

# スケジューリング手法を評価可能な 選択型コンテンツの放送型配信システムの実現と評価

藤田 拓郎<sup>1</sup> 後藤 佑介<sup>1</sup>

受付日 2017年2月23日, 採録日 2017年7月4日

**概要:** 音声や映像といった一続きの動画を多くのユーザが視聴する場合、放送型によるデータ配信が有効な手段である。特に、選択型コンテンツの放送型配信では、サーバは複数のコンテンツを一定の帯域幅で多くのユーザにまとめて配信できる。一方で、サーバが配信に使用できる帯域幅や配信するコンテンツの数に応じて、ユーザはコンテンツの再生中に待ち時間が発生する。この待ち時間を短縮するスケジューリング手法はいくつか提案されているが、シミュレーション環境における評価のみであった。本論文では、選択型コンテンツの放送型配信において、実際のネットワーク環境でさまざまなスケジューリング手法を評価できるシステムを実現し、システムの有用性を評価する。

**キーワード:** 放送型配信, スケジューリング手法, 選択型コンテンツ, 待ち時間

## Design and Evaluation of Selective Contents Broadcasting System for Scheduling Methods

TAKURO FUJITA<sup>1</sup> YUSUKE GOTOH<sup>1</sup>

Received: February 23, 2017, Accepted: July 4, 2017

**Abstract:** Due to the recent popularization of IP multicasts, selective contents, i.e., watching users selected themselves, have attracted great attention. In selective contents broadcasting, although the server can deliver programs reflecting user's preferences, users may have the waiting time while playing their selected program according to the available bandwidth and the number of contents. Therefore, many researches have proposed scheduling methods to reduce the waiting time. However, because of complexity of the implementation, many researches usually evaluate these scheduling methods using computer simulations. In this paper, we design and implement a broadcasting system for selective contents. In addition, we evaluate the availability of our proposed system with several scheduling methods.

**Keywords:** broadcasting, scheduling method, selective contents, waiting time

### 1. はじめに

近年、ユーザが視聴したいコンテンツを複数選択して順番に視聴する選択型コンテンツを放送型で配信する研究が注目されている [1]。選択型コンテンツの例として、択一式のクイズ番組があげられる。2 択のクイズ番組の場合、選択肢が提示され、ユーザは回答を選択する。ユーザの回答が正解であれば正解の映像を再生し、ユーザの回答が不

正解であれば不正解の映像を再生する。また、複数のエンディングで構成されたドラマ番組の場合、ユーザはドラマの冒頭を視聴した後、好みに応じてシナリオの続きを選択し、再生する。以上のように、ユーザは選択型コンテンツを視聴することで、自分の好みに合ったコンテンツを自分の好きな順序で視聴できる。このような視聴形式は、地上波デジタル放送ではマルチチャンネルドラマとして NHK や民間の放送局がすでにコンテンツ化 [2], [3] しており、今後はインターネットを介した選択型コンテンツの配信数が増加すると考えられる。

選択型コンテンツの放送型配信では、サーバは複数のコ

<sup>1</sup> 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

コンテンツを一定の帯域幅で多くのユーザに同報配信できるが、サーバが配信に使用できる帯域幅や配信するコンテンツの数に応じて、ユーザは再生中に待ち時間が発生する。この待ち時間を短縮するスケジューリング手法はいくつか提案されているが、これまでのスケジューリング手法はシミュレーション環境における評価のみであった。そこで、実際のネットワーク環境に近い状況でスケジューリング手法を評価するための配信システムが求められている。

我々の研究グループでは、一続きの連続メディアデータを1種類のみ配信するシステム [4]、および複数種類の連続メディアデータを配信するシステム [5] を実現してきたが、コンテンツの視聴順序を考慮した選択型コンテンツの放送型配信システムは実現していなかった。実際のネットワーク環境でさまざまな選択型コンテンツのスケジューリング手法を評価する場合、スケジューリング手法を実装するだけでなく、通信を制御する方式を新たに開発する必要がある。本論文では、選択型コンテンツの放送型配信において、実際のネットワーク環境に近い形でさまざまなスケジューリング手法を評価するシステムを実現する。

本論文は、以下のように構成される。2章でコンテンツの配信方式について述べ、3章で選択型コンテンツを説明する。4章では、選択型コンテンツの放送型配信で発生する待ち時間を短縮するスケジューリング手法を紹介する。5章で選択型コンテンツの放送型配信システムの実現における課題と対処について述べ、6章で設計および実装を行う。7章で評価を行い、8章で本論文をまとめる。

## 2. コンテンツ配信方式

### 2.1 VoD

NHK オンデマンド [6] をはじめとするインターネットテレビや YouTube [7] といった多くの種類のコンテンツを配信する方式として、Video on Demand (以下、VoD) があげられる。VoD では、サーバはユーザと1対1で通信するユニキャストを用いてコンテンツを配信することで、ユーザは待つことなくコンテンツを視聴できる。一方で、ユーザ数の増加にともないサーバの処理負荷が増加すると、ユーザはコンテンツの受信をサーバに要求してから再生が開始されるまで待つ可能性がある。

### 2.2 放送型配信

AbemaTV [8] といった多くのユーザに同じコンテンツを配信する方式として、放送型配信があげられる。放送型配信では、サーバはマルチキャストやブロードキャストといった通信方式を用いて多くのユーザに同報配信することで、VoD に比べて処理負荷や使用する帯域幅の増加を抑制できる。一方で、サーバは事前にコンテンツの配信時刻を定めたタイムテーブルに従って配信するため、ユーザは見たいコンテンツの配信開始時刻まで待つ必要がある。

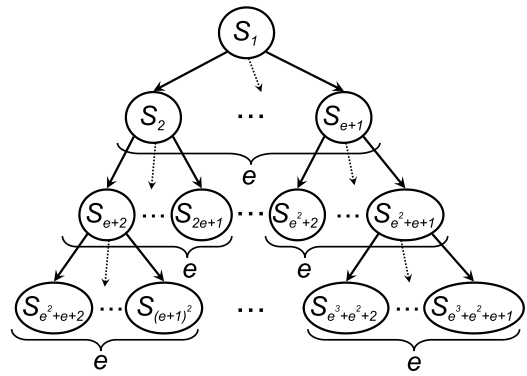


図 1 視聴順序グラフ

Fig. 1 Play-sequence graph.

