

複数映像品質に対応したキャッシュ管理方式とその一考察

児玉 明^{1,2,a)}

概要：ネットワークを利用した映像コンテンツサービスが普及し、さらに多くのコンテンツ利用が予測され、映像コンテンツ配信における高効率化が求められており、映像コンテンツのキャッシュ配信が検討されている。また、利用者は様々な情報端末からコンテンツを利用するため、端末に対応した複数の品質の管理・提供が大きな課題の一つとなっている。そこで、我々はこれまで、スケーラブルデータによるキャッシュ情報管理方式について検討してきた。本研究では、コンテンツ利用サービスモデルを定義し、複数品質提供において階層データによる動画コンテンツ情報管理方式を提案する。低品質、高品質利用における、本方式の有効条件について考察する。

Cached Content Management Methods for Multiple Video Qualities and their Consideration

MEI KODAMA^{1,2,a)}

Abstract: Video content services over the network are being popularized, and it is expected to use a lot of contents more. In these situations, the improvement of efficiency in video content delivery is needed, so the video content delivery methods using caching had been studied. Moreover, it is one of significant issues to manage and provide video data of multiple qualities in order to realize that the users use the video contents in various information terminals. Then, we had studied the video caching and delivery methods with scalable data. In this study, a service model of content utilization is defined, and the management methods of cached contents for multiple qualities are proposed. We finally consider the advantageous conditions in proposed schemes for low and high qualities.

1. はじめに

近年、携帯電話やタブレットなどのモバイル端末と映像利用サービスの普及、利用者の様々なコンテンツ利用要求とが相まって、ネット動画によるコンテンツ配信が急速に拡大している。利用者のサービス満足度向上のため、コンテンツ提供コストの低減やサービス時間の短縮が求められている。そこでこれまでコンテンツ配信の効率化のためのコンテンツ配置方法やキャッシュ配信手法が検討されている [1]– [9]。

また、インターネット通信におけるホスト間の通信に加えて、コンテンツ利用を想定した CCN(Content-Centric Networking [10]–[12]) が提唱されており、コンテンツ通信時に副産物として、コンテンツキャッシュ配信が利用される。したがって、コンテンツキャッシュ効率が大きな課題となる。

以上において、キャッシュコンテンツの管理方法が重要な課題の一つとなっている。しかし一般的な Web キャッシュ方法と比べて、映像コンテンツ配信では扱う情報量と情報内容が異なるため、品質管理を考慮した配信方法が課題となる。また、映像コンテンツ配信時のキャッシュ方法に関する研究として、単一品質に対するキャッシュ方法、品質選択時におけるコンテンツ管理方法 [1]– [3] などがある。これらの研究は、品質データの構成として品質独立で扱う場合よりもスケーラブルデータとすることで重複デー

¹ 広島大学 大学院 総合科学研究科
1-7-1-C112, Kagamiyama Higashi-hiroshima, Hiroshima
739-8521, Japan

² 広島大学 情報メディア教育研究センター
1-7-1-C112, Kagamiyama Higashi-hiroshima, Hiroshima
739-8521, Japan

a) mei@hiroshima-u.ac.jp

タ管理が生じないことを示している．また，利用者がコンテンツを利用する際，低品質の後に高品質利用する，或いは，低品質の後高品質利用する等，品質利用相関がある場合について論じている．さらに，コンテンツの価値判断として，時間方向の重要性を考慮したキャッシュ配信方法 [4] が検討されている．キャッシュ情報の更新間隔を時間価値と連動させることにより，キャッシュ効果が向上することを示しているが，品質対応が不十分である．また，文献 [13],[14] では，一定品質確率に対応した情報管理アルゴリズムを提案しているが，アクセス変動・品質変動時に対応できていない課題があり，これまでの研究は品質利用に対する検討が不十分である．

そこで，本研究では，コンテンツの複数品質利用環境におけるキャッシュコンテンツ管理方法の効率を目的とし，品質情報と連携したキャッシュ配信，及び，キャッシュコンテンツ管理方法に着目する．品質コンテンツ管理方法として，スケラブルデータを利用する．品質に対するキャッシュ効率向上の条件について考察し，アクセス変動時，及び品質変動時に対応するアルゴリズムを提案する．本方式の有効性について，利用アクセスモデルを定義して，シミュレーション実験により，その有効条件について考察する．

2. キャッシュコンテンツ情報管理方式

本研究で扱うキャッシュ型コンテンツ配信方法を定義する．コンテンツ提供サービスとして，2段階の品質を統合管理するコンテンツサービスとする．利用者はホームTV(Home TV)で大画面TVで高品質データ(H)を利用する場合と，携帯TV(Mobile TV)において低品質データ(L)を利用する場合があるとする．

これまで，キャッシュコンテンツ情報管理方法として，複数品質を扱う場合，品質独立データ(ここではサイマルキャストデータと呼ぶ)に対して，スケラブルデータ利用の効率化を示してきた [3]．しかし，品質利用に関して変動，コンテンツの優先順位の条件が不明確であり，品質利用がない場合と比較して，品質管理によるキャッシュ効果が抑制される問題を有していた．そこで，スケラブルデータを利用する際の品質対応条件に着目した，データ管理方法について考察する．無論，キャッシュ容量が極端に小さい場合，逆に大きい場合はここでは考えない．

