

分離型マルチメディア・フローのルーティングとモデリング

鈴木一史† 荒川克憲‡ 齋藤梅明†

† 会津大学大学院コンピュータ理工学研究科コンピュータシステム専攻

‡ パイオニア(株) 研究開発本部情報通信開発センター

† E-mail : {r5046001,s-saito}@u-aizu.ac.jp

‡ E-mail : karakawa@crdl.pioneer.co.jp

本研究は、CATV、衛星回線、地上波・衛星波放送チャンネル、防災・業務無線、ATM ネットワークなど高速・高品質通信が可能で、かつ必ずしも IP リーチャブルでないネットワークを含む経路制御のアルゴリズムとプロトコルについて考察した。マルチメディア情報の伝送には、帯域、伝送遅延、揺らぎなどの品質をネットワーク上で保証することが必要である。マルチメディア・データフロー向けの経路制御のアルゴリズム:経路探査付きソースルーティング(Source Routing with Route Discovery :SRRD)を提案した。この AS 内の経路探査のアルゴリズムとプロトコルの提案をさらに発展させ AS 間の経路制御に適用できるようにアルゴリズムの拡張とプロトコルの設計を行った。発見的手法で経路探査する SRRD を AS 間に効率的に適用するため、新たにパス広告情報だけで経路計算を行うアルゴリズムを提案した。さらにマルチホームな AS に適用できる柔軟なプロトコルを設計した。そして、これらのアルゴリズム、プロトコルを実装した場合の相互動作の検証、パス広告の性能評価を行った。

A Routing Algorithm and the Modeling of the Separated Media Flow

Kazuhito Suzuki† Katsunori Arakawa‡ Senro Saito†

† Department of Computer Systems, Graduate School of Computer Science and Engineering
University of Aizu

‡ Research and Development Division, Pioneer Corporation

This research examined algorithm and protocol of route control including the high-speed network, high-quality communication of CATV's, satellite channel, ground wave and satellites wave broadcasting channels, disaster prevention and business radios, ATM networks, and etc. , which was not always IP reachable. was possible. It is necessary to guarantee quality such as band width, transmission delay, fluctuation on the network for the transmission of multi-media information. The algorithm which newly carried out the route calculation only in pass information advertisement was proposed in order to efficiently apply SRRD probed by the discoverable technique in the route between AS. In addition, the flexible protocol which could be applied in multi home AS was designed. The performance evaluation of these algorithms and, verification of the mutual operation in the case which equipped the protocol, pass advertisement was carried out.

1 はじめに

この研究は、超高品位コンテンツを IP パケット以外の方法で伝送する可能性を見出す研究である。IP ベースのインターネットは、接続性と引き換えにサービス品質の保証を犠牲にしたとも言えるが、Ipng[8]の研究は、このしがらみを引きずりながら、さまざまな課題に実証的に対応する方向で発展しつつある。例えば、IPoverX 技術が代表的である。インターネットにおける経路制御方式では、異なるマルチメディア・ストリームは異なる接続上を同一経路で転送されることを混合メディア経路制御：Mixed Media Routing(MMR)と呼び、ある経路にトラフィックが集中することが原因で QoS の維持が困難になることが懸念される。そのため CrossoverNet/G2[1]では、AV コネクション毎に QoS 及びコストを設定した伝送経路を選択できる分離メディア経路制御：Separated Media Routing(SMR)を提案した[2]。SMR は、情報メディアの要求するサービス品質を満たす経路を発見的に探索し、複数の候補から選択できる。発見的経路探索は、探索時点のサービス品質を参照して経路を決定するので、結果的にネットワークのサービス品質の変化に応じて経路は動的に変わる。

本報告は、SMR に基づく経路制御のアルゴリズムを提示し、さらに AS 間の経路制御をパス広告情報のみで実現するためのパス広告モデルの評価をシミュレーション実験で検証した結果を報告する。

2 経路制御問題

インターネットにおける経路問題は、パケット到達性の確保と動的経路選択に加え、サービス品質の保証が挙げられる。AS 内、あるいは AS 間の経路制御プロトコルとして、RIP[6]、OSPF[9]、BGP4[7]などが実際に用いられているが、これらは最終的に IP アドレスで識別されるネットワーク要素間のネクストホップを与える。パケットは、ルータ、ゲートウェイによって参照された経路表のネクストホップに向かって配送する仕組みである。この。MMR は、以下のような問題点がある。

