

# 信頼性を考慮したジオキャストプロトコルの提案

山崎 浩輔 瀬崎 薫  
Kosuke YAMAZAKI Kaoru SEZAKI

東京大学生産技術研究所  
Institute of Industrial Science, The University of Tokyo

## 1 はじめに

モバイルアドホックネットワーク(以下, MANET)において, 端末の位置情報を用いることにより, 指定するエリア内に存在する端末のみに同報通信を行なう, いわゆるジオキャスト [1] が近年活発に議論されている. 現在まで主に提案及び議論されてきた技術としては, 位置情報によってエリアを指定した上で, それを IP ヘッダによってカプセル化し, インフラストラクチャ上のルータがそれら进行处理の機能を持つ手法 [1] や MANET 内においてエリアを指定することによってパケットを転送する手法 [2, 3] などがある. これら既存研究の多くは, いかにメッセージを位置情報の指定という手法によって配送するか, 主に主眼が置かれており, 本稿でターゲットとなる, 実際にメッセージが配信されたのかという信頼性の観点がない. ジオキャストによって情報を配信する例としては, 災害の発生場所に対して警告を送信するサービスが考えられる. 地震などの災害が発生し, 通信インフラが損害を受けた場合, 人々が所持しているデバイス群が一時的にネットワークを形成し, 通信をサポートする. ここで災害状況や避難経路などを告知するためにジオキャストを用いる. 従来想定された状況では情報の配信が目的であったため, 研究の主たる目的はいかに経路制御を行い, 所望のエリアに情報を送信するかであった. しかし, ここで安否の確認や施設の状況確認などを考えた場合, 情報の片方向の配信だけでなく, 端末側からの応答が必要となる. また別の例では, ある一定のエリアにおいて実施されているイベントにおいて, 顧客に対して情報を配信する場合でも, 配信した情報の到達性に対する信頼性が重要となってくる.

そこで本稿では, MANET におけるジオキャストに対して新たに信頼性という概念を導入し, その有効性を検証する.

## 2 信頼性を考慮したジオキャスト

本章では, 信頼性を考慮したジオキャストについて検討及び提案を行う. ここで信頼性とは送信者によって配信されたメッセージを受信者が正常に受信したかどうか(データ到達に関する信頼性)を指す. 本章で対象とするネットワークの概観を図 1 に示す.

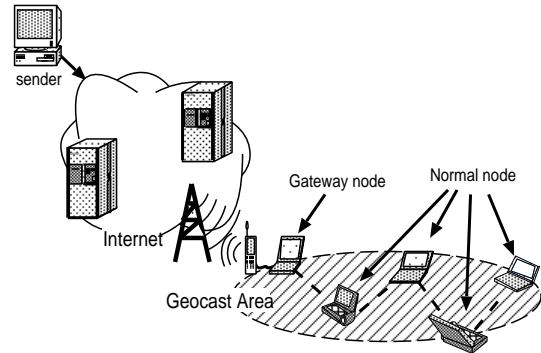


図 1: ネットワーク概観

図 1 では遠隔地にいる送信者が地理的にエリアを指定してジオキャストを行う. エリア内には様々なノードが混在しており, MANET を形成している. ネットワークを構成する各ノードの内, インターネットなどのインフラストラクチャに接続可能なノードを特にゲートウェイノードと呼ぶ. 送信者によって送信されたメッセージは有線ネットワークなどを通してジオキャストエリアに到着する. ゲートウェイノードは有線ネットワークに有線ないし無線によって接続されているため, これらのメッセージを受信し, かつ中継を行う. ゲートウェイでない一般のノード(以下, ノーマルノード)はゲートウェイノードからのメッセージに対して正常に受信したことを通知するために ACK を送信する. ここで, ノーマルノードはメッセージパケットに記載されたゲートウェイノードの情報(位置や速度など)を用いて ACK を送信することが可能である.

