

モバイル端末主導によるグループ型マルチキャストの提案

柳下 孝一 †, 佐藤 克彦 †

† 日本無線株式会社 BWA プロジェクト室

あらまし 本稿では、オーバーレイマルチキャストを用いたモバイル環境におけるグループ型マルチキャスト通信を提案する。オーバーレイマルチキャストは、導入コスト、運用スケーラビリティの観点から期待すべき技術である。しかしながら、マルチキャスト送信元及び受信者が移動するモバイル環境において適用する場合、常に最適な配信木をより少ない制御量で再構築できる手段を検討する必要がある。本稿ではオーバーレイマルチキャストに対し、分散ハッシュテーブルを用いた Rendezvous Point(RP)位置の検出、送信元端末移動後の配信遅延を是正する RP 再配置、ならびに RP による転送処理負荷を抑制させる手法について新しく提案する。また、モバイル端末及びプロキシ間のプロトコルとステートマシْنَを設計し、その実施方法について論じる。最後に、設計したプロトコルを手続きの複雑さ等の観点から実現性を検証し、提案手法の課題について考察する。

Group Type Multicast by Mobile Host Initiated

Koichi Yagishita and Katsuhiko Sato †

† BWA Project, Japan Radio Co., Ltd.

Abstract This paper presents a new multicast based group communication technique under mobile environment. The overlay multicast technologies are promising from leverage cost and operation scalability perspective, however few studies have considered efficient and optimal tree reconstruction method even in mobile environment where both multicast source and receivers are moving around. In this paper we propose three new methods: Rendezvous Point (RP) detection by using the distributed hash table, RP relocation after the source movement to minimize transmission latency and load control for forwarding process at RP. We design protocols and state-machines on the mobile host and proxy to implement it and give some feasibility consideration from complexity point.

1. まえがき

高速・広帯域ネットワークの利用形態の一つとして、ビデオ会議や遠隔授業などのグループ型同報通信が実用化されている。一方、HSPA や Mobile WiMAX 等といった広帯域無線アクセス技術や高速移動制御技術の進展に伴い、そのようなグループ型同報通信サービスを有線、固定系通信のみならず無線、移動系通信にも応用することが期待される。

グループ型同報通信では、ユニキャスト通信に比べてネットワークリソースの利用効率が高いマルチキャスト配信が有効である。しかしながら、MOSPF[20]やPIM[21]といった従来のIPマルチキャストを広域に運用する場合、同一マルチキャストプロトコルを実行するルータの一斉導入・運用が困難である。このような運用スケーラビリティの問題を理由に、IPマルチキャストは局所化された自営網を除いて殆ど普及していないのが実情である。

このようなIPマルチキャストの課題を解決する技術として、アプリケーションレイヤマルチキャスト(ALM)やプロキシを用いたオーバーレイマルチキャスト(OM)が提案され、その後、数多く改良研究がなされている[17]。前者は、受信端末間でデータ転送を行うことを特徴とし、マルチキャスト機能を具備するルータの新規導入や網の再設計を行う必要がなく、網側の新たな設備投資を抑えることが可能となる。しかし、予期しない端末のネットワーク離脱は、マルチキャストツリーの分断を招き、安定した通信を保証できないといった課題も指摘されている。一方後者は、コンテンツ配信するノードと受信端末間のネットワークにプロキシノードと呼ばれる中間ノードを配置させることを特徴とする。網側の新たな設備投資が必要となるものの、ALMに比べて安定した通信を行

うことができる。

本研究が仮定するモバイル端末間で形成される同一グループ内でのマルチキャスト通信にALMを適用した場合、端末間に個別に設定されるユニキャストパス上のトラフィックが、端末と網間の無線リンクの帯域リソースを圧迫する。グループ内のユーザ数やグループ数が増加した場合、この問題はさらに深刻となる。一方、OMを適用した場合、網側にプロキシを配置するため、端末間の個別パスは集約され、端末から網への無線アップリンク上のトラフィックは必要最小となる。しかし、これまでのOMでは送信元端末と受信端末の双方が移動する場合を想定していないため、Rendezvous Point(RP)となるプロキシノードの位置やマルチキャストツリー構築手段について検討する余地がある。

