

場面の重要度に基づいて再生品質制御を行う 省電力ビデオストリーミングシステム

孫 敬[†] 玉井 森彦[†] 安本 慶一[†]
柴田 直樹^{††} 伊藤 実[†]

本論文では、携帯端末でのストリーミングビデオの再生において、バッテリー残量、希望再生時間および場面ごとの重要度を考慮し再生品質の制御を行う方式を提案する。提案方式では、ビデオコンテンツを構成するビデオセグメントは、いくつかのカテゴリに分類されており、その情報が MPEG-7 などの言語で記述されていると仮定する。ユーザは、カテゴリ間での再生品質に対する相対的な重要度、および、各カテゴリに対する、画面表示の滑らかさ、鮮明さ、音の各項目の相対的な重要度を指定する。以上の情報から、バッテリー残量の範囲内で希望再生時間を満足するための各カテゴリの再生品質を、与えられた重要度に従い決定する。提案方式に基づき、サーバからのビデオストリームを任意のパラメータ値を持つビデオストリームに実時間変換するトランスコーダと携帯端末上で実行可能なプレイヤーからなるシステムを実装した。提案方式により、重要度の高いセグメントの再生品質を、重要度の値に従い、品質一定とした場合の品質に比べ最大 2 倍程度まで向上でき、実際のビデオを用いた実験においても、希望再生時間と実際に再生可能であった時間が 6% 以内に収まる誤差で制御できることを確認した。

Energy-aware Video Streaming System with QoS Adaptation Based on Inter-segment Importance

TAO SUN,[†] MORIHIKO TAMAI,[†] KEIICHI YASUMOTO,[†]
NAOKI SHIBATA^{††} and MINORU ITO[†]

In this paper, we propose a QoS adaptation method for streaming video playback for portable computing devices where playback quality of each video fragment is automatically adjusted from the remaining battery amount, desirable playback duration and the user's preference to each fragment. In our method, we assume that video segments (or shots) are classified into some predefined categories. Each user specifies relative importance among categories and preferred video property such as motion speed and vividness for each category. From the information, playback quality and property of each category are determined so that the video playback can last for the specified duration within the battery amount. We have implemented a video streaming system consisting of a transcoder for PCs and a video player for portable computing devices. Experimental results show that playback quality of important categories can be improved a few times better than flattening the playback quality and that the prediction error of playback duration is within 6%.

1. はじめに

1.1 背景と概要

近年、CATV、衛星などによるデジタル放送の普及により、視聴可能なビデオコンテンツは増加・多様化の一途をたどっている。また、DVD レコーダや大容量

ハードディスクレコーダが急速に普及しつつある。録画したビデオを MPEG-4 などの形式にトランスコードし、インターネットを介してユーザ端末に配信できる製品や、メモ리카ードに記録できる製品が販売されるようになり、これらの機器を用いることで、無線 LAN ホットスポットや 3G 携帯電話を用いて、録りためたビデオを、PDA、携帯電話、ノート PC などの携帯端末を用いて出先で再生することが可能になった。

携帯端末においてビデオの再生を行う際に問題となるのはバッテリーの持続時間である。ニュースやサッカーの試合など、あらかじめ視聴したい時間が決まっ

[†] 奈良先端科学技術大学院大学情報科学研究科
Graduate School of Information Science, Nara Institute
of Science and Technology

^{††} 滋賀大学経済学部情報管理学科

Faculty of Economics, Shiga University

ている場合は、バッテリー残量の範囲内で希望した時間、再生できることが望ましい。またこのとき、ビデオのすべてを同じ品質で再生するのではなく、ユーザ（視聴者）にとって重要度の高い部分は他より高品質で再生できることが望ましい。また、再生品質として、動きの滑らかさと画像の鮮明さのどちらを重要視するかや、画像と音のどちらを重要視するか、などは個別に指定できることが望ましい。

本論文では、携帯端末での無線 LAN を経由するストリーミングビデオの再生において、バッテリー残量およびユーザが希望する希望再生時間の制約を満たし、かつ、あらかじめビデオの各セグメントに対応付けられたカテゴリと、各カテゴリに対しユーザが指定した重要度に基づいて、動的にビデオの再生品質を制御する方式を提案する。

提案方式では、ビデオにおけるビデオセグメント（カットに相当）はあらかじめいくつかのカテゴリ（たとえば、サッカーの試合では、通常のプレイ、シュート場面、セットプレイ、観客の状況、その他、など）に分類されていると仮定する。カテゴリの情報は、MPEG-7 Annotation Tool⁴⁾ などを使って、MPEG-7 形式のメタ情報（XML ファイル）として記述することが可能である。文献 5) で提案されているツールを使って自動生成した MPEG-7 メタ情報を対象としてもよい。次に、カテゴリ間で再生品質に差をつけるため、ユーザは、各カテゴリの再生品質に対し重要度を指定する。また、各カテゴリのビデオの内容は特徴が異なるので、ユーザは指定したカテゴリのビデオセグメントを再生する際の、滑らかさ、鮮明さ、音の各項目について相対的な重要度の比を指定する。

以上の情報から、バッテリー残量の範囲内で希望再生時間を満足するための各カテゴリの再生品質を、与えられた重要度に従い決定する。我々は、文献 8), 9) で、PDA およびノート PC を対象にバッテリー残量の範囲内で希望再生時間を満たすためのビデオのパラメータ値を決定するアルゴリズムを提案している。本論文では、このアルゴリズムを拡張し、カテゴリ間の重みづけに従ってバッテリー残量の各カテゴリへの配分を行い、配分されたバッテリー量の範囲内で、ユーザの指定した重要度に応じたビデオパラメータ値を決定する。また、無線通信を行う携帯端末では、利用可能帯域の制限により、バッテリー量が十分であるにもかかわらず、高品質でのビデオの再生ができない場合がある。そこで、高品質での再生が指定された各セグメントのビデオデータを、そのセグメントが始まる前に先送りし、携帯端末側でバッファリングしておくことで、利用可

