

## パーソナライズメディアストリーム配信の提案

佐藤克彦<sup>†,††</sup> 勝本道哲<sup>†††</sup>

†電気通信大学 ††日本無線株式会社

†††独立行政法人通信総合研究所

インターネット技術を基盤とした広帯域情報流通インフラの構築が進展し、MPEG-2 や DV 等の圧縮技術による高品質な映像・音声の配信(～数十 Mbps)の実現が目前である。筆者らは、次世代高速インターネット上での放送型コンテンツの配信において、新しいアプリケーションの創出、ならびにそれを実現するための新しい技術の提案の試みを行っている。本稿では、個々のユーザのニーズに合わせて多様な映像・音声を生成し、実時間ストリーム転送によって安定した品質かつ各ユーザに個別に配信する方法を提案する。そして、その実現法の技術的課題として、インターネットにおける配信手法に焦点を当て、要素となる技術を抽出し検討した結果を報告する。ここでは、ネットワークリソースの膨大な消費を抑えるために、マルチキャストを前提とした配信手法について論じ、各種マルチキャスト手法の可能性と応用方式の提案、ならびにインターネットへの実装モデルと考察を示す。

## A Proposal for Personalized Media Stream Delivery

Katsuhiko Sato<sup>†,††</sup> Michiaki Katsumoto<sup>†††</sup>

†The University of Electro Communication ††Japan Radio Co.,Ltd

†††Communication Research Laboratory

A broadband infrastructure for high-quality contents distribution, which is based on the Internet technologies, has been growing rapidly, and the advent of Internet delivery of compressed high-quality video/voice for example MPEG-2 or DV (dozens of Mbps) is just around the corner. We have been trying to create new applications and propose new technologies from the point of view of distributing contents for broadcast over the Next Generation high-speed Internet. In this paper we present the scheme of producing video/audio contents that are optimized to each user's needs and delivering them separately with stable quality by using the streaming technique. And we report our considerations of some fundamental techniques, focusing delivering contents over the Internet. To save network resources, we discuss multicast as delivering techniques, and then we show verifications and extensions for some kinds of multicast technique to have been proposed and some models of implementation to the real Internet.

### 1. はじめに

近年、WebCasting[1]と呼ばれるインターネット放送サービスが数多く登場し、入力映像・音声を直ちに配信するライブ放送のほか、ユーザの要求に応じて任意の時刻に配信するオンデマンド放送が提供されている。これらは、主としてデータを定常的なレートで送信し、受信システムにおいてはコンテンツの全データを受信し終わる前に実時間再生するというストリーム転送によって行われている。またネットワークへの負荷を低減するための手法としてマルチキャスト配信やコンテンツキャッシュサーバの分散配置等の技術が用いられている。WebCasting は、インターネットの新しいアプリケーションとして大いに期待されるが、現状のインターネット環境では、ユーザが必ずしも満足する品質でコンテンツが配信されているとはいえない。一方、インターネット技術を基盤とした広帯域な情報流通インフラの構築が急速に進展しつつあり、現行の TV 放送と同程度、或いはそれ以上の高品質な映像・音声配信の実現が期待される。既に[2]ではその実証実験の報告がなされている。

このようなことを背景に筆者らは、広帯域情報流通インフラを前提とした映像・音声配信の新しいアプリケーションの創出、ならびにそれを実現するための新しい技術の提案を試みている。本稿では、次世代高速インターネット上での放送型コンテンツの配信において、個々のユーザのニーズに合わせて多様な映像・音声を生成し、かつ実時間ストリーム転送による安定した品質で各ユーザへ個別に配信するシステムを提案する。そして本稿では、技術的課題としてインターネットにおける配信手法に焦点を当てる。

放送型コンテンツの配信において、個別化した映像・音声を安定した品質で実時間ストリーム転送によって配信する場合、膨大なネットワークリソースを消費する。従って、マルチキ

ャストによる配信を考えるが、個別化された多様な映像・音声の実時間配信に対しては簡単に適用することはできない。ここでは、非同期マルチキャストと階層化マルチキャストと呼ばれるマルチキャスト手法を取り上げ、本提案システムへの適用を検討するとともに応用方式を提案し、両マルチキャスト方式を相互に動作させる効果的な方式についても提案する。また、実際のインターネット上への実装方法も検討し、いくつかの実装モデルを示す。

以降、2 章では、本提案のコンセプトを述べ、3 章では、ネットワーク配信方法としてマルチキャストにおける課題を述べる。そして、4 章では、関連研究として非同期マルチキャストと階層化マルチキャストについて説明し、5 章ではそれらの適用の検討と応用を提案する。最後に 6 章では、実際のインターネットへの実装モデルと考察を述べる。

### 2. パーソナライズメディアストリーム配信

情報コンテンツがデジタル化し、伝送媒体が広帯域化すれば、インターネット上で通信サービスの他に放送サービスも行うことができるようになる。特にインターネットの双方向性を利用すれば、個々のユーザが持つ特性に基づいて個別化した情報を提供する放送サービスが可能である。

