

階層構造を持つデータの配信に適した オーバーレイ・マルチキャストプロトコルの提案

小椋 康平¹ 今泉 英明² 中村 修¹ 村井 純¹

慶応義塾大学環境情報学部¹ 慶応義塾大学大学院政策・メディア研究科²

本論文では、階層構造を持つデータの配信に適したオーバーレイ・マルチキャストプロトコルを提案し、その特徴的な機能の説明をした上で評価手法について議論する。オーバーレイ・マルチキャスト技術は IP マルチキャスト技術の代替技術として研究が行なわれており、その適用性の高さが注目されている。しかし、既存のオーバーレイマルチキャストプロトコルでは、単一的なデータの配信しか考えられていないため、受信者の品質に対する多様な要求に応えることができない。本研究では、この問題を解決するために、階層構造を持つデータの配信に適した新たなオーバーレイマルチキャストプロトコルを提案する。本プロトコルの特徴的な機能は、効率的なマルチキャストツリーの冗長化や階層的なデータを利用した輻輳制御である。本論文ではそれぞれについて説明し、評価手法について議論を行なう。

Overlay Multicast Protocol for delivering Hierarchical Structured Data

Kohei Ogura¹, Hideaki Imaizumi², Nakamura Osamu¹, Jun Murai¹

¹Faculty of Environmental Information, Keio University

²Graduate School of Media and Governance, Keio University

This paper proposes a new overlay multicast protocol for delivering hierarchical structured data and discussed on capability of the protocol. Overlay multicast has been proposed for alternative technology to IP multicast. Existing overlay multicast protocols are only designed for delivering single quality data. From this reason existing overlay multicast protocol could not offer a service to the recipients, which could apply to the request on quality of data. This paper proposed overlay multicast protocol for delivering hierarchical structured data to solve this problem. There are two unique functions of our protocol, which is efficient redundancy method for multicast tree and congestion control using hierarchical structured data. On each function, discussion has been done for appropriate evaluation metrics.

1 はじめに

IP マルチキャスト技術は、多対多のグループ通信を効率的に実現する IP 層の技術である。グループ通信における IP マルチキャスト技術の優位性は明白であるのにも関わらず、技術的な問題、運用上の問題からインターネットへの広域な適用が為されていない [1]。しかし、映像等のコンテンツの流通により、以前より増して放送型の通信を実現するマルチキャスト技術が必要とされている。

このような現状の中、IP マルチキャストの代替技術としてオーバーレイ・マルチキャスト技術が登場し研究が盛んに行なわれている [2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16]。

オーバーレイ・マルチキャスト技術の特徴は、データの複製、マルチキャスト・ルーティング、グループ管理の機能をアプリケーション層に委任する点にある。これらの機能は IP マルチキャストにおけるルータに代わり、エンドホストが提供する。オーバーレイ・マルチキャスト技術により IP マルチキャスト技術の適用における、マルチキャストアドレスの割り当てやルータの IP マルチキャスト対応等の問題を解決できる。

オーバーレイ・マルチキャスト技術はルータではなくエンドホストを通信基盤として利用する。ここで問題となるのが、一般的にエンドホストはルータと比べ不安定な要素が多い点である。これにより利用者の配信網への参加・離脱、配信網の維持等の新たな問題が発生する。これらの課題の解決がオーバーレイ・マルチキャスト技術における大きなテーマとなっている。また、既存のオーバーレイ・マルチキャスト技術では単一的なデータの配信しか考えられておらず、多様な受信者の環境・要求に応えることが困難である。

本研究ではこれらの問題を解決するために、階層構造を持つデータの配信に適した新たなオーバーレイ・マルチキャストプロトコルを提案する。さらに、本プロトコルによって実現される新たな機能、評価手法の議論を行なう。本論文では、本プロトコルの有効な適用例として「階層符号化を利用した映像配信」を取り上げ、これに沿って進める。

本論文は次のように構成される。2 節で既存オーバーレイ・マルチキャストプロトコルについて述べ、3 節でその問題点を明らかにする。4 節で階層構造を持つデータの転送に適した新たなオーバーレイ・マルチキャストプロトコルの提案行ない、5 節で本プロトコルの備える機能について述べ、6 節で本プロトコルの評価手法に関して議論を

^{1,2}Keio University Shonan Fujisawa Campus
5322, Endo, Fujisawa, Kanagawa 252, Japan
E-Mail: koh39@sfc.wide.ad.jp

