

スケジューリング手法を用いた選択型コンテンツの放送型配信システムの実現と評価

Implementation and Evaluation of Broadcasting System
for Selective Contents using Scheduling Methods

藤田 拓郎[†] 後藤 佑介[†]
Takuro Fujita[†] Yusuke Gotoh[†]

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挙げられる。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、ドラマ番組の場合、ユーザはドラマの冒頭を視聴した後、自分の好みに合った物語の流れを選択し、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。

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クライアントにまとめて配信できるが、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、クライアントは再生中に待ち時間が発生する。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の評価はシミュレーション環境のみであった。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利用するための配信システムを構築する必要がある。

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、二つの問題点が挙げられる。一つ目は、クライアントがデータの受信を要求してから再生を開始するまでの処理で発生する待ち時間を考慮していない点である。二つ目は、データ再生中の処理負荷で発生するコンテンツ間の途切れを考慮していない点である。本研究では、これらの問題点に対処して、スケジューリング手法を導入可能な選択型コンテンツの放送型配信システムを実現し、実際のネットワーク環境でスケジューリング手法の有用性を評価する。

2. 選択型コンテンツの放送型配信

2.1 放送型配信

選択型コンテンツの配信方法として、放送型とオンデマンド型の 2 種類の配信方法が挙げられる。

[†] 岡山大学大学院自然科学研究科

[†] Graduate School of Natural Science and Technology,
Okayama University

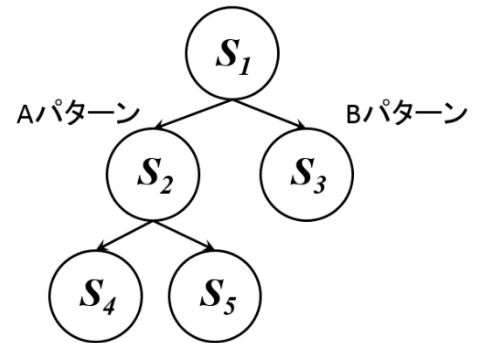


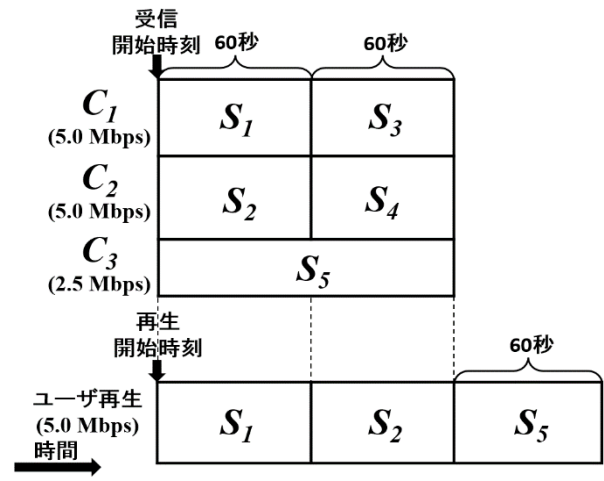
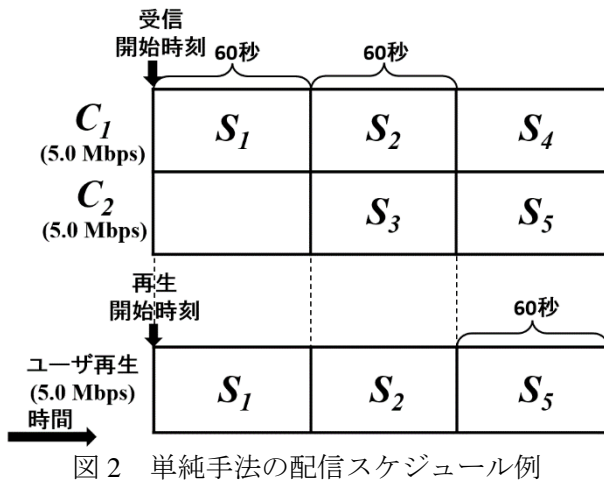
図1 視聴順序グラフ

