

## オンデマンド配信における 非同期マルチキャストを用いた帯域制御方式の提案と評価

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

†日本無線株式会社 ††電気通信大学

†††独立行政法人通信総合研究所

筆者らは、インターネット技術を基盤とした次世代広帯域情報流通インフラ上での新しい放送型コンテンツデリバリとして、パーソナライズドメディアストリーム配信を提案している。そこでは、ユーザのパーソナリティに合わせた多様な内容を要求発生次第(オンデマンド)にマルチキャストで配信する方法を検討している。その中で、オンデマンド配信におけるトラフィック低減の方策として非同期マルチキャストの利用を提案しているが、従来の非同期マルチキャストの研究においては、ネットワークが QoS を保証するために施行する帯域割当に対して、コンテンツ配信側が柔軟にトラフィックを制御する方法について検討していない。従って本稿では、ストリームベースの非同期マルチキャスト配信において、要求される負荷制御を実現するための統計的なトラフィック制御方式を提案し、それを実現するためのネットワークモデルの設計とシミュレーションによる評価結果について報告する。

### A proposal and an evaluation of the bandwidth control method for on-demand media delivery using the asynchronous multicast

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

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

†††Communication Research Laboratory

We have been proposing the Personalized Media Stream Delivery as the broadcast content delivery service over the broadband infrastructure based on the Internet technologies, where we discuss the scheme of multicast delivery which realizes the delivery of a diverse content based on an user's personality and the on-demand content distribution. The asynchronous multicast is considered as an effective multicast technique in the on-demand content distribution in the above discussion, but conventional studies about the asynchronous multicast have been not described a flexible load control to fit the traffic to the bandwidth-design in order the network provides QoS. To meet this requirement, this paper proposes the statistical traffic control for multiple flows with the stream-basis asynchronous multicast, and designs the network models to implement it, and shows the evaluation results of simulation.

#### 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、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ている。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。これらを背景に筆者らは、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、筆者らがこれまでに提案しているパーソナライズドメディアストリーム配信システム[3][4]を紹介し、配信スキームの検討において、トラフィックを低減させるためのマルチキャストによるオンデマンド配信手法に焦点を当てる。マルチキャストを使用するオンデマンド配信手法としては、非同期マルチキャストが挙げられるが、従来の研究では、ネットワークが QoS を保証するために行う帯域の割当等に対して、コンテンツ配信側がこれに応じるために送信トラフィックを柔軟に調節する方式は検討されていない。本稿では、ストリームベースの非同期マルチキャスト配信において、受信システム側で必要とする受信バッファサイズとリンク上の帯域制限を勘案した多重フローに対する統計的トラフィック制御方式を提案する。そして、それを実現するための具体的なネットワークモデルの設計を行い、数値計算による提案方

式の有効性を考察する。最後に計算機シミュレーションにより実際にトラフィックを測定した結果について述べる。

#### 2. パーソナライズド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配信内容、および配信時間を個別化して提供する様な放送サービスが可能となる。

パーソナライズド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・音声の生成・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編集して配信したり、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。パーソナライズドメディアストリーム配信は、放送型情報配信による効率性を維持しながら、ユーザをターゲティングすることによる高密度な有意情報配信の実現をもたらす。

#### 3. パーソナライズドメディアストリーム配信における一

## 一般的な問題

個々のユーザに個別化された、異なる内容のコンテンツの配信、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でなければならない。

## 4. 関連研究と課題

### 4.1 非同期マルチキャスト

異なる時刻にコンテンツを配信するオンデマンド配信をマルチキャストで実現する方法として、非同期マルチキャストが提案されている。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、コンテンツを小さい単位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[5][6]と、ストリーム転送ベースで配信する方法[7]がある。また、時間的な差分部分をバースト転送する方式[8]も提案されている。方式[5][6][8]では、受信システムにおいて広帯域な伝送インタフェースを具備していることが前提となる。

