

# 不安定な仮想グリッド環境下における zigzag プロトコル適用手法とシミュレーション結果

團孝直人<sup>1</sup>, 大下福仁<sup>2</sup>, 角川裕次<sup>1</sup>, 増澤利光<sup>1</sup>

1 大阪大学大学院情報科学研究科 増澤研究室

2 奈良先端科学技術大学院大学

**概要** 本稿では、仮想グリッドにおいて、仮想ノードを用いた自己最適化ルーティングの提案を行う。仮想グリッドとは、無線通信媒体（ノード）が存在する領域を仮想的にグリッド状に分割したものであり、仮想グリッドを利用した自己最適化経路構成プロトコル zigzag を我々のグループで提案している。このプロトコルでは、グリッド状に分割された各領域（セル）にノードが存在することを前提とし、各セルから1つずつ選ばれた中継ノードで構成されるグリッド・ネットワーク上で動作する。しかし、ノードが移動端末の場合、ノードの移動によって、ノードが存在しないセル（空白セルとよぶ）が発生することがある。この問題を解決するために、本稿では仮想ノードを導入する。仮想ノードと、空白セルに対して、他のセル内のノードが空白セルのノードとして振る舞うものである。本稿では、プロトコル zigzag に仮想ノードを導入し、その効果をシミュレーションで評価する。

## 1 はじめに

近年、無線デバイス（ノード）の普及により、MANET（モバイルアドホックネットワーク）やWSN（ワイヤレスセンサネットワーク）などの無線ネットワークは一般的かつ重要となっている。無線ネットワークでは、ノードは二次元平面に配置されており、通信範囲内のノードとのみ直接通信可能である。宛先ノードが通信範囲外の場合は、他のノードが宛先ノードへのメッセージを中継する。効率的なマルチホップルーティングを実現するために、数々のルーティングプロトコルが提案されている [1]。既存のルーティングプロトコルとして、仮想グリッドネットワーク上で最短経路を構築するアルゴリズム “zigzag” [2] が提案されている。

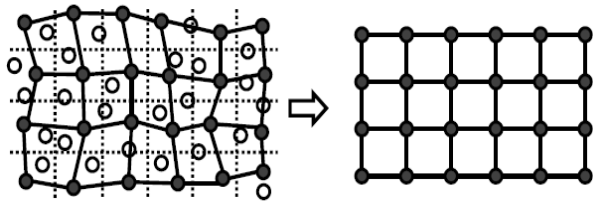


図 1: 仮想グリッドネットワーク

仮想グリッドネットワークは無線ネットワークをグリッド状に並ぶ同じ大きさの正方形の領域（セル）に仮想的に分割して構築する。各セルの大きさは、隣接するセル内の全ノードが互いに通信可能であるように決定する。各セルにおいてあるノードがルータとして選出され、グリッド・ネットワーク上の接続されたルータを使ってノード間の通信を実現する。以降、仮想グリッドネットワークにおけるルータ間通信について議論する。

仮想グリッド上で任意の経路が与えられたときに、その経路を最短経路に変更する自己最適化プロトコルとして、zigzag を我々のグループが提案している。プロトコル zigzag は各セル内に少なくとも一つのノードがあることを前提としている。しかし、ノードが移動可能な場合、ノードの移動によってノードが存在しないセル（空白セルとよぶ）が発生する可能性があるが、空白セルが発生するとプロトコル zigzag は正しく動作しない。そ

こで本稿では、空白セルのノードとして、仮想ノードを導入し、その効果をシミュレーションで評価する。仮想ノードとは、空白セルの隣接セルから選ばれたノードであり、空白セル内のノードとして振る舞うものである。本稿の内容は以下の通りである。まず、zigzag プロトコルの簡単な概要を紹介し、仮想ノードの実現方法を述べ、仮想ノードの効果のシミュレーションによる評価結果を示す。そして最後に、今後の研究方針について述べる。

## 2 Zigzag

本節では zigzag プロトコル [2] の概要を示す。始点ノードと終点ノードをルータが知っていれば最短経路を構成することは容易である。しかし、始点ノードや終点ノードが移動する場合、移動のたびにその情報を各ルータに伝えて最短経路を再構成するという手法は、移動のたびに大域的な通信を必要とするため効率的でない。そこで、各ルータは経路に関する自身の局所情報のみを保持するものとする。つまり、そのルータが経路上に位置する場合、始点ノードおよび終点ノードへの経路につながるそれぞれのポートのみを知っているものとする。そして、定数ホップ内のルータが保持する情報、つまり局所的な情報のみをもとに自律的に局所的な経路の組み替え（組替処理）を行う。この組替処理を繰り返すことでいずれ最短経路に収束することは示されている [2]。組替処理を図 2 に示す。