2.1 管理データの定義

品質に対応したキャッシュコンテンツ情報における階層データを定義する．データとして，(i) インデックス情報(I) (ii) 低品質情報構造(L,L)の状態，(iii) 高品質データ構造(L,L,H')の状態を利用する．Lは低品質階層データ，H'は高品質用差分データを，階層データ全体のデータをHと示す．Iの情報量は，L,H'と比較して十分に小さく，無視できると考える．全てのコンテンツのインデックス情報は

あらかじめテーブル管理しているとする．全てのあらかじめ全てのコンテンツについて保有しているとする．頻繁に利用するコンテンツの優先度を定義し，その優先度に基づいて定期的なキャッシュコンテンツの更新を行う．特に，品質対応において，各品質利用情報に基づいた優先度管理を行う．優先度算出方法の詳細については後述する．

2.2 参照方法

上記，優先度を算出判定する参照方法を定義する．ここでは，2つの方法を利用する．

まず，優先度(PV)の算出方法として，参照手法1を頻度情報の一定期間内利用割合算出と定義する．更新時間 t_{U_i} から次の更新時間 $t_{U_{i+1}}$ までの期間を U_i period, 更新間隔を U_a と定義する．時刻 U_i において，更新算出の対象となる一定期間を T_i とする．参照手法1における対象期間と更新期間との関係を図1(a)に示す．現時刻 $t(t_{U_i} \leq t < t_{U_{i+1}})$ では U_i の更新情報を利用するとする． t_{U_i} 時刻における各コンテンツの優先度算出法を式(1)に示す．ただし， x : コンテンツ番号, f_x : コンテンツ番号に対するアクセス数, M : 総コンテンツ数である．

$$\begin{cases} PV_x\{t|t \in U_i\} = \psi_x\{t|t \in T_i\} / \Psi\{t|t \in T_i\} \\ \Psi\{t|t \in T_i\} = \sum_{x=1}^M \psi_x\{t|t \in T_i\} \end{cases} \quad (1)$$

本方法において，コンテンツアクセス偏りがある場合，キャッシュする効果が期待できる．しかし，コンテンツアクセス分布に対して，更新周期と同期した分布変動が生じた場合や，アクセス分布が頻繁に生じる場合，更新周期を逐次対応しなければ，キャッシュ効果が向上しない課題を有する．すなわち，キャッシュアルゴリズムに対して，更新周期を別途考慮する必要がある．その更新周期への解決方法として，次の管理方法を提案する．

参照手法2として，時間方向の逐次更新手法を定義する．本手法は，ある一定期間(手法1と比較して微小期間とす

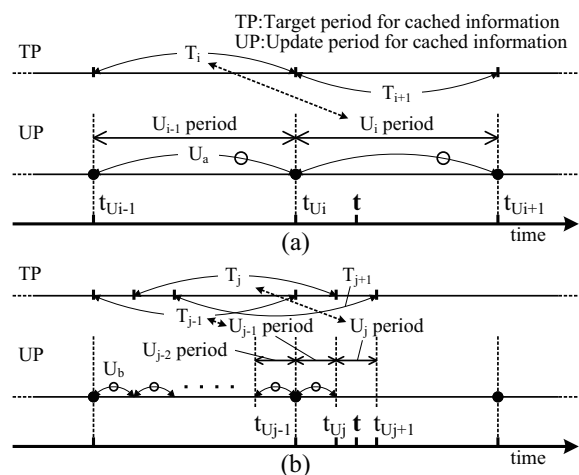


図1 対象期間と更新期間の関係 [(a) 参照手法1 (b) 参照手法2]

る)ごとに更新処理を行う際、更新時間から一定期間遡った期間を定義し、その期間内のアクセス頻度に基づき、優先度を算出し、上位から順にキャッシュコンテンツとして逐次更新する。現時刻 t では、時刻 T_{U_j} に更新された状態を利用する。つまり、優先度を U_b 間隔で算出する。提案方法における対象期間と更新期間との関係を図 1(b) に示す。算出方法を式 (2) に示す。

$$\begin{cases} PV_x\{t|t \in U_j\} = \psi_x\{t|t \in T_j\} / \Psi\{t|t \in T_j\} \\ \Psi\{t|t \in T_j\} = \sum_{x=1}^M \psi_x\{t|t \in T_j\} \end{cases} \quad (2)$$

参照手法 3 として、手法 2 に加えて、時間的な重み付けを利用する。現時刻に近い時間ほど時間重み付けをする方法で、ここでは線形重み付けを利用する。時間経過に対する有効期間を V_p (Valid period) とした、単調減少関数 $\phi(u)$ を式 (3) に定義する。ただし、 u は経過時間を示し、 $V_p \leq u$ のとき $\phi(u) = 0$ となる。算出方法を式 (4) に示す。ただし、 ξ_x は $t \in T_j$ におけるコンテンツ番号 x のコンテンツアクセス時刻の経過時間に対する優先度情報を示す。時間重み付けは式 (3) にしたがう。その合計値をコンテンツ番号 x に対する優先度と定義する。

$$\begin{cases} \phi(u) = -\frac{1}{V_p}(u - V_p) & (0 \leq u \leq V_p) \\ \phi(u) = 0 & (V_p \leq u) \end{cases} \quad (3)$$

$$\begin{cases} PV_x\{t|t \in U_j\} = \sum_{t \in T_j} \xi_x\{t|t \in T_j\} \\ \xi_x\{t|t \in T_j\} = \phi(T_{U_j} - t) \end{cases} \quad (4)$$

