

ムービングオブジェクトデータベースシステムへの 類似検索機能の導入

水崎 聡子[†] 増永 良文[‡]

[†] お茶の水女子大学 大学院人間文化研究科 数理・情報科学専攻

[‡] お茶の水女子大学 理学部 情報科学科

〒 112-8610 東京都文京区大塚 2-1-1

E-mail: satoko@dblalab.is.ocha.ac.jp, masunaga@is.ocha.ac.jp

1 はじめに

我々は、空間的性質と時間的性質を統合的に扱うことのできる時空間データモデルとしてムービングオブジェクトデータモデルを提案してきた。更に、データモデルに基づいた問合せ言語として、ドメインリレーショナル論理の基づく MOQL(Moving Object Query Language) を提案した [1]。しかし、動きとは、「回転する」「揺れる」のようにそれ自身の定義が明確でないことが多く、問合せ記述が困難な場合や曖昧な場合が考えられる。このことから、類似度を計算して該当データを絞り込むような類似検索を導入する必要がある。そこで本研究では、ムービングオブジェクトデータベースシステムに対する類似検索機能を提案する。

2 動きの同一性と類似性

オブジェクトの動きは、オブジェクトの中心座標・向き・傾き、及びそれに付与された時刻印の 4 要素で構成される。正式には、周波数 f で時刻 t_s から t_e まで計測されたオブジェクトの動きを $\vec{M} = (\vec{m}_0, \vec{m}_1, \dots, \vec{m}_n)$ で表す。このとき $\vec{m}_i = (x_i, y_i, z_i, or_i, gr_i, t_i)$ で、 x_i, y_i, z_i はオブジェクトの 3 次元空間の位置座標、 or_i, gr_i はそれぞれオブジェクトの向き・傾き¹を表す。また $t_s = t_0, t_e = t_n$ ($n = (t_e - t_s)f$) である。

本研究では、動きの類似性を階層的に考え (図 1)、動きの同一性から順に発展させる。ここでは時空間的類似性に限ることにして、時間を考慮に入れない空間的類似性については言及しないものとする。

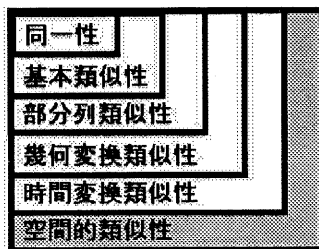


図 1: 動きの類似性

Introduction of Similarity Search for Moving Object Database System by Satoko MIZUSAKI[†], Yoshifumi MASUNAGA[‡]

[†] Graduate School of Humanities and Sciences, Ochanomizu University

[‡] Department of Information Science, Faculty of Science, Ochanomizu University

¹ {North, South, None} × {East, West, None} × {Up, Down, None} で決まる 27 方向

3 動き

動きとは、前章で述べた \vec{M} そのものであり、時間付けられた空間的要素と解釈できる。

3.1 動きの同一性

【定義 1】 (動きの同一性)

動き \vec{M}, \vec{M}' が次の条件を満たすとき、2つの動きは同一である。

1. $t_s = t'_s \wedge t_e = t'_e$
2. $f = f'$
3. ($\forall i$) $x_i = x'_i \wedge y_i = y'_i \wedge z_i = z'_i \wedge or_i = or'_i \wedge gr_i = gr'_i$

3.2 動きの基本類似性

動きのデータには、位置・向き・傾きが含まれる。よってまずは個別の類似性を定義を示し、その後それらをまとめた定義を示す。位置の類似検索では、一般的によく知られているユークリッド距離を用いる。

【定義 2】 (位置の基本類似性)

動き \vec{M}, \vec{M}' が以下の条件を満たすとき、位置について ϵ -類似している。

1. $t_s = t'_s \wedge t_e = t'_e$
2. $f = f'$
3. $D_{posi}(\vec{M}, \vec{M}') = \sqrt{\sum_{i=0}^n d_{posi}(\vec{m}_i, \vec{m}'_i)} \leq \epsilon_p$
但し $d_{posi}(\vec{m}_i, \vec{m}'_i) = (x_i - x'_i)^2 + (y_i - y'_i)^2 + (z_i - z'_i)^2$

