

## 3次元センサネットワークにおける適応型ルーティングに関する研究

## Adaptive Routing in 3-D Sensor Networks

青戸 渉<sup>1</sup>

Wataru Aoto

原 元司<sup>1</sup>

Motoshi Hara

## 1. はじめに

近年、センサネットワークの分野において、無線通信機能を持つセンサノードの小型化、低コスト化が飛躍的に進んだ [1]。計算資源やバッテリーの制約、あるいはセンサノード自身の故障といった条件から、無線センサネットワークの研究分野ではルーティング技術が極めて重要である。しかし、現実世界で想定される、3次元空間に配置されたセンサネットワークに適用可能なルーティング手法は極めて少ない [2]。

以上の点をふまえ、我々の研究グループでは、3次元空間において適用可能な位置情報利用型ルーティングに着目し、ルーティング成功率などの指標を改善する手法を提案してきた [3]。本研究では、文献 [3] では不十分な問題点を解決するために、学習オートマトンによって周辺のセンサノードの状況推定を用いる適応ルーティング手法を提案する。

## 2. 位置情報利用型ルーティングと BGR

## 2.1 位置情報利用型ルーティング

センサネットワークにおいて、ノード自身の位置が既知であるという仮定のもとで行われるルーティング手法を、位置情報利用型ルーティングと呼ぶ。位置情報利用型ルーティングの特徴は、ルーティングに用いるアドレスとして位置情報を利用する点にある。

位置情報利用型ルーティングにおいては、ノードから送信されたパケットは、送信ノードの通信可能な範囲内で宛先ノードに一番近いノードへ転送され、宛先ノードへ中継されていく。このルーティングプロトコルはさまざまなものが提案されているが、3次元空間に配置されたセンサネットワークでの成功例はほとんどない [2]。

## 2.2 BGR (Blind Geographic Routing)

3次元空間に配置されたセンサネットワークへ適用可能な位置情報利用型ルーティングで、唯一の成功例と言われるのが BGR である [2]。BGR では経路表の更新や、ビーコンメッセージの定期発信などによって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。

この BGR では、送信ノードは通信可能な範囲内に、Forwarding Area と呼ばれる領域を設定する。送信ノードは、通信可能範囲内にパケットを一斉送信するものの、Forwarding Area の範囲にある受信ノードのうち宛先ノードに一番近いノードが中継ノードとして選択される (図 1 参照)。このとき、Forwarding Area の範囲の外にある中継ノードが、パケットを破棄することで、省電力を実現する。BGR では、この方法を繰り返すことで、パケットをパケツリレーのように中継ノードへ転送して、2 ノード間のルーティングを実現している。

また、中継ノードが見つからなかった場合、パケット転送の失敗を防ぐために、送信ノードは Forwarding Area を 3 次的に移動させ、中継ノードを再探索する。この再探索処理を Recovery 処理と呼んでいる。

BGR では、Forwarding Area の形状が固定されているために、ノード密度が低い場合中継ノードを見つけられない問題がある。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。

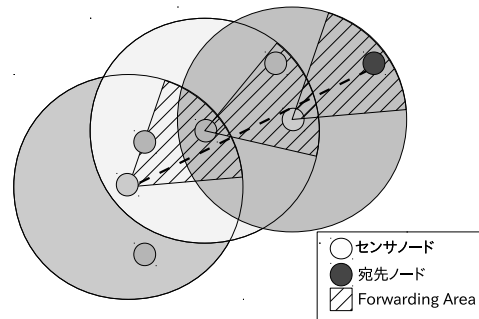


図 1: Forwarding Area の例

## 3. 改良型 BGR

我々の研究グループでは、周辺のノードの個数を予測することによって、Forwarding Area の範囲の初期角度を決定する改良型 BGR を提案してきた [3]。その 1 つとして、送信ノードと宛先ノードまでの距離に比例したパラメータで Forwarding Area の範囲の初期角度を決定する手法がある。この手法は、パケット到達率を下げることなく、平均 Recovery 処理発生数など減少させることができ、BGR を改善する特性を得た。

しかし、この手法は一定の範囲内にノードが一様に分布している環境を対象としているが、現実のセンサネットワークにおいて、ノードが一様に分布している環境は想定しにくい。ノードが一様に分布していない場合、改良型 BGR では特性がかえって劣化する可能性がある。これらの課題を完全に克服するためには、Forwarding Area の初期角度を適応的に決定することが有効である。そこで、本研究ではモデルがシンプルで収束速度が速い -タイプ学習オートマトン [4] を導入することにした。

## 4. 学習オートマトン

学習オートマトンは確率的環境下で生物と相似な振舞いをする学習モデルの一種である。具体的には、学習オートマトンは離散的な時点において 1 つの行動を選択し、その行動の評価を示す応答 (損失を示す実数値) を

<sup>1</sup>松江工業高等専門学校

環境から受け取る。学習オートマトンはこの応答に基づいて、自身の確率的構造を強化法と呼ばれるアルゴリズムによって改変する。学習オートマトンの目標は、環境から得られる応答の期待値が最適(最小)となる行動をこの相互作用を繰り返すことによって見出すことである(図2参照)。

