

実世界探索システム実現のための動作記述言語

池田 卓朗[†] 塚本 昌彦[†] 山本 哲也^{††} 寺田 努[†] 柳沢 豊^{†††}

[†] 神戸大学大学院工学研究科 〒657-8501 兵庫県神戸市灘区六甲台町 1-1

^{††} 神戸大学大学院自然科学研究科

^{†††} NTT コミュニケーション科学基礎研究所

E-mail: ^{††}tt-ikeda@stu.kobe-u.ac.jp

あらまし 近年、計算機の処理能力の向上や小型で高性能なカメラの開発により、ものや人といった実世界の物体を画像中から探し出す物体認識の研究が行われている。しかし、これらの多くは、特定の物体のみを対象としていたり、研究者がそれぞれ研究を行っているため、認識対象の表現が異なる。このため、複数の物体認識アルゴリズムを用いたアプリケーションを作るために、1つのシステムに統合しようとした場合、統一的な表現で検索を行うことは困難である。本稿では、様々な物体を記述できる対象記述言語と適切な物体認識アルゴリズムに振り分けれる動作記述言語の提案および実装を行う。2つの記述言語と物体認識アルゴリズムを組み合わせることにより、複数の物体認識アルゴリズムを統合できる実世界探索システムの構築を目指す。

キーワード 物体認識、演繹オブジェクト指向データベース

An Action Description Language for Real World Search System

Takuro IKEDA[†], Masahiko TSUKAMOTO[†], Tetsuya YAMAMOTO^{††}, Tsutomu TERADA[†], and
Yutaka YANAGISAWA^{†††}

[†] Graduate School of Engineering, Kobe University Rokkoudai-tyou 1-1, Nada-ku, Kobe-shi, Hyogo,
657-8501 Japan

^{††} Graduate School of Science and Technology, Kobe University

^{†††} NTT Communication Science Laboratories

E-mail: ^{††}tt-ikeda@stu.kobe-u.ac.jp

Abstract Recently, there are researches on the object recognition to find out an object in the real world by rapid improvement in the processing capacity of computers by the development of the camera which is high-performance in improvement and small size of the processing capacity of the computer. But, these researches are different in the expression of the recognition object because it targets a specific object and the researcher researches respectively. Therefore, it is difficult to retrieve objects with a united expression by integrating two or more object-recognition algorithms. In this paper, we propose an object description language to describe various objects flexibly and an action description language to enable object recognition systems to use multiple object recognition algorithms. We aim at the construction of the real world search system that can integrate multiple object recognition algorithms by combining our proposed languages with object recognition algorithms.

Key words object recognition, deductive object-oriented database

1. はじめに

近年、カメラを搭載した携帯電話や小型 PC の普及に伴い、小型で高性能なカメラが開発されている。また、計算機の処理能力の飛躍的な向上により、画像や映像をコンピュータ上で容易に扱えるようになりつつある。今後さらなる計算機の処理能

力の向上や VLSI の微細化などにより、今日の携帯電話に搭載される多くの機能以外に、高精細画像による情報管理 (街の観光情報、個人情報など)、娯楽 (高画質映像、音声記録、ゲームなど)、学習などのために、高精細な頭部装着型ディスプレイ (HMD: Head Mounted Display) を通して知りたい情報が常時得られる機能が必要となる。そのために、ものや人といった実

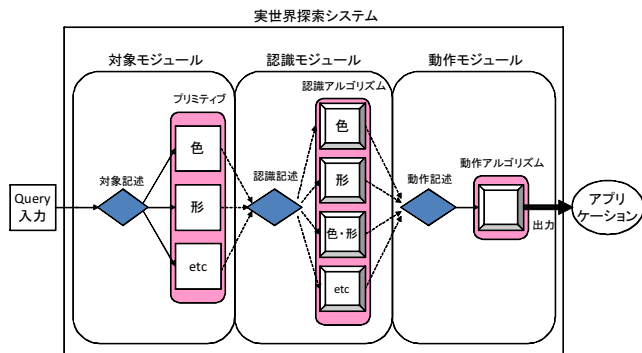


図1 システム構成

世界の物体をカメラ画像と対応付け、アノテーションなどを表示する拡張現実感の研究 [1] ~ [3] や、物体をカメラ画像と対応付けるための物体認識の研究 [4] [5] が行われている。