しかし, 単純に ACK をフラッディングによって返信した場合, 応答爆発の問題が生じる. 応答爆発

が生じる原因としては、全てのノードが ACK をブロードキャストし、またそれを受信したノードが繰り返し ACK をブロードキャストすることが考えられる。そこで本章では応答爆発を抑えるためにホップバイホップによって転送先の端末を唯一指定し、ACK を中継することを考える。

以下では、ホップバイホップベースである楕円体を用いた経路制御手法に対して、新たに ACK の統合機能を付加した手法を提案する。またその後、計算機シミュレーションによってその有効性を検証する。

## 2.1 ACK の統合を用いたホップバイホップベースプロトコル

筆者らはホップバイホップベースであり、かつ信頼性の向上を実現した楕円体を利用した経路制御手法を提案した [4]。楕円体を用いた経路制御手法はホップバイホップベースの経路制御手法であり、ソースルーティングに分類される。また、送信者が隣接端末の位置情報及び目的地の位置情報のみを用いてローカルに最適な次ホップ端末を選択する。経路制御の大まかな流れを以下に示す。

ホップバイホップベースでは利用する無線リンク数が少数でよいが、反面経路構築の成功確率が低下してしまう、しかしながら、その中でも高い確率で経路制御を成功させるために、送信者と目的地ノードを焦点とする楕円体群を用いる。同じ焦点を持つ楕円体群は無限に考えられるが、焦点から各楕円体上の点との距離の合計が小さい値をとるほど、焦点を結んだ直線に近い形状をとる。この性質を経路制御に導入することにより、物理的な迂回ルートを含め、より高い確率の経路制御を期待することができる。

本手法は本来効率的な三次元地理的経路制御手法として提案したものであるが、経路要求パケットではなく、ACK を送信することによって、ジオキャストにおける ACK 収集プロトコルとすることが可能となる。

しかし、ACK の収集という目的のため、ゲートウェイノード付近のリンクにトラヒックが集中してしまうことは避けられない。そこで、各中継ノードでは、ACK を受信毎に中継するのではなく、一定時間待機することによってその時間内に受信した ACK 同士を統合することを考える。

各中継ノードはそれぞれに待ち時間を設定し、待ち時間中に受信した ACK を統合する。例えば、待ち時間中に3つのノードから ACK を受信した場合、それぞれを中継すると自身の ACK も含めて、計4回の ACK の送信が必要となるが、待ち時間を設けて統合することにより、1度の送信で済む。

待ち時間の設定に関しては可能な限り多くの ACK を統合し、かつ無駄な待ち時間がないことが理想的である。しかし、MANETのようにトポロジが非常に頻繁に変化し、またその分散的な性格からネットワークの全体像を把握することが困難なネットワークでは、このような理想的な設定は困難である。しかし、図2に示すようなアルゴリズムを用いることにより、ある程度の改善が可能である。

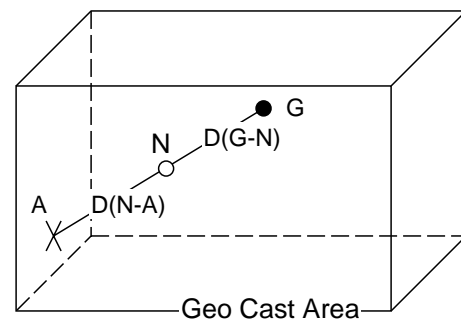


図 2: ダウンリンク数の推定

図2において、ノード G をゲートウェイノード、ノード N をノーマルノードとする。またジオキャストエリアが直方体で指定されているとする。ゲートウェイノードとノーマルノードとの距離を  $D(G-N)$ 、ゲートウェイノードとノーマルノードを結んだ直線がジオキャストエリアと交わる点を A とし、点 A とノーマルノードの距離を  $D(N-A)$  とする。点 A の位置はゲートウェイノードの位置と自身の位置から計算可能であり、よって距離  $D(N-A)$  も計算可能である。この距離の間に存在するノードからゲートウェイノードへの ACK はノード N を通過する可能性があり、この距離が長いノードほど多数の ACK を中継する確率が高い。よって距離  $D(N-A)$  を適切な値で割ることにより、擬似的なホップ数とすることができる。

## 2.2 シミュレーションによる評価

前節までに述べた手法についてシミュレーションを行った。評価すべき値としては、各手法による信頼性とそれを達成するために必要なコスト、つまり各ノードが最終的に送信及び中継した ACK の数を用いる。

