

携帯無線端末向け複数ビデオ同時視聴サービスのための 放送型ビデオ配信方式

安本 慶一 宇山 一世 玉井 森彦 村田 佳洋 柴田 直樹[†] 伊藤 実

奈良先端科学技術大学院大学情報科学研究科[†] 滋賀大学情報管理学科

本稿では、複数の携帯無線端末ユーザが、複数のビデオを指定したレイアウトで同時視聴するための放送型ビデオ配信システムを提案する。複数のビデオを指定したレイアウトで視聴できるようにするため、ユーザ端末が複数のビデオを別々のストリームで受信し、自身で複合・合成・表示する方法が考えられる。しかし、この方法は端末資源を多大に消費するため、ビデオの再生品質が大幅に落ちてしまうことが考えられる。提案システムでは、ユーザから要求されたレイアウト群から共通の部分レイアウトを抽出し合成ビデオとして配信するとともに、共通しない部分のビデオについては元のビデオを縮小したものを配信するなどの工夫により、限られた無線通信帯域内で、品質達成度（要求した品質に対する実現された品質の比）を最大化する。また、品質達成度を最大化するビデオの配信集合決定アルゴリズムを提案する。提案方式の有効性を検証するために、500人のユーザにビデオを配信するシミュレーションを行った。その結果、品質達成度が71.9%となり、単純な方式を用いたときの45.3%と比べ達成度が大きく改善されることを確認した。また、実装したプロトタイプシステムを用いて実験した結果、ユーザがビデオストリームを要求してから再生するまでにかかる応答時間は、ワンセグと同等の5秒程度を実現できることを確認した。

Video Broadcast Method for Realizing Multiple Video Playback by Wireless Terminals

Keiichi Yasumoto Kazuya Uyama Morihiko Tamai
Yoshihiro Murata Naoki Shibata[†] Minoru Ito

Nara Institute of Science and Technology [†] Shiga University

In this paper, we propose a video broadcast method to allow each user with a wireless terminal to watch multiple videos on a specified layout. When each wireless terminal processes multiple videos as separate streams by receiving and decoding the streams, and resizing and drawing the decoded pictures on specified windows of the layout, the video playback quality is likely reduced due to the computational power limitation of the terminal. The proposed method identifies the common part among required layouts, and transmits to each user a composite video corresponding to the common part and remaining videos (original or reduced size) so that each user receives and plays back as small number of videos as possible. We have developed a heuristic algorithm which calculates the set of videos (both composite and original) so that the sum of satisfaction degrees (rate of required video quality and delivered video quality) of all users is maximized, to be transmitted within the available wireless network bandwidth. In order to evaluate effectiveness of the proposed system, we have implemented a prototype system of the proposed video delivery method. Through experiments, satisfaction degree of the proposed method became 71.9%, and we confirmed that proposed method dramatically improved satisfaction degree compared with a simple method. We also measured response time that videos are played back after sending request. The result was about 5 seconds and this shows that our system achieves reasonable startup delay for video streaming.

1 はじめに

近年、無線LANホットスポットや定額制PHS、3G携帯電話端末による定額制データ通信サービスの普及に伴い、ユーザが時や場所を選ばず、携帯端末上で音楽や映像といった動画を中心とするマルチメディアコンテンツを楽しむことが可能になっている。また、携帯電話などの軽量端末向けのサービスとして、高品質なビデオ放送を受信・視聴できる、モバイル端末向けデジタルビデオ放送サービスが世界各地で提供され始めている。端末の高性能化およびスクリーンの大型化・高精細化に伴い、携帯端末ユーザは、単にテレビ放送を見るだけでなく、例

えば、複数の高品質なビデオ放送をインターネット経由で視聴できるInternet-Based TV [1, 2]のように、ニュースや天気情報、スポーツ中継などの複数のコンテンツを好みのレイアウトで同時に視聴するといったより高度なサービスを求めるようになることが予想される。

複数ビデオコンテンツ同時視聴サービスを無線環境で実現するためには、ユーザ端末が複数のビデオを別々のストリームとして受信し、自身で復号、合成、表示する手法が考えられる。しかしこの手法では端末資源を多大に消費するため、ユーザが要求している品質通りにビデオを再生できない可能性がある。