このように数多くの物体認識技術に関する研究が行われているが、これらの物体認識は特定の認識対象のみを扱うものであり、アルゴリズムによって認識対象の表現や認識結果の出力方法が異なる。このため、意図と異なる認識対象や照明環境などの異なる条件下で認識に対応できないことが多い。すなわち、現在のシステムでは複数の物体認識アルゴリズムをひとつのシステムに統合し、統一的な表現で検索を行うことは困難である。

実世界探索のための対象記述言語 [1] では、様々な物体を記述するための対象記述言語について述べた。本稿では、記述された対象に対してどの認識アルゴリズムを用いるか、どのように結果を表示するかということを記述するための動作記述言語について述べる。

以下、2章で実世界探索システムについて述べ、3章でそれぞれの記述言語について、4章で記述言語を用いたシステムの実装について、5章で本稿のまとめを述べる。

2. 実世界探索システム

本稿は、ウェアラブルコンピューティング環境下で様々な対象を認識し、アノテーションを付与したり、適切な情報を表示するアプリケーションの実現を目指す。このためのシステムを実世界探索システムと呼ぶ。図1にシステム構成を示す。実世界探索システムを実現するためには、様々な物体認識アルゴリズムを統合し、統一的な記述により物体を指定できる必要がある。また、記述から最適な認識エンジンの組合せを選択し、それぞれの実行結果を統合することも必要となる。

そこで、実世界探索システムを実現するため対象記述言語、動作記述言語を提案し、これらを組み合わせて利用することで上記の要件を満たす。本稿では認識アルゴリズム自体やシステムの出力に関する処理の提案は行わず、2つの記述言語を用いることにより様々な認識アルゴリズムや出力方法の組合せや処理手順を決定する方式を提案する。

3. 記述言語

3.1 対象記述言語

実世界のあらゆる対象を記述するための枠組みを提案す

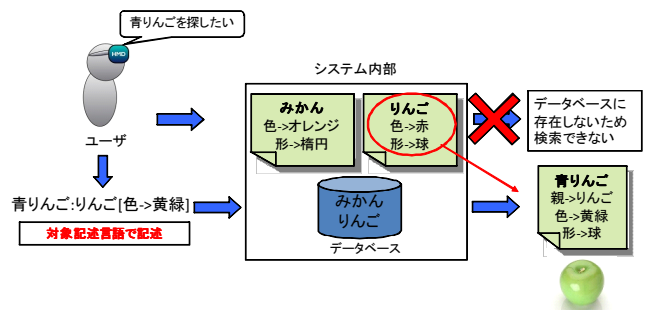


図2 対象記述言語の処理の様子

る。本稿では、オブジェクト指向とロジックを組み合わせることで実世界の対象を記述する F-logic [6]、O-logic [7]、C-logic [8]、Quixote [9]、DOT [10] などの DOOD (Deductive Object-Oriented Database) アプローチ [11] で用いられたオブジェクト項表現の基礎的な部分を利用する。オブジェクト指向の対象の記述方法と論理的な計算の枠組みを用いて、1章で述べた応用分野における実世界探索に必要なレベルでの対象記述を行うことを意図している。提案する対象記述言語の適用イメージを図2に示す。従来のシステムでは、ユーザが「青りんご」という対象を探索しようとしても、データベースに「青りんご」が定義されていない場合は探索できない。しかし、対象記述言語を用いて「青りんご」に対する記述をプリミティブと属性値の組合せとして追加することにより、データベースに「青りんご」が定義されていなくても物体情報が得られることになる。

3.1.1 対象記述の記法

本稿で提案する対象記述には通常の DOOD アプローチのターミノロジを用いる。すなわち、記述する対象のことをオブジェクトと呼び、オブジェクトには一意の名前が与えられ、オブジェクトに対して属性と値のペアが任意個割り当てられるものとする。属性もまた、オブジェクト名とは異なるドメインにおいて一意の名前が付けられる。値は文字列または数値である。もしくは、属性が内部に属性をもつ場合、属性を記述できる。オブジェクト o の属性 l の値を $o.l$ と表す。この式をドット式と呼ぶ。文字列はダブルクォーテーションで囲み、数値は通常の数値表現で示す。オブジェクト間には IS-A 関係と呼ばれる包摂関係 $\subseteq$ が存在する。 $\subseteq$ は順序関係であり、この順序関係に従って次節以降で述べる属性および動作の継承が行なわれる。