放送型配信では、地上波デジタル放送や衛星放送といった電波放送のように、一定の帯域幅を用いて多くのクライアントに同じデータをまとめて配信する。サーバは、クライアントごとに発生する受信要求を処理する必要がないためサーバの負担を軽減できるが、クライアントは必要なデータが放送されるまで待つ必要がある。一方、オンデマンド型では、クライアントの受信要求に応じて帯域を割り当てる。サーバが配信に必要な帯域を確保できる場合、クライアントは待つことなくコンテンツを視聴できるが、帯域を確保できない場合、クライアントは視聴するコンテンツを選択してから再生が開始されるまで待つ必要がある。このため、クライアントの数が多い場合にはオンデマンド型よりも放送型が適しているといえ、本研究では放送型配信を想定する。

2.2 視聴順序グラフ

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。本研究では、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び、図1で表す。

ドラマ番組を例にして、図1の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5種類のコンテンツ S_1, \dots, S_5 を配信し、ユーザは最大2回の分岐を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、 S_1 の再生が終了すると、Aパターンシナリオである状態 S_2 、もしくはBパターンシナリオである状態 S_3



に遷移する。S₂に遷移した場合、さらに二つの選択肢から選択し、S₄またはS₅に遷移する。S₃に遷移した場合、S₃の再生が終わると番組の再生は終了する。

2.3 単純手法

選択型コンテンツの放送型配信では、サーバは複数のチャンネルでいくつかのコンテンツを同時に配信するため、配信するコンテンツの数が増加すると途切れない再生に必要な帯域幅は増加し、再生中の待ち時間は長大化する。例えば、視聴順序グラフの深さに応じてチャンネルの帯域幅とチャンネルで配信するコンテンツを単純に決定する手法（以下、単純手法）を用いて、図1の視聴順序グラフを配信する場合の配信スケジュール例を図2に示す。

単純手法では、視聴順序グラフにもとづき、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できるようにスケジューリングすることで、クライアントは途切れなく番組を再生できる。番組の放送が始まると、C₁ではS₁、S₂、S₄を順番に放送する。C₂では、配信開始時刻からS₃の再生開始時刻までの最短時間である1分後までは何も放送せず、この後にS₃、S₅を順番に放送する。

3. 待ち時間を短縮するスケジューリング手法

3.1 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クライアントにまとめて配信できるが、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、クライアントの再生中に待ち時間が発生する。待ち時間が長大化すると、クライアントの視聴意欲は低下するため問題であり、待ち時間を短縮する必要がある。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のもとに、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[2 - 7]。以下で、既存のスケジューリング手法について述べる。

3.2 Contents Cumulated Broadcasting (CCB)法

CCB法[8]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にコンテンツをスケジューリングすることで、CCB法における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1の視聴順序グラフをCCB法で配信する場合の配信スケジュールを図3に示す。時間の経過を右向きに示す。サーバは番組の放送が始まると、C₁でS₁とS₃、C₂でS₂とS₄を各60秒放送し、C₃はS₅を120秒放送する。このとき、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、サーバが放送に必要な帯域幅が使用できる帯域幅を上回る場合、再生時に待ち時間が発生する。例えば、使用できる帯域幅が9.0 Mbpsのとき、CCB法で配信する場合の配信スケジュールを図4に示す。各チャンネルの帯域幅は $9.0 / 12.5 = 0.72$ 倍され、C₁、C₂の帯域幅は $5.0 \times 0.72 = 3.6$ Mbps、C₃の帯域幅は $2.5 \times 0.72 = 1.8$ 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る。このとき、コンテンツの再生を開始しても再生終了までの途切れが発生するため、途切れが発生ないように再生開始時刻を遅らせる必要があり、再生時の待ち時間となる。例えば、図4の例において、ユーザがS₁、S₂、S₅の順に再生する場合、再生時の待ち時間は23.3秒となる。

CCB法の長所は、すべてのチャンネルで常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0秒になる点である。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困