そこで本稿では、分散ハッシュテーブル(DHT)を応用したRPの位置を通知する方法、及び当該RP経由のツリー構築方法について新しく提案する。また送信元端末移動後の転送遅延を是正するRP再配置、ならびにRPによる転送処理の負荷を抑制させるための手法について論じる。また、モバイル端末及びプロキシ間のプロトコルとステートマシْنَを設計し、本提案手法の実現性を検討する。

2. 関連研究

ALM[1-9,15]は、Unstructured型とKey-Based Routing[18]を用いたStructured型に大別できる。Unstructured型ALMの代表として、Mesh-First型のEnd System Multicast[1]、Tree-First型のYoid[2]、また中央集権型にツリーを構成するALM[3]などが挙げられる。一方、Structured型の代表として、i3[15]、CANを

用いた手法[6]、Pastryを用いたScribe[8]やそのScribeを用いて複数のツリーを構築するSplit Stream[9]、Tapestryを用いたBayeux[7]が挙げられる。これらのALMは、既存のネットワークを意識することなくマルチキャスト配信が実現できるものの、IPマルチキャストと比べると、必ずしも最適化されたツリーが構築されず、その結果、エンド・ツー・エンドにおける大きい転送遅延を招いてしまう。またツリー構築のための制御が複雑になってしまうという課題もある。

一方、ネットワーク側にプロキシノードを配置するOMの代表として、Overcast[12]、RMX[11]、Scattercast[10]、AMCast[13,14]が提案されている。Overcastは、送信元から受信者までで利用可能帯域が最大となるマルチキャストツリーを構築することを目指している。RMXは、プロキシとなるRMXs間でTCP接続のスパニングツリーを形成し、異なるネットワーク同士を含めた広域でのマルチキャストを行う。Scattercastについては、遅延をルーティングメトリックとして用い、送信元から最短パスを形成することを目的としている。AMCastは、プロキシとなるMSN(Multicast Service Node)を配置させてエンド・ツー・エンドにおける転送遅延を抑えること、またMSNの帯域を効率よく使用することを目指している。

OMの利点は、ALMと比較するとエンド・ツー・エンドにおける転送遅延やツリー構築のための制御量を低減させ、IPマルチキャストに近いパフォーマンスを提供することである。OMの次の課題は、複数のネットワークサービス事業者を跨るような、より広域にOMを運用した場合に、ドメイン間の相互接続を考慮したプロキシの配置やそのプロキシ自体の帯域を意識したネットワーク設計、構築のコストをいかになくすることができるかである。

3. モバイル端末主導によるグループ型マルチキャストの概要

本提案は、広域なモバイル環境におけるグループ型同報配信を目標としているため、既存のIPマルチキャストに比べてスケーラビリティがあり、またALMに比べて無線リソースを有効利用できると考えられるOMをベースとする。3.1ではプロキシの配置、3.2ではDHTを用いたRP位置の通知手法、3.3ではモバイル端末のプロキシ間移動について示す。さらに3.4では配信遅延低減のためのRP再配置、3.5ではRPによる転送処理の負荷を抑制させるツリー構築について述べる。

3.1 プロキシの配置

本提案は、図1に示されるように、AS1内のモバイル端末MN1から配信されたストリーミングがアクセスネットワーク内に分散されたプロキシを経由して同一グループXに属するMN2~5で受信されることを目指している。プロキシをアクセスネットワーク内に一つ配置した場合でも本マルチキャストを実現できると考えられるが、そのノードへの負荷を低減させるために分散配置を行っている。また本提案では、モバイル端末は上位のプロキシに対してネットワーク登録をする特徴を有しており、プロキシ(同図ではプロキシ1, 2, 4, 11)は自身の配下にあるモバイル端末の位置を把握することができる。そのため、プロキシの配置場所はモバイル端末の位置情報を瞬時に取得できるアクセスルータ付近が望ましい。

