

レイヤー化されたビデオストリームのP2P配信手法

山田 悠太†
広島大学 工学部

藤田 聡‡
広島大学 大学院工学研究院

1. はじめに

本稿では、ピア・ツー・ピア (P2P) 型ビデオストリーミングシステムのための動画品質の差別化手法を提案する。提案手法では、1) 各ピアが自分の権限に応じた品質での動画視聴を可能にするためのストリーム配信方式と、2) 配信に使われるオーバーレイネットワークのトポロジーを、参加ピアの権限が変化したときに動的に変更する手続きが与えられる。なお本稿で対象とするP2Pストリーミングでは、SVC[1]のようなレイヤー化されたビデオエンコーディングを想定しており、ピアの貢献に応じて視聴可能な動画の品質を切り替えるなどといった、インセンティブメカニズムへの応用が考えられる。

2. モデル

適切なオーバーレイネットワークによって結ばれたピアの集合を P とする。以下では、オーバーレイ上の各リンクの通信容量は十分に大きいものと仮定する。各ピア (視聴者) には、1 から k までの k 種類の視聴権限のうちの一つが与えられる。ここで権限 k が最高品質での視聴を意味する。外部に置かれたメディアサーバから送出されるビデオストリームは L_1, L_2, \dots, L_k の k 層のレイヤーに分けてエンコーディングされており、権限 i をもつ視聴者は、 L_1 から L_i までの i 層をすべて購読・受信することで、自分の権限に合った品質の動画を視聴することができる [2]。

3. 提案方式

3.1 P2P 配信方式

本節では提案するストリーミング配信方式について述べる。この方式では、送信者・受信者ともに自分の動作を局所的に決定する。以下では、送信側の視聴者 S の権限を a 、受信側の視聴者 R の権限を b とし、視聴者 S は自身の権限 a に見合った品質の動画を購読・受信中であるとする。

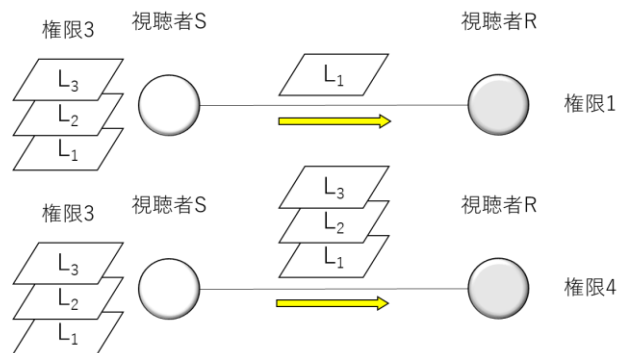


図 1: 権限によるレイヤー数の変化

(1) $a < b$ の場合: S が購読中のレイヤーをすべて R に送っても R の権限を超える品質の動画を与えることはないので、 S は購読しているすべてのレイヤー $L_1 \sim L_a$ を R に送信する。

(2) $a = b$ の場合: (1) と同様に、 S は購読しているすべてのレイヤー $L_1 \sim L_a$ を R に送信する。

(3) $a > b$ の場合: R の持つ権限を超える品質の動画を与えてはならないので、 S は R の権限にあわせてレイヤーを送信する。具体的には、 S は購読しているレイヤー $L_1 \sim L_a$ のうち、 $L_1 \sim L_b$ のみを R に送信する。

上記のような選択的な転送を繰り返すことで、各ピアは自分の権限にあったレイヤーを正しく受け取ることができる。ただしそのためには、ある権限 a を持つピアとメディアサーバは、オーバーレイ上で、 a 以上の権限を持つピアからなるパスで結ばれていなくてはならない (すなわち、高権限ピアの「飛び地」があると高品質動画をうまく届けることができない)。以下では、動的な環境下でそのようなパスを正しく張り続けるようなオーバーレイの更新手法を提案する。

3.2 基本アイデア

権限の飛び地により適切な動画の品質を受信できない問題を本稿では飛び地問題と呼ぶ。飛び地問題を解決するため、本稿では、以下の二つの条件を満たすようにオーバーレイをメンテナンスすることを提案する:

