

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実現のための融合文法の導入

Introduction of a Fusion Grammar for the Realization of Multimodal Queries in the Virtual World Database System

横川 明子[▼] 増永 良文[▲]

Akiko YOKOGAWA Yoshifumi MASUNAGA

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距離・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。そこで本論文では、融合文法を導入して問題解決を図る。

The Virtual World Database System (VWDB) is currently under development at Ochanomizu University. A preliminary design and implementation was done to provide a multimodal query language by which users can issue simple queries using a mouse and voice in a natural manner. However, it was not complete in that queries on any combination of distance, direction, topology, and visibility relations are not allowed, although it allows queries on either one of them. To resolve this problem, a fusion grammar is introduced in this paper.

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の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、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、仮想空間において、距離・方向・位相・可視性に関してそれぞれに問合せができる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まだなされていなかった。そこで本研究では、上記の問合せ言語を拡張して、本格的な問合せ言語の開発を可能とする融合問合せ法を提案する。

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について、3章では融合問合せと融合文法について述べ、融合問合せ構文木を用いて問合せを処理する方法、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(OA, OB, Θ, dis)
- ◇ 方向: Direction(OA, OB, dir)
- ◇ 位相: Topology(OA, OB, top)
- ◇ 可視性: Visibility(A, OB, vis)

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

さらに、問合せ述語に基づいて、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)が31種類定義された[4]。

3. 融合問合せと融合文法

3.1 距離・方向・位相・可視性シグネチャ

本節では、VWDBシステムにおける空間関係のMPQを基に、融合問合せの基礎的事項を述べる。

まず、データ構造を規定するデータ型(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, operator, constant* 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*operator*である。

▼ 学生会員 お茶の水女子大学大学院人間文化研究科博士前期課程 akiko@db.is.ocha.ac.jp

▲ 正会員 お茶の水女子大学理学部情報科学科 masunaga@is.ocha.ac.jp

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。

◇距離シグネチャ

■Sorts :

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

■Operators :

$dis : \rightarrow DIS$

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

$< : \rightarrow \Theta$

$\leq : \rightarrow \Theta$

$= : \rightarrow \Theta$

$\geq : \rightarrow \Theta$

$> : \rightarrow \Theta$

$\neq : \rightarrow \Theta$

distance 1: $Object \times Object \rightarrow DIS$

distance 2: $Object \times Object \times DIS \rightarrow \Theta$

distance 3: $Object \times \Theta \times DIS \rightarrow set(Object)$

distance 4: $Object \times \Theta \times DIS \rightarrow set(Object)$

distance 5: $Object \rightarrow set(Object \times DIS)$

distance 6: $Object \rightarrow set(Object \times DIS)$

distance 7: $Object \times DIS \rightarrow set(Object \times \Theta)$

distance 8: $Object \times DIS \rightarrow set(Object \times \Theta)$

distance 9: $\Theta \times DIS \rightarrow set(Object \times Object)$

distance 10: $\rightarrow set(Object \times Object \times DIS)$

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 である distance 1, distance 5, distance 6, distance 10 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 distance 1, distance 5, distance 6, distance 10 の問合せは, Θ が ‘=’ のときのみ意味のある問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, $S = \{Object, DIS, \Theta, set(Object), set(Object \times DIS), set(Object \times \Theta), set(Object \times Object), set(Object \times Object \times DIS)\}$ 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 :

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

$dir : \rightarrow DIR$

direction 1: $Object \times Object \rightarrow DIR$

direction 2: $Object \times DIR \rightarrow set(Object)$

direction 3: $Object \rightarrow set(Object \times DIR)$

direction 4: $Object \rightarrow set(Object \times DIR)$

direction 5: $DIR \rightarrow set(Object \times Object)$

direction 6: $DIR \rightarrow set(Object \times Object)$

direction 7: $\rightarrow set(Object \times Object \times DIR)$

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

■Operators :

