

氏名	TIN NILAR WIN
博士の専攻分野の名称	博士（工学）
学位記号番号	博理工甲第1102号
学位授与年月日	平成30年9月21日
学位授与の条件	学位規則第4条第1項該当
学位論文題目	Efficient Algorithms for Spatial Queries over Static and Mobile Objects on Road Networks (道路網上の静的及び動的オブジェクトに対する空間検索の為に高効率アルゴリズム)
論文審査委員	委員長 教授 大澤 裕 委員 教授 島村 徹也 委員 教授 内田 淳史 委員 准教授 小室 孝 委員 准教授 小林 貴訓

論文の内容の要旨

We studied various spatial queries with static objects called static (snapshot) query and moving objects called continuous query with road network distances. For the static query type, we studied reverse k nearest neighbor query. We studied two types of continuous queries: continuous vicinity queries and continuous trip route planning query. There are two main approaches to process spatial queries on road network: 1) pre-computation and 2) on-the-fly approaches. In this thesis, we studied above spatial queries using these two approaches.

Reverse k Nearest Neighbor Queries

To process the spatial queries on the road network, the cost of distance computation is the main challenges. For snapshot Rk NN queries, we proposed a new pre-computation approach using pre-computed distance data to process efficiently and reduce the query processing time. Our studies covered to solve two types of Rk NN query called monochromatic Rk NN and bichromatic Rk NN queries. We adopted incremental Euclidean restriction (IER) method which retrieves k NN objects effectively. We utilized the simple materialized path view (SMPV) index structure. In SMPV, the road network is partitioned into multiple subgraphs. For each subgraph, we constructed two types of distance tables: Inner to border node distance table (*IBDT*) and border to border node distance table (*BBDT*) to get the network distance value between nodes. Using IER strategy supports to enhance the performance especially when the distribution of the data points is sparse, and k (the number of NNs) is large. According to the experimental outcomes, the processing time of our proposed algorithm was stable in both sparse and dense distribution of objects of interest on road networks.

Continuous Vicinity Queries

We extended our knowledge to continuous spatial queries. To process spatial query continuously, the problems of when to update a query object location and how to provide the correctness query result with less processing cost are the major concerns. For continuous queries, we use on-the-fly approach suitable to process dynamically with moving object (MO) on a road network. To provide up-to-date query result upon the current location of MO without an excessive workload, we used the region-based approach called safe-region (SR) to process various vicinity queries. The SR is constructed around the current position of MO by expanding the network nodes and segments. SR guarantees the query result of query object $QR(q)$ remains the same inside SR. Except the objects of interest from QR, the other objects are assumed as rival objects (RO). SR is generated by gradually expanding the road network node (n) until the $QR(n)$ is the same as $QR(q)$. When the $QR(n)$ is not same as $QR(q)$, the border point of the SR will exist on that segment and we check whether the whole expanded segment is included in SR or not. We find the border point of SR that satisfies this inequality $d_N(x, QR_q) = d_N(x, RO_n)$. Using the above procedures, we can generate the SR for vicinity queries by adding the necessary parameters according to the type of vicinity query.

According to the experimental results, our approach consumes less processing time compared with the existing approach. While the density of the objects of interest increased, the processing time of all k NN queries became short because the search area on the road network became small. We evaluated the size of the SR according to the number of candidates inside SR. The size of the SR depended on the requested query type and the distribution of the objects of interest on the road network. When the objects of interest were sparsely distributed around the vicinity of the query point, the size of the SR became large.

Continuous Trip Route Planning Query (CTRPO)

TRP query is more complex and requires large processing time even though it processes with static query objects. We aim to process TRP query on road networks with MO continuously with less processing time. As we observed that the efficiency of safe-region approach for continuous spatial queries in above, we investigated safe-region generation method for continuous trip route planning query (CTRPO) with MO visiting multiple data categories as the first attempt for road networks. CTRPO retrieves the minimum cost route while visiting multiple data categories during the trip from the start to destination. The SR will be generated for the first data object (p_1) of the current visiting category. The safe-region is generated by expanding the nodes and segments from p_1 . We proposed two safe-region generation approaches: 1) preceding rival addition (PRA) and 2) tardy rival addition (TRA). To generate the safe-region, the rival objects (RO) that support to designate the size of the SR are necessary. As we studied, if we can define the minimal rival objects in advance, the size of the SR is able to reduce, consequently, we can reduce the SR generation time.

