

## 中間蓄積方式とスケーラビリティ構成による複数品質動画データ配信方式の提案

A Proposal of Multi-Quality Video Distribution Methods based on Caching and Scalability Data Management

鈴木 俊哉  
Shunya Suzuki児玉 明  
Mei Kodama

## 1. まえがき

ネットワークを通じたデータ配信サービスにおいて、配信効率化のためのネットワーク伝送量削減方法として中間蓄積方式(ネットワークキャッシュ)がある。テキスト、静止画を対象とした web コンテンツに対してネットワークキャッシュの研究が進められてきた[1]、動画データ配信の場合、コンテンツの情報量が web コンテンツの数百~数万倍になるため、そのまま適用することができない。動画データの配信効率化は、主にストリーミング型配信の動的帯域調整の観点で研究されており[2]、中間蓄積方式による伝送量削減の観点での検討は十分でない。

本稿では、中間蓄積方式を適用した動画データ配信にスケーラビリティ構成によるデータ管理を適用する方式を提案する。提案方式により、品質選択の際のデータ配信が効率化できることをキャッシュヒット率の計算により示す。

## 2. 中間蓄積方式を適用した動画データ配信方式

## 2.1. 端末構成および伝送手順

動画データの配信において、アクセスが特定のコンテンツに集中している場合、同一コンテンツの伝送が繰り返されるため、これを中間蓄積装置の導入により伝送回数を削減することができる。中間蓄積装置を用いた動画データ配信方式の例として、本稿では帯域保証を行う VOD 型配信方式を用いる[3]。端末構成例を図 1 に示す。利用者端末(UE)はネットワークを介して配信サーバ(DS)にコンテンツ配信要求を送り、キャッシュ端末(C)からコンテンツデータを受信する。

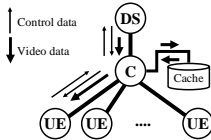


図 1: 本稿の動画配信端末構成

ここでは、キャッシュ状態の違いによる伝送手順の変化を分かり易くするため、制御情報、動画データとも必ずキャッシュ端末を介して伝送が行われるものとする。この場合の動画データ伝送手順を図 2 に示す。

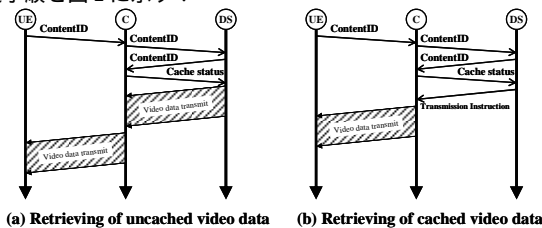


図 2: 中間蓄積装置を介した動画データの伝送手順

キャッシュ端末に蓄積されていないコンテンツの場合(a)、利用者端末は配信を要求するコンテンツ ID をキャッシュ端末に送信する。キャッシュ端末はこれをそのまま配信サーバに送信する。配信サーバはコンテンツ ID をキャッシュ端末に送信し、蓄積されているかを確認する。目的のコンテンツが蓄積されていないため、配信サーバはキャッシュ端末に対し、要求された動画データを伝送する。キャッシュ端末はこれを受信した後、指定された利用者端末に動画データを再送信する。この過程で、キャッシュ端末は受信したコンテンツを一時的に蓄積することができる。

キャッシュ端末に蓄積されているコンテンツの場合(b)、配信サーバがキャッシュ端末の蓄積状態確認までは同じであるが、目的のコンテンツが蓄積されているため、配信サーバはキャッシュ

末に対し、利用者端末への配信指示を送信する。キャッシュ端末はこれを受信した後、指定された利用者端末に蓄積されていた動画データを送信する。

両手順を比較すると、配信サーバからの動画データの配信回数が 1 回削減されることがわかる。

## 2.2. コンテンツアクセス偏り

中間蓄積方式の効果を調べるため、本稿ではキャッシュの効果が強く現れる以下のようなコンテンツ偏りモデルをとる。コンテンツは頻繁にアクセスされるグループ A( $i$  個のコンテンツからなる)、それ以外のグループ B( $j$  個のコンテンツからなる)に分類され、アクセス確率について、グループごとに一定値とし  $P(A_k)=P_A$  ( $k=1, \dots, i$ ),  $P(B_l)=P_B$  ( $l=i+1, \dots, i+j$ ) であるとする。アクセス確率の分布を図 3 に示す。