対象記述言語では、対象の情報をオブジェクト名と属性、値のペアのリストとして表現する。形式的には以下のように記述する。

$$o_1 : o_2[l_1 \rightarrow v_1, l_2 \rightarrow v_2, \dots, l_n \rightarrow v_n]$$

$$o_2[l_1 \rightarrow [l_2 \rightarrow v_2]]$$

ここで、 n は自然数、 o_1, o_2 はオブジェクト、 $l_1, \dots, l_n$ は属性、 $v_1, \dots, v_n$ は値を表す。この記述を式とよび、 o_1 の親オブジェクトが o_2 であり、 o_1 の属性 l_i の値が v_i であることを表している ($i = 0, \dots, n$)。また、下の記述は o の属性 l_1 の属性 l_2 の値が v_2 であることを示している。すなわちこの式は、

$$\begin{aligned} o_1 &\subseteq o_2 \\ o_1.l_i &= v_i (i = 0, \dots, n) \\ o_2.l_1.l_2 &= v_2 \end{aligned}$$

を意味する．例えば下記の記述は「りんご」という物体は球という形属性と赤という色属性をもつことを表している．

りんご [形 → 球 , 色 → 赤]

3.1.2 属性継承

オブジェクト項と包摂関係にあるオブジェクト項の間には、包摂関係に従って属性継承が行なわれる．すなわち、 $o_1 \subseteq o_2$, $o_2.l = v$ ならば、 $o_1.l = v$ とする．ただし o_2 は、 $o_1 \subseteq o_2$ を満たす o_2 のうち極小の o_2 で、 $o_2.l$ が定まっているものとする．極小のものが複数ある場合は、 $o_1.l$ の値としてどちらの値にするかは「不定」とする．F-logic をはじめいくつかの枠組みで「不定」を含めたこのような属性継承が行なわれており、本稿でも現時点では先行研究を踏襲するものとする．特にどちらかの値を指定したい場合は o_1 に対して再定義するにより、3.1.3 項に示すオーバーライドが行われ不定の問題を回避できる．具体例を以下に示す．

哺乳類 [呼吸器 → 肺]
人 : 哺乳類

人は哺乳類を親属性としてもつため、哺乳類の属性が継承される．よって、人に呼吸器の属性は記述されていないが、人 . 呼吸器 = 肺となる．

3.1.3 オーバーライド

前節で示したようにオブジェクト項と包摂関係にあるオブジェクト項の間には、包摂関係に従って属性継承が行なわれる．しかし、対象記述によって新たに定義された属性は属性継承が行なわれず、オーバーライドが行われる．属性継承が行なわれる場合は、 $o_1 \subseteq o_2$, $o_2.l = v$ ならば、 $o_1.l = v$ となる．しかし、 $o_1.l = n$ という定義が記述された場合、 $o_1.l = v$ が継承されず $o_1.l = n$ がオーバーライドされる．具体例を以下に示す．

りんご [形 → 球 , 色 → 赤]
青りんご : りんご [色 → 黄緑]

このとき、青りんごはりんごを親属性にもつため、形属性を継承し青りんご . 形 = 球となる．しかし、色属性は青りんごに記述されているため継承されず、青りんご . 色 = 黄緑となる．

3.2 動作記述言語

前節で述べた対象の記述を拡張し、認識アルゴリズムおよび動作（表示）アルゴリズムの記述も行えるようにするため、本稿では動作記述言語を提案する．動作記述言語は認識アルゴリズムの指定が行える認識記述と、出力の決定を行える動作記述から構成される．オブジェクトの処理の記述についても、従来から DOOD の枠組みでさまざまな表記法が取り入れられており、本稿ではそれらの先行研究にならいながら、実世界探索という応用に特化して、表記とその意味を定める．

3.2.1 認識記述の記法

認識記述では、ある特定のオブジェクトに対して認識アルゴリズムを指定したり、オブジェクトのある特定の属性に対して認識アルゴリズムを指定できるようにする．具体的には下記のような式を用いる．

$$\begin{aligned} o &\Rightarrow E_1(a_1, a_2, \dots, a_{n_1}) \\ o[l &\Rightarrow E_2(b_1, b_2, \dots, b_{n_2})] \\ o[l_1 \&l_2 &\Rightarrow E_3(c_1, c_2, \dots, c_{n_3})] \end{aligned}$$

