

端末伝送型インターネット放送における 端末間の帯域幅を考慮したデータ配信手法

後藤 佑介^{†1} 義久 智樹^{‡2}
谷口 秀夫^{†1} 金澤 正憲^{‡3}

近年の放送・通信融合環境の普及にともない、音楽や映像といった連続メディアデータをクライアント間で送受信する端末伝送型インターネット放送に対する注目が高まっている。端末伝送型インターネット放送では、データを要求する端末は、他の複数の端末からデータを受信することでサーバの負荷を抑える。これまでの手法では、全てのユーザが通信チャンネルを共有することで、他のユーザが受信しているデータを受信してデータ受信時に発生する待ち時間を短縮していた。しかし、サーバ以外でデータを受信できる端末は一つであるため、受信に使用する端末の帯域幅を占有する時間が長くなり、端末の帯域幅を有効に利用できない。本研究では、端末伝送型インターネット放送において、データ受信時に発生する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、各端末が使用できる帯域幅を考慮してデータをスケジューリングすることで、待ち時間を短縮する。

A Method for Waiting Time Reduction in Node Delay-based Webcast Considering Available Bandwidth

YUSUKE GOTOH,^{†1} TOMOKI YOSHIHISA,^{‡2}
HIDEO TANIGUCHI^{†1} and MASANORI KANAZAWA^{‡3}

Due to the recent popularization of digital webcast systems, delivering continuous media data, i.e. audio and video, has been attracted great attention. In node delay-based webcast, the server has better load balance by receiving data concurrently from other several nodes. Conventional methods reduce waiting time by sharing channels and receiving data from them. However, since the number of nodes by which the user can receive the data is one, occupation time of available bandwidth of the node increases. In this paper, we propose a scheduling method to reduce the waiting time for node delay-based webcast. In our proposed method, by considering available bandwidth of each node and producing an effective schedule, the waiting time is reduced.

1. はじめに

近年のインターネット放送の普及¹⁾にともない、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関する研究が多数行われている。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。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、クライアント数が多い場合に有効な手段であるが、クライアントは所望のデータが放送されるまで待つ必要がある。このため、クライアントがデータを途切れずに再生できることを考慮したうえで、この待ち時間を短縮する様々な手法が提案されている。これらの手法では、連続メディアデータを幾つかのデータサイズに分割し、初めの方を頻繁に放送する分割放送型配信を行うことで、データ受信時に発生する待ち時間を短縮している。

筆者らは、複数のクライアントがデータを送受信する端末伝送型インターネット放送において、データを視聴する場合の待ち時間短縮手法を提案してきた⁹⁾。端末伝送型インターネット放送では、データを要求する端末（以下、要求端末）が他の複数の端末（以下、供給端末）からデータを受信する。ユーザは、受信したコンテンツを選択して順番に再生することで、見たい番組を視聴できる。

これまでの手法では、全てのユーザが通信チャンネルを共有することで、他のユーザが受信しているデータを受信してデータ受信時に発生する待ち時間を短縮していた。しかし、サーバ以外でデータを受信できる端末は一つであるため、受信に使用する端末の帯域幅を占有する時間が長くなり、端末の帯域幅を有効に利用できない。

本論文では、連続メディアデータの端末伝送型インターネット放送において、データ受信時に発生する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、各端末が使用できる帯域幅を考慮してデータを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章で関連研究について説明し、3章で端末伝送型インターネット放送について説明する。4章では提案手法を説明し、5章で評価を行う。最後に6章で本論文をまとめる。

^{†1} 岡山大学大学院自然科学研究科
Graduate School of Natural Science and Technology, Okayama University

^{†2} 大阪大学サイバーメディアセンター
Cybermedia Center, Osaka University

^{†3} 京都情報大学院大学
The Kyoto College of Graduate Studies for Informatics

2. 関連研究

端末伝送型によるデータ配信技術として、Peer-to-Peer (P2P) 技術を用いたストリーミング配信に関する研究がいくつか行われている²⁾⁻⁴⁾。Xu⁵⁾らは、P2P 技術を用いたストリーミング配信について、ストリーミング配信で多数のピアと呼ばれる端末からデータを受信する方法と、ストリーミング配信を行う P2P ネットワーク全体で必要となるデータの受信容量の確保に着目した手法を提案した。Shah⁶⁾らは、P2P ストリーミング配信において、複数の端末からピースと呼ばれるデータの分割ファイルを受信するとき、再生中のピースより先の連続したいくつかのピースを常に監視し、監視中に受信できなかったピースは受信を中止することで、待ち時間を短縮している⁶⁾。この場合、データの再生中に途切れ時間が発生する。