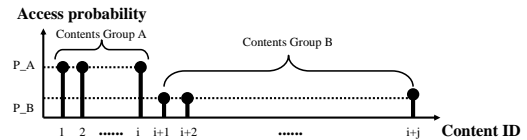


図 3: 偏りのあるコンテンツアクセス確率

以下では、グループ A のコンテンツの情報量合計を  $CS_1$ 、全コンテンツの情報量合計を  $CS_2$  と書く。

## 2.3. キャッシュアルゴリズム

前節で述べたアクセス偏りモデルにおいて、アクセス確率はコンテンツ ID 毎に決まっているため、キャッシュするコンテンツの選択方法として、コンテンツごとの配信回数を用いるアルゴリズムが適切である。本稿の中間蓄積装置は、コンテンツ ID に対して累積配信回数を記録しておき、この累積配信回数の多いものから、キャッシュに蓄積可能な数だけ蓄積するものとする。この累積配信回数は装置を通じて配信を行うごとに更新される。キャッシュが既に蓄積済みコンテンツで占められている時、配信サーバから受信したコンテンツの累積配信回数が、キャッシュ中のあるコンテンツより多い場合、前者を蓄積するために、後者を廃棄する。

この配信回数アルゴリズムを適用すると、キャッシュ容量が小さい場合はグループ A のコンテンツが優先してキャッシュされ、グループ A のコンテンツが全てキャッシュ可能な容量以上の場合にのみグループ B のコンテンツもキャッシュされる。

## 2.4. キャッシュヒット率

利用者端末の要求に対し、中間蓄積装置にキャッシュされているコンテンツで対応することができれば、配信サーバとキャッシュ端末の間の伝送回数が削減でき、ネットワーク伝送量、配信サーバ負荷、伝送待ち時間などを削減できる。本稿では、キャッシュの効果を評価する指標として、利用者端末からの要求コンテンツ数に対し、キャッシュされているコンテンツで対応できた数の比率を用いる。これをキャッシュヒット率と定義し、これを用いて品質選択動画配信にスケーラビリティ方式を適用した場合の評価を行う。

## 3. スケーラビリティ構成の品質選択動画配信への適用

動画データ配信において、コンテンツの品質選択を考えた場合、従来のサイマルキャスト構成でデータを管理すると、同一コンテンツであっても品質ごとに個別に扱うため、重複した情報の蓄積や、品質選択時に重複して情報が伝送されるなどの問題が生じる。品質選択時の重複した蓄積、伝送を解決するデータ管理手法として、我々はスケーラビリティ符号化によるデータ構成法を提案している[4]。本稿では、品質選択動画配信の効率化方式として、スケーラビリティ構成の適用を提案し、2 品質選択動画配信において、提案方式を従来方式とキャッシュヒット率の比較により評価する。

3.1. スケーラビリティ構成によるキャッシュ方法

品質選択動画配信にスケーラビリティ構成を適用し、配信サーバ、キャッシュ端末、利用者端末内のデータは全てスケーラビリティ符号化されて蓄積する方式を提案する。これにより各端末間で配信・蓄積される動画データの情報量を削減できる。この情報量削減の効果に注目する。キャッシュ方法としてコンテンツ単位で動画データを蓄積する場合、スケーラビリティ符号化により、1コンテンツあたりの情報量が削減されるので、従来方式と比較して、キャッシュ端末に蓄積できるコンテンツ数を増すことができる。これにより、スケーラビリティによるコンテンツ伝送削減に加えて、利用者端末の配信要求に対し、キャッシュ端末内のコンテンツで対応できる割合を高くし、配信サーバからの伝送回数を削減できる。この時、提案方式のサイマルキャスト方式に対する有効性を示す。

3.2. 評価

提案方式について配信効率化に対する評価を行う。

全コンテンツ数を 100 として、確率 0.09 でアクセスされる 10 個のコンテンツ、確率 0.0011 でアクセスされる 90 個のコンテンツについて考える。サイマルキャスト方式でのコンテンツアクセス偏りのグループとして、高い方を C, 低い方を D と定義する。同様に、提案方式でそれぞれ E, F と定義する。この時、図 3 で示す i は 10 で、j は 90 である。品質に依存したアクセス偏りがある場合については今後の課題とする。使用コンテンツの条件として、サイマルキャスト方式では低品質動画データ:600[s], 4[Mbps] (2.4[Gbit]), 高品質動画データ:600[s], 9[Mbps] (5.4[Gbit])で、提案方式では、低品質動画データは共通で、高品質動画データに相当する差分データ: 600[s], 5.5[Mbps] (3.3[Gbit])とする。但し、スケーラビリティ符号化時のオーバーヘッド分として、ここでは 0.5[Mbps]とした。このとき、サイマルキャスト方式に対して、提案方式による情報量は(2.4+3.3)/(2.4+5.4)=0.69 と計算され、約 3 割の情報削減ができる。