ユーザが複数のビデオを同時に視聴できるようにする

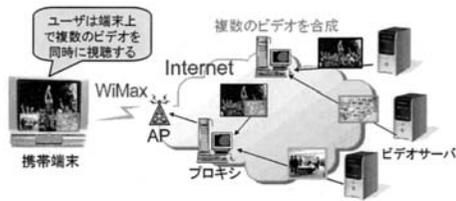


図 1: 携帯無線端末向け複数ビデオ同時視聴サービス

ため、これまでにいくつかの方式が提案されてきた。文献 [3, 4] では、ビデオ配信サーバとユーザ端末の間にプロキシを設置し、ネットワーク資源や端末資源の制約のもと、プロキシサーバで端末に適した品質にビデオを変換して送る方法を提案している。文献 [5] では、動画やニュースなどの複数ビデオをプロキシサーバで合成し配信する方法が提案されている。文献 [6] では、複数のユーザの異なるレイアウトを満たすビデオ配信を行うため、複数のプロキシからなる木に沿って、複数のビデオを徐々に合成して行くことで、プロキシで必要となる計算資源およびプロキシ間のオーバーレイネットワークでの必要通信帯域をできるだけ小さくする方式が提案されている。

しかし、これら既存の方法は、有線ネットワーク資源の制約を主として考慮しているため、無線環境に適用した場合、利用可能帯域内で配信可能なビデオ数の限界から多数のユーザの要求に対応することが難しい。

本稿では、利用可能な無線通信帯域内で、多数のユーザができるだけ要求通りの品質で、複数のビデオを同時視聴可能な放送型ビデオ配信システムを提案する。提案方式では、ユーザ間で共通の部分レイアウトを抽出し、合成ビデオとして配信する工夫を行う。また、配信するビデオ集合は、無線ネットワークの通信帯域、携帯端末の計算資源に関する制約を満たし、かつ、多くのユーザが希望するレイアウトに沿って同時視聴できるように最適化アルゴリズムを用いて決定する(図 1)。ここでは、要求した品質に対する実現された品質の比である品質達成度(3章で詳述)の最大化を目的とする。

現実に近い利用状況を想定しシミュレーションを行った結果、プロキシサーバでマルチメディアコンテンツを変換・合成・配信する方式が、71.9%の品質達成度の配信を行うことができた。この結果により、プロキシが配信のみを行う方式の 45.3%、変換・配信を行う方式の 55.9% と比べ品質達成度が大きく改善されることを確認した。また、ユーザがビデオストリームを要求してから再生するまでにかかる応答時間を計測した結果、5 秒程度となり、ワンセグと同等の応答時間を達成可能なことを確認した。

2 複数ビデオ同時視聴のためのビデオ配信

本章では、まず、提案方式が対象とする環境と仮定について述べ、次に問題の形式的な定義を与える。

2.1 対象環境と仮定

本稿では、ユーザ端末として PDA または携帯電話端末を、無線通信デバイスとして無線 LAN (IEEE 802.11)、WiMAX (IEEE 802.16)、もしくは CDMA などのセルラ通信を使用する環境を対象とする。図 1 に示すように、ビデオサーバは複数存在し、動画をストリーミング配信する。また、多数のユーザ端末の各々が無線アクセスポイント(以下、無線 AP)およびプロキシを経由してビデオサーバに接続する。各ユーザ端末はそれぞれ単一の無線 AP に接続するものとし、各無線 AP における利用可能帯域には制限があるものとする。簡単のためユーザ端末の移動による無線 AP のハンドオーバーは本稿では取り扱わない。各ユーザ端末は、配信されるビデオをそれぞれ異なった組み合わせ・レイアウトで受信したいと考え、プロキシに要求を送信する。各プロキシは要求に応じて次の 3 つのサービスを提供する。(1) 転送サービス: 加工後のビデオまたはオリジナルビデオをユーザ端末に送信する。(2) トランスコードサービス: ビデオサーバからビデオを受信し、ビデオの画像サイズ、フレームレート、ビットレートをリアルタイムトランスコード(画質変換)する。(3) 合成サービス: 複数のビデオを指定したレイアウトでリアルタイムに合成する。

プロキシにより複数のビデオを合成してできた新たなビデオを、以後、合成ビデオと呼ぶ。合成ビデオ以外のビデオ(加工されていないビデオおよびトランスコードのみされたビデオ)を原子ビデオと呼ぶ。

各ユーザ端末は受信したビデオの拡大、縮小、および複数ビデオの同時表示ができるものとする。したがって、利用可能なネットワーク資源、端末能力の範囲内で、複数のビデオを受信し、それを任意のレイアウトで同時再生することが可能である。端末の処理能力が不足する場合には、フレームレートの低下(以下、フレームドロップと呼ぶ)が発生するものとする。

無線 AP からユーザ端末への動画ストリームの配信はブロードキャストで行われるものとする。したがって、無線 AP の無線範囲内において、ビデオの配信によって消費される通信帯域は、そのビデオを受信する端末の数によらず一定となる。ビデオサーバとプロキシ間の帯域、および、プロキシの計算資源は十分にあるものとする。

