

高品質オーバレイストリーミングと地理的関連性の調査研究

慶應義塾大学

政策・メディア研究科

後期博士課程 80649220

久松 剛

背景

ハイビジョンや3Dなどの広帯域な1対多型のストリーミングサービスの需要増加に対し、従来のCATVやCDNのようなサービス提供者の管理下にあるネットワークやサーバを用いたクローズドアーキテクチャでは、設備導入コストの増加や受信者間での通信品質のばらつきが問題となっている。また、マルチキャストによる放送型サービスもその経路管理が難しく、オペレーションコストも高いため、単一ISP内でのサービスのよう限定的なものに留まっている。このため、配信者は、自由に、安価に、高品質な映像を多数の受信者に対してストリーミングを行うことは不可能であり、将来のコンテンツ流通に対する問題として認識されている。

このような現状において、全てのユーザが対等にコンテンツ流通が行える形態として、受信者を配信ノードとして利用するオーバレイネットワークによるアプローチが注目されている。オーバレイネットワークでは配信網構築に特別な設備は不要であり、オープンアーキテクチャによって構成されることから誰もが低コストで1対多型のストリーミング配信を実現することができる。しかし多くのオーバレイネットワークを用いたストリーミングシステムは低帯域な配信サービスが前提となっており、コンテンツの広帯域化が達成されていない。

既存技術の検証

既存のオーバレイ網として代表的な3種類（Tree型、Multiple-Tree型、Hybrid型）のオーバレイストリーミングシステムを用いた検証を行い、現状のオーバレイストリーミングシステムが抱える受信帯域幅を制限している要因として、以下の3つの問題を発見した。第一に配信網全体のスケールだけを優先して網設計を行った場合、各受信者環境に対する適応性が低くなる。そのため、ネットワーク帯域幅に余裕がある受信者であっても、その帯域幅を有効利用することが難しい。第

二にサービスの堅牢性が過尊重された場合、無駄な重複パケットが流通することによって、ネットワークの圧迫や、データ取得や再送を目的としたメッセージングが過剰に発生し、計算機資源の過大な消費が起きてしまう。第三に静的で画一的な欠損パケットのリカバリ処理を行うことで、状態の悪い受信者が網全体の配信品質に影響を及ぼすという問題がある。

発見した問題に関連する要素を「網構築」及び「網監視」の観点から詳細に解析した。例えば、Multiple-Tree型とMesh型を統合利用するHybrid型のアプローチが効果的に受信帯域幅を向上させる一方、転送されるパケット数が増加することで網自体が不安定になってしまうことを発見した。また、Multiple-Tree型は転送帯域幅が大きい際に、受信者ネットワークが圧迫され、結果的に受信帯域幅が低下してしまうことが明らかとなった。受信帯域幅とノード選択手法の関係性については、RTTだけでなくパケットロス率や再送要求するパケットの保持確率を元にした再送ノード選択手法が必要であることが明らかになった。

MUSE Stream

得られた知見を元に、受信帯域幅を最大化するオーバレイストリーミング "MUSE Stream (Overlay Network Controlled by Multiple Sessions for High-Bandwidth Streaming)" の提案を行った。MUSE Streamは第5章と第6章に説明する手法から構成される。

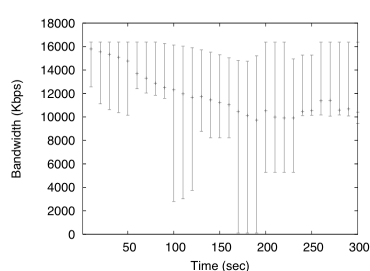
先ず「網の安定性と再送要求ノード検索に視点を置いた網構築手法」として、転送帯域幅の増加が見込め、可用性やスケーラビリティの高いMultiple-Tree型を基本とした、Adaptive Hybrid Topologyという配信網について述べた。Adaptive Hybrid Topologyでは、欠損パケットの再送要求ノードを選択する際に、パケットの保持確率を得るための「血縁距離」という論理値を提案した。血縁距離は受信ノードと配送木の分岐点の距離を示す。この結果、血縁距離が長く、かつ、配信木の同じ階層にあるノード群の中から、RTTが短いノードを再送要求ノードとして選択する "Redundant Node Selection (RNS)" の提案を行い、効率良い欠損パケット再送を実現する。

「配信品質のモニタリングとそれに応じた網の再構築を行う網管理手法」として、受信パケット数の変動数に基づいたストリーミング受信状態監視を行う "Reception Packet Fluctuation (RPF)" の提案と、

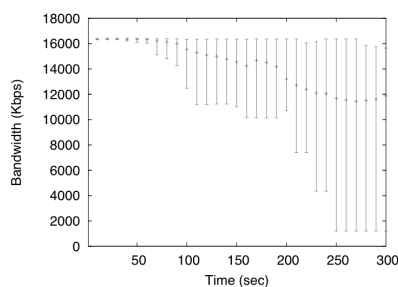
各受信者のネットワーク状態を監視し、受信者間のネットワークの差異による受信帯域幅の全体的な低下を防ぎながら欠損パケットの再送信リクエスト数を動的に制御する "Join and Retransmission Control (JRC)" の提案を行った。これにより、一意にパケット欠損率が判断できないオーバレイストリーミングシステムにおいて、網全体の配信品質の向上を実現する。

