

アクセスポイントからの距離によるゾーン構造を用いた メッシュネットワークの検討

西井 龍五[†] 萬代 雅希^{††} 渡辺 尚^{††}

無線 LAN の高速化、普及化が飛躍的に進展しつつある。最近では無線 LAN をより広い領域で利用するために、アクセスポイントをメッシュ状に配備したメッシュネットワークが注目されている。メッシュネットワークはネットワーク構築の簡便性、通信領域の拡大、アクセスポイントの負荷分散などの優れた特性があり多くの研究が行われている。本稿ではモバイル端末の省電力化を主な目的として、無線到達距離の長いアクセスポイントと、無線到達距離の短いモバイル端末で構成するメッシュネットワークを提案し、その特性について検討を行う。またアクセスポイントとモバイル端末の無線到達距離の非対称性によるゾーンの概念を導入する。メッシュネットワーク上における端末の低消費電力を目的としたこのゾーンを利用するルーティングアルゴリズムの提案を行う。

A Study of Mesh-Network with Zone Structure using Distance between Access Points and Mobile Nodes

Ryugo NISHII[†], Masaki, BANDAI^{††} and Takashi WATANABE^{††}

Wireless LAN has been dramatically evolving in performance and coming into wide use. Mesh network, which access points are deployed in mesh structure, extends the coverage of the networks. That has a lot of benefits, simplicity of building network, wide coverage, load balancing of access points and so forth. The paper proposes a new mesh network structure, which consists of access points with longer wireless range and terminal nodes with shorter one. We also define a zone from a viewpoint of asymmetry of wireless range. In order to save battery consumption, a new algorithm of routing for ad hoc mesh network is proposed and discussed.

1. はじめに

近年、無線通信技術ならびに半導体技術の発展により、ノートPC、携帯電話、PDAなどの小型で軽量の携帯端末が普及しつつある。さらに無線 LAN 技術の進化により家庭内、オフィスはもとより、公共空間での携帯端末を使用したインターネットアクセスが可能となって来ている。無線 LAN 技術は、IEEE802 委員会を主体とする精力的な標準化活動に支えられ、高速化、高信頼化、高品質化が進められている。無線 LAN の使用環境は、インターネットバックボーンに接続しているアクセスポイントと端末間を無線 LAN で接続するものが通常で、家庭内、屋内はもとより、空港などの公共施設でホットスポットと呼ばれるアクセスポイントを通じて、携帯端末からインターネットアクセスを行っている。最近ではこのアクセスポイントをメッシュ状に配備したメッシュネットワークが注目されつつある。メッシュネット

ワークは特定のコモンキャリアのインフラを使用することなく、市販機器の使用でプライベートにメッシュネットワークを構築することが可能である。メッシュネットワークは特定のアクセスポイント・ゲートウェイへの負荷集中を抑止し、迂回路の使用によるネットワークの信頼性の向上、ならびにアクセスポイントを増設することにより通信領域の拡大を図ることが出来る。最近ではアドホックネットワーク技術との組み合わせによる通信領域の拡張を行い、大学キャンパスや市街地におけるメッシュネットワーク構築の試みが始まっている。[1, 2] 一方メッシュネットワークに参加する端末は固定設置ではなく、移動を前提としたモバイル端末である。バッテリー駆動のモバイル端末の消費電力を抑止し、使用時間を延長することが重要である。これまでにアドホックネットワーク上でのモバイル端末に注目した低消費電力を目的とするルーティングプロトコル、通信プロトコルに関する数多くの研究がなされている。しかしながらメッシュネットワークの構造に注目した端末の低消費電力化については議論がなされていない。

またアドホックネットワークにおいては、モバイル端末の電力消費量の違い、無線出力特性の違いから無線到達距離がモバイル端末によって異なる。このモバイル端末の無

† 三菱電機(株) 人材開発センター
Mitsubishi Electric co, Human Resources Development Center

†† 静岡大学 情報学部 情報科学科
Faculty of Information, Shizuoka University

線到達距離の違いから生じる経路の片方向性に関しては、多くの研究がなされて来た。[4, 5, 6] しかしながら、これまでの研究はノード間の双方向リンクを使ったルーティングに加えて、パケットの到達率を上げるために片方向リンクを利用することを目的としたものであり、消費電力を抑止することを目的とするものではない。

