

無線環境におけるサービス合成にもとづいた 複合コンテンツ配信方式

宇山 一世 玉井 森彦 村田 佳洋 柴田 直樹†, 安本 慶一 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

近年の携帯無線端末の高性能化, 無線通信技術の発展に伴い, ユーザは携帯端末を介して利用できるより高度なサービスを求めている. そのような高度なサービスとして, 複数マルチメディアコンテンツの同時視聴が挙げられる. 本稿では, 各携帯無線端末ユーザが, 複数のコンテンツとそれらをどのような配置で見たいかを指定したレイアウト情報を要求として指定することが可能なコンテンツ配信方式を提案する. 携帯無線端末を用いてユーザが複数のコンテンツを同時に受信し表示するには, ネットワーク資源や端末の処理性能の制約から, ユーザが要求している品質通りにコンテンツを受信・再生できない可能性が高い. 提案方式では, プロキシサーバを用いて, 各ユーザのレイアウト情報にもとづいて複数のコンテンツをリアルタイムで合成し配信する. その際, 無線帯域と端末資源の制約のもとで全ユーザの満足度の和が最も高くなるような合成および配信の仕方を求める. 提案方法を実装し, 実験を行った結果, 各端末が複数のコンテンツを独立に受信・合成する場合に比べて, 提案方式がより高いユーザ満足度を達成できることを確認した.

A Compound Contents Delivery Method Based on Service Composition in Wireless Environment

Kazuya Uyama Morihiko Tamai Yosihiko Murata Naoki Shibata† Keiichi Yasumoto
Minoru Ito

Grad. Sch. of Info. Sci., Nara Institute of Sci. and Tech. †Dept. of Info. Proc. and Man., Shiga Univ.

As the progress of wireless communication technology and portable computing devices such as PDAs and cellular phones in recent years, users are requiring to use more advanced services through those terminals. One promising service is watching multiple multimedia contents simultaneously. In this paper, we propose a method to efficiently deliver video contents to users who want to watch multiple videos simultaneously on the specified layouts. When many users want to receive and play back multiple video streams with various combinations and layouts, it would be difficult to satisfy all users' requirements due to restrictions on network resources and each terminal's computational resources. In the proposed method, we introduce proxies and allow them to receive multiple video contents from corresponding servers and mix them into one video content in real-time according to the layouts which users specify. We have developed a greedy algorithm which calculates the set of mixed contents to be delivered within the available wireless network bandwidth, so that the sum of satisfaction degrees of all users is maximized. Through experiments, we confirmed that our proposed method can achieve much higher user satisfaction degrees than the case that each mobile terminal receives multiple contents separately and mixes them by itself.

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登場に伴い, 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. 端末, 無線通信の高性能化, マルチメディアコンテンツの多様化に伴い, ユーザは, より高度なマルチメディアサービスを求めている. そのようなサービスの例として, 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可能にするサービスが挙げられる.

携帯無線端末が複数のマルチメディアコンテンツを同時

に受信し表示するには, ネットワーク資源や端末資源を多大に消費し, ユーザが要求している品質通りに受信することができない可能性が高い. そこで, コンテンツ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コンテンツを変換して送る方法 [1], 動画やニュースなどの複数コンテンツをプロキシサーバで合成し配信する方法 [3], ユーザの好みのレイアウト通りに配信する方法 [2] が提案されている. 文献 [2] は, 複数のユーザの異なるレイアウトを満たすコンテンツ配信を行うため, 複数のプロキシからなる木に沿って, 複数コンテンツを徐々に合成して行くことで (以下, 複数のコンテンツを合成して得ら

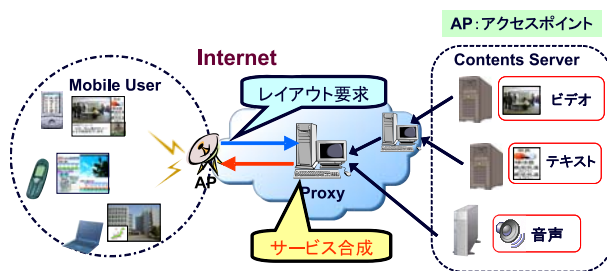


図 1: サービス合成にもとづいた複合コンテンツ配信方式

れるコンテンツを**複合コンテンツ**と呼ぶ)、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を提案している。これらの方法は、有線ネットワーク資源の制約を主として考慮しており、無線ネットワーク資源の制約は考慮されていない。そのため、通信帯域の限られた無線環境下で複数ユーザがそれぞれのレイアウトで複合コンテンツを受信した場合、多くのユーザが要求通りの品質を受信することができない。

