

繰り返しなされる DoS 攻撃への防御機能を備えた マルチツリー型ビデオストリーム配信手法

久富 淳史[†]
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

近年、マルチツリー型 P2P ビデオ配信システムが高い注目を集めている [1, 2]. これらのシステムでは、配信されるビデオストリームを複数のサブストリーム(ストライプ)に分割し、各サブストリームをそれぞれ異なるスパニングツリーを介して視聴ピアに配信することで、各参加ピアのもつアップロード帯域を有効に利活用している. しかし多くの子孫ピアをもつピアには重い責任が課せられており、外部からの DoS 攻撃に弱いという弱点があった. 本稿では繰り返しなされる DoS 攻撃に対して防御機能をもつマルチツリー型ビデオ配信手法を提案する. この手法は、Brinkmeier らによって提案された DoS 攻撃への防御法 [3] を拡張したものである.

2. Brinkmeier らの手法

本節では Brinkmeier らによって提案された DoS 攻撃への防御法の概要を述べる. ビデオストリームからつくられるストライプ数を k , メディアサーバが単位時間にアップロードできる最大ストライプ数を ck とする. 前述のように各ストライプはメディアサーバを根とするスパニングツリーを介してすべてのピアたちに配信されるが、根から直接ストライプを受け取るピアをストライプあたり c 個ずつ用意し、それらのピアをヘッドと呼ぶことにする. また攻撃者は、システム中の m 個のピアを(もっともダメージが大きくなるように)選択して DoS 攻撃するものとする. このようなモデル上であるピアが攻撃を受けて離脱した際、その影響を受けるのは、いずれかのツリーで離脱ピアの下流にいる全ピアとなる. Brinkmeier らは以下の二つの条件を満たすようにマルチツリーを構成することで、攻撃の影響を最小化できることを証明した:

(1) 各ピアが高々ひとつのツリーで内部ノード

Multi-tree-based video streaming resilient to repetitive DoS attacks

[†] Atsushi HISATOMI, 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.

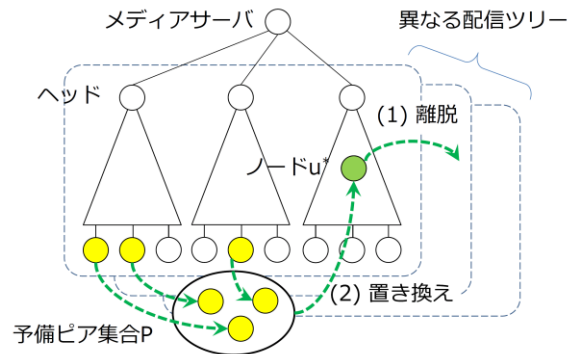


図 1. 配信構造の連結化

となること

(2) 各ヘッドの子孫数が等しいこと

3. 提案手法

Brinkmeier らの手法では、 m 個のピアに対する攻撃が一斉に一度だけなされる状況を考えていた. それに対し本稿では、敵対者による DoS 攻撃が繰り返しなされる状況を考える. 提案手法の目的は、外部からの DoS 攻撃によってあるピアがシステムから離脱した際、離脱ピアによって非連結となった配信構造を次回になされる攻撃の最大ダメージが最小になるように修復することである. ここでダメージとは、Brinkmeier らのモデルと同様、被攻撃ピアのマルチツリー上の子孫ピア数であるとする. 以下では、メディアサーバのアップロード帯域を ck とし、各参加ピア v のアップロード帯域を $c(v)$, 実際にアップロードしている子ピアの数を $\text{fanout}(v)$ と記す. また各ピアが内部ノードとなるのは、高々ひとつの配信ツリーにおいてのみであるとする.

3.1 基本アイデア

いずれの配信ツリーにおいても子ノードを持たないピアを予備ピアと呼ぶことにしよう(仮定より、各ピアが k 個の配信ツリーのうちの高々ひとつで内部ノードとなることに注意). 提案手法の基本アイデアは、攻撃によって離脱した内部ノードの代わりに「予備ピアの集合」を内部

ノードとして用いることである。修復を行う際の目的関数としては、ヘッド間の子孫数の差の最大値の最小化を考える。

3.2 予備ノードによる配信構造の連結化

攻撃によって離脱したピアを u^* とし、 u^* が内部ノードとなっている配信ツリーを T とする。仮定より、離脱によって非連結になる配信ツリーは T のみである。 T の c 個のヘッドを u_1, \dots, u_c とし、一般性を失うことなく、 u^* は u_1 を根とする部分ツリーの内部ノードであるとする。配信ツリー T において離脱ノード u^* の代わりとなる予備ピアの集合 P は、以下の処理を繰り返すことで計算される(図 1 参照)：(1) T の c 個のヘッドの中で最も子孫数の多いヘッドに着目し、そのヘッドの子孫に含まれる予備ピアのうち最も次数の大きなピアを P に入れ、そのピアを予備ピアのプールから削除する；(2) $\sum_{v_i \in P} (v_i) - (|P| - 1) \geq \text{fanout}(u^*)$ ならば、 P 中のピアからなる最も高さの低いツリーを構成し、そのツリーを u^* の代わりにし、終了する。そうでなければ、ステップ(1)に戻る。

