

IP ネットワークにおける 分割放送型システムの帯域使用率に関する評価

後藤 佑介[†] 義久 智樹^{††} 金澤 正憲^{††}

近年のインターネット放送の普及により、IP(Internet Protocol) ネットワークにおいて、音声や映像といった連続メディアデータの放送型配信に対する注目が高まっている。放送型配信では、一般に、サーバは周期的に同じデータを繰り返して放送する。多くのクライアントにまとめてデータを配信できるが、クライアントはデータの受信要求を出してから受信を開始するまで待つ必要がある。筆者らは、放送型配信における待ち時間短縮のため、IP ネットワークにおける分割放送型システムの設計と実装を行ってきた。これらの研究では、クライアント数が非常に多く、放送型配信が有効な状況を想定しているが、具体的な有効性について示されていなかった。本稿では、分割放送型システムの帯域使用率に関する評価を行い、提案システムが有効な状況について考察を行う。

Evaluations for Bandwidth Availability of Division Based Broadcasting Systems in IP Networks

YUSUKE GOTOH,[†] TOMOKI YOSHIHISA^{††} and MASANORI KANAZAWA^{††}

Due to the recent spread of the Internet, delivering continuous media data, i.e. audio and video, on the IP(Internet Protocol) networks has been attracted great attention. In broadcasting systems, generally, the server broadcasts the same data repetitively. Although the server can deliver the data to many clients concurrently, clients have to wait until their desired data are broadcast. To reduce the waiting time, we designed and implemented a division based broadcasting system for IP networks. Previous researches often assume that there are many clients and broadcasting delivery is effective. However, these researches did not show its concrete availability. In this paper, by evaluating the bandwidth availability of the division based broadcasting system, we consider situations that the proposed system is effective.

1. はじめに

近年のGyao⁶⁾やTVBank¹⁵⁾といったインターネット放送の普及¹³⁾にともない、音声や映像といった連続メディアデータをIPネットワークで配信する研究が多数行われている。連続メディアデータの配信手法には、大きく分けてオンデマンド型と放送型の2種類がある。

● オンデマンド型

オンデマンド型では、連続メディアデータの配信サーバにクライアントが受信要求を出し、サーバはそれに応じてデータを配信する。受信要求を出してからデータの受信を開始するまでの待ち

時間が発生しないという利点があるが、クライアントの数が多の場合、使用する帯域幅が増加してサーバの負荷が大きくなるという問題がある。

● 放送型

放送型配信では、一般に、サーバは周期的に同じデータを繰り返して放送する。クライアントは、放送されているデータの中から必要なデータを選択して取得する。複数のクライアントに同じデータをまとめて配信できるため、クライアントの数が多の場合に有効な手段であるが、クライアントはデータの受信要求を出してから初めの部分を受信するまで待つ必要がある。

筆者らは、IP ネットワークにおける連続メディアデータの配信において、放送型配信が有効と想定し、放送型配信における待ち時間短縮の手法を提案してきた^{5),17),18)}。しかし、これまで、オンデマンド型と比べて放送型配信が有効な状況について、具体的な指標が示されていなかった。

[†] 京都大学大学院 情報学研究所
Graduate School of Informatics, Kyoto University

^{††} 京都大学 学術情報メディアセンター
Academic Center for Computing and Media Studies,
Kyoto University

そこで本研究では、オンデマンド型と放送型の2つのシステムを実装し、考察を行う。提案している分割型放送システムでは、待ち時間短縮のためにデータを分割して放送している。分割数が多いほど待ち時間を短縮できるが、サーバの負荷が大きくなり、放送帯域を有効に使用できない。このため、待ち時間と放送帯域にトレードオフが生じる。そこで、放送型システムの帯域使用率に関する評価を行い、提案システムが有効な状況について考察を行う。