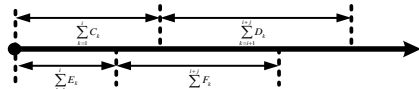


図 4: キャッシュ容量とキャッシュヒット率の関係

キャッシュ容量の違いによるキャッシュ効果について考える。図 4 に、キャッシュ容量とキャッシュヒット率の関係を示す。上段にサイマルキャスト方式での、下段に提案方式を示す。

$$CS_{-}(a) = \sum_{k=1}^i E_k = \sum_{k=1}^i (E_{k-l} + E_{k-h}) = i(E_{-l} + E_{-h}) = 10 \times (2.4 + 3.3) = 57[\text{Gbit}] \quad \dots(1)$$

$$CS_{-}(b) = \sum_{k=1}^i C_k = \sum_{k=1}^i (C_{k-l} + C_{k-h}) = i(C_{-l} + C_{-h}) = 10 \times (2.4 + 5.4) = 78[\text{Gbit}] \quad \dots(2)$$

$$CS_{-}(c) = \sum_{k=1}^i E_k + \sum_{k=i+1}^{i+j} F_k = \sum_{k=1}^i (E_{k-l} + E_{k-h}) + \sum_{k=i+1}^{i+j} (F_{k-l} + F_{k-h}) = (i+j)(E_{-l} + E_{-h}) = 100 \times (2.4 + 3.3) = 570[\text{Gbit}] \quad \dots(3)$$

$$CS_{-}(d) = \sum_{k=1}^i C_k + \sum_{k=i+1}^{i+j} D_k = \sum_{k=1}^i (C_{k-l} + C_{k-h}) + \sum_{k=i+1}^{i+j} (D_{k-l} + D_{k-h}) = (i+j)(C_{-l} + C_{-h}) = 100 \times (2.4 + 5.4) = 780[\text{Gbit}] \quad \dots(4)$$

(a)と(b)のキャッシュサイズの違い((a)は(b)の 3 割減)がキャッシュヒット率にどのように影響するかを算出すると、提案方式は E グループコンテンツを全てキャッシュするので 100 回試行したとすると、各グループのコンテンツのアクセス確率を P\_C, P\_D, P\_E, P\_F と書くと、図 4 の(a)~(d)のスケーラビリティ方式とサイマルキャスト方式のヒット率 HR をそれぞれ、

$$HR_{-}Scalability(a) = 100 \times \frac{P_{-}E \times i}{P_{-}E \times i + P_{-}F \times j} = 100 \times \frac{0.09 \times 10}{0.09 \times 10 + 0.0011 \times 90} = 90\% \quad \dots(5)$$

$$HR_{-}Simulcast(a) = 100 \times \frac{P_{-}C \times i \times \left( \frac{E_{-l} + E_{-d}}{C_{-l} + C_{-h}} \right)}{P_{-}C \times i + P_{-}D \times j} = 100 \times \frac{0.09 \times \left( \frac{2.4 + 3.3}{2.4 + 5.4} \right) \times 10}{0.09 \times 10 + 0.0011 \times 90} = 63\% \quad \dots(6)$$

$$HR_{-}Scalability(b) = 100 \times \frac{P_{-}E \times i + P_{-}F \times j \times \left( \frac{C_{-l} + C_{-h}}{E_{-l} + E_{-d}} - 1 \right)}{P_{-}E \times i + P_{-}F \times j} \quad \dots(7)$$

$$= 100 \times \frac{0.09 \times 10 + 0.0011 \times \left( \frac{2.4 + 5.4}{2.4 + 3.3} - 1 \right) \times 10}{0.09 \times 10 + 0.0011 \times 90} = 90.3\% \quad \dots(8)$$

$$HR_{-}Simulcast(b) = 100 \times \frac{P_{-}C \times i}{P_{-}C \times i + P_{-}D \times j} = 100 \times \frac{0.09 \times 10}{0.09 \times 10 + 0.0011 \times 90} = 90\% \quad \dots(9)$$

