

# ムービングオブジェクトデータベースシステムにおける 類似検索機能の研究

河内 聡恵<sup>†</sup> 増永 良文<sup>††</sup>

<sup>†</sup> お茶の水女子大学大学院人間文化研究科 〒1112-8610 東京都文京区大塚 2-1-1

<sup>††</sup> お茶の水女子大学理学部情報科学科 〒1112-8610 東京都文京区大塚 2-1-1

E-mail: <sup>†</sup>satoe@dblalab.is.ocha.ac.jp, <sup>††</sup>masunaga@is.ocha.ac.jp

あらまし 我々は、3次元空間内の物体の動きに関するデータを格納し、様々な問合せを実現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進めている。既に、動きに関する問合せ手段として有効な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が体系的に定義された。これにより、同じ軌跡を描く動きであっても、その時間的な変化まで類似した動きを検索することができるようになった。しかしながら、人が類似していると判断する一つの大きな要因として考えられる、速度変化のパターンを認識することはできない。本稿では、速度・加速度を考慮することにより類似性の定義を拡張し、速度変化のパターンを認識することができるような類似検索機能を提供することを目的とする。

キーワード ムービングオブジェクト, 時空間 DB, 時系列データ, 類似検索

## Research on Similarity Search for a Moving Object Database System

Satoe KAWACHI<sup>†</sup> and Yoshifumi MASUNAGA<sup>††</sup>

<sup>†</sup> Graduate School of Humanities and Sciences, Ochanomizu University,  
2-1-1 Otsuka, Bunkyo-Ku, Tokyo, 112-8610 Japan

<sup>††</sup> Department of Information Sciences, Faculty of Science, Ochanomizu University,  
2-1-1 Otsuka, Bunkyo-Ku, Tokyo, 112-8610 Japan

E-mail: <sup>†</sup>satoe@dblalab.is.ocha.ac.jp, <sup>††</sup>masunaga@is.ocha.ac.jp

**Abstract** Our aim is to construct a moving object database system that enables us to store data about moving objects in the three-dimensional real world and allows us to issue queries for various types of object moves. Several identity and similarity definitions of object moves have been proposed, and by using one of them it became possible to distinguish two object moves that draw the same trajectory but move differently in time. However, it became also clear that the current definition cannot recognize the differences among speed-change patterns that seem to be a very important factor for human to judge the object move similarity. In this paper, we propose a new similarity measure that identifies the difference of speed-change patterns by taking into account the speed and the acceleration of the object moves.

**Key words** moving object, spatio-temporal database, time-series data, similarity search

### 1. はじめに

近年、人間の動き等を計測するためのモーションキャプチャリングシステムや、カーナビゲーションシステムなどで用いられるGPS(Global Positioning System)等のように、動く物体の位置を計測するためのセンシング技術が発達してきている。そこで、このような計測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やシミュレーション分析を行いたいという

要求が高まってきた。

これまでに、我々は動きに関する基本的要素としてオブジェクトの位置情報だけではなく、向き・傾き・形状情報を考慮に入れたムービングオブジェクトデータモデルを提案してきた[1],[2]。さらに、ドメインリレーショナル論理に基づいた問合せ言語であるMOQL(Moving Object Query Language)を提案し、これによって動きに関する様々な問合せ記述が可能となった。

しかしながら、我々がオブジェクトの動きを表現しようとする際、「回転する」「揺れる」のように定義が明確でない言葉を用いることが多い。また、思い描いた動きを言語によって表現するのが困難な場合も往々にしてある。こうした理由から、動きに関する問合せ手段には言語に依らない検索機能が有効なのではないかと考えた。そこで、検索したい動きを実際に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、それ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データベースシステムに導入することにした。これまでに、ムービングオブジェクトデータに対する類似性を動きの同一性、基本類似性、部分類似性、幾何変換類似性、時間変換類似性、時空間変換類似性の6つに分類し、定義した[3],[4]。

さて、人が類似していると判断する要因は様々である。近くにいたことを類似している、と言う場合もあれば、同じ方向を向いていたことを類似している、という場合もある。更に同じ頃に同じ場所を進んでいることを言う場合もあれば、動いた軌跡が似ていることを言う場合もある[3],[4]で定義された類似性に基づいて類似検索を行った結果、人が類似していると判断する一つの大きな要因として考えられる、速度の変化パターンを認識することはできなかった。そこで本稿では、速度や、速度の変化量を表す加速度を考慮することにより類似性の定義を拡張し、速度変化のパターンを認識することが出来るような類似検索機能を提供することを目的とする。

## 2. 関連研究

類似検索とは、サンプルデータ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。このような方法で判断される類似性は、アプリケーションによって様々に定義される。

### 2.1 時系列データの類似検索

これまでに、時系列データの効率的な類似検索のために様々な類似モデルが考案されてきた。最も単純なアプローチは、2つの時系列の距離を距離関数を用いて計算し、もしそれらの距離がある非類似許容値を超えなければ2つの時系列は類似している、とするものである。しかし、時系列データは一般に非常に大量であるため、逐次操作による距離計算は計算量という観点からは非常に効率が悪い。そこで、離散的フーリエ変換(DFT:Discrete Fourier Transform)や、離散的ウェーブレット変換(DWT:Discrete Wavelet Transform)などの特徴抽出関数を用いた次元圧縮と、R-treeファミリに代表される空間アクセス法を用いた索引付けの手法が多く提案されている[5]~[7]。