以下、2章で設計手法について説明し、3章で実装環境について説明する。4章で評価を行い、5章で議論を行う。最後に6章で本稿をまとめる。

2. 関連研究

連続メディアデータの配信手法には、大きく分けてオンデマンド型と放送型がある。

2.1 オンデマンド型

Piggy Back 法¹⁾では、データの再生レートを変更することで、複数のクライアントに同じデータを配信することができる。例えば、クライアントAが5Mbpsの再生レートの動画データを再生した後、5分後にクライアントBが同じデータを4Mbpsで再生すると、その25分後には初めの30分のデータを受信できる。このとき、クライアントAは初めの30分を再生終了しているため、クライアントAの再生開始から30分後には、クライアントBも5Mbpsで再生することで、同じデータを配信できる。使用する帯域幅を削減できるが、各クライアントで再生レートが異なる状況は、現実的ではないという問題がある。

Stream Tapping(ST)法^{2),11)}では、クライアントが受信要求を出す場合に、オリジナルストリーム(Original Stream)が配信されていないとき、サーバはオリジナルストリームを用いてすべてのデータを配信する。オリジナルストリームが配信されているとき、サーバはタップストリーム(Tap Stream)を用いて初めから途中までのデータを配信する。クライアントは、オリジナルストリームとタップストリームから同時にデータを受信することで、初めから最後まで途切れなくデータを再生できる。タップストリームはデータの一部のみ配信するため、各クライアントにオリジナルストリームを配信する場合に比べ、必要となる帯域幅を削減できる。

2.2 放送型

放送型配信において、データの受信開始から再生までの待ち時間を短縮するためのスケジューリング手法が数多く提案されている^{3),8),9),12),14)}。

OPB(Optimized Periodic Broadcast)法¹⁰⁾では、各コンテンツを2個の部分に等分割する。分割されたコンテンツをセグメントと呼ぶ。いくつかの放送用チャンネルを用い、各チャンネルで各セグメントを放送する。クライアントは、選択したコンテンツをセグメント単位で受信する。再生中のコンテンツの前半部の受信が完了すると、後半部のコンテンツを受信しながら、次にクライアントが選択する可能性のあるコンテンツの前半部を受信する。これにより、受信待ち時間を短縮できる。しかし、OPB法では、分割されたセグメントの数に合わせて帯域幅を確保するとき、各チャンネルの帯域幅は再生レートと同じ大きさになる。このため、コンテンツの数が増加すると、帯域幅が増加する。

HSM(Hierarchical stream merging)法¹⁹⁾では、各チャンネル上で分割したデータを繰り返し放送しているときに、クライアントがチャンネルの配信データの受信が完了すると、該当するチャンネルは、受信が完了していないチャンネルと、帯域幅を併合させて残りを放送する。これにより、クライアントの受信完了までの待ち時間を短縮させる。

CCB-CB(CCB-Considering Bandwidth)法⁴⁾では、使用する帯域幅が制限されているとき、各チャンネルの帯域を単純に数倍するのではなく、できるだけ多くのチャンネルの帯域を再生レートと等しくする。再生レートと等しい帯域幅を確保して放送することで、クライアントの受信完了までの待ち時間を短縮させる。

BE-AHB(Bandwidth Equivalent-AHB)法¹⁶⁾では、再生に必要なデータサイズごとに連続メディアデータを分割することで、使用するチャンネルの数が非常に多くなるという問題を考慮している。再生に必要なデータをいくつかまとめたものに分割することで、使用するチャンネルの数を削減でき、現実的なチャンネル数で待ち時間を短縮できる。

3. 設 計

本研究では、オンデマンド配信と放送型配信のシステムを設計し、実装する。以下で各システムの設計について述べる。

3.1 オンデマンド配信

オンデマンド配信では、TCPを用いた連続メディアデータの配信システムを実現する。

3.1.1 サーバ

サーバのフローチャートを図1に示す。サーバは、クライアントからデータの受信要求を受けると、あらかじめサーバに保存しておいた連続メディアデータをそのクライアントに配信する。

