

オブジェクト指向型モデル表現を用いた多目的図面理解システム

呉 焯[†] 佐藤 真一^{††} 坂内 正夫[†]

汎用図面理解システムにおける認識対象のモデルは、認識対象の構造特徴のみを記述するだけでは不十分である。本論文では、汎用性と多目的性を目指し、OO-Mudams と呼ぶオブジェクト指向型図面理解システムについて述べる。このシステムは、認識対象の構成や幾何学特徴などの静的な情報と、特徴マッチング動作および制御といったような動的な機能の双方をオブジェクトの形により記述している。静的な情報を記述するオブジェクトはモデルオブジェクトと呼び、認識推論過程から独立して記述され、異なる認識対象図面で再利用することが可能である。また、認識対象のマッチング過程の各動作の順序関連をマッチング木と呼ぶ木構造を用いて表現している。マッチング過程はこの木構造によって制御される。適当なマッチング木の構造を設計することによって、認識図面对象の特徴と認識の目的に合わせたモデルの実現が可能である。異なった数種類の図面に対する実験結果により、本システムの実現性と有効性を明らかにしている。

A Multipurposes Drawing Understanding System with Object-Oriented Model Description

WEI WU,[†] SHIN-ICHI SATOH^{††} and MASAO SAKAUCHI[†]

In the multitarget, multipurpose drawing understanding environment, models for recognition targets which only describe the compositional structure of recognition targets are insufficient. In this paper, we present a new framework of drawing understanding system named OO-Mudams, which uses an active model with object-oriented style. In the system, the static characteristics of recognition targets such as the compositional structure and geometrical features, the active functions that describe the matching action, and the control sequence in the matching procedure are integrated to define the model of recognition targets. Objects which declare the static characteristics of recognition targets are called **model object**, and are declared independent of the reasoning procedure, so they can be reused for the recognition of different target drawings. In the matching procedure of every recognition target, sequence of matching actions are indicated by a tree structure named **matching tree**. The matching procedure is controlled by the tree structure. By designing of appropriate matching trees, it is possible to construct models according to the characteristics of recognition targets and recognition purposes. Experimental results using several different types of drawings reveals feasibility and effectiveness of the proposed system.

1. はじめに

これまでに、図面、画像理解システムに関する開発研究がさかんに行われており、数多くの成果があげられている。これらの研究は、その処理対象と目的によって、対象の幾何学形状を認識するパターン認識アルゴリズムに関する研究^{1)~5)}と、認識対象の構成情報を理解する図面、画像理解システムに関する開発研究に

分けることができる。図面、画像理解システムは、パターン認識の成果を利用したより広い範囲の認識対象の構造的特徴の分析と認識を目標としている。これらのシステムでは、対象の構造特徴を表現するモデルは重要な構成要素であり、様々な表現手法が試みられている^{7)~13)}。そのうち、汎用性を重視したモデルの記述法を紹介している研究^{12),13)}では、図面データ中の線や点の基本要素に対して、その間の連結、相対角度のような空間関係を定義することによって、認識対象の幾何学的な構成を記述している。モデル記述を点や線分とその幾何的構成で表すことにより、汎用性を実現しているが、一方で、対象間の関係は入力図面中の

[†] 東京大学生産技術研究所

Institute of Industrial Science, University of Tokyo

^{††} 学術情報センター

National Center for Science Information Systems

線と点に基づいて定義しなければならず、認識対象の構成関係が分かりにくい。また、ハッチングなどのように、構成部品数が特定できない構造が記述できないといった問題点が存在している。

汎用性を目指す図面理解システムのモデルは、多様な認識対象の構成と雑音状況とに柔軟に対応でき、モデルマッチング過程の状況に応じて、適切なマッチング動作を行いうる能力が必要である。だが、上述したすべてのモデルはいずれも認識対象の静的な構成特徴に注目し、それらの記述の構造化の向上を図っているが、モデルの推論マッチング機能といったようなモデルの動的な機能は重視されていなかった。

本論文では、汎用性と多目的性を目指すオブジェクト指向型図面理解システム OO-Mudams に関する研究について述べる。このシステムは、

- (1) 認識対象の構成、幾何学特徴など静的な特徴、
- (2) 特徴マッチング動作およびマッチング制御のような動的な機能

の双方をオブジェクト指向のモデル表現により実現することにより、上記の問題点に対処している。(1)の静的な特徴は、抽象属性に基づく空間位置関係によって記述し、記述の構造化や、入力データの雑音を吸収、隠蔽することを目指す。(2)の動的な機能は、認識対象のマッチング過程中的各動作の順序関係を、木構造を用いて記述している。マッチング過程はこの木構造によって制御される。このモデルでは、認識対象がどのようなものであるかといった静的な特性を表現すると同時に、認識対象をどのように入力図面データから抽出するかといったような動的な特性も記述している。

以下、システムの概要、モデル記述部の構成、モデルによる認識機構の駆動などについて述べ、さらに、機械設計図、配管図、地図等の多様な対象への実験により、システムの実用性、有効性を実証する。

2. OO-Mudams の概要

OO-Mudams のシステム構成図を図1に示す。与えられた図面のイメージデータは芯線化プログラム AI-Mudams を用いて芯線化し¹⁴⁾、OO-Mudams の初期入力データとする。モデルは認識対象の構成とともに、認識過程を表現しており、システムはこのモデルを参照して、マッチング動作を動しながら、定義された認識対象を入力図面データから抽出する。OO-Mudams の各モジュールの構成および機能を次に示す。