According to the experimental outcomes, our proposed approaches improved over existing approach by reducing the query and SR generation time. Among our approaches, although PRA requires moderate processing time, it provides accurate and small size SR. TRA is speedy SR generation approach and provides approximate SR. The size of SR of TRA is slightly (3% to 7%) larger than the PRA due to insufficient number rival objects inside SR.

In a nutshell, for efficient query processing (in snapshot and continuous processing) in spatial networks, we proposed various spatial queries algorithms using our proposed methodologies. The experimental results approved that our methods consume less query processing time which is suitable for several location-aware applications which provide the accurate results.

論文の審査結果の要旨

学位論文審査会は、平成 30 年 8 月 2 日に論文発表会を開催し、論文内容の発表に続いて詳細な質疑と論文内容の審査を行った。以下に審査結果を要約する。

本論文の内容は、位置情報サービス (LBS) において必要となる各種空間検索を短い応答時間で実行し得る高効率アルゴリズムを創案、評価し、提案したものである。

第 1 章は導入章であり、本研究で扱う検索方式についてまとめ、研究目的が書かれている。また、論文全体の概要について述べ、本研究で得られた知見がまとめられている。

第 2 章では関連研究がまとめられている。本研究に関連する分野を、(1) 空間データベースにおける索引構造、(2) 道路網距離の計算方式、(3) 静的空間検索、(4) 連続空間検索、に分類し、それぞれの分類に関連した研究成果をまとめている。

第 3 章では道路網上の距離に基づく高速な逆 k NN (RkNN) 検索方式を提案している。RkNN 検索は利用目的に応じて単色 RkNN と 2 色 RkNN に分類できる。単色 RkNN とは 1 つのデータ集合を対象として、集合中の各要素について、その要素を NN (nearest neighbor: 再近傍) とする他の要素の集合を求める検索である。例えば、ある車両のフリートにおいて故障が発生したとき、最も近くを通過しているフリート内の車両に助けを求めたい。このような場合の検索において単色 RkNN 検索が必要となる。また、2 色 RkNN 検索は、サービスを提供する集合 (S) とサービスを消費する集合 (C) があつたとき、S の各要素を NN とする C の要素を求める検索である。従来、いずれの検索においても多大な処理時間を要していた。本研究では、単純化された道路網距離のマテリアライズ化方式というものをを用いることにより、各種 RkNN 検索の高速化方式を提案している。道路網距離のマテリアライズ化とは、道路網上のあらゆる 2 点間の距離を前もって計算しそれを距離表として蓄積しておき、2 点間の距離が必要になる場合は、その距離表を参照することにより高速に求める方式である。しかし、この方式では距離表の保存に膨大なデータ量を要する。提案方式で用いられている単純化された距離表はこのデータ量を大幅に圧縮したものである。

第 4 章では、様々な連続近傍検索の為の safe-region 高速生成方式を提案している。まず近傍検索とは、検索点に近接する範囲を対象とした検索であり、順序 k NN 検索、集合 k NN 検索、範囲検索、逆 k NN 検索がその代表的な検索方式である。次に safe-region とは、1 度検索処理により求められた結果が変わらない道路網上の範囲である。すなわち、車で移動しながらある検索を実行し結果を得た時、その車が safe-region 内に居る内は再度同じ検索を繰り返しても同じ結果が得られることになる。即ち、ある検索を実行したとき、その検索の直接の結果に加えて、safe-region を求めておくと、検索点が移動しても不必要に同じ検索を繰り返す必要が無く、検索結果の正しさが保たれるという性質がある。Safe-region 自体は 10 年程度前に提案された概念であるが、道路網地図上でそれを正確に求めるためには多大な処理時間を要していた。本研究では、SSMTA* アルゴリズムという一種の動的道路網距離のマテリアライズ化方式を改良して safe-region 作成に適用することにより、従来方式に比して 1 桁から 2 桁の計算時間の短縮を図っている。