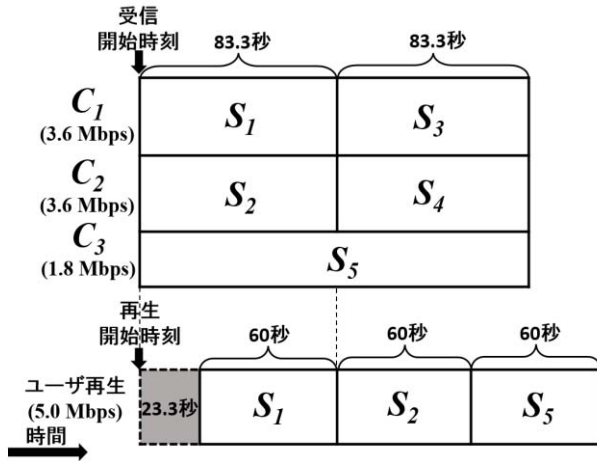


図 4 CCB 法の配信スケジュール例
(使用帯域幅 : 9.0 Mbps)

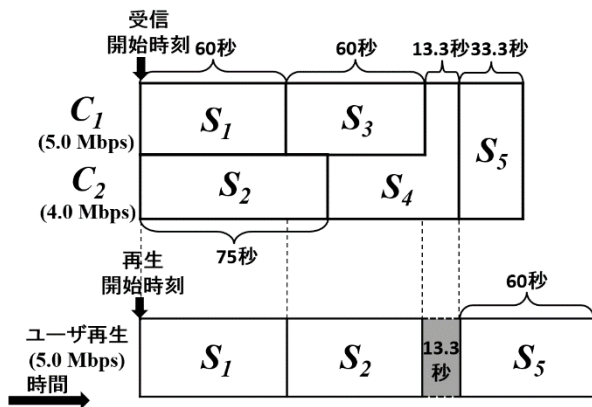


図 5 CCB-CB 法の配信スケジュール例

難になる点、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。

3.3 Contents Cumulated Broadcasting - Considering Bandwidth (CCB-CB) 法

図 1 の視聴順序グラフを CCB-CB 法[9]で配信する場合の配信スケジュールを図 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、必要となる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。例えば、使用できる帯域幅が 9.0 Mbps の場合、 C_1 の帯域幅は 5.0 Mbps、 C_2 の帯域幅は 4.0 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）を一つ決定して、 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, S_3 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_2 を 75 秒かけて放送した後、 S_3 の再生終了時刻までの 45 秒間、 S_4 を放送する。この後、 C_1 と C_2 の帯域幅を合わせた計 9.0 Mbps の帯域幅を用いて、 S_4 の残りを 13.3 秒間放送し、 S_5 を 33.3 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、再生時の待ち時間は 13.3 秒になり、CCB 法に比べて待ち時間を $(23.3 - 13.3) \times 100 / 23.3 \approx 42.9\%$ 短縮できる。

CCB-CB 法の長所は、すべてのチャンネルで常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。

3.4 選択確率を考慮したスケジューリング手法

3.2, 3.3 節で述べた CCB 法および CCB-CB 法の他に、再生中に発生する待ち時間を短縮するスケジューリング手法が存在する。Extended Cumulated Broadcasting (ECB) 法[10]では、選択型コンテンツの放送型配信において、選択肢となる複数のコンテンツのうち一つのコンテンツを選択する確率（以下、選択確率）を考慮してスケジューリングを行う。Extended Cumulated Broadcasting Considering Play Sequence (ECB-PS) 法[11]では、視聴順序グラフにおいて、ユーザは選択確率が高い視聴経路を構成するコンテンツを優先してスケジューリングすることで待ち時間を短縮する。

4. 選択型コンテンツの放送型配信システム

4.1 概要

選択型コンテンツ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の評価はシミュレーション環境のみであった。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利用するための配信システムを構築する必要がある。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、二つの課題が挙げられる。4.2 節で順番に説明する。

4.2 課題

4.2.1 付加情報が配信スケジュールに与える影響

選択型コンテンツの放送型配信では、異なるチャンネル間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、サーバはパケットヘッダや分割したデータの復元情報といった付加情報をクライアントに配信する必要がある。付加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、クライアントは再生中に途切れが発生する。

