

平成 30 年 6 月 8 日現在

機関番号：15401

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2015～2017

課題番号：15K06067

研究課題名(和文) 動画像キャッシュ配信システムにおける複数品質動画コンテンツ管理方式の研究

研究課題名(英文) A study on a video content management system using multiple qualities in a video cache distribution system

研究代表者

児玉 明 (Kodama, Mei)

広島大学・情報メディア教育研究センター・准教授

研究者番号：50277828

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,600,000円

研究成果の概要(和文)：ネットワークを介した動画コンテンツ(動画)利用サービスにおいて、動画取得時間の短縮、サービスコスト低減を目的として、品質を考慮したキャッシュ型動画配信におけるキャッシュ動画管理方法を提案した。様々な利用デバイスを考慮し、複数品質利用に着目した。キャッシュ効果により、動画伝送効率向上と動画取得時間の短縮を実現するため、階層データ構造を利用した品質依存ルールと品質独立動画の利用頻度・利用時間から導出する優先度・優先度グループを利用した、新たなキャッシュ動画管理判定アルゴリズムを開発した。人気・アクセス数などの実用モデルを構築し、優先度推定法に基づいた提案法の有効性を明らかにした。

研究成果の概要(英文)：We propose a cache video content management method using multiple qualities in a cache video distribution system in order to shorten video acquiring time and reduce service cost in video content utilization services over the network. Considering various utilization devices, we focus on multiple qualities. In order to realize improvement of moving picture transmission efficiency and reduction of video acquiring time by cache effect, we used quality dependent rule using hierarchical data structure, priority / priority group derived from usage frequency / usage time of video. Then, we propose a new content management method. We designed a practical model such as popularity and access number, and we indicated that the proposed method based on the priority estimation method was effective more than the conventional methods.

研究分野：情報通信工学

キーワード：動画像配信 キャッシュ 動画像管理方式 階層符号化 複数品質 優先度推定

## 1. 研究開始当初の背景

大画面 TV・モバイル端末の普及により、ネットワークを利用した動画コンテンツ(以下、動画と略す)利用サービスが拡大してきた。動画取得する際、従来の動画サーバから直接動画取得する方法に対し、ネットワーク上に配置された利用者がアクセスする近傍のキャッシュ(一時保管)動画サーバから動画取得することで取得時間の短縮を図る方法が検討されている。本研究では、キャッシュの動画管理(以下、動画管理と略す)に着目する。情報配信時の管理方法として、テキスト/静止画を中心とした Web データに対して、動画を対象とした場合扱うデータ量が大きく異なるため、頻度中心の情報管理判定では、アクセス分布と情報更新条件等により、未利用キャッシュ動画が増加し、管理効率が低下する。これらの課題は、様々な動画品質対応として動画情報変換技術を利用し情報量を削減した動画管理手法等で解決方法が示されている。

また、動画配信環境として、動画取得効率の向上を目的とした CCN 通信(Content-Centric Networking)が近年急速に注目されており、副産物として動画キャッシュを利用するため、動画管理技術が必要不可欠な技術課題である。

このように、動画配信効率化のための動画管理方式が、国内外の画像通信技術において重要な課題の一つと位置付けられる。また、大画面・モバイル端末等同一コンテンツに対して様々な品質提供の要求が増大しており、その品質への対応も急務の課題である。また、従来のキャッシュ動画管理方式は、単一品質のみを対象とし複数品質を考慮した動画配信時に複数の配信システムを準備するため、サービスコストが膨大となる課題を抱えている。そこで、品質偏りを考慮したキャッシュコンテンツ管理方法や階層データ構造を利用した品質依存ルールが提案されており、キャッシュ効率の向上について検討されている。

## 2. 研究の目的

ネットワークを介した動画コンテンツ(動画)利用サービスにおいて、動画取得時間の短縮、サービスコスト低減を目的として、品質を考慮したキャッシュ型動画配信におけるキャッシュ動画管理方法を提案する。特に、モバイル端末や大画面映像表示装置等様々な利用デバイスを考慮し、複数品質利用に着目する。キャッシュ効果により、動画伝送効率向上と動画取得時間の短縮を実現する。階層データ構造を利用した品質依存ルールと品質独立動画の利用頻度・利用時間から導出する優先度・優先度グループを利用した、新たなキャッシュ動画管理判定アルゴリズムを開発し、シミュレーション実験により、上

