

推薦研究論文

データ分離可能な没入型コンテンツの 放送型配信におけるスケジューリング手法

後藤 佑介^{1,a)} 義久 智樹² 谷口 秀夫¹ 金澤 正憲³

受付日 2014年1月15日, 採録日 2014年5月26日

概要: 近年, 3D 放送に代表されるコンテンツの高臨場化にともない, 視界全体に表示された映像空間に没入してコンテンツを楽しむ没入型コンテンツの放送型配信に対する注目が高まっている. 没入型コンテンツの放送型配信では, ユーザは立体的な映像コンテンツを視聴できるが, データサイズが非常に大きくなるため, データ再生中に発生する待ち時間は非常に長くなり, 問題である. そこで, 本論文では, 没入型コンテンツの放送型配信において, コンテンツを2種類のデータに分離してスケジューリングすることで待ち時間を短縮する手法を提案する. 提案手法では, 没入型コンテンツを連続的に変化するデータと変化しないデータに分けた上で, コンテンツ間で発生する待ち時間に上限を設定することで, 効率的な放送スケジューリングを実現する.

キーワード: 没入型コンテンツ, 放送型配信, 待ち時間, スケジューリング

A Scheduling Method for Immersive Contents Broadcasting Considering Data Separation

YUSUKE GOTOH^{1,a)} TOMOKI YOSHIHISA² HIDEO TANIGUCHI¹
MASANORI KANAZAWA³

Received: January 15, 2014, Accepted: May 26, 2014

Abstract: Due to the recent popularization of 3-D broadcasting, 3-D broadcasting using an immersive display has been attracted great attention. In conventional 3-D broadcasting, since they watch the image with only the partial region and the view point is fixed, their realistic sensation is low. In immersive contents broadcasting, clients can play data without interruption. When the server delivers immersive contents in broadcasting, since the data size of each content is so large that the waiting time while playing it becomes unrealistic. In this paper, we propose a scheduling method to reduce the waiting time on immersive contents broadcasting considering data separation. Our proposed method can reduce the waiting time by dividing the immersive content into active immersive data and static immersive data and setting the upper limit in waiting time between contents.

Keywords: immersive contents, broadcasting, waiting time, scheduling

1. はじめに

近年, 3D 放送に代表されるコンテンツの高臨場化にともない, 没入型ディスプレイを用いた立体型コンテンツの放送型配信に対する注目が高まっている [1]. 立体型コン

本論文の内容は 2013 年 7 月のマルチメディア, 分散, 協調とモバイル (DICOMO2013) シンポジウムにて報告され, DCC 研究会主査により DCON への掲載が推薦された論文である.

¹ 岡山大学大学院自然科学研究科
Graduate School of Natural Science and Technology,
Okayama University, Okayama 700-8530, Japan

² 大阪大学サイバーメディアセンター
Cybermedia Center, Osaka University, Suita, Osaka 567-
0047, Japan

³ 京都情報大学院大学
The Kyoto College of Graduate Studies for Informatics,
Kyoto 606-8225, Japan

a) gotoh@cs.okayama-u.ac.jp

コンテンツの放送型配信では、ユーザは立体的な映像コンテンツを視聴できるが、視野角が制限され、視界の一部にしか映像が表示されないため、臨場感に乏しい。そこで、本研究では没入型コンテンツの放送型配信に着目する。没入型コンテンツは臨場感の高いコンテンツであり、ユーザが視界全体に表示された映像の空間に没入して、ユーザが任意の視点からコンテンツを視聴できるという特徴を持つ。たとえば、ドラマ番組で、自分自身が登場人物の1人となり、目の前でストーリーが進行していくような臨場感を得ることができる。また、通信販売の番組で、ユーザの体の向きや位置を把握することで、任意の視点で欲しい商品の色や材質を確認できる。

没入型コンテンツの視聴には没入型ディスプレイが必要であるが、頭部に装着して使用する没入型ディスプレイ機器は開発されており、家庭で没入型コンテンツを視聴する環境は構築可能である [2]。同様に、立体視用眼鏡を装着して視聴する 3D 放送が普及しており、次世代 3D 放送において、没入型コンテンツの放送型配信は現実的になっている。

没入型コンテンツの放送型配信では、クライアントがサーバから配信される立体映像のデータ情報を途切れなく再生できることが重要になる。しかし、没入型コンテンツのデータサイズは非常に大きくなるため、クライアントがデータ再生中に発生する待ち時間は非常に長くなり、問題である。そこで、サーバが没入型コンテンツを 2 種類のデータに分離してクライアントに配信し、クライアントは、これらのデータを 1 つのシーンに組み合わせて再生することを考える。このような配信形式は、近年では TVML (TV program Making Language) や MMD (MikuMikuDance) といった CG アニメーションのように、背景や人物に代表されるオブジェクトに属するモデルデータと、モデルデータに変化を与える動作データの 2 種類に分けて構成されるコンテンツとして実用化されている [3], [4], [5]。本論文では、このような 2 種類のデータを組み合わせたコンテンツをデータ分離可能な没入型コンテンツと呼び、このコンテンツを放送型で配信する場合に発生する待ち時間について考える。

これまでの研究で、データ再生時に発生する待ち時間を短縮するため、音声や映像といった一続きの連続メディアデータを放送型で配信する場合にクライアントの待ち時間を短縮するスケジューリング手法が提案されてきた [6], [7], [8], [9]。これらのスケジューリング手法では、データを分割して複数のチャンネルで配信することで、データの再生に必要な受信時間を短縮して待ち時間を短縮する。データ分離可能な複数の没入型コンテンツを放送型で配信してクライアントが順番に再生する場合、単純に 2 種類のデータに分割して順番に配信するだけではコンテンツ間の待ち時間が長大化するため、クライアントの待ち時間

を効率的に短縮できない。使用できる帯域幅や許容されるコンテンツ間の待ち時間を考慮して複数の没入型コンテンツの配信をスケジューリングすることで、待ち時間をさらに短縮できる。

本論文では、データ分離可能な没入型コンテンツの放送型配信において、データ再生中の待ち時間を短縮するスケジューリング手法を提案する。提案手法では、没入型コンテンツを連続的に変化するデータと変化しないデータに分け、コンテンツ間で発生する待ち時間に上限を設定してコンテンツを効率的にスケジューリングすることで待ち時間を短縮する。

本論文は、以下のように構成される。2 章で没入型コンテンツについて述べ、3 章で提案手法を説明する。4 章で評価を行い、5 章で考察する。6 章で関連研究について説明し、最後に 7 章で本論文をまとめる。

