіт/с. Відповідно, коли швидкість передавання на інтерфейсі перевищуватиме 90 % від гранично допустимої, система надсилатиме повідомлення про такий статус. Це дасть можливість власнику сервера або збільшити смугу пропускання, або ж додати ще один обслуговуючий пристрій для якісного надання послуг.

Досконаліші системи моніторингу можуть самостійно приймати рішення щодо подальшої роботи цього пристрою. Як варіант, система моніторингу може деактивувати пристрій, щоб запобігти втраті запитів, які він не зможе обслужити. Іншим варіантом може бути перенаправлення

Lviv Polytechnic National University Institutional Repository http://ena.lp.edu.ua

всіх запитів на сусідній сервер, розміщений в тій самій зоні обслуговування, з метою підвищення рівня обслуговування.

Дослідження продуктивності роботи CDN

Доволі часто постають питання доцільності використання CDN мережі, кількості кешувальних серверів, необхідної для якісного обслуговування мережевих ресурсів. Нижче наведено результати імітаційного моделювання роботи CDN з використанням програмного середовища моделювання CDNsim, яке призначено для тестового оцінювання CDN мереж і побудови експериментальних моделей [10–11].

У роботі досліджено мережу, що містить 100 кешувальних (Edge) серверів, кожен з яких здатний обслуговувати 1000 одночасних підключень користувачів. Розмір пам'яті, що виділяється на кешування контенту, визначатиметься відсотком від загального розміру даних обслуговуючого ресурсу.

Під час моделювання також було враховано існування маршрутизаторів на шляху від постачальника контенту до кінцевого користувача. Маршрутизатори утворюють мережеві магістралі, де підключаються інші елементи мережі [12–13].

Запити генеруються симулятором, який враховує структуру ресурсів, генерує запити у вигляді послідовності сторінок, схожі на ті, що генерують реальні користувачі. Введемо поняття популярності об'єкта CDN ресурсу. Популярність визначається імовірністю запиту цього об'єкта. Співвідношення популярності та розміру коливається у межах [–1..1]. Позитивне співвідношення вказує на те, що великі об'єкти популярніші, ніж дрібні. Нульове співвідношення передбачає, що розмір і популярність ніяк не пов'язані.

Hit ratio – це співвідношення запитів, які були обслужені без використання інших кешувальних серверів або сервера походження, до загальної кількості запитів. Це значення може коливатися в межах [0..1]. Високі значення коефіцієнта попадання бажані, оскільки істотно зменшують час відповіді. Параметри моделювання наведено у таблиці.

Параметри моделювання роботи CDN

Параметри	Дослід 1	Дослід 2	Дослід 3	Дослід 4
Розмір контенту	1 ГБ	1 ГБ	1 ГБ	1 ГБ
Кількість об'єктів, що запитуються	50000	50000	50000	50000
Співвідношення популярності та розміру	0	0	–1,0,1	0
Кількість запитів	1000000	1000000	1000000	1000000
Часовий інтервал запиту	1 с	1 с	1 с	1 с
Часовий розподіл інтервалів	Експон.	Експон.	Експон.	Експон.
Швидкість з'єднання	1 Гбіт/с	1 Гбіт/с	1 Гбіт/с	1 Гбіт/с
Тип мережевої топології	AS, Waxman, Transit stub, Random	AS	AS	AS
Кількість маршрутизаторів	3037,1000, 1008, 1000	3037	3037	3037
Кількість граничних(Edge) серверів	100	100	100	100
Кількість клієнтів	100	100	100	100
Розмір кешу, % від розміру веб-сайта	2,5 %, 5 %, 10 %, 20 %, 40 % і 80 %	2,5 %, 5 %, 10 %, 20 %, 40 % і 80 %	2,5 %, 5 %, 10 %, 20 %, 40 % і 80 %	2,5 %, 5 %, 10 %, 20 %, 40 % і 80 %

Lviv Polytechnic National University Institutional Repository http://ena.lp.edu.ua

Для оцінювання продуктивності роботи CDN введемо термін “доцільність CDN”. Доцільність CDN – це нормалізоване відношення відвантажених даних до завантажених. Це значення може бути в межах [0...1]. Зрозуміло, що для нормально налагодженої CDN мережі це значення має бути більшим за 0.5.