行なう。7 節で本論文のまとめを述べる。

2 既存技術

本節では、オーバーレイ・マルチキャスト技術の要素を、IP マルチキャスト技術との比較を行ないながら述べる。その上で、既存のオーバーレイ・マルチキャストプロトコルに関して説明する。

図 1 に示すように、オーバーレイマルチキャスト技術は実ネットワークの上で構築された論理的なトポロジ上でマルチキャストを実現する。この論理的なトポロジはエンドホスト間のユニキャスト通信によって構築され、通信基盤として利用されている。これに対し、IP マルチキャストではルータを基礎とする IP ネットワークを通信基盤として利用する。

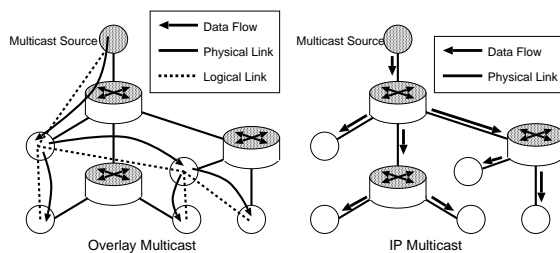


図 1: オーバーレイ・マルチキャストと IP マルチキャストの比較

マルチキャストを行なうための重要な機能としてデータの複製が挙げられる。IP マルチキャストではデータの複製をルータが行なう。これに対し、オーバーレイ・マルチキャストでは配信網に参加する一部のエンドホストがデータの複製を行なう。データの配信元となるエンドホストは子となるエンドホストにデータを複製してもらうことにより配信に伴う負荷を抑えることができる。配信網に参加する各エンドホストはデータの複製以外にも、1 節で述べたようにマルチキャスト・ルーティングやグループ管理の機能を提供している。

オーバーレイ・マルチキャスト技術では、オーバーレイ・マルチキャストプロトコルによって上述したマルチキャストに関わる機能が定義されている。

オーバーレイ・マルチキャストプロトコルについて述べる上で用語を以下の様に定義する。配信網をマルチキャストツリー、配信網に参加しているエンドホストをノード、配信元となるノードをソースノードとする。

2.1 オーバーレイ・マルチキャストプロトコル

既存研究として、様々なオーバーレイ・マルチキャストプロトコルが提案されている。主要な例として、ALMI[12], Narada[4, 5], Scattercast[17], Overcast[18], HMTP[8], Yoid[2], Hostcast[9], CAN[6], NICE[7] 等が挙げられる。各々のオーバーレイ・マルチキャストプロトコルは異なる設計目標を基に考えられている。また、それぞれの設計目標によって、マルチキャストツリーの構成手法も異なる。

ALMI では構築したマルチキャストツリー上の各ノード間の遅延が最小となるマルチキャストツリーの構成を目標としている。これに対し、Narada, Scattercast では各ノードとソースノード間の遅延が最小となるようにマ

ルチキャストツリーを構成することを目標とする。遅延以外のメトリックとして帯域が挙げられるが、Overcast ではソースノードから各ノードまでの利用可能な帯域が最大となるマルチキャストツリーの構成を目標としている。最後に、Hostcast では、マルチキャストツリーの自体の安定性を高めることを目標としている。

オーバーレイ・マルチキャストプロトコルによって構築されたマルチキャストツリーは、それぞれ固有の機能をもつ二つのトポロジに体系化できる [3]。各ノードの管理を行なう「制御トポロジ」と実際のデータを送信するデータ転送のための「データポロジ」である。制御トポロジの主な目的は、各々のノードの状況を把握し、ノードの予期しない切断への対処を行なうことである。ノードの予期しない切断とは、マルチキャストツリーに参加するノードが計算機やネットワークの障害等によってマルチキャストツリーから決められた切断手順を踏まずに切断されてしまうことを表す。データポロジは、制御トポロジの一部である場合が多く、実際のデータの流れを規定するために存在する。制御トポロジは、その形態から Mesh と呼ばれることが多く、データポロジは、Tree と呼ばれることが多い。