- (1) 認識結果空間：入力した図面データ、認識過程で生成された中間データ、および認識結果を保存するデータベースである。データは認識結果

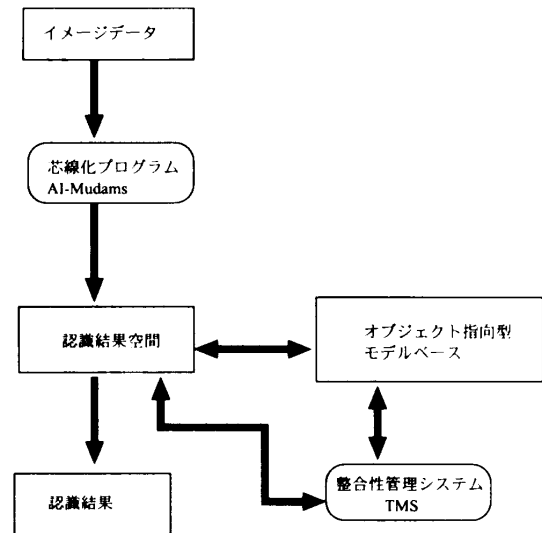


図1 OO-Mudams のシステム構成
Fig. 1 The framework of OO-Mudams.

空間管理システムによって一括管理されている。空間特性のある認識結果データは多次元データ構造 BD 木^{15),16)}を用いて管理されており、空間位置に基づく効率良い探索が可能である。

- (2) モデルベース：モデルベースは、認識対象のモデルを格納するモデルベースと、認識対象とモデルとのマッチング動作を制御する推論機構から構成される。モデルベースを構成する認識対象のモデルは、対象の構成、対象間の属性の継承関連、および認識手法を統合的に表現したオブジェクトから構成される。推論機構は、モデルの「点火」によりマッチング動作の制御を行い、認識状況に応じて適切なモデルを「点火」することにより、適切なマッチング動作を実現する。
- (3) 整合性管理モジュール：認識結果間の推論の依存関連グラフに基づいて、認識結果の整合性を維持するモジュールである。認識推論機構によって認識結果に矛盾が発見されると、モジュールは関連グラフに基づいて矛盾の原因となりうるノードを検索し、関連に基づくバックトラック (Dependency-Directed-Backtrack) メソッドを用いて、矛盾を否定するように矛盾原因の状態を変更しながら、整合的な解空間の探索を高速に行う。

3. モデル記述の構成

図面理解に関する知識には、認識対象の形状、属性や、製図制約を表すルール、認識手法に関する知識な

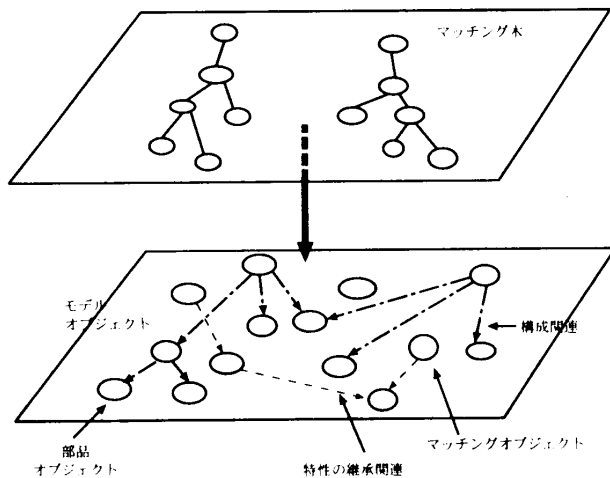


図2 モデルの構成

Fig. 2 The composition of the model.

どがあげられる。モデルはこれらの知識の構造化された抽象表現である。OO-Mudams のモデルは、認識対象の構成情報に加え、認識のマッチング制御情報が記述されており、モデルによって認識機構が駆動され、入力した図面空間上でマッチングを行う能動的なものである。

OO-Mudams のモデル構成を図2に示す。

- (1) 「モデルオブジェクト」の階層では、
 - (a) 部品オブジェクト：認識対象の属性、属性の継承のような静的な特性情報
 - (b) マッチングオブジェクト：対象のマッチングに利用される制約ルールや、部品オブジェクト間の空間位相関係などの知識をオブジェクト化した表現

のように、認識対象の静的な特徴を従来のオブジェクト指向手法を用いて表現する。これらを合わせて、モデルオブジェクトと呼ぶ。

- (2) 「マッチング木」の階層では、上述したモデルオブジェクトに基づいて、マッチング過程の駆動モデルを記述する。この駆動モデルはマッチング木と呼ぶ木構造によって表現する。マッチング木の構成に従って、マッチング状況に応じた適切なマッチングの処理手順と認識対象の構成関係が決められる。

OO-Mudams はオブジェクト指向型モデル記述言語 OMDL を用いて、認識対象のモデルを記述する。モデルはモデルオブジェクトの宣言とマッチング木の宣言の2つに分けて記述される。

3.1 モデルオブジェクト

認識対象の静的な特性を記述するモデルオブジェクトは認識の過程に依存せず、独立に記述される。認識

結果空間にある認識結果に対して、オブジェクト指向の枠組みでいうところのクラスと位置付けられる。モデルオブジェクトは次の構造記述を通して、対応する認識対象の特性を表現する。