На рис. 7 показано значення залежності продуктивності використання CDN від розміру кешу для різних мережевих топологій. На графіку чітко видно один пік, коли розмір кешу становить 10 % від загального розміру обслуговуваного ресурсу. Можна також вважати, що пікова продуктивність приблизно однакова для всіх досліджуваних топологій. До моменту досягнення піка розмір кешу надто малий і в самій CDN мережі дуже мало контенту, який запитується. В результаті практично всі запити будуть перенаправлятись на оригінальний сервер (Origin). В такому варіанті ефективність використання мережі CDN низька. У міру збільшення розміру кешу кількість реплікацій змісту збільшується та обмін даними між кешувальними серверами зростає. Якщо розмір кешу занадто великий, то обмін даними між кешувальними (Edge) серверами припиниться, оскільки весь контент буде збережений у пам’яті кожного сервера.

Не треба забувати і те, що закешувати контент на 100 % неможливо тому, що частина контенту постійно оновлюється (динамічний контент). Динамічний контент завжди потрібно запитувати від оригінального сервера [13–14].

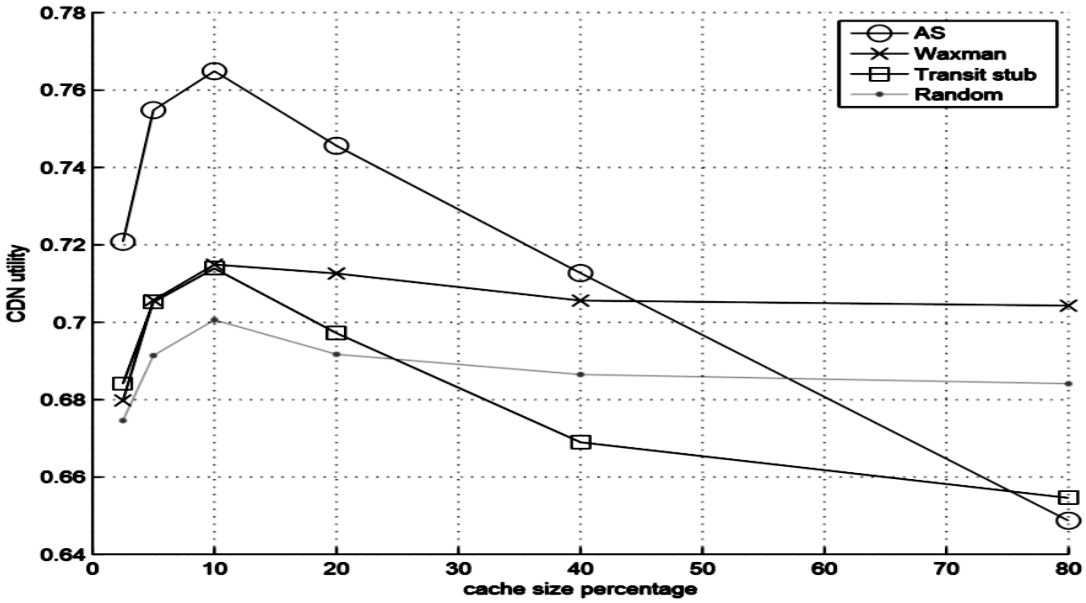

Рис. 7. Залежність продуктивності використання CDN від розміру кешу

Із наведеної залежності можна зробити висновки, що збільшення розміру кешу не завжди дає змогу ефективно використовувати CDN. Це варто враховувати під час вибору оптимального розміру кешу, який може використовуватись на граничних (Edge) серверах. За невеликого розміру вмісту ресурсу спостерігається пік ефективності й гарантуються задовільні результати за рахунок зниження трафіку. Також варто пам’ятати, що збільшення пропускної здатності та розміру пам’яті впливає на ціну послуг CDN.

