

機関番号：12401

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2015～2017

課題番号：15K00147

研究課題名(和文) 移動体を対象としたLBSにおける連続検索アルゴリズム

研究課題名(英文) Continuous Query Algorithms for Moving Objects on LBS

研究代表者

大沢 裕 (OHSAWA, Yutaka)

埼玉大学・理工学研究科・教授

研究者番号：50152111

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,600,000円

研究成果の概要(和文)：車や人が移動しながら発行する空間的な検索を、効率よくかつ高速に実行するアルゴリズムに関して研究した。移動体が発行する検索に対して、移動体位置が変化してもその結果が変わらない領域はsafe-regionと呼ばれる。本研究の最初の課題では、固定している対象物を想定し、多様な検索に対するsafe-regionを高速に生成する方式を各種提案した。特に、単一の検索でさえも長い処理時間を要する旅行計画問題に対して、実用的な処理時間でsafe-region生成を達成した。旅行計画に対して、複数の尺度での提案検索(Skyline検索とTop-k検索)を効率よく実行するためのアルゴリズムも併せて提案した。

研究成果の概要(英文)：We have studied efficient algorithms for continuously monitoring the query result while cars and humans are moving. The region where the query result is not changed when the query point stays in the region is called the safe-region. In this study, we have proposed many fast algorithms to generate safe-regions for various types of queries. Especially, we have proposed fast safe-region generation method for trip planning queries, which requires long processing time even for a snap shot query. We also proposed fast algorithms for recommendation queries (including Top-k query and skyline query) in trip planning queries.

研究分野：時空間データベース

キーワード：位置情報サービス 連続検索 旅行計画 時空間データベース safe-region

1. 研究開始当初の背景

携帯電話などを用いて、現在位置に近いコンビニを探索し、ユーザに知らせるような情報サービスは位置情報サービス (LBS: Location Based Services) と呼ばれる。位置情報サービスに関する研究は 1990 年代から活発に行われている。これに先立つ、1980 年代には R 木を代表とする空間索引構造が各種提案された。これらの索引構造を用いて、1990 年代から 2000 年代前半までは、主としてユークリッド距離での各種検索方式が提案された。しかし、車や人などの移動体が移動できる経路は道路や公共交通網上に限られ、ユークリッド距離での検索結果は、それらのネットワーク上での移動と大きく異なる場合もある。そこで、2000 年代後半からは、より実用的な、道路網上での距離に基づく各種検索方式が提案されてきた。これらの成果は、カーナビや携帯電話を用いたマンナビなどの各種位置情報サービスに適用されている。また、それらの応用分野で得られたビックデータは、交通渋滞の把握や位置に関連した情報提供の分野に応用されている。

LBS の黎明期においては、検索要求が寄せられる度に検索を実行する形態、すなわちスナップショット検索が主流であった。現在、このようなタイプの検索に対しては既に多くの高効率な方式が提案されている。一方、LBS における検索は一人のユーザが 1 度のみ発行する場合に限らず、同じユーザが移動しつつ検索が繰り返される場合も多い。具体的には、ある移動体が、それに最も近いガソリンスタンドを探す検索 (kNN 検索) を、移動しながら繰り返すことがある。また、タクシーや配送車のフリートは互いの位置を把握することにより、効率的なアロケーションや異常事態の際の救援に役立てることができる。このように、同じ移動体が移動しながら繰り返し発する検索を連続検索と呼ぶ。

連続検索の研究は 2000 年代から行われ、特に 2010 年代に入ってから道路網距離での連続検索の方式が提案され始めている。しかしそれらの多くは各移動体に対して大量のデータを保有させる方式であったり、サーバ側における計算コストが大きいものであった。

2. 研究の目的

連続検索は、検索点と検索対象が動的なものであるか、静的なものであるかにより、3 つのタイプに大別できる。(a) 移動体から静的なオブジェクトを探す、(b) 静止した検索点から移動体を探す、(c) 移動体から移動体を探す。

本研究では、上記 3 つのタイプの連続検索を対象として、それぞれの検索形態毎に効率よい検索アルゴリズムを提案する。本研究では、各移動体をクライアントとみなしたサーバ・クライアントモデルでの実現を図る。このモデルは LBS において通常用いられるものである。