- (1) メンバー宣言：認識対象の属性の参照名を表す。円弧モデルを例にとると、2つの端点と円の中心の位置がメンバーとして宣言され、円弧の追跡マッチングによって得られた認識結果により、円弧の抽象的な属性としてこれらのメンバーの値が与えられる。
- (2) メソッド宣言：オブジェクトの持つ機能をメソッド宣言として記述する。メソッドの実際の機能はPrologもしくはCによって実現し、これらはシステムのメソッドライブラリに置かれる。メソッド宣言によって宣言したメソッドライブラリに定義されたメソッドプログラム名は、マッチングやデータ操作機能の述語として記述できる。
- (3) 継承宣言：属性の継承関係を示す。モデルオブジェクトは継承先のメソッドとメンバーとの両者を継承する。

モデルオブジェクトはすべてこの方法に従って与えられる。OMDLを用いたモデルオブジェクトの宣言は、次のように示される。

```
element{
    name : <対象名>;
    kind_of : <継承先の対象名>;
    member : <member1>,<member2>, ... ;
    method : <method1>,<method2>, ... ;
};
```

name 項目はオブジェクトの識別子を示す。特性の継承関係における継承先のオブジェクト名は kind_of 項目によって指定され、認識対象の属性情報を参照する名前は member 項目によって宣言される。method 項目は、メソッドライブラリに登録したメソッドプログラムの呼び出し名を宣言する。モデルの継承関係の最上位に TOP と呼ぶオブジェクトがシステム内で定義され、メンバー値の操作などモデルオブジェクトの共通の機能が宣言されている。例として、矢印のモデルオブジェクト宣言を次に示す。

```
element{
    name : arrow;
    kind_of : top;
    member : tailPosition, topPosition;
    method : degree, getPosition;
};
```

この宣言は、

- (1) モデルの名前は arrow と宣言する。
- (2) arrow は 2 つのメンバーを持ち、tailPosition は矢印の尾の位置の参照名、topPosition は矢先の位置の参照名である。
- (3) 矢印に対して、2 つのデータ操作メソッドが新たに定義される。degree は矢先符号の長さとし矢印の長さに基づいて、確信度を計算するメソッドである。getPosition は矢先符号と矢印を示す線分から矢印の位置を抽出するメソッドである。

3.2 マッチング木

OO-Mudams は、各々の認識対象に対して、その構成部品のうちで最も代表的なものを点火部品として指定する。認識処理の途中で、ある認識対象の点火部品が発見されると、対応する認識対象のマッチング動作が発火される。マッチング制御はマッチング木と呼ぶ木構造を用いて記述し、ここには、認識対象のマッチングを駆動する方法を記述する。認識対象のマッチング過程では、点火部品を第 1 番目として、マッチング木に指定された順番で、構成部品のマッチングを行う。ある認識対象のマッチングの 1 つの手順は、1 本のマッチング木によって記述される。図 3 はマッチング木の記述例である。マッチング木のノードは各々モデルオブジェクトに対応しており、対応するモデルオブジェクトの情報とマッチングの発火制御情報が記述されている。

マッチング木の各ノードは、次のように分類される。

- (1) ルートノード：認識の目標である認識対象を表す部品オブジェクトに対応している。ノードが満足されれば、その認識対象のマッチングの成

功を意味する。

- (2) 中間ノード：マッチング過程の 1 つのステップを表し、マッチングオブジェクトに対応している。マッチングオブジェクトに記述されているマッチングメソッドの発火制御情報と、マッチング制御情報が置かれている。実際の記述は本節の後半で説明する。
- (3) 葉ノード：認識対象の構成部品を記述する部品オブジェクトに対応する。マッチングの対象と構成情報を表している。木構造のルートノードと葉ノードの関係により、各々に対応する認識対象間での構成 (is-part-of) 関係が表現されることになる。

図 3 中で、「*」を付けたノードが点火部品に対応するノードである。マッチング木の構造に従って、深さ左優先の順番で中間ノードを発火する。各中間ノードの発火により、点火部品のまわりで局所的に認識対象の特徴を調査し、モデルとのマッチングを行う。図 3 の例は、「矢印」に対するマッチング木を示している。まず、開放端点のある短い線分に対して、各端点の近傍に存在する開放端点線分との角度を計算し（局所的な特徴調査）、閾値以下であれば、矢印の先端部分（図 3 の arrowMark）と認識する。次に、矢印の先端が認識されると、点火部品が発見されたとして、矢印の認識モデルが発火される。このモデルにより、矢印の先端の間に挟まれる線分を抽出し、これが成功すると、矢印の認識が成功する。マッチングされた線分は line の名前が付けられた葉ノードに与えられる。複数の認識方法が存在する認識対象には、複数のマッチング木が対応づけられる（6 章に述べる）。

OMDL のマッチング木の宣言部分は、前述したモデルオブジェクト宣言節によって、モデルベースに記述されているモデルオブジェクトを参照し、認識対象のマッチング過程の駆動モデルを宣言する。宣言は各々の認識対象に対応するマッチング木のノードに対し、木ノードの間の関連、モデルオブジェクトとの対応関係とマッチング制御に関する制御情報を記述する。記述のフォーマットを次に示す。

```
m_tree{
  model : <モデル名>;
  name : <対応する対象名>;
  parent: <木構造の親ノード名>;
  key : <発火要素の指定>;
  weight : <重み係数>;
  trace_condition : <木のたどり制御>;
  act_condition : <発火メッセージの送り制
```