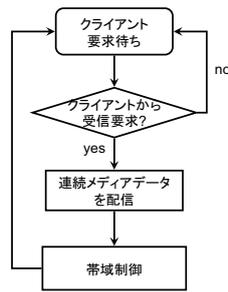


図 1 サーバ側の配信フローチャート (オンデマンド型)
Fig.1 A flow chart for servers in on-demand type

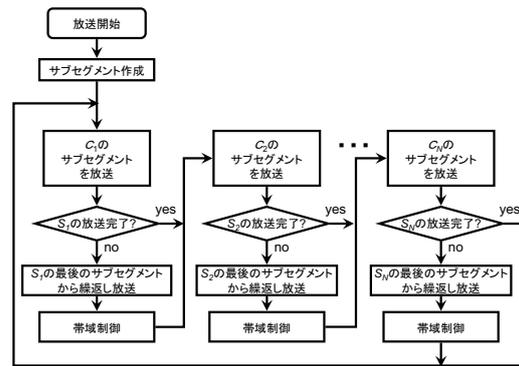


図 3 サーバ側の配信フローチャート (放送型)
Fig.3 A flow chart for servers in broadcasting



図 2 クライアント側の受信フローチャート (オンデマンド型)
Fig.2 A flow chart for clients in on-demand type

3.1.2 クライアント

クライアントのフローチャートを図 2 に示す. クライアントはサーバに対して受信要求を行う. サーバから連続メディアデータが配信されると, バッファに保存しながら再生処理を行う.

3.2 放送型配信

放送型配信では, UDP を用いた連続メディアデータの配信システムを実現する. サーバは IP ネットワークを経由して, 複数のクライアントに対して連続メディアデータの放送型配信を行う.

3.2.1 サーバ

サーバのフローチャートを図 3 に示す. サーバでは, 以下の手順に従って配信処理を行う. サーバは, 各チャンネルで $S_i (i=1, \dots, N)$ を配信するために, サブセグメントに分割する. 次に, チャンネル C_1, \dots, C_N の順に, 各チャンネルのサブセグメントを放送する. その後, 評価のため, 帯域を変更できるように, 帯域制御を行う.

サーバは複数のクライアントと IP ネットワークを介して接続されており, クライアントに対して連続メディアデータの放送型配信を行う. 放送型配信では, スケジューリング手法を用いて, 使用する帯域幅をできるだけ小さくするようにデータサイズを決め, 分割

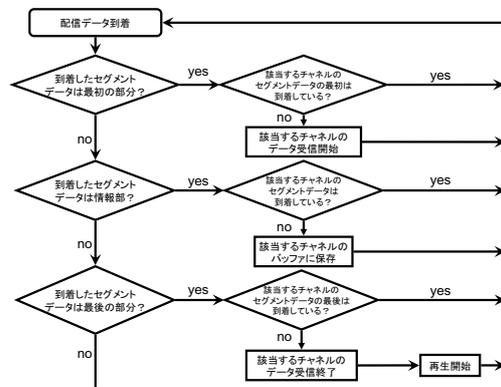


図 4 クライアント側の受信フローチャート (放送型)
Fig.4 A flow chart for clients in broadcasting

して放送する.

3.2.2 クライアント

クライアントのフローチャートを図 4 に示す. クライアントは, サーバから配信されたデータが到着すると, このデータがセグメントの最初, 情報部, 最後のどの部分かを判別する. 次に, クライアントがこのデータをまだ受信していない場合, 該当するチャンネルのバッファに保存する. 既に受信したデータであれば, 受信せずに次のデータの到着を待つ.

3.3 帯域制御の方法

オンデマンド型, 放送型それぞれのサーバのフローチャートの最後に, 帯域制御の処理がある. 具体的には, 各チャンネルで処理時間を調節して帯域を制御している. 例えば, 処理時間を調節しない場合の帯域は 1.025Mbps だが, 処理時間を大きくすることで帯域を減少している.