本論文では、サーバは一定の帯域幅で多数のユーザに選択型コンテンツを同報配信するため、放送型配信を用いる。

## 3. 選択型コンテンツ

選択型コンテンツの放送型配信では、ユーザは複数のコンテンツを選択しながら続けて視聴するため、視聴するコンテンツに順序が生じる。一般に、ユーザは現在再生しているコンテンツが終了してから次のコンテンツを再生する。このため、選択型コンテンツの表記方法として状態遷移グラフが適している。本論文では、選択型コンテンツの視聴順序を表記する状態遷移グラフを視聴順序グラフと呼ぶ。

ドラマ番組を例にして、図 1 に示す視聴順序グラフを説明する。サーバはドラマ番組を構成する  $n$  個のコンテンツ  $S_i$  ( $1 \leq i \leq n$ ) を配信し、ユーザは択一数  $e$  のコンテンツを複数回選択して、最後まで視聴する。状態  $S_1$  が冒頭部分を再生している状態であり、2 択 ( $e = 2$ ) のドラマ番組の場合、 $S_1$  の再生が終了すると、状態  $S_2$ 、もしくは状態  $S_3$  のどちらかに遷移する。 $S_2$  に遷移した場合、さらに 2 つの選択肢から選択し、 $S_4$  または  $S_5$  に遷移する。次に再生するコンテンツがない場合、番組の再生は終了する。

## 4. スケジューリング手法

### 4.1 概要

選択型コンテンツの放送型配信では、サーバは複数のコンテンツを一定の帯域幅で多くのユーザにまとめて配信できる。一方で、サーバが配信に使用できる帯域幅に上限がある場合や配信するコンテンツの数が大きく増加する場合、コンテンツの再生中に途切れが発生する可能性がある。このとき、再生中に途切れが発生しないように再生開始時刻を遅らせる必要があり、待ち時間が長大化する。待ち時間は、クライアントが視聴順序グラフの根から葉までの間で選択した複数のコンテンツそれぞれについて、セグメントの受信完了が再生開始に間に合わない場合、当初の再生開始時刻から受信完了時刻までの間で発生する時間の合計である。待ち時間が長大化するとユーザの視聴意欲が低下す

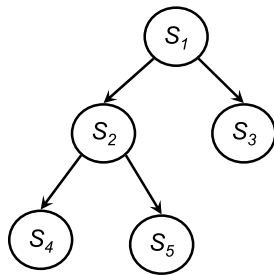


図 2 ニュース番組の視聴順序グラフ

Fig. 2 Play-sequence graph for news programs.

るため、問題である。

そこで、実際のネットワーク環境で想定される配信条件を考慮して、どのコンテンツをどのタイミングで配信するかを定めた配信スケジュールを作成して、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。以下の節で、コンテンツのデータサイズが同じ状況で待ち時間を短縮する既存のスケジューリング手法について述べる。

サーバが図 2 に示すニュース番組を想定した選択型コンテンツを放送する場合を考える。図 2 の視聴順序グラフについて、 $e = 2$ 、コンテンツ数は 5 である。各コンテンツの再生時間は 60 秒とする。

#### 4.2 シミュレーション環境の定義

1 章で説明したように、これまでの選択型コンテンツのスケジューリング手法では、シミュレーション環境で評価を行っていた。ここで、本論文で想定するシミュレーション環境を箇条書きで示す。

- コンテンツの受信や再生で発生する処理負荷にかかる時間は 0 である。
- 放送型配信におけるスケジューリング手法に関するシミュレーション評価は、1 台の計算機内で行われる。
- 待ち時間は計算式で算出される。

シミュレーション環境における評価プログラムでは、スケジューリング手法を用いて算出した各コンテンツの配信開始時刻と配信終了時刻をもとに、待ち時間を計算式で求めている。このため、コンテンツの受信や再生で発生する処理負荷は考慮していない。また、1 台の計算機で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のシミュレーション評価を行うため、ネットワーク内で発生するサーバとクライアントの間の通信時間を考慮していない。

一方で、本システムで実装する *Corne* では、サーバで発生する配信処理時間、サーバ・クライアント間の通信時間、およびクライアントで発生する受信処理時間と再生処理時間の合計値を待ち時間として算出することで、実際のネットワーク環境を想定した評価を実現できる。

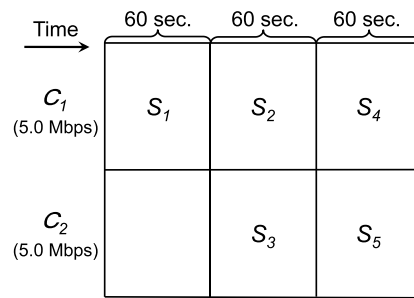


図 3 単純手法の配信スケジュール例

Fig. 3 Example of broadcast schedule under simple method.

#### 4.3 単純手法

はじめに、視聴順序グラフの深さに応じてチャンネルの帯域幅と配信するコンテンツの時間帯を単純に決定する手法(以下、単純手法)を用いて、図 2 の視聴順序グラフで示す選択型コンテンツを放送する場合の配信スケジュール例を図 3 に示す。時間の経過は右向きに示す。単純手法では、視聴順序グラフに基づき、サーバが複数のチャンネルを用いて各コンテンツを再生開始時刻と同時に放送を開始し、かつ再生終了時刻と同時に放送を終了できるように、再生レートと同じ帯域幅を各チャンネルに割り当ててスケジューリングすることで、ユーザは途切れなく番組を再生できる。選択肢の数の最大値は 2 となるため、単純手法で使用するチャンネルの数  $m$  は 2 となる。各チャンネルの帯域幅は再生レートと同じである。

また、ある深さにおける選択肢の数がすべての深さにおける選択肢の数の最大値未満の場合、単純手法ではコンテンツを放送しない時間帯を持つチャンネルが発生する。たとえば、図 3 の場合、サーバは、 $C_1$  で  $S_1, S_2, S_4$  を順番に放送する。一方、 $C_2$  では、受信開始時刻から 1 分後までは何も放送せず、この後に  $S_3, S_5$  を順番に放送する。再生レートが 5.0 Mbps のとき、サーバが放送に必要な帯域幅は  $5.0 \times 2 = 10.0$  Mbps となる。