### 4.2 非同期マルチキャストの課題

非同期マルチキャストは、ユニキャストによって実現されるオンデマンド配信においてサーバとネットワークのリソースの膨大な消費を低減するために検討されている。しかしながら、従来の研究では、ネットワークが QOS を保証するために行う帯域の割当などに対して、コンテンツ配信側がそれに応じて柔軟に送信トラフィック量を調整する方法を検討していない。また、実際のインターネットへの実装する手段として、具体的にネットワーク構成や各システムの動作などを示しているものはない。

## 5. トラフィック制御方式の提案

方式[7]はストリーム転送を前提としているが、[7]の基本原則に対して、マルチキャストへ集約する平均タイミングと、時間帯によって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着目する。そして、多重フローに対する統計的なトラフィック量を簡潔に制御する方法を提案する。これは、ストリーム転送ベース非同期マルチキャストにおけるトラフィック削減効果を常時最適に引出すとともに、ネットワークへの負荷(使用帯域)を柔軟に制御することも可能にする。

以降、ストリーム転送ベース非同期マルチキャストの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がマルチキャスト(共有フローと呼ぶ)で配信され、後につづく他の受信システムへの配信がユニキャスト(個別フローと呼ぶ)で配信されている様子を表す。個別フローは共有フローに含まれていない分(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。なお、ここでは配信処理を簡単にするために、各個別フローの配信期間をすべて同一にする方法も考える。

さて、共有フローの生起率を  $\tau$  ( $1/h < \tau < \lambda$ ) とする。各個別フローの配信期間をすべて同一にする方法では、その配信時間は共有フローが生起する周期  $1/\tau$  となるので、配信トラフィック量は、

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

となる。一方、各個別フローの配信期間をそれぞれ変化させる方法では、共有フロー間に発生する個別フローの数が  $\lambda/\tau - 1$ 、配信時間が順次  $x/\tau$ ,  $x=1, 2, \dots$  となるから平均配信時間は、 $1/2$  である。ゆえに配信トラフィック量は

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

となる。式 1, 2 において  $\rho$  を  $\tau$  の関数  $\rho = f(\tau)$  とおくと、いずれも下に凸型の関数となり、それぞれ、 $\tau = \sqrt{\lambda/h}$ 、 $\tau = \sqrt{\lambda/2h}$  のときに  $\rho$  が最小値を取る。配信システムでは、常時  $\lambda$ 、 $h$  を観測し、逐次共有フローの生起率を  $\tau = \sqrt{\lambda/h}$ 、 $\tau = \sqrt{\lambda/2h}$  に設定すれば、トラフィック量を最小にする配信を行うことができる。

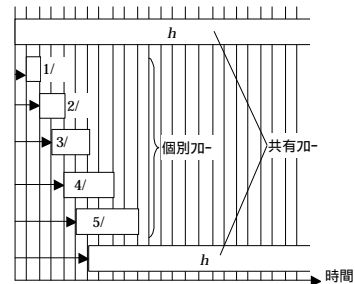


図 1 非同期マルチキャスト

しかしながら、設定される  $\tau$  の値が小さいほど受信システムにおいて使用されるバッファ量(個別フローの配信期間に相当する)が多くなる。つまり  $\tau$  の決定は、配信トラフィック量の少量化と受信システムで使用するバッファサイズの少量化とのトレードオフの関係にある。

そこで、利用可能帯域(トラフィック量の上限)  $A$  が与えられたとき、次のような  $\tau$  の決定を行う。なお、ここでは、各個別フローの配信期間をそれぞれ変化させる方法を例にとる。図 2 は  $h$  が 5、100、200 の場合のそれぞれのトラフィック量の変化  $\rho = f(\tau)$  を示している。

まず、観測される  $h$  が  $A$  以下であるとき、これはユニキャストで配信しても、そのトラフィック量は利用可能帯域をこえないことを意味するから  $\tau = \lambda$  に設定する(図中  $\tau = \lambda$ )。つまり全ての配信を共有フローとし、結果的にはユニキャスト配信と同じである。受信システム側で使用されるバッファ量はゼロである。