能なネットワーク帯域よりも大きなビットレートを持つビデオの再生を可能にする方法を提案する。

提案方式に基づき、サーバからのビデオストリームを任意のパラメータ値を持つビデオストリームに実時間変換するトランスコードと携帯端末で実行可能なプレイヤーから構成されるシステムを実装した。提案システムにより、重要度の高い場面の時間的な割合が 30% 程度以内のとき、重要度の高いセグメントの再生品質を品質一定とした場合に比べ大幅に向上できること、動的な再生品質制御を行っても、希望再生時間と実際に再生可能であった時間の差が 6% 以内に制御可能なことなどを確認した。

以下、2 章では、MPEG-7 によるメタ情報の記述方法および、カテゴリ間の重要度、カテゴリ内での各項目の重要度の指定方法について述べる。3 章では、指定した時間再生するための、ビデオパラメータ値の決定方法について述べる。4 章では、利用可能帯域が小さいときの対処方法について述べる。5 章では、システムの実装について述べ、6 章では、実験結果と評価について述べる。

1.2 関連研究

携帯端末へのビデオのストリーミングでは、利用可能帯域や端末の画面サイズ・処理能力などに応じて、フレームレート、画像サイズ、ビットレートをより小さいビデオへトランスコードする QoS アダプテーションが用いられる。

近年、ビデオの各断片の内容や意味に従い適切にトランスコードを行うことで、携帯端末でのビデオ再生の効率化を図ろうとするセマンティックトランスコーディングが注目を集めている^{1),3)}。

従来の、画面サイズなどを小さくするトランスコードでは、画面中のオブジェクト（サッカーにおける選手など）のサイズが小さくなりすぎて明瞭に見えなくなるなどの問題があった。そこで、文献 3) では、MPEG-21 DIA framework を用いて、画面の中の注目したいエリアを指定、トリミングし、表示することで画面サイズの小さな携帯端末でも明瞭に見られるようにする方法を提案している。一方、文献 1) では、ビデオを前景オブジェクト群と背景オブジェクト群のように別々のクラスに分け、ユーザにとって重要なクラスはオブジェクトの品質を保ち、重要でないクラスはオブジェクトの品質を下げることで、携帯端末へのストリーミングの制約を満たそうとする方法が提案されている。

これらの研究は、どれも、画面サイズやビットレートの制約を満たすための方法を提案しているものであ

り、バッテリーの持続時間に対する制約を満たす方法は提案されていない。これに対し、提案手法は、ビデオの内容に従って、重要な部分の再生品質を高く保ち、そうでない部分の品質を下げることでバッテリーの制約を満たそうとしている点で従来方式と異なる。

2. メタ情報の記述

MPEG-7 は ISO/IEC JTC1 SC29/WG11 において策定されたマルチメディア・コンテンツに対するメタデータの表記方法に関する国際標準規格である⁷⁾。MPEG1, 2, 4 などのビデオコンテンツの検索の際に直接の検索対象となる「特徴データ」を表現するための規格である。MPEG-7 では、メタデータは XML を用いて表現される。

2.1 特徴データの指定

特徴データの抽出と対応する MPEG-7 ファイルの生成は、将来的には、自動化、あるいは、コンテンツプロバイダが作成し、ユーザに提供されるものと思われる。ここでは、特徴データを指定した MPEG-7 ファイルを半自動ツールを用いて作成する方法について述べる。以下、特徴データをカテゴリと呼び、カテゴリの集合を $C = \{c_1, \dots, c_n\}$ と表記する。ここで、各カテゴリ c_i は文字列で指定する。たとえば、サッカーの試合を対象とする場合、シュート場面、通常プレイ、観客席の状況、その他を表すカテゴリ集合として $C = \{shoot, play, audience, other\}$ と指定することが考えられる。ビデオでの同一カメラワークで撮影された連続する一場面のことをカットと呼ぶ。ここでは、カットごとに、カテゴリ $c \in C$ を指定するものとする。

一般に、MPEG ビデオは、カットを構成する GOP (Group of Pictures) の列に対する境界情報は入っていない。VideoAnnEx (IBM MPEG-7 Annotation Tool)⁴⁾ は、MPEG1 ファイルを読み込み、カットの境界を自動的に判別し、ビデオセグメントとして区切る機能を持つ。また、本ツールを用いて、ビデオセグメントごとに、文字列により注釈をつけ、以下のような MPEG-7 ファイルとして出力することができる。

```
<VideoSegment>
  <TextAnnotation>
    <FreeTextAnnotation> shoot
  </FreeTextAnnotation>
</TextAnnotation>
<MediaTime>
  <MediaTimePoint> T00:00:00:0F25
</MediaTimePoint>
  <MediaIncrDuration mediaTimeUnit
    ="PT1N25F"> 78
```

```
</MediaIncrDuration>
</MediaTime>
</VideoSegment>
```

上記では、<textannotation>により、shoot という文字列がカテゴリとして指定されている。また、<mediatime>により、当該ビデオセグメントの再生開始時間(先頭からの相対時間)およびビデオセグメントの長さを指定している。T00:00:00:0F25 は、本セグメントが先頭から 0 時間 0 分 0 秒 + 0/25 秒の位置にあることを示しており、PT1N25F, 78 は、1 フレームの表示時間が 1/25 秒であること、ビデオセグメントの長さが 78 フレーム分、すなわち、 $78 \times 1/25$ 秒 = 1.95 秒であることを指定している。カットにカテゴリ情報を付加するため、VideoAnnEx を用いる以外に、文献 5) などの自動注釈付加ツールを用いたり、直接 MPEG-7 ファイルを記述したりすることもできる。

