

早送り再生を考慮した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

A Scheduling Method for Selective Contents Broadcasting with Fast-forwarding

後藤 佑介 † 義久 智樹 ‡ 谷口 秀夫 †
Yusuke Gotoh Tomoki Yoshihisa Hideo Taniguchi

1 はじめに

近年の放送・通信融合環境の普及 [1] にともない、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に対する注目が高まっている。例えば、ニュースの概要を提示した後、ユーザが見たいニュースを選択して視聴する場合や、2 択のクイズ番組で、サーバが選択肢を提示した後、ユーザが回答を選択する場合が考えられる。選択型コンテンツを提供することで、ユーザは自分の嗜好に応じたコンテンツを視聴できるが、選択型コンテンツを提供するサーバは、選択肢となる幾つかのコンテンツを配信する必要がある。このため、選択型コンテンツの配信は、非選択型のコンテンツの配信に比べて多くの帯域幅が必要となる。

選択型コンテンツの放送型配信では、コンテンツの再生を終了してから次のコンテンツの再生を開始するまでの間に途切れが発生することがある。これまでの研究では、この待ち時間を短縮する手法を提案してきたが、ユーザが早送りで番組を視聴する場合を考慮していなかった。そこで本研究では、選択型コンテンツの放送型配信において、早送り再生を考慮したスケジューリング手法を提案する。提案手法では、コンテンツを早送りの部分とそれ以外の部分に分割してスケジューリングすることで、早送り再生による番組視聴を実現する。

2 選択型コンテンツ

2.1 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。サーバは各クライアントから発生する受信要求を処理する必要がある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。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。以下に、視聴順序グラフについて簡単に説明する。詳細は文献 2) を参照。

視聴順序グラフでは、各ノードは各コンテンツを再生している状態を示し、コンテンツの再生が終了すると、次の状態に遷移する。例えば、クイズ番組の視聴順序グラフを図 1 に示す。クイズ番組で、ユーザは、提示された回答 X, Y から一方を選択し、正解もしくは不正解の

映像を再生する。S₁ は、出題の映像を再生している状態であり、再生が終了すると S₂ に遷移する。S₂ は、選択肢となる回答 X, Y の内容を表示している状態である。この間にユーザは回答を選択する。S₂ の再生終了後、回答 X を選択すると S₃、回答 Y を選択すると S₄ といったように、選択されたコンテンツに応じた状態に遷移する。ユーザが S₂ の再生中に回答を選択しなかった場合、再び S₂ に戻ることや、自動的にどちらかの回答が選択されることが考えられる。S₃ は、回答 X を選択したときの状態であり、正解の映像を再生する。S₄ は、回答 Y を選択したときの状態であり、不正解の映像を再生する。

視聴順序グラフに対して、状態遷移の省略、状態の結合、状態の分割の 3 種の操作を行うことで、視聴順序グラフを簡単な形状に変形でき、放送スケジュールの作成が容易になる。例えば、図 1-A の視聴順序グラフは、図 1-C に簡単化される。

本論文では、視聴順序グラフを用いて放送スケジュールを作成する。

2.2 早送り再生を行う場合の待ち時間

本節では、早送り再生を行う場合に待ち時間が発生する仕組みについて説明する。なお、巻戻し再生については、図 1-A, B で示した状態の結合により実現できる。

選択型コンテンツの放送型配信における帯域幅削減手法である CCB 法 [3] で、図 2 の選択型コンテンツを配信する場合の放送スケジュールを図 3 に示す。再生レートを MPEG2 で一般的な 5.0 Mbps とすると、サーバが使用する帯域幅は 12.5 Mbps になる [4]。通常の再生では、視聴順序のどの経路を選択しても待ち時間は発生しない。

