

センサデータを利用した経路推薦のための データベースシステム

伊藤 嘉博[†] 中村 嘉隆^{††} 白石 陽^{††} 高橋 修^{††}

近年, 多数のセンサを実世界に配置することで粒度の細かいセンサデータを取得できるようになり, この技術の応用として都市センシングが注目されている. 都市センシングが実現によって, センサデータを利用した都市におけるパーソナルナビゲーションが可能となる. しかし, 都市のセンサデータを用いて経路推薦を行う場合, 道路データとセンサデータに対して蓄積や対応付け処理を行う必要があり, それらの処理をアプリケーション側で行うには負担が大きい. 本稿では, 空間補間を用いて道路データとセンサデータを対応付け, センサデータに基づいた経路推薦結果をアプリケーションに提供するデータベースシステムを提案する. また, そのシステムを設計し, 提案システムの有効性について検討する.

A Database system for route recommendation based on sensor data

YOSHIHIRO ITO[†] YOSHITAKA NAKAMURA^{††}
YOH SHIRAI^{††} OSAMU TAKAHASHI^{††}

In recent years, we can collect granular sensor data by a lot of sensors attached to a sensor network in real world. This technology has been used for urban sensing. It is expected that urban sensing realizes new personal navigation based on sensor data. However, in order to realize sensor data based route recommend, we need to handle road data and sensor data. It is difficult for only an application side to handle these data. This paper proposes a database system that includes the function for mapping sensor data to the road data by using spatial interpolation and the function for providing the routing result to a navigation application. In addition, we design a database system with such functions and discuss the effectiveness of our proposed system.

[†]公立はこだて未来大学大学院 システム情報科学研究科
Graduate School of Systems Information Science, Future University Hakodate

^{††}公立はこだて未来大学 システム情報科学部
School of Systems Information Science, Future University Hakodate

1. はじめに

近年, センサデバイスの小型化によって実世界の環境情報を容易に取得できる環境が整いつつある. さらに, 無線センサネットワークを通じて収集されたセンサデータをデータベースに格納することで様々な用途での応用が期待できる. その活用例の一つとして注目されている試みとして, 都市内に配置したセンサによって都市の環境情報を収集する都市センシング[1]がある. そして, 都市センシングによって収集されたセンサデータから都市内の温度や人口密度の高い場所を判断し, そのようなユーザーにとって快適ではない場所を避けて目的地へ誘導するといった新しいパーソナルナビゲーションが実現可能になると考えられる[2].

しかし, こうしたセンサデータに基づいた経路推薦を行うためには, 道路にセンサのデータ値をコストとして与える必要がある. そのためには, 道路の近辺に存在するセンサノードを検索し対応付ける必要があるが, センサの配置場所は一律ではなく, 道路の近くにセンサが存在しない場合が考えられる. さらに, 道路データとセンサデータはそれぞれが独立したデータ形式で管理されている場合, それらにアプリケーション側から独自に問い合わせを行い, 処理を行うのは負担が大きいと考えられる. このため, 道路関連のデータとセンサ関連のデータを同時に管理しつつ, アプリケーションからの問い合わせがあった際に上記のセンサデータと道路データの対応付けの問題を処理し, センサデータに基づいた経路推薦の結果を提供するようなアーキテクチャが必要である.

そこで, 本稿では都市に複数のセンサが存在する環境下において, 既知のデータから未知のデータを推定する空間補間の手法を用いることでセンサが収集した各種データから道路上のセンサデータの推定を行った上でセンサデータに基づいた経路推薦を行うデータベースシステムの提案を行い, その有効性について検討する.

2. 関連研究

この章では, 本稿と関連する研究について述べる. 具体的には 2.1 節でセンサデータベースのうちアプリケーションの要求に見合った形でセンサデータを補間し提供する研究について述べる. また, 2.2 節では都市センシングの研究, 2.3 節では経路探索およびナビゲーションの研究について述べる.

2.1 センサデータベースシステム

アプリケーションからセンサデータを利用するためには, センサネットワークによって観測されたセンサデータに処理を行う必要がある. それを実現する手段として, データベースの分野において, センサネットワークを仮想的なデータベースとし, そ

のデータベースに対して問い合わせ（クエリ）を発行し、その問い合わせの処理を行う技術に関する研究が存在する[3].

この場合、問い合わせを送信するアプリケーションとセンサネットワークの間に、その問い合わせを理解する機能が必要となる。具体的には、センサネットワークにアクセスし、センサネットワークからのデータを問い合わせの答えとしてユーザに返すような仕組みが必要となる。そして、このような仕組みを実現するシステムとして、センサデータベースシステム[4]がある。

本稿と関連したセンサデータベースシステムの研究としては、データベース内のセンサデータからアプリケーションの要求に見合ったセンサデータを補間・提供するための研究が存在する。岩井ら[5]と石井ら[6]は都市空間における空間解像度の異なるセンサネットワークを想定し、ユーザからの空間を対象とした問い合わせに対して適切な解像度のセンサデータを生成するシステムを提案している。具体的には、分散したデータベース上にある各データベースの空間解像度のセンサデータを蓄積し、アプリケーションから空間領域を対象とする問い合わせが行われた場合は、空間解像度の情報とクエリ領域の情報をもつメッシュデータを作成し、空間解像度が一致するセンサデータの検索を行う。解像度が一致する部分はデータベースの値が利用されるが、データベース内に全クエリ領域のセンサデータが存在するとは限らないので、解像度が一致しない部分は異なるセンサデータを利用して補間処理を行う。このシステムは空間補間の手法を用いることでメッシュ構造を生成し、それを用いてセンサデータの補間処理を行っているが、センサデータを利用した経路推薦で必要となる道路単位でのセンサデータの補間は行っていない。