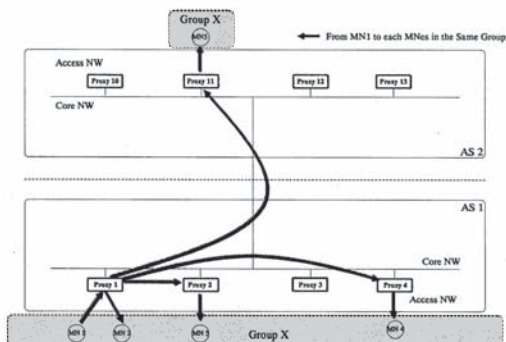


図1 本提案グループ型マルチキャスト配信のイメージ

3.2 DHTを用いたRP位置の通知手法

図1に示されるようにMN1~5は上位にあるプロキシに既にネットワーク登録を行っており、この状態よりMN1が同一グループXに属する他のMNに対してマルチキャスト配信する場合、まずプロキシ1へMN1が配信準備を意味するメッセージ(宛先MNの情報を含む)を送信する。この状況ではプロキシ1がFirst-HopかつRPと云え、MN2からのJoinを受信すれば、プロキシ1はMN2に対して直接配信することが可能である。しかし、ネットワーク登録をしているグループX内の他の端末はプロキシ1がRPであることを知り得ない。そこで、予めプロキシ間でStructured型のオーバーレイネットワークを形成しておき、プロキシ1は自身がRPであることを通知するタイミングになったときにDHTを用いて自身の他に当該グループ内端末の位置を把握しているプロキシがいるか否かを調べる。

具体的な検索方法を述べるために、例として代表的なDHTの検索アルゴリズムであるChord[16]を用いることとする(図2)。同図は、プロキシとそのプロキシにネットワーク登録してきたモバイル端末のユニークなIDをハッシュ関数の引数とし、その関数より求められた値(ノードIDやキーID)を円状に配置することによって形成されるStructured型のオーバーレイネットワークを示している。キーを拡散する方法として、プロキシは自身に対してモバイル端末がネットワーク登録してきた際に得られるキーIDをそれと近いハッシュ値を持つプロキシに

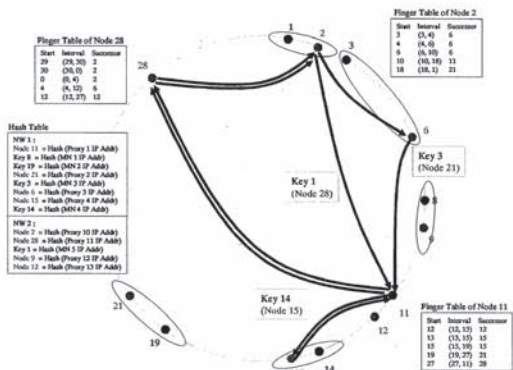


図2 モバイル端末を管理するプロキシの検索例

送信する。この拡散により、各プロキシはネットワーク登録をしてきたモバイル端末及びそれを把握しているプロキシの位置を検索することが可能となる。

同図より、プロキシ 1 を意味するノード 11 は、オーバーレイネットワーク構築過程において作成された Finger Table を参照し、所望のプロキシを探す。その Finger Table 参照により、MN3(キー3)を探すためにはノード 28 への問い合わせを行う。ノード 28 はその問い合わせが自身に対してではないことが判断できると自身の Finger Table を参照し、ノード 2 に問い合わせる。最終的には問い合わせを繰り返すことにより、所望のノードである 6 へ辿り着き、そのノード 6 はノード 11 に対して、キー3を管理しているノードが 21 であることを通知する。MN4(キー4)や MN5(キー1)が管理するプロキシの検索についても同様に Finger Table を用いて実施する。以上の検索により、Last-Hop プロキシが発見され、その後プロキシ 1 はそれらに対して自身が RP であることを通知する。

さらに、この通知を受信した Last-Hop プロキシ郡は、自身の配下にいる受信端末に対して配信を試みる端末がいることを通知する。続いて、受信端末は配信を要求するために上流に向けて Join を送信し、それは自身を管理するプロキシ経由で RP に届けられる。RP によってこのメッセージが処理されると、送信元端末に対して配信準備が整ったことを通知する。以上より、本提案マルチキャストのツリーが構築されたことになる。

3.3 モバイル端末のプロキシ間移動

プロキシは、常に下流に向けてネットワーク登録をするためのトリガとなる広告を送出しており、それに対してモバイル端末が応答すれば、そのプロキシに対するネットワーク登録が完了する。但し、端末が異なるネットワークへハンドオーバーを行った場合、ネットワーク登録をしていたプロキシからの広告を受けることができないため、ハンドオーバー先にある新たなプロキシから広告を受信して再度ネットワーク登録を行う。

しかし、ハンドオーバー先のプロキシの帯域不足により、通信不可の状態に陥る場合があり、このような帯域不足の問題は初回のネットワーク登録段階においても発生する。前者については、ハンドオーバー前に接続していたプロキシへの再登録、後者では予め他のプロキシの IP アドレスを得ておくことなどが考えられるが、本論文では今後の課題とする。