Neighbors-Buffering Based video-on-demand (NBB-VoD) 法⁷⁾では、クライアントは放送型配信でサーバからデータを受信しながら、供給端末に接続してデータセグメントを受信することで待ち時間を短縮する。端末伝送型配信を用いてデータを供給する端末は 1 箇所のみであるため、使用できる帯域幅に応じて複数の端末から同時にデータを受信することができない。

我々の研究グループでは、連続メディアデータの端末伝送型インターネット放送において、待ち時間を短縮するスケジューリング手法を提案してきた⁸⁾⁻¹⁰⁾。これらの手法では、端末伝送型配信で複数の供給端末からデータを受信する場合を考慮したスケジューリングを行っているが、サーバから放送型配信でデータを受信する場合を組み合わせたスケジューリングは考慮していない。

3. 端末伝送型インターネット放送

本章では、端末伝送型インターネット放送について述べる。本論文で想定するクライアント構成を図 1 に示す。ネットワーク上には、サーバと、要求端末と供給端末の 2 種類の端末が存在する。図 1 のネットワーク環境では、複数の要求端末と供給端末がそれぞれ接続している。要求端末は、使用できる帯域幅をもとにデータを配信する供給端末を複数選択する。次に、要求端末はデータセグメントと呼ばれるデータの分割単位をもとに、どの部分を配信してもらうかを供給端末に要求する。供給端末はデータセグメントの配信を開始し、データの最初の部分の受信が完了すると、要求端末は番組の再生を開始できる。一方、サーバは放送チャンネルを使用して、各要求端末にデータを繰り返して放送する。要求端末は所望の機会にデータの受信をサーバに要求すると、要求した時点からデータセグメントの受信が

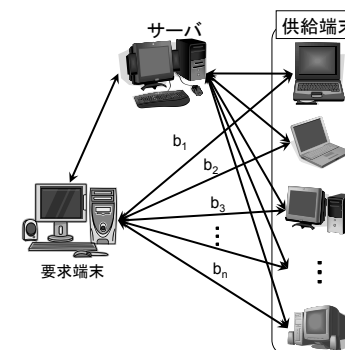


図 1 想定するクライアント構成

Fig. 1 Assuming structure of broadcasting with node relay based webcast.

開始され、要求端末内のバッファに保存される。

3.1 待ち時間が発生する仕組み

本節では、連続メディアデータの端末伝送型インターネット放送において待ち時間が発生する仕組みについて説明する。端末伝送型インターネット放送では、クライアントがデータの受信を開始してから再生を開始するまでの間に、待ち時間が発生する。ここで待ち時間とは、ユーザが番組の受信要求を出してからデータの最初の部分の再生が開始されるまでの時間を指す。

要求端末がサーバから放送チャンネルを用いてデータを受信する場合、サーバは放送型配信でクライアントにデータを放送する。連続メディアデータの放送型配信では、受信要求からデータの最初の部分を受信するまでの間は受信開始を待つため、データを繰り返して放送している場合、この待ち時間は、最大で連続メディアデータの受信時間分発生する。例えば、受信に 60 分かかる連続メディアデータを 1 つのチャンネルで受信する場合、60 分の待ち時間が発生する。このため、一般的には、連続メディアデータをセグメントと呼ばれる幾つかのデータ部分に分割して放送し、データの最初の部分の受信が完了するとデータを再生できるようにすることで、待ち時間を短縮している。このような放送形態は、電波放送や帯域が保証された IP マルチキャストといった放送を想定している。

クライアントが放送型配信を用いて、サーバにデータの受信要求を出してから再生が終了するまでの様子を図 2 に示す。 S_1 は、連続メディアデータを S_1, S_2, S_3 に 3 分割したときの 1 番目の部分のデータセグメントであり、いずれも再生時間が 1 分である。使用するチャンネルを C_1 、チャンネルの帯域幅を 1.5 Mbps とすると、 $C_1 = 1.5$ Mbps となる。再生レート

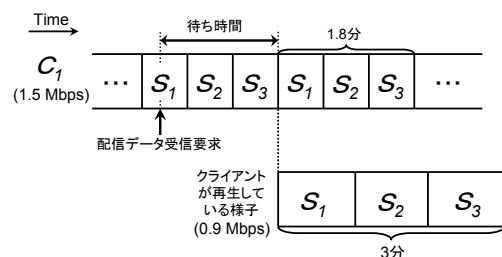


図 2 単純手法の放送スケジュール例

Fig. 2 An example of broadcasting schedule under the simple method.

