

オーバーレイマルチキャストを用いた 高速なチャンネル切り替え手法の提案

内田聡一郎[†] 木村篤信[†]

近年、マルチキャストを用いて多数の映像コンテンツを同時に配信する IP 放送サービスが提供されており、契約者数を増加させている。今後、サービス事業者が市場を広げるためには、一部の配信網でのみ利用可能なマルチキャスト機能に依存することなく IP 放送サービスを提供することが求められる。オーバーレイマルチキャストを用いると、配信サーバ側に大きな負荷をかけることなく IP 放送サービスを実現できるが、チャンネル切り替え時間の遅さが問題となる。特に多数の映像コンテンツを扱う場合、テレビ放送で一般的に行われているような、頻繁なチャンネル切り替え（ザッピング）の需要が高まり、チャンネル切り替え時間の遅さは視聴者の満足度を大幅に下げる。そこで、本稿では、チャンネル切り替えの高速化を課題として、切り替え時の処理プロセスの一部を短縮する手法と、映像コンテンツの内容や視聴者の振る舞いに応じてチャンネル切り替え方式を自動的に最適化する手法を提案する。

The Rapid Channel Switching Method with Overlay Multicast

SOICHIRO UCHIDA[†] ATSUNOBU KIMURA[†]

IP broadcast services provide a number of video contents with IP multicast and increase numbers of customers. To grow the market, they need a network not like a multicast network that allows customers to access contents only in a specific network. Overlay multicast network is one of the solutions and realizes virtually broadcasting the video contents using IP unicast without heavy load. However it has latency to switch programs. This paper proposed methods to reduce the delay; shortening the switching process and auto optimization of switching process depending on program info or users' behavior.

1. はじめに

近年の通信技術の飛躍的な発展を背景とした通信容量の増大と通信コストの低廉化により、映画や音楽ビデオ等の大容量で高品質な映像コンテンツを、IP ネットワークを用いて配信するサービスが展開されている。ここ数年では、VOD (Video on Demand) 配信サービスだけでなく、複数の映像コンテンツを同時に配信する IP 放送サービスもマルチキャスト対応の配信網で提供されており、契約者数を増加させている。今後、サービス提供者がさらに多くの視聴者を獲得するためには、VOD と同様に配信網側の機能に依存することなく IP 放送サービスを提供できることが求められる。既存の IP 放送サービスでは、マルチキャスト[1]による配信が行われている。マルチキャストでは、配信経路上のルータにより必要に応じてデータを複製して送信するため、配信サーバの負荷を軽減することができる。しかし、マルチキャストを利用するためには配信経路上のルータを対応ルータに更改する必要がある、インターネット網のようなマルチキャスト非対応の配信網では提供できない。一方で、VOD で用いられているようなユニキャストによる配信は、マルチキャスト非対応な配信網でも提供可能である。しかし、コンテンツ大容量化や視聴者数拡大に伴う配信コストの増加が問題視されている。また、昨今のテレビ放送では、番組がマイクロブログやソーシャルメディアな

どで取り上げられることにより、サービス提供者側も予想できない形で急激な注目を集める現象が発生しており、予め視聴者規模に見合った適切な設備を整えることは容易でない。

これらの問題を解決する配信方式として、オーバーレイマルチキャスト[2]が注目されている(図1)。オーバーレイマルチキャストは、配信サーバだけでなくエンドホストとなる視聴者の端末やネットワーク機器もノードと見做し、ノード間でデータを送受信することにより、複数の相手に効率良く送信する配信方式である。オーバーレイマルチキャストを用いることにより、配信サーバに大きな負荷をかけることなく、想定するような IP 放送サービスを提供できる。また、視聴者の端末にも送受信させるため、一時的な視聴者の増減に対しても柔軟に対応できる。しかし、その一方で、順番にデータを送受信することによる時刻ズレ[6]や、チャンネル切り替え時間の遅さ[7]が問題として挙げられている。特に、IP 放送サービスを提供する際には、テレビ放送で一般的に行われているような、頻繁なチャンネル切り替え（ザッピング）の需要が高まり、チャンネル切り替え時間の遅さは視聴者の満足度を大幅に下げる。

