

令和元年6月20日現在

機関番号：32515

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2016～2018

課題番号：16K00159

研究課題名(和文) コンテンツ指向ネットワークにおけるサービス品質向上のためのストリーミング配信方式

研究課題名(英文) Streaming Delivery Methods for Improvement of Quality of Service over Content-Centric Networking

研究代表者

花田 真樹 (HANADA, Masaki)

東京情報大学・総合情報学部・准教授

研究者番号：40373039

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 1,500,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、コンテンツ指向ネットワークにおいて、スムーズなストリーミング再生を目的とし、3つのキャッシング方式を提案し、その有効性を示した。1つ目はコンテンツファイルのチャンクの再生順序を考慮したキャッシング方式である。2つ目はチャンクへのアクセスの最新性と参照回数を考慮したキャッシング方式である。3つ目はユーザのストリーミング再生における再生途切れ時間の状況を考慮した適応的キャッシング方式である。これらの3つの提案方式において、再生途切れ時間の短縮に関する有効性を確認した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

近年の映像配信サービスの利用者増加に伴い、コンテンツ指向ネットワーク上でのストリーミング配信技術の確立が重要となっている。このような背景より、スムーズなストリーミング再生を目的とし、3つのキャッシング方式を提案し、その有効性を示した。ストリーミング配信の重要性がますます増している現在、本研究にて提案した方式を採用することにより、ユーザはストレスを感じることなく、映像配信サービスを快適に享受できるようになると期待される。

研究成果の概要(英文)：In this research, we propose three in-network caching methods for smooth real-time playback on streaming over Content-Centric Networking (CCN) and show effectiveness of these caching methods. The first is an in-network caching method considering playback order of content chunks. The second is an in-network caching method considering recency and frequency of content chunks access. The third is an adaptive in-network caching method using an increasing trend of playback interruption time of each user. In experimental evaluations, we showed that three proposed in-network caching methods outperform previous method in terms of reducing playback interruption time.

研究分野：情報ネットワーク

キーワード：コンテンツ指向ネットワーク ストリーミング キャッシング

## 様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19、CK - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

近年の Youtube などの映像配信サービスの利用者増加に伴い、ネットワーク側でコンテンツ配信をサポートするコンテンツ・セントリック型の通信形態(コンテンツ指向ネットワーク)が検討・提案されている。現在のコンテンツ指向ネットワークに関する多くの研究では、ネットワーク内キャッシュからコンテンツをダウンロードする際の低遅延化が主な目的となっており、コンテンツをダウンロードしながら再生を行うストリーミングに対する十分な検討・対応がなされていない。ストリーミング配信の重要性がますます増している現在、コンテンツ指向ネットワーク上のストリーミング配信に関する検討・対応が不可欠となっている。

### 2. 研究の目的

本研究の目的は、コンテンツ指向ネットワークにおいて、スムーズなストリーミング再生を目的としたストリーミング配信技術を確立することである。本研究では、コンテンツ指向ネットワークを対象とし、ストリーミング配信技術の確立に向けて、次の研究項目を実施する。

#### (1) スムーズなストリーミング再生を目的としたキャッシング(In-network caching)方式

ストリーミング再生では、ストリーミングコンテンツの分割データであるチャンクをネットワーク内の各ルータに効率よく分散させて配置(キャッシュ)し、ユーザは要求するチャンクを適切なルータからダウンロードしないと、チャンクのダウンロードがその再生開始時刻に間に合わず、再生途切れが発生することになる(図1)。本研究項目では、コンテンツ指向ネットワーク上でスムーズな(再生途切れの発生を防ぐ)ストリーミング再生を行うためのキャッシング方式の検討・提案・評価を行う。

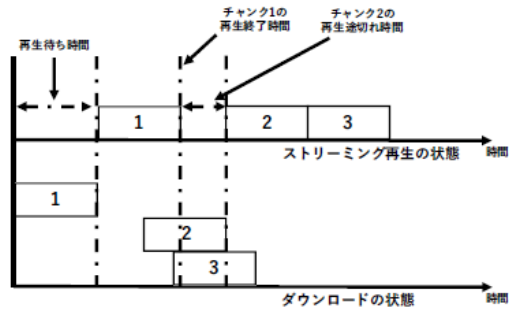


図1 再生途切れ時間の発生する状況

#### (2) コンテンツの人気度を考慮したキャッシング(In-network caching)方式

上記の研究項目(1)では、人気度の高いコンテンツが存在する状況を考慮していない。一般的には人気度の高いコンテンツが存在するため、本研究項目では、これらの状況を想定したキャッシング方式の検討・提案・評価を行う。