本研究で用いる  $n$ -タイプ学習オートマトンは、各行動に対応付けた複数のベイズ推定器により構成される。これらのベイズ推定器によって、学習オートマトンは確率的環境を同定し、その上で最適な行動を選択することが可能である。 $n$ -タイプ学習オートマトンは、従来の学習オートマトンと比べ収束速度が早く、しかも条件最適となる利点がある。

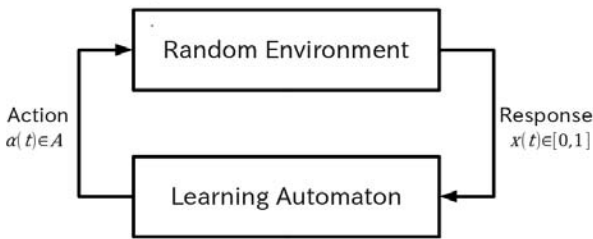


図2: 学習オートマトンと確率環境

## 5. 提案手法

本研究では、ノードのメモリ空間や計算量の増加を避けるため、2状態ベイズ推定器を構成要素とする  $n$ -タイプ学習オートマトンを用いることにする。

本手法では、ノードの外周をいくつかの領域に分割し、分割した領域ごとに学習オートマトンを割り当てる。各学習オートマトンの行動は、Forwarding Areaの初期角度の候補に対応付けられている。応答は、「中継ノードまでの転送に要する時間」と「Forwarding Areaの初期角度の大きさ」の積とする。このとき、学習オートマトンは期待値の意味で、パケット転送を達成する最小のForwarding Areaの初期角度を見出すことができる。すなわち、学習オートマトンの学習が進んだ段階では、パケット到達率、消費電力の双方にとって最適なルーティングが達成されることになる。

## 6. 実験と結果

2状態ベイズ推定器による  $n$ -タイプ学習オートマトンの特性を知るため2つのシミュレーション実験を行った。

### 6.1 最適行動確率の収束速度に関する特性

2状態ベイズ推定器による  $n$ -タイプ学習オートマトンと10状態ベイズ推定器による  $n$ -タイプ学習オートマトンについて最適な行動を選択する確率(最適行動確率)のシミュレーション実験を行った。ここで、最適行動は変化しないものとする。実験結果を図3に示す。図3により、2状態  $n$ -タイプ学習オートマトンのほうが、最適行動の収束速度が優れていることがわかる。

### 6.2 変化する最適行動への追従に関する特性

つぎに、最適行動が時間により変化する環境下での、 $n$ -タイプ学習オートマトンの最適行動確率のシミュレーション実験を行った。ここで、最適行動は Trial number

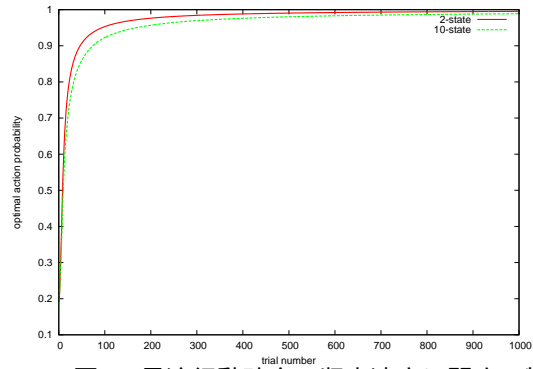


図3: 最適行動確率の収束速度に関する特性

が2000,4000の時に変化する。実験結果を図4に示す。図4により、2状態  $n$ -タイプ学習オートマトンは10状態  $n$ -タイプ学習オートマトンと比べ確率環境の変化に追従しにくいことがわかる。

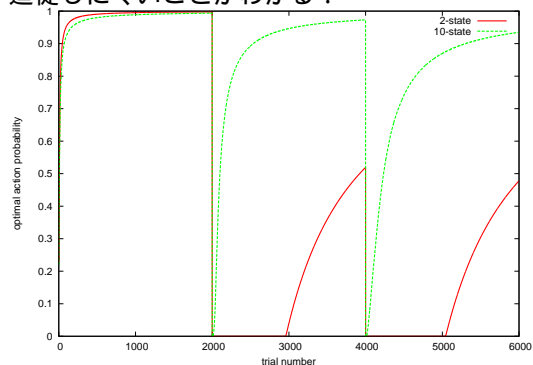


図4: 変化する最適行動への追従に関する特性

## 7. まとめ

以上、本研究では、3次元センサネットワーク上のルーティングで起こる問題点を解決する手法を提案し、その基幹となる2状態ベイズ推定器による  $n$ -タイプ学習オートマトンの特性についてシミュレーションを行った。本提案手法により、ノードが一様に分布していない状況においても、低い計算量で最適なForwarding Areaの初期値を適切に選択することができると考えられる。今後は、BGRや改良型BGRと提案手法の比較実験などを行いたい。

## 参考文献

- [1] 安藤・田村・戸部・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, V.Turau: Geographic Routing in 3D, 6. GI/ITG KuVS Fachgesprach "Drahtlose Sensornetze", Rheinisch Technische Hochschule (2007)。
- [3] 岩田, 原: 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, 第8回情報科学技術フォーラム講演論文集, Vol. 4, pp.403-404 (2009)。
- [4] K.Abe: On Conditional Optimality of a Class of Learning Automata in Random Environments, Information Sciences, Vol. 31, No. 3, pp.243-263 (1983)。