

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 類似検索機能の実現に向けて

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@dblabb.is.ocha.ac.jp, masunaga@is.ocha.ac.jp

概要

我々は、実世界を動き回るオブジェクトの動きのデータを格納し、動きに関する様々な問合わせを可能にするムービングオブジェクトデータベースシステムの構築を目指している。動きとは一般に、「回転する」「揺れる」のように定義が明確でない言葉で表現されたり、あるいは言語による表現が困難なものである。そこで本システムでは動きに関する問合わせ手段として有効な類似検索機能を提供する。これは実際に所望の動きを計測し、そのデータを与えることでデータベース内にあるデータとの類似度を計算して絞り込み検索を行うものである。しかしながらオブジェクトの動きには位置のみならず向きや傾き、そして時間という要素があり、類似度を計算するにあたってそれらの要素を考慮に入れた類似性を定義する必要がある。本稿では、類似検索機能の実現に向けてムービングオブジェクトデータに対する類似性を体系的に定義し、一部検証を試みる。

キーワード：ムービングオブジェクト、時空間データベース、時系列データ、類似検索、非類似性、メトリックアプローチ、変換アプローチ、QuickMAG IV

Toward a Realization of Similarity Search for Moving Object Databases

Satoko Mizusaki[†] Yoshifumi Masunaga[‡]

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

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

ABSTRACT

We aim for constructing a moving object database system that enables us to store moving objects in the real world and issue queries for various types of object moves. In general, the words in a natural language such as "rotate" or "wave" are difficult to express the exact move of an object that a user wants to specify. So, it seems natural to introduce a query-by-example (QBE)-based similarity search on object move in a moving object database system. In this paper, we first investigate a various types of the identity and the similarity of object moves, and then introduce a moving object query model which takes into account not only the time and location of moving objects but also the time warping and the spatial transformation of object move so that we can answer to a variety of spatio-temporal queries about object move. A fundamental experience about similarity the QBE-based moving object search is also reported in this paper.

Key words : moving object, spatio-temporal database, time-series data, similarity search, dissimilarity, metric approach, transformation approach, QuickMAG IV

1 はじめに

近年、モーションキャプチャリングシステムやGPS(Global Positioning System)等、動いているオブジェクトの一定時刻毎の位置を計測できるセンシング技術が発達してきている。それに伴って、取得したデータをデータベースに蓄え、動きに関する様々な問合せを行いたいという要求が高まってきた。

我々はこうした要求に応えることのできるデータベースシステムの構築を目指している。これまでに、オブジェクトの動きの時間的性質と空間的性質をデータベース上で統合的に扱うことのできる時空間データモデルを提案してきた。更に問合わせ言語として、ドメインリレーショナル論理に基づくMOQLを提案した[1, 2]。

しかしながら一般的に、動きを表現する際には「回転する」「揺れる」のように定義が明確でない言葉を用いたり、あるいは言語によって表現するのが困難な場合が考えられる。こうした理由から、動きに関する問合わせ手段には言語に依らない検索機能が望まれる。

そこで本システムでは、実際に所望の動きをモーションキャプチャリングシステムを利用して計測し、そのデータをサンプルとして与えることで、その動きに類似したデータを検索することのできる類似検索機能を導入したいと考えた。類似検索は、サンプルの動きとの類似度(相違度)がある範囲以内であるような動きを検索するようなものであり、類似性を測るための距離関数が必要となる。

本稿では、このような類似検索機能の実現に向けてムビングオブジェクトデータに対する類似性を位置、更に向きや傾き、時間を考慮に入れて体系的に定義する。また一部検証を試みる。

2 類似検索

類似検索とは、サンプルと何らかの類似性が認められるデータをデータベース内から検索するものである。類似性はアプリケーションによって様々な定義されるが、マルチメディアデータを検索の対象とする多くの類似検索は、類似性の定義の方法で距離アプローチ(metric approach)と変換アプローチ(transformation approach)の2つに分類できる[12]。

2.1 距離アプローチ

距離アプローチでは、2つのデータ間の類似性を距離関数によって測る。距離関数をDとすると、Dは集合Xに属するデータx, y, zについて以下のような距離空間における性質を満たしている。

$$\begin{aligned} D(x, y) &= D(y, x) \\ D(x, y) &\geq D(x, z) + D(z, y) \\ D(x, x) &= 0 \end{aligned}$$

