

センサデータ統合のための領域分割に基づくインクリメンタルな空間集約手法

Incremental Spatial Aggregation Based on Region Decomposition for Sensor Data Integration

白石 陽 安西 祐一郎[△]

Yoh SHIRAIISHI Yuichiro ANZAI

ネットワーク上の複数のデータリソースから取得した多種多様なセンサデータを効果的にユーザに提示する上で、空間補間やオーバーレイ処理などの空間集約処理は非常に有用である。本稿では、センサデータ統合のための領域分割に基づくインクリメンタルな空間集約手法を提案する。本手法は、複数のサーバから逐次的に提供されるセンサデータに対して、領域ごとに空間集約処理を行い、統合結果をインクリメンタルに表示する。具体的には、オーバーレイ処理に基づく異種のセンサデータや空間データをインクリメンタルに統合するための枠組みについて述べる。

Spatial aggregation methods such as spatial interpolation and overlay processing are effective for visualizing various kinds of sensor data provided by distributed data resources on a network. This paper proposes an incremental spatial aggregation method based on region decomposition for sensor data integration. This method incrementally aggregates sensor data provided by sensor data servers based on location information and shows the integrated results for each decomposed region. This paper concretely describes a framework to incrementally integrate different kinds of sensor data and spatial data based on overlay processing.

1. はじめに

近年、気象、天気、河川等に関するセンサデータを公開しているウェブサイトが存在し、ネットワークを介して様々なセンサデータを閲覧できる環境が整いつつある[1],[2],[3]。これらのセンサデータをユーザにわかりやすい形式で提供する上で、地理情報システムの分野における様々な空間情報処理が有用であると考えられる。例えば、空間補間[4][5]という手法は、ある地点の地理データを周辺の地理データから推論するものであるが、空間補間の手法を用いることにより、点分布として表現されるセンサデータを面的な分布を持つデータに変換することが可能となる。さらに、オーバーレイ処理という空間分析手法では、複数の空間データを重ね合わせ

て、新たな空間データの生成や属性値の計算が行われる[4]。本稿では、これらの地理的な関係性を利用してデータを加工することを“空間集約”と呼ぶ。空間集約の手法を利用することで、単なる表示レベルの重ね合わせではなく、データレベルの統合が可能となる。

しかしながら、広範囲にわたる時系列のセンサデータを、ネットワークを介して収集し、集約処理を行う場合には、クライアント側の統合処理コストやサーバ側の探索コストの増加から、ユーザに集約結果を提示するまでの応答時間が増大し、インタラクティブな閲覧システムを実現する上で問題になると考えられる。

本稿では、情報の提供順序に注目し、空間集約の途中結果をインクリメンタルに表示させるというアプローチをとる。ユーザの理解しやすい形で途中結果を提示することができれば、最終的な処理結果を待たずに、処理途中のインタラクティブな操作やデータ要求が可能になると考える。途中結果を利用するアプローチは、データベースの分野においても、いくつかの研究事例[6][7][8]が見られるが、センサデータの空間集約を行う場合には、センサデータが位置属性を持つすなわち、空間データとしての側面を考慮した枠組みが必要である。

文献[9]で著者らは、領域分割に基づくインクリメンタルなセンサデータ提供方式を提案しているが、本稿では、領域ごとに提供されるセンサデータを処理するクライアント側の統合手法について述べる。具体的には、空間補間を利用して、受信したセンサデータをメッシュデータへと変換し、その結果に対してオーバーレイ処理を適用することで、異種のセンサデータをインクリメンタルに統合する枠組みを示す。著者らは、文献[10]で、プロトタイプとなるセンサデータ閲覧システムを実装しているが、文献[11]で、データ構造やアルゴリズムの改良を行った上で、ポリゴンデータとの統合、空間補間に基づくメッシュ統合およびオーバーレイ処理のためのインクリメンタルなアルゴリズムを提案している。本稿では、異種センサデータ統合のためのインクリメンタルなオーバーレイ処理を取り上げ、その具体的な手順を示すだけでなく、オーバーレイ処理に基づく本手法が、空間データとの統合にも適用可能であることを示す。

