

時空間概念データモデルに基づいたクラスライブラリの実装*

櫻井 紀美子 天笠 俊之 有次 正義 金森 吉成

群馬大学工学部情報工学科

{sakurai, amagasa, aritsugi, kanamori}@dbms.cs.gunma-u.ac.jp

本研究では我々がすでに提案している時空間概念データモデルを、オブジェクトデータベース上のクラスライブラリとして実装することを目的とする。時空間概念データモデルとは、時系列画像の内容を記述するための概念モデルである。このクラスライブラリを用いることにより時系列画像に対する時空間の間合せが可能になる。このクラスライブラリは時間、空間、時空間のクラスから構成され、時間に関するクラスは、我々が提案している時区間クラスライブラリを利用している。このため、本研究では空間に関するクラスを実装し、時間と空間のクラスを組み合わせることによって時空間のクラスを実現する。また、実装したクラスのメソッドを用いた時空間の間合せ表現を示す。

Implementing a Class Library Based on Spatio-Temporal Conceptual Data Model

Kimiko Sakurai Toshiyuki Amagasa Masayoshi Aritsugi Yoshinari Kanamori

Department of Computer Science, Gunma University

In this paper, we try to implement spatio-temporal conceptual data model, which we have proposed, as a class library on an object database. The conceptual data model is for expressing contents of image sequences. The class library enables us to process temporal, spatial, and spatio-temporal queries on image sequences. The class library is composed of three classes: temporal, spatial, and spatio-temporal classes. As a part of the class library, we attempt to exploit the class we have implemented for the time-interval conceptual model. For this purpose, we first build a class for spatial concepts, and then integrate the class with the time-interval class, in order to realize the class library. Moreover, the paper shows some examples of spatio-temporal queries using methods of the class library.

*本研究の一部は、文部省科研費重点領域研究「高度データベース」(課題番号 08244101)によるものである。

1 はじめに

我々は、時系列画像 (image sequences) の画像検索に有効な時空間概念データモデル [5, 15] を提案している。このモデルでは、画像中のオブジェクトの位置や大きさ、移動の様子などによる検索が可能である。本稿ではこのモデルを、オブジェクトデータベース ObjectStore[16] 上のクラスライブラリとして実装する方法について述べる。

時系列画像をモデル化するには、画像中のオブジェクトの時間的な変化と空間的な変化の両方を表現する必要がある。時空間概念データモデルでは、 x , y 軸上の2つの区間を組み合わせた外接長方形 (minimum bounding rectangles; MBR) によって空間中のオブジェクトを表現する。また、ある時刻に撮影された画像中のオブジェクトは、次に画像が撮影されるまでの期間 (これを時区間と呼び、その定義は我々が提案している時区間概念データモデル [3] に基づく) その状態を保っていたと仮定し、オブジェクトの変化の時間的要素は時区間によって表現する。すなわち、オブジェクトの位置や大きさは MBR の座標情報によって知ることができる。また、オブジェクトの移動の様子は、時区間が示す期間を経てどれだけ MBR が変化したかを調べることによって知ることができる。このように、区間の概念を平面の2次元、空間+時間の3次元に発展させ、時空間のすべての処理を区間の処理として定義しているのがこのモデルの特徴である。

時空間概念データモデルの実装において、時間に関する属性および演算は、時区間概念データモデルを実現する時区間クラスライブラリ [2, 4] を利用することで実現している。すでにある時区間クラスライブラリを再利用することにより、実装上は時間に関する処理は意識する必要がなく、我々は空間の処理のみに関して実装を行えば良い。すなわち、空間に関する属性の操作を行う空間クラスを新たに実装し、その空間クラスと時区間クラスライブラリを統合して時空間クラスを構築している。

また、時空間概念データモデルでは、そこで定義された演算を用いて時空間の問合せを記述することができる。我々はそれらの演算を、クラスのメソッドとして実装した。これにより、メソッドを用いた問合せ表現が可能になる。

2 時空間概念データモデル

時空間概念データモデル [5, 15] は、実世界における時空間的な側面をもつ対象を表現する概念モデルである。時間に関しては我々がすでに提案している時区間概念データモデル [3] をもとにモデル化してい

