

## P2P 型空間情報システムの実現手法に関する考察 Towards Spatial Information Systems over Peer to Peer Networks

廣川 雅基† 江口 隆之†  
Masaki Hirokawa Takayuki Eguchi

大西 真晶† 上島 紳一†  
Masaaki Ohnishi Shinichi Ueshima

### 1. はじめに

空間情報システムは空間的拡がりを持つデータに対して格納・検索・加工などの処理を行うシステムであり、空間情報の自由自在な操作の実現を目指している。近年、P2P パラダイムを用いた空間情報システムが研究されている。これらのシステムでは、空間を部分領域に分割してノードに割り当て、空間情報を分散共有する手法を提案している。我々は計算幾何学の手法を用いて、ノードの位置関係に基づいて空間内の情報を管理する P2P 型ドロネーネットワーク [1] を提案している。本稿では、提案手法と関連する他の P2P 型空間情報システムの実現手法について比較検討する。

### 2. ドロネー図を用いた P2P ネットワーク

#### 2.1 P2P 型空間情報システム

空間情報システムには任意のデータ数、空間の大きさに対応できるスケーラビリティが求められる。しかし 1 台のコンピュータ上でスケーラブルなシステムを実現することは記憶容量・処理能力などの点から見て容易ではない。これに対応するために空間を部分領域に分割し、P2P ネットワークで接続された複数のコンピュータに割り振ることで空間情報を分散共有する手法が提案されている。本稿では提案手法を中心に他の空間情報システムとの関連を以下の点について検討する。

- ノードの参加/離脱への対応
- 位置に基づく問い合わせ処理
- データの格納ならびにデータの移動への対応

#### 2.2 P2P 型ドロネーネットワークの構成

P2P 型ドロネーネットワーク構成法には以下の特徴がある。

- 各ノードが自律的に局所的なドロネー図を作成
- 近傍ノードによるノードの位置情報の交換

これらの処理により平面上の位置座標を与えられた各ノードが自律的、局所的、段階的にドロネー図状の P2P ネットワークを構成する。この構成アルゴリズムは計算幾何学の分野でドロネー図を作成する際に広く用いられる逐次添加法の拡張である。通常、ドロネー図は各ノード(母点という)の位置関係が完全に与えられた上でトップダウン的に作成する。しかし、全ノードの位置情報を把握する中央サーバが存在しない P2P 環境では各ノードがボトムアップ的にドロネー図を作成する必要がある。そのため P2P 型ドロネーネットワーク構成アルゴリズムには、逐次添加法の手順に加えてノード間でノード情報を交換するという手続きが追加されている。平面内の各地点のノードが並列的に自身の周辺のドロネーネットワークを構成することで、最終的にネットワークはドロネー図の形に収束する。図 1 左のランダムに接続された連結グラフで表現された初期ネットワークが提案アルゴリズムにより同図右のように再構成される。図 2 にノード数が 100 と 1000 の場合の P2P 型ドロネーネットワークの構成シミュレーション結果を示す。