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

$meet : \rightarrow TOP$

$disj\text{oint} : \rightarrow TOP$

$inside : \rightarrow TOP$

$contains : \rightarrow TOP$

topology 1: $Object \times Object \rightarrow TOP$

topology 2: $Object \times TOP \rightarrow set(Object)$

topology 3: $Object \times TOP \rightarrow set(Object)$

topology 4: $Object \rightarrow set(Object \times TOP)$

topology 5: $Object \rightarrow set(Object \times TOP)$

topology 6: $TOP \rightarrow set(Object \times Object)$

topology 7: $\rightarrow set(Object \times Object \times TOP)$

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, $meet$, $disj\text{oint}$, $inside$, $contains$ を用いて表す。

◇可視性シグネチャ

■Sorts :

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

■Operators :

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

$true : \rightarrow Bool$

$false : \rightarrow Bool$

$avt_j : \rightarrow Avt$ ($1 \leq j \leq m$)

visiblity 1: $Avt \times Object \rightarrow Bool$

visiblity 2: $Avt \times Bool \rightarrow set(Object)$

visiblity 3: $Object \times Bool \rightarrow set(Avt)$

visiblity 4: $Avt \rightarrow set(Object \times Bool)$

visiblity 5: $Object \rightarrow set(Avt \times Bool)$

visiblity 6: $Bool \rightarrow set(Avt \times Object)$

visiblity 7: $\rightarrow set(Avt \times Object \times Bool)$

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_j とする ($1 \leq j \leq m$)。

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。したがって、文法を定義できる。

◇ 距離文法

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

$DIS \rightarrow dis$

$\Theta \rightarrow <$

$\Theta \rightarrow \leq$

$\Theta \rightarrow =$

$\Theta \rightarrow \geq$

$\Theta \rightarrow >$

$\Theta \rightarrow \neq$

$DIS \rightarrow distance1(Object, Object)$

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

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

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

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

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

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

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

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

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

◇ 方向文法

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

$DIR \rightarrow dir$

$DIR \rightarrow direction 1(Object \times Object)$

$set(Object) \rightarrow direction 2(Object \times DIR)$

$set(Object) \rightarrow direction 3(Object \times DIR)$

$set(Object, DIR) \rightarrow direction 4(Object)$

$set(Object, DIR) \rightarrow direction 5(Object)$

$set(Object, Object) \rightarrow direction 6(DIR)$

$set(Object, Object, DIR) \rightarrow direction 7$

◇ 位相文法

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

$TOP \rightarrow meet$

$TOP \rightarrow disj\ o\ int$

$TOP \rightarrow inside$

$TOP \rightarrow contains$

$TOP \rightarrow topology 1(Object \times Object)$

$set(Object) \rightarrow topology 2(Object \times TOP)$

$set(Object) \rightarrow topology 3(Object \times TOP)$

$set(Object, TOP) \rightarrow topology 4(Object)$

$set(Object, TOP) \rightarrow topology 5(Object)$

$set(Object, Object) \rightarrow topology 6(TOP)$

$set(Object, Object, TOP) \rightarrow topology 7$

◇ 可視性文法

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

$Bool \rightarrow true$

$Bool \rightarrow false$

$Avt \rightarrow avt_j$ ($1 \leq j \leq m$)

$Bool \rightarrow visibility 1(Avt \times Object)$

$set(Avt) \rightarrow visibility 2(Object, Bool)$

$set(Object) \rightarrow visibility 3(Avt \times Bool)$

$set(Avt, Bool) \rightarrow visibility 4(Object)$

$set(Object, Bool) \rightarrow visibility 5(Avt)$

$set(Avt, Object) \rightarrow visibility 6(Bool)$

$set(Avt, Object, Bool) \rightarrow visibility 7$

3.3 融合文法の導入

3.3.1 距離・方向・位相・可視性ごとの問合せ構文木

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 における問合せは、例えば図 1 に示すような構文木を形成することになる。