る。この章では時区間概念データモデルと、時空間概念データモデルについて説明する。

2.1 時区間概念データモデル

時区間概念データモデルは、実世界の時間構造を時区間によって表現する概念モデルである。例えば投棄履歴をモデル化する際には、薬が投棄されていた期間を実時区間、投与を休止していた区間を空時区間とする。この空時区間を問合せに利用することによって、「事象が休止していた期間」に対する問い合わせ表現を可能にした点が時区間概念データモデルの特徴である。すなわち、従来のモデルや問合せ言語では考慮されていなかった「データがない期間」について注目し、これを明示的に扱っている。詳細は文献 [2, 3] を参照されたい。

2.1.1 時区間と収集

時区間概念データモデルでは時区間をある事象が存在していた期間を表す実時区間と、その事象が休止していた期間を表す空時区間とに区別して扱う。

[定義 1] 時区間 (time intervals)

$e_i (1 \leq i \leq n)$ は事象 e_i が存在することを表すとし、この事象が休止していることを \bar{e}_i で表すとする。また、 $D = \{e_1, e_2, \dots, e_n\}$, $\bar{D} = \{\bar{e}_i \mid e_i \in D\}$, $E \subseteq D \cup \bar{D}$ とする。 $t_s, t_e (t_s \leq t_e)$ を任意の時刻とする。このとき、時区間を

$$t = (t_s, t_e; E)$$

のように定義する。

時区間 $t = (t_s, t_e; E)$ が与えられ、 $e \in E$ であるとする。 $\exists e \in D$ であるならば t を実時区間、 $\forall e \in \bar{D}$ であるならば t を空時区間と呼ぶ。 □

時区間 t の開始時刻、終了時刻、期間、事象をそれぞれ $t.stp$, $t.etp$, $t.dur = |t.etp - t.stp + 1|$, $t.event$ と参照する。期間の定義が $t.dur = |t.etp - t.stp + 1|$ のようになる理由は、時間軸に離散モデルを採用したためである。

[定義 2] 時区間の収集 (collections of time intervals)

時区間の収集とは、時間によって順序付けされた時区間の集合である。 □

一般に実世界の事象は時間の経過とともに出現と消滅を繰り返す。この様子を時区間によってモデル化するためには、実時区間と空時区間が交互に接しているような時区間の収集を考えれば良い。

[定義 3] 複合時区間 (composite time intervals)
複合時区間 C を以下のように定義する。

$$C = (\dots((t_1 \text{ meets } t_2) \text{ meets } t_3) \dots \text{ meets } t_n)$$

ここで $(t_i, t_{i+1}) =$ (実時区間, 空時区間) または (空時区間, 実時区間) とする。また, *meets* は Allen による時間的關係である [1]。 □

2.2 時空間概念データモデル

時系列画像 (image sequences) とは時間属性をもった画像の集合を指す。本モデルは時系列画像に対する内容検索を行うための概念モデルである。

時空間概念データモデルでは 2 次元平面上のオブジェクトを外接長方形 (minimum bounding rectangle; MBR) を用いて表現する方法 [6, 7, 10, 11, 12, 14] を採用している。外接長方形は x, y 軸上の 2 つの区間として捉えることができることと, 任意の 2 つの外接長方形の間の空間的關係を, Allen が提案した区間の間の二項關係 [1] を用いて表現できることが利点としてあげられる。

2.2.1 複合時空間直方体

図 1 では 2 次元平面空間を x 軸と y 軸からなる座標平面と捉え, オブジェクトをかこむ長方形を x 軸に射影し, その区間を $O_x = (O_x.sp, O_x.ep)$, y 軸に射影してできる区間を $O_y = (O_y.sp, O_y.ep)$ としている。そこでまず区間を定義する。

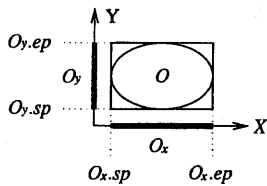


図 1: 外接長方形

[定義 4] 区間 (intervals)

i_s, i_e を座標上の任意の点とする。このとき, $i = (i_s, i_e)$ を区間と定義する。 □

さらに, 区間の長さについて定義する。

[定義 5] 区間の長さ (duration)

$i = (i_s, i_e)$ を区間とする。このときこの区間の大きさ $|i|$ を次のように定義する。

$$|i| = \begin{cases} i_e - i_s + 1 & (i_s \leq i_e) \\ 0 & (i_s > i_e) \end{cases} \quad \square$$

このモデルでは, 空間に関しても離散モデルを採用している。区間の計算が *endpoint - startpoint + 1* になるのはそのためである。

[定義 6] 外接長方形 (MBR)

