

RNN に基づくデマンドヒートマップの連続的な更新手法 Continual Updates of Demand Heatmap Based on RNN Queries

李 セイ† 石川 佳治† 趙 セイ† 杉浦 健人†
Jing Li † Yoshiharu Ishikawa† Jing Zhao† Kento Sugiura†

1. はじめに

GPS の普及に伴い、自動車などの移動オブジェクトの位置をリアルタイムに把握することが容易になってきており、位置情報の利活用が重要なトピックになってきている。本研究では、移動オブジェクトに関する状況をモニタリングするための手法を提案する。具体的には、タクシーとそれを利用するユーザを題材として、タクシーの重要とサービスに関する状況を効果的に可視化するアプローチを示すが、一般的に他の状況にも適用可能である。

ここでは、多数のタクシーとそれを利用する多数のユーザがいる状況を考える。空間をグリッドに区切り、各セルごとに、その中にいるタクシーに対して現在どの程度の重要があるかを色付けてヒートマップ (Heat Map) の形式で提示することを考える。タクシーの重要を考えるため、ここでは逆最近傍問合せ (Reverse Nearest Neighbor query, RNN)[3, 8, 1] の概念を用いる。指定されたタクシー t に対し、それを最近傍とするユーザをすべて求めるのが逆最近傍問合せ $RNN(t)$ であり、特に bichromatic な場合と分類される [3]。そのタクシーの重要が多いほど、逆最近傍問合せの結果の件数 $|RNN(t)|$ が多くなることになる。

本研究では、RNN 問合せの考え方に基盤として、各領域におけるタクシーの重要の大小をヒートマップを用いて可視化することを考える。このようなヒートマップを RNN に基づくデマンドヒートマップ (RNN-based demand heatmap) と呼ぶ。図 1 にそのイメージを示す。個別のタクシーの状況を提示するのではなく、大まかな重要の状況を提示することが目的となる。RNN 問合せとヒートマップを組み合わせるアイデアは、[5] で提案されているが、ヒートマップの定義が重ね合わせに基づく特殊な定義となっており、必ずしも直観的なイメージとはマッチしない。

2. 研究のアイデア

本研究では、仮説に基づく RNN 問合せの考え方を提案する。これは、「仮に、タクシー Q をこの場所に配置した場合、何人のユーザが RNN 問合せの結果となるか？」というものである。図 2 にその概念を示す。ここでは、タクシー A, B, C は実在のものとする。ここで、点 Q にタクシーが存在するに仮定する。このとき、 $RNN(Q) = d$ であり、 $|RNN(Q)| = 1$ である。この考え方を発展させて、ヒートマップを定義する。

3. 逆最近傍の定義

逆最近傍は距離空間におけるクエリが最も近い点として点の集合を探す最適化問題の一種、問題はすなわち、ユークリッ

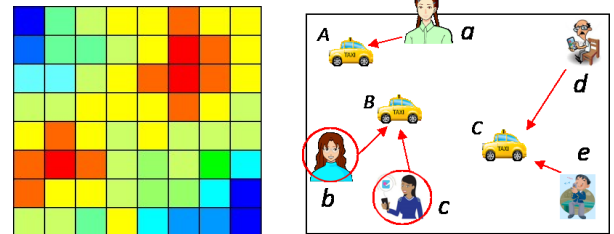


図 1: ヒートマップのイメージ 図 2: 仮説に基づく RNN 問合せ

ド空間 D における点の集合 S があり、クエリ $q \in D$ の逆最近傍は q がオブジェクト集合 S の中に q を最も近い点としての $p \in S$ の集合である。 $RNN(q)$ は以下の式 1 を満たす:

$$RNN(q) = \{p \in S \mid \forall r \in S, dist(r, p) \geq dist(q, p)\} \quad (1)$$

逆最近傍探索はクエリ点と逆最近傍集合は同じ種類に属するとき、単色逆最近傍探索 (Monochromatic-RNN) と呼ばれる。それとも二つの種類に属し、複数のオブジェクト種類で二色逆最近傍探索 (Bichromatic-RNN) に分類される。本稿では、二色逆最近傍探索に基づいて研究を行う。

4. 関連研究

文献 [2] ではユークリッド空間とインターネット空間で連続的な k -逆最近傍探索が行われる。図 3 により、各問合せ点は矩形の移動範囲で決められる。RNN は半平面法に基づいてフィルタリングと検証」の 2 つの部分に分けて計算セル。オブジェクトの移動範囲にいと、フィルタリングは有効し、再計算を行う必要がない。そして、オブジェクトが矩形領域を出たらこそデータ構造を作り直す。

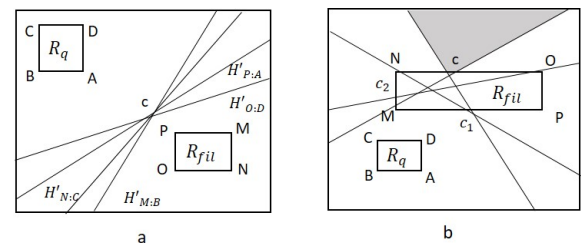


図 3: 矩形のフィルタリング

5. 提案手法

5.1. ヒートマップによる提示

本稿では、文献 [2, 4] で述べたグリッドで逆最近傍探索に基づく、セル領域の重要な度合いを表せる。同研究では安全領域

†名古屋大学大学院情報科学研究科
Grad. Sch. of Information Science, Nagoya University

(Safe Region)に基づくフィルタリング手法を行い、ユークリッド空間とネットワーク空間での更新コストを減れる。そこで、タクシーの移動範囲が矩形領域に決められ、領域以内の移動はRNNの結果に影響しない。全体的に、図4に格子点に分割されることを示す。格子点のそれぞれに対し、継続的にRNNをモニタリングする。そして、各格子点を代表としてヒートマップを構築する。