$E_1 \sim E_3$ は認識アルゴリズム名を $a_i, b_j, c_k (i = 1, \dots, n_1, j = 1, \dots, n_2, k = 1, \dots, n_3)$ はその引数を表す．上から、オブジェクト o の場合 E_1 に引数 $a_i (i = 1, \dots, n_1)$ を用いて認識すること、オブジェクト o に属性 l がある場合 E_2 に引数 $b_j (j = 1, \dots, n_2)$ を用いて認識すること、オブジェクト o に属性 l_1 と l_2 がある場合 E_3 に引数 $c_k (k = 1, \dots, n_3)$ を用いて認識することを表している．認識アルゴリズムは認識結果として o の属性および値を追加、更新する．どのような属性、値を追加、更新するかについては本記述言語では記述対象とはしない．

認識記述は、属性記述と一体として記述できるものとする．ここでは形式的な記述は省略し、後の節で例を示す．

属性継承と同様のメカニズムに従って、認識アルゴリズムの継承を行う．ただし、極小のものが複数ある場合は両方を適用するか、不定とするかは実装あるいはシステムの設定事項とする．具体例を以下に示す．

りんご [形 → 球 , 色 → 赤]
りんご $\Rightarrow$ テンプレートマッチング

りんごは球という形属性と赤という色属性をもち、テンプレートマッチングを用いて認識を行うことを表している．

3.2.2 動作記述のフォーマット

動作記述では、認識結果を画面に出力する方法を指定する．以下の式で表す．

$$\begin{aligned} o &\Rightarrow D_1(a_1, a_2, \dots, a_{n_1}) \\ o[l &\Rightarrow D_2(b_1, b_2, \dots, b_{n_2})] \\ o[l_1 \&l_2 &\Rightarrow D_3(c_1, c_2, \dots, c_{n_3})] \end{aligned}$$

$D_1 \sim D_3$ は動作アルゴリズムを、 $a_i, b_j, c_k (i = 1, \dots, n_1, j = 1, \dots, n_2, k = 1, \dots, n_3)$ はその引数を表す．上から、オブジェクト o の出力を引数 $a_i (i = 1, \dots, n_1)$ を用いて D_1 で行うこと、オブジェクト o に属性 l の認識結果の出力を引数 $b_j (j = 1, \dots, n_2)$ を用いて D_2 で行うこと、オブジェクト o に属性 l_1 と l_2 の認識結果の出力を引数 $c_k (k = 1, \dots, n_3)$ を用いて D_3 で行うことを表している．引数には、属性、ドット式、オブジェクト名、数値、文字列を指定する．特に認識アルゴリズムの認識結果を表示することを想定するが、その場合は認識アルゴリズムが追加、更新する属性、またはそれを用いたドット式を指定する．属性記述、認識記述、動作記述の一体化については、前節と同様である．継承に関しても前節と同様である．

動作エンジンにパラメータ表記ができるようにしたのは暫定

表 1 オブジェクトと属性の関係

属性名	一郎	二郎
親	日本人	日本人
国籍	日本	日本
出身国	日本	アメリカ

的な措置である．現在筆者らが考えている応用の多くでは，認識アルゴリズムのバリエーションに比べて動作アルゴリズムのバリエーションは少なく，文字や画像を指定の場所に張り付けるといものである．項表現を用いた高度な一般化の必要性は低く，固定位置のパラメータが現時点の実装を考える上では妥当と考えた．具体例を以下に示す．

りんご [形 → 球, 色 → 赤]
りんご ⇒ ラベリング

りんごは球という形属性と赤という色属性をもち，認識したならば認識位置にラベルを表示することを表している．

3.3 記述例

本稿で提案した対象記述言語の記述例を以下に示す．

日本人 [国籍 → 日本, 出身国 → 日本]
一郎 : 日本人
二郎 : 日本人 [出身国 → アメリカ]

