

ネットワーク的側面から見た Location Aware サービスの現状と技術的課題

A Survey of Location Aware Services over networks

瀬崎 薫*・山崎 浩輔**

Kaoru SEZAKI and Kosuke YAMAZAKI

1. はじめに

近年のLSIやマイクロマシン技術の飛躍的な進歩により、微細かつ高性能なデバイスが安価で手に入る時代が近づいている。これに伴い、かねてから進んでいた、多（人数）対一（計算機）から一対一へのダウンサイジングがさらに加速し、一対多の時代になりつつある。このような背景の下、携帯型の情報端末が注目を集めている。

これらの機器が従来のものと大きく異なる点は携帯が容易であるという点である。従来でもノートパソコンなどは携帯可能であったが、容易とはとても言いがたい。その点、これからの携帯機器は小型軽量化され、携帯可能なだけでなく洋服を着る様な感覚で（ウェアラブルに）持ち歩くことが可能となる [1]。

ウェアラブルコンピュータは利便性を考えると機器は全て無線で接続されることが必須であるため、それらがネットワークを構築する場合、無線アドホックネットワークの技術が利用できる。無線アドホックネットワークでは、デバイスが電池駆動である、無線のため帯域に制限があるなど、様々な問題点を考慮したプロトコルが考案されている。

ウェアラブルの時代ではデバイスが様々な場所に存在するため、従来の固定ネットワークと異なり地理的情報が有用な情報となる。そのため、アドホックネットワークの分野においても地理的情報を用いた種々のプロトコル等が検討されている。

本稿ではまず2章で位置情報を活用した位置適応型サービスを紹介する。次に3章でそれらのサービスに適用可能な地理的情報を用いた経路制御手法を紹介し、4章でその際に問題となるスケラビリティに対応した経路制御手法について紹介する。最後に5章でまとめと今後の課題を述べる。

2. Location Aware サービス

位置情報を加味することにより従来とは異なるアプリケーションを実現することが可能となる。位置適応型サービスは様々な研究機関で提案されているが、それらは大きく情報収集型、通信型、サービス構築型の三種類に分類される。以下ではそれらについて簡単に紹介する。

2.1. 通信型

ここで紹介するものは従来の通信に地理的情報を利用し、さらに円滑な通信を行うことを目的としたサービスである。

2.1.1. Bay Area Research Wireless Access Network: BARWAN

BARWAN [2] は米バークレー大で検討されている広域無線ネットワークインフラであり、複数の企業と大学が協力してサンフランシスコベイエリアに既にテストベッドが構築されている。

BARWANの目的は、都市部の様な大規模なネットワークから大学のキャンパスの様な比較的小規模なもの、またビル内や室内など、多様なネットワーク全てを網羅する無線ネットワークインフラの構築である。

BARWANが対象としている多様な無線オーバーレイネットワークを図1に示す。

BARWANにおいて、モバイルホストは周波数、待ち時間の異なるオーバーレイネットワーク内に存在する。ノードがネットワークに接続する必要がある場合、それらのネットワークから自分にとって最も優れているものを選択し、接続する。

BARWANにおける目標を以下に挙げる。

- ・ Seamless Integration of Overlay Networks

BARWANでは、ハンドオフする際の移動先を決定するためには、ある種のメトリックが必要となる。

- ・ Support Services for Mobile Applications

オーバーレイ間のハンドオーバーにより帯域や遅延が変

*東京大学生産技術研究所 概念情報工学研究センター

**東京大学生産技術研究所

化する。これに対応するようなアプリケーションのインターフェースを開発する必要がある。

・ Managing Mobile Connections to Support Latency-Sensitive Applications

特に実時間性を要求されるアプリケーションの場合、ハンドオーバーによる遅延はできるだけ軽減されなければならない。そのため、モバイルノードの位置、セルの位置情報、ルート情報等を管理するアルゴリズムが必要である。

・ Load Balancing for Scalable Mobile Processing

従来の集中管理とは異なり、分散的にリソースやネットワークを管理するアルゴリズムが将来のネットワークには必要である。

2.1.2 Ricochet

Ricochet [2] は、メトリコム社によって開発、実装されているモバイルネットワークである。モバイルにおける問題点をカバーし、通信速度、安全性、信頼性、偏在性を達成している。アーキテクチャを図2に示す。

Ricochet Wireless Modem を搭載したノードに電源が入ると、近くの街頭などに設置された Micro Radios と通信を開始し、登録作業に入る。

登録パケットを受信した Micro Radio は適当なルートを用いて互いに通信し、Wireless Access Point (WAP) まで、登録パケットを中継する。WAP は、無線系と有線系の境界であり、ここから Name Server に有線で中継される。Name Server は認証を行い、正当と認められた場合、目的地ノードまでのルートをノードに返す。

Micro Radios は緯度経度で特定されおり、これらの間では位置情報を用いて経路制御されていると思われる。

Ricochet では、周波数帯は 900 MHz, 2.4 GHz に加えて 2.3 GHz を用いる (図3)。また、スペクトラム拡散には FrequencyHopping を用いる。

さらに通信にはパケット形式を用いるため、効率的に広大

なネットワークを管理することができる。

MicroCellRadio は 400 m から 800 m 毎に設置してメッシュ型のアーキテクチャを構成し、通信の安全性や効率的なデータ通信、室内での通信を保証する。またこれにより、信頼性やハンドオフも保証する。スター型でなく、メッシュ型を選択したのは、Ricochet のシステムにおいて、微弱な信号のために発生するコストや時間の浪費を防ぐことができるからである。

