

КОДОВАНЕ КЕШУВАННЯ

Малецький Д.В., Міночкін Д.А.

Інститут телекомунікаційних систем КПІ ім. Ігоря Сікорського, Україна

E-mail: dmytro.maletskiy@gmail.com

CODED CACHING

The decentralized coded caching scheme is considered as solution to the asynchronous user requests and as the key element in handling online and nonuniform demands.

Протягом останнього десятиліття спостерігається тенденція зміщення стільникового трафіку від передачі голосу до передачі даних. На відміну від голосу, який генерується в реальному часі безпосередньо перед передачею, контент зазвичай створюється завчасно. Така особливість контенту дозволяє розподіляти його по мережі та кешувати (в базових станціях або безпосередньо в мобільних телефонах користувачів) в періоди низької завантаженості мережі. У періоди високого рівня експлуатації мережі, кешований контент може бути використаний для зменшення навантаження мережі. Очікується, що кешування контенту стане ключовим компонентом архітектури майбутніх стільникових мереж.

Основні обмеження продуктивності систем з одним кеш-сховищем були дослідженні в області комп'ютерних наук переважно в 1980-х і 90-х роках. Основним покращенням, що надає кешування, в таких системах є локальна доставка контенту з внутрішнього кешу. Проте ця теорія не може бути застосована до систем з декількома кеш-сховищами (кеш-мереж). Саме такі кеш-мережі, будуть актуальні в контексті стільникових систем наступного покоління.

Окрім покращення, що надає локальна доставка контенту, яка є можливою в системах з одним кеш-сховищем, кеш-мережі уможливають отримання глобального покращення від кешування. Це покращення досягається за рахунок багатоадресної передачі від сервера, що є одночасно корисною для декількох користувачів. На відміну від локального покращення, це глобальне покращення, масштабується з кількістю кеш-сховищ в мережі. Теоретичні докази показують, що немає інших переваг кешування, що масштабуються з параметрами системи. Таким чином, це глобальне покращення є базовою властивістю звичайної кеш-мережі, а кодована багатоадресна передача являється основною технікою для таких мереж.

Ці результати свідчать про те, що кодування відіграє ключову роль в оптимальному функціонуванні кеш-мереж. Проте, в основу їх отримання покладений ряд стилізованих припущень (наприклад, одночасні запити користувачів, рівномірна популярність контенту, офлайн оновлення кеш-сховищ і т.п.). В [1] розглянуто, як ці припущення можуть бути спростовані. На основі гнучкого децентралізованого підходу до кодованого кешування, що

дозволяє незалежно розподіляти кеш між сховищами, показано, як опрацьовувати сценарії з асинхронними запитами користувачів, неоднорідною популярністю контенту та онлайн оновленням кешу.

Децентралізоване кодоване кешування полягає у тому, що на етапі розміщення контенту, коли рівень трафіку в мережі є низьким, кожен користувач випадковим чином кешує MF/N , де N – кількість файлів, що зберігається на сервері, F – розмір кожного файлу в бітах та M – деяке дійсне число $M \in [0, N]$, біт кожного файлу незалежно від інших кеш-сховищ. Щоб розглянути етап доставки контенту припускається, що $K = N = 3$, де K – кількість користувачів. Таким чином, розглядається загальний кортеж запитів користувачів один, два та три, що роблять запит на файли A, B та C , відповідно. Файл A розділяється на вісім частин $A = (A_{\emptyset}, A_1, A_2, A_3, A_{12}, A_{13}, A_{23}, A_{123})$, де A_S позначає біти файлу A , які зберігаються виключно у користувачів у наборі S . Файли B та C розбиваються аналогічним чином. На основі цього поділу вміст кожного кешу може бути виражений, як показано на рис. 1. Спочатку, сервер надсилає кодований пакет $A_{23} \oplus B_{13} \oplus C_{12}$, який є одночасно корисним для усіх трьох користувачів (що легко побачити, перевіривши вміст кеш-сховищ). Потім він надсилає кодовані пакети, які корисні для двох користувачів, $A_2 \oplus B_1$ для першого та другого користувачів, $A_3 \oplus C_1$ для користувачів один та три та $B_3 \oplus C_2$ для користувачів два та три. Нарешті, сервер надсилає $A_{\emptyset}, B_{\emptyset}$ та C_{\emptyset} , кожен корисний лише одному користувачеві.