#### 4.4 CCB 法

Contents Cumulated Broadcasting 法(以下、CCB 法) [9] では、どの視聴順序を選択しても再生中に途切れが発生しないように配信スケジュールを作成する。また、単純手法の配信スケジュールで放送していない時間帯にコンテンツをスケジューリングすることで、使用する帯域幅と放送時間の積を単純手法に比べて小さくする。

図 2 の視聴順序グラフで示す選択型コンテンツを CCB 法で放送する場合の配信スケジュール例を図 4 に示す。CCB 法では、使用する帯域幅と放送時間の積ができるだけ小さくなるように配信スケジュールを作成することで、放送に必要な帯域幅を単純手法に比べて削減する。たとえば、図 4 の場合、サーバは番組の放送が始まると、再生レートと同じ帯域幅を持つチャンネル  $C_1, C_2$  を用いて、

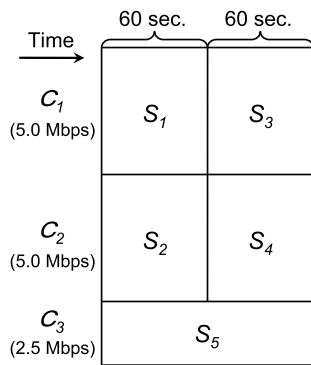


図 4 CCB 法の配信スケジュール例

Fig. 4 Example of broadcast schedule under CCB method.

$C_1$  で  $S_1$  と  $S_3$ ,  $C_2$  で  $S_2$  と  $S_4$  を各 60 秒放送する。また、使用する帯域幅と放送時間の積ができるだけ小さくなるように、 $C_3$  で  $S_5$  を 120 秒放送する。このとき、 $C_3$  の帯域幅は  $5.0/2 = 2.5$  Mbps となるため、サーバが放送に必要な帯域幅は  $5.0 \times 2 + 2.5 = 12.5$  Mbps となる。

しかし、サーバで放送に必要な帯域幅が使用できる帯域幅を上回る場合、ユーザは再生中に待ち時間が発生する。たとえば、サーバが使用できる帯域幅の上限が 8.0 Mbps となる場合、各チャンネルの帯域幅は  $8.0/12.5 = 0.64$  倍され、 $C_1$ ,  $C_2$  の帯域幅は  $5.0 \times 0.64 = 3.2$  Mbps,  $C_3$  の帯域幅は  $2.5 \times 0.64 = 1.6$  Mbps となる。チャンネルの帯域幅が再生レートを下回ると、コンテンツの受信時間は再生時間より長くなり、待ち時間が長大化する。たとえば、ユーザが  $S_1$ ,  $S_2$ ,  $S_5$  を順番に再生する場合、待ち時間が 34.0 秒発生する。

CCB 法の長所は、すべてのチャンネルでつねにコンテンツを放送する点、および帯域幅に制限がない場合に待ち時間が発生しない点である。短所は、帯域幅が異なるチャンネルが発生する点、視聴順序に分岐が多い場合に配信スケジュールの作成が複雑になる点、および使用できる帯域幅に制限がある場合に待ち時間が発生する点である。

#### 4.5 CCB-CB 法

図 2 の視聴順序グラフで示す選択型コンテンツを Contents Cumulated Broadcasting - Considering Bandwidth 法 (以下、CCB-CB 法) [10] で放送する場合の配信スケジュール例を図 5 に示す。CCB-CB 法では、再生レートと等しい帯域幅のチャンネルをできるだけ多く確保することで、放送に必要な帯域幅が使用できる帯域幅を上回る状況で、CCB 法に比べて待ち時間を短縮する。たとえば、使用できる帯域幅が 8.0 Mbps, 再生レートが 5.0 Mbps の場合、 $C_1$  の帯域幅は 5.0 Mbps となり、 $C_2$  の帯域幅は残りの 3.0 Mbps となる。CCB-CB 法では、はじめに視聴順序グラフで根から葉までのスケジュールリングの基準となる経路 (以下、主順序) を 1 つ決定して、 $C_1$  にスケジュールリングする。図 5 では、視聴順序グラフの主順序として  $S_1$ ,

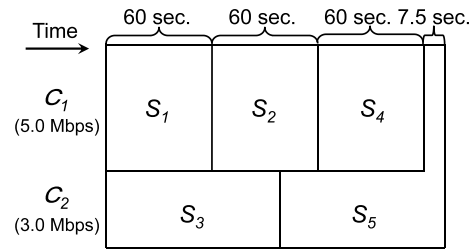


図 5 CCB-CB 法の配信スケジュール例

Fig. 5 Example of broadcast schedule under CCB-CB method.

$S_2$ ,  $S_4$  の経路を選択して、 $C_1$  で順番に放送する場合の配信スケジュールを示している。 $C_2$  では、 $S_3$  を 100 秒かけて放送した後、 $S_5$  を 80 秒間放送する。この後、 $C_1$  と  $C_2$  の帯域幅を合わせた計 8.0 Mbps の帯域幅を用いて、 $S_5$  の残りを 7.5 秒間放送する。図 5 の例で、ユーザが  $S_1$ ,  $S_2$ ,  $S_5$  の順に再生する場合、待ち時間は 12.0 秒となり、CCB 法に比べて待ち時間を  $(34.0 - 12.0) \times 100/34.0 \approx 64.7\%$  短縮できる。

CCB-CB 法の長所は、すべてのチャンネルでつねにコンテンツを放送する点、および使用できる帯域幅に制限がある場合に待ち時間を短縮できる点である。短所は、チャンネルの帯域幅が配信中に変化する点、および配信スケジュールの作成が単純手法や CCB 法に比べて複雑である点である。

#### 4.6 関連研究

コンテンツを複数の部分に分割して複数のチャンネルで放送型配信を行う分割放送型配信において、待ち時間を短縮する手法はいくつか提案されている [11], [12], [13]. Harmonic Broadcasting 法 [14] では、コンテンツデータをデータサイズが等しいいくつかの部分に分割し、帯域幅が異なるいくつかのチャンネルを用いて繰り返して配信することで、ユーザは先頭部分のデータを受信する機会が増え、待ち時間を短縮できる。Pyramid Broadcasting 法 [15], および Asynchronous Harmonic Broadcasting 法 [16] では、チャンネルの帯域幅が等しい状況で、コンテンツをデータサイズが異なる複数の部分に分割してスケジュールリングすることで、待ち時間を短縮する。しかし、これらの手法では、選択型コンテンツを対象としておらず、選択型コンテンツの視聴順序を考慮した配信スケジュールを作成できない。