次に、観測される  $h$  が  $A$  より大きい場合、 $A$  が式 2 の最小値  $\rho = f(\sqrt{\lambda/2h}) = \sqrt{2\lambda h} - 1/2$  よりも大きい場合、受信システムでの使用バッファ量を少なくするために、 $\tau = \sqrt{\lambda/h}$  を式 2 において  $\tau = A$  とする最大の値にする。つまり  $f(\tau) = A$  として、

$$A = \tau h + \frac{\lambda}{2\tau} - \frac{1}{2} \quad [\text{erl}] \quad (3)$$

とし、 について解き、

$$\tau = \frac{1/2 + A \pm \sqrt{(1/2 + A)^2 - 2\lambda h}}{2h} \quad (4)$$

の大きい方の解を に設定する(図中 )。

最後に、  $A$  が式 2 の最小値  $\rho = f(\sqrt{\lambda/2h}) = \sqrt{2\lambda h} - 1/2$  以下であるとき、配信トラフィック量を最小化するために、に  $\sqrt{\lambda/2h}$  を設定する(図中 )。

こうして、コンテンツ配信要求の発生率の観測と利用可能帯域の設定から動的に共有フローの生起率を設定することで、ネットワークへの柔軟なトラフィック負荷制御を実現することができる。

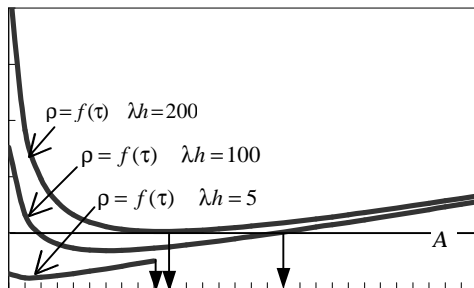


図 2 受信バッファサイズを勘案した の決定

## 6. インターネットインプリメント

### 6.1 要求条件

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 を提供するものとする。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。

### 6.2 ネットワーク基本概念

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。前者は、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。後者は、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。前者は、後者と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ことと、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。一方、後者は、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。前者では、個々の配信におけるトラフィックを対象とせずに、多重化されたフローの統計的なトラフィックの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、後者の基本は、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 ネットワーク設計

[3]では、上記基本概念に基づきいくつかの実装モデルを設計し考察を与えた。実装初期段階としては、集中管理方式ネットワーク制御が容易であるとし、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では静的マルチキャストツリーの設定とプロビジョニング型 QOS 保証を、ネットワーク規模に制限が課せられるアクセスネットワークでは動的マルチキャストツリーの設定とリソース早取り QOS 保証を適用していくことを示した。また、FEC(Forwarding Equivalence Classes)と呼ぶ同一のラベルで表される様々な集約度・粒度のバケット流に対し、カットスルー(簡略化したバケット転送処理)による高速データ転送を実現し、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 MPLS(Multi Protocol Label Switch)[10]を導入することを前提とした。

図 3 は設計したネットワークモデルを示す。コアネットワークに複数のアクセスネットワークを接続し、それぞれ制御プレーンとデータ転送プレーンに物理的に分離する。各アクセスネットワークには中間配信システム(図中 RS)を設置する。配信システム(図中 S)は共有フローのみを配信し、RS が共有フローを中継するとともに、個別フローの配信を行うことでコアネットワーク上のトラフィックの更なる低減を図る。

#### 6.3.1 コアネットワーク

データ転送プレーンでは Diffserv(Differentiated Services)[9]を実行する中継ノード(図中 LS)で構成する。

Diffserv は、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、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 QOS 保証を行う。

マルチキャストツリーは半固定的な LSP で構築し、S から送信される全ての共有フローを 1 つの FEC として集約する。そして、転送のサービスクラスとして EF-PHB(Expedited Forwarding-PHB)[12]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 LS 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、5 項で提案した非同期マルチキャストにおける多重化フローに対する統計的トラフィック量の制御が有用である。S では、配信要求発生率を観測しながら共有フローの生起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。

