

複数経路利用によるマルチメディア通信プロトコル*

東京電機大学 理工学部 情報システム工学科[†]

森田 一樹 梶垣 博章[‡] §

1 背景と目的

現在、バックボーンネットワーク、アクセスネットワークともに、衛星通信やギガビットイーサネット(1000Base-T)、光ファイバ、ADSL といった様々な広帯域通信メディアの使用が可能となっている。一方、コンピュータの処理能力の向上から、従来のテキストデータのみではなく、音声、静止画、動画などを処理するマルチメディアアプリケーションが開発されている。マルチメディアデータをコンピュータネットワークを介して配送する場合、そのデータ量が大きいこと、定められた伝達遅延や紛失率などの QoS を満たすデータ配送が要求されることなどから、あらかじめ通信帯域幅を予約する方法が採られている。ここで、通信リンクの帯域幅がアプリケーションの要求する帯域幅に満たないとき、単一の経路ではなく、複数の経路を用いて通信路を実現することで、要求された帯域幅を確保する帯域幅予約手法が考えられる。本論文では、これを実現するにあたり、あらかじめ送信先までの複数経路を検出し、これに含まれるルータ、通信リンクのみを用いることによって、経路検出と帯域幅予約に要する計算量を削減するプロトコルを提案する。

2 従来手法

帯域幅予約を行なうプロトコルに RSVP(Resource Reservation Protocol) [1]がある。RSVP では、 C_s から C_d までの経路は、ルーティングプロトコルによって定まるただ 1 つの経路に限定されているので、この経路上での帯域幅予約に失敗した場合、他の通信に予約された帯域幅が解放されるのを待たなければならない。これに対して、[2,3]で提案されているプロトコルでは、ルーティングと帯域幅予約を同時に行なう。 C_s と C_d の間に複数の経路が存在するならば、単一の経路のみを対象とする場合に比べて要求帯域幅を満足する可能性が高いといえる。しかし、通信リンクの提供する帯域幅が多様であることや、ユーザ要求の時間変化やその偏在によって、各通信リンクの未予約帯域幅の分布が大きくなる傾向がある。その結果、マルチメディアデータ配送のような広帯域幅を要するアプリケーションに対して、単一の経路で必要な帯域幅を提供することは難しい。しかし、複数の経路を用いることによって C_s から C_d への通信路が実現できる。そこで、 C_s で帯域幅予約の要求が発生してから、各通信リンクの予約されていない帯域幅の情報を C_d に集約する方法が考えられる。この情報を得ることができれば、ラベリング法などを用いて、要求帯域幅を満足する複数の経路上にある通信リンクに対して帯域幅の予約を行なうことが可能であるかを判定し、可能である場合は帯域幅を予約すべき通信リンクとその予約帯域幅の 2 項組の集合を決定することができる。そこで、ネットワーク全体 (C_s からマルチホップ配送によってメッセージが到達可能なすべてのルータからなるネットワーク) の

情報を C_s に集約する完全集中型のプロトコルが考えられる。しかし、 C_s に帯域幅情報を集約し、帯域幅の予約を通知するまでの間、各ルータは、他のルータからの帯域幅集約要求をブロックしなければならない。この計算量とブロック時間を低減する手法が必要である。

3 提案手法

アドホックネットワークを対象として設計された複数経路検出プロトコルである MRAODV(Multiple-Route Adhoc Ondemand Distance Vector) プロトコル [4]を用いて分散的に候補経路を作成し、それによって得られた候補経路に属する通信リンクの帯域幅情報のみを集約して経路決定する分散集中複合型プロトコルである RSVMRD(Reservation with Multiple-Route Detection) プロトコルを提案する。RSVMRD では、以下の条件を満足する経路のみを C_s と C_d との間の候補経路とする。

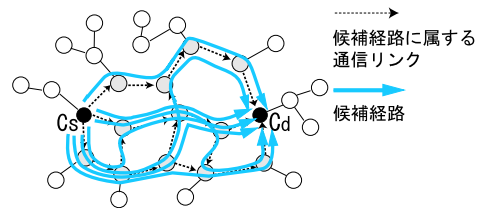


図 1: 候補経路

[条件] C_s から R_i までの経路 r^{si} と R_i から C_d までの経路 r^{id} について r^{si} に含まれる任意の通信リンクと r^{id} に含まれる任意の通信リンクとが互いに同一ルータ対を接続する逆方向の通信リンクとはならない、という条件を満たす r^{si} 、 r^{id} の組が少なくとも 1 つ存在する。
□