記高効率化の有効性を明らかにする。

特に、提案方式として、利用者属性に基づいた優先度推定によるキャッシュ動画管理方式、階層的品質遷移規則の下での動画管理法、実用的な時間変動モデルにおけるキャッシュ効率低下を抑制する適応的優先度推定の中で、最初の管理方式について詳細に報告し、後者については概説する。

## 3. 研究の方法

これまでの複数品質に対応したキャッシュ映像管理手法では、直前の参照区間で新しく登録された映像に重み付けされる LRU 管理となり、定常的に利用される映像を考慮することが困難である。また、キャッシュ優先管理時の参照区間を長く設定することで、個々の映像のアクセス数を考慮した LFU 管理が可能であるが、定期的に更新される映像の入れ替えへの対応に課題がある。一方で、短く設定すると映像更新が頻繁に発生する問題があり、例えば、新規登録映像に重みが掛かり、常時利用している映像がキャッシュされない可能性がある。さらに、アクセス数が増加変動する場合、映像重み付けが LRU 管理となり、登録済み映像が扱われない可能性がある。特に、時間変動の有するアクセスモデルにおいて、過去の利用情報のみ依存する管理手法を利用する場合、現区間の価値判定方法が課題となる。そこで、過去の利用情報に対して、時間的な変動を考慮した推定方法として、アクセス率情報に基づいた区間推定手法を提案する。ここでは、アクセス数変動に対してアクセス率を利用することで各映像の現区間における人気を推定し、キャッシュ効率の向上を図る。本研究で扱う映像データは階層データであるとし、インデックスデータはすべての映像に対して保有しており、低品質用は、追加情報として階層用低品質データを、高品質用には、低品質と高品質データを保有しているとする。本研究で利用するアクセス変動モデルとして、1 日における時間変動を考え、1day モデルを定義する。アクセス数変動と利用品質に対する線形変動モデル、映像種別に対応した映像利用モデル(以下、利用モデルと略す)について定義する。

一般的に LFU 手法では、キャッシュ映像として管理するか否かの判定の際、参照区間の情報に基づいて現区間のアクセス予測を行い、現区間前の時刻  $T_{ji}$  における映像更新を行う。しかし、単に参照区間情報に基づいた場合、参照区間と現区間の状態が異なる場合、例えば、アクセス数や品質利用の区間状態変動が発生する場合、真の情報と相違が起こり、管理効率が低下する課題がある。そこで、上記で定義した利用モデルにおける人気変動予測に対して、キャッシュ効率低下を抑制するために、過去の参照区間を複数利用した線形予測手法を提案する。ここでは、非予測手法に対する効率改善効果をわかりやす

くするため、単純な線形予測を用いる。前述した 1day モデルにおける各変動モデルへの対応方法として、アクセス率、品質率を扱った 2 段階の推定法を提案する。

参照区間内の利用可能な個々の品質を考慮した映像の優先度を算出し、キャッシュ内の各映像及びその品質管理を行う。T<sub>ij</sub>におけるキャッシュ映像管理において、参照区間内の総アクセス数に対する各映像のアクセス率を利用し優先度価値推定を行う。まずはじめに、映像管理方法の概要を示し、映像利用属性に対する映像アクセス率推定、品質率推定、個別映像アクセス率推定方法について説明する。

優先度推定とその情報に基づいた映像管理方法の概要を示す。ただし、参照区間数 N<sub>r</sub> は 1 以上であり、参照区間と現区間の映像利用状態が類似している場合は、N<sub>r</sub>=1 で利用可能である。また、新規に登録された映像の場合、参照できないため、ここでは推定値は持たないとする。

