

移動透過通信を利用したアプリケーションレイヤ マルチキャストにおける配送木再構築手法

正岡 元^{†1} 岸場 清悟^{†1} 近堂 徹^{†1}
西村 浩二^{†1} 相原 玲二^{†1}

近年、動画ストリーム配信などのリアルタイム性の高いコンテンツ配信技術としてアプリケーションレイヤマルチキャスト (ALM) が注目されている。ALM では参加ノードによる配送木を構築してデータを配信するため、中継ノードが離脱する際にはツリーの再構築が必要となり、様々な再構築手法が提案されている。ここで、移動透過通信を用いてノードがネットワーク間をハンドオーバーする際、パケットロスやハンドオーバー前後のレイテンシの違いなどによって配送木から離脱してしまい、配送木の再構築が行われる可能性がある。また、ハンドオーバーによって配送木が最適でなくなる可能性もある。そこで本論文では、移動透過通信のシステムが管理する情報を利用することで、ハンドオーバー時の配送木の再構築を短時間で行う手法を提案する。

Reconstruct Overlay Trees of Application Layer Multicast using IP Mobility

HAJIME MASAOKA,^{†1} SEIGO KISHIBA,^{†1} TOHRU KONDO,^{†1}
KOUJI NISHIMURA^{†1} and REIJI AIBARA^{†1}

Recently, Application Layer Multicast has been attracting attention as a contents delivery technology of a video streaming, etc. In ALM, the overlay tree is constructed with the end node and data is delivered. Therefore, when the relay node leaves, the reconstruction of the overlay tree is needed, and a variety of reconstruction techniques are proposed. Then, when a node handoffs between networks by using the IP Mobility, The terminal leaves from the overlay tree by the difference of latency before and behind the handover and by the packet loss etc, and then, there is a possibility that the overlay tree is reconstructed. Moreover, there is a possibility that the tree becomes the not best by the handover, too. Then, this paper proposes the technique for reconstructing an overlay tree as handoff in a short time by using information that the system of the IP Mobility manages.

1. はじめに

近年、ブロードバンド環境の普及に伴い、大規模なコンテンツ配信の需要が高まっている。中でも動画のストリーム配信はコンテンツのサイズが大きくリアルタイム性も高いため、ネットワークに大きな負荷がかかる。このようなコンテンツの配信技術としてアプリケーションレイヤマルチキャスト (ALM) が注目されている。しかし ALM ではエンドノードが配送木を構成するため、IP マルチキャストに比べて配送木が不安定になりやすい。たとえば中継ノードが配送木から離脱した時、中継ノードの子ノードは配送木を再構築する間パケットを受信できない。そのため再構築時間を短縮する様々な手法が提案¹⁾²⁾³⁾ されている。これ

らの手法は、アプリケーション層において配送木を動的に管理する手法と言える。

一方、ネットワークを移動してもセッションを切断することなく通信を継続できる技術に移動透過通信がある。移動透過通信ではノードに固定のノード識別子と移動先のネットワークごとに割り当てられる位置識別子との2つの識別子を用いて、ネットワーク層において移動透過性を実現する。移動透過通信によって、ノードはアプリケーション層に IP アドレスの変化を意識させることなく、つまり ALM の配送木に影響を与えることなく移動できる。しかし移動ノードがハンドオーバーする際に、パケットロスや移動前後のレイテンシの違いなどによって配送木から離脱してしまい、配送木の再構築が行われる可能性がある。また、移動によって配送木が最適でなくなる可能性もある。これらのことから、移動するノードによる ALM の配送木を管理することは、ネットワーク層やアプリケーション

^{†1} 広島大学 情報メディア教育研究センター
Information Media Center, Hiroshima University

ン層単独の対応では困難である。

そこで本論文では、移動透過通信のシステムが管理するネットワーク層の情報をアプリケーション層である ALM の配送木の管理に利用することで、現実的な運用コストで配送木の再構築を行う手法を提案する。たとえば移動先のネットワークごとに割り当てられる IP アドレスはプロバイダごとに異なるので、移動透過通信のシステムで識別子対の管理サーバに問い合わせれば ALM に参加するノードがそれぞれのプロバイダに接続しているかを知ることができる。この情報を利用して、ノードが配送木に新規参加する際に親ノードとしてネットワーク的に近いノードを選択することができる。また移動透過通信から得られる情報には、ハンドオーバーする可能性のある IP アドレスが含まれている。これを用いることでハンドオーバー前にハンドオーバー後の配送木をあらかじめ構築しておくことが可能である。これにより、移動ノードで ALM の配送木を構成している際に、ハンドオーバーによる意図しない離脱を防ぐとともに、パケットロスや伝送遅延を軽減したシームレスな再構築を実現する。