オブジェクト O を x 軸, y 軸上に射影してできた区間をそれぞれ $O_x = (O_x.sp, O_x.ep), O_y = (O_y.sp, O_y.ep)$ とする。このとき

$$O_x.sp \leq x \leq O_x.ep \wedge O_y.sp \leq y \leq O_y.ep$$

なる領域 (x, y) をオブジェクト O の外接長方形 O_{mbr} と定義し, $O_{mbr} = (O_x, O_y; O)$ と記述する。ここで O はオブジェクトの名前である。 □

本モデルでは, 画像中のオブジェクトは次の画像が撮影されるまでその状態を保つと仮定している。それをオブジェクトが有効である期間とし, 実時区間によって表す。またオブジェクトが消滅していた期間は空時区間を用いて表現する。このようにしてオブジェクトの位置や大きさ, その状態の持続期間を 3 次元空間の直方体として考える。

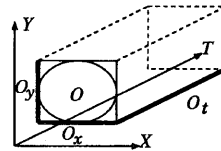


図 2: 時空間直方体

[定義 7] 時空間直方体 (MBC)

オブジェクト O の外接長方形を $O_{mbr} = (O_x, O_y; O)$ とする。ここで O_x, O_y は $O_x = (O_x.sp, O_x.ep), O_y = (O_y.sp, O_y.ep)$ なる区間である。また, この外接長方形が有効となる期間を $O_t = (O_t.stp, O_t.etp)$ とする。このとき,

$$O_x.sp \leq x \leq O_x.ep \wedge O_y.sp \leq y \leq O_y.ep$$

$$\wedge O_t.stp \leq t \leq O_t.etp$$

なる領域 (x, y, t) をオブジェクト O の時空間直方体 O_{mbc} と定義し, $O_{mbc} = (O_t; (O_x, O_y; O))$ と記述する。また外接長方形が $O_t = (O_t.stp, O_t.etp)$ なる期間消滅していたとすると, オブジェクト O の時空間直方体を $O_{mbc} = (O_t; (\varepsilon, \varepsilon; O))$ と記述する。これらをそれぞれ実時空間直方体, 空時空間直方体と呼ぶ。ここで O はオブジェクトの名前である。 □

図 2 に時空間直方体を示す。外接長方形とそのオブジェクトが変化しなかった期間 O_t を加えた直方体により, オブジェクトの時間的な情報を補間する。

時系列画像中のオブジェクトの位置と大きさは時間とともに変化する。これは時空間直方体の集合で表現することができる。このようにオブジェクトの変化の様子をモデル化したものを複合時空間直方体と呼ぶ。

[定義 8] 複合時空間直方体 (CMBC)

オブジェクト O の n 個の時空間直方体 $\{O_{mbc_i} \mid 1 \leq i \leq n\}$ が存在するとき、

$$O_{cmbc} = \{O_{mbc_1}, \dots, O_{mbc_n} \mid (\dots((O_{mbc_1}.t \text{ meets } O_{mbc_2}.t) \text{ meets } O_{mbc_3}.t) \dots \text{meets } O_{mbc_n}.t)\}$$

を複合時空間直方体と定義する。 □

図 3 に複合時空間直方体を示す。時区間 (10,19) では、空時区間によってオブジェクト A が存在していなかったことを表している。

また複合時空間直方体を時間軸に射影すると、図 3 の下に示したような実時区間と空時区間の収集である複合時区間を抽出することができる。すなわち、複合時空間直方体における時間的な要素は複合時区間で表現することができる。

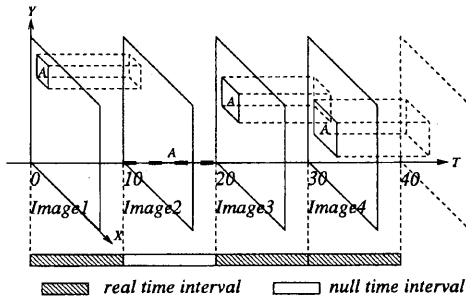


図 3: 複合時空間直方体

2.2.2 オブジェクト間の空間的關係

時空間概念データモデルでは、任意の 2 つのオブジェクトの空間的關係 (spatial relation) を x 軸と y 軸上のそれぞれの区間の關係の組合せによって表す。任意の 2 つの区間の間には、13 種の關係が存在することが Allen によって示されている [1]。この關係を用いることによって、外接長方形、時空間直方体、複合時区間直方体における様々な演算が 2 つの区間における演算に置き換えられるという利点がある。さらに、時空間概念データモデルで空間的關係に距離の情報を加えるために、我々は Allen の示した区間の間の二項關係にパラメータ $n1, n2$ を加え