1. 各参照区間に対して、各映像の優先度用価値を用意する。
2. 次に各 R<sub>n</sub>(n=1,2,...,N<sub>r</sub>)に対して、各映像ごとに線形優先度推定法を導入する。ここでは単純な線形推定法として、最小 2 乗法による直線近似法を利用する。推定された映像ごとの価値を更新管理用優先度価値と定める。
3. 優先度価値に基づいて各映像の優先順位を定めて、キャッシュ容量内の順位付けにしたがい各映像の品質管理状態を確認する。階層データにおける高品質データの低品質データへの従属ルールにしたがい、キャッシュ制限容量内に相当する映像の状態更新判定を更新情報として最終的に定める。

まず、映像利用属性情報を抽出し、扱う映像の種別に対応した推定法を決定する。通常映像、更新映像ともに、基本的に推定法を利用する。ただし、更新映像の場合は、個々の映像の寿命を確認し、映像ごとの参照区間数を抽出するとともに、その寿命に応じたアクセス率を推定する。また、更新映像の寿命判定により、現区間での利用がない場合は、利用のない優先度として設定する。次に、品質率変動においても、同様に推定法を利用する。上記求められた推定アクセス率と、品質率の推定法を利用し、最終的に各映像利用属性に対応した優先度推定値を統合的に算出する。

#### 4. 研究成果

評価実験に用いる手法として、従来法として、各映像のアクセス数、アクセス率を使用しそれぞれ CM1, CM1' とする。また、提案手法として、前節で説明したアクセス率をアクセス数とした場合を PM1, PM3, アクセス率を使用した場合を PM2, PM4 とする。さらに、映像利用属性を利用しない場合を

PM1, PM2 とし、それぞれに対して利用する場合を PM3, PM4 とする。ここで、前節で示した提案手法は、PM4 である。評価に利用する各手法を次に整理する。

- ・ CM1: 各映像アクセス数平均を利用した優先度算出法
- ・ CM1': 各映像アクセス率平均を利用した優先度算出法
- ・ PM1: 各映像アクセス数による優先度推定法
- ・ PM2: 各映像アクセス率と品質率による優先度推定法
- ・ PM3: 映像利用属性と各映像アクセス数による優先度推定法
- ・ PM4: 映像利用属性と各映像アクセス率と品質率による優先度推定法

上記手法に対して、model(0,0), model(1,0), model(0,1), model(1,1)におけるキャッシュ映像と現区間のヒット数の結果(r1)(i)~(iv)について考察する。ただし、本実験では、高品質分のヒット数の差をわかりやすくするために、部分キャッシュヒット分は含めていない。また、従来法と提案法を比較しやすくするために、CM1におけるヒット数を基準とした差分比率[%]の結果(r2)(i)~(iv)に考察する。(r1)(i)により、各変動モデルを利用しない場合における、通常映像と更新映像によるキャッシュのヒット数推移がわかる。提案法において、P4, P3, P2, P1 の順に効率が良い。また、従来手法と PM1, PM2 は、経過時間 18, 19 時のところで、更新映像の更新が中断し、1day モデルの終了まで、映像更新が行われなため、アクセス数、及びアクセス率推定が増加、或いは減少予測となってしまうため、効率が低下していると考えられる。さらに、映像利用属性を用いることで、推定誤差が発生しやすい変動ポイント、ここでは、経過時間 18~20 時で、不必要な映像を扱わず、利用期待される映像をキャッシュすることで効率が向上し、PM3, PM4 の効率が向上していると考えられる。

(r1)(ii)より、アクセス数変動がヒット数に依存した結果となっており、(r1)(i)と同様に提案法において、P4, P3, P3, P4 の順に効率が良い。従来法よりも効率が下回る場合は(r1)(i)と同様である。また、PM2 は PM1 に対して、アクセス数をアクセス率として扱うことで、アクセス数変動に対する強度があることを示している。さらに、PM3, PM4 とともに(r1)(i)と同様に効率が良いが、更新映像の更新の中断と、アクセス数減少による推定予測誤差が発生し、PM3 において若干従来法よりも低下している。(r1)(iii)より、品質率変動によるヒット数が変動している。経過時間 12~15 時で PM2 が PM1 よりも効率が良いのは、品質変動推定誤差がアクセス率を使用することで抑えられていると考えられる。さらに、PM3, PM4