制御プレーン上のネットワーク制御システム(図中 NC)は、ネットワークの利用ポリシーを制御し、特に静的マルチキャストツリーの設定とネットワークリソースの配分等を決定する。トラフィック管理システム(図中 TM)は、QOS パラメータを伴うトポロジデータベースを保持し、ツリー上の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(図中 AM)は、ローカルスコープのマルチキャストアドレスを管理する。S は、データ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 R)に伝達しておく。パス制御システム(図中 PC)は、ツリー上の LS にラベル設定/解除の命令を発行する。

#### 6.3.2 アクセスネットワーク

FEC は、個々の共有フローと個別フロー毎(マイクロフロー毎)に割当て、配信要求発生次第に制御プレーンからの命令

により LSP を設定する。MPLS を実行する LS は、マイクロフロー毎に確実な 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、呼制御システム(図中 CC)を追加し、R からの配信要求毎に設定されるアクセスネットワーク上の呼・コネクションを制御する。

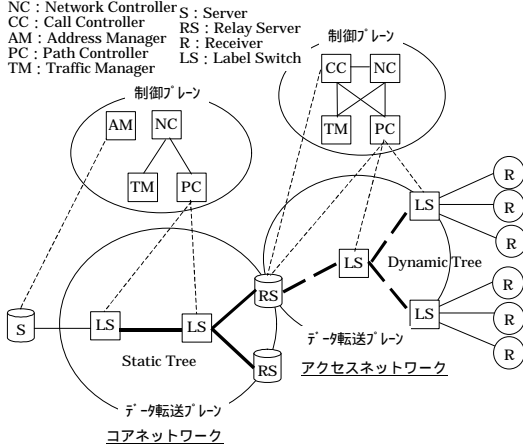


図3 ネットワークモデル

6.4 プロトコル設計

まずエンドシステム間の基本シーケンスを示す(図4)。R が Web よりコンテンツの存在と S の所在を得てから、S よりプログラムの基本情報取得することから始まる。R はトランスポート設定要求を発生し、S は R に共有フローのみ、或いは共有フローと個別フローの両方を配信するかを決定し、マルチキャストアドレスを割当てて。S は、この情報を R と S 間に存在する RS に中継点設定要求として伝達する。RS は CC に連絡し、アドミッション制御が完了したら S に応答し、R はトランスポートの設定応答を受ける。そして、R は S にストリーム送信要求を発生し、S は RS に中継点送信要求を発生し RS は CC に連絡して、リソース予約とパス設定の要求・確認をしたら S に応答する。共有フローに選択されている場合、S はストリーム送信応答と共に共有フローを配信する。個別フローに選択されている場合、RS から個別フローと共有フローの時間差をストリーム送信応答に含めて応答すると共に個別フローを配信する。

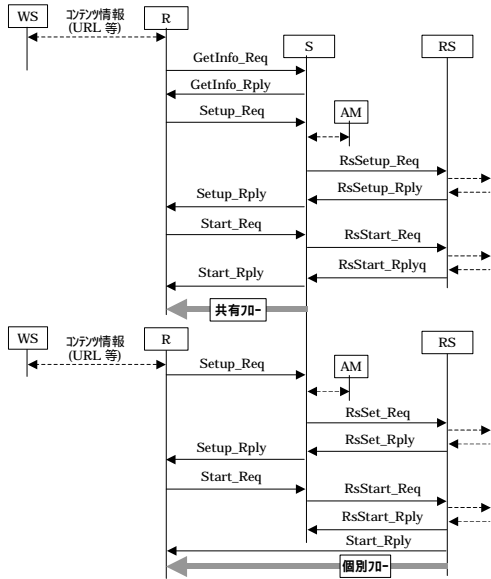


図4 エンドシステム間基本シーケンス

次にネットワークシステム間の基本シーケンスを示す(図5)。中継点設定要求を受けた RS が、CC に呼設定要求を発生し、CC は TM 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を要求する。また、中継点送信要求を受けた RS は CC にデータ送信要求を発生し、CC は TM にリソース予約を要求するとともに、計算されたパス情報を PC に渡し、PC は LS へラベル設定を命令する。