オーバーレイ・マルチキャストプロトコルは、上述したマルチキャストツリーの構成手法から 3 種類に大別可能である [3, 10, 16]。メッシュ状の制御トポロジを最初に形成する Mesh-first 型、分散的にデータ転送の為のツリーを最初に形成する Tree-first (Direct) 型、制御トポロジを何らかのメトリックに沿って形成する Implicit 型である。Narada, Scattercast では Mesh-first 型、ALMI, Overcast, HMTP, Yoid, Hostcast では Tree-first 型、CAN, NICE では Implicit 型のマルチキャストツリーの構成手法を用いている。

3 既存技術の問題点

2 節で述べたように、多くのオーバーレイ・マルチキャストプロトコルが提案されている。しかし、既存のオーバーレイ・マルチキャストプロトコルでは、単一的なデータの配信しか考えられていない。

映像や音声等のコンテンツは品質を制御できる。品質とは、コンテンツの情報量や、解像度、画質等を指す。現状のコンテンツ配信においても、受信ノードの品質に対する様々な要求に応じるために複数の品質でこれらのコンテンツを提供している。ここでの品質に対する要求は、受信ノードの計算機環境、ネットワーク環境や、受信ノードの品質要求に影響される。このように、受信ノードのコンテンツの品質に対する要求は様々である。

現状のオーバーレイ・マルチキャストプロトコルを利用し、複数品質のサービスを提供する場合、ソースノードは受信ノードの品質に対する様々な要求に応じるために無数の品質毎にマルチキャストツリーを多重に構築することになる。これにはソースノードへの帯域的な負担、複数のマルチキャストツリーの管理に対するオーバーヘッドの増加に伴う。よって、ソースノードはただ一つのコンテンツに対し必要以上の資源環境を要求され、現実的ではな

い。また、受信ノードの要求に基づいた配信を行なうためには品質を選択可能でなければならない。この点においても、現状のオーバーレイ・マルチキャストプロトコルでは実現できない。

4 プロトコルの提案

受信ノードのコンテンツの品質に対する要求は様々である。この問題を解決し効率的な配信を行なうために、階層構造を持つデータの配信に適したオーバーレイ・マルチキャストプロトコルの提案を行なう。階層構造を持つデータの例として階層符号化された映像データを取り上げる。

4.1 階層符号化

階層符号化とは、解像度等を変化させた画像を階層的に複数用意し、画像の階層数に応じて品質を選択できる符号化方式である。それぞれの階層ごとに符号化を行ない、下位レイヤを補完する形で上位レイヤが存在する。画像は、一つの Base レイヤと複数の Enhanced レイヤに分割される。最低限の画像を提供する階層として Base レイヤがある。Base レイヤに Enhanced レイヤを追加することにより、より良い映像品質を持つ画像を取得できる。図 2 に示すようにレイヤの数によって LOW から HIGH にかけて、映像品質が上がっていく。階層符号化を利用した映像メディアの例として MPEG2 SNR Scalable/Spatial Scalable Profile[19], JPEG2000 EBCOT (Embedded Block Coding with Optimized Truncation)[20, 21] の二つが挙げられる。

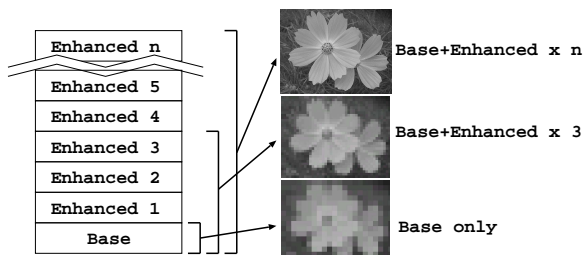


図 2: 階層符号化方式を利用した際の映像の変化

4.2 本プロトコルの概要

本プロトコルにより提供される映像等のサービスは階層符号化のように複数のレイヤで表現される。レイヤ数が多い程品質が高く、レイヤ数が低い程品質の低いサービスである。サービスを受ける各ノードは受信するレイヤ数を指定し、品質の要求を行なう。そして、ソースノードを頂点とし、多くのレイヤを要求するノードが上位に位置するようなマルチキャストツリーを構築する。

本プロトコルを利用した際の特徴はマルチキャストツリーに参加する各ノードの所持するサービスの品質がそれぞれ異なる点である。各ノードは品質要求を行なうことで、品質の制御が可能となる。この特徴を利用することで新たに、マルチキャストツリーの効率的な冗長化や輻輳回避等の機能を提供できる。