2.2 サービス構築型

ここで紹介するものは地理的情報から近傍に存在するデバイスを確認し、その場でネットワークを用いてサービスを実現する形態のものである。

2.2.1 Location Aware Network

Beadle らは位置情報を利用してデバイスが環境の変化に対応するネットワークの構築を目的として研究を行っている [4]。ユーザがコントローラ (PAD: PDA に電話機能を持たせたもの) を持ちデバイスに近付くと、近辺にあるデバイスが手元のコントローラで制御できる。デバイスに

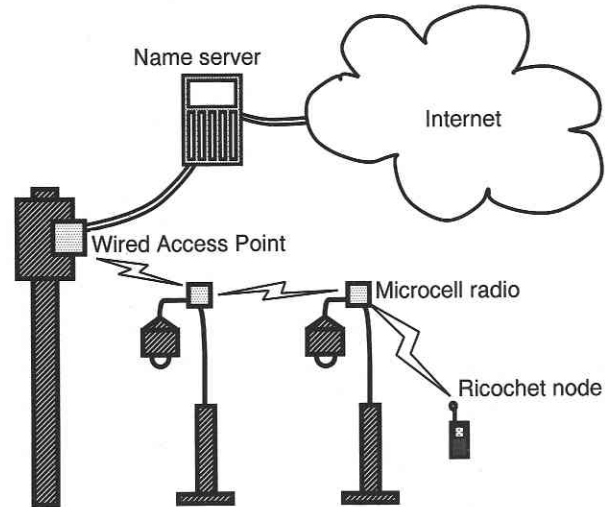


図2 Ricochet Architecture

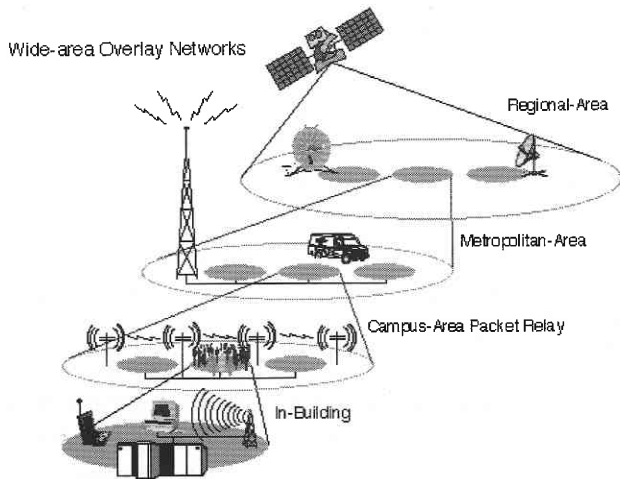


図1 Wireless Overlay Networks

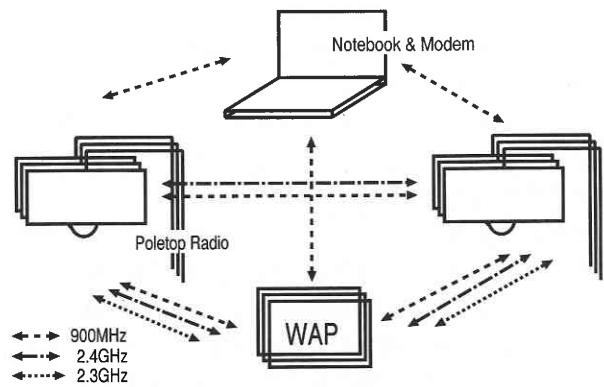


図3 Mesh Architecture

依存してコントローラのインターフェイスは変化し、時には音声、また時には GUI でデバイスを制御する。この様に位置情報を基にしてあらゆるデバイスが一つのインターフェイスで制御可能にすることを目標としてプロジェクトが進められている。

地理的情報として、現在地や速度、加速度までロケーションサーバが管理している。ユーザがネットワークを利用する場合、以下のものを要求しなければならない。

1. Where am I
2. What is near me
3. Where is X

1 と 3 に比べて 2 は複雑である。自分の位置情報とデバイスの位置情報を割だし、お互いの距離を計算する。その距離が一定値以内ならばそのデバイスを返す。

しかし、一定値は状況によって変化するため隣接したデバイスか否かの判断が困難である。

2.3 情報収集型

ここで紹介するのはユーザの地理的情報からその場に応じたサービスを提供するという形態のものである。

2.3.1 GUIDE プロジェクト

GUIDE プロジェクト [5] はランカスター大で進められているプロジェクトであり、旅行者などの訪問者に対して物理的な位置から必要であろう情報を手持ちのデバイスに提供するためのインフラの構築を目標としている。GUIDE への要求を以下にまとめる。

- ・柔軟性：団体行動を好む人もいれば、一人で行動する方が好きな人もいるため、どちらにでもシステムが対応できなければならない。
- ・環境適応型の情報：個人の興味や目的だけでなく施設自体の情報を管理しなければならない。
- ・動的な情報のサポート：施設が日や時間によって変化するため、状況に応じて発信する情報を変更しなければならない。

GUIDE ではセルベースの無線インフラを利用し、動的な情報や位置情報をブロードキャストする。ユーザは GUIDE ユニットを用いてそれらを受信する。

2.3.2 Single Location-awareness System

Besada らは将来の無線ネットワークにおける位置適応型のサービスについて検討を行っている [6]。ここで取り上げられているのは、災害時に特定の場所にいる人達に災害の場所や避難場所、移動手段の情報などを告知する様なサービスである。このサービスの実現のためには当然位置情報が必須となり、位置情報を利用した経路制御手法が必要となる。ここでは経路制御手法として RFC 2009 [7] を挙げている。経路制御のためには物理的な位置情報をインターネットにおける論理的なそれに変換しなければならない。その変換手法としては以下の三つが考えられる。