#### (3) 再生途切れ時間に関する状況に基づいた適応的キャッシング(In-network caching)方式

上記の研究項目(1)と(2)では、ストリーミングの再生中にキャッシング方式の各種パラメータを変化させないため(変化させることを前提としていないため)、ユーザの再生途切れ時間が増加傾向にある場合、その増加傾向が継続することになる。そこで、本研究項目では、ユーザの再生途切れ時間に関する状況を把握し、その状況に応じて、キャッシング方式の各種パラメータを適応的に変化させる手法の検討・提案・評価を行う。

### 3. 研究の方法

本研究では、「2. 研究の目的」で述べた3つの研究項目を順番に実施する。まず、研究項目(1)で述べたように、ストリーミング再生では、チャンクをネットワーク内の各ルータに効率よく分散させて配置(キャッシュ)し、ユーザは要求するチャンクを適切なルータからダウンロードしないと、チャンクのダウンロードがその再生開始時刻に間に合わず、再生途切れが発生することになる。そこで、コンテンツファイルの先頭に近いチャンクほどユーザに近いルータにキャッシュし、先頭から離れているチャンクほどユーザから離れたルータにキャッシュさせる方式の検討・提案を行う。次に、研究項目(2)に関して、人気度の高いコンテンツが存在する状況を想定し、チャンクへのアクセス数(参照回数)が多ければ多いほど、また、チャンクへのアクセス時間間隔(最新性)が短ければ短いほど、そのチャンクを各ルータでキャッシュしやすくする方式の検討・提案を行う。最後に、研究項目(3)に関して、ユーザのストリーミング再生における再生途切れ時間の状況を把握し、その再生途切れ時間が増加傾向であれば、ストリーミングデータのチャンクを経路内の各ルータにキャッシュしやすくする方式の検討・提案を行う。これらの3つの研究項目を実施することにより、様々な状況における再生途切れ時間の短縮が期待される。

### 4. 研究成果

本研究は、「2. 研究の目的」と「3. 研究の方法」で述べたように、3つの研究項目に分けて順番に実施した。以下では、それぞれの研究項目の研究成果について述べる。

#### (1) スムーズなストリーミング再生を目的としたキャッシング(In-network caching)方式

コンテンツ指向ネットワークでは、Interest パケットを用いて、ユーザはコンテンツの要求を行い、Data パケットを用いて、ネットワーク内のルータのキャッシュから(あるいはコンテンツサーバから)コンテンツを取得する。コンテンツ取得の際に、コンテンツは経路内のルータに(Data パケットより)キャッシュされる。このキャッシュの基本方針として、コンテンツをどのルータにキャッシュするか(キャッシュ判断方式)、各ルータにおいてキャッシュ容量が一杯になった場合にどのコンテンツを置換するか(キャッシュ置換方式)を決定する必要がある。代表的なキャッシュ判断方式として LCE(Leave Copy Everywhere)、LCD(Leave

Copy Dow) などがあり, 代表的なキャッシュ置換方式として, FIFO (First In First Out), LRU (Least Recently Used), LFU (Least Frequently Used) などがある. このように, 多くのキャッシュ判断と置換方式が提案されているが, コンテンツファイルの各チャンクに関する重要性が考慮されておらず, ストリーミング再生を十分にサポートできていない.

ストリーミング再生では, コンテンツファイルの先頭のチャンクから順にダウンロードしながら再生を行うため, コンテンツファイルの先頭に近いチャンクほど重要性が高くなる. そのため, コンテンツファイルの先頭に近いチャンクほど, ユーザに近いルータに長い時間キャッシュしやすくする方式を提案する.

提案方式では, ユーザから  $n$  ホップ目のルータが, コンテンツ  $h$  ( $h = 1, \dots, H$ ) の  $i$  ( $i = 1, \dots, l$ ) 番目のチャンク (Data パケット) を受け取ると, チャンクの優先度  $S_{h,i}^n$  が図 1 の Algorithm 1 を用いて計算される. 例を図 2 に示す. この例では, コンテンツファイルが 1 つあり ( $h = 1$ ), そのコンテンツファイルが 9 個のチャンク  $i$  ( $i = 1, \dots, 9$ ) から構成され, ユーザとコンテンツサーバの間に 3 つのルータ (キャッシュ容量 5) が存在すると想定する. ユーザは 1 番目のチャンクから順番に 9 個のチャンクを要求する.