本プロトコルを利用することで、「それぞれのノードの要求した、あるいはその資源環境に適応した複数の品質」を単一のマルチキャストツリーで提供できる。

5 本プロトコルの機能・特徴

本プロトコルの設計目標は「マルチキャストツリーに参加する各ノードによる映像の品質の制御が可能」なことである。各ノードの要求するレイヤ数をメトリックとしたマルチキャストツリーを構築する。

5.1 マルチキャストツリーの構築

図 3 に、本プロトコルを利用したマルチキャストツリーの基本的な一例を示す。

Data Source Node と記されている A がソースノードである。ノード内に記されている値は各ノードが持つレイヤ数に基づく映像の品質である。値が大きい程レイヤ数が多く、細かい品質の制御を行うことができる。ノード A の 10 レイヤの品質を持つ映像がソースノードの送信する最高品質の映像である。ソースノードである A は映像を、受信ノードの要求にしたがって配信を行なう。

各ノードは親と子の関係を持ち、親は子に、子の要求する品質を持つ映像を提供する。また、各ノードは親となるノードが受信している品質までの映像を配信できる。この際、マルチキャストツリーに変更を加える必要は無い。例として、E は親となる B から 6 レイヤの品質を持つ映像を受信している。よって、子となる H, I には 6 レイヤまでの品質で映像を送信できる。H や F の下にはさらに伸びるツリーがあると仮定する。G や I は、2 や 1 レイヤの品質を持つ映像を要求するノードが存在しないためツリー上の末端のノードとなる。無線端末等の狭帯域のネットワークしか持たないノードは、これらのノード G, I の様に末端のノードとなる。

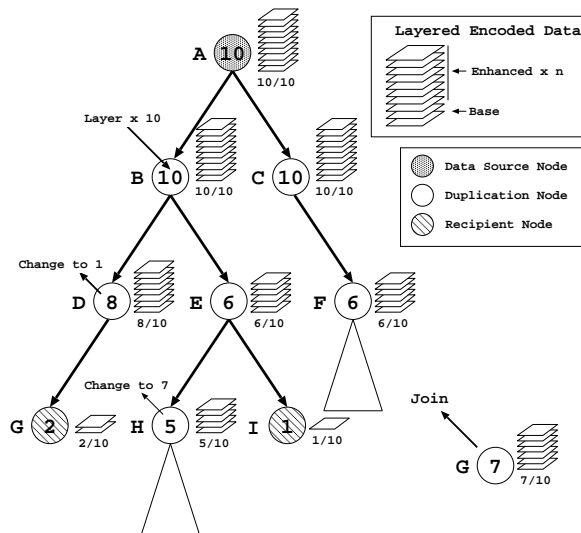


図 3: マルチキャストツリーの一例

5.2 ノード障害時の効率的な復旧

不安定な通信基盤上で動作するオーバーレイ・マルチキャストにおいて、予期せぬノードの障害からマルチキャストツリーを復旧することは大きな課題である。本節では既存のオーバーレイ・マルチキャストプロトコルの用いる復旧手法を紹介する。また、本プロトコルの階層符号化の利点を活かした新たなノード障害時の効率的な復旧手法を提案する。

ノードの予期せぬ切断であっても、切断の行なわれたノードの下位に位置するノードは、継続してサービスを受けられることが望ましい。Narada[4] や ALMI[12] では、特にノードの障害時における効果的な手法は存在せず、マルチキャストツリーから分断されたノード群は参加の手続きを再度行ないマルチキャストツリーへの復旧を行なう手法等を用いている。

5.2.1 Host Cast のパス冗長化手法

これに対し、予期しない切断に対する対処法として、図4に示す Host Cast[9] のパス冗長化手法がある。この手法では、親ノードの冗長化により、複数の配信パスを事前に確保する。

図4において、 B が予期しない切断によって、マルチキャストツリーから切断された際の E での処理の例を示す。定常状態においては、 E に対して $A-B-E$ というパスを利用して配信が行なわれている。この時、冗長化を行なうパスとして、 E の親である B と対等な位置関係を持つ C を経由する $A-C-E$ 、 E の親である B のさらに上位ノードである A を経由する $A-E$ を制御トポロジ上に確保している。 E は B の切断時にこの冗長パスに切り替えることによって、予期しない切断時におけるデータポロジの復旧までの時間を短縮する。これにより、ノードの予期しない切断の影響を受けるノードのマルチキャストツリーからの切断時間を抑えることができる。しかしながら、Host Cast の手法は、制御トポロジ上で冗長化を行なっているため、マルチキャストツリーが収束するまでの時間が発生する。

