

# 時空間データベースUniverseにおける物体表現

4 S-1

黒木進, 王靈哲, 牧之内顕文  
(九州大学大学院システム情報科学研究科)

## 1. はじめに

地理情報システムやCAD, コンピュータグラフィックス, コンピュータアニメーションやバーチャルリアリティなど空間データを用いるアプリケーションの重要性が年々高まってきている。我々はこれら様々な空間データとそのアプリケーションを統一的に格納したり, 管理することを目的として時空間データベースUniverseを研究開発している。ここでは, この空間データベースで用いられる時空間データモデルとそこでの物体表現法について報告する。

## 2. 単体と単体複体

我々が現在開発中のデータモデルは単体(simplex)および単体複体(simplicial complex)[1]を用いて時空間オブジェクトを表現する。

単体は次元 $k$ を持っていて, 特に $k$ -単体という。 $k$ -単体とは,  $N$ 次元のユークリッド空間( $N$ は十分大きな自然数)において, 与えられた $(k+1)$ 個の点を含む最小の凸集合である。具体的には, 0-単体は点, 1-単体は線分, 2-単体は三角形, 3-単体は三角錐となる。また, 単体の境界をfaceという。例えば, 1-単体の両端点, 2-単体の3本の辺, 3-単体の4枚の三角形がfaceである。もちろん, 三角形の辺は1-単体であるから, 3-単体の辺もまた三角形のfaceであるということになる。

このように定義された単体の集合であって, 「任意の2つのメンバーの積集合が, それぞれのメンバーのfaceである」という条件を満たすものを単体複体という。ここで注意することは集合のメンバーがみな同じ次元を持つ必要がないということである。この性質のために, 例えば2次元の地理データと3次元の建築データの集合を統一して取り扱うための基盤技術として我々はこれを用いる。

## 3. Universeにおける物体表現

この時空間データベースにおいては, 3次元のユークリッド空間と時間の直積からなる4次元空間を考える。我々は, その空間の中にあるオブジェク

トを単体複体によって近似し表現する。特に, そのオブジェクトがフラットであれば, その形状は単体複体を用いて正確に表現される。そこで, 我々は先に述べた4次元空間のオブジェクトを多面体として近似し, それを単体複体の条件を満たしながら単体に分割する。分割の結果として得られた単体の集合, つまり単体複体をその4次元空間のオブジェクトのデータベース中での表現としてデータベースに格納する。

この考えを具体化するために我々は単体複体, 単体, 点を格納するためのデータベースクラスを設計した[2]。このクラスの概要は次の通りである。また, これらの関係が図1に示される。

### 3.1 点

これは単体の頂点の4次元座標を持つ。また, この点をfaceとする単体へのポイントのリストを持つ。

### 3.2 単体

これは, faceとなる頂点へのポイントのリストを持つ。同時に次元を持っている。また, これをメンバーとしてもつ単体複体へのポイントのリス

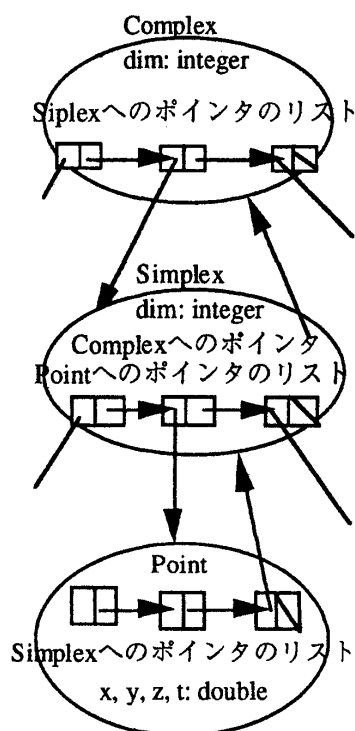


図1. 各クラスの関係

A Representation Method of Spatio-Temporal Objects in the Spatio-Temporal Database Universe

Susumu Kuroki, Wang Ling Zhe, and Akifumi Makinouchi

Graduate School of Information Science and Electrical Engineering, Kyushu University