4.2.2 再生を開始する契機

選択型コンテンツの放送型配信で用いるスケジューリング手法は、再生を開始する契機と受信を開始する契機が同じである。このため、実際のネ

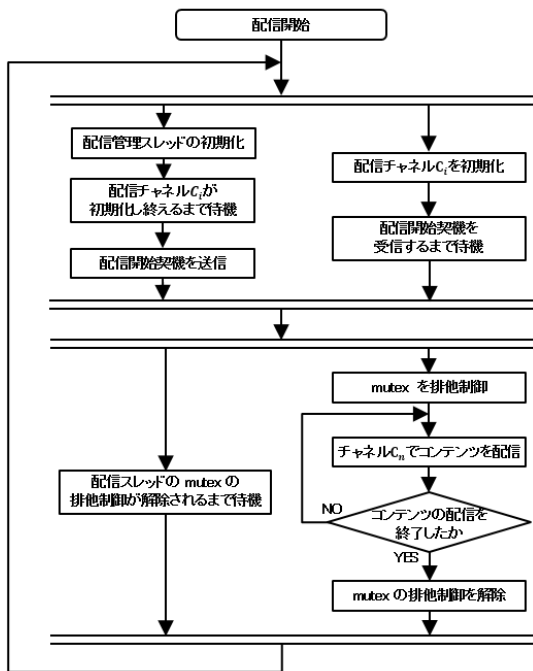


図 6 実現方式における配信サーバの処理流れ

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、コンテンツの受信が完了してから再生を開始するダウンロード型ではなく、クライアントがデータを受信しながら再生する逐次再生方式を実現する必要がある。

4.3 対処

4.3.1 付加情報を考慮してデータの配信契機を同期する方法

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する方式を実現する。実現方式では、各チャンネルにおけるデータ配信処理とデータの配信契機を同期する処理の二つを複数のスレッドで並列化する。次に、並列化した処理の間で処理の開始と停止を通知する仕組みと、並列化した処理を排他制御で同期する仕組みの二つを用いて、データの配信契機を同期する。

提案システムにおけるサーバの処理の流れを図 6 に示す。配信に用いる i 番目のチャンネルを C_i とする。サーバは、二つのスレッドを用いて並列化する。一つ目は、データの配信契機を管理する処理を行う管理スレッドであり、二つ目は、 C_i の配信処理を行う配信スレッドである。管理スレッドは、並列化した処理の間で処理の開始と停止を通知するために利用する変数（以下、条件変数）を初期化し、配信スレッドごとに条件変数を設定する。次に、条件変数を用いて、すべての配信スレッドに配信開始を通知する。通知後、すべての配信スレッドにおいて、 mutex と呼ばれる排他制御を管理する仕組みにより排他制御が解除され、すべての配信スレッドと処理が同期するまで待機する。

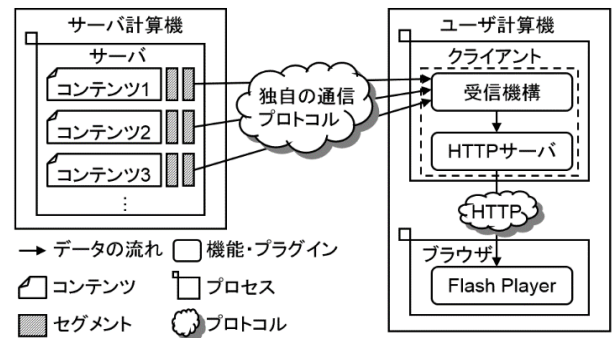


図 7 逐次再生の実現方式

一方、 C_i の配信スレッドは、管理スレッドから配信開始が通知されるまで待機する。管理スレッドから配信開始が通知されると、 C_i の配信スレッドは mutex を排他制御し、 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 の配信スレッドは mutex の排他制御を解除し、管理スレッドから条件変数を用いて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。

4.3.2 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。図 7 に、逐次再生の実現方式を示す。サーバは、コンテンツのデータをいくつかのセグメントに等分割し、分割配信の通信プロトコルでこれらのセグメントをクライアントに配信する。一方、クライアントは、受信機構で分割配信の通信プロトコルを用いてセグメントを受信する。受信機構は、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、プロトコル変換機構に送信する。プロトコル変換機構は、逐次再生の通信プロトコルを用いてセグメントをブラウザに送信する。最後に、クライアントは、ブラウザを用いてコンテンツの逐次再生を行う。以上より、選択型コンテンツの放送型配信において逐次再生を実現できる。