各ユーザは、複数のビデオの受信を開始する際に次の情報を入力する。(1) ビデオの集合、(2) 表示枠(各ビデオの表示位置・画像サイズを含む)、表示枠とは、複数の原子ビデオを画面上で表示する際の、各ビデオコンテンツの位置とサイズを含めたものであり、レイアウト情報とは、ユーザが視聴したいビデオコンテンツごとに表示枠を指定したものとなる。図 2 は、ユーザのレイアウト情報における表示枠の例である。ユーザは、レイアウト情報を要求としてネットワーク上に存在するビデオサーバ

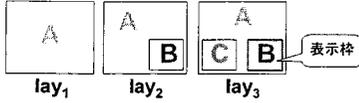


図 2: 各ユーザのレイアウト情報における表示枠の例

およびプロキシに送信する。ビデオサーバは保持している原子ビデオをそのままの品質でストリーム配信し、プロキシは、各ビデオを保持するサーバからストリームを受信し、ユーザの要求するレイアウト、フレームレートを反映するようにビデオの加工・合成を行い、ユーザ端末へ送信する。

2.2 緒定義

利用可能な原子ビデオの集合を $C = \{c_1, \dots, c_M\}$ と表記する。表示枠は、原子ビデオの ID と、画面上の表示位置、サイズ、フレームレートの組である。各表示枠の原子ビデオ ID がそれぞれ $e_1, \dots, e_n \in C$ であるようなレイアウトを $lay(e_1, \dots, e_n)$ と表記する。各表示枠の原子ビデオ ID がそれぞれ $e_1, \dots, e_n \in C$ であり、かつ各表示枠のフレームレートがそれぞれ f_1, \dots, f_n であるようなレイアウト情報を $lay(e_1(f_1), \dots, e_n(f_n))$ のように表記する。ここで、表示位置と画像サイズは、 $lay(A, B, C)$ の A, B, C の位置により予め決まる (図 2)。与えられたレイアウト情報の集合、および、各レイアウト情報の表示枠に原子ビデオを当てはめることで生成される合成ビデオの集合を $CV = \{cv_1, \dots, cv_K\}$ と表記する。合成ビデオの生成の詳細は、5.1 節で述べる。原子ビデオと合成ビデオからなる配信ビデオ集合を $D \subseteq C \cup CV$ と表記する。ユーザ u_i が要求するレイアウト情報を $L(u_i)$ と表記する。ある無線 AP に接続するユーザの集合を $U = \{u_1, \dots, u_N\}$ とする。ビデオサーバが配信可能なビデオ集合を $Ch = \{ch_1, \dots, ch_m\}$ とする。

ユーザ u_i が要求するレイアウト情報 $L(u_i)$ の表示枠 j への表示が指定されたビデオを q_{ij} と表記し、要求したビデオの品質を r_{ij} (以降、ユーザ要求と呼ぶ) とする。無線 AP の利用可能帯域を A_{bw} とする。配信ビデオ集合 g の配信に必要な帯域を $bw(g)$ と表記する。プロキシ上及びユーザ端末上でのビデオの処理を経て、最終的にユーザ u_i の端末上で表示されるビデオの品質を v_{ij} (以降、ユーザ表示と呼ぶ) とする。ユーザ u_i のユーザ要求 r_{i1}, \dots, r_{in} に対するユーザ表示 v_{i1}, \dots, v_{in} を品質達成度と呼び、関数 S_i により計算できるとする。 S_i は r_{i1}, \dots, r_{in} と v_{i1}, \dots, v_{in} を引数とする 0 から 1 の実数値を取る関数であり、 u_i の配信されたビデオに対する満足の度合いの大きさを表す。 S_i の定義としては様々なものが考えられるが、本稿における定義は 3 章で与える。

2.3 問題定義

本稿で扱う問題を以下のように定義する。ユーザ要求の集合 $\{r_1, \dots, r_N\}$ に対し、品質達成度の合計 $\sum_{i=1}^N S_i$ を最大化するような、プロキシの配信ビデオの集合 D を求める。ただし、無線 AP の利用可能帯域に関する制約 $\sum_{d \in D} bw(d) \leq A_{bw}$ を満足するものとする。また、各ユーザ要求 r_i の入力情報とシステムの入力情報は、次のものとする。

- ユーザ要求 r_i
 - レイアウト情報の集合 $lay(e_1(f_1), \dots)$:
ただし、 $e_i(f_i)$ は、 i 番目の表示枠における原子ビデオ ID、表示位置と画像サイズ、フレームレートの情報を含んでいるものとする。
- システムの情報
 - 品質達成度の関数: S (r_i と v_i を引数とする)
 - 無線通信帯域の制約: A_{bw}

