

令和 3 年 5 月 11 日現在

機関番号：12612

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2018～2020

課題番号：18K11259

研究課題名（和文）分散協調キャッシュを用いたコンテンツ配信ネットワークの通信量削減

研究課題名（英文）Reducing communication volume of contents delivery network using distributed collaborative caches

研究代表者

吉永 努（Yoshinaga, Tsutomu）

電気通信大学・大学院情報理工学研究科・教授

研究者番号：60210738

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,400,000 円

研究成果の概要（和文）：本研究では色タグ方式の分散協調キャッシュ制御手法を提案する。色タグ方式の分散協調キャッシュは、キャッシュサーバとコンテンツにそれぞれ色タグを付して制御する。また、デバイス間通信を利用したコンテンツ配信機構としてTEA方式を提案する。TEA方式では、基地局通信範囲内及びD2D通信範囲内のモバイル端末数とコンテンツアクセスの偏り（Zipf則の偏り）パラメータを用いて基地局通信量を最小化する。本研究の成果を活用して分散協調キャッシュ技術を用いたコンテンツ配信網プロトタイプを試作し、小規模な実証実験を行った。実験の結果、キャッシュなしに比べ最大92%の通信量削減効果が得られた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

従来のネットワーク設備と親和性が高く、より低コストなハードウェア/ソフトウェアによる通信量削減技術を提案した。提案方式では、コンテンツ配信網内に分散協調キャッシュサーバを配置すると共に、モバイル端末もネットワーク内キャッシュとして活用する。これにより、同一コンテンツの通信距離と通信回数を削減することができる。また、ユーザQoEの向上とグリーンネットワークの実現に貢献する。

研究成果の概要（英文）：We propose a color-based distributed and cooperative cache control scheme. The proposed scheme assigns color-based tags to each cache server as well as each content. We also propose a template-based sub-optimal content distribution, which is called templated elastic assignment (TEA) scheme, for device (D2D) content sharing networks. The proposed TEA scheme minimizes communication traffic volume via base stations using parameters such as the number of mobile devices and content access popularity. We developed a prototype of content delivery network (CDN) to examine effectiveness of our proposals. Based on our evaluation, up to 92% of traffic volume on CDN is reduced compared to a case without using the proposed cache system.

研究分野：コンピュータネットワーク

キーワード：コンテンツ配信ネットワーク 分散協調キャッシュ D2D通信 動画配信 通信量削減 動的通信電力 QoE グリ

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

## 様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

インターネット通信量は年々増加しており、米国 Cisco 社の予測によれば 2020 年には 2016 年の通信量の 2 倍に増加し、2020 年における通信量の約 82% を動画配信が占める。また、インターネットサービスプロバイダ( ISP )のコアネットワーク負荷の増大が懸念されている。一方、ユーザはスマートフォンなどのモバイル端末で動画視聴する機会が増加している。

通信量の増大に対しては、コアネットワークやモバイル機器の通信能力の向上によっても対応可能であるが、ハードウェアを刷新するコストは大きい。したがって、従来のネットワーク設備と親和性が高くより低コストなハードウェア/ソフトウェアによる通信量削減技術も積極的に活用すべきである。そこで、コアネットワーク・ルータやモバイル端末をネットワーク内キャッシュとして活用し、同一コンテンツの通信距離と通信回数を削減することにより、ユーザ QoE の向上とグリーンネットワークの実現に貢献する技術を確立する。

研究課題の核心をなす学術的「問い」として、コンテンツの最適な配置問題が挙げられる。ネットワーク中に分散配置するキャッシュノードの個々の記憶容量は限られ、またコンテンツの人気度が動的に変動するため、軽量の計算コストでコンテンツの準最適配置を決定する必要がある。

### 2. 研究の目的

本研究は、分散協調キャッシュを用いたインターネットの通信量削減技術を確立し、ネットワークの維持・運用コストの削減とユーザのサービス利用品質( QoE )を向上させることを目的とする。分散協調キャッシュを導入することによってインターネットの通信量削減が図れれば、コアネットワーク設備を刷新することなく通信量の増加に対応できる期間を延長することができる。また、ユーザはコンテンツサーバに比べて近い距離にあるキャッシュからコンテンツを取得することで QoE が向上する。さらに、分散協調キャッシュによってネットワーク中の通信距離と通信回数を削減することで、通信に必要な電力も削減することができる。