パーソナライズメディアストリーム配信は、放送型コンテンツの配信において、

個々のユーザの嗜好やライフスタイル、受信システムの能力等の情報に基づき多様な映像・音声を生成し、

各ユーザへ個別に、かつ適切に保証された品質で実時間ストリーム転送によって同報配信する、

ことを実現するシステムである。多様な映像・音声の配信とは、例えば、配信システムにおいて予め用意された複数種類のビデオシーン(セグメント)やビデオオブジェクトを、ユーザの嗜好情報等に基づき適切に組合わせて配信したり、ユーザの

受信システムの再生能力に応じて適切な品質で配信したりすることをいう。

パーソナライズメディアストリーム配信は、コンテンツ提供側の放送型情報提供による効率的な情報配信とユーザのターゲティングによる差別化した情報配信の相互作用であり、今後インターネットをベースに企業活動を展開する上でも期待される技術であると考えられる。

### 3. マルチキャスト配信における課題

本稿では、パーソナライズメディアストリーム配信の技術的課題の一つとしてインターネット上での配信方法を取り上げる。

個々のユーザに個別化され類似したコンテンツの配信、および任意の時刻に配信するオンデマンド配信を、最も簡単な方法で行うためには、ユニキャストによって配信すればよい。しかしながらユニキャストによる配信は、コンテンツ配信システムから個々の受信システムに対し個別のフローで配信するため、配信対象となるユーザが多数になると、膨大なネットワークリソースを消費してしまう。ネットワークが広帯域化するとはいえ、コンテンツの配信においては、ネットワークリソース消費の極小化を図る方策が必要である。

これに対してマルチキャストによる配信は、配信システムから単一のフローがネットワーク内の中継ノードによって必要に応じ複数のフローにコピーされて各受信システムまで配信されるため、リソースの大幅な節約ができる。しかしながら、実時間ストリーム転送といったリアルタイムマルチキャスト配信においては、マルチキャストグループに含まれるメンバー間の視聴時刻と視聴内容が同一のものとなるため、単純に提案システムへ適用することはできない。

任意の時刻でのオンデマンド配信に対し、マルチキャストを使う方法として、マルチキャストとユニキャストを併用することによって時間的差分を吸収する非同期マルチキャストが提案されている。また、ユーザに合わせて多様な品質でマルチキャスト配信する方法としては、階層化マルチキャストが挙げられる。しかしながら、提案システムのように個々のユーザに多面的に個別化したコンテンツの配信に対し、これらの技術をどのように適用していくかを検討する必要はあり、またこれらの技術は個別に検討されてきているため、両技術の相互作用についても検討する余地がある。さらに両技術を包括した実際のインターネットへの実装方法についても検討する必要がある。

## 4. 関連研究

### 4.1 非同期マルチキャスト

非同期マルチキャスト配信の基本は、配信時刻が近傍する複数の受信システム間で、配信期間内で共通するデータ部分の配信をマルチキャスト配信として集約する。そして、マルチキャスト配信に含まれなかった時間的な差分のデータはユニキャストで個別に配信する。従って受信システムでは、マルチキャストによる配信データとユニキャストによる配信データを同時に受信し、直ちに再生されないマルチキャスト配信データは蓄積しておく。

非同期マルチキャストの方法には、コンテンツをセグメントに分割して再生レートよりも数倍の伝送レートで高速配信することをベースにする方法[3][4]と、ストリーム転送ベースで配信[5]する方法がある。また、時間的な差分部分をバースト転送する方式[6]も提案されている。

### 4.2 階層化マルチキャスト

階層化マルチキャストは、主として階層符号化されたビデオの配信において適用される。階層化マルチキャストの基本は、階層符号化された各階層のデータを複数のマルチキャストグループに割当て、各受信システムは必要とする階層のグ

ループを受信する。この階層化マルチキャストは既に開発、標準化提案されているものとして[9]が挙げられるが、ネットワークの負荷状況に応じて受信システムがダイナミックに受信する階層数を制御する方法として、[7]をはじめ数多く提案されている。また、ネットワーク内の中継ノードがこれと連動する方法[8]も提案されている。

## 5. 各マルチキャスト手法の検討と応用の提案

### 5.1 非同期マルチキャストの検討と応用の提案

非同期マルチキャストにおいて、方式[3][4][6]では、受信システム側の伝送インターフェースが広帯域であることが前提であり、かつストリーム転送ベースでないため、本稿で提案するシステムには適用できない。一方、方式[5]はストリーム転送ベースであるため提案システムに向いていると考えられる。しかし[5]においては、マルチキャストへ集約する平均タイミングと、刻々と変化するコンテンツ配信要求の平均発生率及びコンテンツの平均配信時間との関係について言及していない。

そこで本稿では、ストリーム転送ベース非同期マルチキャストの効果を最大に引出すため、[5]における基本原理に対して、上記問題に関する検討結果を付与し、コンテンツ配信システムにおいて、簡易的に、適切なトラフィック量で配信を制御する方法を提案する。