2. 没入型コンテンツ

2.1 概要

没入型とは、ユーザが映像の世界の中に入り込んでいるかのような感覚を得られる没入感 (Immersion) を実現できる映像視聴形態である。没入型を用いたコンテンツは、CAVE (CAVE Automatic Virtual Environment) [10] や、HMD (Head Mounted Display) に代表される没入型立体視ディスプレイといった没入型ディスプレイで表示される。CAVE では、周囲の空間をディスプレイ装置として利用し、大画面のスクリーンを空間内に複数配置してプロジェクタから映像を投影することで、ユーザは高度な没入空間内で映像を視聴できる。一方、HMD では、ユーザはゴーグル型のディスプレイ装置を頭に装着することで、目の前に提示された立体映像を視聴できる。

没入型コンテンツは、産業、教育および芸術の分野で幅広く利用されており、地球内部の構造を表す大規模シミュレーションデータの可視化による環境変動の原因調査 [11]、およびバーチャルトレーニングと実習を融合した技術者の育成支援 [12] といった利用方法があげられる。ユーザは、このような没入型のコンテンツを視聴することで、広い視野で立体映像を容易に視聴でき、体性感覚をとまなう行動を取ることができる。

本論文で想定する没入型コンテンツの放送型配信の構成を図 1 に示す。サーバは、インターネットを経由して没入型コンテンツのデータをユーザに配信する。サーバが配信したデータは没入型ディスプレイに表示され、ユーザは没入型ディスプレイの 3D 映像を視聴する。

2.2 使用するデータ

没入型コンテンツでは、ユーザは没入型ディスプレイを用いて 3D 映像を視聴する。ユーザが立体映像を視聴する際、没入型コンテンツのデータサイズは非常に大きくなり、

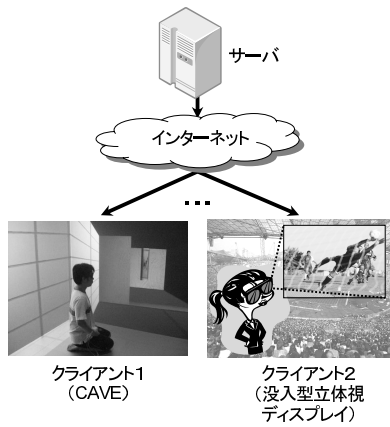


図 1 没入型コンテンツの放送型配信の構成

Fig. 1 Assuming structure of immersive broadcasting.

ユーザが没入型コンテンツの受信を要求してから再生を開始するまでの待ち時間は非常に長くなる。一般的に、1つの番組は複数の没入型コンテンツで構成され、ユーザは連続して複数の没入型コンテンツを視聴する。このとき、現在再生している没入型コンテンツの終了後に次の没入型コンテンツが再生開始されるまでの待ち時間は、長ければ長いほど途中で視聴を終了してしまうユーザが増加するため問題である。

そこで、本論文では、サーバが没入型コンテンツを連続変化データと非連続変化データの2種類のデータに分離して放送型でクライアントに配信し、クライアントはこれらのデータを受信してから1つのコンテンツに組み合わせて再生する形式を考える。連続変化データは、人物や移動物体のように連続的に変化する物体のデータである。一方、非連続変化データは、建物や自然物のように連続的に変化する背景となるデータである。このため、連続変化データのデータサイズは、非連続変化データに比べて大きくなる。ユーザは、非連続変化データの受信が完了すれば、対応するコンテンツの連続変化データを受信しながら再生できる。このとき、没入型コンテンツを2種類のデータに分離してそれぞれを配信することで、没入型コンテンツのデータすべてを受信してから再生する従来の放送型配信に比べて、再生開始までの待ち時間を短縮できる。

没入型コンテンツで用いるデータは、連続変化データと非連続変化データに分離可能な TVML, BML (Broadcast Markup Language), および MMD を想定する。また、没入型コンテンツのデータは、MPEG や H.265 といったフォーマットで配信する場合を想定する。これらのデータ形式はストリーミング配信技術に用いられており、没入型コンテンツの配信にも利用できる。

2.3 待ち時間が発生する仕組み

2.3.1 コンテンツを分離しない場合のスケジューリング

本節では、再生中に待ち時間が発生する仕組みについて

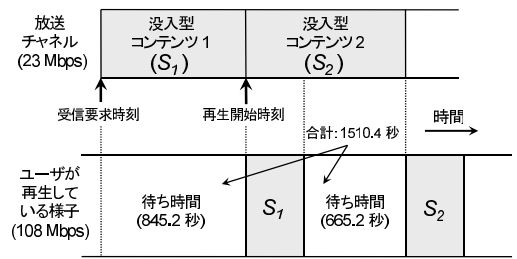


図 2 没入型コンテンツを分離しない場合のスケジューリング例
Fig. 2 Example of a broadcast schedule without separating immersive contents.

説明する。放送型配信では、クライアントがデータの受信をサーバに要求してから受信を完了して再生を開始するまでの間に待ち時間が発生する。また、データの再生を開始しても、再生が終了するまでに次のコンテンツの受信を完了できない場合、コンテンツ間で視聴中に待ち時間が発生する。たとえば、没入型コンテンツのデータを連続変化データと非連続変化データに分けずに放送する場合のスケジューリング例を図 2 に示す。この例では、108 Mbps (2cm あたり 1ドットの 3m³ のフルカラーデータ) の没入型コンテンツを地上波デジタル放送を想定した 23 Mbps の放送帯域で配信する場合を考えている。このような没入型コンテンツは、幅 1.5m, 高さ 2m, 奥行き 1m の立体空間に通信販売の商品を表示するコンテンツを想定している。サーバはコンテンツ S₁, S₂ の2つを配信し、各コンテンツの再生時間は 180 秒とする。図 2 に示すように、データの配信には 845.2 秒かかるため、S₁ の再生を開始するまでの待ち時間は 845.2 秒となる。また、複数のコンテンツを連続して配信する場合、コンテンツ間の待ち時間はコンテンツを再生するごとに 665.2 秒発生する。このスケジューリングの場合、各コンテンツの再生において、コンテンツの受信が完了するまで次のコンテンツを再生できないため、待ち時間が非常に長くなり、ユーザの視聴意欲は低下する。そこで、クライアントが途切れなくシーンを再生するために最低限必要なデータを受信しながら次に再生するコンテンツの非連続変化データの一部を受信することで、コンテンツ間の待ち時間はさらに短縮できる。

