

測位範囲と指向性のあるセンサデータ管理に適した空間索引の設計

Fan-Shaped Tree: An Appropriate Index for Direction and Range-Oriented Sensor Data

石塚 宏紀^{†*}
Hiroki Ishizuka

岩井 将行[‡]
Masayuki Iwai

戸辺 義人^{††*}
Yoshito Tobe

瀬崎 薫^{‡‡}
Kaoru Sezaki

1. はじめに

近年、センサネットワークの研究開発が進み、多種のセンサが、実世界に展開され始めている。センサの測位モデルは、大きく2つに分類できる。まず、温度センサや湿度センサのようにある点で測位するモデルが存在する。次にWebカメラやレーザレンジファインダのように範囲と測位の指向性を伴って測位するモデルが存在する。測位モデルの異なるセンサ情報を統合データベースにて管理する場合、測位範囲とその指向性を考慮したデータ管理機構を構築する。これまで、空間的に範囲伴ったデータを効率的に管理する場合、データ構造として、R-treeを用いてきた。しかしながら、R-treeやその派生アルゴリズムは、空間とその指向性の両方を考慮した索引付に対応していない。

そこで、我々は、測位範囲と指向性を同時に考慮した新しい空間索引機構であるFan-Shaped Treeを提案する。本論文では、R-treeの変形として提案するFan-Shaped Treeの基本設計とアルゴリズムを解説し、そのプロトタイプの実装について議論する。

2. 研究目的と課題

2.1 研究背景

近年、センサネットワーク技術の発展により、異種センサ機器が、実世界に展開され始めている。我々は、実世界に展開された異種センサから得られる情報を統合的に管理できるTomuDB[1]の開発を行っている。TomuDBの開発過程において、我々は、各センサ機器を2つの測位モデルに分類した。1つ目は、温度センサや湿度センサのような、ある1点を測位するモデルである。2つ目は、Webカメラやレーザレンジファインダのように、ある測位範囲に対して指向性を伴って測位するモデルである。ユーザが、実世界のある空間における測位モデルの異なるセンサ情報を同時に参照する場合、異種測位モデルを持ったセンサを統合的に管理できる新しいデータ構造が必要となる。

2.2 課題

ある空間に関連したデータを効率的に管理するデータ構造として、空間索引がある。我々が目指す、異種測位モデルを持ったセンサを統合的に管理できるデータ構造も一種の空間索引として扱うことができる。

空間索引手法でもとりわけ、R-tree[2]は、さまざまな改良手法[2]が存在するもっとも広く活用されているデータ構造である。しかしながら、既存のR-tree及びその変形手法は、測位の指向性を考慮した索引を生成するように設計されていない。この課題を解決するために、我々は、測位範囲と指向性を同時に考慮した新しい空間索引機構であるFan-Shaped Treeを提案する。

3. Fan-Shaped Tree の設計

3.1 測位範囲と指向性のあるセンサデータの定義

Fan-Shaped Treeにおける空間オブジェクトは、測位範囲と指向性のあるセンサデータである。センサの位置は、2次元ユークリッド空間上の任意の (x, y) 座標系で表現できると仮定する。センサの測位範囲を示した図1において $S(n)$ と (a_n, b_n) はそれぞれ、センサ n の測位範囲と位置を示している。さらに $\gamma_n, \theta_n, \alpha_n$ をそれぞれ、センサ n の測位半径、角度オフセット、測位角とし、センサ n の指向性を持った測位範囲 $S(n)$ を、次の式(1)で定義する。

$$S(n) = \{(x, y) \mid (x - a_n)^2 + (y - b_n)^2 \leq r_n^2, \theta_n - \frac{1}{2}\alpha_n \leq \tan^{-1} \frac{y - b_n}{x - a_n} \leq \theta_n + \frac{1}{2}\alpha_n\} \quad (1)$$