【定義 3】 (向きの基本類似性)

動き \vec{M}, \vec{M}' が以下の条件を満たすとき、向きについて ϵ -類似している。

1. $t_s = t'_s \wedge t_e = t'_e$
2. $f = f'$
3. $D_{ori}(\vec{M}, \vec{M}') = \frac{\sum_{i=0}^n d_{ori}(\vec{m}_i, \vec{m}'_i)}{n} \leq \epsilon_o$

但し $d_{ori}(\vec{m}_i, \vec{m}'_i)$ は、 \vec{m}_i と \vec{m}'_i の要素 or_i, or'_i の間にある距離 (図 2) を表す。

【定義 4】 (傾きの基本類似性)

動き \vec{M}, \vec{M}' が以下の条件を満たすとき、傾きについて ϵ -類似している。

1. $t_s = t'_s \wedge t_e = t'_e$
2. $f = f'$
3. $D_{grad}(\vec{M}, \vec{M}') = \frac{\sum_{i=0}^n d_{grad}(\vec{m}_i, \vec{m}'_i)}{n} \leq \epsilon_g$

但し $d_{gra}(\vec{m}_i, \vec{m}'_i)$ は, \vec{m}_i と \vec{m}'_i の要素 gr_i, gr'_i の間にある距離を表す.

【定義5】(動きの基本類似性)

動き \vec{M}, \vec{M}' が以下の条件を満たすとき, 動きについて ϵ -類似している.

1. $t_s = t'_s \wedge t_e = t'_e$
2. $f = f'$
3. $D_{move}(\vec{M}, \vec{M}') = \omega_1 D_{posi}(\vec{M}, \vec{M}') + \omega_2 D_{ori}(\vec{M}, \vec{M}') + \omega_3 D_{grad}(\vec{M}, \vec{M}') \leq \epsilon_{move}$
但し $\omega_1 + \omega_2 + \omega_3 \leq 1$

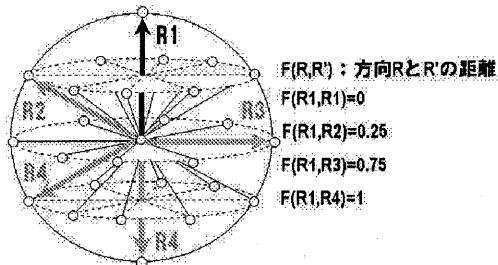


図 2: 太矢印方向と他方向間の距離

3.3 動きの部分列類似性

上記の定義は, 2つの動きの開始・終了時刻が一致していなければ類似性は認められない. そこで, その制限を外した部分的な類似性を定義する. $\vec{M} = (\vec{m}_0, \vec{m}_1, \dots, \vec{m}_n)$, $\vec{M}' = (\vec{m}'_0, \vec{m}'_1, \dots, \vec{m}'_m)$ ($m \leq n$) とする.

【定義6】(位置の部分列類似性)

動き \vec{M}, \vec{M}' が以下の条件を満たすとき, 位置について ϵ - i -部分類似している.

1. $f = f'$
2. $t_i = t'_i \wedge t_{i+m} = t'_{i+m}$
 $D_{posi}^i(\vec{M}, \vec{M}') = \sqrt{\sum_{j=0}^m d_p(\vec{m}_{i+j}, \vec{m}'_j)} \leq \epsilon_{posi}$
但し, $0 \leq i \leq n - m$

(向き, 傾き, 動きの部分列類似性についても同様に定義できるが, 紙面の都合上省略する.)

3.4 動きの幾何変換類似性

空間的な幾何変換 (平行移動・拡大 (縮小)・回転) を認めた動きの類似性について定義する.