代表的な距離関数にMinkowsky距離がある。これはi次元の点を $X = \{X_j\}_{j=1\dots i}$, $Y = \{Y_j\}_{j=1\dots i}$ と表したとき、XとYとの距離を以下のように定義するものである。

$$L_s = \{\sum_{j=1}^i |X_j - Y_j|^s\}^{\frac{1}{s}}$$

L_1 はManhattan距離、 L_2 はEuclidean距離、 L_∞ はChebychev距離と呼ばれる。このアプローチは、距離関数を唯一定義するために、類似性を柔軟に定義できないという問題がある。一方、巨大で距離計算が高価なマルチメディアデータベースに対して、特徴抽出関数を用いた次元圧縮と、R-Tree等の索引構造を応用し易いという利点がある。これは、特徴抽出関数として(1)変換前後で距離関係を維持している、(2) $D_{feature}(f(X), f(Y)) \leq D(X, Y)$ の条件を満たすようなDFTやwavelet変換を用いることで特徴空間でも単一の距離の概念を利用でき、更にfalse dismissalを犯さないことを保証できるためである[12]。

2.2 変換アプローチ

変換アプローチでは、2つのデータが与えられると、一方のデータからもう一方のデータへの変換操作を行う。変換とは、平行移動や拡大といった幾何学的変換をはじめ、アプリケーションによって様々な定義されるものである。その変換に要したコストによって類似性を定義する。例えば、i次元の点 $X = \{X_j\}_{j=1\dots i}$, $Y = \{Y_j\}_{j=1\dots i}$ が与えられたとする。Xに対して変換操作を行った結果をX'とする。この時、以下で示すようなXからX'への一連の変換操作を表す変換演算子の集合を $TS = \{to_1, to_2, \dots, to_r\}$ と表す。

$$\begin{aligned} 1. to_1(X) &= X_1 \\ 2. to_i(X_{i-1}) &= X_i \\ 3. to_r(X_{r-1}) &= X' \end{aligned}$$

上記の変換列TSのコストを次のように定義する。

$$cost(TS) = \sum_{i=1}^r cost(to_i)$$

この変換列は一意に決まるとは限らない。よってTSeq(X, Y)をXからYへ変換するすべての変換列の集合とし、類似性D(X, Y)を以下のように定義する。

$$D(X, Y) = \min\{cost(TS) \mid TS \in TSeq(X, Y) \cup TSeq(Y, X)\}$$

このアプローチは、ユーザにオペレータの選択を許し、多様な類似性に対応できる反面、索引付けが複雑なものになるか不可能であることが知られている[12]。

2.3 関連研究

時系列データにおける類似検索の最も単純なものは、ユークリッド距離を用いた距離アプローチによるものである。先にも示したように、これらは距離関数を用いる利点を活かし、次元圧縮と索引付けを行っている。[3]では whole matching に適した索引付けメカニズム F-index を提案している。すべての系列データを DFT を用いて周波数領域にマッピングし、それぞれに対して先頭の f_c 係数を取り出す。これはユークリッド空間における f_c 次元ベクトルと見なすことができるので Spatial Access Methods である R*-tree [4] 構造を利用して索引を構成している。

[5]では subsequence matching に対して ST-index を提案している。ここでは系列データ上に固定長の滑走窓を設け、その滑走窓を移動させながら区切られた部分列を DFT を用いて変換していく。この操作によって一つの系列データから生成された特徴空間中のベクトル列を tail と呼び、更に sub-tail に分割して、R*-tree の MBR (minimum bounding rectangle) で表す。range query に対して、問合わせ領域と交差しているようなすべての MBR が検索される。

しかしながら時系列データに対する類似性は単一の距離の概念だけで表すには不十分である。そこで [6]では変換アプローチが用いられている。ここではパターン言語 P, 変換規則言語 T, 問合わせ言語 L をコンポーネントとする、ドメインに依存しない類似検索の一般的なフレームワークを提案している。オブジェクト A は T で定義された一連の変換によってオブジェクト B に変換される時、B と類似していると言える。このとき各々の変換はコストを持ち、変換によるコストの総和が A と B の距離を表す。索引付けではなくシグネチャを生成して検索を行っている。