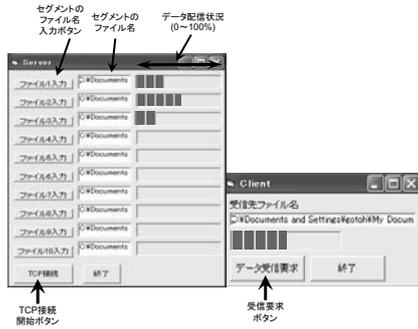


図 5 O-DBS の実装環境のスクリーンショット
Fig.5 A screen shot for the O-DBS

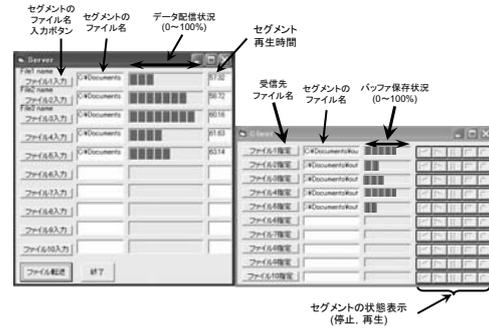


図 6 NO-DBS の実装環境のスクリーンショット
Fig.6 A screen shot for the NO-DBS

4. 実 装

連続メディアデータの配信手法の実装において、オンデマンド型配信システム (On-demand Division Based System: O-DBS) と放送型配信システム (Near On-demand Division Based System:NO-DBS) について、それぞれ説明する。

4.1 O-DBS の概要

設計に基づいて、O-DBS を実装した。スクリーンショットを図 5 に示す。サーバでは、クライアントから受信要求が行われると、チャンネルを一つ開放し、連続メディアデータを配信する。クライアントでは、サーバから受信した連続メディアデータをバッファに保存する。保存が完了すると、再生処理が行われ、連続メディアデータが再生される。

4.2 NO-DBS の概要

設計に基づいて、NO-DBS を実装した。スクリーンショットを図 6 に示す。今回、実装には分割放送型配信 (BE-AHB 法¹⁶⁾) を使用した。サーバでは、前処理で連続メディアデータをセグメント単位に分割して、各チャンネルで繰り返し放送する。このとき、各チャンネルの放送間隔が同じになるように、セグメントをいくつかのサブセグメントに分割して放送する。クライアントでは、サーバから受信したセグメントを各チャンネルに対応したバッファに保存する。セグメントの保存が完了すると、再生処理が行われ、セグメントが再生される。

4.3 実装環境

実装には Visual Basic 6.0 を使用した。サーバに Intel Pentium4 M CPU 1.2GHz, Memory 504MB の計算機を用い、クライアントに Pentium4 CPU 3.20GHz, Memory 1GB の計算機を使用した。配信するデータは、MP3 (MPEG2 Layer3) といった音声

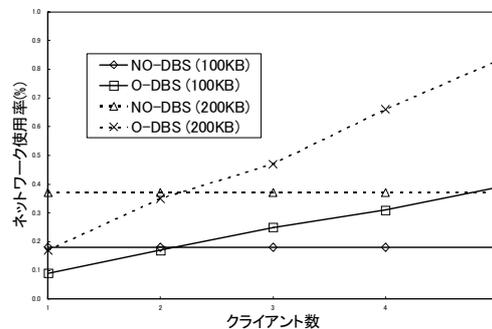


図 7 クライアント数とネットワーク使用率
Fig.7 The number of clients and the network availability

や、MPEG2 などの動画である。

5. 評 価

O-DBS と NO-DBS のネットワーク使用率に関する評価を行う。再生レートは、MP3 で一般的な 0.128Mbps を用いた。

5.1 ネットワーク使用率

クライアント数を変えた場合のネットワーク使用率を図 7 に示す。横軸はクライアント数とし、縦軸はネットワーク使用率とした。100K バイト、200K バイトの 2 つのデータサイズを使用した。このグラフより、クライアント数の増加にともない、ネットワーク使用率は、オンデマンド配信に比べて放送型配信の方が低くなる事が分かる。これは、オンデマンド配信では、クライアント数の増加にともない、サーバの負荷が大きくなるためである。一方、放送型配信では、サーバの負荷は一定のままである。例えば、データサイズが 100K バイトでクライアント数が 5 のとき、オンデマンド配信ではネットワーク使用率は 0.39% であるが、放送型配信では 0.18% となり、53.8% 減少して