またネットワークをゾーンに分割して、モバイル端末の省電力化とパケット到達率の向上を目的とするルーティングアルゴリズムの研究も行われて来た。[7, 8] ルーティングプロトコル ZRP はゾーンの概念を導入することによって多数のモバイル端末を局所的に取り扱うことにより、効率よく目的を達成しようとしている。あらかじめ定めたマルチホップ数の圏内をゾーンと定義し、ゾーン内はプロアクティブ、ゾーン外はオンデマンドルーティングとするこれらを組み合わせたハイブリッド方式である。ZRP ではゾーンを論理的ホップ数によってゾーンを定義している。しかしながら、これらの研究はメッシュネットワークの構造を前提としたものではなく、低消費電力化に関しては十分と言えない。

本稿ではモバイル端末の電力消費を抑えることを目的としたメッシュネットワークの構造、ならびにアドホックルーティングアルゴリズムの提案を行う。電力供給が充分で無線出力が高く、その無線出力の到達距離が長いアクセスポイントと、バッテリー駆動で省電力を図るため無線出力の到達距離が短い端末で構成するメッシュネットワークを提案する。ノードからの電波出力に要する電力は、その到達距離に大きく依存する。距離の短い場合には距離の2乗に、距離が長い場合には距離の4乗に比例する。[3] ノードからアクセスポイントに向かう上り経路では、ノードの電波到達距離を短く設定し、複数のノード経由(マルチホップ)でアクセスポイントに向かうアドホックルーティングにより、ノードの電力消費を削減する。アクセスポイントからノードに向かう下り経路では、ノードを介さないでアクセスポイントから直接にノードへの通信を行い、他のノードによる中継のための電力消費を抑止する。本稿では電波到達距離の非対称性を利用してアクセスポイントのカバーする通信領域を複数のゾーンに分類する。アクセスポイントと端末間で直接シングルホップで通信できるゾーン、アクセスポイントから無線信号は届くが端末からアクセスポイントには届かずアクセスポイントへの上りルートでは複数の端末をマルチホップするゾーン、アクセスポイントからの電波信号が届かないゾーンの3つである。このゾーンの概念を利用することにより、端末からアクセスポイントに向かうルーティングにおいて、ルートリクエスト RREQ にアクセスポイントへの求心性を持たせ、無駄な方向への RREQ のフラディングを抑止し、中継ノードの電力消費の削減を行う。

以下2章ではゾーンの定義とメッシュネットワークの構造に着目した通信モデルの提案を行う。3章ではメッシュネットワーク上のルーティングアルゴリズム ARZM(Ad Hoc Routing using Zone in Mesh Network)を提案する。

2. メッシュネットワークの提案通信モデル

本章ではメッシュネットワークを構成するアクセスポイントの長い無線到達距離と、メッシュネットワークに参加するノードの短い無線到達距離に基づくゾーンについて定義し、そのゾーン構造を用いた新しいメッシュネットワークを提案する。

2.1 ゾーン構造による通信方式

アクセスポイントは電力線から電力の供給を受け使用制限がないため、その無線出力を大きく設定することが出来る。アクセスポイント間は高速無線リンクで接続し、メッシュネットワーク内のルーティングテーブル情報、ノードの管理データを、アクセスポイントは高速で共有する。アクセスポイント間的高速無線リンクには長距離(数 Km)、高速伝送(75Mbps)を指向する WiMAX (IEEE802.16)を想定し、高速無線リンクでの遅延は対象とはしない。[9]

一方ノードであるモバイル端末はバッテリー駆動であるため、その使用電力は限られており、ノードの無線出力は極力控え、その電力消費を抑えることが必要である。無線出力の電力を抑えるために、電波出力を抑えること、そして不要な電波出力の頻度を抑えることが重要となる。電波出力を抑えることにより、ノードの無線到達距離は短くなる。本稿で提案するメッシュネットワークではノードとアクセスポイントの無線到達距離の比は数倍から20倍程度を想定している。このアクセスポイントとノードの無線到達距離の非対称性から、ノードの位置を3つのゾーンに分類する。アクセスポイントとノードが無線で直接に双方向通信できるゾーン、アクセスポイントからの無線到達距離内にあるが、ノードからはアクセスポイントに無線が届かないゾーン、アクセスポイントからの無線到達範囲外のゾーンである。

