

ソースルーティングを用いた双方向通信型 geocast の実現

小林弘輝[†] 中村嘉隆^{††} 高橋修^{††}

近年、無線通信を行うことのできる機器の低価格化が進み、様々な機器で通信を行うことができるようになってきている。その際の近距離通信や通信のインフラストラクチャの整っていない場所での通信の場合、通信機器のアドホックモードを利用した端末間での無線通信が行われている。このようなネットワーク形態を MANET と呼び、近年注目を集めている。またこの MANET においては、このような通信機器を複数端末利用して行うマルチホップ通信技術も研究されており、通信のインフラストラクチャのない場所でも遠隔地同士で通信を行うことができる。しかし、このマルチホップ通信ではビットエラーや干渉等により、頻繁にリンクの切断や再送の問題が発生することがわかっている。このため、通信が安定した有線ネットワークを前提に提案された信頼性のあるトランスポートプロトコルを MANET 環境に適用すると、性能の低下が著しいことになる。本研究では、電界強度や位置情報に着目して、電波干渉を軽減するため迂回経路を用いてマルチパス通信を行う方式の性能確認を行う。また、ネットワークシミュレータ上で実験・評価を行うことにより本方式の性能を考察する。

Proposal of two-way communication geocast using the source routing

HIROKI KOBAYASHI[†] YOSHITAKA NAKAMURA^{††}
OSAMU TAKAHASHI^{†††}

1 はじめに

近年、既存の通信インフラ環境に依存することなくネットワークの構築が可能なアドホックネットワークに関する研究が活発化している。特に、携帯端末同士を無線通信でリンクさせることにより構築可能な MANET (Mobile Ad-hoc Network) は、端末が自律分散的にルーティングを行うので、インフラ構築が困難な災害現場や海上、上空等での利用も期待されている。また、GPS受信機を内蔵した端末の普及も増加してきている。中でも携帯端末の発展は著しく、GPSで取得した位置情報を利用するアプリケーションなども年々増えている。しかし、災害地などで端末が何処にいくつ存在するか分からない状況の場合、従来のIPベース通信では、アプリケーション側で、エリア内にどの端末が存在するかを把握することから始めなくてはならない。フラッディングによって端末を探索してはネットワークの負荷が大きくなり非効率である。そこで geocast という通信方式が提案された。

geocast とは、地理的なキャスト手法で、送信したいエリアを緯度・経度で設定し、そのエリアに存在する全ての端末にデータを送信することができる通信方式である。現在、ルーティングプロトコルやアルゴリズムの提案についての研究は盛んにされているが、それらはほとんど片方

向通信しか考慮していない。これは、geocast が双方向通信を考慮していないためである。geocast では、送信エリアに向けてデータを送信すると通信自体はそこで終わってしまう。geocast を用いて双方向通信を行う場合、送信元から送信エリアまでは geocast で送信し、送信エリアから送信元までの通信は、再度別のプロトコルを利用して通信を開始しなくてはならない。この問題を解決するために、geocast のアルゴリズムとソースルーティングを用いて、双方向通信を考慮した geocast プロトコルを提案し、実装する。

2 関連研究

2.1 geocast

geocast とは、1997 年に Julio.C.Navas らによって提唱された通信方式である [1]。Navas らは、今後 GPS による位置情報の取得が容易になると予想し、位置依存のプロトコルとして geocast を考案した。geocast の特徴は、地理的なキャスト手法で、緯度・経度によって指定したエリア内の端末全てにデータを送信することができる点である。

2.2 geocast の信頼性

現在 geocast における研究は、ルーティングプロトコルの提案、アルゴリズムの効率化などが行われている。また、広告配信や災害時の情報送信、車々間通信などへの応用も提案されているが、どれも片方向通信を考慮したものばかりで、双方向通信を考慮した研究は少ない。

[†] 公立はこだて未来大学大学院 システム情報科学研究科
Graduate School of Systems Information Science, Future University Hakodate
^{††} 公立はこだて未来大学 システム情報科学部
School of Systems Information Science, Future University Hakodate

geocast では、片方向の通信しか考慮していないため、送信元は送信エリアの端末がデータを受信したかを把握することができない。そこで、送信エリア内の端末がデータを受信した際に送信元へ ACK を返すことによって geocast 通信に信頼性を持たせるといった研究がある[2]。しかし、この研究も ACK を返すことで通信は終了してしまい、その後継続した通信を行うわけではない。実際に被災地の端末と通信を行いたい場合、継続した双方向通信をすることが望ましい。また、送信先エリアが1つだけとは限らず、複数エリアに geocast 送信することも考えられる。