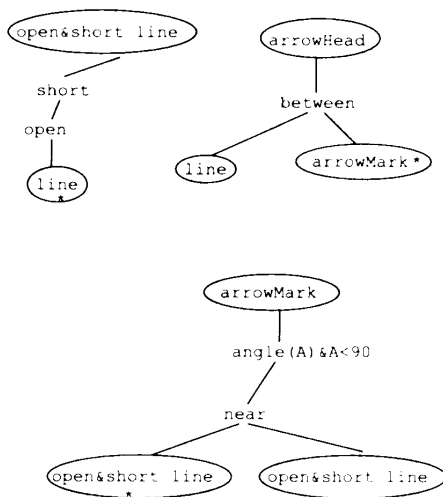


図 3 矢印のマッチング木

Fig. 3 Matching tree for arrows.

```
御>;
};
```

- (1) **weight** 項目：確信度を計算する際に使用する。対応するモデルオブジェクトのマッチング木中での重みを 0~1 の範囲で示す。その値は実験によって経験的に決められる。
- (2) **trace_condition** 項目：マッチング木のマッチング制御情報が記述される。記述の内容は条件の記述と動作記述から構成される。条件の記述は、指定されるメンバーに値が割り当てられたか否かによって行う。条件が満たされると、記述されている制御動作が起動される。
- (3) **act_condition** 項目：対応するマッチング木のノードが起動されたときに、実行するマッチング動作およびマッチング動作の実行条件を示す。マッチング動作は前述したメソッドライブラリにあらかじめ登録した述語によって表される。マッチングの結果はメソッドの戻り値およびメソッドに指定された引数の値の割当て（実装）状態によって表される。

例として、図 3 に示された矢印のマッチング木の **between** ノードを次に示す。

```
m_tree{
  model : arrow;
  name : between;
  parent : arrow;
  key : no;
  weight : 1.0;
  trace_condition :
    ([[exist(line)]],continue);
  act_condition :
    ([],between(headMark,markLine,
      const([line,curve]),line));
};
```

この記述では、

- (1) **name** 項目により、**between** というマッチングオブジェクトから機能を継承する。
- (2) **act_condition** 項目の指定では、**markLine** メンバーに挟まれている線分と曲線分を無条件に検索し、検索結果を **line** というノードに与える（マッチング木の中で、メンバーと葉ノードが同じように扱われる）。
- (3) **trace_condition** 項目には、**line** に値が与えられると、次のノードへたどるといった動作を指定している。たどり条件が満たされない場合は、マッチングが失敗する。

OMDL によって記述されたモデルは変換プログラムを通して、システムの作成に利用したオブジェクト指向 PROLOG 言語 GOLS^{18),19)} の記述に変換し、OO-Mudams のモデルベースに組み込まれる。

4. モデルによる認識機構の駆動

OO-Mudams のシステム構成のうち、認識結果空間は、認識結果の生成、空間位置や内容による検索、モデルとの照合などの機能を提供する。AI-Mudams の出力図面芯線データを OO-Mudams に与えると、OO-Mudams は直線分、曲線分、連結情報といった基本対象モデルを発火し、まず認識結果空間の中で基本対象の認識結果を生成する。その後、モデルベースから発火部品が発見されたマッチング木を点火することによって、図面に対する理解を行う。

4.1 推論サイクルの構成

認識過程は推論サイクルから構成される。1つの推論サイクルでは、まず認識結果空間の中から発見された点火部品がモデル管理システムに与えられ、その点火部品に対応するマッチング木が 1 つずつ点火される。マッチング木の点火によってマッチングされた認識結果は認識結果空間に渡され、認識結果空間に投入される。一方、認識結果空間に投入された認識結果に対して、認識結果間の推論依存関係が生成され、整合性管理モジュールに渡される。続いて、後述する整合性検証を行うモジュールが起動され、矛盾の検証を行う。矛盾が検出された場合には、その矛盾情報が整合性管理モジュールに与えられ、このモジュールによって、現在の認識結果空間における解空間の整合的な解の探索が行われる。以上により、推論サイクルが構成される。

4.2 マッチング過程の制御

図 4 の寸法線のマッチング木を例にして、認識推論の制御を説明する。寸法線の基本構成部品である矢印がすでに図 3 に示したマッチング木によって認識されたとする。すると、寸法線の認識過程を制御するマッチング木を構築する場合に、3.1 節で示したように、矢印の端点位置を示す抽象属性メンバーだけを考慮すればよい。寸法線の認識過程で対処しなければならない入力データの雑音は矢印のモデルオブジェクトによって隠蔽されている（後の節で述べる）。寸法線の構成をまず図 4 (a) のように、2つの部分構造と文字列といった構成部品から構成されると定義する。同じように、寸法線の部分構造を矢印とそれに直交している線分に分解する。寸法線をマッチングするために、部分構造と部分構造に基づいて寸法線構造をマッチングす

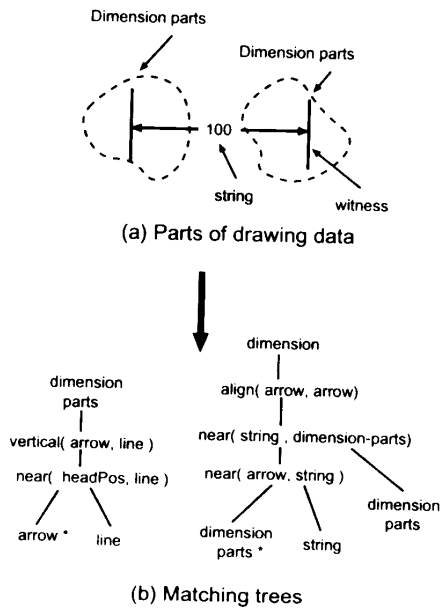


図4 寸法線のマッチング木

Fig. 4 Matching tree for the dimension.