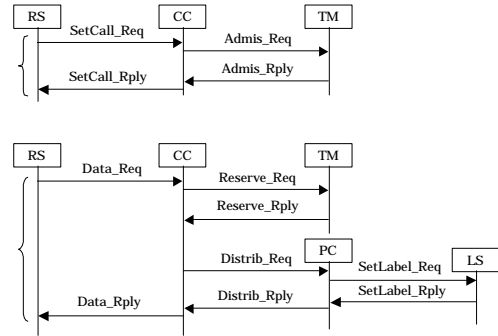


図5 ネットワークシステム間基本シーケンス

メッセージ	パラメータ
GetInfo_Req (プログラム情報要求)	URL
GetInfo_Rply (プログラム情報応答)	プログラム記述,メディア記述, IOD(Initial Object Descriptor)
Setup_Req (トランスポート設定要求)	使用トランスポートプロトコル,ユニキャスト アドレス,ポート番号,ユーザ特性記述,システム ケーパビリティ記述
Setup_Rply (トランスポート設定応答)	マルチキャストアドレス,ポート番号, QOS ク ラス,セッション識別子
RsSetup_Req (中継点設定要求)	フロー種別,マルチキャストアドレス,ポート番 号, QOS クラス,セッション識別子
RsSetup_Rply (中継点設定応答)	セッション識別子
Start_Req (ストリーム送信要求)	セッション識別子,配信時間
Start_Rply (ストリーム送信応答)	セッション識別子,フロー間時間差
RsStart_Req (中継点送信要求)	セッション識別子,配信時間
RsStart_Rply (中継点送信応答)	セッション識別子
SetCall_Req (呼設定要求)	セッション識別子,トラフィック記述
SetCall_Rply (呼設定応答)	セッション識別子,呼識別子
Data_Req (データ送信要求)	呼識別子
Data_Rply (データ送信応答)	セッション識別子
Admis_Req (呼受付判定要求)	呼識別子,トラフィック記述
Admis_Rply (呼受付判定応答)	呼識別子,予約識別子
Reserve_Req (リソース予約要求)	予約識別子
Reserve_Rply (リソース予約応答)	呼識別子,パスノードリスト記述
Distrib_Req (配信要求)	呼識別子,配信シーケンス番号,パスノードリス ト記述
Distrib_Rply (配信応答)	呼識別子,配信シーケンス番号

SetLabel_Req (ラベル設定要求)	ノード識別子, フロー識別子, 転送キャッシュエントリ, ラベル
SetLabel_Rply (ラベル設定応答)	ノード識別子, フロー識別子

表1 メッセージとパラメータ

### 6.5 設計の数値的考察

設計したコアネットワークとアクセスネットワークにおけるトラフィック量を算出し、従来のユニキャスト配信の場合と比較することによってその有効性を考察する。

ネットワークをコアネットワークとアクセスネットワークの階層構造にし、コアネットワークにおいては共有フローのみを配信することによって、非同期マルチキャストにおける更なるトラフィック削減効果を図っている。ここではアクセスネットワークのツリーのトランク部分とコアネットワークのツリーのトランクとブランチ部分についてのトラフィック削減効果を考察する。コアネットワークに接続されるアクセスネットワークの数を  $m$  とし、各アクセスネットワークでの配信要求発生率を  $\rho$  とする。