参照手法 1 は所定期間の使用前情報を活用するので、現時刻 t では、その前期間の状態と現期間の状態との相違が効率に影響を与えると考えることができる。一方、手法 2,3 は、現時刻から遡った有効期間 T_j 内の情報を利用することとなるので、アクセス変動に対する瞬時対応の効果が期待できる。

利用時間テーブルを利用し、最終的なキャッシュコンテンツ管理は、順位とローカルディスク内の状態を利用する。ある一定期間において、利用頻度の高いものがキャッシュされ、低いものが削除される。さらに、時間方向の重み付けに対しては、利用履歴の古いもの、利用頻度の少ないものが削除対象となる。この場合、経過時間が長いもの程、優先順位が低くなる。

2.3 品質に対する優先度算出ルール

ここで、複数品質利用に対する優先度算出ルールについて考える。まず、複数品質利用に対して、本研究では階層データを利用する。したがって、低品質と高品質用の差分データとの間に依存関係がある。要は、高品質差分データは低品質データを高品質データ生成の条件となる。わかり

やすくするために、ここではアクセス数に着目して考える。

各品質を単純に独立で考えると、各コンテンツのアクセス数、そのコンテンツの各品質のアクセス数により、優先度が決定され、高品質コンテンツが優先順位上位として算出され、キャッシュされた場合、利用者からの高品質コンテンツ要求時に高品質差分データはキャッシュ内から取得できるが、その低品質データは元のコンテンツサーバから取得する手順を踏むこととなる。この手順を我々は、部分コンテンツキャッシュにおけるコンテンツ取得手順と呼ぶ。また、本部分キャッシュには、通信効率に対して効果がないことが文献 [14] に示されている。これらを踏まえて、あるコンテンツの高品質順位が低品質順位を超えないルールを定義する。

整理すると、あるコンテンツに対するアクセスがある場合、低品質利用時が高品質利用時よりも多い場合は特にルールは必要ない。一方、その逆の場合、階層データ依存の関係があるため、低品質データに対する取り扱いルールが必要である。したがって、基本方式として、各品質を独立に優先度を算出する。この基本ルールを品質独立ルールとする。その例外として、次の方法を定義する。確率的に、高品質コンテンツが低品質より上位が予想される場合である。

- 品質情報加算ルール
 高品質アクセス数を低品質アクセス数に加算し、低品質アクセスに重み付けを行う。ただし、確率モデルに準拠しないため、過度に低品質重み付けが生ずる場合にキャッシュ効率が低下する。
- 順位シフトルール
 低品質コンテンツの順位を常に高品質コンテンツ順位の前に移動する条件を設定する。ただし、低品質順位が高い場合はこのルールは適応しない。

優先度リストにしたがい、ある一定間隔経過時に、キャッシュコンテンツの更新処理を行い、指定されたキャッシュ容量範囲内で、利用優先度の高いものをキャッシュし、低いものを削除する。

3. 考察

提案情報管理方式の有効性検証のため、考察、評価実験を行う。品質に対応した情報管理を考える際、キャッシュコンテンツの対象情報がアクセス分布により状況が変動する。まずはじめに、本研究で扱うアクセス分布を定義する。次に、ヒット率について理論的に考察する。最後に、本モデルにおいて、シミュレーション実験を行い、アクセスモデル変動時の有効性について考察する。

3.1 アクセスモデルの定義

図 2 に本研究で利用するコンテンツアクセスモデルを定義する。 M 個のコンテンツ (コンテンツ番号は $0 \sim M - 1$

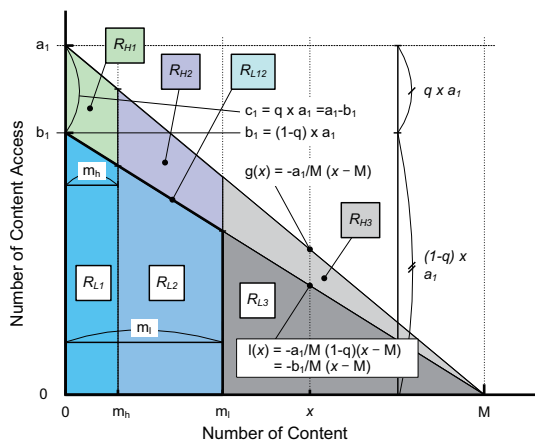


図 2 アクセスモデルの定義

で示す)があり、キャッシュされているコンテンツ数は、高品質、低品質でそれぞれ $M - 1 \geq m_l$, $m_h \geq 0$ とする。

コンテンツ番号 $0 \sim M - 1$ に対して、単調減少の線形偏りがあり、アクセスに対する一定比率 q が高品質アクセスであることを示している。また、コンテンツ番号はアクセスの多い順に並んでいるとし、高品質のアクセス数と低品質のアクセス数の比率は $q : 1 - q$ で一定の関係であるとする。 a_1, b_1 はそれぞれコンテンツ番号 0 に対する低品質と高品質のアクセス総数と、低品質のアクセス数を示す。

