

多地点間動画像通信システムの構成とネットワークの効率的運用を目指した利用方法

今井慈郎 河内一芳 近藤まゆみ 堀 幸雄 (香川大学)

[概要] マルチキャスト送受信を特定セグメント内に限定することでネットワーク運用を効率化することを目的とした多地点間動画像通信システムの構成, ネットワーク会議システムへの応用とその性能評価のための定式化, 具体的な使用に基づく定性的評価や定量的評価の実施, および問題点の抽出・考察による障害要因の解析の試みやシステム改善のための設計仕様の策定などについて述べる.

Design and Trial Evaluation of an Inter-multipoint Video Transmission Scheme for Efficient Management of Distributed Campus Network

Yoshiro Imai, Kazuyoshi Kawauchi, Mayumi Kondo and Yukio Hori (Kagawa University)

Abstract: In order to manage distributed campus network environment efficiently, a video transmission scheme is designed for simultaneous communication in a multiple-area environment. This paper introduces design of our video transmission scheme, formulation procedure for its performance evaluation and demonstration of quantitative evaluation for its application to network conference in a real distributed network environment. And it also illustrates a summary of its performance evaluation and an attempt of problem solving.

1. はじめに

ネットワークの高速化, 高機能化が進み, ネットワークを利用したマルチメディア情報通信がより加速する状況となっている. 高速ネットワークを利用したマルチメディア情報通信としてこれまで以上に期待されているのが, ネットワーク会議システムや遠隔講義システムなど, 音声付き動画像を送受信するネットワークアプリケーションである. 通常, 1対1通信では, 商用機を含め, 多くの場合, 望ましい性能評価が得られているが, 多地点間通信となれば, そのデータ流量が多くなるに従い, 性能が悪化し, 望ましい性能結果が得られないと思われる. その理由を解明するのも, 本研究の目的である.

マルチキャストを行う場合, 各地点間で相互にマルチキャスト通信を行うため, パケット量が增大する傾向にある. すなわち, 地点数の増加は, パケット量を幾何級数的に増大させることになる. このようなマルチキャスト通信に対する対策が検討されているが, 例えば Flexcast[1]などのアプローチでは, マルチキャスト通信を行うホストが位置するセグメント単位で特殊なサーバを用意し, セグメント越えのマルチキャスト通信を一度, セグメント内サーバに集約し, セグメントを越えてサーバ間でマルチキャスト通信を行うのではなく, ユニキャスト通信で

実現する(IP トンネリング). ネットワーク全体でのパケット送出量を抑制し, ネットワークの運用効率を向上させようとする試みが提案され, 既に商品化されている(LiveSpark[2]など).

動画像通信を行うためのアプリケーションについて言及する. DVTS[3]はデジタルビデオ情報(高品質動画像)を非圧縮(30Mbpsの帯域を利用)で送受信するアプリケーションであり, 高画像表示向きのマルチメディア情報の送受信を目的とするシステムである. 他の動画像通信プロトコル, 例えばmpegなどと異なり, 非圧縮のためフレーム間にノイズが発生しても, その影響が連続・隣接する他のフレームの再生に及ばないという特徴を有する. 本研究には, 市販品でコスト性能比に優れたDV-CUBE[4]を使用して実証実験を行った.

本研究では, このような既存技術を組み合わせることで, 多地点間で動画像通信を実現するマルチメディア情報通信システムを構成する. 次に, システムの機能評価を行うための定式化を行う. そして, 具体的な利用を通じて動画像や音声の授受がどのような状態であるかについて, 定性的評価とパケット流量の測定による定量的評価を行い, 定式化された目標値と比較することで, 実際の利用に際して生じる問題点を考察する. これにより, 今後より適応能

力のあるシステムを開発する上での、具体的な設計仕様を得ることも本研究の目的である。

本稿では、多地点間動画通信システムの構成概要を述べ、定量評価のための算出基準を明確化する。次に、本動画通信システムを用いて、ネットワーク会議システムを構成する場合の条件やスケーラビリティを満たす性能評価の定式化を行う。実際の現場で使用することで、本システムの定性的評価と定量的評価を行い、測定されたデータを基に、問題点を抽出・考察する。実際の利用を前提する場合の改善項目を絞り込み、具体的な設計仕様を取り纏める。最後に、本稿のまとめと今後の課題について述べる。

