

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

平成 27 年 6 月 22 日現在

機関番号：32515

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2013～2014

課題番号：25870696

研究課題名(和文) サービス品質向上・保証を目的としたP2Pストリーミング配信技術に関する研究

研究課題名(英文) P2P Streaming Delivery Methods for improvement of Quality of Service

## 研究代表者

花田 真樹 (HANADA, Masaki)

東京情報大学・総合情報学部・准教授

研究者番号：40373039

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 1,100,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、オンデマンド型ストリーミング配信を想定し、再生途切れの許容時間がない場合と再生途切れの許容時間がある場合の2つのパターンを想定したP2Pストリーミング配信方式を提案し、その有効性を示した。再生途切れの許容時間がない場合は再生デッドライン(再生途切れが発生しない再生開始時刻)を考慮した最適化手法を用い、再生途切れの許容時間がある場合は再生デッドラインを考慮した確率的手法を用いた。また、通信可能な帯域を推定する可用帯域推定手法についても提案し、その有効性を示した。

研究成果の概要(英文)：In this research, we propose two P2P streaming methods for on-demand streaming delivery. One is the method under media playback interruption is allowed. The other is the method under media playback interruption is not allowed. The former method is an optimization method and the latter method is a stochastic method considering playback deadline. In experimental evaluation we showed that the two P2P streaming methods outperform previous method in terms of playback interruption time. In addition, we propose an End-to-End available bandwidth estimation method for P2P streaming delivery and evaluate it.

研究分野：情報ネットワーク

キーワード：P2Pストリーミング 再生途切れ 可用帯域推定 デッドライン

### 1. 研究開始当初の背景

近年、ブロードバンド・インターネットの普及、スマートフォンに代表される携帯端末・PC等の固定端末の高性能化に伴い、様々なP2P技術が研究・開発されている。従来のBitTorrentなどに代表されるファイル配信・共有を目的としたP2P技術に加えて、コンテンツをダウンロードしながら再生を行うP2Pストリーミング配信技術の重要性がますます増している。

これまでに、様々なP2Pストリーミング配信技術が提案されている。P2Pストリーミング配信は、大きく放送型配信とオンデマンド型配信の2つに分類される。放送型配信では、アプリケーションレイヤマルチキャスト(ALM)を用いた配信ツリーを構築し、ツリーの根が放送局となりストリーミングデータを上流から下流へと配信する方式が用いられている。現在、この配信ツリーのトポロジーに関する様々な研究が行われている。一方、オンデマンド型配信では、ストリーミングデータの分割データ(以降、ピースと呼ぶ)を各ピアが分散して保持し、ユーザからの再生要求に応じて、適当なピースを選択して適当なピアからダウンロードする方式が採用されている。ダウンロードを開始する各ピアは適当なピースとピアを選択しないと、前のピースの再生が完了するまでに次のピースのダウンロードが完了せず、前のピースと次のピースの間に再生途切れが発生することになる。現在、再生途切れ時間を短縮するために、BitTorrent技術を基礎として、ピースの重要度や希少性を考慮したピース選択方式・ピア選択方式が提案されている。今後、ユーザ個人が様々なコンテンツを発信する機会がますます増えると予想されるので、本研究ではオンデマンド型配信を想定し、再生途切れ時間の短縮化を目指す。

### 2. 研究の目的

本研究の目的は、インターネットを介したストリーミング配信において、サービス品質保証・向上を目的としたP2P技術を確立することである。

現在、ストリーミング配信されるコンテンツの内容もニュース、スポーツ、映画、音楽など非常に多岐にわたっており、様々な性質を持っている。例えば、動きの少ないニュース等は、再生途切れ時間が小さい場合には、視聴に影響がないと考えられる。一方、動きの激しいスポーツなどは、再生途切れが発生しないようにする必要がある。そこで、本研究では、再生途切れの許容時間がない場合と再生途切れの許容時間がある場合の2つのパターンを想定したストリーミング配信方式を提案する。また、ストリーミング配信における再生途切れ時間を短縮するためには、ダウンロードの際に利用可能な帯域を事前に把握する必要があるため、その推定手法についても提案する。

### 3. 研究の方法

本研究では、まず、再生途切れの許容時間がない場合を想定したストリーミング配信方式を提案する。再生途切れの許容時間がない場合は、確率的な要素をとり入れた発見的手法では対応できない。確率的にダウンロードを行うピースを選択すると、再生に間に合わない状況が発生する可能性が高くなる。そこで、本研究では、ダウンロードを行うピースを先頭から順番(再生順)に選択し、そのダウンロード速度を再生に間に合うように(再生デッドラインに間に合うように)調整することで再生途切れ時間をなくす方式を、最適化手法(線形計画法等)を用いて検討する。なお、本研究では各ピースの再生途切れが発生しない再生開始時刻を再生デッドラインと呼ぶ。