R_{L1}, R_{L2} は、キャッシュコンテンツにおいて、低品質コンテンツ番号 $m_h - 1$ までのアクセス発生領域、 $m_l - 1$ の中でそれ以外のアクセス発生領域、 R_{H1} は、高品質のコンテンツ番号 m_h までのアクセス発生領域を示す。また、低品質のキャッシュコンテンツに対応したアクセス発生領域全体を R_{L12} とする。ただし、 $m_l = m_h = 0$ の場合はキャッシュコンテンツがない場合を示すとする。一方、 R_{L3}, R_{H2}, R_{H3} は、低品質、高品質の各キャッシュコンテンツに非対応のアクセス発生領域を示す。全領域を R_{all} で表す。ある時刻で発生するコンテンツアクセス z_x は、アクセス領域 R のいずれかに属する。 x はコンテンツ番号を示す。

コンテンツ番号 x のときの、全体のアクセス数を $g(x)$ で表すと式 (5) となる。また、低品質のアクセス数を $l(x)$ 、高品質のアクセス数を $h(x)$ としたとき、 $h(x) = qg(x)$ 、 $l(x) = (1 - q)g(x)$ 、 $b_1 = (1 - q)a_1$ 、 $c_1 = a_1 - b_1$ である。

$$\begin{cases} g(x) = -\frac{a_1}{M}(x - M) & (0 \leq x \leq M - 1) \end{cases} \quad (5)$$

3.2 キャッシュコンテンツ条件

本アクセスモデルにより判断されるキャッシュコンテンツ状態判定の条件について考える。キャッシュコンテンツの数を m 、キャッシュ容量を S_{cs} 、キャッシュ内のコンテンツ情報量を S_{cd} とすると式 (6) となる。ただし、各コンテンツ番号に対するデータ量は $\rho(x)$ であり、低品質、高品質の場合をそれぞれ x_l, x_h と表す。

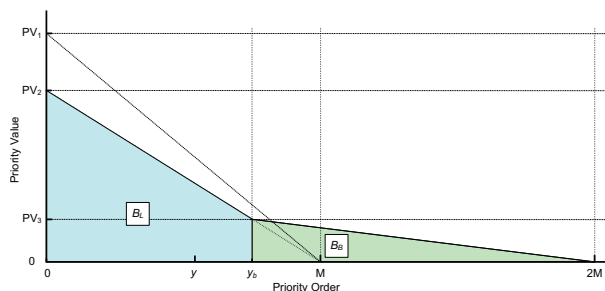


図 3 コンテンツ優先度と優先度順位の例 (品質別)

$$\begin{cases} S_{cd} = \sum_{z_x \in R_{L12}} \rho(x_l) + \sum_{z_x \in R_{H1}} \rho(x_h) \leq S_{cs} \end{cases} \quad (6)$$

よって、 $m = m_l + m_h$ であり、優先度リスト m 番目までのコンテンツがキャッシュされていると考えることができる。リスト $m + 1$ 番目のコンテンツ番号、品質をそれぞれ ν_{m+1}, μ_{m+1} と示すと、式 (7) となる。この式の条件を満足する最大値の m_l, m_h を算出する。

$$\begin{cases} S_{cd} \leq S_{cs} < S_{cd} + \rho(\nu_{m+1}, \mu_{m+1}) \end{cases} \quad (7)$$

3.3 コンテンツ優先度リスト

コンテンツ優先度リストについて考える。コンテンツに対する優先度を品質別に順位付けすると、例えば、図 3 のようになる。横軸は順位、縦軸は優先度を示している。線形重み付けに対応した優先度で順位付けされている場合であり、領域 $B_L (0 \leq y < y_b)$ が低品質のみのアクセス領域、領域 $B_B (y_b \leq y < 2M)$ が低品質と高品質の混在アクセス領域を示す。順位 y がキャッシュコンテンツ対象となり、その変動により領域の状況が変わる。扱うコンテンツ数を M とすると、2 階層であるのでコンテンツ数は $2M$ である。勿論、領域の境目となる y_b は q の影響を受ける。 q が 0 に近づくとき y_b は大きくなり、一方、 0.5 まで大きくなると y_b は小さくなり、領域 B_L が狭く混在領域 B_B が広くなる。 $q \leq 0.5$ で考えると $m_l \geq m_h$ である。つまり、 q の変動により、キャッシュ状態を考える際、単純に単一品質 (ここでは、低品質で B_L に対応) へのコンテンツアクセスと、品質混在状況のリストへのアクセス (B_B に対応) する状態を考慮する必要がある。次節、この状況を場合分けして考える。

3.4 ヒット率の算出

前述したアクセスモデルに基づいて、各手法に対する効率の指標となるキャッシュコンテンツのヒット率を場合分けして算出する。ここでは、わかりやすくするため、低品質アクセスが高品質アクセスよりも大きいと仮定して考える。