・ GPS-Multicast Solution

- ・位置情報を考慮した拡張 IP アドレス
- ・DNS を拡張し、位置情報を入力すると IP アドレスを返す。

IPv6 でも地理情報をアドレスに活用しているが、通信のためには地理的なアドレスをホストが保持しておかなければならない。しかしここでターゲットとしているのは、ホストがそれを持っていなくとも通信できるインフラである。そのためここではルータが地理情報をキーとしたハッシュテーブルを持つこととする。さらにサービスの実現のためにエージェントを設ける。エージェントはユーザとアプリケーションをチェックし、タスクの調整を行う。具体的には、

- ・ネットワークトラヒックの調整
- ・マシン間の負荷の調整
- ・データの獲得
- ・オフライン時のユーザへの対応を行う。

2.3.3 Geographical interaction network Jumping object : GinJo

GinJo [8] は IBM が研究しているマルチホップ型モバイルネットワークであり、無線機を装備する携帯通信端末間でデータをやりとりすることにより、柔軟で動的なネットワークを構築するシステムである。

GinJo では専用のモバイル通信装置を開発し、無線機の無線強度によって通信装置のお互いの位置をアドホックに知ることを可能とする。また GPS や PHS 等を搭載させることにより正確な位置情報を交換しながら、より強固な GinJo ネットワークを構築することが可能となる。

その応用例としては、商店街で店のオーナーが通行人に広告を発信する電子広告媒体としての利用や、その場に居合わせた者同士でダイナミックに仮想ネットワークを構築し有益な情報を交換するといった利用の仕方が挙げられる。

2.3.4 ステーション

「ステーション」[9] は J-フォンが提供しているサービスである。ステーション対応 J-フォンは、最寄りの基地局から配信される最新の情報を自動的に受信する。

基地局の通信半径は有限であるため、ユーザの位置によって手に入る情報が自然と位置依存となる。しかし位置依存と一口で言っても基地局の圏内という単位かつ建造物による電波の干渉などを考えるとその精度には疑問が残る。

2.3.5 ココセコム

「ココセコム」[10] とは、セコム株式会社によって開発された GPS 衛星と携帯電話基地局情報による位置検索技術を利用して得た、これまでにない高度な位置情報をもとに、セコムのセキュリティネットワークを最大限活用した、人物・車両向けの新しい位置検索サービスシステムである。

ココセコムでは、小型専用端末を所持した人物や物体（車両等）の位置を検索し、ユーザに対して位置情報を提供するとともに、セコムの緊急対応員による急行サービスを提供するサービスである。提供する位置情報の検出には GPS のみならず、携帯電話基地局を活用する。つまり GPS 衛星をとらえられない場合でも、携帯電話基地局を仮想的な GPS 衛星と判断して補完することで、きめ細かい位置検索を、全国一律で実現する。

2.4 まとめ

以上、三つの形態に分類してサービスを紹介した。個々に目的が違うため求められる要素技術も若干の相違が出て来るが、基本的には地理情報を活用しており、その点では全てが一致する。

この中でも情報収集型のサービスは地理情報が不可欠であり、また地理情報を用いた経路制御も重要視されている。この様な要求の増加に伴い、様々な経路制御手法が提案されている。次章以降では、地理情報を積極的に活用した経路制御手法を紹介する。

3. 地理的情報を活用した経路制御手法

本章では地理的情報を用いた無線マルチホップアドホックネットワークにおける経路制御手法を紹介する。以下に紹介する手法を応用することにより、さらにセキュリティやプライバシーを考慮した位置適応型サービスの実現が可能となる。

3.1 Location-Aided Routing : LAR

LAR [11] では、各ノードの位置情報を利用し、ルーティングの際のオーバーヘッドを軽減する。前提として、各ノードは GPS を搭載し、自分の位置を正確に把握しているものとする。実際の GPS においても、现阶段で数メートルの誤差で位置を知ることができる。送信者（以下、S）が通信相手ノード（以下、D）への経路を構築する場合、以前の位置を把握していなければ、経路要求（RREQ）をネットワーク全体に Flooding する。しかし、以前（時刻 t_0 ）の位置、および平均速度（V）を知っていた場合、ある程度の範囲で現在（時刻 t_1 ）の D の位置を予測することができる。

しかし、経路要求はこの範囲に一致する訳ではない。S が予測範囲に含まれるならば別だが、そうでない場合、ルート構成する中継ノード群が D の予想される範囲にいるとは限らないからである。これを考慮すると経路要求を行う範囲は、さらに決定される必要がある。この様な範囲を限定したフラッディングのために、以下に二つのスキームを用意する（図 4）。

・ LAR Scheme 1（図 4-a）

まず、上記の様に D の位置を推測し、それを完全に含む長方形を考える。S はその長方形の大きさを RREQ に記

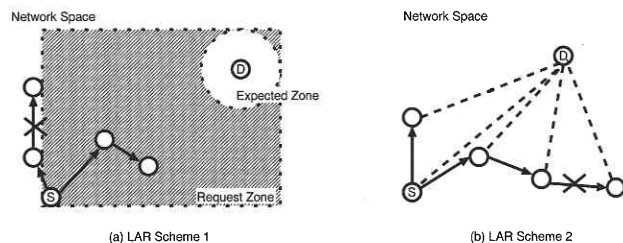


図 4 LAR Scheme

載しておく。RREQ を受信した中継ノードは自分の現在地と長方形を比較し、その内部にいるならば中継、外部ならば破棄する。

・ LAR Scheme 2（図 4-b）

S は既知の D の位置との距離を計算し、RREQ に記載する。RREQ を受信した中継ノードは、記載されている D の位置と自分との距離を計算し、S との距離よりも近ければ自分との距離に置き換え、中継する。遠ければ破棄する。以後の中継に関しては、置き換えられた距離を用いて同様の動作を繰り返す。