は 0.9 Mbps とする．右に行くほど時間が経過している．クライアントは，サーバにデータの受信を要求すると，次に放送されるデータセグメントから受信を開始する．受信したデータセグメントはバッファに保存され， S_1 の受信が完了するとデータの再生を開始する．

次に，端末間でデータを送受信する場合に発生する待ち時間について説明する．理解しやすい例として，ここでは，サーバが NBB-VoD 法⁷⁾ を用いて放送する場合を考える．

クライアントが NBB-VoD 法でデータを受信する様子を図 3 に示す．NBB-VoD 法では，要求端末が放送型配信でサーバからデータを受信する．同時に，供給端末に接続してデータセグメントを受信する．図 3 に示すように要求端末がデータを要求すると，サーバから放送型配信で S_k, \dots, S_n までのデータセグメントを受信する．一方，供給端末からは残りのデータセグメントである S_1, \dots, S_{k-1} を順番に受信し， S_1 の受信が完了するとデータの再生を開始する．このとき，待ち時間は S_1 の受信時間のみとなる．

NBB-VoD 法では放送型配信と端末間配信を同時に利用することで待ち時間を短縮しているが，要求端末が使用できる帯域幅を考慮していない．また，要求端末が受信に使用できる供給端末の数は 1 つであるため，受信に使用する供給端末が使用できる帯域幅が再生レート未満である場合，データセグメントの受信時間が再生時間を上回り，待ち時間が増加する．本研究では，こ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．データの待ち時間を短縮することで，供給端末は多くの要求端末にデータを配信でき，ユーザの利便性が向上する．

4. 提案手法

端末伝送型インターネット放送におけるデータ受信時の待ち時間を短縮するスケジューリング手法として，NBB-CB (Neighbors-Buffering Broadcasting Considering Bandwidth)

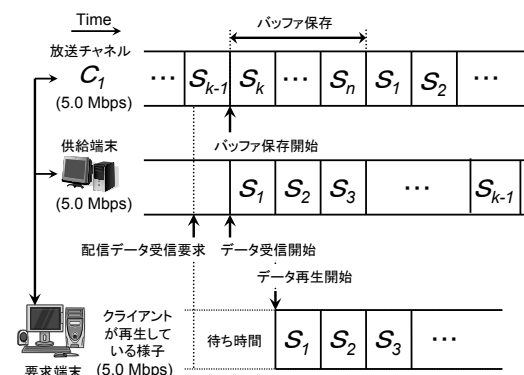


図 3 NBB-VoD 法の放送スケジュール例

Fig. 3 An example of a broadcast schedule under the NBB-VoD method.

法を提案する．提案手法では，要求端末がデータを要求した時点からのデータセグメントを放送チャンネルを使用してサーバから受信する．同時に，要求端末が使用できる帯域幅を考慮して複数の供給端末を選択し，放送チャンネルから受信できなかったデータの最初の部分のデータセグメントからスケジューリングして受信することで待ち時間を短縮する．

4.1 想定環境

本手法を提案するにあたって，想定環境を箇条書きで示す．要求端末と供給端末は，想定環境のもとで，データ配信のセッションをセグメント単位で行う．

- 要求端末は，1 つ以上の供給端末からデータを受信する．これは複数の端末がネットワークに繋がっていれば可能である．
- 供給端末は，複数の要求端末と同時にセッションを行うことができる．
- 放送帯域には制限がある．
- 連続メディアデータは受信開始と同時に再生できず，データの最初の部分のデータセグメントを受信しなければ再生を開始できない．
- サーバは放送チャンネルを用いてデータを繰り返し放送する．
- 要求端末がデータの再生を開始すると，最後まで途切れずに再生できる．
- 要求端末はバッファを持ち，受信したデータを再生している間も放送中のデータを受信してバッファに保存できる．

既存の NBB-VoD 法においても放送チャンネルからデータを受信しながら他の供給端末からデータを受信するが，本研究では，複数の供給端末から同時にデータを受信する点が異なる．NBB-CB 法では，要求端末とそれぞれの供給端末との間で使用できる帯域幅をもとに