2. 関連研究

ALM 配送木の再構築時間を短縮する様々な手法が既に提案されている¹⁾²⁾³⁾。また、無線ノードが中継ノードにならないようにして配送木への影響を減らす手法⁴⁾もある。本節ではこれらの手法についてその特徴を述べる。

2.1 予備経路を作成する手法

文献¹⁾²⁾では、あらかじめ予備経路を用意しておくことで再構築の時間を短縮し、データ転送遅延を抑える手法を提案している。これらの手法では、各中継ノードがそれぞれの親ノードが離脱した場合の予備経路をあらかじめ確保する。親ノードが離脱した場合は、子ノードはあらかじめ確保した予備経路に基づいて配送木を再構築する。

予備経路を探索する際には、親ノードに接続可能な子ノードの数 (degree) に余裕があるかどうかを調べ、degree が 1 以上のノードを探す必要がある。全てのノードにとっての予備経路が degree の余裕を上回らないようにする必要があり、この手法では予備経路を探索する計算コストや、シグナリングオーバーヘッドが問題となりうる。そこで文献¹⁾では、まず全てのノードが、そのノードに接続可能な子ノードの数 (degree) を 1 残すように配送木を構築する。その上で予備経路を構築するため、新規ノードが参加するたびに degree を再計算する必要がない。

しかし文献¹⁾の手法では、多くの子を持つ親ノードが離脱した場合に、再構築後の配送木が長くなるという問題がある。文献²⁾では、これを解決するために複数の予備経路を作成する。まず、新規ノードが参加し

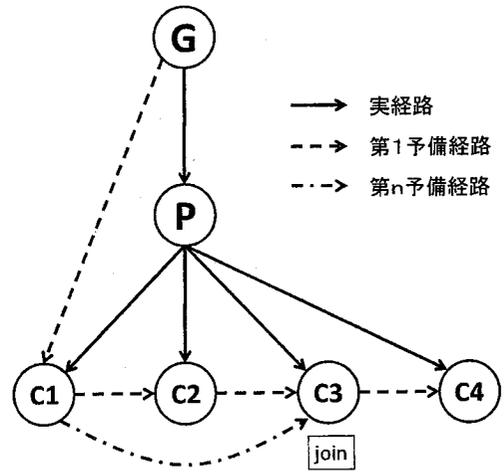


図 1 複数の予備経路を利用した経路再構築手法

た際の通常の配送木と 1 本目の予備経路の作成は文献¹⁾と同様に行い、その後 2 本目の予備経路を作成する。2 本目以降の予備経路は親ノードが離脱した際の再接続先として保証はせず、再接続先の degree に余裕がある場合に限り接続できる。親ノードが離脱した際に、利用可能であればこの予備経路を利用することで、配送木の長さを短く保つことができる。文献²⁾の手法に基づいて配送木及び予備経路を構築する流れを図 1 に示す。ここで G は祖父ノード、P は親ノード、C は子ノードを示す。子ノードのうち C1 を長男ノード、C3 を新規参加ノードとする。

2.2 配送木の安定性を高める手法

一方、文献³⁾や⁴⁾のように配送木の安定性を高め、離脱の影響を局所化する手法もある。前者の手法では、ノード間の結合性とノード自身の安定性を考慮して複数のノードをまとめた小グループを形成する。これにより、再構築の影響範囲を可能な限りグループ内に抑制する。さらにグループの代表ノードをグループの中で安定性の高いものにするすることで、グループ間の再構築の発生頻度を小さくさせる。