3.4 配信遅延低減のための RP 再配置

図 3 に示されるようにマルチキャスト配信中のモバイル端末 MN1 がプロキシ間を移動した場合、RP が移動前のプロキシ 1 を維持した状態であると、受信端末へ配信するためのホップするプロキシの数が増え、転送遅延が生じる。そこで、新たにネットワーク登録をするプロキシ 2 を RP に設定し、その後 RP が変更されたことを各プロキシに通知することにより、ホップ数を減少させたマルチキャストツリーを再構築させ、転送遅延の低減を図る。

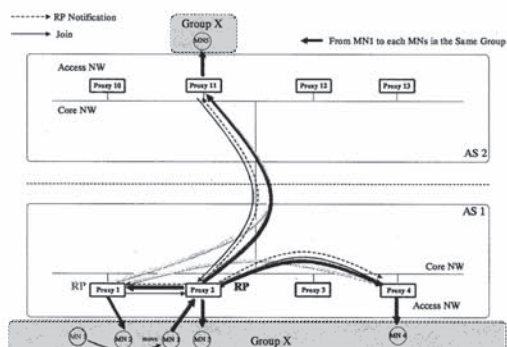


図 3 配信遅延低減のための RP 再配置

3.5 RP による転送処理の負荷を抑制させるツリー構築

送信元端末郡が、同一のプロキシを各マルチキャストツリーの RP としていた場合、そのプロキシのアップリンク帯域は他のプロキシと比べて使用率が高い可能性がある。そこで、プロキシのリンク残帯域がある閾値 X 以下になった場合、出来る限りその帯域の使用を抑えたツリー構築の処理を実行する。例えば、図 4 に示されるようにプロキシ 1 のアップリンク帯域が X 以下のときに MN20 がマルチキャスト配信する場合、プロキシ 1 は RP 通知先プロキシを検索する。その結果、プロキシ 1 は通知先としてプロキシ 2, 4, 11 を得た場合、その後それらのプロキシに対してリンク帯域情報を要求する。

その結果、3つのプロキシのダウンリンクの残帯域がコンテンツ帯域より多いと仮定した場合、プロキシ 1 は残帯域が最も多く、かつアップリンクの帯域に(コンテンツ帯域) × (Last-Hop プロキシ候補数 - 1; 例では 2) を確保可能なプロキシをツリー構築のための中間プロキシとして選択する。この例ではプロキシ 2 が選択されたと仮定すると、つまりプロキシ 1 の転送先はプロキシ 2 に限定され、プロキシ 1 の残帯域を考慮したツリーを再構築できる。

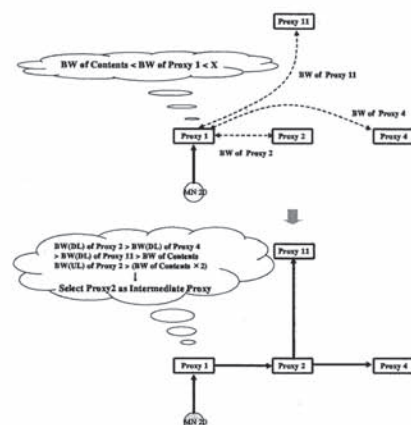


図 4 RP による転送処理の負荷を抑制させるツリー構築

4. 提案マルチキャストプロトコルの設計

本章では、提案マルチキャストの実現性を検討するために、プロトコル設計を行う。4. 1ではプロキシの状態及び制御メッセージの定義、4. 2では本提案マルチキャスト配信シーケンス(正常系)やマルチキャスト配信における送受信端末が移動した場合のシーケンスについて示す。最後に4. 3では、プロキシのステートマシンについて示す。

4. 1 プロキシ状態及び制御メッセージの定義

プロキシの状態定義は表 1 に示される通りであり、“NULL”や“Proxy Enable”はモバイル端末がプロキシにネットワーク登録をする際に必要な状態を意味している。残りの 6 つの状態については、マルチキャストコンテンツ毎のプロキシの状態を意味している。また、プロキシ-モバイル端末間やプロキシ間のメッセージを表 2 に定義した。DHT を用いた検索のために必要なメッセージについては、既存のメッセージを流用することが望ましいため、本論文では未定義とし、今後検討する。