次に、再生途切れの許容時間がある場合を想定したストリーミング配信方式を提案する。再生途切れの許容時間がある場合は、確率的にピースを選択する発見的手法も有用であることが既に示されている。本研究では再生デッドラインを考慮した発見的手法を検討する。これにより更なる再生途切れ時間の短縮が期待できる。

また、上述の2つのストリーミング配信方式の提案と並行して、通信可能な帯域を推定する可用帯域推定手法についても検討する。ピースのダウンロード完了時刻を予測するためには、ダウンロードの際に利用可能な帯域を事前に把握する必要があるためである。

### 4. 研究成果

本研究は、「3. 研究の方法」で述べたように、3つの研究テーマに分けて実施した。

以下では、それぞれの研究テーマの研究成果について述べる。

#### (1) 再生途切れの許容時間がない場合を想定したストリーミング配信方式

想定するP2Pストリーミングモデルを図1に示す。

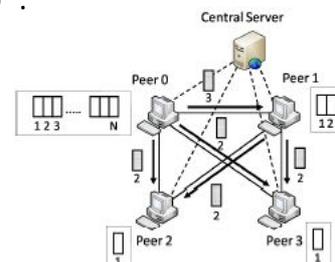


図1 P2Pストリーミングモデル

P2Pネットワーク内には中央サーバが配置されており、各ピアの保持しているピースやピア間の使用可能な最大帯域幅等を管理する。ここで、各ピアはP2Pネットワークに参加した順番に順序付けされており、各ピースはストリーミングファイルの先頭から順番に順序付けされているものとする。また、P2Pネットワークにはストリーミングファイルの全ピースを保持する1台のピアが存在

し、このピアをピア 0 とする。

提案する P2P ストリーミング方式では、各ピースの再生途切れ時間を発生させない（あるいは短縮する）ために、先頭ピースから順番にピースを選択し、選択されたピースをその再生デッドラインに間に合う転送速度で受信する。全ピアにおいて受信中のピース（あるいは受信を開始しようとするピース）が再生デッドラインに間に合うための転送速度の算出するために、各ピア間の最大帯域幅と各ピースの再生デッドラインに間に合うための転送速度の下限の制約の下で、ピア間の転送速度を最大化する最適化問題を定義する。ピア*j*における受信中のピース（あるいは受信を開始しようとするピース）をピース  $p_j$ 、ピア*j*における再生中のピースをピース  $c_j$  と表記する。

全ピア*j*のピース  $p_j$  の再生途切れが起きることなく、全ピア間の転送速度の合計を最大化する最適化問題は次のように表される。

$$\begin{aligned} & \text{maximize} && \sum_{j \in AP} \sum_{i \in AP} A_{i,j}^{p_j} \\ & \text{subject to} && \sum_{i \in PI_j} A_{i,j}^{p_j} + \sum_{p_k \in PE_j} A_{j,k}^{p_k} \leq B_j, \forall j \in AP \\ & && \sum_{i \in PI_j} A_{i,j}^{p_j} \geq R_j^{p_j}, \forall j \in AP \end{aligned}$$

ここで、 $A_{i,j}^{p_j}$  はピア*j*においてピース  $p_j$  を受信する時のピア*i*からピア*j*の転送速度、 $R_j^{p_j}$  はピア*j*において、受信中のピース  $p_j$ （あるいは受信を開始しようとするピース  $p_j$ ）が再生デッドラインに間に合うための転送速度、APは P2P ネットワークに存在しているピアの集合、 $PI_j$  はピア*j*におけるピース  $p_j$  を保持しているピアの集合、 $PE_j$  はピア*j*の保持しているピースの集合である。

上記の最適化問題の 1 番目の制約条件は各ピア間の最大帯域幅に関する条件を表しており、2 番目の制約条件は各ピースが再生デッドラインに間に合うための条件を表しており、目的関数は全ピア間の転送速度の合計の最大化を表している。

転送速度  $R_j^{p_j}$  は次式で求められる。

$$R_j^{p_j} = \frac{DL_j^{p_j}}{ST_j^{p_j}}$$

ここで、 $DL_j^{p_j}$  はピア*j*の受信中のピース  $p_j$  の残りのサイズであり、 $ST_j^{p_j}$  はピア*j*の現在時刻からピース  $p_j$  の再生デッドラインまでの時間（余裕時間）である。