アクセスネットワークでは、共有フローと固有フローを配信し、 $\tau = \sqrt{\lambda h / 2}$  のとき最も効果的な配信であり、これを式(2)に代入すると配信トラフィック量は、

$$\rho = \sqrt{2\lambda h} - 1/2 \quad [\text{erl}] \quad (5)$$

となる。ユニキャストによる配信においては、アクセスネットワークのトランクに相当する部分のトラフィック量は  $h$  となる。従って、提案するマルチキャスト配信とユニキャスト配信のトラフィック量の比率  $R_{at}$  は、

$$R_{at} = \frac{\sqrt{2\lambda h} - 1/2}{\lambda h} \quad (6)$$

コアネットワークでは、共有フローのみが配信され、ツリーのトランクとブランチの配信量は同じである。 $\tau = \sqrt{\lambda h / 2}$  のとき最も効果的な配信であるから、配信トラフィック量は、

$$\rho = m\tau h = m\sqrt{\frac{\lambda h}{2}} \quad [\text{erl}] \quad (7)$$

ユニキャストによる配信においては、トランクとブランチに相当するリンクのトラフィック量がそれぞれ  $m h$  と  $h$  である。従って、トランクとブランチのそれぞれにおけるユニキャスト配信とのトラフィック量の比率  $R_{ct}$ 、 $R_{cb}$  は、

$$R_{ct} = \frac{m\sqrt{\lambda h / 2}}{m\lambda h} = \frac{1}{\sqrt{2\lambda h}} \quad (8)$$

$$R_{cb} = \frac{m\sqrt{\lambda h / 2}}{\lambda h} = \frac{m}{\sqrt{2\lambda h}} \quad (9)$$

となる。ここで  $m$  が大きいとブランチにおけるトラフィック量の削減効果は減少する。少なくとも  $m < \sqrt{2\lambda h}$  となるようなネットワークを設計する必要がある。

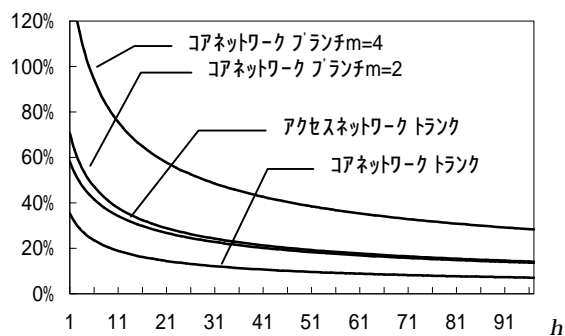


図6 ユニキャストに対するトラフィック量の比率

図6は、 $h$  とユニキャスト配信に対する提案マルチキャスト配信のトラフィック量の比率の関係を示している。 $m=4$  のコアネットワークのブランチ部では配信要求が少ない ( $h=8$  以下) とき、トラフィック量の削減が逆効果となるが、それ以外は配信要求が多くなるほど削減効果が大きくなる。

$h=100$  では、コアネットワークのトランク部では7%、アクセスネットワークでは13%にまで削減される。

### 7. シミュレーション

計算機シミュレーションにより、提案するトラフィック制御方式を評価する。ここでは、アクセスネットワークにおけるトラフィック量について計測する。ユーザからのコンテンツ配信要求の発生率は、ある平均値に基づくポアソン分布に従うものとする。平均値は時間経過とともに変化させ、一日の中で時間帯により周期的に変化することを想定する。平均発生率は初め最疎5[call/hour]であり、時間経過とともに上昇し、経過時間が12時間近辺で最繁30[call/hour]となり、その後減少して経過時間が24時間近辺で再度最疎となることを繰り返す。1コンテンツの配信時間  $h$  は2[hour]であるとする。

図7は、上記配信要求に対し、ユニキャストで配信した場合( )と提案するトラフィック制御方式に従って配信した場合( )~( )の、アクセスネットワークのトランクリンク上の配信ストリーム数(使用帯域)を1分刻みでトレースした結果を示している。( )については、配信トラフィック量が最小になるを常に設定しており、( ) ( )は受信システムのバッファサイズ少量化を図るため、それぞれリンク上のストリーム数の制限値  $A$  を20と40として決定している。