送信元ノードからアクセスポイントへの上り経路の通信は、複数のノードを経由してマルチホップで行う。アクセスポイントから送信元ノードへの下り経路の通信は、直接にシングルホップで行う。このことにより上り経路上にある中継ノードは下りの通信ではパケットを中継する必要がない。アクセスポイントからの無線到達範囲外のゾーンに送信元ノードが存在する場合には、複数のノードを経由してアクセスポイントへの通信を行う。アクセスポイントから送信元ノードへの下りはアクセスポイントの無線到達範囲内の最も遠くにある中継ノードを経由することにより、経路の途中にあるノードの中継数を減らす。

2.2 ゾーンの定義

ゾーンはアクセスポイントからの無線到達距離とノードからのアクセスポイントまでの無線到達距離によって決定する。

-ゾーン1: ノードからアクセスポイント AP へ直接通信することが可能。アクセスポイントの無線到達範囲内にノードが位置し、かつノードの無線出力到達距離内にアクセスポイント AP が位置する。図1のノードAがAPのゾーン1に位置する。

-ゾーン2: アクセスポイント AP はノードからの無線出力の到達範囲外に位置し、直接通信することは不可能。しかしアクセスポイント AP からの無線出力到達範囲内にノードは位置しており、アクセスポイント AP からの無線出力は受信することが可能。図1のノードB, C, Dがアクセスポ

イント AP のゾーン2に位置する。

-ゾーン3: アクセスポイント AP の無線到達範囲外にノードが位置し, アクセスポイント AP からノードに直接通信することは不可能. 当然ノードからアクセスポイント AP への直接通信も不可能. アクセスポイント AP の無線到達距離内に位置しても, 障害物によりノードがアクセスポイント AP の無線出力を受信できない場合はゾーン3である. アクセスポイント AP からのデータはゾーン2のノード経由で受信することができる. 図1のノードFがゾーン3に位置し, ノードC経由でアクセスポイント AP からの無線出力を受信できる.

ボーダノード: アクセスポイント AP のゾーン2のノードであり, ゾーン2の外に位置するノードとは無線到達範囲内に位置し, 双方で直接通信することが可能. ゾーン3のノードに対しての中継機能を持つ.

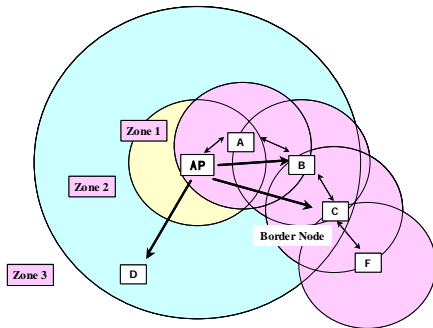


図1 アクセスポイント AP のゾーン
Fig. 1 Zone of Access Point AP

2.3 メッシュネットワークの通信モデル

ノード間の通信はアクセスポイント経由で行う. アクセスポイントはメッシュネットワークに参加するノードとアクセスポイントに関する情報をテーブル情報として管理している. テーブル情報はアクセスポイントが認識しているノード, ノードが属するアクセスポイント, ノードの上り経路と下り経路, 各経路の距離(ホップ数)で構成する. このテーブル情報はアクセスポイント間で共有する. テーブル情報に変化があった場合には変化を検出したアクセスポイントが最新の情報に更新する. アクセスポイントはこのテーブル情報を参照してパケットの送信先ノードが属するアクセスポイントを検出しアクセスポイント間の通信を行う. 同じアクセスポイントに属するノード間の通信もアクセスポイント経由で行う.