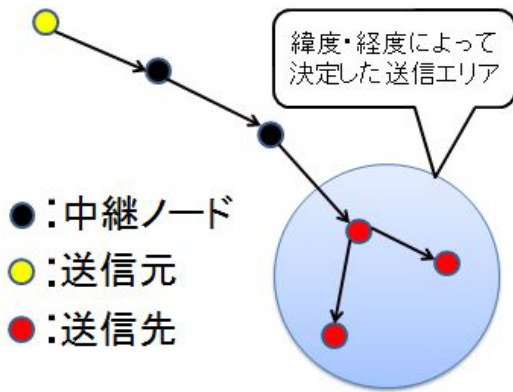


図1 geocast 概念図

2.3 GGP (Geometry-driven Geocasting Protocol)

複数エリアに geocast 送信する場合、むやみにフラッディングで送信してもネットワークトラフィックが大きくなり、あまり効率的ではない。そこで、GGP というアルゴリズムが提案されている[3]。

GGP は送信元が1つに対して送信先エリアが複数になる geocast 通信が可能であるが、ここでは 1:2 の場合を例に、図2を基にして、GGP のアルゴリズムを示す。送信元である端末 S は、送信先エリアである A と B の中心座標 G1・G2、そして自身の3点を繋いでできる三角形の重心を求め、その点を P とする。送信元端末 S は P に向かって GreedyForwarding (GF) [4]によってパケットを送信する。点 P に位置している端末以外がパケットを受信した場合、中継転送を継続する。ただし、通信範囲内の端末に点 P に位置する端末が存在した場合、その端末に向けてパケットを送信する。点 P に位置する端末が存在しない場合、点 P に最も近い端末を代替にする。点 P に位置する端末がパケットを受信した場合、各々の送信先エリアに GF によってパケットが送信される。

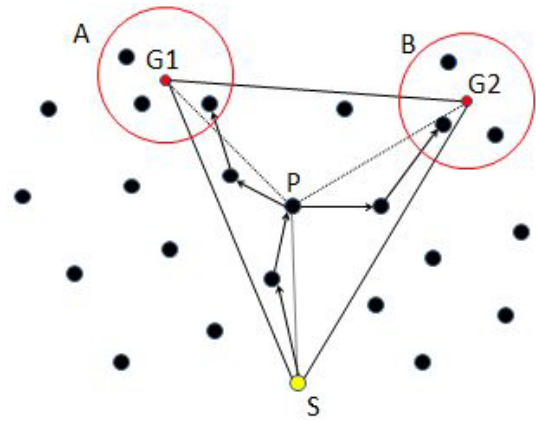


図2 GGP 概念図

2.4 DSR プロトコル

DSR (Dynamic Source Routing) プロトコルは、リアクティブ型のルーティングプロトコルに分類されるプロトコルである[5][6]。このプロトコルではルーティングテーブルに従ってパケットを転送するのではなく、パケットの送信元パケット内に宛先までの経路を指定して送信するというソースルーティングを用いている。DSRは主にRoute DiscoveryとRoute Maintenance (経路メンテナンス) の2つの機能から構成される。また、各端末は自身が認識している任意の端末への経路をRoute Cache (経路キャッシュ) に保存する。このRoute Cacheは任意の端末への経路が新しく発見される度に更新される。

Route Discoveryでは、最初に自身のRoute Cacheの中に宛先への経路が存在するか確認する。存在していた場合はその経路を使用する。存在していない場合は自身のIPアドレスをカプセル化した経路要求パケット (RREQ) をフラッディングする。RREQを受信した端末は、Route Cacheに宛先への経路が存在するか調べる。存在している場合は、その経路を経路応答パケット (RREP) によって送信元へ通知する。存在しない場合は、パケットに記述されている経路に自身のIPアドレスをカプセル化して、同様にフラッディングを繰り返すことでRREQを宛先へ送信する。宛先へRREQが届いた場合は、そのパケット内に記述されている経路と逆の経路を通して送信元へRREPを送信することで、経路の構築を行うプロトコルとなっている。

