

令和 2 年 6 月 9 日現在

機関番号：24506

研究種目：研究活動スタート支援

研究期間：2018～2019

課題番号：18H06466・19K21534

研究課題名（和文）コンテンツ配信サービスのための低遅延な符号化キャッシュ方式の開発

研究課題名（英文）Development of Low-Delay Coded Caching Scheme for Content Delivery Service

研究代表者

瀧田 慎（TAKITA, MAKOTO）

兵庫県立大学・社会情報科学部・助教

研究者番号：50822285

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 2,300,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では複数のユーザの異なる要求を効率的に満たすために提案された符号化キャッシュ方式を扱う。通信速度や端末の性能が異なるユーザが混在するネットワークをモデル化した。そのネットワークにおいて符号化キャッシュ方式をどのように設計したら配送時間が小さくなるかを議論し、従来の手法よりも配送時間が短くなる方式を提案した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

現在、ネットワークトラフィックの総量が増加し続けている。ネットワークの混雑は、遅延の発生や低品質化などの原因になり、サービスの提供者及び利用者にとって解決すべき重要な問題である。符号化キャッシュ方式は、コンテンツの事前配置と符号化データのマルチキャストにより、トラフィックを削減できる技術である。本研究は現実のネットワークに近いモデルでどのように符号化キャッシュ方式を扱えばよいかを議論しており、符号化キャッシュ方式の実用化に向けた知見を得た。

研究成果の概要（英文）：We study a coded caching scheme proposed to efficiently satisfy the different requirements of multiple users.

We modeled a network with a mixture of users with different communication speeds and cache memory sizes and discussed how to design a coded caching scheme in this network model to reduce the delivery time. We proposed a scheme with a shorter delivery time than the traditional scheme.

研究分野：通信・ネットワーク工学

キーワード：符号化キャッシュ方式 マルチレートネットワーク 低遅延 コンテンツ配信サービス 不均一なネットワーク

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、研究者個人に帰属されます。

## 様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

スマートフォンの普及と配信サービスの充実に伴い、気軽に映画やドラマなどを視聴可能な動画配信サービスの利用者が増えている。Cisco の報告[1]によると、消費者のトラフィックの総量は今後も年率 24% で成長すると予想されている。ネットワークの混雑は、遅延の発生や低品質化などの原因になり、サービスの提供者及び利用者にとって解決すべき重要な問題である。ネットワークの混雑を解決するためには、(1)一つのサーバへのアクセスの集中を回避すること(負荷分散)と(2)ネットワークに流すデータの量を削減することが重要であり、これらを実現するシステムが必要となる。

ネットワーク負荷を分散する方法として、分散配置されたサーバからコンテンツを配信する CDN(Content Delivery Network)の利用が進められている。配送データ量を削減する方法として、ネットワーク符号化や符号化キャッシュ方式[2]などの符号化を用いたデータ配信技術が提案されている。特に、符号化キャッシュ方式は、ユーザに近いサーバへのコンテンツの事前配置と符号化されたデータのマルチキャストにより、ネットワークに流れるデータ量を二分の一から数十分の一に削減できる技術として国内外で注目を集めている。しかしながら、実環境への実装を念頭に置いたネットワークのモデル化の方法やデータの配置及び符号化・復元の処理にかかる計算コストの削減などの実用化に向けた課題が残されている。

### 参考文献

[1] Cisco, "Cisco Visual Networking Index: Forecast and Methodology, 2016–2021," White Papers, Sept. 2017, <https://www.cisco.com/c/en/us/solutions/collateral/service-provider/visual-networking-index-vni/complete-white-paper-c11-481360.html>, (accessed 2018-04-11).

[2] M. A. Maddah-Ali and U. Niesen, "Fundamental Limits of Caching," in IEEE Transactions on Information Theory, vol.60, no.5, pp.2856-2867, May 2014.

### 2. 研究の目的

本研究では、符号化キャッシュ方式の実用化に向けて、配送データ量の最小化だけでなく、現実的なネットワークで運用できること及び低遅延であることを目標とする。そのために、複雑化する現実のネットワークの適切にモデル化するとともに、符号化・復元の処理にかかる計算コストを削減する。その過程で、符号化キャッシュ方式の実用化に向けたネットワーク構造の制約や計算コストが増加する要因を明らかにする。

本研究で開発する方式の目標を次の表にまとめる。

	従来方式	本研究で開発する方式
ネットワークモデル	理想的なモデル化	実環境を想定したモデル化
配送データ量	半以下に削減	従来方式と同程度を目指す
符号化・復元の計算コスト	大きい(指数時間)	小さい(多項式時間)

### 3. 研究の方法

本研究では、まず、実環境(CDN や無線ネットワークなど)を想定し、特徴(階層構造、回線の太さ、ノード数など)合わせたネットワークのモデル化を行う。次に、モデル化したネットワークに対して、理論的に最適な符号化キャッシュ方式を開発する。ネットワークシミュレータを用いたシミュレーション実験により、実用化に向けたネットワーク構造の制約や計算コストが増加する要因を明らかにする。さらに、開発した方式のアルゴリズムの最適化や簡易化のために、符号理論で用いられる符号化処理の最適化手法を応用し、計算コストの削減を図る。