ここでは、[5]における基本的な考えに基づき配信トラフィック量を計算する。提供されるコンテンツは固定ビットレートで配信され、その配信時間は平均  $h$ 、配信要求はランダムに発生(ポアソン分布と仮定)しているとし、平均発生率 =  $\lambda$ 、平均発生間隔 =  $1/\lambda$  であるとする。図 1 は、まずある受信システムへの配信を共有フローとしてマルチキャスト配信し、後につづく他の受信システムへの配信が個別フローとしてユニキャスト配信されている様子を表す。図で示されるように個別フローは共有フローに含まれていないそれまでの分(共有フローの先頭からその個別フローの先頭が配信されるまでの時間に対応する分)が配信される。ちなみに、このような非同期マルチキャスト配信は、受信システムへの配信要求が散漫(すなわち  $h \gg 1$ )のとき、つまり、共有フロー配信時間内に後に続く配信フローが発生しないような場合には全くメリットがないことに留意する。

さて、共有フローの平均発生率を  $\lambda$  とする。  $\lambda h < 1$  であり、個別フローの平均発生率は  $\lambda - 1/n$  となる。また、  $\lambda h$  と  $1/n$  の比率を  $n$  を使って表し、  $n = \lambda h / (1 - \lambda h)$ 、

$h > n > 1$  とする。ここで、共有フローと共有フローの間に発生する個別フローの数は、  $1 / (1 - \lambda h) - 1 = n - 1$  である。個別フローは平均  $1/\lambda$  時間毎に発生するので各個別フローの配信時間は順次  $x/\lambda$ 、 $x=1,2,\dots$  となる。ゆえに個別フローの平均配信時間  $T$  は、

$$T = \frac{1}{n-1} \sum_{x=1}^{n-1} \frac{x}{\lambda} = \frac{1}{n-1} \cdot \frac{1}{\lambda} \cdot \frac{1}{2} n(n-1) = \frac{n}{2\lambda} \quad \text{式1}$$

となる。配信トラフィック量は共有フローのトラフィック量と個別フローのトラフィック量の和であるから、

$$\rho = \lambda h + (\lambda - \tau)T = \frac{\lambda h}{n} + (\lambda - \frac{\lambda}{n}) \cdot \frac{n}{2\lambda} = \frac{\lambda h}{n} + \frac{n-1}{2} \quad [\text{erl}] \quad \text{式2}$$

となる。上式において、 $n$  を 1 から増加すると  $\rho$  は減少していき、 $n = \sqrt{2\lambda h}$  のときに  $\rho$  は最小値を取り、さらに  $n$  を増加すると  $\rho$  は増加していく。このことからコンテンツを配信するシステムは常時  $h$  をモニタリングし、逐次最適な  $n$  を求めて動的に共有フローの発生間隔を変化させれば、ネットワークリソース消費を極小化する効果的な非同期マルチキャストを行うことができる。また、 $n$  は小さいほど受信システムにおいて用意すべき平均バッファサイズが少なくて済む。

従って  $n$  の決定は、配信トラフィック量の極小化と受信システムで使用するバッファサイズのトレードオフとなる。このことから配信システムは  $n$  を操作することにより受信システムバッファサイズを勘案しつつ、配信トラフィック量を平滑化する制御が可能である。例えば  $n$  は初め、許容される配信トラフィック量の範囲においてできるだけ小さい値を設定し、配信要求の増加にともなう配信トラフィック量の増加を抑制するために  $n$  を最大  $\sqrt{2\lambda h}$  まで変化させるといったトラフィック制御ができる。

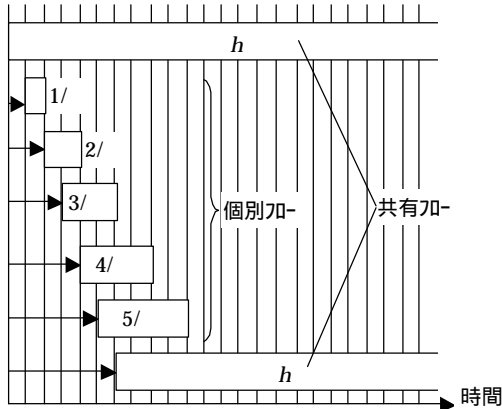


図1 非同期マルチキャスト

### 5.2 階層化マルチキャスト検討と応用の提案

ここでは、階層化マルチキャストの原理と効果を整理する。そして、これまで階層化マルチキャストが階層符号化ビデオにおいて品質レベルでの多様な配信を対象にしてきたのに対し、ビデオセグメント(シーン)やビデオオブジェクトにおいて多様化したマルチキャスト配信に応用することを提案する。

図2は、マルチキャストツリーで、類似した情報  $A$  と  $B$  を配信するいくつかの方法を示している。それぞれの情報に対してマルチキャストグループを割当てて配信するサイマルキャストの場合、トランクにおいて配信されるトラフィック量を  $A+B$  と表すとする。階層化マルチキャストの場合、情報  $A$  と  $B$  の共通部分と差分を見出し、それぞれに対してマルチキャストグループを割当てて配信するので、トランクにおけるトラフィック量は  $A+B-(A \cap B)$  となる。 $A$  と  $B$  に共通部分が存在し、共通部分が大きいほど、サイマルキャストと比較して階層化マルチキャストのトラフィック量は減少する。階層符号化ビデオに対する階層化マルチキャストにおいては、 $A \subset B$  または  $A \supset B$  であり、トランクにおけるトラフィック量は  $A$  または  $B$  ということになる。