表 1 プロキシ状態の定義

状態	意味
NULL	プロキシにモバイル端末がネットワーク登録していない状態
Proxy Enable	モバイル端末が少なくとも一台はネットワーク登録している状態
RP Inactive	ツリー上のRPプロキシとして選択されている状態 ※RP配下に端末がいる場合、RPはFirst-Hop及びLast-Hopと云える
RP Active	RPプロキシに配信要求がある状態
Last-Hop Inactive	ツリー上のLast-Hopプロキシとして選択されている状態
Last-Hop Active	Last-Hopプロキシに配信要求がある状態
Intermediate-Hop Inactive	ツリー上でIntermediate-Hopプロキシとして選択されている状態
Intermediate-Hop Active	Intermediate-Hopプロキシに配信要求がある状態

表 2 制御メッセージの定義

メッセージ名	用途
PROXY_ADV	モバイル端末が配下にいるかを確認するためのプロキシ広告(定期送信)
MN_NW_REG	プロキシ広告に対するネットワーク登録(定期送信)
MN_OMCAST_READY	送信モバイル端末による配信通知メッセージ
PROXY_OMCAST_READY	プロキシによる配信通知メッセージ
MN_OMCAST_JOIN	受信モバイル端末による配信へのJoinメッセージ(定期送信)
PROXY_OMCAST_JOIN	プロキシ間のJoinメッセージ(定期送信)
PROXY_OMCAST_REJECT	Joinに対してプロキシが返信するRejectメッセージ
PROXY_OMCAST_COMPLETE	モバイル端末に対して配信準備が整ったことを意味するメッセージ
PROXY_OMCAST_INFO_UPDATED	ツリー情報が更新されたことを通知するためのメッセージ
PROXY_OMCAST_CANCEL	プロキシによる配信停止要求メッセージ
MN_OMCAST_START_REQ	配信中に同一あるいは異なるプロキシに対するネットワーク登録
MN_OMCAST_START_RSP	MN_OMCAST_START_REQに対する応答メッセージ
PROXY_BW_REQ	プロキシのリンク帯域を要求するメッセージ
PROXY_BW_RSP	PROXY_BW_REQに対する応答メッセージ
PROXY_JHOP_SELECT	First-Hopのリンク帯域が枯渇してきたときに中間プロキシを選択するメッセージ
MN_NW_DREG	ネットワーク離脱
MN_OMCAST_STOP	送信モバイル端末による配信停止メッセージ
PROXY_OMCAST_STOP	プロキシ間の配信停止メッセージ
MN_OMCAST_LEAVE	受信モバイル端末による配信への離脱メッセージ
PROXY_OMCAST_PRUNE	プロキシ間のPruneメッセージ

4. 2 本提案マルチキャスト配信シーケンス

定義したプロキシの状態及び制御メッセージを用いてネットワーク登録から本提案マルチキャスト配信を実施するまでの正常系シーケンスを図 5 に示す。同図の上部より、各モバイル端末は上位のプロキシが定期送信している PROXY_ADV を受信した場合、MN_NW_REG を送信し、そのプロキシへネットワーク登録を行う。MN_NW_REG を受信したプロキシは、そのメッセージに含まれるモバイル端末のキーをオーバーレイネットワ

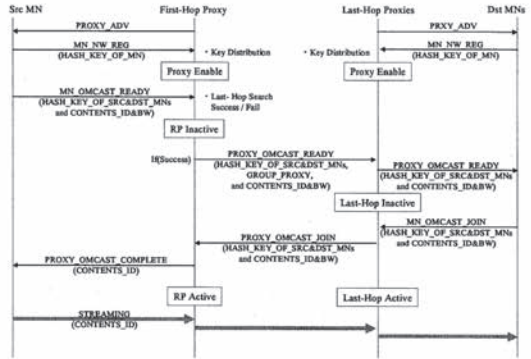


図 5 本提案マルチキャスト配信シーケンス

ーク上に配布し、自身の状態を“NULL”から“Proxy Enable”へ遷移させる。

この状況下で、モバイル端末が同一グループ内端末に対してマルチキャスト配信をする場合、まず MN_OMCAST_READY をネットワーク登録しているプロキシに対して送信する。このメッセージには、送信元端末及び受信端末郡のキーID、さらには配信するコンテンツのID及び帯域が含まれている。これを受信したプロキシは、受信端末郡を管理する Last-Hop 候補のプロキシを検索した後、自身の状態を“Proxy Enable”から“RP Inactive”へ遷移させる。例えば、この状態において、Last-Hop プロキシ情報が含まれる検索成功通知郡が RP プロキシに対して送られた場合、RP は各 Last-Hop プロキシへ PROXY_OMCAST_READY を送信する。これには、送信元端末及び Last-Hop プロキシ配下の受信端末のキーID やコンテンツ ID 及び帯域に加えて、マルチキャストツリー構築に使用される各プロキシ情報も含まれている。