[7]は、変換として moving average, time warping を提案している。実際の株価データを用いてこれらの変換を行うことで類似性を示している。ここでは変換のコストと距離の関係を以下のように定義している。

$$D(\vec{x}, \vec{y}) = \min \begin{cases} D_0(\vec{x}, \vec{y}) \\ \min T \in t(\text{cost}(T) + D(T(\vec{x}), \vec{y})) \\ \min T \in t(\text{cost}(T) + D(\vec{x}, T(\vec{y}))) \\ \min T_1, T_2 \in t(\text{cost}(T_1) + \text{cost}(T_2) \\ + D(T_1(\vec{x}), T_2(\vec{y}))) \end{cases}$$

D_0 は \vec{x} と \vec{y} のユークリッド距離を、T は変換を表している。この研究では [3, 5] を利用した索引手法も提案されている。しかし値の拡大・縮小と時間軸上の平行移動は考慮されていない。

この他にも様々な類似性の定義、そして検索方法が提案されている。[8]は、平行移動を考慮したシグネチャによる検索を提案している。[9, 10]では、拡大・

縮小と平行移動を考慮し、更に索引付けも行っている。[11]では dynamic time warping を実現する索引付けを提案している。

3 動きの類似性

これまでに、類似性とはアプリケーションによって様々に定義されるものであることがわかった。本章では、実世界を動き回る物体の動きについてその要素を明らかにし、動きの類似性の定義を行う。

3.1 動き

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 $\vec{m}_i = (\vec{p}_i, \vec{or}_i, \vec{gr}_i, t_i)$ で、それぞれオブジェクトの位置ベクトル $\vec{p}_i = (x_i, y_i, z_i)$, 向きベクトル $\vec{or}_i = (ox_i, oy_i, oz_i)$, 傾きベクトル $\vec{gr}_i = (gx_i, gy_i, gz_i)$ を表す。向き・傾きベクトルは単位ベクトルとする。また $t_s = t_0$, $t_e = t_n$ ($n = (t_e - t_s)/f$) である。

3.2 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. $f = f'$
2. $t_s = t'_s \wedge t_e = t'_e$
3. $(\forall i) \vec{p}_i = \vec{p}'_i \wedge \vec{or}_i = \vec{or}'_i \wedge \vec{gr}_i = \vec{gr}'_i$

3.3 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} が、 \vec{M}' に対して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. $f = f'$
2. $t_s = t'_s \wedge t_e = t'_e$
3. $D_{\text{posi}}(\vec{M}, \vec{M}') = \sqrt{\sum_{i=0}^n d_{\text{posi}}(\vec{m}_i, \vec{m}'_i)} \leq \epsilon$
但し $d_{\text{posi}}(\vec{m}_i, \vec{m}'_i) = |\vec{p}_i - \vec{p}'_i|^2$

【定義 3】(向きの基本類似性)

動き \vec{M} が, \vec{M}' に対して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. $f = f'$
2. $t_s = t'_s \wedge t_e = t'_e$
3. $D_{ori}(\vec{M}, \vec{M}') = \frac{\sum_{i=0}^n d_{ori}(\vec{m}_i, \vec{m}'_i)}{2n} \leq \epsilon$
但し $d_{ori}(\vec{m}_i, \vec{m}'_i) = 1 + \vec{or}_i \cdot \vec{or}'_i$ ¹ を表す.

【定義 4】(傾きの基本類似性)

動き \vec{M} が, \vec{M}' に対して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. $f = f'$
2. $t_s = t'_s \wedge t_e = t'_e$
3. $D_{grad}(\vec{M}, \vec{M}') = \frac{\sum_{i=0}^n d_{grad}(\vec{m}_i, \vec{m}'_i)}{2n} \leq \epsilon$
但し $d_{grad}(\vec{m}_i, \vec{m}'_i) = 1 + \vec{gr}_i \cdot \vec{gr}'_i$ ¹ を表す.