3.2 A Distance Routing Effect Algorithm for Mobility : DREAM

[12] では、二つのアイデアから新しいルーティング手法が提案されている。一つは Distance Effect であり、もう一つは Mobility Rate である。基本的な考えとしては、遠近法により遠くのノードはゆっくりと移動しているように見えることから、これをルーティングに応用し、テーブル内の位置情報からより遠くのノードの情報の更新レートを変えろというものである。また、ノードのモビリティから位置情報の更新のレートを変化させる。速度の小さいノードは位置情報の更新レートは低くてよいが、速度の速いノードは頻繁に更新しなければ、その位置を特定できないため、高レートで情報を更新する。

このようなルーティングテーブルを用いることにより、各ノードはメッセージを記録した方向に送信することが可能となる。

DREAM では、(1) 式から図 5 の様に目的地ノードへの経路要求の範囲を決定しパケットを投げる。それらを受け取った隣接ノードは同じコンセプトの元、目的地ノードの方向にパケットを投げる。これを繰り返すことによりパケットが所定のノードに到達する。

<式 1>

DREAM のノードはそれぞれロケーションテーブルを持つ。エンタリには、他のノードへの方向とそのノードまでの地理的な距離が記載されている。DREAM では、このテーブルを用いてルーティングを行うため、更新情報がネットワーク中に広まる可能性がある。しかし、上述の様に距

離が近いノードは頻繁に、遠いノードほどそのレートが下るといえるようにすることによってこれを緩和する。

また、制御パケットには lifetime を乗せ、頻繁に送信するべきものは寿命が短く、たまに送信するものは寿命がながくネットワークの遠くまで届くようにする。

これらの結果として、より目的地から遠い、またあまり動かないノードは制御パケットがそれほどには送られてこないこととなる。その利点を以下にまとめる。

- ・まったく動かないノードは、帯域もまったく使わない。
- ・アップデートの頻度は移動ノード自身が決めるため、最適に定まる。
- ・移動ノードによって更新が行われるため、制御パケットの総量は最小限に抑えられる。

3.3 Greedy Perimeter Stateless Routing for Wireless Networks : GPSR

ここでは、GPSR [13] のアルゴリズムを紹介する。このアルゴリズムは greedy forwarding と perimeter forwarding によって構成される。

3.3.1 greedy forwarding

信者は目的地ノードの位置と自分の通信半径内にいる隣接ノードから自分よりもさらに目的地ノードに近いノードに対して制御パケットを送信する。中継ノードも同様にパケットを中継することにより目的地ノードまでパケットが到達する。

ノード同士の互い位置は定期的なビーコンによって交換する。タイムアウトが発生した場合は、そのノードをテーブルから消去する。

greedy forwarding の利点は、各ノードが保持すべきデー

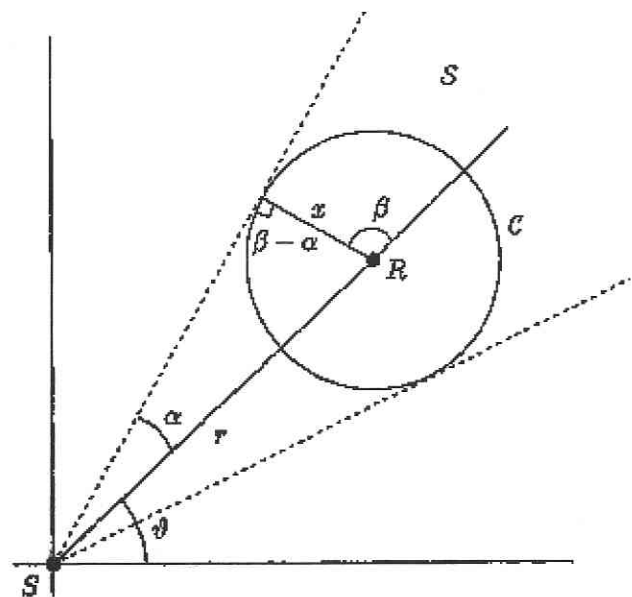


図5 Request Zone of DREAM

タ量がトータルのノード数に関係なく、むしろ隣接ノードの数（ネットワークの密度）によることである。

ビーコンによって各々の位置を確認するが、その間隔の取り方いかんによっては、ルート構築時にはすでに隣接ノードが通信範囲外に出ていたり、新しいノードが通信範囲内に入っている可能性がある。これに関しては、後述のシミュレーションにより、その影響を明らかにする。

ビーコンによる定期的な広告は電力や帯域の浪費であるとして DSR や AODV では敬遠されているが、本稿でのシミュレーションにおいては、パケットの送信および中継時にのみビーコンを送信して位置を確かめる方法をとった。これにより、pro-active なルーティングを実現している。

しかし欠点として、中継ノードが全て送信者より遠い位置にいた場合、まったくルートを構築できないことがある (図6)。

3.3.2 Right-Hand Rule:perimeter forwarding

greedy forwarding では、上記の様にルートが構築できない場合がある。そこで Right-Hand Rule に基づいた perimeter forwarding を用いる (図7)。