また[8]では、landmark modelという類似モデルを提案している。このモデルは、DFTの代わりに $n$ 階微分が0となる点( $n$ -th landmarks)を検索に用いる。各系列をlandmarksに変換し、検索を行う。Landmark modelは、DFTやDWTでは見落とされるpeakやbottomを保存できる。

しかしながら、多くのアプリケーションではユークリッド距離による単一の距離の概念だけでは類似性を定義することができない。そこで、2つのデータが与えられると、一方のデータ

からも一方のデータへの変換操作を行い、その変換に要したコストによって類似性を定義した研究も数多くされてきた[9]~[13]。ここで変換とは、値や時間軸の拡大縮小や平行移動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に定義されるものである。

この他にも、様々な類似性のモデルが提案されている[14]では、音声認識の分野で研究されている”dynamic time warping”を利用している。Dynamic time warpingとは、時間軸を局所的に拡大したり縮小する変換である。

### 2.2 ムービングオブジェクトデータへの適応

我々が扱うムービングオブジェクトデータも、時間とともに座標値が変化するという点で、時系列データの一種と行うことができる。しかし、株価データなどは1次元の時系列データであるのに対して、ムービングオブジェクトデータは3次元の時系列データである。また、実世界に存在するすべての物体には形があり、向きや傾きなどの空間的要素もある。しかし、関連研究ではムービングオブジェクト自身をあくまでも位置データだけをもつ「点」としてしか捉えることができない。したがって、関連研究における手法を用いただけでは、時刻における位置の相違度によって類似性を表すことはできても、船や飛行機の縦揺れ・横揺れや車のドリフト走行のような複雑な動きの類似性を表現することはできない。さらに、ムービングオブジェクトデータには位置座標から導出される速度(位置座標の1階微分)や加速度(位置座標の2階微分)などの要素もある。しかし、元データを1階微分値に変換し、それらを用いて効率的な検索を行う研究[8]はあるが、類似性の要素としてそれらを考慮している研究は寡聞にして知らない。その上、ムービングオブジェクトデータに必要な変換には、値と時間軸ともに拡大・縮小・平行移動が必要になると考えられるが、その全ての変換をサポートした関連研究も見られない。

## 3. 動きの基本類似性

本節では、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。また、我々が構築しているシステムについて述べる。更に、定義された類似性に基づき、類似検索を行った結果を検証する。

### 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・速度・加速度、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 $\vec{m}_i = (\vec{p}_i, \vec{v}_i, \vec{a}_i, t_i)$ で、それぞれオブジェクトの位置ベクトル $\vec{p}_i = (x_i, y_i, z_i)$ 、速度ベクトル $\vec{v}_i = (vx_i, vy_i, vz_i)$ 、加速度ベクトル $\vec{a}_i = (ax_i, ay_i, az_i)$ を表す。また、 $t_s = t_0$ 、 $t_e = t_n$ ( $n = (t_e - t_s) \times f$ )である。

### 3.2 動きの同一性

動きの類似性を求める前に、まずはその基本として動きの同一性の定義を行う。

定義 3.1: (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.  $(\forall i) \vec{p}_i = \vec{p}'_i$

### 3.3 動きの要素の基本類似性

動きのデータには、位置・速度・加速度という3つの要素がある . そこで、まずはそれぞれの要素についての類似性を定義した . 相違度の距離関数には、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 3.2: (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  $\epsilon$ -類似している .

1.  $f = f'$
2.  $t_s = t'_s \wedge t_e = t'_e$
3.  $D_p(\vec{M}, \vec{M}') = \frac{\sqrt{\sum_{i=0}^n d_p(\vec{m}_i, \vec{m}'_i)}}{n} \leq \epsilon$

但し  $d_p(\vec{m}_i, \vec{m}'_i) = |\vec{p}_i - \vec{p}'_i|^2$

定義 3.3: (速度の基本類似性)

動き  $\vec{M}$  が、 $\vec{M}'$  に対して以下の条件を満たすとき、速度について  $\epsilon$ -類似している .

1.  $f = f'$
2.  $t_s = t'_s \wedge t_e = t'_e$
3.  $D_v(\vec{M}, \vec{M}') = \frac{\sqrt{\sum_{i=0}^n d_v(\vec{m}_i, \vec{m}'_i)}}{n} \leq \epsilon$

但し  $d_v(\vec{m}_i, \vec{m}'_i) = |\vec{v}_i - \vec{v}'_i|^2$

定義 3.4: (加速度の基本類似性)

動き  $\vec{M}$  が、 $\vec{M}'$  に対して以下の条件を満たすとき、加速度について  $\epsilon$ -類似している .