2. 領域分割に基づくインクリメンタルな空間集約手法

2.1 システム構成

クライアントは、文献[9]で提案したセンサデータ提供システムからセンサデータを受信し、空間データサーバ[12]から空間データを取得する(図1)。

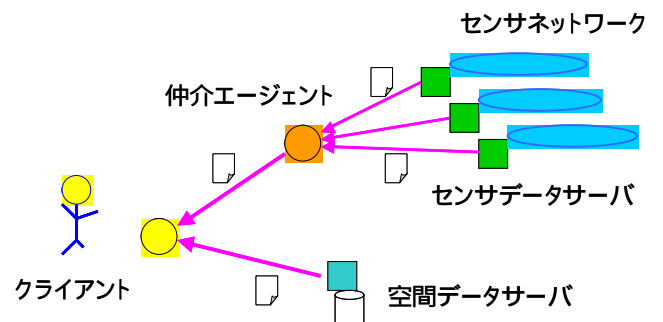


図1 システム構成

Fig.1 A Sensor Data Integration System

[△] 正会員 東京大学空間情報科学研究センター

siraisi@csis.u-tokyo.ac.jp

[△] 非会員 慶應義塾大学理工学部情報工学科

anzai@ayu.ics.keio.ac.jp

センサデータ提供システムは、センサネットワークのラッパーであるセンサデータサーバと、仲介エージェントから構成される。

クエリ (Q) のパラメータとして、問合せ領域 (A) と空間制約 (SC)、時区間 (TI)、データの種別 (DT) とデータの条件 (DC) を指定する。空間制約は問合せ領域を分割するためのパラメータであり、文献[9]では、矩形問合せ領域に対して、分割の基準点 (x_{base}, y_{base}) と各軸方向の拡大幅 (dx_+, dx_-, dy_+, dy_-) を指定する方法を実装している (図2)。各パラメータの指定によって、様々な領域分割 (領域拡大) が可能であり、本稿でも、この分割方法を採用する。

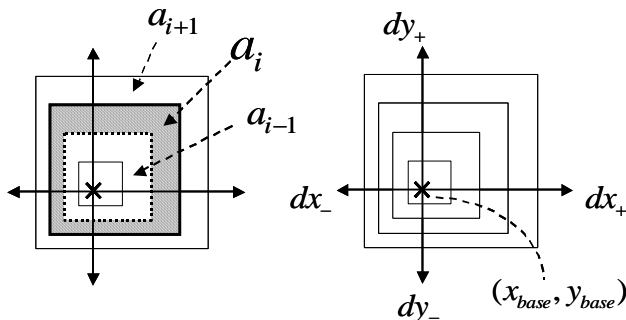


図2 問合せ領域の分割と空間制約

Fig.2 Query Region Decomposition Based on Spatial Constraints

空間制約に基づいて、問合せ領域は互いに重なり合わない領域に分割される (図2)。

$$A = a_1 \cup a_2 \cup \dots \cup a_k \quad (k \text{ は領域分割数}) \quad (1)$$

$$a_i \cap a_j = \phi \quad (i \neq j)$$

さらに、基準点に近い順に、分割された領域が順序付けられ、仲介エージェントは、この順序に従って、複数のサーバからの検索結果を領域ごとに同期させてクライアントに転送する。

2.2 オーバーレイ処理に基づくセンサデータ統合

本節では、クライアントが、オーバーレイ処理を利用してセンサデータ統合をインクリメンタルに行う手順について説明する。

1. 統合データの準備

DT に指定したセンサデータ dt_i に対するメッシュデータ ML^i と、統合結果を格納するメッシュデータ OL を作成する。この時、各メッシュデータの分割と構成要素であるセル c のサイズは同一であるとする。

