

時空間データベース構築のためのムービングオブジェクトモデル

鵜飼 規子[†] 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

E-mail: ukai@dbl-lab.is.ocha.ac.jp, masunaga@is.ocha.ac.jp

概要

近年、GPSやモーションキャプチャシステムなど動く物体(=ムービングオブジェクト)の位置情報を取得するためのセンシング技術が発達してきた。それに伴い、時々刻々と変化するムービングオブジェクトの位置情報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。ここで多くの場合、センシング装置から取得できるデータはオブジェクトのある1点の位置情報と時間情報のみである。このデータだけでは、オブジェクトが進行している方向は表現できても、オブジェクトの向きや傾き、形状に関する情報を表すことはできない。本稿では、オブジェクトの移動だけではなく、さらにオブジェクト自身の向きや形状に関する情報も考慮に入れたムービングオブジェクトデータモデルを考察する。

A moving object model for the realization of spatio-temporal databases

Noriko Ukai[†] Yoshifumi Masunaga[‡]

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

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

ABSTRACT

The recent progress on positioning systems such as GPS (Geographical Positioning System) or motion capturing systems are tremendous, which leads to the users' request to store and use of moving objects in databases. However, in most cases only position data are stored in the database, which are not sufficient to perform various types of complex queries and simulation. In order to improve this problem, we propose a new spatio-temporal data model which can represent not only the position of a moving object but also its orientation, slope and figure by introducing the local coordinate system in addition to the global coordinate system.

1 はじめに

ムービングオブジェクトとは、地上で走り回る車、空を飛ぶ鳥や飛行機、あるいは人間や動物の動きなど、動く物体すべてを意味する。ムービングオブジェクトの特性は、その位置や姿勢、大きさなどの値が空間的かつ時間的に変動するという点にある。従って、ムービングオブジェクトを表現するためには、空間的データと時間的データの双方が必要となる。

近年、カーナビゲーションなどで広く使われているGPSや、人間の動きなどを計測するために用いられているモーションキャプチャシステム等のように、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。これらは、あらかじめ2次元または3次元の座標系を定義し、その座標空間における座標値を一定時間毎に位置情報として取得するためのものである。

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。しかし、データベースの分野において、空間データ、時間データのそれぞれを扱う技術は、ある程度体系化されてきているが、空間と時間を統合したデータベースに関する研究は、いくつか研究成果が報告されているものの、まだ初期段階である[3, 4]。さらに、物体の動きに関する情報を扱うデータベースの研究は、まだ始まったばかりの段階であるといえる[1, 2, 5]。

物体の動きを扱うデータベースのモデルを設計する際に注意しなければならないのは、センシング装置から直接取得できるデータは、オブジェクトを点として捉えた位置座標であるため、オブジェクトが進行している方向は表現できても、オブジェクトの向きや傾きに関する情報を表すことはできないことである。本稿では、オブジェクトの移動だけではなく、さらにオブジェクト自身の回転や、揺れ、方向転換に関する動きを考慮に入れたデータ構造を提案する。

2 基礎的考察

2.1 ムービングオブジェクトデータベースに関する先行関連研究

本節では、これまでに提案されてきたムービングオブジェクトデータモデルの中から、我々のアプローチに最も近いと考えられるNabilらの研究[1]を取り上げ、その現状での問題点について述べる。

Nabilらは、ビデオデータの内容に基づく検索の一手法として、オブジェクト間の時空間的な特徴に着目した研究を行った。ここでは、2次元空間のオブジェ

クトを対象としており、個々のオブジェクトに関しては、そのオブジェクトの中心点を取り、その点が各時間区間毎に移動した距離と移動した方向（空間的關係）を取得している。また、任意の2つのオブジェクトの間の関係は、各時間区間毎にオブジェクト間の位相関係と、各オブジェクトを x 軸と y 軸に射影したときの区間関係の組合せによって定義した方向関係のデータ（空間的關係）を取得している。以上によって例えば、「ウィンドウ内に描いた軌跡と似ている軌跡を持つオブジェクト」や「オブジェクトAが領域Bに左から入るシーン」といったオブジェクトの時空間的關係を用いた問合せを行うことが可能となっている。