この条件を満足しないルータおよびこれに接続する通信リンクを計算対象からあらかじめ削除しておくことにより、計算量、メッセージ数などの削減を行なうことができる。MRAODV では、接続するリンクは必ず上流から下流の方向としている。このため、一時的に下流から上流へと向かうような経路は検出されず、より短い経路の検出より経路長差の小さな複数経路の検出が可能となる。経路長差の短縮は、マルチメディアデータの配送遅延の短縮へとつながり、実時間配送要求の充足の可能性を高めることができる。

[RSVMRD プロトコル]

MRAODV [4]を用いて C_s から C_d までの複数経路を探索することで設定されたフォワードリンクの集合を FL^{sd} 、バックワードリンクの集合を BL^{sd} とする。

(送信先コンピュータ C_d)

- 1) C_d は、帯域幅情報集約メッセージ B_{agg} を $(C_d, R_{up}) \in BL^{sd}$ を満たすすべての上流隣接ルータ R_{up} へ送信する。

(ルータ R_i)

*RSVMRD: Bandwidth Reservation with Multiple-Route Detection

[†]Tokyo Denki University

[‡]Kazuki Morita and Hiroaki Higaki

[§]{kazuki, hig}@higlab.k.dendai.ac.jp

- 1) R_i は、 $\langle R_i, R_{down} \rangle \in FL_i^{sd}$ を満たす下流隣接ルータ R_{down} から B_{agg} を受信する。
- 2) すべての R_{down} から B_{agg} を受信したならば、受信したすべての B_{agg} に含まれている帯域幅情報を含み、重複を取り除き、さらに、すべての $\langle R_i, R_{down} \rangle \in FL_i^{sd}$ の帯域幅情報 $[\langle R_i, R_{down} \rangle, B_{rest}^{(R_i, R_{down})}]$ を追加した新しい帯域幅情報を作成する。 $\langle R_i, R_{up} \rangle \in BL_i^{sd}$ を満足するすべての R_{up} へこの帯域幅情報を含む B_{agg} を送信する。

(送信元コンピュータ C_s)

- 1) C_s は、 $\langle C_s, R_{down} \rangle \in FL_s^{sd}$ を満たす R_{down} から B_{agg} を受信する。
- 2) すべての R_{down} から B_{agg} を受信したならば、これらに含まれる帯域幅情報を用いて、ラベリング法により C_s - C_d 間の最大帯域幅 B_{max} を計算する。
- 3) $B_{max} < B_{req}$ であるならば、MRAODV で検出された複数の経路の組み合わせによって通信路を構築しても、要求する帯域幅を得ることができない。一方、 $B_{max} \geq B_{req}$ であるならば、ラベリング法の残余グラフにより、帯域幅を予約すべきリンク $\langle R_i, R_j \rangle$ とその帯域幅 $B_{rsv}^{(R_i, R_j)}$ を決定する。集合 $R_{sv} \leftarrow \cup_{i,j} [\langle R_i, R_j \rangle, B_{rsv}^{(R_i, R_j)}]$ を格納した予約メッセージ B_{rsv} を $[\langle C_s, R_{down} \rangle, B_{rsv}^{(C_s, R_{down})}] \in R_{sv}$ を満足する R_{down} へ送信する。

(ルータ R_i)

- 1) R_i は $\langle R_i, R_{up} \rangle \in BL_i^{sd}$ を満たす R_{up} から B_{rsv} を受信する。既に $R'_{up} \neq R_{up}$, $R'_{up} \in BL_i^{sd}$ から B_{rsv} を受信済みであるならば、以降の処理は行わない。
- 2) $[\langle R_i, R_{down} \rangle, B_{rsv}^{(R_i, R_{down})}] \in R_{sv}$ を満たす $\langle R_i, R_{down} \rangle$ の帯域幅 $B_{rsv}^{(R_i, R_{down})}$ を予約する。以降、 C_s を送信元、 C_d を送信先とするメッセージを受信したならば、帯域幅 $B_{rsv}^{(R_i, R_{down})}$ 以下の範囲でこのメッセージを R_{down} に転送する。これによって、 $B_{rest}^{(R_i, R_{down})} \leftarrow B_{rest}^{(R_i, R_{down})} - B_{rsv}^{(R_i, R_{down})}$ となる。 R_{sv} から $[\langle R_i, R_{down} \rangle, B_{rsv}^{(R_i, R_{down})}]$ を削除する。
- 3) 更新された R_{sv} を含む B_{rsv} を、 $[\langle R_i, R_{down} \rangle, B_{rsv}^{(R_i, R_{down})}] \in R_{sv}$ を満足する R_{down} に送信する。