つまり、Route Request が宛先に届くと、送信先の端末は送信元までの経路を知ることができ、それを基に送ったRoute Replyによって、送信元の端末は宛先までの経路を知ることができる。図3にDSRプロトコルの概念図を示す。

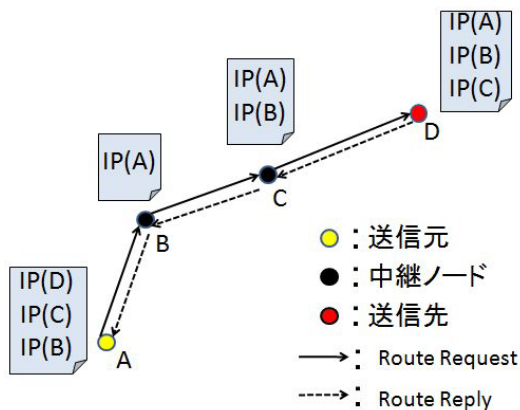


図3 DSR プロトコル概念図

Geocast で送信元端末がパケットヘッダに自身の位置情報を付加 (カプセル化) する際に、IP アドレスも一緒にカプセル化することによって実現できる。これは DSR プロトコルの Route Discovery (経路探索) の行程と類似している。

3 geocastのルーティングアルゴリズム

3.1 geocastの代表的なルーティング方式

geocastの代表的なルーティング方式を大きく分けると、flooding方式、No flooding方式、Directed flooding方式の3つに分類することができる。特にDirected flooding方式は、位置関係に基づいて転送を制御する方式であるため、geocastの研究で利用されることが比較的多い。本研究においても、Directed flooding方式を使用する。

3.2 Directed flooding方式

Directed flooding方式は、各端末がGPSなどを利用し位置情報を所持しており、送信エリアの他にForwarding zoneを設定することで、位置関係に基づいて転送を制限する方式である代表的アルゴリズムとして、static zone scheme, adaptive zone scheme, ADS(adaptive distance scheme)がある。

3.2.1 static zone scheme

static zone scheme[7]では、送信エリアの他にForwarding zoneを設定することで、転送を行う端末を制限する。Forwarding zoneとは長方形のエリアで、4つの頂点の内必ず1点が送信元となっており、送信エリアを全て含むことによってできる長方形がForwarding zoneとなる。このエリアを利用することにより、不要なパケット転送を防ぐ。図6の場合だと、長方形DEFGが送信エリアとなり、それを囲んだ長方形ABCDがForwarding zoneとなる。

このアルゴリズムは、最初に設定した Forwarding zoneを後に変更することがなく、全ての端末が同じ Forwarding zoneを使用するため、static zone schemeと呼ばれる。

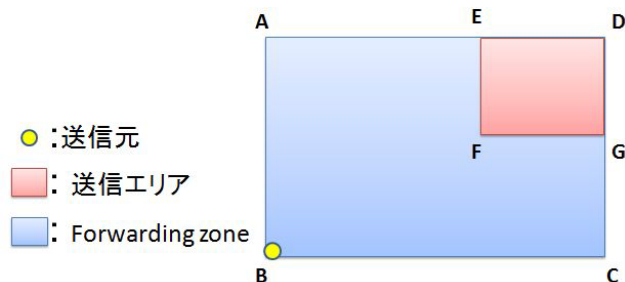


図4 Forwarding zone 概念図

パケットを受信した端末は、自身がforwarding zone内に存在するかどうか調べ、存在していた場合は、パケットを受け取り、引き続きパケットを周りの端末に送信する。もしforwarding zone外に存在していた場合は、その場でパケットを破棄する。また、別の端末から以前受け取ったことのあるパケットが来た場合もパケットを破棄する。具体的なstatic zone schemeの動作例を図7で説明する。

送信元から送信されたパケットは次々に周囲の端末にフラッディングしていく。しかし、Forwarding zone 外の端末がパケットを受け取った場合はそこでパケットを破棄している。