しかし上記のモデルでは、オブジェクトを単純な点または点集合データとして捉えているため、オブジェクトの動きは点の動きとしてモデル化されていた。また、オブジェクト間の距離や方向などの関係もモデル化されておらず、ムービングオブジェクトに関する多様な問合せに対応するのが難しいという問題点があった。

2.2 ムービングオブジェクトとそのモデル化

ムービングオブジェクトとは、一般に1次元の時間軸上を非可逆に進行する3次元の空間（以後4次元の時空間という）上で動き回るオブジェクトであると定義する。これまでそのようなオブジェクトは空間上での1点として捉えられ、モデル化されていた。しかし、点としてモデル化してしまうと、そのオブジェクトの姿勢を表現することができないという問題点がある。その結果、例えば船の縦揺れ・横揺れや、ドリフト走行している車等を的確にモデル化することができない。

このような問題を解決するために、我々は4次元時空間でのオブジェクトの位置に加えて、形状や向きを的確に計測して、それをモデル化の対象とする。このために行うべきことは、4次元時空間を規定するグローバル座標系に加えてムービングオブジェクトそのものを姿勢の変化から不変に表現するためのローカル座標系を導入することである。図1に両座標系の間を示す。図から分かるように、ローカル座標系はオブジェクトの形状を生成するための座標系であり、この中で形状の頂点座標を決定する。次に作成した形状の位置や向き、傾きを決定するために用いられるのがグローバル座標系である。従って、オブジェクトの4次元時空間での位置はグローバル座標系の原点からローカル座標系の原点への位置ベクトルと、グローバル座標系から見たときのローカル座標系の傾き度合いによってムービングオブジェクトの姿勢を規定することができる。

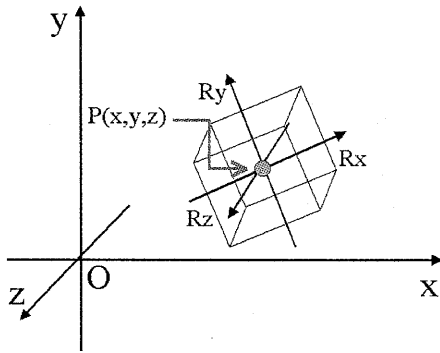


図 1: 3次元空間におけるローカル座標系を用いたオブジェクトの定義

従って、ムービングオブジェクトの動きをデータベース化するためには、各時刻で次の3項目に関するデータを取得することが必要になる:

- (a) ムービングオブジェクトの位置
グローバル座標系を基準としてみたときの、ローカル座標系の原点の位置座標をオブジェクトの位置であると定義する。
- (b) ムービングオブジェクトの姿勢
例えば、オブジェクトのローカル座標系のx軸方向をオブジェクトの前向きであると決める。するとこのローカル座標系のx軸とグローバル座標系のx軸がなす角度を元に、オブジェクトの向きを決定することができる。本稿ではこの角度をあらかじめ定義した26方向のいずれかに近似する。3次元空間上の形状の場合は、これだけでは前後方向しか決定できない。さらにもう1つの座標軸を基準として、オブジェクトの傾きの情報を与える必要がある。
- (c) ムービングオブジェクトの形状
オブジェクトがある領域に入ったか、またはオブジェクトどうしが接しているかなどの判定を行うために、その形状データを取得または定義しておく必要がある。なお、本稿ではオブジェクトの形状が時間の経過と共に変化する場合は、パラメータを与えることによって計算できる範囲のものであると仮定する。

ムービングオブジェクトデータモデルでは、これら3つの要素を的確に表現できるフレームワークを与える必要がある。

3 ムービングオブジェクトデータモデル

本章では、ムービングオブジェクトデータモデルについて述べる。ここでは、簡単のため2次元空間におけるムービングオブジェクトについて考えるが、以下に示すモデルは3次元空間にも適用可能である。