そこで、本稿では、オーバーレイマルチキャストを用いた IP 放送サービスでのチャンネル切り替えの高速化を課題として2種類の手法を提案する。具体的には、切り換え時に必要となる処理プロセスの一部を短縮する手法と、映像コンテンツの内容や視聴者の振る舞いに応じて切り替え方式を自動的に最適化する手法を提案する。なお、オーバ

[†] 日本電信電話株式会社
NTT サービスエボリューション研究所
NTT Service Evolution Laboratories.

ーレイマルチキャストは、ノード間を結ぶ仮想的な配信網（配信トポロジ）の管理をノードだけで行う Pure 型と、集中管理するインデックスサーバを用いる Hybrid 型に分けられる[3][4]。本稿では、配信の安定性を重要視することやリアルタイム性の高い映像コンテンツを扱うことから、Hybrid 型を想定した。

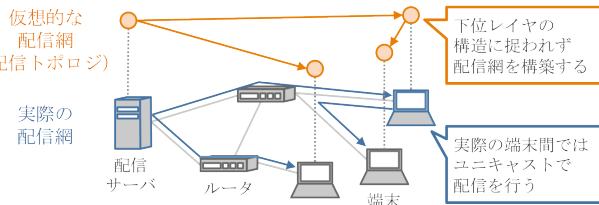


図 1 オーバーレイマルチキャストの概要
 Figure 1 Overview of overlay multicast.

2. チャンネル切り替えの処理プロセス

既存の IP 放送サービスで高速なチャンネル切り替えを可能とするマルチキャスト (MC) での処理プロセスを参考に、オーバーレイマルチキャスト (OLMC) での高速化を検討する。それぞれの配信方式において、任意のノードがチャンネル切り替えを行う際にシステム全体で必要となる処理プロセスを、図 2 に示す。



図 2 チャンネル切り替え時の処理プロセス
 Figure 2 Process on channel switching.

Hybrid 型のオーバーレイマルチキャストで、あるチャンネルから別のチャンネルに切り替わるまでに必要な処理プロセスは、具体的に以下の通りである。

- 命令受信：視聴者からの切り替え命令を受信する
- 配信元探索：インデックスサーバに問い合わせを行い、切り替え先のチャンネルの配信トポロジから現在配信可能なノードを探索する
- 配信要求：発見したノードに対して、切り替え先のチャンネルのストリームを要求する
- 受信：実際のストリームを受信する
- 変換：受信したストリームを出力できるようにデコードする

マルチキャストと比較して、オーバーレイマルチキャスト

トの切り替え速度が低速であることから、独自プロセス[4]である「配信元探索」や必要な時間が異なる「配信要求」や「受信」に多くの時間を消費している。

3. 従来手法

本稿では、チャンネル切り替え方式を 3つの方式に分類した (図 3)。1つは、通常のオーバーレイマルチキャストで行われる切り替えであり、「基本方式」と呼ぶ。そして、切り替えの高速化を目的として、視聴者からの切り替え命令前に予め「配信元探索」プロセスを済ませておく「事前探索方式」と、予め「受信」プロセスまで済ませておく「事前受信方式」である。図 3 の枠で囲った箇所が、前章で多くの時間を消費していることを示したプロセスであり、3つの方式の異なる部分となる。

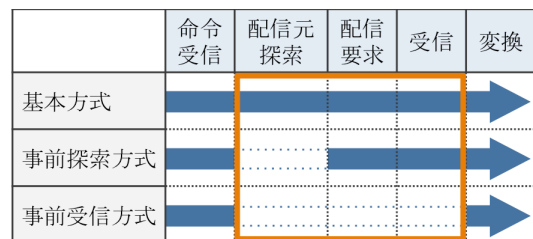


図 3 チャンネル切り替え方式ごとに必要な処理プロセス
 Figure 3 Process on channel switching by each scheme.

