

# 三维工业物体的多重描述与识别处理

李德仁 王新华

(武汉测绘科技大学摄影测量与遥感学院, 武汉 430070)

**摘要** 提出了一种三维工业物体的多重描述与识别方法。在描述中采用了整体形状描述,基元属性描述和关系描述相结合的多重描述策略;在识别过程中,首先根据物体的整体描述产生关于物体身份的初步假设,然后提出三种修剪算法,充分利用关系数据结构的多重约束作为知识启发来修剪搜索树,最后根据距离测度函数实现精匹配。实验验证了上述处理的正确性和一般性。

**关键词** 计算机视觉,关系数据结构,识别,同构

## 1 引言

视觉系统识别能力的关键在于其知识库和知识的描述方法。这方面的研究已取得了许多令人鼓舞的成果。Tsai 和 Fu<sup>[1]</sup>提出了一种基于关系属性的识别方法,由于其处理过程是直接从2维到三维的解译过程,因此对低级处理要求过分严格,当2维影象遮蔽或特征提取存在断裂和分枝时,识别过程变得非常困难。Haralick 和 Shapiro<sup>[2,3]</sup>提出了一种三维物体的关系数据描述,并提出了被称为 Rof 的算子用于评价匹配的可靠性。此外,Haralick<sup>[4]</sup>还从数学的观点对符号标记过程的可能性等问题进行了论述,但由于标记过程的任意性,使得在进行 Rof 操作时,并没解决计算的复杂性问题。最近的研究使用了基于体素的描述方法<sup>[5]</sup>。尽管这种处理简化了识别过程,但是直接从2维影象获得体素的描述是困难的,这无疑给低级处理带来了困难。

本文提出了一种工业物体自动识别的方法。对物体的描述采用了多重描述策略。在整个识别过程,首先建立关于物体身份的备选集,然后在寻找关系同构的过程中提出了三种修剪搜索树算法来简化搜索过程,最后用关系距离测度实现最终的精匹配处理。

## 2 物体的描述与关系模型

关系描述是三维物体的重要描述方法。而选择什么样的特征作为基元,对于视觉处理是至关重要的。考虑到被处理对象的复杂性,点和线特征经常由于遮蔽的原因不可视,而将体素作为特征会加大特征提取的要求,所以我们均采用表面为基元。另外顾及视觉多级处理的特点,对三维物体构造了三种数据描述,即整体描述,基元属性描述和关系描述。

### 2.1 整体描述

一个物体整体信息的描述不是唯一的,但是必须顾及所选特征的可提取性。另外物体均处于某个稳态位置,在该位置下的影象表现为二维特征。鉴于上述考虑,所选用的整体信息描述包括:物体的基元数,稳态位置下的二阶矩特征以及最大尺寸,(表1)。

### 2.2 基元属性描述

基元属性描述是确定物体身份的重要依据。一般的工业零件大都由4种常见的基本表面组成,即平面、柱面、锥面和球面。故在系统中我们定义了这4种基元类型,有关基元属性见表2所示。

\* 国家自然科学基金资助项目

收稿日期:1996-07-10;收到修改稿日期:1996-11-19

### 2.3 关系描述

根据基元间的几何约束可定义多种关系,当然关系描述越多对识别处理越有利,但太多的约束会带来低级处理的困难。在我们的视觉系统中关于基元间的约束关系定义了三种,即临接交面关系、平行关系和临接关系。临接交面关系是指一组基元临接于同一公共面;临接关系是指两基元临接一公共边,详细描述见表 3。

表 1 零件的整体描述

Table 1 General Description

基元数	$n$
三阶形状矩	$pos_1$
	$pos_i$
最大尺寸	$Max-x, y$

表 2 零件的基元描述

Table 2 Unit Description

平面	面积	法线
	临接基元数	中心
柱面	半径	轴线
	高度	中心
	临接基元数	
锥面	底面半径	轴线
	上面半径	
	倾斜角	
	高度	
	临接基元数	
球面	半径	中心
	临接基元数	