本稿では、複数の複合コンテンツに対し各ユーザが独自のレイアウト（各コンテンツの画像サイズ、表示位置を含む）を要求し、プロキシ側で各ユーザのレイアウトの要求を考慮したコンテンツの加工・合成を行い、各ユーザが満足するようにユーザ端末へ効率的に配信する方法を提案する（図 1）。

一般に、複数ユーザが指定するレイアウトは少しずつ異なると考えられる。そのため、文献 [2] のように、ラストワンホップに、各ユーザのレイアウトどおりに合成した複合コンテンツを配信する方法では、ユーザ数に比例した無線通信帯域が必要になり、現実の無線環境でのサービス提供は困難になる。提案方式では、ユーザ間で要求が一致する部分レイアウトを抽出し、部分レイアウトに対してのみ複合コンテンツを合成・配信する。また、レイアウトに含まれるそれ以外のコンテンツは要求した品質（画像サイズ、フレームレート）に加工して配信し、各端末が、受信した複数のコンテンツを指定したレイアウト上に合成表示する方式を採用する。

各ユーザ端末では、指定したレイアウトを実現するために受け取る（複合）コンテンツの数が少ないほど、端末での合成のために必要なパワーが削減され、結果として、高いフレームレートでの表示が可能になる。しかし、無線通信帯域の制約から、配信する複合コンテンツの数は限られる。提案手法では、ユーザがどの程度要求品質通りにコンテンツを受信・表示できたかを表す満足度を定義し、無線通信帯域の制約のもとユーザ満足度の和を最大化する、配信すべき（複合）コンテンツの組合せを求めるヒューリスティックアルゴリズムを提案する。

提案方法を実装し、PDA およびノート PC を用いて実験を行った結果、各端末が複数のコンテンツを独立に受信・合成する場合に比べて、提案方式がより高いユーザ満足度を達成できることを確認した。

以下、2 章では、提案手法の問題設定について、有線ネットワークと無線ネットワークの想定環境、レイアウト要求の説明を述べる。3 章では、提案方式の説明、提案方式の妥

当性を示すためのモデルの説明、アルゴリズムの詳細について述べる。4 章では、実験結果について述べ、5 章では、まとめと今後の課題について述べる。

2 問題設定

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 もしくは CDMA などのセルラー通信を使用する環境を対象とする。各無線アクセスポイントには複数のユーザ端末が接続し、各ユーザ端末はそれぞれ異なった組合せで複数のコンテンツの配信を要求できるものとする。コンテンツとしては動画のみを考え、音声、テキスト等は対象外とする。各ユーザ端末はそれぞれ単一のアクセスポイントに接続するものとし、各アクセスポイントにおける利用可能帯域には制限があるものとする。また、ユーザ端末の移動によるアクセスポイントのハンドオーバーは本稿では取り扱わない。

ユーザ端末は、無線アクセスポイントを経由して、コンテンツサーバおよびプロキシにアクセスできるとする。ここで、各コンテンツは、どれか一つのコンテンツサーバが保持する。また、各プロキシは、コンテンツサーバからコンテンツを受信し、コンテンツの画像サイズ、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する機能と、複数のコンテンツを指定したレイアウトでリアルタイムに合成する機能、加工後のコンテンツをユーザ端末に送信する機能を持つ。プロキシにより複数のコンテンツを合成してできた新たなコンテンツを、以後、**合成コンテンツ**と呼ぶ。合成コンテンツ以外のコンテンツ（加工されていないコンテンツおよびトランスコードのみされたコンテンツ）を**単一コンテンツ**と呼ぶ。なお、コンテンツサーバとプロキシ間の帯域制約、および、プロキシの計算資源に対する制約については考えないものとする。