- ・全てのパケットが、同一経路で伝送される可能

性が高いため、各メディアに最適な品質の経路で伝送することは困難である

- ・トラフィックの配分が困難で、ボトルネックが発生しやすい

一方、SMR は、プロトコル制御パケットや他のマルチメディア・ストリームデータの経路を個別に経路制御する。高品質マルチメディア・アプリケーションのネットワークにおける経路制御に SMR を採用する利点は以下の通りである。

- ・メディアが要求するサービス品質に最適な経路の選択
- ・トラフィック配分における柔軟性の確保
- ・ネットワーク特性を最大限に生かすトポロジーの採用
- ・多地点における第三者通信の経路確保への適用

3 経路制御モデルとアルゴリズム

3.1 SRRD

SRRD は、ある AS 上のアプリケーションを実行する sSN が同じネットワーク上のターゲットとなる dSN のサービスを受けたい場合を想定している(図1)。sSN が sNN に対し、sSN への接続要求を出すと、AS 内 sNN で終点までの経路を自動的に探索して、dNN までの最適な複数の経路が sNN に通知される。そして、sNN は sSN の接続要求への応答を返す。sSN は、始点ネットワークノード sNN と呼ばれる経路制御を行うノードに属しており、サービスを提供する SN を指定するだけで、経路についての情報は持たず、実際には自分が属する sNN へサービス要求を出すことになる。また、ターゲットとなる dSN も同じように自分を管理している dNN に接続されている。

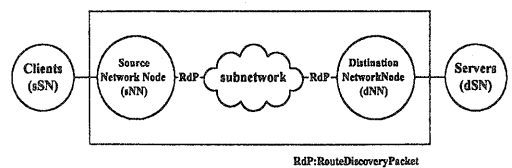


図1：AS内モデル

sNN から dNN までの経路探索は次のように行う。sNN は、dNN に対して経路探索パケット RdP を送出する。経路探索パケットは、AS 内の隅々の NN に伝播・中継して最終的に dNN に到達する。この過程で経路探索パケットが通過した経路は、sSN へ返送され、sNN は、最も適当な経路を選択する。AS 内のネットワークの経路は、SRRD だけで求めることができる[4]。

3.2 Interior AS routing model

発見的経路探索を行う SRRD を AS 間に適用するため、AS 内 NN の機能分散を図った(図2)。bNN は、外部へのリンクを有し、AS 境界に位置するネットワークノード(NN)である。また、iNN は、AS 内部にだけリンクを持つ NN である。AS に唯一存在するマスター-NN(mNN)は、他ASとの交渉、自AS内の NN を管理する NN である。mNN は、自ASの bNN に隣接する他ASとの接続情報とパス情報広告から全ネットワークの接続状態を表す接続行列を生成する。この接続行列から可達行列を求めれば、そのASから到達できる全AS及びそのパス(経路)情報が得られる。mNN は、パス情報に変更があるたびに bNN に通知する。bNN は、パス情報を参照して RdP の中継を判断する。

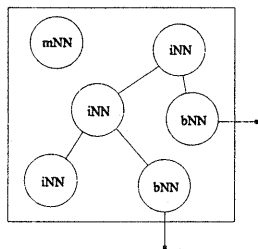


図2：AS 内部の NN 構成

もし、AS 内の複数の bNN から到達できるあるASがどのbNNを経由させるかは、ポリシー情報で指示する。bNNの重要な機能は、発見されたAS内経路のキャッシングと通知である。RdPは、経路通知で生成、消滅、終結の処置を受けながら、大抵の場合複数が時間差をもってbNNに到着する。このとき、bNNは、それらのRdPに記述されている全ての経路をキャッシングしsNNに通知する。

3.3 Exterior AS routing model

ネクストASの経路選択は、各ASが自律的に判断するため、各mNNが接続行列から可達行列を計算した結果とポリシー情報によって決定する。基本的にある時点で全てのmNNが同一内容の接続行列を有する。

しかし、あるASのパス情報広告が伝播する間に接続行列の不一致が生じ、古い情報に基づく経路計算を行うことがある。しかし、この場合も経路探索中に発見され代替経路に替えられる。

この経路方式を適用するネットワークがマルチホームASの場合は、工夫が必要である。すなわち、図3の2つのAS群の接続点にあるAS11、AS12は、互いに新規接続したときリンクに向かって白ASのパス情報広告を行う。しかし、それ以外のASは、パス情報広告はないため、互いに知り合うことが出来ない。そこで、AS11、AS12に勧誘ビット付きのパス情報広告パケットを送出すると共に、応答ビット付きパス情報広告パケットを効率的に相手AS群に伝達するアルゴリズムを考察した。