2. 多地点間動画通信システム

2. 1 システム構成概要

研究対象は、図1(a)のような多地点間動画通信システムであり、構成要素として、図1(b)に示す3つの要素からなる。すなわち、多地点間で動画情報(特に断らない限り音声付きの動画とす)を双方向通信する IP-Tunneling Server (IPTS と略記)、動画情報を生成する DVTS-encoder (DV エンコーダと略記) および動画を表示・再生する DVTS-client (DV ビューワ) を前提とする。

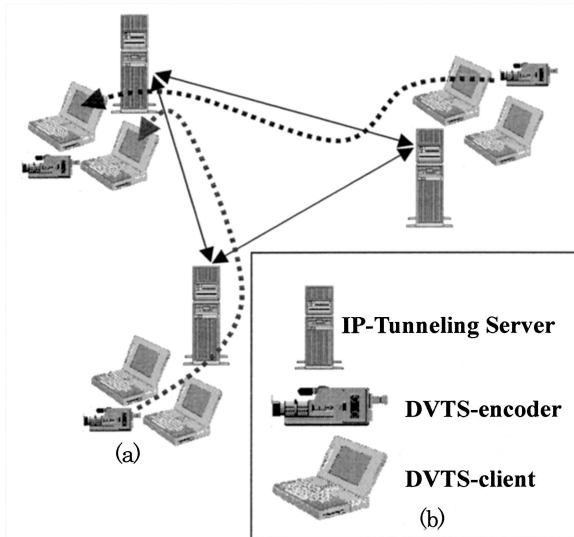


図1(a) 多地点間動画通信システムの構成と(b) 同システムの構成要素

図1で示すシステム構成で仮定している IPTS も、マルチキャスト通信でデータを送受信することが要求される応用に対し、サーバ間のみ IP トンネリングすることで、無駄なパケット量を低減できるユニキャスト通信を用いて実現する機能を有する。商品名

で言うと、例えば、LiveSpark ゲートウェイなどを想定し、IP トンネリング機能を提供するゲートウェイ機能を有するサーバを仮定している。この DVTS の生成装置と表示・再生装置が、DV エンコーダと DV ビューワである。

2. 2 パケット流量の算出 (定式化)

IPTS に着目して、想定できる一般的なパケット流量の流入と流出について算出を試みる。その後、多地点間動画通信システムの適用規模をいくつかのケースについて定量化する。まず、図2のように n 個の IPTS からなる多地点間動画通信システムを前提とする。

特定の IPTS に着目すると、任意の IPTS へのパケット流入(I)とパケット流出(II)は次のようになる。但し、当該 IPTS と同一セグメント内に存在する DV エンコーダは e 個(第 i 番目の IPTS であることを明示する場合には e_i 、通常は $e_i=1$) であり、DV ビューワは m 個(第 i 番目の IPTS であることを明示する場合には m_i) となる。