また、荒井ら[7]は時系列補間クエリのためのセンサデータベースシステムを提案している。このシステムでは、独自のセンサデータの検索を行うためのインタフェースである時系列補間クエリを定義し、そのクエリをデータベース内のセンサデータの検索を行うための SQL に変換、引き出したセンサデータに対して三次スプライン補間を行うことでセンサデータの補間を行っている。このシステムは、センサの時系列データが欠落している際に補間を行うことで該当するセンサの任意の時間のデータを利用することができるが、任意の場所のセンサ値の補間に関しては行っていない。

以上のように、

2.2 都市センシング

都市センシングの代表的な例としては、高木ら[8]と戸辺ら[9]が実際に都市の一部空間にセンサネットワークを構築し、温度や湿度といった環境情報を時間的、空間的に細かく観測する研究を行なっている。この研究では、群馬県の館林市駅東側 600m 四方に微気象センサネットワークを構築している。センサデータはマルチホップによって転送され、シンクノードを経由してインターネットで接続された外部のデータベー

スサーバに保存される。センサノードは機能によって、マルチホップ転送が可能なアクセスポイントセンサノードとセンシングのみを行うリーフセンサノードに分類されている。

また、CitySense[10]は都市の気象や大気汚染の監視に利用される都市のセンサネットワークである。同システムは、各センサノードを街灯に取り付けて電力を確保することで、従来の無線センサネットワークのバッテリー駆動時間の制約を解消している。このアプローチにより、CitySense はリアルタイム環境監視や住民の健康の相関分析、生化学物質の拡散の追跡といった長期的な研究に利用可能となっている。

2.3 経路探索

2.3.1 経路探索の基本要素

本項では経路探索の基本要素について述べる。一般的に最適経路問題を解くためには図 1 のようなグラフ構造のデータが必要となる。

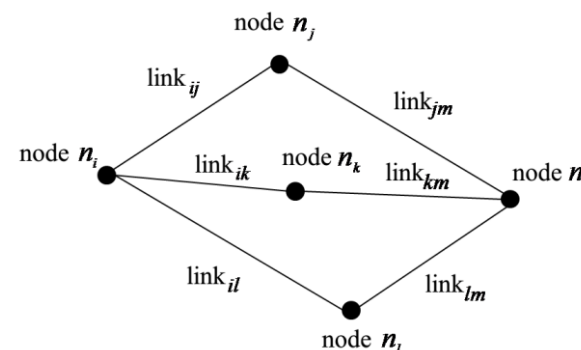


図 1 経路探索のためのグラフ構造の例

グラフ構造に存在する各ノードは自分と連結するノードの情報を保持することでネットワークを構成できる。このようなグラフ構造のノードを交差点、ノード間のリンクを道路とすることで都市の道路ネットワークデータをグラフとして表現することができる。そして、このリンクに道路距離を重みとして与えることで、経路探索を行うことができる。代表的な経路探索手法としてダイクストラ法がある。したがって、この重みを他の値に変更することによって様々な基準に基づく最適経路探索が可能となる。

2.3.2 経路探索の関連研究

データベース上で上記のような最適経路探索を行うアーキテクチャとして pgRouting[11]が存在する。このアーキテクチャはデータベースに登録された道路データを含んだテーブルをもとに経路探索を行うことができる。pgRouting が検索の対象とする道路データテーブルのレコード形式は固定であり、「道路 id」、「始点ノード」、「終点ノード」、「コスト」が設定されていることが必要となる。このテーブルに対する経路探索のインターフェースは SQL として提供され、SQL 中に出発ノードと目的ノードを記述することで問い合わせを行うことができる。また、最短経路探索問題だけではなく、巡回経路検索や到達圏検索なども SQL で記述することが可能である。しかし、pgRouting は経路探索の対象となる道路データテーブルを用意する必要があり、センサーデータをコストとすることを考えた場合、経路探索の度に動的に変化するセンサーデータをコストとして設定した道路データテーブルを生成する必要がある。そのため、それら処理をアプリケーション側のみで行うのは負担が大きいと考えられる。

また、圓戸ら[12]は独自の WebAPI を用いることでセンサーデータに基づいたナビゲーションを行うシステムを提案している。この WebAPI は都市センサーデータをセンサーデータベースから取得し、アプリケーションに提供できる仕組みを持つ。この WebAPI を用いて温度センサーデータを取得し、ユーザが指定した温度との差を計算、ダイクストラ法の計算の対象とするコストに反映することでユーザが指定した温度と近い快適な経路を提示している。このシステムは本稿が目指すシステムと類似しているが、センサの配置が道路に対してある程度密であることを前提としており、空間補間の手法を利用していない点で本提案と異なる。

3. 提案システムの要件

本稿はセンサーデータを利用した経路探索を行うことを課題とし、提案システムによってそれを実現する。そこで、この課題に対して必要となる要件について述べる。

センサーデータを利用した経路推薦には、まずセンサーデータと道路データの対応付けを行い各道路にセンサーデータを割り当てる処理が必要となる。このとき、道路周辺のセンサを検索する必要があるが、各道路にセンサが一対一対応で配置されている状況は現実では考えにくい。そのため、道路の近くにセンサがない場合でも周囲のセンサからデータを補間する手法が必要となる。さらに、道路とセンサの対応付けを行った上でその結果を基に経路推薦を行うためには各道路のコストの計算を行う必要がある。本提案システムには上記の提案手法の実現のほかに、センサーデータを利用した経路推薦のためのデータベースシステムとして、道路データとセンサーデータを一括して管理、蓄積する機能と、アプリケーションからの問い合わせ機能を備えることが要件となる。

4. 提案方式

4.1 提案システムの概要

本提案方式を実現する提案システムの基本アーキテクチャについて述べる。第3章における提案システムの要件より、提案システムに要求される機能は以下の通りである。

- (1) センサーデータと道路データの管理
- (2) 道路へのセンサーデータの割り当て
- (3) 道路に割り当てたセンサーデータに基づいたコスト計算
- (4) 経路探索処理
- (5) 問い合わせ処理