図のノード x より目的地ノード D に近いノードが存在しなかった場合、Right-Hand Rule に基づいて反時計回りに中継ノードを探す。

3.3.3 Combining Greedy and Planar Perimeter

GPSR では、上記で述べた二つを組み合わせる。まず、ネットワーク全体では greedy forwarding を用い、それが不可能な場合に perimeter forwarding を用いる。パケットには、どちらのモードであるかが記載されており、中継ノードが受信時に自分より目的地ノードに近い隣接ノードの有無を確かめ、存在した場合は greedy forwarding、存在しない場合には perimeter forwarding と、モードを選択して中継する。

パケットが perimeter mode に入る際、変更されたノードの位置がパケットに記載される。中継ノードは perimeter mode のパケットを受信した場合、この位置情報から自分と perimeter mode になったノードで、どちらが目的地ノ

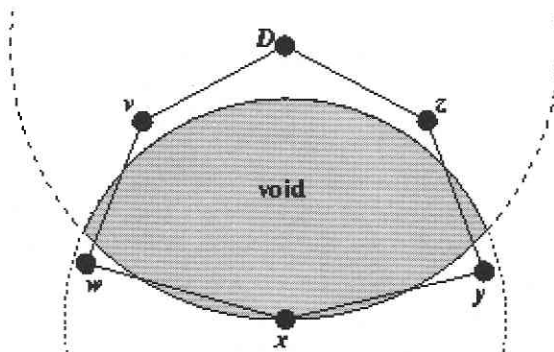


図6 Node x's void with respect to destination D

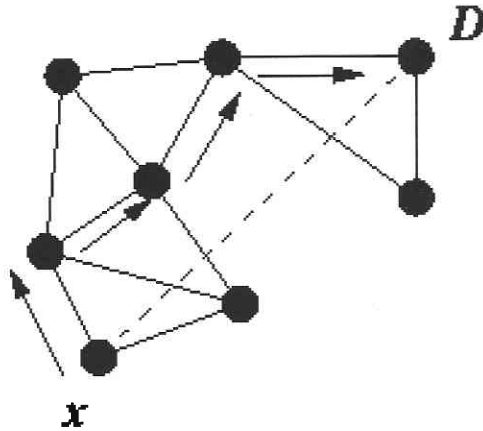


図7 Premeter Forwarding Example

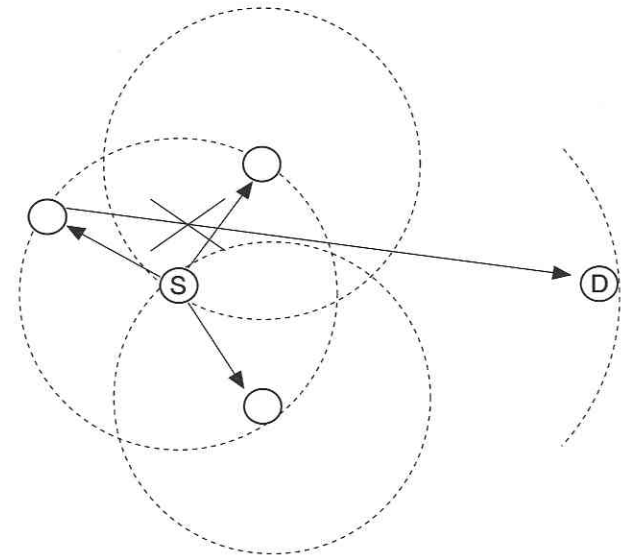


図8 Problem of Geo Routing

ドに近いかを計算し、自分の方が近い場合に greedy mode に戻す。

3.4 各手法の比較

以上、地理的情報を活用した経路制御手法を紹介した。いずれの手法においても推測される目的地ノードの位置情報を基に経路制御を行う。ここに挙げた手法では、各々その利用法が異なり、LARでは過去の位置と速度から目的地ノードが存在しうる範囲を推測し、そこから経路要求の範囲を定める。DREAMでも過去の位置と速度から存在範囲を推測するが、経路要求の範囲は送信者から見た存在範囲を全て含む角度によって決定する。GPSRでは greedy と premeter を設け、目的地ノードにより近いノードに中継させることにより経路制御を行う。

これらは一見正常に動作する様に見えるが問題点もまだ残っている。

例えば、より近いノードへの中継にしても地理的に近いものと論理的に近いものとはその利用が異なる(図8)。またここに紹介した手法は地理情報を GPS 等から得ることを前提としているため、2次元が主なターゲットとなっている。しかし実際のネットワークを考えた場合、3次元であるため、拡張した際にも他の問題が生じる。例えば GPSR を用いた場合、dead-end の発生時に用いる Right-hand Rule による経路検索が3次元には適用不可能なため、経路が存在するにも関わらず経路制御が不可能になってしまう。

以上、主に一对一の通信を対象とした経路制御手法について幾つか紹介した。しかし、地理情報を用いた場合のメリットとして、論理的なアドレスではなく、物理的な地域を指定することが可能となり、災害時の被災地への連絡や特定の地域への広告などが容易に実現できる。この様な用途を考えた場合、上記の経路制御手法では通信のためのコストが大きなものとなり、適したものとは言い難い。そこで次節では地理情報を用いたマルチキャスト(ジオキャスト)

ト)の経路制御手法について紹介する。

3.5 GeoCast

本節では特定の地理的な範囲にメッセージを送信するための手法を紹介する。

Navasらは将来的にあらゆるモバイル端末が搭載した小型のGPSによって自身の位置情報を把握するため、その情報がネットワーク層のみならずアプリケーション層にまで影響を与えるとして研究を行っている[20, 21, 22]。

ジオキャストを実現するための手法としてここでは三つの手法(GEO, Geographic-Multicast Routing, DNS Solution)が考えられている。これらはインフラの必要性がそれぞれ異なり、GEOが最もインフラを必要とせず、DNSが最もインフラを必要とする。以下ではこれら三つの手法に対してそれぞれを紹介する。

