

仮想世界データベースシステムにおける マルチモーダル融合問合せ処理法

横川 明子[†] 増永 良文[‡]

あらまし 我々は、仮想世界データベースシステム(Virtual World Database System : VWDB)の設計と実装を進めている。既に、VWDBにおける問合せ言語として、マルチモーダル問合せ言語の基礎開発がなされ、ユーザは音声とマウス入力によって、実世界に近い自然なインタラクションでVWDBへの単純な問合せを行うことが可能となっている。しかしながら、この言語は仮想世界における位置・方向・位相・可視性に関して、個別に問合せを発行できるものの、それらを融合した問合せを発行することはできなかった。そこで本研究では融合問合せ法を提案し問題解決を図る。

キーワード VWDB, 3次元空間データベース, バーチャルリアリティ, マルチモーダル, 問合せ言語, シグネチャ

Multimodal Fusion Query Processing in the Virtual World Database System

Akiko YOKOGAWA[†] Yoshihumi MASUNAGA[‡]

Abstract The Virtual World Database System (VWDB) is currently under development at Ochanomizu University. A preliminary design and implementation was done to support a multi-modal query language in VWDB where users can issue query using mouse and voice. In this paper, we propose a strong VWDB multimodal query language named a fusion query language. By this language users can issue queries with a condition relating to distance, direction, topology, and visibility as well as their combination.

Keyword VWDB, 3-D database, Virtual reality, Multimodal, Query language, Signature

1. はじめに

現在、リレーショナルデータベースシステムやオブジェクト指向データベースシステムが広く使われている。しかしながら、データベースの基本的概

念「実世界とその中のオブジェクトをコンピュータの中にできるだけ忠実に写像する」という原点に立ち返ると、実世界の事物には、通常、大きさ・形を持っているものが大半なのに、いずれのシステムも、

[†]お茶の水女子大学大学院人間文化研究科 博士前期課程 数理・情報科学専攻
Graduate School of Human and Science, Ochanomizu University akiko@db.is.ocha.ac.jp

[‡]お茶の水女子大学理学部情報科学科 Faculty of Science, Ochanomizu University masunaga@is.ocha.ac.jp

それらを厳密に表現できていないという問題がある。そこで我々は、バーチャルリアリティ(VR)システムに注目し、VR の概念をデータベースに取り入れた新世代データベースシステムとして、仮想世界データベースシステム(Virtual World Database System: VWDB)を構築してきた。

これまで、VWDB データベーススキーマ言語の定義[1]や共同作業に向けたトランザクション管理の研究[2,3]が行われ、仮想世界をデータベースとする VWDB の概念が具体化されてきている。さらに、仮想空間における問合せとして、単純なマルチモーダル問合せ言語の開発が行われた[4]。VWDB システムに音声認識機能を搭載することで、ユーザは実世界に近い自然なインタラクションで問合せを発行することが可能となった。しかしながら、複雑で本格的なマルチモーダル問合せ言語の開発はなされていない。そこで本研究では、距離・方向・位相・可視性に関して個々に提案された問合せ言語をもとに、仮想空間における融合問合せ言語を提案する。

以下、2 章では VWDB システムの構成および空間関係の問合せ言語について、3 章では融合問合せ法について述べ、問合せ構文木を用いて問合せを表現・処理する方法、4 章でまとめと今後の課題について述べる。

2. 仮想世界データベースシステム: VWDB

2.1. システム構成

VWDB はバックエンドのオブジェクト指向データベースシステムと、フロントエンドの VR システム群で構成される。フロントエンドの VR システムは NVR(Networked Virtual Reality System)により互いに接続されており、複数のユーザが仮想環境を共有できるようになっている[1,2]。VR クライアントは、Java 言語用の仮想世界構築 API である Java3D を用いて実装し、バックエンド DB は商用のオブジェクト指向 DB である ObjectStore を利用し、Java 言語で実装している。

さらに、問合せインタフェースとして Advanced Media 社の AmiVoiceSDK の音声認識エンジンを用いてルール設計が進められている。

2.2. 空間関係の問合せ(MPQ)