PROXY_OMCAST_READY を受信した各 Last-Hop プロキシは、自身の配下にある受信端末に対して、プロキシ情報を除いた PROXY_OMCAST_READY を送信し、その後、自身の状態を“Proxy Enable”から“Last-Hop Inactive”へ遷移させる。PROXY_OMCAST_READY を受信したモバイル端末が、配信を要求する場合に MN_OMCAST_JOIN を Last-Hop プロキシへ送信する。Last-Hop プロキシはそのメッセージを受信すると、RP へ PROXY_OMCAST_JOIN を送信し、自身の状態を“Last-Hop Inactive”から“Last-Hop Active”へ遷移させる。PROXY_OMCAST_JOIN を受信した First-Hop プロキシは、送信元端末に PROXY_OMCAST_COMPLETE を送り、自身の状態を“RP Inactive”から“RP Active”へ遷移させ、この段階で本提案マルチキャストのツリーが構築されたことになる。

また配信中に受信者やマルチキャスト送信元が他のプロキシへ移動した際のシーケンスを図 6, 7 に示している。図 6 では、受信中モバイル端末が新しいプロキシへネットワーク登録をする場合、MN_OMCAST_JOIN を送信し、これを受信した Last-Hop プロキシは自身にコンテンツを送受信可能な帯域があるのであれば、状態を“NULL”から“Last-Hop Active”へ遷移させる。その後は、RP に対して PROXY_OMCAST_JOIN を送り、マルチキャストツリーを再構築する。また、そのツリー再構築が行われたことをプロキシ間で共有するために、RP は PROXY_OMCAST_INFO_UPDATED を各 Last-Hop プ

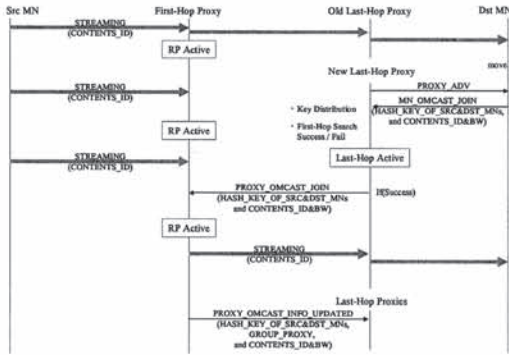


図6 マルチキャスト配信中の受信者移動シーケンス

ロキシに対して送信する

図7の送信元端末移動の場合では、プロキシがMN_OMCAST_START_REQを受信すると、送信元端末のキーをオーバーレイネットワーク上に配布し、さらにLast-Hopプロキシ候補を検索する。また、プロキシは、自身のダウンリンク帯域とコンテンツ帯域、及び自身のアップリンク帯域と予め決定しておいた閾値を比較する。その結果、例えばプロキシ自身の帯域がそれより大きければ、PROXY_BW_REQを移動前のFirst-HopプロキシであったRPに送信する。続いて、受信したRPは、自身のダウンリンク帯域がコンテンツ帯域より大きく、さらにアップリンク帯域が、以前のLast-Hopプロキシ数×コンテンツ帯域より大きい場合、正常なPROXY_BW_RSPを送信する。受信したFirst-Hopプロキシは、MN_OMCAST_START_RSPを送信元端末に送信し、このメッセージが正常に処理されると、移動前のFirst-Hopプロキシ経由で配信が開始されることになる。

但し、この状態におけるマルチキャストツリーの段数は冗長となっているため、転送遅延が生じる可能性がある。そこで、新しいFirst-HopプロキシをRPに設定し、通常の段数のツリーに変更することを行う。そのために、First-Hopプロキシは、各Last-Hop検索の完了後に自身が新RPとなることを各Last-Hopへ通知するためにPROXY_OMCAST_INFO_UPDATEDを用いる。このメッセージを受信したLast-Hopプロキシは、新しいRPに対してPROXY_OMCAST_JOINを送信し、マルチキャストツリーを再構築させることができる。