3 携帯無線端末における品質達成度

本章ではシステムが配信するビデオ集合の評価基準である品質達成度を定義する。品質達成度の基準としては、様々なものが考えられる。本研究では、ユーザがビデオを受信・再生した際に起こりうるフレームドロップの度合いを考慮する。端末がデコードの際に処理する単位時間当たりの総画素数を p としたとき、フレームドロップ率 $z(p)$ が以下の式で近似できると仮定する。実際には、拡大、縮小処理、および表示の際にかかる負荷を考慮する必要があるが、それらの影響は比較的小さいため、本稿ではデコードにかかる負荷のみを考慮する。

$$z(p) = \alpha p + \beta \quad (1)$$

ここで、 α 、 β は端末固有の定数値である。これらの値は、複数の p の値に対し、対象端末で各々のフレームドロップ率を測定し、最小二乗法を用いることで求めることができる。

ユーザ u_i が要求するレイアウト情報 $L(u_i)$ の表示枠 j への表示が指定されたビデオを q_{ij} と表記し、ビデオが要求どおりに受信できたかを示す品質達成度を s_{ij} とする。ビデオ q_{ij} について、 u_i が受信するストリームの画素数とフレームレートの積を $w_1(q_{ij})$ と表記する。要求したよりも大きな画素数・フレームレートで受信した場合には、表示する画素数・フレームレートで代用する。また、 q_{ij} が合成ビデオの一部となっている場合には、 q_{ij} の表示枠の大きさ、および受信する合成ビデオのフレームレートで代用する。なお、ビデオ q_{ij} が受信されない場合には、 $w_1(q_{ij}) = 0$ とする。また、 q_{ij} の要求時の画像サイズ (すなわち、表示枠 j のサイズ) とフレームレートの積を $w_2(q_{ij})$ と表記する。ユーザ u_i が要求した全てのビデオを受信したときのフレームドロップ率を z_i と表記し、その際に受信したビデオの総数を n_i と表記する。

以上より、フレームドロップ率を考慮したユーザ u_i の品質達成度 S_i を次式のように定義する。

$$S_i = \frac{(1 - z_i(\sum_{j=1}^{n_i} w_1(q_{ij}))) \times (\sum_{j=1}^{n_i} s_{ij})}{n_i} \quad (2)$$

ただし、

$$s_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{if } w_1(q_{ij}) > w_2(q_{ij}) \\ \frac{w_1(q_{ij})}{w_2(q_{ij})}, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (3)$$

4 複数ビデオ同時視聴のための配信方式

本章では、複数ビデオ同時視聴時の品質達成度を考慮した放送型ビデオ配信システムについて述べる。

4.1 提案方式の構成

本放送型ビデオ配信システムの構成を、図3に示す。各ユーザは、各表示枠に視聴したいビデオを指定したレイアウト情報をプロキシに送る。プロキシでは、5章で述べるアルゴリズムを使用して、全ユーザの品質達成度の和を最も高くする配信ビデオ集合を求める。プロキシは、このビデオ集合に基づいてビデオサーバからオリジナルのビデオストリームを受信し、2.1節で述べたサービスを使用し、ユーザ端末へビデオを配信する。

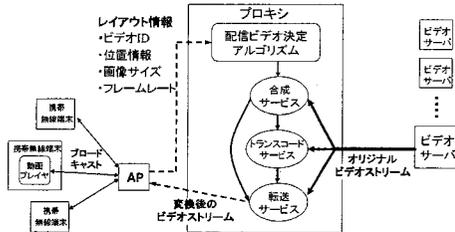


図3: 放送型ビデオ配信システムの構成

4.2 ビデオ配信方式

プロキシがユーザ端末へビデオを配信するために、本節では3つの配信方式を提案する。これらの方式は、プロキシの提供するサービスの種類に相違点がある。

4.2.1 直接配信方式

直接配信方式は、プロキシが転送サービスのみを提供する。各ユーザ端末は、自身の要求に応じたビデオの集合を、それぞれ独立にビデオサーバから受信し、自ら縮小などを行った上で、指定したレイアウトどおりに表示する。

この方式は単純で帯域を節約できるが、ユーザ端末の負荷が大きいため多くのフレームドロップが発生する。

4.2.2 画質変換方式

画質変換方式では、プロキシが転送サービスだけでなく、画像サイズやフレームレートの変更を行うトランスコードサービスも提供する。プロキシは要求された原子

ビデオをビデオサーバから受信し、リアルタイムトランスコードにより画像サイズの縮小を行い、ユーザ端末に転送する。この方式は、端末上でのトランスコードによる負荷を軽減する。しかし、合成サービスが提供されないため、端末上で複数ビデオの同時表示を行う必要がある。