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

記号	説明
D	データサイズ
n	セグメント数
w	データセグメントのサイズ, $w = \frac{D}{n}$
r	再生レート
m	供給端末数
p	同時接続可能端末数, $p \leq m$
S_i	データセグメントを再生している状態, $i = 1, \dots, n$
R_j	供給端末 $j = 1, \dots, p$
b_j	供給端末の帯域幅
$t_s(i)$	セグメント番号 i の配信開始時刻
$t_f(i)$	セグメント番号 i の配信終了時刻
δ	最大受信待機時間

データをスケジューリングすることで待ち時間を短縮する。

4.2 スケジューリング手順

提案手法の放送スケジュールについて説明する。各記号の意味は表 1 に示している。提案手法では、要求端末が放送チャンネルを用いて、データを要求した時点からデータの最後までをセグメント単位でを受信する。同時に、残りのデータセグメントについて、要求端末が使用できる帯域幅を考慮して複数の供給端末を選択し、データセグメントをスケジューリングして受信することで待ち時間を短縮する。

4.2.1 放送型配信

初めに、サーバから分割放送型配信でデータを受信する場合の手順について以下に示す。

- (1) 要求端末は、放送チャンネルを使用してデータを繰り返し放送しているサーバにデータを要求する。
- (2) 要求端末は、現在放送中のデータセグメントの次に放送されるデータセグメントから受信を開始し、データの最後の部分のデータセグメントまで受信する。

4.2.2 端末伝送型配信

次に、端末伝送型におけるデータ配信手順は以下の通りである。

- (1) 要求端末 A がデータを要求する。
- (2) 要求端末 A が要求したデータを持つ供給端末のグループ Neighbor(A) のリストをサーバから取得する。
- (3) Neighbor(A) の中から、使用できる帯域幅が一番大きい供給端末 Near(A) を選択する。
- (4) Near(A) が接続している要求端末の数が p より小さければ、Near(A) からデータを受信して (8) へ。そうでなければ、(5) へ。

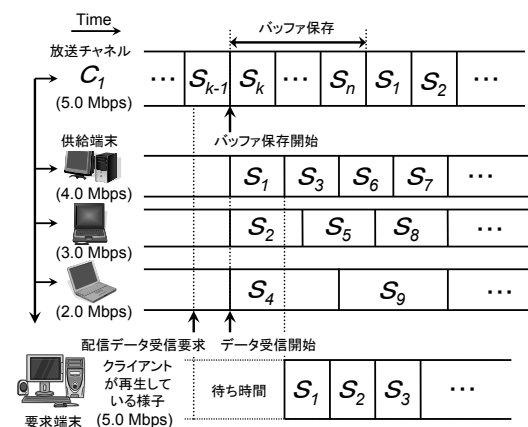


図 4 NBB-CB 法の放送スケジュール例

Fig. 4 An example of a broadcast schedule under the NBB-CB method.

- (5) Near(A) に接続している要求端末の中で、現時点から最も早い端末の受信終了時刻までの待ち時間が δ 以下であれば、受信終了時刻後に Near(A) からデータを受信し、(8) へ。そうでなければ、(6) へ。
- (6) Neighbor(A) の中から今回選択した Near(A) を除外する。
- (7) Neighbor(A) の中に Near(A) の候補があれば、(3) へ。そうでなければ終了し、放送チャンネルのみを使用してデータを受信する。
- (8) 要求端末が供給端末との間で必要となる帯域幅の合計が使用できる帯域幅を上回った場合、選択した供給端末からデータを受信せず、終了する。そうでなければ、新たな供給端末を選択するため、(3) へ。

4.2.3 データセグメントの配信スケジュール

データセグメントのスケジューリングについては、以下の手順で行う。

- (1) データセグメント S_i について、配信に使用する供給端末 R_j の配信終了時刻 $t_f(i)$ を以下の式より算出する。
$$t_f(i) = t_s(i) + w/r \times b_i \quad (1)$$
- (2) S_i を各供給端末から配信する場合の配信終了時刻が一番早い R_j にスケジューリングする。
- (3) $t_s(i)$, $t_f(i)$ の値を更新する。
- (4) 配信するすべてのデータセグメントのスケジューリングが完了するまで (1) から (3) を