各ユーザは、複数のコンテンツの受信を開始する際に以下の情報を入力する。

- コンテンツの集合
- レイアウト
- 各コンテンツのフレームレート

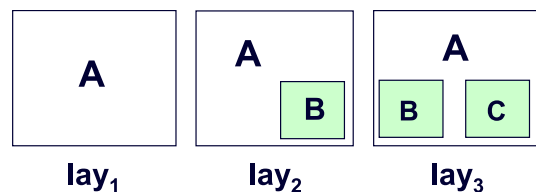


図 2: レイアウト集合の例

ここでレイアウトとは、複数の単一コンテンツを画面上で表示する際の、各コンテンツの位置とサイズに関する情報である。例えば、レイアウトの例として図 2 のようなものが考えられる。レイアウトにはコンテンツの表示サイズおよび表示位置が定められており、サービス提供時に実際のコンテンツを指定された表示位置に、表示・再生すること

でユーザの要求が満たされる。また、各コンテンツに対し、レイアウト上で表示する際のフレームレートが指定できるものとする。

以上のユーザ要求は、ネットワーク上に存在するコンテンツサーバおよびプロキシに送信される。コンテンツサーバは単一コンテンツを保持している動画をそのままの品質でストリーム配信し、プロキシは、各コンテンツを保持するサーバから動画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コンテンツの加工・合成を行い、ユーザ端末へ送信する。

無線アクセスポイントからユーザ端末への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。従って、アクセスポイントの無線範囲内において、あるコンテンツ（合成コンテンツも含む）の配信によって消費される通信帯域は、そのコンテンツを受信する端末の数によらず一定である。

各無線アクセスポイントの利用可能帯域には制約があるため、あるアクセスポイントに接続する全ユーザの希望を満足するようなコンテンツ（単一および合成）の集合を配信することは、帯域の不足によりできないかもしれない。その場合、帯域制約を満足する上で、できるだけユーザの満足度が高くなるように、配信するコンテンツの集合を決める必要がある。

各ユーザ端末は受信したコンテンツの拡大、縮小、および複数コンテンツの同時表示ができるものとする。従って、希望どおりのレイアウトの合成コンテンツが配信されていない場合でも、利用可能なネットワーク資源、端末能力の範囲内で、希望に近いレイアウトでコンテンツ再生が可能である。しかし、端末の処理能力が不足する場合には、それらの処理を実行することで、端末の能力に応じた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。

2.2 緒定義

複合コンテンツ

利用可能なコンテンツの集合を $C = \{c_1, \dots, c_M\}$ と表記する。各レイアウト lay には、使用するコンテンツの数および、各コンテンツのサイズおよび表示位置を定めた枠（**表示枠**と呼ぶ）が指定される。また、表示枠には順番が定められているものとする。レイアウト内の各表示枠に表示するコンテンツを指定する場合、レイアウトを $lay(e_1, \dots, e_n)$ と表記する（ただし、 $e_1, \dots, e_n \in C$ ）。また、各表示枠のコンテンツのフレームレートを指定したい場合には、 $lay(e_1(f_1), \dots, e_n(f_n))$ のように表記する。ここで、 $e_i(f_i)$ は、コンテンツ e_i をフレームレート f_i で表示することを表している。以下では、各表示枠に表示するコンテンツを明示したレイアウト（ $lay(e_1, \dots, e_n)$ 、 $lay(e_1(f_1), \dots, e_n(f_n))$ ）により生成されるコンテンツを**複合コンテンツ**とよび、 $[l]$ と表記する。ここで l はコンテンツを明示したレイアウトである。また、複合コンテンツ g のレイアウト情報を $\mathcal{L}(g)$ で参照できるものとする。なお、 $\mathcal{L}([l]) = l$ が成立する。

例えば、図2のレイアウト lay_2 の場合、使用するコンテンツ数は2であり、各コンテンツは表示枠 A 、または B に表示される。また、表示枠 A にコンテンツ c_1 を 24fps で、表示枠 B に c_2 を 16fps で表示する場合の複合コンテンツ g は $g = lay_2(c_1(24), c_2(16))$ と表記できる。また、 $\mathcal{L}(g) = lay_2$ である。