4.2.3 ハイブリッド配信方式

ハイブリッド配信方式では、プロキシは画質変換方式のサービスに加えて画像の合成サービスも提供する。すでに合成されたビデオを配信するため、端末上での同時表示の負荷を軽減することができる。しかし、各ユーザがそれぞれ異なるレイアウトで要求した場合、要求される合成ビデオの種類は膨大となり、帯域幅の制約に収まらなくなる。そこで、プロキシがユーザ間で共通の部分レイアウトを抽出し、多数のユーザから要求される合成ビデオを優先的に配信する工夫を行う。また、このような合成ビデオからなる配信ビデオ集合を求めるアルゴリズムを提案する（5章で詳述）。

例えば、図4のユーザ端末 u_1 は、プロキシ上で、原子ビデオ c_2, c_3 をレイアウト lay_2 （図2）に当てはめて生成された一つの合成ビデオを受信している。同様に、 u_2 は、 c_3 と c_1 からなる合成ビデオを受信している。一方で、ユーザ端末 u_3 は、プロキシで縮小された原子ビデオ c_2 と合成ビデオ (c_3, c_1) を受信し、ユーザの指定するレイアウトに沿ってビデオを同時に再生する。

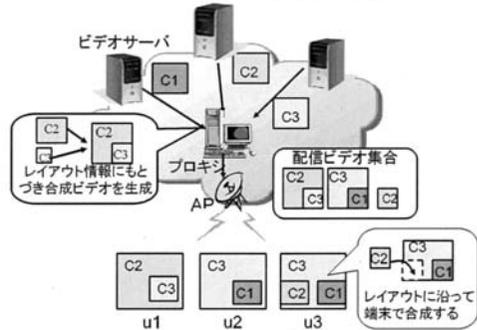


図4: ハイブリッド配信方式のビデオ配信例

ハイブリッド配信方式では、各端末は、レイアウト通りに合成された一つのビデオの受信・再生に加え、直接配信方式や画質変換方式のように、複数のビデオを受信し、端末上で同時表示することが可能である。従って、計算能力および無線帯域の制約に従って効率の良い配信を行うことができる。しかし、無線帯域の制約の中で、どの原子ビデオ、合成ビデオを配信すべきかを決定するアルゴリズムが必要である。

5 配信ビデオ決定アルゴリズム

4.2節で述べたいずれの配信方式においても、要求したレイアウトと全く同じビデオが配信されなかった場合、端末上で画質変換、および、複数ビデオの同時表示を行う必要がある。これらの操作は、フレームドロップなどの品質達成度の低下を招く。

しかし、帯域幅の制限から、すべてのユーザの希望を100%満たす合成ビデオの集合を配信することは一般に不可能である。本章では、フレームドロップ率および利用可能帯域の制限を考慮した上で、品質達成度を最大化する配信ビデオ集合を求めるヒューリスティックアルゴリズムを提案する。

5.1 ヒューリスティックアルゴリズム

本問題のような配信ビデオ集合 D を求める問題はナップサック問題に類似した問題となり、 NP 困難のクラスに属するものと考えられる。本研究では、このような NP 困難な問題である組み合わせ最適化のアプローチとして、*Greedy* アルゴリズムを改良した次のヒューリスティックアルゴリズムを用いる。

ヒューリスティックアルゴリズムの擬似コード 以下にアルゴリズムの擬似コードを示す。

```
Algorithm heuristic( $D_0, A_{bw}$ )
1  $\hat{D} := D_0$ 
2 while  $\hat{D} \neq \emptyset$  and  $\sum_{d \in \hat{D}} bw(d) > A_{bw}$ 
  do
3   /* Find  $\hat{d} \in \hat{D}$  with maximum
   value of  $\sum_i S_i(D - \{\hat{d}\})$  */
4    $max := -1$ 
5   foreach  $d \in \hat{D}$  do
6      $sat := \sum_i S_i(D - \{d\})$ 
7     if  $max < sat$  then
8        $\hat{d} := d$ 
9      $max := sat$ 
10  endif
11 endfor
12  $D := \hat{D} - \{\hat{d}\}$ 
13 endwhile
15 return  $D$ 
16 end
```

ここで、 $S_i(D - \{d\})$ は、プロキシサーバの配信ビデオの集合が $D - \{d\}$ であった場合のユーザ u_i の品質達成度を表す。また、 D の初期値 D_0 は4.2節で述べた直接配信方式、画質変換方式、ハイブリッド配信方式の各方式でそれぞれ異なった集合となり、ユーザ要求より一意に決定する。初期集合の生成法については、後に詳しく述べる。