2.2 重要度の指定

2.2.1 カテゴリ間の重要度の指定

提案手法では、与えられたビデオコンテンツに対し、カテゴリ間の相対的な重要度を指定することで、特定のカテゴリの再生品質を他のカテゴリに比べ向上させることができる。カテゴリ $c_i \in C$ に対する重要度を p_i と表記する。 p_i は 1 以上の整数値であり、値が大きいほど、そのカテゴリの再生に使用される電力量が、他のカテゴリに比べて多く割り当てられる。重要度に基づいた、各カテゴリへの具体的な電力量の配分方法については 3 章で述べる。

たとえば、サッカーの試合で、各カテゴリが $C = \{shoot, play, audience, other\}$ である場合、各カテゴリの重要度を $p_{shoot} = 4, p_{play} = 2, p_{audience} = p_{other} = 1$ と指定するならば、重要度の高いカテゴリ (shoot) から順により多くの電力量が割り当てられ、結果として、重要度の高いカテゴリは重要度の低いカテゴリ (play, audience, other) に比べ、高い品質で再生される。

2.2.2 カテゴリ内の重要度の指定

各カテゴリの再生品質は、そのカテゴリに割り当てられた電力量に基づいて決定されるが、同じ電力量でも、どのような特性(動画の滑らかさ、鮮明度など)を優先するかによって、異なった品質が存在する。一方ユーザの観点からは、各カテゴリに対してどのような特性を優先するかを指定できると便利である。そこで各カテゴリごとに滑らかさ、鮮明度などの特性間の相対的な重要度を指定できるようにすることで、ユーザが各カテゴリの再生品質を制御できるようにする。

本論文では、再生品質の特性として、滑らかさ、鮮

明度、音の3つを考える。ユーザは、カテゴリごとに、各特性間の重要度を1以上の整数値で設定する。カテゴリ c_i に対するこれらの重要度をそれぞれ、 spd_i , vid_i , snd_i と表記する。

たとえばサッカーを例とし、音はすべてのカテゴリであまり重要でなく、カテゴリ *shoot* では、滑らかさ、鮮明さともに重要、*play* では、滑らかさのみが若干重要、*audience*, *other* では、鮮明さのみが若干重要であるとした場合には、カテゴリ内の重要度を以下の表のように設定する。

category	importance	spd	vid	snd
<i>shoot</i>	4	3	3	1
<i>play</i>	2	2	1	1
<i>audience</i>	1	1	2	1
<i>other</i>	1	1	2	1

3. ビデオパラメータ決定アルゴリズム

3.1 各カテゴリの再生に割り当てる電力の決定

携帯端末のバッテリー残量を E_0 とする。ビデオの再生時間を T とする。ビデオを再生しないとき（何もしていないときの、OSの稼働やバックライトの点灯などにかかる消費電力）の携帯端末の消費電力を w_0 とする。以上より、長さ T のビデオの再生に使えるバッテリー量は $E = E_0 - w_0T$ と表せる。 w_0 は、バッテリーフル充電の状態から何もせず放置した場合に、バッテリーが尽きるまでの時間 T_0 を計測することで、 $w_0 = E_0/T_0$ として求めることができる。

各カテゴリ $c_i \in C$ について重要度と再生時間の積をそのカテゴリの仮想再生時間と呼び、 T'_i で表す。 $T'_i = p_i T_i$ である。すべてのカテゴリに対する仮想再生時間の和を T' と表記する。今、 $T' = \sum_{c_i \in C} T'_i = \sum_{c_i \in C} p_i T_i$ である。

提案方式では、各カテゴリ c_i の仮想再生時間 T'_i の総仮想再生時間 T' に対する割合に応じて、バッテリー量 E を配分することとする。カテゴリ c_i に配分されるバッテリー量は、 $E_i = ET'_i/T'$ で表される。

携帯端末で再生可能な最高の品質のビデオ（これ以上の品質では、画面に収まらない、またはコマ落ちするなど）および最低の品質のビデオ（これ以下の品質では、小さすぎて意味がないなど）の特性をそれぞれ、 $v_{max} = (r_{max}, f_{max}, b_{max})$, $v_{min} = (r_{min}, f_{min}, b_{min})$ とする。ここで、 r, f, b は、そ

れぞれ、画像サイズ（画素数）、フレームレート、ビットレートを表すものとする。

我々の提案では、ビデオの再生電力 w は、動画パラメータ値が (r, f, b) である動画の再生によって消費される電力を考える。ここで、画像サイズ、フレームレート、ビットレートがそれぞれ r, f, b である動画（MPEG-1で符号化されているものとする）の再生によって消費される電力 w を考える。MPEG-1フォーマットの動画を再生するのに必要な処理は、動画のデコード処理と表示処理に分類できる。デコードに必要な処理はさらに可変長復号、逆量子化、逆離散コサイン変換に分類できる。可変長復号に必要な電力はビットレートに比例し、逆量子化、逆離散コサイン変換に必要な電力は画素数に比例する。また、表示処理におけるビデオデバイスへの書き込み、描画に必要な電力は画素数に比例する。以上より、 w は、 α, β を定数として次の式で表される：

$$w = \alpha r f + \beta b \quad (1)$$

実際の値は、異なった品質 $\{(r_1, f_1, b_1) \dots (r_n, f_n, b_n)\}$ を持つ n 個の動画に対して、バッテリー量 E_0 を使い果たすまでの時間 t_{vi} を測定して得られる n 個の方程式 $(w_0 + \alpha r_i f_i + \beta b_i) = E_0/t_{vi}$ ($i = 1, 2, \dots, n$) から重回帰分析によって求められる。PDAおよびノートPCを用いた実験により、最大6%程度の誤差でバッテリー持続時間を予測できることを確認している⁹⁾。