1.  $f = f'$
2.  $t_s = t'_s \wedge t_e = t'_e$
3.  $D_a(\vec{M}, \vec{M}') = \frac{\sqrt{\sum_{i=0}^n d_a(\vec{m}_i, \vec{m}'_i)}}{n} \leq \epsilon$

但し  $d_a(\vec{m}_i, \vec{m}'_i) = |\vec{a}_i - \vec{a}'_i|^2$

### 3.4 類似検索機能の実装

本節では、ムービングオブジェクトデータベースシステムにおける類似検索機能の実装について述べる . まず、ムービングオブジェクトデータモデルに基づいたデータベーススキーマについて説明した後、我々が構築しているシステムの概要について説明する .

#### 3.4.1 データベーススキーマ

図 1 は [1], [2] で提案されたムービングオブジェクトデータモデルに沿って設計したデータベーススキーマを OMT 記法 [15] で示したものである . ここではクラス間の関係を関連及び継承関係で表している .

まず、シーン (計測したデータ全体の名称) とオブジェクトの組によって、各シーンのオブジェクト毎のデータを格納する motion クラスでは、属性としてシーンの識別番号 (scid) とオブジェクトの識別番号 (objid) と時区間型の属性 timeint を持つ .

さらに position クラス・orientation クラス・gradient クラス (これらを基本関係と呼ぶ) , および track クラス・velocity クラス・acceleration クラス (これらを導出関係と呼ぶ) では、motion クラスを継承している . その他の属性として position

クラスでは座標データ (x,y,z) を、orientation クラス及び gradient クラスでは方向を表す単位ベクトル (x,y,z) とそれを 27 方向に近似した方向データ (direction) を、velocity クラスでは速度ベクトル (x,y,z) を、acceleration クラスでは加速度ベクトル (x,y,z) を持つ . また、track クラスでは移動距離データ (distance) と移動方向のデータ (direction) を持つ .

2つのオブジェクト間の時空間的な関係を表す導出関係である distance\_relation クラス、directional\_relation クラス、topological\_relation クラスは、relation クラスを継承している . 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 .

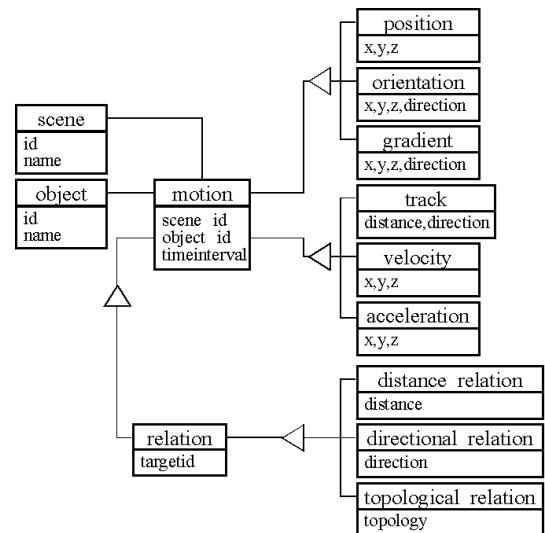


図 1 スキーマ設計図

#### 3.4.2 ムービングオブジェクトデータベースシステムの概要

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 SQL Server 7.0 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

格納インタフェースを通してユーザから取得したシーン、オブジェクト、計測データの所在といった情報をもとに、各オブジェクト毎の位置・向き・傾き・速度・加速度の計算を行い、これを時区間に基づいて構成し直す . また、この基本データを使って軌跡および各時刻におけるオブジェクト間の空間的な関係を計算して、同様に時区間に基づいてデータを構成する . 最後に、これらのデータを挿入するための SQL 文を発行する .

##### • 検索エンジン

問合せインタフェースを通じてユーザから指定されたサンプルに対して類似検索を行う .

##### • インタフェース

格納インタフェースでは、モーションキャプチャリングシステムで計測して取得したオブジェクトに関するデータとシーン

に関するデータ，計測データのファイルの所在等の入力をユーザから受付ける機能を提供する．問合せインタフェースでは，ユーザからの Query-by-Example に基づく問合せを受付ける機能や，検索結果の表示機能を提供する．

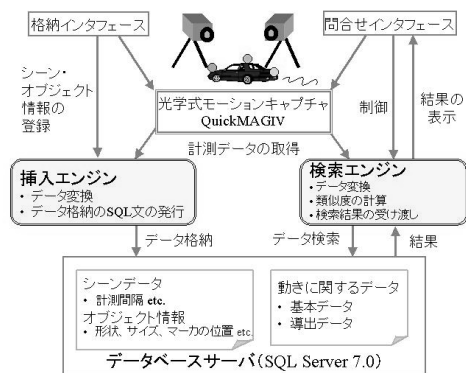


図2 ムービングオブジェクトデータベースシステム

### 3.5 類似検索の実行結果と評価 (実験 1)

この実験では模型列車の動きを計測し，基本類似性について検証を行った．具体的には，直径 70cm の環状の線路上を列車が A ~ C の 3 つの走行パターンで 10 秒間で一周する様子を計測，データベースへ格納した．

Type A： 等速で進む列車の動き (等速パターン)．

Type B： 前半に比べて後半が遅く動く列車の動き (速 - 遅パターン)．

Type C： Type B のパターンを繰り返す列車の動き (速 - 遅 - 速 - 遅パターン)．

データベースに対して，いずれかの Type に属する動きを一つ取り上げ，それをサンプルとして指定して基本類似性に基づいて検索を行った．このうち Type A に属する scene1, train1 の動きをサンプルとした場合の検索結果を表 1, 2, 3 に示す．ここで，scene はシーンの識別子，object はオブジェクトの識別子を表す．