【定義 5】(動きの基本類似性)

動き \vec{M} が, \vec{M}' に対して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. $f = f'$
2. $t_s = t'_s \wedge t_e = t'_e$
3. $D_{move}(\vec{M}, \vec{M}') = \omega_1 D_{posi}(\vec{M}, \vec{M}') + \omega_2 D_{ori}(\vec{M}, \vec{M}') + \omega_3 D_{grad}(\vec{M}, \vec{M}') \leq \epsilon$

3.4 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. $\vec{M} = (\vec{m}_0, \vec{m}_1, \dots, \vec{m}_m)$, $\vec{M}' = (\vec{m}'_0, \vec{m}'_1, \dots, \vec{m}'_n)$ ($m \leq n$) とする.

【定義 6】(位置の部分列類似性)

動き \vec{M} が, \vec{M}' に対して以下の条件を満たすとき, 位置について ϵ -部分列類似している.

1. $f = f'$
2. $t_0 = t'_i \wedge t_m = t'_{i+m}$
3. $D_{posi}^i(\vec{M}, \vec{M}') = \sqrt{\sum_{j=0}^m d_{posi}(\vec{m}_j, \vec{m}'_{i+j})} \leq \epsilon$
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.)

3.5 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.

¹・は内積を表す

【定義 7】(位置の幾何変換)

動き \vec{M} に関する幾何変換とは, \vec{M} の位置の要素 $\vec{p}_i = (x_i, y_i, z_i)$ に関する変換 $G \cdot t(x_j, y_j, z_j, 0)$ である. G は 3 次元空間の拡大・回転・平行移動を行うアフィン変換である.

(向き・傾きの幾何変換についても同様)

【定義 8】(位置の幾何変換類似性)

動き \vec{M}, \vec{M}' が与えられたとき, \vec{M} について幾何変換を行った結果が $\vec{L} = (\vec{l}_0, \vec{l}_1, \dots, \vec{l}_n)$ であるとする. \vec{M} が, \vec{M}' に対して以下のいずれかを満たすとき, 位置について幾何変換類似している. \vec{L} が \vec{M}' に対して

- (a) 定義 1 を満たすならば \vec{M} は \vec{M}' に対して幾何変換同一である.
- (b) 定義 2 を満たすならば \vec{M} は \vec{M}' に対して幾何変換基本類似している.
- (c) 定義 3 を満たすならば \vec{M} は \vec{M}' に対して幾何変換部分列類似している.

(向き, 傾き, 動きの幾何変換類似性の定義は省略)

3.6 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的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)

動き \vec{M} への時間変換とは, \vec{M} の時間の要素 t_i に関する変換 $TW(t_i) = at_i + b$ である. これによって周波数が元の周波数 f とは異なる時刻印を持つ系列データに変換される. そこで再び周波数 f の動きを構成したものが $\vec{L} = (\vec{l}_0, \vec{l}_1, \dots, \vec{l}_k)$ である. その方法を $a = 2, b = 1$ であるときを例に図 1 に示した. これは, 欠落した時刻のデータをそれ以前の最も近い欠落していない時刻のデータで補っている. この問題に対する方法としては他にも 2 つ考えられる. 欠落していないデータ間の平均のデータで補う方法と, 時間変換後の \vec{M} と \vec{M}' で共通の時刻だけに関してだけ考慮する方法である.

(向き・傾きの時間変換についても同様)

【定義 10】(位置の幾何変換類似性)

動き \vec{M}, \vec{M}' が与えられたとき, \vec{M} について時間変換を行った結果が $\vec{L} = (\vec{l}_0, \vec{l}_1, \dots, \vec{l}_k)$ であるとする. \vec{M} が \vec{M}' に対して, 以下の条件のいずれかを満たすとき位置について時間変換類似している. \vec{L} が \vec{M}' に

- (a) 定義1を満たすならば \vec{M} は \vec{M}' に対して時間変換同一である。
 - (b) 定義2を満たすならば \vec{M} は \vec{M}' 時間変換基本類似している。
 - (c) 定義3を満たすならば \vec{M} は \vec{M}' 時間変換部分列類似している。
- (向き, 傾き, 動きの時間変換類似性の定義は省略)