評価

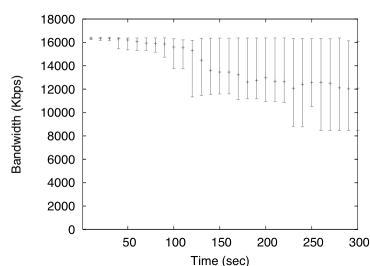
MUSE streamの実装評価を行った。まず始めにシミュレータを用い、JRC、RPF、RNSの各アルゴリズムに関して正当性を証明した。受信者ネットワークに差異がある環境をシミュレータを用いて作成し既存研究との比較を行い、受信帯域幅を約20%拡大した。また実ネットワークでの検証としてPlanetLabを用いた既存研究との比較を行った。世界中に分散するノード300台を用い、アメリカ、ドイツ、日本のそれぞれを起点とした実ネットワークにおける検証を行い、既存研究より平均帯域幅が最大15%向上したことを確認した。



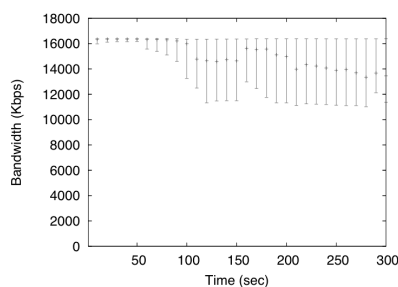
Overcast.



SplitStream.

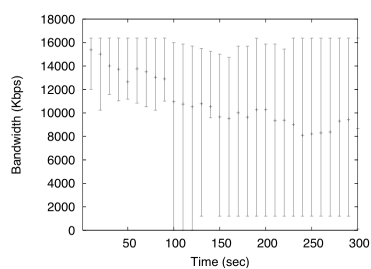


Bullet.

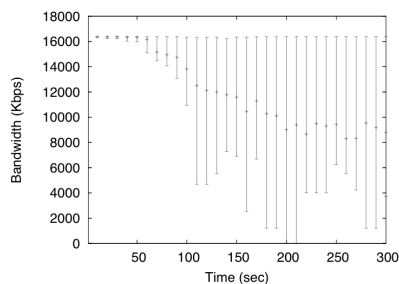


MUSE Stream.

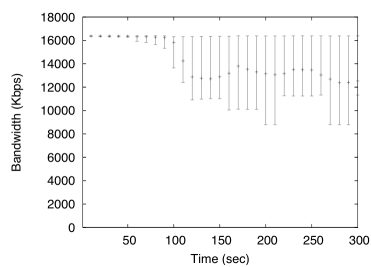
平均受信帯域幅 (bootstrap: pl1.planetlab.ics.tut.ac.jp, transmission bandwidth: 16 Mbps, Jan. 2012)



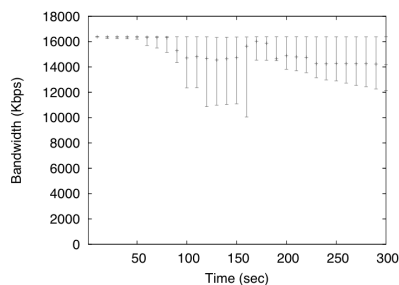
Overcast.



SplitStream.

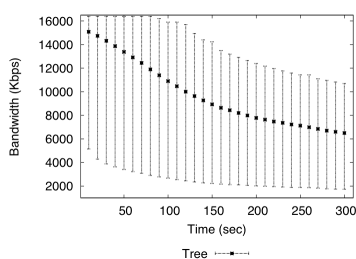


Bullet.

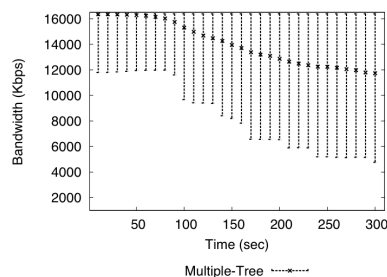


MUSE Stream.

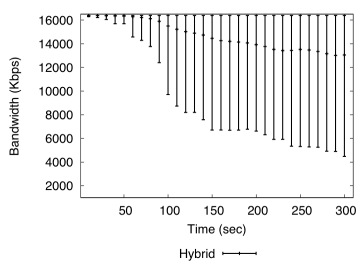
平均受信帯域幅 (bootstrap: planetlab01.mpi-sws.mpg.de, transmission bandwidth: 16 Mbps, Jan. 2012)



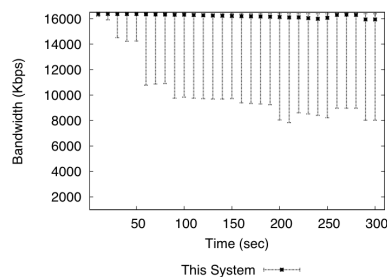
Overcast.



SplitStream.



Bullet.



MUSE Stream.

平均受信帯域幅 (bootstrap: pl2.cs.yale.edu, transmission bandwidth: 16 Mbps, Jan. 2012)

まとめ

本研究は、広帯域かつ大規模なオーバレイストリーミングアーキテクチャ、MUSE Streamを実現した。このオープンアーキテクチャにより、あらゆるユーザが安価に1対多型の広帯域ストリーミングサービスを利用することが可能となり、結果として、従来のCSP/ISPから受信者がサービスを受けるという主従関係のコンテンツ流通形態から、様々な環境に属した全てのユーザが対等に高品質なストリーミング送受信を行うことを可能とした、新しいコンテンツ流通の実現に繋がる。