次にアルゴリズムの各ステップについて説明する。1行目からの第1ステップでは、配信集合 D に初期集合 D_0 を代入する。2行目のwhileからの第2ステップでは、現在の配信集合 D が無線帯域の制約を満たすかどうか調べ、もし満たしていなければ、集合 D から一つの要素 $d \in D$ を取り除く。要素 d を取り除いた集合 $D - \{d\}$

の品質達成度の合計を計算する。各要素について、それを取り除いて計算された品質達成度の合計を計算し、その値が最大となる時の要素 d を \hat{d} 、合計値を sat とする。最後に、 D から \hat{d} を取り除いた集合を新たな D とし、無線帯域の制約を満たすまで、第2ステップを繰り返す。

初期集合の生成 初期集合の生成法は、各配信方式によってそれぞれ異なる。直接配信方式の場合、各ユーザが要求した原子ビデオの集合を初期集合 D_0 とする。画質変換方式の場合、さらに各原子ビデオをプロキシで縮小したビデオすべての集合を加えたものを初期集合とする。ハイブリッド配信の場合、さらに、それぞれのユーザ要求に完全に適合するようにプロキシにおいて合成されたビデオすべてを加えたものを初期集合とする。

再計算時の初期集合の生成 ユーザが離脱する、レイアウトの変更を希望する、新たに参加するなどにより、プロキシでは配信ビデオ集合の再計算を定期的に行う必要がある。この際、レイアウトの変更を行わないユーザが大半の場合、最初から計算することは非効率である。

そこで提案方式では、再計算を行う場合、以前の計算結果を利用して初期集合を生成することとした。新規の要求を行っているユーザの集合 U_N のレイアウトより生成される合成ビデオの集合 CV_N 、前回の計算で求めた配信ビデオ集合 D より、再計算時の初期集合 $D_0 = \{D \cup CV_N\}$ とする。

6 性能評価

提案方式の有効性を検証するため、Zipf分布[11]に基づいたユーザのビデオ要求に対しての品質達成度をそれぞれの配信方式に対して調べた。また、提案方式の応答時間について調査するため、アルゴリズムの計算時間、ユーザが要求を出してからビデオストリームを再生するまでにかかる応答時間の計測、およびプロキシの計算処理能力の試算を行った。

6.1 品質達成度

提案方式とそのアルゴリズムによって配信されるビデオ集合を評価するために、ユーザの品質達成度をシミュレーションにより計測した。実験では視聴ビデオのチャンネル数を8、ユーザが指定可能なレイアウトを3種類(図2)、無線通信帯域の制約を20Mbps、レイアウト中の表示枠のビデオのサイズ、フレームレート、ビットレートは、大きな枠が 320×240 画素、24fps、500kbpsであり、小さな枠が 160×128 画素、24fps、350kbpsとした。また、ユーザ数は100から500まで変化させた。フレームドロップ率は予備実験により得られた値から近似した。ユーザが要求するビデオはZip分布に基づいて決定した。

実験には一般的な PC(CPU: Intel Core 2 Duo E6600 2.4GHz, メモリ: 2GB, OS: Linux 2.6.18) を用いた。

直接配信方式, 画質変換方式, ハイブリッド配信方式を適用した際に得られた全ユーザの品質達成度の和を比較した結果を図 5 に示す。

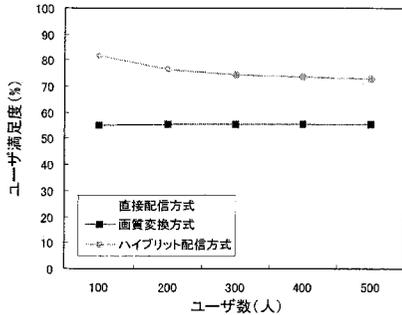


図 5: ビデオ配信方式の品質達成度の比較 (Zipf 分布)

図 5 より, 直接配信方式, 画質変換方式ともにユーザ数が増加していても品質達成度の値が変化していないことがわかる。これは, ユーザ数にかかわらず, これらの方式が利用可能帯域内で配信可能な全種類のビデオを配信しているためであると考えられる。一方で, ハイブリッド配信方式は, ユーザ数が少ないときに品質達成度の値が高い。これは各ユーザに対して, 希望に応じた合成ビデオを配信できたためであると考えられる。帯域の制約のため, ユーザ数が増加するにつれて品質達成度は悪化している。しかし, ハイブリッド配信方式は, どのユーザ数においても, 直接配信方式よりも 1.7 倍, 画質変換方式よりも 1.4 倍程度の品質達成度を達成している。これは, Zipf 分布においてはユーザ間で一致するレイアウトが多いため, その部分を合成したビデオを効率的に配信することにより端末で起こるフレームレートの低下を抑えることができているためだと考えられる。