余裕時間  $ST_j^{p_j}$  は次式のように定義される。

$$ST_j^{p_j} = \frac{RL_j^{c_j} + (p_j - c_j - 1) \times L}{BR}$$

ここで、BRはピースの再生ビットレートであり、 $RL_j^{c_j}$  はピア*j*の再生中のピース  $c_j$  の残りのサイズである。

余裕時間の例を図 2 に示す。図 2 では、ピア*j*に注目し、 $c_j$  が 3、 $p_j$  が 6、 $RL_j^3$  が 500 (KByte)、 $L$  が 1 (MByte)、BRが 2 (Mbps) である場合を想定している。

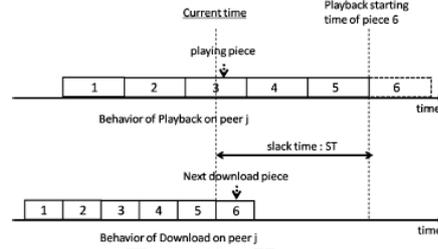


図 2 余裕時間

計算機シミュレーションにより、再生途切れ時間に関して従来方式である BIS 方式と比較を行い、提案方式の有効性を示す。ピアは平均到着間隔  $a$  の指数分布に従って P2P ネットワークに参加し、全ピースの再生が完了すると P2P ネットワークから離脱する。シミュレーション諸元を表 1 に示す。

表 1 シミュレーション諸元

|                               |                  |
|-------------------------------|------------------|
| ピア数                           | 100              |
| ピース数                          | 150              |
| ピースサイズ                        | 1 (MByte)        |
| 再生ビットレート                      | 2 (Mbps)         |
| ピア間の最大帯域幅                     | 8 (Mbps)         |
| ピアの平均到着間隔 $a$                 | 2, 4, 6, 8 (秒)   |
| 同時接続ピア数 (パラメータ $a$ ) (BIS のみ) | 4                |
| 優先集合サイズ (パラメータ $q$ ) (BIS のみ) | 3, 9, 15 (MByte) |
| パラメータ $p$ (BIS のみ)            | 1, 0.8, 0.6, 0.4 |
| パラメータ $c$ (BIS のみ)            | 1, 0.8, 0.6, 0.4 |

提案方式と BIS 方式の比較を行った結果を図 3 に示す。図 3 の提案方式の平均到着間隔  $a = 2$  においては、平均再生途切れ時間が 14.889 と大きい値となっているため、この結果を省略している。なお、BIS 方式に関しては、全てパラメータを用いた平均再生途切れ時間の最も短い値を用いている。

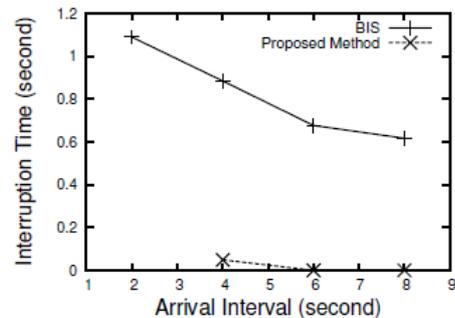


図 3 再生途切れ時間

図 3 より、平均再生途切れ時間に関しては、平均到着間隔  $a = 2$  を除いて、提案方式の方が短い値を示している。さらに、平均到着間隔  $a = 6$  と  $a = 8$  においては、再生途切れ時間が発生していない。BIS 方式ではピース間に 0.6 (秒) 以上の再生途切れ時間が発生しており、これはユーザに大きなストレスを与えると予想される。

(2). 再生途切れの許容時間がある場合を想定したストリーミング配信方式

想定する P2P ストリーミングモデルは「4. 研究成果」の(1)で述べたモデルと同じモデル (図 1) を用いる。

提案する P2P ストリーミング方式では、現在時刻と最後にダウンロードしたピースの再生予定時刻の差（余裕時間と呼ぶ）の間にいくつのピースがダウンロード可能かを予測し、そのピースの候補の中からランダムに選択して、次に受信するピースを選択する。余裕時間を考慮したピースの候補を抽出することにより、再生途切れの可能性を削減し、そのピース候補の中からランダムに選択することにより、各ピアの受信するピースが特定のピースに集中しないようにする。

