

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 24 年 6 月 1 日現在

機関番号：12401

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2009 ～ 2011

課題番号：21500093

研究課題名（和文） 近未来予測に基づく移動体の連続モニタリング

研究課題名（英文） Continuous Monitoring of Moving Objects Based on Near-future Position Prediction

研究代表者 大沢 裕 (OHSAWA YUTAKA)

埼玉大学・大学院理工学研究科・教授

研究者番号：50152111

研究成果の概要（和文）：車などの移動体の動きを実時間で精度高く取得し、その移動体に対して、位置に関連する情報サービスを提供する為に重要となる要素技術に関して研究を行った。前者のモニタリングの為に、移動体の過去の移動履歴を用いて近未来位置を予測する方法を考案した。後者に対しては、ユークリッド距離での検索を行い、その結果を道路網上の距離で検証する方式について研究した。

研究成果の概要（英文）：

In this research projects, a real-time monitoring method of moving objects and essential query methods for location based services are studied. For the former topics, we proposed a near future moving object's position prediction method based on historical path of the moving object. For the latter topics, we developed several efficient algorithms suitable LBS based on road network distance.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	1,700,000	510,000	2,210,000
2010年度	1,000,000	300,000	1,300,000
2011年度	600,000	180,000	780,000
年度			
年度			
総計	3,300,000	990,000	4,290,000

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：情報学・メディア情報学・データベース

キーワード：モバイルシステム、地理情報システム、ITS、LBS

1. 研究開始当初の背景

本研究は、連続モニタリングシステムの構成法、道路網上のPOIの各種検索法、位置曖昧性、時空間データマイニング、LBSで必要となる空間演算の効率化、などの要素からなる。まずこれらの内、研究の中心となる時空間オブジェクトの管理、検索に関する研究動向について述べる。

一般に時空間データの管理・検索に関する研究は1990年代から行われている。しかし、初期の研究は移動体が空間を自由に移動できるものとして行われてきた。一方、LBSの観点からは、車などの移動体はユークリッド空間を自由に移動できるわけではなく、道路網に沿った移動に限定される。また、そこで用いられる距離の尺度も道路網上を移動す

る距離が重要となる。

2003年にPapadias等(2003)はLBSにおける利用を想定して道路ネットワーク上での距離に基づいた、最近点検索(k-NN)、範囲検索、最近接ペア、距離Joinの各アルゴリズムを提案している。この研究は、現在のLBSのためのデータ管理検索方式に関するエポックメイキングな研究となっている。

時間経過に伴い位置が移動するオブジェクトの管理を対象とした時空間データ管理構造は、Frentzos(2003)による提案が最初と思われる。その後、多くの改良方式が提案されているがそれらのほとんどは過去から現在までのデータを記録するものであり、本研究で必要となる未来位置予測には適用できない。

一方、時空間データマイニングの研究は野生動物の移動(migration)や車の渋滞などに焦点が当てられ研究されてきたが、ほとんどが生の動きを扱うものであった。これに対して、ごく最近になりAlvares等(2007)やSpaccapietra等(2008)は移動のセマンティクスに注目するデータマイニング法の必要性を主張している。本研究でも、移動体がとどまった場所やその時間など、抽象度を上げたデータを対象としたマイニングの為のデータ取得を対象とする。

2. 研究の目的

環境問題や省資源化、及び近年の石油価格高騰などの観点から、物流や人の輸送の効率化が求められている。また、快適な生活の観点からも車移動時における情報サービスの多様化、高度化が求められている。これに呼応する形で、地図上の位置に関連したサービス(LBS: location-based service)が実用化している。カーナビは我が国が世界に先駆けて開発・実用化したシステムであり、また携帯電話によるマンナビもその利便性から利用が進んでおり、バリアフリーなどへの適用も注目されている。

道路の渋滞情報の捕捉のためには、VICSが実用化している。しかし、設置路線に限られ、また動的な情報取得に限界があることから、プローブカー(タクシーなどを使い実際の移動時間を測定)の実証実験が進められている。しかし、多数のプローブカーを対象として、各車からの情報を無線通信で取得し、移動軌跡の解析を行う処理に時間を要することから、スケーラビリティが上がらないという問題を抱えている。

広くタクシーや宅配、パトカーなどの緊急車両、ロジスティックなどの分野では支配下にある車の位置をセンターで把握することが求められる。これらの応用では、経路地や目的地が予めわかっていることが多い。従って、もし移動体とセンターの双方が(予測)経