トを持っている。

### 3.3 単体複体

これは、メンバーとなる単体へのポインタのリストを格納する。

## 4. 時空間物体の単体分割

3章で述べたように、我々は4次元ユークリッド空間にある時空間オブジェクトを多面体として表現する。この多面体を単体複体として表現し、データベースに格納すれば我々の空間データモデルを使って表現できたことになる。このことを具体的な例題を通して見てみよう。例えば、3次元空間における直方体は図2のように5個の3-単体によって表現される。これは分割の結果できる単体数を最小にする場合である。しかし、一般に最小分割を行うことは困難な問題であるので、我々は次の方法によって多面体を簡易に単体分割している。ここではd次元の凸多面体の場合を以下に示す。

#### d次元の凸多面体の単体分割アルゴリズム

- (1) faceとなっている(d-1)次元のfaceを(d-1)単体に分割する。
- (2) 凸多面体の内部に1点P(例えば、すべての頂点の平均をとるとその点は必ず凸多面体の内部にある)をとり、(1)で得られた(d-1)単体の頂点と点Pを線分で結ぶことによりd単体を作る。
- (3) (1)で得られたすべての(d-1)単体について(2)を繰り返す。

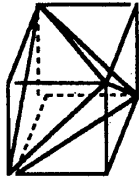


図2. 直方体の単体分割

## 5. CADにおけるCSG表現との関係

我々が提案した空間データモデルにおける物体表現法を説明してきたが、この章では他の表現法との比較を試みる。紙面の関係から、CADのソリッドモデリングでしばしば用いられるCSG表現との関係について述べる。

### 5.1 表現力

CSG表現においては、オブジェクトはあらかじめ与えられたプリミティブの集合演算によって表現される。このときプリミティブとしてフラットなfaceで定義されるものだけでなく、例えば球や円柱なども与えられることが多い。これらのプリミティブ以外に対して集合演算を行うことにより得られるオブジェクトは多面体であるので、これを単体複体でトポロジー、形状ともに正確に表現することができる。

また、フラットでないfaceを持つプリミティブに対して集合演算を行った結果得られる多面体に対しては、単体複体によりトポロジーを正確に、また形状を近似的に表現することができる。そのため、表現力の面で理論的にはCSG表現には及ばないが、実用的には近似精度を高めることによりCSG表現に表現力を近づけることができる。

また、単体複体によるオブジェクト表現はCSG表現でプリミティブを単体に、集合演算を和集合に制限したものと考えられるために、単体複体表現からCSG表現への変換は容易である。

### 5.2 空間質問処理との関係

データベースに格納された時空間データはアプリケーションによって検索され、再利用される。そのためには高速な時空間検索エンジンが必要である。時空間検索は通常、ある時空間述語を満足するオブジェクトの組の集合を計算することである。例えば、交差する2つの時空間オブジェクトの組をすべて列挙することが時空間検索であり、このときの空間述語は2つのオブジェクトの交差である。我々の方法を使ってオブジェクトを表現した場合、オブジェクトは単体の集合として与えられるので、それぞれのオブジェクトを表す単体同士の交差を計算し、交差するペアが一つでもあれば「2つのオブジェクトは交差する」と判定できる。一方、CSG表現によってオブジェクトを表現した場合、交差の計算は多種多様なプリミティブ間の交差を計算する必要がある。そのためにはすべてのプリミティブの組み合わせに対して交差を判定する方式を作るか、あるいは任意のオブジェクトの交差を判定できるようなプログラムを作ることである。このことは検索エンジンを複雑なものにする。その意味で我々は単体複体による表現法を採用した。

## 6. おわりに

Universeデータモデルのための時空間オブジェクト表現法について説明した。

時空間検索を行うときの処理時間を抑えるための時空間インデックスと時空間オブジェクトをより少ない単体数で表現するための分割法を実現することが今後の課題である。

### 謝辞

この研究は文部省科学研究費補助金基盤研究(A)(2)(課題番号07558158)の補助を受けている。

### 参考文献

- [1] 河田敬義(編): 位相幾何学, 1965.
- [2] 黒木進(他): 単体複体の概念を用いた時空間データモデルUniverseの設計, 情報処理学会第109回データベース研究会研究報告, 1996年7月.