この手法は、ノードの結合度および安定度を評価して前述のような小グループや全体の配送木の構築を行う。ここで結合度とは送受信ノード間リンクの通信品質の評価値であり、RTT や経路ノード数、リンク接続状態、回線タイプで構成される。安定度とは、ノードが ALM 上に継続的に接続している確率であり、過去の接続実績から最大接続時間、平均接続時間、接続回数などを用いて算出する。文献³⁾の手法に基づいて構築された配送木を図 2 に示す。

後者の手法では、無線ノードがハンドオーバーする際の通信断によって安定性が低下することに注目し、無

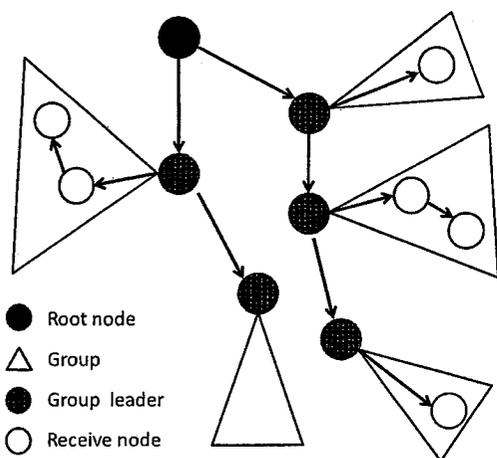


図2 結合性と安定性に基づく ALM 配送木

線ノードが葉ノードとなるような配送木を構築する。これにより無線ノードのハンドオーバーに伴う配送木の再構築によって、他のノードに対して通信断が影響することは無い。

2.3 既存手法のまとめ

本節で述べたように、ALM 配送木の再構築時間を短縮するためのアプローチとして、既に様々な手法が提案されている。しかしこれら既存の手法のほとんどは、ノードが新規に参入したり離脱する場合の配送木の再構築については考慮しているものの、ノードがネットワーク間を移動する場合の packet loss については考慮していない。文献³⁾や文献⁴⁾では、あるノードの移動が他のノードに与える影響は小さいが、少なくとも移動ノード自身は移動によって配送木の再構築が必要になる。

ここで、ALM に参加する全てのノードが移動透過通信によって複数 I/F を用いたシームレスハンドオーバーが可能であることを仮定した場合には、移動時の packet loss や IP アドレスの変化に伴う配送木の再構築が不要となる。また、移動透過通信の特徴により、移動前に移動後のネットワークについて知ることができる。そこで本稿では、ALM に参加する移動ノードが移動透過通信を用いてハンドオーバーする際に、配送木を最適に保つ手法について提案する。まず 3 節で移動透過通信について述べた後、4 節において提案手法について述べる。

3. 移動透過通信

ノードがネットワーク間を移動しても通信の途絶なく継続して通信できる性質を移動透過性と言い、移動透過性を持つ通信を移動透過通信と言う。移動透過通

信を用いることで移動しながら映像伝送や VoIP などの双方向通信が可能である。移動透過通信を実現するアーキテクチャには MIP6⁵⁾ や LIN6⁶⁾, MAT⁷⁾ などが提案されている。

移動透過通信ではノード識別子と位置識別子の 2 つの識別子を用いる。例えば MIP6 で Home Address と Care-of Address の 2 つの IPv6 アドレスを、MAT では Home Address と Mobile Address の 2 つの IPv6 アドレスを用いる。ノード識別子はノードに固定であり、通信相手の識別にはノード識別子を用いる。実際のネットワーク上の送信元及び宛先アドレスには、このノード識別子と対応する位置識別子を用いる。この識別子対を MIP6 では Binding, MAT ではマッピング情報と呼ぶ。移動透過通信では、これらの識別子対を管理するために特殊なノードを用意する。この特殊なノードを MIP6 では HA (Home Agent), MAT では IMS (IP Address Mapping Server) と呼んでいる。

移動ノードは移動する度に識別子対を特殊ノードに登録する。MIP6 では、移動ノードと HA との間にトンネルを張り、通信相手ノードとは Home Address を用いて通信する。MAT では、移動ノードや通信相手ノードにおいて Home Address と Mobile Address とのアドレス変換を行い、Mobile Address を用いて通信する。これらの方式により、移動ノードや通信相手ノードで動作するアプリケーションは常に固定の Home Address のみを扱えばよく、移動してもセッションを維持して通信を継続することができる。

