

グループ通信における拠点間通信を集約する動的経路制御方式

中島一彰[†]、大芝崇、金友大、田淵仁浩

NEC インターネットシステム研究所

[†]nakajima@ah.jp.nec.com

概要

本稿では、複数拠点間で行われるリアルタイムなグループ通信において、ボトルネックとなる回線の通信量を低減することで、通信品質を向上する動的な経路制御について提案する。一般的に企業のイントラネットは拠点間の回線帯域が細く、また内部に部門ファイアウォールが存在しており、通信量が多いグループ通信の品質が劣化することが多い。提案する動的経路制御方式では、拠点間の接続のトポロジとファイアウォールの情報にもとづいて、各拠点に設置された中継サーバの経路制御を行う。各端末がグループ通信にアドホックに参加するときに、細い拠点間の通信とファイアウォールの通過を集約する経路を選択して、必要最小限な中継サーバ網を構築する。

A Dynamic Routing Control for Group Communications Decreasing Transmission over WANs

Kazuaki Nakajima, Takashi Oshiba, Dai Kanetomo and Masahiro Tabuchi

NEC Corporation, Internet Systems Research Laboratories

ABSTRACT

This paper proposes a dynamic routing control improving quality of real-time group communications among remote locations by reducing traffic on bottleneck of company intranet. Generally there are sectional firewalls and narrow lines between remote locations in company intranet, so quality of the group communication with rich data is often deteriorated because of communication delay. The proposing routing control system decides efficient route among relay servers placed in each remote location based on WAN link topology. When a terminal joints a running group communication in ad hoc, the system dynamically chooses a route making minimum relay server network for the communication, and the network minimize communication among the remote locations and through the firewalls.

1. はじめに

近年、IP 電話、Web 会議、メール、チャットなどのコミュニケーション手段を統合するユニファイドコミュニケーションが注目されている。ユニファイドコミュニケーションは確実かつ迅速なコミュニケーションにより、企業などの組織の業務効率の向上や、意思決定の迅速化を可能にすると期待されている。

チャットやメールなどの非同期系のコミュニケーションは文字による確実な意思伝達を可能にするが、コミュニケーションが完結するまでに時間がかかる。意思決定の迅速化におけ

るもっとも重要な手段はリアルタイムコミュニケーションである。リアルタイムコミュニケーションでは、必要なときに必要なメンバを集めて、一同に会することができれば、その場で議論を完結させることができる。

しかし、リアルタイムコミュニケーションにおけるグループ通信は、ネットワークの負荷が増加する問題がある。今まで、拠点の TV 会議室から参加していた会議の形態が、ユニファイドコミュニケーションでは各自の PC から参加することが多くなる。ところが、多人数のグループ通信は 1 対 1 通話に比べて同時に発話

する人数が多く、大きな通信帯域を必要とする。拠点間の回線帯域が細い場合や、部門ファイヤウォールが多数設置されている場合には、グループ通信の品質が劣化する。

本論文では、アドホックにグループ通信を開催したときに、拠点間の回線とファイヤウォールの通信量を最小限にする経路を自動構成する動的経路制御について述べる。

2. グループ通信の品質確保の課題

2.1. 企業ネットワークの制約

拠点分散している組織においては、拠点間の回線帯域は拠点内に比べて一般的に細く、しかも拠点全体で回線を共有している。したがって、特定の通信が拠点間の回線に負荷をかけると全体の業務に影響がでる。グループ通信は大量の帯域を常に消費し、遅延が許されないの、ほかの通信負荷が少ない時間帯で運用することが多い。たとえば、拠点間の回線に負荷がかかる就業時間帯を避けて行われ、本当に必要なときに利用できない場合が多い。

また、部門ごとにファイヤウォールが設置されていることが多く、ファイヤウォールを通過するためにプロキシやルータに負荷がかかってしまう。特に、トンネリングによって HTTP プロキシを通過するときには、同時に複数の通過が発生すると過負荷になってしまう。

また、中継サーバなどの装置には運用コストがかかるので、各拠点に無数に配置することができず、効率的に運用する必要がある。

2.2. グループ通信の最適経路の要件

企業イントラネット内におけるグループ通信の最適経路は、拠点間の帯域だけでなく、サーバ、ファイヤウォールなどネットワーク全体のリソースに及ぼす負荷を最小限にすることが必要である。その優先順位はリソース枯渇が全体に及ぼす影響の順番となり、要件として次のものが挙げられる。