3.1 基本方式

通常のオーバーレイマルチキャストでは、チャンネル切り替え命令を受信後にインデックスサーバへ問い合わせを行い、切り替え先のチャンネルの配信トポロジで配信可能なノードの情報を取得し、そのノードに対して「配信要求」を行う。そのため、配信元が規定されているユニキャストやマルチキャストと比較して一般的に「配信元探索」の時間が必要となる。一方で、処理プロセスを事前に行わないため、他の方式と比較して最小限の機能で実現できる。現在運用されているサービス[5]の多くは、現段階でチャンネル切り替えの高速化まで取り組んでおらず、基本的に本方式を適用していると考えられる。

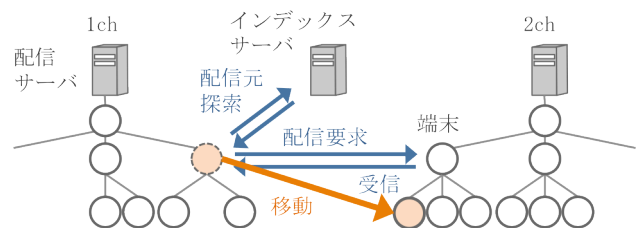


図 4 基本方式
 Figure 4 Basic scheme.

3.2 切り替えの高速化を目的とした従来方式

(1) 事前探索方式

事前探索方式は、チャンネルごとに配信可能なノードの情報を何かしらの方法で各ノードに伝えておき、チャンネル切り替え命令後すぐに「配信要求」を行う手法である。そのため、「配信元探索」を省略でき、基本方式と比較して高速である。また、実際のストリームは切り替え命令後に「受信」を開始するため、ネットワークに大きな負荷をかけることなく実現できる。既存研究では、趣味嗜好性を用いて限定したチャンネルの候補を事前に確保することにより高速化を図る手法などが提案されている[7]。この手法は、チャンネル数の動的な変更により全てのチャンネルの切り替え候補を持ってない状況下や、候補を探索するコストの大きい Pure 型の配信方式において有効である。

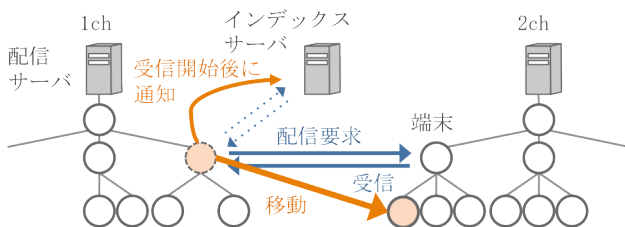


図 5 事前探索方式

Figure 5 Pre-search scheme.

(2) 事前受信方式

事前受信方式は、予め全てのチャンネルのストリームを受信し、チャンネル切り替え命令時には「変換」後すぐに出力する手法である。これにより、「配信元探索」から「配信要求」や「受信」の各処理プロセスを省略でき、他の方式と比較して非常に高速である。既存研究では、視聴しているチャンネルの高画質なストリームと、その他のチャンネルの低画質なストリームを上位ノードからまとめて受信し、切り替え命令時にはまず低画質な映像を出力して、その後高画質な映像に変更する方法が提案されている[8][9]。

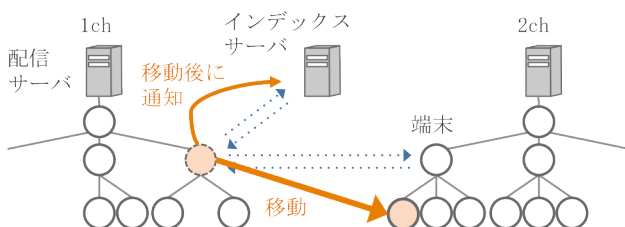


図 6 事前受信方式

Figure 6 Pre-reception scheme.