これらの機能を、各種データ管理を行うデータ管理部と、センサーデータを利用した経路推薦を行うための各種データ処理を行うデータ処理部の2つを実装することで実現する。システムの全体図を図2に示す。

まずデータ管理部分がセンサーデータの受信を行い、道路データと一括して管理を行う。そしてデータ処理部がセンサーデータと道路データを受け取り、道路へのセンサーデータの割り当てを行う。さらにその上で、データ処理部は道路に割り当てたセンサーデータに基づいたコスト計算を行い、それらデータの管理を行う。また、アプリケーションからの問い合わせ処理と経路探索処理もデータ処理部が行う。

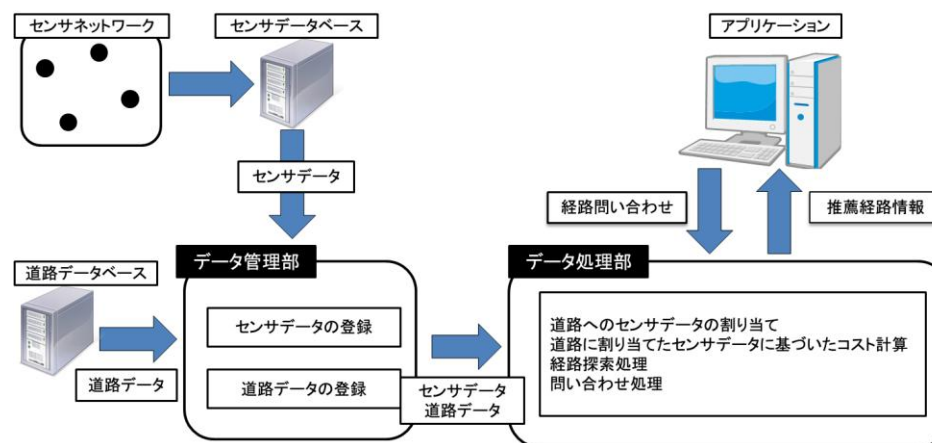


図2 提案システムの概要

4.2 センサデータと道路データの管理

本提案システムのデータ管理部におけるセンサデータと道路データの管理の方法について説明する。道路データは 2.3.1 項で述べたリンクの情報としてデータベースで管理されている。このような交差点で区切られた各道路（リンク）を道路セグメントと呼ぶこととする。道路セグメントデータは道路セグメントテーブルにおいて管理され、表 1 に示すデータ属性で定義される。

表 1 道路セグメントテーブルのレコード形式

属性名	説明
道路セグメント ID	道路セグメントの識別番号
始点ノード	道路セグメントの始点ノード番号
終点ノード	道路セグメントの終点ノード番号
セグメント距離	道路セグメントの長さ(メートル単位)
位置情報	道路セグメントの位置情報 (ラインデータ)

また、センサデータはセンサノードの情報を管理するセンサノード情報テーブルとセンサノードごとのセンサデータを格納するセンサデータテーブルを用いて管理され、表 2, 表 3 のデータ属性で定義される。

表 2 センサノード情報テーブル

属性名	説明
センサノード ID	センサノードの識別番号
センサの種類	センサノードに搭載されているセンサ
位置情報	センサノードの位置情報 (ポイントデータ)

表 3 センサデータテーブル

属性名	説明
計測時間	センサデータを観測した時間
センサデータ	センサが収集したデータ

各センサデータテーブルの名前は「"センサの種類"_"センサノード ID"」とすることで管理を行う。これにより、センサデータにアクセスを行う場合は、先にセンサノード情報テーブルにアクセスし、センサノード ID とセンサの種類 of データを得ることで入手したいセンサデータのテーブルにアクセスすることができる。

上記の形式でデータ管理部がデータの管理を行い、データ処理部が各データを参照し、

経路探索を行うための処理を実行する。

4.3 道路へのセンサデータの割り当て

都市空間においてはビルなどの建造物や街路樹、アスファルトの有無などの影響で、同じ道路上でも環境情報は様ではない場合が多いと考えられる。例としては、温度センサデータを利用する場合、ある道路の一部が建物の影で覆われることによってその部分の温度が低下するといった可能性や、影に覆われていない部分の温度が高くなるといったことも考えられる。したがって、適切な経路推薦を行うためには、道路に対してより細かい範囲でのセンサデータの割り当てが求められる。そこで、登録された各道路セグメントを細かく分割し、個々の分割した道路セグメントに対してセンサデータを割り当てることでこの問題を解決する。

最初に、道路セグメントの長さに応じて等間隔に分割する。この分割した道路セグメントを分割道路セグメントと呼ぶ。この様子を図 3 に示す。分割する数は、道路ネットワーク上に存在している道路セグメントの最大長 (max_length) と、定義されたメートル単位の分割幅 (d) によって決定される。具体的には、分割対象となる道路セグメントの長さを x とすると、以下の (1) 式を満たす i が分割数となる ($i=1$ の場合は分割を行わないこととする) また、道路セグメントと分割道路セグメントの関係を (2) 式に示す。

