

M-070

# センサネットワークにおける 位置情報利用型ルーティングの改善

## Improvement of 3-D Geographic Routing on Sensor Networks

岩田 歩<sup>1</sup>

Ayumu Iwata

原 元司<sup>1</sup>

Motoshi Hara

### 1. はじめに

近年、ユビキタスネットワークを実現手段としてセンサネットワークについて盛んに研究が行われている中でもとくに、センサノード間のルーティングに関する研究が多く行われているものの、3次元空間（以下3-D空間と略記）に配置されたセンサネットワークに適用可能な方法は極めて少ない[1].

発表者らは3-D空間で適用可能な既存の位置情報利用型ルーティングプロトコルに着目し、パケット伝達率を改善する方法を提案した[2]. しかし、この研究においては、パケット伝達率の改善は実現できたものの、パケットの伝達時間の増大という問題点が生じている.

このため、本研究では、この問題点の解決方法を検討し、パケット伝達率、パケット伝達時間、総パケット数などの指標を改善する方法を提案する.

### 2. 位置情報利用型ルーティングとBGR

位置情報を利用したルーティングプロトコルでは、センサ自身の位置が既知であるという仮定のもとで、ルーティングを行う。この方法の特徴は、ルーティングに用いるアドレスを位置情報としていることである。したがって、データを送信するノードは、通信可能範囲内で宛先ノードに一番近いノードにパケットを転送すれば基本的には宛先へパケットが届く仕組みとなっている。位置情報を利用したルーティングプロトコルはさまざまな種類があるが、3次元空間に配置されたセンサネットワークで有効なものほとんどない。

本研究では、3次元空間におけるルーティングが唯一成功しているBGR(Blind Geographic Routing)[1]という手法に着目した。BGRはアドホックネットワークの特性のために、経路表の更新や、ビーコンメッセージの定期発信といった経路を予め設定するような方法をとらず、パケット送信中に経路を動的に探索するアルゴリズムである。BGRではパケットを通信範囲内に一斉送信し、その後Forwarding Areaと呼ばれる範囲の外にあるパケット受信ノードには、パケットを破棄させ省電力を実現する。また、パケットの転送の失敗を防ぐために、送信ノードから見て、宛先ノードに対して $\pm 30^\circ$ の角度の範囲で固定された形状のForwarding Areaをあるルールによって移動させ、中継ノードを探索する[1]. このForwarding Areaに中継ノードが存在しない場合、左右、上下の3次元的な方向にForwarding Areaを移動させて再探索を行う。

BGRでは、Forwarding Areaが固定されているために、ノード密度が低い場合に中継ノードを見つけられない可能性がある。また、中継可能なノードの密度が高い

場合においても、固定されたForwarding Areaを利用するために消費電力の面で非効率であるといえる。

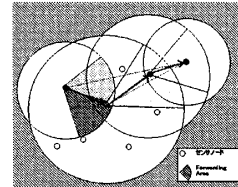


図1: Forwarding Areaの例

### 3. 従来の提案手法とその改善

著者らによるこれまでの研究では、BGRにおける問題点の解決法として、パケット中継失敗・成功時にForwarding Areaをそれぞれ適応的に拡大・縮小する方法（以下、改良型BGRと呼ぶ。図2, 3参照）を提案し、評価をするため実験を行った[2]. この結果、実験結果からルーティングの伝達精度は上昇したが、ルーティングにかかる平均パケット伝達時間が2倍以上になってしまうという弊害も発生した。センサネットワークはリアルタイムに情報を処理・活用できなければならないので、このような通信時間の増大は問題となる。

改良型BGRでは、パケット中継失敗時の処理を変更したため、最大で10回パケット送信処理を繰り返すノードが存在する。したがって、パケットからみれば、その間は送信ノードに留まることになり、結果として通信時間が長くなってしまいう問題が発生する。

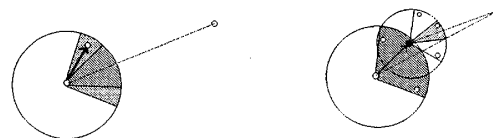


図2: Forwarding Area (拡大時) 図3: Forwarding Area (縮小時)

以上の問題の解決法として2つの方法を提案する。

1つは、Forwarding Areaを変更する角度を保存する方法（過去情報利用法）である。ノードの密度やルーティングの成功回数などをネットワークの特性としてネットワーク自体に記録しておけば、ある程度Forwarding Areaを自動変更することが可能である。ただし、記憶容量など各ノードの資源による制約がある。

もう一方は、Forwarding Areaの範囲の角度を送信・宛先ノード間の距離に応じたように変更するという方法（距離利用法）である。送信・宛先ノード間の距離はパ