検索の結果，サンプルが属する Type のデータが必ず上位に検索され，それ以外のものと区別することができた (表 1, 2, 3)．また，検索結果は各タイプがまとまってランキングされた．サンプルが Type A の時は，位置と速度に関しては，A, C, B の順で，加速度に関しては A, B, C の順だった．

#### 3.5.1 位置の類似性 (定義 3.2) による類似検索

位置の類似性 (定義 3.2) による類似検索によって得られた結果は，表 1 のようになった．サンプルが Type A の時は，A, C, B の順になった．このことから，本実験で定義した Type がこの類似性によって認識され，また A は B より C に似ていると判断できるように思われた．しかしながら，この結果は今回の実験で扱ったデータにばらつきがなかったため，偶然成立したものであることが [3], [4] によって示されている．

#### 3.5.2 速度の類似性 (定義 3.3) による類似検索

速度の類似性 (定義 3.3) による類似検索によって得られた結果は，表 2 のようになった．サンプルが Type A の時は，A, C, B の順になった．しかしながら，この結果は今回の実験で

表 1 位置 (定義 4.2) で類似検索を行った結果

scene	object	dissimilarity	type
scene1	train1	0	A
scene4	train4	2.819	A
scene2	train2	2.246	A
scene3	train3	3.734	A
scene10	train10	9.490	C
scene12	train12	9.855	C
scene9	train9	9.963	C
scene11	train11	10.940	C
scene6	train6	12.859	B
scene8	train8	13.505	B
scene7	train7	13.614	B
scene5	train5	18.447	B

表 2 速度 (定義 4.3) で類似検索を行った結果

scene	object	dissimilarity	type
scene1	train1	0	A
scene2	train2	2.244	A
scene4	train4	2.392	A
scene3	train3	3.817	A
scene10	train10	8.759	C
scene12	train12	9.064	C
scene9	train9	9.196	C
scene11	train11	9.578	C
scene6	train6	10.149	B
scene7	train7	10.463	B
scene8	train8	10.682	B
scene5	train5	12.846	B

表 3 加速度 (定義 4.4) で類似検索を行った結果

scene	object	dissimilarity	type
scene1	train1	0	A
scene2	train2	3.133	A
scene3	train3	5.496	A
scene4	train4	6.864	A
scene5	train5	16.615	B
scene7	train7	16.854	B
scene6	train6	17.540	B
scene8	train8	20.066	B
scene10	train10	20.585	C
scene9	train9	21.273	C
scene11	train11	21.577	C
scene12	train12	21.776	C

扱ったデータにばらつきがなかったため，偶然成立したものである．この実験では，速度の相違度は図 3 における各 Type を表す曲線で囲まれた面積におおよそ現れる．もし，今回の実験データよりも速度変化が著しい Type C に属するデータがあった場合，Type C 同士では類似しているとは判断されず，また順位も A, B, C となることが予想でき，偶然性を排除できない．

### 3.5.3 加速度の類似性 (定義 3.4) による類似検索

加速度の類似性 (定義 3.4) による類似検索によって得られた結果は, 表 3 のようになった. サンプルが Type A の時は, A, B, C の順になった. 加速度の類似性から得られたランキングについては, 次のように考察することができる. 加速度は, 速度の変化量であり, 速度が変わる際に著しく変化する (図 4). Type A は, 等速のため加速度の著しい変化はない. Type B は, 高速から低速になるときに加速度が 1 回著しく変化する. Type C は, 高速から低速になるときに, 低速から高速になるときに, 高速から低速になるときに, の計 3 回加速度が著しく変化する. 加速度の相違度は, 図 4 における各 Type を表す曲線で囲まれた面積におおよそ現れる. 従って, 速度が変化する回数の少ない Type B が Type C より常に上位にランキングされたと考えられる.

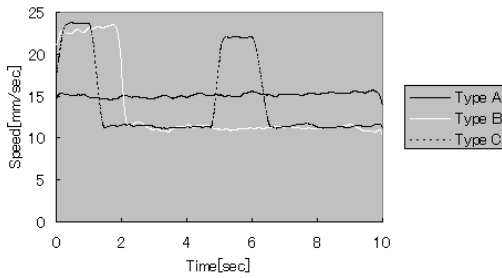


図 3 Type による速度の比較

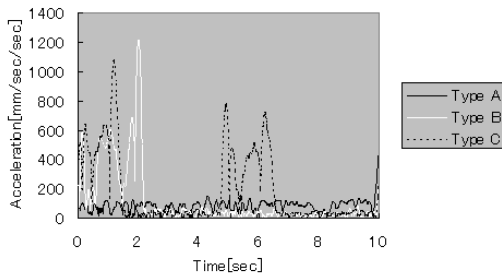


図 4 Type による加速度の比較

## 4. 速度変化を捉えた類似性

本章では, 速度変化のパターンを判断することができる類似性を導入する. また, 定義に基づいて実験を行った結果を検証する.