3.2 Fan-Shape Treeにおけるクエリの定義

本提案システムを利用するユーザのクエリは、ユーザが指定する点や領域に対するセンサ測位方向を考慮すると以下の3つが考えられる。また、3種類のクエリを図2に示す。

- (1) 分散視点クエリ
ユーザが指定した点や領域に対して外向きに測位されたセンサ群を検索するクエリ
- (2) 集中視点クエリ
ユーザが指定した点や領域に対して内向きに測位されたセンサ群を検索するクエリ
- (3) 線形視点クエリ
ユーザが指定した方位に対して線形に測位されたセンサ群を検索するクエリ

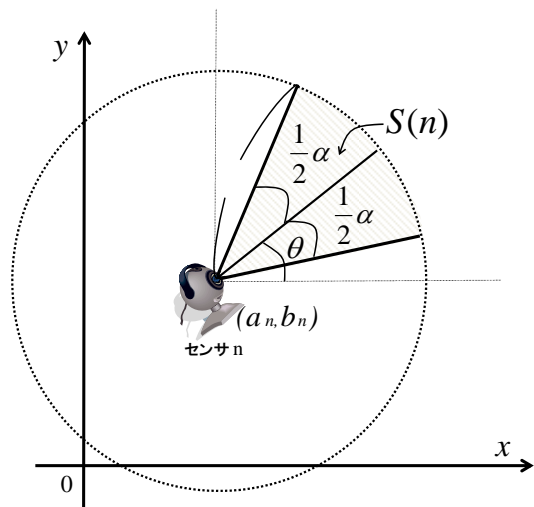


図1. 測位範囲と指向性のあるセンサの測位領域

[†] 東京大学大学院 情報理工学系研究科,

Graduate School of Information Science and Technology, the University of Tokyo

[‡] 東京大学 生産技術研究所,

Institute of Industrial Science, the University of Tokyo

^{††} 東京電機大学 未来科学部 情報メディア学科,

Department of Information Systems and Multimedia Design, Tokyo Denki University

^{‡‡} 東京大学空間情報科学研究センター,

Center of Spatial Information Science, the University of Tokyo

* (独)科学技術振興機構 戦略的創造研究推進事業,
JST CREST

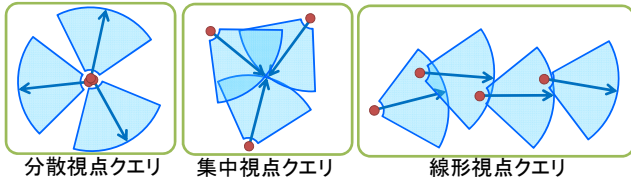


図 2. Fan-Shape Tree におけるクエリの種類

3.3 Fan-Shaped Tree アルゴリズム

Fan-Shaped-Tree において, Root ノード R は, あらかじめ i 個の方位 R_i に分割され, かつ R_i の全下位ノード N_i は $2\pi/i$ をさらに j 分割したビットフラグ F_{ij} を保持している.

(1) 挿入アルゴリズム

Fan-Shaped Tree において, 挿入時にセンサデータ n は, θ_n が含まれる Root ノード R_i を選択する. Algorithm 1 に挿入 Tree 選択アルゴリズムを示す. R_i が選出された後, $S(n)$ を包括する $S(n)_{MBR}$ を算出し, R-tree の挿入アルゴリズムを用いて, n をリーフノードへ挿入する.

さらに, n がリーフノード L に達するまで, L の全上位ノードに対して θ_n が含まれる F_{ij} のビットをオンにする. F_{ij} のビット操作アルゴリズムを Algorithm 2 に示す.