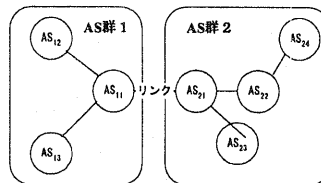


図3：AS 群同士の接続問題

3.4 到達性の保証と QoS

AS間の品質保証は、品質情報を含むパス情報広告から構成した接続行列およびそれから計算される可達行列によって検証される。可達行列はnの可達行列はn個のASを経由して到達できるすべてのASに関する経路情報を与える。したがって、可達行列の計算過程において、上位層から要求されたサービス品質値および評価基準にもとづく演算ルールを導入することによって、それに適合する経路のみを発見できる。直前のパス情報広告が最遠ASに到着してから次のパス情報広告がでるまでの期間はネットワークの経路が安定する期間で、すべてのASは同一の接続行列を持ちサー

ビス品質、経路情報は信頼できる。

AS内の品質保証は、SRRDによる経路探索中に各リンクの品質が検査され、所用のサービス品質に適合しない場合、その先の経路を探索しないことで検証する。さらに、bNNからsNNへ報告された複数の経路を参照したsNNがAVコネクション設定を要求したとき、その経路上のNN-NNコネクション設定ごとに再検証する。

4 プロトコルモデリング

SMRのプロトコルは、2つのレベルと5つのサブプロトコルで構成する。NNP-1は、AS内の経路探索を行うRdP-1とリンク管理のLsmPから成る。さらに、NNP-1は、AS間の経路探索を行うRdP-2、mNN-bNNの管理プロトコルIpmP、mNN間のパス情報広告プロトコルEpmPがある。

4.1 評価項目

ネットワークサイズは、パス情報広告時間に大きな影響を及ぼし、mNNのオーバーヘッドは最遅広告時間とmNNでの待ち行列での数に影響を及ぼす。したがって、これをパラメータに以下の項目に関して評価する。

- あるASが発行したパス情報広告を全てのASが受け取るまでの時間(最遅広告時間)
- パス情報広告に要する総パケット数
- 各mNNに溜まるパケット待ち行列の長さ

4.2 ネットワークモデル

いくつかのmNN同士が比較的密な接続関係を持った集合(ブロックと呼ぶ)を定義する。ブロックのサイズは縦横ともに3行3列から成る9つのAS群とした。このAS群のブロック内のネットワークポロジ-の種類は、格子型、スター型、リング型の3種類を用意した。これらのブロックをM行M列に格子状に並べて大きなネットワークを作る。ブロック同士の接続は、ブロック内の一つのmNNが担当する。

4.3 シミュレーションモデル

ネットワークモデルを拡張有向グラフ[5]でモデリングした。拡張有向グラフは、ノードとアークによって構成され、そこを通過するトランザク

ションは、システムの動作を表現し、プロセス、または、作業単位のモデルを扱う特徴を利用して、ASをノード、AS間の接続をアーク、パス情報広告をトランザクションとするモデルを作成した。

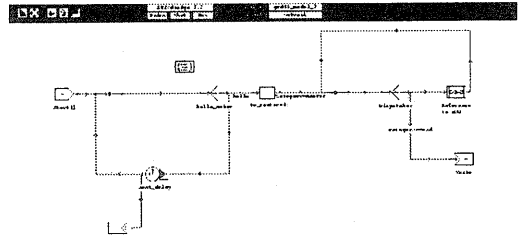


図4：シミュレーションモデル

シミュレーションは、 $N_{size}=\{8,18,28,38\}$ 、任意のASから総数64個のパス情報広告発生、発生間隔0-1200ms、mNNの $P_{over}=\{10ms,50ms,100ms\}$ について行った。

5 評価

5.1 パス情報広告の最遅到着時間

複数のmNNからパス広告をする実験モデルで最遅到着時間と平均到着時間を求めた。図5は、各mNNがパス情報広告を平均180秒間隔で発生し、mNNの平均 P_{over} が10m秒のときのネットワークサイズと最遅到着時間を示す。図5から N_{size} と最遅到着時間は、ほぼ比例関係にあると言える。