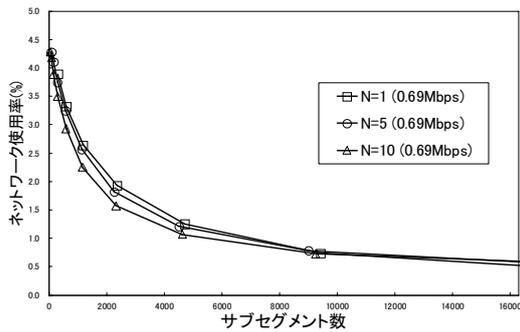


図 8 サブセグメント数とネットワーク使用率

Fig. 8 The number of sub segments and the network availability

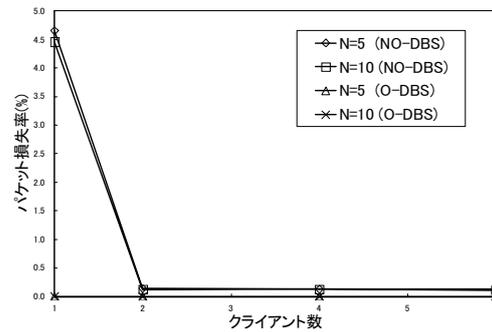


図 9 クライアント数とパケット欠損率

Fig. 9 The number of clients and the average packet loss rate

いる。

5.2 サブセグメントのデータサイズ

サブセグメント数を変えた場合のネットワーク使用率を図 8 に示す。横軸は各チャンネル上で放送するサブセグメントの数とし、縦軸はネットワーク使用率とした。また、使用するチャンネル数は 1,5,10 とした。このグラフより、使用チャンネル数が 1,5,10 の全ての場合において、サブセグメント数が増えると、ネットワーク使用率が小さくなるのが分かる。これは、図 3 のフローチャートに示すように、各チャンネルからサブセグメントを配信するときに使用しているループ処理の影響によるものである。サブセグメント数が少ない場合、ループ処理の回数が増え、配信処理の時間が大きくなるため、ループの処理に時間がかかり、ネットワーク使用率が小さくなる。例えば、使用チャンネル数が 5 のときのネットワーク使用率は、サブセグメント数が 36 のときは 4.28%だが、サブセグメント数が 9247 のときは 0.73%となり、82.9%減少することが分かる。

5.3 パケット欠損率比較

クライアント数を変えた場合のパケット欠損率を図 9 に示す。横軸はクライアント数とし、縦軸はパケット欠損率とした。このグラフより、クライアント数の増加にともない、パケット欠損率が減少することが分かる。これは、クライアント数の増加により、使用できる帯域幅が増加し、処理負荷の大きさにより引き起こされるパケット欠損の発生時間が小さくなるためである。

6. 議 論

6.1 オンデマンド型と放送型

図 7 において、クライアント数が 2 以上のとき、オ

ンデマンド型よりも放送型の方が、ネットワーク使用率は低くなる。帯域幅などの他の状況にも依存するが、クライアント数が多い場合、放送型の方がサーバの負荷を抑えられることが分かった。

また、図 9 において、0.345Mbps 以上の帯域幅で行う放送では、パケット欠損率が約 0.2%まで低下することが分かった。パケット欠損が発生する原因は、初めのセグメントデータの再生処理時間中に発生するパケット未着である。0.1725Mbps の場合は、受信時間が大きいため、このパケット未着が全てのチャンネルで発生し、パケット欠損率が大きくなる。一方、0.345Mbps 以上については、受信時間が減少し、ほとんどのチャンネルでパケット欠損が発生しなくなるため、パケット欠損が少なくなる。待ち時間の評価については、文献 4) を参照。

6.2 分割手法

評価結果より、分割数が数十程度では、分割手法に影響がないことが分かった。また、図 8 より、サブセグメント数が増えると、ネットワーク使用率が小さくなることが分かった。これは、5.2 節でも述べたように、サブセグメントを配信するときに使用するループ処理の影響によるものである。サブセグメント数が多い場合は、処理遅延のため、帯域を有効に利用できない。処理遅延の少ない高速な計算機を用いると、サブセグメントの影響は小さくなると考えられる。

7. おわりに

筆者らは、これまで IP ネットワークにおける分割放送型システムの設計と実装を行ってきた。本稿では、放送型配信の有効性について評価を行った。評価の結果、クライアント数が多い放送環境では、オンデマンド型よりも放送型の方が帯域を有効に利用できること