6.2 アルゴリズムの計算時間

提案アルゴリズムの性能評価のために, ユーザ数に対するアルゴリズムの計算時間を計測した。実験には, 6.1 節と同様の環境およびパラメタを用いた。実験結果を図 6 に示す。

図 6 より, 提案アルゴリズムはユーザ数に応じて計算時間が増加するが, 500 ユーザまでなら 4 秒以内に計算結果を出せることが分かった。

次に, アルゴリズムの再計算方法を評価するため, 500 ユーザが存在する場合において, 30 秒毎に再計算を行った場合の計算時間および品質達成度を計測した。再計算は前回の計算結果を利用するため高速に解が得られるが, 一部ユーザの要求変更に応じて配信ビデオ集合を変更す

必要がある。ここでは, 30 秒おきに平均 $\lambda = 3.33$ のポアソン分布に従った数のユーザが要求を変更するものとした。実験結果を表 1 に示す。実験の結果, 2 回目以降における再計算においては, 初回と同等あるいはそれ以上の品質達成度の配信ビデオ集合を, 1/3 程度の時間で計算できることが分かった。

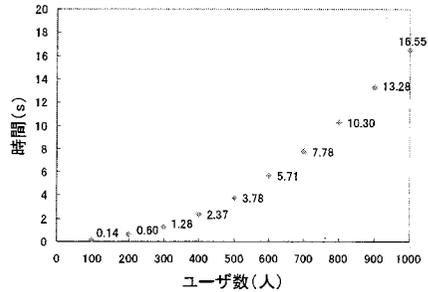


図 6: ユーザ数に対するアルゴリズムの計算時間

表 1: アルゴリズムの再計算時間 (ユーザ数 500, $\lambda = 3.33$)

再計算の回数	品質達成度 (%)	再計算時間 (s)
再計算前	72.9	4.75
1	77.1	1.63
2	75.6	1.58
3	75.5	1.65
4	74.9	1.93
5	73.5	1.75

6.3 プロトタイプの実装と評価

提案方式のプロトタイプを実装し, 実際の利用環境を想定し評価を行った。想定環境として, 無線 LAN, WiMAX, 両方のシステムで実装できるよう無線通信帯域を 20Mbps に設定した。また, アルゴリズムの計算時間より, ユーザ数を最大 500 として実験を行った。

6.3.1 プロキシの計算処理能力

システムを実装する上で, プロキシにおける計算処理能力を把握しておく必要がある。ビデオを合成したときのプロキシの処理時間が, ビデオの再生時間よりも下回っていればリアルタイムの合成が可能である。そこで, 6.1 節で用いた平均的な PC をサーバとして用いた場合, いくつかのビデオまでをリアルタイムに合成可能であるかを評価した。なお, 1 つの合成ビデオは, 320x240 画素, 24fps, 500Kbps, 30 秒のビデオと 160x120 画素, 24fps, 350Kbps, 30 秒のビデオから合成するものとした。実験結果は 10 試行の平均である。実験結果を表 2 に示す。

表 2 より, プロキシでビデオをリアルタイムに合成可

表 2: 合成ビデオを生成する際のプロキシでの処理速度

合成ビデオの数	26	27	28	29
処理速度 (s)	27.60	28.64	29.74	30.79

表 3: 要求から再生までの応答時間

ユーザ数 (人)	100	500	500(再 要求時)
(a) ビデオ処理時間 (s)	0.23	0.46	0.42
(b) アルゴリズム計算時間 (s)	0.13	3.78	1.28
(c) 通信時間 (s)	0.95	0.95	0.95
再生開始までの所要時間 (s)	1.31	5.19	2.65

能な数は、28 であることが確認できた。

6.3.2 ビデオストリーム再生の応答時間

ここでは、ユーザがビデオストリームを要求してから再生されるまでにかかる応答時間を評価するため、プロキシがユーザ要求を受信してから、ビデオストリームが配信されユーザ端末で再生されるまでの応答時間を、3 項目 ((a) プロキシでビデオの合成、トランスコードを行うための処理時間、(b) プロキシにおいて配信ビデオ集合を求めるのに必要な計算時間、(c) ユーザ端末からプロキシへの要求送信と、ビデオストリームが開始され受信されるまでにかかる通信時間) に分け測定した。実験環境およびパラメタは 6.1 節と同じものを用いた。ただし、ユーザ数は 100 もしくは 500 とし、500 の場合は再計算時の場合についても測定した。実験結果を表 3 に示す。