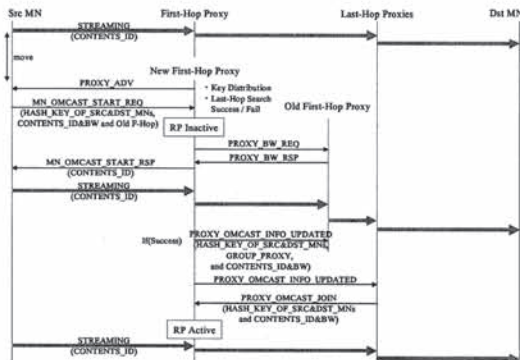


図7 マルチキャスト配信中の送信元移動シーケンス

4.3 プロキシのステートマシン

4.1で定義した8つの状態と制御メッセージ、また前節で示したシーケンスを用いて作成されるプロキシのステートマシンを図8に示す。同図作成の際に、プロキシ内で使用する3つのタイムの満了メッセージも用いている。本ステートマシンは、一般的な通信プロトコルのステートマシンと比較しても複雑ではなく、本提案は実現可能であると云える。

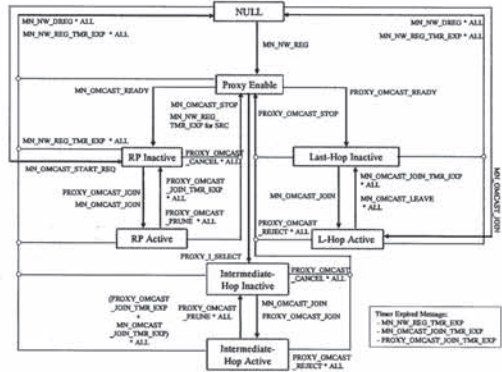


図8 プロキシのステートマシン

5. まとめ

本稿では、オーバーレイマルチキャストを用いたモバイル環境におけるグループ型マルチキャスト通信を提案した。本提案では、DHTを用いてのRP位置を検出する方法と送信元端末移動後のRP再配置による転送遅延低減手法を示した。後者については、送信元端末の移動先が近隣であるような場合、必ずしもRPを再配置する必要はないことに留意する。すなわち、配信木の始点が移動したことによって新たに増加する転送遅延と、最適木を再構築するための制御オーバーヘッドはトレードオフの関係であることを考慮するべきであろう。

本提案では、RPによる転送トラフィックの負荷を抑制させるためのマルチキャストツリー構築手法についても述べた。プロキシに設定する閾値が低い場合、RPへの負荷が上昇する可能性が高くなり、多くのマルチキャスト通信を提供することは困難となる。一方、閾値が高い場合は、RPへの負荷を分散できるため、閾値が低い場合と比べて通信サービスの量を増やすことができる。但し、この場合は送信元端末から受信端末までの最大ホップ数が増加してしまうことを許容しなければならない。様々な条件化において最適な閾値を求めることは、今後の課題となりうる。

本稿では、モバイル端末及びプロキシ間のプロトコルとステートマシンを設計し、提案手法の実現性を検討した。一般的な通信プロトコルと比較して、設計したプロトコルの手続き数、及びステートマシンにおけるステート数と遷移イベントの量は、妥当であり複雑なものではない。ゆえに、提案手法は実現可能なレベルであると考えられる。

本提案の不可避な課題として、初回のネットワーク登録時のプロキシの帯域不足、またはハンドオーバー先のプロキシの帯域不足等により、マルチキャスト通信の提供

が不能状態に陥った場合の対応が挙げられ、これについては今後の検討課題であると既に述べた。その他の重要な課題として以下が挙げられる。

本提案では、送信元端末がプロキシに対してユニキャスト配信をすることにより、無線アップリンク帯域を有効利用することができた。一方、無線ダウンリンクについては同様にユニキャストで配信を行うと、受信端末個別のユニキャストトラフィックが発生するため、その帯域リソースを効果的に利用しているとは言い難い。プロキシと端末間のネットワークレイヤ機能が局所的なマルチキャストを実行できるならば、あえて下位レイヤ機能を積極的に利用し、無線帯域リソースをさらに有効利用するべきである。先行研究[19]は、IP マルチキャスト非対応/対応ネットワーク間を受信端末が移動するケースに着目し、上記課題を検討している。今後の課題として本研究への適用を検討していきたい。