次に、分かりやすい例として、ユーザが倍速で番組を再生する場合、先ほどと同じ図 2 に示す選択型コンテンツを放送する場合の放送スケジュールを図 4 に示す。ユーザがコンテンツを早送り再生する場合、早送りする部分とそれ以外の部分にコンテンツをフレーム単位で分割する。しかし、これまでの手法では、早送りによるコンテンツ再生は考慮されていなかった。60 秒のコンテンツ S₁ を倍速で再生する場合、S₁ の再生を開始するまでに 60/2 = 30 秒の待ち時間が発生する。また、S₁, S₃ を順番に再生した場合、待ち時間は合計で 30 × 2 = 60 秒発生する。待ち時間の合計はコンテンツ数が増えるほど増加するため、ユーザがコンテンツを最後まで視聴するまでに発生する待ち時間の合計は短い方が望ましい。本稿では、早送りを行う部分とそれ以外の部分のコンテンツに分けてスケジューリングを行うことで、データ受信時の待ち時間を既存手法に比べて短縮する。

† 岡山大学自然科学研究科, Graduate School of Natural Science and Technology, Okayama University

‡ 大阪大学サイバーメディアセンター, Cybermedia Center, Osaka University

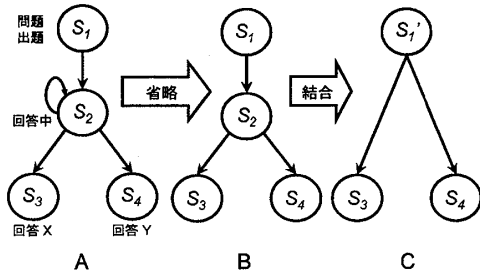


図1 視聴順序グラフの単純化

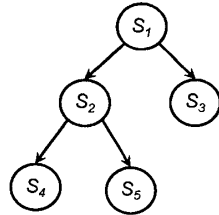


図2 ニュース番組の視聴順序グラフ

2.3 関連研究

放送型配信において、受信中に発生する待ち時間を短縮するためのスケジューリング手法は、早送り再生を考慮したデータ配信手法を含めて幾つか提案されている [5, 6, 7]. PolyHarmonic Broadcasting Protocol with Partial Preloading (PHP-PP) 法 [8] では、データを n 個の部分に等分割して n 個のチャネルを用いて放送する. 例えば、初めの 7% を事前に受信し、地上波デジタル放送を想定した 13 個のチャネルを用いて放送すると、データの再生レートが 5.0 Mbps の場合で 16 Mbps の帯域幅が必要になる. しかし、チャネル数が増加するとスケジューリングが複雑になる問題がある.

Mayan Temple Broadcasting (MTB) 法 [8] は、必要な帯域幅は PHP-PP 法より大きくなるが、事前に受信しない残りのデータをデータサイズの異なる m 個の部分に分割して放送することで、使用するチャネル数を減少できる. これらの研究では、一続きのデータである連続メディアデータを対象としていた. 本研究では、選択型コンテンツを対象としている点が異なる.

筆者らは、これまで、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ためのスケジューリング手法を幾つか提案してきた. Contents Cumulated Broadcasting Considering Bandwidth (CCB-CB) 法 [9] 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. Dense Cumulated Broadcasting (DCB) 法 [10] では、選択型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を提案している. 各コンテンツの再生時間を考慮したうえで、データを分割し、分割したデータをスケジューリングすることで、待ち時間を効率的に短縮している. これらの手法では、通常の再生速度のみで番組を視聴する場合のスケジューリングを提案していたが、本研究では、早送り再生を考慮している点が異なる.

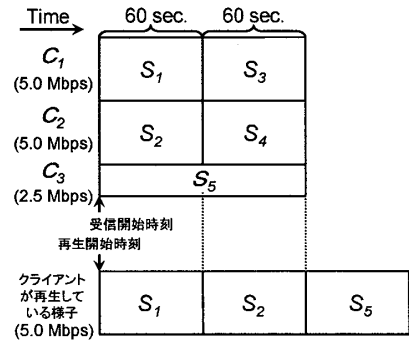


図3 CCB法の放送スケジュール例

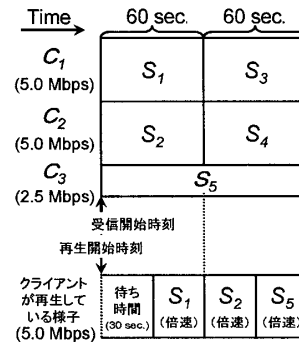


図4 早送り再生を考慮した CCB 法の放送スケジュール例

3 提案手法

3.1 概要

早送り再生を考慮した選択型コンテンツの放送型配信のためのスケジューリング手法として、Contents Cumulated Broadcasting Considering Prefetching (CCB-CP) 法を提案する. この手法は、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て、コンテンツを早送りして視聴する部分と通常で視聴する部分に分けてスケジューリングすることで、コンテンツ視聴時に発生する待ち時間を短縮することに着目した手法である.