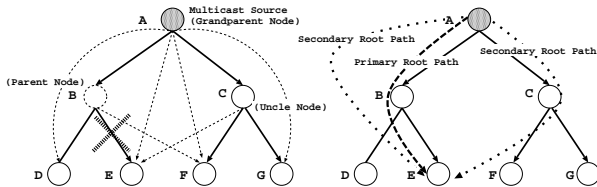


図4: Host Cast における親ノードの冗長化手法

5.2.2 Base レイヤを利用したパス冗長化手法

本プロトコルでは、階層符号化の利点を活かし、Base レイヤを利用したノード障害時における効率的な復旧手法を提案する。4.1 節で述べたように、階層符号化において Base レイヤとは最低限の映像品質を保証するレイヤを指す。Host Cast の手法では制御トポロジ上でパスの冗長化を行なっているが本手法ではデータポロジ上でパスの冗長化を行なう。

図5において、 B が予期しない切断によって、マルチキャストツリーから切断された際の D での処理の例を示す。定常状態では、 $A-B-D$ というパスを利用して D に配信が行なわれている。この時、 D は A, C からデータポロジ上で冗長的に Base レイヤのみを受け取っている。 B の切断が起こると $A-B-D$ というパスが無効となり、 D への配信が停止する。 D は B の切断を検知すると即座に A もしくは、 C から最低限の品質を持つ Base レイヤへの映像に切り替え、情報の損失を防ぐ。冗長化されたパスから Base レイヤの供給を受けつつ、上述した HostCast 等の

既存のオーバーレイ・マルチキャストプロトコルの手法を利用しマルチキャストツリーの復旧を行なう。マルチキャストツリーの復旧を終えると、 D は新たな親ノードとなる C から要求した品質での映像を受信する。

既存のオーバーレイ・マルチキャストプロトコルでは単一的なデータの配信しか考えられていない。そのため、データポロジ上で冗長化を行なうにはフルレート映像をメッシュ状に提供する必要がある。これは各ノードへの帯域的な負荷が非常に大きいため現実的でない。本プロトコルでは Base レイヤのみを利用するため各ノードへの影響を抑え、映像の復旧を効率的に行なえる。

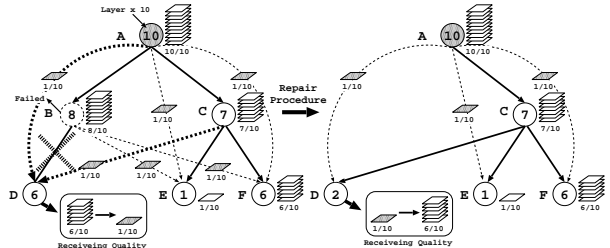


図5: Base レイヤを利用したデータポロジでの冗長化

5.3 要求品質の幅を利用した輻輳回避

階層符号化の品質を自由に制御できる特徴を活かし、輻輳回避を行なうことができる。各ノードの要求する映像品質、つまりレイヤ数に幅を持たせ、輻輳が発生した際に優先的に上位レイヤのデータを破棄することで、輻輳の回避を行なう。この例を図6に示す。

B は A からのデータを E に中継している。 B から E への通信路に輻輳が起きていない場合、 E は要求した最高品質の映像が得られる。しかし、 B が何らかの方法で輻輳を検知した場合、 B は上位レイヤから優先的に中継を止め、輻輳を避ける。輻輳の検知手法に関しては、既存研究[22]を参考にする。

以上のように、レイヤ数の幅によって各ノードからの品質要求に柔軟性を持たせることができる。要求レイヤ数の幅が狭い場合は、要求レイヤ分のサービスが保障される。しかし、親ノードが要求レイヤ分の配信が不可能になると、マルチキャストツリーへの変更が必要となる。要求レイヤ数の幅が広い場合は、マルチキャストツリーへの変更は発生しにくく、安定したサービスを受けられる。ただし、受信品質が上下する可能性がある。

要求レイヤ数の幅を狭く取ることで、「要求品質以下のサービスでは見る意味が無い」と考える利用者を対象とし、要求レイヤ数の幅を広く取ることで、「品質が落ちても継続してもサービスを受けたい」と考える利用者を対象とできる。