Extended Cumulated Broadcasting (ECB) 法 [17] では、選択型コンテンツの放送型配信で各コンテンツのデータサイズが可変である場合に、選択肢となる複数のコンテンツのうち 1 つを選択する確率 (以下、選択確率) をコンテンツごとに設定する。サーバは、ユーザが視聴順序グラフで根から葉までの間に選択するコンテンツの選択確率の積が高い視聴経路上のコンテンツを優先して配信スケジュールを作成することで、待ち時間を短縮する。



## 5. 選択型コンテンツの放送型配信システム

### 5.1 概要

これまでの研究は、放送型配信で発生する待ち時間の短縮が主な目的であり、シミュレーションモデルを作成して待ち時間の短縮効果を既存手法と比較評価する研究がほとんどである。これらの研究を実際のネットワーク環境で評価する場合、サーバ・クライアントそれぞれで発生する処理時間がネットワーク環境に応じて変動するため、シミュレーション環境における評価は困難である。

そこで、実際のネットワーク環境でスケジューリング手法を評価する配信システムを構築する。我々の研究グループでは、連続メディアデータを1種類のみ配信するシステム [4]、および複数種類の連続メディアデータを配信するシステム [5] を実現してきたが、コンテンツの視聴順序を考慮した選択型コンテンツの放送型配信システムは実現していなかった。連続メディアデータは、再生中に途切れが発生しない一続きのデータであり、連続メディアデータの放送型配信では、1つのデータをどのように分割して複数のチャンネルで配信するかを定めたスケジューリング手法を用いて、クライアントにセグメントを配信する。一方、選択型コンテンツの放送型配信では、サーバは視聴順序グラフに基づいて作成した配信スケジュールに従って番組を配信し、クライアントは複数のコンテンツを選択しながら連続して再生する。連続メディアデータが一続きのデータであるのに対して、選択型コンテンツは、コンテンツ間で発生する待ち時間が候補となるコンテンツの選択時間として許容される。

実際のネットワーク環境でスケジューリング手法を適用する場合、2つの課題があげられる。以降の節で、順番に説明する。

### 5.2 課題

#### 5.2.1 データの配信契機

選択型コンテンツの放送型配信では、1つの物理チャンネルを複数の論理チャンネルに分割して、時分割でデータを配信する。このとき、スケジューリング手法で作成する配信スケジュールをシステム上で正確に再現するため、サーバは配信スケジュールに従って、すべてのチャンネルでコンテンツの配信開始時刻を同期する必要がある。しかし、実際のデータ配信では、サーバはコンテンツのデータサイズや次に再生する候補となるコンテンツの情報をユーザに配信する必要がある。このような情報が配信スケジュールに与える影響を考慮しない場合、サーバはすべてのチャンネルでコンテンツの配信開始契機を同期できず、スケジューリング手法の配信スケジュールと同じタイミングでコンテンツを配信できない。このとき、コンテンツの受信完了まで再生を開始する契機を遅らせる必要があり、選択したコンテ

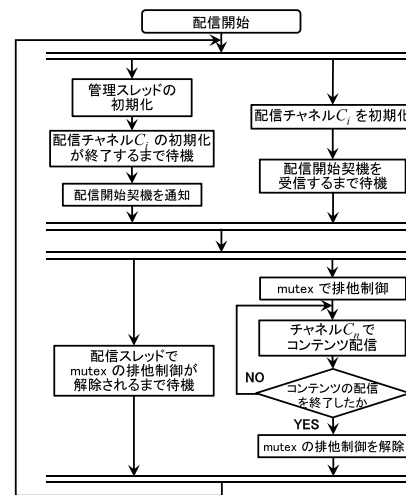


図 6 実現方式におけるサーバの処理流れ

Fig. 6 Flow chart for server.

ントを再生するたびに待ち時間が発生する。

#### 5.2.2 再生を開始する契機

選択型コンテンツの放送型配信において、スケジューリング手法を用いて作成する配信スケジュールでは、再生を開始する契機と受信を開始する契機は同じである。一方で、実際のネットワーク環境で選択型コンテンツを放送型で配信する場合、サーバの配信処理およびユーザの受信処理で必要となる時間（以下、ロード時間）が新たに発生する。ロード時間は、コンテンツを受信しながら再生する逐次再生中に、再生に必要なセグメントデータの受信完了が間に合わずに発生する時間の合計である。シミュレーション環境におけるスケジュール手法では、数学的に待ち時間を算出するため、ロード時間は発生しない。

### 5.3 対処

#### 5.3.1 データの配信契機を同期させる方式

付加情報による配信スケジュールへの影響に対処するため、データの配信契機を同期させる方式を実現する。実現方式では、各チャンネルのデータ配信処理とデータの配信契機を同期させる処理の2つを複数のスレッドで並列化する。次に、並列化した処理の開始と停止を通知する仕組み、および並列化した処理を排他制御で同期する仕組みの2つを用いて、データの配信契機を同期させる。

提案システムにおけるサーバの処理流れを図6に示す。配信に用いる  $i$  ( $1 \leq i \leq m$ ) 番目のチャンネルを  $C_i$  とする。サーバは、複数のスレッドを用いて並列化する。各スレッドは2種類に分類される。1つ目は、データの配信契機を管理する管理スレッドであり、2つ目は、 $C_i$  の配信処理を行う配信スレッドである。配信スレッドの数はチャンネル数  $m$  と同じである。はじめに、管理スレッドは初期化を行い、すべての配信スレッドに配信開始契機を通知する。サーバは、配信開始契機を通知した後、各配信スレッドにおいて、

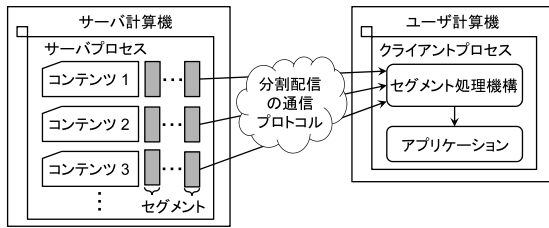


図 7 逐次再生の実現方式

Fig. 7 Sequential playback in our proposed system.