2.3.2 コンテンツを分離する場合のスケジューリング

次に、没入型コンテンツのデータを連続変化データと非連続変化データに分けて配信する場合を考える。非連続変化データと連続変化データは 1:9 に分割する。各コンテンツの再生開始前に非連続変化データを配信するスケジューリング例を図 3 に示す。サーバはコンテンツ S₁, S₂ の2つを配信し、各コンテンツの再生時間は 180 秒とする。このとき、サーバは連続変化データ V₁, V₂, および非連続変化データ U₁, U₂ を交互に U₁, V₁, U₂, V₂ の順番で配信する。この例では、背景と物体を重ねるように、ユーザは非連続変化データ (背景) を蓄積し、後で連続変化データ

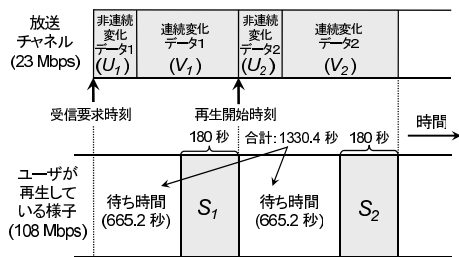


図 3 没入型コンテンツを分割する場合のスケジューリング例
 Fig. 3 Example of a broadcast schedule with separating immersive contents.

(物体)と重ね合わせて再生する蓄積再生を行うことで、没入型コンテンツを再生する。図 3 に示すように、23 Mbps の放送帯域を用いてサーバが連続変化データと非連続変化データを交互に配信する場合、 S_1 の再生を開始するまでの待ち時間およびコンテンツ間の待ち時間はどちらも 665.2 秒となり、分割しない場合に比べて全体の待ち時間を 21.3%短縮できる。

2.4 没入型コンテンツの放送型配信における待ち時間

没入型コンテンツの放送型配信における従来のスケジューリング手法では、ユーザが番組を再生する間に発生する待ち時間はすべて同じと考えていた。しかし、番組を開始する前の待ち時間を短くしても、相対的にコンテンツごとに発生する待ち時間が長くなると、ユーザは視聴意欲を継続できない問題が発生する。そこで、これら 2 つの待ち時間を分けてスケジューリングを作成する必要がある。

本研究では、没入型コンテンツの放送型配信で発生する待ち時間を 2 種類に分類する。1 つ目は、視聴する番組の受信要求を出してから最初のコンテンツが再生されるまでの番組開始前の待ち時間であり、本論文では番組開始待ち時間 (W_p) と呼ぶ。2 つ目は、現在再生中のコンテンツが終了してから次のコンテンツの再生を開始するまでの番組視聴中の待ち時間であり、コンテンツ間待ち時間 (W_c) と呼ぶ。

没入型コンテンツの放送型配信において、コンテンツ間待ち時間の長大化は、ユーザの視聴意欲を低下させる問題がある。一方、番組開始待ち時間が長くなる場合は、事前に受信開始時刻を早めたり番組開始前の説明時間を長くすることで対応できる。以上より、ユーザが没入型コンテンツを放送型で視聴する場合は、コンテンツ間待ち時間に上限を設定して、上限を越える分の待ち時間は番組開始待ち時間をその分長くして対応することが望ましいと考えられる。

3. 提案手法

3.1 概要

分離可能な没入型コンテンツの放送型配信における待ち

時間短縮手法として、ICB-DS (Immersive Contents Broadcasting Considering Data Separation) 法を提案する。提案手法では、データを連続変化データと非連続変化データに分割した上で、コンテンツ間待ち時間に上限を設定してこれらのデータをスケジューリングすることで、データ再生中の待ち時間を短縮する。

3.2 想定環境

スケジューリング手法を提案するにあたり、想定する環境を箇条書きで示す。

- 放送する番組は、没入型コンテンツである。
- 連続変化データと非連続変化データの 2 種類のデータを配信する。
- 視聴中にコンテンツ間で発生する待ち時間は上限がある。
- 番組は複数のコンテンツで構成され、クライアントは順番に視聴する。
- コンテンツの再生時間はすべて同じである。
- 放送帯域には制限がある。
- クライアントはコンテンツの蓄積に十分な容量のバッファを持つ。
- クライアントは番組の放送が始まってから、その番組のコンテンツを受信する。

3.3 スケジューリング手順

提案手法のスケジューリングは、以下の手順で行う。スケジューリングに用いる記号を表 1 に示す。

提案手法のスケジューリングでは、再生レート r 、コンテンツ数 n 、コンテンツの再生時間 T 、サーバが使用できる帯域幅 B 、没入型コンテンツの分割比率 u と v 、およびコンテンツ間待ち時間 W_0 といったパラメータの値があらかじめ分かっているものとする。これらのパラメータを用いて、連続変化データのデータサイズ D_V 、非連続変化データのデータサイズ D_U 、連続変化データの放送時間 t_{V_i} 、非連続変化データの放送時間 t_{U_i} 、およびコンテンツ間待ち時間 W_c を求める。

(1) D_U 、 D_V を下記の式で算出する。

$$\begin{cases} D_U = \left(\frac{u}{u+v}\right) \times r \times T \\ D_V = D_U \times \frac{v}{u}. \end{cases} \quad (1)$$

(2) U_1 を帯域幅 B で t_{U1} の間スケジューリングする。

$$t_{U1} = \frac{D_U}{B}. \quad (2)$$

(3) $n = 1$ であれば、 V_1 を帯域幅 B で $t_{V1} = \frac{D_V}{B}$ の間スケジューリングして終了。そうでなければ、(4)へ。

(4) 使用できる帯域幅 B に応じて、 U_{i+1} ならびに V_i ($i = 1, \dots, n-1$) をスケジューリングする。

(i) $B \geq r$ もしくは $B \leq \left(\frac{v}{u+v}\right) \times r$ のとき

表 1 定式化のための変数
Table 1 Variables for formulation.

記号	説明
r	再生レート
n	コンテンツ数
S_i	コンテンツデータ, $i = 1, \dots, n$
V_i	連続変化データ
U_i	非連続変化データ
D_V	V_i のデータサイズ
D_U	U_i のデータサイズ
T	コンテンツの再生時間
B	サーバが使用できる帯域幅
v	V_i の分割比率, $v = \frac{D_V}{D_V + D_U}$
u	U_i の分割比率, $u = \frac{D_U}{D_V + D_U}$
t_{Vi}	V_i の放送時間
t_{Ui}	U_i の放送時間
W_p	番組開始待ち時間
W_c	コンテンツ間待ち時間
W_0	許容される W_c の最大値

U_{i+1} ならびに V_i ($i = 1, \dots, n-1$) を帯域幅 B で交互にスケジューリングして, (6) へ.

