

研究計画書

インターネット・コミュニティを支える映像配信手法に関する研究

慶應義塾大学環境情報学部

自署: _____

学籍番号 70142124

平成 16 年 12 月 24 日

概要

社会インフラとしてのインターネットは成熟期を迎え、人々の活動を支える表現の場として活発に利用されるようになった。新たな表現の場において、人々は文字、音声、映像などの表現メディアを用いて個々に活動成果を発信している。しかし、映像中継といったリアルタイム性の高い映像を用いた活動は行なわれていない。大きな要因として、現状の技術では一般の利用者がリアルタイム性の高い映像配信を不特定多数の受信者に配信する手法がないことが挙げられる。このような現状を踏まえ、本研究では、エンドホスト間のユニキャスト通信によって構築される論理的なオーバーレイ・ネットワーク上に階層符号化された映像の配信を行なう新たな手法を提案し、この問題を解決する。また階層符号化の特徴を理解し階層構造を持つデータに対する最も効果的なオーバーレイ・マルチキャストプロトコルを提案する。本研究の実現により、無数の人々の表現の場を担う基盤としてのインターネットの更なる進化を図る。

1 はじめに

インターネットは社会インフラとして成り立ち、その上で無数の人々が活動を行なっている。これらの人々は、活動の表現の場としてインターネットを用い、絵画や音楽など様々な創作活動を行ない、その成果を個々に発信している。本研究では、これら「インターネット上で共通の興味・目的を持ち活動している個人あるいは集団」を、インターネット・コミュニティ（以後、コミュニティと記述）と定義する。

既にこれらのコミュニティは、インターネットを表現の場として利用し、多くの作品を発信している。それは詩や小説などの文字メディア、音楽や落語などの音声メディア、映画や演劇などの映像メディアまでに及ぶ。

しかし現状では、これらのコミュニティがリアルタイム性の高い映像配信を行なうことは困難である。多くの場合、個々のコミュニティを構成する個人は一般利用者であり、利用可能な計算機資源やネットワーク帯域資源に限界がある。提供可能な受信者数や映像品質の種類には限界があり、多くの受信者を対象とできない。したがって、現状において、少年野球の試合中継や地元のお祭りの中継といった地域に根差した報道活動等を個人レベルで成り立たせることは困難である。

これらの問題点の本質には二つの側面がある。一つは上述の通り、発信者側の計算機資源・ネットワーク帯域資源に限界である。これによって、受信者の数や提供可能な映像の品質が限定される。もう一方は、受信者側の計算機資源と通信路の品質である。発信者からインターネット上に分散する多くの受信者までの通信路はそれぞれ異なる性質をもつ。したがって、単一的な品質のサービスでは、受信者までのネットワーク環境あるいは受信者の計算機資源の多様性に適応できない。

本研究では、「多くの受信者を対象とする映像配信を行なうコミュニティの活動を支援すること」を目標とし、上述した問題点をオーバーレイ・マルチキャスト技術に階層符号化を適用する手法によって解決する。本研究により「発信者が一般利用者にとって現実的な資源で、非常に多くの受信者に対し、個々の受信者が要求する品質でサービスを提供できる環境」という理想的な環境を実現し、これからのコミュニティの活動を支援する。

2 目標環境の必要要件

前節で述べた理想とする環境を実現するために必要な要件を以下に示す。映像配信を行なう人々を発信者、映像を受信し視聴を行なう人々を受信者とする。

1. 自由な配信網の構築

個人の発信者であっても一般利用者が持ちうる現実的な資源環境で配信網を構築できる。資源環境とは、ネットワーク資源、計算機資源を指し、一般利用者が容易に保持できるものを対象とする。また、発信者の運用コストに関しても一般利用者にとって許容できる範囲である必要がある。

2. 自由な参加, 脱退

受信者が制限無く映像配信網に参加, 脱退できる。これには受信者が、自分のネットワーク的な位置、ネットワーク資源、計算機資源の環境に関わらず配信サービスを受けられることを意味する。