ユーザの要求

あるアクセスポイントに接続するユーザの集合を $U = \{u_1, \dots, u_N\}$ とする。ユーザが選択可能なレイアウトの集合を $Layout^r$ とする。ユーザ u_i が要求する複合コンテンツを r_i （ただし、 $\mathcal{L}(r_i) \in Layout^r$ ）とする。例えば、ユーザ u_1 がコンテンツ c_1 を図2のレイアウト lay_1 で要求する場合、 $r_1 = lay_1(c_1)$ となる。

プロキシとアクセスポイント

プロキシが配信する合成コンテンツが取りうるレイアウトの集合を $Layout^d$ とする。プロキシがユーザの集合 U に対して配信するコンテンツ（単一および合成）の集合を $D = \{d_1, \dots, d_K\}$ とする（ただし、 $\mathcal{L}(d_i) \in Layout^d$ ）。 D は U が接続するアクセスポイントからブロードキャストで配信される。アクセスポイントがコンテンツ d_i を配信するために消費する帯域を $bw(d_i)$ と表記する。また、 U が接続するアクセスポイントの利用可能帯域を A_{bw} と表記する。

満足度

各ユーザ端末は、アクセスポイントから配信されるコンテンツの集合 D のうち、任意の数のコンテンツを受信できる。また、受信したコンテンツを端末上で任意のサイズに拡大・縮小して表示することができる。例えば、 u_1 の要求する複合コンテンツが $[lay_3(c_1, c_2, c_3)]$ であり、アクセスポイントから2つの合成コンテンツ $\{[lay_1(c_2)], [lay_2(c_1, c_3)]\}$ を受信する場合、 $[lay_1(c_2)]$ を受信して縮小し、 $[lay_2(c_1, c_3)]$ の上に合成表示することで、 $[lay_3(c_1, c_2, c_3)]$ として表示することもできる。ただし、端末の処理能力に余裕がない場合は、拡大、縮小、合成処理によってフレームドロップが発生する。

ユーザ端末が要求する複合コンテンツ要求（コンテンツを明示したレイアウト）を $r_i \in Layout^r$ とする。コンテンツの受信、拡大、縮小、合成処理、およびフレームドロップを経て、最終的にユーザ u_i の端末上で表示される複合コンテンツを q_i とする。

要求した複合コンテンツ $[r_i]$ に対し、ユーザ u_i の q_i に対する満足度 s_i を次式で与える。

$$s_i = S_i([r_i], q_i) \quad (1)$$

ここで、 S_i は $[r_i]$ と q_i をパラメタとする 0 から 1 の実数値を取る関数であり、 u_i の q_i に対する満足の度合いの大きさを表す（0 が最低、1 が最高）。 S_i の定義としては様々なものが考えられる。3章では、フレームドロップ率に基づく具体的な定義を与える。

2.3 問題定義

以上の議論から、本稿で扱う問題を以下のように定義する。コンテンツの集合 C 、ユーザの集合 U 、各ユーザ $u_i \in U$ の複合コンテンツ要求 $r_i \in Layout^r$ 、 U が接続するアクセスポイントの利用可能帯域 A_{bw} が与えられたとき、ユーザの満足度の合計 $\sum_{i=1}^N s_i$ を最大化するような、プロキシの配信コンテンツ（単一および合成）の集合 D を求める。ただし、アクセスポイント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。

3 複合コンテンツ配信方式

2章で述べた複合コンテンツ配信を実現する方法は、(1) プロキシを使用しない場合、(2) プロキシがコンテンツの画

像サイズ、フレームレートに関する加工のみを行える場合、(3) プロキシが複数のコンテンツからなる合成コンテンツを生成できる場合、で異なる。

3.1 節では、上記 3 つのケースについての、配信方式について述べる。また、3.2 節でユーザの満足度を定義し、3.3 節で 2 章の問題の目的関数を最大化するグリーディアルゴリズムを提案する。