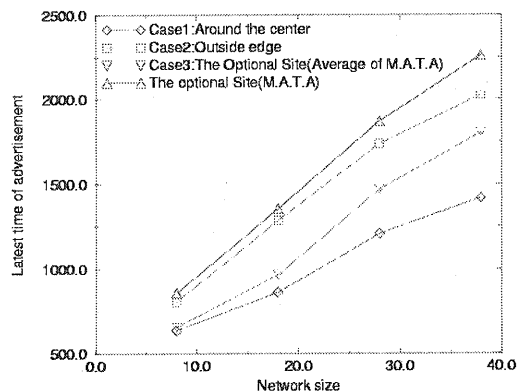


図5：ネットワークサイズと最遅広告パケット

その理由は、パス情報広告の中継を行うmNNは、中継したパス情報広告の履歴をキャッシュし

ているため、パス情報広告を同じ経路に重複して中継することはないことに起因する。すなわち、複数経路を有する mNN は最も早く到着したパス広告のみを中継し、以降のパス広告は破棄する。したがって、パス情報広告は最短時間の経路を中継されることになり、最遅到着時間は 2 次元に広がったネットワークサイズだけに依存する。

5.2 総パケット数とネットワーク負荷

パス情報広告は、すべての mNN に伝達する必要がある。そのため、ネットワークサイズとパス情報広告の総パケット数は重要な評価項目である。ネットワークサイズとパス情報広告の総パケット数の関係を示す。

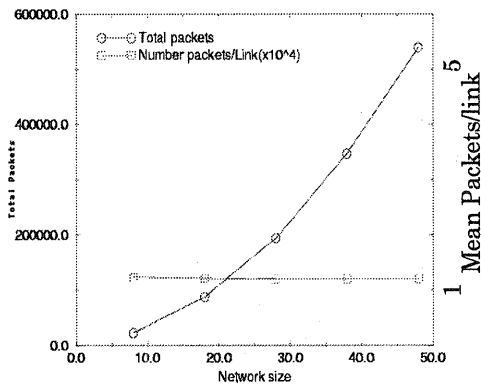


図 6：ネットワークサイズと総パケット数

モデルネットワークを二次元平面状で自動的に生成できるので、AS 数はネットワークサイズの 2 乗にほぼ比例し、かつ mNN のリンク数も同様である。総パケット数は最大ノード距離(ネットワークサイズ)に比べて二次曲線で増加する。ネットワークサイズに無関係にリンクが伝送する時のパス情報広告パケット数は約 1.2 パケットであった。つまり、ネットワークが大規模になった場合に懸念されるパス情報広告パケット・ストームは発生しないことが確認できた。

次に、パス情報広告に必要なバンド幅について検討する。図 6 のネットワークサイズ 38 の場合、総パケット数から、パス情報広告の総データ量 = $380,000 \text{ packets} \times 60 \text{ byte} \times 8 \text{ bit} = 18.24 \text{ Mbit}$ である。こ

れは、ネットワーク内の mNN が平均 180 秒に間隔でパス情報広告を最初にはじめてから、64 個のパス広告した時間の総データ量である。したがって、mNN あたりの発生するパス情報広告によって消費する総バンド幅は、図 5 のパス情報広告の平均到着時間から総バンド幅 = $18.24 \text{ Mbit} / 64 / 1.8 \text{ 秒} \approx 158 \text{ Kbps}$ となる。

5.3 待ち行列の長さ

パス広告の発生頻度と mNN のパス広告処理のオーバーヘッドは、mNN のパス情報広告パケットの処理待ち行列が長蛇化する原因となる。

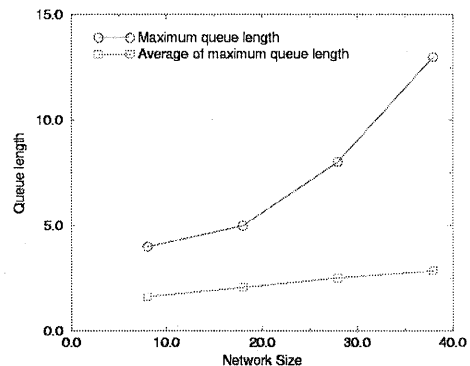


図 7：mNN's Queue length

図 7 は、mNN のパス情報広告発生頻度が平均 180 秒で、オーバーヘッドが 10m 秒における mNN の入力待ち行列の長さを示す。ネットワークサイズが大きくなるにつれ、待ち行列の平均長に比べ最大長の増加が大きい。これは、ネットワークサイズの大きくなるとパス情報広告と到達経路の数が増加し、図 6 のパケット数の増加に比例して待ち行列の最大長が大きくなることに原因がある。

mNN の待ち行列の長さはシステムを設計するための重要な指標である。しかも、同じネットワークサイズでも、mNN のオーバーヘッドに大きく影響される。N_{size}=18 での待ち行列の最大長と mNN のパス広告発生間隔の関係をオーバーヘッド時間の平均 P_{over}={10ms,50ms,100ms} を変えて計算した結果である。図 8 で N_{size}=18 のときのネットワークには、900 個の AS がある。AS が平均 2 分から