( )では、配信要求が最繁となる経過時間12時間目でリンク上のストリーム数がピークとなり80程度に達する。一方、( )では、最繁時でもリンク上のストリーム数は15程度である。( )と比較すると2割以下であり、これは、式6で求められる比率と一致する。( )においては、開始から配信要求発生率の増加に従い、ストリーム数がユニキャスト配信して20になる300分近辺までは、( )と同様のトラフィックがトレースされる。つまり、この段階では、 $\rho =$  となっており、個別フローによる配信は行われていないため、実質的にはユニキャスト配信と同じ様にふるまう。このとき必要な受信バッファサイズは0である。その後、配信要求発生率が増加してもストリーム数はおよそ20で維持される。この段階では、

$\rho$  の値はストリーム数が20以下となる最大の値(式4)に設定されている。その後、配信要求発生率の減少に伴い、ユニキャスト配信してストリーム数がおよそ20以下となる1300分近辺以降は、( )と同様のトラフィックがトレースされる。この段階では、再び  $\rho =$  となっており、個別フローによる配信は行われておらず、実質的にはユニキャスト配信と同じ様にふるまう。このとき必要な受信バッファサイズは0である。( )の場合も( )と同様にして、ユニキャスト配信してストリーム数が40以下となるような配信要求発生率の時間帯は  $\rho =$  となっており( )と同様のトラフィックがトレースされる。それ以外の時間帯では、概ねストリーム数が40に維持されるようなトラフィックがトレースされる。

図8、図9、図10は、それぞれ( )、( )、( )において受信システム側で実際に使用されたバッファ量を示している。シミュレーションでは配信を500回行っており、横軸は1回目から500回目までの配信を表している。縦軸は配信毎に使用されたバッファ量で、コンテンツのサイズを1としたときの割合で表している。リンク上のストリーム数の制限を緩和するほど、使用されるバッファ量が少なくて済むことが明らか

かである。

ストリーム数

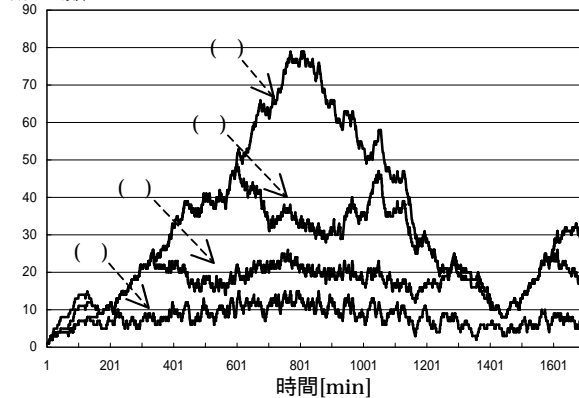


図7 経過時間とストリーム数

バッファサイズ [%]

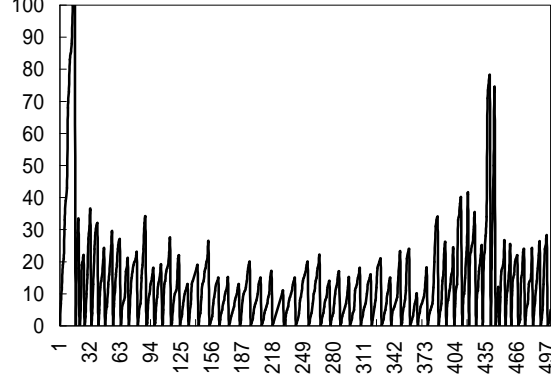


図8 ( )の場合の受信バッファサイズ

バッファサイズ [%]