На рис. 8 подано залежність коефіцієнта попадання від розміру кешу. Коефіцієнт попадання – це співвідношення запитів, обслужених без взаємодії з іншими граничними (Edge) серверами або сервером походження (Origin), та загальної кількості запитів. Ця величина коливається в межах [0..1]. Високі значення коефіцієнта попадання бажані, оскільки вони приводять до зменшення часу відгуку.

Як бачимо із цієї залежності, зі збільшенням розміру пам’яті значення коефіцієнта попадання теж зростає.

Вищі значення z приводять до вищої продуктивності CDN. Це підтверджується і на рис. 8, де за z=0 об’єкти рівномірно запитувані й коефіцієнт попадання дуже низький навіть для великих

Lviv Polytechnic National University Institutional Repository http://ena.lp.edu.ua

розмірів кешу. Якщо z=1, коефіцієнт попадання дуже високий, навіть якщо дуже малі розміри кешу. В такому випадку розмір файлів достатньо великий і довго зберігається в кеші.

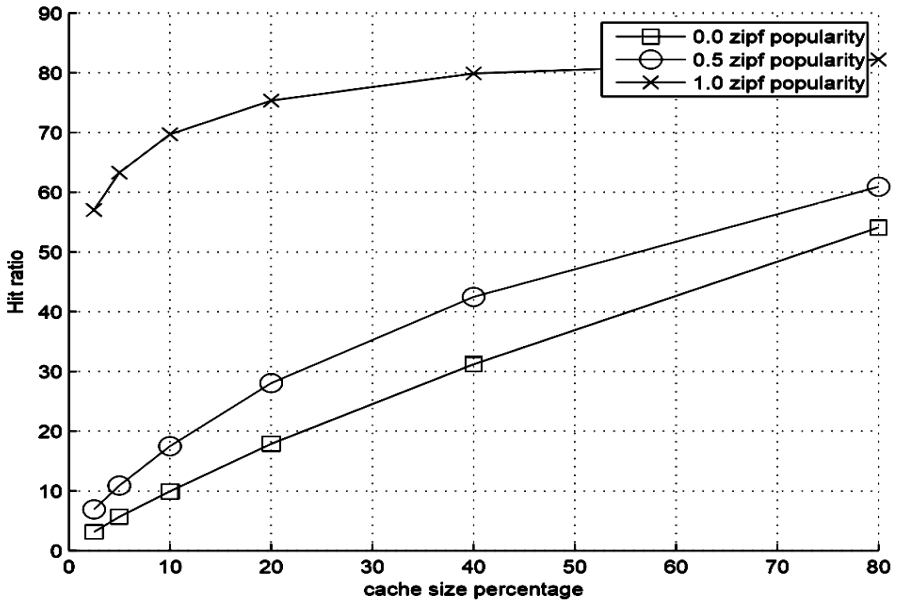

Рис. 8. Залежність коефіцієнта попадання від розміру кеш-пам'яті

Важливим показником для оцінювання якості роботи CDN є час відповіді запитуваного ресурсу. Саме цей параметр визначає, як швидко користувач отримає запитуваний контент. На рис. 9 показано, як час відгуку залежить від розміру кешу для різних методів перенаправлення.