本稿では、移動透過通信の方式として MAT を選択する。MAT では、複数のネットワークインターフェイス (以下、NIC) を用いて packet loss なくネットワークを移動する、シームレスハンドオーバーを実現している。シームレスハンドオーバーを利用する事で、移動時のアドレス変化をアプリケーションから隠蔽するだけでなく、packet loss による意図しない離脱も減らすことができる。また、MAT では常に最適経路を用いて通信を行うことができる。MAT を用いて移動ノード (MN) がネットワーク間をハンドオーバーする際のメッセージのやり取りを図 3 に示す。

MAT において移動ノードが複数の NIC を用いてハンドオーバーする際は、ハンドオーバー前に、まず現在使用していない NIC をハンドオーバー先のネットワークに接続し、IMS にマッピング情報を登録する (図 3 ①)。この時のマッピング情報には、Home Address と現在使用している Mobile Address に加えて、ハンドオーバー先の Mobile Address が含まれる。マッピング情報の中の Mobile Address には優先順位があり、この時点では現在使用している Mobile Address の優先順位が高い。これによって IMS にこれからハンドオーバーするアドレスを伝えることができる。ハンドオーバーが開始されると、まず IMS のマッピング情報を更新し (図 3 ②)、ハンドオーバー先の Mobile Address の優先

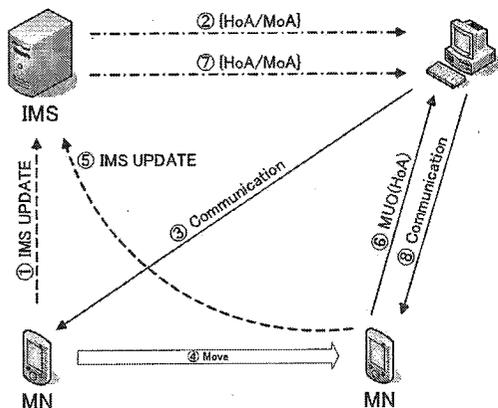


図3 MATのハンドオーバー動作

度を高くする。ハンドオーバー中は両方のNICが有効であり、ハンドオーバー前のNICに届いたパケットも受信する。その後ハンドオーバー先のNICからパケットを送信する(図3⑥)。通信相手はパケットを受け取るとIMSに確認し(図3⑦)、正しい送信元アドレスであることを確認してAckを返す(図3⑧)。この時点でハンドオーバーは完了し、それ以降の通信はハンドオーバー後のNICを用いて行われる。

このことから、複数のNICを用いてハンドオーバーする際にはパケットロスの無いシームレスなハンドオーバーが可能であること、ハンドオーバーを開始する前にIMSからハンドオーバー後に使用する予定であるIPアドレスを知ることができることがわかる。4節では、これらのMATの特徴を用いてハンドオーバー時に配送木を再構築する手法について述べる。

4. 提案手法

4.1 移動透過通信の影響

提案手法では、移動透過通信に対応するノードによってALMの配送木が構成されている状況を仮定する。全てのノードが移動するわけではなく、固定ノードも存在するものとする。これらの条件の下で、移動透過通信がALMに対して与える影響について整理する。

移動ノードがネットワーク間をハンドオーバーする場合には、IPアドレスの変化はアプリケーション層に対して隠蔽されるため、移動ノードのセッションが切断されることはなく、継続してALMに参加し続けている。しかし、ハンドオーバー時のパケットロスや移動前後のレイテンシの変化などにより、いくつかの新たな問題が起こることが考えられる。まず、ハンドオーバーによって意図しない離脱が発生する可能性がある。ハンドオーバーを行う際のネットワーク環境によっては、ハンドオーバー時にパケットロスが発生する可能性もある。その場合には、親ノードや子ノードにとって互い

のノードが離脱したと判断され、意図しない配送木の再構築が行われてしまう。その場合移動ノードは新規ノードの参入からやり直す必要があり、配送木の再構築も含めてシグナリングコストが増えてしまう。