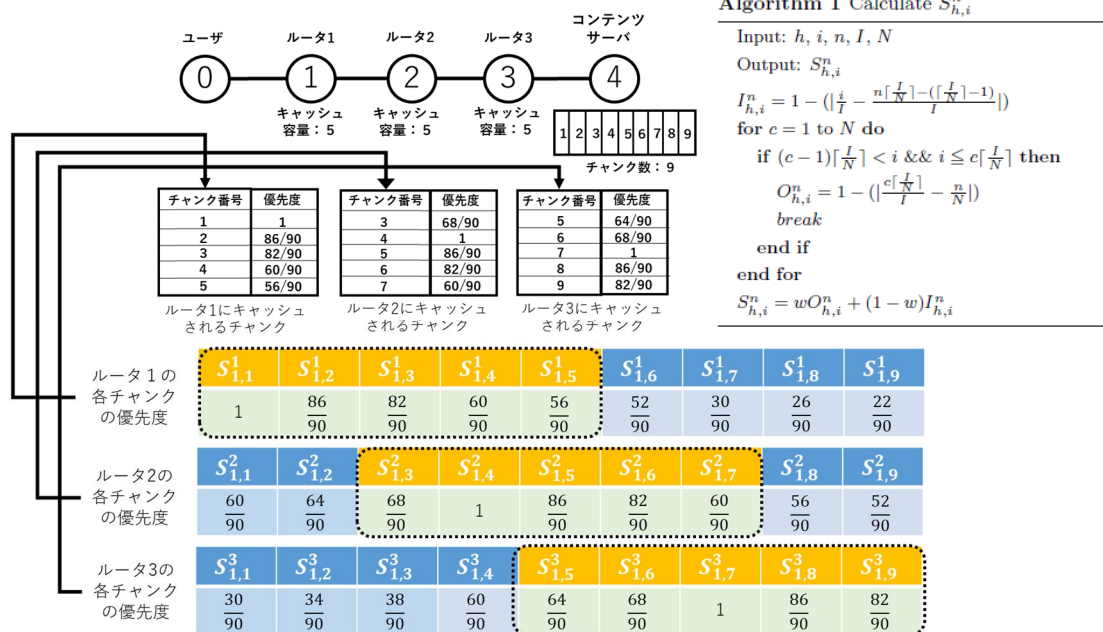


図 2 優先度算出アルゴリズムとキャッシュの例

図 2 に示すように, ユーザに近いルータでは, コンテンツファイルの先頭に近いチャンクに, 高い優先度  $S_{h,i}^n$  が割り当てられる. 各ルータではこの優先度の高い順からキャッシュされる. Data パケットを受け取ると, ルータ 1 にはチャンク 1, 2, 3, 4, 5, ルータ 2 にはチャンク 3, 4, 5, 6, 7, ルータ 3 にはチャンク 5, 6, 7, 8, 9 がキャッシュされる. このように, コンテンツファイルの先頭に近いチャンクほどユーザに近いルータにキャッシュされ, 先頭から離れているチャンクほどユーザから離れたルータにキャッシュされる. これにより, ユーザはチャンク 1, 2, 3, 4, 5 をルータ 1 より, チャンク 6, 7 をルータ 2 より, チャンク 8, 9 をルータ 3 よりダウンロードすることになる.

提案方式を評価するために, 計算機シミュレーションにより, 再生途切れ時間に関して従来方式 (キャッシュ置換方式: LFU, LRU, FIFO + キャッシュ判断方式: LCE) と比較を行い, 提案方式の有効性を示す. シミュレーション諸元を表 1 に, ネットワークトポロジを図 3 に, 再生途切れ時間の比較結果を表 2 に示す. 図 3 のネットワークトポロジの Level-3 の黒丸で示す各 18 台には, ユーザ 25 人を配置し, Level-3 の白丸で示す 9 台には, コンテンツ 25 個をランダムに重複なく配置する. 各ユーザはランダムに選択した一つのコンテンツの全チャンクを同時に要求する.

表 2 より, いずれのキャッシュ容量においても提案方式の再生途切れ時間が最も小さい結果となった. キャッシュ容量 200 の場合, 既存のキャッシング方式の中で最も小さい値を示す LFU と比較しても, 約 87% 再生途切れ時間を短縮できている. また, キャッシュ容量を 200 から 1000 に増加させると LFU と比較して, 再生途切れ時間が約 89% 短縮できている.