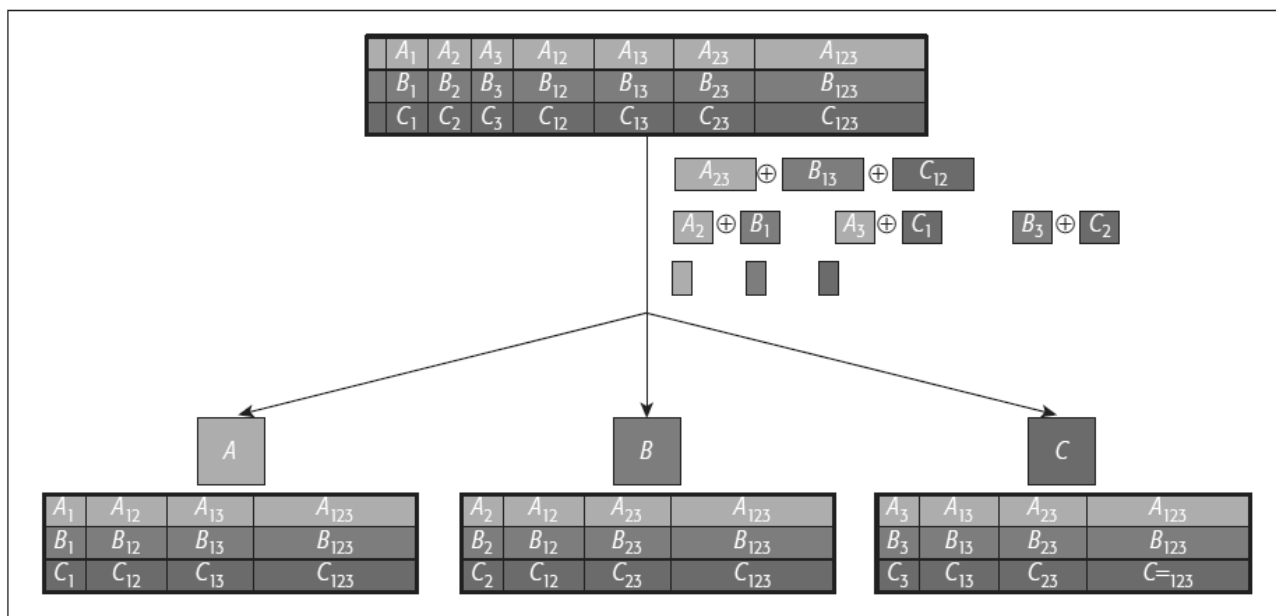


Рис.1 Схема децентралізованого кодованого кешування для $K=3$ користувачів, $N=3$ файлів та розміром кешу M .

Децентралізована схема кешування володіє властивістю універсальності, що є ключем для вирішення проблеми асинхронних та неоднорідних користувачьких запитів, а також проблеми онлайн обробки контенту.

Асинхронні запити та динамічні мережі. Зазвичай користувачькі запити є асинхронними, особливо це проявляється в стільникових мережах, де користувачі можуть переміщуватися від однієї «мережі» (стільника) до іншої. В

наслідок цього, кількість та ідентичність користувачів, що використовують спільний канал зв'язку, постійно змінюється. Децентралізована схема кодованого кешування дозволяє ефективно обробляти подібні ситуації. Перед відправкою контенту, сервер визначає сукупність активних користувачів, а потім використовуючи децентралізовану схему кодованого кешування надсилає контент.

Неоднорідні запити. Децентралізована схема кодованого кешування є приблизно оптимальною для контенту з рівномірною популярністю. Проте, на практиці, файли контенту часто мають популярність, що коливається в межах кількох порядків. Для таких неоднорідних розподілів [2] пропонується розділити набір файлів на кілька груп з однаковою популярністю в кожній групі. Після цього, для кожної групи виділяється частка пам'яті у кеш-сховищах. Таким чином фази розміщення та передачі контенту проходять окремо для кожної групи файлів. Кількість користувачів, які надсилають запити на файли з певної групи файлів, є випадковою та не відомою під час фази розміщення. Незважаючи на це схема децентралізованого кодування гарантує ефективність даного групового підходу.

Онлайн оновлення кеш-сховищ. Окрім того, що контент відрізняється за популярністю, кожен набір популярних файлів постійно змінюється. Для забезпечення ефективності, контент кеш-сховищ має постійно апатуватися відповідно до цих змін. Зазвичай це робиться шляхом використання схем онлайн кешування, у яких контент кеш-сховищ оновлюється у кінці фази доставки. Згідно з [3] LRU алгоритм, що є оптимальним правилом для оновлення кешу в системі з одним кеш-сховищем, він не є оптимальним для кеш-мереж. В [3] пропонується альтернативний підхід, у якому сервер має два режими доставки. Для запитуваних файлів, які вже частково кешовані у сховищі, він використовує кодовану доставку. В свою чергу для не кешованих файлів сервер застосовує не кодовану доставку. Завдяки використанню не кодованої доставки, з кожного кеш-сховища вилучаються частини деяких старих файлів, що потім замінюються фрагментами нещодавно отриманих файлів. Оскільки кількість запитів до кешованих файлів є величиною випадковою, тут знову використовується універсальність децентралізованого кодованого кешування.

Таким чином, підтверджено, що використання децентралізованої схеми кодованого кешування є ключем у вирішенні проблем асинхронних запитів користувачів. Також представлена децентралізована схема являється ключовим елементом в обробці неоднорідних користувацьких запитів та онлайн оновленні вмісту кеш-сховищ.

Література

1. Maddah-Ali M. Coding for Caching: Fundamental Limits and Practical Challenges / M. Maddah-Ali, U. Niesen. // IEEE Communications Magazine. – 2016. – №54. – С. 23–29.
2. Niesen U. Coded Caching with Nonuniform Demands / U. Niesen, M. Maddah-Ali. // IEEE INFOCOM. – 2014. – С. 221–226.
3. Pedarsani R. Online Coded Caching / R. Pedarsani, M. Maddah-Ali, U. Niesen. // IEEE ICC. – 2015. – С. 1878–1883.