3.1 ムービングオブジェクトの時空間的性質

3.1.1 観測データ

2章で述べたように、ムービングオブジェクト o の観測データは、次のような列で表される。

$$\{(x_0, y_0, \alpha_0, t_0), \dots, (x_n, y_n, \alpha_n, t_n)\}$$

この列は時刻 t_0, t_1, \dots, t_n における、オブジェクトのローカル座標系の原点の位置座標 (以下、オブジェクトの位置と呼ぶ) (x, y) と、オブジェクト o (つまり Rx 軸) の向き α を表している。(なお、本稿では2次元空間における方向は {East, NorthEast, North, NorthWest, West, SouthWest, South} で表される8方向で近似するものとする。) しかし、このデータのままで、オブジェクトの動きに関する効率的な検索には適していない。そこで、データを数種類の基本関係および導出関係として組織化する。

3.1.2 時区間の定義

ムービングオブジェクトであっても、一定時間停止している時もあるれば、同じ姿勢をしている時もある。このような事柄を的確に表すために、時区間 (time interval) の概念を導入すれば、表現が簡潔になり理解しやすい。ここで、Allen による時区間論理 [6] に従って、時区間を以下のように定義する。

【定義】(時区間)

時間軸を T とする。いま t_s と t_e ($t_s < t_e$) をそれぞれ時刻 (time point) とするときに、 t_s と t_e が決める時区間を半开区間 $[t_s, t_e)$ で表す。時刻 t_s は、 $[t_s, t_{s+1})$ で表される。なお、データ列の最後の時区間は便宜的に閉区間 $[t_s, t_e]$ で表す。

3.1.3 基本関係

- $POSI(o, x, y, I)$
観測データから得られるオブジェクト o の位置座

標 x, y に関して, 同じ位置にある期間を1つの時区間としてデータを再構成する. すると時刻 t_0 から t_n までのムービングオブジェクトの位置は,

$$\{(x_1, y_1, I_1), \dots, (x_n, y_n, I_n)\}$$

(但し $I_1 = [t_0, t_1], \dots, I_n = [t_{n-1}, t_n]$) で表される. このとき, $POSI(o, x, y, I_i) = true$ ($1 \leq i \leq n$) である.

• $DIR(o, \alpha, I)$

観測データから得られるオブジェクト o の向き α に関して, 同じ方向を向いている期間を1つの時区間としてデータを再構成する. すると時刻 t_0 から t_n までのムービングオブジェクトの向きは,

$$\{(\alpha_1, I_1), (\alpha_2, I_2), \dots, (\alpha_n, I_n)\}$$

(但し $I_1 = [t_0, t_1], \dots, I_n = [t_{n-1}, t_n]$) で表される. このとき, $DIR(o, \alpha_i, I_i) = true$ ($1 \leq i \leq n$) である.

• $FIG(o, f, I)$

オブジェクト o の形状 f に関して, 同じ形状である期間を1つの時区間 I であるとする. すると時刻 t_0 から t_n までのムービングオブジェクトの形状は,

$$\{(f_1, I_1), (f_2, I_2), \dots, (f_n, I_n)\}$$

(但し $I_1 = [t_0, t_1], \dots, I_n = [t_{n-1}, t_n]$) で表される. このとき, $FIG(o, f_i, I_i) = true$ ($1 \leq i \leq n$) である. なお, オブジェクト o が単一オブジェクトである場合と, 3.3 節に述べる複合オブジェクトである場合とは, f の与え方が異なってくる.