2.4 ノード間通信の例

図2はノードSからノードDへ通信する場合の例である. ノードSはAP1のゾーン2にあるので, アクセスポイントAP1を選択しAP1に対して宛先をノードDとするパケットを発信する. パケットはゾーン2のノードA, ゾーン1にあるノードBを経由して3ホップでAP1に到達する. アクセスポイントAP1はメッシュネットワークを構成するノードのテーブル情報から, 宛先のノードDはアクセスポイントAP5のゾ

ーン2にあることを知る. 送信パケットは高速無線リンクを通じてアクセスポイントAP5に至る. アクセスポイントAP5は受信パケットを直接ノードDに発信する. ノードDからノードSへの返信の場合, ノードDはAP5のゾーン2にあるため, 返信パケットはゾーン1のノードC経由の2ホップでAP5に送られる. アクセスポイントAP5は返信パケットの宛先であるノードSがAP1のゾーン2にあることをテーブル情報から知る. 返信パケットは高速無線リンクを通じてアクセスポイントAP1に戻る. ノードSはノードDからの返信パケットを直接アクセスポイントAP1から受信する. アクセスポイントAP1のゾーン3にあるノードGがノードDに発信する場合にはゾーン2のノードS経由で行う. ノードSはAP1のボーダノードBNとなる.

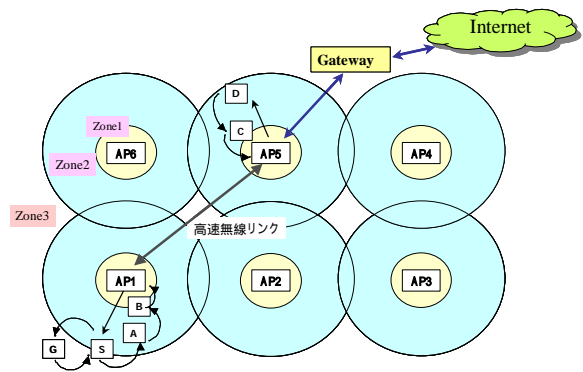


図2 メッシュネットワークの構成とノード間通信
Fig.2 Mesh-Network Structure and Communication Among Nodes

2.5 複数のゾーンに属するケース

近接するアクセスポイントの無線到達領域が重複することによって, 複数のアクセスポイントのゾーンにノードが位置する場合がある. アクセスポイントの配備位置により, ゾーン2とゾーン2, ゾーン1とゾーン2の重複があり得る. また近接する3つ以上のアクセスポイントによるゾーンの重複領域も存在し得る. ノードは最少ホップ数で到達できるアクセスポイントを選択する. ホップ数が同じ場合にはどちらを選んでもよい.

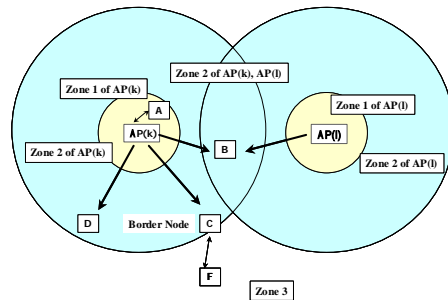


図3 複数のアクセスポイントによるゾーンの構造
Fig.3 Zone Structure with Plural Access Points

2.6 ノードが自身のゾーンを知るアルゴリズム

- 1) 各ノードは電源投入の立ち上がり時に、初期設定としてゾーン3を自身の設定とする。
- 2) 各ノードは自身の識別子IDと、ゾーン情報(ゾーン3, または帰属するアクセスポイントのゾーン1, 2)を付加してハローメッセージを定期的に発信する。ハローメッセージの時間間隔はアクセスポイントおよびノードの電波到達距離と、ノードの移動速度から算出する。
- 3) ハローメッセージを受信したノードは、送信ノードの識別子とそのゾーン情報を記憶する。同様にハローメッセージを受信したアクセスポイントも、送信ノードの識別子とゾーン情報を記憶する。
- 4) 次に各ノードは自身の識別子, ゾーン情報に加えて受信したハローメッセージの送付元ノードの識別子, ゾーン情報を付加して、自身のハローメッセージを発信する。
- 5) ノードは受信したハローメッセージに、自身の識別子が存在すれば、送付元ノードとは1ホップで直接通信し合えるノードであることを知る。3), 4)の操作をn回繰り返すことにより、nホップ先のノードを認識することが出来る。nホップ先のノードと各ノードのゾーン情報で構成するベクトルを、隣接ベクトルと呼ぶ。nの値はアクセスポイントとノードの電波到達距離、ノードの密度によって決定する。
- 6) アクセスポイントも同様にハローメッセージを定期的に発信する。このときにアクセスポイントの識別子と、受信したハローメッセージの直接の送付元ノード(アクセスポイントからシングルホップ先にある)の識別子を送信する。
- 7) アクセスポイント AP(k)からのハローメッセージを受信したノードは、AP(k)のゾーン1, またはゾーン2に在ることを知る。AP(k)のハローメッセージに自身の識別子があれば、AP(k)のゾーン1に在ることを知る。AP(k)のハローメッセージに自身の識別子がなければ、AP(k)のゾーン2に在ることを知る。
この時点ではゾーン3に位置するノードは、アクセスポイントからのハローメッセージを受信できないので、ゾーン3の初期設定状態にある。
- 8) 各ノードは2)から7)の操作を繰り返すことにより、以下の情報を得ると共に記憶する。この情報は3章で述べる手法によってアクセスポイントへ送信し、アクセスポイントがメッシュネットワークのテーブル情報として一括管理し、アクセスポイント間で共有する。
 - ノードが属するアクセスポイント AP(k)の識別子 k.
 - ノードが属するアクセスポイント AP(k)のゾーン情報.
 - 隣接ベクトル(nホップで隣接するノードの識別子とそのゾーン情報)