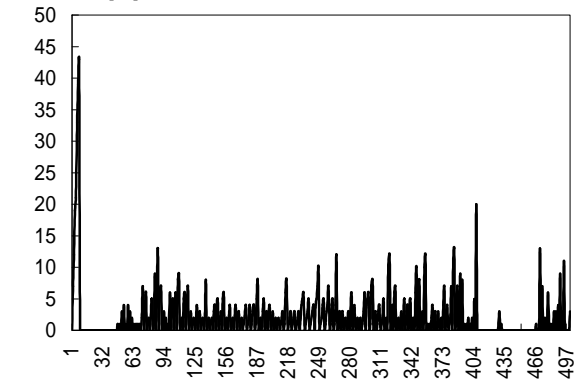


図9 ( )の場合の受信バッファサイズ

## 8. まとめ

本稿では、次世代情報流通インフラを前提とした新しい放送型コンテンツデリバリであるパーソナライズドメディアストリーム配信の中で、オンデマンド配信をマルチキャストで実現する非同期マルチキャスト技術の問題点を挙げた。そして、ストリームベースの非同期マルチキャストにおいて、ネットワークが QOS を保証するために施行する帯域割当に対して柔軟にトラフィック量を調節する方式を提案した。さらに、実際のインターネットへの実装方法としてネットワークモデルとシステム間シーケンスを設計するとともに、計算機シミュレーションにより提案方式によるトラフィック量を測定し、その動作とユニキャスト配信時と比較することによる

トラフィック量の削減効果を確認した。

今後の課題として、パーソナライズドメディアストリーム配信では、ユーザのパーソナリティに応じてビデオコンテンツを構成するセグメントを多様化して配信することが提案されており、これと今回提案するトラフィック制御方式を連動させたときのトラフィック量の評価を行うべきであると考えている。

バッファサイズ [%]

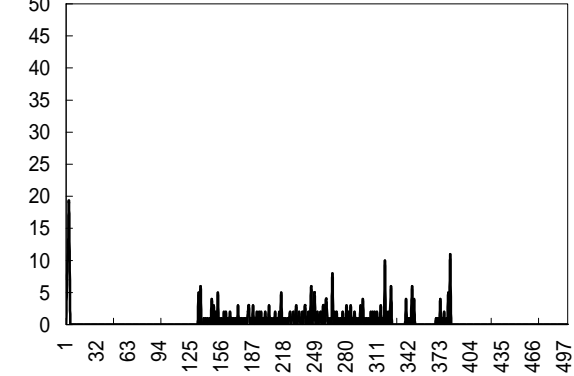


図10 ( )の場合の受信バッファサイズ

## 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] 佐藤克彦, 勝本道哲, パーソナライズドメディアストリーム配信の提案, 情報処理学会研究報告, DPS103-14, Jun.2001
- [4] K.Sato, M.Katsumoto, A Proposal of Multicast for Personalized Media Stream Delivery, Proc.16<sup>th</sup> International Conference on Information Networking Vol. 4D-4, Jan.2002
- [5] H.Woo,C.K.Kim, Multicast scheduling for VOD services, Multimedia Tools and Applications 2(2) pp157-171, Mar. 1996
- [6] H.Kalva, B.Fuhr, Techniques for improving the capacity of video-on-demand systems, Proc.29<sup>th</sup> Annual Hawaii International Conference on System Sciences, pp308-315, Wailea,HI, USA,IEEE Computer Society Press, Jan. 1996
- [7] 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
- [8] 宇野哲史, 戸出英樹, 村上孝三, パー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
- [9] S.Blake, D.Black, et al, An Architecture for Differentiated Services, RFC 2475,1998
- [10] E.Rosen, A.Viswanathan, R.Callon,Multiprotocol Label Switching Architecture, RFC3031, 2001
- [11] Francois Le Faucheur, Liwen Wu, et al, MPLS Support of Differentiated Services, IETF Internet Draft, Feb.2001
- [12] V.Jacobson, K.Nichols, et al, An Expedited Forwarding PHB, RFC2598, 1999
- [13] D.Ooms, B.Sales, et al, Framework for IP Multicast in MPLS, IETF Internet Draft, Jan.2001
- [14] H.Schulzrinne, S.Cater, et al, A Transport Protocol for Real-Time Applications, RFC1889, 1996
- [15] Delivery Multimedia Integration Framework, ISO/IEC FDIS 14496-6
- [16] H.Schulzrinne, A.Rao, et al, Real Time Streaming Protocol, RFC2326, 1998
- [17] D.Singer, Y Lim, et al, A Framework for the delivery of MPEG-4 over IP-based Protocols, IETF Internet Draft, Nov 2000