3. 受信者の要求に基づく映像品質

それぞれの受信者は、所有する資源の許容範囲内であれば、望んだ品質の映像を受信できる。受信者の映像品質に対する要求は、受信者の持つネットワーク資源、計算機資源、もしくは映像への関心度等により常に変化する。例として受信者が他のアプリケーションでネットワーク資源を消費することを予め認知している場合には、受信者自ら映像品質を下げるができる。このように受信者は、自らの要求に基づく映像品質で映像を視聴する機構が必要となる。

4. 受信者へのシームレスな映像の提供

受信者は、発信者から提供される映像を途切れなくシームレスに視聴できる。これは映像というメディアが時系列に連続するデータから構成されることに起因する。映像の途切れが発生する理由として、発信者のネットワークからの切断、ネットワークの輻輳等の理由が考えられる。

3 既存配信技術の問題点

インターネットにおいて放送型の通信を実現する技術、特にマルチキャスト技術はこれまでも研究・開発が行な

われてきた。しかしこれらの技術は、一般利用者が手軽に利用できるものではない。

・ IP マルチキャスト

従来考えられてきたグループ通信の手法として IP マルチキャスト技術がある。ネットワーク層で実現する IP マルチキャストを広域に適用するためには、マルチキャストアドレス予約、グループの管理、ISP 間のポリシーの違い、インター・ドメイン・ルーティング、拡張性といった諸問題を解決しなければならない [1]。このため、広域に分散して存在する発信者が自由にグループ通信を行うことができない。現在、IP マルチキャスト技術は、ISP 等の限られた範囲のネットワークでの映像配信サービスにおける利用にしか使われていない。

・ CDN

CDN (Contents Distribution Network) は一対多モデルの配信元を複数箇所に分散させることにより配信元の負荷を軽減させ、受信者に安定した映像を提供するための技術である。具体的には、配信元に存在するコンテンツを (各 ISP に) 分散させたサーバに対してキャッシュし、受信者に最適なサーバを伝達することによって配信の効率化を行なう。しかし、一般の配信者は、CDN を気軽に映像配信に利用することができない。また、各 ISP が CDN に参加していることを前提としており、広域に分散している受信者に対して映像配信を行なうことは困難である。

・ オーバーレイ・マルチキャスト

近年、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、多くの研究が進められている [2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11]。

オーバーレイ・マルチキャストは各々のノードがユニキャスト通信を基本として各ノード同士がオーバーレイ・ネットワークを構築した上でマルチキャスト通信を行なう技術である。オーバーレイ・ネットワークの特徴は、ネットワーク管理機能、データの複製、グループの管理機能の全てを IP レイヤから アプリケーションレイヤなどの上位レイヤに任せる点にある。図 2 に示すように、オーバーレイ・マルチキャストでは、データを受け取るノードの一部が IP マルチキャストにおけるルータのように振舞い、データの中継ノードとなる。配信元となるノードは、子となるノードにデータを中継してもらうことによって負荷を抑えることができる。

しかし現状のオーバーレイ・マルチキャスト技術では、単一なデータの配送しか考えられていない。したがって、映像配信に利用する場合、単一な映像品質でしか配信できない。よって発信者は、受信者の品質に対する様々な要求に応じるために、無数の品質毎に配信網を多重に構築することになる。これには発信者の帯域への負担、複数の配信網の管理に対するオーバーヘッドの増加が伴う。よって、一般利用者である発信者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、受信者の品質要求に基づいた映像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・マルチキャストでは実現できない。