3. メッシュネットワーク上のルーティングアルゴリズムの提案 ARZM(Ad Hoc Routing using Zone in Mesh Network)

本章ではテーブル情報に基づくプロアクティブルーティングと、メッシュネットワークへの参画時や経路をテーブル情報に見出せない場合に使用するオンデマンドルーティングを組み合わせたハイブリッド方式のルーティングアル

ゴリズム ARZM(Ad Hoc Routing using Zone in Mesh Network)を提案する。オンデマンドで獲得したルーティング情報はテーブル情報としてアクセスポイントが管理し、ゾーン1, ゾーン2にあるすべてのノードに対してブロードキャストする。

3.1 ルーティング方式

ルーティングはアクセスポイントから配信されるテーブル情報に従って、ノードからアクセスポイントへの最短経路(最少ホップ数)をノードが選択することにより行う。テーブル情報にはアクセスポイントが認識しているノード、ノードが属するアクセスポイント、ノードの上り経路と下り経路、各経路の距離(ホップ数)が含まれている。送信元ノードがテーブル情報から経路を見出せない場合には、オンデマンド方式によるルーティングを行う。

3.2 アクセスポイントへのオンデマンドルーティング方式

- 1) 送信元ノードSがアクセスポイントのゾーン1にある場合、アクセスポイントへは1ホップなのでルートは自明。
- 2) ゾーン2またはゾーン3にあるノードSはアクセスポイントAPに対するルート要求RREQをフラッディングする。ノードSは自身の識別子ID, ゾーン情報, 一意的シーケンス番号をパケットに付加する。

- ノードSがゾーン2に位置する場合

ノードSが属するアクセスポイントのアドレスを宛先に指定する。複数のアクセスポイントに属する場合には、重複するアクセスポイントのアドレスをすべて宛先に指定する。

- ノードSがゾーン3に位置する場合

アクセスポイントへのアドレス無指定でフラッディングを行う。

- 3) RREQを受信したノードは、以下の処理を行う。

受信したRREQのシーケンス番号と送信元IDが、以前に受信しているパケットと同じ場合には、このRREQを破棄する。受信ノードが複数のアクセスポイントの送信先の中に、経路を知っているアクセスポイントが存在する場合には、このノードからそのアクセスポイントまでの経路を付加し、RREQの逆経路に従ってノードSにルートリプライRREPを返信する。ルートリプライRREPで返信した送信先アクセスポイント以外に、他のアクセスポイントがRREQの宛先にある場合、RREPしたアクセスポイントアドレスを宛先から削除しRREQをフラッディングする。

- RREQの受信ノードがゾーン3の場合

・ゾーン3のノードからRREQが発信されている場合

ノードSからこのノードまでの経路情報に自身の識別子ID, ゾーン情報, シーケンス番号を付加してRREQをフラッディングする。アクセスポイントAPのアドレスは無指定のままである。

・ゾーン2のノードからRREQが発信されている場合

受信したRREQを破棄する。

- RREQの受信ノードがゾーン2の場合

・ゾーン3のノードからRREQが発信されている場合

受信ノードの属するアクセスポイントAP(k)を送信先アドレスに指定する。複数のアクセスポイントに属する場合は、受信ノードが属するゾーン2のすべてのアクセスポイントにRREQの送信先アドレスとした後、RREQをフラッディングする。ノードSからこのノードまでの経

路情報に自身の識別子ID,ゾーン情報,シーケンス番号を付加してRREQをフラッディングする.