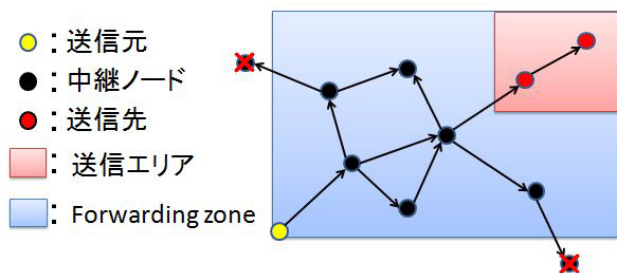


図5 Static zone scheme 動作例

3.2.2 adaptive zone scheme

adaptive zone scheme[8]は、static zone schemeを改良したアルゴリズムで、static zone schemeとの違いは、forwarding zoneが変化するという点である。static zone schemeはforwarding zoneが変化することはなかったが、adaptive zone schemeは転送が起こるたびにforwarding zoneが変化する。

パケットを受信した端末は、自身を送信元として新たにforwarding zoneを構成する。これにより forwarding zoneが徐々に小さくなっていき、ネットワーク内の無駄なパケット転送を制御することができる。

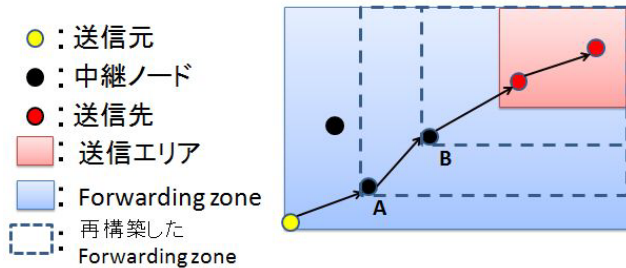


図6 adaptive zone scheme 動作例

しかし、この条件だけでルーティングをしてしまうと、static zone scheme よりもパケット到達率が低下してしまう可能性がある。それは、forwarding zone を徐々に小さくしていくことで、転送をできる端末がなくなってしまい、送信エリアにパケットが届かない状態である。

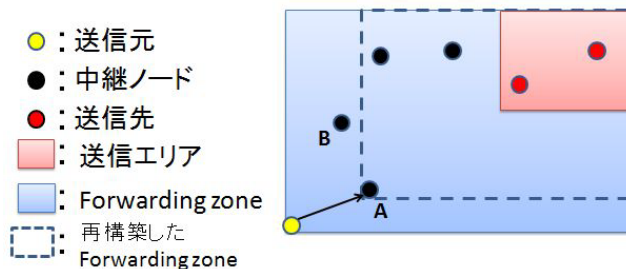


図7 adaptive zone scheme 失敗例

これを改善するために adaptive zone scheme では、one hop flooding という制約が加えられている。これは、転送できる端末が forwarding zone 外の端末しか無くなってしまった場合に、1度だけ flooding をするという制約である。これにより、パケット到達率を static zone scheme と同等にすることができる。

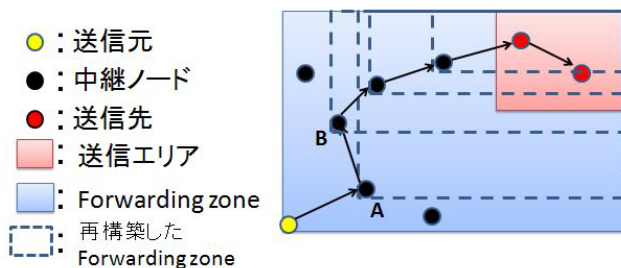


図8 one hop flooding

3.2.3 ADS (adaptive distance scheme)

static zone scheme と adaptive zone scheme は forwarding zone を利用し、パケット転送の制御を行っていたが、ADS [8] では forwarding zone を使用せずに、パケット転送の制御を行う。制御を行う際に、パケットには以下の3つの情報を持たせる。