2. 分割領域 a_i ごとに、次のデータ構造を作成。

$RESULT_LIST_i$: a_i に含まれる検索結果を保持

$OVERLAP_LIST_i$: a_i と重なるセル c の集合

$LAST_OVERLAP_i$: a_i のセンサデータを収集した時、集約処理を完了させられる可能性のあるセル c の集合。セル c は、 c と重なり合う分割領域の中で、基準点から最も遠い領域と関連付けられる。

3. クエリを仲介エージェントに要求。

4. 仲介エージェントから検索結果を受信。

検索結果は、 a_i から順番に受信され、対応する $RESULT_LIST_i$ に格納される。検索結果を受信するごとに、各領域 a_i に対して、の処理を繰り返す。

中間結果の計算

ML^i について、 $OVERLAP_LIST_i$ の要素から、受信したセンサデータを含むセルを探し出し、そのセルの属性として、観測データと位置情報を保持する。

集約処理の完了

$LAST_OVERLAP_i$ に含まれる ML^i の要素 $c_{i,j}^l$ について、 $cover-rect(c_{i,j}^l)$ がデータ収集を完了した領域に含まれるかどうか調べ、含まれる場合に、空間補間に基づいてセル $c_{i,j}^l$ に対する最終的な値を計算し、メッシュ統合の結果として保持する。

OL の要素 $c_{i,j}^l$ について、対応する ML^i の要素 $c_{i,j}^l$ の統合処理が完了しているかどうか調べる。比較対象である $c_{i,j}^l$ の集約処理が完了している場合に、各条件と比較し、その条件検索の結果を表示する。

空間補間の手法としては、Inverse Distance Weighted (IDW) [4], [5] を採用する。IDW に基づくメッシュ統合の手順については、文献[10][11]に示しているので、ここでは簡単に述べる。IDW では、近接点 i の値を z_i とする時、地点 x の値 $z(x)$ を式 (4) を用いて計算する。

$$z(x) = \frac{\sum_i w_i z_i}{\sum_i w_i} \quad , \quad w_i = 1/d_i^2 \quad (4)$$

w_i は、 z_i に対する重みであり、 d_i は点 x と点 i の距離である。セルの中心点に関するデータを周囲のデータで補間し、そのセルの値とすることで、IDW に基づくメッシュ統合を実現できる。本実装では、あるセル c の値を計算するために、そのセルと周辺のセルを覆う領域 $cover-rect(c)$ に含まれるセンサデータを利用する。

前述のアルゴリズムでは、センサデータの種類ごとにメッシュ統合を行い、対応するセルの値を比較することで、異種のセンサデータをインクリメンタルに統合する手順を示している。同一粒度のメッシュで表現された空間データを、空間データサーバから取得し、メッシュデータ SL として保持し、手順 で、対応する ML^i の要素 $c_{i,j}^l$ の値と比較することで、センサデータと空間データを関連付けることが可能となる。したがって、オーバーレイ処理に基づく本手法は、異種センサデータ統合だけでなく、センサデータと空間データを統合する枠組みを提供していると言える。

3. 実験結果

本章では、Java 言語により実装したセンサデータ視覚化システムを用いた実験の結果を述べる。本実験では、センサデータとして気象データ CD-ROM「アメダス観測年報 2000 年」(気象庁提供、気象業務支援センター発行)を利用した。アメダス観測年報 CD-ROM では、気温や降水量、風向・風速などの 1 年分の観測データが 1 時間ごとに各観測点ごとに記録されている。具体的には、アメダスの気温データおよび降水量データを利用し、これらのセンサデータが種類別に、センサデータサーバによって時系列データとして管理されているものとする。なお、以降の実験でクエリ (Q) のパラメータとして指定する問合せ領域 (A) および空間制約 (SC) の単位は、度である。

