

## 論文の内容の要旨

論文題目	An Information Look up System using Geographic Location-based Distributed Routing Table
学 位 申 請 者	小林 久美子

近年、センサデバイスの技術進歩や小型化・低価格化、携帯電話や車載器など移動可能な通信端末が普及し、無線ネットワークインフラストラクチャを経由してさまざまな場所における情報の取得が可能になった。そして、その情報を利用したサービスが始まっているが、現状では、サービス提供者が中央サーバで情報の収集・加工等を集中管理するものが主である。今後、移動端末が取得したあらゆる場所における情報の利用要求は高まると予想され、増大する要求に対応するためには、情報を分散管理し、検索・共有可能なシステムが必要になる。特に「ある場所」における情報の要求に対応するためには、位置に基づく情報の分散管理が重要である。

本論文は、都市部において移動車両が収集した情報を有効活用することを目的とし、収集されたデータの場所に対応するエリアノードから構成されるオーバレイネットワークのための地理的な位置に基づく分散型ルーティング (GDR) を提案している。その前提条件として、GDRは都市部の道路で構成されたその形状がグリッドとしてモデル化できるアンダーレイネットワーク上で動作することを想定している。

GDRを用いたシステムでは、格子状エリア毎に移動車両が取得した情報を管理するノードを1つ配置する。各ノードは地理的な位置関係を反映したオーバレイネットワークを構築し、2次元空間において緯度と経度の座標に基づいた情報検索を提供する。GDRシステムの各ノードは、座標を識別子 (ID) として利用し、オーバレイルーティングテーブルを管理する。

GDRでは、エリアノードのIDを、従来法で用いられて来た空間充填曲線 (SFC) を使用せずに、地理的な位置を反映するように生成する。そして、 $N$  個のノードで構成されるGDRは、各ノードはサイズ  $\log N$  のルーティングテーブルを持ち、 $O(\log N)$  回のホップ数でノード検索が可能である。

本論文では、提案方式の性能を、ホップ数ならびにノード間距離の総和である中継距離を評価関数としてそれらの平均・分散によって評価する。さらに、代表的な分散型ルーティングシステムである、Chord, Kademia, CANに対しても、同じ評価関数の平均・分散を新たに理論的に導出した。

導出した一般式より、GDRのホップ数の平均と分散はChordとKademiaと同じであるが、中継距離の平均と分散はChordとKademiaより小さいことが分かった。また、GDRの中継距離の平均と分散はCANと同じであるが、ホップ数の平均と分散はCANよりも小さいことが分かった。これらの結果から、GDRの平均中継距離はChordの約1/2倍、Kademiaの約2/3倍小さく、平均ホップ数はCANの約 $(3/4) \log N / \sqrt{N}$ 倍小さくできることが明らかになった。これらの結果の比較から、GDRが優れた性能をもつことを明らかにした。さらに、SFCを使用して生成したIDを用いたシステムにおいてChordおよびKademiaの計算機シミュレーションを行った結果に対しても同様の優れた性能をもつことが明らかになった。

アンダーレイネットワークがグリッド状であれば、物理アドレスの指定は容易である。しかし、あるノードが故障した場合に、そのアドレスの修正や変更は困難である。そこで、GDRではロバスト性を高めるためのエージェントリストを提案している。GDRはエージェントリストを利用して、オーバーレイネットワーク上で故障したノードを回避することができる。GDRの各ノードに対して、それが有するルーティングテーブルに登録されているノード（登録ノード）ごとに、その代理として、登録ノードに隣接する2つのノード（エージェントノード）に登録したエージェントリストを付け加える。エージェントリストのサイズは $2 \cdot \log N$ である。計算機シミュレーションより、エージェントリストを加えたGDRはノードに障害が発生した場合に対応できることを示した。

最後に、GDRの応用としてWall Pass(WP)アルゴリズムを提案している。WPアルゴリズムは移動端末からの問い合わせ結果を移動端末が進行する方向の隣接エリアにメッセージを転送する機能である。GDRシステムを構成するエリアノードは、サッカーのwall passにおけるwall playerのように振る舞い、各ノードはメッセージの種類とその位置情報に基づいて受信したメッセージを処理する。Manhattan Modelに基づく移動端末を用いた計算機シミュレーション結果から、WPアルゴリズムによりシステムの通信負荷が削減されることを示した。

## 論文審査の結果の要旨

学位申請者氏名 小林 久美子

審査委員主査 森田 啓義

委員 末廣 尚士

委員 小池 英樹

委員 古賀 久志

委員 大坐 晶 智

本論文は、都市部において移動車両が収集した情報を有効活用することを目的とし、収集されたデータの場所に対応するエリアノードから構成されるオーバーレイネットワークのための地理的な位置に基づく分散型ルーティング(GDR)を提案している。