排他制御を管理する仕組み（以下，mutex）により排他制御が解除され，すべての配信スレッドで処理が同期されるまで待機する．一方， $C_i$  の配信スレッドは，管理スレッドから配信開始契機が通知されるまで待機する．管理スレッドから配信開始契機が通知されると， $C_i$  の配信スレッドでは mutex で排他制御を行い， $C_i$  でコンテンツを配信する．コンテンツの配信が完了すると， $C_i$  の配信スレッドでは，mutex の排他制御を解除し，管理スレッドから配信の再開が通知されるまで待機する．以上より，サーバはコンテンツの先頭部分の配信契機を同期できる．

### 5.3.2 逐次再生に対応するデータ配信方式

データの再生開始契機における課題に対処するため，逐次再生の通信プロトコルを利用して，コンテンツをセグメントと呼ばれる複数の部分に分割して配信する方式を実現する．逐次再生方式は，クライアントがデータを受信しながら再生する方式であり，セグメントをソートしてコンテンツを構成した後にアプリケーションへ送信し，ブラウザ上でコンテンツの再生処理を行う．

図 7 に，逐次再生の実現方式を示す．サーバは，分割配信の通信プロトコルを用いて，コンテンツのデータを等分割した複数のセグメントをクライアントのセグメント処理機構に配信する．セグメント処理機構は，コンテンツ番号とセグメント番号をもとにセグメントを各コンテンツの先頭から順番にソートし，アプリケーションに送信する．アプリケーションでは，セグメントをブラウザに送信し，ブラウザを用いてコンテンツの逐次再生を行う．

## 6. 設計

### 6.1 データフォーマット

#### 6.1.1 制御通信用パケット

提案システムにおける制御通信用パケットのデータフォーマットを図 8 に示す． $n$  ( $1 \leq n \leq 177$ ) は，コンテンツ数である．制御通信用パケットは，データフォーマット識別値，コンテンツの種類識別値，分岐の深さ，分岐の数，コンテンツ数，チャンネル数と分岐の深さの積，セグメントデータサイズ，各コンテンツのデータサイズ，および各コンテンツの再生時間で構成される．データフォーマット識別値は，制御通信用パケットの識別に用いる．コンテンツの種類識別値は，クイズ番組やドラマ番組といった番組形

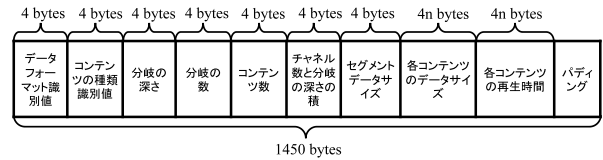


図 8 制御通信用パケットのデータフォーマット

Fig. 8 Data format of packet for transmission control.

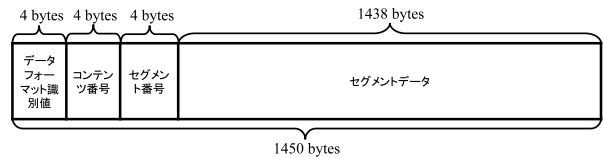


図 9 データ通信用パケットのデータフォーマット

Fig. 9 Data format of packet for data communication.

式に基づいた視聴順序グラフを識別するために用いる．分岐の深さは，選択型コンテンツの配信に用いる視聴順序グラフの深さの値を示す．分岐の数は，次に視聴するコンテンツにおける選択肢の数を示す．コンテンツ数は，視聴順序グラフを構成するコンテンツの合計数を示す．チャンネル数と分岐の深さの積は，単純手法においてコンテンツを放送しない時間帯を実現するために用いる．セグメントデータサイズでは，データ通信用パケットにおけるセグメントのデータサイズを示す．各コンテンツのデータサイズ，および各コンテンツの再生時間は，コンテンツのデータサイズおよび再生時間の値をそれぞれ示す．最後に，制御通信用パケットであらかじめ設定したパケットサイズがデータ通信用パケットと同じになるようにパディングを行う．以上より，制御通信用パケットのデータサイズは合計で 1,450 bytes となる．

*Corne* では，サーバは次に再生する候補となるコンテンツの情報をクライアントに配信する必要がある．クライアントは，制御通信用パケットに含まれている分岐の深さ，分岐数，およびコンテンツ数を用いることで，クライアントは次に視聴する候補となるコンテンツの情報を計算して求めることができる．

制御通信用パケットとデータ通信用パケットのデータサイズを同じにする理由は，配信スケジュールを用いた *Corne* におけるタイムスロット時間を固定するためである．制御通信用パケットのデータサイズは Ethernet フレームのデータサイズである 1,500 bytes より小さく，制御通信用パケットの配信時間による配信効率の低下は小さい．

#### 6.1.2 データ通信用パケット

提案システムにおけるデータ通信用パケットのデータフォーマットを図 9 に示す．データ通信用パケットは，データフォーマット識別値，コンテンツ番号，セグメント番号，およびセグメントデータで構成される．データフォーマット識別値は，データ通信用パケットの識別に用いる．コンテンツ番号は，配信するセグメントデータがどのコン



図 10 Corne のスクリーンショット  
Fig. 10 Screenshot of Corne.

テンツの一部であるかの識別に用いる。セグメント番号は、分割された複数のセグメントのうち何番目のセグメントであるかの識別に用いる。セグメントデータは、セグメント番号に対応したデータの情報である。以上より、データ通信用パケットのサイズは合計で 1,450 bytes となる。

### 6.2 サーバプロセス

サーバは、以下の手順に従って配信処理を行う。

- (1) 配信するコンテンツのデータ情報を読み込む。
- (2) 制御通信用パケットをクライアントに配信する。
- (3) コンテンツのデータを等分割したセグメントをデータ通信用パケットに格納して、クライアントに配信する。
- (4) すべてのコンテンツの配信が終了すると、(2)に戻る。

### 6.3 クライアントプロセス

クライアントは、以下の手順に従って受信処理を行う。

- (1) サーバから制御通信用パケットを受信し、バッファの作成を行う。
- (2) サーバからデータ通信用パケットを受信する。
- (3) 再生するコンテンツのセグメントデータをバッファに格納後、ブラウザでコンテンツを再生する。
- (4) コンテンツの再生終了後、次に再生するコンテンツがあれば、(3)に戻る。次に再生するコンテンツがなければ、受信処理を終了する。

### 6.4 実装

選択型コンテンツの放送型配信システム Contents based Broadcasting system (以下, *Corne*) のスクリーンショットを図 10 に示す。*Corne* は、コンテンツのデータサイズおよびセグメントの配信順序を自由に設定することで、さまざまなスケジューリング手法を評価できる。*Corne* では、ActionScript を用いてブラウザ上で動画を再生できる。再生に使用するプレイヤーは、ブラウザ上で動作する Adobe Flash Player を用いた。

*Corne* を実装したコンピュータを用いてネットワークを構築した。実装に用いたコンピュータの性能を表 1 に示す。図 11 に

表 1 計算機の性能

Table 1 Computer spec for evaluations.