(ii) $(\frac{v}{u+v}) \times r < B < r$ のとき

W_0 が $(\frac{r}{B} - 1) \times T$ 以上であれば, $W_c = (\frac{r}{B} - 1) \times T$ とし, そうでなければ, $W_c = W_0$ とする.

- (5) V_i ($i = 1, \dots, n-1$) を $t_{Vi} = T$ の間, 帯域幅 $(\frac{v}{u+v}) \times r$ でスケジューリングする. また, U_{i+1} ($i = 1, \dots, n-1$) を帯域幅 $B - (\frac{v}{u+v}) \times r$ で t_{Vi} の間スケジューリングし, 残りを帯域幅 B で W_c の間スケジューリングする.
- (6) V_n を帯域幅 B で $t_{Vn} = \frac{D_V}{B}$ の間スケジューリングして, 終了する.

以上の手順でスケジューリングを行う.

3.4 W_p および W_c の算出方法

3.3 節のスケジューリングをもとに, 番組開始待ち時間 W_p およびコンテンツ間待ち時間 W_c を算出する. 算出方法は, 使用できる帯域幅 B に応じて 3 つに分けられる. 1 つ目は, 使用できる帯域幅が再生レートより大きく, 連続変化データと非連続変化データを同時に配信してもコンテンツ間待ち時間が発生しない場合である. この場合, 待ち時間は番組開始待ち時間のみとなる. 2 つ目は, 使用できる帯域幅が再生レートよりも小さいが, 連続変化データの受信時間がコンテンツの再生時間以内となる場合である. この場合, コンテンツ間待ち時間が上限 W_0 以下であるかに応じて, さらに場合分けを行う. コンテンツ間待ち時間が W_0 を下回る場合は, そのままコンテンツ間待ち時間を算出する. 一方, W_0 を上回る場合は, 上回った時間分を番組開始待ち時間に追加する. 3 つ目は, 連続変化データの配信時間が再生時間を上回る場合であり, 非連続変化データと連続変化データを交互に配信して, 待ち時間を算出す

る. この場合も, コンテンツ間待ち時間が上限 W_0 以下であるかに応じて, さらに場合分けを行う.

W_p と W_c の算出式を以下に示す.

(1) $B \geq r$ のとき

$$\begin{cases} W_p = (\frac{u}{u+v}) \times \frac{r}{B} \times T \\ W_c = 0. \end{cases} \quad (3)$$

(2) $(\frac{v}{u+v}) \times r < B < r$ のとき

(i) $W_0 \geq (\frac{r}{B} - 1) \times T$ のとき

$$\begin{cases} W_p = (\frac{u}{u+v}) \times \frac{r}{B} \times T \\ W_c = (\frac{r}{B} - 1) \times T. \end{cases} \quad (4)$$

(ii) $W_0 < (\frac{r}{B} - 1) \times T$ のとき

$$\begin{cases} W_p = (\frac{u}{u+v}) \times \frac{r}{B} \times T + \\ \quad \{(\frac{r}{B} - 1) \times T - W_0\} \times (n-1) \\ W_c = W_0. \end{cases} \quad (5)$$

(3) $B \leq (\frac{v}{u+v}) \times r$ のとき

(i) $W_0 \geq (\frac{r}{B} - 1) \times T$ のとき

$$W_p = W_c = (\frac{r}{B} - 1) \times T \quad (6)$$

(ii) $W_0 < (\frac{r}{B} - 1) \times T$ のとき

$$\begin{cases} W_p = (\frac{r}{B} - 1) \times T \times n - W_0 \times (n-1) \\ W_c = W_0. \end{cases} \quad (7)$$

3.5 連続変化データと非連続変化データの分割比率

u と v の比率について, 背景映像がシンプルでかつ移動物体が多い立体映像では連続変化データの割合である v の値が大きくなる. 一方で, 静止する背景画像の情報量が大い場合や, 移動物体が少ない場合, 非連続変化データの割合 u の値が大きくなる. このように, 配信する没入型コンテンツの内容に応じて, 分割比率 u, v は決定される.

連続変化データのデータサイズ D_V , および非連続変化データのデータサイズ D_U について, 画像差分によるデータ圧縮を行うことで, これらのデータサイズを小さくすることは可能である. この場合, 没入型コンテンツのデータサイズ, および没入型コンテンツの分割比率 u と v を変化させることで, 本スケジューリング手法を適用できる.

3.6 導入例

没入型コンテンツの放送型配信では, 各コンテンツは連続変化データと非連続変化データを分けてそれぞれスケジューリングされる. また, ICB-DS 法で作成した放送スケジュールをもとに, サーバは放送チャンネルでデータを配信する.

図 4 に, ICB-DS 法で配信する場合の放送スケジュールを示す. 今回の例では, コンテンツ数 $n = 4$, 放送に使用できる帯域幅 $B = 18$ Mbps, $r = 20$ Mbps, $W_0 = 30$ 秒,

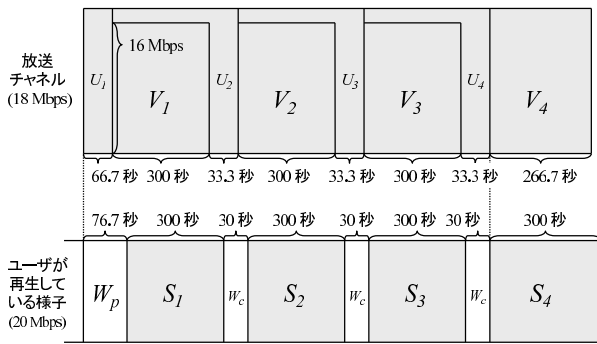


図 4 ICB-DS 法の放送スケジュール例

Fig. 4 Example of a broadcast schedule under the ICB-DS method.

$u : v = 1 : 4$ とする。まず、ステップ 1 では、 D_U と D_V のデータサイズを求める。次に、ステップ 2 では、 U_1 を帯域幅 B で $t_{U_1} = 1200/18 = 66.7$ 秒間スケジューリングする。ステップ 3 では、 $n = 4$ であるため、ステップ 4 へ移る。ステップ 4 では、(ii) の場合となるため、 $W_c = W_0 = 30$ 秒として、ステップ 5 へ移る。ステップ 5 では、 V_1 を $t_{V_1} = T = 300$ 秒の間、 $\frac{4}{1+4} \times 20 = 16$ Mbps の帯域幅でスケジューリングする。次に、 U_2 を帯域幅 2.0 Mbps で 300 秒スケジューリングし、残りは帯域幅 18 Mbps で 33.3 秒間スケジューリングする。同様にして、 V_2, U_3, V_3, U_4 の順番でスケジューリングする。最後に、ステップ 6 で、 V_4 を帯域幅 18 Mbps で $4800/18 = 266.7$ 秒間スケジューリングして、終了する。

