

## 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

### Adaptive Geographic Routing Protocol for Sensor Networks on 3-D Space

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 [1]. 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 [2].

そこで、本研究では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、ルーティング成功率を改善する新しいプロトコルを提案する。

#### 2. 位置情報を利用したルーティングプロトコル

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。この手法では、送信元ノードは通信可能範囲の中で最も宛先ノードの位置に近いノードヘデータを転送する。このような処理を繰り返しながら最終的に宛先ノードヘデータを送信する方法を、一般に Greedy Forwarding と呼ぶ。この Greedy Forwarding では、ネットワークの構成によってはルーティングが失敗する可能性があることが知られている。そこで、さまざまなルーティング手法がこれまでに研究されてきた [3].

しかし、これらの方法の多くは3-D空間に配置されたセンサネットワークでは適用できない。3-D空間でのルーティングを実現する方法は極めて少ないが、唯一現実的であると考えられるプロトコルがBGRである [2].

#### 3. BGR (Blind Geographic Routing)

##### 3.1 BGRの概要

BGRは Greedy Forwarding の考え方をもとに、省電力化とルーティング失敗の防止策を実現できる3-Dルーティングアルゴリズムである。Greedy Forwarding では最新のネットワーク構成を知るため、定期的に隣同士のノードの位置を交換しなければならない。これに対して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、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 [2].

##### 3.2 BGRのルーティングの問題点

BGRでは、センサノードの密度が低い場合にルーティングの失敗が多発する。文献 [2] では、送信ノードから見

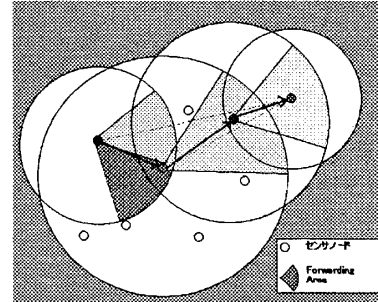


図1: Forwarding Area の例

て、宛先ノードに対して $\pm 30^\circ$ の角度の範囲で Forwarding Area を固定する。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。この方法の問題は、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点である。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。

#### 4. 提案方法と実験

##### 4.1 提案方法

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・縮小する方法を提案する。そのアルゴリズムを以下に示す。なお、ここでは Forwarding Area の初期値について、 $xy$  平面上の角度 $\phi$ は $\pm 30^\circ$ 、 $xz$  平面上の角度 $\theta$ も同じように $\pm 30^\circ$ としている（以降、範囲の角度の上限には+の添字、下限には-の添字を付けてあらわす）。このとき、Forwarding Area の範囲は図形的には円錐に近い形状となる。

**Step 1:** Forwarding Area の角度を初期範囲で設定し、BGRと同様なルーティングを実行する。もしルーティングに成功した場合は、**Step 4**、失敗した場合は**Step 2**へ進む。宛先ノードへ到達した場合は終了。

**Step 2:** Forwarding Area の範囲を

$$\phi_+ = \phi_+ + 10^\circ, \quad \phi_- = \phi_- - 10^\circ$$

$$\theta_+ = \theta_+ + 10^\circ, \quad \theta_- = \theta_- - 10^\circ$$

に変更し、再度ルーティング処理を行う (図2)。

<sup>1</sup>松江工業高等専門学校

**Step 3:** Step 2 でルーティングに失敗した場合、Step 2 を繰り返し実行する。もし、10 回上記の処理を実行しても、ルーティングできない場合はルーティング失敗とみなして終了。ルーティングに成功した場合は Step 4 へ進む。

**Step 4:** Forwarding Area の範囲を、

$$\phi_+ = \phi_+ - 10^\circ, \quad \phi_- = \phi_- + 10^\circ$$

$$\theta_+ = \theta_+ - 10^\circ, \quad \theta_- = \theta_- + 10^\circ$$

に変更する (図 3)。このときに範囲情報 (角度情報) を、伝送するパケットのヘッダに保存して送出し、Step 1 へ戻る。

ここで、パケットを中継するノードはヘッダに保存されている範囲情報を読み取り、Forwarding Area の初期範囲を設定するものとする。

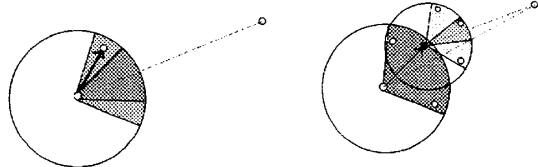


図 2: Forwarding Area (拡大時)