また、ハンドオーバー前後で親子ノード間の帯域やレイテンシなどのネットワーク性能が変化することによる影響が考えられる。ハンドオーバー前後で帯域が減少した場合には、パケットの中継を行うために必要なdegreeを満たすことができなくなる可能性がある。一方レイテンシが減少した場合は、ハンドオーバー前の経路からのパケットをハンドオーバー後の経路からのパケットが追い越す可能性がある。この場合、追い越したパケットが全て届くまでハンドオーバー後の経路から受信するパケットをは全てキューイングする必要があり、バッファが不足によりパケットロスが発生する可能性がある。他方、レイテンシが増加した場合には、ハンドオーバー前の経路からのパケットを全て受信した後、ハンドオーバー後の経路からのパケットを受信するまでの間に時間が空き、バッファが空になってしまうと、動画ストリームの場合には映像が一時停止するなどの影響が発生する。

さらに、ハンドオーバー前後でプロバイダが異なるなどネットワーク的な位置が大きく変化する場合は、ハンドオーバー後に配送木が最適で無くなる可能性がある。ALMの配送木構築アルゴリズムには、ノードの参入時にRTTや帯域等を調べ、最適な親ノードを選択するものがある。そのようなALM手法に移動透過通信を利用した場合、ハンドオーバー後は現在の親ノードは最適な親ノードではなくなっている可能性がある。最適な配送木を維持するためには、ハンドオーバーの際に配送木を再構築する必要がある。

4.2 移動透過通信の利用

4.1節に挙げた問題点を解決するために、移動透過通信から得られる情報を利用する。3節で述べたように、MATではIMSがマッピング情報を管理する。移動ノードではMATデーモンがNICを監視しており、移動を検知して常に最新のマッピング情報をIMSに登録する。そのためユーザは移動を意識する必要は無く、ハンドオーバーはNICの状態によって自動的に行われる。ここで、4.1節に挙げた1つ目の問題点である意図しない離脱が発生する原因は、一時的な通信の途絶を離脱だと判断してしまうためである。そこで親ノードおよび子ノードにハンドオーバーの開始をあらかじめ伝え、ハンドオーバー開始の通知を受け取ったノードは一定時間ハートビートのタイムアウトを長くして一時的なパケットロスによって中継ノードが離脱したと判断されないようにする。これにより、中継ノードが移動しても、配送木の再構築が不要となる。

しかし、中継ノードの移動時に配送木を再構築しないことが常に適切とは限らない。配送木の構築に利用する条件が移動前後で変化する場合、たとえば移動後

の degree が移動前の degree を下回る場合には配送木の再構築が必要になる。このように、移動によって配送木が最適でなくなる場合は配送木の再構築を行うが、再構築によるパケットロスや遅延を最小限に抑えるために、移動前にあらかじめ予備経路を構築しておく、移動の際に予備経路に切り替えるという手法が望ましい。既存の手法では、degree の余裕によって親ノードを決定する手法や、全ノードの RTT を測定して親ノードを決定する手法などがある。しかし、全ノードの degree を正しく把握することや、新規ノードの参加や配送木の再構築のたびに RTT を測定することは現実的ではない。そこで、この予備経路作成のために、IMS が管理するマッピング情報を利用する。

IMS が管理するマッピング情報には、現在のおよびハンドオーバ後の IP アドレスが含まれている。ここでプロバイダは一定のブロック単位で IP アドレスを保持しているため、各中継ノードの IP アドレスを比較することで同一のプロバイダに属するノードを探索することができる。同一プロバイダに属するノード間は、異なるプロバイダに属するノード間に比較して帯域やレイテンシ等で有利だと期待できるため、同一プロバイダに属するノードを親ノードとすることで、帯域や RTT を毎回測定することなく、適切な配送木を構築できる。ただし IMS は移動ノードごとに異なる可能性があるため、最大で配送木を構成するノード数だけの IMS からマッピング情報を得る必要がある。そのため各ノード自身が情報を収集して配送木を構築する自律的なアルゴリズムでは、シグナリングコストが大きくなってしまふ。そこで提案手法では配送木を管理するサーバ（以下、管理サーバ）を置き、管理サーバが IMS と通信してマッピング情報を収集する。

