

D-040

## P2P型ドロネーネットワークの分散的生成アルゴリズムのシミュレーション Simulation of Distributed Generation of P2P Delaunay Network

源元佑太†  
Yuta Minamoto

加藤宏章‡  
Hiroaki Kato

大西真晶†  
Masaaki Ohnishi

上島紳一†  
Shinichi Ueshima

### 1. はじめに

ユビキタス環境において、複数のノードが協調して作業する枠組みは重要である。ユビキタスネットワークにはモバイルノードが多数参加すると考えられ、多数の多種多様なノードが自律的、協調的に動作する。著者らは、[1]において P2P 型ドロネーネットワークの分散的な構築アルゴリズムの提案を行った。P2P 型ドロネーネットワークでは GPS 等で平面空間上の位置を取得したノードをドロネー図状の接続関係となるよう構築し、実平面空間上での実際の距離とネットワーク的な距離を極力一致させている。各ノードは周囲の情報を取得し、周囲に対して働きかけを行う。本稿ではアルゴリズムの概観を提示し、その特性解析の第1段階としてノードの追加・削除などのない状況で、提案アルゴリズムの実行によるネットワークトポロジーの分散的生成の変遷について確認する。特に、初期に与えるノード情報数の影響と各ノードにかかる負荷、ノード間の情報交換回数について評価を行う。

### 2. P2P型ドロネーネットワーク構築アルゴリズム

#### 2.1. P2P型ドロネーネットワーク

平面上のコンピュータノードを母点、ノード同士の接続関係を辺とみなし、ドロネー図状の接続関係を持つように構築されたネットワークを P2P 型ドロネーネットワークと呼ぶ。この時、接続関係にあるノードをドロネー隣接するノードと呼ぶ。

P2P 型ドロネーネットワークは、隣接するノード間における情報交換のみでネットワークが構築されるためスケラビリティが期待でき、位置的に近いノード同士が接続関係にあるため平面上において近距離のノードの協調動作の際にネットワーク全体に対する影響の低減が期待できる[1]。また、ネットワーク全体でのノード間の接続数がノード数に比例しており、その接続がノード全体に分散している。図1は、シミュレーションによって得られたノード数 1000 の P2P 型ドロネーネットワークである。図1左は P2P 型ドロネーネットワーク内の単一ノードとそのノードの接続関係を抽出したもので、図1右はすべてのノードが構築した P2P 型ドロネーネットワークである。

#### 2.2. 分散的生成における基本的な考え方

提案アルゴリズムは、ドロネー図の一般的な作図方法である逐次添加法[2]を連結グラフの辺に対して適用したものである(図2)。提案アルゴリズムは、複数ノードが逐次添加法の部分的な動作を行うアルゴリズムであり、ノードの接続関係が P2P 型ドロネーネットワークとなっていれば逐次添加法の分散的動作を行う。グラフの最小構成要素である点と辺は、それぞれノード数 1 と 2 の P2P 型ドロネーネットワークである。この為、点と辺は提案アルゴリズムの実行により接続関係にある他のノードか

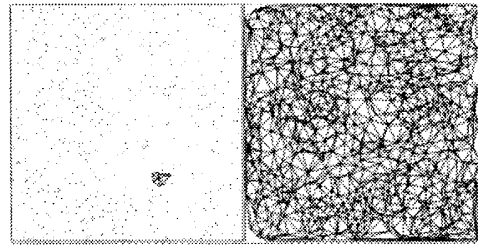


図1：分散的に構築された P2P 型ドロネーネットワーク



図2：連結グラフの辺に対する逐次添加法

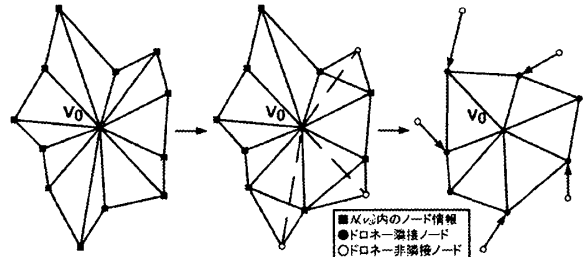


図3：単一ノードにおける部分ドロネー図の変化

らそのノードに関する情報を受け取り、より大きな P2P 型ドロネーネットワークに成長する。また、ネットワークが連結グラフ性の接続関係を仮定すれば、各ノードから始まった複数の P2P 型ドロネーネットワークは少しずつ成長と融合を繰り返す、いつかは全体として 1 つの P2P 型ドロネーネットワークとなる。