Server (1PC)	CPU	Intel® Core™2 Duo CPU E7500 (2.93 GHz)
	Memory	2.0 GBytes
	OS	Ubuntu 12.10
	NIC	RTL8101E/RTL8102E
Dummysnet (1PC)	CPU	Intel® Core™2 Duo CPU E7500 (2.93 GHz)
	Memory	2.0 GBytes
	OS	FreeBSD 8.2-RELEASE
	NIC1	RTL8169SC
	NIC2	RTL8169SC
User (1PC)	CPU	Intel® Core™2 Duo CPU E7500 (2.93 GHz)
	Memory	2.0 GBytes
	OS	Ubuntu 12.10
	NIC	RTL8101E/RTL8102E

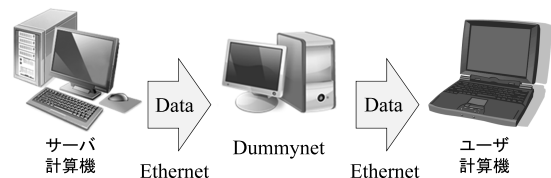


図 11 評価環境

Fig. 11 Evaluation environment.

示す評価環境の構成では、サーバ計算機 1 台とユーザ計算機 1 台を Gigabit Ethernet で接続し、UDP/IP 接続を確立した。ただし、マルチキャストを用いた配信方式であるため、ユーザ計算機の台数は、分割配信の処理負荷、待ち時間、およびロード時間に影響を与えない。また、ネットワークの帯域幅を評価に応じて設定するため、サーバ計算機とユーザ計算機との間に帯域制御機能 Dummysnet [18] を利用できる計算機を挿入した。

## 7. 評価

### 7.1 評価の観点

評価の観点について、説明する。データの配信契機を同期させる方式では待ち時間の短縮性能とし、スケジューリング手法を用いて、帯域幅およびコンテンツ数の変化で発生する待ち時間を *Corne* およびシミュレーション環境で比較評価する。また、逐次再生に対応するデータ配信方式ではロード時間の短縮性能とし、スケジューリング手法を用いて、帯域幅およびコンテンツ数の変化で発生するロード時間を *Corne* でそれぞれ評価する。

評価に用いるスケジューリング手法は、単純手法、CCB 法 [9]、および CCB-CB 法 [10] の 3 種類とする。これら 3 種類のスケジューリング手法を用いて、シミュレーション環境で数学的に算出された待ち時間と比較し、スケジュー



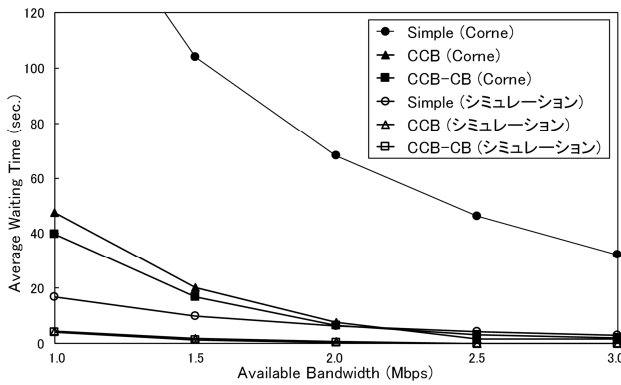


図 12 帯域幅と待ち時間  
Fig. 12 Available bandwidth and waiting time.

リング手法が *Corne* で発生する待ち時間の長大化をどの程度抑制できるかを評価する。再生レートは 0.65 Mbps とする。

番組を放送する場合、さまざまな形状の視聴順序グラフが存在する。しかし、すべての場合について提案手法の影響を評価することは困難である。このため、本論文では、図 1 に示す根と葉を除く各深さに  $e$  個の状態がある視聴順序グラフを用いて評価を行う。図 1 は、根と葉を除く各深さに  $e$  個の状態があり、それぞれの状態から  $e$  個の枝が出ている視聴順序グラフである。評価で用いる視聴順序グラフで構成される番組は、必ずしもすべての番組構成に適合するものではないが、提案手法の評価を行ううえで一般化したものとして用いる。

## 7.2 データの配信契機を同期させる方式

### 7.2.1 帯域幅と待ち時間

帯域幅の変化による待ち時間の変化について、*Corne* とシミュレーション環境でそれぞれ評価した結果を図 12 に示す。横軸は使用できる帯域幅、縦軸は待ち時間を 10 回計測した平均値である。また、使用できる帯域幅の上限は 1.0 Mbps, 1.5 Mbps, 2.0 Mbps, 2.5 Mbps, および 3.0 Mbps の 5 種類とする。評価では、図 1 の視聴順序グラフを用いて、択一数  $e = 2$ 、コンテンツ数は 15 とする。

図 12 より、すべてのスケジューリング手法について、帯域幅の増加にともない待ち時間は短くなるのが分かる。また、*Corne* およびシミュレーション環境それぞれにおける待ち時間の差は、帯域幅の増加にともない小さくなる。シミュレーション環境における待ち時間は、サーバが配信スケジュールのとおり放送してクライアントで再生する場合、クライアントが選択した各コンテンツの受信要求から再生開始までに発生する時間の合計となる。一方で、*Corne* で発生する待ち時間は、シミュレーション環境における待ち時間に加えて、サーバの配信契機を同期させるための処理時間、サーバ・クライアント間の通信処理時間、およびクライアントにおけるコンテンツの受信処理

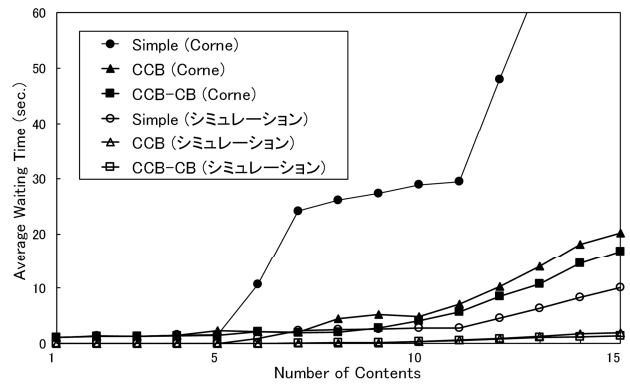


図 13 コンテンツ数と待ち時間  
Fig. 13 Number of contents and waiting time.