本研究の学術的独自性は、ネットワーク中に分散配置する各キャッシュサーバノードとコンテンツにタグ付けして、どのコンテンツをどのノードでキャッシュすれば通信量を準最適化できるか低コストで制御する手法にある。コンテンツのアクセス頻度の偏りを Zipf 則の偏りパラメータで表し、そのパラメータに応じたコンテンツ準最適配置をテンプレートとして用意しておけば短時間でコンテンツへのタグ付けを行うことができる。

### 3. 研究の方法

#### (1) 軽量・高性能な分散協調キャッシュ機構の開発

従来の遺伝的アルゴリズムを用いたコンテンツ分散配置の最適化手法に比べ、ユーザからのコンテンツ取得時間とキャッシュによる通信量削減効果が同等であり、且つコンテンツ配置を決定する計算コストが小さい軽量・高性能な分散協調キャッシュ機構を開発する。

#### (2) デバイス間通信を利用したコンテンツ配信機構の開発

第 5 世代モバイル機器で利用可能なデバイス間( D2D )通信を分散協調キャッシュと組み合わせることで活用するコンテンツ配信機構を開発する。すなわち、各モバイル機器の小容量記憶装置を分散協調キャッシュの一部として使用する仕組みを導入する。ユーザ密集地では基地局の負荷が高くなり QoE 確保が困難となるが、D2D 通信を併用すれば趣味趣向の一致するコンテンツ配信の QoE 確保が可能となる。D2D コンテンツ配信に対しても、色タグ方式を拡張して適用し、

D2D 通信を使わない場合に比べた基地局の負荷を軽減する。

### (3) 上記(1)と(2)を組み合わせたコンテンツ配信ネットワーク (CDN) の有効性評価

まず(1)をコアネットワークに組み込んだ CDN について、通信量 / 動的通信電力削減効果とユーザ QoE をネットワーク・シミュレーションによって明らかにする。評価対象ネットワークは、ロングホーン (バックボーン)、メトロ、アクセス網の階層構造を対象とする。次に(2)のモバイル環境に CDN を拡張し、同様に分散協調キャッシュを利用する効果をシミュレーションにより実験的に評価する。最終的に、提案手法を組み込んだ小規模 CDN プロトタイプを試作し、分散協調キャッシュ対応 CDN の実環境評価や有効性デモに使用する。

## 4. 研究成果

### (1) 色タグ方式の分散協調キャッシュ制御

本研究では色タグ方式の分散協調キャッシュ制御手法を提案する。色タグ方式の分散協調キャッシュは、キャッシュサーバとコンテンツにそれぞれ色タグを付して制御する。キャッシュサーバとコンテンツをあらかじめ複数のグループに分類し、グループがマッチした場合のみコンテンツをキャッシュする。この際、アクセス頻度の高いコンテンツほど多数のグループに所属させておくことで、負荷を分散しつつ、キャッシュサーバのヒット率を向上させる。

### (2) デバイス間通信を利用したコンテンツ配信機構

デバイス間通信を利用したコンテンツ配信機構として、TEA (Templatized Elastic Assignment)方式を提案する。TEA 方式では、基地局通信範囲内及び D2D 通信範囲内のモバイル端末数とコンテンツアクセスの偏りパラメータ (Zipf 則の偏りパラメータ) を用いて基地局通信量を最小化するコンテンツ配置をテンプレートとして用意する。基地局が定期的に収集する端末数とコンテンツアクセスの偏りパラメータに応じて、動的にテンプレートを選択しながらモバイル端末とコンテンツのタグを調整することで、準最適なコンテンツ配置を実現する。

図 1 に、単純な LFU キャッシュの場合、(1)の色タグ方式 (図中 ID7 ビット)、TEA 方式、遺伝的アルゴリズムにより通信量が最小化されるコンテンツ最適配置を計算した場合 (GA) の 4 つについて通信量を比較する。

GA は通信量は小さいが、コンテンツ最適配置のための計算コストが大きく、モバイル環境で使用するの難しい。一方、TEA は軽やかなコストで準最適なコンテンツ配置のテンプレートを使用でき、且つ GA に近い通信量削減効果が得られる。