- ・送信エリアの中心座標
- ・中心座標からの半径
- ・直前の端末の位置座標

ADSでは、送信エリアの中心と端末の距離によって次ホップに転送するかどうかが決まる。まずパケットを受け取った端末は、自身が送信エリア内にあるかどうかの判定を行う。エリア内であった場合、メッセージを受け取り、そのまま次ホップに転送を行う。エリア外だと判断した場合は、直前の端末より送信エリアの中心に近づいているかどうかの判定を行う。近づいていた場合、直前の端末の位置情報を自身の位置情報に置き換え、次ホップに転送を行う。遠ざかっていた場合は、パケットを破棄するが、直前の端末が送信エリア内であった場合は、無条件で周囲の端末にパケットを転送する。このステップを送信エリアに到達するまで続ける。

図9はADSの動作例を表したものである。各端末は自身の位置を直前の端末を比べ、転送をするかどうかの判断を行なっている。端末Eは直前の端末Dより、中心座標から遠ざかったためにパケットを破棄している。

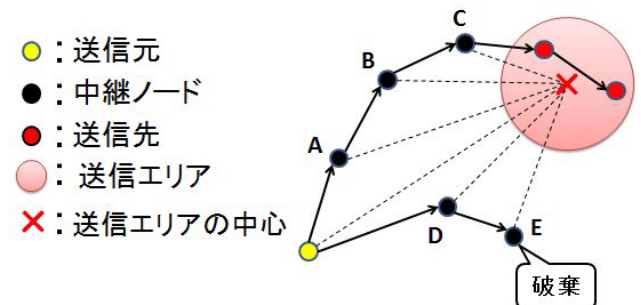


図9 ADS 動作例

3.3 Directed flooding 方式のアルゴリズムの評価

Directed flooding 方式の代表的なアルゴリズムである、static zone scheme, adaptive zone scheme, ADS について、各端末の計算量とネットワーク上に送信されるパケット数について比較し、評価した。

(i) static zone scheme

受信した端末は、自身が送信エリア内に存在するかどうかの判断をするだけなので、端末における計算量は少ない。しかし、常にフラッディングで転送するため、ネットワーク上のパケット数は多くなる。

(ii) adaptive zone scheme

受信した端末は、自身が送信エリア内に存在するかどうか判断し、Forwarding zone の再構築、one hop flooding の計算をするため、static zone scheme より計算量は高くなる。また、ネットワーク上のパケット数は、Forwarding zone の再構築により、若干少なくなる。

(iii) adaptive distance scheme

受信した端末は、直前の端末と比べ、送信エリアの中心座標に近づいているかの判断をする。また、直前の端末が送信エリア内であったかどうか調べる。そして、転送する前に自身の位置情報を上書きするので、計算量は高くなる。しかし、中心座標との距離による転送制御によって、ネットワーク上のパケット数は少なくなる。

表1 アルゴリズムの比較

	Static zone scheme	Adaptive zone scheme	ADS
Forwarding zone	有	有	無
パケットに入れる情報	・送信エリアの範囲 ・送信元の位置情報	・送信エリアの範囲 ・Forwarding zoneを構築した端末の位置情報	・送信エリアの緯度、経度、中心座標からの半径 ・送信元の位置情報
各端末の計算量	○ (計算量:少)	△ (計算量:普通)	× (計算量:多)
ネットワーク上のパケット数	× (パケット数:多)	△ (パケット数:普通)	○ (パケット数:少)

現在、携帯端末の著しい性能向上により、3つのアルゴリズムにおける計算量は、あまり差がでないものと考えられる。よって、ネットワーク上のパケット数が最も少なくなると思われるADSを、本研究の提案手法に用いることとする。

4 ソースルーティングを用いた双方向通信型 geocastの実現

4.1 実環境の双方向通信

geocastを用い双方向通信を行う状況というのは、車々間通信や被災地などのインフラ環境が崩壊した地域と通信などが考えられる。特に被災地における geocast 通信は、被害状況や避難勧告を促したりといった、被災者との連絡に使用できる。本研究では、被災者は避難所に避難したが、被災者の家族がその安否を確認するために geocast を用いる通信を考える。またこの時、避難所が複数あることを考慮し、geocast を複数エリアに行えるようにする。

- (i) 被災者が避難所に避難する
- (ii) 被災者の家族が安否確認を対策本部に要求
- (iii) 対策本部は geocast を複数の避難所に送信
- (iv) 受信した被災者は自身の IP アドレスや位置情報などを格納したパケットを対策本部に送信
- (v) 避難所の状況を把握することができ、身元確認の通信を行う