3.4.1 時間に対するアクセス分布変動がない場合

キャッシュコンテンツのヒット対象領域 r は図 2 における R_{L12}, R_{H1} である。 T_{i-1}, T_i でのアクセスが一定の場合

を考えると、高品質アクセス時に低品質コンテンツのヒットを考慮しない場合、ヒット率 σ は式 (8) となる。ただし、 $m_l, m_h \in N_0$ 、 N_0 は 0 以上の整数を示す。 T_{j-1}, T_j でも同様である。 $m_l = 0, m_h = 0$ の場合、対応する $\epsilon_r = 0$ である。

$$\begin{cases} \sigma = (\epsilon_{r \in R_{L12}} + \epsilon_{r \in R_{H1}}) / \epsilon_{r \in R_{all}} \\ \epsilon_{r \in R_{all}} = \sum_{x=0}^{M-1} g(x) \\ \epsilon_{r \in R_{L12}} = \sum_{x=0}^{m_l-1} (1-q)g(x) \quad (m_l \neq 0) \\ \epsilon_{r \in R_{H1}} = \sum_{x=0}^{m_h-1} qg(x) \quad (m_h \neq 0) \end{cases} \quad (8)$$

次に、部分データヒット率を考慮すると式 (9) となる。

$$\begin{cases} \sigma = (\epsilon_{r \in R_{L12}} + \epsilon_{r \in R_{H1}} + \epsilon_{r \in R_{H2}}) / \epsilon_{r \in R_{all}} \\ \epsilon_{r \in R_{L12}} = \sum_{x=0}^{m_l-1} (1-q)g(x) \quad (m_l \neq 0) \\ \epsilon_{r \in R_{H1}} = \sum_{x=0}^{m_h-1} qg(x) \quad (m_h \neq 0) \\ \epsilon_{r \in R_{H2}} = \sum_{x=m_h}^{m_l-1} \left\{ \frac{\rho(x_l)}{\rho(x_l) + \rho(x_h)} \times qg(x) \right\} \quad (m_l \neq 0) \end{cases} \quad (9)$$

3.5 時間に対するアクセス分布変動がある場合

隣り合う参照期間においてアクセス分布が変動した場合を考える。2 つの分布の類似性と、キャッシュコンテンツの共通性により、コンテンツのヒット率を考えることができる。分布の類似性が必ずしも共通性と一対一の関係にないため、正確なコンテンツのヒット率を定式化することができない。そこで、ヒット率 σ において最小値 σ_{min} と最大値 σ_{max} を定義して、考察する。 $\sigma_{min} \leq \sigma \leq \sigma_{max}$ である。

ヒット率の最大値は、アクセス率の高いコンテンツにおける共通時となる。一方、最小値は、アクセス率の低いコンテンツにおける共通時となる。

キャッシュコンテンツ数 m の中で、 T_{i-1} と T_i を対象に算出されるキャッシュコンテンツの共通となる個数を m_c 、その領域を R_c とする。 m_c は T_{i-1} でキャッシュしている数 m の中の任意のコンテンツ番号を示すとす。 T_{j-1}, T_j においても同様に検討できる。

3.5.1 $m \leq y_b$ の場合

領域 $R_c \in B_L$ であり、 $m_c < y_b$ となる。最大値は、低品質のみのキャッシュコンテンツのヒットであり、式 (10) となる。

$$\begin{cases} \sigma_{max} = \epsilon_{r \in R_c} / \epsilon_{r \in R_{all}} \\ \epsilon_{r \in R_c} = \sum_{x=0}^{m_c-1} (1-q)g(x) \quad (m_c \neq 0) \end{cases} \quad (10)$$

一方、最小値は、優先度の低いコンテンツとなるので式 (11) となる。

$$\begin{cases} \sigma_{min} = \epsilon_{r \in R_c} / \epsilon_{r \in R_{all}} \\ \epsilon_{r \in R_c} = \sum_{x=m_l-m_c}^{m_l-1} (1-q)g(x) \quad (m_l, m_c \neq 0) \end{cases} \quad (11)$$

3.5.2 $y_b < m$ の場合

(a) $m_c \leq y_b$ の場合

最大値は式 (10) と同様である。一方、最小値は混在領域のみのヒットか、或いは、低品質へのヒットと混在領域のヒット領域が対象となる。混在領域のみのヒット率は式 (12) となる。ただし、低品質へのヒット領域を $R_{c1} \in B_L$ 、混在領域の低品質、高品質アクセスをそれぞれ $R_{c2} \in B_B$ 、 $R_{c3} \in B_B$ とする。 $m_c = m'_l + m'_h$ とし、 R_{c2} のコンテンツ数は m'_l 、 R_{c3} のコンテンツ数は m'_h である。

$$\begin{cases} \sigma_{max} = (\epsilon_{r \in R_{c2}} + \epsilon_{r \in R_{c3}}) / \epsilon_{r \in R_{all}} \\ \epsilon_{r \in R_{c2}} = \sum_{x=m_l-m'_l}^{m_l-1} (1-q)g(x) \quad (m_l, m'_l \neq 0) \\ \epsilon_{r \in R_{c3}} = \sum_{x=m_h-m'_h}^{m_h-1} qg(x) \quad (m_h, m'_h \neq 0) \end{cases} \quad (12)$$