3.2 想定環境

本手法を提案するにあたって、想定する環境を箇条書きで示す.

- 放送される番組は、選択型コンテンツである.
- サーバは複数のチャネルから同時にデータを放送できる.
- クライアントは複数のチャネルから同時にデータを受信できる.
- 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もつ.
- 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.
- クライアントは倍速で再生できる.

近年のデジタル放送の普及にともない、双方向のコンテンツに対する要求は高くなっており、選択型コンテンツの放送型配信は今後一般的になると考えられる. デジ

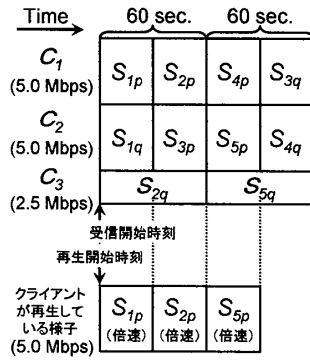


図5 提案手法の放送スケジュール例

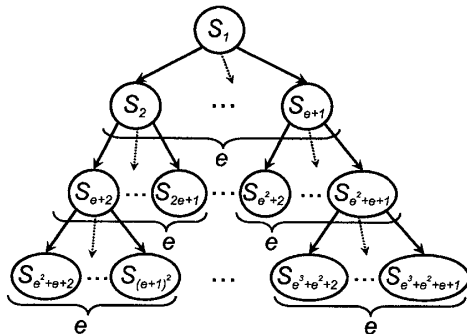


図6 待ち時間評価のための視聴順序グラフ

タル放送では、幾つかの放送チャンネルから同時にデータを送受信できる。また、多数の番組が放送されており、サーバはユーザが再生するコンテンツを予測する必要があるため、あらかじめコンテンツをバッファに蓄積することは考えない。以上のようなシステムの例として、地上波デジタル放送を用いてクイズ番組やニュース番組を放送する場合は考えられる。また、本研究では、早送りの速度は倍速とする。

3.3 スケジューリング手順

1. 使用できる帯域幅を B 、再生レートを r としたとき、 $m = \lceil B/r \rceil$ 個のチャンネル C_1, \dots, C_m を用いる。式(1)に従い、 C_1, \dots, C_m の帯域幅を算出する。

$$C_i = \begin{cases} r & (i = 1, \dots, m-1) \\ B - r \times (m-1) & (i = m) \end{cases} \quad (1)$$

2. 倍速再生用のコンテンツ (S_{jp}) をスケジューリングする。 C_1 では、各深さで状態数が一番小さい合計 b 個のコンテンツを順番に放送する。 C_2, \dots, C_m では、根から葉の順番に、途切れなく倍速再生を行う場合の再生開始時刻に合わせて未放送の S_{jp} をスケジューリングする。再生開始時刻までにスケジューリングできない場合、再生開始時刻より後で、できるだけ早い時刻にスケジューリングする。
3. 通常再生用のコンテンツ (S_{jq}) について、根から葉の順番に、まだスケジューリングしていない時間帯のうちできるだけ早い時刻にスケジューリングする。
4. すべてのコンテンツのスケジューリングが完了した