3.3 従来方式の問題点

事前探索方式では、基本方式と比較すれば高速化するものの、切り替え命令後にストリームを受信するため、出力できるまでにある程度の時間を要する。加えて、ネットワークの状況によっては「受信」プロセスに多くの時間を必要としてしまい、必ずしも高速化を見込めない。また、前述した従来手法[7]では、個人の趣味嗜好性により事前に視聴される可能性の高いチャンネルの候補を確保することが述べられている。しかし、マイクロブログやソーシャルメディアを通じて盛り上がっている番組の存在を知り一時的に視聴するような利用者には、個人の趣味嗜好性だけでは対応しにくい状況も考えられる。

- 問題 A. ネットワークの状態に応じた「受信」プロセスの遅延
- 問題 B. 一時的な盛り上がりに対応することの難しさ
 一方、事前受信方式では、常に全てのチャンネルのストリームを受信しているため、切り替え命令後すぐに再生することが可能である。しかし、提供するチャンネル数に比例してノード間で送受信しなければならないストリーム数も増加するため、端末やネットワーク帯域にかかる負荷が大きくなる。
- 問題 C. ネットワーク全体のトラフィック流量の増加
- 問題 D. 視聴者端末の処理負荷増大や上り帯域の逼迫

4. 検討方針

上記の問題点を解決し、端末やネットワーク帯域に対して恒常的に大きな負荷をかけることなく安定したチャンネル切り替えの高速化を実現するためには、大きく分けて2種類の検討が必要となる。

(1) 処理プロセス単位での高速化に関する検討

第一に、前章で示した事前探索方式や事前受信方式と同様に「配信元探索」や「配信要求」、「受信」プロセスを省略・短縮する手法を検討した。

事前探索方式と事前受信方式のいずれも、各ノードは、配信元候補として他のノードの情報を予め取得しておく必要がある。ここで、配信元候補とは、チャンネル切り替え命令時に、切り替え先のチャンネルで上位ノードとなり得るノードを一意に特定する情報のことである。事前探索方式の従来手法では、視聴者の趣味嗜好性を用いて配信元候補をチャンネル単位で選択する方法については述べられているが、条件に該当するノードのなかから具体的にどのノードを選ぶべきかについては述べられていない。事前受信方式の従来手法でも、視聴しているチャンネルの上位ノードからまとめて受け取る方法が述べられているだけである。一方で、データの転送時間を短縮するためには、ノード間のネットワーク距離を考慮することが挙げられる。

そこで、本検討では、チャンネルごとにネットワーク距離の近いノードを配信元候補として優先して持つことを想

定する。これにより、事前探索方式では「探索」プロセスを省略するだけでなく「配信要求」や「受信」プロセスも短縮できる可能性が高く、問題 A の解決に貢献できると考えられる。さらに、事前受信方式では、ネットワーク距離の遠いノード間でストリームを送受信することによる無駄なトラフィック流量を抑えられる可能性が高く、問題 C の解決に貢献できると考えられる。本検討での提案手法に関しては、5章にて詳細を記載する。

(2) 適用方式単位での高速化に関する検討

前章で整理したチャンネル切り替え方式特徴を踏まえ、第二に、どのようなチャンネル切り替え方式が最適であるかを検討した。

事前受信方式の従来手法では、チャンネル数を考慮しない実現方法が述べられているのみであり、例えばチャンネル数が増加した場合の実現可能性については述べられていない。多くのチャンネルを選んで視聴するサービスでは、何かしらの指標に基づき、事前受信方式を適用するストリーム数を、視聴者端末の性能や上り帯域の許容量に応じた配信可能数に絞り込む必要がある。

そこで、本検討では、各チャンネルの今後切り替えられる確度を求め、その確度を用いて優先付けを行うことを想定する。確度の高いチャンネルに対しては事前受信方式を適用し、それ以外のチャンネルに対しては事前探索方式を適用する。この時、確度を推定する要素として番組内容や視聴者数の推移の他にソーシャルメディアでの盛り上がりといった、サービス提供者側も予測しにくい点も考慮することにより、問題 B の解決に貢献できると考えられる。また、事前受信方式を適用するチャンネルを限定することにより、問題 C や問題 D の解決に貢献できると考えられる。本検討での提案手法に関しては、6章にて詳細を記載する。