時間と再生処理時間で構成される。このため、帯域幅が増加すると、*Corne* における各処理時間が短くなり、待ち時間は大きく短縮される。

単純手法では、コンテンツ数が 15 の場合、チャンネル数が 8 となるため、各チャンネルの帯域幅が再生レート未満となり、配信時間が長大化する。このとき、複数のチャンネルによるコンテンツの受信処理および選択したコンテンツの再生処理の影響で、*Corne* とシミュレーション環境それぞれにおいて待ち時間の差が発生し、使用できる帯域幅が増加すると、この差は小さくなる。たとえば、サーバが使用できる帯域幅が 2.0 Mbps のときに発生する待ち時間は、*Corne* で 68.2 秒、シミュレーション環境で 6.39 秒となる。

一方で、CCB 法および CCB-CB 法では、データの配信契機を同期させることで、付加情報による配信スケジュールへの影響を抑えている。たとえば、使用できる帯域幅が 2.0 Mbps の場合、待ち時間は単純手法で約 60.5 秒、CCB 法で約 29.0 秒、および CCB-CB 法で約 26.4 秒となる。このため、単純手法に比べて CCB 法の待ち時間は約 52.1%、および CCB-CB 法の待ち時間は約 56.4%短縮できる。

### 7.2.2 コンテンツ数と待ち時間

コンテンツ数の変化による待ち時間の変化について、*Corne* とシミュレーション環境でそれぞれ評価した結果を図 13 に示す。横軸はコンテンツ数、縦軸は待ち時間を 10 回計測した平均値である。使用できる帯域幅は 1.5 Mbps とする。評価では、図 1 の視聴順序グラフを用いて、択一数  $e = 2$ 、コンテンツ数は 1 から 15 で変化させる。

図 13 より、*Corne* およびシミュレーション環境それぞれにおいて、CCB 法および CCB-CB 法で発生する待ち時間は、単純手法に比べて短い。また、コンテンツ数が 6 以上の場合、*Corne* およびシミュレーション環境それぞれにおいて、CCB 法および CCB-CB 法で発生する待ち時間の差は、単純手法に比べて短くなる。単純手法では、コンテンツ数が増加するとチャンネル数が増加するため、各チャンネルの配信時間は長大化する。このとき、複数のチャンネル



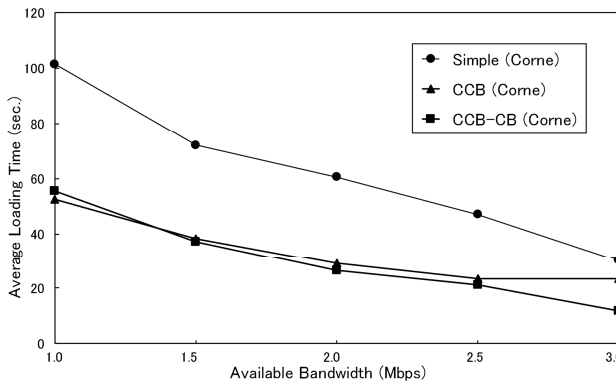


図 14 帯域幅とロード時間

Fig. 14 Available bandwidth and loading time.

によるコンテンツの受信処理および選択したコンテンツの再生処理による影響で、*Corne* とシミュレーション環境それぞれにおいて待ち時間の差が発生し、コンテンツ数が増加するとこの差は大きくなる。たとえば、コンテンツ数が10のときに発生する待ち時間は、*Corne* で28.8秒、シミュレーション環境で2.74秒となる。

一方、CCB法およびCCB-CB法では、使用する帯域幅と放送時間の積を小さくするように配信スケジュールを作成することで、単純手法に比べて待ち時間を短縮する。

### 7.3 逐次再生に対応するデータ配信方式

#### 7.3.1 帯域幅とロード時間

帯域幅の変化によるロード時間の変化について、シミュレーション環境における評価では各コンテンツの再生開始契機と受信開始契機が同じであるため、ロード時間は発生しない。また、実際のネットワーク環境におけるロード時間は計算機の性能や使用できる帯域幅に応じて変動するため、シミュレーション環境で決定することは難しい。そこで、*Corne* における評価結果のみを図14に示す。横軸は使用できる帯域幅、縦軸はすべての視聴経路で発生するロード時間の合計を経路数で除した平均値である。評価環境は7.2.1項と同様とする。

図14より、*Corne* において、帯域幅が増加するとより多くのコンテンツデータを同時に配信でき、ロード時間は短縮されることが分かる。単純手法では、コンテンツ数が15の場合、チャンネル数は8となる。このとき、チャンネルあたりの帯域幅は小さくなり配信時間が長大化するため、ロード時間は長大化する。一方で、CCB法およびCCB-CB法では、使用できる帯域幅が増加して再生レートと同じ帯域幅を持つチャンネルの数が増加するため、コンテンツの配信時間が短くなる。このとき、逐次再生によるロード時間の短縮効果に加えて、サーバの処理負荷が減少するため、ロード時間は短くなる。

#### 7.3.2 コンテンツ数とロード時間

コンテンツ数の変化によるロード時間の変化について、

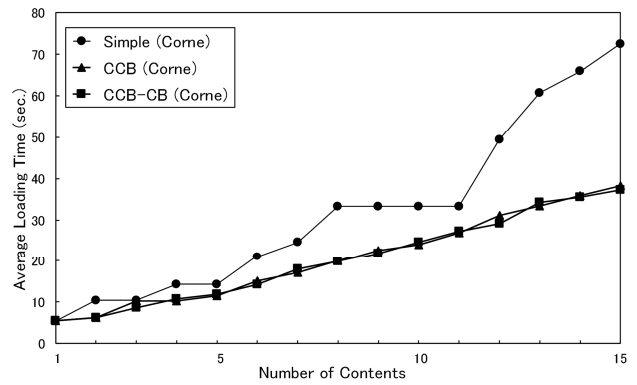


図 15 コンテンツ数とロード時間

Fig. 15 Number of contents and loading time.