路を共有し、その経路から外れた場合にのみ、その情報を伝達する(併せて双方で経路を修正する)ことにより、移動体が時々刻々と変える位置・経路を通信負担少なくセンター側で捕捉することができる。これにより、先に述べたスケーラビリティ向上の問題は軽減されるものと考えられる。

この課題は、最近研究が活発化しつつある移動体の連続モニタリング(continuous monitoring)の研究を進めたものである。この研究分野はまだ黎明期(最初の論文は2006年)にあるが、そこでは現在時間を対象として、最近接のオブジェクトや、ある範囲に含まれるオブジェクトの検索に主眼が置かれている。またスケーラビリティの観点からも課題がある。本研究では、移動体とセンターが「よく採られるルート」などの経路を共有することにより、近未来の位置関係を予測することを可能としている。それにより、サーバ側では新たな端末への指示や端末側に有益なPOI情報(レストランやガソリンスタンドなどの位置情報)などをタイムリーに、または近未来位置を予測して配信することができる。更に、このようにしてサーバ側で得られた移動体の経路や速度・停止位置・停止時間などの情報を時空間データベースに蓄積できる。そして、この情報は経路の分析やデータマイニングに活用できる。

3. 研究の方法

本研究は、移動体の実時間モニタリング方式に関する研究と、移動体への位置に関連した情報サービスを提供する研究の2つのサブテーマに分けられる。以下に、各々のサブテーマに分けて、研究方法を述べる。

(1) 移動体の実時間モニタリング方式

移動体とセンター間の通信量を低く抑えて、かつ精度高く移動体位置をセンター側で捕捉する為には、センター側が移動体の現在位置を的確に予測することが重要である。この予測の為に、本研究では移動体毎の過去の移動履歴を用いる。個々の移動履歴は、移動体が保有すると共に、センター側でも個々の移動体毎に共有するモデルを提案した。

センター側では、移動体の移動が開始されると、その移動体の過去の移動履歴を参照して、経路を予測する。移動体側でも、センター側と同一の予測アルゴリズムを用いて、自己の近未来の位置を予測する。また、移動体は常にGPSにより現在位置を知り、予測位置と実際の位置とのずれをモニタリングしている。

道路の混雑状況により、予測位置と実際の位置とのずれが予め定められた閾値を超えたとき、移動体はセンターにその情報を伝える。センター側では移動体からの情報をもと

に移動体の現在位置を修正する。

移動履歴には分岐や合流が含まれる。予測アルゴリズムは、過去の利用頻度が最も高いルート上を移動することを仮定するが、過去の移動で頻度が低い道路に進入した場合には、移動体はその情報をセンターに伝える。センター側ではそのお情報をもとに、現在移動体が走行している道路を切り替える。

上の例では、移動体が過去の移動履歴の経路上を移動する場合であるが、過去の移動履歴にない道路を進行する場合には、現在の道路を道なりに同じスピードで移動するものと仮定するデッド・レコニングにより移動体位置を予測する。この際にも、移動体は現在位置と予測位置のずれが許容誤差を超えたとき、現在位置をセンターに伝え、共に現在位置を修正する。

以上で提案方式の基本的な考え方を述べた。本研究では、移動体側が、GPS受信機により常に現在位置を知ることができる機能、センターと通信ができる機能、現在位置を予測できる程度の簡単な演算機能を想定している。更に、移動体側が道路地図と過去の移動履歴を保有する場合（リッチクライアントモデル）と、道路地図も過去の移動履歴も保有せず、センター側が必要部分を移動体に送出する場合（シンクライアントモデル）について検討した。

リッチクライアントモデルでは、通信は移動体側で現在位置と予測位置の間のずれが許容誤差を超えたとき、移動体側からセンター側への通信のみが発生する。一方、シンクライアントモデルでは、移動開始時や位置にずれが生じた場合に、道路地図や過去の移動履歴を移動体側に送出する必要があり、センター側から移動体側への通信が発生する。

性能評価実験は、研究代表者が車で移動した履歴を6ヶ月間蓄積したものをを用いた。各自動車会社等では、渋滞状況を把握するため、膨大な量の車の移動履歴を保有しているが、それらはプライバシーに関わるデータであり、提供は受けられない為である。

(2) 移動体へのLBS提供に関する研究

前節で述べた方式などにより、移動体（車）の現在位置を捕捉することができると、個々の車に対して、それぞれの位置に関連した情報サービス（LBS）を提供することが可能になる。車は当然道路網に沿って移動しているため、LBSの提供に際しても道路を移動した場合の距離に応じた情報提供が求められる。