5.4 中継レイヤ数に応じた品質の制御

本プロトコルでは、マルチキャストツリーに参加する各ノードが映像の中継をすることにより動作する。この際、多くのノードがデータの中継を拒否してしまうと、一部の的中継を行なっているノードに対し局所的に多くのノードが子ノードとして参加することになる。この問題に対し、中継しているレイヤ数に応じて受信可能なレイヤ数を限定

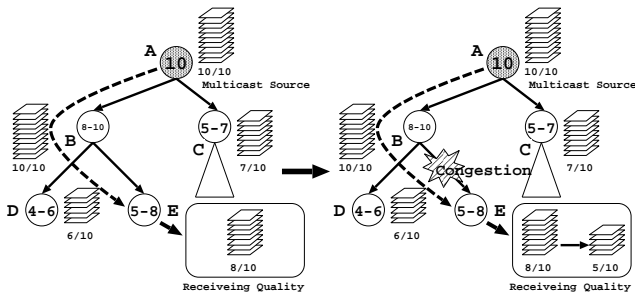


図 6: 要求品質の幅を利用した輻輳回避

する手法を提案する。

本手法では、各ノードがマルチキャストツリーに参加する際に、自らが中継可能なレイヤ数を宣言する。この宣言されたレイヤ数を基に受信可能なレイヤ数の最大値を決定する。中継レイヤ数に応じた品質の制御を行なうことで、多くのレイヤを中継可能なノードはマルチキャストツリーの上位に位置するようになる。つまり品質の良い映像を受信可能となる。逆に中継可能なレイヤ数の少ないノードは下位に位置することになり、少ないレイヤ数、つまり品質の低い映像しか受信できない。必然的に良い映像を受信するためには多くのレイヤを中継できる必要がある。

6 評価手法

オーバーレイ・マルチキャストはトラフィック量において、本質的に IP マルチキャスト以上に効率的なグループ通信を行なうことは不可能である。これは、オーバーレイ・マルチキャストが実ネットワークの上に被さる形で構成されることに起因している。オーバーレイ・マルチキャストにおいて論理的にトポロジを構成したとしても、実際の通信に利用されるのは IP ネットワークである。オーバーレイ・マルチキャストにおいて最適なマルチキャストツリーを構築しても、必ずしも実ネットワーク上で最適なマルチキャストツリーを構築しているとは言えない。よって、IP マルチキャストを利用した際の評価結果が最適な値であると判断できる。評価対象として IP マルチキャスト、ユニキャスト、他オーバーレイ・マルチキャストプロトコルを選択し、各評価項目において比較を行なう。オーバーレイ・マルチキャストプロトコルの評価手法として次のものが提案されている [4, 9, 16].

・ Relative Delay Penalty

Relative Delay Penalty とは、ソースノードからオーバーレイ・マルチキャストツリー上でのパスを利用した際の遅延と、ユニキャストを利用したパスでの遅延の対比を、各パスにおいて計測した値である。ユニキャストを利用した際のパスが最短となるため、対比が 1 に近い遅延に対して最適なマルチキャストツリーを構成しているといえる。

・ Link Stress

Link Stress とはオーバーレイ・マルチキャストプロトコルを実ネットワークへ適用した際に、同一データが同一物理リンク上を流れるデータの重複回数を示す。データの重複が起こらない際に値は 1 となる。Link Stress の最

悪値である Worst Link Stress も必要な評価項目である。

・ Resource Usage

Resource Usage とは、全受信者に対してデータを送った際に消費されるネットワーク資源の総量を示す値である。Resource Usage は次の式を用いて表現できる。

$$ResourceUsage = \sum_{i=1}^L D_i * S_i$$

L はデータの送信を行なっている総リンク数、 D_i はリンク i の遅延、 S_i はリンク i の Link Stress を示す。Resource Usage を他プロトコルと比較する際には IP Multicast を利用した際の Resource Usage との対比を取った Normalized Resource Usage (NRU) を用いる。

・ Recovery Latency

Recovery Latency とは、ノードの離脱により影響を受けた子ノードが新たな親ノードを探索し、マルチキャストツリーが収束するまでにかかる時間を示す。Recovery Latency により、離脱の影響を受けたノードの損失したデータ量を判断できる。マルチキャストツリーの収束時間が短い程、耐障害性が高いことを示す。特に映像等の連続データを扱う際に重視されるべき評価項目である。