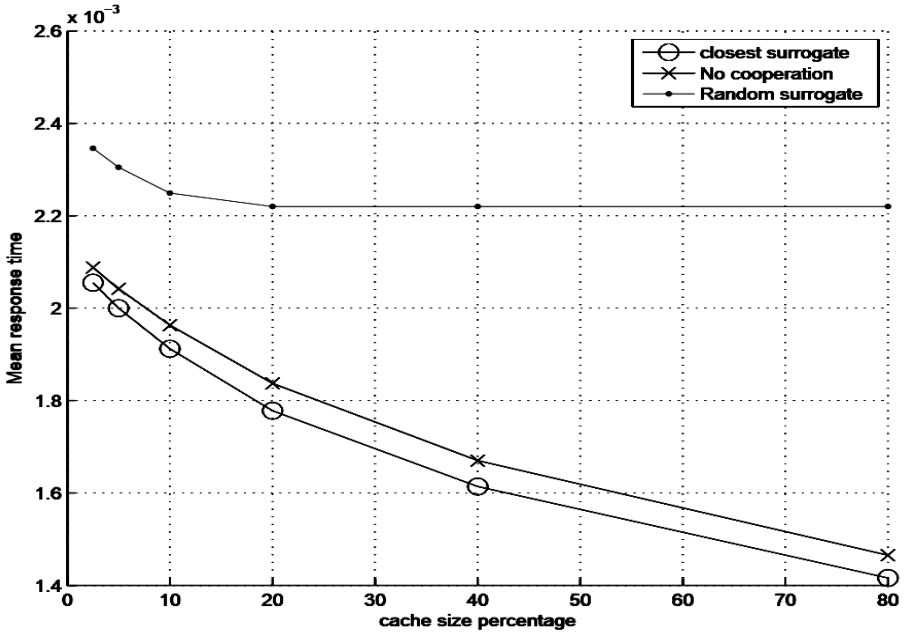

Рис. 9. Залежність часу відповіді від розміру кеш-пам'яті

Найкращу якість можна отримати, використовуючи граничні сервери із взаємодією. Трохи більшим буде час за способу перенаправлення без взаємодії, оскільки в такому випадку запити будуть надходити безпосередньо до оригінального сервера. У разі випадкового граничного сервера із взаємодією середній час відповіді більший порівняно із попередніми методами. Це спричинено випадковим розподілом запитів без урахування будь-яких умов близькості мережі.

Очевидно, що зі збільшенням розміру кешу час відповіді буде зменшуватись, оскільки більшість контенту міститиметься на граничних серверах, найближчих до кінцевого користувача.

Lviv Polytechnic National University Institutional Repository http://ena.lp.edu.ua

Висновки

У цій роботі розглянуто концепцію мережі доставки контенту, наведено архітектуру мережі. Описано принцип роботи та вибору оптимального маршруту і сервера для оброблення запитів користувачів. Наведено та охарактеризовано перелік основних сервісів, які можуть якісно надаватись у мережах CDN. Розглянуто основні методи балансування навантаження та моніторингу роботи CDN, які дають змогу раціонально розподілити навантаження між серверами мережі і покращити якість обслуговування QoS. Використання такої системи дає змогу завжди мати актуальну інформацію про стан будь-якого сервера та здійснювати оптимальний розподіл навантаження між граничними серверами. Визначено, які саме параметри потрібно моніторити для отримання якісної оцінки роботи мережі загалом. Крім цього, зазначено про можливість використання систем моніторингу в керуванні роботою пристроїв та управлінні запитами користувачів

Досконаліші системи моніторингу можуть самостійно приймати рішення щодо подальшої роботи пристрою. Як варіант, система моніторингу може деактивувати пристрій, щоб запобігти втраті запитів, які він не зможе обслужити. Іншим варіантом може бути перенаправлення всіх запитів на сусідній сервер, розташований в тій самій зоні обслуговування, з метою підвищення рівня обслуговування.

Виконано імітаційне моделювання роботи кешуючих серверів мережі доставки контенту із врахуванням багатьох параметрів, а саме: розміру ресурсу, що передається в CDN, кількості звернень до конкретного ресурсу, інтервалу часу між зверненнями, розміру кешуючої пам'яті, кількості кешуючих серверів та маршрутизаторів, топології мережі.

Подано графічне відображення результатів моделювання. Залежності показують, як змінюється ефективність використання CDN, коефіцієнт попадання та час відповіді у разі зміни розміру кешу. На основі результатів моделювання можна стверджувати, що доцільність використання CDN максимальна, якщо розмір кешу – близько 10 % від повного розміру ресурсу. За більших об'ємів кешу більшість даних вже будуть збережені на керуючих серверах і клієнт отримуватиме відповідь саме з них.