が分かった。実装した分割放送型システム (NO-DBS) では、放送型配信における待ち時間短縮のためにデータを分割しているが、数十程度のデータの分割数であれば、システムに影響を及ぼさない。しかし、サブセグメント数が多い場合には、処理遅延のため、帯域を有効に利用できないことが分かった。分割数は、許容できる待ち時間の長さ、処理速度の兼ねあいで決定されるため、システムに依存すると言える。

今後の予定として、パケット欠損への対応や、ネットワークの帯域幅が動的に変化する場合のスケジューリング手法の考案が挙げられる。

参 考 文 献

- 1) C.C. Aggarwal, J.L. Wolf, and P.S.Yu: On optimal piggyback merging policies for video-on-demand systems, in *Proc. of the ACM SIGMETRICS*, pp.200-209 (1996)
- 2) S.W. Carter and D.D.E. Long: Improving video-on-demand server efficiency through stream tapping, in *Proc. of the Int. Conf. on Computer Communications and Networks (IC3N'97)*, pp.200-207 (1997)
- 3) Derek, E., Mary, V. and John, Z.: Minimizing Bandwidth Requirements for On-Demand Data Delivery, *IEEE Trans. on Knowledge and Data Engineering*, (MIS'99), Vol.13, No.5, pp.742-757 (2001)
- 4) 後藤佑介, 義久智樹, 金澤正憲: IP ネットワークにおける連続メディアデータの分割放送型配信システムの実装と評価, 情報処理学会研究報告, 2005-BCCgr-12, pp.210-217 (2005)
- 5) 後藤佑介, 義久智樹, 金澤正憲: 放送型配信における受信待ち時間を考慮した選択型コンテンツのスケジューリング手法, 情報処理学会研究報告, 2005-BCCgr-13, pp.88-95 (2006)
- 6) Gyaio: <http://www.gyao.jp/>
- 7) 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, Vol81, No.1, pp.86-88 (1998)
- 8) Janakiraman, R. and Waldvogel, M.: Fuzzy-cast: Efficient Video-on-Demand over Multicast, *Proc. IEEE Infocom* (2002)
- 9) Jinsuk, B. and Jehan, F.P.: 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)
- 10) 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)
- 11) J.-F. Paris: An Interactive Broadcasting Protocol for Video-on-Demand, *Proc. IEEE Int. Performance, Computing, and Communications Conference (IPCCC'01)*, pp.347-353 (2001)
- 12) J.-F. Paris: A stream tapping protocol with partial preloading, in *Proc. of the Int. Symposium on Modeling, Analysis and Simulation of Computer and Telecommunication Systems (MASCOTS'01)*, pp.423-430 (2001)
- 13) 総務省: 情報通信白書平成 17 年版 (2005). <http://www.johotsusintokei.soumu.go.jp/whitepaper/ja/H17/pdf/index.html>
- 14) Steven, C. and Darrell, L.: An Efficient Implementation of Interactive Video-on-Demand, in *Proc. of the Int. Symposium on Modeling, Analysis and Simulation of Computer and Telecommunication Systems (MASCOTS'00)*, pp.172-179 (2000)
- 15) TVBank: <http://www.tvbank.net/>
- 16) 義久智樹, 塚本昌彦, 西尾章治郎: 使用可能なチャネル数を考慮した放送型配信におけるスケジューリング手法: 情報処理学会研究報告, 2003-DBS-131(I), pp.375-381 (2003)
- 17) 義久智樹, 塚本昌彦, 西尾章治郎: データの分割に関する制約を考慮した連続メディアデータ放送におけるスケジューリング手法, 情報処理学会論文誌: データベース, Vol.44, No.SIG3 (TOD17), pp.33-42 (2003)
- 18) 義久智樹, 塚本昌彦, 西尾章治郎: 連続メディアデータ放送における待ち時間短縮のための分割放送方式, 情報処理学会論文誌: Vol.44, No.6, pp.1558-1569 (2003)
- 19) Zhao, Y., D. L. Eager, and M. K. Vernon: Scalable On-Demand Streaming of Non-Linear Media, *Proc. of IEEE INFOCOM* (2004)