(送信先コンピュータ C_d)

- 1) C_d は、 $\langle C_d, R_{up} \rangle \in BL_d^{sd}$ を満たす R_{up} から B_{rsv} を受信する。□

4 評価

提案プロトコルの性能を帯域幅予約に要するメッセージ数、予約リンクと帯域幅を決定するための計算量、データ配送を開始するまでの時間について評価する。ここでは、完全集中型プロトコルとの比較を行なった。比較結果を表 1 に示す。ここで、 C_s からマルチホップ配送によってメッセージが到達可能なルータの数を N 、これらのルータに接続された通信リンクの総数を $2L$ 、これらのルータ間の最大距離 (ホップ数) を D とする。また、MRAODV によって検出された経路に含まれるルータの数を n 、これらのルータに接続された通信リ

ンクの総数を l 、これらのルータ間の最大距離 (ホップ数) を d とする。さらに、最終的に帯域幅の予約を行なうルータ数を n' 、それらを接続する通信リンクの総数を l' 、ルータ間の最大距離 (ホップ数) を d' とする。3 つの評価項目とも、ネットワークの構成によってその値は異なる。 $N > n$ 、 $L > l$ は必ず成立することから、経路計算量は提案手法の方が少なくなっている。

表 1: 性能評価結果

	RSVMRD	完全集中型
経路計算量	$\alpha n l^2 + \beta$	$4\alpha N L^2 + \beta$
メッセージ数	$2L + 2n + l + l'$	$2L + N + l'$
遅延	$D + 2d + d'$	$2D + d'$

次に、提案プロトコルの性能を経路計算量、交換される制御メッセージ数、検出される経路の長さ (ホップ数) の変化についてシミュレーションによって定量的に評価する。経路計算量については、全体の平均で約 40 分の 1 に削減されている。また、制御メッセージ数および検出される経路のホップ数については、コンピュータ数が多く、それらの接続性が高い (隣接コンピュータが多い) 場合に従来手法よりも劣る。しかし、それ以外の場合においては、RSVMRD によってオーバーヘッドを削減される。全体の平均では、制御メッセージ数で 14.1%、経路のホップ数で 20.4% の削減が実現された。

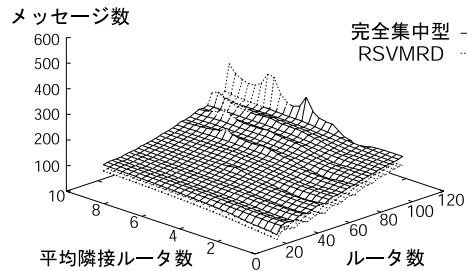


図 2: 制御メッセージ数

5 まとめ

本論文では、複数の経路を用いて、アプリケーションが必要とする帯域幅を持つ通信路を構成する RSVMRD プロトコルを提案した。今後は、本プロトコルを無線マルチホップネットワーク環境に対応可能とする拡張を行なう。

参考文献

- [1] Braden, R., Zhang, L., Berson, S., Herzog, S. and Jamin, S., "Resource ReSerVation Protocol (RSVP) - Version 1 Functional Specification," IETF RFC 2205 (1997).
- [2] Cidon, I., Rom, R. and Shavitt, Y., "Multi-path Routing Combined with Resource Reservation," Proceedings of the 16th Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies (INFOCOM), Vol.1, pp. 92-100 (1997).
- [3] Xin, Y., Hui, D., Yuan, Z. and Jie, Z., "Resource Reservation Mechanisms for Distributed Multi-path Quality of Service Routing," Proceedings of the 9th International Conference on Computer Communications and Networks, pp. 9-13 (2000).
- [4] 長谷部, 梅島, 松垣, "複数経路を用いた安定な通信のための AODV アドホックルーティングプロトコルの拡張," 信学技報 Vol.102, No.441, pp. 45-50 (2002).