3.1 オーバーレイ処理に基づく異種センサデータ統合

まず、気温データと降水量データに対して、オーバーレイ処理を適用する場合について調べる。問合せ領域 $Arect = \langle 136.74, 34.46, 141.11, 38.03 \rangle$ をクエリに指定し、24 時間分の時系列データを、仲介エージェントを介して、それぞれのサーバに要求する。空間制約として、分割の基準点を左下(南西)端点、分割幅を $dx_+ = dy_+ = 0.3$ とした時のオーバーレイ処理に基づくセンサデータ統合の結果を 図 4, 図 5 に示す。メッシュの各セルの大きさは 0.1 度四方である。この例では、気温データに対して $AVE(temp) \geq 25$, 降水量データに対して $SUM(prec) \geq 10$ という条件を指定している。したがって、図 4, 図 5 は、「平均気温が 25 度以上で、降水量が 10mm 以上の地域を表示せよ。」というクエリに対する結果を示していることになる。

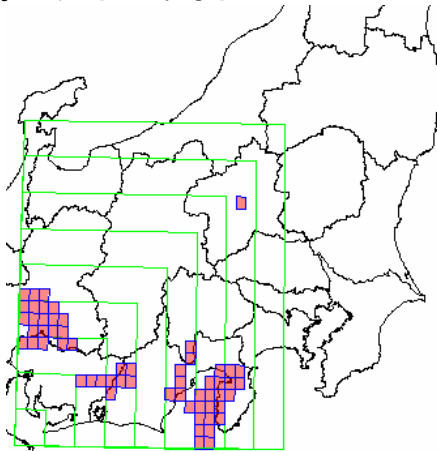


図 4 オーバーレイ処理に基づくセンサデータ統合の途中結果

Fig.4 An Intermediate Result of Sensor Data Integration Based on Overlay Processing

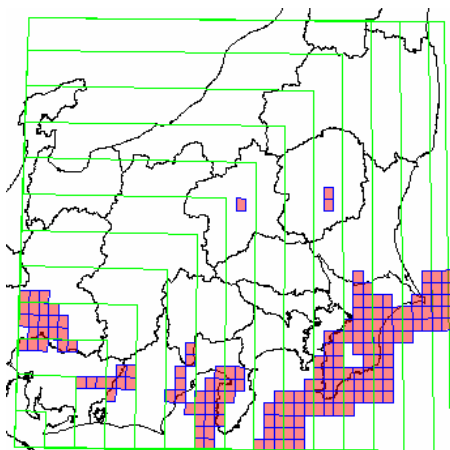


図 5 オーバーレイ処理に基づくセンサデータ統合の結果

Fig.5 A Result of Sensor Data Integration Based on Overlay Processing

図 4 は統合の途中結果、図 5 は最終的な表示結果を示す。図 4 図 5 に示すように、基準点に近い場所からデータ統合

の完了した領域が時間とともに拡大し、右上方向(つまり、北東方向)に向かって、インクリメンタルにセンサデータ統合の結果が表示されていることがわかる。空間補間を利用することで、単なる点の分布という表現から、面的な連続性を持つ表現に変換できるため、単種類のセンサデータだけではなく、複数種類のセンサデータに対する統合結果をインクリメンタルに表示し、各データに指定した条件を共に満たしている地域を統合結果として出力することが可能となる。

著者らの先行研究 [9] では、異種のセンサデータを領域ごとに同期させて提供する方法を提案しているが、実際に、複数の種類の異なるセンサデータを関連付ける具体的な統合方法は示していない。本節の議論より、提案手法が、空間補間に基づいてメッシュ統合を行い、その結果を利用してオーバーレイ処理を行うことで、複数のサーバから提供される異種のセンサデータをインクリメンタルに統合する枠組みを提供できることがわかる。異種のセンサデータ統合の結果を、ユーザに対して効果的に提示する上で、空間集約と領域分割に基づく本手法が有用であると考えられる。

3.2 オーバーレイ処理に基づく空間データとの統合

国土数値情報 [13] には、地形データや各種統計データなどのメッシュ形式で表現された空間データも含まれている。本節の実験では、気候値メッシュ (G02-62M) に含まれる標高データを統合対象として取り上げる。気候値メッシュは、3 次メッシュとして表現されているが、ここでは、2 次メッシュの標高データに加工して利用する。2 次メッシュを縦横に 10 等分したものが 3 次メッシュであるので、3 次メッシュの各セルの標高データを用いて、対応する 2 次メッシュのセルの平均標高を算出した。