これより、 $E_i > (\alpha r_{max} f_{max} + \beta b_{max}) T_i$ ($\stackrel{def}{=} E_{max}$) の場合は、 E_i は供給過剰であり、 $E_i < (\alpha r_{min} f_{min} + \beta b_{min}) T_i$ ($\stackrel{def}{=} E_{min}$) の場合は、 E_i が不足していることが分かる。上記にあてはまる場合は、 $E_i = E_{max}$ あるいは $E_i = E_{min}$ に固定し、 $E - E_{max}$ を新たな E とし、 $C - \{c_i\}$ を新たな C として、上記のアルゴリズムを再帰的に適用することでバッテリー量の再配分を行う。以上より、各カテゴリ c_i の再生に使用可能なバッテリー量 E_i を定数として求められる。

3.2 各カテゴリの再生特性の決定

カテゴリ c_i を再生するための電力 $w_i = E_i/T_i$ および、 c_i に対する再生特性に対する重要度 (spd_i, vid_i, snd_i) をもとに、画像サイズ r_i 、フレームレート f_i 、ビットレート b_i を決定する。ここで、動きの滑らかさ spd_i はフレームレートに、鮮明さ vid_i は、画像サイズに影響を与えると考えられるため、 f_i と r_i の比は、 spd_i と vid_i の比に設定する。

また、次の仮定が成り立つとする：フレームレート（画像サイズ r ）が一定のもとで画像サイズ（フレームレート f ）を変化させたとき、変換前と同程度の量子化ノイズを維持するのに必要なビットレートは、画

ただし、OSがバッテリー残量に応じた省電力制御を行わず、LCDバックライトの輝度、CPUの動作速度などはつねに同じであると仮定する。

像サイズ（フレームレート）の一次式で近似できる．

この仮定により，以下の式を用いてビットレートを算出することで，量子化ノイズを目立たなくできることを実験により確認している⁹⁾．

$$b = c_0 r f + c_1 r + c_2 f + c_3 \quad (2)$$

ここで， c_0 ， c_1 ， c_2 と c_3 は定数である．なお，簡単のため，以下 $snd_i = 0$ の場合について考える．

式 (1) より，画像サイズ，フレームレート，ビットレート (r, f, b) が，長さ T のビデオの再生に必要なバッテリー量は， $E = (\alpha r f + \beta b) T$ で表せる．今 $E_i = (\alpha r_i f_i + \beta b_i) T_i$ となる再生特性 (r_i, f_i, b_i) を求めたい．送信元（ビデオ配信サーバ）におけるビデオの特性 (r_0, f_0, b_0) を基準とし，これへの割合の比をもとに新しいビデオの特性を計算することとする．

すなわち，

$$\frac{r_i}{r_0} : \frac{f_i}{f_0} = vid_i : spd_i \quad (3)$$

とする．この式により，たとえば， $vid_i : spd_i = 1 : 2$ ， $r_i/r_0 = 1/3$ の場合，画像サイズ，フレームレートがそれぞれ $1/3$ ， $2/3$ に削減されることとなる．

また，カテゴリ内の重要度が指定されていない場合は，既定値として $vid_i : spd_i = 1 : 1$ を使用する．このとき，ビデオの品質 Q を定量値として次のように定義する： $Q = r_i/r_0 = f_i/f_0$ ．6章ではこの定義に従い，カテゴリ間重要度を設定した場合の各カテゴリの品質向上率を示す．

式 (2) と式 (3) を使うと， b と f は r の関数で表せる．上記の再生に必要なバッテリー量を式 (1) に代入すると， r_i に関する 2 次方程式が得られ，解の公式などを使って， r_i の値を求めることができる．

3.3 無線 LAN を用いたストリーミング再生の場合

無線 LAN によるストリーミング再生では，無線 LAN カードによる消費電力も考慮する必要がある．

無線 LAN の規格として，IEEE802.11b の使用を仮定する．無線通信によって消費される電力に関して，IEEE802.11b 規格の無線 LAN I/F カード（以下，WNIC と呼ぶ）を用いて予備実験を行った結果，WNIC によって消費される電力および，パケット処理によって消費される電力 $w_N(b)$ は，平均伝送速度 b の一次式で表されることが分かった⁹⁾．

$$w_N(b) = \gamma + \delta b \quad (4)$$

ここで， γ ， δ は，それぞれ，無線 LAN カードでビットレートに関係なく消費される電力，ビットレートに比例して消費される電力の増加分を表す端末依存定数である．これらの定数の実際の値は，異なった伝送速度 B_i ($i = 1, 2, \dots, m$) に対して，特定のバッテリー量

E_0 を使い果たすまでの時間 t_{ni} を測定して得られる m 個の方程式 ($w_0 + \gamma + \delta b_i$) = E_0/t_{ni} から求めることができる^{8),9)}．

このため，利用可能帯域に余裕がある場合に，ビットレートが b の動画のデータを一定の大きさ M ビットに区切り，各断片を b より大きな伝送速度 B でバルク転送し（バルク転送の周期は M/b になる），携帯端末ではバッファリングしたデータから再生を行わせ，余裕のできた時間の間，無線 LAN カードへの給電を停止することで大幅な省電力化ができる^{8),9)}．本方式を以後バッファリング再生と呼ぶ．バッファリング再生では， $k (= B/b)$ 倍の伝送速度でデータを送信すると， $1/k$ の時間で受信が完了することになるので， k の値を大きくできれば，理想的には，ほとんどの時間 ($(k-1)/k$ の間)，無線 LAN カードへの給電をストップできる．実際には，無線 LAN カードのオン・オフにはある程度の時間 ($t_{on/off}$ とする) が必要であり，この間，無線 LAN カードではある程度の電力 (τ とする) が消費される．

カテゴリ c_i のビデオセグメント数を seg_i とする． c_i の総ビット数は $b_i T_i$ であるが，各ビデオセグメントにおいて M ビットずつバルク転送するので，通信回数は最悪の場合（全セグメントで，データ量を M で割ったときに少しだけ余りができる場合）， $\frac{b_i T_i}{M} + seg_i$ となる．実際には， $+seg_i$ の部分は無視できる．