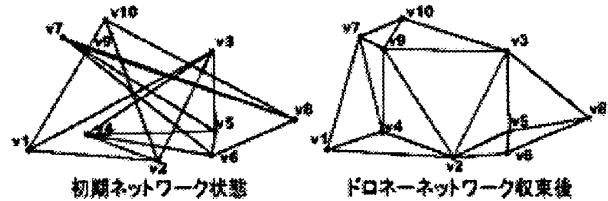


図 1: P2P 型ドロネーネットワークの構成

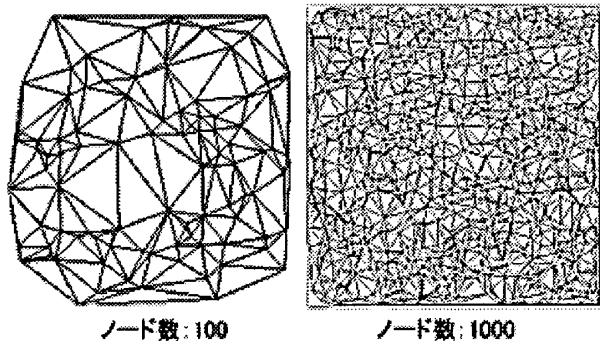


図 2: P2P 型ドロネーネットワークの構成シミュレーション

#### 2.3 P2P 型ドロネーネットワークの特徴

P2P 型ドロネーネットワークではノードの位置によって決定される各ノードのボロノイ領域を空間情報管轄の単位とする。ドロネー図とボロノイ図はグラフ理論上の双対の関係にあるため、P2P 型ドロネーネットワークが構成された後では、各ノードを母点としたボロノイ領域分割を分散並列的に行うことが可能である。平面内の位置座標に関連付けられたデータはその位置座標を自身のボロノイ領域に含むノードによって格納される。また、各ノードが持つ経路情報はドロネー図での隣接関係にあるノードのみである。これにより総ノード数の増加に対して保持する経路情報の増加が抑えられる。

### 3. 考察

#### 3.1 データ格納ならびにデータの移動への対応

4 分木索引法 [2] (3 次元では 8 分木索引法) は平面内のデータを木型に索引化し、ノードに分散格納する。これは従来から空間データベースを構築する場合に広く用いられてきた手法を、P2P ネットワークを構成する際の汎用的な手法である分散ハッシュ表システムを用いて P2P ネットワークの分散ノードに配置するものである。索引はハッシュ関数を用いて Chord 環上のノードへ分散格納する。任意の範囲領域を問い合わせの際には、問い合わせる範囲領域と交差する分割領域に該当する節を辿りデータを収集する。

GHT [3]、分散型動的ボロノイオーバレイネットワーク [4] はセンサネットワークでの位置に基づくデータの分散共有を目的とした研究である。これらの手法ではデータを、

† 関西大学大学院総合情報学研究科

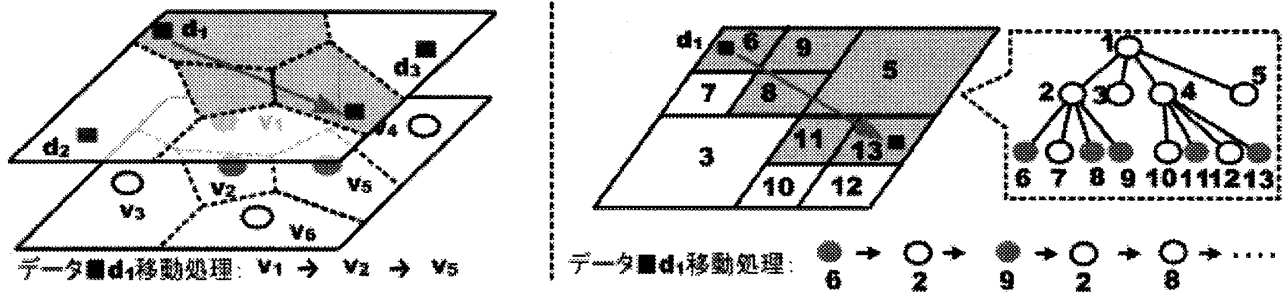


図3: 提案手法(左図)と4分木索引法(右図)のデータ移動処理の比較

ハッシュ関数で位置座標に関連付け、その位置に最も近い地点に存在するノードがそのデータを保持する。ハッシュ関数を用いることにより、データを均等に分散させ負荷が特定のノードに集中することを防いでいる。また、分散型動的ボロノイオーバーレイネットワークではノードの位置を母点としてボロノイ領域分割を行うことで、全てのデータに対して格納ノードを一意的に識別可能にしている。データは位置を基準に格納されるため領域を管轄するノードが入れ替わった場合も、データは引き継がれ同じ位置に保持される。提案手法も同様の格納方式であるがデータに位置に関連付ける際にハッシュ関数を用いた分散を行わない。そのためノードや他のデータとの位置関係が保存される。しかし、データ分布の偏りによっては特定のノードに負荷が集中する可能性がある。