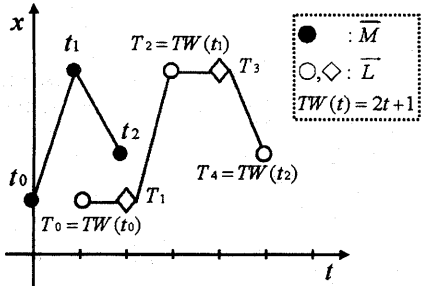


図 1: time warping

3.7 時空間変換類似性

幾何変換と時間変換を同時に考慮した類似性である。

【定義 11】 (位置の時空間変換類似性)

動き \vec{M}, \vec{M}' が与えられたとき \vec{M} について幾何変換と時間変換を行った結果が, $\vec{L} = (\vec{l}_0, \vec{l}_1, \dots, \vec{l}_k)$ であるとする. \vec{L}, \vec{M}' に対して, 位置について時空間変換類似しているとは, 以下の3つのいずれかを満たすことである。

- (a) 定義1を満たすならば時空間変換同一である。
- (b) 定義2を満たすならば時空間変換基本類似である。
- (c) 定義3を満たすならば時空間変換部分列類似である。

(向き, 傾き, 動きの時空間変換類似性の定義は省略)

4 基本類似性の検証

本説では, まず実験システムの概要を説明する. その後実験結果とその考察を述べる.

4.1 実験システムの構成

ムービングオブジェクトデータベースシステムの構成について図2に示した. センシング装置として光学式モーションキャプチャリングシステムである QuickMAG IV (応用計測社製) を, DBMS として PostgreSQL6.5.3 を使用した. これらに加え, ユーザ

インタフェースと挿入エンジン, 検索エンジンの3つの要素で構成されている.

挿入エンジン: 計測点の一定時間毎の位置座標の並びである計測データと, その他シーンやオブジェクトの諸情報を受け取り, ムービングオブジェクトデータモデル [2] に沿ったデータへの変換を行う. 変換したデータをデータベースに格納するための SQL 文を生成し, 発行する. 具体的なデータの構成については次節で述べる.

検索エンジン: 検索したい動きを QuickMAG で計測し, 計測データを元に, 挿入エンジンで行ったデータ変換と同様の処理を行う. それによって生成されるサンプルデータとデータベース内のデータとの類似度を計算する.

ユーザインタフェース: 格納インタフェースでは挿入エンジンの説明にあるシーンやオブジェクトの諸情報についての入力を受け付ける. 問い合わせインタフェースは, query by example による問い合わせを受け付ける. また検索エンジンから受け取った結果の表示を行う.

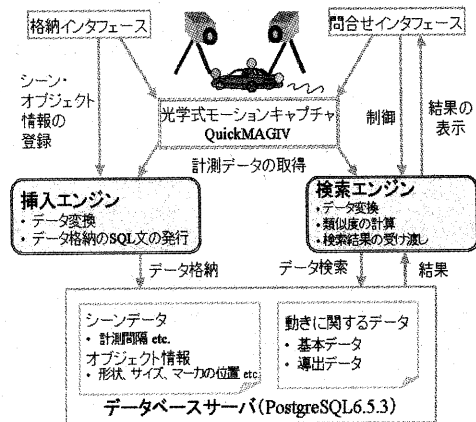


図 2: ムービングオブジェクトデータベースシステム

4.2 スキーマ構造

図3は, データモデルに沿って設計したスキーマを OMT 記法で示したものである. ここではクラス²間の関係を関連及び継承関係で表している.

motion クラスでは, 属性としてシーンの識別番号 (scene-id) とオブジェクト識別番号 (object-id), そして時区間 (timeinterval) を持ち, 各シーンのオブジェクトごとのデータを格納する. 時区間を導入することにより, オブジェクトがある一定の状態にあることを

²PostgreSQL ではテーブルのことをクラス, タップルのことをインスタンスと呼ぶ.