また、低品質へのヒットと混在領域のヒット領域が対象となる場合、 R_{c1}, R_{c2}, R_{c3} に対するコンテンツ数を y'_b, m''_l, m''_h とすると、 $m_c = y'_b + m''_l + m''_h$ であり、最小ヒット率は、式 (13) となる。

$$\begin{cases} \sigma_{min} = (\epsilon_{r \in R_{c1}} + \epsilon_{r \in R_{c2}} + \epsilon_{r \in R_{c3}}) / \epsilon_{r \in R_{all}} \\ \epsilon_{r \in R_{c1}} = \sum_{x=y_b-y'_b}^{y_b-1} (1-q)g(x) \quad (y'_b \neq 0) \\ \epsilon_{r \in R_{c2}} = \sum_{x=y_b}^{y_b+m''_l-1} (1-q)g(x) \quad (m''_l \neq 0) \\ \epsilon_{r \in R_{c3}} = \sum_{x=0}^{m''_h-1} qg(x) \quad (m''_h \neq 0) \end{cases} \quad (13)$$

(b) $y_b < m_c$ の場合

$y_b \leq m_c$ のとき、 $y_b - 1$ までは低品質コンテンツにヒットする。残りは、低品質、高品質の混在キャッシュコンテンツにヒットする。前者の領域を $R_{c1} \in B_L$ 、後者の領域をそれぞれ $R_{c2} \in B_B$ 、 $R_{c3} \in B_B$ とする。 $m_c = y_b + m'_l + m'_h$ とし、 R_{c2} のコンテンツ数は m'_l 、 R_{c3} のコンテンツ数は m'_h である。最大値は式 (14) である。

$$\begin{cases} \sigma_{max} = (\epsilon_{r \in R_{c1}} + \epsilon_{r \in R_{c2}} + \epsilon_{r \in R_{c3}}) / \epsilon_{r \in R_{all}} \\ \epsilon_{r \in R_{c1}} = \sum_{x=0}^{y_b-1} (1-q)g(x) \quad (m \neq 0) \\ \epsilon_{r \in R_{c2}} = \sum_{x=y_b}^{y_b+m'_l-1} (1-q)g(x) \quad (m'_l \neq 0) \\ \epsilon_{r \in R_{c3}} = \sum_{x=0}^{m'_h-1} qg(x) \quad (m'_h \neq 0) \end{cases} \quad (14)$$