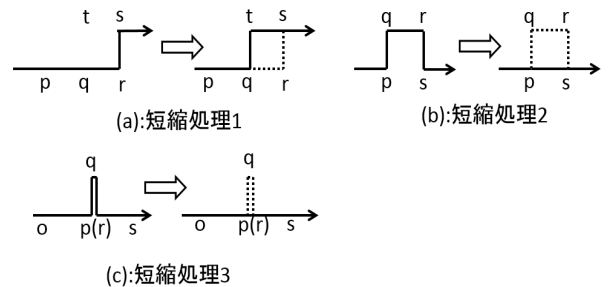


図 2: 組替処理

### 3 仮想ノードの実現方法

本節では仮想ノードの実現方法について考察する。ノードが移動可能な場合、経路上のセルが空白セルになる場合が考えられる。ただし本稿では、空白セルが隣接しない場合を仮定したアルゴリズムを提案する。起こりうるのは以下の2つのパターンである。簡単のため、a, b, c,... を各セルの名前とする。

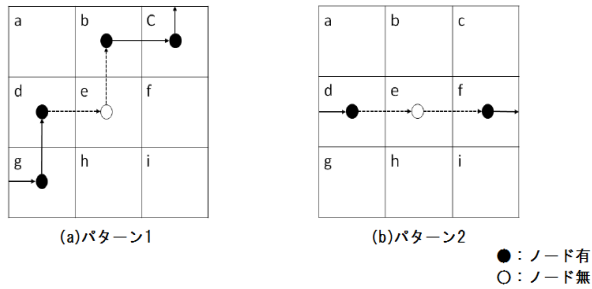


図 3: 空白セル e の発生状況

#### 3.1 図 3(a):パターン 1

d → e → b のように、空白セル e で経路が曲がっている場合である。あるセル内のノードは上下左右のセルとは必ず通信できるので、d と b 内のノードと通信可能なセル a から仮想ノードを選択するのが望ましい。ただし、a と e どちらのセル内にもノードが存在しない場合は、経路は構成できず不完全のままである。

#### 3.2 図 3(b):パターン 2

d → e → f のように、空白セル e が直線部にある場合である。この場合は、d と f 内のノードと通信可能なセルは e のみである。したがって、この場合は経路を d → a → b → c → f もしくは d → g → h → i → f に変更する。なお、斜めセルとは通信ができないので、d → b → f や d → h → f のような変更が可能な場合もあるが、セル b や h 内のノードは、セル d と f のノードと通信可能とは限らないので、ここではそのような変更はしないものとする。

## 4 シミュレーション

zigzag プロトコルの仮想グリッド環境への適用法を評価するために、シミュレータを実装した。シミュレータの実装には Java を用いた。本節では、シミュレータについての概要の説明、実験結果とそれについての考察を行う。

### 4.1 概要

今回は動的に変化する仮想グリッドネットワークにおいて、ランダムに形成された経路に zigzag プロトコルを適用させるためのシミュレータを作成した。シミュレーションでは、zigzag プロトコルが最短経路を導出できるかを評価する。基盤として、縦横 1000 × 1000 (ピクセル) のフィールドとランダムに配置されたノードを用意し、そこに仮想グリッドを適用してシミュレーションを行う。ノードがフィールド外に進行しようとした場合は、反射をしてフィールド外には出ないようにしている。ノードは乱数を用いて縦横 4 方向と斜め 4 方向の周囲 8 方向を移動する。乱数は Random クラスを用いて実現している。そのノードからランダムに二つのノードを選択し、それぞれをホーム、ターゲットとする。ホームからターゲットまでのランダムな経路を作成し、その経路に対して zigzag を適用する。経路の作成は、ホームから乱数を用いて 1 セルずつ進み、ターゲットまでたどり着いたら経路完成とする。仮想グリッドにおいて、ノードの存在しないセルが存在した場合に仮想ノードを用いてそのセルを補う。フィールド全体に対してのノードの存在しないセルの存在率は、仮想グリッドのセルの数とノード数に依存する。そのため今回の実験では、以下のパラメータを変更できるように実装した。