明示的に表現している。position クラス, orientation クラス, gradient クラスは motion クラスを継承し, それぞれ (x,y,z), direction として方向ベクトルを属性として持つ。この3つを, 我々は基本関係と呼ぶ。

distance_relation クラス, direction_relation クラス, 及び topological_relation クラスは基本関係から計算可能ではあるが問合わせの効率を考慮し, 予めデータベースに格納しておく方が良いと判断したデータで, 導出関係と呼ぶ。これについては本稿では直接扱うことはないので詳しくは [2] を参照して頂きたい。

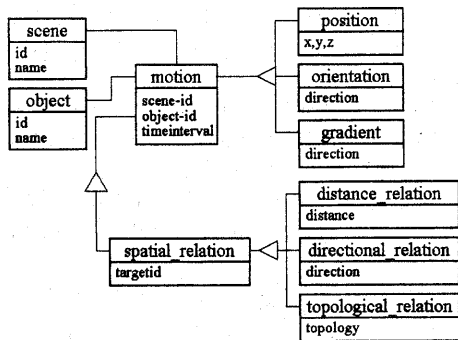


図 3: スキーマ設計図

4.3 検証実験結果

これまでに同一性, 基本類似性を考慮した類似検索を実装した。そして同じ軌跡を描く列車の動きを対象とした場合について検証を行った。具体的には, 図4に示したような a ~ c の3つの走行パターンのデータを検証する。type a は列車が等速で進んでいる (等速パターン), type b は, 前半に比べて後半が速く動いている (遅-速パターン)。type c は type b のパターンを繰り返している (遅-速-遅-速パターン)。データベースに対して, type a に属する scenel, train1 の動きをサンプルと指定し基本類似性についての検索を行った。この結果が表1である。

検索されたデータを分析してみると, サンプルと同じ type a に属するデータが上位に検索されていることがわかる。このことは, 設定した dissimilarity が, type a に属するデータ同士の類似性を測ることができていることを示している。しかし, サンプルと dissimilarity が大きくなる type b, type c のオブジェクト間にサンプルとの歴然とした違いは認められなかった。この原因として, 現在の距離関数はあくまでオブジェクト間の時刻毎の位置のズレを計算しているだけで, type a と type b の関係と, type a と type c の関係を区別することは出来ていないと言うことで

ある。走行パターンに注目する視点に立つと, type a との dissimilarity はパターンが一度変化する type b より, パターンが二度変化する type c が大きいと言うことも出来る。しかし基本類似性ではそれを追跡することは出来ない。この問題を解決するためには速度の変化を反映するような距離関数が必要になるのではないかと考えている。

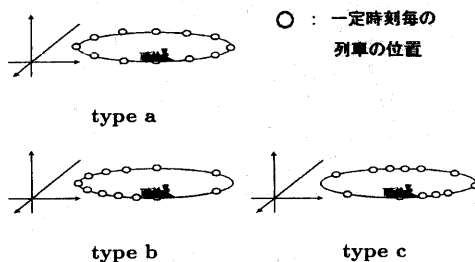


図 4: 実験データ

表 1: 基本類似性の検索結果

scene	object	dissimilarity	type
scenel	train1	0	a
scene4	train4	1951	a
scene5	train5	2020	a
scene9	train9	2061	b
scene13	train13	2070	c
scene3	train3	2072	a
scene2	train2	2073	a
scene11	train11	2158	c
scene6	train6	2185	b
scene7	train7	2196	b
scene8	train8	2196	b
scene12	train12	2199	c
scene14	train14	2205	c
scene15	train15	2236	c
scene10	train10	2239	b

5 おわりに

本稿では, まず類似検索に対する主なアプローチである距離アプローチと変換アプローチを説明し, 関連研究をまとめた。また, オブジェクトの動きに対する

問合わせ方法として類似検索機能を導入するため、多くの意味を持つ動きの類似性を体系的に定義した。この中で類似性とは、同一性・基本類似性・部分列類似性があり、更にそれぞれに対して幾何変換・時間変換・時空間変換を認める類似性があることを示した。