以上より，カテゴリ c_i のビデオを無線 LAN でバッファリング再生する場合に消費されるバッテリー量 E_i は，以下のように表せる．

$$E_i = (\alpha r_i f_i + \beta b_i) T_i + (\gamma + \delta B) \frac{b_i T_i}{B} + \frac{b_i T_i}{M} \tau t_{on/off} \quad (5)$$

式 (2)，(3) を使って， r_i の式に変形すると，

$$f_i = \frac{f_0}{r_0} \frac{spd_i}{vid_i} r_i \quad (6)$$

$$b_i = c_0 \frac{f_0 spd_i}{r_0 vid_i} r_i^2 + c_1 r_i + c_2 \frac{f_0 spd_i}{r_0 vid_i} r_i + c_3 \quad (7)$$

となり， f_i と b_i を式 (5) に代入すると

$$E_i = \alpha \frac{f_0 spd_i}{r_0 vid_i} r_i^2 + \beta \left(c_0 \frac{f_0 spd_i}{r_0 vid_i} r_i^2 + c_1 r_i + c_2 \frac{f_0 spd_i}{r_0 vid_i} r_i + c_3 \right) T_i + (\gamma + \delta B) \left(c_0 \frac{f_0 spd_i}{r_0 vid_i} r_i^2 + c_1 r_i + c_2 \frac{f_0 spd_i}{r_0 vid_i} r_i + c_3 \right) \frac{T_i}{B} + \frac{T_i}{M} \left(c_0 \frac{f_0 spd_i}{r_0 vid_i} r_i^2 + c_1 r_i \right)$$

$$+ c_2 \frac{f_0 \text{spd}_i}{r_0 \text{vid}_i} r_i + c_3) \tau t_{on/off} \quad (8)$$

となる。

ここで、 c_0, c_1, c_2, c_3 は定数値、 $\alpha, \beta, \gamma, \delta, t_{on/off}, \tau, B, M$ は端末固有の定数値であるため既知である。また、 r_0, f_0 は動画配信サーバからのビデオの特性値であるため既知である。また、 $E_i, T_i, \text{vid}_i, \text{spd}_i$ はユーザからの入力により既知となる。以上より、式(8)は r_i に関する2次方程式となるため、解の公式などを使って r_i の値を求めることができる。さらに、求めた r_i を式(6),(7)に代入することで f_i, b_i の値を求めることができる。

以上により、 r_i, f_i, b_i の値を定数として求めることができる。ここで、 r_i, f_i, b_i のいずれかが、携帯端末で扱える最高の値を超えてしまう場合、たとえば、 r_i が端末の画面サイズ r_{max} を超えた場合には、 $w_i = \alpha r_{max} f_i + \beta b_i$ とし、上記の方法により、 f_i, b_i を再計算する。最低の値を下回った場合も、同様の方法で、パラメータを最低値に固定し、再計算を行う。

4. 利用可能帯域が小さい時の品質改善法

携帯端末では、利用可能帯域 b_{max} の制限により、バッテリー量が十分であるにもかかわらず、高品質でのビデオの再生が困難となる状況がある。

本章では、ビデオ再生開始前にデータを受信およびバッファリングし、再生開始後に受信したデータと合わせてビデオを再生することより、一部のビデオセグメントについて、利用可能帯域よりも高いビットレートでの再生を可能とする方法について述べる。この方法においてはバッファ量の上限はないと仮定する。したがって、WNICはデータを帯域 b_{max} で継続的に送信する(WNICのON, OFFは考慮しなくてよい)。また、指定された量のバッテリーを使いきるよう動画パラメータを調整する。

ビデオが v_1, \dots, v_m の m 個のセグメントから構成されており、各セグメントの重要度が p_i 、長さが T_i であるとすると、 P_{min} は重要度が最低のカテゴリのビデオを再生するときの消費電力を示す。 D は開始遅延時間を示す。 $w_\gamma(b)$ は帯域 b で通信するときの消費電力を示す。このとき、次の式が成立する。

$$E_0 - w_0 \cdot (D + \sum_{i=1}^m T_i) - D \cdot w_\gamma(b_{max}) \\ = \sum_{i=1}^m P_{min} \cdot p_i \cdot T_i \quad (9)$$

P_{min} の値が定まったら、各セグメントで使用可能

表1 データの先送りをを用いた場合の有効ビットレートの増加
Table 1 Quality improvement when using bitrate extension algorithm.

video			Exp1	Exp2
segment	duration	priority	bit rate	bit rate
(No.)	(sec)		(Kbps)	(Kbps)
1	217	1	210	338.4
2	136	2	369.8	384
3	231	4	655.3	384
4	132	2	369.8	384
5	530	1	210	338.4
6	276	1	210	338.4
7	232	2	369.8	384
8	138	4	655.3	384
9	408	2	369.8	384

な電力が決まり、3.2節のアルゴリズムによって、各セグメントに対する r_i, f_i, b_i の値が計算できる。また、 r_i, f_i, b_i の値から、次の式より、開始遅延時間 D も計算できる。

$$D = \text{Max} \left(\sum_{j=1}^{i-1} b_j \cdot T_j / b_{max} - \sum_{j=1}^{i-1} T_j \right), \\ i = 2, \dots, n+1 \quad (10)$$

したがって、 D は P_{min} の関数で表せる(詳細な式は複雑なため省略する)。上記より、式(9)は P_{min} の方程式となり、ニュートン法などを使って、 P_{min} の値を求めることができる。提案した手法の有効性を検証するため、表1に示すように、それぞれ重要度を指定した9つのセグメントからなるビデオ(640×480, 1,150 Kbps, 2,300s)に対し式(6),(7)を用いて理論値、増加したビットレートを表1のExp1に示す。なお、再生開始遅延時間 D は59秒となった。比較のため、本アルゴリズムを適用しない場合の計算結果を表1のExp2に示す。