空間関係の 3 大要素[5]として挙げられる距離・方向・位相と、さらにアバタからの可視性を判断する 4 種類の問合せ述語が定義された[4]。

- ◇ 距離 : Distance(O_A, O_B, θ, dis)
- ◇ 方向 : Direction(O_A, O_B, dir)
- ◇ 位相 : Topology(O_A, O_B, top)
- ◇ 可視性 : Visibility (A, O_B, vis)

ここに、 O_A : 基点オブジェクト、 O_B : 対象オブジェクト、 A : アバタ、 θ : 比較演算子(=, <, ≤, ≥, >, ≠), dis : 距離(数値), dir : $\overrightarrow{O_A O_B}$, top : 位相(meet, disjoint, inside, contains), vis : true / false.

さらに、問い合わせ述語に基づいて、VWDB の空間関係の意味のあるプリミティブな問合せ(MPQ: meaningful primitive queries)に 31 種類が定義された(表 1)。

3. マルチモーダル融合問合せ

3.1. データ型の定義

本研究では、以上の VWDB システムにおける空間関係の MPQ を基に、複合問合せ法を述べる。

データ構造を規定するために導入されたデータ型(data type)[6]の表現を用いて、VWDB における空間関係を規定する。データ型は、Sort, Operators, Constants からなる。

Sort により、VWDB における空間関係の問合せに用いられる要素を定義し、Sort を用いて、問合せの関係性を表現したものが Operators である。

Operator σ , Operand $s_1 \sim s_n$ (sort), return value s (sort)とすると Operator は

$$\sigma : s_1 \times s_2 \times \dots \times s_n \rightarrow s$$

と表記できる。また、Operand を持たない Operator のことを Constant とい

$$\sigma : \rightarrow s$$

と表す。VWDB の場合、それらは以下のものである。

表 1: VWDB における MPQ 一覧

| MPQ | 問合せ文の一例 |
|--|---|
| (dis-1) Distance ($O, O, =, ?$) (dis-2) Distance ($O, O, ?, dis$) (dis-3) Distance ($O, ?, \theta, dis$) (dis-4) Distance ($?, O, \theta, dis$) (dis-5) Distance ($O, ?, =, ?$) (dis-6) Distance ($?, O, =, ?$) (dis-7) Distance ($O, ?, ?, dis$) (dis-8) Distance ($?, O, ?, dis$) (dis-9) Distance ($?, ?, \theta, dis$) (dis-10) Distance ($?, ?, =, ?$) | これとあれの距離は？ これとあれの距離は dis と比べてどうか？ これとの距離が $dis \theta$ ものは？ あれとの距離が $dis \theta$ ものは？ これとすべてのものの距離は？ あれとすべてのものの距離は？ これとすべてのものの距離は dis と比べてどうか？ あれとすべてのものの距離は dis と比べてどうか？ 距離関係が $dis \theta$ であるもの同士は？ すべてのもの同士の距離関係は？ |
| (dir-1) Direction ($O, O, ?$) (dir-2) Direction ($O, ?, dir$) (dir-3) Direction ($?, O, dir$) (dir-4) Direction ($O, ?, ?$) (dir-5) Direction ($?, O, ?$) (dir-6) Direction ($?, ?, dir$) (dir-7) Direction ($?, ?, ?$) | あれはこれのどの方向にあるか？ これの dir (の方向)にあるものは？ あれが dir (の方向)にあるものは？ これとすべてのものの方向関係は？ あれとすべてのものの方向関係は？ dir (の方向)関係にあるもの同士は？ すべてのもの同士の方向関係は？ |
| (top-1) Topology ($O, O, ?$) (top-2) Topology ($O, ?, top$) (top-3) Topology ($?, O, top$) (top-4) Topology ($O, ?, ?$) (top-5) Topology ($?, O, ?$) (top-6) Topology ($?, ?, top$) (top-7) Topology ($?, ?, ?$) | あれはこれのどの位相にあるか？ これの top (の位相)にあるものは？ あれと top (の位相)にあるものは？ これとすべてのものの位相関係は？ あれとすべてのものの位相関係は？ top (の位相)関係にあるもの同士は？ すべてのもの同士の位相関係は？ |
| (vis-1) Visibility ($Avt, O, ?$) (vis-2) Visibility ($Avt, ?, vis$) (vis-3) Visibility ($?, O, vis$) (vis-4) Visibility ($Avt, ?, ?$) (vis-5) Visibility ($?, O, ?$) (vis-6) Visibility ($?, ?, vis$) (vis-7) Visibility ($?, ?, ?$) | Avt からあれは見えるか？ Avt から vis なものは？ あれが vis なアバタは？ Avt とすべてのものの可視関係は？ あれとすべてのアバタの可視関係は？ vis (の可視)関係にあるものとアバタのペアは？ すべてのものとアバタの可視関係は？ |