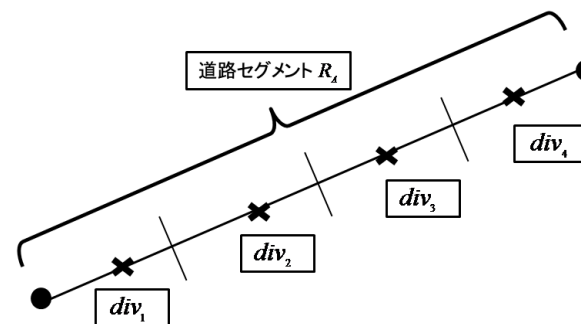


図 3 道路セグメントの分割

$$(d \cdot i \leq max_length, i \geq 1) \quad \dots (1)$$

$$R_i = \{div_1, div_2, div_3, \dots, div_i\} \quad \dots (2)$$

上記手法で生成した分割道路セグメントにセンサデータを割り当てることで経路推薦を行うことができる。しかし、センサの設置場所によっては環境情報を知りたい道路セグメントの近くにセンサノードが存在しない場合も十分に考えられる。その場合、センサデータを割り当てることのできない道路セグメントが存在することになり、その道路セグメントは経路推薦に利用できなくなってしまう。そこで本提案手法では空間補間の手法を用いることでこれを解決する。空間補間は、地理的に隣接しているデータは関連性が高いという前提に基づいて、指定した地点の値を周囲のデータから推定する手法である。

本提案手法では、逆距離加重法 (Inverse Distance Weighting, 以下, IDW) [13] と呼ばれる空間補間の手法を利用することでセンサデータの推定を行う。IDW は推定の対象とする点 (対象点) の近くに存在する点 (近隣点) が保持するデータを対象点から近隣点までの距離の逆数に基づく重み係数で加重平均し、対象点のデータを推定する手法である。また、IDW を利用する際には、センサデータの推定を行うときにどのセンサノードを推定に利用するかを決定する必要がある。そこで本提案手法では、可変半径法 (Variable Radius Method) [14] を応用することでこれを解決する。可変半径法とは図 4 に示されるような補間点を中心にして与えられた距離を初期半径とする円を描き、この領域に必要な数のデータ点が存在しない場合さらに半径を拡大し、検索範囲を広げることでデータ点を抽出する手法である。

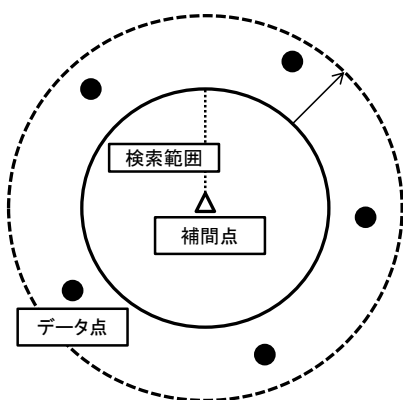


図 4 可変半径法

以上を踏まえて、本提案手法における分割道路セグメントのセンサデータ推定手法について説明する。まず、分割道路セグメント $(div_1, div_2, \dots, div_n)$ の中点を算出し、この

点を補間点とする。次に、検索幅をメートル単位で定義し、それを初期半径として分割道路セグメントの各補間点から円を描き、可変半径法で検索を行う。ここで1つ以上センサノードが抽出されると検索をその場で打ち切るが、見つからない場合は検索幅を2倍、3倍と増やし、検索を続行する。この処理をすべての分割道路セグメントの補間点に対して行うことで、すべての分割道路セグメントに必ずセンサデータを割り当てることが可能になる。

4.4 道路に割り当てたセンサデータに基づいたコスト計算・経路探索

4.3 節で述べた手法を用いることで、分割道路セグメントすべてにセンサデータを割り当てることのできるため、細かい範囲でのセンサデータ対応付けが実現できる。しかし、経路推薦を行うためには道路セグメントごとにコストを設定する必要がある。そこで、経路探索アルゴリズムは効率的かつ応用範囲の広い手法であることからダイクストラ法を採用することとし、センサデータを利用した経路推薦を実現するために、センサデータを基にした道路セグメントごとのコスト計算式を定義した。このコスト計算にはユーザが快適と指定したセンサの値を利用し、コスト値を決定する。まず、図 5 のようなセンサデータの割り当てが行われた道路セグメントがあるとするとする。

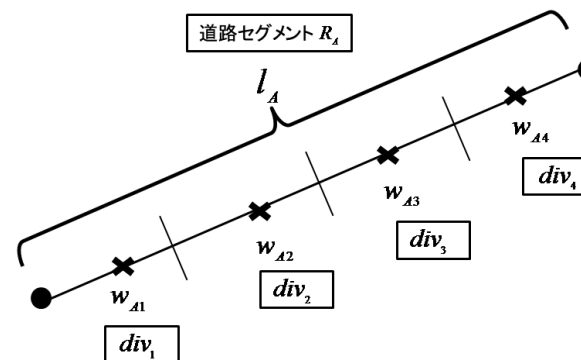


図 5 道路セグメントのパラメータ

w_{ik} は分割道路セグメント $(div_1, div_2, \dots, div_n)$ に割り当てられたセンサの推定値、 l_A は道路セグメント R_A の長さである。また、道路セグメント R_A の分割数を n 、ユーザが快適であると指定したセンサデータの値を t_d と定義する。これらの値を用いて、センサデータを基にした道路セグメントごとのコスト計算を行う。センサの値だけではなく経路距離を重視する場合は式(3)、経路距離を考慮せずにセンサ値のみを重視する場合は式(4)で道路セグメント R_A のコスト C_A を計算することとした。

$$C_A = \left\{ \sum_{k=1}^n |w_{Ak} - t_d| \right\} \cdot l_i \quad \dots (3)$$

$$C_A = \{ \max(w_{Ak}) - t_d \}^2 \quad \dots (4)$$

式 (3) は、ユーザの指定したセンサ値との差が大きくなるほどコストが大きくなるため、ユーザが快適であると感じる経路を選ぶことができるようになる。さらに、道路セグメントの距離をかけることで、経路長も考慮に入れることが可能になる。また、式 (4) は距離を考慮せず、道路セグメントに対応付けられたセンサの推定値の最大値とユーザの指定したセンサ値との差の二乗をコストとすることで、センサ値のみを重視している。以後、式 (3) を用いたコスト計算を「センサ・距離ベース手法」、式 (4) を用いたコスト計算を「センサベース手法」とする。以上の手法を利用することにより、道路セグメントのセンサ値を基準としたコストが決定することが可能となり、センサデータを利用した経路推薦を実現することができる。