この記述は一郎と二郎という人物が定義されている．一郎と二郎はそれぞれ日本人という定義を親としてもっている．よって，3.1.2 項と 3.1.3 項に示す継承とオーバーライドが行われる．まず，一郎では日本人に定義されている国籍と出身国の属性が継承される．しかし，二郎では二郎の定義で二郎．出身国 = アメリカという定義がされているので日本人に定義されている出身国の属性はオーバーライドされ継承されず，国籍の属性のみが継承される．一郎と二郎の物体情報は表 1 のようになる．

日本人 [国籍 → 日本]
秋田犬 [種類 → 秋田犬]
太郎 : 日本人 [年齢 → 20, 性別 → 男]
太郎 : 秋田犬 [年齢 → 5, 性別 → 男]

この記述は両方とも太郎について定義されている．しかし，親である物体が異なっている．日本人を親にもつ太郎という対象は日本人に定義されている国籍の属性を継承し，新たに年齢と性別の属性を定義したものである．また，秋田犬を親にもつ太郎という対象は秋田犬に定義されている種類の属性を継承し，新たに年齢と性別の属性を定義したものである．そのため同じ太郎という対象に対して定義されていて，それぞれがもつ属性や属性の値が異なっている．太郎のもつ物体情報は表 2 のようになる．

表 2 オブジェクトと属性の関係

属性名	太郎	太郎
親	日本人	秋田犬
年齢	20	5
性別	男	男
国籍	日本	-
種類	-	秋田犬

表 3 オブジェクトと属性の関係

属性名	りんご	青りんご
色	赤	黄緑
形	球	球
⇒	3 次元認識エンジン	3 次元認識エンジン
⇒⇒	ラベリング	テロップ

りんご : 果物 [色 → 赤, 形 → 球]
青りんご : りんご [色 → 黄緑]
果物 ⇒ 3 次元認識エンジン
果物 ⇒⇒ ラベリング
青りんご ⇒⇒ テロップ

この記述はりんごと青りんごという果物が定義されている．りんごと青りんごはそれぞれ果物，りんごを親としてもっている．よって，3.1.2 項より，りんごの形属性が青りんごに，果物の認識アルゴリズムがりんごと青りんごに，果物の動作アルゴリズムがりんごに継承される．青りんごの色属性と動作は記述によって指定されているため，継承が行われず記述された値が優先される．りんごと青りんごの属性と認識アルゴリズム，動作アルゴリズムは表 3 のようになる．つまり，りんごは果物に定義されている認識アルゴリズムと動作アルゴリズムは 3 次元認識エンジンとラベリングの処理が行われる．しかし，青りんごは新たにテロップという動作アルゴリズムが定義されているため認識アルゴリズムは 3 次元認識エンジンの処理が行われるが，動作アルゴリズムはテロップの処理が行われる．

4. システムの実装

それぞれの記述言語の処理系のプロトタイプ，およびいくつかの認識アルゴリズムや処理アルゴリズムを実装した．

4.1 システムの構成

本稿で構築したシステムのプロトタイプを図 3 に示す．システムは処理によって以下の 3 つのモジュールで構成されている．

- 物体モジュール: 対象記述言語の解析と物体情報の取得
- 認識モジュール: 認識アルゴリズムの決定とマッチング処理
- 動作モジュール: 動作アルゴリズムの決定と認識結果の出力

まず，ユーザが対象記述言語を用いて，認識したい対象を記述する．記述された対象記述言語を物体モジュールで解析し，オブジェクト名や属性情報といった物体情報を取得する．次に，認識モジュールにて，取得した物体情報から，認識アルゴリズム

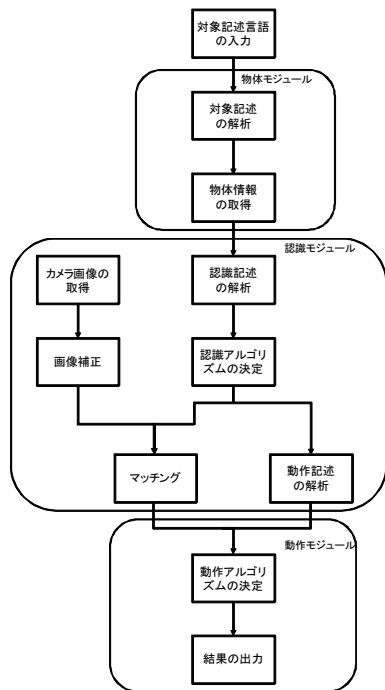


図 3 システムのフローチャート

ムの決定を行い、カメラから取得した画像とマッチング処理を行う。最後に、動作モジュールにて取得した物体情報と認識結果を用いて動作アルゴリズムの決定を行い、計算機の画面に認識結果を出力する。以下各モジュールについて詳細に説明する。