た關係を導入している。 $n1, n2$ は区間 t, u に対して $n1 = u.sp - t.sp, n2 = u.ep - t.ep$ である。

任意の 2 つの外接長方形の間には存在する位相的關係 (topological relation) はオブジェクトの重なり具合を表し、回転や拡大、縮小などの変換によって変化しない關係である。2 つの外接長方形の間には、8 種の位相的關係が存在することが Egenhofer によって示されている [8]。さらに、それぞれの位相的關係は空間的關係を用いて表現することができることもわかっていて [13]。

また 2 つの外接長方形間の方向的關係 (direction relation) も定義する。方向的關係の定義はアプリケーションに依存するところが大きく研究者ごとに異なっているが、時空間概念データモデルでは基準となる外接長方形 P の重心より左側の領域に O が完全に含まれるとき、 O は P の左側に存在すると定義している。

[定義 9] 方向的關係 (direction relation)

2 つのオブジェクト O, P の外接長方形をそれぞれ $O_{mbr} = (O_x, O_y; O), P_{mbr} = (P_x, P_y; P)$ とする。このとき、

$$O_x.ep \leq \frac{(P_x.sp + P_x.ep)}{2}$$

なる關係が成り立つ場合、 P から見て O は x 軸の負の方向に存在すると定義する。また、

$$\frac{(P_x.sp + P_x.ep)}{2} \leq O_x.sp$$

なる關係が成り立つ場合、 P から見て O は x 軸の正の方向に存在すると定義する。 y 軸に関しても同様に定義する。 □

さらに外接長方形間の距離として、重心間の距離 (distance) と最短距離 (shortest distance) の 2 つを定義する。重心間の距離は、2 つの外接長方形の重心がどのくらいずれているかということを表するために用いられる。これを定義することの利点として、外接長方形が重なっていてもその距離を表現できることが挙げられる。一方、最短距離は 2 つの外接長方形がどのくらい離れているかを表現するために用いられる。これは、2 つの MBR の位相的關係が *Disjoint* の場合にのみ正の値を持ち、その他の場合には 0 になる。

3 時空間クラスライブラリの実装

本章では第 2 章で説明した時空間概念モデルをオブジェクトデータベースシステム ObjectStore [16] 上で実装した時空間クラスライブラリについて述べる。

3.1 クラスの構成

時空間概念データモデルでは区間、外接長方形、時空間直方体、複合時空間直方体の4つの概念を用いて時系列画像をモデル化する。そこでこれらの概念のそれぞれに対応するクラスを定義する。これらはすなわち、区間にあたる Interval クラス、外接長方形にあたる MBR クラス、時空間直方体にあたる MBC クラス、複合時空間直方体にあたる CMBC クラスである。以下ではこの4つのクラスの構成について述べる。時間に関しては、我々がすでに提案している時空間概念データモデルに基づいた時空間クラスライブラリ [2, 4] を用いるのでここでは触れない。

図4に設計したクラスライブラリのクラス階層を示す。まず始めに、区間にあたる Interval クラスを定義する。区間は始点と終点の座標点により定義されるので、Interval クラスでは始点を表す start、終点を表す end の2つの属性を保持する。

次に、外接長方形にあたる MBR クラスを定義する。外接長方形は x 軸上の区間と y 軸上の区間の組み合わせにより定義される。従って MBR クラスでは x 軸、 y 軸のそれぞれに対応する2つの Interval オブジェクトを属性として保持する。また MBR オブジェクトを識別するための識別子も属性として保持する。

次に、時空間直方体にあたる MBC クラスを定義する。時空間直方体は空間の情報をもつ外接長方形と、それが有効であった期間を表す時区間とを組み合わせで定義する。例えば、時空間直方体 $O_{mbc} = (O_t; (O_x, O_y; O))$ は、あるオブジェクト O は外接長方形 $(O_x, O_y; O)$ によって近似され、それが O_t の時間有効であったことを表している。時空間直方体は空間の側面からは外接長方形として見ることができるのと同時に、時間の側面から時区間として見られることもできる。すなわち、時空間直方体と時区間の両方の性質をあわせ持つと考えることができる。そこで、我々は MBC クラスを定義するのにあたり、TMInterval クラスと MBR クラスの両方を多重継承することにした。TMInterval クラスとは時区間クラスライブラリの時区間のクラスである。