表 3 より、無線 AP にアクセスするユーザが 100 の場合、応答時間は 1.31 秒であることがわかる。また、ユーザが 500 の場合、応答時間は 5.19 秒と時間が多少かかるが、要求変更時にはアルゴリズムの計算時間が短縮されるため応答時間は 2.65 秒と最初の要求にかかる応答時間と比べ短くなる。現在、一般的に利用されているワンセグ対応の携帯電話端末において、チャンネル変更時にかかる時間は実測で約 3~6 秒である。提案方式におけるビデオ再生の応答時間は、ひとつの無線 AP にアクセスするユーザが 500 程度までの環境において、ワンセグと同等かあるいは早い応答時間でビデオ再生が可能であり、実用上問題ないことが確認できた。

7 おわりに

本稿では、複数ビデオの同時視聴を希望する携帯端末ユーザに対し、無線通信帯域の制約内で全ユーザの品質達成度の和をできるだけ大きくするようにビデオを合成し、配信することができる放送型のビデオ配信システムおよびヒューリスティックアルゴリズムを提案した。実験結果から、Zipf 分布に基づくユーザ要求に対して、提

案したハイブリッド配信方式が 70% の品質達成度を達成できること、また、ワンセグと同程度の応答時間を実現可能なことを確認した。

本稿では、ユーザ要求が Zipf 分布に従う場合を想定している。今後の課題として、他の分布に従う場合についての調査および対応、またユーザ端末が移動する場合のハンドオフへの対応が挙げられる。

参考文献

- [1] J. Liang, B. Yu, Z. Yang, and K. Nahrstedt, "A Framework for Future Internet-Based TV Broadcast," *Proc. of 2006 Workshop on IPTV and Emerging Applications over World Wide Web (WWW'06 Workshop)*, 2006.
- [2] B. Yu and K. Nahrstedt, "Internet-based Interactive HDTV," *ACM/Springer Multimedia Systems Journal*, Vol. 9, No. 5, pp.477-489 2004.
- [3] J. Jin and K. Nahrstedt, "Source-based qos service routing in distributed service networks," *Proc. of 2004 IEEE Int'l Conf. on Communications (ICC2004)*, pp.2036-2041, 2004.
- [4] S. Yamaoka, T. Sun, M. Tamai, M. Yasumoto, N. Shibata and M. Ito, "Resource-Aware Service Composition for Video Multicast to Heterogeneous Mobile Users," *Proc. of the 1st Int'l. Workshop on Multimedia Service Composition (MSC2005)*, pp.37-46, 2005
- [5] J. Liang and K. Nahrstedt, "Service Composition for Advanced Multimedia Applications," *Proc. of the 12th Multimedia Computing and Networking (MMCN05)*, 2005.
- [6] K. Nahrstedt, B. Yu, J. Liang and Y. Cui, "Hourglass Multimedia Content and Service Composition Framework for Smart Room Environments," *Elsevier J. on Pervasive and Mobile Computing*, Vol. 1, No. 1, pp.43-75, 2005.
- [7] D. Gibbon, L. Begeja, Z. Liu, B. Renger and B. Shahraray, "Multimedia Processing for Enhanced Information Delivery on Mobile Devices," *Proc. of the 2nd Workshop on Emerging Applications for Wireless and Mobile Access (MobEAII)(WWW'04 Workshop)*, 2004.
- [8] Y. F. Chen, H. H. Jana, R. John, S. Jora, S. Reibman and A. BinWei, "Personalized multimedia services using a mobile service platform," *Proc. of 2002 IEEE Wireless Communications and Networking Conference (WCNC2002)*, pp.917-924, 2002.
- [9] M. Reisslein, F. Hartanto, and K. W. Ross, "Interactive Video Streaming with Proxy Servers," *Proc. of 1st Int'l. Workshop on Intelligent Multimedia Computing and Networking (IMMCN2000)(JCIS2000 Workshop)*, pp.588-591, 2000.
- [10] M. Tamai, T. Sun, K. Yasumoto, N. Shibata, and M. Ito, "Energy-aware Video Streaming with QoS Control for Portable Computing Devices", *Proc. of The 14th ACM Int'l. Workshop on Network and Operating Systems Support for Digital Audio and Video (NOSSDAV2004)*, pp.68-73, 2004
- [11] L. Breslau, P. Cao, L. Fan, G. Phillips, and S. Shenker, "Web caching and zipf like distributions: Evidence and implications," *Proc. of the 25th Conf. on Computer Communications (INFOCOM1999)*, pp.126-134, 1999.