4.5 経路探索までの全体の処理の流れ

上記までの手法を踏まえて、経路探索までの全体の処理の流れを以下の図 6 に示す。

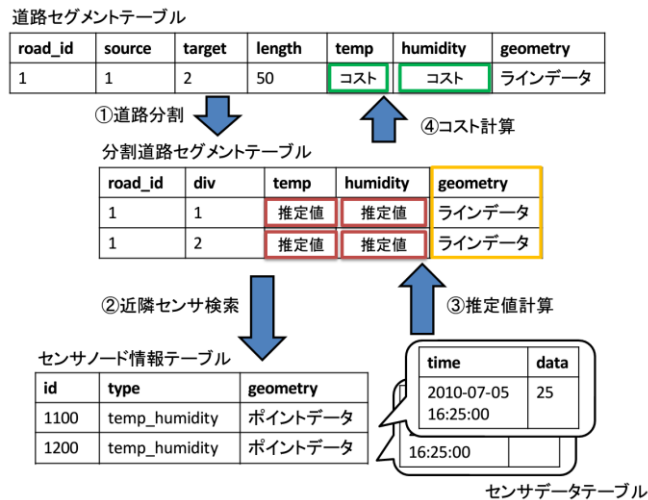


図 6 道路セグメントの分割からセンサデータの割り当て、コスト計算までの処理の流れ

最初に道路セグメントテーブルから道路セグメントの長さのデータを参照し、その値に応じて道路セグメントの分割を行い、その結果を新しく作成した分割道路セグメントテーブルに格納する (①)。次に、分割道路セグメントにセンサの推定値を対応付けるため、道路セグメント分割テーブルの位置情報とセンサノード情報テーブルの位置情報を比較し、可変半径法により分割道路セグメント近隣のセンサノードの id を取得する (②)。そして、それらのセンサの id の情報を用いてデータベース内のセンサデータテーブルを検索、センサデータを取得し、IDW を利用することにより分割道路セグメントのセンサ推定値を計算し、道路セグメント分割テーブルにデータを挿入する (③)。最後に、対応付けた推定値を用いて経路推薦のためのコスト計算を行い、道路セグメントテーブルのコストを更新する (④)。このセンサデータをもとにしたコストを参照し、ダイクストラ法を適用することで経路推薦が可能となる。また、この構造を利用することで、複数センサの利用にも対応することができる。

5. 実験および考察

5.1 実験環境

提案システムの有効性を検証するために、1 台のコンピュータ (CPU : Core i5 650 3.2GHz, メモリ : 4GB, HDD : 500GB OS : Windows 7 Professional) を用いて実験を行った。このマシンを用いて、提案手法を実装したデータベースシステムを構築した。データベース管理システム (DBMS) は PostgreSQL 8.4 を用い、Java Servlet を用いてシステムを実装した。また、地理情報の取り扱いには PostgreSQL の拡張機能である PostGIS 1.5 を利用した。

5.2 評価

実験には関連研究で述べた館林市のセンサネットワークが収集したセンサデータを利用した。このセンサネットワークは温度データと湿度データを収集しており、センサノードは図 7 のように分布している。なお、センサノードは駅前周辺の縦横 500m の範囲で分布している。



図 7 センサノード分布図

このセンサネットワークで収集しているデータのうち、本実験では実験に夏場の温度データを利用することとし、晴れ日である 2010 年 8 月 23 日、8 月 24 日、8 月 28 日の 1 日分の各データと 16:00 からのデータしか存在しないが、都市の各地点の温度差が大きく観測されている 2010 年 8 月 21 日のデータを利用した。本実験では、道路へのセンサデータの割り当て処理を実行し、センサデータの推定についての実験を行う。まず、IDW による最初の補間点の推定計算開始から最後の補間点の推定計算終了までの処理時間を計測した。また、そのときのセンサデータの推定精度の検証を行い、時間帯の変更による推定精度の変化についても実験を行う。さらに、4.4 節の手法を用いた経路推薦について評価を行う。以下の項で実験の詳細について記述する。

5.2.1 経路推薦

提案手法を用いた経路推薦の結果について記述する。本実験では、4.4 節のセンサ・距離ベース手法とセンサベース手法のそれぞれを用いて経路生成を行い、一般的な最短経路との比較を行う。利用するセンサデータは経路生成に都市の各地点の温度差が大きく観測されている 2010 年 8 月 21 日 16:00 の温度データを利用した。この日時点でセンサ・距離ベース手法およびセンサベース手法を適用し、経路生成を行った。その結果を図 8 に示す。なお、温度センサの快適値は 25℃と設定した。



図 8 生成経路(左:センサ・距離ベース手法 右:センサベース手法)

この生成経路について分析するために、本システムで推定した道路セグメントの推定温度分布を図 9 に示す。

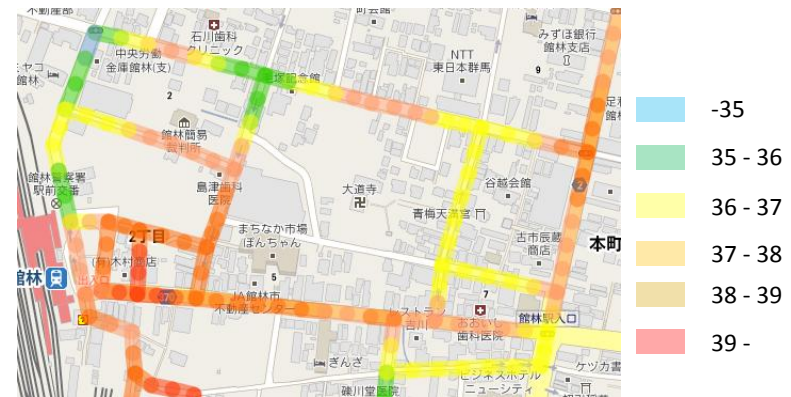


図 9 道路セグメント沿いの推定温度分布

この推定温度分布より、提案手法ではセンサの快適値を 25℃としたため、最も温度の低い経路が選ばれると考えられる。さらに、各経路の推定温度勾配の分析結果を図 10、図 11、図 12 に示す。