・ゾーン2のノードからRREQが発信されている場合

発信ノードの属するアクセスポイントに受信ノードが属していない場合,RREQは破棄する.それ以外の場合,受信ノードが属するゾーン2のすべてのアクセスポイントをRREQの送信先アドレスとした後,RREQをフラッディングする.ノードSからこのノードまでの経路情報,自身の識別子ID,ゾーン情報,シーケンス番号をRREQに付加する.

・ゾーン1のノードからRREQが発信されることは無い.

- RREQの受信ノードがゾーン1の場合

受信ノードはアクセスポイントAPへ1ホップであることを知っているのでルータリプライRREPを作成し,RREQの逆経路を辿ってノードSへ返信するRREP方式1と,アクセスポイントAPIにRREQをフラッディングし,APからRREPを返信するRREP方式2が考えられる.ここでは経路上の各ノード間の双方向性を確認できるRREP方式1を取上げ検討を進める.

以上のRREQ処理は送信先であるアクセスポイントに向かうRREQを転送し,遠ざかる方向への不要なRREQを破棄するものである.一連の処理を表1にまとめる.

		RREQの受信ノード k l		
		Zone1 of AP(k)	Zone2 of AP(k)	Zone3
RREQ の送信 ノード	Zone 1 of AP(l)			
	Zone 1 of AP(k)			
	Zone 2 of AP(l)	破棄	破棄	破棄
	Zone 2 of AP(k)	RREP	RREQ ²	破棄
	Zone 3	*	RREQ ²	RREQ ¹

RREQ¹:宛先のアドレス無指定

RREQ²:受信ノードが属するゾーン2のすべてのアクセスポイントを宛先に指定

*:ゾーン3とゾーン1間の直接のRREQの送受信は無い

表1 アクセスポイントのゾーンに従ったRREQの処理

Table 1 RREQ Following Zone Information of Access Points

4) 最初のRREPを受信したノードSは,経路を複数獲得するために一定時間他のRREPを待つ.得られた経路からアクセスポイントへ最短の経路を選択する.

5) ノードSは,選択した経路に従ってデータパケットをアクセスポイントに対して送信を開始する.ノードSは最初の送信データパケットに,獲得した代替ルートを含むすべての経路情報,ノードSの隣接ベクトルを付加する.

6) 中継ノードは,指示された経路に従ってパケットを転送する.この時にこの中継ノードは自身の隣接ベクトルを付加してパケットを転送する.

7) パケットを受信したアクセスポイントは経路情報と各ノードの隣接ベクトルをテーブル情報として記憶する.経路上の各ノードが自身の隣接ベクトルをアクセスポイントに転送することで,経路の近傍(nホップ)にあるノードのネットワ

ーク接続情報をアクセスポイントは獲得できる.アクセスポイントからノードSへの下り経路は,以下の手順でアクセスポイントが算出する.

-ノードSがアクセスポイントAPのゾーン2にある場合は,下り経路はアクセスポイントAPノードSへのシングルホップの直接経路である.

-ノードSがゾーン3の場合,上り経路上で最もAPから遠くに位置するAPのゾーン2のノードをボーダノードBNとして検出する.ボーダノードBNからノードSへの経路は,上り経路の逆経路を使用する.