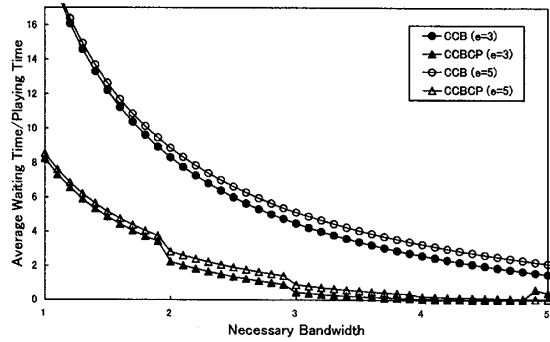


図7 帯域幅と平均待ち時間

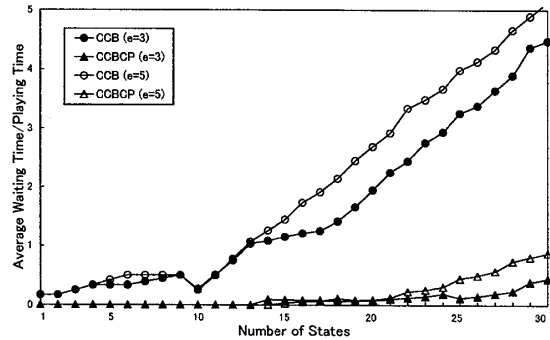


図8 状態数と平均待ち時間

ら、終了する。

以上の手順でスケジューリングを行う。

3.4 導入方法

図5に、CCB-CP法で配信する場合の放送スケジュールを示す。図2の視聴順序グラフを使用し、理解しやすい例として、使用できる帯域幅を12.5 Mbps、再生レートを5.0 Mbpsとする。3.3節のスケジューリング手順により、 C_1, C_2 の帯域幅は5.0 Mbps、 C_3 の帯域幅は2.5 Mbpsとなる。番組の放送が始まると、 C_1 では、根から順に各深さで状態番号が一番小さいコンテンツである S_1, S_2, S_4 のうち、倍速再生の部分である S_{1p}, S_{2p}, S_{4p} を順番に放送する。 C_2 では、途切れなく倍速再生を行う場合の再生開始時刻に合わせて、 S_{3p} を放送開始60秒から120秒、 S_{5p} を放送開始120秒から180秒の間放送する。次に、 $S_{jq} (j=1, \dots, 5)$ について、 S_{1q} を C_2 で放送開始0秒から60秒の間放送する。以下、 S_{2q}, \dots, S_{5q} を図5のようにスケジューリングする。

4 評価

4.1 待ち時間の比較評価

本章では、提案手法と既存手法それぞれにおいて、倍速再生を行った場合の待ち時間の長さを調べるため、評価を行った。番組を放送する場合、様々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ため、本論文では、図6の視聴順序グラフを用いて評価を行う。図6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。

例えば、 $e = 2$ のとき、グラフは図 1-C のようになる。この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上で一般化したものとして用いる。また、比較手法として、2章で説明した CCB 法を用いる。

4.1.1 帯域幅の影響

帯域幅に応じた待ち時間がどの程度になるかを、各手法について評価した。結果を図 7 に示す。横軸は、使用できる帯域幅を再生レート (5.0Mbps) で除した値を示した。縦軸はコンテンツの再生時間に比例するため、倍速再生を行ったときの平均待ち時間を再生時間で除した値を示した。評価には図 6 の視聴順序グラフを用い、状態数 n は 30 とした。“CCB ($e = i$)” ($i=3, 5$) は、図 6 の視聴順序グラフが出線数 i の多分木の場合における CCB 法を示し、“CCBCP ($e = i$)” ($i=3, 5$) は CCB-CP 法を示す。

図 7 より、使用できる帯域幅の増加にともない、待ち時間は減少することが分かる。帯域幅が増加すると、再生レートと同じ帯域幅で放送できるチャンネルの数が增加する。このとき、再生中に待ち時間が発生する早送り再生用のコンテンツの数は減少するため、効率的に待ち時間を短縮できる。例えば、使用できる帯域幅が 12.5 Mbps で、3 択のクイズ番組 ($e = 3$) を放送する場合、各手法における平均待ち時間は、CCB 法では 4.48 秒、CCB-CP 法では 0.44 秒となり、提案手法は既存手法に比べて平均待ち時間を $(4.48 - 0.44) \times 100 / 4.48 = 90.2\%$ 短縮できることが分かる。