なお、 b_{max} として384kbpsを設定した。表1の結果から、ある一定の遅延(59sec)を許される場合に、重要度が高いセグメント(No.3, No.8)のビットレートを大幅に増加可能であることが分かる。

5. システム

ストリーミングシステムを図1に示すように、動画プレイヤーとトランスコードブロックで実現した。トランスコードブロックは動画配信サーバ上あるいはネットワーク上の中間ノードで動作させることを想定している。ユーザは、見たい動画の保存場所と再生希望時間、2章で述べたカテゴリごとの重要度、再生時間、再生特性の優先度 $\{\langle c_1, T_1, p_1 \rangle, \dots, \langle c_n, T_n, p_n \rangle\}$ を入力としてトランスコードブロックに与える。また、端

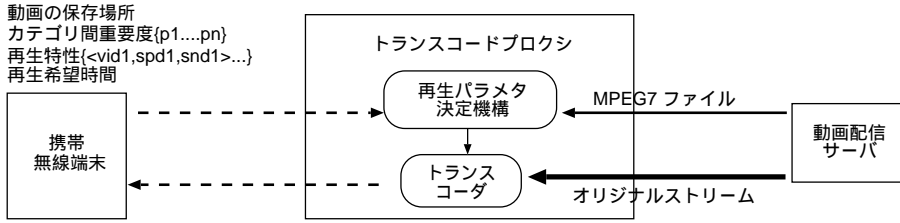


図 1 省電力ビデオストリーミングシステム
Fig. 1 Energy-aware streaming system.

末情報がトランスコードプロキシに送信される。これらの情報から、トランスコードプロキシは、動画配信サーバからのオリジナルストリームを 3 章で述べた方法で計算した品質および特性を持つストリームへとトランスコードし、携帯端末に中継する。

動画プレイヤーは、Berkeley MPEG Player¹⁰⁾ を利用し、ノート PC および PDA 用に実装した。トランスコードプロキシには、3 章のアルゴリズムと、MPEG-1 ストリームのトランスコード機能を実装した。トランスコード機能は、MJPEG Tools⁶⁾ を使用し実現した。任意に設定した画像サイズ、フレームレート、ビットレートを持つ MPEG-1 ストリームに変換可能である。

6. 実験と評価

6.1 カテゴリ間の重要度を考慮した場合のビデオの品質

3 章のアルゴリズムと、2 章で与えたビデオのカテゴリ間の重要度により、重要度の高いカテゴリに属するビデオの品質がどれだけ向上し、重要度の低いカテゴリの品質がどれだけ劣化するかを調べた。ここで、1,800 秒のビデオをノート PC 上で再生することとし、 $(r_0, f_0, b_0) = (320 \times 240, 29.7, 500 \text{ Kbps})$ であるビデオを変換前の元ビデオとして用いた。また、ノート PC の 30% のバッテリー (満充電から残量 70% となるまで) をバッテリー残量 E_0 とした。

ここでは、ビデオを重要度が高いカテゴリ c_1 と低いカテゴリ c_2 の 2 つに分け、 c_1 の再生時間 T_1 の総再生時間 T に対する比率を $R (0.1 \leq R \leq 0.3)$ で表す。また、カテゴリ内の重要度を $spd_i : vid_i = 1 : 1$ に設定し、 p_1 の p_2 に対する比率 p_1/p_2 を $M (1 \leq M \leq 4)$ と定義する。ここで M は、ユーザが c_1 の重要度を c_2 に対し、どの程度大きく設定したかを表す値であり、たとえば $M = 2$ のとき、 p_1 は p_2 の 2 倍の値に設定されていることを表している。 R と M の 2 つのパラメータの値を変化させ (R は 0.1 きざみ、 M は 0.5 きざみ)、 c_1 と c_2 の再生品質の変化を数値実験によって調べた。グラフ化したものを図 2 に示す。こ

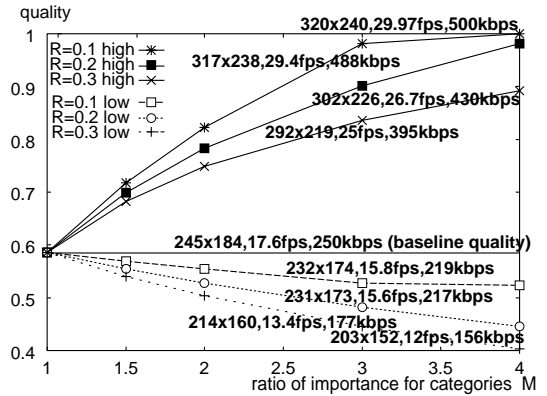


図 2 重要カテゴリでの再生品質向上度
Fig. 2 Quality improvement.

こで、図の x 軸と y 軸はそれぞれカテゴリ間の重要度の倍率 M と品質 Q である (Q の定義は 3.2 節を参照)。また、カテゴリ間の重要度を指定しない場合 $p_1 = p_2$ の場合、すなわちビデオを一定の品質で再生する場合には、 $r_i/r_0 = 0.58$ である。

図 2 より、 R の値が 0.2 以下、すなわち重要度の高いカテゴリの再生時間の割合が 0.2 以下であれば、重要度の低いカテゴリの再生品質をそれほど落とすことなく、重要度の高いカテゴリの品質を大幅に向上させることができることが分かる (図 2 の $R = 0.2 \text{ high, low}$ の線を参照)。また、重要度の高いカテゴリの再生時間の割合が比較的高い場合 (R が 0.3 程度) でも、重要度の倍率 M を 2 倍以内に抑えることで、重要度の低いカテゴリの再生品質の劣化は 2 割以内に抑えることができる (図 2 の $R = 0.3 \text{ high, low}$ の線を参照)。

6.2 カテゴリ内の重要度を考慮した場合のビデオの品質

提案手法では、カテゴリごとに再生品質を変化させるうえで、カテゴリの再生特性をも変化させることが可能である。そこで、表 2 に示す 3 種類の設定 $pref2, pref3, pref4$ を用いて、3 章のアルゴリズムに従い、数値実験によって再生品質を算出した。表 2 より、カ

表 3 パラメータと得られた再生品質
Table 3 Preferences and playback qualities.