本研究項目の実験結果より, コンテンツファイルの先頭に近いチャンクほどユーザに近いルータにキャッシュさせ, 先頭から離れているチャンクほどユーザから離れたルータにキャッシュさせる方式, つまり, チャンクの再生順序を考慮したキャッシング方式の有用性が示された.

表 1 シミュレーション諸元

通信帯域	6 (Mbps)
再生レート	4 (Mbps)
チャンク数	1000
チャンクサイズ	1 (Mbyte)
CCN ルータ数	13
コンテンツサーバ数	9
コンシューマ数	18
コンテンツ数	25
キャッシュ容量	200, 600, 1000
w 値	0.5
インタレストパケット発行間隔	0~10 (sec)

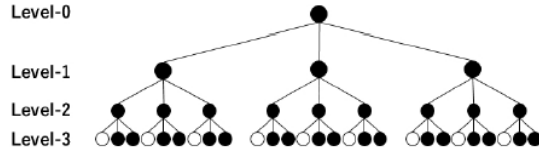


図 3 ネットワークトポロジ

表 2 再生途切れ時間の比較結果

	キャッシュ容量 200	キャッシュ容量 600	キャッシュ容量 1000
提案方式	0.1335	0.1305	0.1052
LFU	1.0537	0.9485	0.9582
LRU	1.0791	0.9888	0.8581
FIFO	1.1199	1.0698	0.838

(2) コンテンツの人気度を考慮したキャッシング (In-network caching) 方式

上記の研究項目(1)では、人気度の高いコンテンツが存在する状況を考慮していない。一般的には人気度の高いコンテンツが存在する。コンテンツの人気度を考慮するために、優先度にチャンクへのアクセス数(参照回数)とアクセス時間(最新性)を導入する。チャンクへのアクセス数(参照回数)とアクセス時間(最新性)を導入するために、LFU (Least Frequently Used) と LRU (Least Recently Used) の概念を用いた優先度をチャンクに割り当て、優先度の高いチャンクからキャッシュする方式を提案する。

提案方式では、ユーザから n ホップ目のルータが、コンテンツ h ( $h = 1, \dots, H$ ) の i ( $i = 1, \dots, l$ ) 番目のチャンク (Data パケット) を受け取ると、チャンクの優先度  $P_{h,i}^n$  が式(1)を用いて割り当てられる。

$$P_{h,i}^n = \alpha R_{h,i}^n + \beta F_{h,i}^n + (1 - \alpha - \beta) S_{h,i}^n \quad (1)$$

ここで、 $R_{h,i}^n$  と  $F_{h,i}^n$  は式(2)と式(3)により求められる。また、優先度  $S_{h,i}^n$  は図 1 の Algorithm 1 を用いて計算される。なお、 $\alpha$  と  $\beta$  は 3 つの優先度の重みを調整するパラメータであり、 $0 \leq \alpha + \beta \leq 1$  を満たす。

$$R_{h,i}^n = \frac{r_{h,i}}{T} \quad (2)$$

$$F_{h,i}^n = \frac{f_{h,i}}{M_{h,i}} \quad (3)$$

$R_{h,i}^n$  は i 番目のチャンクのアクセス時間の最新性に関する優先度である。T は n ホップ目のルータが保持しているチャンク数であり、 $r_{h,i}$  は i 番目のチャンクが古い方から数えて何番目かを示している。これにより、優先度  $R_{h,i}^n$  は新しいチャンクほど 1 に近い値、古いチャンクほど 0 に近い値となる。

$F_{h,i}^n$  は i 番目のチャンクの参照回数に関する優先度である。 $M_{h,i}$  は i 番目のチャンクの経路内の最大アクセス回数であり、 $f_{h,i}$  は n ホップ目のルータにおける i 番目のチャンクのアクセス回数である。これにより、優先度  $F_{h,i}^n$  は参照回数が多いチャンクほど 1 に近い値、参照回数が少ないチャンクほど 0 に近い値となる。