### 4.1 加速度の変化回数による動きの分割

3.5 節で行った実験より, 加速度は速度が変化するたびに著しく変化するため, 速度変化回数を捉えることができることがわかった. そこで, 動き  $\vec{M}$  において  $|\ddot{a}_i|$  がある閾値  $\alpha$  を超えた時区間で最大値をとる時刻  $t_i$  (但し  $0 \leq i \leq k$ ) で動きを  $k+1$  個に分割する (図 5). 分割された動きを  $\vec{M}_0, \dots, \vec{M}_k$  とする.

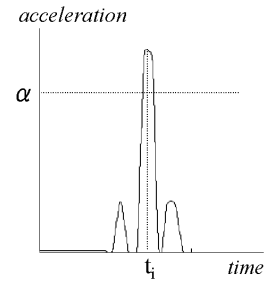


図 5 動きを分割する時刻

定義 4.1: (分割された動きの基本類似性)

動き  $\vec{M}, \vec{M}'$  がおのおの,  $(\vec{M}_0, \vec{M}_1, \dots, \vec{M}_p), (\vec{M}'_0, \vec{M}'_1, \dots, \vec{M}'_q)$  に分割されたとき,

$$D_{posi}(\vec{M}, \vec{M}') = D_{posi}(\vec{M}_0, \vec{M}'_0) + \dots + D_{posi}(\vec{M}_i, \vec{M}'_i) + \dots + D_{posi}(\vec{M}_q, \vec{M}'_q)$$

$$D_{velo}(\vec{M}, \vec{M}') = D_{velo}(\vec{M}_0, \vec{M}'_0) + \dots + D_{velo}(\vec{M}_i, \vec{M}'_i) + \dots + D_{velo}(\vec{M}_q, \vec{M}'_q)$$

とする.

但し  $p \leq q$ ,  $D_{posi}(\vec{M}_i, \vec{M}'_i), D_{velo}(\vec{M}_i, \vec{M}'_i)$  はそれぞれ位置の相違度, 速度の相違度を表す.

$D_{posi}(\vec{M}_i, \vec{M}'_i), D_{velo}(\vec{M}_i, \vec{M}'_i)$  は, 一般に計測開始時刻, 終了時刻が等しくないため, 3.3 節で定義された基本類似性では計算できない. そこで,  $D_{posi}(\vec{M}_i, \vec{M}'_i), D_{velo}(\vec{M}_i, \vec{M}'_i)$  を新たに定義した. ここで,  $L_i(t), L'_i(t)$  は横軸に時刻  $t$ , 縦軸に移動距離  $L$  をとった  $L-t$  グラフの表す式,  $v_i(t), v'_i(t)$  は横軸に時刻  $t$ , 縦軸に速度  $v$  をとった  $v-t$  グラフの表す式, 積分範囲は  $\vec{M}_i, \vec{M}'_i$  それぞれの開始時刻  $t_s(t'_s)$  から終了時刻  $t_e(t'_e)$  までとする.

定義 4.2: (分割された動きにおける位置の類似性)

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

$$D_{posi}(\vec{M}_i, \vec{M}'_i) = \left| \int_{t_s}^{t_e} L_i(t) dt - \int_{t'_s}^{t'_e} L'_i(t) dt \right| \leq \epsilon$$

定義 4.3: (分割された動きにおける速度の類似性)

動き  $\vec{M}_i$  が,  $\vec{M}'_i$  に対して以下の条件を満たすとき, 速度について  $\epsilon$ -類似している.

$$D_{velo}(\vec{M}_i, \vec{M}'_i) = \left| \int_{t_s}^{t_e} v_i(t) dt - \int_{t'_s}^{t'_e} v'_i(t) dt \right| \leq \epsilon$$

ここで,  $p \leq q$  であるから, 動き  $\vec{M}_{p+1}$  以降は存在しない. そこで, 次のようなコスト関数を定義する.

定義 4.4: (分割数が異なる場合の類似性)

$p < i \leq q$  に対して,

$$D_{posi}(\vec{M}_i, \vec{M}'_i) = D_{velo}(\vec{M}_i, \vec{M}'_i) =$$

定義 4.4 より, 速度の変化回数が異なる 2 つの動きは類似していないと判断することができる.

### 4.2 位置の相違度と速度の相違度の対応関係

前節で, 加速度によって動きを分割し, 位置と速度の相違度によって類似性を定義した. ここで, もし位置の相違度と速度の相違度が対応していれば, どちらかの要素のみの相違度で動

きの類似性を表すことができる．つまり，次の命題を考える．今後，加速度によって分割された各動きは，ほぼ速度一定であると仮定する．この仮定は，実験により裏付けられている．このとき，次の命題が成り立つ．

命題：（位置の相違度と速度の相違度の対応）

サンプルとなる動き  $\vec{M}_s$ ，比較される動き  $\vec{M}_{d1}$ ， $\vec{M}_{d2}$  を与えたとき，

$$D_{posi}(\vec{M}_s, \vec{M}_{d1}) \leq D_{posi}(\vec{M}_s, \vec{M}_{d2})$$

$$\text{iff } D_{velo}(\vec{M}_s, \vec{M}_{d1}) \leq D_{velo}(\vec{M}_s, \vec{M}_{d2})$$