以上が geocast を実環境で使用する1つの例である。この他にも様々な通信パターンが考えられるが、本研究では上記の例を基に評価を行う。

4.2 従来の geocast プロトコルの問題点

従来の geocast プロトコルは、設定した特定のエリア内に存在する端末に対してパケットを送信することが目的としているので、往路のみの片方向通信プロトコルとなっ

ている。そのため、送信エリア内の端末側から送信元の端末にパケットを送り返したい場合は、再度別のプロトコルを用意し、送信を開始する必要があった。広告配信サービスなどでは片方向通信でも問題はないが、被災地の端末と通信が必要になった場合は双方向通信が必須となる。よって本研究では、従来の片方向通信ではなく、双方向通信が可能な geocast プロトコルを提案する。

4.3 geocast プロトコルの問題解決方法

従来の geocast 通信は、往路と復路は別々のルーティングプロトコルを使用している。往路の通信は geocast で行い、復路に関しては、送信元の IP アドレスを基に、別のプロトコルを用い、一から通信を開始することでこの問題を解決してきた。しかし、この方法では、再度復路の経路探索をするため遅延が発生してしまい非常に効率が悪い。この問題を解決するために、geocast とソースルーティング (DSR) を融合したプロトコル geocastDSR に GGP アルゴリズムを加えたものを本研究の提案手法とする。

4.4 geocastDSR の双方向通信の実現方法

これまでに説明してきた、geocast のルーティングアルゴリズムである ADS と、ソースルーティングのプロトコルである DSR を融合し、geocast を用いて双方向通信を可能にするための具体的な実現方法を述べる。

(1) 1:1 の通信

送信元と送信先エリアが 1:1 の場合は、GGP は使用せずに、ADS と DSR による経路作成となる。通信方法は大きく分けて3つの処理パターンがある。それぞれを、初回往路、初回復路、初回以降の往復路とする。

(i) 初回往路

図10を基に、初回往路の動作例を示す。送信元端末である S は、送信エリアを決定し、送信エリアに向けて、geocast によって Route Request (RReq) パケットを送信する。パケット受信した端末 A、E は、ADS のアルゴリズムに従い RReq パケットを転送するか否かを判定する。この場合、端末 A と E は両方とも送信元端末 S よりも送信エリアに近づいたため、自身の IP アドレスと位置情報をカプセル化してから周りの端末へ RReq パケットを転送する。端末 F が RReq パケットを受け取ると、同様に転送するか判定する。しかし、端末 F は直前の端末 E より、送信エリアから遠ざかっているため、RReq パケットを破棄する。送信エリア内の端末 C、D は、RReq パケットを受信すると、送信元端末 S までの経路情報を得ることができる。

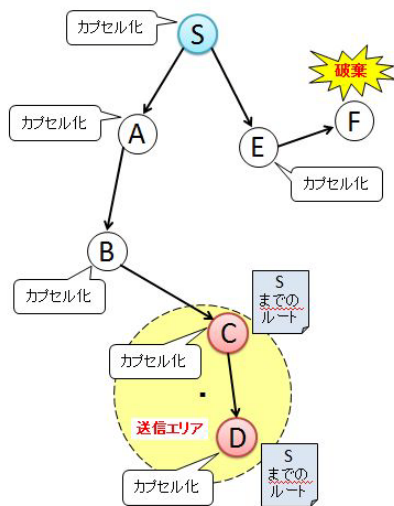


図 10 初回往路概念図

(ii) 初回復路

図 11 を基に、初回復路の動作例を示す。送信エリアの端末 D は、RReq パケットを受け取り、送信元端末 S までの経路を知っているため、それを基に Route Reply (Rrep) パケットを送信元端末 S に向けて送信する。パケットを受信した端末 S は、端末 D までの経路を持つことができる。