図 4 の例では、ユーザは番組開始前に 76.7 秒待つことになるが、コンテンツ間待ち時間は平均で 30 秒となり、コンテンツ間待ち時間の上限 W_0 以下となる。実際に没入型コンテンツを放送型で配信する場合は、許容される番組開始待ち時間をあらかじめ求めておくことで、配信する映像の品質やコンテンツ間待ち時間を放送開始前に見積もることができる。

4. 評価

4.1 概要

本章では、提案する ICB-DS 法の評価を行う。初めに、使用できる帯域幅に応じた全体の待ち時間、番組開始待ち時間、およびコンテンツ間待ち時間について評価をそれぞれ行い、ICB-DS 法の有用性について述べる。次に、コンテンツ間待ち時間に応じた番組開始待ち時間について評価を行い、コンテンツ間待ち時間の上限の変化による番組開始待ち時間への影響について述べる。最後に、非連続変化データの割合に応じた番組開始待ち時間について評価を行い、2 種類のデータに分ける効果を確認する。

グラフに示す評価結果は、計算機シミュレーションによる結果である。“ICB-DS” は、提案手法 ICB-DS 法の場合、“ICB” は、比較手法 ICB 法の場合、“Simple” は、単純な

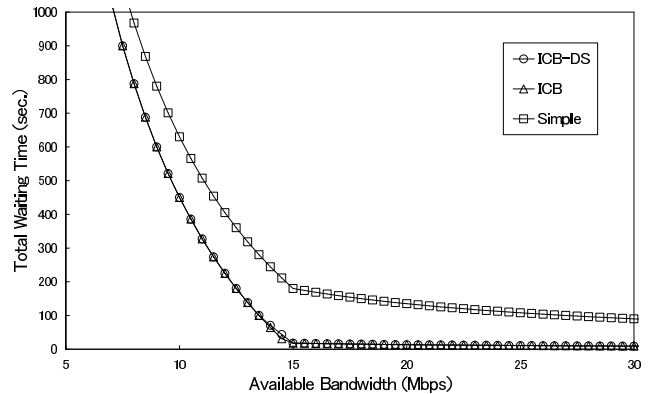


図 5 使用できる帯域幅と全体の待ち時間

Fig. 5 Available bandwidth and total waiting time.

放送スケジューリング (単純手法) の場合である。ICB 法は、図 3 の場合と同様に、コンテンツ間待ち時間の上限 W_0 を考慮せずに、 U_i および V_i を帯域幅 B で交互にスケジューリングする手法である。単純手法では、図 2 に示すように、サーバは帯域幅 B でコンテンツ単位で順番に配信する。このとき、クライアントはコンテンツの受信が完了しないと再生を開始できない。

4.2 使用できる帯域幅

4.2.1 全体の待ち時間

単純手法、ICB 法、および ICB-DS 法それぞれについて、使用できる帯域幅に応じた待ち時間がどの程度になるかを評価した。

評価に用いるパラメータについて説明する。サーバは再生時間が 180 秒の没入型コンテンツを 5 個配信し、ユーザは連続して視聴する場合を想定する。この視聴形態は、ユーザがスポーツの試合結果を没入型コンテンツとして順番に 5 試合視聴する場合を想定している。評価に用いる没入型コンテンツは、 $u : v = 1 : 9$ の比率で分割する。コンテンツ間待ち時間の上限 W_0 は、広告の挿入を考慮して 30 秒とした。再生レートは 15 Mbps とし、使用できる帯域幅に応じて、番組開始待ち時間とコンテンツ間待ち時間を合わせた全体の待ち時間がどの程度になるかを評価した。

結果を図 5 に示す。横軸は使用できる帯域幅、縦軸は番組開始待ち時間とコンテンツ間待ち時間を合わせた全体の待ち時間とする。コンテンツの再生時間を 180 秒とし、コンテンツ数は 5 とする。また、再生レートは 15 Mbps、 u と v のデータ比は 1 : 9、 $W_0 = 30$ 秒とする。

図 5 より、使用できる帯域幅が増加するのにもない、すべての手法について、全体の待ち時間は短くなるのが分かる。また、使用できる帯域幅が 15 Mbps を上回ると、全体の待ち時間の短縮率は低下する。これは、使用できる帯域幅が再生レートを上回るためであり、発生する待ち時間は U_1 の受信時間のみとなる。

ICB-DS 法および ICB 法では、非連続変化データの受信

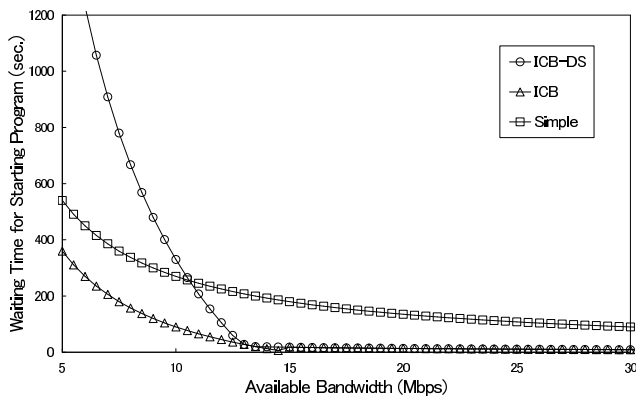


図 6 使用できる帯域幅と番組開始待ち時間

Fig. 6 Available bandwidth and waiting time for starting program.

が完了すれば連続変化データを受信しながらコンテンツを再生できるため、単純手法に比べて全体の待ち時間を短縮できる。たとえば、使用できる帯域幅が 15 Mbps のとき、単純手法における全体の待ち時間は 21.1 秒だが、ICB-DS 法および ICB 法では 6.7 秒となり、68.2%短縮できることが分かる。

4.2.2 番組開始待ち時間

単純手法、ICB 法、および ICB-DS 法それぞれについて、使用できる帯域幅に応じた番組開始待ち時間がどの程度になるかを評価した。用いるパラメータは 4.2.1 項と同じとする。

結果を図 6 に示す。横軸は使用できる帯域幅、縦軸は番組開始待ち時間とする。図 6 より、すべての手法について、使用できる帯域幅が増加するのにもない番組開始待ち時間は短くなることが分かる。また、使用できる帯域幅が 10 Mbps 以下のとき、ICB-DS 法における番組開始待ち時間は他の手法に比べて長くなる。3.3 節で説明したように、ICB-DS 法では、ユーザの視聴意欲を低下させないため、コンテンツ間待ち時間に上限を設定して、上回った時間分は番組開始待ち時間に追加している。一方で、単純手法や ICB 法はコンテンツ間待ち時間に上限を設定していないため、発生する番組開始待ち時間は、 U_1 の受信時間に加えて V_1 の受信時間と再生時間の差分を加えた時間となる。