3.1 コンテンツ配信方式

3.1.1 ケース 1：コンテンツサーバから直接配信

ケース 1 は最も単純な配信方式であり、図 3 に示すように、各ユーザ端末は、自身の複合コンテンツ要求が含むコンテンツの集合を、それぞれ独立にコンテンツサーバから受信し、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。

例えば、ユーザ端末 u_1, u_2, u_3 が図 3 のような複合コンテンツ $[lay_2(c_2(24), c_3(24))]$, $[lay_2(c_3(24), c_1(24))]$, $[lay_3(c_3(24), c_2(24), c_1(24))]$ を要求しているとする。各端末、例えば、 u_1 は複合コンテンツに含まれる単一コンテンツ c_2, c_3 の配信をそれぞれを保持するコンテンツサーバに要求し、受信する。 u_1 は、受信したコンテンツ c_2, c_3 を自分が指定したレイアウト lay_2 の表示枠に合うよう画像サイズの縮小を行ったうえで、指定した位置に表示する。

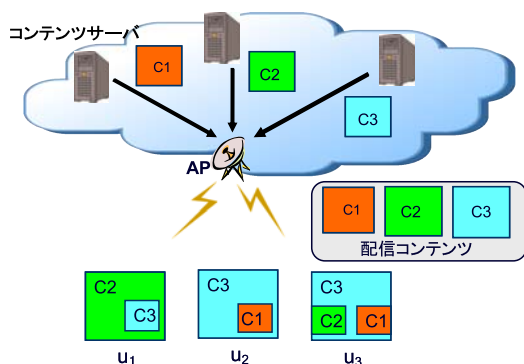


図 3: ケース 1 の複合コンテンツ配信例

ケース 1 では、複数の単一コンテンツの受信、それらのサイズ変更、および表示をユーザ端末上で行うため、端末の処理負荷が大きくなり、多くのフレームドロップが発生することが考えられる。

3.1.2 ケース 2：プロキシサーバで縮小して配信

ケース 2 では、図 4 に示すように、ユーザ端末は自身の複合コンテンツ要求に含まれる単一コンテンツに対し、縮小などの加工が必要のないものはコンテンツサーバに配信要求を出し、加工が必要なものはプロキシに加工の仕方を含めた配信要求を送信する。プロキシは要求された単一コンテンツをコンテンツサーバから受信しリアルタイムでトランスコードし、画像サイズの縮小およびフレームレートの削減を行った上で、ユーザ端末に転送する。ユーザ端末はコンテンツサーバおよびプロキシから受信した単一コンテンツ群をレイアウトどおりに表示する。例えば、図 4 のユーザ端末 u_1 は、コンテンツサーバから c_2 を、また、プロキシ経由で表示枠に合うよう縮小された c_3 を受信し、2

つを合成して表示することで、要求する複合コンテンツの再生を実現する。

ケース 2 では、ケース 1 に比べ、端末上でコンテンツの画像サイズを縮小するための処理の負荷が軽減される。しかし、全てのコンテンツを単一コンテンツとして受信し、端末上で合成表示を行う必要がある点はケース 1 と同様である。

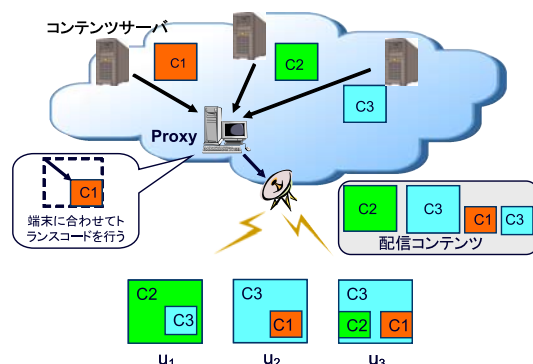


図 4: ケース 2 の複合コンテンツ配信例

3.1.3 ケース 3：プロキシサーバで合成して配信

ケース 3 (図 5) では、ユーザ端末は自身の複合コンテンツ要求をプロキシに送信する。プロキシは、他のユーザの要求および無線通信帯域の制約を考慮し、ユーザの複合コンテンツ要求にできるだけ合致する合成コンテンツを生成してユーザ端末に配信する。ユーザ端末は、自身の複合コンテンツ要求に対し、一つの合成コンテンツを受信して表示するか、または、合成コンテンツおよび単一コンテンツの集合を受信し、ケース 1, 2 の場合と同様にレイアウトどおりに合成表示を行う。