Що стосується часу відповіді, тут дещо інші показники. Як бачимо із отриманих результатів, час відповіді прямо залежить від розміру кешу, після збільшення кеш-пам'яті до 80 % час відповіді знизився практично вдвічі. Однак не слід забувати і про економічні затрати, потрібні для забезпечення таких показників.

Проаналізувавши результати експериментальних досліджень, можна стверджувати, що використання кешуючих серверів дає можливість суттєво зменшити завантаженість основного сервера, знизити затримку кінцевого користувача під час отримання контенту, а також ймовірність втрати даних на шляху передавання. Всі ці переваги дають змогу покращувати якість сервісу у мережах передачі даних.

1. Awduche D., Chiu A., Elwalid A., Widjaja I. Overview and principles of internet traffic engineering. IETF, RFC3272, 2002. 2. Sivasubramanian S., Szymaniak M., Pierre G. Replication for web hosting systems ACM Computing Surveys, vol. 36, no. 3, no. 3, pp. 291–334, 2004. 3. Kyryk M., Pleskanka N., Pitsyk M. QoS Mechanism in Content Delivery Network. Proceedings of the XIIIth International Conference TCSET'2016 Modern problems of radio engineering, telecommunications, and computer science of Lviv Polytechnic National University TCSET'2016. February 23–26, 2016 Lviv-Slavske, Ukraine. Publishing House of Lviv Polytechnic. – P. 658–660. 4. Кирик М. І., Плесканка Н. М. Дослідження впливу параметрів кодеку x264 на якість відеосигналу // Вісн. Нац. ун-ту "Львів. політехніка". Серія: Радіоелектроніка та телекомунікації: зб. наук. пр. – 2011. – № 705. – С. 161–166. 5. Klymash Mykhailo, Kyryk Maryan, Pleskanka Nazar, Yanyshyn Volodymyr Data Buffering Multilevel Model at a Multiservice Traffic Service Node // Smart Computing Review. Korea – Vol. 4. No. 4. August 31, 2014, p. 294–306. 6. Kyryk M., Pleskanka N., Pleskanka M. Content Delivery Network Usage Monitoring // Proceedings of 14th International IEEE conference "The experience of designing and application of CAD systems in microelectronics", CADSM'2017, 21–25 February 2017, Poljana-

Lviv Polytechnic National University Institutional Repository http://ena.lp.edu.ua

Svalyava(Zakarpattya), Ukraine. – Lviv: Lviv Polytechnic Publishing House. – P. 306–308. 7. Alzoubi H. A., Rabinovich M. and Spatscheck O. MyXDNS: A resquest routing DNS server with decoupled server selection. In Proceedings of the 16th International Conference on the World Wide Web, May 2007, pp. 351–360. 8. Amini, L., Shaikh, A., and Schulzrinne, H. Effective peering for multi-provider content delivery services. In Proc. of 23rd Annual IEEE Conference on Computer Communications (INFOCOM'04), pp. 850–861, 2004. 9. Verma, D.C., Calo, S., and Amiri, K. Policy-based management of content distribution networks, IEEE Network, 16(2), pp. 34–39, 2002. 10. Konstantinos Stamos, George Pallis, Athena Vakali, Dimitrios Katsaros, Antonis Sidiropoulos, Yannis Manolopoulos, CDNsim: A Simulation Tool for Content Distribution Networks, ACM Transactions on Modeling and Computer Simulation, Vol. 20, No. 2, Article 10, Publication date: April 2010. 11. Biliris, A., Cranor, C., Douglis, F., Rabinovich, M., Sibal, S., Spatscheck, O., and Sturm, W. CDN brokering. Computer Communications, 25(4), pp. 393–402, 2002. 12. Buyya, R., Pathan, M., Broberg, J., and Tari, Z. A case for peering of content delivery networks, IEEE Distributed Systems Online, 7(10), 2006. 13. Cardellini, V., Colajanni, M., and Yu, P. S. Efficient state estimators for load control policies in scalable Web server clusters. In Proc. of the 22nd Annual International Computer Software and Applications Conference, 1998. 14. Cardellini, V., Colajanni, M., and Yu, P. S. Request redirection algorithms for distributed Web systems. IEEE Trans. on Parallel and Distributed Systems, 14(4), 2003.