・ Control Cost

Control Cost とはマルチキャストツリーの維持 (マルチキャスト・ルーティング、グループ管理、各ノードの生存確認 etc.) に必要なデータ量を示す。Control Cost が高い程、スケーラビリティの低いプロトコルと判断できる。

以上で挙げた評価項目以外にも、各々のオーバーレイ・マルチキャストプロトコルの設計目標に沿った評価手法を用いることが必要である。本プロトコル固有の評価項目として以下を挙げる。

・ 品質制御にかかる遅延

本プロトコルでは、各ノードがコンテンツの品質の制御を行なうことが出来る。この特徴から、各ノードが品質を制御した際にマルチキャストツリーに反映されるまでの遅延を計測する必要がある。

あるノードが品質の制御を行なった際の処理は 2 通りに分けられる。親となるノードが要求するレイヤ分のサービスを所持している場合はノードの繋ぎ変えは必要とされず、親ノードと相互にレイヤ数の確認を行なうだけで処理が完了する。一方、親となるノードが要求レイヤ分のサービスを所持していない場合、ノードの繋ぎ変えが発生し、マルチキャストツリーへの変更が必要となる。それぞれの処理に分けて遅延を計測する。また、5.3 節で述べたようにレイヤ数に幅を設けた場合と直にレイヤ数を指定した場合で遅延がどの程度解消されるかを考慮する必要がある。

・ 予期しないノードの切断からの回復

本プロトコルでは Base Layer 利用したマルチキャストツリーの冗長化手法を提案した。この機能の評価手法として、Recovery Latency を用いて他プロトコルとの比較を

行なうことができる。本手法の特徴はサービスの切断時間を抑える点にあるため、マルチキャストツリーの収束までの遅延だけでなく、サービスが開始されるまでの遅延も計測する。

以上の評価項目を用い、本プロトコルの評価を行なう。本プロトコルのシミュレータを実装した上で Transit Stub モデルを利用した Georgia Tech Topology Generator[23] を評価用のデータとして用いる。

7 本プロトコルの利用例

本論文で提案した階層構造を持つデータの配信に適したオーバーレイ・マルチキャストプロトコルは階層符号化された映像伝送以外にも利用可能である。次に考えられる利用例を挙げる。

1. 複数のチャンネルを持つ音声

Base レイヤにステレオ形式の音声を載せ、Enhanced レイヤを増やすことにより音声チャンネルを増加させる。

2. 情報量の異なる種類の表現によるコンテンツ

Base レイヤに文字媒体の情報を、Enhanced レイヤに音声、映像を載せることにより受信者の環境に応じた、コンテンツの情報量を増加させることができる。

8 おわりに

本論文では、階層構造を持つデータの配信に適したオーバーレイ・マルチキャストプロトコルの提案を行ない、その特徴や機能に関して説明した。その上で本プロトコルの評価手法に関して議論を行なった。

本プロトコルの特徴は、マルチキャストツリーに参加する各ノードが要求した品質を取得できる点にある。この特徴によって、既存のオーバーレイ・マルチキャストでは実現できなかった効率的なマルチキャストツリーの冗長化や輻輳回避の機能を提供できる。これらの機能により、既存のオーバーレイ・マルチキャストプロトコルと比べ、より安定し、より高機能なマルチキャストツリーを提供できる。また本プロトコルは映像や音声以外にも、複数の異なる表現を持つコンテンツを統合し、その表現によって情報量を選択できる様な新たなコンテンツに対する配信手法を提供できる等、その応用性は高い。今後は本プロトコルの具体的な設計を行ない、本論文で取り上げた評価項目に沿って本プロトコルの評価を行なう。

参考文献

- [1] Christophe Diot and Brian Neil Levine and Bryan Lyles and Hassan Kassem and Doug Balensiefen. Deployment issues for the ip multicast service and architecture. In *IEEE Network Vol.14, num 1*, pages 78–88, 2000.
- [2] P. Francis. Yoid : Extending the internet multicast architecture. In *Technical report, AT&T Center for Internet Research at ICSI (ACIRI)*, April 2000.
- [3] S. Banerjee and B. Bhattacharjee. A comparative study of application layer multicast protocols. 2002.
- [4] Yang hua Chu, Sanjay G. Rao, and Hui Zhang. A case for end system multicast (keynote address). In *Proceedings of the 2000 ACM SIGMETRICS international conference on Measurement and modeling of computer systems*, pages 1–12. ACM Press, 2000.
- [5] Yang Chu, Sanjay Rao, Srinivasan Seshan, and Hui Zhang. Enabling conferencing applications on the internet using an overlay multicast architecture. In *Proceedings of the 2001 conference on Applications, technologies, architectures, and protocols for computer communications*, pages 55–67. ACM Press, 2001.
- [6] Sylvia Ratnasamy, Paul Francis, Mark Handley, Richard Karp, and Scott Schenker. A scalable content-addressable network. In

Proceedings of the 2001 conference on Applications, technologies, architectures, and protocols for computer communications, pages 161–172. ACM Press, 2001.