LBSの研究は2000年代に入り活発に行われている反面、道路網上の移動を想定した研究はあまり多くないのが現状である。この理由として、ユークリッド空間中での距離を求める演算は単純であるが、道路網上での移動距離を算出する際には、大きな演算コストを要

し、更に単純には2点間の距離の2乗に比例する処理時間を要する為である。

そこで、本研究では道路網距離に応じたLBS提供の為の基本アルゴリズムと、LBSで必要となる演算の効率化を検討した。

現在位置(s)が与えられ、sに最も近い施設（例えばレストラン、コンビニなど）を探す演算はkNN検索と呼ばれる。道路網距離でkNN検索を行う枠組みとして、従来ユークリッド距離で候補を検索し、それらを道路網距離で検証する枠組み、IER(incremental Euclidean restriction)が提案されている。本研究では、この検証アルゴリズムとして複数の目的地に対して同時に探索を進めるアルゴリズムSSMTA*(single-source multi-target A*)アルゴリズムを提案した。同様な目的で、Dengらが提案したLBC-KNNアルゴリズムが存在するが、この方式は各目的地毎にプライオリティーキュー(PQ)を設定し、かつ探索の基本演算であるノード展開毎にPQの内容を同期させる必要があり、その為に多大な処理時間を要していた。一方、SSMTA*アルゴリズムではPQは全体で1つしか必要なく、従ってLBC-KNNに比して検索が高速に行えるという特徴を有している。

次に、このSSMTA*アルゴリズムをANN(aggregate nearest neighbor)検索に適用した。kNN検索と同様にIERの枠組みで、まずユークリッド距離での候補を探し、それをSSMTA*アルゴリズムにより高速に検証する方式である。ANN検索をユークリッド距離で行うアルゴリズムは効率のよいものが従来提案されている。従って、本研究では道路網距離での検証を高速に実行し得る方式に焦点を当てた。

本研究では、この検証方式を複数比較し、各検索点から候補点に対してSSMTA*アルゴリズムを適用する方式が高速処理を行えることを実証した。

4. 研究成果

移動体の時空間モニタリングに関する研究では、個々の移動体の移動履歴を蓄積し、それを分析することにより得られる良く通る移動軌跡をもとに、各移動体の近未来位置を予測する方式を確立した。モニタリングに際して、個々の移動体が備える設備のレベルに応じて、リッチクライアントと、シンクライアントの2つのモデルについて検討した。

実際の車の移動軌跡を約6カ月間にわたり蓄積したデータを用いてシミュレーション実験を行った結果、同じ精度での位置捕捉を行う際には、従来方式に比して、1/5~1/2の通信量で済むことが分かった。

移動体へのLBS提供に関する研究では、SSMTA*アルゴリズムを提案し、その性能評価を行った。性能評価実験を通じて、同じ目的

で開発された従来方式 (LBC-KNN) に比して、大幅な処理時間短縮が図れることを実証した。また、SSMTA*アルゴリズムを ANN 検索や STP (単純な旅行計画) に適用した場合に、検索に要する処理時間を大幅に短縮可能なことを確認した。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 2 件)

(1) 藤井健児, Htoo Htoo, 大沢 裕, 境界カテゴリを設定した双方向探索による高速 OSR 探索法, 電子情報通信学会論文誌 D, 査読あり, Vol. J94-D, No. 12, pp. 2587-2596, 2010. 12

(2) 大沢 裕, 藤野和久, 前処理を必要としない道路ネットワーク上での最短寄り道経路探索アルゴリズム, 電子情報通信学会論文誌 D, 査読あり, Vol. J93-D, No. 3, pp. 203-210, 2010. 3

[学会発表] (計 20 件)

(1) Htoo Htoo, Yutaka Ohsawa, Fast Algorithm for Simple Trip Planning Query, 2012 電子情報通信学会総合大会, D-4-4, 2012.3.10, 岡山大学

(2) Aung Si Thu, Htoo Htoo, Yutaka Ohsawa, ANN Query Method Based on Road Network Distance, 2012 電子情報通信学会総合大会, D-4-5, 2012.3.10, 岡山大学

(3) トウトウ, 大沢 裕, ユークリッド距離での制約をベースとする単純な旅行計画の高速アルゴリズム, DEIM2012, D-8-1, 2012.3.4, 舞子ピラ神戸