るマッチング木が宣言される (図4(b)). このマッチング木によって表現されるモデルは、幾何学特徴という静的視点からみると、部分構造は矢印と直線分から構成される。線分は矢印の矢先位置の近傍にあり、矢印と直交するという関係がある。一方、特徴マッチング動作の制御という動的な視点からみると、このマッチング木は、矢印の先頭の近傍に線分を検索し、検索された線分に対して、矢印との直交関係を照合する。直交関係を満たす線分を部分構造の構成部品である“line”にセットする。部分構造に基づく寸法線のマッチング木も同じように解釈できる。

この場合、矢印が点火部品となっている。一連の認識過程の後、矢印がマッチングされると、まず、矢印と引き出し線の関係のような寸法線の部分的な構造のマッチング木が発火され、発火されたマッチング木の構造に従って、寸法線の部分構造をマッチングする。部分構造のマッチングに成功すると、矢印の tailPosition メンバー (矢印モデルのメンバー) に指定されている位置の近傍で文字列 (孤立成分の集合として表される¹⁴⁾) の探索を行う。検索された文字列に対して、その近傍の寸法線の部分構造を探索し、直線方向の上にある部分構造によって、寸法線をマッチングする。

4.3 バックトラックの制御

マッチング過程の中で、マッチング木の中間ノードに置かれているマッチングメソッドによって、複数通りの結果が得られた場合には、システムは結果をスタックに入れ、マッチング木のルートノードが満足さ

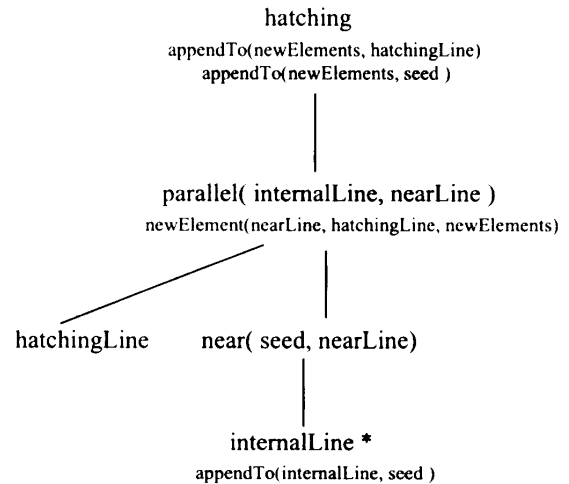


図5 ハッチングのマッチング木

Fig. 5 Matching tree for the hatching.

れた場合、あるいはマッチングが途中で失敗したときに、バックトラックによって、次候補の認識結果の探索を行う。バックトラック機能によって、点火部品から生成可能なすべての認識結果を探索する。

認識対象によっては、たとえば、ハッチングのように構成部品数が特定できない認識対象が存在する。ハッチングの場合、その構成は、近傍に互いに平行な直線分が存在すると記述することができる。バックトラック機能によって、推論機構は互いに平行な線分の最大集合を探索できる。そのためのマッチング木の構造を図5に示す。ここでは、internalLine は両端点とも開放端点でない直線分である。マッチングは internalLine によって点火され、近傍に互いに平行な internalLine の最大集合を検索してハッチングの構成要素を表す hatchingLine にセットする。バックトラックの制御を次に示す。

- (1) 点火部品である internalLine をバックトラック制御変数 seed にセットする。
- (2) seed の近傍に internalLine を検索し、結果を nearLine にセットする。
- (3) nearLine から internalLine と平行なものを抽出し、newElement メソッドを用いて hatchingLine に対して新たなものを newElements にセットする。
- (4) 認識目標である hatching にたどり着いた場合に、appendTo メソッドを用いて newElements の内容を hatchingLine と seed に追加する。バックトラックを起動する。
- (5) 上述したマッチングのステップを逆にたどりながら、それぞれのマッチング木ノードに置かれ

ているメンバー変数の内容スタックを調べる。これにより、near ノードに宣言された seed 変数から newElements により追加された内容が取り出され、ステップ1からのマッチング動作が繰り返される。

このバックトラック過程は新たな平行線分が検出でなくなる (seed メンバーの値スタックが空になる) まで行う。

5. 認識結果の整合性維持

マッチング木は認識対象の局所的な特性を示しているが、大局的な整合性検査と矛盾の解決手法を提供していない。そこで、OO-Mudams の整合性管理モジュールは、膨大な認識結果空間のデータの大局的な整合性管理を行う。整合性管理モジュールは関連ノード (以下ではノードと呼ぶ) と呼ぶ基本データ構造の集合を持ち、各ノードは認識結果空間中の1つの認識結果に対応し、ノード間に認識結果の推論依存関連が貼り付けられているグラフ (関連グラフ) を管理している。

認識結果の整合性管理処理は次の3段階の処理によって構成される。

- (1) 依存関係の生成：前述の推論サイクルで生成された認識結果と構成部品との間、および共通の点火部品から生成された複数の認識結果の間の依存関係を生成する。
- (2) 矛盾の発見：別途与えられた認識対象のドメインに依存した知識に従い、新たに生成された認識結果の投入によって、認識結果空間にある認識結果に矛盾が生じたかどうかを判断する。矛盾が発生した場合、互いに矛盾している認識結果を NG ノード¹⁷⁾として整合性管理モジュールに知らせる。
- (3) 整合的な解空間の探索：渡された NG ノードから、関連情報に基づくバックトラック¹⁷⁾ (Dependency-Directed-Backtrack) 動作を起動し、関連グラフを探索しながら、NG ノードの状態を偽にするように関連ノードの状態の集合を検索する。