### 4. 研究成果

#### マルチレートワイヤレスネットワークでの符号化キャッシュ方式

従来キャッシュ方式では受信者のメモリを独立に扱うのに対し、符号化キャッシュ方式では複数の受信者のメモリを同時に扱う。複数の受信者のメモリへのコンテンツの配置方法を工夫することで、受信者の異なる要求を符号化されたメッセージを用いて効率的に満たすことができる。従来は個別に要求を満たすために異なるメッセージを配送していたのに対し、符号化キャッシュ方式では複数の受信者に同じメッセージを送信することができるため、マルチキャストによる配送を実現できネットワークを効率的に利用することができる。

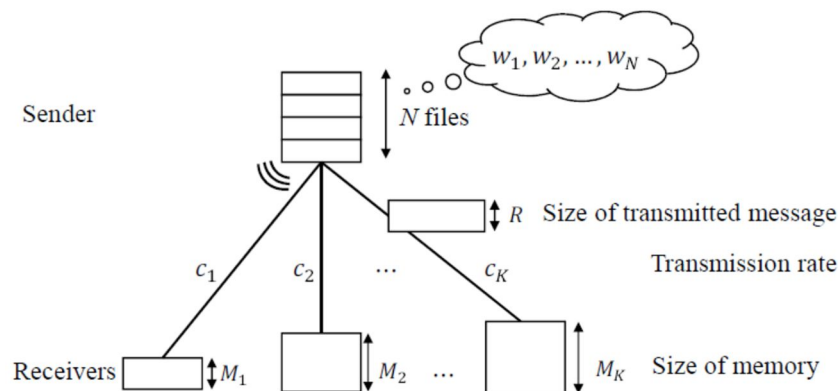


図 1 通信速度とメモリサイズが不均一なネットワークのモデル

マルチキャストは複数の受信者に同一のデータを配送する際に効率的な方法として知られているが、複数の受信者が異なる伝送速度で通信するマルチレートワイヤレスネットワークでは対象の受信者全員にマルチキャストすることが最も効率的とは限らない。また、現実のネットワークは受信者により通信速度が異なったり、利用できるキャッシュのサイズが異なったりする。そこで、本研究では図 1 のように通信速度やキャッシュのサイズが不均一なネットワークをモデル化した。

キャッシュサイズが不均一なネットワークは他の研究でも議論されている。キャッシュサイズが不均一なとき、メモリサイズが大きな受信者に送るメッセージは小さくてよいが、メモリサイズが小さい受信者に送るメッセージは大きくなる。符号化キャッシュ方式では複数の受信者宛のメッセージをビットごとの排他的論理和 (XOR) により符号化する。このとき、サイズが異なるメッセージは XOR できないため符号化できない。そこで、小さなメッセージのサイズを大きなメッセージに合わせるために、足りない部分を 0 で埋める処理 (ゼロパディング) をしてから XOR する方法が提案されていた。

本研究ではキャッシュサイズと通信速度の不均一性を同時に議論する。まず、このネットワークにおいて、従来のゼロパディングによる方法を用いると、配送時間が大きくなることが分かった。そこで、大きなメッセージに合わせてサイズを調節するのではなく、小さなメッセージに合わせてサイズを調節して XOR を行い、符号化ファイルを生成する方法を提案した。提案手法を用いることで、無為なデータの送信を避けることができ、従来手法と比較して、配送時間を小さくすることが可能となった。図 2 に提案手法 (proposed scheme)、ゼロパディングを利用した方式 (zero-padding scheme)、符号化しない方式 (uncoded scheme) の配送時間の比較結果を示す。この実験では、ユーザ数が 15 のとき従来手法と比較して、配送時間を約 30% 程度削減できていることが分かり、削減できる割合はユーザ数とともに大きくなることになった。その結果から、提案手法はマルチレートワイヤレスネットワークに適した符号化キャッシュ方式であるといえる。

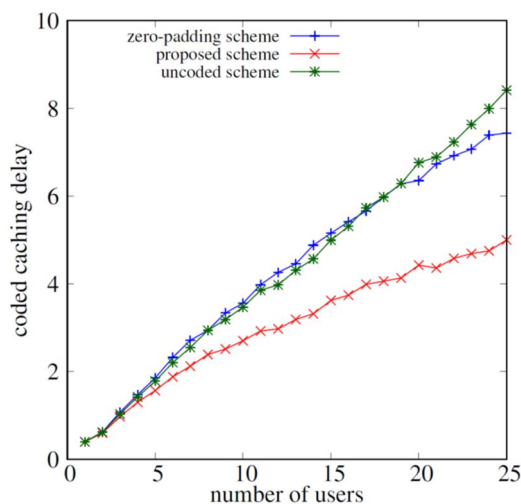


図 2 配送時間の比較

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 1件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Takita Makoto, Hiroto Masanori, Morii Masakatu	4. 巻 1
2. 論文標題 Coded Caching in Multi-Rate Wireless Network	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Proc. 2018 IEEE International Conference on Communications Workshops (ICC Workshops)	6. 最初と最後の頁 1-6
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1109/ICCW.2018.8403714	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計3件（うち招待講演 1件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 瀧田 慎
2. 発表標題 号化キャッシュ方式について キャッシュメモリとマルチキャストを活用したコンテンツ配送方式
3. 学会等名 2019年電子情報通信学会ソサイエティ大会（招待講演）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 大熊 浩也, 瀧田 慎, 森井 昌克
2. 発表標題 符号化キャッシングの情報指向ネットワークへの適用
3. 学会等名 第42回情報理論とその応用シンポジウム
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 瀧田 慎
2. 発表標題 Coded Cachingの研究動向
3. 学会等名 第3回情報理論および符号理論とその応用ワークショップ(ICA2019)
4. 発表年 2019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
--	---------------------------	-----------------------	----