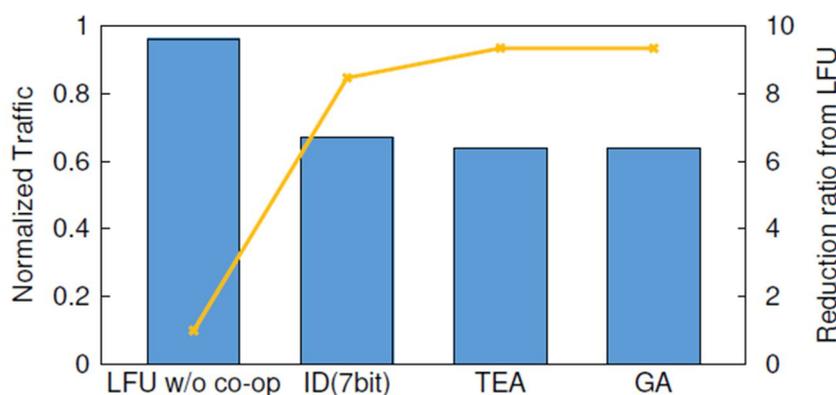


図 1. コンテンツキャッシュ方式による通信量比較

### (3) コンテンツ配信ネットワーク (CDN) の有効性評価

本研究の成果を活用して分散協調キャッシュ技術を用いた CDN プロトタイプを試作し、小規模な実証実験を行った。CDN プロトタイプは、電気通信大学の吉永研究室と TIS 株式会社の共同研究として開発した。2019 年 2 月 ~ 2019 年 3 月に吉永研究室と TIS 株式会社 17 拠点で分散協調キャッシュの効果とネットワーク通信量を測定する実証実験を実施した。図 2 に、我々の提案する分散協調キャッシュを用いた通信量の削減効果を示す。キャッシュなしに比べ、最大 92% の通信量削減効果が得られた。この結果は、2019 年 6 月 11 日にメディアリリースで発表した。

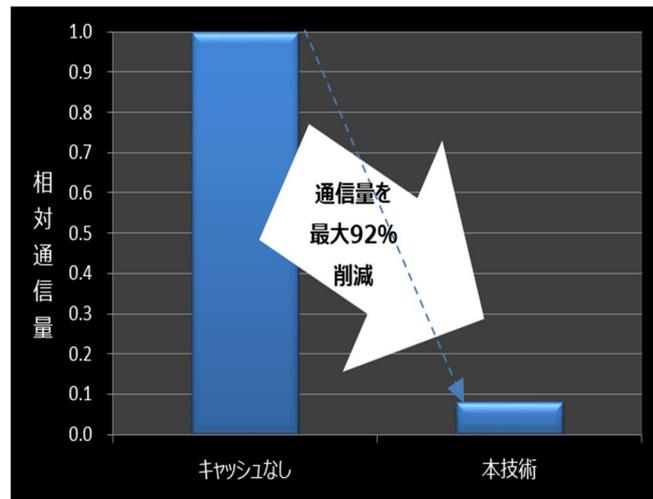


図 2 . 通信量削減効果

【メディアリリース】大容量コンテンツのネットワーク通信量を最大で 92%削減

[https://www.uec.ac.jp/news/announcement/2019/20190611\\_1891.htm](https://www.uec.ac.jp/news/announcement/2019/20190611_1891.htm)

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計7件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 3件）

1. 発表者名 城間隆行・策力木格・吉永努
2. 発表標題 モバイル分散協調キャッシュにおけるコンテンツ配置のテンプレート化
3. 学会等名 信学技法, コンピュータシステム研究会, CPSY2019-38
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 城間隆行・吉見真聡・策力木格・吉永努
2. 発表標題 モバイル分散・協調キャッシュにおける事前プッシュ配信による通信量削減
3. 学会等名 信学技法, コンピュータシステム研究会, CPSY2019-97
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Hiroki Okada, Takayuki Shiroma, Celimuge Wu, Tsutomu Yoshinaga
2. 発表標題 A Color-Based Cooperative Caching Strategy for Time-Shifted Live Video Streaming
3. 学会等名 Proc. of the 6th International Symposium on Computer Systems and Architectures (CSA'18) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Takayuki Shiroma, Celimuge Wu, Tsutomu Yoshinaga
2. 発表標題 The template-based sub-optimal content distribution for a D2D content sharing network
3. 学会等名 Proc. of the 6th International Symposium on Computing and Networking (CANDAR 2018) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Hiroki Okada; Masato Yoshimi; Celimuge Wu; Tsutomu Yoshinaga
2. 発表標題 A Peak-Avoidance Scheme for Chasing Playback of Mobile Live Streaming
3. 学会等名 Proc. of the 2020 Eighth International Symposium on Computing and Networking Workshops, pp.474-476 (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 尾作洋彦・吉見真聡・策力木格・吉永 努
2. 発表標題 FPGAを用いたデータベースクエリ処理の高速化
3. 学会等名 電子情報通信学会 / 信学技報CPSY2020-38
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 山岸徹平・吉見真聡・策力木格・吉永 努
2. 発表標題 分散協調キャッシュサーバ処理のFPGAオフロード
3. 学会等名 電子情報通信学会 / 信学技報CPSY2020-1
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8 . 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------