提案方式を評価するために、計算機シミュレーションにより、再生途切れ時間に関して従来方式(キャッシュ置換方式: LFU, LRU, FIFO + キャッシュ判断方式: LCE, LCD)と比較を行い、提案方式の有効性を示す。シミュレーション諸元を表 3 に、再生途切れ時間の比較結果を図 4 (提案方式は"CM-RFS"と表記する)に示す。なお、ネットワークトポロジは研究項目(1)の図 3 と同じである。各ユーザは Zipf 則に従って選択したコンテンツの全チャンクを同時に要求する。各ユーザはコンテンツを取得後、再度、Zipf 則に従って選択したコンテンツの全チャンクを要求する。

図 4 より、提案方式の再生途切れ時間が最も小さい結果となった。既存のキャッシング方式で最も小さい値を示す LRU + LCE と比較しても、約 20% 短縮できている。

本研究項目の実験結果より、チャンクへのアクセス数(参照回数)とアクセス時間(最新性)を考慮したキャッシング方式の有用性が示された。

表 3 シミュレーション諸元

通信帯域	10 (Mbps)
再生レート	1 (Mbps)
コンテンツのチャンク数	500 (チャンク)
チャンクサイズ	16000 (byte)
ノード数	40
コンテンツ数	25 (個)
キャッシュ容量	500 (チャンク)
パラメータ w	0 ~ 1.0
パラメータ $\alpha$	0 ~ 1.0
パラメータ $\beta$	0 ~ 1.0

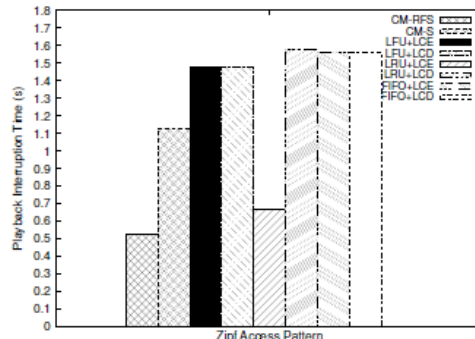


図 4 再生途切れ時間の比較結果

- (3) 再生途切れ時間に関する状況に基づいた適応的キャッシング (In-network caching) 方式  
 上記の研究項目(1)と(2)では, ストリーミングの再生中にキャッシング方式の各種パラメータを変化させないため, ユーザの再生途切れ時間が増加傾向にある場合, その増加傾向が継続することになる. そこで, ユーザのストリーミング再生における再生途切れ時間の状況を把握し, その再生途切れ時間が増加傾向であれば, ストリーミングデータのチャンクを経路内の各ルータにキャッシュしやすくする方式を提案する.

提案方式では, ユーザから  $n$  ホップ目のルータが, コンテンツ  $h$  ( $h = 1, \dots, H$ ) の  $i$  ( $i = 1, \dots, l$ ) 番目のチャンク (Data パケット) を受け取ると, チャンクの優先度  $P_{h,i}^n$  が式(4)を用いて割り当てられる. 式(4)では, 式(1)と異なり, 重みの合計 ( $\alpha + \beta + \gamma$ ) が 1 より大きくなることを許容している.

$$P_{h,i}^n = \alpha R_{h,i}^n + \beta F_{h,i}^n + \gamma S_{h,i}^n \quad (4)$$

ここで,  $R_{h,i}^n$  と  $F_{h,i}^n$  は式(2)と式(3)により求められる. また, 優先度  $S_{h,i}^n$  は図 1 の Algorithm 1 を用いて計算される.

提案方式では, ユーザのストリーミング再生における再生途切れ時間が増加傾向であれば, 各パラメータの初期値 ( $\text{def\_}\alpha, \text{def\_}\beta, \text{def\_}\gamma$ ) の 1/2 を現在の値 ( $\alpha, \beta, \gamma$ ) に加算する (なお, 各パラメータには最大値 ( $\text{max\_}\alpha, \text{max\_}\beta, \text{max\_}\gamma$ ) を設ける). これにより, ストリーミングの再生中に再生途切れ時間が増加傾向であれば, その増加を防止することが可能となる.

提案方式を評価するために, 計算機シミュレーションにより, 再生途切れ時間に関して従来方式 (研究項目(2)の方式 (CM-RFS)) と比較を行い, 提案方式の有効性を示す. シミュレーション諸元を表 4 に, 再生途切れ時間の比較結果を表 5 に示す. なお, ネットワークトポロジは研究項目(2)と同じであり, 各パラメータの初期値を  $\alpha = \text{def\_}\alpha = 0.6, \beta = \text{def\_}\beta = 0, \gamma = \text{def\_}\gamma = 0.4$  とする.

