

無線センサネットワークにおける分散化フィルタリングの効率化に関する検討と予備実験

中村 達也[†] 中野 美由紀[‡] 喜連川 優[†]

東京大学大学院情報理工学系研究科 〒153-8505 東京都目黒区駒場 4-6-1[†]

東京大学生産技術研究所 〒153-8505 東京都目黒区駒場 4-6-1[‡]

1. はじめに

近年、様々な場所にセンサが設置され、分析や制御などに利用されている。無線通信機能を持つ情報通信端末の小型化、低コスト化が飛躍的に進み、大規模かつ高解像度のオンライン分散計測システムを構築でき、現代社会における IT 社会基盤として期待されている。無線センサネットワークから得られる大規模なデータを効率的かつ永続的に統合・管理・利用する技術が求められ、無線センサネットワーク上のデータベース技術への注目が高まっている。

しかし、無線センサノードの性能は向上してきているものの、大規模データベース等処理負荷の高い処理は、ネットワークバンド幅や電力などの物理的制限が多い。そこで、データベース処理で最も負荷が高く、頻繁に用いられる join 処理の転送コストを削減する研究が近年多く報告されている。

本報告稿では、join 処理における転送コストを削減する方法として、M Stern ら[1]の CJF(Continuous Join Filter)というフィルタリング機構を基に、各センサノードへ送付されるフィルタリング条件の管理コストを抑える手法を提案する。すなわち、環境センサを持つデータの局所性に着目し、センサを複数のグループに分け、グループごとにフィルタリング条件などを管理する分散化フィルタリング機構により、センサノードが飛躍的に増大しても、十分に機能することを示す。分散化フィルタリング機構におけるフィルタ更新処理、再送処理における WSNs 全体の転送量削減効果、グループ数の変化に伴う削減効果の特性についての評価を行う。本稿の構成は、まず第2章で分散フィルタリング機構、第3章で基本評価、最後にまとめと今後の課題を述べている。

2. 分散化フィルタリング機構

本研究では、Continuous Join Filter(以下 CJF)を基に、フィルタリング条件の分散管理処理を提案している。CJF では、環境センサ(温度、湿度など)のデータをセンサからベースステーションに連続的に送るような状況において、join 処理を効率よく行うために、データ転送範囲を指定したフィルタを各センサ上に設定することで、join に必要なデータのみを転送し、余分な転送量を削減する。フィルタの計算、更新における管理・転送コストはセンサ数が増えるにつれ急増し、大規模な WSNs では問題となる。[2]にて、センサ数が増大した場合にフィルタ条件を効率よく行うべく、ベースステーションで行っているフィルタ更新処理をセンサノード上で一部管理することで、フィルタリング管理手法の分散化手法を提案した。

提案する手法では、環境センサが持つデータの局所性に着目し、図1のように、位置情報等を考慮して、センサノードを複

数のグループに分け、グループ毎に中間ノードを設定する。各グループ内のセンサは、中間ノードにデータを転送することで、中間ノードは、グループ内のセンサデータを保持することができる。これにより、ベースステーションで処理されていたフィルタサイズの計算・更新を、各中間ノードがグループ内のセンサデータに限定することで、グループ内での処理が可能になる。そのため、フィルタ更新時における新しいフィルタ情報の転送を各グループの中間ノードがベースステーションの代わりに行うことで、転送量を削減できる。

また、CJF では join 条件を満たすセンサデータをフィルタリングした際、ベースステーションは全センサのフィルタ情報を用いて、対象となる各センサに対して、データの再送処理を行わなければならない。これに対し、本手法ではグループ内のセンサのフィルタ情報は中間ノードに保持されているため、フィルタリングされたセンサの再送の可否を、部分的に中間ノードで判断することができる。中間ノードで再送命令を転送できれば、ベースステーションから再送命令を転送する必要がなくなり、転送量を削減することができる。

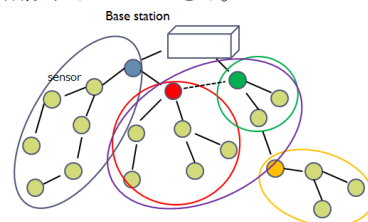


図1: 分散化におけるグループ例

3. 基本評価

分散フィルタリング機構を用いたことによるデータ転送量の削減効果について検討する。本シミュレーションでは、分散化フィルタリング機構を適用した場合のフィルタ更新処理、再送処理の転送量削減効果、及びグループ数を変化させた場合の性能評価を行う。

3.1 シミュレーション環境

3.1.1 データセット

[2]では、LUCI データセット[3]という、環境データセットを用いて、本手法の性能評価を行った。しかし、LUCI データセットはセンサ数が88個と少なく、数千個単位などの大規模センサネットワークを対象に本手法の評価をすることが難しい。そこで、実際の環境データを基にして、大規模な無線センサネットワークを仮定したデータセットを人工的に作成した。データセットの基として気象庁[4]で公開されている2011/7/1~2011/12/31の半年間の観測データを利用した。日本国内の25点において観測したデータと補間曲面を用いて、9点の周囲に各1000個ずつ、全9000個分のセンサを配置した観測データを推定し、本シミュレーションのデータセットとする。図2は、25点の物理的配置を表す。

Consideration on Efficient Large Scale Filtering of Wireless Sensor Network and its preliminary experiments

[†]Tsuya Nakamura · Graduate School of Information Science and Technology, The University of Tokyo

[‡]Miyuki Nakano, Masaru Kitsuregawa · Institute of Industrial Science, The University of Tokyo