ともに CM1, CM1', PM1, PM2 よりも同様に効率が良いが、品質率変動の影響による推定誤差による影響があると考えられる。加えて、経過時間の後半での品質率変動が発生していないため、PM3, PM4 の効率が従来法と同等となっている。(r1)(iv)はアクセス数変動、品質率変動の複合モデル評価結果である。従来法におけるアクセス率利用(CM1')では、アクセス数利用(CM1)と比較して、効率が低下している場合が発生している。複合的な要因により、変動状況が平均値に反映されず低下していると考えられる。アクセス率の平均をそのまま利用すると従来法よりも効率が低下する場合があります。のに対して、各推定法を導入することで、有効性が確認できる。ただし、(r1)(ii)と同様に PM1, PM2 の効率低下の問題は本評価モデルでも同様の結果が示されているが、映像利用属性を利用した PM3, PM4 はその問題を抑制し、PM4 では基本的に従来法よりもすべて効率が向上していることがわかる。アクセス率を利用した推定により、アクセス数による推定よりも、推定誤差の発生を抑えることができると考えられる。さらに、PM3, PM4 についても(r1)(ii)(iii)と同様に有効であることがわかる。(r2)においても、全体的には提案方式が従来法を向上することがわかる。ただし、(r2)(i)では PM1, PM2, (ii)では PM1, PM2, PM3, (iii)では PM2, (iv)では CM1', PM1, PM2, PM3 において、従来方式に対して、推定誤差が発生する問題による効率の低下が見られる。一方、PM4 ではすべての場合において、従来法と同等以上の効率を確保し、特にモデル変動時の有効性があると考えられる。(r2)(i)~(iv)において、PM4 では、それぞれ、12.02%, 12.00%, 21.68%, 19.56% 従来法に対してキャッシュ映像のヒット率が向上しており、提案手法の中で有効であると考えられる。以上より、提案法によるキャッシュ映像管理用の価値推定法の従来法に対する有効性が確認できた。

次に、(a)階層的品質遷移規則の下での動画管理法、(b)実用的な時間変動モデルにおけるキャッシュ効率低下を抑制する適応的優先度推定について概説する。

(a) 本研究では、複数品質を提供する VCDS において、アクセス数変動と品質利用変動に対応したキャッシュ映像コンテンツ管理方式について検討した。特に、ニュースコンテンツのように、逐次情報が更新される人気コンテンツと一定期間利用される場合のコンテンツに着目し、品質遷移規則と新規コンテンツへの割当て法を提案した。まず、本研究で扱う階層的品質データを定義し、前キャッシュ状態と参照区間から得られる優先度を用いて品質情報追加時に階層的遷移とする規則を提案した。また、人気があるコンテンツが頻繁に登録利用さ

れる環境において、本規則を利用し低品質コンテンツに重み付けする方法を示した。また、低品質重み付けにより発生する抑制キャッシュ容量を、更新時に登録されるコンテンツへ割当てする方法(提案法 A)を提案した。さらに、新規コンテンツ専用割当てを利用した提案法(提案法 B)を示した。ある参照区間のアクセス数を利用した従来法に対して、提案法 A, B の有効性をシミュレーション実験により評価した。評価用に、配信コンテンツモデル、アクセス数変動モデル、品質変動モデルを設計した。実験結果より、提案品質遷移規則による新規コンテンツ割当て法により、アクセス数変動モデル、及び品質変動モデルにおいて場合分けして、従来法に対して有効となることを確認し、品質変動時の優位性について考察した。また、総アクセス数に対するヒット率の改善の観点で、提案手法 A では最大 5.19%、提案手法 B では最大 6.67% 向上することを示し、その有効性を確認した。アクセス数変動のない場合に対して、さらにアクセス数変動を有する場合において、改善効率が向上することを示した。3 段階以上の品質階層数増加への対処法、新規コンテンツの割当て方法や新規コンテンツの人気推定法、参照区間の複数参照によるアクセス数変動に対応した予測法及び 1 日のアクセス変動や品質利用変動に対するさらなる実用的なモデルに対する検討などについては、今後の課題である。