3.5.1 Geographic Routing Method : GEO

GEOではメッセージをヘッダに直接地理情報を記載することで経路制御を行う。

そのため、名前解決等のインフラが不要となる。GEOを実際に用いる際には以下の三つの構成要素が必要となる。

- ・ジオホスト
地理情報を獲得可能なホスト全てを指す。
- ・ジオノード

受信した地理情報をそのライフタイム(送信者が決定)の間、全て保持する。また近傍のサブネットや無線のセル内へ受信した地理情報を定期的にマルチキャストする。ライフタイムを設定することにより遅れてその地域に到達したノードも地理情報を受信することができる。ジオノードにたまったメッセージはそのサイズや優先順位などによってスケジューリングされて送信される。メッセージの受信

を開始するノードはその地域に入ると周波数をマルチキャストグループのそれに合わせる。

・ジオルータ

ジオルータは子となるジオノードがカバーしている範囲を統合してサービスエリアとする。ルータ同士で情報を交換し、ルーティングテーブルを構築する。またスケラビリティを確保するためにルータ同士は階層を構成する。

これらによって構成されるシステムを図9に示す。

通信の流れについて例を挙げて説明する。図10の様なネットワークがあったとする。Buschにいる送信者が目的地(College Ave.)の範囲にメッセージを送信したい場合、まず送信者はジオノードのIPをデーモンに対して要求する。

送信者は返されたIPを用いてジオノードにパケットを送信し、ジオノードは自分のサービスエリアが送信者の要求範囲をカバーしているか否かを確認する。この場合、Buschのジオルータは要求された範囲を全くカバーしていないため、上位のジオルータにパケットをそのまま中継する。ルータは受信したパケットから要求された範囲をどのルータ、もしくはノードがカバーしているかを検索し、この場合はCollege Ave.のジオノードがエリアをカバーしているため、そのノードに対してパケットを送信する。

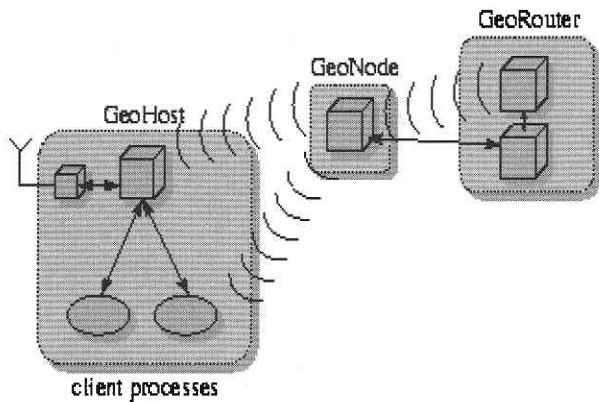


図9 All of the components of the Geographic Routing System

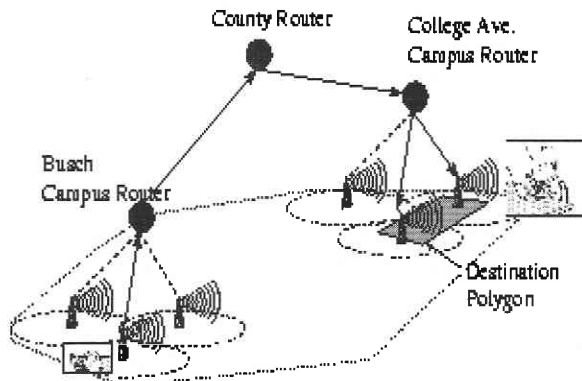


図10 Geographic Routing Example

3.5.2 Geographic-Multicast Routing Method

他の経路制御手法として、マルチキャストが挙げられる。この手法では目的のエリアに相当するマルチキャストアドレスをDNSによって発見する。ここではエリアをアトムとパーティションによって近似する。アトムとはマルチキャストアドレスを持つ最小の地理的範囲であり、パーティションはそれよりは広い地理的範囲である。これらの長方形により目的地の範囲を近似する。

全てのジオノードはそのエリア内の全てのアトムやパーティションのマルチキャストグループに参加する。つまりジオノードは自分自身の範囲だけでなくそこに存在するパーティションの情報も全て把握していなければならない。またそれらの情報はジオノードがインストールされるか、DNSに保存されているデータベースから手に入れる。しかし、地理的範囲は所詮ポリゴンで近似された範囲であるため、所定の範囲の外にいるジオノードもパケットを受信することが有り得る。

これに対応するためパケットのボディには目的範囲のポリゴンの情報を記載しておく。ジオノードはそれを参照して自分がその範囲にいるか否かを決定し、範囲外であった場合パケットを破棄する。

しかし、マルチキャストグループの情報を広める際には注意が必要である。というのも非常に多数のアトムやパーティション、つまりマルチキャストグループが存在するからである。これを改善するためにPIM-SMを改良する。PIM-SMでは全てのPIMルータに対してマルチキャストアドレスやRPのリストをブロードキャストすることを要求するが、ここではパーティションやアトムのサイズが小さくなればなるほど、その情報もよりローカルにしか広告しないことにする。

これにより、国中に広告を発行するパーティション、アトムは非常に大きなものだけに限られる。

3.5.3 Domain Name Server Solution

この手法では、ジオノードやそのカバーしているエリアの地理的な情報を地理情報を付加したDNSにより完全にIPのレベルにまで落とす。表示されるアドレスは、例えば「ポリゴン. 地方. 州. geo」のようになる。このアドレスは所定のエリアのジオノードのIPアドレスに変換される。送られるメッセージサイズが小さい場合はDNSによって返されたジオノードに対して個々にユニキャストする。またサイズが大きい場合にはジオノードに一時的なマルチキャストアドレスを発行し、そのグループにメッセージを送信する。