4 アプローチ

本研究では、2 節で示した要件を満たす配信手法を開発する。具体的なアプローチとして、品質を階層的なデータとして扱う階層符号化を利用し、映像データの符号化を行

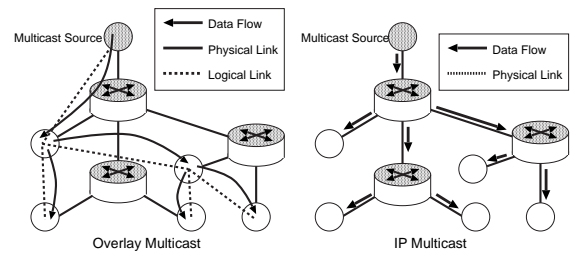


図 1: オーバーレイ・マルチキャストと IP マルチキャストの比較

なう。また、このデータを柔軟なネットワーク構成が可能なオーバーレイ・ネットワーク上でマルチキャスト配信する。

本節ではそれぞれの技術について説明し、特に現状のオーバーレイ・マルチキャストではこの階層符号化の利点を活かすことのできない問題点があることを示す。

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 [12], JPEG2000 EBCOT (Embedded Block Coding with Optimized Truncation) [13, 14] の二つが挙げられる。

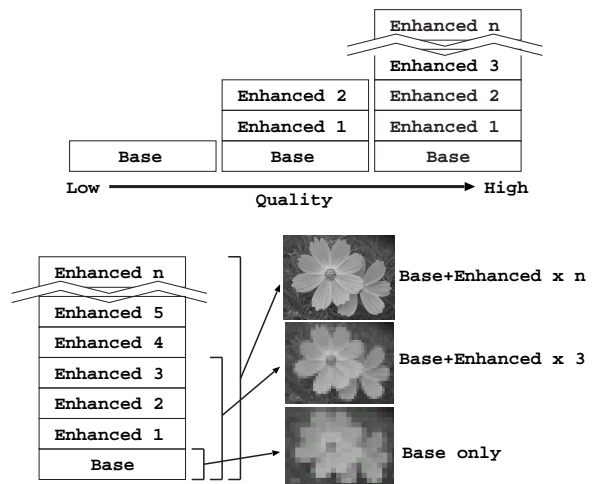


図 2: 階層符号化方式を利用した際の映像の変化

4.2 オーバーレイ・マルチキャストプロトコル

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について述べ、前述した階層符号化を活かすために問題となる項目について指摘する。

オーバーレイ・マルチキャストはグループに参加するノードを二つのトポロジに体系化している [3]。ノードの管理を行なう「管理トポロジ」と実際のデータを送信するデータ転送のための「データトポロジ」である。管理トポロジの主な目的は、各々のノードの状況を把握し、ノ

ドの予期しない切断への対処を行なうことである。データポロジは、制御ポロジの一部である場合が多く、実際のデータの流を規定するために存在する。管理ポロジは、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・マルチキャストは、上述したトポロジの構成手法から 3 つに大別することが可能である [3, 10]。メッシュ状の制御ポロジを最初に形成する mesh-first 型 [4, 5]、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 型 [2, 8]、制御ポロジを何らかのメトリックに沿って形成する implicit 型 [6, 7] である。

これらのオーバーレイ・マルチキャスト研究は、効率的な配信網の構築、維持を目的に進められている。しかしこれらの研究は、単一データの配信を対象としているため、階層的な構造を持つ階層符合化データの利点を活かした配信を行えない。階層符号化の利点を活かすことで、「それぞれの受信者の要求した、あるいは彼らの資源環境に適応した複数の映像品質」を単一の配信網で提供できる。

本研究では従来の技術では不可能であった、階層符号化の利点を活かすことのできる新たなオーバーレイマルチキャスト手法を提案する。階層符号化をオーバーレイ・マルチキャスト技術に適用した際の具体的な特徴と利点について 5 節で詳しく述べる。

5 本研究の概要

本研究では、階層符号化の利点を活かしたオーバーレイ・マルチキャスト技術を提案・開発する。4.2 節で示した通り、既存のオーバーレイ・マルチキャスト技術では階層符号化の利点を活かすことができない。本節ではまず、本研究で提案する新しいオーバーレイ・マルチキャスト技術によって構築されるシステムの概要と特徴について述べる。そして、本システムを実現するための研究課題について述べる。最後に本システムの評価手法について述べる。