4.2.3 コンテンツ間待ち時間

単純手法、ICB 法、および ICB-DS 法それぞれについて、使用できる帯域幅に応じたコンテンツ間待ち時間がどの程度になるかを評価した。用いるパラメータは 4.2.1 項と同じとする。

結果を図 7 に示す。横軸は使用できる帯域幅、縦軸はコンテンツ間待ち時間の平均とする。図 7 より、ICB 法で発生するコンテンツ間待ち時間は他の手法より非常に長くなることが分かる。4.2.2 項で説明したように、単純手法および ICB 法では、コンテンツ間待ち時間に上限を設定していないため、使用できる帯域幅に応じてコンテンツ間待

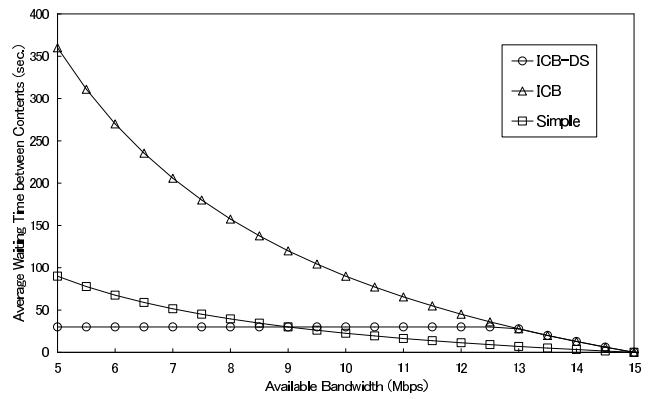


図 7 使用できる帯域幅とコンテンツ間待ち時間

Fig. 7 Available bandwidth and average waiting time between contents.

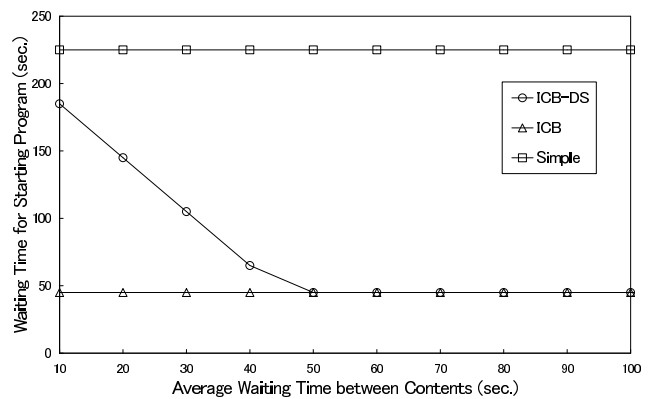


図 8 コンテンツ間待ち時間と番組開始待ち時間

Fig. 8 Average waiting time between contents and waiting time for starting program.

ち時間は大きく変化する。たとえば、使用できる帯域幅が 7.5 Mbps のとき、単純手法のコンテンツ間待ち時間は 45 秒、ICB 法は 180 秒となる。一方、ICB-DS 法では、コンテンツ間待ち時間が 30 秒より長くないように上限を設定することで、ICB 法に比べてコンテンツ間待ち時間を大きく短縮できている。評価では、5 個のコンテンツを連続して視聴する場合、ICB-DS 法と ICB 法とのコンテンツ間待ち時間の差は合計で 600 秒と長く、ユーザの視聴意欲を低下させる要因となる。

4.3 コンテンツ間待ち時間に応じた番組開始待ち時間

単純手法、ICB 法、および ICB-DS 法それぞれについて、コンテンツ間待ち時間に応じた番組開始待ち時間がどの程度になるかを評価した。パラメータは 4.2.1 項と同じとし、使用できる帯域幅は 15 Mbps とする。

結果を図 8 に示す。横軸はコンテンツ間待ち時間、縦軸は番組開始待ち時間とする。図 8 より、コンテンツ間待ち時間が 50 秒以下の場合、ICB-DS 法の番組開始待ち時間は ICB 法に比べて長くなる。これは、ICB-DS 法のスケジューリングでは W_c が W_0 を上回ることはなく、平

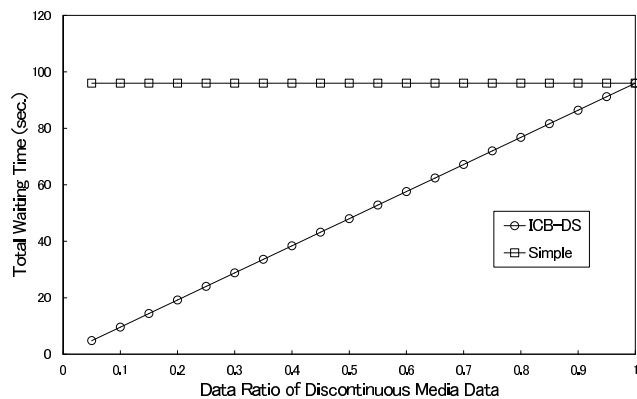


図9 非連続変化データの割合と全体の待ち時間

Fig. 9 Discontinuous media data and total waiting time.

均 ($W_0 - W_c$) 秒のコンテンツ間待ち時間が番組開始待ち時間として発生するためである。3.6 節で述べたように、ICB-DS 法では、コンテンツ間の待機許容時間として W_0 を設定することで、番組開始待ち時間 W_p を見積もることができる。

4.4 非連続変化データの割合と番組開始待ち時間

提案手法 ICB-DS 法では、非連続変化データを先に受信し、連続変化データを受信しながらコンテンツを再生することで、待ち時間を短縮している。連続変化データのサイズに対する非連続変化データのサイズが大きくなると、スケジューリングは変化する。一方、単純手法では、コンテンツデータをすべて受信完了しないと再生できないため、待ち時間は長大化する。実際のサービスでは、番組開始待ち時間やコンテンツ間待ち時間を考慮して配信するコンテンツのデータサイズや再生レートを決定する必要があるため、評価を行った。

連続変化データと非連続変化データの分割比率を変化させた場合の全体の待ち時間の評価結果を図 9 に示す。横軸はコンテンツのデータサイズに対する非連続変化データの割合とし、縦軸は全体の待ち時間とする。コンテンツの再生時間を 180 秒とし、コンテンツ数は 5 とする。また、使用できる帯域幅は 15 Mbps、再生レートは 8.0 Mbps、 $W_0 = 30$ 秒とする。評価手法として、単純手法と ICB-DS 法を用いる。