3.3 子孫数の均等化

上述の手続きにおいて、子孫数の均等化操作は、離脱ピアを内部ノードとして含む配信ツリー T 上でのみ実行される。それ以外の配信ツリー上では葉ノードが単に離脱するだけであるが、攻撃・離脱が繰り返されることで特定のヘッドの子孫のみが離脱し、ヘッド間の子孫数のアンバランスが発生する可能性がある。この問題を解決するため、提案手法では、子孫数の差が閾値 θ を上回った時点で以下の均等化処理を行う：最大の子孫数を持つヘッドから最小の子孫数を持つヘッドに葉ノードを移動させる。

4. 評価

提案手法の効果をシミュレーションにより評価した。シミュレーションでは、攻撃対象となるピアをランダムに選択する攻撃者を想定し、攻撃と修復・均等化を、予備ピアが尽きるまで繰り返すというシナリオを実行した。初期の配信構造としては、Brinkmeier らの手法[3]で構成されたマルチツリーを用いた。評価項目は、修復・均等化によって得られたマルチツリー上のヘッドの最大子孫数、すなわち最大ダメージである。実験で用いたパラメータは以下の通りである。初期配信構造中のピア数 10000、ストライプ数 $k=3$ 、ストライプあたりのヘッド数 $c=2$ 、各ピアのアップロード帯域 $c(v) \in [3, 6]$ 。なお、子

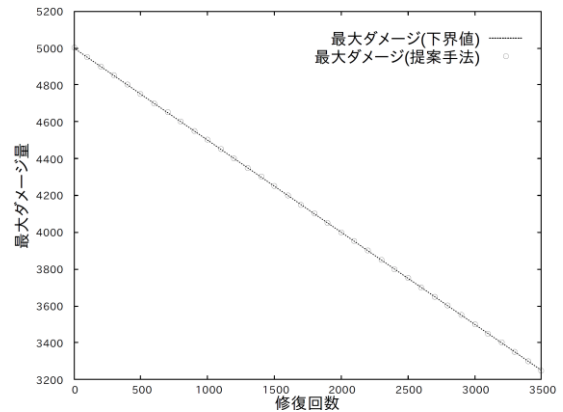


図 2. 最大ダメージ

孫数の均等化を開始する閾値 θ は 3 に設定した。

図 2 は、提案手法によって実現された最大ダメージである。ここで横軸は修復を行った回数、縦軸は各修復時点での最大ダメージ量をそれぞれあらわしている。図では参考のため、それぞれの時点でのピア数の元で実現可能な最小の最大ダメージ(下界値)も付記してある。図より、提案手法によって実現される最大ダメージは、下界値とほぼ一致することがわかる。

下界値との差は、均等化処理を開始するための閾値 θ を小さくすることでより小さくすることが可能であるが、その分コストは増大する。均等化とコストの間のトレードオフに関しては、今後検討を進めていく必要がある。また今回の実験では、繰り返し攻撃によって 3500 個のピアが離脱した時点で用意された 3300 個の予備ピアが尽きていた。これは離脱ピアの代わりとなるピア集合を決める際、各ピアのアップロード帯域を使いきれない状況が頻出したためである。

5. おわりに

本稿では、マルチツリー型 P2P ビデオ配信システムを対象とし、ビデオ配信システムに対して繰り返しなされる DoS 攻撃への耐性を高めるオーバーレイのメンテナンス法を提案した。シミュレーションによる評価の結果、提案手法は、攻撃による最大ダメージに関して理論的な下界値に近い性能を実現することが確かめられた。

参考文献

- [1] Y. Zhao, et al., "Enabling P2P One-View Multiparty Video Conferencing," IEEE TPDS, 25(1): 73-82, Jan. 2014.
- [2] M. Castro, et al., "SplitStream: High-bandwidth content distribution in cooperative environments," Proc. SOSP'03, pp.298-313, 2003.
- [3] M Brinkmeier, et al., "Optimally DoS Resistant P2P Topologies for Live Multimedia Streaming," IEEE TPDS, 20(6): 831-844, June. 2009.