本論文は、全6章から構成されている。

第1章は、序章であり、研究背景と目的、本論文の主要な結果、論文の構成について述べている。

第2章は、関連研究について述べている。最初に、代表的な分散型ルーティングシステムについて、IDフォーマット、ルーティングテーブルサイズ、およびルーティングの特徴を述べている。次に、それらと提案方式の違いを示している。

第3章は、地理的な位置に基づく分散型ルーティング(GDR)について提案している。3.1節では、GDRの概要について述べている。GDRは都市部の道路で構成されたその形状がグリッドとしてモデル化できるアンダーレイネットワーク上で動作することを想定している。GDRシステムでは、グリッド状のエリア毎に移動車両が取得した情報を管理するノードを1つ配置する。そして、各ノードは地理的な位置関係を反映したオーバーレイネットワークを構築し、2次元空間において緯度と経度の座標に基づいた情報検索を提供する。各ノードは、座標を識別子(ID)として利用し、オーバーレイルーティングテーブルを管理する。

3.2節では、ルーティングテーブルの生成法について述べている。GDRでは、エリアノードのIDを、従来法で用いられて来た空間充填曲線(SFC)を使用せずに、地理的な位置を反映するように生成する。x方向、y方向の並び順のID生成により、ID空間上にグリッド状エリアの地理的な近さを反映させることができる。各ノードはx方向とy方向において、IDのプレフィックス一致長毎にグループ分けされた論理的ルーティングテーブルを1つずつ保持する。そして、N個のノードで構成されるGDRシステムの各ノードはサイズ  $\log N$  のルーティングテーブルを持つ。

3.3節では、ルーティングのメカニズムについて述べている。GDRでは、2次元空間をまずx方向へ、次にy方向へと自分のIDから検索先IDに近い方にルーティングすることで、 $O(\log N)$  回のホップ数でノード検索が可能である。

3.4節では、提案方式の性能を、ホップ数ならびにノード間距離の総和である中継距離を評価関数としてそれらの平均・分散によって評価している。さらに、代表的な分散型ルーティングシステムである、Chord, Kademlia, CANに対しても、同じ評価関数の平均・分散を新たに理論的に導出し、これらの結果の比較から、GDRが優れた性能をもつことを明らかにしている。これらの結果から、GDRの平均中継距離は chord の約 1/2 倍, Kademlia の約 2/3 倍小さく、平均ホップ数は CANの約  $(3/4) \log N / \sqrt{N}$  倍小さくできることを報告している。

第4章は、計算機シミュレーションについて述べている。計算機シミュレーション結果から、SFCでID生成したchordおよびKademliaのシステムに対しても、GDRは優れた性能をもつことを報告している。また、GDRのロバスト性を高めるためのエージェントリストを提案している。GDRの各ノードに対して、それが有するルーティングテーブルに登録されているノード（登録ノード）ごとに、その代理として、登録ノードに隣接する 2つのノード（エージェントノード）を登録したエージェントリストを付け加える。エージェントリストのサイズは  $2 \cdot \log N$  である。計算機シミュレーションより、エージェントリストを加えたGDRはノードに障害が発生した場合に対応できることを報告している。

第5章は、GDRの応用として Wall Pass (WP) アルゴリズムを提案している。WPアルゴリズムは移動端末からの問い合わせ結果を移動端末が進行する方向の隣接エリアにメッセージを転送する機能である。GDRシステムを構成するエリアノードは、サッカーの wall pass における wall player のように振る舞い、各ノードはメッセージの種類とその位置情報に基づいて受信したメッセージを処理する。Manhattan Model に基づく移動端末を用いた計算機シミュレーション結果から、WPアルゴリズムによりシステムの通信負荷が削減されることを報告している。

第6章では、本論文の主要結果について述べている。

以上をまとめると、本論文は、地理的な位置に基づく分散型ルーティング (GDR) 方式を提案するものである。とくに、性能評価のために、提案方式だけでなく代表的な従来方式についても、平均ホップ数と平均中継距離を新たに導出して、提案方式の長所を明らかにした点、計算機実験によってノードの故障に対する提案方式のロバスト性を示した点、同じく計算機実験によって、GDRが移動端末システムの通信負荷削減に役立つことを示した点で、本論文は優れており、これらの成果は、オーバーレイネットワークのルーティング研究に少なからず貢献するものである。よって本論文は博士（工学）の学位請求論文として十分な価値を有するものと認める。