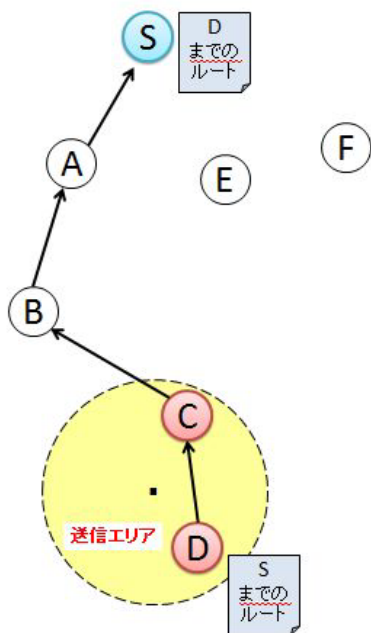


図 11 初回復路概念図

(iii) 初回以降の往復路

図 12 を基に、初回以降の往復路の動作例を示す。初回往路、初回復路の行程が終わると、DSR による経路作成のプロセスも完了しているため、送信元端末 S、送信エリアの端末 D は共に、お互いへの経路を所持している。それを基にソースルーティング (DSR) による双方向通信が可能となる。

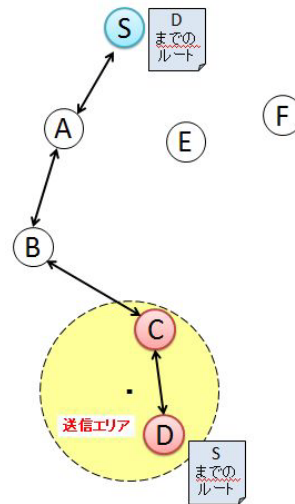


図 12 初回以降の往復路概念図

(2) 1 : n (n ≥ 2)

次に送信元が 1 つで、送信先エリアが 2 つ以上ある場合の通信である。送信エリアが 2 つの場合を例に、図 13 を基に ADS と GGP を融合させた流れを説明する。

まず、送信元端末 S は送信先エリアを 2 箇所決定する。次に、GGP により端末 S と送信先エリア G1・G2 の中心座標を結んで三角形を作り、点 P を決定する。端末 S は点 P に向かって、点 P と送信先エリアの位置情報をカプセル化した RReq パケットを GF によって送信する。端末 A が RReq パケットを受信した時、自身の IP アドレスをカプセル化し、端末 Z に RReq パケットを送信する。端末 Z は点 P 上に存在するため、自身の IP アドレスをカプセル化した後、RReq パケットに指定された 2 つの送信先エリアに向かって geocast 送信する。この時 ADS によって端末 G が受信した RReq パケットは破棄される。先ほど同様に各端末で IP アドレスをカプセル化しているため、送信エリア内の端末は端末 S までの経路を知ることができる。送信先エリア内の端末は、これを基にソースルーティングで送信元へ RRep パケットを送信する。

GGP を使用することによって、端末 P までを 1 つの経路に絞ることになり、さらにネットワークの利用効率を向上させることが可能になる。

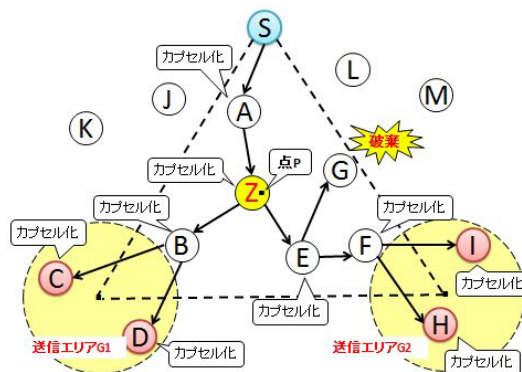


図 13 複数エリア送信型 geocast

5 実装・評価

5.1 実装

本研究の提案手法は、geocast と DSR プロトコルを融合し、複数エリアに送信することを目的に、GGP の機能も加えさらなる効率化を図る。

5.2 基礎実験

本研究では、ネットワークシミュレータ Qualnet を用い、プロトコルの評価を行う。提案手法の有効性を示すために、比較対象となる基礎実験を Qualnet で行った。

5.2.1 基礎実験内容

基礎実験として、フラッディングを適用した DSR プロトコルを比較対象とした。ネットワークの利用効率の有効性を検証するために、ネットワーク上に送信される RReq パケットの総数を調べた。シミュレーションモデルは以下のとおりである。

表 2 シミュレーション環境

ネットワークエリア範囲	1000×1000
電波到達範囲	300m
端末数	30, 60, 100 個
中継端末移動速度	2.0m/s
geocast 半径	100m
geocast エリア数	2 箇所
データパケットサイズ	512kbyte