セグメント (No.)	時間 (sec)	重要度	再生特性 鮮明さ：滑らかさ	画面サイズ (pixel)	フレームレート (fps)	ビットレート (Kbps)
1	188	1	2 : 1	183 × 137	4.9	58
2	176	2	1 : 1	181 × 136	9.6	117.3
3	222	4	2 : 1	291 × 219	12.4	199.9
4	181	2	2 : 1	231 × 174	7.8	108.7
5	160	1	2 : 1	183 × 137	4.8	58
6	286	1	1 : 2	138 × 104	11.2	125.6
7	131	2	1 : 2	106 × 79	6.6	65.5
8	160	4	1 : 2	180 × 135	19.0	235.8
9	296	2	2 : 1	181 × 136	9.6	117.3

表 2 異なる再生特性の比に対する動画の再生品質
Table 2 Playback qualities with property.

	cat. (T_i, p_i, spd_i, vid_i)	(r, f, b)
pref1	c_1 (678, 1, 1, 1)	(245 × 184, 17.60, 250 K)
	c_2 (662, 1, 1, 1)	(245 × 184, 17.60, 250 K)
	c_3 (460, 1, 1, 1)	(245 × 184, 17.60, 250 K)
pref2	c_1 (678, 1, 1, 1)	(196 × 147, 11.26, 143 K)
	c_2 (662, 2, 1, 1)	(240 × 180, 16.91, 238 K)
	c_3 (460, 4, 1, 1)	(293 × 219, 25.06, 395 K)
pref3	c_1 (678, 1, 1, 1)	(196 × 147, 11.26, 143 K)
	c_2 (662, 2, 1, 2)	(292 × 219, 12.47, 201 K)
	c_3 (460, 4, 2, 3)	(320 × 240, 21.61, 365 K)
pref4	c_1 (678, 1, 1, 1)	(196 × 147, 11.26, 143 K)
	c_2 (662, 2, 2, 1)	(196 × 147, 22.48, 288 K)
	c_3 (460, 4, 3, 2)	(261 × 196, 29.97, 439 K)

カテゴリ内の重要度の比を指定することにより、ユーザの好みも反映されていることが分かる。たとえば、カテゴリ間の重要度として同じ 2 が指定された c_2 について考えると、 $pref4$ (spd_i と vid_i の比が 2 : 1) は $pref3$ (比が 1 : 1) に比べ、フレームレートが増え、画像サイズが小さくなっている。

6.3 希望再生時間と再生可能時間のずれ

再生可能時間の予測精度を確認するため、ここで、表 2 に示す 4 種類の設定 $pref1 \sim 4$ を用いて算出したカテゴリごとの再生品質で実際にビデオを再生し、どれだけの時間再生が可能であったかを計測した。計測した時間が希望再生時間 T に近ければ近いほどアルゴリズムの精度が良いことになる。実験には、ノート PC (Toshiba S4/275PNHW) と IEEE802.11b 対応無線 LAN カード (Planex, GW-NS11S), トランスコードプロクシは無線 LAN アクセスポイントと同一 LAN に接続されている PC 上で実行した。

結果は、1,800 秒の希望再生時間に対し、 $pref1$, $pref2$, $pref3$ と $pref4$ に対し、それぞれ 1,710 秒, 1,696 秒, 1,692 秒, 1,727 秒の再生が可能であった。誤差 ($|$ 希望再生時間 - 再生可能時間 $|$ / 希望再生時間) は 6%以内となっており、品質一定で再生した場合の

誤差と比較してもほとんど差はないことが分かった。我々は文献 8) において、品質一定で再生する場合に、最大約 6%以内の誤差となることを確認している。

提案方式では、端末の電源管理システムの示すバッテリー残量に従ってバッテリー量を制御している。しかし、実際には端末の電源管理システムの示すバッテリー残量と実際のバッテリー残量には誤差が含まれる。この誤差より、希望再生時間よりも再生可能時間が短くなってしまふことがある。バッテリー残量予測技術の発達にともない、電源管理システムの示すバッテリー残量の誤差は小さくなっていくと考えられ、それにもない予測誤差も小さくなると考えられる。

希望再生時間よりも再生可能時間が短くなってしまふ問題に関し、バッテリーの再生可能時間の予測誤差が 6% 程度であることが文献 9) で行った実験により分かっていることから、この 6% を、補正值として品質値を計算する実験を行った。この結果、1,800 秒の希望再生時間 (補正值 1,908 秒) に対して、結果は、 $pref1$, $pref2$, $pref3$, $pref4$ に対し、それぞれの再生時間は、1,868 秒, 1,850 秒, 1,820 秒, 1,849 秒であった。また、補正を行う以外に、バッテリー残と希望再生時間の残りに対し、アルゴリズムを周期的に繰り返し適用することで、より正確に予測することも可能である。

さらに、複数の連続する短時間ビデオセグメントに異なる重要度が設定される際には、再生品質の頻繁な変更にもなうオーバーヘッドのため、誤差が大きくなる恐れがある。そこで、希望再生時間が 1,800 秒のセグメント長が異なる 4 つのビデオを提案システムを用いて再生した。各ビデオ中の 1 つのセグメントの長さはそれぞれ 60 秒, 120 秒, 240 秒, 1,800 秒に設定した。結果として再生可能時間はそれぞれ 1,780 秒, 1,797 秒, 1,780 秒と 1,764 秒となり、オーバーヘッドが再生可能時間に与える影響はほとんどないことが確認できた。