◇距離シグネチャ

■Sorts :

$Object, DIS, \Theta, set(Object), set(Object \times DIS),$
 $set(Object \times \Theta), set(Object \times Object), set(Object$
 $\times Object \times \Theta)$

■Operators :

$dis : \rightarrow DIS$
 $o_i : \rightarrow Object \quad (1 \leq i \leq n)$
 $\leftarrow : \rightarrow \Theta$
 $\leq : \rightarrow \Theta$
 $= : \rightarrow \Theta$
 $\geq : \rightarrow \Theta$

$> : \rightarrow \Theta$

$\neq : \rightarrow \Theta$

$distance1 : Object \times Object \rightarrow DIS$
 $distance2 : Object \times Object \times DIS \rightarrow \Theta$
 $distance3 : Object \times \Theta \times DIS \rightarrow set(Object)$
 $distance4 : Object \times \Theta \times DIS \rightarrow set(Object)$
 $distance5 : Object \rightarrow set(Object \times DIS)$
 $distance6 : Object \rightarrow set(Object \times DIS)$
 $distance7 : Object \times DIS \rightarrow set(Object \times \Theta)$
 $distance8 : Object \times DIS \rightarrow set(Object \times \Theta)$
 $distance9 : \Theta \times DIS \rightarrow set(Object \times Object)$
 $distance10 : \rightarrow set(Object \times Object \times DIS)$

ただし, o_i は, 仮想空間内にある有限個のオブジェクトを意味する ($1 \leq i \leq n$). dis はオブジェクト同士の距離の小数点第三位を四捨五入した離散値 ($\in DIS$) とする.

ここで, Operator $distance1$, $distance5$, $distance6$, $distance10$ の Operand に, MPQ で用いられていた θ が無いことに気づく. これは $distance1$, $distance5$, $distance6$, $distance10$ の間合せは, θ が '=' のときのみ意味のある間合せとして定義されているからである.

$sort S$ を用いた Operator のセットのことを S -sorted シグネチャという. 距離に関しては, $S = \{Object, DIS, \Theta, set(Object), set(Object \times DIS), set(Object \times \Theta), set(Object \times Object), set(Object \times Object \times \Theta)\}$ となる.

◇方向シグネチャ

■Sorts:

$Object$, DIR , $set(Object)$, $set(Object \times DIR)$,
 $set(Object \times Object)$, $set(Object \times Object \times DIR)$

■Operators :

$o_i : \rightarrow Object$ ($1 \leq i \leq n$)
 $dir : \rightarrow DIR$
 $direction1 : Object \times Object \rightarrow DIR$
 $direction2 : Object \times DIR \rightarrow set(Object)$
 $direction3 : Object \rightarrow set(Object \times DIR)$
 $direction4 : Object \rightarrow set(Object \times DIR)$
 $direction5 : DIR \rightarrow set(Object \times Object)$
 $direction6 : DIR \rightarrow set(Object \times Object)$
 $direction7 : \rightarrow set(Object \times Object \times DIR)$

DIR は仮想空間オブジェクトの方向関係を表すベクトルである. VWDB において方向を表す時は, $dir \in \{\text{前, 後, 左, 右, 上, 下, 右前, 左前, 右後, 左後, 東, 西, 南, 北, 北東, 北西, 南東, 南西, 天頂, 天底}\}$ を用いる.