上記の条件を基に、初回往路の経路作成における通信で RReq パケットが何回送信されているかを測定した。

5.2.2 評価

基礎実験結果を以下の図 14 に示す。

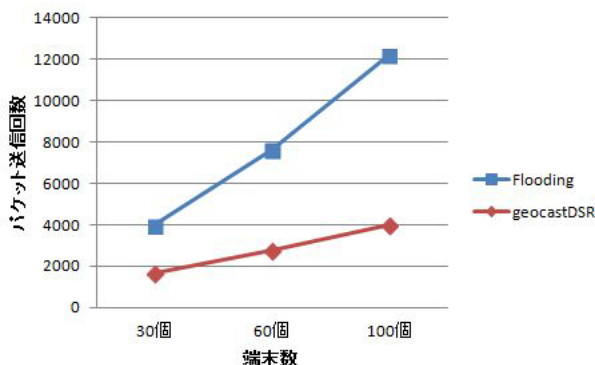


図 14 基礎実験結果

端末数が増えるにつれて RReq パケットの送信回数は飛躍的に増加している。これはフラッディングによる通信が、パケットのルーティングを制御せず、通信範囲内の端末全てにパケットを送信してしまうからである。そのため、ネ

ットワーク上にパケットが溢れてしまい、ネットワークの利用効率が大きく低下している。

経路作成を行なっている初回往路に、提案手法のアルゴリズムである ADS の機能を用いることにより、パケット送信回数を制御している。そのため、結果としてネットワークの利用効率を向上させることが可能だと考えられる。そして、GGP のアルゴリズムを加える事で、さらなるネットワークの利用効率を向上が見込まれる。

6 おわりに

本研究では、geocast のルーティングアルゴリズムを評価し、ネットワーク利用効率の良いアルゴリズムを選定した。geocast だけでは双方向通信が困難である問題点、また、実際の被災地との通信を考慮し、複数エリアに geocast 送信する必要性に着目し、ソースルーティングを用いた双方向通信型 geocast の提案をした。この提案手法の評価に伴う基礎実験を行い、結果を基に比較し、考察した。提案手法のプロトコルは、従来のフラッディング方式よりもネットワーク利用効率が優れていることが示され、被災地との geocast を用いた双方向通信を行う際、無駄なパケットを制御しつつ、被災地の端末と双方向通信を実現することができる。

今後は、geocastDSR プロトコルに GGP の機能を実装し、パケット送信回数だけでなく、パケット到達率や RTT も評価項目にしたシミュレーション評価を行なっていく。

参考文献

- 1) Julio C.Navas and Tomaz Imielinski, “Geocast-geographic addressing and routing”, Proceedings of International Conference on Mobile Computing and Networking(MobiCom), ACM/IEEE, 1997
- 2) 山崎浩輔, 瀬崎薫, “信頼性を考慮した geocast 手法の提案”, 電子情報通信学会技術研究報告, IN2001-228, 2002.3
- 3) 寺田真介, 三好匠, 瀬崎薫, “アドホックネットワークにおける複数エリア適応型 geocast ルーティング”, 電子情報通信学会技術研究報告, NS2007-185(2008-03)
- 4) B.Karp and H.T.Kung, “GPSR: Greedy Perimeter Stateless Routing for Wireless Networks,” Proc. MobiCom2000, pp. 243-254, Aug. 2000.
- 5) David B.Johnson, David A.Maltz, “DSR: The Dynamic Source Routing Protocol for Multi-Hop Wireless Ad Hoc Networks”, Computer Science Department Carnegie Mellon University, ACM/IEEE, 1996
- 6) “DSR (Dynamic Source Routing) プロトコル”
<http://internet.watch.impress.co.jp/www/column/wp2p/wp2p05.htm>
- 7) Young Bae Ko and Nitin H. VAIDYA, “Flooding-Based Geocasting Protocols for Mobile Ad Hoc Networks”, School of Information and Computer Engineering, Ajou University, 2002.
- 8) Rajendra V. Boppana , “An Adaptive Distance Vector Routing Algorithm for Mobile, Ad Hoc Networks”, The Univ. of Texas at San Antonio San Antonio, IEEE INFOCOM 2001