ここでは、サイマルキャストと階層化マルチキャストに加えて、準階層化マルチキャストという方式を新たに定義しておく。これは、情報  $A$  と  $B$  の共通部分と差分を見出すが、個別にマルチキャストグループを割当てずに単一のグループによって  $A+B-(A \cap B)$  の全てを配信する。図から明らかな様に準階層化マルチキャストはサイマルキャストと比較すると、トランクにおいてはトラフィック量を減らすことができるが、ブランチにおいてはトラフィック量が増えてしまう(ただしブランチがマルチポイントリンクネットワークである場合は、トランクと同様にトラフィック量が減ることになる)のが特徴である。このことから準階層化マルチキャストは  $A$  と  $B$  に共通部分が少ないケースでは利点がないが、共通部分が大きいケースでは有効である。準階層化マルチキャストの最大の意味は、 $A$  と  $B$  に1つのマルチキャストグループを設定するだけでよいため、ネットワークにおけるマルチキャストルーティングやパケットフォワーディングの実行において煩雑さが少なく済むことにある。

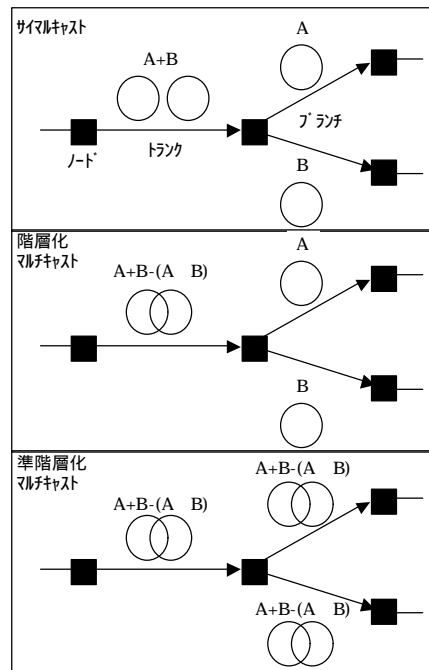


図2 階層化マルチキャストと準階層化マルチキャスト

さて、本稿では、セグメント(シーン)、オブジェクトにおいて多様化した階層化マルチキャストの適用を検討するが、MPEG-4 情報圧縮技術を用いる。MPEG-4 のビデオ構造は、ビデオセグメントに相当するビデオオブジェクトシーケンス(VS)が在り、VSは複数のビデオオブジェクト(VO)から成る。さらに VO は複数のビデオオブジェクトレイヤ(VOL)から成る。VOL は時空間スケラビリティを表現するものであり、例えば VOL0 を基本レイヤ、VOL1 を高位レイヤとすると、VOL0 + VOL1 の情報から高解像画像が再生される。また VOL は複数のビデオオブジェクトプレーン(VOP)から構成される。

MPEG-4 を適用した階層化マルチキャストにおいて、品質とセグメントに対して多様化する配信には階層化マルチキャスト、オブジェクトに対して多様化する配信には準階層化マルチキャストを適用する。

品質の階層化マルチキャストは、従来どおり、基本レイヤ、高位レイヤそれぞれにマルチキャストグループを設定し、受信システムは所望の品質に応じて1つ或いは複数のマルチキャストグループに参加する。なお、解像度のレイヤは VO 単位ではなく、VS 単位に決める。

セグメントの階層化マルチキャストは、基本的に、時間毎にユーザ間で共通となる VS 同士を括り、それらと残りの差分のそれぞれにマルチキャストグループを設定する。受信システムは、時間毎に受信したい VS に応じてマルチキャストグループの参加を動的に変更する。これを容易に実施するための1つの方法として、時間毎に参加するマルチキャストグループの遷移パターンをユーザの特性に合わせて数種類用意し、これをユーザグループとして分類して、受信システムは配信に先立ちこれを獲得しておくといったことが考えられる。

オブジェクトの準階層化マルチキャストは、VS にユーザが要求する可能性がある全ての VO を含めて配信する。各 VO にはマルチキャストグループは割当てない。受信システムでは、マルチキャストグループとは別の手段によって、再生する VO を選択する。準階層化マルチキャストにする理由は、オブジェクト単位でのマルチキャストグループを設定するこ

とにより、ネットワークにおけるマルチキャストツリーの構築やリソース予約などの制御が煩雑になることを避けるためである。

### 5.3 非同期マルチキャストと階層化マルチキャストの相互動作の提案

これまでに議論した非同期マルチキャストと階層化マルチキャストは互いに干渉せずに実装することは可能である。しかし、両者が連携することによるいくつかの有効な方式を提案することができる。