◇位相シグネチャ

■Sorts :

$Object$, TOP , $set(Object)$, $set(Object \times TOP)$,

$set(Object \times Object \times TOP)$

■Operators :

$o_i : \rightarrow Object$ ($1 \leq i \leq n$)
 $meet : \rightarrow TOP$
 $disjoint : \rightarrow TOP$
 $inside : \rightarrow TOP$
 $contains : \rightarrow TOP$
 $topology1 : Object \times Object \rightarrow TOP$
 $topology2 : Object \times TOP \rightarrow set(Object)$
 $topology3 : Object \times TOP \rightarrow set(Object)$
 $topology4 : Object \rightarrow set(Object \times TOP)$
 $topology5 : Object \rightarrow set(Object \times TOP)$
 $topology6 : TOP \rightarrow set(Object \times Object)$
 $topology7 : \rightarrow set(Object \times Object \times TOP)$

TOP はオブジェクトの位相関係を表す. VWDB における位相関係は, $meet$, $disjoint$, $inside$, $contains$ を用いて表す.

◇可視性シグネチャ

■sorts :

$Object$, $Bool$, Avt , $set(Object)$, $set(Object \times Bool)$,
 $set(Object \times Object \times Bool)$

■Operators :

$o_i : \rightarrow Object$ ($1 \leq i \leq n$)
 $true : \rightarrow Bool$
 $false : \rightarrow Bool$
 $avt_i : \rightarrow Avt$
 $visiblity1 : Object \times Object \rightarrow Bool$
 $visiblity2 : Avt \times Bool \rightarrow set(Object)$
 $visiblity3 : Object \times Bool \rightarrow set(Avt)$
 $visiblity4 : Avt \rightarrow set(Object \times Bool)$
 $visiblity5 : Object \rightarrow set(Avt \times Bool)$
 $visiblity6 : Bool \rightarrow set(Avt \times Object)$
 $visiblity7 : \rightarrow set(Avt \times Object \times Bool)$

可視の場合を $true$, 不可視の場合を $false$ とする. 仮想世界に存在しているアバタを, avt_i とする ($1 \leq i \leq m$).

3.2. 距離・方向・位相・可視性文法の導入

Operator で構成される表現を Term という。Term は次のように定義されている。

(a) Constant $\sigma : \rightarrow s$ に対して、表現 “ σ ” は term である。

(b) Operator $\sigma : s_1 \times s_2 \times \dots \times s_n \rightarrow s$ と

Sort s_i の term $t_i (1 \leq i \leq n)$ に対して

表現 “ $\sigma(t_1 \times t_2 \times \dots \times t_n)$ ” は term である。

全ての term を生成することができる文法をシグネチャから構成することができる。つまり、各 sort は非終端記号に置き換えられる。

各 Operator $\sigma : s_1 \times s_2 \times \dots \times s_n \rightarrow s$ ($n > 0$) は生成則