- ノード数
- グリッドサイズ

動的に変化するフィールドにおいて、ランダムに形成された経路に対して、zigzag プロトコルによって最短経路まで収束するかどうかを実験する。最短経路に収束することを成功、最短経路への収束過程で、仮想ノードで空白セルを補えなくなった場合、あるいは、空白セルが経路上で連続する場合を失敗とする。成功、失敗いずれかが判定できた時点で、次の経路を作成し実行を繰り返す。シミュレーションではさまざまなノード数とグリッドサイズに対して、以下を評価する。

- zigzag プロトコルの成功・失敗数
- 全体のセルに対する、ノードの存在しないセルの存在比率

### 4.2 実験結果と考察

実験は3種類のグリッドサイズ 10 × 10, 20 × 20, 30 × 30 で行う。ただし、30 × 30 の実験結果は、前二つと同様の結果であるため、ここでは割愛する。また仮想ノードを使用した場合と、しなかった場合での成功率および全体のセルに対するノードのないセルの存在率を評価する。またここでは、ノードが存在しないセルの割合を空きセル比と表記する。

#### 4.2.1 グリッドサイズ $10 \times 10$ の場合

図4にグリッドサイズ  $10 \times 10$  の場合の実験結果を示す。仮想ノードを補った効果が、3つの規模の中で一番顕著に現れた。これはサイズが小さい分、経路長が他の2つと比べて全体的に短くなるからである。仮想ノードを用いなかった場合は、空きセル比が5%をきるまでほとんど成功しなかったが仮想ノードを用いた場合は、空きセル比が10%をきるあたりで成功率が上昇した。空きセル比が15%以上だとほとんど成功しないことがわかる。

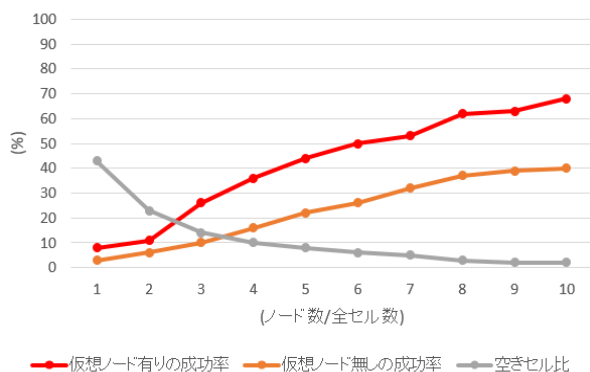


図 4: グリッドサイズ  $10 \times 10$  の実験結果

#### 4.2.2 グリッドサイズ $20 \times 20$ の場合

図5にグリッドサイズ  $20 \times 20$  の場合の実験結果を示す。このサイズにでは経路長が長くなるので成功率が下がることがわかる。仮想ノードを用いなかった場合は、空きセルに関係なくほとんど成功することはなかった。仮想ノードを用いた場合は、空きセル比が5%以下になると成功率が上昇した。

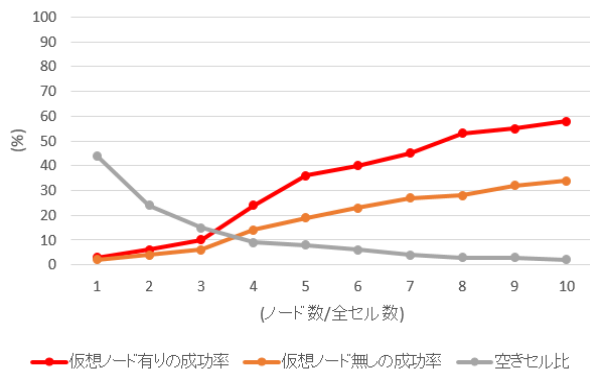


図 5: グリッドサイズ  $20 \times 20$  の実験結果

を提案した。また、提案手法を評価するために、シミュレータを実装し、パラメータを変化させ評価実験を行った。実験から、ノードの存在しないセルが5%を超えると最適経路へと収束することが著しく困難になることがわかった。仮想ノードを実現する方法をより細かく設定すれば zigzag プロトコルはモバイル環境へさらに適用することができる。そこで、今後の課題として、より効果的な仮想ノードの実現方法の考案を行いたい。

## 参考文献

- [1] W. Dargie and C. Poellabauer: "Fundamentals of wireless sensor networks: theory and practice", John Wiley Sons, Ltd, 2010.
- [2] Zigzag: "local-information-based self-optimizing routing in virtual grid networks", Shusuke Takatsu, Fukuhito Ooshita, Hirotsugu Kakugawa Toshimitsu Masuzawa, ICDCS, page 357-368. IEEE Computer Society, 2013

## 5 おわりに

本稿では、仮想グリッドネットワーク上の自己最適化最短経路プロトコル zigzag のモバイル環境への適用法