5.1 基本システム概要

本システムの大きな特徴とは、他のオーバーレイ・マルチキャスト技術と異なり、受信者が要求した品質を取得できる点にある。本システムでは、階層符号化を用いてこれを実現する。本システムの利点は、発信者は単一の配信網の管理によって受信者の品質に対する要求に則した映像を提供できる点にある。図 3 に、本システムで構築するツリー構造を持つ配信網の基本的な一例を示す。

Data Source Node と記されている A が発信者となるノードである。ノード内に記されている値は各ノードの持つ映像の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 という品質を持つ映像が発信者の送信する最高品質の映像である。発信者である A は映像を、受信者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。例として、E は親となる B から 6 という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 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 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。

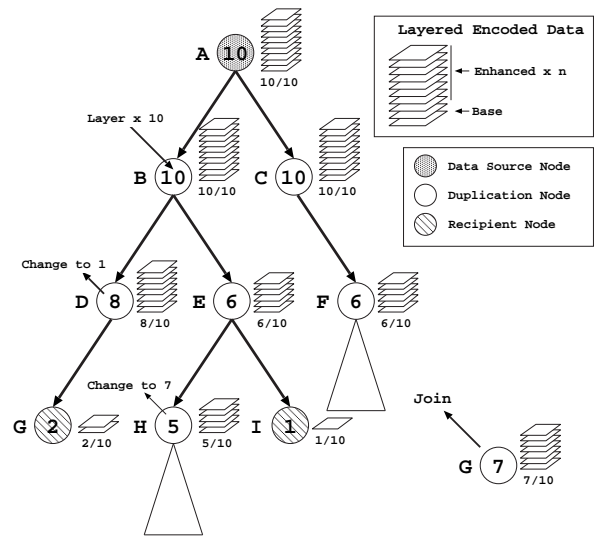


図 3: ツリー構成

5.2 研究課題

本節では本システムを実現するための課題を述べる。

1. 利用可能帯域の測定
親ノードは子ノードの要求する品質のレイヤ数によって子ノードに対して配信可能であるか否かを判断する必要がある。よって親ノードは、配信に利用可能な帯域を測定する必要がある。ここでは、利用可能帯域を利用可能レイヤ数として表現する。例として B は 20 という利用可能レイヤ数を保持しているとする、D, E の利用レイヤ数の合計である 14 レイヤは提供可能である。親ノードは利用可能レイヤ数を測定し、配信可能では無い時には子ノードを持たないようにする必要がある。ここでは、オーバーレイ・マルチキャストにおいて IP ネットワーク上での利用可能帯域の測定を行なう既存研究 [11] を参考に進める。
2. ノードの配信網への参加
ノードが新たに配信網に参加する際に自らの親となるノードを探す必要がある。この際、親ノード探索を開始するための集合地点となる Rendezvous Point (RP) が必要である。RP は発信者であるノードに任せる手法、RP 専門のノードを用意する手法、IP ネットワーク上での近隣のノードを探索し RP とする手法などが考えられる。
3. 親ノードの選択、再選択
親ノードの選択が必要な状況を考える。新たなノード G がツリーに参加する際、G の要求する 7 レイヤ以上配信可能な親ノードとなりうるノードが複数存在する (A, B, C, D)。H の要求レイヤ数が 5 から 7 へと増加した際、H の親ノードである E は要求レイヤを配信できない。D の要求レイヤ数が 1 に変化した際、G は要求レイヤ分の受信を行えない。このような状況において、何らかの手法で子ノードは親となるノード再選択する必要がある。
4. ノードの配信網からの離脱
あるノードが配信網から離脱する場合、そのノードの子ノードが受けているサービスに影響が出ないように、適切な処理を行なう必要がある。この際、子ノードが全く影響を受けないことが理想的であるが、一時的に品質が落ちてサービスが継続されていることを重視する。

5. 予期しないノードの離脱に対する対処

ノードの離脱は、適切な処理を行なった上でだけでなく、計算機、ネットワークの障害等の理由により起こりうる。これらの予期しない離脱であっても、離脱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必要がある。