■IPTS へのパケット流入分ストリーム本数

DV エンコーダ分: e 本のパケット入力ストリーム
他の IPTS からのパケット流入分: $(n-1)$ 本のパケット入力ストリーム

$$(n-1)+e \quad \text{-- (1)}$$

となる。あるいは、第 i 番目の IPTS であることを明示する場合には

$$(n-1)+e_i \quad \text{-- (1')}$$

と記述できる。

■IPTS からのパケット流出分ストリーム本数

DV ビューワ分: m 本のパケット出力ストリーム
他の IPTS へのパケット流出分: $(n-1)$ 本のパケット出力ストリーム

$$(n-1)+m \quad \text{-- (2)}$$

となる。あるいは、第 i 番目の IPTS であることを明示する場合には

$$(n-1)+m_i \quad \text{-- (2')}$$

と記述できる。

従って、当該 IPTS が処理する入出力ストリーム本数は、式(1)(2)より

$$\{(n-1)+e\}+\{(n-1)+m\}=e+2(n-1)+m \quad \text{-- (3)}$$

となる。あるいは、第 i 番目の IPTS であることを明示する場合には、式(1')(2')より

$$\{(n-1)+e_i\}+\{(n-1)+m_i\}=e_i+2(n-1)+m_i \quad \text{-- (3')}$$

と記述できる。ここで、中心の IPTS が第 i 番目の当該 IPTS であり、便宜上、図2では DV エンコーダを 1 台、DV ビューワを m 台配置している。シャドウのかかった雲状のエリアは、当該 IPTS が配置さ

れたセグメントを表現し、ネットワークを介して、他のシャドウ表示の IPTS と相互接続されている。

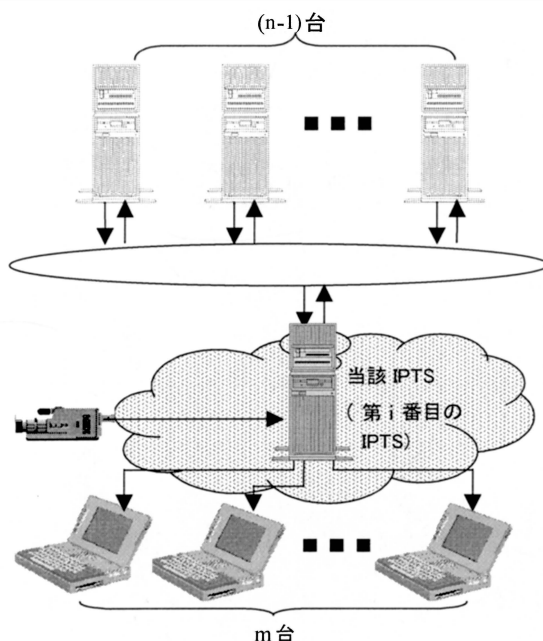


図2 当該 IPTS (第 i 番目 IPTS) に注目したネットワーク配置図

次に、このような多地点間動画通信システムの性能評価を行う上での具体的な適用条件として、以下の3つの条件、すなわち仮定を設定する。これは、制約条件とはなるが、利用を考える上では一般化を考慮したものとなっている。

- DV エンコーダから任意の IPTS に流出するパケット流量（入力ストリーム）はほぼ同一であり、音声付動画のフレームレートは同じに設定できる・・・仮定①
- DV エンコーダから IPTS に流出するパケット流量とこの動画像情報(DV)を表示する1台のDVビューワが取得するパケット流量はほぼ同じであり、データの欠損などはほとんどないとする・・・仮定②
- 各 IPTS 間はマルチキャストではなく、1対1のユニキャストで送受信する。対象となるパケット流量は、DVエンコーダが各IPTSに流出したパケット流量と同じである。・・・仮定③

ここで、DVエンコーダから流出するパケット流量を $N(\text{bps})$ とする。その結果、仮定①②および③に基づき、DVエンコーダ、DVビューワおよびIPTSが遣り取りするパケット流量は入出力ストリームの本数が式(3)あるいは(3)'で表現できるので、それぞれ

(4)あるいは(4)'と記述できる。

$$N\{e+2(n-1)+m\} \text{ (bps)} \quad \text{-- (4)}$$

$$N\{e+2(n-1)+m\} \text{ (bps)} \quad \text{-- (4)'}$$

このような多地点間動画通信システムの応用を考えると、大学などの教育機関に限定するだけでも、遠隔講義や遠隔会議など少し規模の大きな応用から、複数の組織（研究室や事務系の係部署など比較的小さな単位）の間でのミーティングや事務連絡など、多方面に利用可能である。そこで、以降の節では、数年前から進んでいる地方大学の統合化において顕在化している分散キャンパス間でのリアルタイムな意思疎通を如何に効率良く実現できるかという問題に焦点を合わせて議論したい。