3.3 テーブル情報管理

アクセスポイントは得られた経路情報,各ノードの隣接ベクトルから,メッシュネットワーク全体のテーブル情報を生成する.テーブル情報は,アクセスポイントが認識しているノード,ノードが属するアクセスポイント,ノードの上り経路と下り経路,各経路の距離(ホップ数)で構成する.テーブル情報はメッシュネットワークを構成するアクセスポイント間で共有する.情報の変化を検出したアクセスポイントは直ちに变化した内容を他のアクセスポイントに送信しアクセスポイント間で同期を行う.またアクセスポイントはハローメッセージに,テーブル情報を加えてノードにブロードキャストする.アクセスポイントのゾーン1,ゾーン2にあるすべてのノードはこのフルダンプで,テーブル情報を一気に得ることが出来る.ハローメッセージには毎回この情報を付加するのではなく,情報に变化があった場合に行う.テーブル情報はゾーン1,ゾーン2にあるすべてのノードが保有する.ノードは,通常テーブル情報に従ってルーティングを行う.

3.4 アクセスポイントへのルーティング例

図4に示す送信元のノードSはゾーン3にあり,アクセスポイントへの経路を持っていない.アクセスポイントへのアドレス無指定で,ノードSはルータリクエストRREQをフラッディングする.RREQを受信したノードCはアクセスポイントAP(k)のゾーン2にあるので,宛先をAP(k)としてRREQをフラッディングする.次にアクセスポイントAP(l)のゾーン2にあるノードHは,自身が属するアクセスポイントAP(l)とは異なるAP(k)に属するノードCからのRREQを受信しているのでこれを破棄する.アクセスポイントAP(k)とAP(l)のゾーン2にあるノードBは,宛先をAP(k),AP(l)としてRREQをフラッディングする.RREQを受信したノードAは宛先であるAP(k)のゾーン1にあるので,ルータリプライRREPをノードSに返信する[RREP方式1].下りの経路はノードA-B-C-Sである.RREQを受信したノードEは宛先はAP(k),AP(l)のままでRREQをフラッディングする.ノードFは宛先をAP(l)としてRREQをフラッディングする.ノードGは宛先であるAP(l)のゾーン1にあり隣接しているので,ルータリプライRREPをノードSに返信する.下りの経路はノードG-F-E-B-C-Sである.ノードSは以下の2つの経路を得る.

・経路1

上り:S-C-B-A-AP(k),下り:AP(k)-C-S

[ノードCがAP(k)のボーダノードBNである]

・経路2

上り: S C B E F G AP(l), 下り: AP(l) B C S
 [ノードBがAP(l)のボーダノードBNである]

経路1は上りが4ホップ, 下りが2ホップに対して, 経路2は上りが6ホップ, 下りが3ホップである. ノードSは経路1を選択する.

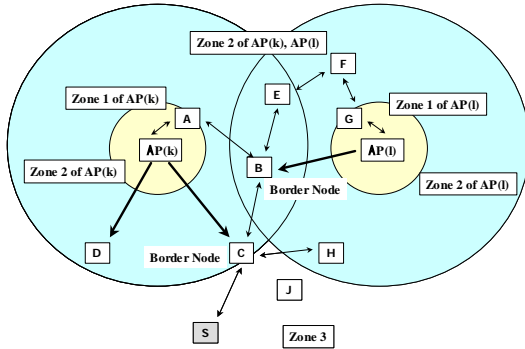


図4 アクセスポイントへのルーティングの例
 Fig. 4 Routing Example for Access Points

3.5 ルートの修復法

・上り方向 ノードの移動または故障により, 経路上でエラーが発生した場合には以下の手順でルートの修復を行う. アクセスポイントに向かう上り経路で発生したエラーは, エラーを検出したノードが, その時点で自身のノード識別子を付加してルートエラーRERRを送信元ノードに返す. 戻る経路は逆の経路をたどる. REERを受信した送信元ノードはエラー発生ノードを知り, アクセスポイントから受信したテーブル情報から代替ルートを検索する. 送信元ノードがゾーン3にある場合にはテーブル情報を持っていないため, 経路上のボーダノードBNが代替ルートを検索し, RERRに代替ルートを付加する. オンデマンドルーティングで確保した代替ルートも, テーブル情報に基づく代替ルートも見つからない場合, 送信元ノードは最初からオンデマンドのルーティングを開始する. 代替ルートによるアクセスポイントへの通信再開時にはエラー情報をパケットに付加しアクセスポイントに伝える. アクセスポイントはエラー情報からテーブル情報を更新する. 3.2 3)で述べた RREP方式1を使うことにより経路は双方向であることを確認済みなので RERRを下り方向へ返信できる.