比較する手法として、上記の提案手法の他にフラッディングによる ACK 送信を用いた。フラッディングによる ACK の送信は中継ノードが全てブロードキャストによって ACK を中継するため、存在するリンク全てを用いて ACK を送信する。よって信頼性は非常に高く、ゲートウェイノードと通信可能なノードからは全て ACK が届く。ただ、それらを実現するためのフラッディングでは非常にコストが高く、これらはトレードオフの関係にあると言える。提案手法に関しては、楕円体を用いたユニキャストによる ACK の送信手法とさらにそこに ACK の統合を組み込んだ手法の二通りを用いた。

シミュレーション条件を以下に示す。三次元仮想空間は  $50\text{m} \times 50\text{m} \times 20\text{m}$  であり、ノードをランダムに配置する。配置されたノード群の中から任意の一組のノードを選択し、通信を行う。各ノードの通信半径は  $10\text{m}$ ,  $15\text{m}$ ,  $20\text{m}$ ,  $25\text{m}$ ,  $30\text{m}$  の五種類のいずれかであり、それぞれのノード数は常に全体のノード数の  $20\%$  ずつである。また、ゲートウェイノードの数は今回、全体のノード数の  $10\%$  と固定した。

図 3 に信頼性に関する評価結果を示す。前述のようにフラッディングによる ACK の収集は非常に信頼性が高いが、提案手法も同様の高い信頼性を確保しており、フラッディングと比較してもあまり差は見られない。

次にコスト面である各ノードにおける ACK パケットの中継回数について評価を行った。評価結果を図 4 に示す。ここで用いた評価基準はノーマルノード全てが ACK を送信した際に、各ノーマルノード一つ当たりで ACK を中継した回数である。

図からも分かるように、フラッディングではノード数に比例して、ACK の中継回数も増加している。一方、提案手法においては、フラッディングに比してほぼ一定であり、その絶対数も大幅に減少していることが分かる。図 3 を考慮に入れると、提案手法は ACK の総数を抑えつつ、つまり応答爆発を回避

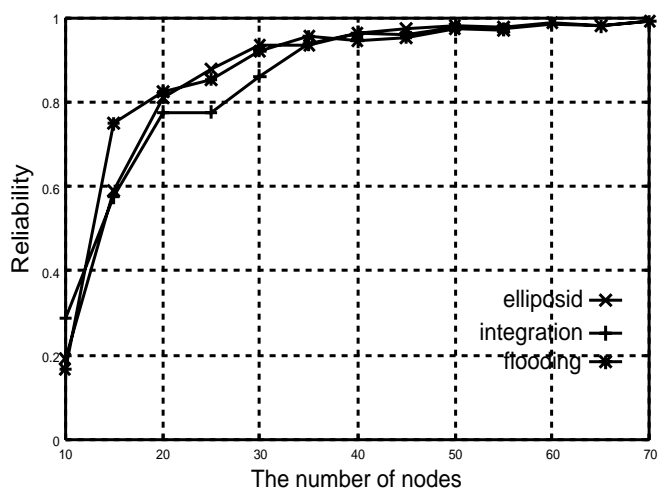


図 3: 信頼性

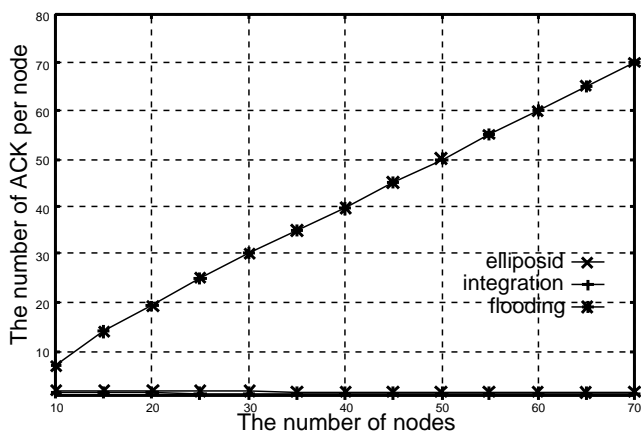


図 4: ACK パケット数

しながらも高い信頼性を保った手法であると言える。

次に図 5 に、提案手法を二つ比較した結果を示す。評価基準は先ほどと同じく各ノードにおける ACK の送信回数である。

ACK を統合することにより、各ノードにおける ACK の中継回数が削減されていることが分かる。また、ノード数が増加するに従って ACK の中継回数が減少しているが、その理由としては、二つの要因が考えられる。一つは提案手法では各ノードの通信半径を考慮しているため、より通信半径の大きなノードを優先的に中継ノードとして選択する。結果として ACK がたどる経路は考慮しない場合に比してホップ数が少ない。つまり中継ノードとして用いるノード数が少ないために各ノードにおける ACK の中継回数が減少する。ノード数が増加するに従って ACK