表 3 零件的关系描述

Table 3 Relational Description

临接交面关系	公共面
平行关系	
临接关系	二面角

## 3 识别处理

### 3.1 初步假设的产生

该过程是利用物体的整体描述产生关于物体身份和稳态位置的初步假设。根据物体的 2 维形状矩,

计算关于平移、旋转、比例的不变量<sup>[8]</sup>。若模型库中第  $k$  个物体的第  $j$  个位置其不变量为  $\lambda_i^k (i=1, 2, \dots, 7)$ , 而被测物体在  $x$  位置下其不变量为  $\lambda_i^x$ , 则可定义:

$$d_j^k = \sum_{i=1}^7 \bar{\omega}_i |\lambda_i^x - \lambda_i^k| \quad (1)$$

式中,  $\bar{\omega}_i$  为权重。

显然  $d_j^k$  描述了第  $k$  个模型在第  $j$  个位置的形状与被测物体的差异, 其最小值就对应着物体的可能稳态位置, 其大小可以作为模型  $k$  是被测对象这种假设的置信度, 定义为:  $Cap = 1/(1 + cd^k)$ , 这里  $c$  为常数。

### 3.2 协调标号处理

识别过程就是寻找关系同构或同态的过程, 事实上可以认为它是一个协调标号的问题。因精匹配要求所有匹配上的基元具有相同的结构和属性, 因此最简单有效的算法是使用基元属性去修剪搜索树, 另外每一种结构约束均可作为知识启发进一步修剪。

#### 3.2.1 利用关系子集的修剪

若已知物体的关系数据结构为  $D_0 = (U, T)$ 、模型的关系数据结构为  $D'_0 = (L, S)$  其中  $U, L$  分别是基元集和符号集,  $U = \{u_1, \dots, u_n\}, L = \{l_1, \dots, l_m\}; T, S$  分别是关系集, 且  $T = \{T_1, \dots, T_k\}, S = \{S_1, \dots, S_k\}, T_i, S_i$  表达了某种物体和模型关系约束, 则我们可以定义一个关系子集表如下:

$$F(t) = \{s \in S_i, |s| \geq |t|\} \quad (2)$$

式中:  $t$  和  $s$  具有相同或相似的关系属性,  $|\cdot|$  表示基数。  $|s| \geq |t|$  的实际意义是由于遮蔽的原因, 物体的基元有可能丢失, 所以物体关系子集的基数可以比模型的基数少。

如果使用  $W(u)$  表示所有包含基元  $u$  的基元关系子集, 即:

$$W(u) = \{t \in T | u \subset U\} \quad (3)$$

则可以得到基元符号表:

$$H(u) = \bigcap_{t \in W(u)} \left( \bigcup_{s \in F(t)} S \right)$$

式中的  $H(u)$  是根据某个约束确定的, 它表示哪些符号可以标给基元  $u$ 。显然我们希望最终找到的关系同构能满足所有  $K$  个关系, 即最终的基元符号表  $H$  应为:

$$H(u) = \bigcap_{j=1}^K H_j(u) \quad j = 1, \dots, K \quad (5)$$

#### 3.2.2 利用一对一映射的修剪

设  $U, L$  分别为基元集和符号集。如果有  $j$  个基元  $(u_1, \dots, u_j) \subset U$ , 并且  $H(u_j) \subset L' \subset L, |L'| = j$ , 这意味着这  $j$  个符号只能表给这  $j$  个基元, 其它基元不能表以这些符号。那么对于子集  $(U_n, L_m)$ , 这里  $U_n \subset U, |U_n| = n, L_m \subset L, |L_m| = m$ , 对每一个  $u \in U_n, H(u) \subset L_m$ , 则有下列结论: ① 如果  $m < n$ , 关系同构不存在; ② 如果  $m = n$ , 则修剪算子  $\eta_1$  定义为:

$$\eta_1 H(u_j) = \{l \in H(u_j), \text{若 } u_j \in U_n, \text{则 } l \in L_m\} \quad (6)$$

$$\text{并且: } \eta_1 H = \{\eta_1 H(u_j)\} \quad j = 1, 2, \dots, n \quad (7)$$

### 3.2.3 利用基元符号表和关系子集的映射修剪

事实上, 基元符号表和关系子集也是相互映射的, 这种映射关系可以帮助我们进一步修剪搜索树。假设对于基元符号表  $H_i$  存在子集对  $(U_n, L_n), U_n \subset U, L_n \subset L$ , 那么对于关系子集表  $F_j$  定义  $\chi(U_n)$  表示所有包  $U_n$  含基元的物体关系子集, 并定义  $\delta(L_n)$  表示所有包含  $L_n$  的符号关系子集, 则修剪算子  $\eta_2$  定义为:

$$\eta_2 H_i(u) = \{l \in \delta(L_n), \text{若 } u \in \chi(U_n), \text{则 } l \in \delta(L_n)\} \quad (8)$$