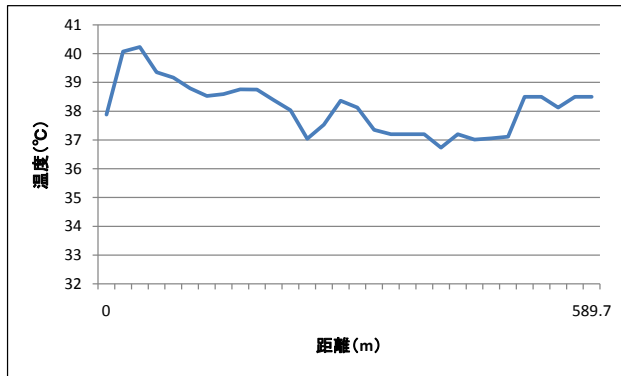


図 10 最短経路の温度勾配

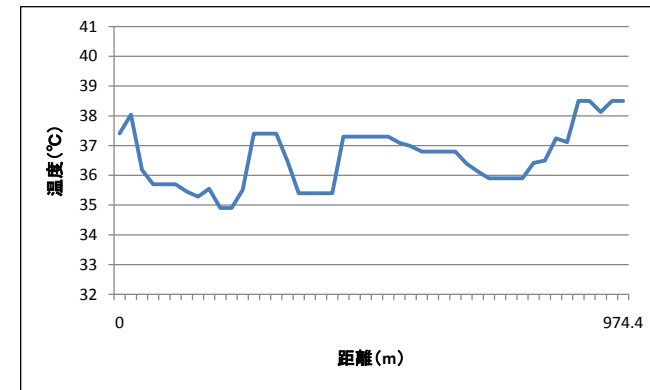


図 12 センサベース経路の温度勾配

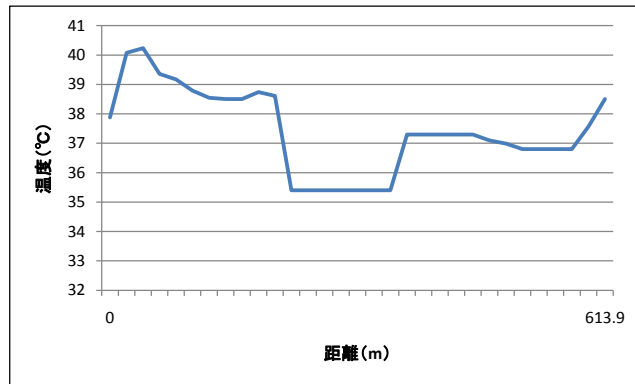


図 11 センサ・距離ベース経路の温度勾配

以上の結果から、一般的な最短経路推薦の場合、全体的に高い温度の道路セグメントを経路として推薦していることがわかる。一方、提案手法のセンサ・距離ベース手法を用いた場合は 35°C-36°C の道路セグメントを通過しているなど、最短経路と比較して温度の低い道路セグメントで経路を推薦していることがわかる。さらに、センサベース手法の場合はすべての道路セグメントで最低の 35°C 以下の温度の道路セグメントを通過しており、センサ・距離ベース手法よりさらに低い温度の経路を推薦できていることがわかる。

5.2.2 センサデータ推定処理時間

提案システムの処理時間の大部分を占める IDW によるセンサデータ推定処理の時間についての実験結果を記述する。提案システムでは IDW によるセンサデータの推定を行うために可変半径法を応用して道路セグメント周辺のセンサの検索を行なっている。この際に、検索幅を定義することで近隣センサの判定を行う。この検索幅の変化によるセンサデータ推定処理時間について計測を行った。具体的には検索幅を 50m, 100m, 150m, 200m, 250m, 300m, 350m, 400m, 450m, 500m, 1000m, 2000m とし、IDW による最初の補間点の推定計算開始から最後の補間点の推定計算終了までのそれぞれの処理時間を計測した。その結果を図 13 に示す。センサ補間処理を行う際の道路セグメントの分割幅 d は 25m と定義した。

この結果から、検索幅を拡大するほどに推定計算に利用するセンサの数が増え、それに伴って処理時間が増大している事がわかる。処理時間は比例的に増加しているが、検索幅が 500m の時にほぼすべてのセンサノードを利用していることから、それ以降は処理時間に大きな変化は見られなかった。

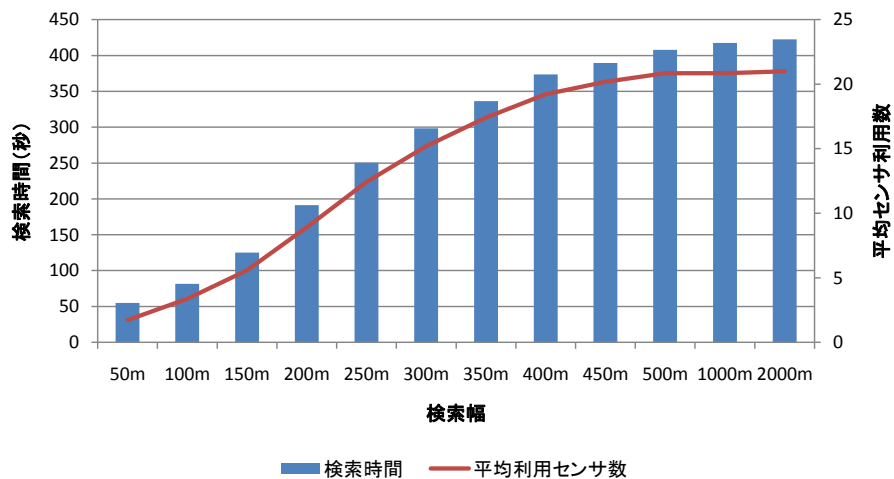


図 13 センサデータ推定処理時間

5.2.3 センサデータ推定精度

提案システムのセンサデータ推定精度についての実験結果を記述する。推定誤差は実測値の存在する館林市のセンサの設置地点を補間点とし、提案手法を用いて周囲のセンサデータからセンサの設置地点のデータ推定を行い、推定したデータと実測値を比較することで差異を算出した。この差異は相対誤差の計算で求める。具体的には、推定誤差を $\{(推定値 - 実測値) / 実測値\} \times 100$ の計算により割合で算出する。