4.1.2 コンテンツ数の影響

放送する選択型コンテンツの数が大きくなると、コンテンツの再生時に受信を完了していないコンテンツの数が増加し、待ち時間は長くなる。実運用時に許容される待ち時間の値からコンテンツ数を決定することが考えられるため、放送するコンテンツの数と平均待ち時間の関係を調べた。結果を図 8 に示す。横軸はコンテンツ数、縦軸は倍速再生を行ったときの平均待ち時間を再生レートで除した値である。使用できる帯域幅をデジタル放送と同じ 23Mbps とする。評価には、図 6 の視聴順序グラフを用いた。

図 8 より、CCB-CP 法の待ち時間は、CCB 法に比べて短縮されていることが分かる。コンテンツ数が増加すると再生時に待ち時間が発生するコンテンツが増加するが、CCB-CP 法では、CCB 法に比べてよりクライアントの視聴順序を考慮して効率的にスケジューリングして放送することで、待ち時間を短縮する。例えば、 $n = 30$ 、 $e = 5$ の番組を放送する場合、各手法における平均待ち時間は、CCB 法では 5.13 秒、CCB-CP 法では 0.88 秒となり、提案手法は既存手法に比べて平均待ち時間を $(5.13 - 0.88) \times 100 / 5.13 = 82.8\%$ 短縮できることが分かる。

5 おわりに

本研究では、放送型配信において、早送り再生を考慮して待ち時間を短縮する選択型コンテンツのスケジューリング手法を提案し、評価を行った。提案する CCB-CP 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確保して、コンテンツを早送りで視聴する部分と通常の方法で視聴する部分に分けてスケジューリングする

ことで、待ち時間を短縮する。

今後の予定として、再生中の再生速度の切り替えを考慮したスケジューリング手法や、早送りの速度が倍速以外の場合のスケジューリング手法の提案が考えられる。

謝辞

本研究の一部は、総務省委託研究「ユビキタス・プラットフォーム技術の研究開発」による研究成果である。また一部は、科学研究費補助金(若手研究(B))「端末伝送型インターネット放送におけるコンテンツ配送方式」(課題番号:21700108)および財団法人岡山工学振興会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: 情報通信白書平成 21 年版, 2009.
<http://www.johotsusintokei.soumu.go.jp/whitepaper/ja/H21/pdf/index.html>.
- [2] 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.
- [3] Y. Gotoh, T. Yoshihisa, M. Kanazawa, and Y. Takahashi: A Broadcasting Scheme for Selective Contents Considering Available Bandwidth, *IEEE Trans. Broadcasting*, vol.55, issue 2, pp.460-467, 2009.
- [4] 橋本和彦: デジタル衛星放送の技術と動向, 電子情報通信学会誌, Vol.81, No.1, pp.86-88, 1998.
- [5] B. Jinsuk, and F.P. Jehan: A Tree-Based Reliable Multicast Scheme Exploiting the Temporal Locality of Transmission Errors, *Proc. IEEE Int. Performance, Computing, and Communications Conference (IPCCC2005)*, pp.275-282, 2005.
- [6] L. Shi, P. Sessini, A. Mahanti, Z. Li, and D.L. Eager: Scalable Streaming for Heterogeneous Clients, *Proc. ACM Multimedia*, pp.22-27, 2006.
- [7] Y. Zhao, D.L. Eager, and M.K. Vernon: Scalable On-Demand Streaming of Non-Linear Media, *Proc. of IEEE INFOCOM*, vol.3, pp.1522-1533, 2004.
- [8] J.-F. Paris, D.D.E. Long, and P.E. Mantey: Zero-delay broadcasting protocols for video-on-demand, *Proc. ACM Int. Multimedia Conf. (Multimedia'99)*, pp.189-197, 1999.
- [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] Y. Gotoh, T. Yoshihisa and M. Kanazawa, “A Scheduling Method Considering Playing Time in Selective Contents Broadcasting,” *Proc. 4th Int. Workshop on QoS in Multiservice IP Networks (QoS - IP 2008)*, pp.191-196, 2008.