(要件1) 拠点間の通信の最小化

拠点間の回線は全社で共有されており、通信を最小化することで帯域不足による通信品質の劣化を抑える

(要件2) ファイヤウォール通過の最小化

ファイヤウォールは部門で共有されており、その通過を減らすことで通信遅延を低減する

(要件3) サーバの負荷の最小化

サーバを経由する方式ではサーバの過負荷が遅延の要因となるので、サーバリソースの消費を抑えることで通信遅延を防止する

2.3. 既存の経路制御方式の問題

拠点間通信を効率化する既存の通信方式として、リアルタイムコミュニケーションではMCU（多地点接続装置）を使う方法がある。各拠点に設置したMCUを手動で予約して相互に接続することで拠点間の帯域を削減するが、予約型なのでアドホックに利用できない。MCU以外でアドホックにグループ通信を可能にする次の方式が考えられている。

(1) IP ルーティングに依存させる方法

映像配信に使われる Flexcast[1]ではIPルーティングの経路制御に基づいて中継網を動的に拡張する。FlexcastはUDPベースの擬似的なマルチキャスト網を構築する。端末が配信サーバに送信を要求するときに、途中の Flexcast 対応ルータを経由する。Flexcast 対応ルータはほかの端末からの送信要求が到達したら、既存の接続からデータのコピーを配信するように動的に木構造を拡張する。しかし、IP ルーティングは企業網に設置されたファイヤウォールに対応できず(要件 2)を満たさない。さらに、ルーティングが固定なので途中の中継ノードに常に負荷をかけ(要件 3)に不足する。また、IP ルーティングの経路上にないほかの中継サーバを経由することで負荷を軽減できる場合があっても対応できず、(要件 1)を完全には満たさない。

(2) P2P による経路制御

端末が相互に接続して通信を行う P2P は、エンドエンドでの 1 対 1 通信に広く利用されている。P2P を利用したグループ通信では多数の端末を経由して P2P 網を構成する[2][3]。しかし、P2P 網を構築するときの経路制御は、端末が自立的に選んだ経路の集合であり、拠点間のトポロジは考慮されず、組織全体で最適にするのは困難であり(要件 1)を満たさない。また、基本的にファイアウォールがあると通信できない。Skype のようにスーパーノードを経由して通信できるものがあるが、各端末が個別にファイアウォールを越えるので、たとえばプロキシに多大な負荷をかけ(要件 2)を満たさない。

3. 経路制御の方針

企業ネットワークでのグループ通信の品質確保の 3 つの要件を同時に満たすように、グループ通信の経路制御の方針を立てた。

(1) 細い回線での拠点間の通信を集約する

拠点間の回線の通信量を最小限にするように、拠点ごとに設置した中継サーバを用いて拠点間のグループ通信を集約する。細い回線で接続された拠点間で中継サーバ間の経路が多重にならないように動的な経路制御をすることで、ボトルネック箇所での冗長送信を抑制する。

(2) ファイアウォールの通過を集約する

同一部門内から複数端末がファイアウォールを通過するときには、部門内に設置した中継サーバで回線を集約してから、外部と接続する。また、ファイアウォール内からの開催でも確実に経路網を構築するために、待ち受けをファイアウォールの上位の中継サーバにて実行する。

(3) 中継サーバの負荷を低減する

グループ通信で利用する中継サーバの数を最小限に抑える。小中規模なグループ通話での中継サーバの無駄な中継を抑え、中継サーバの負荷を低減する。アドホックな利用や予定外の拠点からの参加があるときには、動的に中継サー

バ網を拡張する。

4. 動的経路制御方式

4.1. システム構成

本システムの構成を図 1 に示す。端末と中継サーバ、経路制御サーバから構成される。経路制御サーバが集中的に経路制御をする。端末と中継サーバの位置、拠点の接続トポロジ、ファイアウォール情報を管理し、端末と中継サーバが次に接続すべき中継サーバの候補を指示する。経路制御サーバは Web サーバで構成されており、ファイアウォール内の端末や中継サーバからも通信可能である。中継サーバは疑似マルチキャスト通信が可能であり、端末間のグループ通信を中継する。