今後の課題としては、大きく分けて3つの項目が挙げられる。1点目は、幾何変換・時間変換の変換関数の決定方法である。例えば時間変換であれば、関数 $TW(t)=at+b$ の係数 a, b の決定方法である。サンプルデータの時区間(長さ s) は比較するデータの時区間(長さ s') より短くと仮定する。このときそれぞれの値は $0 \leq a \leq s'/s$, $0 \leq b \leq s' - s$ という範囲には限られるが、 a, b が実数であれば、可能な組み合わせは無限に存在する。また a が0に近づけば系列データは単一データ(一点)にまで縮小される。そこで変換アプローチの変換コストによる制約が必要になると考えられる。 a に関しては $|a|$ が1から離れるのに比例して増加するようなコストモデル、 b に関しては $|b|$ が0から離れるのに比例して増加するようなコストモデルが考えられる。但し、これらのコストモデルはアプリケーションに大きく依存することが予想される。従って今後は、具体的なアプリケーションの元でこのコストモデルの検討を行う予定である。

2点目は、索引付けである。一般に時系列データ間の距離を brute-force checking することは避けるのが望ましい。何故なら、時系列データはそれ自体が大きいものであり、それに対して定義した類似性を計算すれば、パフォーマンスの著しい低下を招くからである。関連研究でも多く見られるように、データの圧縮と圧縮したデータを利用した検索を行うような索引手法を検討しなければならない。

3点目は、オブジェクトの速度・加速度による類似性の考慮である。図4では(遅-速)の変化が type a は0回、type b では1回、type c では2回見られる。現在の距離関数はこのパターンの変化の回数を距離として計算してはいない。しかし、こうしたパターンを考慮した距離の概念も有用であり、本システムへの導入の必要があると考えている。現行の類似性(距離関数)の定義に加えて、速度の変化を反映できるものを導入することで、より多様な問合わせに応えることが出来るのではないだろうか。これについて今後分析を行い、動きに対する新たな類似性として提案できたらと考えている。

謝辞

増永研究室諸氏の討論に感謝する。なお、本研究は一部文部省科学研究費補助金(基盤研究(B))(課題番号11480085)の補助を受けている。

参考文献

- [1] Y. Masunaga, and N. Ukai.: Toward a 3D Moving Object Data Model - A Preliminary Consideration -, In *Proc. the 1999 International Symposium on Database Applications in Non-Traditional Environments, Kyoto*, pp.306-316 (1999).
- [2] 鵜飼規子: “ムービングオブジェクトデータモデルの提案と問合せ言語の設計,” お茶の水女子大学大学院修士論文(2000).
- [3] R. Agrawal, C. Faloutsos, and A. Swami: “Efficient similarity search in sequence database,” In *FODO conference, Evanston, Illinois*, October (1993).
- [4] N. Beckmann, H-P. Kriegle, R. Schneider and B. Seeger: “R”-tree: an efficient and robust access method for points and rectangles” *Proc. of the ACM SIGMOD conference on international Management of data*, pp 322 - 331 (1990).
- [5] C. Faloutsos, M. Ranganathan and Yanniss Manolopoulos: “Fast Subsequence Matching in Time-Series Databases,” *Proc. of the 1994 ACM SIGMOD international conference on Management of data*, pp 419 - 429 (1994).
- [6] H. V. Jagadish, A. O. Mendelzon and T. Mile: “Similarity-Based Queries” In *Symposium on Principles of Database Systems*, pp 36 - 45 (1995).
- [7] Davood Rafiei and Alberto Mendelzon: “Similarity-based queries for time series data” *Proc. of the ACM SIGMOD international conference on Management of data*, pp 13 - 25 (1997).
- [8] S. K. Lam and M. H. Wong: “A Fast Projection Algorithm for Sequence Data Searching” *Data and Knowledge Engineering*, 28:321 - 339 (1998)
- [9] R. Agrawal, K - L. Lin, H. S. Sawhney and K. Shim: “Fast similarity search in th presence of noise, scaling and translation in time-series databases” *Proc. of the 21st VLDB conference, Zurich, Switzerland*, pp 490 - 501 (1995)
- [10] K. K. W. Chu and M. H. Wong: “Fast Time-Series Searching with Scaling and Shifting” *Proc. of PODS*, pp 237 - 248 (1999)
- [11] B. Yi, H. V. Jagadish and C. Faloutsos: “Efficient Retrieval of Similar Time Sequences Under Time Warping” *International Conference on Data Engineering*, (1998)
- [12] V. S. Subrahmanian: “Principles of Multimedia Database System” *Morgan Kaufmann Publishers, Inc. San Francisco, California*, pp 114 - 123 <http://www.mkp.com>