3. ネットワーク会議システムの構成と性能評価のための定式化

3. 1 ネットワーク会議システム構成のための使用条件

はじめに、使用条件について議論する。ネットワーク会議システムの場合、各会議場には、1台のデジタルビデオ(DV)カメラとマイクロフォン(集音型か指向性型かは問わない)が、用意され、DVエンコーダを通じて、IPTS にパケットが送出される。すなわち、

■ 使用条件(イ) $e_i=e=1$

となる。一方、調整用として送信側のDVエンコーダの出力を監視するなどの目的をもったDVビューワを含めて、各会議場には相手のDVエンコーダの出力を表示させるDVビューワが m 台設置されている。すなわち、相手のDVエンコーダはそれぞれ、他のIPTSと対になっているので、 $n-1$ 台あり、当該IPTS分を合わせて、

■ 使用条件(ロ) $m_i=m=(n-1)+1=n$

となる。あるいは、自身のDVエンコーダの出力画面は表示させる必要がない場合、

■ 使用条件(ロ)' $m_i=m=n-1$

とすることが可能となる。

ネットワーク会議システムを分散キャンパス間で運用することを想定しているため、所属する香川大学(以下、「本学」とのみ略記)の現状を具体的な事例として採用する。本学の場合、旧香川大学と旧香川医科大学の統合により、大きく4キャンパスから構成される。その内、教育学部、法学部、経済学部および事務本部が本部キャンパスに位置し、外に、医学部キャンパス、工学部キャンパス、農学部キャンパスが存在する。

一方、本部キャンパスは地理的には接近している

が、より細かくは、教育学部・事務本部キャンパス（事務本部にはVIP 室や主要会議室を含む）と、法・経済学部キャンパス（総合情報センター分室などを含む）、あるいは本キャンパスが学部・事務本部と分かれることを想定して、5 地点までと想定する。すなわち、

■ 使用条件(ハ) $n = 2, 3, 4, 5$
とする。

また、DV エンコーダから流出するパケット流量をN(bps)は、エンコーダに調整機能が装備されているとして、10Mbps, 15Mbps, 20Mbps, 30Mbps の4通りを想定する。すなわち、

■ 使用条件(ニ) $N = 10\text{Mbps}, 15\text{Mbps}, 20\text{Mbps}, 30\text{Mbps}$
とする。従って、使用条件としたは、(イ)から(ニ)までの4通り、5条件となる。

次に、ネットワーク会議システムを構成する IPTS の満たすべき機能を評価する。そのため、任意の1台に着目し、処理するパケット総量を定式化する。ここで、1つの IPTS が属するセグメントに関する DV 情報の送受信に関する総入出力ストリームについて、パケット流量の総量は、使用条件(ロ)より、

$$N\{e+2(n-1)+m\} = N\{1+2(n-1)+n\} = N(3n-1) \quad \text{-- (5)}$$

と記述できる。あるいは、自身の DV エンコーダの出力画面は表示させる必要がない場合には、同じく使用条件(ロ)より、

$$N\{e+2(n-1)+m\} = N\{1+2(n-1)+n-1\} = N(3n-2) \quad \text{-- (5')}$$

と記述できる。

他方、1つの IPTS が属するセグメントと他の IPTS の属するセグメントとの遣り取りに関するパケット流量の総量は、他の IPTS の数量が $(n-1)$ 個であるため、IPTS 間はユニキャストでの通信となり、入出力ストリームの本数は、DV ビューワの台数には依存しないという性質に基づき、

$$N\{2(n-1)\} = 2N(n-1) \quad \text{-- (6)}$$

と記述できる。

3.2 ネットワーク会議システムに望まれるパケット流量の定式化

ネットワーク会議システムに望まれるパケット流量の定式化を行うため、使用条件(イ)から(ニ)までに対し、任意の IPTS に関するパケット流量の総数を式(5)あるいは(5')で表し、セグメント間、従って、キャンパス間の同じく、パケット流量の総数を(6)で表現する。前述したように、定式化には理想的な状況を想定し、IPTS の処理能力は十分大きいと仮定している。