(a) と (b) の検索では、検索点 (または検索対象) の移動により検索結果が変化する。そこで、safe-region と呼ばれる領域を作成できると都合がよい。safe-region とは、移動体がこの中を移動している内は、検索結果に変化が無い範囲、即ち新しく検索結果を得ることが不要な範囲である。これを移動体が保持し、safe-region の外に出たとき、サーバに対して新たな検索結果とそれに対応する safe-region の設定を求める方式である。

本研究では kNN 検索や範囲検索などの近傍検索を対象として、同じ枠組みでこの safe-region を高速に生成可能な方式を提案する。さらに、長い計算時間を要する旅行計画路検索に対して、safe-region を高速に生成可能な方式を提案する。

一方、(c) の検索のために、移動体管理に適した空間索引構造を検討する。

3. 研究の方法

3 年間の研究期間内に実施した内容は、(1) SMPV 構造をベースとする高速検索方式、(2) 近接検索のための safe-region 高速生成方式、(3) 旅行計画の為に safe-region 高速生成方式、(4) 旅行計画における提案型検索、(5) 検索点と検索対象の双方が移動する場合の位置モニタリング方式、の各提案に分類できる。

(1) SMPV 構造をベースとする高速検索方式

本研究の準備段階で進めてきた SMPV 構造を LBS で必要になる各種検索の高速化に応用する。

(2) 近傍検索のための safe-region 高速生成方式

検索点から、指定された一定の範囲内に存在するオブジェクトを探す範囲検索や、検索点に最近接する k 個のオブジェクトを検索する kNN 検索は、LBS において最も求められる検索である。これらのオブジェクトの近接性に注目した検索を近傍検索と総称する。車などの移動体が、ある近傍検索をサーバに登録し、移動に合わせて刻々と変化する結果の変化をもれなくモニターしようとするとき、従来から safe-region 作成が提案されてきた。Safe-region とは、ある検索の結果が変わらない空間中の範囲を表すものである。移動体がある近傍検索を地点 A で行いその後地点 B に移動した後同じ近傍検索を行う場合を考える。この時、B における結果が A と同じであれば、B は A と結果集合が同じになる領域に属することになる。つまり、ある検索に対して safe-region を作成しておけば、移動体が別の場所に移動しても safe-region の中にとどまる限り、再度サーバに対する検索は不要である。一方、移動体が safe-region の外に出た時、サーバに対して新しい検索結果と safe-region を問い合わせる。

本研究では、範囲検索、集合 kNN 検索、順序 kNN 検索、逆 kNN 検索などの近傍検索に

対して、同じ枠組みで safe-region を決定するアルゴリズムを構築し、提案した。高速化のためには、研究代表者らが以前に提案した SSMTA* アルゴリズムという複数目的地への道路網距離を並行的に求めることができる最短路探索アルゴリズムを、道路網距離の動的なマテリアライズ化に適用している点にある。

(3) 旅行計画の為に safe-region 高速生成方式

現在地(c)と旅行の目的地(d)、およびcからdに至る途中で訪れるM種類のオブジェクトカテゴリーが与えられたとき、現在地からスタートし、途中で指定されたオブジェクトカテゴリーに属すオブジェクトを1つずつ選んで訪れ、最終目的地に到達するコスト最小の経路を求める問題は旅行計画問題と呼ばれる。本課題で目指すのは、移動体が現在地cにおいて最適旅行路を求めてから旅行を開始するが、途中で最適経路からそれた場合でも、再度旅行路の探索を必要としない範囲、すなわち旅行計画の safe-region を求める問題である。

旅行計画は、1回の検索でも長い演算時間を必要とする。したがって、単純な方法で safe-region を求めようとする、膨大な処理時間がかかる。この研究では、(1)でも述べた SSMTA* アルゴリズムによる道路網距離の動的マテリアライズ手法を用いることにより、実用的な時間で旅行計画の為に safe-region を求めることにある。