第 5 章では、連続旅行計画路のための safe-region 作成方式を提案している。旅行計画路検索には複数のバリエーションがあるが、ここでは M 種類のカテゴリー (例えば、コンビニ、レストラン、ガソリンスタンドなど) との訪問順序、及び現在地と旅行の終点が指定され、現在地から最終目的地に至るまでの間に M 種類のカテゴリーそれぞれについて地図上から 1 つずつオブジェクトを選んで訪問する際の最短ルートを求める検索である。この検索は、 M の数が大きい場合には 1 回検索を行う場合にも多大な計算時間を要する。一方、最初に条件を指定して最適ルートを求め、そのルートに従って旅行を開始したとしても、途中で右左

折の見逃しや工事中などの為、ルートをそれる場合がある。その際に最適ルートに合わせて safe-region を求めておけば、その外に出ない限り現在の最適ルートも最初に求めたルートに一致することになる。従って、旅行計画路検索においても safe-region 生成は重要な役割を果たすが、問題は safe-region を求めるための処理時間が膨大であり、実用的ではないことにあった。本研究では、safe-region の形を決定するオブジェクト(ライバルオブジェクト)を(1)積極的に求める方式(PRA)と(2)消極的にライバルオブジェクトを探索する方式(TRA)を提案している。PRAは正確な safe-region を求めることができる。また、第4章と同様に SSMTA* アルゴリズムを改良した道路網距離の動的マテリアライズ化方式を適用することにより処理の大幅高速化を図っている。一方、PRA方式は正確な safe-region の形が得られない場合がある。これは必要十分なライバルオブジェクトが求まらないため、safe-region のサイズは少し膨張する。一方利点として、TRAは非常に高速に旅行計画路に対する safe-region を求めることができる。性能比較実験は、従来の静的な旅行計画路検索を繰り返すことにより safe-region を求める基本方式と、PRA,TRA を比較している。正確な safe-region の大きさと TRA で求めたそれとを比較すると、TRA方式の safe-region が数パーセント程度サイズが大きくなることがわかる。一方、TRAの処理速度はPRAの10倍から100倍高速である。一般に、safe-region の形が数パーセント程度大きくなることの実用上の問題は少ないと考えられることから、TRA方式が有効であるといえる。

第6章では本論文全体を総括し、今後の研究の課題について提案している。

以上、本論文では、移動体から発せられる位置情報サービスの要求に対して、特定の検索に対する結果及びそれに対応する safe-region を高速に生成する方式を提案したものである。特に第4章で扱っている各種近傍検索に対する safe-region 作成は、従来範囲検索系と kNN 系とで別々に提案されてきたアルゴリズムを統一された枠組みで扱えるという特徴を有している。また、高速化のために提案している動的な道路網距離のマテリアライズ方式も独創的である。更に、第5章で扱っている旅行計画の為の safe-region 作成方式は、基本的に膨大な処理時間を要することから実現があきらめられていた分野であるが、実用的には訪問するカテゴリーの種類が3から5種類程度のことが多いことに着目し、その範囲で実用可能な方式を2種類提案した。特に TRA方式は高速である。一方、この方式で作成される safe-region は数パーセント実際のサイズより大きくなる傾向があるが、多くの実用において問題のない範囲内と考えられる。

本論文の主な内容は、査読付き学術雑誌論文4編(数理電子情報コースにおいて学術雑誌論文相当とみなす査読付き国際会議論文2編を含む)で公表されている。

以上を総合し、本学術論文審査会は、本論文が博士(工学)の学位を授与するに十分に値するものと認め「合格」と判定した。