最後に複合時空間直方体にあたる CMBC クラスを定義する。複合時空間直方体は時空間直方体の順序集合であり、隣接する任意の要素は時間的に接合していなければならないという制約をもつ。そこで我々は CMBC クラスを定義するにあたり、時空間概念データモデルの複合時区間の概念を表す CompositeTM クラスを継承することにした。一方、複合時空間直方体を空間の側面から見ると、時間的な順序をもった外接長方形の集合であると言える。従って CMBC クラスの

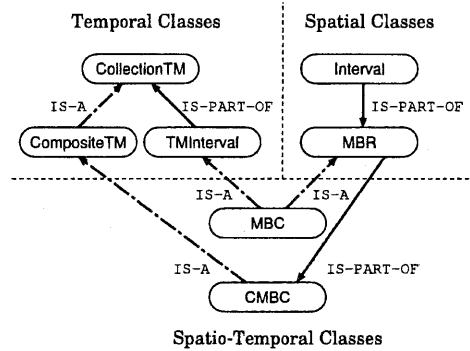


図4: クラス階層

属性には複合時区間に含まれる時区間と同じ数の外接長方形のリストを保持することとする。また1つの複合時空間直方体は、ある1つのオブジェクトの時間変化する様子を表していると考えられるので、属性として識別子も保持させる。

これまで説明してきた各クラスには、モデルで定義されているすべての演算を、メソッドとして実装する。これによって、問合せ表現の中でメソッドを呼び出すことにより時空間の問合せが可能になる。

3.2 クラス定義

ここでは前節で示した各クラスの定義を示す。

3.2.1 Interval クラス

Interval クラスは区間を表すクラスである。Interval クラスの定義を以下に示す。

```
class Interval {
private:
    int start; // start point
    int end;   // end point
public:
    Interval(int s = 0, int e = 0);

    int startPoint(); // return the start point
    int endPoint();  // return the end point
    int duration();  // return the duration
                    // (lend - start + 1)
    IntervalRelation* relation(Interval* u);
    PIntervalRelation* relationParam(Interval* u);
    Interval* intersection(Interval* u);
    Interval* cover(Interval* u);
};
```

relation(u) は Interval オブジェクト u との区間関係を返すメソッドである。relationParam(u) はパラメタつき二項関係を返すメソッドである。パラメタとは、 n_1, n_2 のことであり、2つの区間の各 start の差が n_1 、各 end の差が n_2 である。実装ではパラメ

タツきの区間関係を表すクラス PIntervalRelation を定義した。メソッド relationParam(u) の返り値はこのクラスのインスタンスへのポインタである。intersection(u) は2つの区間が重なる部分を新たな区間として返し、cover(u) は2つの区間の被覆を新たな区間として返す。

3.2.2 MBR クラス

MBR クラスは外接長方形を表すクラスである。MBR クラスの定義を以下に示す。

```
class MBR {
protected:
    Interval* x; // Int. on x-axis
    Interval* y; // Int. on y-axis
    int id; // the object identifier
public:
    MBR(Interval* ix, Interval* iy, int obj);

    Interval* x_interval(); // return the x
    Interval* y_interval(); // return the y
    int objectID(); // return the id
    int area(); // return the MBR's area
    Coordinates* gravity();
    // return the center of gravity

    double distance(MBR *Q);
    double shortestDistance(MBR *Q);
    int topologicalRelation(MBR *Q);
    SpatialRelation* spatialRelation(MBR *Q);
    DirectionRelation*
        directionRelation(MBR *Q);
};
```

distance(Q) は2つの MBR の重心間の距離を返し、shortestDistance(Q) は2つの MBR の最短距離を返す。topologicalRelation(Q) は2つの MBR の位相的關係を返す。spatialRelation(Q) は空間的關係を返すメソッドである。空間的關係とは、2つの MBR の x 軸上の2つの区間の二項関係と、 y 軸上の2つの区間の二項関係の組合わせである。したがって、2つの二項関係の組合わせを新たなオブジェクトで表現し、それを返り値とする。実装では空間的關係を表すクラス SpatialRelation を定義した。directionRelation(Q) は方角的關係を返すメソッドである。方角的關係とは、2つの MBR の x 軸と y 軸に関する方角的關係の組合わせである。すなわち2つの方角的關係の組をオブジェクトとし、それを返り値とする。方角的關係を表すクラス DirectionRelation を定義した。本実装では、 x 、 y 軸上の区間における各方角を整数値で表した。すなわち、 x 軸上において *left* と判定されれば -1、*right* と判定されれば 1、どちらでもなければ 0 とする。同様に y 軸上において *below* と判定されれば -1、*above* と判定されれば 1、どちらでもなければ 0 とする。