4 Scalability を考慮した経路制御手法

以上、地理的情報を用いた経路制御手法について紹介した。ここに紹介した以外にも幾つか手法が提案されており、

期待の高さが伺える。

しかし、このような経路制御手法を用いた場合、ネットワークが広範囲に広がることが予想され、絶対数的にも密度的にも大規模なネットワークが構築される。

そこで問題となるのが、スケーラビリティであり、本章ではこれに対応した経路制御手法を幾つか紹介する。

4.1 Fisheye State Routing : FSR

FSR [15] は GSR (Global State Routing) [14] に Fisheye という技術を導入した経路制御手法である。GSR はリンクステート型のルーティング手法であり、各々のノードがネットワークのトポロジを把握している。しかし、ルーティング情報の広め方で大きく相違点がある。リンクステート型 (LS) ではトポロジの変化を発見した場合は常にパケットをネットワークにフラッディングする。しかし、GSR では隣接ノードの状態をリストに記載しているためフラッディングする必要がない。

また、LS ではトポロジの変化に対して常にイベント駆動でパケットをフラッディングする。その点 GSR は定期的に隣接ノードに対してパケットを送っているため、制御パケットのオーバーヘッドが少ない。

ネットワークのサイズが大きくなるに従って、アップデートメッセージが帯域などを浪費する。この点を解決するために Fisheye を導入したのが FSR である。

ノードは各々のノードに対して何ホップかを保持し、その距離に応じて持つ情報量を変化させる。そのスコープの範囲をネットワークのサイズによって変化させることで、近いノード同士では頻繁に情報を更新、逆に遠いノード程更新の頻度が下る (図 11)。

4.2 Hierarchical State Routing : HSR

モバイルネットワークでは、階層化によって移動時の位置情報の管理などが困難になる。これをカバーするために提案されたのが HSR [16] である。階層化の目的は、無線チャネルの効率的な利用とネットワーク層におけるルーティングオーバーヘッドの軽減である。クラスタ化には二種類あり、一つはノードの地理的な位置関係によってクラスタ化する手法、もう一つが論理的に (同じ会社であるとか) クラスタ化する手法である。

レベル 0 のクラスタでは三種類のノードが存在する。まずはクラスタヘッドであり、これはクラスタ内のローカルな通信を制御する。次にゲートウェイノードがあり、これを介して隣のクラスタとリンク情報の交換等の通信を行う。残りは単なる内部ノードである。

このゲートウェイノードからクラスタヘッドがリンク状態の情報を得ることにより、隣のクラスタヘッドと通信できるか否かを判断する。通信できるのならば隣のクラスタヘッドと仮想的なリンクを張ったと考える。このようなネットワークをレベル 1 とする (図 12)。

このような作業を複数回繰り返してクラスタを構成する。より高いレベルのクラスタを構築するたびに仮想ノードは低いレベルのノードへと情報をフラッディングする。これにより全てのノードが階層を把握する。階層の中におけるアドレスはそれぞれの階層化アドレス (HID) を用いて表す。例えば、ノード 3 のクラスタの中にいるノード 2 のクラスタの中にいるノード 6 であった場合、アドレスは <3,2,6> と表記する。また移動ノードへの対応としてホームエージェントを設け、ノードは自身の HID を登録しておく。通信を行う際にはまず目的地ノードの IP を載せたパケットをホームエージェントに送信する。

ホームエージェントは目的地ノードの HID を調べ、パケットを中継する。

このような階層化により、各ノードが保持すべきテーブルの数はフラットなネットワークに比べて非常に少なくてよい。しかし欠点として以下の点が挙げられる。

- ・フラットなネットワークに比べてより長い階層化アドレ

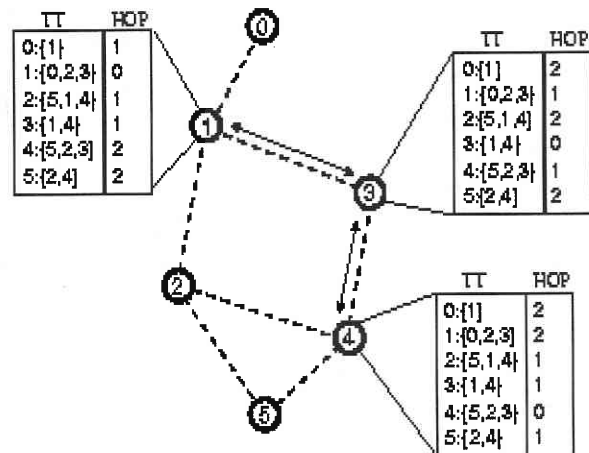


図 11 Message Reduction using Fisheye

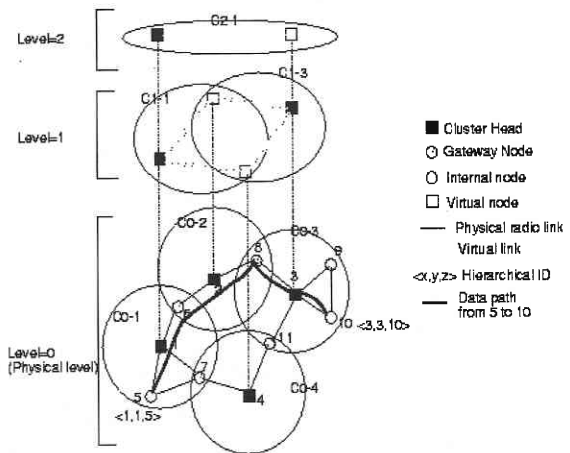


図 12 Example of Physical/Virtual Clusters

スが必要になる。

- ・階層のアップデートやノードの移動時の階層化アドレスの更新などにかかるコストがある。
- ・連続的な階層化アドレスの更新により、ノードの位置の特定やトラックの保持が困難になる。