また、セグメント内およびセグメント間の通信は十分な帯域が保証されており、マシン性能およびネットワーク性能には、特段のトラブルが生じる懸念はないとの前提で定式化を行う。表1に IPTS 間および当該 IPTS の配置されたセグメント間でのパケット流量の総量（流出量と流入量の和）を示す。

例えば、表1では、多地点間数 $n=3$ 、パケット流量の総量 $N=20\text{Mbps}$ に対して、上段、中段、および下段の順に、 $N(3n-1)$ 、 $N(3n-2)$ および $2N(n-1)$ の値が、それぞれ、160Mbps, 140Mbps および 80(ボールド)Mbps となっている。

表1 IPTS 間および当該セグメント間でのパケット流量総量(単位は Mbps)

	$n = 2$	$n = 3$	$n = 4$	$n = 5$
$N = 10\text{Mbps}$	$N(3n-1) = 50$	$N(3n-1) = 80$	$N(3n-1) = 110$	$N(3n-1) = 140$
	$N(3n-2) = 40$	$N(3n-2) = 70$	$N(3n-2) = 100$	$N(3n-2) = 130$
	$2N(n-1) = 20$	$2N(n-1) = 40$	$2N(n-1) = 60$	$2N(n-1) = 80$
$N = 15\text{Mbps}$	$N(3n-1) = 75$	$N(3n-1) = 120$	$N(3n-1) = 165$	$N(3n-1) = 210$
	$N(3n-2) = 60$	$N(3n-2) = 105$	$N(3n-2) = 150$	$N(3n-2) = 195$
	$2N(n-1) = 30$	$2N(n-1) = 60$	$2N(n-1) = 90$	$2N(n-1) = 120$
$N = 20\text{Mbps}$	$N(3n-1) = 100$	$N(3n-1) = 160$	$N(3n-1) = 220$	$N(3n-1) = 280$
	$N(3n-2) = 80$	$N(3n-2) = 140$	$N(3n-2) = 200$	$N(3n-2) = 260$
	$2N(n-1) = 40$	$2N(n-1) = 80$	$2N(n-1) = 120$	$2N(n-1) = 160$
$N = 30\text{Mbps}$	$N(3n-1) = 150$	$N(3n-1) = 240$	$N(3n-1) = 330$	$N(3n-1) = 420$
	$N(3n-2) = 120$	$N(3n-2) = 210$	$N(3n-2) = 300$	$N(3n-2) = 390$
	$2N(n-1) = 60$	$2N(n-1) = 120$	$2N(n-1) = 180$	$2N(n-1) = 240$

3地点間で相互通信を行う3台の IPTS の内、任意の1台に着目する。当該 IPTS に対して流入・流出するパケット総量が、160Mbps であることを示す。当該 IPTS が属するセグメント内の DV エンコーダの出力画面は表示させない場合、すなわち、当該 IPTS のセグメント内にある DV ビューワが $(n-1)$ 台の場合、パケット総量は、140Mbps となる。一方、他の2地点間の IPTS と送受信するパケット総量は、80Mbps である。他のセグメントに配置された IPTS とのパケット送受信は、分散キャンパス間で広域ネットワークを介して実現される。パケット総量が80Mbps という100Mbps に近い値となると、多地点間動画通信システムのユーザ以外にもネットワークを利用しており、100Mbps 以上のデータの送受信が見込まれる。これは、キャンパス間の通信速度の上限が100Mbps 程度では、支障が生じることの証左ともなっている (IPTS 間の送受信パケット総量が80Mbps を超えた場合をボールド表示)。

4. ネットワーク会議システムの性能測定と考察

4. 1 1対1通信時および3地点間同時通信時のパケット総量測定結果

今回の実証実験では、3地点の IPTS および DV エンコーダ・DV ビューアの1セットを、24ポート L2スイッチ (Catalyst 2960G) に直接接続し、パケット流量の実測を行っている。この結果、当該1

セットに関して、1対1通信中の、あるいは3地点間同時通信中の、実際のパケット流量を正確に測定することができ、定式化されたパケット流量とその実測値を比較することが可能となる。