例えば、図 5 のユーザ端末 u_1 は、プロキシ上で c_2, c_3 を lay_2 に当てはめて生成された一つの合成コンテンツを受信している。

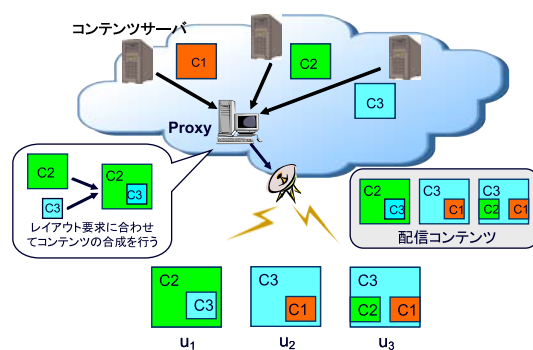


図 5: ケース 3 の複合コンテンツ配信例

3.2 ユーザの満足度

3.1 節で述べた配信方式のケース 1~3 では、端末上で複数のコンテンツの合成表示を行うことがある。しかし、コンテンツの合成表示を行うためには、複数のコンテンツを別々のストリームとして受信、デコードする必要があるため、合成表示するコンテンツの数に応じて、端末の処理性

能不足に起因するフレームドロップが発生する度合い（フレームドロップ率と呼ぶ）が大きくなると考えられる。ケース 1 では、希望より大きな画像サイズ、フレームレートのコンテンツを受信し、画像サイズ縮小などの処理を行う必要があり、フレームドロップ率はさらに大きくなると予想できる。フレームドロップ率は、ユーザの満足度に影響する。また、2 章の問題の目的関数はユーザ満足度の和として定義されているため、最適化のためのアルゴリズムを設計するには、配信の仕方に応じたフレームドロップの度合いが予測できる必要がある。以下では、フレームドロップ率を予測する方法を提案する。

フレームドロップ率の予測

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¹。

$$z(p) = \alpha p + \beta \quad (2)$$

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 に対し、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 が要求する複合コンテンツ q_i に対し、 q_i のレイアウト $\mathcal{L}(q_i)$ の表示枠 j への表示が指定されたコンテンツを q_{ij} と表記する。コンテンツ q_{ij} について、 u_i が受信するストリームの画像サイズとフレームレートの積²を $w_1(q_{ij})$ と表記する。なお、コンテンツ 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。以上より、ユーザ u_i の満足度 s_i は次式のように定義される。

$$s_i = z_i \left(\sum_{j=1}^{n_i} w_1(q_{ij}) \right) \times \sum_{j=1}^{n_i} \frac{\text{Min}(w_1(q_{ij}), w_2(q_{ij}))}{w_2(q_{ij})} / n_i \quad (3)$$

3.3 greedy アルゴリズム

本問題のような配送コンテンツ集合 D の組合せを求める問題は、NP 困難である。本研究では、このような NP 困難な問題である組合せ最適化のアプローチとして、ヒューリスティクスアルゴリズムである *greedy* アルゴリズムを用いる。*greedy* アルゴリズムは、実装の容易さや解の生成速度より組合せ最適化の手法として有用であると考えられる。以下に *greedy* アルゴリズムの疑似コードを示す。なお、疑似コード内の $s_i(D - \{d\})$ は、プロキシサーバの配信コンテンツの集合が $D - \{d\}$ であった場合のユーザ u_i の満足度を表す。また、 D の初期値 D_0 は 3.1 節で述べたケース 1, 2, 3 に対し、それぞれ異なった集合となる。ケース 1 の場合、図 2 の lay_1 に対し、 C の各要素を当てはめて生成される合成コンテンツの集合となる。ケース 2 の場合、ケース

¹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、本稿では簡単のため、デコードにかかる負荷のみを考慮する。