5. 処理プロセス単位での高速化に関する提案

チャンネルごとにネットワーク距離の近いノードを配信元候補として優先的に確保する手法を提案する。オーバーレイマルチキャストを用いた配信網で効率的な帯域制御を行う別の既存研究では、Autonomous System (AS) 番号を利用することにより同一 AS 内で優先してデータの送受信を行わせ、「受信」プロセスを高速化する手法が述べられている[10]。なお、上記の手法では、映像ストリームにおけるチャンネル切り替えの高速化について述べられていない。また、P4P は、エンドホストだけでは得られない ISP 間の情報を教えてもらうことにより、ネットワーク距離の近いノードに接続する手法である[11]。ノード間のネットワーク距離を推定する方法としては、他に RTT を求めて利用する手法[12]もあるが、今回は AS Number Lookup Utility[13]等を用いてノード単体で調べられる AS 番号を利用する手法を第一に採用した。

5.1 提案手法

各ノードがネットワーク距離の近いノードの情報を優先して配信元候補として所有する候補格納手法を提案する。以下、「配信要求」や「受信」プロセスの高速化に効果を発揮すると考えられる事前探索方式での候補各法手法を例として示す。各ノードは、例えばサービスにログインする際に自身の id や IP アドレス、AS 番号をインデックスサーバに通知し、チャンネルごとに現時点で配信可能なノードの id や IP アドレス等の情報を配信元候補として取得する。この時、候補を要求したノードと同じ AS 番号のノードが優先して選択される仕組みとする。切り替え命令時には、候補のノードに順次配信要求を行い、配信可能であればストリームの受信を開始してからインデックスサーバに通知する。候補への問い合わせは、端末の性能上可能な範囲で同時に行うことを想定する。なお、切り替え先のチャンネルの配信トポロジからすでに離脱している、配信の手が埋まっており配信可能な状態でないなどの理由により、候補のいずれもが有効でない場合は、インデックスサーバに再度問い合わせ候補を更新する。ただし、この場合は「配信元探索」プロセスを行っていることと同義であり、基本方式と同様の時間がかかることが想定される。

そこで、候補の有効性を一定以上に保つために、切り替え命令とは別のタイミングで候補の自動更新を行う。これにより、切り替え命令時に再度問い合わせを行う回数を減少させるとともに、同じ AS 番号のノードに紐付ける割合も増加できると考えられる。一方で、自動更新による問い合わせ回数増加によりインデックスサーバの処理負荷は上昇するが、配信者側で全ノード数の把握やノード一つ当たりの更新頻度を管理できる Hybrid 型を採用するため、候補数や更新頻度を変更することにより処理負荷をある程度抑制できる。

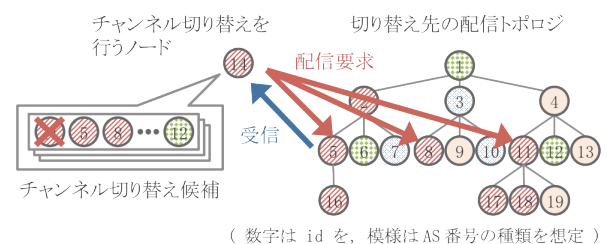


図 7 候補格納手法

Figure 7 Candidate storage Method.