まず始めに、検索幅を変更した場合の推定精度について検証を行った。検索幅は5.2.2項と同一とし、各検索幅のすべてのセンサ設置地点の推定誤差を算出、それらの誤差の平均を計算した。実験は2010年8月23日、8月24日、8月28日の14:00のデータを用い、それぞれの日の推定誤差の平均を算出した。以下の図14に結果を示す。図14が示すように、50mから200mまで検索幅を広げると推定誤差も低下する傾向があることが読み取れる。しかし、検索幅を250mより大きくした場合は逆に推定誤差が増大している。これは検索幅が増大すると、各補間点から距離的に遠くのセンサを補間に利用するようになるため、推定値の誤差が大きくなったと考えられる。

次に、各日付の時間帯ごとの推定誤差について検証を行った。時間帯は8:00、14:00、20:00の3つに分類し、それぞれの推定誤差の平均を算出した。図15に結果を示す。推定を行う際の検索幅は最も精度が良いと考えられる200mとした。

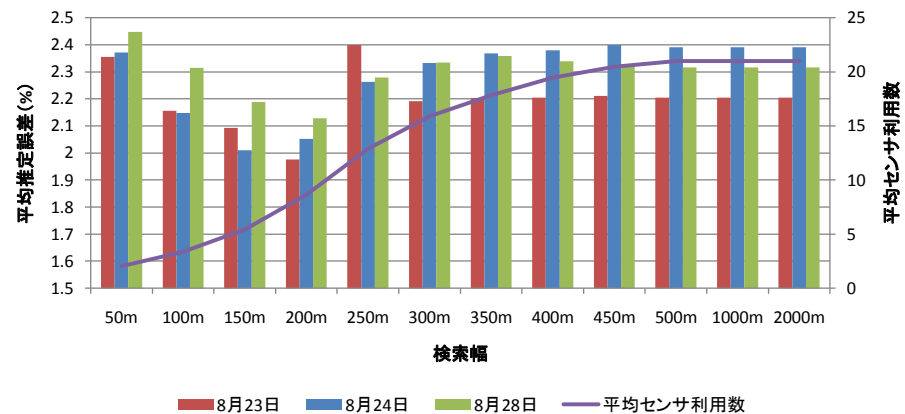


図 14 検索幅変更による推定誤差の変化

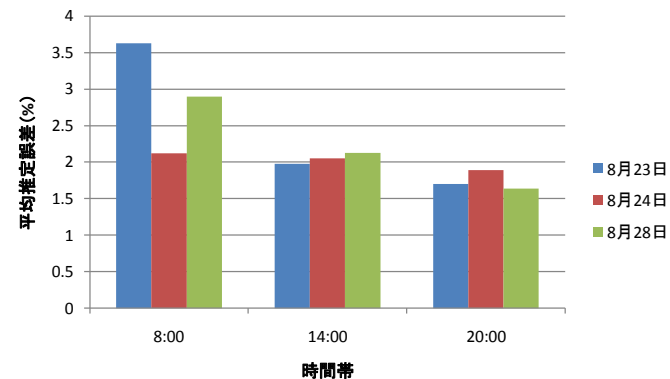


図 15 時間帯別の推定誤差

推定誤差は実験環境の場合3%でおおよそ1℃の誤差となっている。図9から、全体的に推定誤差は少ないことがわかるが、8:00においてやや誤差が大きいことが読み取れる。このような誤差が発生する原因としては、推定する場所の周囲の環境が影響すると考えられる。そこで、推定を行った補間点のうち、大通りに面している補間点を抽出し、道路の北側か南側かに分類したうえで、それぞれの推定誤差について平均を算

出した。図 16 に各日付の 8:00 の推定誤差を示す。図 16 から読み取れるように、南側のほうがやや誤差が大きいことがわかる。これは道路の北側は日向になりやすく、対して南側は日影になる傾向が高いといった違いがあるため、それらの環境的要素が推定に影響したと考えられる。

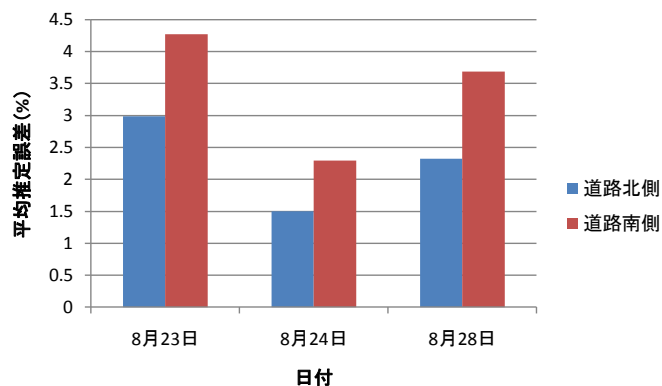


図 16 場所の違いによる推定誤差

他の推定に影響する要素として、IDW が推定点までの距離の逆数を重みとした補間手法であるため、推定点からセンサまでの距離が精度に関係すると考えられる。そこで、各日付の 8:00 において推定誤差が 1%未満である補間点と 5%以上の補間点を抽出し、それぞれに関してセンサまでの最短距離が 50m 以上である補間点の数を求めた。表 4 と表 5 にその結果を示す。