3.1.4 導出関係

個々のオブジェクトの動きは, 上述の3つの基本データ関係から得られる値から計算をすることにより得ることが可能である. しかし, その都度計算を行うのは効率的ではない. そこで, 頻繁に問合せが行われると考えられる関係をあらかじめユーザ指向の関係として定義して対処することにする. これを導出データ関係と呼ぶ. これらの項目には, ムービングオブジェクトの移動距離と移動方向 (オブジェクトの向きではなくオブジェクトが進んでいる方向) が考えられる. そのため, 関係 $TRACK(o, d, \alpha, I)$ を考える.

いま, $I = [t_s, t_e]$ としたとき, 時刻 t_s におけるオブジェクト o の位置 (x_s, y_s, t_s) と時刻 t_e における位置 (x_e, y_e, t_e) の2点から, 移動距離と移動方向を得る.

d を I の間の移動距離, α を I の間に移動した方向とすると, 時刻 t_0 から t_n までのオブジェクトの動き (トラック) は,

$$\{(d_1, \alpha_1, I_1), (d_2, \alpha_2, I_2), \dots, (d_n, \alpha_n, I_n)\}$$

(但し $I_1 = [t_0, t_1], \dots, I_n = [t_{n-1}, t_n]$) で表される. なお, 同じ方向に進んでいる間を1つの時区間とする. このとき, $TRACK(o, d_i, \alpha_i, I_i) = true$ ($1 \leq i \leq n$) が成立する.

3.1.5 具体的な記述例

図2は時刻 t_0 から t_4 までのオブジェクト A の動きを表している. これを上述の定義に従って記述すると以下の様になる:

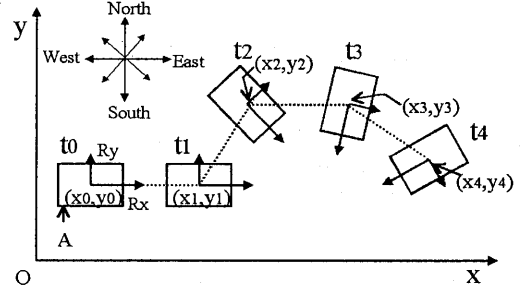


図2: 単一ムービングオブジェクトの動き

《基本関係》

$$\begin{aligned} POSI(A, x_0, y_0, [t_0, t_1]) &= true \\ POSI(A, x_1, y_1, [t_1, t_2]) &= true \\ POSI(A, x_2, y_2, [t_2, t_3]) &= true \\ POSI(A, x_3, y_3, [t_3, t_4]) &= true \\ POSI(A, x_4, y_4, [t_4, t_4]) &= true \\ DIR(A, 'East', [t_0, t_2]) &= true \\ DIR(A, 'NorthEast', [t_2, t_3]) &= true \\ DIR(A, 'East', [t_3, t_4]) &= true \\ DIR(A, 'SouthEast', [t_4, t_4]) &= true \\ FIG(A, \square, [t_0, t_4]) &= true \quad (\square \text{ は形状を表す}) \end{aligned}$$

《導出関係》

$$\begin{aligned} TRACK(A, d_1, 'East', [t_0, t_1]) &= true \\ TRACK(A, d_2, 'NorthEast', [t_1, t_2]) &= true \\ TRACK(A, d_3, 'East', [t_2, t_3]) &= true \\ TRACK(A, d_4, 'SouthEast', [t_3, t_4]) &= true \end{aligned}$$

3.2 ムービングオブジェクト間の時空間関係

基本関係として実世界から取り込まれた個別のオブジェクトの動きのみでは、様々な問合せに効率的に対処するには不十分である。ムービングオブジェクト間の時空間関係に着目した問合せも十分考えられる。もちろん、それらの関係は観測データを使って計算することが可能であるが、効率的ではない。そこで幾つかの時空間関係をあらかじめ計算して導出関係として定義しておくことが必要である。本節では2つのオブジェクト間の時間的・空間的關係を観測データから計算して、導出関係として組織化する。ここで考える時空間関係は、(1) 距離関係 (2) 方向関係 (3) 位相関係の3つとする。