3.2.3 MBC クラス

MBC クラスは時空間直方体を表すクラスである。クラス定義を以下に示す。

```
class MBC : public TTimeInterval, public MBR {
public:
    MBC(int s, int e, MBR* mbr);
    MBC(TTimeInterval* ti, MBR* mbr);
};
```

MBC クラスは MBR クラスと TTimeInterval クラスを多重継承する。また MBC クラスのメソッドは、親クラスの MBR クラスと TTimeInterval クラスのメソッドを使えばよいのでコンストラクタのみ定義すれば良い。

3.2.4 CMBC クラス

CMBC クラスは複合時空間直方体を表すクラスである。クラス定義を以下に示す。

```
class CMBC : public CompositeTM {
private:
    int id; // object id
    os_List<MBR*> mbrlist;
public:
    CMBC();
    CMBC(int obj, MBC* mbc);
    ~CMBC();

    os_List<MBC*> mbc();
    os_List<MBC*> real();
    os_List<MBC*> null();

    int objectID(); // return the id
    int cardinality(); // return # of MBCs
    MBC select(int i);
    void append(MBC* mbc);
};
```

mbc() は複合時空間直方体を構成する時空間直方体の集合を返す。real() はその時空間直方体の集合の中でも、時区間が実時区間である時空間直方体だけの集合を返し、null() は空時区間の時空間直方体だけの集合を返す。MBR のリストには ObjectStore が提供している os_List クラスを利用した。cardinality() は mbrlist に含まれる MBR オブジェクトの数を返す。select(int i) は時間によって整理した時空間直方体の集合から i 番目の時空間直方体を取り出すメソッドである。append(mbc) は CMBC オブジェクトに MBC オブジェクト mbc を追加する。具体的には、mbc を MBR の要素と TTimeInterval の要素に分解し、MBR オブジェクトは os_List<MBR*> に加え、TTimeInterval オブジェクトは CompositeTM オブジェクトに追加する。CompositeTM クラスを継承しているので時間に関するメソッドは必要ない。空間に関するメソッドは MBR クラスのメソッドと同じであるので、ここでは定義していない。

4 問合せ

本章ではオブジェクトデータベースシステム上に実装した時区間クラスと時空間クラスを用いて、時間と空間に関する問合せがどのように行われるかを示す。

CT 画像のデータベースを例にあげる。図 5 から図 12 はあるガン患者の肝臓の CT 画像である。図 5 と図 6 では、肝臓の中央に腫瘍を、脊椎付近に動脈を見ることができる。そして図 7 では腫瘍が別の場所に転移している。その後、放射線治療によって、時間の経過とともに腫瘍が小さくなり、最終的には腫瘍が消滅している。このような画像データベースに対しては次のような問合せが考えられる。

- (1) 肝臓に腫瘍がある症例は?
- (2) 腫瘍が肝臓の右側から左側に転移した症例は?
- (3) この患者の腫瘍が消滅した時間を求めよ
- (4) 93 年 11 月 22 日の時点と比較して、この患者の腫瘍の大きさが半分になったのはいつか

図 5 から図 12 における肝臓、腫瘍、動脈をそれぞれ複合時空間直方体で表現すると以下のようになる。この例では、患者の胴囲を 100×100 の正方形として正規化してある。また、 L は肝臓を、 C は腫瘍を、 A は動脈を表す。

```

Lembc = {((93/11/22, 94/07/21); ((11, 95), (8, 64); L)),
          ((94/07/22, 94/08/04); ((4, 62), (11, 83); L)),
          ((94/08/05, 94/09/04); ((6, 65), (12, 85); L)),
          ((94/09/05, 94/10/05); ((4, 63), (12, 85); L)),
          ((94/10/06, 95/01/30); ((3, 70), (9, 88); L)),
          ((95/01/31, 95/04/12); ((6, 66), (10, 85); L)),
          ((95/04/13, now); ((5, 71), (10, 82); L))}

Cembc = {((93/11/22, 93/12/02); ((41, 64), (15, 29); C)),
          ((93/12/03, 94/07/21); ((40, 64), (15, 30); C)),
          ((94/07/22, 94/08/04); ((9, 22), (44, 68); C)),
          ((94/08/05, 94/09/04); ((10, 23), (45, 70); C)),
          ((94/09/05, 94/10/05); ((9, 20), (46, 69); C)),
          ((94/10/06, 95/01/30); ((10, 20), (46, 69); C)),
          ((95/01/31, 95/04/12); ((7, 14), (45, 67); C)),
          ((95/04/13, now); ((ε, ε), (ε, ε); C))}

Aembc = {((93/11/22, now); ((49, 75), (37, 58); A))}