・下り方向 アクセスポイントからノードへの下り経路上のゾーン1またはゾーン2でエラーが発生した場合, アクセスポイントはACKパケットの受信待ちのタイムアウトを検出する. エラーがゾーン3上で発生した場合, エラー検出ノードは自身のノード識別子を付加してルートエラーREERをアクセスポイントに返す. RERRの経路はパケット送信で使用している上り経路を使用する. RERRを受信したアクセスポイントは, テーブル情報から代替ルート検索する. 同時にテーブル情報の更新も行い, 各アクセスポイント間で直ちに同期処理を行い情報を共有する.

4. おわりに

本稿ではアクセスポイントの長い無線到達距離と, モバイル端末の短い無線到達距離の非対称性を利用したゾーン概念を導入し, モバイル端末の低消費電力化を目的とするメッシュネットワークを提案した. 提案方式では下りのパケットが中継ノードを経由しないため, 中継処理に伴うモバイル端末の電力消費を削減する. またこのメッシュネットワーク上のゾーンを利用したルーティングアルゴリズムARZM (Ad Hoc Routing using Zone in Mesh Network)の提案を行った. ARZMではオンデマンドルーティング時に, ゾーンを利用してルートリクエストをアクセスポイントへ向かう方向に誘導するため, 不必要なルートリクエストのフラディングを抑制する.

シミュレーションによる評価, 検討を進めており, その結果と評価について改めて報告を行う予定である.

参考文献

- [1] S. Naghian, J. Tervonen, "Semi-Infrastructured Mobile Ad-Hoc Mesh Networking". Proc. IEEE PIMRC 2003
- [2] J. Bicket, D. Aguayo, S. Biswas, R. Morris, "Architecture and Evaluation of an Unplanned 802.11b Mesh Network". Proc. MobiCom 2005
- [3] J. Broch, D. Maltz, D. Johnson, Y. Hu, J. Jetcheva, "A Performance Comparison of Multi-Hop Wire-less Ad Hoc Network Routing Protocols". Proc. IEEE Globecom 1998
- [4] V. Ramasubramanian, R. Chandra, D. Mosse, "Providing a Bidirectional Abstraction for Unidirectional Ad Hoc Networks". Proc. IEEE Infocom 2002
- [5] M. Pearlman, Z. Haas, B. Manvell, "Using Multi-hop Acknowledgements to Discover and Reliably Communicate over Unidirectional Links in Ad Hoc Networks". Proc. IEEE WCNC 2000
- [6] D. Kim, C. Toh, Y. Choi, "On supporting Link Asymmetry in Mobile Ad Hoc Networks". Proc. IEEE Globecom 2001
- [7] Z. Haas, M. Pearlman, "The Zone Routing Protocol (ZRP) for Ad Hoc Networks", Internet Draft draft-zone-routing-protocol-01.txt, Aug. 1998
- [8] P. Shinha, S. Krishnamurthy, S. Dao, "Scalable Extensions for Mobile Ad-Hoc Networks". Proc. IEEE WCNC 2000
- [9] <http://www.ieee802.org/16/>

付 録

ネットワーク上のノードとアクセスポイントのネットワークは以下のマトリクスで表記が出来る.

$$i=(1,n), \quad j=(1,n), \quad n= \# \text{nodes in mesh network}$$

$$k=(1,m), \quad m= \# \text{access points}$$

$$\mathbf{M}=\{M_{ij}\}$$

If node j is single hop from node i, then $M_{ij}=1$, otherwise, $M_{ij}=0$

$\mathbf{D}=\{D_{ij}\}$ using Dijkstra method for \mathbf{M} , D_{ij} =distance from node i to node j

$$\mathbf{AU}=\{AU_{ik}\}$$

If node i is in Zone 1 of AP(k), then $AU_{ik}=1$, otherwise, $AU_{ik}=0$

$$\mathbf{AD}=\{AD_{kj}\}$$

If node i is in zone 1 or zone2 of AP(k), then $AD_{kj}=1$

Otherwise, $AD_{kj}=0$

$$\mathbf{DU}=\mathbf{D} * \mathbf{AU} + \mathbf{AU} = \{DU_{ik}\}$$

DU_{ik} =distance from node i to AP(k)