$$s \rightarrow \sigma(s_1, s_2, \dots, s_n)$$

に置き換えられ、各 Constant $\sigma : \rightarrow s$ は生成則

$$s \rightarrow \sigma$$

と置き換えられる。

◇ 距離文法

$$Object \rightarrow o_i \quad (1 \leq i \leq n)$$

$$DIS \rightarrow dir$$

$$\Theta \rightarrow <$$

$$\Theta \rightarrow \leq$$

$$\Theta \rightarrow =$$

$$\Theta \rightarrow \geq$$

$$\Theta \rightarrow >$$

$$\Theta \rightarrow \neq$$

$$DIS \rightarrow distance1(Object, Object)$$

$$\Theta \rightarrow distance2(Object, Object, DIS)$$

$$set(Object) \rightarrow distance3(Object, \Theta, DIS)$$

$$set(Object) \rightarrow distance4(Object, \Theta, DIS)$$

$$set(Object \times DIS) \rightarrow distance5(Object)$$

$$set(Object \times DIS) \rightarrow distance6(Object)$$

$$set(Object \times \Theta) \rightarrow distance7(Object, DIS)$$

$$set(Object \times \Theta) \rightarrow distance8(Object, DIS)$$

$$set(Object \times Object) \rightarrow distance9(\Theta, DIS)$$

$$set(Object \times Object \times DIS) \rightarrow distance10$$

◇ 方向文法

$$Object \rightarrow o_i \quad (1 \leq i \leq n)$$

$$DIR \rightarrow dir$$

$$DIR \rightarrow direction1(Object \times Object)$$

$$set(Object) \rightarrow direction2(Object \times DIR)$$

$$set(Object) \rightarrow direction3(Object \times DIR)$$

$$set(Object, DIR) \rightarrow direction4(Object)$$

$$set(Object, DIR) \rightarrow direction5(Object)$$

$$set(Object, Object) \rightarrow direction6(DIR)$$

$$set(Object, Object, DIR) \rightarrow direction7$$

◇ 位相文法

$$Object \rightarrow o_i \quad (1 \leq i \leq n)$$

$$TOP \rightarrow meet$$

$$TOP \rightarrow disjoint$$

$$TOP \rightarrow inside$$

$$TOP \rightarrow contains$$

$$TOP \rightarrow topology1(Object \times Object)$$

$$set(Object) \rightarrow topology2(Object \times TOP)$$

$$set(Object) \rightarrow topology3(Object \times TOP)$$

$$set(Object, TOP) \rightarrow topology4(Object)$$

$$set(Object, TOP) \rightarrow topology5(Object)$$

$$set(Object, Object) \rightarrow topology6(TOP)$$

$$set(Object, Object, TOP) \rightarrow topology7$$

◇ 可視性文法

$$Object \rightarrow o_i \quad (1 \leq i \leq n)$$

$$Bool \rightarrow true$$

$$Bool \rightarrow false$$

$$Avt \rightarrow avt_i \quad (1 \leq i \leq m)$$

$$Bool \rightarrow visibility1(Avt \times Object)$$

$$set(Avt) \rightarrow visibility2(Object, Bool)$$

$$set(Object) \rightarrow visibility3(Avt \times Bool)$$

$$set(Avt, Bool) \rightarrow visibility4(Object)$$

$$set(Object, Bool) \rightarrow visibility5(Avt)$$

$$set(Avt, Object) \rightarrow visibility6(Bool)$$

$$set(Avt, Object, Bool) \rightarrow visibility7$$

3.3. 融合問合せ

3.3.1. 距離・方向・位相・可視性ごとの問合せの構文木表現

シグネチャから導出された文法によって、各 sort は非終端記号に置き換えられるため、VWDB における問合せ言語は、例えば図 1 に示すような構文木を形成することができる。

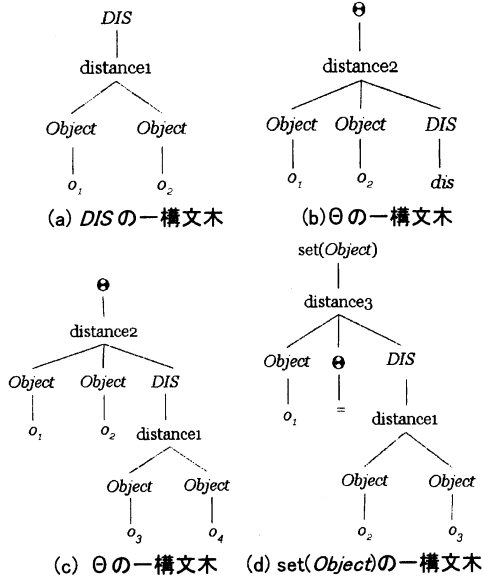


図 1: 距離に関する問合せの構文木の例

図 1(a)は、「 o_1 と o_2 の距離は？」という問合せに対応し、図 1(b)は、「 o_1 と o_2 の距離は dis と比べてどうか？」という質問に対応する。さらに、図 1(b)の DIS をさらに展開したものが図 1(c)で、「 o_1 と o_2 の距離は o_3 と o_4 の距離と比べてどうか？」という問合せに対応する。同様に、図 1(d)は「 o_1 との距離が o_2 と o_3 の距離に等しいものは？」という問合せを表す。この場合、根が $set(Object)$ なので、一般的に問合せ結果は複数のオブジェクトからなる集合となる。