```

問合せを OQL (Object Query Language) で記述する。ここで、CMBC クラスを継承した Cancer クラス、Liver クラスを定義したと仮定する。

[Q 1] 肝臓に腫瘍がある症例は?

```

select c
from Cancer c, Liver l
where
  exists c_mbr in c.mbc():
  exists l_mbr in l.mbc():
  c_mbr.topologicalRelation(l_mbr)==insides ||
  c_mbr.topologicalRelation(l_mbr)==coveredby

```

[Q 2] 腫瘍が肝臓の右側から左側に転移した症例は?

```

select c
from Cancer c, Liver l
where
  exists i in [1 ... c.cardinality():
  exists j in [1 ... c.cardinality():
  (c.select(i).directionalRelation(l.select(i))
   .x_relation() > 0 and
   c.select(i).topologicalRelation(l.select(i))
   == inside and
   c.select(j).directionalRelation(l.select(j))
   .x_relation() < 0 and
   c.select(j).topologicalRelation(l.select(j))
   == inside)
  and
  (c.select(i).relation(c.select(j))==before or
   c.select(i).relation(c.select(j))==meets)

```

[Q 3] この患者の腫瘍が消滅した時間を求めよ

```

select c1.mbc().t
from (select c.mbc()
      from Cancer c) c1, c2
where
  c1.x_interval() != 0 and c1.y_interval() != 0 and
  c2.x_interval() == 0 and c2.y_interval() == 0 and
  c1.relation(c2) == meets

```

[Q 4] 93 年 11 月 22 日の時点と比較して、ある患者の腫瘍の面積が半分になったのはいつか

```

select c2.startTime()
from (select c.select(1)
      from Cancer c) c1,
     (select c.mbc()
      from Cancer c) c2
where (c1.area() / c2.area()) >= 2

```

我々のモデルでは時間と空間の両方に関する問合せを扱うことができる。また Allen の二項関係や空間的関係、位相的関係、方角的関係、距離的關係を用いることにより、時空間的な問合せが可能になる。

Q 2 のような問合せでは、あるオブジェクトの中に含まれるオブジェクトに対して、どのあたりに含まれるかという位置についての問合せが可能になっている。

しかし、Q 3 の例では、腫瘍が消滅したのは 95/01/31 から 95/04/12 の間であるということしか分からない。つまり、腫瘍が消滅していたことが確認された時刻が 95/04/13 である。これは、アプリケーションによって適切な補間の手法を取り入れることによって、答えの精度を補うことができると考えられる。また、MBR を用いた手法の問題点は、オブジェクトを長方形として近似することによって、実際のオブジェクトとの誤差が生じてしまうことである。すなわち、2 つのオブジェクト間の関係や、オブジェクトの厳密な大きさなどは正確な答えを得られない場合がある。このような問題に対する解決策はアプリケーションに依るが、必要に応じて refinement (精錬) ステップで適当な処理を施すことにより正しい解を得ることができる。