- [7] Suman Banerjee, Bobby Bhattacharjee, and Christopher Kommareddy. Scalable application layer multicast. In *Proceedings of the 2002 conference on Applications, technologies, architectures, and protocols for computer communications*, pages 205–217. ACM Press, 2002.
- [8] B. Zhang, S. Jamin, and L. Zhang. Host multicast: A framework for delivering multicast to end users. In *IEEE Infocom*, 2002.
- [9] Zhi Li and Prasant Mohapatra. Hostcast: A new overlay multicasting protocol. In *IEEE International Communications Conference (ICC)*, 2003.
- [10] Anne-Marie Kermarrec Miguel Castro, Michal B. Jones and Antony Rowstron. An evaluation of scalable application-level multicast built using peer-to-peer overlay. In *Infocom 2003, San Francisco, CA*, 2003.
- [11] 村田正幸 CaoLe Thanh Man, 長谷川 剛. サービスオーバーレイネットワークのためのインラインネットワーク計測に関する一検討. In 電子情報通信学会技術研究報告 (IN03-176), pages 53–58, 2003.
- [12] Dimitris Pendarakis, Sherlia Shi, Dinesh Verma, and Marcel Waldvogel. ALMI: An application level multicast infrastructure. In *Proceedings of the 3rd USNIX Symposium on Internet Technologies and Systems (USITS '01)*, pages 49–60, San Francisco, CA, USA, March 2001.
- [13] Duc A. Tran, Kien A. Hua, and Tai T. Do. Scalable media streaming in large peer-to-peer networks. In *Proceedings of the tenth ACM international conference on Multimedia*, pages 247–250. ACM Press, 2002.
- [14] Shuju Wu and S. Banerjee. Improving the performance of overlay multicast with dynamic adaptation. In *Consumer Communications and Networking Conference 2004. CCNC 2004.*, pages 152–157, 2004.
- [15] S. Fahmy and Minseok Kwon. Characterizing overlay multicast networks. In *Network Protocols, 2003. Proceedings. 11th IEEE International Conference*, pages 61–70, November 2003.
- [16] Yan Zhu, Min-You Wu, and Wei Shu. Comparison study and evaluation of overlay multicast networks. In *Multimedia and Expo, 2003. ICME '03. Proceedings. 2003 International Conference*, July 2003.
- [17] Yatin Chawathe. Scattercast: an adaptable broadcast distribution framework. *Multimedia Syst.*, 9(1):104–118, 2003.
- [18] John Jannotti, David K. Gifford, M. Frans Kaashoek, and James W. O'Toole Jr. Overcast: Reliable multicasting with an overlay network. In *5th Symposium on Operating System Design and Implementation (OSDI)*, December 2000.
- [19] MPEG-2 Generic coding of moving pictures and associated audio information. <http://www.chiariglione.org/mpeg/standards/mpeg-2/mpeg-2.htm>.
- [20] David Taubman. High performance scalable image compression with ebcot. In *IEEE Transactions on Image Processing Vol.9 No. 7*, pages 1158–1170, 2000.
- [21] David Taubman, Erik Ordentlich, Marcelo Weinberger, Gadiel Seroussi, Ikuro Ueno, and Fumitaka Ono. Embedded block coding in jpeg2000. In *IEEE International Conference on Image Processing (ICIP)*, pages 33–36, 2000.
- [22] Sally Floyd, Mark Handley, Jitendra Padhye, and Joerg Widmer. Equation-based congestion control for unicast applications. In *Proceedings of the conference on Applications, Technologies, Architectures, and Protocols for Computer Communication*, pages 43–56. ACM Press, 2000.
- [23] GI-ITM: Modeling Topology of Large Internetworks. <http://www.cc.gatech.edu/projects/gtitm>.