5. 設計

5.1 データフォーマット

5.1.1 配信開始部

提案システムにおける配信開始部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。配信開始部は、データフォーマット識別値、コンテンツの種類識別値、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、各コンテンツの再生開始待ち時間、およびデータサイズ調整部で構成される。データフォ

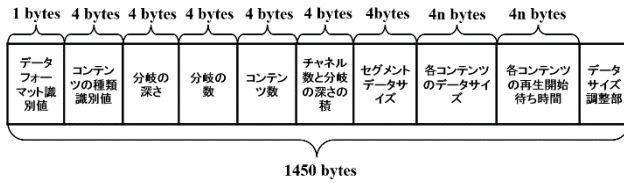


図 8 配信開始部のデータフォーマット

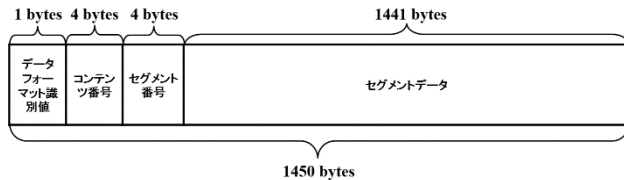


図 9 情報部のデータフォーマット

フォーマット識別値は、配信開始部の識別に用いる。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式にもとづいた視聴順序グラフを識別するために用いる。深さは、作成する配信に用いる選択型コンテンツの視聴順序グラフの深さの値を示す。分岐の数は、分岐のあるコンテンツにおける選択枝の数を示す。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、単純手法を実装するときにも何も放送されない時間を実現するために用いる。セグメントデータサイズでは、情報部におけるセグメントのデータサイズの値を示す。各コンテンツのデータサイズは、コンテンツごとのデータサイズの値を示す。各コンテンツの再生開始待ち時間は、配信スケジュールにおいて放送開始から各コンテンツの再生開始時刻までの時間の値を示す。末尾にあるデータサイズ調整部は、配信開始部であらかじめ設定したパケットサイズが情報部と同じになるように調整するために用いる。以上より、配信開始部のデータサイズは合計で 1450 bytes となる。

5.1.2 情報部

提案システムにおける情報部のデータフォーマットを図 9 に示す。情報部は、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、情報部であることの識別に用いる。コンテンツ番号は、配信するデータがどのコンテンツ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、情報部のサイズは合計で 1450 bytes となる。

5.1.3 パケットサイズ

パケットサイズについて、配信で用いるパケットサイズは、Ethernet の Maximum Transmission Unit (MTU) である 1500 bytes を超えないように設定しなければならない。提案する選択型コンテンツの放

表 1 プログラム規模

使用言語	Corne (C 言語)		Corne (ActionScript)
評価環境	C コンパイラで提供されている環境		ActionScript が使用可能な環境
コード行数	サーバ	634	365
	クライアント	621	

送型配信システムにおけるデータサイズは 1450 bytes であるため、パケットサイズは 1441 (セグメントデータ) + 9 (データ識別値, コンテンツ番号, セグメント番号) + 17 (配信システムのヘッダ) + 20 (IP ヘッダ) + 8 (UDP ヘッダ) = 1495 [bytes] となる。

5.2 処理手順

5.2.1 サーバ

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) 配信開始部をクライアントに送信する。
- (3) コンテンツのデータを等分割したセグメントを情報部に格納して、クライアントに送信する。
- (4) すべてのコンテンツの配信が終了するまで (3) を繰り返す。

5.2.2 クライアント

クライアントは、以下の手順に従って受信処理を行う。

- (1) サーバに受信要求を送り、データの受信を開始する。
- (2) サーバから受信したデータが配信開始部の場合、バッファの作成を行う。そうでなければ、(1) に戻る。
- (3) サーバから受信したデータが情報部の場合、セグメントをバッファに格納する。
- (4) 再生するコンテンツのデータがコンテンツの再生位置からバッファに一定量格納されていれば、ブラウザを用いてコンテンツを再生する。一方、格納されていなければ、コンテンツのデータがバッファに一定量格納されるまで待機してから再生する。
- (5) 次に再生するコンテンツがあれば、(4) に戻る。次に再生するコンテンツがなければ、受信を終了する。