が成り立つ．

ここで，この命題を検証する．サンプルとなる動き  $\vec{M}_s$  と比較される動き  $\vec{M}_d$  の移動距離を  $L$  とする．ここで，2つの場合を考える．

- (1)  $\vec{M}_s, \vec{M}_d$  共に時刻  $\tau_c$  で1回速度変化の場合
- (2)  $\vec{M}_s, \vec{M}_d$  はそれぞれ時刻  $\tau_{cs}, \tau_{cd}$  で1回速度変化の場合

#### 4.2.1 (1) の場合

$\vec{M}_s$  が速度  $v_{s1}$  で時刻  $\tau_s (= 0)$  から  $\tau_c$  まで距離  $L_{s1}$  移動し，速度  $v_{s2}$  で時刻  $\tau_c$  から  $\tau_e$  まで距離  $L_{s2}$  移動したとする．同様に， $\vec{M}_d$  が速度  $v_{d1}$  で時刻  $\tau_s (= 0)$  から  $\tau_c$  まで距離  $L_{d1}$  移動し，速度  $v_{d2}$  で時刻  $\tau_c$  から  $\tau_e$  まで距離  $L_{d2}$  移動したとする．但し， $L_{s1} + L_{s2} = L_{d1} + L_{d2} = L$  とする (図6)． $L_{s1} = v_{s1} * \tau_c$ ， $L_{s2} = v_{s2} * (\tau_e - \tau_c)$ ， $L_{d1} = v_{d1} * \tau_c$ ， $L_{d2} = v_{d2} * (\tau_e - \tau_c)$  であるから，

$D_{posi}(\vec{M}_s, \vec{M}_d) = |\frac{1}{2}\tau_e * (L_{s1} - L_{d1})| = |\frac{1}{2}\tau_e * \tau_c * (v_{s1} - v_{d1})|$   
 $D_{velo}(\vec{M}_s, \vec{M}_d) = |\tau_c * (v_{s1} - v_{d1})| + |(\tau_e - \tau_c) * (v_{s2} - v_{d2})|$   
 となる． $x$  軸に速度， $y$  軸にそれぞれ  $D_{posi}(\vec{M}_s, \vec{M}_d)$ ， $D_{velo}(\vec{M}_s, \vec{M}_d)$  をとると，両者とも速度  $v_{s1}$  のときに0となるV字型 ( $\tau_{s1}$  まで単調減少，その後単調増加) のグラフを描く (図7)．したがって，命題が成り立つ．

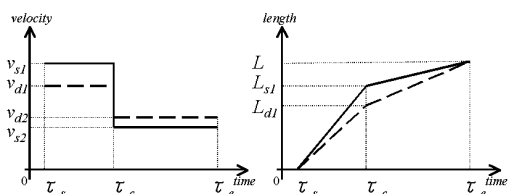


図6 (1) の場合

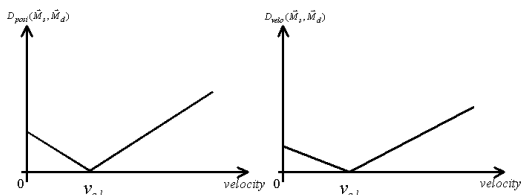


図7 速度と相違度の関係

#### 4.2.2 (2) の場合

$\vec{M}_s$  が速度  $v_{s1}$  で時刻  $\tau_s (= 0)$  から  $\tau_{sc}$  まで距離  $L_{s1}$  移動し，速度  $v_{s2}$  で時刻  $\tau_{sc}$  から  $\tau_e$  まで距離  $L_{s2}$  移動したとす

る．同様に， $\vec{M}_d$  が速度  $v_{d1}$  で時刻  $\tau_s (= 0)$  から  $\tau_{dc}$  まで距離  $L_{d1}$  移動し，速度  $v_{d2}$  で時刻  $\tau_{dc}$  から  $\tau_e$  まで距離  $L_{d2}$  移動したとする．但し， $L_{s1} + L_{s2} = L_{d1} + L_{d2} = L$  とする (図8)． $L_{s1} = v_{s1} * \tau_{sc}$ ， $L_{s2} = v_{s2} * (\tau_e - \tau_{sc})$ ， $L_{d1} = v_{d1} * \tau_{dc}$ ， $L_{d2} = v_{d2} * (\tau_e - \tau_{dc})$  であるから，

$$D_{posi}(\vec{M}_s, \vec{M}_d) = |\frac{1}{2}(L_{s1} * \tau_{sc} - L_{d1} * \tau_{dc})|$$

$$+ |\frac{1}{2}((L_{s1} + L) * (\tau_e - \tau_{sc}) + (L_{d1} + L) * (\tau_e - \tau_{dc}))|$$

$$D_{velo}(\vec{M}_s, \vec{M}_d) = |v_{s1} * \tau_{sc} - v_{d1} * \tau_{dc}|$$

$$+ |v_{s2} * (\tau_e - \tau_{sc}) - v_{d2} * (\tau_e - \tau_{dc})|$$

となる． $x$  軸に時刻， $y$  軸に速度， $z$  軸にそれぞれ  $D_{posi}(\vec{M}_s, \vec{M}_d)$ ， $D_{velo}(\vec{M}_s, \vec{M}_d)$  をとると，両者とも時刻  $\tau_{sc}$ ，速度  $v_{s1}$  のときに0となる  $z = c - xy$  ( $c$  は定数) 型のグラフを描く (図9)．したがって，命題が成り立つ．