4.1.1 物体モジュール

物体モジュールでは、ユーザに入力された対象記述言語の解析を行い、解析結果から物体の物体情報を取得する。ユーザが対象記述言語を入力すると、入力された対象記述言語の解析を行い、データベースに物体が定義されているか調べる。定義されていればデータベースから物体情報を取得する。次に取得した物体情報に親属性があればデータベースから親属性となるオブジェクトの物体情報を取得する。同様の処理を親属性が存在しなくなるまで繰り返す。こうして得られた物体情報を対象記述言語の解析結果として返す。

4.1.2 認識モジュール

認識モジュールでは、物体モジュールにて得られた物体情報から認識アルゴリズムの決定とマッチング処理を行う。物体モジュールで得られた物体情報とデータベース内の情報を参照し、認識アルゴリズムを決定する。そうして得られた認識アルゴリズムとカメラから取得したカメラ画像を用いてマッチング処理を行う。マッチングできたならば認識結果をシステムに返す。

4.1.3 動作モジュール

動作モジュールでは動作アルゴリズムの決定と認識結果の出力を行う。物体モジュールで得られた物体情報と認識モジュールで得られた認識結果より動作アルゴリズムの決定を行う。決定された動作アルゴリズムによりシステムに結果を出力する。

4.2 アプリケーション

実世界探索システムのプロトタイプを作成した。図 4 に動作画面を示す。動作画面は、ユーザが対象記述言語を入力するテ



図 4 動作画面



図 5 認識を行った物体

キストボックス、入力された対象記述言語に対して、解析、認識を行う認識ボタン、データベースに格納する書き込みボタン、マッチング処理を一時停止させる一時停止ボタン、カメラからの映像を表示するためのパネル、認識を行う物体の出力などを行うスペースから構成されている。現在の実装は、形状認識と色認識、顔検出、テンプレートマッチング、SIFT の物体認識アルゴリズムがあり、これらの物体認識アルゴリズムを単独、もしくは組合せて使用している。

5. 評価

対象記述言語と動作記述言語を実世界探索システムに実装を行い物体認識を行った。まず、図 5 に示す物体について対象記述言語と動作記述言語を用いて記述を行い、モデル画像の作成を行った。この時の記述を下記に示す。

コーヒー:紙パック飲料 [色 → 茶]
紙パック飲料 [content→500, file→drink_paper]
紙パック飲料 ⇒ModeltoSift
紙パック飲料 ⇒ShowCircle

こうして得られたモデル画像をカメラ画像とマッチングした。ModeltoSift は作成したモデル画像を用いて SIFT により認識を行う物体認識アルゴリズムを ShowCircle は認識位置に円形を描画することを表す。また、以下に示す記述を行い物体情報を再定義した。

コーヒー:紙パック飲料 [title→ コーヒー 飲料]
コーヒー ⇒GoogletoSift

GoogletoSift は Google 画像検索より得られた画像を用いて SIFT により認識を行う物体認識アルゴリズムを表す。その結果、物体情報と物体認識アルゴリズムが変更される。再定義前と再定義後の動作画面を図 6 に示す。それぞれの動作画面の力



図 6 動作画面（上：再定義前 下：再定義後）

メラ映像にて、点で表示されている部分は、SIFT のクラスタリング候補点である．新しく物体を再定義したことにより，モデル画像の取得の処理部分に変更され作成されるモデル画像が変更された（赤枠部分）．モデル画像が変更された結果，再定義前ではクラスタリング候補点が少なかったが，再定義後の動作画面ではクラスタリング候補点が増加し，中央にある物体に認識が行なえていることがわかる（カメラ映像の緑の円部分）．このように動作記述言語を用いることにより物体認識アルゴリズムの組合せをユーザが任意に変更し，適した物体認識アルゴリズムに変更することができた．物体を認識するためには，モデル画像などの物体情報とどの物体認識アルゴリズムを組合せるかが重要である．しかし，この組合せは物体の種類や照明などの条件によって一意に決定することができない．これらの問題を解決するには，認識記述に詳細にパラメータを設定する必要がある．