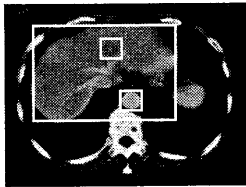


図 5: 93/11/22

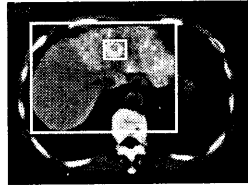


図 6: 93/12/03

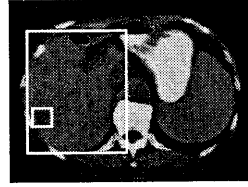


図 7: 94/07/22

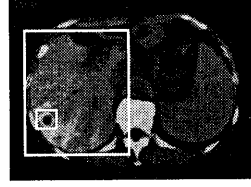


図 8: 94/08/05

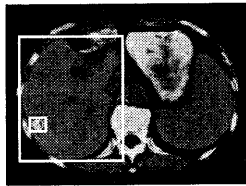


図 9: 94/09/05

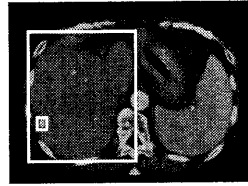


図 10: 94/10/06

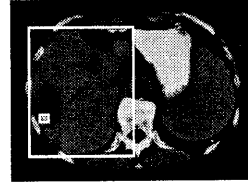


図 11: 95/01/31

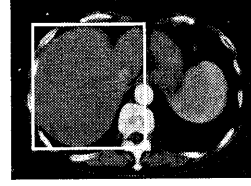


図 12: 95/04/13

5 まとめ

本論文では時空間概念データモデルについて説明し、問合せの例をあげ、それらをモデルにおいてどのように表現されるかを示した。さらに時空間概念データモデルのオブジェクトデータベース上における一実装方法について述べた。実装したこれらのクラスを用いることによって、特定の応用によらない問合せの記述ができる。

参考文献

- [1] J.F.Allen, "Maintaining Knowledge about Temporal Intervals," *Commun. ACM*, 26, pp.832-843, 1983.
- [2] 天笠俊之, 鈴木邦彦, 有次正義, 金森吉成, "時空間概念モデルを実装した時空間クラス," アドバンスト・データベースシステムシンポジウム'97, pp. 59-66, Dec. 1997.
- [3] T. Amagasa, M. Aritsugi, Y. Kanamori, and Y. Masunaga, "Interval-Based Modeling for Temporal Representation and Operations," *IEICE Trans. Info. & Syst.*, E81-D(1), pp.47-55, 1998.
- [4] T. Amagasa, M. Aritsugi, and Y. Kanamori, "Implementing Time-Interval Class for Managing Temporal Data," *Proc. Workshop on DEXA '98*, Aug. 1998 (to appear).
- [5] M. Aritsugi, T. Tagashira, T. Amagasa, and Y. Kanamori, "An Approach to Spatio-Temporal Queries - Interval-Based Contents Representation of Images -," *Proc. DEXA '97*, LNCS 1308, pp.202-213, Sep. 1997.
- [6] A.D.Bimbo, E.Vicario, and D.Zingoni, "Symbolic Description and Visual Querying of Image Sequences Using Spatio-Temporal Logic," *IEEE Trans. Knowledge and Data Engineering*, 7(4), pp.609-621, Aug. 1995.
- [7] Y.F. Day, S. Dagtas, M. Iino, A. Khokhar, and A. Ghafoor, "Object-Oriented Conceptual Modeling of Video Data," *Proc. ICDE*, pp.401-408, 1995.
- [8] M.J.Egenhofer, "Spatial Relation: Models, Inferences, and their Future Applications," *Proc. Advanced Database Symp. '96*, 31p., Dec. 1996.
- [9] F.Korn, N.Sidiropoulos, C.Faloutsos, E.Siegel, and Z.Protopoulos, "Fast Nearest Neighbor Search in Medical Image Databases" Tech. Rep., U. of Maryland, College Park, CS-TR-3613, 1996.
- [10] Y. Masunaga, "The Block-World Data Model for a Collaborative Virtual Environment," *Proc. WWCA '98*, pp.309-324, Mar. 1998.
- [11] M. Nabil, J. Shephard and A.H.H. Ngu, "2D-Projection Interval Relationships: A Symbolic Representation of Spatial Relationships," *Proc. 4th Int. Symp. on Large Spatial Databases*, pp.292-309, Aug. 1995.
- [12] D. Papadias and T. Sellis, "Qualitative Representation of Spatial Knowledge in Two-Dimensional Space," *VLDB J.*, 4(3), pp.479-516, Oct. 1994.
- [13] D. Papadias, Y. Theodoridis, T. Sellis and M.J. Egenhofer, "Topological Relations in the World of Minimum Bounding Rectangles: A Study with R-trees," *Proc. SIGMOD Conf.*, pp.92-103, 1995.
- [14] J. Sharma and D.M. Flewelling, "Inferences from Combined Knowledge about Topology and Directions," *Proc. 4th Int. Symp. on Large Spatial Databases*, pp.279-291, Aug. 1995.
- [15] T. Tagashira, T. Amagasa, M. Aritsugi and Y. Kanamori, "Interval-Based Representation of Spatio-Temporal Concepts," *Proc. CAiSE'97*, LNCS 1250, pp.231-244, June 1997.
- [16] "ObjectStore C++ API Reference Release 5.0", *Object Design, Inc.*, Jul. 1997.