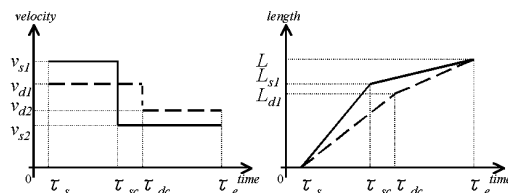


図8 (2) の場合

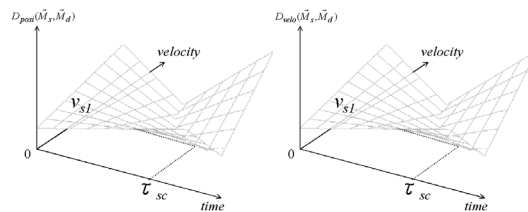


図9 時刻，速度，相違度の関係

命題より，位置の相違度が速度の相違度どちらかの要素のみで動きの類似性を表すことができる．ここでは，位置の相違度を用いることにする．

定義 4.5：（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  $\epsilon$ -類似している．

$$D_{move}(\vec{M}, \vec{M}') = D_{posi}(\vec{M}, \vec{M}') \leq \epsilon$$

#### 4.3 類似検索の実行結果と評価

本節では，前節で定義した動きの基本類似性に基づいて行った実験の結果を検証する．実験には，3.5節の実験と同様，3.4節で述べたシステムを用いた．

##### 4.3.1 実験 2

まず，3.5節で用いた3つのTypeのデータを用いて，新たに定義した類似性に基づいて検索を行った．いずれのTypeをサンプルとして与えた場合でも，他のTypeとは速度変化回数が異なるため，定義4.4により他のTypeの動きはランキング外になった．

### 4.3.2 実験 3

次に、Type B に属するデータのみを対象に実験を行った。3.5 節の実験と同様、直径 70cm の環状の線路上を列車が  $B_1 \sim B_3$  の 3 つの走行パターンで 10 秒間で一周する様子を計測、データベースへ格納した。

Subtype  $B_1$  : 計測開始から 1 秒後に高速から低速に変化する列車の動き。

Subtype  $B_2$  : 計測開始から 2.5 秒後に高速から低速に変化する列車の動き。

Subtype  $B_3$  : 計測開始から 5 秒後に高速から低速に変化する列車の動き。

データベースに対して、いずれかの Subtype に属する動きを一つ取り上げ、それをサンプルとして指定して基本類似性に基づいて検索を行った。このうち Subtype  $B_1$  に属する scene101, train101 の動きをサンプルとした場合の検索結果を表 4, 5 に示す。

検索の結果、サンプルに属する Subtype のデータが必ず上位に検索され、それ以外のもとの区別することができた。また、Subtype  $B_1$  をサンプルとして与えた場合は、位置の相違度、速度の相違度どちらを用いてもランキングは  $B_1, B_2, B_3$  の順になり、人が類似していると判断する要因の一つである速度変化パターンを認識することができた。

## 5. まとめと今後の課題

本稿では、動きに対する問合せ手段として、実際にモーションキャプチャリングシステムを利用して所望の動きを計測し、それをサンプルと指定することで類似した動きのデータを検索する類似検索機能を拡張した。動きが類似していると一口に言っても、その意味するところは多様であり、速度変化のパターンが似ている、というも動きが類似していると判断する一つの要因である。これまでに定義された動きの類似性は、時刻おける位置の相違度が基準になっていたが、それでは速度変化のパターンを認識することはできなかった。

そこで、速度変化のパターンを判断することができる類似検索機能を提供するために、新たに動きの類似性を定義した。まず、速度や速度の変化量である加速度を動きの要素に追加し、各要素の類似性を新たに定義した。

実際に、模型列車の動きを計測してデータを格納し、検索を行った結果を検証したところ、位置と速度の類似性は偶然性を排除できない結果になるが、加速度は速度の変化回数を捉えることができることがわかった。

次に、加速度の著しく変化する時刻で動きを分割し、位置と速度の相違度によって類似性を判断する、として新たに動きの類似性を定義した。このとき、位置の相違度と速度の相違度には対応関係があり、どちらか一方の相違度のみを用いて動きの類似性を表すことができることを示した。

実際に検索を行ったところ、速度の変化回数の異なる動きは全く別の動きとして判断された。また、同じ速度の変化回数でも、速度の変化する時刻が異なる動きの方が違う動きとして判断された。つまり、速度変化のパターンを認識することがで

表 4 位置の相違度で類似検索を行った結果

scene	object	dissimilarity	subtype
scene101	train101	0	$B_1$
scene102	train102	2.877	$B_1$
scene104	train104	4.648	$B_1$
scene103	train103	4.924	$B_1$
scene105	train105	5.642	$B_1$
scene106	train106	12.868	$B_2$
scene109	train109	13.461	$B_2$
scene108	train108	13.617	$B_2$
scene107	train107	14.206	$B_2$
scene110	train110	14.272	$B_2$
scene113	train113	20.681	$B_3$
scene111	train111	21.426	$B_3$
scene114	train114	21.472	$B_3$
scene112	train112	21.666	$B_3$
scene115	train115	21.868	$B_3$