6. 実装

6.1 実装内容

4.2.1, 4.2.2 節で述べた対処をもとに、選択型コンテンツの放送型配信システム「Contents based Broadcasting system (Corne)」を実現した。Corne のプログラム規模を表 1 に示す。また、Corne のスクリーンショットを図 10 に示す。Corne では、サーバとクライアントのプログラムを C 言語で記述し

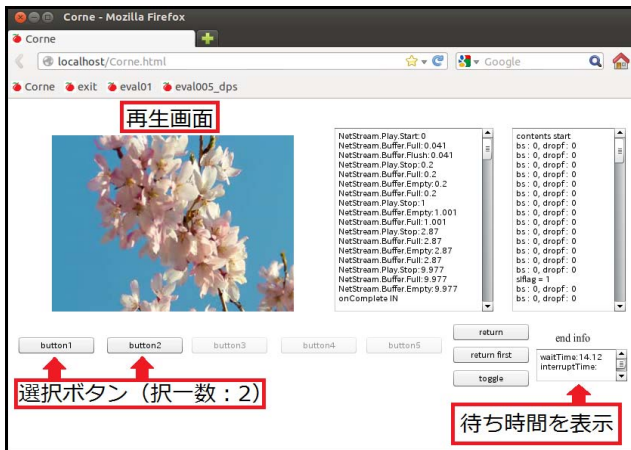


図 10 Corne のスクリーンショット

ており、ActionScript を用いて Web 上で動画を再生できる。再生に使用するプレイヤーは、Web 上で動作する Adobe Flash Player を用いた。

6.2 想定環境

選択型コンテンツの放送型配信システム *Corne* を設計するにあたり、想定する環境を以下に示す。

- (1) 放送されるデータは、選択型コンテンツである。
- (2) 放送帯域は、一定である。
- (3) サーバは、複数のチャンネルから同時にデータを放送できる。
- (4) クライアントは、複数のチャンネルから同時にデータを受信できる。
- (5) 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もつ。
- (6) クライアントは、逐次再生を行う。
- (7) クライアントは、コンテンツの再生を開始すると、最後まで途切れずに再生できる。

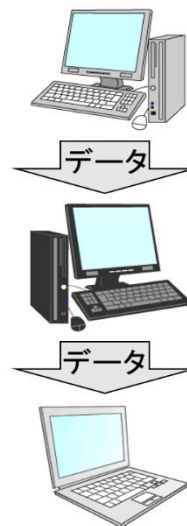
7. 評価

7.1 評価環境

Corne の機能を評価するため、実際のネットワーク環境を想定したシステムを構築した。表 2 に、使用した計算機の測定環境を示す。また、図 11 に、評価環境の構成を示す。サーバ計算機とクライアント計算機は、サーバ計算機 1 台に対してクライアント計算機 1 台を Gigabit Ethernet で接続し、UDP/IP 接続を確立した。さらに、Ethernet の接続途中に帯域制御機能 *Dummysnet*[12]を利用できる計算機を挿入することで、さまざまなネットワーク環境を再現できる評価環境を構築した。放送型配信は一つのチャンネルで複数のクライアントに配信できるため、使用するクライアント計算機の台数による評価への影響はない。なお、*Dummysnet* の帯域制御機能を用いるとパケットロスが生じるため、*Dummysnet* で設定した帯域幅と実際の帯域幅は必ずしも一致しない。そこで、本研究では、単位時間あたりに受信するデータ量から帯域幅を算出する。

表 2 測定環境

サーバ計算機	CPU メモリ OS NIC	Intel®CORE™ 2 Duo CPU E7500 (2.93 GHz) 2.0 Gbytes Ubuntu 10.04 LTS RTL8101E / RTL8102E
Dummysnet 計算機	CPU メモリ OS NIC	Intel®CORE™ 2 Duo CPU E7500 (2.93 GHz) 2.0 Gbytes FreeBSD 8.1 RTL8169SC RTL8169SC
クライアント 計算機	CPU メモリ OS NIC	Intel®CORE™ 2 Duo CPU E7500 (2.93 GHz) 2.0 Gbytes Ubuntu 10.04 LTS RTL8101E / RTL8102E