表 4 推定誤差が 1%未満の補間点

日付	補間点の数 (個)	センサまでの最短距離が50m以上の補間点(個)
8月23日	3	1
8月24日	6	2
8月28日	5	2

表 5 推定誤差が 5%以上の補間点

日付	補間点の数 (個)	センサまでの最短距離が50m以上の補間点(個)
8月23日	4	4
8月24日	2	1
8月28日	3	3

表 4 の結果から、推定誤差が 1%未満の補間点は全体的にセンサまでの距離が 50m 以上のものが少ないことがわかる。それに対して表 5 の結果から、推定誤差が 5%以上のすべての補間点はセンサまでの距離が 50m 以上のものが多いことがわかる。このことから、補間点からセンサまでの距離が遠い場合、誤差が大きくなる傾向があることが読み取れる。

5.2.4 実験結果に関する考察

本項では、各実験結果について考察を行う。

5.2.1 項の経路推薦結果に関しては、提案する各コスト計算手法を用いることで当初想定した通りの傾向の経路を推薦することができることが確認できた。しかし、前述のセンサの推定誤差を考慮すると、今後は道路周囲の状況も考慮し、経路推薦内容に含めるべきであると思われる。

5.2.2 項の結果から、提案システムでは推定精度向上させると、処理時間が多くかかることがわかった。この問題に対応するには、データベースの構造を見直すことで高速化を図るか、構造をそのまま利用するのであれば、推定処理とその結果の保存のみを一定間隔で行っておき、アプリケーションからの問い合わせがあったときに経路計算のみを行うことで解決できる。

また、5.2.3 項で検証を行った推定誤差の検証結果から、全体的に温度データの場合は小さな誤差に収まっていることが実験結果から読み取れる。しかし、日照などの周囲の環境的要素や周囲のセンサの配置状況が一部の推定に影響することが確認できたので、それらの要素を推定の際に何らかの形で考慮する必要性があると考えられる。

6. まとめと今後の課題

本稿では都市に複数のセンサが存在する環境下において、空間補間の手法を用いることで道路上のセンサデータを推定し、経路推薦を行う手法の提案とその手法を備えたデータベースシステムの実装を行った。また本提案方式を利用した際の処理時間と

推定精度, 経路推薦の結果について実験・考察を行った. 今後はセンサの種類を変更しての推定精度の検証や, 複数のセンサ情報を利用する際の処理方法の検討を行う予定である. また, 周囲の状況を考慮したセンサデータ推定及び経路推薦の手法の検討などを行いたいと考えている.

参考文献

- [1] Takahiro Ono, Hiroki Ishizuka, Kanoko Ito, Yasuyuki Ishida, Shohei Miyazaki, Oru Mihirogi, Yoshito Tobe, "UScan : Towards Fine-Grained Urban Sensing, Int'l Workshop on Real Field Identification, 2007.
- [2] 金井圭介, 大野貴弘, 石塚宏紀, 伊藤花乃子, 澤義和, 三尋木織, 戸辺義人, 都市情報センシングシステムの提案, 情報処理学会研究報告 UBI, No.18, pp.141-148, 2008
- [3] 安藤繁, 田村陽介, 戸辺義人, 南正輝, "センサネットワーク技術—ユビキタス情報環境の構築に向けて—", 東京電機大学出版局, 2005.
- [4] 白石陽, "センサネットワークのためのデータベース技術", 情報処理, Vol.47, No.4, pp.387-393, 2006.
- [5] 岩井将行, THEPVILOJANAPONG Niwat, 石塚宏紀, 中村陽一, 金井圭介, 白石陽, 戸辺義人, "TomuDB: 都市空間センサ情報を扱うデータベースシステム", 電子情報通信学会技術研究報告 USN ユビキタス・センサネットワーク, Vol.108, No.138, pp.13-18, 2008.
- [6] 石井那由他, 白石陽, 石塚宏紀, 戸辺義人, "空間補間による異種解像度センサデータの統合手法", vol.49, No.SIG7 (TOD37), pp.44-58, 2008.
- [7] 荒井健次, 白石陽, 高橋修, "時系列補間クエリのためのセンサデータベースシステムの設計と実装", 情報処理学会創立 50 周年記念 (第 72 回) 全国大会, 1ZB-5, 2010.
- [8] 高木篤大, 菅生啓示, 石田泰之, 森田達也, 岩本健嗣, 蔵田英之, 戸辺義人, "微気象ネットワークセンシングの実際: 群馬県館林市の例", 電子情報通信学会技術研究報告 USN ユビキタス・センサネットワーク, Vol.109, No.248, pp.13-18, 2009.
- [9] 戸辺義人, 蔵田英之, "細粒度気象センサネットワーク構築の実際-群馬県館林市の例-", 情報処理, vol.51, No.6, pp.692-699, 2010.
- [10] R. Murty, G. Mainland, I. Rose, A. R. Chowdhury, A. Gosain, J. Bers, and M. Welsh : CitySense: A Vision for an Urban-Scale Wireless Networking Testbed. In IEEE International Conference on Technologies for Homeland Security, 2008.
- [11] pgRouting Project, "pgRouting",

HTML Available at "<http://www.pgRouting.postlbs.org>"

- [12] 圓戸辰郎, 田村陽介, "Web API を用いたセンサネットワークに関する研究: センサデータを利用したナビゲーションシステムの開発", 情報処理学会第 70 回全国大会講演論文集(3), pp.23-24, 2008.
- [13] P.A.Longley, M.F.Goodchild, D.J.Maguire, D.W.Rhind, "Geographic Information Science", John Wiley & Sons, Ltd, 2001.
- [14] 張長平, 「空間データ分析」, 古今書院, 2001