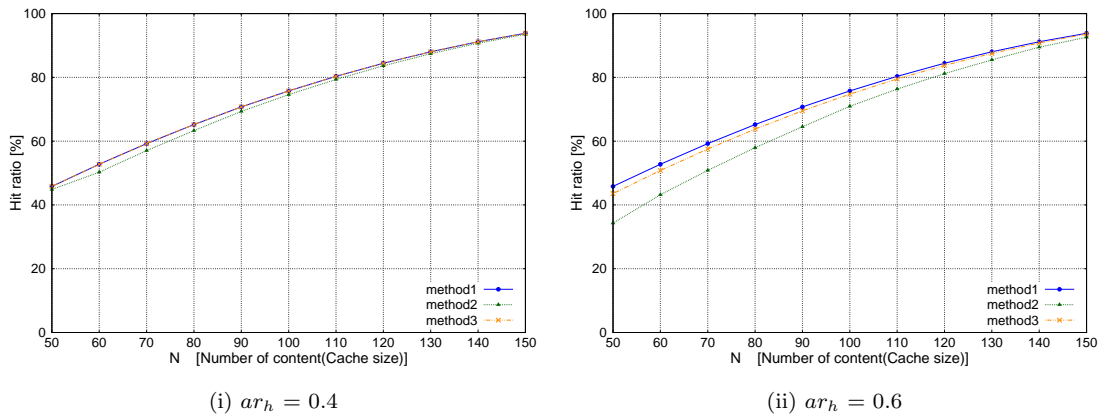


図 4 優先度算出法における HR の比較

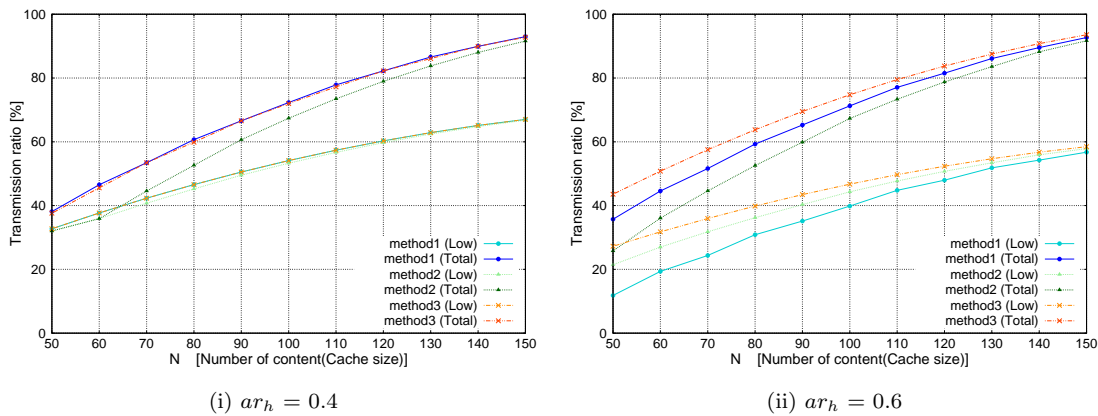


図 5 優先度算出法における TR の比較

$m_c = y'_b + m''_l + m''_h$ とするとき、最小ヒット率は式 (15) となる。

$$\left\{ \begin{array}{l} \sigma_{min} = (\epsilon_{r \in R_{c1}} + \epsilon_{r \in R_{c2}} + \epsilon_{r \in R_{c3}}) / \epsilon_{r \in R_{all}} \\ \epsilon_{r \in R_{c1}} = \sum_{x=y_b-y'_b}^{y_b-1} (1-q)g(x) \quad (m_c \neq 0) \\ \epsilon_{r \in R_{c2}} = \sum_{x=y_b}^{y_b+m''_l-1} (1-q)g(x) \quad (m''_l \neq 0) \\ \epsilon_{r \in R_{c3}} = \sum_{x=0}^{m''_h-1} qg(x) \quad (m''_h \neq 0) \end{array} \right. \quad (15)$$

以上示したように、参照期間の優先度リストにしたがってキャッシュコンテンツ管理されている状況下で、現時刻におけるアクセス分布の類似度により、キャッシュ効果は変動する。キャッシュ容量や、キャッシュコンテンツ数などにより、同条件下での効率変動があるが、最大限キャッシュ効果を上げるためには、結局はアクセス分布変動時は参照情報の更新性、瞬時対応性がポイントとなる。一方、変動がない場合はヒット率は一定であり、いずれの場合もコンテンツ更新処理は生じない。また、品質について考えてみると、 q の値により低品質と高品質の混在領域範囲が変動し、混在領域が増えるほど、品質変動、コンテンツ変動に対するキャッシュコンテンツ管理となる。

3.6 優先度算出法に関する考察

品質独立ルール (method1)、品質情報加算ルール (method2)、順位シフトルール (method3) における有効性について比較考察する。今回利用したアクセスモデルは、コンテンツ 100[個] に対して、ポアソン過程で到着する利用者が十分にあると想定する。具体的には、1[時間] をキャッシュコンテンツの更新期間とし、平均 10[人/秒] の利用者があるとした。また、低品質、高品質ともに同一データ量と定義する。ここでは、高品質アクセス率 (ar_h) が 0.4, 0.6 の場合について考える。

図 4 にキャッシュ容量に対するキャッシュコンテンツのヒット率の関係について示す。HR はキャッシュヒット率である。横軸は、キャッシュ容量であり、低品質コンテンツに相当するデータ数を示す。ヒット率より、キャッシュ内に対象コンテンツが含まれているかがわかる。図 4 では、単純な独立型コンテンツ管理が有効である。

しかし、前述したように部分キャッシュが発生した場合の効率を十分に考慮できないため、評価には不十分である。そこで、実際の効率を表現する TR を利用する。TR は、全体のコンテンツ利用に関する伝送量におけるキャッシュ内のコンテンツ伝送量の比率を示す。図 5 にキャッシュ容量に対するキャッシュ内のコンテンツデータに相当する伝送情報率 TR の関係を示す。図中の Low が各手法にお

る低品質に対する TR を示し, Total が全ての品質に対する TR を示す. $ar_h \leq 0.5$ の条件となる (i) の場合, 基本的に低品質コンテンツが優先順位が高くなり, このコンテンツへのアクセスが評価される. アクセス分布を独立ルール型として扱っていることもあり, この場合, コンテンツ番号, 低品質優先の関係で順位変動が生じ, method1 の効率が高くなっている. 一方, $0.5 < ar_h$ の条件となる (ii) の場合において, method2, method3 の効果について考える. 高品質アクセス率が高くなると, 階層間の依存関係が無視された高品質有利な状態となるため, method1 では効率が低下する場合が存在する. また, method2 では, 高品質分のアクセスも含めた重み付けがされ, また, method3 では, 高品質アクセス数を考慮した判定が行われる. その結果, method3 での効率向上がわかる. method2 は過度な重み付けとなることが, 効率低下の原因と考えられる. また, method1 では, 高品質用に利用する低品質データがキャッシュされていない状況がある. この場合, 高品質と低品質の差: $TR_h - TR_l$ がキャッシュ利用時に発生する伝送率である. そして, 高品質のアクセス率がさらに高くなると, より method3 の効果が高くなる. 以上より, 単純なシフトルールを導入することで, 高品質アクセスが多くなる場合に伝送データ削減効果が高いことがわかる.