17 分間隔でパス広告を発生すると、ネットワーク全体では平均時間 0.12 秒から 31.02 秒間隔でパス情報広告パケットが新たに生まれる。P_{over}=10ms では、パス情報広告間隔が 2 分以上で待ち行列の長さは 3 以下で短い。

P_{over}={50ms,100ms}では、待ち行列の長さがそれぞれ 10、17 以下であり、実装上困難な値ではない。しかも、パス広告発生間隔が 10 分/ノード以上では、オーバーヘッドに無関係にほぼ 3 以下である。

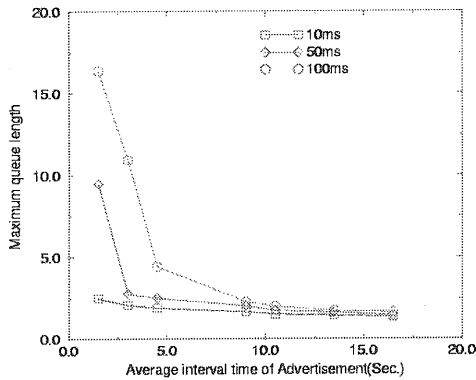


図 8 : mNN's overhead とキューの長さ

文献[3]によれば、BGP の境界ルータは 5,000 経路の 5% が 2 分ごとにアップ/ダウンを繰り返すと処理不可能である。この条件を適用するとオーバーヘッドを小さくすればこのモデルで処理可能と言える。また、発生間隔が 10 分以上では、図から待ち行列の長さは一定であるため最遅到着時間も一定であることから、ある AS の経路が安定する平均時間の予測の可能性に期待が持てる。

6 まとめ

本研究は、情報メディアごとにその要求する QoS に適合する経路を IP データグラムの配送経路とは独立して発見する経路探索アルゴリズムの提案、プロトコル設計、および経路情報を構成するために交換される AS パス情報広告のシミュレーション・モデリングと性能評価の結果を議論した。

まず、現在の経路問題を増大する経路情報とその管理、QoS の視点から議論した次に、AS への到

達情報だけで経路を獲得する SRRD について述べ、AS 内で QoS を満たす複数経路の探索法を明らかにした。また、経路探索にともなう探索パケット・ストームを抑えながら SRRD を AS 間に適用する機構とアルゴリズムに関して示した。さらに、これらの議論と提案が有効であることを検証するため、実験ネットワークの設計、および拡張有向グラフでのモデリングとシミュレーションを行った結果を吟味した。

本研究では、新しい経路制御のモデル SMR に基づき、AS 内、AS 間の経路探索のアルゴリズムとプロトコルを示した。そして、経路探索で参照する経路情報を各 AS が AS パス情報をもとにパス情報広告によってネットワーク内に周知するモデルの性能をシミュレーションで解析した結果を報告した。

今後は可達行列を使ったマルチキャスト、マルチギャザリングへの応用を検討したい。

Reference

- [1] S.Saito, T.L.Kunii, M.A.M.Capretz and L. F. Capretz. "Beyond the Next Generation Multimedia Network: CrossoverNet/G2, Proc.Third Pacific Graphics on Computer Graphics and Applications, pp.43-62,1995.
- [2] S.Saito and K.Morota., DIANA-Protocols, Proc. of Creative Software Development Project in IAP, pp.218-222, 1997.
- [3] Bassam Halabi., Internet Routing Architectures, Prentice Hall, pp.86-88,96-179, 1998.
- [4] K.Arakawa., "A Connection Management Model for Audio-Visual Connection on CrossoverNet/G2, Master Thesis, The University of Aizu, 1999.
- [5] Science and Engineering software, Inc. SES Modeling Reference in SES/Workbench Release 3.2, 1997.
- [6] RIP:RFC 1058, 1721, 1722, 1723, 1724.
- [7] A Border Gateway Protocol 4:RFC 1771.
- [8] IPng for IPv6: RFC 2080.
- [9] OSPF:RFC 1131, 1247, 1583.