- $DIST(o_1, o_2, d, I)$

2つのムービングオブジェクト o_1, o_2 の間の距離関係を表す。

いまオブジェクト o_1 と o_2 があつたとき、 o_1 は時区間 I_1 で観察されたとする。一方、 o_2 は時区間 I_2 で観察されたとする。ここに、 $I = I_1 \cap I_2 (\neq \phi)$ とする。このとき、 I を $I = [t_0, t_1, \dots, t_n]$ であるような閉時区間としたときに、時刻 t_i におけるムービングオブジェクト o_1 と o_2 間の距離は $d(o_1, o_2, t_i)$ と計算されたとする。このとき、まず $d(o_1, o_2, t_0)$ を求める。続けて、 $d(o_1, o_2, t_1)$ を求める。もし $d(o_1, o_2, t_0) = d(o_1, o_2, t_1)$ なら続いて $d(o_1, o_2, t_2)$ を求める。もし $d = d(o_1, o_2, t_1) \neq d(o_1, o_2, t_2)$ ならば、関係 $DIST(o_1, o_2, d, [t_0, t_1]) = true$ となる。等号が成り立つ場合操作を続け、初めて不等号が成立するまでの時区間を求める。さらに上記と同様に、その時区間で関係 $DIST$ が真となると定義していくことで2つのムービングオブジェクト間の距離が定式化される。

- $DIR(o_1, o_2, \alpha, I)$

2つのムービングオブジェクト o_1, o_2 の間の方向関係を表す。

ここに、 o_1 と o_2 はムービングオブジェクト、 α は o_1 が o_2 のどの方向角にあるかを表す記号、そして I はその関係が成立している時区間を表す。

なお、注意すべきは、 $DIST$ でも DIR でも、例えば同じ方向関係を満たしている時区間は一般に複数個存在する。もし、これらの時区間を I_1, I_2, \dots, I_m とすれば、 $DIR(o_1, o_2, 'West', I_1) = true, DIR(o_1, o_2, 'West', I_2) = true, \dots, DIR(o_1, o_2, 'West', I_m) = true$ である。このとき、便法

で $DIR(o_1, o_2, 'West', \{I_1, I_2, \dots, I_m\}) = true$ という書き方をする場合もある。

- $TOPOL(o_1, o_2, \delta, I)$

2つのムービングオブジェクト間の位相関係や1つのムービングオブジェクトとある空間領域の位相関係を表す。

これらの位相関係を計算するには、ムービングオブジェクトや領域の形状データを所持している必要がある。これは、FIG 関係に格納されている。位相的關係は次の2つの場合が考えられる；

- 2つのムービングオブジェクトの間の位相関係。この場合、オブジェクトが固体で互いにめり込むようなことがなければ、一般に8種類ある位相関係のうち disjoint と meets の関係のみが意味を持つ。ここに meets とは2つのオブジェクトが接触している状況を表す。
- 一つのムービングオブジェクトと空間の指定された領域との位相関係。

3.3 複合オブジェクト

オブジェクトの形状の種類としては、単一のオブジェクトの他に、単一オブジェクトを組み合わせることにより形状が定義される複合オブジェクトがある。ここで複合オブジェクトの代表例として考えられるのは、人間や動物、列車のように関節を持つオブジェクトである。多くの場合、関節の表現には、連結点の位置座標とその関節を構成する2つのオブジェクトの座標系間の角度の情報が用いられる。従ってグローバル座標系・ローカル座標系の概念を採用している我々のアプローチは、関節のある物体の動きの表現に適している。なおこのような物体を扱うためには、親子関係の階層構造を定義しておく必要がある。

3.4 ユーザ定義関係

単一オブジェクトの基本関係、導出関係、オブジェクト間の導出関係を組み合わせることによって、さらにユーザの利用に目的にあった関係を導き出すことができる。

例えば、オブジェクト o_1 の後ろにオブジェクト o_2 があるという関係を記述したいときには、

$$DIR(o_1, o_2, Back, I) \equiv DIR(o_2, o_1, \alpha, I) \wedge DIR(o_1, \alpha, I)$$