#### 2.3. アルゴリズム

P2P 型ドロネーネットワークの構築には、ノードのドロネー隣接関係の構築が位置的に近いノードの情報のみを利用して構築できることを利用している。図3に提案アルゴリズムの実行によって各単一ノードの作成するドロネー図の変化過程を示す。各ノードは、ノード情報として自身の位置情報と一意な ID を保持している。ノード  $v_0$  が保持しているノード情報のリストを  $N(v_0)$  とする。以下、単一ノードにおける部分的な P2P 型ドロネーネットワーク作成アルゴリズムを示す。

**[循環リストの構成]** まず、同じノードに関する情報が複数あった場合、一個を残して他は破棄する。 $v_0$  は真北を 0 度として、時計回りの方位角について  $N(v_0)$  を昇順に整列化する。 $N(v_0)$  において連続している 2 つのノード情報と  $v_0$  によって作られる平面グラフとなる三角形の集合は一意に定まる(図3左)。

**[ドロネー隣接ノードの判別]** 次に、このグラフ上で隣接する二つの三角形各々について、一方の三角形の外接円に他方の三角形の残る一点が含まれるか否かの比較を行

† 関西大学大学院総合情報学研究科

‡ 関西大学総合情報学部

う。もし含まれる場合は、二つの三角形を併せた四角形の対角線にあたる辺をもう一方の対角線に引き換える(フリップと呼ぶ)(図3中央)。図3中央における点線は、フリップによって引き換えられる線である。全ての隣接する二つの三角形について、時計回りにこの処理を行うことにより、 $N(v_0)$ からドロネー隣接するノードを選び出すことができる(図3右)。この時、ドロネー隣接すると判断されたノード情報のリストを  $LDN(v_0)$ 、フリップによりドロネー隣接しないと判断されたノード情報のリストを  $NNL(v_0)$ とする。

[データの委譲] 上記の処理の実行後に作成される  $LDN(v_0)$ 、 $NNL(v_0)$ についてそれぞれ、 $LDN(v_0)$ については、そのノード情報が示すノードに対して接続関係を確立し、更に  $LDN(v_0)$ の内部に必ず共に三角形の接続関係を構築すべき相手も存在するので、それらのノード間に対して互いに接続させる要求としてノード情報を送信する。 $NNL(v_0)$ の中のノード情報に関しては、 $LDN(v_0)$ の中で最もそのノード情報が示すノードに近いノードに転送する。図3右の矢印は、 $NNL(v_0)$ 内のノード情報がどのノードに委譲されるかを示している。

提案アルゴリズムではすべてのノードが新しいノード情報を受信する度に、循環リストの構成、ドロネー隣接ノードの判別、データの委譲の動作を行う。

### 3. ネットワーク形成過程の解析

本節では、提案アルゴリズムに基づくノードの振舞いについて解析する。まず、提案アルゴリズムによる P2P ネットワークの P2P 型ドロネーネットワークへの収束性を確認する為のシミュレーションを行う。更に、ノードの初期状態である各ノードの自身以外のノード情報(初期接続情報と呼ぶ)の数に対するアルゴリズム実行時の各ノードの計算量を評価する為のシミュレーションを行う。すべてのシミュレーションに共通して以下の前提を設ける。①各ノードはユークリッド平面上に存在し、ノード情報を保持する。②各ノードは初期状態として初期接続情報を保持している。③は、ネットワークに新規参加するノードも、ping 発行などの方法により既にネットワークに参加しているノードの情報を知っていることを仮定している。④各ノードは1単位時間毎に提案アルゴリズムを同期的に1度実行する。⑤シミュレーションは P2P ネットワークが P2P 型ドロネーネットワークに変化し、各ノードの状態の変化が停止するまで実行される。