²ケース 1 では、コンテンツサーバに保持されているコンテンツの品質に応じて、表示枠より大きな画像サイズ、フレームレートで受信されることがある。ケース 2 では、通信帯域の制約などにより、表示枠より小さな画像サイズ、フレームレートで受信されることがある。また、ケース 3 では、 q_{ij} は合成コンテンツの一部となっていることがあるが、その場合、表示枠の大きさ、および受信する合成コンテンツのフレームレートで代用する。

1 の D_0 に加え、各単体コンテンツを縮小したコンテンツの集合も含む。ケース 3 の場合、ケース 2 の D_0 に加え、図 2 の lay_2 , lay_3 から生成される全ての複合コンテンツ、および、 lay_2 , lay_3 から任意の表示枠を削除したレイアウトにより生成される全ての合成コンテンツを含む。

Algorithm *greedy*(D_0, A_{bw})

```

1  $D := D_0$ 
2 while  $D \neq \emptyset$  and  $\sum_{d \in D} bw(d) > A_{bw}$  do
3   /*  $d \in D$  の内、 $\sum_i s_i(D - \{d\})$  が
4   最大となるものを求める */
5    $max := -1$ 
6   foreach  $d \in D$  do
7      $sat := \sum_i s_i(D - \{d\})$ 
8     if  $max < sat$  then
9        $\hat{d} := d$ 
10     $max := sat$ 
11  endif
12 next
13  $D := D - \{\hat{d}\}$ 
14 next
15 return  $D$ 
16 end
```

4 評価実験

提案手法の有効性を検証するため、3.1 節で述べた 3 種類の配信方式を 3 種類の異なるユーザの要求分布に適用し、ユーザ満足度の和を調べた。

4.1 ユーザ満足度に対する実験結果

実験ではユーザ数を 20、コンテンツの数を 5、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 3000Kbps、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。

ユーザの複合コンテンツの要求の分布を表 1 に示す。表 1 中の lay_1, lay_2, lay_3 は、図 2 のレイアウトと同じである。各分布は、各レイアウトに対してユーザが指定した複合コンテンツのパターンの数であり、分布 A では、 lay_1 の要求パターンが 3 種類、 lay_2 の要求パターンが 19 種類、 lay_3 の要求パターンが 6 種類あることを示している。各レイアウトの要求パターンの数は、複数ある表示枠にどのようにコンテンツを当てはめるかで変わる。例えば、 lay_2 の要求パターンは ${}_5C_2 \times 2! = 20$ 通りあるが、分布 A ではそのうちの 19 パターンがユーザの要求に含まれていることを表している。表 1 では、どのレイアウトに対しても、分布 A, B, C の順で出現パターン数が少なくなっている。これは、ユーザ数が同じである場合、この順で、複合コンテンツの要求パターンが同じユーザの数が多いことを表している。

すなわち、分布 A では、ユーザ間で要求に共通部分が少ない状況であり、分布 C では、共通部分が多い状況である。分布 B は、その中間である。

これらの各分布に対して、3.1 節の配信方式のケース 1, 2, 3 を適用した際に得られた満足度を比較した結果を図 6 に示す。

表 1: 複合コンテンツの要求パターン数の分布

分布パターン	lay ₁	lay ₂	lay ₃
分布 A	3	19	6
分布 B	3	11	5
分布 C	2	5	2

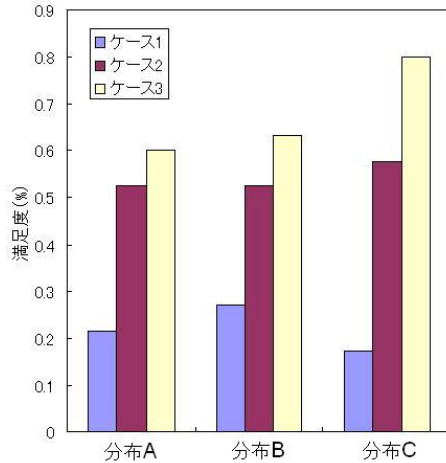


図 6: 配信方式のケース 1~3 を適用した際の満足度の比較

4.2 フレームドロップ率の予測精度

3 章で述べたフレームドロップ率の関数 $z(p) = \alpha p + \beta$ における、端末固有定数 α, β の値を、9 種類の異なる解像度、フレームレートを持つビデオについて再生時のフレームドロップ率を計測し、最小二乗法を用いて算出したフレームドロップ率の計測に使用した携帯端末は、PDA (SHARP Zaurus SL-C700, CPU: XScale 400MHz, メモリ: 32MB, OS: Linux 2.4.28) である。9 種類のフレームドロップ率の実測値をグラフ上にプロットしたものを図 7 に示す。なお、図では、求めた α, β の値と上記の関数から推測されるフレームドロップ率を直線で描画している。