関連に基づくバックトラックでは、次の情報に基づいて、ノードの状態を変更する。

- (1) 伝搬経路長：伝搬経路長は、あるノードから NG ノードまで至る関連グラフ上の道で経由したノードの数と定義される。経路が長いほど、矛盾認識結果に対する影響が弱くなり、否定する優先度も低くなる。

- (2) 仮説の成立確信度：成立確信度は認識結果の確信度と、マッチング木に対して、マッチングが成功した葉ノード数がマッチング木に宣言されている葉ノードの数との比率 (マッチングの完成度と呼ぶ) の2つ要素のペア (D_s, D_c) からなる。確信度の低いほうが否定の優先度が高い。結果の確信度とマッチングの完成度は認識結果のマッチング木インスタンスから計算される。次の式によって、否定の優先度を計算する。

$$P = w_1 \times \text{伝搬経路長} + w_2 \times D_s + w_3 \times D_c$$

$$w_1 + w_2 + w_3 = 1$$

P が小さいほど、否定される優先度が高くなる。この式に従って計算した否定優先度に基づいてバックトラックを行うことにより、図面認識処理に適合した解空間の探索が可能となる。

6. 実験と考察

本システムは、マルチメディアプラットフォーム GOLS^{18),19)} のオブジェクト指向 PROLOG と C 言語を用いて実装した。その多目的性と多様な認識対象への対応能力を評価するため、機械設計図面、配管図面および道路地図という数種の異なった代表的な図面を対象として、実験を行った。

6.1 機械設計図面への適用

まず、機械設計図面を対象として、芯線化段階で生じた雑音を吸収できる矢印のモデルを実装した。図6に、芯線化過程で生じた矢印の典型的な雑音の例を示す。

図6に示すように、主に矢先における芯線化で生じた歪みによって矢印の変形が起こっている。そこでシステムに、次の特徴に基づいて作成した矢印モデルを

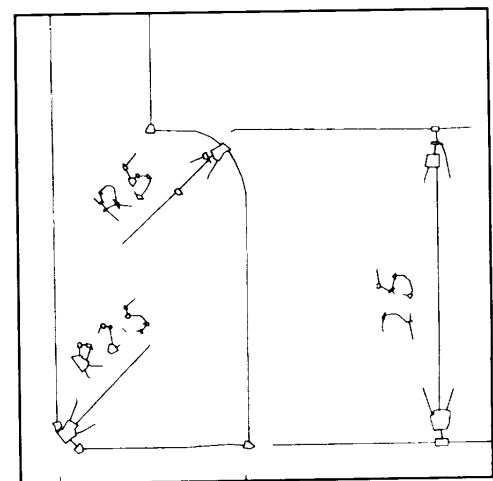


図6 矢印の芯線化による歪みの例

Fig. 6 Example of core line distortions for arrows.

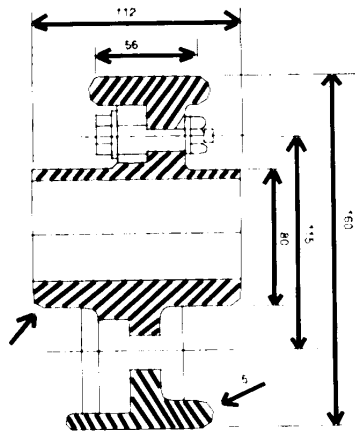


図 10 機械図面におけるハッチング、矢印の認識結果
Fig. 10 Recognition results of hatching and arrow in machine drawing.



図 11 道路地図上ハッチングの認識結果
Fig. 11 Recognition result of hatching in map drawing.

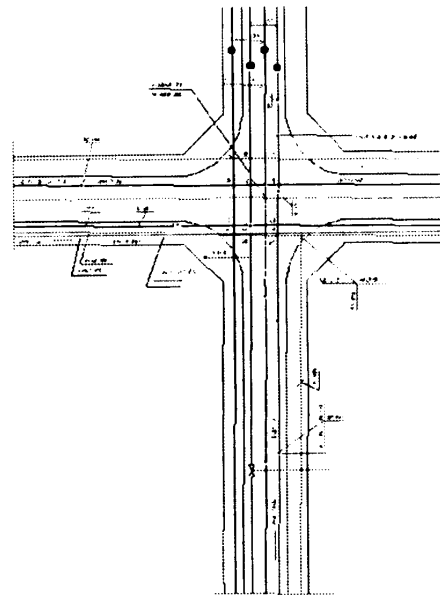
る図面の寸法線を認識した結果である。この例では、構成部品である矢印の部品オブジェクトや、矢印と線分の位相関係を示すマッチングオブジェクトを再利用している。対象の認識は成功していることが示されている。