6.4 先送りによるビットレート拡張を行った場合

4章で提案したビットレート拡張アルゴリズムの有効性を確かめるため、最大帯域を128kbpsに指定し、あるビデオ(320×240, 29.97fps, 500k)を用いて、再生品質と再生可能時間と希望再生時間の間の誤差について調べた。実験のパラメータと得られた再生品質を表3に示す。実験は、ノートPC(Toshiba S4/275PNHW)上で実行し、30%のバッテリーを使用した。結果は、1,800秒の再生希望時間に対し、1,750秒の再生が可能となり、利用可能帯域が小さい場合に、4章で提案したビットレート拡張を行っても、再生可能時間における誤差は6%以内であることが確認できた。なお、この場合の開始遅延時間は29秒であった。

7. おわりに

本論文では、携帯端末でのストリーミングビデオの再生において、バッテリー残量、ユーザが希望する再生希望時間を満たし、かつ、ユーザが設定したシーンごとの重要度、また、動きの早さと鮮明さの優先度に基づいたQoS制御方式と提案方式に基づいたストリーミングシステムの提案を行った。提案方式を用いることで、限られたバッテリー容量しか持たない携帯端末でのビデオ再生において、ユーザの満足度を高められることを実験により確かめた。

本論文では、時間的に分割された複数のビデオセグメントからなるビデオを対象に各セグメントの重要度に従ってQoS制御を行う方法を提案したが、今後はさらに、MPEG-4形式のビデオを対象にオブジェクト間の重要度も考慮に入れたQoS制御を行う方式を考案することを予定している。

参考文献

- 1) Cavallaro, A., Steiger, O. and Ebrahimi, T.: Semantic Segmentation and Description for Video Transcoding, *Proc. 2003 IEEE Int'l. Conf. on Multimedia and Expo. (ICME2003)*, Vol.3, pp.597-600 (2003).
- 2) Kasser, A. and Schorr, A.: Generic QoS Aware Media Stream Transcoding and Adaptation, *Proc. 13th Int'l. Packet Video Workshop (PV2003)* (2003).
- 3) Lim, J., Kim, M., Kim, J. and Kim, K.: Semantic Transcoding of Video based on Regions of Interest, *Proc. Visual Communications and Image Processing 2003 (VCIP2003)* (2003).
- 4) Lin, C.-Y., Tseng, B.L. and Smith, J.R.: VideoAnnEx: IBM MPEG-7 Annotation Tool. <http://www.alphaworks.ibm.com/tech/>

videoannex

- 5) Lin, C.-Y., Tseng, B.L., Naphade, M., Natsev, A. and Smith, J.R.: MPEG-7 Video Automatic Labeling System, *Proc. 11th ACM Int'l. Conf. on Multimedia*, pp.98-99 (2003).
- 6) MJPEG Tools. <http://mjpeg.sourceforge.net/>
- 7) ISO/IEC JTC1/SC29/WG11 (MPEG). Draft Call for Proposals for MPEG-7 Systems Extensions, Output Document N4429, ISO/IEC, Pattaya, Thailand (Dec. 2001).
- 8) Tamai, M., Yasumoto, K., Shibata, N. and Ito, M.: Low Power Video Streaming for PDAs, *Proc. 8th IEEE Int'l. Workshop on Mobile Multimedia Communications (MoMuC2003)*, pp.31-36 (2003).
- 9) Tamai, M., Sun, T., Yasumoto, K., Shibata, N. and Ito, M.: Energy-aware Video Streaming with QoS Control for Portable Computing Devices, *Proc. 14th ACM Int'l. Workshop on Network and Operating Systems Support for Digital Audio and Video (NOSSDAV2004)*, pp.68-73 (2004).
- 10) The Berkeley MPEG Player. <http://bmrc.berkeley.edu/research/mpeg/>

(平成16年5月24日受付)

(平成16年11月1日採録)



孫 弢 (学生会員)

平成7年中国青島科学技術大学自動制御学科卒業。平成15年4月滋賀大学大学院経営学修士課程修了。現在、奈良先端科学技術大学院大学情報科学研究科博士後期課程在学中。

分散システム、マルチメディア通信システムに関する研究に従事。



玉井 森彦 (学生会員)

平成14年岡山県立大学情報工学部情報システム工学科卒業。平成16年奈良先端科学技術大学院大学情報科学研究科博士前期課程修了。現在、同大学院博士後期課程在学中。マルチメディア通信システム、分散処理方式に興味を持つ。



安本 慶一（正会員）

平成 3 年大阪大学基礎工学部情報工学科卒業。平成 7 年同大学大学院博士後期課程退学後、滋賀大学経済学部助手。平成 9 年モンリオール大学客員研究員。平成 14 年より奈良先端科学技術大学院大学情報科学研究科助教授。博士（工学）。分散システム，マルチメディア通信システムに関する研究に従事。IEEE/CS 会員。



柴田 直樹（正会員）

2001 年大阪大学大学院基礎工学研究科情報数理系専攻博士後期課程修了。2001 年より奈良先端科学技術大学院大学情報科学研究科助手，2003 年より滋賀大学経済学部助教授。分散システム，ITS，遺伝的アルゴリズム，形式的設計検証等の研究に従事。



伊藤 実（正会員）

1979 年大阪大学大学院基礎工学研究科博士前期課程修了。1979 年より大阪大学基礎工学部助手。1986 年より大阪大学基礎工学部講師。1989 年より大阪大学基礎工学部助教授。1993 年 4 月より奈良先端科学技術大学院大学情報科学研究科教授。データベース理論，オブジェクト指向データベースのアプリケーション，遺伝的アルゴリズム等の研究に従事。電子情報通信学会，ACM，IEEE 各会員。