また、空間情報システムでは移動体の情報を扱うことも考えられ、データの移動への対応が重要である。木型方式でこれを行うには、移動先の領域に相当する木の節を探しデータを追加する処理を繰り返す必要がある。対して提案手法では、隣接領域を保持するノード同士は常に接続関係にあるためデータの移動時に処理を最小限に抑えることが可能である。図3にデータ  $d_1$  が矢印の方向に移動した際の4分木索引法と提案手法での処理を示す。右図の4分木索引法では節6の領域から節13の領域までの移動時に、移動先ではない節を経由している。左図の提案手法では移動先のノードのみを経由している。

### 3.2 位置に基づく問い合わせ処理

P2P ネットワーク環境では、各ノードがネットワークの全ノード情報を把握することは困難である。各ノードが問い合わせを行うには目的のデータを保持するノードを発見する必要があるが、問い合わせ先のノードが既知であるとは限らない。そのため、未知のノードとの通信の確立が重要である。これに対して提案手法では単純な経路選択法による位置に対する問い合わせを実現することで対応している。各ノードは自身の知るノードから目的の位置に最も近いノードに向けて問い合わせを転送し、この処理を管轄する領域に目的の位置座標が含まれるノードに到達するまで行う。要求するデータの存在する位置さえ指定できれば、保持するノードの未知/既知に関わらず問い合わせを行うことが可能である。これは部分的なノードの処理の繰り返しにより行われるためP2Pのスケラブルな特性を組み込んでいる。これにより経路情報を持たない未知のノードに対しても問い合わせを行うことが可能である。しかし、この方法は分散ハッシュ表システムを利用する4分木索引法に比べ問い合わせ先が遠方にある場合に、経由するノード数が増大するという問題がある。

### 3.3 ノードの参加/離脱への対応

P2P ネットワーク環境ではノードが頻繁に参加/離脱を繰り返す。その際に対策を取らなければネットワークの機能が部分的に停止する。4分木索引方式、GHT、分散型動的ボロノイオーバーレイネットワークでは分散ハッシュ表システムの利用によって対応している。

提案手法では各ノードが自律的にドロネーネットワークを部分構成するアルゴリズムによりノードが参加/離脱した際もネットワークを正常に保ち、局所的な影響を抑えることができる。一方で、各ノードは隣接関係にあるノードへの経路情報のみを保持するため、隣接するノードが一斉に離脱した場合にネットワークが途切れる可能性がある。

## 4. まとめ

P2P 型ドロネーネットワークを説明し、関連研究と比較検討した。提案手法の特長はノードの位置情報を基に局所的な処理を分散並列的に実行することで、全体として一律な接続形態を持ったネットワークを構成できることである。要件への対応ではデータの移動が容易であり、問い合わせ処理、データ格納にも優れているといえる。一方で、ノードの離脱、遠方への問い合わせには課題が残っている。これらの対策としては、隣接ノードへの経路に加えて遠隔ノードへの経路であるLRC(Long Range Contact)を構築することが考えられる。また、データ分布が偏っている場合の各ノードの負荷検証も必要である。

空間情報システムは現在幅広く利用されているGISや地理データベースのみでなく、センサネットワークやオンライン仮想共有空間にも利用可能である。空間情報システム研究の課題としてはセンサネットワークや仮想共有空間におけるノードの移動、空間の拡張への対応が挙げられる。各研究では最初に与えられた平面内でのP2Pネットワークとしての動作は確保されているが、平面自体の追加、併合について考慮されていない。これらに対応することが今後の課題である。

## 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] E. Tanin et al, "A distributed quadtree index for peer-to-peer settings", ICDE, pp.254-256 (2005)
- [3] S. Ratnasamy et al, "GHT: A Geographic Hash Table for Data-Centric Storage", WSNA, pp.78-87 (2002)
- [4] B. Carbutar et al, "Distributed and dynamic voronoi overlays for coverage detection and distributed hash tables in ad-hoc networks", ICPDS, pp.549-556 (2004)