Peer-to-peer delivery of video streams encoded by a layered scalable encoding

† Yuta YAMADA, Hiroshima University

‡ Satoshi FUJITA, Hiroshima University

本研究の一部は科学研究費補助金基盤研究(B)16H02807の補助を受けています。

条件1) 権限 a を持つ視聴者は、権限 $a+1$ を持つ2名の視聴者、および、権限 a を持つ1名の視聴者とそれぞれリンクで結ばれていること。

条件2) 権限 k を持つ任意の視聴者が互いにリンクで結ばれていること。

条件1) について：権限 $a+1$ を持つ任意の視聴者が正しくレイヤーを受信していると仮定する。定義より、権限 $a+1$ の視聴者は権限 a の視聴者が求めるレイヤーをすべて購読しているから、権限 a の視聴者は、権限 $a+1$ の視聴者とリンクで結ばれることで必要なレイヤーをすべて受信することができる。権限 $a+1$ のもう1名の視聴者と権限 a の1名の視聴者との間のリンクは、リンク先ピアの離脱等に備えたバックアップ用である(権限 a の視聴者との間にリンクを張ることで、権限 $a+1$ の2名の視聴者とのリンクがすべて無効化したとしても、権限 a の視聴者を介して権限 $a+1$ の視聴者を見つけることができる)。

条件2) について：この条件は、条件1) で前提していた「上位ピアが正しくレイヤーを受信している」という仮定を成立させるための十分条件である。条件2) が満たされることにより、権限 k を持つピアのひとつがメディアサーバと直接リンクを張ることで、権限 k をもつすべてのピアにレイヤー L_1, \dots, L_k を届けることができる。また権限 $k-1$ を持つ任意の視聴者は、(条件1) より) 権限 k を持つ視聴者とリンクで結ばれているから、必要なレイヤー L_1, \dots, L_{k-1} をすべて受信することができる。以下同様の議論を繰り返すことで、権限 a を持つ任意の視聴者が、必要なレイヤー L_1, \dots, L_a をすべて受信できることがわかる。

3.3 オーバーレイ更新手続き

以下のようなスーパーピア(SP)を複数台用意する：(a) 各SPの権限は1(最下位)に固定する。(b) 各SPは条件1)と2)を満たすような3本のリンクを他ピアとの間に張る。新規視聴者Xのシステムへの参加手順は以下の通りである：

1. Xは、自身の権限を1に設定した上で、SPのリストをサーバから取得しキャッシュする
2. Xは取得したリストから適切なSPを選び、選択されたSPとの間にリンクを張る。
3. Xは選択したSPを介して権限2のピアを2名見つけ、それらとの間にリンクを張る。

一方、システムから離脱するピアは、後述の降格手続きを実行して自身の権限を1にした上で、システムから離脱すればよい。権限1の隣接ピアの離脱を検知したピアは、SPのひとつを新たな隣接ピアとすることで条件1)を充足できる。

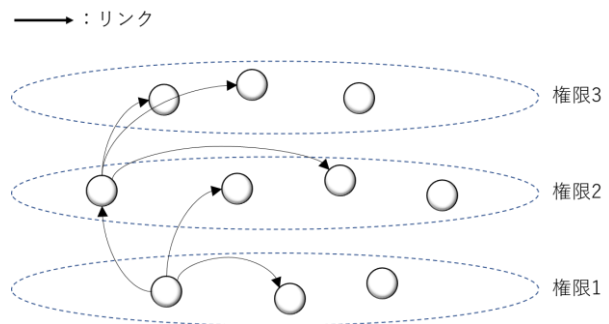


図2: オーバーレイ構造の一部

視聴者の権限が変化した際のオーバーレイの更新手続きは以下の通りである。まず権限が a から $a+1$ に増大したときは、変化前の上位ピアである権限 $a+1$ の隣接ピアのひとつがそのまま同位ピアとなる。条件1)より、その同位ピアは権限 $a+2$ のピアを隣接ピアとして持つから、それらのピアを紹介してもらうことで、昇格後も条件1)を満足することができる。一方、権限が a から $a-1$ に減少した場合は、権限 $a-1$ の同位ピアが現在のリストを辿ることで見つかるとは限らない。したがって、権限 $a-1$ の同位ピアを、キャッシュ済みのSPリストを用いて以下の手順で発見する：

1. SPリストから適切なSPを選択
2. 選択されたSPから上位方向へのリンクをたどることで、権限 $a-1$ のピアを発見
3. 発見したピアとの間にリンクを張る

4. おわりに

本稿では、レイヤー化されたビデオストリームを各視聴者の権限に応じて適切に配信する手法の提案を行なった。今後の課題は、提案手法の性能をシミュレーションにより定量的に評価することと、提案手法をベースにしたインセンティブメカニズムの開発を行うことである。

参考文献

- [1] H. Schwarz, D. Marpe and T. Wiegand, "Overview of the Scalable Video Coding Extension of the H.264/AVC Standard." IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, vol. 17, no. 9, pp.1103-1120, 2007.
- [2] H. Guo, K. Lo, Y. Qian and J. Li, "Peer-to-Peer Live Distribution under Heterogeneous Bandwidth Constraints." IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems, vol. 20, no. 2, pp.233-245, 2009.