のように定義することができる。

従って、基本関係、導出関係、ユーザ定義関係の3つは図3に示すように、階層構造になっているといえる。

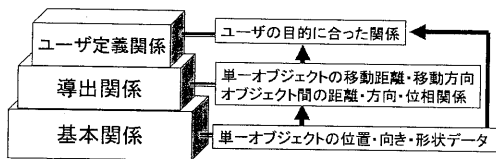


図3: 3つの関係階層

4 問合せ

問合せは一般的に P を関係, $x_i (i = 1, 2, \dots, n)$ をそのドメイン変数とすると,

$$\{(x_1, x_2, \dots, x_n) | P(x_1, x_2, \dots, x_n)\}$$

の形で記述される。

本稿で定義した関係を用いた問合せとその記述例を以下に示す:

【単純質問の例】

- 時区間 I で向きが North であるようなオブジェクトを求めよ。

$$\{x | DIR(x, 'North', I)\}$$

- オブジェクト A と B の間の距離が 50 以上であるような時区間を求めよ。

$$\{x | DIST('A', 'B', d, x) \wedge d \geq 50\}$$

【結合質問の例】

- オブジェクトの向きが North で、移動方向が East であったようなオブジェクトと、その状態にあった時区間を求めよ。

$$\{(x, y) | DIR(x, 'North', y) \wedge TRACK(x, *, 'East', y)\}$$

ここで*は、属性 d のすべてのドメインの元を取り得るという意味で用いられる。

問合せのパターンは、主に以下の3つに分類されると考えられる:

1. 探索条件を満たすオブジェクト(群)を求める。
2. 探索条件を満たす時区間, 距離, 方向等と求める。
3. 探索条件を満たすシーンを求める。

(3)のシーンとは、単一オブジェクトや複数のオブジェクト間の関係を統合したものである。現段階では考慮に入れていないが、問合せには必要な要素になるといえる。さらに、時間関係オペレーション, 空間関係オペレーション等を追加すれば、さらに詳細な問合せを記述することが可能になる。

5 おわりに

本稿では、オブジェクトの向きと形状を考慮したムービングオブジェクトデータモデルの基本的な概念を提案し、簡単な問合せ例も示した。

現在、ムービングオブジェクトデータベースシステムの実装を進めると同時に、前述のデータモデルとオペレーションを統一的に扱える問い合わせ言語の開発を行なっている。また、ムービングオブジェクトのデータは、その性質上膨大なものとなる。従って、データの効率的な検索を実現するためには、索引付けなどの手法を考慮に入れなければならない。

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] M. Nabil, A. H. H. Nuu, and J. Shepherd.: "Modelling Moving Objects in Multimedia Databases," In *Proc. the 5th International Conference on database Systems for Advanced Application, Melbourne*, pp. 67-75, April 1996.
- [2] O. Wolfson, P. Sistla, B. Xu, J. Zhou, and S. Chamberlain.: "DOMINO: Database for Moving Objects tracking," In *Proc. ACM SIGMOD Conference, Philadelphia*, pp. 547-549, June 1999.
- [3] 黒木進, 牧之内顕文: "位相空間データモデル Universe での空間, 時間, 時空間データ表現," *情報処理学会論文誌*, Vol.40, No.5, pp.2404-2416, 1999.
- [4] M. Worboys: "A Unified Model for Spatial and Temporal Information" *The Computer Journal*, Vol.37, No.1, 1994.
- [5] T. Tomii, K. Saley, S. Imai, and H. Arisawa.: "Human Modelling and Design of Spatio-Temporal Queries on 3D Video Database," *IFIP 2.6 Working Conference on Visual Database Systems 4*, pp. 317-336, May 1998.
- [6] J. Allen.: "Maintaining knowledge about Temporal Intervals," *Communications of the ACM*, Vol.26, No.11, pp.832-843, November 1983.