表 4 シミュレーション諸元

通信帯域	10 (Mbps)
再生レート	1 (Mbps)
コンテンツのチャンク数	500
チャンクサイズ	16000 (byte)
ノード数	40
コンテンツ数	25
キャッシュ容量	300

表 5 再生途切れ時間の比較結果

CM-RFS	提案方式 ( $\text{max\_}\alpha=1.2$ ) ( $\text{max\_}\beta=0$ ) ( $\text{max\_}\gamma=0.8$ )	提案方式 ( $\text{max\_}\alpha=2.4$ ) ( $\text{max\_}\beta=0$ ) ( $\text{max\_}\gamma=1.6$ )	提案方式 ( $\text{max\_}\alpha=4.8$ ) ( $\text{max\_}\beta=0$ ) ( $\text{max\_}\gamma=3.2$ )
7.14	7.02	6.90	6.91

表 5 より, 提案方式の再生途切れ時間が最も小さい結果となった. 既存のキャッシング方式 (CM-RFS) より,  $\text{max\_}\alpha = 2.4, \text{max\_}\beta = 0, \text{max\_}\gamma = 1.6$  の時, 約 3% 短縮できている.

本研究項目の実験結果より, ユーザの再生途切れ時間に関する状況を把握し, その状況に応じて, キャッシング方式の各種パラメータを適応的に変化させる手法の有用性が示された.

## 5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 6 件)

Masaki Hanada, Akira Toyozaki and Hidehiro Kanemitsu, "Adaptive In-Network Caching Strategy Based on Popularity and Playback Sequence for VoD Streaming over CCN," Proceedings of 2019 RISP International Workshop on Nonlinear Circuits, Communications and Signal Processing (NCSP 2019), 査読有, Vol.1, pp. 331-334, March 2019.

豊崎朗, 花田真樹, 金光永煥, 中里秀則, "CCN におけるコンテンツの人気度と再生順序を考慮したキャッシング方式," 電子情報通信学会 技術研究報告, 査読無, IN2017-129, pp. 237-242, 2018 年 3 月.

Akira Toyozaki, Masaki Hanada and Hidehiro Kanemitsu, "In-Network Caching Strategy Considering Popularity and Playback Sequence for VoD Streaming over CCN," Proceedings of 2018 RISP International Workshop on Nonlinear Circuits, Communications and Signal Processing (NCSP 2018), 査読有, Vol.1, pp. 307-310, March 2018.

Takeshi Misu, Masaki Hanada, Hidehiro Kanemitsu and Moo Wan Kim, "An In-Network Caching Strategy for Reducing Playback Interruption Time of On-Demand Streaming over CCN," RISP Journal of Signal Processing, 査読有, Vol.21, No. 4, pp. 141-144, 2017.

Takeshi Misu, Masaki Hanada, Hidehiro Kanemitsu and Moo Wan Kim, "In-Network Caching Strategy for Reducing Playback Interruption Time on On-demand Streaming over CCN," Proceedings of 2017 RISP International Workshop on Nonlinear Circuits, Communications and Signal Processing (NCSP 2017), 査読有, Vol.1, pp. 465-468, March 2017.

三須剛史, 花田真樹, 金武完, 金光永煥, ``CCNにおけるストリーミング再生を考慮したキャッシング方式,' ' 電子情報通信学会 技術研究報告, 査読無, CS2016-90, pp. 83-88, 2017年2月.

〔学会発表〕(計 2件)

豊崎朗, 花田真樹, 金光永煥, ``CCNにおけるコンテンツへのアクセス時間/参照回数と再生順序を考慮したキャッシング方式,' ' 電子情報通信学会 総合大会, 2018年3月.

三須剛史, 花田真樹, 金武完, 金光永煥, ``CCNにおけるストリーミング再生を考慮したキャッシング方式,' ' 電子情報通信学会 総合大会, 2017年3月.

〔図書〕(計 0件)

〔産業財産権〕

出願状況(計 0件)

名称:  
発明者:  
権利者:  
種類:  
番号:  
出願年:  
国内外の別:

取得状況(計 0件)

名称:  
発明者:  
権利者:  
種類:  
番号:  
取得年:  
国内外の別:

〔その他〕

ホームページ等

## 6. 研究組織

### (1)研究分担者

研究分担者氏名:

ローマ字氏名:

所属研究機関名:

部局名:

職名:

研究者番号(8桁):

### (2)研究協力者

研究協力者氏名:

ローマ字氏名:

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。