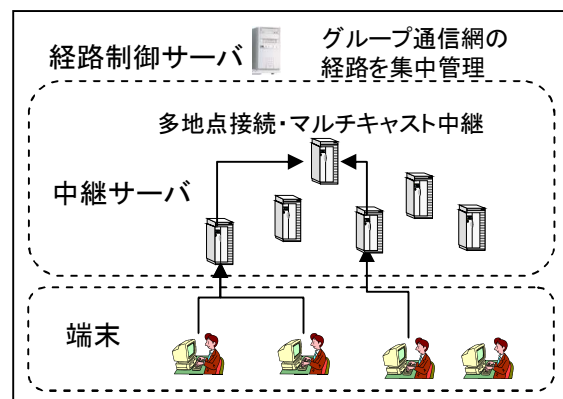


図 1 システム構成

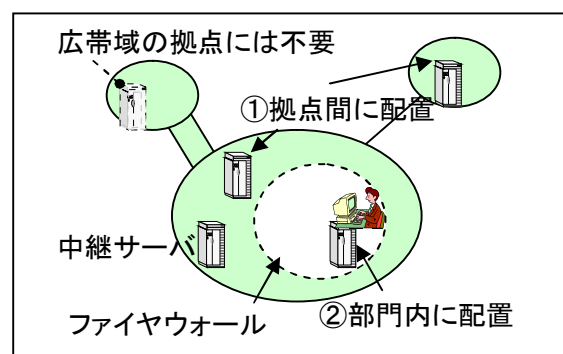


図 2 中継サーバの配置ポリシー

4.2. 中継サーバの配置ポリシー

理想的な中継サーバの配置ポリシーを図 2 に示す。中継サーバは基本的に各拠点に配置する。拠点間の回線帯域が細い拠点同士の間には

必ず配置する必要がある。ただし、十分な回線帯域があり同一拠点とみなせる場合は、中継サーバを配置しなくてもよい。また、ファイアウォールがある部門で多数の参加が見込まれる場合には、ファイアウォールの内側にも中継サーバを設置する。なお、配置した段階では中継サーバの経路は確定しておらず、経路制御によって利用時に動的に決定する。

4.3. 経路制御サーバへの位置情報の登録

端末および中継サーバは自身の IP アドレスを経路制御サーバに通知して、位置情報を登録する。経路制御サーバは表 1 に示す情報が格納されており、登録された位置情報を元に経路制御が行われる。経路制御サーバには拠点間の接続情報とファイアウォールの存在情報が格納されており、通知された IP アドレスからどの拠点にいるのか、どのファイアウォール内にいるのかを特定する。

表 1 経路制御サーバが管理する情報

	項目名	内容
物理構成に依存	拠点情報	配下の IP の範囲
	FW 情報	配下の IP の範囲
	拠点接続情報	広域回線のリンク帯域
動作位置で変化	中継サーバの位置	拠点情報と FW 情報
	端末の位置	拠点情報と FW 情報
通信時に変化	グループ通信	端末と中継サーバの
	網の状況	通信時の接続状況

(注：FW=ファイアウォール)

4.4. 優先利用する中継サーバの指定

中継サーバの余分なホップを抑えるために、グループ通信の開催者が参加予定者を指定した場合には、優先利用する中継サーバを経路制御サーバで決定する。開催者はグループ通信を開始する直前に参加者予定リストを経路制御サーバに送付し、必要最小限な中継サーバを算

出し、優先利用する中継サーバとする。たとえば、図 3 にあるように、全拠点の間にある「東京」拠点に中継サーバがあっても、その拠点から誰も参加しない場合は、中間拠点の中継サーバを経由せずに負荷を低減する。ただし、参加予定メンバがいる 3 地点以上を結ぶ中継地点となる場合には、優先利用に加えて中継させることで拠点間通信の冗長化を防止する。

また、「千葉」拠点のように一人しか参加しない拠点だとわかっている場合、および中継サーバがない拠点は、その拠点の中継サーバは利用せず、もっとも隣接した拠点の中継サーバを優先利用の中継サーバに加える。複数の候補がある場合には、回線帯域が広い拠点の中継サーバを選択する。