5.2 検証実験

提案手法の有効性を検証するために、仮想の配信トポロジを構築してチャンネル切り替え命令を実行するシミュレータを実装し、検証実験を行った。本シミュレータを用いて、従来手法[7]と提案手法を以下の観点から比較する。

- 評価軸 A. チャンネル切り替え命令時に、インデック

サーバに再度問い合わせを行うことなく実行できている割合

- 評価軸 B. チャンネル切り替え命令後に、同じ AS 番号のノードを上位ノードとして選択できている割合

評価軸 A は「配信元探索」プロセスを省略できた割合を測るために設定した。評価軸 B は「配信要求」や「受信」プロセスを短縮できた割合を測るために設定した。

シミュレーション環境は、NHK の実証実験[14]等のデータを参考に 1ch につき配信サーバを 1 台、視聴者端末を 250 台とした。既存 IP 放送サービス[15]のデータを参考にチャンネル数を 80ch として、全ノード数を 20,000 台とした。AS 番号の数は、日本で申請されている AS 番号の内 ISP で保有されている割合をもとに 150 種類とした[16]。本実験では、各視聴者がザッピングのようにランダム且つ高頻度でチャンネル切り替えを行う環境を想定し、1 人当たり平均 100 回程度のチャンネル切り替えを行うと仮定して合計 2,000,000 回のチャンネル切り替え命令を実行した。また、提案手法で保持する候補数は、各配信トポロジに所属するノード数の 2%程度を持つと仮定して、チャンネルごとに 5 個とした。候補を更新する頻度は、チャンネル切り替え回数 10%程度と仮定して、10 回とした。

以下、実験結果により得られた知見を示す。まず、評価軸 A の観点で述べる。既存手法では、特定のチャンネルの候補しか所持しておらず、また定期的に候補を更新する機能も持たないため、切り替えによって配信トポロジが変化することに従いインデックスサーバに高頻度で再問い合わせを行うようになる。一方で、提案手法では、すべてのチャンネルの候補を所持しており、定期的に自動更新する機能を持つことから、既存手法と比較して一定の高い割合を保っていることが分かった。次に、評価軸 B の観点で述べる。既存手法では、AS 番号等のネットワーク距離を考慮していないため、チャンネル切り替えを繰り返すに従い 1/(AS 番号数)という低い値に収束する。一方で、提案手法では、自身と同じ AS 番号のノードを優先的に候補として取得することから、一定の高い割合を保っていることが分かった。よって、提案手法では、一定以上の確率で再度問い合わせを行うことなくネットワーク距離の近いノードに紐付けていることが確認できた。

6. 適用方式単位での高速化に関する提案

6.1 提案手法

本項では、チャンネルごとに今後切り替えられる確度を動的に算出し、その確度に応じて事前探索方式と事前受信方式のいずれかを適用する手法を提案する。具体的には、確度が一定値を超えたチャンネルに対しては事前受信方式を適用し、それ以外のチャンネルに対しては事前探索方式を適用する。ここで、確度は、番組内容の変化などに伴って絶えず変動することから、様々な要素を用いて総合的に

推定する必要がある。本手法では、複数の要素から番組ごとに最終的な確度を算出し、事前受信方式を適用するチャンネルを決定する。本確度の具体的な算出方法としては、各要素の確度の平均を求める方法や、視聴者の属性に応じて特定の確度に重みを加える方法が考えられる。例えば日頃からソーシャルメディアを密に利用しており、発言内容に影響を受けやすい属性の視聴者に対しては、ソーシャルメディアでの「視聴者の盛り上がり」から得られる確度を重視することを想定する。本手法では、絶えず変動する確度を定期的に算出し、チャンネルごとに適用する方式を動的に変更する処理を実現する。

また、テレビ放送における前の番組の終了から次の番組の開始までの時間帯など、個々のチャンネルに寄らず全体的に切り替え確度が上昇するような状況においては、方式を変更する確度のしきい値を一定値として設けるだけでは不十分な可能性が高い。そこで、本手法では、ネットワーク全体で配信されているストリームの総数や視聴者端末側のトラフィック監視機能により取得した配信可能なストリーム数を踏まえて確度のしきい値を変更する。これにより、上記のような状況下でも、より確度の高いチャンネルから優先して事前受信方式を適用することができる。