余裕時間  $ST_j^{p_j}$  は次式で求められる。

$$ST_j^{p_j} = \frac{RL_j^{c_j} + (p_j - c_j - 1) \times L}{BR}$$

余裕時間と次に受信するピースの候補の関係を図 4 に示す。図 4 ではピース 6, 7, 8, 9 が次に受信するピースの候補となる。

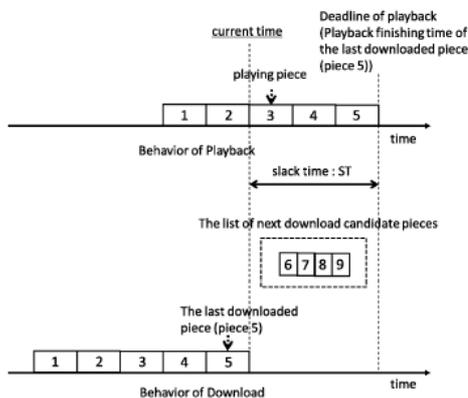


図 4 余裕時間とピース候補

計算機シミュレーションにより、再生途切れ時間に関して従来方式である BIS 方式と比較を行い、提案方式の有効性を示す。シミュレーション諸元は「4. 研究成果」の(1)の表と基本的に同じであるが、ピアの到着間隔に違いがあり、2, 10, 20, 30, 40 (秒)としている。

提案方式と BIS 方式の比較を行った結果を図 5 に示す。平均再生途切れ時間に関しては、平均到着間隔  $a=2$  を除いて、提案方式の方が短い値を示している。

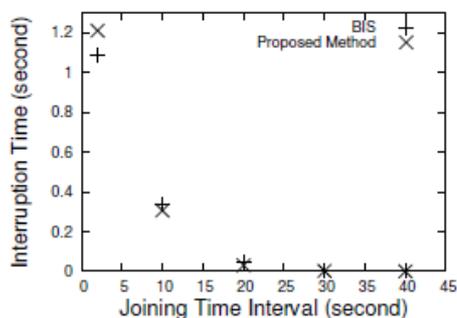


図 5 再生途切れ時間

### (3). 遅延情報を用いた可用帯域推定方式

ネットワーク負荷を軽減するために、従来方式のように試行錯誤的に可用帯域を推定するのではなく、片方向遅延時間（以降、End-to-End 遅延時間と呼ぶ）の増加率から

直接的に可用帯域を推定する予測算出式を提案する。しかし、この予測算出式により推定される帯域（以降、一次推定帯域と呼ぶ）には多少の誤差が想定されるため、この一次推定帯域の誤差を調整するためのレート調整アルゴリズムを加えて提案する。

図 6 に想定するネットワークモデルを示す。

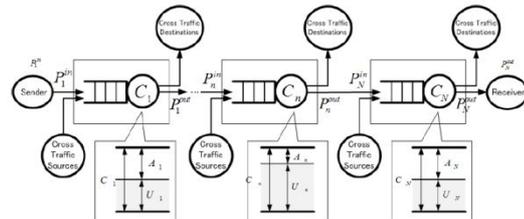


図 6 ネットワークモデル

提案方式の予測算出式は、End-to-End 遅延時間の増加率が最大 ( $EI_{max}$ ) となる場合を想定した End-to-End 可用帯域と、最小 ( $EI_{min}$ ) になる場合を想定した End-to-End 可用帯域の 2 つを求め、その平均値を End-to-End 可用帯域として推定する式である。

End-to-End 遅延増加率  $EI$  を用いた可用帯域予測算出式は次式となる。

$$A = \frac{P_1^{in}(1 - EI) + \sum_{n=1}^N P_n^{in}}{N + 1}$$

ここで、 $N$  は全ノード数、 $EI$  は観測された遅延時間増加率 ( $EI = EI_{max} + EI_{min}$ ) を表す。 $P_n^{in}$  は  $n$  番目の中継ノードに注入されるブローブトラフィックの送信レートを表し、次式で定義される。

$$P_{n+1}^{in} = \begin{cases} C_n \frac{P_n^{in}}{P_n^{in} + U_n}, & P_n^{in} > A_n \\ P_n^{in}, & P_n^{in} \leq A_n \end{cases}$$

$U_n$  は中継ノード  $n$  に流入するクロストラフィックの送信レートを表す。 $P_n^{in}$  はブローブの初期送信レートであり、ボトルネックのリンク容量と等しい値とする。この予測算出式によって可用帯域  $A$  を算出するが、多少の誤差が想定されるのでレート調整アルゴリズムを用いて最終的な可用帯域を推定する。

本方式の有用性を示すために、従来方式の Pathload との比較を行った。シミュレーションでは、ある 1 つの中継ノードに 25Mbps の送信レートでクロストラフィックが流入し、他の中継ノードには半分の 12.5Mbps の送信レートでクロストラフィックが流入するネットワークモデルを想定する。図 7 にシミュレーション結果を示す。