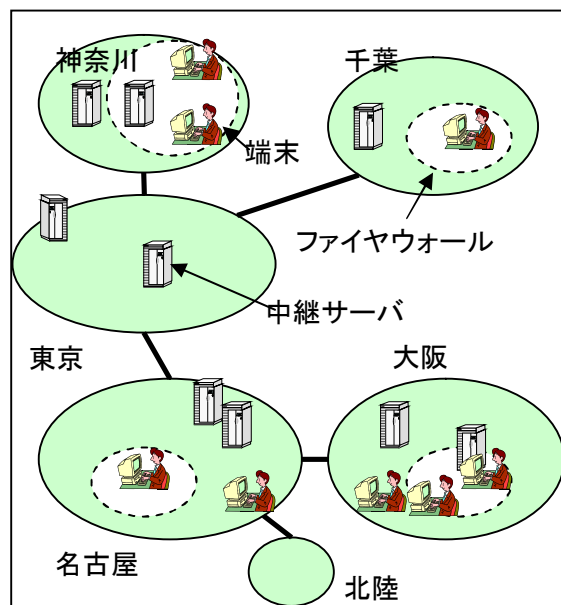


図 3 企業イントラネットの拠点接続の例

4.5. グループ通信開始時の最小経路生成

ファイアウォール内に参加予定の端末があってもグループ通信に接続できるように、中継サーバの最小経路を構築する。通信を開始するとき、開催者のリスン端末から中継サーバに接続してリスンが行われる。参加予定の全端末がファイアウォールを通過して接続できる最小限のファイアウォール内にある中継サーバま

でリスン端末から接続して、最小経路を生成するように経路制御サーバが指示する。

たとえば、図 4 においてはリスン端末から、2 段の中継サーバを経由して最小経路を構成することで、社内イントラネット内の全端末が接続可能な状態になる。今後、中継サーバにログインが到達したら、待受け機能に転送して認証を行う。

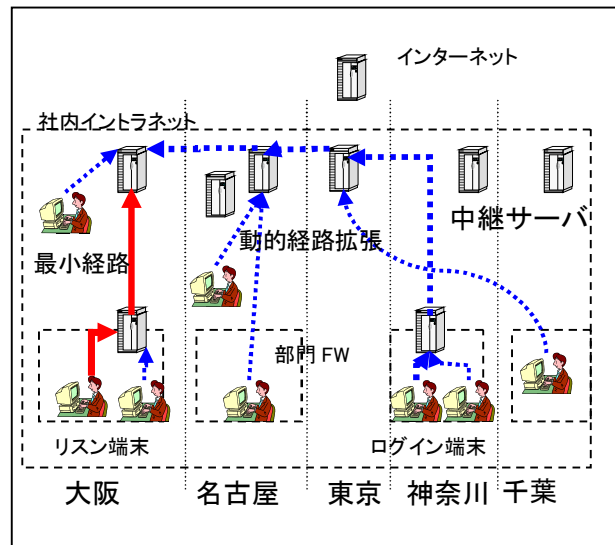


図 4 経路の動的構成の例

4.6. グループ通信参加時の動的経路拡張

ログイン時には拠点間の通信回線やファイヤウォール通過を集約するように、ログイン端末と中継サーバが経路生成をしながら、リスンしている中継サーバまで接続を繰り返すように、経路制御サーバが制御する。自身の近傍の中継サーバを経路制御サーバに問い合わせ、(1)同一拠点、同一ファイヤウォール内にある中継サーバに優先的に接続し、(2)ファイヤウォールを越えずにリスンしている中継サーバに接続可能な場合には、自身の拠点からの最短で「リスン」している拠点の方向に存在している中継サーバに対して接続が行われる。このとき、接続候補に挙がるのは、優先利用に指定された中継サーバおよびグループ通信に利用中の中継サーバであり、帯域が広い回線上にある中継サーバを優先する。なお、経路生成中に接続され

た中継サーバがグループ通信に参加中であった場合には、既存の経路を利用して集約する。

図 4 においては、「神奈川」の端末は自身のファイヤウォール内の中継サーバに接続し、次に上位であり近傍の「東京」の中継サーバに接続する。「東京」からはリスンしている中継サーバに近い方向の「名古屋」の中継サーバに接続し、これを繰り返してリスンした端末まで回線が確立される。なお、「千葉」の参加者 1 人は「千葉」の中継サーバを省略して隣接の「東京」に接続する。

4.7. 冗長経路の再構成

予定外の参加者がログインすると経路制御サーバが優先利用に指定する中継サーバを追加することがある。新たな中継サーバはグループ通信を構成している近傍の中継サーバに接続する。この状況によって経路が冗長になった場合には、経路制御サーバからの指令によって、一時的に中継サーバ間の接続にマルチパスを設けて、最適な経路になるように再構成する。なお、再構成は経路生成時に比べてリアルタイム性を必要としないので、ポーリングによる経路制御サーバへの問合せによって対応する。