第一の提案は、非同期マルチキャストにおいて配信システムの個別フローの配信処理を、階層化マルチキャストを組み合わせることによって簡素化する。これは、共有フロー間に存在する全ての個別フローの配信期間を、セグメントに対する階層化マルチキャストにおいて対象となる1セグメントの配信期間に置換える。これにより配信システムと受信システムでは、各個別フローの要求発生時刻によって異なる配信期間を厳密に意識することなく、セグメント単位で扱うことができる。この方法によると配信トラフィック量は、1セグメントの配信時間が1/より大きくなるようにすることを前提に、式2のTに1/を代入してを求め、

$$\rho = th + (\lambda - \tau) \frac{1}{\tau} = \frac{\lambda h}{n} + (\lambda - \frac{\lambda}{n}) \cdot \frac{n}{\lambda} = \frac{\lambda h}{n} + n - 1 \quad [\text{erl}] \quad \text{式3}$$

となる。式2と比べてトラフィック量は増加するものの、非同期マルチキャストによるトラフィック量の削減効果は維持できる。

第二の提案は、セグメントに対する階層化マルチキャストにおいて、煩雑となるマルチキャストグループの割当ての問題を解決する。受信システムでは、複数のマルチキャストグループへの参加があり、ネットワークではマルチキャストツリーの再構築を動的に行う。この際、配信システムが各セグメントを配信する前に、マルチキャストツリーの再構築を完了していなければならない。このようなツリー構築のオーバーヘッドを、非同期マルチキャストを利用することによって吸収する。

まず、最初のユーザ(非同期マルチキャストにおいて共有フローのみを受信するユーザ)に対して配信するコンテンツを含む一連のセグメント群(ユーザグループ)に、一貫して同一のマルチキャストグループを割当てて。そして、後に続くユーザ(固有フローと共有フローの両方を受信するユーザ)へ配信するコンテンツに含まれるセグメント群(ユーザグループ)が、既に配信されているコンテンツに含まれるセグメント群(ユーザグループ)と異なって発生したとき、差異となるセグメントに新たなマルチキャストグループを割当てていく。

この方法は、つまり次のことを意味している。共有フローのみを受信する最初のユーザは、受信した共有フローを直ちに再生するため配信期間中マルチキャストグループの遷移がないようにする。一方、固有フローを併用して受信する後続のユーザは、共有フローを一時的にバッファリングするため再生までに時間的余裕があり、ネットワークはその間にマルチキャストツリーの再構築を行えばよく、配信期間中に再生マルチキャストグループの遷移を許容する。

こうして、非同期マルチキャストとの相互作用によりセグメントに対する階層化マルチキャストを実現することができる。図3は、この方式を含むMPEG-4を利用した階層化マルチキャストを示す。

## 6. インターネットインプリメント

これまで議論した非同期マルチキャストと階層化マルチキャストの実インターネット上での実装について検討する。

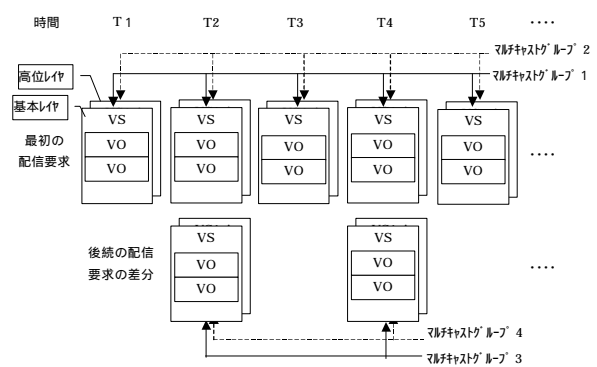


図3: MPEG-4を利用した階層化マルチキャストの応用

### 6.1 ネットワーク要求条件

まずコンテンツ配信の重要な条件として、視聴期間中は一貫したQOSを提供する。つまり、ベストエフォート配信やユーザの意思を無視した動的な品質調整を行わない。これは、配信コンテンツが、現行のTV放送の様に有料であったり、或いはCMを伴って提供されたりすることを想定するためである。従って、ネットワークに対する第一の要求は、高いQOS保証をするためのトラフィック制御能力である。

また、階層化マルチキャストでは、受信システムにおいてマルチキャストグループの遷移が行われ、マルチキャストツリーの動的な再構築が頻繁に発生する。従ってネットワークに対する第二の要求は、敏速なルーティングとパス設定能力である。

### 6.2 ネットワーク基本フレームワーク

上記2つの要求に対するネットワークの制御方法として、集中管理方式と分散管理方式が挙げられる。集中管理方式は、ある特定の管理システムがネットワーク制御のデータベースを一元的に保持し、シグナリングやルーティング機能を一括して実施する。一方、分散管理方式では、ネットワークの中継ノードが自律的にトポロジやリソース情報等を交換し、各々が同一のデータベースを保持してルーティングやシグナリングを協調して実施する。集中管理方式は、分散管理方式で必要となる中継ノード間のデータベース同期のための情報交換手順等を省くことができるという利点がある。また、独特な管理ポリシーを定義して、独自のネットワーク制御を施行できるという利点がある(例えばルーティングにおいて一般的なメトリック[帯域、遅延]のほかに特殊なメトリックを用いたりすることができる)。一方、分散管理方式では、ネットワーク内の中継ノードに他の中継ノードと協調するための必要な機能を実装すれば、ネットワーク全体の管理と切離してネットワークトポロジを自由に変更できるという接続性の利点がある。