<sup>1</sup>松江工業高等専門学校

ケットを送信する際に、既知である。したがって距離が小さければ、ノード密度は密であると予測し、角度を小さくしておく。逆に距離が大きくなれば、角度も大きくする。この方法によって、初期の Forwarding Area の範囲に、パケット中継可能ノードが存在する割合が高くなると考えられる。

4. 実験と結果

前述の改善方法の妥当性を検証するために以下の2つの実験を試みた。実験については、文献 [2] と同様の自作シミュレータを用いている。

4.1 過去情報利用法

Forwarding Area の角度予測のための指標として、過去のルーティングに用いられた Forwarding Area の角度を保存し、次のルーティングにそのまま用いる方法について実験を行った。実験結果を図4, 5に示す。(グラフは Original = BGR, Improved = 改良型 BGR, SaveAreaOnce = 提案手法を表している。)

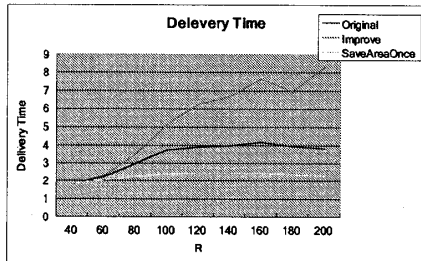


図4: 平均伝達時間

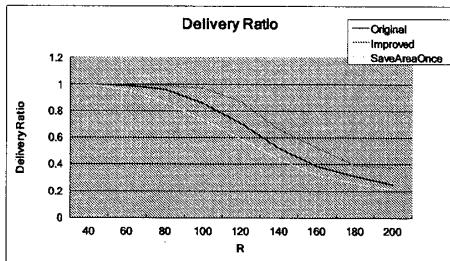


図5: パケット伝達率

図4より、伝達時間は短縮されたが、図5より、パケット伝達率は極端に低下した。現在の実験方法では、送信ノードと宛先ノードを順番に変更しているために、ノード間の経路が必ずしも、前回のノードと同じ経路とはならない。このため、生成される経路にパターンや傾向は発生しないと考えられる。もしも、送信ノードと宛先ノード間に生成される経路において傾向がある場合は、この方法でも改善がみられる可能性がある。

4.2 距離利用法

宛先までの距離を Forwarding Area の角度に変換し、ルーティングに用いる方法について実験を行った。なお、今回の実験では距離-角度変換の方法には、次式に従っている。

$$\theta = -\frac{2\pi}{\left[\frac{d}{r}\right] + 1} + \pi \tag{1}$$

r: センサノードの通信半径

(1)式は、宛先までの距離 d が、大きいときに Forwarding Area の角度 θ が大きくなり、距離 d が、小さいときには角度 θ が小さくなるよう定めている。

距離利用法による実験結果を図6, 7に示す。

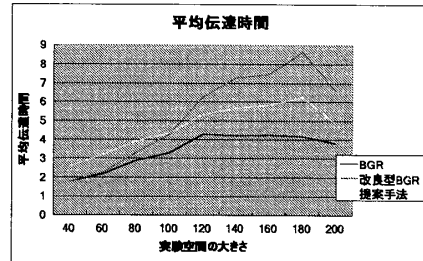


図6: 平均伝達時間

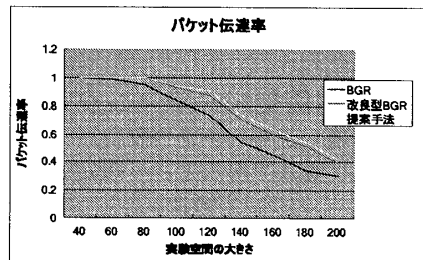


図7: パケット伝達率

図6よりパケット伝達時間については、実験空間が小さいときは、伝達時間が長くかかっているものの、実験空間が大きいたときは、以前の手法と比較して短くなっている。また、図7よりパケット伝達率に関しては、改良型BGRと比較してあまり値は変わっていない。したがって、実験空間が比較的大きい場合に、伝達率を維持したまま、伝達時間を減少することがわかった。

5. まとめ

本発表においては、改良型 BGR の問題点の解決策として2つの方法を提案し、一部の評価を行った。今後は、距離利用法について最適な距離-角度変換方法を検討するとともに、ルーティング中の平均パケット数についても実験・考察をしていきたいと考えている。

参考文献

[1] M.Witt and V.Turau: Geographic Routing in 3D, 6. GI/ITG KuVS Fachgespräch "Drahtlose Sensornetze", Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule (2007).  
 [2] 岩田歩, 原元司: 3-D 空間上のセンサネットワークにおける適応ルーティングプロトコル, 第7回情報科学技術フォーラム講演論文集, Vol.3, pp.567-568 (2008).