6.2 確度推定要素

以下に、確度を推定するための要素の具体例を示す。

(1) 番組内容

本要素では、放送されている番組の内容から今後切り替えが行われる確度を算出する。具体的には、番組のオープニングやエンディング、主映像や番組途中のコマーシャル映像など、現在放送されている「番組状態」や、映像のなかに誰が映っているか、どこで撮影されているか等の「番組情報」をもとにして切り替えられる可能性が高いタイミングを検知する。

「番組状態」に関しては、例えば映画番組であれば、視聴言語や字幕の有無、番組内容に紐付いた外部情報の表示有無によっても区別する。また、番組内で視聴者が能動的に視点を切り替えられるような多視点構成を想定する場合、どの視点の映像を視聴しているかによっても区別する。「番組情報」に関しては、例えばニュース番組であれば、話題にされている事象の内容に紐づくキーワード、登場人物やその人間関係、起きた場所や時間帯等の情報を用いて、他番組ですでに放送された同じ事象や過去に起きた類似の事象で切り替えが行われた確度も参考にする。一方、スポーツ番組であれば、競技種目や出場している選手、開催場所や時間帯、得点の偏りも参考にする。また、「番組ジャンル」ごとに切り替えの行われる特徴を学習しておき利用する。これは、物語性の強いドラマ番組であれば途中から視聴される可能性は少ないが、ニュース番組やスポーツ番組であれば途中で気軽に切り替えられる可能性が高いと考えられるためである。

本要素の確度は、放送中しか取得できない一部のデータ（スポーツ番組における得点の偏り等）を除き、サービス提供者側で事前に解析しておくことにより、システムに大きな負荷をかけることなく算出できる。

(2) 視聴者数の推移

本要素では、番組の視聴者数の推移から今後切り替えが行われる確度を算出する。Hybrid型のオーバーレイマルチキャストを用いる場合、インデックスサーバで管理する配信トポロジの変更履歴から、各番組における時区間単位の視聴者数推移を取得することができる。そのため、視聴者数の増減に応じた確度の変更が可能となる。例えば、任意の時区間において視聴者数が急激に増加した番組には、以降もしばらくの間流入が続くと捉え、切り替えが行われる確度を高めることができる。

本手法では、インデックスサーバにより出力されたログを再利用することにより、新たにノードの情報を取得することなく本要素の確度を計算することができる。また、計算頻度はシステム側で規定できるため、処理負荷をある程度抑制できる。

(3) 視聴者の盛り上がり

本要素では、マイクロブログやソーシャルメディアを通じた視聴者の発言をもとに、各番組における軸間単位の視聴者の盛り上がりを計測し、今後切り替えが行われる確度を算出する。前述した実際の視聴者数の推移とは異なり、特定の番組の視聴者がいかに盛り上がっているかを、視聴者1人あたりの発言数、文字数の割合や発言内容を解析することにより計測する。本要素は、一度しか放送されないイベント番組や生放送番組、スポーツ番組など進行の仕方が分からない種類の番組において、特に有効的に機能するものと考えられる。本要素により番組制作者側も予期できないような視聴者の流入を考慮することができる。

本要素の確度を算出するためには、放送時に発信される発言を随時解析する必要がある。既存研究としては、リアルタイムでソーシャルメディアの発言からリアルタイムでトピックを抽出する手法[17]などが提案されているが、発言数に比例してシステムの処理負荷も増加する。よって、そのままではIP放送サービスのような大規模な視聴者数を想定する環境には適用できない可能性が高い。

7. まとめ

本稿では、オーバーレイマルチキャストを用いたIP放送サービスの実現を目指し、チャンネル切り替えの高速化を課題として2種類の手法を提案した。

処理プロセス単位での高速化に関する検討では、予備実験により提案手法が一定以上の確率でインデックスサーバに再問い合わせを行うことなくネットワーク距離の近いノードに紐付けることが確認できた。今後は実際の配信環境を構築して、ネットワークの状態に応じた「配信」プロセ