Algorithm 1: ChooseOrientedTree

```

1. procedure ChooseOrientedTree(n)
2.   var
3.     a:=1
4.   for ( a=0; a<= i; a++){
5.     if (  $\theta_n > 2\pi(1-a)/i$  AND  $\theta_n < 2\pi a/i$ )
6.       INSERT( $R_i$ , n);
7.   }
```

Algorithm 2: ChangeFlag

```

1. procedure ChangeFlag(n)
2.   var
3.     node N:= $R_i$ 
4.     a:=1
5.   while(  $R_i$  is not leaf ){
6.     Choose entry N such that enlargement of
7.     MBR in minimum
8.      $R_i = N.node$ ;
9.     for (a=0; a<=j; a++){
10.      if(  $\theta_n > 2\pi(1-a)/ij$  AND  $\theta_n < 2\pi a/ij$ )
11.        FLAG_ON( $F_{ij}$ );
12.    }
13.    Return N;
14.  }
```

(2) 検索アルゴリズム

Fan-Shaped Tree において, ユーザからのクエリは, 2次元ユークリッド空間上の任意の点 Q_p とラジアン表記で指定された方角 Q_d によって構成される. Fan-Shaped Tree に対する検索は, まず, Algorithm 1 を用いて Q_d 適切な D_i を選択し, その後, Q_p に基づいて R-tree の通常検索を行うと同時に, 検索過程における各ノードにおいて, Q_d に対応する F_{ij} フラグを確認し, フラグがオンになっている場合のみ, 検索を続行する. F_{ij} フラグを設けることによって, Q_d を含まない無駄なノードの検索を抑えることができる.

4. プロトタイプの実装

我々は, Fan-Shaped Tree のプロトタイプを実装した. Fan-Shaped Tree は R-tree を拡張したアルゴリズムであるため, 我々は, Sqlite3 の Rtree Extention に対して, 提案アルゴリズムを実装することで, プロトタイプを開発した. プロトタイプにおけるセンサデータは, デジタルカメラで撮影された写真を想定し, 格納された写真データは, 撮影位置と撮影時のカメラ姿勢を測定されたものを前提とする.

5. 関連研究

藤田等[3]は, カメラの撮影ベクトル場を考慮した写真管理システム PhotoField [4]を提案している. PhotoField は, カメラの撮影データをメッシュ構造で管理し, 撮影ベクトルがあるメッシュを横断している場合, そのメッシュに対して, 空間索引を作成している. さらに, PhotoField も我々と同様 3 種類のクエリを定義しているが, 各クエリに特化した空間索引は設けていない. また, 連続的なクエリ処理に対して速度向上が見られない. 我々が提案する Fan-Shaped Tree は, 3 種類のクエリに特化した空間索引を設けるため, 連続的なクエリ処理を行う際, クエリ処理を高速化できる. 加えて, データ構造に対して, センサデータを追加する手順も Fan-Shaped Tree の方が単純化されている.

6. 結論

我々は, 測位範囲とその指向性を考慮したデータ管理機構を目指して研究を行ってきた. 既存の R-tree 及びその変形手法は, 測位の指向性を考慮した索引を生成するように設計されていない. そこで我々は, 測位範囲と指向性を同時に考慮した新しい空間索引機構である Fan-Shaped Tree を提案した. Fan-Shaped Tree は, Root ノードをあらかじめ任意の方位に分割して Tree を構築し, さらに各ノードに子ノードの測定方角の有無を表すビットフラグを設けることによって効率的に測位の範囲と方位を考慮した空間索引手法である. 今後は, 本システムを CPU 使用率, メモリ占有率などの観点から評価を行っていく. また, PhotoField に本提案を適応し, 空間索引手法による検索速度向上を目指す.

参考文献

- [1] Niwat Thepvilajanapong and Yoshito Tobe, "TomuDB: Heterogeneous and multi-resolution database for urban sensor information", GeoWeb 2008 Conference, Vancouver, Canada, July 2008.
- [2] Guttman, A, "R-tree: a Dynamic Index Structure for Spatial Searching", In Proc. of ACM SIGMOD 1984, pp.47-57
- [3] 藤田 秀之, 有川 正俊, 岡村 耕二, "注視点考慮したデジタル写真の検索インタフェース", 電子情報通信学会第 14 回データ工学ワークショップ(DEWS2003)
- [4] Hideyuki Fujita and Masatoshi Arikawa, "A Ubiquitous Mapping Considering Users Lines of Sight" In Proceedings of the 2005 International Workshop on Ubiquitous Data Management(UDM'05)