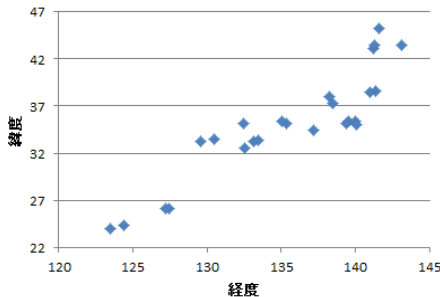


図2: 観測データの物理的配置

3.1.2 クエリと評価対象

シミュレーションにおいて、ある温度差未満の気温データを持つ地域の組み合わせを求める。これは、センサの tuple 同士を指定された温度差内で結合するクエリと等価である。

評価対象は、このクエリで問い合わせたときの転送量にしている。転送量は 1hop を 1 転送量としてカウントしている。

3.2 シミュレーション結果

分散化フィルタリング機構の性能評価、及びグループを変化させた場合の特性検証を行う。

3.2.1 分散化フィルタリングの効果結果

分散化フィルタリングを適用した実験結果を図 3 に示す。クエリには、気温差 0.01°C とし、グループ数は 9 とした。図 3 における all, CJF, CJF+group9, ideal はそれぞれ、以下の事柄を表している。

all: 全センサが常にベースステーションにセンシングデータを転送した場合の転送量

CJF: CJF を適用した場合の転送量

CJF+group9: CJF に加え、グループ 9 で分散化した結果

ideal: 問い合わせクエリを満たすセンサのみが転送を行う理想的な転送量

CJF の転送量は定義より、センサのデータ転送、フィルタの更新処理、collision が起こる際の再送処理からなる。

図 3 から、CJF により無駄な転送量が削減されていることが分かる。また、分散化によりさらに転送量が削減されている。これは、更新処理と再送処理の転送量が分散化により、削減されているためと考えられる。しかし、このデータセットでは、更新処理と再送処理の転送量が、センサのデータ転送量に比べて少ないため、大きな差は見られない結果となっている。

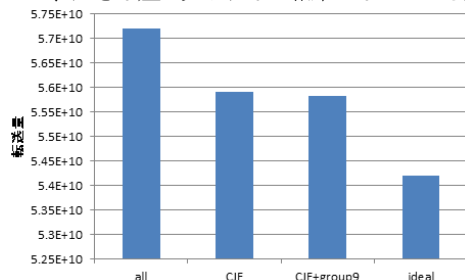


図3: 分散化フィルタリング結果

3.2.2 グループ数の変化による評価

グループ数を変化させた場合の更新処理、再送処理における結果を図 4、5 に示す。クエリは 0.01°C にし、グループ数は 1, 2, 3, 4, 7, 8, 9, 10 に変化させた。

結果から、更新処理、再送処理は共にグループ数が増えるにつれ、削減できる転送量が増えることが分かる。これは、グループが増える程、処理負荷の分散化ができていくからであると考えられる。しかし、グループ数が 4 つになってからは、削減

できる転送量が少なくなり、大きな変化は見受けられなくなった。近い値を持つセンサをグループ化できていれば、最適なグループ数でなくても、転送量を削減できると考えられる。一方で、グループ数を 10 にした場合、更新処理、再送処理は共に、転送量が増えてしまっている。これは、用いたデータセットが 9 点の周囲にセンサを配置することを仮定し作成しているため、10 個のグループで実験をすると、本来近い値を持つセンサの一部が、グループから外れてしまい、余計な転送量が必要になってしまうためと考えられる。

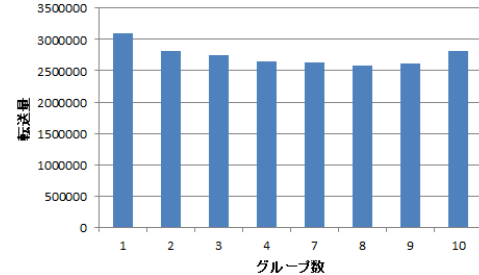


図4: 更新処理における転送量変化

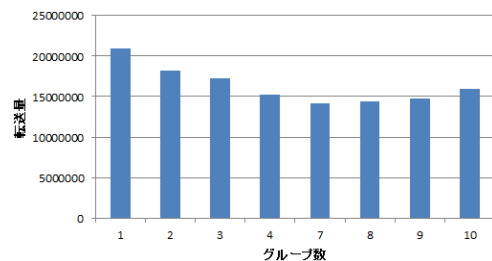


図5: 再送処理における転送量変化

4. まとめ

本研究では、CJF を基に、中間ノードを用いた分散化フィルタリング機構を提案、センサ数が増えた場合にも効果があることを示した。本手法は、ベースステーションが担う処理の一部を中間ノードでも処理を可能にすることで、更新処理、再送処理における処理の効率化を行った。そして、本手法を気象庁の観測データと補間によって作成したデータセットに適用し、更新処理、再送処理における転送量削減効果が得られることを検証した。また、同様に更新処理、再送処理を持つグループ数を変化させた場合の性能評価も行った。

今後は、センスされるデータ特性やクエリにフィルタリング効果が依存する可能性があるため、様々なデータセット、クエリに対して、分散化フィルタリング機構の挙動を調査し、提案手法の改良を図りたい。また、その特性を基に、フィルタリング機構にルーティングパス選択アルゴリズムを組み合わせることで、より効率よくデータ転送量を削減できる手法を検討したい。

参考文献

- [1]. Micro Stem, Klemens Böhm, Erik Buchmann, Processing Continuous Join Queries in Sensor Network: a Filtering Approach, SIGMOD 2010
- [2]. Tatsuya Nakamura, Miyuki Nakano, Masaru Kitsuregawa, An Preliminary Investigation of Distributed Filtering System in Wireless Sensor Networks System, IEICE Technical Report Vol.111
- [3]. <http://sensorscope.epfl.ch/index.php/EnvironmentData>
- [4]. <http://sensorscope.epfl.ch/index.php/EnvironmentData>