前節の実験と同様のクエリ領域 $Arect$ に対して、48 時間分の降水量データを要求し、標高データと統合した時の結果を図 6 に示す。この例では、降水量データに対して $SUM(prec) \geq 10$, 標高データに対して $height \geq 500$ という条件を指定しており、図 6 は、「(平均) 標高が 500m 以上で、(積算) 降水量が 10 mm 以上の地域はどこか?」というクエリに対する結果を示していることになる。

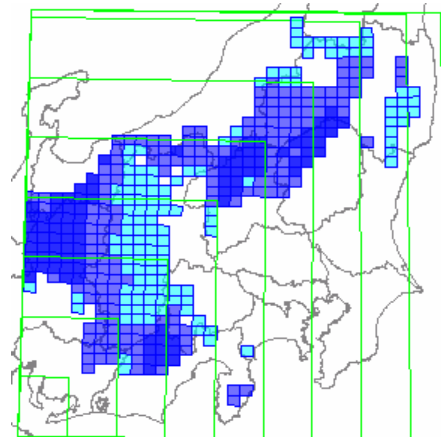


図 6 オーバーレイ処理に基づく降水量データと標高データの統合

Fig.6 A Result of Integration between Precipitation Data and Elevation Data Based on Overlay Processing

この実験では、分割幅を $dx_+ = dy_+ = 0.5$ としており、基準点に近い領域からインクリメンタルに標高データとの統合結果が表示され、最終的に図 6 のメッシュ分布が表示される。

さらに、図7、図8はそれぞれ、 $SUM(prec) \geq 10$ を満たす降水量分布、 $height \geq 500$ を満たす標高データを示しており、両方の条件を共に満たす領域が統合結果として図6に表示されていることがわかる。なお、図7では、色の濃いセルほど降水量が多く、図8では、色の濃いセルほど標高が高いことを示している。

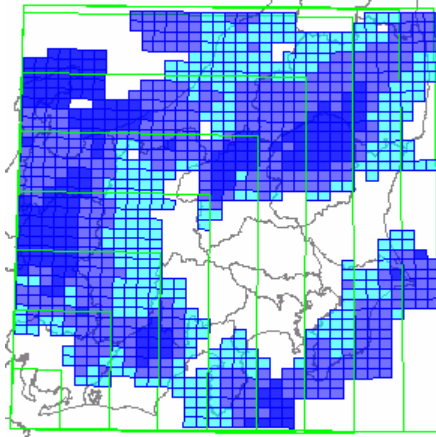


図7 空間補間に基づく降水量分布

Fig.7 A Result of Mesh Integration Based on IDW

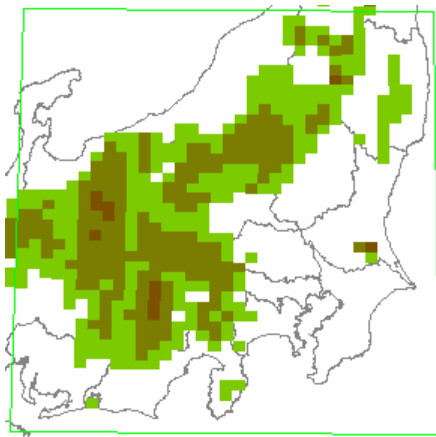


図8 標高データに対する条件検索の結果

Fig.8 A Filtering Result of Elevation Data

4. まとめと今後の課題

本稿では、ネットワークを介して提供されるセンサーデータを統合するための領域分割に基づくインクリメンタルな空間集約手法を提案した。本手法は、受信したセンサーデータを、空間補間を利用してメッシュデータへと変換し、オーバーレイ処理を施すことで、異種センサーデータ統合だけでなく、空間データとの統合をインクリメンタルに行う枠組みを提供する。これにより、様々なセンサーデータを組み合わせ、その統合の結果を効果的に視覚化することができる。提案手法によって、分割領域ごとに提供されるセンサーデータに対して、領域ごとに集約処理が行われ、その集約結果がインクリメンタルに表示される。これにより、集約処理途中に部分的なセンサーデータの集約結果を閲覧できる。領域を考慮した統合処理の途中結果の提供は、集約のためのデータ収集やデータ統合のコストが高い場合に有用であると考えられる。