方向・位相・可視性に関しても同様に構文木が形成できる(図 2)。

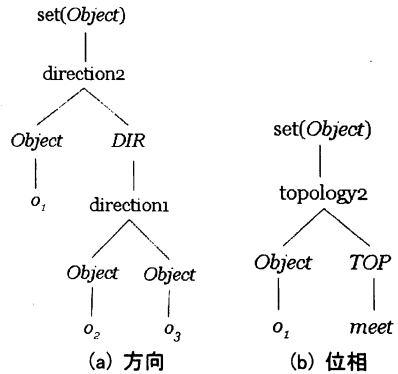


図 2: 方向と位相に関する問合せの構文木の例

3.3.2. 融合文法

本節では、距離・方向・位相・可視性に関する個々の問合せに加えて、それらを融合させた問合せ(融合問合せと呼ぼう)を考える。距離・方向・位相・可視性シグネチャに共通する sort として $Object$ と $set(Object)$ が挙げられる。これらの共通した sort を介在して、位置・方向・位相・可視性に関する問合せを融合できると考えられる。生成則の右辺に $Object$ が出現するが、 $Object$ を左辺に持つ生成則は $Object \rightarrow o_i$ という明らかな生成則以外にはない。しかし、 $set(Object)$ を左辺に持つ生成則は、構文木を評価して得られる一般には複数のオブジェクトの集合とみなせば、例えば、生成則 $DIS \rightarrow distance1(Object, Object)$ の右辺に現れた $Object$ を介在して、生成則 $set(Object) \rightarrow visibility3(Avt \times Bool)$ をさらに適用していくことに意味があると考えられる。

実際、 $set(Object)$ を左辺に持つ生成則を評価して得られたオブジェクト集合(ここでは、これらと書く)とあるオブジェクト(ここでは、あれと書く)について「これらとあれの距離は？」という質問は意味がある。従って、 $Object$ と $set(Object)$ を結合する文法規則を持つことで、距離・方向・位相・可視性文法を融合する「融合文法」を導入することができる(図 3)。

◇ 融合文法

以下の2種類の生成則からなる文法と定義する.

- (1) 距離・方向・位相・可視性文法の全ての生成則
- (2) 融合のための生成則

$Object \rightarrow fusion(set(Object))$

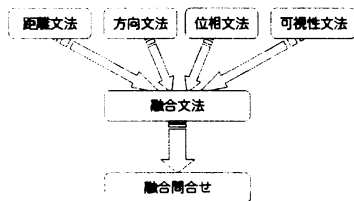


図 3: 融合文法

融合文法を用いた問合せの構文木の一例を、図 4 に示す。図 4(a)の構文木は「 avt_1 から見えるものと o_1 の距離は？」という問合せを表現する。図 4(b)の構文木は「 o_2 は、 o_1 と disjoint の位相にあるものどの方向にあるか？」という問合せを表現する。