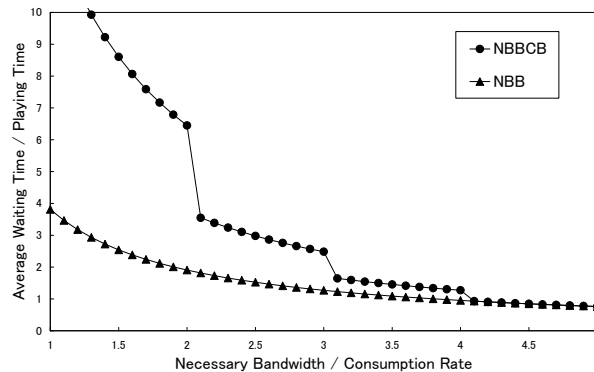


図 5 帯域幅と待ち時間

Fig. 5 The average waiting time and the necessary bandwidth.

繰り返す。

以上の手順でスケジューリングを行う。

4.3 導入方法

図 4 に、提案手法で配信する場合の放送スケジュールを示す。要求端末が使用できる帯域幅を 9.0Mbps とし、5.0Mbps の動画データ ($r = 5.0\text{Mbps}$) を放送する場合を考える。放送に使用できるチャンネルの数は 3 とする。4.2 節のスケジューリング手順により、使用できる帯域幅がそれぞれ 4.0, 3.0, 2.0 Mbps の供給端末が 3 つ選択される。要求端末は、放送チャンネルから S_k, \dots, S_n のデータセグメントを受信してバッファに保存しながら、3 つの供給端末から S_1, \dots, S_{k-1} のデータセグメントを受信する。

5. 評価

提案する NBB-CB 法の評価を行う。初めに、NBB-CB 法のパラメータに対する平均待ち時間の变化を示し、その後、既存の NBB-VoD 法との比較を行う。グラフに示す待ち時間は計算機によるシミュレーション結果である。

5.1 平均待ち時間

ユーザが連続メディアデータの視聴を要求してから再生が開始されるまでの待ち時間が短いほど、ユーザは満足する。許容される待ち時間の長さはユーザによって異なるため、本節では、既存手法と比べて NBB-CB 法の待ち時間が短縮されることを示し、NBB-CB 法の有効性を示す。

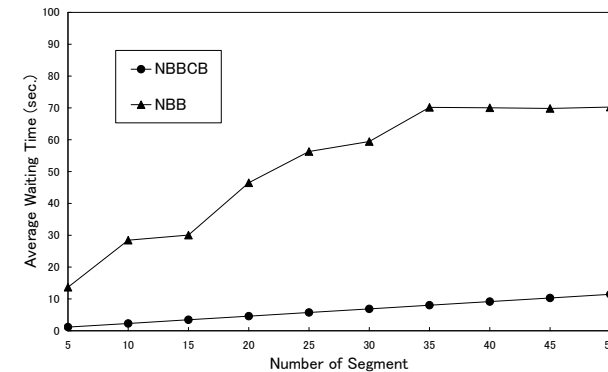


図 6 セグメント数と待ち時間

Fig. 6 The average waiting time and the number of segment.

連続メディアデータの再生時間は 60 秒、 $\delta = 30$ 秒とし、再生レートは 5.0 Mbps とする。文献 [7] より、要求するデータを持つ供給端末の数は以下の式より算出される。 M は配信するデータの数である。

$$P_i = \frac{(1 - \theta) \times \theta^i}{\theta(1 - \theta^M)} \quad (2)$$

本研究では、一番人気がある映像の配信について評価する ($i = 1$)。また、 $\theta = 0.8$ とし、供給端末の数は 100、要求端末の数は 1000 とする。

5.1.1 帯域幅

サーバが使用する帯域幅に応じて平均待ち時間が変化するため、平均待ち時間の長さを考慮したうえで、使用する帯域幅を決定することが考えられる。そこで、帯域幅を変化させた場合の平均待ち時間の評価を行った。結果を図 5 に示す。横軸は、使用する帯域幅をデータの再生レートで除した値である。縦軸は、平均待ち時間をデータの再生レートで除した値である。“NBB-CB” は、提案手法 NBB-CB 法の場合、“NBB” は、既存手法 NBB-VoD 法の場合である。

このグラフより、NBB-CB 法の平均待ち時間は既存手法よりも短くなる事が分かる。NBB-CB 法では、最初のデータセグメントを放送する帯域幅ができるだけ大きくなるようにスケジューリングする。例えば、15 Mbps の帯域幅を用いて放送する場合、待ち時間は、NBB-CB 法で 76.2 秒、NBB-VoD 法では 149 秒となり、NBB-CB 法に比べて 48.9% 短縮されている。