<サーバ計算機>

Ethernet

<Dummysnet>

Ethernet

<クライアント計算機>

図 11 想定環境

7.2 スケジューリング手法を用いた評価

7.2.1 概要

従来のスケジューリング手法の評価は、計算機によるシミュレーションのみであった。そこで、4.2 節で述べた対処にもとづき、*Corne* 上で以下の二つの評価を行う。一つ目は、コンテンツ数の変化による平均待ち時間の評価である。二つ目は、コンテンツ数の変化による途切れ時間の評価である。これらの評価を行い、既存のスケジューリング手法の有用性を確認する。

7.2.2 コンテンツ数の変化による平均待ち時間の評価

コンテンツ数の変化による平均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。横軸はコンテンツ数、縦軸はすべての視聴経路における待ち時間の合計を経路数で除した平均値である。使用できる帯域幅の上限は 1.6 Mbps、再生レートは 0.64 Mbps、各コンテンツの再生時間は 10 秒とする。

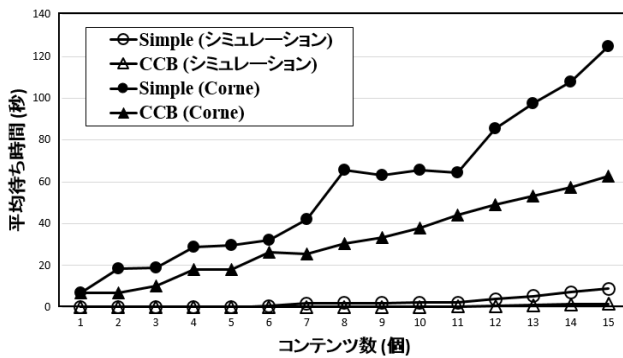


図12 コンテンツ数と平均待ち時間 (e=2)

また、評価で使用するスケジューリング手法は、単純手法とCCB法の二つとする。

図12より、**Corne**で発生する平均待ち時間は、シミュレーション環境で発生する平均待ち時間よりも長くなる。**Corne**では、クライアントはデータの受信を要求してから再生を開始するまでの間に、コンテンツのデータに加えて動画の再生に必要な配信開始部のデータを受信するため、待ち時間が発生する。また、**Corne**ならびにシミュレーション環境のどちらの場合においても、CCB法の平均待ち時間は単純手法よりも短い。3.2節で述べたように、CCB法は、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ことで、待ち時間を短縮できる。さらに、コンテンツ数が増加すると、**Corne**における単純手法とCCB法それぞれの平均待ち時間の差は、シミュレーション環境における場合に比べて大きくなる。**Corne**では、スレッドによる処理を行っており、処理が複雑になればなるほどチャンネルで放送しない時間帯が発生する単純手法の処理時間は、CCB法に比べて長くなる。例えば、コンテンツ数が8のとき、**Corne**における単純手法の平均待ち時間の差は63.5秒、CCB法は30.3秒となる。よって、待ち時間について、CCB法は単純手法よりも優れたスケジューリング手法であるといえる。

7.2.3 コンテンツ数の変化による平均途切れ時間の評価

コンテンツ数の変化による平均途切れ時間の変化について、シミュレーション評価では途切れ時間は発生しないため、**Corne**のみで行った評価結果を図13に示す。横軸はコンテンツ数、縦軸はすべての視聴経路における途切れ時間の合計を視聴順序グラフにおける根から葉までのコンテンツ数の最大値で除した平均値である。評価環境は7.2.1節と同じとする。

図13より、コンテンツ数の増加にともない、**Corne**においてCCB法で発生する平均途切れ時間は単純手法よりも非常に短くなるのがわかる。7.2.1節で述べたように、**Corne**ではスレッドによる処理を行っており、処理が複雑になればなるほどチャンネルで放送しない時間帯が発生する単純手