$$HR_{-}Scalability(c) = 100 \times \frac{P_{-}E \times i + P_{-}F \times j}{P_{-}E \times i + P_{-}F \times j} = 100\% \quad \dots(10)$$

$$HR_{-}Simulcast(c) = 100 \times \frac{P_{-}C \times i + P_{-}D \times j \times \left( \frac{E_{-l} + E_{-d}}{C_{-l} + C_{-h}} \right)}{P_{-}C \times i + P_{-}D \times j} = 100 \times \frac{0.09 \times 10 + 0.0011 \times \left( \frac{(2.4 + 5.4) \times 100 - (2.4 + 3.3) \times 10}{2.4 + 3.3} \right)}{0.09 \times 10 + 0.0011 \times 90} = 96\% \quad \dots(10)$$

$$HR_{-}Scalability(d) = 100 \times \frac{P_{-}E \times i + P_{-}F \times j}{P_{-}E \times i + P_{-}F \times j} = 100\% \quad \dots(11)$$

$$HR_{-}Simulcast(d) = 100 \times \frac{P_{-}C \times i + P_{-}D \times j}{P_{-}C \times i + P_{-}D \times j} = 100\% \quad \dots(12)$$

と計算できる。この結果から、図 4(a)において従来方式のヒット率 63%に対し提案方式はヒット率 90%となり、提案方式が有効である。

利用者端末からのコンテンツ伝送要求に対して、提案方式のキャッシュ効果による伝送量削減を考えると、図 2(a)に示した配信サーバのキャッシュ端末からの非伝送回数が全体の 37%から 10%へ削減できる。

(a),(b),(c),(d)の 4 つの場合において、具体的なキャッシュのコンテンツ蓄積状態を図 5 に示す。ここで、1 つのブロックはここでは 1 つのコンテンツの 2 品質のデータの合計を意味する。場合(a)では、提案方式により、頻りにアクセスされるコンテンツグループ E)が全てキャッシュでき、必ず図 2 の伝送手順(b)によって伝送される。場合(b)では従来方式では C グループのコンテンツを全て蓄積できるが、提案方式ではさらにグループ F のコンテンツも蓄積できている。以上より、特にヒット率の大きな向上が得られるのは場合(a)であることがわかり、基本的に提案方式が有効である。

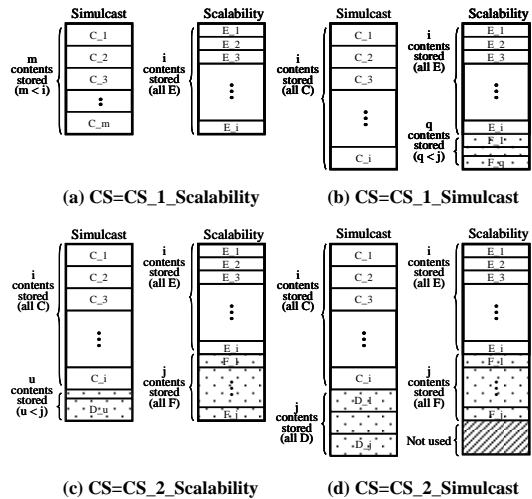


図 5: 従来方式と提案方式のキャッシュ内蓄積状態の比較

4. まとめ

本稿では、中間蓄積方式により品質選択動画配信を行う場合に生じる伝送量増加に対し、スケーラビリティ構成の適用による解決を提案した。キャッシュヒット率により評価を行い、従来のサイマルキャスト構成の中間蓄積方式に対し、提案方式により配信サーバの伝送回数を削減し、動画配信が効率化できることを示した。

最後に、本研究の一部は、総務省戦略的情報通信研究開発制度を活用して行いました。深く感謝致します。

- [1] 長田, 神里: “スループット評価指標を導入した WWW キャッシュ置き換えアルゴリズムの提案と評価”, 情報処理学会論文誌, Vol. 44 Num. 4 pp.1083-1091 (2003.4).
- [2] K.-L. Wu, P. S. Yu and J. L. Wolf: “Segment-based proxy caching of multimedia streams”, Proceedings of the 10<sup>th</sup> International WWW Conference, pp. 36-44 (2001).
- [3] 児玉, 鈴木: “動画情報取得モデルの提案”, FIT2004 発表予定
- [4] 児玉, 村崎: “情報更新性を実現するための動画情報変換処理方法の検討”, 信学技報, ITS2002-85, IE2002-226, pp. 19-24 (2003).