図 7 における、パラメータ  $f$  は Pathload における、探査範囲のパラメータであり、パラメータ  $f$  の値が小さいほど、より狭い範囲で可用帯域を判定するパラメータである。図 7 に示すように、クロストラフィック量に着目すると提案方式は Pathload と比較して、パラメータ  $f$  が 0.6 の際はある一点を除いて最大 10% 程度、パラメータ  $f$  が 0.3 の際は最大で 25% 程度の負荷削減効果が得られた。

また、提案方式を実装し、実環境での評価も行い、シミュレーション結果と同様、良好な結果が得られた。

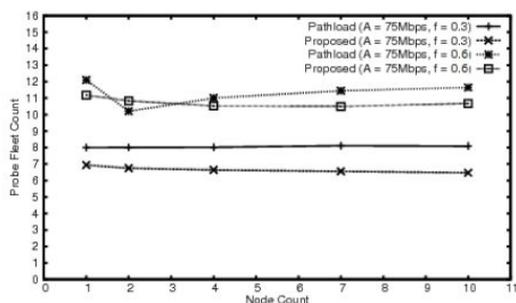


図7 ネットワーク負荷

以上、今後、ユーザ個人が様々なコンテンツを発信する機会がますます増える状況を踏まえ、本研究ではオンデマンド型配信を想定し、再生途切れの許容時間がない場合と再生途切れの許容時間がある場合の2つのパターンを想定したストリーミング配信方式を提案し、その有効性を示した。それと並行して、通信可能な帯域を推定する可用帯域推定手法についても提案し、その有効性を示した。

今後の課題として、実環境への実装・検証を行い、実用性の観点からの評価が必要であると考えられる。

#### 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計 7件)

石田 裕貴, 花田 真樹, 金光 永煥, 遅延情報を用いた End-to-End 可用帯域測定ツールの実装と評価, 電子情報通信学会技術研究報告, 査読無, IN2014-163, 2015年.

Masaki Hanada, Yuuki Ishida, and Hidehiro Kanemitsu, P2P Streaming Method Considering Playback Deadline for Minimizing Playback Interruption Time, Proceedings of 2015 RISP International Workshop on Nonlinear Circuits, Communications and Signal Processing (NCSP 2015), 査読有, Vol.1, pp.62-65, February 2015.

Yuuki Ishida, Masaki Hanada, and Hidehiro Kanemitsu, A Measurement Tool Using Delay Information for End-to-End Available Bandwidth, Proceedings of 2015 RISP International Workshop on Nonlinear Circuits, Communications and Signal Processing (NCSP 2015), 査読有, Vol.1, pp.66-68, February 2015.  
石田 裕貴, 花田 真樹, 金光 永煥, 分割ファイル再生のデッドラインに基づくP2P ストリーミング配信方式, 電子情報通信学会 技術研究報告, 査読無,

IN2014-64, 2014年.

Masaki Hanada, Yuuki Ishida, Hidehiro Kanemitsu, P2P Streaming Method considering Playback Deadline and Piece Distribution, Proceedings of 2014 RISP International Workshop on Nonlinear Circuits, Communications and Signal Processing (NCSP 2014), 査読有, Vol.1, pp.321-324, March 2014.  
Yuuki Ishida, Masaki Hanada, Hidehiro Kanemitsu, Available Bandwidth Estimation Method using Delay Information, Proceedings of 2014 RISP International Workshop on Nonlinear Circuits, Communications and Signal Processing (NCSP 2014), 査読有, Vol.1, pp.329-332, March 2014.

石田 裕貴, 花田 真樹, 金光 永煥, End-to-End 遅延時間の増加率を利用した可用帯域推定方式, 電子情報通信学会技術研究報告, 査読無, IN2013-142, 2014年.

〔学会発表〕(計 1件)

石田 裕貴, 花田 真樹, 金光 英煥, End-to-End 遅延情報を用いた可用帯域推定方式, 電子情報通信学会 総合大会 講演論文集, No.B-7-57, 2014年3月, 新潟.

〔図書〕(計 0件)

〔産業財産権〕

出願状況(計 0件)

名称:  
発明者:  
権利者:  
種類:  
番号:  
出願年月日:  
国内外の別:

取得状況(計 0件)

名称:  
発明者:  
権利者:  
種類:  
番号:  
出願年月日:  
取得年月日:  
国内外の別:

〔その他〕  
ホームページ等

#### 6. 研究組織

(1) 研究代表者

花田 真樹 (HANADA, Masaki)  
東京情報大学・総合情報学部・准教授  
研究者番号: 40373039