図 7 より、関数から得られるフレームドロップ率と実測値の間の平均誤差は 12% 程度であることが分かる。この結果は改善の余地はあるものの、実用する上での大きな支障はないと思われる。

4.3 結果と考察

表 1, 図 6 より、各分布において配送方式のケース 3 の結果が良いことがわかる。ケース 2 では、各ユーザ要求分布において満足度の差があまり見られなかった。これは、帯域の制約により、配信可能なコンテンツの数が限られるため、コンテンツ集合に差が見られないためである。ケース 1 も同様のことがいえる。ケース 3 では、分布 A よりも分布 B, 分布 B よりも分布 C の結果がよいことがわかる。分布 1 では、ユーザ間で複合コンテンツ要求の類似性が低く、分布 B や分布 C では、複合コンテンツ要求の類似性がこの順で高くなっているためだと考えられる。以上より、より多数のユーザが類似した複合コンテンツ要求を行っている状況では、ケース 3 の配信方式が特に有効であることがわ

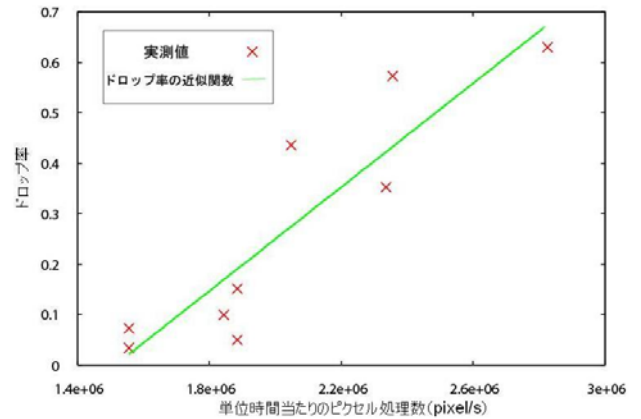


図 7: 単位時間当たりの処理ピクセル数より求めたドロップ率の変化

かった。

5 おわりに

本稿では、独自のレイアウトを指定して複数の動画コンテンツの視聴を希望する複数の携帯無線端末ユーザに対し、無線通信帯域の制約内でユーザ満足度の和をできるだけ大きくするコンテンツ配信方式を提案した。また、実験により、複数のユーザが互いに似通ったレイアウトでのコンテンツ視聴を希望する状況では、プロキシによる複数コンテンツのリアルタイム合成を許すことにより、プロキシを使わない場合、プロキシで単一コンテンツの画像サイズ、フレームレートの変更のみを許す場合に比べ、より高いユーザ満足度を達成できることを確認した。

今後、提案方式を現実の環境に実装し、多数のユーザによる実証実験を行って本手法の有効性を評価したい。また、本稿で考慮していなかった、プロキシの計算資源や有線ネットワークの通信資源に関する制約を含めた問題設定を行う予定である。さらに、本稿では、無線アクセスポイントを介したワンホップ無線ネットワークを仮定したが、今後、マルチホップ無線ネットワークへの拡張も考えたい。

参考文献

- [1] J. Jin and K. Nahrstedt, "Source-based qos service routing in distributed service networks," in Proc. of IEEE International Conference on Communications 2004 (ICC2004), June 2004.
- [2] K. Nahrstedt, B. Yu, J. Liang and Y. Cui, "Hour-glass Multimedia Content and Service Composition Framework for Smart Room Environments," Elsevier Journal on Pervasive and Mobile Computing, 2005.
- [3] J. Liang and K. Nahrstedt, "Service Composition for Advanced Multimedia Applications," Multimedia Computing and Networking (MMCN'05), January 2005.