6. ま と め

本稿では，様々な対象を属性や包摂関係を用いて記述できる対象記述言語，物体認識アルゴリズムや出力方法を振り分けることができる動作記述言語の提案と，これらの記述言語と複数の物体認識アルゴリズムを組み合わせた実世界探索システムの構築について述べた．対象記述言語を用いることにより，様々な対象を記述でき，動作記述言語を用いることにより複数の物体認識アルゴリズムを組合せた柔軟な実世界探索システムが構築できる．

今後の予定として，対象記述言語の改善を行うことにより記述できる属性や，物体間の関係を記述できるようにすること，どの物体認識アルゴリズムを用いるかの推論を行う処理部分の改善を行うことが挙げられる．物体間の関係を記述することで，現在の対象記述言語では記述することができない複数の物体から成る複雑な物体を記述できる．また，複数の物体認識アルゴリズムの認識結果を統合し結果を表示する，認識度合にパラメータを設定するなどの処理を加えることにより，複数の物

体認識アルゴリズムを柔軟に活用した物体認識を行えるようになる．

謝 辞

本研究は，一部平成 20 年度科学研究費補助金（基盤研究（A））「次世代ウェアラブルコンピュータのための知覚認識モバイルプロセッサの垂直統合研究」（課題番号：18200003）（代表：吉本雅彦教授）による．本研究に関し御議論いただいた吉本雅彦教授，有木康雄教授，川口博准教授をはじめとするプロジェクトメンバの皆様に謝意を表します．

文 献

- [1] 池田卓朗，塚本昌彦，山本哲也，寺田 努，柳沢 豊，実世界探索のための対象記述言語，情報処理学会マルチメディア，分散，協調とモバイル (DICOMO2008) 論文集，Vol. 2008，No. 1，pp. 1669–1674，2008.
- [2] 天目隆平，神原誠之，横矢直和，ウェアラブル拡張現実感のためのシーンの三次元モデルを利用した現実環境への注釈付け，画像の認識・理解シンポジウム (MIRU2005)，pp. 1404–1411，2005.
- [3] 坂根 裕，柳沢 豊，塚本昌彦，西尾章治郎，カメラ画像を利用した拡張デスクトップ環境，IN SPA98. 日本ソフトウェア科学会，1998.
- [4] 福田恵太，滝口哲也，有木康雄，画像セグメンテーションにおけるウェーブレット係数の局所テクスチャ特徴量を用いた Graph-Cuts，電子情報通信学会技術研究報告. PRMU，パターン認識・メディア理解，Vol. 107，No. 384，pp. 19–24，2007.
- [5] 山肩洋子，尾原秀登，角所 考，沢田篤史，美濃導彦，観測データに基づく生産加工活動認識のための物体・操作・目的情報の統合利用，電子情報通信学会技術研究報告. PRMU，Vol. 103，No. 738，pp. 95–100，2003.
- [6] Michael Kifer, Georg Lausen and James Wu, Logical Foundations of Object-Oriented and Frame-Based Languages, Journal of the ACM, Vol. 42, pp. 741–843, 1995.
- [7] David Maier, A Logic for Objects, In Workshop of Foundations of Deductive Databases and Logic Programming, pp. 6–26, 1986.
- [8] Weidong Chen and David S. Warren, C-Logic of Complex Objects, Proceedings of the eighth ACM SIGACT-SIGMOD-SIGART Symposium on Principles of Database Systems (PODS), pp. 369–378, 1989.
- [9] 東条 敏，津田 宏，安川秀樹，横田一正，森田幸伯，言語情報処理の枠組みとしての QUIXOTE，人工知能学会誌，Vol. 9，No. 6，pp. 863–874，1994.
- [10] 塚本昌彦，西尾章治郎，長谷川利治，DOT 記法と IS-A 関係にもとづく項表現を用いた演繹・オブジェクト指向データベースモデル，コンピュータソフトウェア，Vol. 9，No. 1，pp. 10–26，1992.
- [11] 横田一正，宮崎収兄，新データベース論 関係から演繹・オブジェクト指向へ，共立出版，1994.