

論文の内容の要旨

論文題目： 無線マルチホップネットワークにおける位置依存情報分散共有手法

氏名： ●田 忠信

ネットワーク技術の目覚ましい発展に伴い、小型の無線端末を用いていつでもどこでも世界中のあらゆる情報を取得が可能となる、いわゆるユビキタス環境が近い将来実現するであろうと考えられている。現在、無線を利用する通信の形態としては、高速で広帯域の無線 LAN や携帯電話網、WiMAX を利用したものなどが開発されつつあるが、従来は基地局やアクセスポイントなど、有線ネットワークに繋がっている親機に相当する装置にユーザの子機が接続して通信を行うというのが主流であった。将来のユビキタス環境では、このような通信手法に加えて、無線端末同士が互いにリンクを張り、パケットを中継してルーティングすることにより、あらゆる端末同士の通信が可能となる無線マルチホップネットワークが広く利用されるようになると思われる。無線マルチホップネットワークを用いれば、基地局装置や固定の有線のバックボーンネットワークを持たなくても、あらゆる無線端末同士が P2P 的に手軽に通信を行うことが可能になるため、例えば、ある街の店舗情報や交通情報、環境情報や観光名所の情報など、ある地域の局所的なユーザ間でリアルタイムなデータを自由に交換するのに有効な手段となるのではないかと考えられる。このため、無線マルチホップネットワークに関しては、モバイルアドホックネットワーク技術や無線センサネットワーク技術の分野で盛んに研究が行われている。

これらの技術に加えて、近年ではカーナビゲーションシステムや GPS 付きの携帯端末などの研究開発が盛んに行われ、さらに、Google Maps のようなウェブ上で利用可能な地図情報サービスの登場により、位置依存型サービス (location based service: LBS) を誰でも手軽に利用できるようになりつつある。LBS と 無線マルチホップネットワーク技術とを統合し、ある地域に存在するローカルなユーザ同士で P2P 通信を行うことにより、広帯域のバックボーンネットワークや高速処理が可能な巨大データベースサーバを用いずとも、その地域に関連する情報をいつでも取得することが可能となるような、新しい LBS が創出されるようになるのではないかと考えられる。

LBS システムを構築するためには、ある位置に関連した情報 (位置依存情報) が重要な役割を担う。位置依存情報は、ある人物や物体、イベントなどの情報を、緯度経度座標や住所などの位置情報を用いて記述するデータである。現在、位置依存情報を記述するためのマークアップ言語として KML や GML などが存在する。これらの記述言語を用いることにより、ユーザが興味を示している地点 (point of interest: POI) に関連する位置依存情報を、ネットワークを通じて相互に交換することが可能になり、あらゆるユーザがあらゆる地点に関連する情報を得ることができるようになる。したがって、このような位置依存情報をユーザ間で分散共有可能にする方法を考案することが LBS を構築する上で重要な課題となる。

また、位置依存情報を利用するアプリケーションによっては、サービス対象エリア内で扱うデータが頻繁に更新され、ユーザがなるべく最新のデータを取得することが可能になるように、システムを適切に設計しなくてはならないものもある。例えば、ある地域や位置に関連した最新のニュースの配信、環境情報のモニタリング、店舗の商品管理などのビジネスロジスティクスへの活用、ライフログや **Urban Computing** に関連したアプリケーションなど、ユーザの取得するデータに対してリアルタイム性が求められるような場合、従来の地図情報サービスで用いられている静的なデータのみならず、時間によって変動する動的なデータをどのようにユーザ間で共有するかを考案することが非常に重要となる。

無線マルチホップネットワーク上でこのような位置依存情報をやりとりするためには、有線ネットワーク上に構築可能な **P2P** オーバーレイを用いた分散共有手法とは異なり、無線マルチホップネットワークの性質に合った方法を考案する必要がある。位置依存情報が頻繁に更新される場合、論理的なネットワークを維持したり、情報交換を行ったりするためのオーバーヘッドは無視できないものとなる。まず、位置依存情報の作成者は、データの更新毎にサーバとなる離れた端末まで該当データを転送しなくてはならない。この作業はデータ作成者にとってアップロードの手間がかかるだけではなく、無線マルチホップネットワークを用いる場合は、新しい位置依存情報をサーバまで送信するときに、目的端末と作成者との間に存在するすべての中継端末がそのデータを転送しなくてはならない。これはネットワークに大きなトラフィック負荷を生じさせることになる。さらに、無線マルチホップネットワークは端末の移動によりトポロジーが頻繁に変化するため、各端末間のリンクが不安定となる。このため、位置依存情報が更新された際に、必ずしもデータ作成者が離れたサーバに接続可能である保証がない。さらに、たとえサーバ上にデータをアップロードできたとしても、ユーザの端末がサーバに接続可能でなければ、ユーザは古いデータを持ち続けることになる。よって、位置依存情報の作成者が持つデータとサーバに存在するデータ、もしくはユーザの所有するデータとの間にデータの一貫性の問題が生じることになる。