(b) 本研究では、複数品質に対応したキャッシュ型映像配信システムにおける映像管理法において、優先度に基づいたキャッシュ映像更新を行う際に利用する新たな適応的優先度推定法を提案した。これまでの時間変動に対する課題に着目し、時間変動の状態を整理し、推定法における誤差について考察した。この誤差を抑制する方法として、線形近似関数を利用した推定法、2 次近似関数を利用した推定法、及び指数近似関数を利用した推定法の 3 種類の近似法を用い、各手法による適応的優先度推定法を提案した。推定誤差における評価実験より、提案方式において推定誤差を抑制できることを示した。次に、キャッシュ効率に関する評価実験では、EM2 よりも提案法では、融合モデルにおいて最大 18.49%向上できることを示し、キャッシュ効率の低下を抑制できるとともに、EM2 に対して、平均  $5.08 \times 10^{-1}\%$  キャッシュ効率を向上できることを示した。また、従来の推定法では、映像利用種別や時間変動モデルの変動状態によりキャッシュ効率が低下する課題があった。しかし、提案法により安定したキャッシュ効率を実現できるとともに、本課題を解消することができ、有効性を確認できた。今回は 3 種類の近似関数を利用したが、他の関数に関しては今後の課題である。ま

た，本研究では時間変動モデルを定義したが，映像ごとに低品質と高品質を同一データとし，全ての品質変動を同一として扱った．今後，他の変動モデル，及び時間変動に対応するために，参照区間を変更する方法について検討する予定である．

## 5．主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計 3件)

児玉 明: "キャッシュ型映像配信システムにおける時間的変動モデルに対応した", 画像電子学会誌, Vol.47, No.1, pp.17-26 (2018.1). 査読有

児玉 明: "複数品質提供に対応した VCDS における階層的品質遷移規則に基づくキャッシュ映像コンテンツ管理方式の効果", 画像電子学会誌, Vol.45, No.1, pp.34-41 (2016.1). 査読有

児玉 明: "映像利用属性に基づいた優先度推定によるキャッシュ映像コンテンツ管理方式", 画像電子学会誌, Vol.45, No.1, pp.12-19 (2016.1). 査読有

[学会発表](計 10件)

児玉 明: "複数品質キャッシュ映像管理方式における優先度推定誤差に関する一考察", 電子情報通信学会総合大会, D-11-20 (2018.3).

児玉 明: "キャッシュ型複数品質動画配信システムにおける優先度推定法の一考察", 電子情報通信学会ソサイエティ大会, B-8-4, pp.1 (2017.9).

児玉 明: "キャッシュ型複数品質動画配信システムにおける時間情報を利用した動画管理方式の一考察", 画像電子学会年次大会, R1-1, pp.1-4 (2017.6).

児玉 明: "複数品質キャッシュ動画管理方法における更手順による効率変動の一考察", 電子情報通信学会総合大会, No.D-11-48, pp.1 (2017.3).

児玉 明: "キャッシュ型複数動画配信システムにおける動画管理法のキャッシュ効率向上に関する一考察", 画像電子学会研究会, pp.1-5 (2017.3).

Mei Kodama: "A Cached Video Content Management Method with Priority Estimation According to the Content Property in VCDS-MQ with Scalable Data", Proc. of 12th IEEE Image, Video and Multidimensional Signal Processing Workshop (IVMSP 2016), pp.1-5 (2016.7).

児玉 明: "アクセス変動に対応した複数品質映像コンテンツ管理方式の一考察", 画像電子学会年次大会, R1-1, pp.1-4

(2016.6).

児玉 明: "利用属性を用いたキャッシュ動画管理法における一考察", 電子情報通信学会総合大会, D-11-33, pp.1 (2016.3).

児玉 明: "優先度推定によるキャッシュ映像コンテンツ管理方式の一考察", 画像関連学会連合会第2回秋季大会, B01, pp.1-4 (2015.11).

児玉 明: "階層的遷移ルールに基づいたキャッシュ映像コンテンツ管理方式の一考察", 画像電子学会年次大会, R1-1, pp.1-4 (2015.6).

## 6．研究組織

(1)研究代表者

児玉 明 (Mei Kodama)

広島大学・情報メディア教育研究センター・准教授

研究者番号：50277828