予期しない離脱に対する対処法として、図 4 に示す Host Cast[9] のパス冗長化手法を参考にできる。冗長化された第 2, 第 3 の親ノードを制御トポロジ上に所持することが考えられる。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、グループから離脱した際の 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 というパスを通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、A 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、A 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配信網からの切断時間を最小限に抑えることができる。よって、映像の持つ情報の損失を防ぐことができる。しかしながら、Host Cast の手法は、各ノードの保持する映像のレイヤ数に制限がある本システムにそのまま適用することはできない。そのため、各ノードの持つ映像のレイヤ数を参照しつつパスの確保、変更を行なう必要がある。

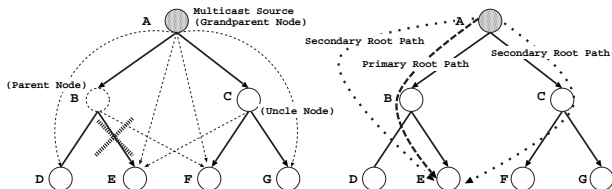


図 4: Host Cast における親ノードの冗長化手法

6. Base レイヤの品質保証

階層符号化された映像は Base レイヤの存在を基礎として復号化を行なう。したがって、Base レイヤのデータに損失が発生すると、Enhanced レイヤが損失された場合と比べて、復号化された映像に多大な劣化をもたらす。Base レイヤの品質保証の手法として、上述した予期しない切断への対処を行なうと共に、Base レイヤを Enhanced レイヤよりも優先的に受信、もしくは冗長化を行ない、複数箇所から Base レイヤを常に受信しておく手法が考えられる。

7. 要求する階層の幅を利用した輻輳回避

受信者の要求する映像品質に幅を持たせ、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 5 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 [15] を参考にする。

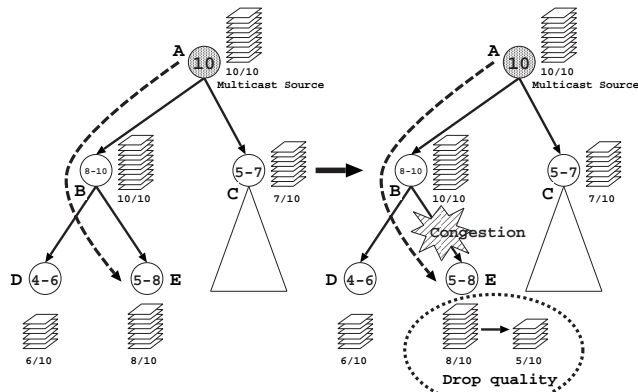


図 5: 輻輳回避手法

5.3 評価手法

本研究の最も大きな成果は、階層符号化の利点を積極的に活かしたオーバーレイ・マルチキャストプロトコルの開発である。以下に示す評価基準 [3] を基に、本プロトコルの評価を行なう。

データ転送経路の品質

データ転送経路品質の評価は”stress: プロトコルを利用した際のリンク毎、ノード毎に流れる同一なパケットの数”, ”stretch: メンバ毎に定義される、直接ユニキャストで通信した場合と比較したパスの長さ”の 2 種類のメトリックを用いて行なう。

制御によって発生する負荷

オーバーレイ・マルチキャスト上ではすべてのノードはリフレッシュメッセージを各ノードと通信することによって制御トポロジを維持している。制御によって発生する負荷を計測することによって、システムがどの程度の規模にスケールするかを判断することができる。

6 本研究により実現する世界

本研究は発信者、受信者共に、一般利用者を対象とし、活動を行なっているすべてのコミュニティに対して自己表現を行なう新たな場を提供する。本研究により、人々はさらに創作活動の範囲を広げることができる。活動の例として、地域で行なわれるお祭りの映像中継や、小学校の運動会の映像中継、お笑いのライブ等が考えられる。