【定義7】(位置の幾何変換類似性)

動き \vec{M}, \vec{M}' が以下の条件を満たすとき, 位置について ϵ - i -幾何変換類似している.

1. $f = f'$
2. $t_i = t'_i \wedge t_{i+m} = t'_{i+m}$
 $D_{posi}^i(\vec{M}, \vec{M}') = \sqrt{\sum_{j=0}^m d_{posi}(G(\vec{m}_{i+j}), \vec{m}'_j)} \leq \epsilon_p$
但し $0 \leq i \leq n - m$, $G(\vec{m}_i) = (gx_i, gy_i, gz_i, or_i, gr_i, ti)$, ここで A を 3次元空間の拡大・回転・平行移動を行うアフィン変換とし,
 $A(x_i, y_i, z_i, 0) = (gx_i, gy_i, gz_i, 1)$

【定義8】(向きの幾何変換類似性)

動き \vec{M}, \vec{M}' が以下の条件を満たすとき, 位置について ϵ - i -幾何変換類似している.

1. $f = f'$
2. $t_i = t'_i \wedge t_{i+m} = t'_{i+m}$
 $D_{ori}^i(\vec{M}, \vec{M}') = \sqrt{\sum_{j=0}^m d_{ori}(R(\vec{m}_{i+j}), \vec{m}'_j)} \leq \epsilon_o$
但し $0 \leq i \leq n - m$, $R(\vec{m}_i) = (x_i, y_i, z_i, r(or_i), gr_i, ti)$, $r(or_i)$ は方向の回転変換.

(傾き, 動きの幾何変換類似性の定義は省略)

3.5 動きの時間変換類似性

同じ軌跡を描く速度の異なる動きを, 同じ周波数で計測した場合や, 動きに一定の時間のずれがある場合は, これまで示した幾何変換でも類似性を認めることができない. そこで時間の平行移動と一般に time warping と呼ばれる拡大 (縮小) の操作を行う.

【定義9】(位置の時間変換類似性)

動き \vec{M}, \vec{M}' が以下の条件を満たすとき, 位置について ϵ - i -時間変換類似している.

1. $f = f'$
2. $tw_i = t'_i \wedge tw_{i+m} = t'_{i+m}$
 $D_{posi}^i(\vec{M}, \vec{M}') = \sqrt{\sum_{j=0}^m d_{posi}(TW(\vec{m}_{i+j}), \vec{m}'_j)} \leq \epsilon_p$
但し $0 \leq i \leq n - m$,
 $TW(\vec{m}_i) = (x_i, y_i, z_i, or_i, gr_i, at_i + b)$, a, b は定数

(向き, 傾き, 動きの時間変換類似性の定義は省略)

4 まとめと今後の課題

本稿では, ムービングオブジェクトデータに対する類似性の体系化を試みた. 今後は, 定義した類似性に基づいて本システムに適切な類似検索機能を実装していく予定である. この中で, ムービングオブジェクトデータのような大量の時空間データを高速検索するための R-tree [2, 3, 4] などを利用した適切な索引付けや, 幾何変換・時間変換の効率的な処理を行う類似検索アルゴリズムの開発といったパフォーマンスを考慮していく.

参考文献

- [1] 鶴飼規子, 増永良文: “ムービングオブジェクトデータベースシステムのための時空間拡張関係モデル, 第11回データ工学ワークショップ, 7B-2 (2000).”
- [2] R. Agrawal, C. Faloutsos, and A. Swami: “Efficient similarity search in sequence database,” *In FODO conference, Evanston, Illinois, October (1993).*
- [3] C. Faloutsos, M. Ranganathan and Yannis Manolopoulos: “Fast Subsequence Matching in Time-Series Databases,” *Proc. of the 1994 ACM SIGMOD international conference on Management of data*, pp 419 - 429 (1994).
- [4] Davood Rafiei and Alberto Mendelson: “Similarity-based queries for time series data” *Proc. of the ACM SIGMOD international conference on Management of data*, pp 13 - 25 (1997).