先に示す図3では、1対1通信時のパケット流量の測定結果と定式化された値(以下、簡単に理論値と記載)を対比しており、次の図4では、3地点間同時通信時におけるパケット流量の測定結果と同じく理想的なそれとの対比を示している。ここで、図3、4ともに、横軸は DV エンコーダの送出パケット量であり、縦軸は、当該 IPTS 単位でのパケット流量総量 $N(3n-2)$ および当該セグメント単位のパケット流量総量 $2N(n-1)$ である。但し、1対1通信時には、 $n=2$ であり、3地点間同時通信時には、 $n=3$ である。

1対1通信時の比較結果の図3では、定式化したパケット流量総量(理論値)と、実測のパケット流量総量(実測値)は、ほぼ同じ増加直線上に並ぶ。主観的評価でも、使用上ではほぼ問題ないことも確認できた。

一方、3地点間同時通信時の理論値と実測値との比較結果を示す図4では、DV エンコーダの出力が20Mbps 未満 (図4においては17.5Mbps 付近を意味する) までは、両者はかなり一致するものの、20Mbps を超えると増加傾向に大きな違いが発生し、実測値では、飽和あるいは逆に減少傾向 (入出力処理にブレーキが掛かる傾向) を示している。

主観的評価でも、音声や表示画面に支障が起こる

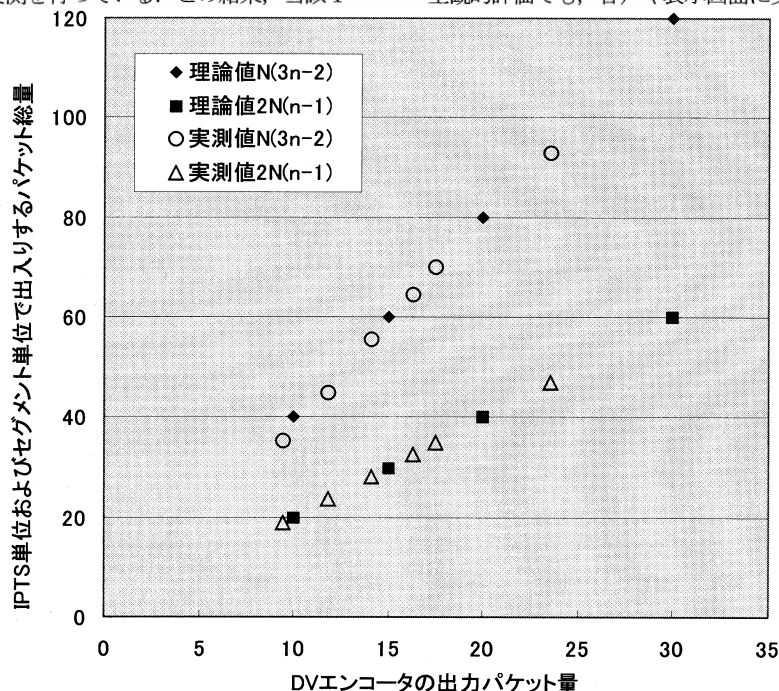


図3 1対1通信時での理論値[$N(3n-2)$ & $2N(n-1)$]と実測値[$N(3n-2)$ & $2N(n-1)$]との比較

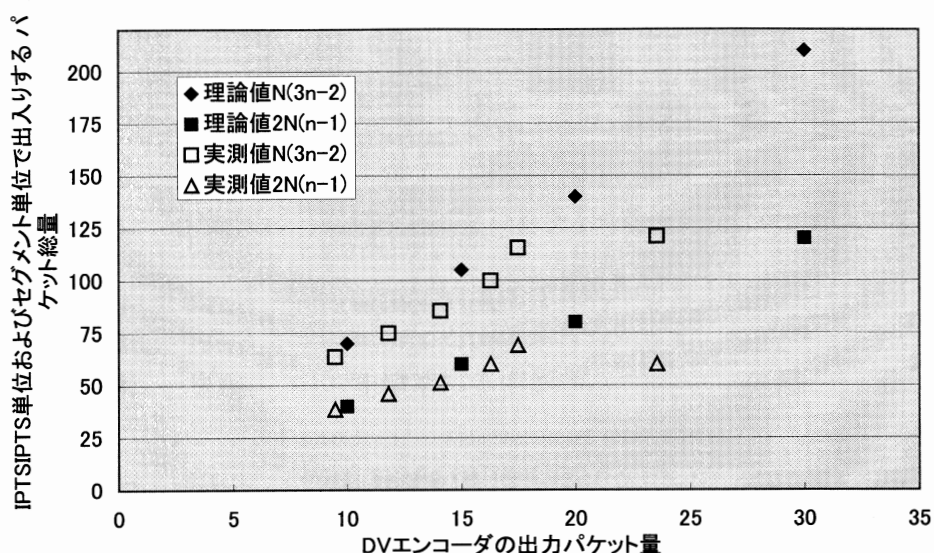


図4 3地点間同時通信時の理論値 $N(3n-2)$ & $2N(n-1)$ と実測値 $N(3n-2)$ & $2N(n-1)$ との比較

など、定量的評価の結果を裏付けるような評価結果、すなわち、DV エンコーダの出力が 15Mbps 付近となると、通信画面にブロックノイズが発生し、受信する音声は乱れ、実用的通信は不可能となった。

4. 2 測定結果に対する考察

1対1通信と比較して、3地点同時通信の場合、IPTS への負担が大きくなり、正常な通信が不可能となる。ここで着目したいのは、DV エンコーダの出力(送出パケット量)が大きくなるに従い、ブロックノイズが発生し、音声は乱れ、ついには飽和の現象(セグメント間通信におけるパケット総量)やブレイクダウンの現象(IPTS 単位で取り扱うパケット総量)が顕在化するという事実である。