中継ノードがハンドオーバする際は、管理サーバおよび親子ノードに対してハンドオーバの開始を通知する。管理サーバは中継ノードのマッピング情報を取得する。管理サーバはハンドオーバ後の IP アドレスから同じプロバイダのノードを探し、ハンドオーバ後の親ノード候補として中継ノードに通知する。また、その中継ノードの子ノードにとって、移動後の中継ノードより適切な親ノード候補が存在する場合は、その子ノードに対して新しい親ノード候補を通知する。ここで、中継ノードはハンドオーバ後に経路を切り替えるが、子ノードは新しい親ノード候補を通知された時点で経路の切り替えを行う。ハンドオーバを開始してから経路が切り替わるまでの間は移動透過通信によって古い経路のまま ALM のコンテンツ配送は継続されるため、パケットロスが発生することはない。

4.3 提案手法のアルゴリズム

4.1 節および 4.2 節に述べた提案手法における各ノードの動作を、一般的な ALM の配送木構築アルゴリズムを構成する、join、leave、failure の 3 つのサブアルゴリズムに加えて、ハンドオーバ時の動作である

move サブアルゴリズムとして説明する。MAT 対応の移動ノードとしてのシグナリング手順は、配送木の構築に関する場合を除き省略するものとする。

4.3.1 join アルゴリズム

あるノード（以下、新規参加ノード）が新たに配送木に参加する際の手順を以下に示す。

- (1) 新規参加ノードは管理サーバに接続要求を送信する
- (2) 管理サーバは IMS に問い合わせマッピング情報を取得する
- (3) 管理サーバは新規参加ノードに対して、既存のノードにプロバイダが同じノードがあればそのノードを、無い場合はランダムに選択したノードを、親ノード候補として通知する
- (4) 新規参加ノードは親ノード候補に対して接続要求を送信する
- (5) なんらかの原因で接続に失敗した場合は、管理サーバに別の親ノード候補の要求を繰り返し、いずれかの親ノードに接続してデータを受信する

4.3.2 leave アルゴリズム

あるノード（以下、離脱ノード）が配送木から離脱する際の手順を以下に示す。

- (1) 離脱ノードは管理サーバに離脱要求を送信する
- (2) 管理サーバは離脱ノードの子ノードに対して、join アルゴリズムの手順 (3) による親ノード候補を通知する
- (3) 以降は join アルゴリズムと同じ手順で配送木に再接続し、データを受信する

4.3.3 failure アルゴリズム

提案手法により移動の影響を最小限に抑えても、ハンドオーバに失敗したりノードが停止するなどにより中継ノードが消失する場合がある。そこで親子ノードは互いに定期的にハートビートメッセージを送信する。ハートビートのタイムアウトによって中継ノードの消失を検知した時は、消失した中継ノードの子ノードは配送木への再接続を試みる。この再接続の手順は join アルゴリズムと同じである。

4.3.4 move アルゴリズム

あるノード（以下、移動ノード）がハンドオーバを行う際の手順を以下に示す。

- (1) 移動ノードが移動先のネットワークに接続する
- (2) 移動ノードの MAT デーモンが移動を検知してハンドオーバ処理を開始する
- (3) 移動ノードはハンドオーバの開始を管理サーバおよび親子ノードに通知する
 - (3)-a 親子ノードはハートビートのタイムアウトを長くし、意図しない離脱に備える
- (4) 管理サーバは移動ノードのマッピング情報を取得する
- (5) 現在の親ノードがハンドオーバ後に適切でない場合は、移動ノードおよびその子ノードについて、

IP アドレスを基に適切な親ノード候補を探索して親ノード候補として通知する

- (5)-a. 子ノードは join アルゴリズムに基づいて親ノード候補に接続要求を行い、新しい親ノードに接続してデータを受信する
- (6) 移動ノードはハンドオーバを行うが、この時点では古い親ノードからデータを受信し続ける
- (7) ハンドオーバの完了後、移動ノードは join アルゴリズムに基づいて親ノード候補に接続要求を行い、新しい親ノードに接続してデータを受信する
この手順により、ハンドオーバ時にストリームを停止することなく配送木を適切に保つことができる。

5. 考 察

4 節で述べたように、移動透過通信のアーキテクチャを活用して、中継ノードがネットワーク間を移動する場合でも意図しない離脱を防ぎ、配送木を適切に保つことができる。しかし、あらゆる状況で提案手法が適切に動作するとは言えない。本節では、提案手法において考えられる問題点について考察する。