[ドロネー図への収束性の検証] 提案アルゴリズムによる分散的処理が、全体のノードで構成するドロネー図に収束することを確認した。検証については、ドロネー図の必要十分条件を与える外接円判定条件[2]、即ち、個々のドロネー三角形の外接円に他のノードが含まれるか否かにより判定した。以後に議論するシミュレーションは、すべてこの判定により確認し、P2P型ドロネーネットワークとなっていることを確認済みである。

[初期接続数による影響] 初期に与えるノード情報数の増加が各ノードへ負荷に与える影響を計測した。負荷の指標として、提案アルゴリズムの主要な処理であるフリップの回数を計測した。ノード情報の循環リスト生成の処理についてはデータ数の小さな一般的な整列化である為、計測の対象外とした。また、データの委譲回数は全ノード間で行われる情報交換数を計測した。総ノード数を100

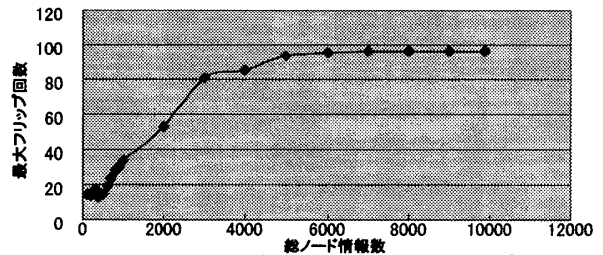


図4: 総ノード情報数に対する最大フリップ回数

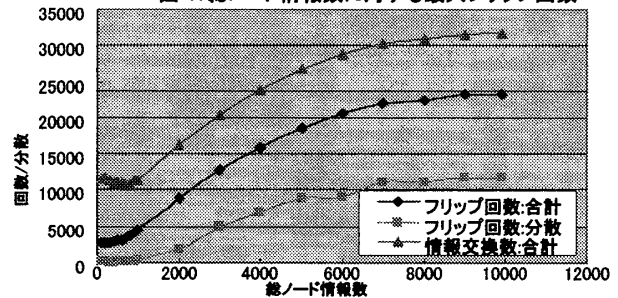


図5: 総ノード情報数に対するフリップ回数の合計、フリップ回数の分散、情報交換数の合計

に固定し、各ノードに与える初期接続情報の数を2から99まで変化させ全体としては200から9900まで変化させた。割り当てられる初期接続情報の内容については、各ノード毎についての情報の数が一樣となるように割り当てた。図4は、全ノードに与えた情報数の合計に対する、各ノードの1単位時間毎のフリップ回数についての全ノードの全単位時間における最大値である。縦軸には最大フリップ回数、横軸には総ノード情報数を取っている。図5は、全ノードに与えたノード情報数の合計に対する、全ノードのフリップ回数の合計、ノード間の情報交換数の合計、フリップ回数の合計の分散のグラフである。縦軸には合計フリップ回数とフリップ回数の分散、横軸には総ノード情報数である。図4では、総ノード情報数1000から増えるに従って最大フリップ回数の増加率が高くなっており、瞬間的な負荷が高くなっていくことを示している。図5では、合計フリップ回数、情報交換数の増加率が総ノード情報数の増加に従って減少しており、全ノード、ベースネットワークへの負荷が総ノード情報数に対する比例程度も伸びないことを示している。また、フリップ回数の分散の増加率も総ノード情報数の増加に従って減少しており、総ノード情報数が増加しても負荷は各ノードに分散していることを示している。

### 4. まとめ

本研究では、現実の位置関係を考慮したネットワークとして P2P 型ドロネーネットワークを提案し、そのアルゴリズムについてシミュレーションを用いて定量的に評価を行った。そして、提案アルゴリズムにより構築された P2P ネットワークがドロネー図状の接続関係を持つこと、初期に与えるノード情報数が増加しても負荷は各ノードに分散していることを確認した。

### 参考文献

- [1] M. Ohnishi et al, "Incremental Construction of Delaunay Overlaid Network for Virtual Collaborative Space", C5, pp.77-84(2005)
- [2] M. ドバークラ, "コンピュータ・ジオメトリ", 近代科学社, 2000