3.7 品質アクセス変動に対する考察

ここで, 前節と同様の条件下で, 品質アクセス変動が生じた場合のキャッシュヒット数の結果を図6に示す. ただし, method1 を利用した場合である. ここでは, 周期として, 2, 4, 6, 8 の先頭で, 低品質から高品質, 高品質から低品質へのアクセス偏り変動が生じるとする. アクセス分布変動時, キャッシュ状況とアクセス偏りにギャップがあり, 更新周期まで効率が低下している. しかし, 品質変動に対して, 各品質のキャッシュ更新が行われ, 全体のキャッシュ効果を維持できていることがわかる. また, method3 を利用することで, 高品質アクセスが発生した場合の効率向上が期待できる. さらに, 本状況に対して, 逐次更新手法を利用することで瞬時変動へ対応可能である. 詳細なアクセス分布変動については今後の課題とする.

4. まとめ

本研究では, 複数品質コンテンツ提供サービスにおける情報管理方式について提案し, その有効条件について考察した. 具体的な線形偏り型のアクセスモデルを利用して, 品質変動に対する効率について検証した. 品質に対する優先度算出ルールにおいて, 品質依存関係を考慮することで効率が向上することを示した. 今後は, 新たな優先度算出ルール, 及びアクセス変動の評価について検討する.

参考文献

- [1] 釜江尚彦, 沼田秀穂, 曾根原登: “デジタルコンテンツ販売のための開示度と料金設定”, 信学論誌, Vol.J91-D, No.1, pp.12-22 (2008).
- [2] 高橋 英土, 八木 規行, 矢守 恭子, 田中 良明: “市場に基づく優先制御コンテンツ配信システム”, 信学論誌 B, Vol.J88-B, No. 6, pp. 1047-1057 (2005).
- [3] 児玉 明, 鈴木 俊哉: “スケーラビリティ構成を利用した品質選択型動画コンテンツキャッシュ配信方式”, 映像メテ学誌, Vol.59, No.7, pp.1020-1032 (2005).
- [4] 児玉 明: “時間価値関数を利用した動画コンテンツ情報管理方式”, 画電学誌, Vol.40, No.2, pp.345-354 (2011).
- [5] A. Balamash, M. Krunz: “An Overview of Web Caching Replacement Algorithms”, IEEE Communications Surveys & Tutorials, Second Quarter, Vol. 6, No. 2, pp.44-56 (2004).
- [6] 中山誠, 山崎憲一: “携帯電話端末のための NW 支援による Web アプリケーションキャッシング技術”, 信学論誌 B, Vol.J93-B, No.3, pp.432-447 (2010).
- [7] 田村孝之, 喜連川優: “多周期的更新アクセスに適した二次記憶管理技法”, 信学論誌 D, Vol.J93-D, No.6, pp.805-815 (2010).
- [8] H.R.Oh, H.Song: “Metafile-Based Scalable Caching and Dynamic Replacing Algorithms for Multiple Videos Over Quality-of-Service Networks”, IEEE Trans. on Multimedia, Vol.9, No.7, pp.1535-1542 (2007).
- [9] 大林功実, 朝香卓也, 高橋達郎, 佐々木純, 品川輝輝: “P2P ネットワークにおけるキャッシュコンテンツすみ分けを利用した負荷分散法”, 信学論誌 B, Vol.J90-B, No.8, pp.720-733 (2007).
- [10] K. Pentikousis, P. Chemoul, K. Nichols, G. Pavlou, D. Massey: “Information - Centric Networking”, IEEE Communications Magazine, Vol.50, No.7, pp. 22 - 25 (2012).
- [11] B. Ahlgren, C. Dannewitz, C. Imbrenda, D. Kutscher, B. Ohlman: “A Survey of Information - Centric Networking”, IEEE Communications Magazine, Vol.50, No.7, pp. 26 - 36 (2012).
- [12] K. Pentikousis, P. Chemoul, K. Nichols, G. Pavlou: “Information - Centric Networking: Part II”, IEEE Communications Magazine, Vol.50, No.12, pp. 15 - 17 (2012).
- [13] 児玉明: “複数品質利用に対応した動画コンテンツキャッシュ配信方式の検討”, 画電研予, 11-04-02, pp.5-10 (2012).
- [14] 児玉明: “キャッシュ型コンテンツ配信における階層データによる映像品質管理法に関する一考察”, 画像電子学会誌, 42, 1, pp.5-14 (2013).

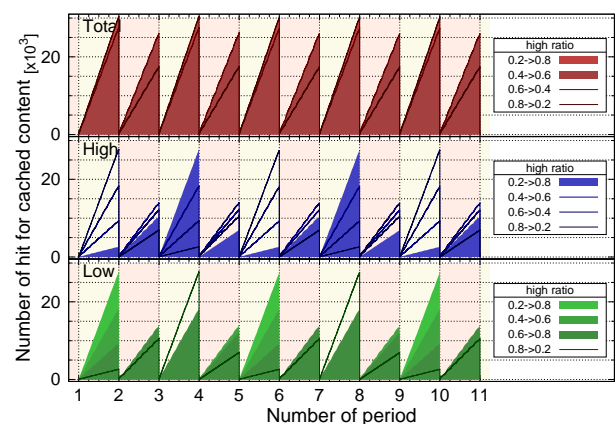


図6 品質変動に対するキャッシュヒット数の時間変動