図 9 より、ICB-DS 法では、非連続変化データの割合が小さい場合に全体の待ち時間は小さくなる。非連続変化データの割合が小さくなると、番組開始待ち時間が短くなり、 U_1 の受信時間に近づくためである。一方、単純手法では、没入型コンテンツのデータサイズをすべて受信しなければ再生を開始できず、全体の待ち時間は提案手法より長くなる。たとえば、 $u : v = 2 : 3$ で放送する場合、全体の待ち時間は ICB-DS 法で 38.4 秒、単純手法で 96.0 秒となり、単純手法に比べて 53.8% 短縮する。

5. 考察

本論文では、評価手法として提案手法 ICB-DS 法、ICB 法、および単純手法の 3 つのスケジューリング手法を用いた。4 章の評価結果をもとに、スケジューリング手法の適用条件について述べる。

提案手法 ICB-DS 法は、ユーザが没入型コンテンツの再生中にストレスなく視聴するためのスケジューリング手法である。コンテンツ間待ち時間として上限値を設定し、その値を上回る分は番組開始待ち時間に追加することで、コンテンツ間待ち時間はどの手法よりも短縮できる。提案手法の利点は、配信するサーバがユーザの視聴形態に応じて、コンテンツ間待ち時間の上限を設定できる点である。ユーザは次のコンテンツの開始までの待ち時間が分かるため、ストレスなく次のコンテンツを視聴できる。また、提案手法は、番組を構成する没入型コンテンツの数 n が増えるにつれて、他のスケジューリング手法に比べて全体の待ち時間の短縮率は大きくなる。一方で、トレードオフとして番組開始待ち時間が長くなるが、全体の待ち時間は単純手法より短く、コンテンツ間の待ち時間は多くの場合で ICB 法より短くなる。

ICB 法は、コンテンツ間待ち時間に上限を設定しないスケジューリング手法である。図 6 に示すように、番組開始待ち時間についてはすべてのスケジューリング手法の中で一番短い。一方、コンテンツ間待ち時間については、図 7 に示すように他のスケジューリング手法に比べて長くなる。コンテンツの数が増加する場合、この長いコンテンツ間待ち時間が毎回発生するため、没入型コンテンツを最後まで視聴しないユーザの数は増加すると考えられる。

単純手法では、ユーザは没入型コンテンツのデータサイズをすべて受信できるまで再生を開始できない。このため、図 5 に示すように、単純手法の番組開始待ち時間は、ICB-DS 法や ICB 法に比べて長くなる。

以上より、没入型コンテンツを視聴するユーザの条件に応じて、ICB-DS 法、ICB 法、および単純手法のうちどのスケジューリング手法を利用するかを決定することで、サーバはユーザの視聴意欲を低下させずに、多くのユーザに没入型コンテンツを効率的に配信できる。

6. 関連研究

没入型コンテンツを用いたサービスはいくつか提案されている。没入型立体視ディスプレイ [2] は、コンピュータで製作した立体映像と、カメラで取り込んだ実空間を合成して表示する。手で操作する領域内における立体化に適しており、3D 映像を違和感なく視聴できる。没入型 3 次元仮想現実体感システム CAVE [10] は、ユーザの視野をディスプレイで覆い、両眼視差を利用して立体表現された仮想の 3 次元空間を生成する。臨場感や没入感を得ることがで

き、3次元映像や視覚的情報などの情報理解にも有効である。しかし、これらのシステムにおいて、データ再生中に発生する待ち時間を短縮する放送スケジューリングはこれまで提案されていなかった。

再生中に途切れが発生しない連続メディアデータの放送型配信において、待ち時間を短縮するためのスケジューリング手法はいくつか提案されている。HB (Harmonic Broadcasting) 法 [13] では、連続メディアデータを N 個の部分に等分割する。分割したデータをセグメントと呼び、初めのセグメントから順に S_1, \dots, S_N で示す。さらに、 S_i ($i = 1, \dots, N$) を M 個のサブセグメント $S_{i,1}, \dots, S_{i,M}$ に等分割し、 N 個のチャネル C_1, \dots, C_N を用いて C_i で $S_{i,1}, \dots, S_{i,M}$ を繰り返して放送する。たとえば、MPEG2 で符号化された 5.0Mbps の 60 分の連続メディアデータを衛星デジタル放送を想定した 24Mbps の帯域幅を用いて放送する場合、 $N = 67$ となり、67 個のチャネルが必要になる。

BE-AHB (Bandwidth Equivalent-Asynchronous Harmonic Broadcasting) 法 [14] は、分割放送型配信におけるスケジューリング手法である。サーバが使用できる帯域幅とクライアントの再生レートをもとに、連続メディアデータをいくつかの部分に分割することで、クライアントはデータを途切れなく再生できる。

また、ユーザがコンテンツを選択して視聴する選択型コンテンツの放送型配信におけるスケジューリング手法として、CCB-CB (Contents Cumulated Broadcasting Considering Bandwidth) 法 [15] がある。CCB-CB 法では、選択型コンテンツの放送型配信において、再生レートと等しい帯域幅のチャネルをできるだけ確保し、待ち時間を短縮している。根から順に、各深さで状態数が一番小さいコンテンツを視聴順序として選択した場合に、途切れなく再生できることを考慮し、視聴順序上のコンテンツを優先的に放送する。

我々の研究グループでは、連続メディアデータの放送型配信において、待ち時間を短縮するスケジューリング手法をこれまでに提案してきた [16], [17]。これらの手法では、連続メディアデータを複数の部分に分割して複数のチャネルで繰り返し放送することで待ち時間を短縮しているが、没入型コンテンツの放送型配信に着目したスケジューリングではない。

7. おわりに

本論文では、データ分離可能な没入型コンテンツの放送型配信において、再生中の待ち時間を短縮するスケジューリング手法として、ICB-DS 法を提案した。提案手法では、没入型コンテンツを連続変化データと非連続変化データに分けた上で、コンテンツ間待ち時間に上限を設定することで、効率的な放送スケジューリングを実現する。計算機シミュレーションによる評価の結果、提案手法では、

$u : v = 2 : 3$ で再生時間が 180 秒の 5 個のコンテンツを放送する場合、番組開始待ち時間は、ICB-CP 法で 38.4 秒、単純手法で 96.0 秒となり、単純手法に比べて 53.8% 短縮できることが分かった。

今後の予定として、各コンテンツの再生時間が異なる場合のスケジューリング手法や、コンテンツの優先度を考慮したスケジューリング手法を考えている。

謝辞 本研究の一部は、JSPS 科研費 26730059, (財) 電気通信普及財団研究調査助成, ならびに「総務省戦略的情報通信研究開発推進事業 (SCOPE)」による成果である。ここに記して謝意を表す。