また、実時間ストリーム転送によるコンテンツ配信において、一貫したQOSを提供する方法として、プロビジョニング型QOS保証方式とリソース早取型QOS保証方式が考えられる。プロビジョニング型QOS保証方式では、個々の配信におけるトラフィックを対象とせずに、複数の多重化されたトラフィックの統計的なプロビジョニングを行い、リソースの過剰投資によってQOS保証を実現する。一方、リソース早取型QOS保証方式の基本は、個々の配信において配信開始前にシグナリングを実行し、アドミッション制御とリソース予約を行うことによるリソースの争奪をすることによってQOSを保証する。

### 6.3 実装モデル

ネットワーク実装モデルを示す。本稿では、全ての実装モデルに対し、MPLS(Multi Protocol Label Switch)[13]を前提

として検討する。MPLS は、FEC(Forwarding Equivalence Classes)と呼ぶ同一のラベルで表される様々な集約度・粒度のパケット流に対し、カットスルー(簡略化したパケット転送処理)による高速データ転送を実現する。また、ネットワーク制御において、FEC に対して LSP(Label Switch Path)と呼ぶコネクションを設定することにより、QOS 等の特定の要件に基づく柔軟なルーティングやトラフィック制御を実施することを可能とする。

### 6.3.1 検討モデル 集中管理型-プロビジョニング QOS 保証

このモデルは、ネットワークがデータ転送プレーンと制御プレーンで構成される集中管理型ポリシネットワークである(図 4)。データ転送プレーンでは Diffserv(Differentiated Services)[12]と MPLS を実行する中継ノード(図中 LS)で構成する。

Diffserv は、インターネットにおける CoS(Class of Service)を実現するための技術であり、DS ドメインという閉じたネットワークにおいて内部の中継ノードの挙動(PHB:Per Hop Behavior)を表す DSCP(Diffserv Code Point)を各パケットに設定することによりトラフィックの制御を行う。Diffserv では、アプリケーションやユーザ毎の個々のフローを対象とせずに、サービスという単位で複数のフローを多重化して取り扱い、プロビジョニングによる余裕リソースを見積もるという概念がベースになっている。

このモデルでは、マルチキャストツリーとして半固定的に LSP を設定する。この LSP は、配信システム(図中 S)から送信されるユニキャストと全てのマルチキャストグループのフローを 1 つの FEC として集約する。そして、この LSP には、転送のサービスクラスとして EF-PHB(Expedited Forwarding-PHB)[15]を設定する。EF-PHB は、他のトラフィックより高い QOS(低遅延、低損失率、低ジッタ)を提供するクラスとして規定される。各中継ノードにおけるトラフィックの最小送出レートを保証し、これらのノードのトラフィック最大流入量を最小送出レート以下にすることによってキューの成長を極小化し、高い QOS を保証する。

ここで、先に本稿で提案した非同期マルチキャストにおけるトラフィック量の制御方法が有効である。配信システムでは、配信トラフィック量をモニタリングしながら共有フローの発生率を動的に変化させ、上記 EF-PHB で求められる LSP への最大流入量を調節することが可能である。

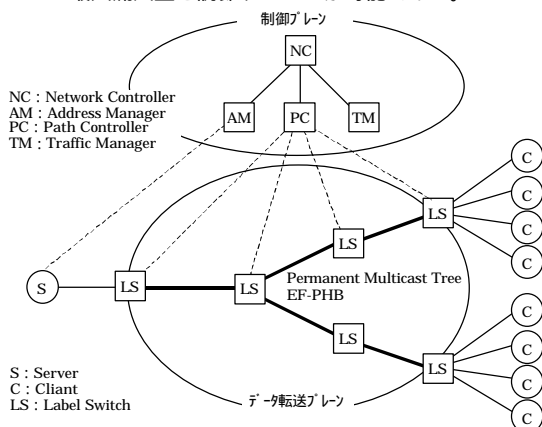


図 4 検討モデル

一方、制御プレーンはネットワーク制御システム(図中 NC)、アドレス管理システム(図中 AM)、パス制御システム(図中 PC)、トラフィック管理システム(図中 TM)で構成する。ネットワーク制御システムは、ネットワークリソースの利用ポリシーを制御し、ここでは半固定マルチキャストツリーの構築と

ネットワークリソースの配分等を決定する。トラフィック制御システムは、QOS パラメータを伴うトポロジデータベースを保持し、パス計算と各リンクに対するアドミッション制御とリソース予約を実施する。アドレス管理システムは、所定のスコープ内のマルチキャストアドレスを管理する。配信システムは、配信に先立ちマルチキャストアドレスを取得し、受信システム(図中 C)に伝達しておく必要がある。パス制御システムは、計算されたパス情報に基づき、パス上の中継ノードにラベル設定/解除の指示を行う。