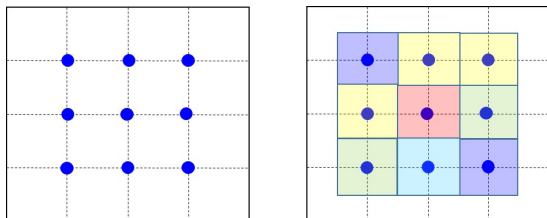


図4: 格子点を代表するヒートマップ

素朴な手順としては以下が考えられる。

1. トップダウンにグリッドで空間を分割し、各セルが含むオブジェクトと影響領域を記録する。図5の例ではノート $n=4$ であり、階数 $k=2$ で分割されている。オブジェクトが移動範囲と正確な位置情報を記録する。
2. 各格子の中心点がクエリとしてRNN集合を求める。まずグリッド階層で有効なエントリを計算し、無効な区域をフィルタリングされる。正確な位置情報を請求し、検証を行い、RNN集合をのれる。
3. RNN集合の結果の件数は重要な度合いを計算し、ヒートマップを生成する。

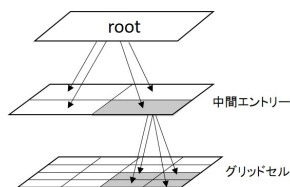


図5: グリッドデータ

5.2. ヒートマップの更新

ヒートマップにより、セルでのタクシーとユーザの大まかな配置状況を表す。そこで、タクシーとユーザの位置変更に従って、時々刻々の更新不要である。2つの更新手法を提案する。

- 周期性を考え、ヒートマップの更新間隔 (τ) を決める。 τ における時間にオブジェクトの位置更新を許させ、オブジェクトの位置更新のたびに問合せ処理を行う必要はない。代わりに周期的な更新をスケジューリングする。
- ヒートマップの離散的な色階調を考える。図1によって、ヒートマップを離散的に表現を想定すると、ヒートマップの色付き範囲内に更新不要である。例えば黄色が $10 \leq |RNN(R_q)|/|R_q| < 15$ という範囲に対応するなら、この範囲を超える可能性がある場合のみ、問合せ処理を実行する。

6. まとめと今後の課題

本稿では、RNNに基づくデマンドヒートマップの更新手法のアイデアを示した。今後はその定式化と実現手法に関する研究を進める予定である。そして、RkNN問合せへの拡張を考える。RkNN問合せは最近傍ではなく、 k 最近傍に基づいて定義した問合せ処理である [7]。今後は、道路ネットワークへの拡張を考える [6]。また道路ネットワークに対するRNN問合せに関するアプローチの調査を行う。

7. 謝辞

本研究の一部はCREST「大規模・高分解能数値システムシミュレーションの連携とデータ同化による革新的地震・津波減災ビッグデータ解析基盤の創出」、文学科学省委託事業「DIAS-P」、および科研費(25280039)による。

参考文献

- [1] M. A. Cheema, X. Lin, Y. Zhang, W. Wang, and W. Zhang. Lazy updates: An efficient technique to continuously monitoring reverse knn. *Proceedings of the VLDB Endowment*, 2(1):1138–1149, 2009.
- [2] M. A. Cheema, W. Zhang, X. Lin, Y. Zhang, and X. Li. Continuous reverse k nearest neighbors queries in euclidean space and in spatial networks. *The VLDB Journal-The International Journal on Very Large Data Bases*, 21(1):69–95, 2012.
- [3] F. Korn and S. Muthukrishnan. Influence sets based on reverse nearest neighbor queries. In *ACM Sigmod Record*, Vol. 29, pp. 201–212. ACM, 2000.
- [4] K. Mouratidis, D. Papadias, and M. Hadjieleftheriou. Conceptual partitioning: An efficient method for continuous nearest neighbor monitoring. In *Proceedings of the 2005 ACM SIGMOD international conference on Management of data*, pp. 634–645. ACM, 2005.
- [5] Y. Sun, R. Zhang, A. Y. Xue, J. Qi, and X. Du. Reverse nearest neighbor heat maps: A tool for influence exploration. In *Data Engineering (ICDE), 2016 IEEE 32nd International Conference on*, pp. 966–977. IEEE, 2016.
- [6] Q. T. Tran, D. Taniar, and M. Safar. Bichromatic reverse nearest-neighbor search in mobile systems. *IEEE Systems Journal*, 4(2):230–242, 2010.
- [7] X. Xiong, M. F. Mokbel, and W. G. Aref. Sea-cnn: Scalable processing of continuous k -nearest neighbor queries in spatio-temporal databases. In *Data Engineering, 2005. ICDE 2005. Proceedings. 21st International Conference on*, pp. 643–654. IEEE, 2005.
- [8] S. Yang, M. A. Cheema, X. Lin, and W. Wang. Reverse k nearest neighbors query processing: experiments and analysis. *Proceedings of the VLDB Endowment*, 8(5):605–616, 2015.