References

1. Awduche D., Chiu A., Elwalid A., Widjaja I. Overview and principles of internet traffic engineering. IETF, RFC3272, 2002. 2. Sivasubramanian S., Szymaniak M., Pierre G., "Replication for web hosting systems", ACM Computing Surveys, vol. 36, no. 3, no. 3, pp. 291–334, 2004. 3. M. Kyryk, N. Pleskanka, M. Pitsyk, "QoS Mechanism in Content Delivery Network" Proceedings of the XIIIth International Conference TCSET'2016 Modern problems of radio engineering, telecommunications, and computer science of Lviv Polytechnic National University TCSET'2016. February 23 – 26, 2016 Lviv-Slavske, Ukraine. Publishing House of Lviv Polytechnic. – P. 658–660. 4. Kyryk M., Pleskanka N. Reseached impact of parameters of the H264 videocodec on quality of video signal Academic Journals of L'viv Polytechnic National University, Series of Radio Electronics and Telecommunication", 2011. – No. 705. – pp. 161–166. 5. Mykhailo Klymash, Maryan Kyryk, Nazar Pleskanka, Volodymyr Yanyshyn Data Buffering Multilevel Model at a Multiservice Traffic Service Node // Smart Computing Review. Korea – Vol. 4. No. 4. August 31, 2014, p. 294-306. 6. Kyryk M., Pleskanka N., Pleskanka M. Content Delivery Network Usage Monitoring // Proceedings of 14th International IEEE conference "The experience of designing and application of CAD systems in microelectronics", CADSM'2017, 21–25 February 2017, Poljana-Svalyava(Zakarpattya), Ukraine. – Lviv: Lviv Polytechnic Publishing House. P. 306–308. 7. Alzoubi, H. A., Rabinovich, M., and Spatscheck, O. MyXDNS: a resquest routing DNS server with decoupled server selection. In Proceedings of the 16th international conference on World Wide Web. May 2007, pp. 351 – 360. 8. Amini, L., Shaikh, A., and Schulzrinne, H. Effective peering for multi-provider content delivery services. In Proc. of 23rd Annual IEEE Conference on Computer Communications (INFOCOM'04), pp. 850–861, 2004. 9. Verma, D.C., Calo, S., and Amiri, K. Policy-based management of content distribution networks, IEEE Network, 16(2), pp. 34–39, 2002. 10. Konstantinos Stamos, George Pallis, Athena Vakali, Dimitrios Katsaros, Antonis Sidiropoulos, Yannis Manolopoulos, CDNsim: A Simulation Tool for Content Distribution Networks, ACM Transactions on Modeling and Computer Simulation, Vol. 20, No. 2, Article 10, Publication date: April 2010. 11. Biliris A., Cranor C., Douglis F., Rabinovich M., Sibal S., Spatscheck O., and Sturm W. CDN brokering. Computer Communications, 25(4), pp. 393–402, 2002. 12. Buyya, R., Pathan, M., Broberg, J., and Tari, Z. A case for peering of content delivery networks, IEEE Distributed Systems Online, 7(10), 2006. 13. Cardellini, V., Colajanni, M., and Yu, P. S. Efficient state estimators for load control policies in scalable Web server clusters. In Proc. of the 22nd Annual International Computer Software and Applications Conference, 1998. 14. Cardellini V., Colajanni M., and Yu. P. S. Request redirection algorithms for distributed Web systems. IEEE Trans. on Parallel and Distributed Systems, 14(4), 2003.

Lviv Polytechnic National University Institutional Repository http://ena.lp.edu.ua