### 6.3.2 検討モデル 集中管理型-リソース早取 QOS 保証

このモデルも、ネットワークがデータ転送プレーンと制御プレーンで構成される集中管理型ポリシネットワークである(図 5)。データ転送プレーンでは MPLS を実行する中継ノードで構成する。FEC は、ユニキャスト及び個々のマルチキャストグループ毎といったマイクロフロー単位で割当て、配信要求発生次第に制御プレーンからの指示により LSP を設定する。MPLS を実行する中継ノードは、マイクロフロー毎に高い QOS を保証するため、マイクロフロー単位のリソース予約とトラフィックに対するポリシングやシェーピングを実行する。

制御プレーンには、前のモデルに対して呼制御システム(図中 CC)を追加する。呼制御システムは、配信を要求する受信システムからの呼に対する制御とその呼に対応するデータ転送プレーン上のコネクション状態を管理する。受信システムから配信要求を受けた配信システムは、ユーザグループを決定し呼制御システムに通知する。呼制御システムは、アドレス管理システムからマルチキャストアドレスを取得するとともに、トラフィック管理システムに対して、パス計算と各リンクに対するアドミッション制御、リソース予約を要求する。そして計算されたパス情報をパス制御システムに渡し中継ノードにラベル設定を行う。

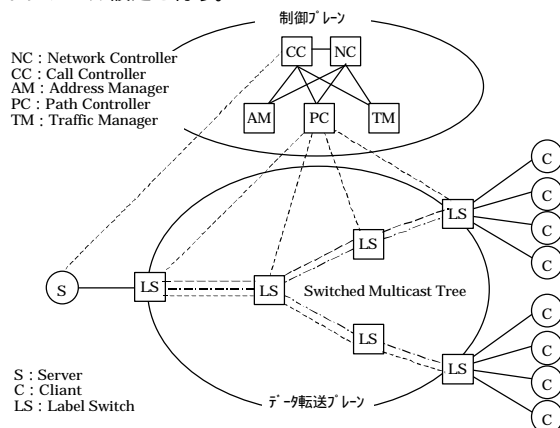


図 5 検討モデル

セグメントの階層化マルチキャストにおいては、受信システムは配信期間中に複数のマルチキャストグループへ参加することになり、各マルチキャストグループのツリー再構築が動的になされる。そのため、各セグメントの配信の開始は、マルチキャストツリー構築の完了を待たなければならない。従って、呼制御システムは配信システムとパス制御システムと連携をとり、敏速なラベル設定/解除とセグメント配信の同期を行う。

また、配信期間中、一貫した QOS 保証を行うためには、配信に先立ちリソースの予約が必要であり、配信期間中に参加する予定の全てのマルチキャストグループにおいて使用する中継リンク・ノード上のリソース確保しなければならない。トラフィック管理システムでは、時間軸をともなったりソース管理のデータベースを実装する必要がある。

### 6.3.3 検討モデル 分散管理型-リソース早取 QOS 保証

このモデルは、データ転送プレーンと制御プレーンが分離されておらず、個々の中継ノードが、マルチキャスト配信ツリーの構築や QOS 保証のためのルーティングやシグナリングを互いに協調することによって行う。MPLS をベースとする場合、マルチキャスト LSP を設定するためのラベル設定とリソース予約を行うトリガとして、マルチキャストツリーを構築する際のルーティングメッセージを利用する。例えば、明示的な参加メッセージを使用するマルチキャストルーティング プロトコル PIM-SM(Protocol Independent Multicast-Sparse Mode)[17]や CBT(Core Based Tree)[18]の利用が挙げられる[16]。ネットワーク内の各中継ノードはそれぞれ、QOS パラメータを伴う同一のトポロジデータベースを保持し、個々のマルチキャストグループへの参加とツリー構築の過程でアドミッション制御、リソース予約、ラベル設定を行う。これらが正確に機能するためには、各ノードにおけるデータベースの同期が必要である。また、前出のモデルと同様に、階層化マルチキャストにおいて、各セグメントの配信の開始はマルチキャストツリー構築の完了を待たなければならない。さらに、配信期間中、一貫した QOS 保証を行うために、各ノードにおいては時間軸をともなったリソース管理データベースを持つ必要がある。

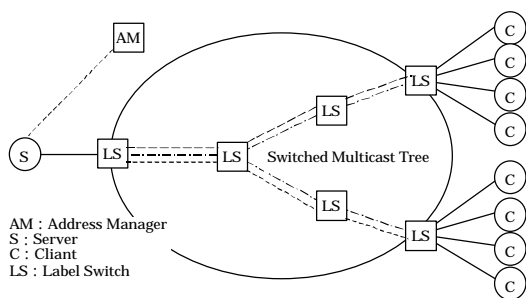


図 6 検討モデル

### 6.4 考察

検討モデル は、いわば準階層化マルチキャストであり、ネットワークリソースの無駄な消費をなくすための動的なマルチキャストツリー設定の代わりに、静的なマルチキャストツリーに対し、集約したトラフィックのプロビジョニングすることによりリソースの効率的使用を図る。第一のネットワーク要求条件を無視することができるが、各ブランチに定期的にトラフィックが流れるようなプロビジョニングとツリー設計が必須であり、ネットワークトポロジの柔軟性は乏しい。