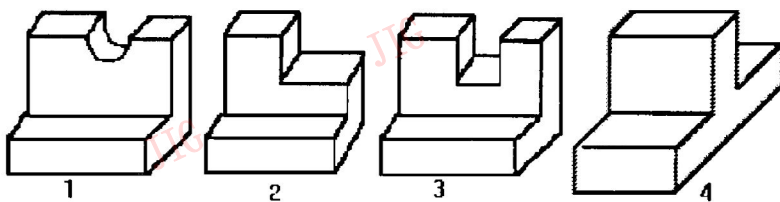


图 1 模型库中的模型

Fig. 1 An overview of models in model base

### 4.1 滤波模块

该模块用来排斥那些不可能的模型, 并产生一个关于物体身份和稳态位置的假设, 任何一个备选必须满足下述条件:

(1) 基元个数: 场景图中的基元个数不能大于模型图中的基元个数;

(2) 基元类型: 场景图和模型图中有相同的基元类型(由此放弃模型 1);

应指出  $\eta_2$  算子同样使用于基元属性和基元符号表的映射。

### 3.3 精匹配

关系子同构的存在并不一定意味着精匹配, 为此我们通过一个关系距离测度来评价是否已实现精匹配。若有两个基元, 形如  $a = (s, x), b = (t, y)$ , 这里  $s, t$  分别是基元符号,  $x, y$  分别是各基元的特征值, 并可表示为:  $(x_1, \dots, x_m), (y_1, \dots, y_m)$ , 则距离测度定义为:

$$D_s = \sum_{i=1}^m g_i (x_i - y_i)^2 \quad (9)$$

式中  $g_i$  为权。当  $D_s \Rightarrow \min$  时, 即为精匹配。

## 4 实例

在我们的系统中, 模型库共构造了 11 个物体模型, 其中 4 个如图 1 所示。图 2 是理想化的物体(a)和模型(b)视图及符号化结果(有关物体重建的处理另文介绍)。整个识别过程由三个模块组成, 即滤波模块、修剪模块和精匹配模块。

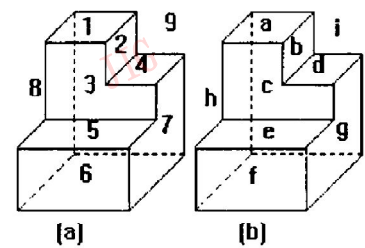


图 2 理想化的物体和模型视图

Fig. 2 An overview of ideal object and model

(3) 形状不变量: 对每个备选, 计算其形状不变量并按其置信度排序。在本例中, 经过上述滤波后可得 3 个可能的备选模型 2, 3, 4, 其置信度分别为 0.81, 0.68, 0.02。

### 4.2 修剪模块

基于上述描述可得关系描述如表 4~7(为讨论方便, 本文仅以模型 2 为例讨论利用关系 T1 和 T2 修剪)。由关系 T1 和公式(2)可得关系子集表 F1(表

8),对表 8 使用  $\eta_1$  修剪可得结果表 9.再有公式(3)(4)可得基元符号表 H1(表 10 的第 2 列),由 H1 和关系表 6,7 进行  $\eta_2$  操作可得结果如表 10 第 3 列,重复上述过程最后可得对模型 2,3,4 的修剪结果分别如表 11 第 2,3,4 列所示。显然模型 4 是不正确的标号,只有 2,3 是可能的备选。

表 4 临接交面关系 T1(物体)

Table 4 Adj. & Intersect relation (object)

关系子集	基元	交面
$t_{11}$	1,2,3,8,9	1
$t_{12}$	1,2,3,4,9	2
$t_{13}$	1,3,4,5,7,8	3
$t_{14}$	2,3,4,7,9	4
$t_{15}$	3,5,6,7,8	5
$t_{16}$	5,6,7,8	6
$t_{17}$	3,4,5,6,7,9	7
$t_{18}$	1,3,5,6,8,9	8
$t_{19}$	1,2,4,7,8,9	9