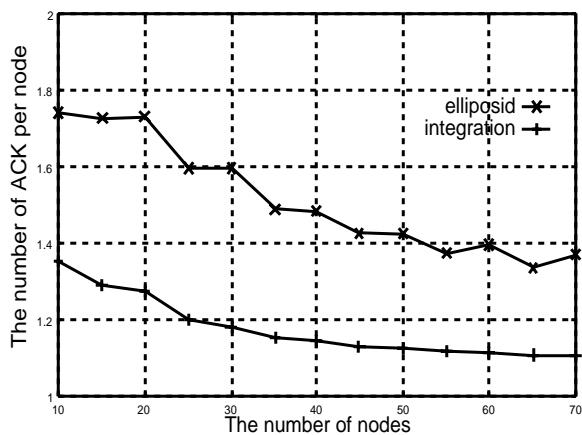


図 5: ACK パケット数

が減少するのは、ノード数の増加に伴い通信半径の広いノードが増加するためである。

他の要因としては、ノード数が増加するに従ってゲートウェイノードの隣接ノードが増加することが考えられる。隣接ノードが増加するため、多くのノードが ACK を 1 ホップでゲートウェイノードに送信可能となり、物理的にゲートウェイノードとの間に存在するノーマルノードを全て中継せずに ACK を送信するためである。

### 3 結論と今後の課題

本稿では、従来提案されていたジオキャストについて紹介した。ジオキャストにおいて提案されている経路制御手法では主に効率化に主眼が置かれており、それらは現在も活発に議論されている。しかし、信頼性に関しては従来手法においてもあまり考慮されておらず、より適した手法が求められていた。

そこで本稿では、ジオキャストにおける信頼性を確保した手法として、楕円体を用いた経路制御手法を改良した手法を提案した。本稿で提案した手法は既存の経路制御手法において経路要求パケットなどの制御パケットを送信していたところを ACK に置き換えたものである。また、中継ノードにおいて ACK を統合することにより、信頼性を確保した上でトラヒックを削減することを実現した。本稿で提案した手法はジオキャストの中でも最も端末に近い部分で実行されるものであり、本稿でも取り上げた従来手法との融合において何ら不都合が生じるものではない。

よって、末端の MANET までの経路制御を GEO を用いて行い、信頼性を確保する際には MANET 内でのみ本提案手法を用いるという使い方が可能である。

今後の課題としては、待ち時間の設定の際に用いた  $N$  を決定する際のアルゴリズムをさらに改善することが考えられる。今回は  $N$  を決定するために  $D(N - A)$  をノード  $N$  の通信半径で割るといった単純なものを用いたが、他にも各ノードの通信半径  $R$  や移動速度  $V$  を考慮することにより、さらに現実に即した待ち時間の設定が可能となる。

また今回はシミュレーションにおいてゲートウェイノードの数を全体のノード数の 10% と固定したが、さらにゲートウェイノードが減少した場合のパフォーマンスも調査する必要がある。

### 参考文献

- [1] Tomasz Imielinski and Julio C. Navas "Geographic Addressing, Routing, and Resource Discovery with the Global Positioning System", *RFC2009* 1996.
- [2] Young-Bae Ko and Nitin H. Vaidya "GeoTORA: A protocol for Geocasting in Mobile Ad Hoc Networks", *ICNP* 2000.
- [3] Young-Bae Ko and Nitin H. Vaidya "Geocasting in Mobile Ad Hoc Networks: Location-Based Multicast Algorithms", *WMCSA* 1999.
- [4] 山崎 浩輔, 瀬崎 薫 "位置情報適応型サービスに向けた地理的経路制御手法の提案" 電子情報通信学会 和文論文誌 B 2002.