(4) 旅行計画における提案型検索方式の提案

評価尺度が複数存在し、かつ検索対象とするデータオブジェクトの数が膨大な時、検索者が興味を持ちそうな検索結果に絞り込むために、Skyline 検索と Top-k 検索が用いられる。LBS においては、データオブジェクトまでの距離とデータオブジェクトの評判が、よく評価尺度として用いられる。

従来の提案型検索は kNN 検索や範囲検索などの単純な検索方式に対して提案されてきた。本研究では、旅行計画問題に対して Skyline 検索および Top-k 検索を高速に実行しえるアルゴリズムを構築する。

(5) 検索点と検索対象の双方が移動する場合の位置モニタリング方式

上記、(1)から(4)が対象とした検索は、検索対象は固定している状況で検索点が移動する型の連続検索であった。一方、検索点と検索対象がともに移動する場合も多い。移動する車や人が、同じく移動する車や人を検索する場合である。

この検索は、移動している検索対象を高効率な空間索引構造で管理することができる場合、従来のスナップショット検索を適用することにより効率よく検索することができる。一方、検索対象が常に移動する場合には、空間索引構造の更新を頻度高く行う必要があることから、更新頻度と更新効率向上に対

する工夫が必要となる。

移動体管理のための空間索引構造としては、従来 R 木、グリッドファイル、4 分木などが用いられてきた。これらのうち、R 木は静的なデータを対象とするとき、検索性能が優れることからよく用いられている空間索引構造であるが、データ点の移動がある場合に、その都度各ノードに付与されている MBR を更新しなければならないこと、およびノードあふれの際の処理が重いことから動的な対象の管理には長い処理時間が必要となる。グリッドファイルは、データの動きに対する処理が最も軽いため、移動体管理によく用いられてきたが、階層的な構造を持たないため、データ分布に粗密がある場合に弱く、また k NN 検索などに不向きである(処理時間が長い)。最後に、4 分木はそれらの中間的な性質を持つ、データの動きに対する管理性能の低下が R 木より少なく、また階層的な構造を持つため、kNN 検索を効率よく実行できる。

本研究では、移動体をクライアントとみなし、サーバ計算機が多数の移動体の位置を管理し、クライアントからの検索要求に応える、クライアントサーバモデルを考える。各移動体はシステムへの登録時に現在位置をサーバに伝える。クライアントは、自己の現在位置を常に監視し、前回の位置報告からあらかじめ定められた許容誤差 d を超えて移動したとき、新しい位置をサーバに伝える。すなわち、サーバは誤差 d の基に全ての移動体位置を把握していることになる。

移動体から検索要求が出された場合、サーバはその検索に影響を及ぼす範囲を算定し、その範囲内に存在するすべての移動体に対して現在位置の報告を求める。その報告された位置を基に正確な検索結果を求め、クライアントに知らせる。

4. 研究成果

(1) SMPV 構造をベースとする高速検索方式：学会発表

近傍検索の内でも、長い処理時間を要する RkNN 検索を対象として、通常の隣接リストを用いた道路網距離計算方式(従来方式)と、SMPV を用いた方式(提案方式)とを実験により比較した結果、提案方式は従来方式に比して 2 桁以上の高速化が達成できた。

(2) 近傍検索のための safe-region 高速生成方式：雑誌論文、学会発表

近接検索として、集合 k NN、順序 k NN、逆 k NN、および範囲検索に対する safe-region を求める統一的な枠組みを提案した。ライバルオブジェクトから、safe-region 内の点までの距離を SSMTA* アルゴリズムを用いた動的マテリアライズ化方式(提案方式)と従来方式とを比較した結果、1 桁から 2 桁の処理時間短縮を達成した。

(3) 旅行計画路検索のための safe-region 生成方式：雑誌論文、学会発表

旅行計画はスナップショット検索におい

でも膨大な処理時間を要する検索である。従って、本研究は旅行計画問題における safe-region を求める最初の提案である。本研究では、ユークリッド距離での検索により、積極的にライバルオブジェクトを求める方式 (PRA) と、2NN 検索を行うことにより消極的にライバルオブジェクトを求める方式 (TRA) を提案した。実験により処理時間を比較したところ、TRA 方式は PRA に比して大幅に高速であり、実用的な処理時間で safe-region を作成可能であることが示された。一方、TRA は必ずしもすべてのライバルオブジェクトを探ることができるわけではないことから safe-region のサイズが実際より拡大する傾向にある。しかし、そのサイズ拡大は数パーセント以下であり、実用上問題ない範囲内であることが示せた。