5.1.2 データセグメントの分割数

データセグメントの数が増加すると、各セグメントのデータサイズは減少するが、セグメントを放送する帯域幅も減少するため、待ち時間は変化する。そこで、セグメント数に関する評価を行った。結果を図 6 に示す。横軸はセグメント数、縦軸は平均待ち時間をデータの再生時間で除した値である。

このグラフより、データセグメントの数が増加すると、NBB-CB 法に比べて NBB-VoD 法の待ち時間が大きく増加することが分かる。NBB-CB 法では、データセグメントの数が増加しても、複数の供給端末にデータをスケジューリングするため、待ち時間の増加を抑えることができる。一方、NBB-VoD 法では、端末伝送型配信で使用できる供給端末が 1 つであるため、この供給端末が使用できる帯域幅が小さい場合、受信時間が増加し、待ち時間が増加する。例えば、60 秒の連続メディアデータを 15 個のセグメントに分割して視聴する場合、15 Mbps の帯域幅を用いて放送すると、待ち時間は、NBB-CB 法では 4.6 秒、NBB-VoD 法で 46.5 秒となり、NBB-VoD 法に比べて 90.1% 短縮されている。

5.2 考 察

NBB-CB 法では、端末伝送型配信に使用できる供給端末の数は 1 つであるため、データセグメントを有効に受信できない。要求端末が複数の供給端末を同時に使用してデータを受信すると、供給端末の数が少なくなることが考えられる。NBB-CB 法では、複数の供給端末からデータセグメントを効率的にスケジューリングして受信することで受信時間が減少させる。このため、他の要求端末が使用できる帯域幅が大きい供給端末を使用できる時間が増加し、ネットワーク全体の平均待ち時間を短縮できる。

6. おわりに

本論文では、連続メディアデータの端末伝送型インターネット放送において、端末間の帯域幅を考慮してデータ受信時に発生する待ち時間を短縮するスケジューリング手法を提案した。提案手法では、要求端末がデータを要求した時点からのデータセグメントを放送チャネルを使用してサーバから受信しながら、要求端末が使用できる帯域幅を考慮して複数の供給端末を選択し、放送チャネルから受信できなかったデータの最初の部分のデータセグメントから放送をスケジューリングして受信することで待ち時間を短縮する。

今後の予定として、複数チャネルを用いて放送する場合のスケジューリング手法や、供給端末がデータ配信中にネットワークから離脱する場合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、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信方式」(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) K. Hildrum, J. Kubiatowicz, S. Rao, and B. Zhao, "Distributed Object Location in a Dynamic Network," Proc. of 14th annual ACM symposium on Parallel algorithms and architectures, pp.41-52, 2003.
- 3) J. Liu, S.G. Rao, B. Li, and H. Zhang, "Opportunities and Challenges of Peer-to-Peer Internet Video Broadcast," Proc. of IEEE, Special Issue on Recent Advances in Distributed Multimedia Communications, vol.96, issue 1, pp.11-24, 2008.
- 4) BitTorrent: <http://www.bittorrent.com>.
- 5) D. Xu, M. Hefeeda, S. Hambrusch, and B. Bhargava, "On peer-to-peer media streaming," Proc. 22nd International Conference on Distributed Computing Systems (ICDCS2002), vol.1, pp.363-371, 2002.
- 6) P. Shah, and J.-F. Paris, "Peer-to-Peer Multimedia Streaming Using BitTorrent," Proc. 26th International Performance of Computers and Communication Conference (IPCCC 2007), pp.340-347, 2007.
- 7) T. Taleb, N. Kato, and Y. Nemoto, "Neighbors-buffering-based video-on-demand architecture," Signal Processing, Image Communication 18, pp.515-526, 2003.
- 8) Y. Gotoh, K. Suzuki, T. Yoshihisa, and M. Kanazawa, "A Scheduling Method to Reduce Waiting Time for P2P Streaming Systems," Journal of Mobile Multimedia, vol.5, no.3, pp.255-270, 2009.
- 9) Y. Gotoh, T. Yoshihisa, H. Taniguchi, and M. Kanazawa, "A Scheduling Method on Selective Contents Broadcasting with Node Relay Based Webcast Considering Available Bandwidth," Proc. the 5th International Conference on Networked Computing and Advanced Information Management (NCM 2009), pp.1367-1372, 2009.
- 10) 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.