本研究の実現により、インターネット上で活動するコミュニティ、実世界で活動するコミュニティは分け隔てなく創作活動の発表が可能となり、融合を果たす。

6.1 本機構を利用した応用例

本研究の成果物の一つである、階層構造を持つデータに対する最適なオーバーレイ・マルチキャストプロトコルは映像配信以外への利用も考えられる。これは、コミュニティの創作活動の発展を意味する。応用例として、以下の 2 つが挙げられる。

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。

さらには, 今後登場するであろう 3 次元映像 [16] などの新たな表現メディアにおいてもその情報量に応じた階層化することが可能であれば, 本研究を適用できる。

7 これまでの研究活動

7.1 研究活動

学部 2 年次より慶應義塾大学村井研究室に所属し, ネットワークやプログラミングの基礎を身に付けた。学部 2 年次から 3 年次にかけて, 民生用の映像音声機器である D-VHS デッキや DV コンバータ等の IEEE1394 機器の遠隔制御機構の設計と実装を行ないマルチメディア通信と分散処理研究会において論文執筆, 発表を行なった [研究成果 1,2]。また, この機構を利用したアプリケーション例として Linux 上で HDD ビデオレコーダの作成を行ない, UNIXUSER 誌に掲載された [研究成果 3]。WIDE プロジェクト 10G Working Group に所属し研究成果の発表を行なった。3 年次より DVTS コンソーシアムへの参加, 及び, ハードウェア版 DVTS (Digital Video Transport System) の開発を行なう企業との共同研究プロジェクトに参加している。

課外の活動として, DVTS コンソーシアムにおいて研究成果の発表を行なった。また, Networld+Interop 2003 Tokyo にて ShowNet TV / BBSSC (BroadBand Solution ShowCase) のオペレーションスタッフとしてインターネットを介した映像配信の現場で働いた。Open Research Forum 2003 では, ハードウェア版 DVTS の展示員として関わった。

7.2 研究実績

これまでの研究実績として以下の論文, 記事を執筆した。

1. **Kohei Ogura**, Kazunori Sugiura, Osamu Nakamura, Jun Murai. Establishment of Controlling IEEE1394 devices over the network. 第 116 回 マルチメディア通信と分散処理研究会, pages 31-36, Jan 2004.
2. 入野仁志, 堀場勝広, 小椋康平, 杉浦一徳, 中村修, 村井純. RTSP メソッドを用いた DVTS 制御機構の設計と実装. 第 116 回 マルチメディア通信と分散処理研究会, pages 73-78, Jan 2004.
3. 小椋康平. Linux で多チャンネル同時録画 HDD ビデオレコーダー UNIXUSER 2004 年 6 月号, Jun 2004.

8 政策・メディア研究科に進学を希望する理由

政策・メディア研究科では, インターネット技術に限ること無く, 次世代メディアやコンテンツの研究も行なわれている。本研究は, 人々に新たな表現の場を提供するものであり, 本システム上で流通される次世代コンテンツを考慮するためにも他プロジェクトとの連携は必須である。

また, 本システムを利用し実験・評価を行なうためには, インターネットインフラストラクチャ, 計算機資源が必須となり, それらが整っている。コンピュータコミュニケーション, ネットワークシステムの理論及び実践経験

を持つ研究指導者が多く存在する環境は本研究を進めるにあたって最適な環境といえる。

以上の理由から, 私は政策・メディア研究科への進学を志望する。

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 Shenker. 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] MPEG-2 Generic coding of moving pictures and associated audio information. <http://www.chiariglione.org/mpeg/standards/mpeg-2/mpeg-2.htm>.
- [13] David Taubman. High performance scalable image compression with ebcot. In *IEEE Transactions on Image Processing Vol.9 No.7*, pages 1158-1170, 2000.
- [14] 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.
- [15] 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.
- [16] HITACHI. 360 度どこからでも見ることができる立体映像ディスプレイ技術. <http://www.hitachi.co.jp/New/cnews/040224a.html>, 2003.