参考文献

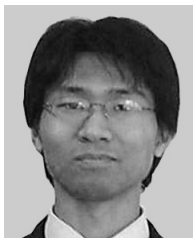
- [1] Tang, Z., Rong, G., Guo, X. and Prabhakaran, B.: Streaming 3D Shape Deformations in Collaborative Virtual Environment, *Conf. IEEE VR*, pp.183-186 (2010).
- [2] 没入型ヘッドマウントディスプレイ nVisor SX60. 入手先 (<http://www.nvisinc.com/product.php?id=16>).
- [3] 横山正浩, 義久智樹, 原 隆浩, 西尾章治郎: P2P ストリミング環境におけるモデル・動作分離型コンテンツの再生途切れ時間短縮方式, Vol.54, No.11, pp.2360-2370 (2013).
- [4] Hu, S.Y., Huang, T.H., Chang, S.C., Sung, W.L., Jiang, J.R. and Chen, S.Y.: A Framework for Peer-to-Peer 3D Streaming, *Proc. IEEE INFOCOM*, pp.1373-1381 (2008).
- [5] 小川剛史, 永石博憲, 原 隆浩, 西尾章治郎: 放送型サイバースペースのためのオブジェクトの人気度と距離を考慮したスケジューリング方式, 情報処理学会論文誌, Vol.49, No.2, pp.739-747 (2008).
- [6] Juhn, L.-S. and Tseng, L.M.: Fast data broadcasting and receiving scheme for popular video service, *IEEE Trans. Broadcasting*, Vol.44, No.1, pp.100-105 (1998).
- [7] Paris, J.-F.: An Interactive Broadcasting Protocol for Video-on-Demand, *Proc. IEEE Int. Performance, Computing, and Communications Conference (IPCCC '01)*, pp.347-353 (2001).
- [8] Shi, L., Sessini, P., Mahanti, A., Li, Z. and Eager, D.L.: Scalable Streaming for Heterogeneous Clients, *Proc. ACM Multimedia*, pp.22-27 (2006).
- [9] Zhao, Y., Eager, D.L. and Vernon, M.K.: Scalable On-Demand Streaming of Non-Linear Media, *Proc. IEEE INFOCOM*, Vol.3, pp.1522-1533 (2004).
- [10] Cruz-Neira, C., Sandin, D.J. and DeFanti, T.A.: Surround-Screen Projection-Based Virtual Reality: The Design and Implementation of the CAVE, *Proc. SIGGRAPH '93*, pp.135-142 (1993).
- [11] Matsuoka, D., Araki, F., Kida, S., Sasaki, H. and Taguchi, B.: Visualization for Ocean General Circulation Model via Multi-dimensional Transfer Function and Multivariate Analysis, *Trans. Japan Society for Simulation Technology*, Vol.4, No.4, pp.168-175 (2012).
- [12] Gotoh, Y., Ebara, Y., Yoshihisa, T., Koyamada, K. and Kanazawa, M.: Development of Tea Ceremony E-learning Environment within Immersive Projection Technology, *Proc. 4th Int. Workshop on Network-based Virtual Reality and Tele-existence (INVITE2008)*, pp.1000-1005 (2008).
- [13] Janakiraman, R. and Waldvogel, M.: Fuzzycast: Efficient Video-on-Demand over Multicast, *Proc. IEEE IN-*

- FOCOM*, pp.920-929 (2002).
- [14] 義久智樹, 塚本昌彦, 西尾章治郎: 再生単位を考慮したスケジューリング手法における使用チャンネル数について, 日本データベース学会 Letters, Vol.4, No.3, pp.5-8 (2005).
- [15] Gotoh, Y., Yoshihisa, T., Kanazawa, M. and Takahashi, Y.: A Broadcasting Scheme for Selective Contents Considering Available Bandwidth, *IEEE Trans. Broadcasting*, Vol.55, Issue 2, pp.460-467 (2009).
- [16] 後藤佑介, 義久智樹, 金澤正憲: 異種クライアント環境における連続メディアデータ放送のための待ち時間短縮手法, 電子情報通信学会論文誌 D, Vol.J91-D, No.3, pp.667-676 (2008).
- [17] Gotoh, Y., Suzuki, K., Yoshihisa, T. and Kanazawa, M.: A Scheduling Method to Reduce Waiting Time for P2P Streaming Systems, *Journal of Mobile Multimedia*, Vol.5, No.3, pp.255-270 (2009).



後藤 佑介 (正会員)

2005年岡山大学工学部情報工学科卒業。2007年京都大学大学院情報学研究科システム科学専攻修士課程修了。2009年同専攻博士後期課程修了。博士(情報学)。2009年岡山大学大学院自然科学研究科助教を経て、2014年同准教授。この間、豪ラトロブ大学客員研究員。放送コンピューティングおよび位置情報システムに興味を持つ。電子情報通信学会, IEEE 各会員。



義久 智樹 (正会員)

2002年大阪大学工学部電子情報エネルギー工学科卒業。2003年同大学大学院情報科学研究科マルチメディア工学専攻博士前期課程を修了し、2005年同専攻博士後期課程修了。博士(情報科学)。2005年京都大学学術情報メディアセンター助教。2008年大阪大学サイバーメディアセンター講師を経て2009年より同准教授となり、現在に至る。この間、カリフォルニア大学アーバイン校客員研究員。インターネット放送およびセンサネットワークに興味を持つ。電子情報通信学会, IEEE 各会員。



谷口 秀夫 (フェロー)

1978年九州大学工学部電子工学科卒業。1980年同大学大学院修士課程修了。同年日本電信電話公社電気通信研究所入所。1987年同所主任研究員。1988年NTTデータ通信株式会社開発本部移籍。1992年同本部主幹技師。1993年九州大学工学部助教授。2003年岡山大学工学部教授。2010年岡山大学工学部長。2014年岡山大学理事・副学長。博士(工学)。オペレーティングシステム, 実時間処理, 分散処理に興味を持つ。著書『並列分散処理』(コロナ社)等。電子情報通信学会, ACM 各会員。



金澤 正憲 (正会員)

1971年京都大学大学院工学研究科数理工学専攻修士課程修了。1972年同大学大型計算機センター助手, 助教授を経て、1995年同教授。1998年同大学大学院情報学研究科兼任。2002年改組により同大学学術情報メディアセンター教授。2009年京都情報大学院大学教授。工博。並列コンピューティング, 性能評価, ネットワークコンピューティングに興味を持つ。ACM 会員。