表 5 临接交面关系 S1(模型)

Table 5 Adj. & intersect relation (model)

关系子集	基元	交面
$s_{11}$	a,b,c,h,i	a
$s_{12}$	a,b,c,d,i	b
$s_{13}$	a,b,c,d,e,g,h	c
$s_{14}$	b,c,d,g,i	d
$s_{15}$	c,e,f,g,h	e
$s_{16}$	e,f,g,h	f
$s_{17}$	c,d,e,f,g,i	g
$s_{18}$	a,c,e,f,h,i	h
$s_{19}$	a,b,d,g,h,i	i

表 6 平行关系 T2(物体)

Table 6 parallel relation(object)

关系子集	基元
$t_{21}$	1,4,5
$t_{22}$	3,6,9
$t_{23}$	2,7,8

表 7 平行关系 S2(模型)

Table 7 Parallel relation(model)

关系子集	基元
$t_{21}$	a,d,e
$t_{22}$	c,f,i
$t_{23}$	b,g,h

### 4.3 精匹配模块

由表 11 可看出,修剪后对两个模型共有 5 种可能的匹配,按照距离测度可得相应的距离测度,如表 12 所示。应指出,在产生这 5 种可能的标记时,只要对每个模型做一次假设,即可由修剪算子可得到相应的标记结果。由表 12 不难得出:模型 2 是待识别的物体,此时各基元的匹配结果如表 12 中的第 2 行所示。

表 8 关系子集表示 F1

Table 8 Relational subset table F1

物体的关系子集	模型的关系子集
$t_{11}$	$s_{11},s_{12},s_{13},s_{14},s_{15},s_{17},s_{18},s_{19}$
$t_{12}$	$s_{11},s_{12},s_{14},s_{13},s_{14},s_{15},s_{17},s_{18},s_{19}$
$t_{13}$	$s_{13}$
$t_{14}$	$s_{11},s_{12},s_{13},s_{14},s_{15},s_{17},s_{18},s_{19}$
$t_{15}$	$s_{11},s_{12},s_{13},s_{14},s_{15},s_{16},s_{17},s_{18},s_{19}$
$t_{16}$	$s_{11},s_{12},s_{13},s_{14},s_{15},s_{16},s_{17},s_{18},s_{19}$
$t_{17}$	$s_{13},s_{17},s_{18},s_{19}$
$t_{18}$	$s_{13},s_{17},s_{18},s_{19}$
$t_{19}$	$s_{13},s_{17},s_{18},s_{19}$

表 9 修剪 F1 的结果

Tab. 9 The Results after pruning F1

物体的关系子集	模型的关系子集
$t_{11}$	$s_{11},s_{11},s_{12},s_{14},s_{15}$
$t_{12}$	$s_{11},s_{12},s_{14},s_{15}$
$t_{13}$	$s_{13}$
$t_{14}$	$s_{11},s_{12},s_{14},s_{15}$
$t_{15}$	$s_{11},s_{12},s_{14},s_{15}$
$t_{16}$	$s_{16}$
$t_{17}$	$s_{17},s_{18},s_{19}$
$t_{18}$	$s_{17},s_{18},s_{19}$
$t_{19}$	$s_{17},s_{18},s_{19}$

表 10 H1 的修剪结果

Table 10 The results of pruning H1

基元	标号	标号
1	<i>a, b, d, e</i>	<i>a, b, d, e</i>
2	<i>a, b, d, e</i>	<i>a, b, d, e</i>
3	<i>c</i>	
4	<i>a, b, d, e</i>	<i>a, b, d, e</i>
5	<i>a, b, d, e</i>	<i>a, b, d, e</i>
6	<i>f</i>	<i>f</i>
7	<i>g, h, i</i>	<i>g, h</i>
8	<i>g, h, i</i>	<i>g, h</i>
9	<i>g, h, i</i>	<i>i</i>