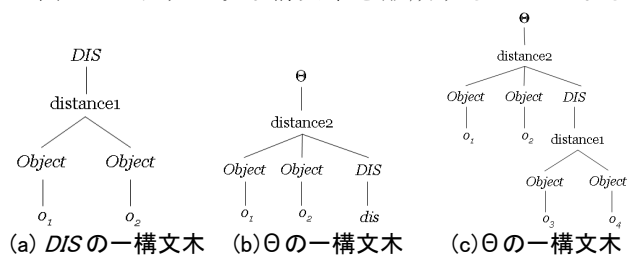


図 1 問合せ構文木の例

Fig.1 Examples of Syntax Tree of Queries

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 Θ の関係にあるか？」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 Θ の関係にあるか？」という問合せに対応する。方向・位相・可視性に関しても同様に構文木が形成できる。

3.3.2 融合文法の考え方

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(融合問合せと呼ぶ)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、距離・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 operator の変数として $Object$ 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、それを更に適用できると考えられる。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 $set(Object) \rightarrow visibility 3(Avt \times Bool)$ をさらに適用していく。これが、融合の意味である。

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 2(a))。

◇ 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

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

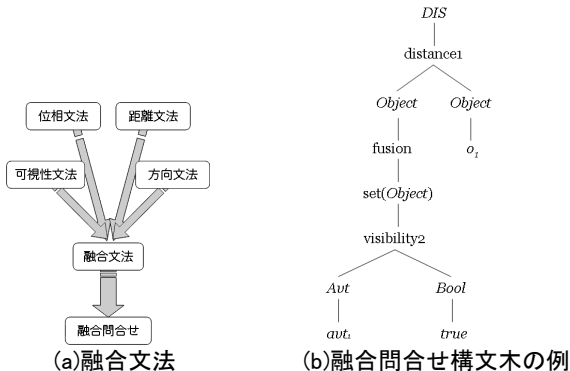


図2 融合問合せ文法と融合問合せ構文木

Fig.2 Fusion Grammar and Syntax Tree of a Fusion Query

融合問合せ文法を用いた融合問合せの構文木の一例を, 図2(b)に示す. この構文木は「 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. 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る.

3.3.3 融合問合せ構文木に基づく問合せ評価

図3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, 図4に, 融合のための生成則を適用して記述できる図2(b)の融合問合せ「 avt_1 から見えるものと o_1 の距離は?」の評価をそれぞれ 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3 問合せ(図1(a))評価のJava擬似コード

Fig.3 Java Pseudo-code for Evaluating Query (Fig.1(a))

```
//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4 問合せ(図2(b))評価のJava擬似コード

Fig.4 Java Pseudo-code for Evaluating of Query (Fig.2(b))

このように, 距離・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5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. これが fusion operator の意味である.

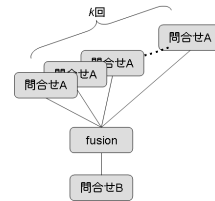


図5 動的な融合問合せ評価のイメージ

Fig.5 Image of Dynamic Evaluation of a Fusion Query

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, 融合文法を提案した. 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. さらに融合文法を導入することで距離・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で, マルチモーダルな問合せインタフェースの実現が挙げられる. この際, 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なども研究課題となる.

[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,”お茶の水女子大学博士学位論文, 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,”情報処理学会論文誌: データベース, Vol.44, No.SIG8 (TOD18), pp.65-77, 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, pp. 5-8, 2005.
- [5] M. Egenhofer, “Spatial Relation: Models, Interfaces, and their Future Application,” Proceedings of Advanced Database Symposium '96, SIGDBS, IPSJ, 31p., 1996.
- [6] J. Craig Cleaveland: An Introduction to Data Types, AT&T Bell Laboratories, 239p., 1986.

横川 明子 Akiko YOKOGAWA

お茶の水女子大学大学院人間文化研究科博士前期課程在学中. 2004 お茶の水女子大学理学部情報科学科卒業. VWDBの研究・開発に従事. 日本データベース学会学生会員.

増永 良文 Yoshifumi MASUNAGA

お茶の水女子大学理学部情報科学科教授. 1970 東北大学大学院工学研究科博士課程修了, 工学博士. データベースシステムの研究・開発に従事. 情報処理学会および電子情報通信学会フェロー. 日本データベース学会会長. 著書に「リレーショナルデータベース入門 [新訂版]」(サイエンス社)など.