ス遅延の緩和や、ネットワーク全体でのトラフィック流量の削減に貢献できるかを検証する予定である。また、適用方式単位での高速化に関する検討では、切り替えられる確度に注目し、確度に応じて適用方式を変更する手法を示した。今後、「番組内容」と「視聴者数の推移」に関しては、複数の放送番組を視聴した際のザッピングデータをユーザ実験により取得し、確度を用いることの有効性を検証する。「視聴者の盛り上がり」に関しては、実際の放送時に発信された発現データをもとに、計測するために必要な発言の抽象度（発言数、文字数、トピック数、具体的な内容等）を明確にする。将来的には本手法を用いることにより、一時的な盛り上がりによって視聴者数が増減するようなケースにも比較的柔軟に対応できることや、視聴者端末の処理負荷軽減やネットワーク帯域に流れるトラフィック流量の削減に貢献できることを実環境で検証する予定である。

参考文献

- 1) Christophe D., Brian N. L., Bryan L., Hassan K. and Doug B.: Deployment Issues for the IP Multicast Service and Architecture, In IEEE Network Vol.14, No.1, pp.78-88 (2000).
- 2) Hosseini M., Ahmed D.T., Shirmohammadi S. and Georganas N.D.: A Survey of Application-Layer Multicast Protocols, IEEE Communications Surveys, Tutorials, Vol.9, No.3, pp.58-74 (2007).
- 3) B. Pourebrahimi, K. Bertels, S. Vassiliadis.: A Survey of Peer-to-Peer Networks, (2005).
- 4) Tetsuya Oh-ishi, Koji Sakai, Kazuhiro Kikuma, and Akira Kurokawa.: Study of the Relationship between Peer-to-Peer Systems and IP Multicasting, IEEE, pp.80-84 (2002).
- 5) Baaime N.V.: JOOST, <http://www.joost.com/>
- 6) 静野 隆之, 岡部 稔哉: ミッションクリティカルシステムのための遅延ばらつき小さいアプリケーション層マルチキャスト手法の提案, 電子情報通信学会, Vol.110, pp.109-114 (2011).
- 7) 小南 英司, 寺田 直美, 河合 栄治, 藤川 和利, 砂原 秀 樹: スムーズなチャンネル切り替えが可能なP2Pストリーム配信システムの提案と実装, 電子情報通信学会, Vol.108, pp.61-66 (2009).
- 8) 勝間 亮, 村岡 洋一: 実ネットワークの特性を考慮したP2Pリレーによる多チャンネルIP映像配信の実現, 情報処理学会, Vol.38, pp.73-78 (2006).
- 9) 壹岐 勇太郎, 青木 輝勝, 沼沢 潤二: オーバーレイ型映像配信における低遅延チャンネルザッピング実現に関する一検討, 電子情報通信学会, Vol.109, pp.13-18 (2010).
- 10) 魏元: P2Pトラフィックの効率的制御法, 早稲田大学大学院基幹理工学研究科情報工学専攻, (2009).
- 11) Haiyong Xie, Arvind Krishnanmurthy, Yang Richard Yang, and Avi Silberschatz.: P4P: Proactive Provider Participation for P2P., Yale University Department of Computer Science, (2007).
- 12) Lim H., Hou J., and Choi C.H.: Constructing an Internet coordinate system based on delay measurement, In Proc. of the 2003 SIGCOMM Internet Measurement Conference, (2003).
- 13) AS Number Lookup Utility, <http://aslookup.bgpview.org/>
- 14) NHK 技研: ロンドンオリンピックにおけるP2Pライブ配信実証実験, NHK 技研 R&D, No.137, pp.57-62 (2013).
- 15) NTT ぷらら: ひかり TV, <http://www.hikaritv.net/>
- 16) JPNIC: 数字で見るIPアドレス・AS番号等に関する最新動向, JPNIC ニュースレター, No.43, pp.5-11, (2009).
- 17) Roy, S. D., Mei, T., Zeng, W. and Li, S.: Empowering Cross-Domain Internet Media With Real-Time Topic Learning From Social Streams. In Proc. of ICME, pp.49-54 (2012)