これらの結果から、モデル記述の再利用および芯線化による雑音に影響されない一意なモデル表現が可能であることが示されている。

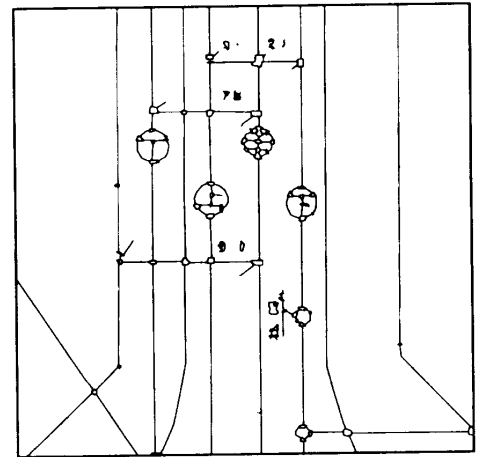
図 5 に示されるハッチングのマッチング木を機械設計図面に適用した結果を図 10 に示す。正しくハッチング部分が得られている。同じモデルを図 13 の地図に適用した結果を図 11 に示している。この例でも、平行線分の集合は正しく抽出されている。

6.2 配管図面への適用

別の種類の図面として、図 12 にガス、地下配管図面を示す。この対象図面では、ガス配管を示すシンボ



(a)



(b)

図 12 地下配管図面の認識結果。(a) 配管図面の認識結果、(b) ガス配管シンボルの拡大表示

Fig. 12 Recognition results of laying pipes drawing. (a) Recognition result of laying pipes drawing, (b) Example of symbols for gas laying pipes drawing.

ルを認識し、認識されたガス配管符号につながっている直線分（破線）をガス配管として認識する。

ガス配管のシンボルでは、円はその主要な特徴である。シンボルの意味は円に囲まれている文字によって表されている。図 12 (b) にシンボルの拡大表示を示す。

認識処理の主要な流れは、まず円と円に囲まれたシンボルを抽出し、これを発火部品として、破線追跡を行い、ガス配管を認識するというものである。実際にこのように機能をするモデルオブジェクトとマッチング木を記述し、図 12 に対し、図 12 (a) の認識結果を得た。4 つの配管シンボルとそれらにつながっている



図 13 地図シンボルの認識結果

Fig. 13 Recognition result of symbols in map drawing.

配管がすべて正しく認識された。

6.3 地図図面への適用

図 13 は道路地図の例である。これを対象に道路地図中の境界および建物のシンボルを識別する実験を行った。図面上で、シンボルを示す小さいループは雑音に非常に敏感であるため、理想形状の記述を用いたマッチングは不可能である。道路地図シンボルの認識のため、次の 3 つのモデルのマッチング木を用意した。

- (1) シンボルを表す閉ループに対して、向き、サイズ、凸包など、計 21 個のパラメータを用いて幾何学特徴を抽出し^{20),21)}、学習システム²²⁾を利用して、これらの特徴から対象を識別する決定木を生成する。得られた決定木により OO-Mudams モデルのマッチング木を自動生成した (なお、決定木からのマッチング木の生成については、別稿にて述べたい)。
- (2) 地図の中で境界シンボルは互いに同一の延長線方向に並ぶという特性がある。(1) でマッチングがとれない変形の大きい閉ループに対して、形状パラメータのマッチング閾値を緩めながら、周囲の認識された境界シンボルとの延長線方向チェックを行うことによって、境界シンボルを識別する。
- (3) 道路 (線分で表現される) と接触した建物 (小さい矩形で表現される) の変形に対応するため、閉ループにつながる線分が 2 本存在すれば、建物と認識する。

図 13 に地図のシンボルの認識結果を示す。地図図

面に存在する 974 個の境界シンボルのうち、933 が正しい認識結果として得られ、別に 12 個の間違った認識結果が生成された。この誤認識は主として (1) のマッチング木による。また、全 1395 個の建物シンボルに対して、1322 の正しい認識結果が得られた。認識できなかったものは、誤って芯線化されたり、互いに接続したため、大きく変形したものである。

以上のように、異なる種類の図面に対する評価実験により、図 1 に示した枠組みでモデルを変えることにより、多様な図面に対応できることが示されている。

7. おわりに

オブジェクト指向型モデルを用いた多目的図面理解システム OO-Mudams の枠組みについて述べた。OO-Mudams に用いられるモデルは認識対象の静的な構成特性の記述と対象の認識過程に関する動的な特性の記述から構成される能動的なモデルである。システムの推論機構はモデルによって駆動されるため、モデルの動的な記述部分であるマッチング木を入れ換えるだけで、対象の特徴に適合した認識対象の認識過程を実現可能である。一方、認識対象の構成記述は認識過程から独立して記述されているため、複数の認識対象間で共用することができる。

本システムのような高次の図面認識システムに初期入力データを供給する低レベル画像処理手法は、本稿で利用した芯線化処理に限らず、大量の雑音を生じる可能性がある。そのため一般に、こうした記述に基づいた認識対象のモデル表現力は雑音に大きく影響される。OO-Mudams では、認識対象の幾何学特徴を抽象属性に基づいて表現することによって、局所的な雑音の影響を抑え、隠蔽することが可能である。一方、駆動モデルであるマッチング木を用いることによって、認識対象の特徴に適合したマッチング手法を使用することができる。地図シンボル認識の例 (図 13) に示したように、認識対象の幾何学的な特徴が明確に記述できない場合には、学習システムの学習結果から自動生成したモデルをそのまま組み込むこともできる。また、前述のハッチングのように、ある構造の一定回数の繰り返しのような複雑な構造を持つ認識対象に対して、その繰り返す部分的な構造部分だけをモデルに記述し、マッチング制御のバックトラック機能を利用して、簡潔に表現することもできる。

現在、OO-Mudams を用いて、認識対象における雑音モデルの記述によって、入力データの雑音の対応に関する評価を行っている。より多くの種類の図面に対する認識実験を通して、空間位相関連を記述する述