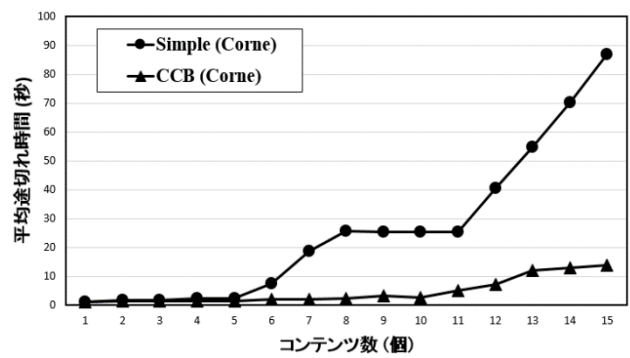


図13 コンテンツ数と平均途切れ時間 (e=2)

法の処理時間は、CCB法に比べて長くなる。よって、途切れ時間について、CCB法は単純手法よりも有用であるといえる。

8. おわりに

選択型コンテンツ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実際のネットワーク環境で評価するため、放送型配信システム**Corne**を実現した。実現方式では、付加情報による配信スケジュールへの影響、および再生を開始する契機への対応について検討し、付加情報を考慮してデータの配信契機を同期する方式、および逐次再生に対応する方式の二つを提案し、**Corne**に実装した。また、クライアントがデータの受信を要求してから再生を開始するまでの処理で発生する待ち時間と、データ再生中の処理負荷で発生するコンテンツ間の途切れについて、単純手法およびCCB法を用いて**Corne**の性能評価を行った。平均待ち時間の評価では、**Corne**ならびにシミュレーション環境のどちらの場合においても、CCB法の平均待ち時間は単純手法に比べて短いことを示した。また、平均途切れ時間の評価では、コンテンツ数が増加すると、CCB法で発生する平均途切れ時間は単純手法より非常に短くなることを示した。

残された課題として、複数のスケジューリング手法を用いた**Corne**の性能評価が挙げられる。

謝辞

本研究の一部は、総務省戦略的情報通信研究開発推進事業 (SCOPE) 「放送通信融合環境による次世代モバイルビデオオンデマンド配信の研究開発」 (課題番号: 132107005)、文部科学省科学研究費補助金 (基盤 (B)) 「再生継続型次世代ビデオオンデマンドシステムの実現」 (課題番号: 15H02702) および文部科学省科学研究費補助金 (若手研究 (B)) 「分割放送型ストリーミング配信における待ち時間を短縮するスケジューリング技術の構築」 (課題番号: 26730059) の成果である。ここに記して謝意を表す。

参考文献

- [1] 総務省, 情報通信白書平成 26 年版, 総務省 (オンライン), 入手先 <http://www.soumu.go.jp/johotsusintokei/whitepaper/ja/h26/index.html>, 参照 2015-04-14
- [2] 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).
- [3] 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).
- [4] Paris, J.-F., "An Interactive Broadcasting Protocol for Video-on-Demand", IEEE Int. Performance, Computing, and Communications Conference (IPCCC '01), pp.347-353 (2001).
- [5] 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).
- [6] Viswanathan, S. and Imilelinski, T., "Pyramid Broadcasting for Video on Demand Service", *Proc. SPIE Multimedia Computing and Networking Conf. (MMCN'95)*, pp.66-77 (1995).
- [7] Yoshihisa, T., Tsukamoto, M., and Nishio, S., "A Scheduling Scheme for Continuous Media Data Broadcasting with a Single Channel", *IEEE Trans. Broadcasting*, Vol52, Issue 1, pp.1-10 (2006).
- [8] 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).
- [9] 後藤 佑介, 義久 智樹, 金澤 正憲, "帯域幅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.49, No.5, pp.1692-1701 (2008).
- [10] 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).
- [11] 後藤 佑介, 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視聴順序を考慮した待ち時間短縮手法", 情報処理学会研究報告 (モバイルコンピューティングとユビキタス通信 2007-MBL-43・高度交通システム研究会 2007-ITS-31・放送コンピューティング研究グループ 2007-BCCgr-18 合同研究会), pp.161-168 (2009).
- [12] Dummynet, 入手先 <http://info.iet.unipi.it/~luigi/dummynet/>, 参照 2015-06-25