このような問題の解消法として、端末の位置情報を用いて無線マルチホップネットワーク上でデータを分散共有する手法が従来いくつか提案されている。これらの手法は **structured** なオーバーレイを利用する手法とは異なり、**unstructured P2P** 手法であるため、無線マルチホップネットワーク上に容易に実装が可能である。したがって、これらの従来手法を用いることにより、最適手法ではないと雖も、位置依存情報をユーザ間で共有することが可能になると考えられる。しかし、従来手法はトラフィック負荷やメモリ消費量などのオーバーヘッドを考慮した場合、必ずしも効率が良いものではない。また、手法によっては位置依存情報が頻繁に更新される場合、複数の端末が保有するデータの一貫性が保証できないものもある。

本論文では、位置依存情報が頻繁に更新される環境でも適用可能な、無線マルチホップネットワーク上で動作する新しい位置依存情報分散化手法を提案する。我々の手法では、まず位置依存情報を、その配信源の近くの領域に存在する端末のみに配置する。これにより、データ作成者のアップロー

ドのコスト削減と、データの一貫性維持を図る。そして、高いデータ発見率を実現するため、データの配信源から離れた領域に存在する端末には、ユーザのクエリをデータ配置領域まで転送するためのルーティングテーブルを作成する。ここで述べるルーティングテーブルとは、アプリケーションレイヤにおいてクエリを転送するために、クエリの転送先を記述しているテーブルを指す。ルーティングテーブル内に格納された各エンタリには、クエリがマッチするかどうかの指標と、その指標にマッチした場合の転送先領域情報が記されている。エンタリに記述された目的地までは、GPSRを用いてクエリは転送される。GPSRは、無線マルチホップネットワーク上で動作する位置情報ルーティングのひとつである。ユーザの作成したクエリは、POIに関する情報を持つ端末までルーティングテーブルにより適切に転送されるため、ユーザの欲するデータを発見することができる。したがって、ユーザ間で位置依存情報の分散共有が可能になる。

ルーティングテーブル内に格納する、クエリのマッチングに利用するための指標として、本論文では位置依存情報から生成されるハッシュ値を用いる手法、および、位置依存情報から抽出可能な階層的なデータ構造を用いる手法の二つを提案する。

本手法ではルーティングテーブルを用いるため、その配置やメンテナンスのためには、制御パケットによるネットワークへのトラフィック負荷の増大や、テーブルを保持するための端末のメモリ消費のオーバーヘッドの問題が生じる。しかし、本手法ではPOIの位置情報から作成したR-Treeの構造に沿ってルーティングテーブルを集約的に配置することにより、この問題を解消する。R-Treeの上位層の領域、つまり、POIから遠い位置に存在する端末にはアブストラクたなマッチング指標を持つエンタリを配置し、下位層の領域、つまり、POIに近い位置に存在する端末にはより具体的なマッチング指標を持つものを配置する。R-Treeの上位層ほど、その領域にはより多くの端末が存在することになるが、それらの端末のもつルーティングテーブルのエンタリはアブストラクたであるため、保持すべき情報量が少なく、ルーティングテーブルの情報交換や維持のためのオーバーヘッドは非常にわずかなものとなる。また、ルーティングテーブルの情報の交換に関しては、各端末の位置が大きく変化した場合のみ行われるため、メンテナンスのためのトラフィックも頻繁に発生しない。

本手法を評価するため、ネットワークシミュレータを作成し、クエリのマッチング指標に関して位置依存情報のハッシュ値を用いたもの、データ構造を用いたもの、および実際のKMLデータを用いたものそれぞれに関してシミュレーションを行った。その結果、我々の手法は従来手法と比較して、位置依存情報の一貫性を保ちつつも、低トラフィック量、低メモリ消費量でユーザのPOIに距離的に近いデータを高い確率で発見可能であることが確認された。したがって、本論文の提案手法の有効性が示された。