一方、ネットワーク環境の問題も大きいと思われる。キャンパス間を 70Mbps で通信することは、当然ながらエンドツーエンドでも同様の通信速度を必要とする。しかし、基幹スイッチや建物に1台ずつ設置された L3 スイッチはギガビット対応になっているものの既存の L2 スイッチは 100Mbps 対応機であり、本実証実験も通常のネットワークユーザ利用を前提し、その処理能力の限界に達していると想像できる。既存の L2 スイッチとギガビット対応 L3 スイッチや IPTS などの実証実験機器の最大転送容量 MTU が異なれば、輻輳現象が顕在化し、通信効率を大きく低下させることになる。

5. おわりに

本稿では、分散型キャンパスの情報通信環境を活用すると同時に、ネットワークの効率的運用を目指

した取り組みとして、IPTS および DV エンコーダ・DV ビューアからなる多地点間動画通信システムの構成とその評価の試みについて述べた。

評価結果は、1対1通信においては、所定の比較結果を得たものの、本来の目的である多地点間通信では、最小構成の3地点間同時通信時において、既に、パケット総量の増加と共に、飽和現象やブレイクダウン現象が発生し、理想的なシステム性能が出ず、所期の目的を達成できないことも判明した。今後、より詳細な要因分析を行い、望ましい多地点間同時通信を実現できる機能構成を提案していきたい。

謝辞：ネットワークシステムズ野間秀隆氏・山下俊昭氏、NTT-AT の小池成氏には、ネットワークの実証実験環境を提供いただいた。曽根計俊氏、山地博氏、横山美保氏、川田延枝氏、多田志乃舞氏には、実証実験に協力いただいた。本研究の一部は、平成20年度香川大学奨励研究(特別枠)「実践的学習ベースの分散ネットワーク(NW)運用技術・検証技術に関する調査実証研究」経費の支援による。

参考文献

- [1]井上, 谷, 高橋, 湊, 宮崎, 豊島「Flexcast による段階的導入に優れたマルチキャストシステムの設計と実装」信学論, vol.J88-D1, No.2, pp.272-291, 2005
- [2]LiveSpark
<http://www.ntt-at.co.jp/product/livespark/index.html>
- [3]DV 転送システム
<http://www.sfc.wide.ad.jp/DVTS/index-j.html>
- [4]DV-CUBE
<http://www.fase.co.jp/DvCube/index.htm>