検討モデル は、第一、第二のネットワーク要求条件を満たすための潜在的な能力を備えているが、階層化マルチキャストにおけるマルチキャストツリーの再編が頻発する場合は、中継ノードへのラベル設定/解除手続きが煩雑となる。ラベル設定とセグメント配信は正確な同期が要求されるため、当モデルが適用するネットワーク規模は、中継ノード数の点で限定されることになる。

検討モデル は、検討モデル と機能的には同じである。しかし、第二のネットワーク要求条件を満たす、迅速なラベル設定とセグメント配信の正確な同期を実施するための効果的な方法を考案する必要がある。また、制御プレーンでの機能が個々の中継ノードに要求されることになり、中継ノード間の手続きの仕様化と機能を実装するための負担が大きい。

結論としては、まず、実装の初期段階として、集中管理型が望ましいと考えられる。また、検討モデル は、トポロジが安定し、トラフィックが集まるコアネットワークへの適用

が考えられる。検討モデル は、小規模なネットワークでの運用に限定され、コアネットワークの配下のアクセスネットワークでの適用が考えられる。なお、これら 2 つのモデルの相互動作は今後の課題である。

### 7. まとめ

次世代高速インターネットを前提に、新しいコンテンツデリバリーとしてパーソナライズメディアストリーム配信を提案した。本稿では、特にネットワーク配信手法に焦点をあて、非同期マルチキャストと階層化マルチキャストの検討とその応用を示し、両者を合わせた効果的な方法を考案した。また、実際のインターネットへの実装モデルもいくつか示し、考察を与えた。今後の課題として、ネットワーク配信手法においては、コアネットワークとアクセスネットワークへの適用を考慮した 2 つの検討モデルの連携、マルチキャストアドレスの割当方法、時間軸を伴うリソース管理方法、ネットワークシステム間の具体的なシグナリング、受信システムモデルや配信されるメディア間の同期の検討が挙げられる。また、ネットワーク配信手法の検討とは別に、ユーザの嗜好やライフスタイルを反映するプロファイルの定義とデータベース化、プライバシー侵害という法的な問題も踏まえた個人情報の手や、圧縮ベースのビデオシーケンス・オブジェクトの管理、及び画像内のオブジェクトの識別・分離(自然画像からの任意形状画像信号の生成方法)等の検討が挙げられる。

### 参考文献

- [1] Peggy Miles, Internet World Guide to Webcasting, John Wiley & Son, 1998
- [2] 中川晋一, 勝本道哲, IP 通信によるデジタルメディアの将来, 情報処理 VOL.41 No.12, Dec. 2000
- [3] H. Woo, C.K. Kim, Multicast scheduling for VOD services, Multimedia Tools and Applications 2(2) pp157-171, Mar. 1996
- [4] H. Kalva, B. Fuhr, Techniques for improving the capacity of video-on-demand systems, Proc. 29th Annual Hawaii International Conference on System Sciences, pp308-315, Wailea, HI, USA, IEEE Computer Society Press Jan. 1996
- [5] S.W. Cater, D.E. Long, Improving Video-on-demand Server Efficiency Through Streaming Tapping, Proc. the International conference on Computer Communication and Networks, pp200-207 Las Vegas, Sep. 1997
- [6] 宇野哲史, 戸出英樹, 村上孝三, パスト転送を用いたマルチキャスト映像配信方式とその性能評価, 電子情報通信学会技術研究報告, IN99-82, Nov. 1999
- [7] S. McCanne, V. Jacobson, M. Vetterli, Receiver-driven Layered Multicast, Proceedings of ACM Sigcomm, 1996
- [8] 中内清秀, 森川博之, 青山友紀, ネットワーク支援による階層化マルチキャストレート制御手法, 情報処理学会研究報告, DPS97-36, Mar. 2000
- [9] 鈴木敬明, 三村到, 鈴木大平, IP 網用マルチ QOS 対応ミドルウェア技術の研究開発, 平成 12 年度研究発表会予稿集, 通信・放送機構 Jun. 2000
- [10] 三木弼一, MPEG-4 のすべて, 工業調査会, 1998
- [11] 宇夫陽次郎, 小柏伸夫, 宇多仁, 篠田陽一, 多配送層フレームワークにおける品質制御可能ネットワークモデルと MPLS を用いた実現手法に関する考察, DPS Workshop 2000, 情報処理学会, Dec. 2000
- [12] S. Blake, D. Black, et al, An Architecture for Differentiated Services, RFC 2475, 1998
- [13] E. Rosen, A. Viswanathan, R. Callon, Multiprotocol Label Switching Architecture, RFC3031, 2001
- [14] Francois Le Faucheur, Liwen Wu, et al, MPLS Support of Differentiated Services, IETF Internet Draft, Feb. 2001
- [15] V. Jacobson, K. Nichols, et al, An Expedited Forwarding PHB, RFC2598, 1999
- [16] D. Ooms, B. Sales, et al, Framework for IP Multicast in MPLS, IETF Internet Draft, Jan. 2001
- [17] D. Estrin, D. Farinacci, et al, Protocol Independent Multicast-Sparse Mode, RFC2362, 1998
- [18] A. Ballardie, Core Based Trees (CBT version 2) Multicast Routing, RFC2189, 1997