今後の課題としては、分割や粒度の異なるメッシュデータへの対応や、線データやポリゴンデータなどの空間データとのオーバーレイ処理手法の開発が挙げられる。

【文献】

- [1] 大気汚染物質広域監視システム(そらまめ君), 環境省, <http://w-soramame.nies.go.jp/>.
- [2] 川の防災情報, 国土交通省, <http://www.river.go.jp/>.
- [3] 防災気象サービス, 日本気象協会, <http://www.tenki.or.jp/>.
- [4] Longley, P. A., Goodchild, M. F., Maguire, D. J. and Rhind, D. W.: Geographic Information Systems and Science, John Wiley & Sons, Ltd.
- [5] McCoy, J. and Johnston, K.: ArcGIS Spatial Analyst ユーザーズ・ガイド, ESRI (2001).
- [6] Hellerstein, J. M., Haas, P. J. and Wang, H. J.: "Online Aggregation", Proceedings of ACM SIGMOD International Conference on Management of Data, pp. 171-182 (1997).
- [7] Shanmugasundaram, J., Tufte, K., DeWitt, D. J., Naughton, J. F. and Maier, D.: "Architecting a Network Query Engine for Producing Partial Results", Proceedings of WebDB 2000, pp.17-22.
- [8] Vrbsky, S.V., Liu, J.W.S.: "APPROXIMATE - A Query Processor That Produces Monotonically Improving Approximate Answers", IEEE Transaction on Knowledge and Data Engineering, Vol.5, No.6, pp.1056-1068 (1993).
- [9] 白石 陽, 安西 祐一郎: "分散センサーデータの閲覧のためのインクリメンタルなデータ提供方式", 情報処理学会論文誌: データベース, Vol.44, No.SIG12(TOD19), pp.123-138, (2003).
- [10] 白石 陽, 安西 祐一郎: "インタラクティブなセンサーデータ閲覧のためのオンライン空間集約手法", 日本データベース学会 Letters, Vol.2, No.1, pp.51-54, (2003).
- [11] 白石 陽, 安西 祐一郎: "センサーデータの視覚化のためのインクリメンタルな空間集約手法", データベースと Web 情報システムに関するシンポジウム(DBWeb2003), pp.251-258, (2003).
- [12] 白石陽, 安西祐一郎: "空間検索のためのインクリメンタルなデータ提供手法", 情報処理学会論文誌: データベース, Vol.42, No.SIG15 (TOD12), pp.15-29 (2001).
- [13] 国土数値情報ダウンロードサービス, 国土交通省国土計画局総務課国土情報整備室, <http://www.nla.go.jp/ksj/>.

白石 陽 Yoh SHIRAISHI

平成 14 年慶應義塾大学大学院理工学研究科後期博士課程単位取得退学。平成 14 年より慶應義塾大学理工学部情報工学科特別研究助手。平成 16 年より東京大学空間情報科学研究センター研究機関研究員。空間データベース、地理情報システムに関する研究に従事。情報処理学会、日本データベース学会各会員。

安西 祐一郎 Yuichiro ANZAI

昭和 49 年慶應義塾大学大学院博士課程修了。昭和 63 年より慶應義塾大学理工学部教授。平成 13 年より慶應義塾塾長。昭和 56~57 年カーネギーメロン大学客員助教授。工学博士。計算機科学、認知情報処理の研究に従事。情報処理学会、電子情報通信学会、日本認知科学会、ACM、IEEE 等各会員。