このように、融合文法を用いることにより、空間関係の融合問合せが表現可能となった。

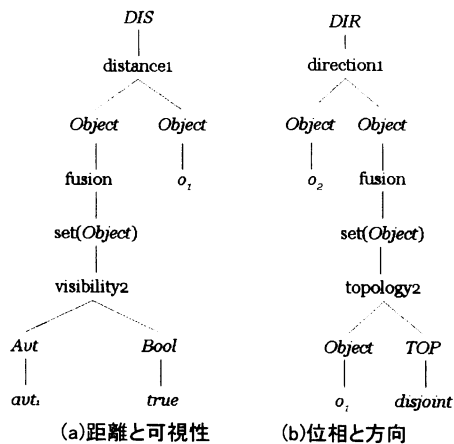


図 4: 融合問合せの構文木の例

3.3.3. 構文木に基づく問合せ評価

図 5 に、図 1(a)に示した「これとあれの距離は？」という問合せの評価(evaluation)を Java 擬似コードで書いた例を示す。

```
//distance1
distance1(Object o1, Object o2){
    double dis=Math.sqrt((o1.pos_x-o2.pos_x)*(o1.pos_x-o2.pos_x)+
        (o1.pos_y-o2.pos_y)*(o1.pos_y-o2.pos_y)+
        (o1.pos_z-o2.pos_z)*(o1.pos_z-o2.pos_z));
    return dis;
}
```

図 5: 問合せ(図 1(a))評価の Java 擬似コード

次に、図 6 に、融合のための生成則を適用して記述できる図 4(a)の問合せ「 avt_1 から見えているものと o_1 の距離は？」の評価を Java 擬似コードで書いた例を示す。

```
//fusion<distance1+visibility2>
fusion(Set objectSet){
    //objectSetはvisibility2(avt1, true)を満たすobjectの集合とする
    Map distances = new HashMap();
    Iterator i = objectSet.iterator();
    while(i.hasNext()){
        Object obj = (Object)i.next();
        double dis=distance1(obj,o1);
        distances.put(obj, String.valueOf(dis));
    }
    return distances;
}
```

図 6: 問合せ(図 4(a))評価の Java 擬似コード

このように、位置・方向・位相・可視性に関する問合せ構文木は、それぞれの生成則の左辺にある sort の値(value)を結果として出力する。

また、融合のための生成則を適用した構文木は、図 7 にあるように、 $set(Object)$ を、問合せ B の結果得られた k 個のオブジェクトからなる集合($0 \leq k \leq n$)とすると (k は実行時に決まる)、問合せ A は、 k 回繰り返し評価されることとなるため、結果として問合せ A の生成則の左辺にある sort の値が k 個動的に得られることがわかる。

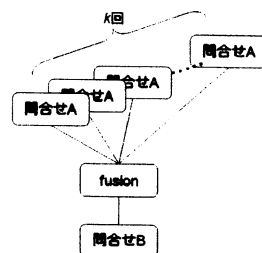


図 7: 動的な融合問合せ評価のイメージ

4. まとめと今後の課題

本稿では、VWDBにおける問合せ言語の拡張として、融合問合せ法を提案した。距離・方向・位相・可視性に関するシグネチャを定義し、そこから生成則を導出し、問合せを構文木で表現した。さらに融合文法を用いることで距離・方向・位相・可視性に関する問合せを融合することを可能とした。

今後の課題として、構文木で表現された融合問合せを、どのようにして自然な言葉で表すかを検討し、音声認識ルールを構築することが挙げられる。

さらに音声で入力された問合せ文の解析法、問合せ結果の表示方法の構築などを行いたい。

文 献

- [1] 渡辺知恵美, “仮想世界データベースシステムの設計と実装,” お茶の水女子大学学位論文, 2003.
- [2] 渡辺知恵美, 大杉あゆみ, 佐藤こず恵, 増永良文, “仮想世界データベースシステムにおける共有型作業環境のためのトランザクション概念の導入,” 情報処理学会論文誌: データベース (TOD), Vol.43, No.SIG9(TOD15), pp.55-67, 2002.
- [3] 渡辺知恵美, 増永良文, “仮想世界データベースシステム VWDB2 における仮想世界同期法,” 情報処理学会誌: データベース(TOD), TOD18, 2003.
- [4] 矢野ナホコ, 横川明子, 増永良文 “仮想世界データベースシステムにおけるマルチモーダル問合せ言語の開発,” 日本データベース学会 Letters, Vol.4, No.1, 2005 (掲載予定)
- [5] M. Egemhofer, “Spatial Relation: Models, Interfaces, and their Future Application,” Proceeding of Advanced Database Symposium '96, Vol.8, No.4, pp.403-424, 1996.
- [6] J.Craig Cleaveland: An Introduction to Data Types. AT&T Bell Laboratories, 1986.