5. 検証と考察

5.1. システムの実現

中継サーバ、ユニファイドコミュニケーションツール、経路制御サーバを実現した。映像、音声、資料共有、ファイル転送、チャットを AP として実装した。予備的な社内実証実験にて拠点間の通信を集約する経路が動的に構成されることを確認している。

5.2. 本方式の有効性の検証

(1) 中継サーバ不足時の回線負荷の軽減

全拠点に中継サーバを設置していれば、本方式と IP ルーティングに依存する方法は同様に拠点間の通信を集約する。しかし、全拠点に中継サーバを設置することは難しいので、場合によ

っては、経路の重複が生じる。たとえば、図 5 のように、分岐拠点 B に中継サーバがない場合、IP ルーティングに依存した固定的な経路制御では、C 拠点 D 拠点の参加状況にかかわらず経路が固定なので、 $A \rightarrow B \rightarrow C$ と $A \rightarrow B \rightarrow D$ が選択される。 $A \rightarrow B$ の帯域が細い場合にはボトルネックとなる。本方式は動的に経路制御をするので、たとえば D 拠点からの参加があり、 $B \rightarrow D$ の帯域が広い場合には、C 拠点の中継サーバに対しては $A \rightarrow B \rightarrow D \rightarrow B \rightarrow C$ のように経路制御をして、ボトルネックを回避する。

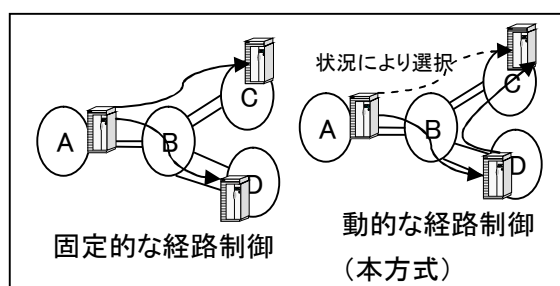


図 5 中継サーバがない拠点からの分岐

(2) ファイウォールの負荷の検証

中継サーバを 2 段にした負荷がファイウォールの負荷よりも小さければ、集約の効果が出る。実験したところ 1KB のデータ転送の場合、ファイウォールを越える手段が HTTP プロキシの場合にはトンリングによって 15ms の遅延が発生した。中継サーバは 1ms の遅延であった。負荷と遅延はほぼ比例するので、中継サーバを部門内に設置すると性能が向上する。

(3) 中継サーバの負荷

中継サーバを選択的に利用した場合の効果を検証する。拠点を直列に並べた場合において、各拠点からランダムに参加したときの中継サーバの通過数を比較すると、本方式は全中間ノードを経由する方式に比べて 5 拠点で 72%、10 拠点で 62%削減できることがわかった。

5.3. 中継サーバの導入優先度の考察

大きな組織では、中継サーバは段階的に導入される。どここの拠点から導入するかは

「許される回線帯域／同時利用予想人数」

が小さい拠点から順次導入していくことが効率的である。多数の端末からの接続を拠点内で集約することで、外部への回線数を削減するとともに、拠点内で閉じたグループ通信で外部と通信しなくなる。部門ファイアウォール内においても同じ数式が当てはまる。

なお、本方式では中継サーバを増やしても中継サーバのホップ数が無用に増えないので、最初は同一拠点内として扱われていた隣接したビルなどで、上記数式を当てはめて分割したときに優先度が上がる場合には、拠点を分割して中継サーバを導入したほうがよい。

ただし、例外として、3 拠点以上の中継地点には優先して導入することで、多地点を接続する経路を効果的に集約できる。

6. おわりに

本報告では、拠点に分散された組織において、自席から複数人が参加するグループ通信について、アドホックに実施されたときでも、最小限の中継サーバで拠点間の回線帯域の消費を最小限に抑える経路制御技術について述べた。今後の課題としては、社内実証実験での性能評価、経路や中継サーバの負荷状況を見た経路制御、端末で中継機能を動作させたときの経路制御などがあげられる。

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、電子情報通信学会論文誌 Vol. J88-D-I, No. 2, pp. 272-291、2005 年 2 月
- [2] 高野、北形、菅沼、白鳥: 多対多ビデオ会議システムのためのアプリケーションレベルマルチキャストツリー構築手法の提案と実装、情報処理学会 123 回 DPS 研究会、pp41-46、2005 年 6 月
- [3] 勝間、村岡: 実ネットワークの特性を考慮した P2P リレーによる多チャンネル IP 映像配信の実現、情報処理学会 40 回 DSM 研究会、pp 73-78、2006 年 3 月