(4) トウトウ, 大沢 裕, 道路網距離での ANN 検索方式, 電子情報通信学会 ITS 研究会資料, ITS-27, 2012-2.20, 北海道大学

(5) Htoo Htoo, Yutaka Ohsawa, Noboru Sonehara, Single-source Multi-target A* Algorithm for POI Queries on Road Network, WGIM2011, LNCS 7142, pp.51-62, 2011.9.14., 武漢大学(中国)

(6) 橋本知宣, Htoo Htoo, 大沢 裕, 曾根原登, ネットワーク Voronoi 図のマテリアライズ化に関する一考察, 第 20 回地理情報システム学会学術研究発表大会, F-3-1, 2011.10.16, 鹿児島大学

(7) 西潟耕治, Htoo Htoo, 大沢 裕, 曾根原

登, 道路網上における C-OSR 探索法, 第 20 回地理情報システム学会学術研究発表大会, D-5-2, 2011.10.16, 鹿児島大学

(8) 茂木恭兵, Aye Thida Hlaing, 大沢 裕, 曾根原登, 経路履歴を用いた車両実時間モニタリング, 第 20 回地理情報システム学会学術研究発表大会, F-5-1, 2011.10.16, 鹿児島大学

(9) Htoo Htoo, 大沢 裕, 曾根原登, 道路網上での ANN 探索法, 第 10 回情報科学技術フォーラム, D-024, 2011.9.7, 函館大学

(10) Yutaka Ohsawa, Kazuhisa Fujino, Htoo Htoo, Aye Thida Hlaing, Noboru Sonehara, Real-time Monitoring of Moving Objects Using Frequently Used Route, DASFAA2011, LNCS 6588, pp. 119-133, 2011.4.23, 香港(中国)

(11) 藤野和久, Htoo Htoo, 大沢 裕, Thin クライアントモデルにおける良く通るルートを用いたモニタリング方式, 第 19 回地理情報システム学会講演論文集, Vol.11, 3D2 2010.10.23, 立命館大学

(12) 橋本知宣, Aye Thida Hlaing, 藤野和久, 大沢 裕, 曾根原登, 道路網上での距離に基づく k-NN 経路探索, 第 19 回地理情報システム学会講演論文集, Vol.11, 2D2 2010.10.23, 立命館大学

(13) 路琳, 藤野和久, 大沢 裕, 曾根原登, 経路履歴抽出の為にオフラインマップマッチング方式, 第 19 回地理情報システム学会講演論文集, Vol.11, 3D4 2010.10.23, 立命館大学

(14) Htoo Htoo, Yutaka Ohsawa, Noboru Sonehara, Optimal Sequenced Route Query Algorithm Using Visited POI Graph, 第 19 回地理情報システム学会講演論文集, Vol.11, 1C1, 2010.10.23, 立命館大学

(15) 藤井健児, Htoo Htoo, 大沢 裕, 双方向探索による高速 OSR 探索法, 電子情報通信学会 ITS 研究会資料, ITS2010-4, pp.19-24, 2010.5.26, 横須賀 YRP

(16) 藤野和久, Htoo Htoo, 大沢 裕, 経路履歴を用いて経路予測を行う移動体の実時間モニタリング, 電子情報通信学会 ITS 研究会資料, ITS2010-5, pp.25-30, 2010.5.26, 横須賀 YRP

(17) 藤野和久, Htoo Htoo, 大沢 裕, 移動経

路の共有による移動体位置の実時間モニタリング, 第 8 回 ITS シンポジウム, 1-A-08, 2009.12.11, 広島市立大学

(18)藤井健児, 大沢 裕, ネットワークボロノイダイアグラム上での簡易旅行計画アルゴリズム, 第 18 回地理情報システム学会講演論文集, Vol.10, pp.489-492, 2009.10.15, 新潟朱鷺メッセ

(19)藤野和久, 大沢 裕, 移動経路の共有による車両位置のモニタリング, 第 18 回地理情報システム学会講演論文集, Vol.10, pp.111-114, 2009.10.15, 新潟朱鷺メッセ

(20)Kazuhisa Fujino, Ken-ichi Izumi, Yutaka Ohsawa, Real Time Monitoring of Moving Objects by Sharing Moving Resource, The 7th Asian Symposium on Geographic Information Systems from Computer Science & Engineering Viewpoint, pp.75-80, 2009.5.15, 仁川(韓国)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

大沢 裕 (OHSAWA YUTAKA)

埼玉大学・大学院理工学研究科・教授

研究者番号：5 0 1 5 2 1 1 1

(2) 研究分担者

()

研究者番号：

(3) 連携研究者

()

研究者番号：