図 3: Forwarding Area (縮小時)

#### 4.2 実験方法

実験空間として、半径  $R$  の球内に 150 個のノードを持つ仮想的なセンサネットワークを作り、ノードをランダムに配置する。この仮想的なセンサネットワークにおいて、まず、 $m$  番目のノードから  $n$  番目のノードまでのルーティングを 1 回の試行として行う。このとき、 $m, n$  は 1~150 までの数値をとり (ただし、 $m \neq n$ )、ネットワーク上のすべてのノード間について試行を行う。このとき、到達時間、総パケット数、ホップ数、ルーティング成功率を求める。さらに、この処理をランダムに変更したネットワーク上で 5 回繰り返し、平均値を結果とした。また、実験空間の半径  $R$  を 40~200[m] まで 20[m] 単位で変えて実験を行った<sup>2</sup>。

#### 4.3 実験結果・考察

実験結果のうち、各試行あたりの平均ルーティング成功率と平均到達時間を図 4, 5 に示す。なお平均到達時間についてはルーティングが失敗したものについては、計算に考慮していない。これらのグラフの横軸は全て半径  $R$  を示しており、 $R$  が大きくなればノード密度は小さくなることを示す。

図 4 より、ルーティング成功率については提案したアルゴリズムは BGR に比べて 10% ~20% 向上した。一方、図 5 より平均到達時間は提案アルゴリズムと BGR を比べると、提案アルゴリズムは最大で 2 倍以上かかってしまう。この理由は、BGR、提案アルゴリズムの双方に

<sup>2</sup>文献 [2] に準拠した条件でシミュレーションを行った。

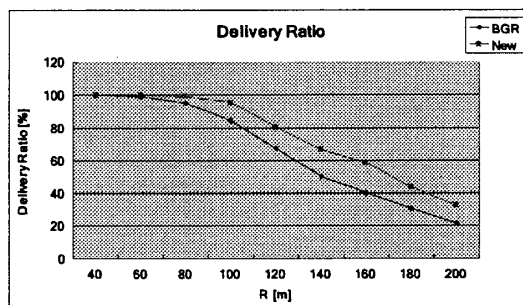


図 4: 平均ルーティング成功率

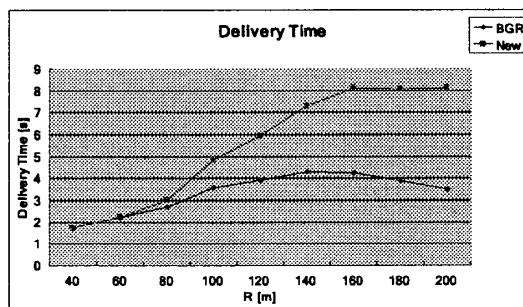


図 5: 平均到達時間

において、ルーティングに失敗した際の到達時間を計算に入れない点にある。提案アルゴリズムでは、BGR においてルーティングに失敗するネットワークでもルーティングに成功するケースがある。この際に Forwarding Area の変更時間に時間を要するケースが散見された。ネットワーク全体の消費電力については、総パケット数やホップ数などから大まかな比較が可能であるが、平均到達時間と同様な理由から提案アルゴリズムが有利とはならなかった。

#### 5. まとめ

本研究では、位置情報利用型ルーティングプロトコル BGR に着目し、適応的アルゴリズムを用いることでルーティング成功率を高めることに成功した。パケットの到達時間、消費電力については現時点では良好な結果が得られていないものの、強化学習などのしくみを用いることで改善可能である。さらに、センサノードの位置情報は誤差が含まれる場合、センサノードの通信範囲が均でない場合などについても今後検討を行いたい。

#### 参考文献

- [1] 安藤・田村・戸辺・南 編著: 「センサネットワーク技術」, 東京電機大学出版局 (2005).
- [2] M.Witt and V.Turau: Geographic Routing in 3D, 6. GI/ITG KuVS Fachgespräch "Drahtlose Sensornetze", Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule (2007).
- [3] 高橋将, 松垣博章: 空間内に分布する移動コンピュータのためのルーティングプロトコル, 信学技報, Vol.102, No.87, pp.19-24 (2002).