7.3.1項で述べたように、シミュレーション環境における評価でロード時間は発生しないため、*Corne* における評価結果のみを図15に示す。横軸はコンテンツ数、縦軸はすべての視聴経路で発生するロード時間の合計を経路数で除した平均値である。評価環境は7.2.2項と同様とする。

図15より、*Corne* において、すべてのスケジューリング手法で、コンテンツ数の増加にともないロード時間は長大化することが分かる。単純手法では、コンテンツ数の増加でチャンネル数が増加すると、各チャンネルの帯域幅が小さくなりセグメントの受信時間が長大化するため、ロード時間も長大化する。一方で、CCB法およびCCB-CB法について、*Corne* では分割配信の通信プロトコルを用いてコンテンツの逐次再生を行うことで、単純手法に比べてロード時間の長大化を抑えている。

## 8. おわりに

選択型コンテンツの放送型配信において、実際のネットワーク環境でスケジューリング手法を評価可能な配信システム *Corne* を実現した。実現方式における課題として、データの配信契機、および再生を開始する契機の2つがあり、それぞれ検討した。対処として、データの配信契機を同期させる方式、および逐次再生に対応するデータ配信方式の2つを *Corne* に実装した。システムの有用性評価では、複数のスケジューリング手法を用いて、*Corne* およびシミュレーション環境で、待ち時間およびロード時間を測定した。評価の結果、スケジューリング手法に応じた待ち時間およびロード時間の短縮効果を確認し、システムの有用性を示した。

今後の予定として、帯域幅が異なる複数種類のユーザが同時に受信する環境を考慮したシステムの検討があげられる。

謝辞 本研究の一部は、文部科学省科学研究費補助金・基盤研究 (B) (15H02702)、基盤研究 (C) (16K01065)、および (公財) 中島記念国際交流財団の研究助成による成果である。ここに記して謝意を表す。

参考文献

- [1] 総務省：総務省情報通信白書平成 28 年版，総務省（オンライン），入手先 <http://www.soumu.go.jp/johotsusintokei/whitepaper/ja/h28/index.html>（参照 2017-02-22）.
- [2] NHK ONLINE：テレビ 60 年マルチチャンネルドラマ「放送博物館危機一髪」，NHK ONLINE（オンライン），入手先 <http://www6.nhk.or.jp/drama/pastprog/detail.html?i=hakubutsukan>（参照 2017-02-22）.
- [3] MBS 毎日放送：マルチ目線で恋したい！—運命の出逢いまで，MBS 毎日放送（オンライン），入手先 <http://www.mbs.jp/marukoi/sp/movie00.shtml>（参照 2017-02-22）.
- [4] Gotoh, Y. and Kimura, A.: Implementation and Evaluation of Division-based Broadcasting System for Webcast, *Journal of Digital Information Management (JDIM)*, Vol.13, No.4, pp.234–246 (2015).
- [5] 井上祐輔，木村明寛，後藤佑介：複数動画を同期配信する分割放送型配信システム，情報処理学会論文誌，Vol.58, No.2, pp.356–365 (2017).
- [6] NHK：NHK オンデマンド，NHK（オンライン），入手先 <https://www.nhk-ondemand.jp>（参照 2017-02-22）.
- [7] YouTube：YouTube，Youtube（オンライン），入手先 <https://www.youtube.com>（参照 2017-02-22）.
- [8] AbemaTV：AbemaTV（アベマ TV）— インターネットテレビ局，AbemaTV（オンライン），入手先 <https://abema.tv/>（参照 2017-02-22）.
- [9] 義久智樹，金澤正憲：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，情報処理学会論文誌，Vol.47, No.12, pp.3296–3307 (2006).
- [10] Gotoh, Y., Yoshihisa, T., Kanazawa, M. and Takahashi, Y.: A Broadcasting Scheme for Selective Contents Considering Available Bandwidth, *IEEE Trans. Broadcasting*, Vol.55, No.2, pp.460–467 (2009).
- [11] Paris, J.-F.: An Interactive Broadcasting Protocol for Video-on-Demand, *Proc. 20th IEEE International Performance, Computing, and Communications Conference (IPCCC 2001)*, pp.347–353 (2001).
- [12] Janakiraman, R. and Waldvogel, M.: Fuzzycast: Efficient Video-on-Demand over Multicast, *Proc. IEEE INFOCOM*, pp.920–929 (2002).
- [13] Mahanti, A., Eager, D.L., Vernon, M.K. and Stukel, D.S.: Scalable On-demand Media Streaming with Packet Loss Recovery, *IEEE/ACM Trans. Networking*, Vol.11, No.2, pp.195–209 (2003).
- [14] Juhn, L.-S. and Tseng, L.M.: Harmonic Broadcasting for Video-on-Demand Service, *IEEE Trans. Broadcasting*, Vol.43, No.3, pp.268–271 (1997).
- [15] Viswanathan, S. and Imilelinski, T.: Pyramid Broadcasting for Video on Demand Service, *Proc. SPIE Multimedia Computing and Networking Conference*, Vol.2417, pp.66–77 (1995).
- [16] Yoshihisa, T., Tsukamoto, M. and Nishio, S.: A Scheduling Scheme for Continuous Media Data Broadcasting with a Single Channel, *IEEE Trans. Broadcasting*, Vol.52, No.1, pp.1–10 (2006).
- [17] 後藤佑介，義久智樹，金澤正憲，高橋 豊：選択確率を考慮した選択型コンテンツの放送型配信における待ち時間短縮手法，情報処理学会論文誌，Vol.50, No.2, pp.882–892 (2009).
- [18] Dummynet: The dummynet project, Dummynet (online), available from <http://info.iet.unipi.it/~luigi/dummynet/> (accessed 2017-02-22).



藤田 拓郎

2015 年岡山大学工学部情報工学科卒業。2017 年同大学大学院自然科学研究科博士前期課程修了。インターネット放送システムの研究に興味を持つ。



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，豪ラトロープ大学客員研究員。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。