表 11 3 个可能的备选模型的标号结果

Table 11 The labeling results for 3 possible models

基元	模型 2	模型 3	模型 4
	标号	标号	标号
1	<i>a, b</i>	<i>a, d, f</i>	<i>a, b, e, g, i</i>
2	<i>b</i>	<i>b, e</i>	<i>a, b, e, g, i</i>
3	<i>c</i>	<i>c</i>	<i>c, d</i>
4	<i>a, d</i>	<i>a, d, f</i>	<i>a, b, e, g, i</i>
5	<i>e</i>	<i>g</i>	<i>a, b, e, g, i</i>
6	<i>f</i>	<i>i</i>	<i>f, h</i>
7	<i>g, h</i>	<i>h, j</i>	<i>c, d</i>
8	<i>g, h</i>	<i>h, j</i>	<i>c, d</i>
9	<i>i</i>	<i>k</i>	<i>c, d</i>

表 12 5 种可能的匹配结果

Table 12 Five possible labeling results

基元	1	2	3	4	5	6	7	8	9	距离
模型	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	<i>d</i>	<i>e</i>	<i>f</i>	<i>g</i>	<i>h</i>	<i>i</i>	1.72
2	<i>d</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	<i>a</i>	<i>e</i>	<i>f</i>	<i>h</i>	<i>g</i>	<i>i</i>	206.8
模型	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	<i>d</i>	<i>g</i>	<i>i</i>	<i>h</i>	<i>j</i>	<i>k</i>	400.5
3	<i>d</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	<i>a</i>	<i>g</i>	<i>i</i>			<i>k</i>	不可能匹配
	<i>f</i>	<i>e</i>	<i>c</i>	<i>d</i>	<i>g</i>	<i>i</i>	<i>j</i>	<i>h</i>	<i>k</i>	400.5

## 5 结 论

通过上述理论和实例可得出下述结论:文中提出的多重描述更符合人的视觉特点,其关系描述灵活方便;文中提出的三种修剪算法能有效的加速识别过程,在此基础上应用距离测度能实现最终的识别任务。应指出,文中的处理方法具有一般性,它同样用于以曲面(柱面,锥面,球面等)为基元的情况,只要我们采用适当的结构(几何)约束来构造相应的关系数据结构,文中的各种处理方法同样有效。

### 参 考 文 献

- 1 Tsai W H, Fu K. Error-correcting Isomorphisms of Attributed Relational Graphs for Pattern Analysis, IEEE. Trans. on SMC. 1979,9(12):757~768.
- 2 Shapiro L G. Moriarty. R. M. etal. Matching Three-Dimension Objects Using a Relational Paradigm. Pattern Recognition. 1984, 17,(4):385~405.
- 3 Shapiro L G. Haralick R M. Relational Matching. Applied Optics, 1987,26(10):1845~1851.
- 4 Haralick. R. M. The Consistent Labeling Problem. IEEE. Trans. PAMI. , 1980,2(3):004~519.
- 5 Chen. t w. A Neutral Network Approach to CSG-based 3D Object Recognition, IEEE Trans. PAMI, 1994, 16(7):719~726.
- 6 徐建华 图象处理与分析. 北京:科学出版社,1992:177~179.



李德仁,教授,中国科学院院士,中国工程院院士,博士生导师,国家突出贡献专家,1982年于德国斯图加特大学获博士学位,现任武汉测绘科技大学信息工程学院院长。主要从事地理信息学、遥感、计算机视觉等领域的研究。已发表学术论文100多篇,学术专著5部。

# The Multiple Description and Recognition Approach for 3D Industrial Objects

Li Deren, Wang Xinhua

(Wuhan Technical University of Surveying and Mapping, Wuhan 430070)

**Abstract** In this paper, a kind of description and recognition method for 3D objects is presented. The multiple description approaches are firstly presented, including general description, unit attributes description and relational description. In the procedure of recognition, after creating the primary assumption about object identification, authors present three pruning algorithms to prune the search tree. Then, the distance measure is used to realize the final recognition. Finally, some experiments are given out.

**Keywords** Computer vision, Relational data structure, Recognition, Isomorphism

(上接 567 页)

# The Intelligent Thinning and Breakpoint Joining Algorithm of Construction Light Image ——Application on 3D Surface Reconstruction of Head

Hu Hanping, Wu Xiaogang, Li Dehua, Peng Jiaxiong

(Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430074)

**Abstract** This paper introduced briefly the principle of 3-D Color Scanning System, and analyzed the facial features as well as its reflectivity in detail. From above analysis a divisional algorithm, embedded the framework of expert system, was presented.

**Keywords** 3-D color scanning system, Thinning, Facial feature, Artificial intelligence