(4) 旅行計画における推薦検索：学会発表

旅行計画における推薦検索として Top-k 検索と Skyline 検索を対象とした。推薦の尺度としては、旅行計画路の長さ、途中で訪れる各カテゴリーに属す POI の評判 (の合計) の 2 つを採用した。推薦検索も、膨大な候補を対象としてそれらの Skyline や Top-k のみ経路を選び出す必要があるため、処理時間の短縮が必要となる。

本研究では、研究代表者らが以前に提案した、ユークリッド距離での旅行計画路を距離が短い順にインクリメンタルに求めることができるアルゴリズムを適用することにより、高速な Top-k および Skyline 検索を達成している。

(5) 移動体を対象とした連続検索：学会発表

移動体管理のモデルを提案し、実際に移動体位置を管理するための 3 つの方式、R 木、4 分木、グリッドファイルを管理性能と検索性能のから比較した。結果として、4 分木が両性能でバランスが良いことを実験的に示した。

5 . 主な発表論文等

(研究代表者、究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計 2 件)

Tin Nilar Win, Htoo Htoo, Yutaka Ohsawa, Safe-region Generation Method for Versatile Continuous Vicinity Queries in the Road Network Distance, IEICE Transactions, 査読有, Vol.101-A, No.2, pp.472-480, 2018
10.1487/transfun.E101.A.472
Yutaka Ohsawa, Htoo Htoo, Tin Nilar Win, Safe-region Generation Methods for Continuous Trip Route Planning Queries, Informatica Lith. Acad. Sci., 査読有, Vol.28, No.1, pp.131-154, <http://dx/doi.org/10.>

15388/Informatica.2017.XX

〔学会発表〕(計 19 件)

Htoo Htoo, Yutaka Ohsawa, Skyline Trip Planning Queries, ICCA2018, 2018.02.22-02.23, Yangon, Myanmar
Yutaka Ohsawa, Htoo Htoo, Tin Nilar Win, Top-k Sequenced Route Queries, MDM 2017, 2017.05.29-06.01, Daejeon, Korea
渡部 拓也, Htoo Htoo, 大沢 裕, 移動体の連続モニタリングのための空間索引構造及び近接検索方式、移動体の連続モニタリングのための空間索引構造及び近接検索方式、第 16 回情報科学技術フォーラム予稿集第, D-011、2016.09.07 - 09.09, 富山市
Yutaka Ohsawa, Htoo Htoo, Tin Nilar Win, Continuous Trip Route Planning Queries, ADBIS2016, 2016.08.28-08.31, Prague, Czech Republic
Yutaka Ohsawa, Htoo Htoo, Versatile Safe-Region Generation Method for Continuous Monitoring of Moving Objects in the Road Network Distance, MOI2016, 2016.04.16-04.19, Dallas, USA
Yutaka Ohsawa, Htoo Htoo, Myint Myint Sein, Generalized Vicinity Query Algorithm in Road Network Distance, ICCA2016, 2016.02.25, Yangon, Myanmar
Yutaka Ohsawa, Htoo Htoo, Naw Jacklin Nyunt, Myint Myint Sein, Generalized Bichromatic Vicinity Query Algorithm in Road Network Distance, ADBIS2015, 2015.09.09-09.11, Poitiers, France
Tin Nilar Win, Htoo Htoo, Yutaka Ohsawa, Bichromatic Reverse kNN Query Algorithm on Road Network Distance, WAIM2015, 2015.06.08-06.10, Qindai, China

〔図書〕(計 1 件)

小林貴訓、Htoo Htoo、大沢 裕、オブジェクト指向言語 Java、コロナ社、2016、221 ページ

〔その他〕

ホームページ等

<http://www.mm.ics.saitama-u.ac.jp>

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：50152111

(2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者

なし