語および記述手法が今後の課題である。

参考文献

- 1) 喜多伸之：同心円特徴に基づく形状の記述と類似度測定，信学論，Vol.J75-D-II，No.9，pp.1557-1564 (1992)。
- 2) Matsuyama, T.: Structural Matching of Line Drawings Using the Geometric Relationship between Line Segments, *Computer Vision, Graphics, and Image Processing*, Vol.27, pp.177-194 (1984)。
- 3) 福永，浅野：エッジ画像グラフを用いた画像の対応，信学論，Vol.J73-D-II，No.9，pp.1512-1519 (1990)。
- 4) ゴウ：輪郭線の構造木表現とその物体認識への応用，信学論，Vol.J75-D-II，No.3，pp.481-489 (1992)。
- 5) 佐藤：尺度空間フィルタリングに基づく画像パターンの局所構造解釈，信学論，Vol.J74-D-II，No.12，pp.1715-1722 (1991)。
- 6) 菅本，松尾：多重解像度表現を用いた閉曲線画像の階層化マッチング手法，信学論，Vol.J75-D-II，No.7，pp.1187-1194 (1992)。
- 7) 志久，姉川：地図から文字の切り出し，情報処理学会論文誌，Vol.34，No.2，pp.273-280 (1993)。
- 8) 黄瀬，百田：レイアウトとコンテンツの知識を用いた仮説駆動型文書画像理解，情報処理学会論文誌，Vol.34，No.8，pp.1716-1730 (1993)。
- 9) 黄瀬，山岡：文書画像構造解析のための知識ベースの一構成法，情報処理学会論文誌，Vol.34，No.1 (1993)。
- 10) Joseph, S.H. and Pridmore, T.P.: Knowledge-Directed Interpretation of Mechanical Engineering Drawings, *IEEE Trans. PAMI*, Vol.14, No.9, pp.928-940 (1992)。
- 11) Dov Dori: A Syntactic/Geometric Approach to Recognition of Dimensions in Engineering Machine Drawings, *Computer Vision, Graphics, and Image Processing*, Vol.47, pp.271-291 (1989)。
- 12) Pasternak, B. and Neumann, B.: Adaptable Drawing Interpretation Using Object-Oriented and Constraint-Based Graphic Specification, *ICDAR'93*, pp.359-364 (1993)。
- 13) Rocha, J. and Pavlidis, T.: A Shape Analysis Model with Applications to a Character Recognition System, *IEEE Trans. PAMI*, Vol.16, No.4, pp.393-404 (1994)。
- 14) 大沢，坂内：接続図形の分離を容易とする図面芯線化方式の改良，信学論，Vol.J72-D-II，No.9，pp.1579-1581 (1989)。
- 15) 大沢，坂内：空間的な位置関係に依存した検索に適した線情報の管理方式，信学論，Vol.J69-D-II，No.5，pp.724-734 (1986)。
- 16) 坂内，大沢：画像データベース，昭晃堂 (1987)。
- 17) Doyle, J.: A Truth Maintenance System, *Artificial Intelligence*, Vol.12, pp.231-272 (1979)。
- 18) 佐藤，坂内：TV 映像の高次処理を可能とするハイパーメディアプラットホーム GOLDS の構想，テレビジョン学会技術報告，AIPS92-71，Vol.16，No.80 (1992)。
- 19) 佐藤，坂内：ライブ情報を扱うハイパーメディアの基本構想，第 46 回情報処理学会全国大会論文集，7G-5 (1993)。
- 20) Pavlidis, T.: Algorithms for Shape Analysis of Contours and Waveforms, *IEEE Trans.*, Vol.PAMI-2, No.4 (1980)。
- 21) 喜多：同心円特徴に基づく形状の記述と類似度測定，信学論，Vol.J75-D-II，No.9，pp.1557-1564 (1992)。
- 22) Lu, W. and Sakauchi, M.: A New Algorithm for Handling Continuous-Valued Attributes in Decision Tree Generation and Its Application to Drawing Recognition, *IEA95IAE*, pp.435-442 (1995)。

(平成 7 年 8 月 9 日受付)

(平成 8 年 4 月 12 日採録)



呉 煒 (正会員)

1983 年上海交通大学計算機科学技術学部卒業。同年，中国華僑大学計算機科学技術学部助手。1996 年東京大学工学部情報工学博士課程修了。工学博士。図面，画像理解，図面データベースの自動化獲得などの研究に従事。



佐藤 真一 (正会員)

1987 年東京大学工学部電子学科卒業。1992 年同大学院情報工学博士課程修了。同年，学術情報センター助手。1995 年米国カーネギーメロン大客員研究員。工学博士。図面・画像理解，画像データベース構築，映像デジタルライブラリ構築などの研究に従事。

**坂内 正夫（正会員）**

1969 年東京大学工学部電気学科卒業。1975 年同大学院博士課程修了。同年同大工学部電気学科専任講師。1976 年横浜国立大学工学部情報学科助教授。1978 年東京大学生産技術研究所助教授。1988 年同教授，1994 年概念情報工学研究センター長，現在に至る。工学博士。マルチメディアデータベース，図面・画像などからのデータベース取得，パターンデータ構造，画像処理，地理情報処理，信頼性などの研究に従事。60 年度本会論文賞授賞。著書「VLSI コンピュータ II」（岩波書店，共著），「画像データベース」（昭見堂，共著）など。