4.3 Landmark Routing : LANMAR

4.3.1 The Landmark Ad hoc Routing Protocol : LANMAR [17]

ノードはその位置により階層に所属する。同じ階層内では全てのノードへのルートを持っているものとする。さらにそれぞれのノードは違う階層の様々なランドマークへのルートも知っているものとする。パケットは上の階層から下の階層に中継されるに従い、より正確なルートを手に入れることができる。ランドマークノードは似た目的を持ったグループ内で構成するネットワーク内のノードから選択される。

4.3.2 Physical multilevel clustering

ルーティング手法としてはFSRの改良版であるが、FSRが全てのノードをそのテーブルに含むのに対して、LANMARではスコープに含まれているノードもしくはランドマークノードのみをテーブルに加える。これによりテーブルサイズやオーバーヘッドという観点からスケールを補償することができる。

4.4 各手法の比較

以上、スケーラビリティを加味した経路制御手法を幾つか紹介した。各々に特徴があるが、その相互関係をまとめてみる。

FSRの欠点は各ノードが全てのノードの情報を保持するという点で、ノード数が増加した場合に、テーブルサイズが比例して増加し、スケーラビリティの確保が困難になる。これを改良したのがHSRであり、階層化を用いることによってスケーラビリティを確保する。しかし、この手法の欠点はアルゴリズムが複雑であり、無線アドホックネットワークの様な端末の電力が限られているネットワークに関して考えると問題点が残る。また、LANMARも同じコンセプトのもと、さらに似た動きをするグループの行動を想定し、グループ間の経路制御をすることによってFSRを改良している。ランドマークから外れた孤立ノードが増加した場合の対処等で不確定な部分もあり、これからの改良が期待される。

5 結 論

本稿では地理的情報を用いたアプリケーション及びその要素技術として期待される経路制御手法について紹介した。この種のアプリケーションは「通信型」、 「サービス構築型」、 「情報収集型」に分類され、個々にプロジェクトが進められている。その中でここでは特にサービスの提供に

位置情報が不可欠である「情報収集型」に着眼し、その要素技術である地理的情報を活用した経路制御手法について簡単に紹介した。

また、その際に問題となるスケーラビリティの確保に対応した経路制御手法についても簡単に紹介した。

(2001年2月19日受理)

参 考 文 献

- 1) The MIT Wearable Computing Web Page
<http://belladonna.media.mit.edu/projects/VVwearables/>
- 2) Bay Area Research Wireless Access Network
<http://HTTP.CS.Berkeley.EDU/randy/Daedalus/BARWAN/>
- 3) Metricom
<http://www.metricom.com>
- 4) H. W. Peter Beadle, B. Harper, G.Q.Maguire and J.Judge "Location Aware Mobile Computing" Proc. IEEE/IEE International Conference on Telecommunications April 1997
- 5) K. Cheverst, N. , K. Mitchell, A. Friday and C.Efstratiou "Developing a Context-aware Electronic Tourist Guide : Some Issues and Experiences"
- 6) Waseem Basada "Towards a Single Location-awareness System"
<http://www.isk.kth.se/~waseem/grad-courses/VV/location-awareness.html>
- 7) T. Imielinski and J. Navas, "GPS-based Addressing and Routing" RFC 2009
- 8) GinJo : Multi-hop network for mobile devices
<http://www.trl.ibm.co.jp/projects/ginjo>
- 9) J-PHONE
<http://www.j-phone.com>
- 10) SECOM
<http://www.secom.co.jp>
- 11) Young-Bae Ko, and Nitin H. Vaidya, "Location-Aided Routing (LAR) in Mobile Ad Hoc Networks" Mobicom'98
- 12) Stefano Basagni, Imrich Chlamtac, Violet R. Syrotyuk and Barry A. Woodward "A Distance Routing Effect Algorithm for Mobility" Mobicom 98
- 13) Brad Karp and H.T.Kung "GPSR:Greedy Perimeter Stateless Routing for Wireless Networks" Proc. Mobicom'00
- 14) T.-W. Chen and M.Gerla, "Global State Routing: A New Routing Scheme for Ad Hoc Wireless Networks" Proc. ICC 1998
- 15) G. Pei, M. Gerla and T.W. Caen, "Fisheye State Routing: A Routing Scheme for Ad Hoc Wireless Networks" Proc. ICC 2000
- 16) A. Iwata, C.C. Chiang, G. Pei, M. Gerla and T-w. Chen, "Scalable Routing Strategies for Ad hoc Wireless Networks" In IEEE Journal on Selected Areas in Communications Aug. 1999
- 17) G. Pei, M. Gerla and X.Hong "LANMAR:Landmark Routing for Large Scale Wirelee Ad Hoc Networks with Group Mobility" Proc. MobiHOC 2000
- 18) Young-Bae Ko and Nitin H. Vaidya, "Anycasting and Geocasting in Mobile Ad Hoc Networks" Technical Report. June 7, 2000
- 19) Tomasz Imielinski and Julio C. Navas "Geographic Addressing, Routing, and Resource Discovery with the Global Positioning System" October 19, 1996
- 20) Julio C. Navas and Tomasz Imielinski "GeoCast-Geographic Addressing and Routing"