参考文献

- [1] Y-H Chu, S G Rao, and H Zhang. A case for end system multicast In Proceedings of *the 2000 ACM SIGMETRICS*, Jun. 2000.
- [2] P. Francis. Yoid: Extending the Multicast Internet Architecture. White Paper, <http://www.aciri.org/yoid/>
- [3] D. Pendarakis, S. Shi, D. Verma, and M. Waldvogel. ALMI: An Application Level Multicast Infrastructure. In Proceedings of *the 3rd USENIX Symposium on Internet Technologies and Systems*, Mar. 2001.
- [4] M. Kwon and S. Fahmy. Topology aware overlay networks for group communication. In Proceedings of *NOSSDAV*, May. 2002.
- [5] J. Liebeherr, M. Nahas, and W. Si. Application-layer multicasting with delaunay triangulation overlays. *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, 20(8):1472-1488, Oct. 2002.
- [6] S. Ratnasamy, M. Handley, R. Karp, and S. Shenker. Application level multicast using content-addressable networks. In Proceedings of *NGC*, Nov. 2001.
- [7] S. Q. Zhuang, B. Y. Zhao, A. D. Joseph, R. H. Katz, and J. D. Kubiatowicz. Bayeux: An architecture for scalable and fault-tolerant wide-area data dissemination. In Proceedings of *NOSSDAV01*, June 2001.
- [8] M. Castro, P. Druschel, A.-M. Kermarrec, and A. Rowstron. Scribe: A large-scale and decentralized application-level multicast infrastructure. *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, 20(8):1489 - 1499, Oct. 2002.
- [9] M. Castro. Splitstream : High-Bandwidth Multicast in Cooperative Environments. In Proceeding of 19th ACM Symp. Operating Systems Principles, Oct. 19-20, 2003, pp. 298-313
- [10] Y. Chawathe, S. McCanne, and E. A. Brewer. An Architecture for Internet Content Distributions as an Infrastructure Service, 2000. Unpublished, <http://www.cs.berkeley.edu/yatin/papers/>.
- [11] Y. Chawathe, S. McCanne, and E. A. Brewer. RMX: Reliable multicast for heterogeneous networks. In Proceedings of *IEEE INFOCOM*, Mar. 2000.
- [12] J. Jannotti, D. K. Gifford, K. L. Johnson, M. F. Kaashoek, and J. W. O. Jr. Overcast: Reliable multicasting with an overlay network. In Proceedings of *USENIX Symposium on Operating Systems Design and Implementation*, Oct. 2000.
- [13] S. Shi and J. S. Turner. Routing in overlay multicast networks. In Proceedings of *IEEE INFOCOM*, June 2002.
- [14] S. Shi, J. S. Turner, and M. Waldvogel. Dimensioning server access bandwidth and multicast routing in overlay networks. In Proceedings of *NOSSDAV'01*, June 2001.
- [15] I. Stoica, D. Adkins, S. Zhuang, S. Shenker, and H. Balakrishnan. Internet Indirection Infrastructure. In *SIGCOMM*, 2002
- [16] I. Stoica, R. Morris, D. Karger, M. F. Kaashoek, and H. Balakrishnan. Chord: A Scalable Peer-to-peer Lookup Service for Internet Applications. In Proceedings of *ACM SIGCOMM*, 2001
- [17] L. Lao, J.-H. Cui, M. Gerla and D. Maggiorini. A Comparative Study of Multicast Protocols: Top, Bottom, or In the Middle? in Proceedings of 8th IEEE Global Internet Symposium (GI'05) in conjunction with *IEEE INFOCOM'05*, Miami, Florida, March 2005
- [18] F. Dabek, Towards a common API for Structured Peer-to-Peer Overlays in Proceedings of *IPTPS'03*, 2003.
- [19] J. Chennikara, W. Chen, A. Dutta, O. Altintas, Application-Layer Multicast for Mobile Users in Diverse Networks. *GLOBECOM '02*. IEEE, Nov. 2002
- [20] J. Moy: Multicast Extensions to OSPF, RFC1584, Mar. 1994
- [21] D. Estrin, D. Farinacci, et al.: Protocol Independent Multicast-Sparse Mode, RFC2362, 1998