表 5 速度の相違度で類似検索を行った結果

scene	object	dissimilarity	subtype
scene101	train101	0	$B_1$
scene102	train102	2.464	$B_1$
scene104	train104	3.609	$B_1$
scene103	train103	3.848	$B_1$
scene105	train105	4.143	$B_1$
scene106	train106	9.163	$B_2$
scene109	train109	9.240	$B_2$
scene108	train108	9.257	$B_2$
scene107	train107	9.321	$B_2$
scene110	train110	9.533	$B_2$
scene113	train113	14.030	$B_3$
scene111	train111	14.832	$B_3$
scene114	train114	14.893	$B_3$
scene112	train112	15.120	$B_3$
scene115	train115	15.158	$B_3$

きた。

今後の課題としては、大きく 2 つの項目が挙げられる。

1 点目は、動きの類似性の拡張である。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。ある動きに対して、その鏡像にあたる動きも似ていると判断する基準の一つと考えられる。また、オブジェクト間の関係についての類似性も考えられる。例えば、オブジェクト間の距離関係がおよそ似ているシーンを検索するといった問合せである。これらを考慮に入れて、新たな類似性を定義していく必要がある。

2 点目は、索引付けである。計測周波数 60 で 10 秒計測した動きは、位置のみでも最大 600 のタプルを持ち、一对のデータの相違度を求めるのに、このタプル数分の計算が必要になる。更に、一回の類似検索にはこの計算が、格納されている動きの個数分繰り返される。そこで索引付けを行い、効率的な検索を実現する必要があると考えられる。時系列データは一般にそのデータサイズが大きく、これに対して圧縮及び索引付けを

行う研究は、既に多くなされている。しかし、データの圧縮とその圧縮したデータを利用した検索では、検索の精度が劣化することがあるため、ムービングオブジェクトデータに対する類似検索としてある一定の精度を保ったまま効率的に検索する方法を検討していく。

#### 文 献

- [1] Y. Masunaga, N. Ukai: Toward a 3D Moving Object Data Model – A Preliminary Consideration –, In *Proceedings of the 1999 International Symposium on Database Applications in Non-Traditional Environments, Kyoto*, pp.306–316 (1999).
- [2] 鶴飼 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] 水崎 聡子, 増永 良文: “ムービングオブジェクトデータベースのための類似検索機能の実現に向けて,” 情報処理学会第 125 回データベースシステム研究会報告, Vol.2001, No.70, pp. 217–223, (2001).
- [4] 水崎 聡子: 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の研究, お茶の水女子大学大学院修士論文, (2002).
- [5] R.Agrawal, C.Faloutsos, and A.Swami: “Efficient Similarity Search in Sequence Databases,” In *Proceedings of the 4th International Conference on Foundations of Data Organization and Algorithm*, pp. 69–84, (1993).
- [6] C. Faloutsos, M. Ranganathan, and Y. Manolopoulos: “Fast Subsequence Matching in Time-Series Databases,” In *Proceedings of the ACM SIGMOD Conference on Management of Data*, pp. 419–429, (1994).
- [7] K. Chan and A. Fu: “Efficient Time Series Matching by Wavelets,” In *Proceedings of the 15th International Conference on Data Engineering*, pp. 126–133, (1999).
- [8] C. S. Perng, H. Wang, S. R. Zhang, D. S. Parker.: “Landmarks: A New Model for Similarity-Based Pattern Querying in Time Series Databases,” In *Proceedings of the 16th International Conference on Data Engineering*, pp. 23–32, (2000).
- [9] H. V. Jagadish, A. O. Mendelzon, and T. Milo: “Similarity-Based Queries,” In *Proceedings of the 14th ACM Symposium on Principles of Database Systems*, pp. 36–45, (1995).
- [10] D. Rafiei and A. Mendelzon: “Similarity-Based Queries for Time Series Data,” In *Proceedings of the ACM SIGMOD Conference on Management of Data*, pp. 13–25, (1997).
- [11] S. K. Lam and M. H. Wong: “A Fast Projection Algorithm for Sequence Data Searching,” *Data & Knowledge Engineering, Volume 28*, pp. 321–339, (1998).
- [12] R. Agrawal, K.-I. Lin, H. S. Sawhney, and K. Shim: “Fast Similarity Search in the Presence of Noise, Scaling, and Translation in Time-Series Databases,” *Proceedings of the 21st VLDB Conference*, pp. 490–501, (1995).
- [13] K. K. W. Chu, M. H. Wong: “Fast Time-Series Searching with Scaling and Shifting,” In *Proceedings of the 18th ACM Symposium on Principles of Database Systems*, pp. 237–248, (1999).
- [14] B.-K. Yi, H. Jagadish, and C. Faloutsos: Efficient Retrieval of Similar Time Sequences Under Time Warping, In *Proceedings of the International Conference on Data Engineering*, pp. 201–208, (1997).
- [15] J. Rumbaugh, et al.: Object-Oriented Modeling And Design, *Prentice-Hall International, Inc.*, 500p.,(1991).