まず、中継ノードの IP アドレスから同一プロバイダに属するノードを探索する手法が効果的に働かない可能性がある。IPv6 のプロバイダ集約可能アドレス (PA アドレス) であればアドレス構造から判断可能であるが、IPv4 アドレスを含むポータブルアドレス (PI アドレス) の場合はアドレスのみから判断することは困難である。whois 情報などから、該当アドレスを所有するプロバイダをある程度知ることができるものの、広告されている経路によっては、同じアドレスブロックに属していてもネットワーク的に遠い可能性があり、適切な配送木を維持することは困難である。ただしその場合でも移動による影響や RTT 測定などのコントロールオーバーヘッドを抑えることはできる。

また、管理サーバを置くことによってスケーラビリティが低下することが懸念される。スケーラビリティを高めるために、管理サーバを置かずに動作可能な自律的なアルゴリズムも検討の余地がある。管理サーバを置かない場合には、各ノードが IMS にマッピング情報を問い合わせ、マッピング情報からプロバイダの探索をする必要がある。そのための手法として、たとえば IMS を拡張してグローバルユニークなプロバイダの ID を登録可能にすることが考えられる。これにより各ノードがアドレスから同一プロバイダに属するノードを探索する必要がなくなり、たとえば join アルゴリズムにおける接続要求時に自身のプロバイダ ID を通知し、同一 ID のノードを親ノード候補とすることが考えられる。ただしこの場合は、join 時に全ノードとの RTT を測定する手法や全ノードの degree を計算する手法などと同等のシグナリングコストが必要となる。

6. ま と め

移動透過通信を用いて ALM によるコンテンツ配信を行う場合、移動ノードのハンドオーバが配送木に影響を与える可能性がある。しかし既存の手法では、新規ノードの参加時の親ノード選択アルゴリズムや配送木の再構築時間を短縮するアルゴリズムなどは提案されているが、移動透過通信を用いた ALM について考察したものが少ない。そこで本稿では、移動透過通信を前提とした ALM のアルゴリズムを提案した。提案手法では、移動透過通信から得られる情報を利用することでハンドオーバの影響を軽減し、またハンドオーバ時に配送木を再構築して適切な配送木を保つことができる。今後はシミュレーション評価を通じて提案手法の効果や実用性について評価する。

謝 辞

本研究の一部は、日本学術振興会科学研究費補助金 (19300019, 20300029, 20700066), 総務省戦略的情報通信研究開発推進制度 (SCOPE-地域 ICT, 082308001) の支援を受けて実施しています。ここに記して謝意を表します。

参 考 文 献

- 1) 國近洋平, 楠本哲也, 甲藤二郎, 大久保榮: ALM のための冗長木を利用した予備経路探索, 電子情報通信学会研究報告. IN, 情報ネットワーク, Vol.238, No.238, pp.205-210 (2005).
- 2) 高木健士, 北 望, 重野 寛: オーバレイネットワークにおける複数の予備経路を利用した経路再構築手法の検討, 情報処理学会研究報告. DPS, [マルチメディア通信と分散処理], Vol.2007, No.131, pp.37-42 (2007).
- 3) 中沢 実, 江上武史, 江守拓実, 服部進実: 結合性と安定性に基づくアプリケーションレイヤマルチキャスト配送ツリーの実装と評価, 情報処理学会論文誌, Vol.47, No.2, pp.382-391 (2006).
- 4) 野口 拓, 山本 幹: アプリケーションレベルマルチキャストにおける無線ホストを考慮したロバストツリー構築法, 電子情報通信学会論文誌. B, 通信, Vol.J88-B, No.11, pp.2147-2157 (2005).
- 5) Johnson, D., Perkins, C. and Arkko, J.: Mobility Support in IPv6, RFC 3775, IETF (2004).
- 6) Ishiyama, M., Kunishi, M., Uehara, K., Esaki, H. and Teraoka, F.: LINA: A New Approach to Mobility Support in Wide Area Networks, *IE-ICE Transaction on Communication*, Vol.E84-B, No.8, pp.2076-2086 (2001).
- 7) 相原玲二, 藤田貴大, 前田香織, 野村嘉洋: アドレス変換方式による移動透過性インターネットアーキテクチャ, 情報処理学会論文誌, Vol.43, No.12, pp.3889-3897 (2002).