

智能装配系统中神经视觉的三维物体识别^{*}

熊银根 张光昭

Paul S Wu

(中山大学无线电电子学系, 广州 510275) (香港城市大学)

摘 要 根据智能装配系统的实际要求,提出了一种利用神经视觉进行三维物体识别的理论和方法,在利用立体象对重建物体的三维外形的基础上,建立物体的区域图,利用物体的三维矩及其不变性来构造代表物体的特征矢量.采用 ART2神经网络构成神经网络分类器,把物体的特征矢量作为神经网络分类器的输入,从而对物体进行识别或分类.这种识别或分类方法可以在线学习,能满足智能装配环境下连续作业的要求.

关键词 智能装配,神经网络,神经视觉,三维物体识别

分类号 TP 205

在智能装配环境下,二维物体识别系统不能满足要求,必须进行三维物体识别^[1,2].三维物体识别需要更多的有关被识别物体的信息,这些信息是从二维图象中提取出来的.然而,信息量大,必然导致计算工作量大,从而影响视觉系统的处理速度.神经网络的一个最大优点是能提供大规模并行处理来求解问题,利用大规模并行算法,神经网络有望解决三维物体识别中的速度问题^[3],利用神经网络的学习功能,三维物体识别系统在识别过程中,能学习到一些有用的知识和一些复杂关系.利用神经网络的记忆和联想功能,三维物体识别系统能贮存知识并且迅速提供使用.利用不变矩的性质,神经网络能提供足够稳健的算法来完成识别任务.为了满足智能装配系统的要求,本文研究在智能装配环境下,利用神经网络方法进行三维零件的识别和分类.主要目标是研究出一整套速度快,稳健性好具有并行处理的方法.利用这种方法,在智能装配环境下,能迅速且准确地识别三维物体.为了实现上述目标,本研究在文[4]的基础上,构造了一个用于三维零件识别的神经视觉系统,在这个系统中,所有的处理都使用神经网络结构,利用立体象对来提供识别过程中需要用到的三维信息,并且减少模糊性.利用物体的三维矩及其不变性来构成识别过程中的特征矢量,采用 ART2神经网络^[5,6]构成神经网络分类器,把物体的特征矢量作为神经网络的输入,从而对物体进行识别或分类.

1 神经视觉系统的结构

为了满足智能装配系统中视觉系统对物体的识别不但要快而且要求准的要求,并且要求

^{*} 广东省博士后基金资助项目

收稿日期: 1996-12-18 熊银根,男,34岁,博士后

识别过程与被识别的物体的方位无关,因此,该系统必须充分利用神经网络易于实现大规模并行处理的优点,在每一步处理中尽可能采用神经网络方法.为此,本研究建立了用于智能装配的神经视觉系统结构如图 1 所示.

在该神经视觉系统中,物体外形的三维重建部分的工作作者在文 [4] 中作了详细阐述,本文重点阐述三维物体识别与分类.

2 三维物体识别

利用三维重建技术可以获得物体的三维信息,利用这些三维信息可以进行三维物体识别.

2.1 三维物体的特征矢量

与许多情况相类似,在智能装配环境下,要求视觉系统在进行物体识别时,不应该考虑物体的方位,因此,与三维物体相应的特征矢量必须进行归一化,从而使得对平移、旋转、比例变换等具有不变性.因此,在利用神经网络方法进行三维物体识别时,选择适当的特征矢量是很重要的一步.很显然,对目标和环境变化具有不变性的特征比没有要好.

矩在平移下具有不变性,二维矩以及其不变性已经成功地应用在模式识别中,三维矩以及它的不变性首先是由 Sadiadi 和 Hall^[7] 提出来的.本研究利用三维矩及其不变性来定义三维物体识别的特征矢量,一方面,在进行三维物体识别的过程中,物体在场景中可以任意放置,另一方面,这种特征矢量将很适合于神经网络的操作.

物体的三维矩 M_{lmn} 可以定义如下:

$$M_{lmn} = \int_{-\infty}^{+\infty} \int_{-\infty}^{+\infty} \int_{-\infty}^{+\infty} x^l y^m z^n d(x, y, z) dx dy dz \quad (1)$$

其中: $d(x, y, z)$ 为物体的密度函数,整数 (l, m, n) 为 M_{lmn} 的阶数.

这里,物体的几何特征被用来作为识别物体的主要特征,函数 $d(x, y, z)$ 可以简单地定义为在物体表面上的点取常数值,否则为零,即

$$d(x, y, z) = \begin{cases} 1 & (x, y, z) \in R \\ 0 & \text{其它} \end{cases} \quad (2)$$

其中, R 为物体的区域函数,对物体进行三维外形重建后,可以获得物体的区域图,从而区域函数也就确定了.

这时,我们可以定义一阶矩为

$$x_c = M_{100} / M_{000}, \quad y_c = M_{010} / M_{000}, \quad z_c = M_{001} / M_{000} \quad (3)$$

三个二阶矩可以定义为

$$\begin{cases} J_1 = M_{200} + M_{020} + M_{002} \\ J_2 = M_{200}M_{020} + M_{200}M_{002} + M_{020}M_{002} - M_{101}^2 - M_{110}^2 - M_{111}^2 \\ J_3 = M_{200}M_{020}M_{002} - M_{002}M_{110}^2 - 2M_{110}M_{101}M_{011} - M_{020}M_{101}^2 - M_{202}M_{111}^2 \end{cases} \quad (4)$$

其它两个特征为

$$J_4 = J_1^2 / J_2, \quad J_5 = J_3 / J_1^2 \quad (5)$$



图 1 神经视觉系统的结构

Fig. 1 The structure for neuro-vision system

区域的体积 (M_{000})和平均高度 (M_{001}/M_{000})也可以作为物体的特征,因此,物体的特征矢量可以如下构成

$$F= \{f_1,f_2,f_3,f_4,f_5,f_6,f_7,f_8,f_9,f_{10}\}^T= \{x_c,y_c,z_c,J_1,J_2,J_3,J_4,J_5,M_{000},M_{001}/M_{000}\}^T \tag{6}$$

2.2 利用三维矩及其不变性识别三维物体

对一个给定的零件,其三维矩可以用上述方法计算出来,利用三维矩及其不变性可以构造出相应的特征矢量,不同的零件具有不同的特征矢量,以下过程是对这些零件进行识别或分类.

零件的识别意味着把一个输入的特征矢量分成现有的类(即把它识别成以前看过的物体),或建成新类,作为新的物体贮存起来.为了实现这个目的,必须构造一个适当的分类器.

目前有几种类型的神经分类器,BP神经网络分类器用得较广,这种分类器在对物体进行分类之前,必须对其进行训练,用现有的已知矢量,让分类器来学习它们之间的关系,因此,这种分类器最大的缺点就是必须离线学习,不能满足智能装配系统在线操作的要求.

ART2神经网络在三维零件识别过程中具有很多较理想的特性,与BP神经网络分类器相比,它更适合于智能装配系统,ART2神经网络分类器具有在线学习功能,不需要离线对它进行训练.

ART2神经网络是由 Carpenter^[4,5]提出来的,这种神经网络分类器的结构如图 2 所示,这是一个两层的神经网络,下面一层为输入层,上面一层为输出层.图 3 为 ART2神经网络输入神经元的内部结构,具有 6 个元素,用来对输入模式和存放模式进行归一化.

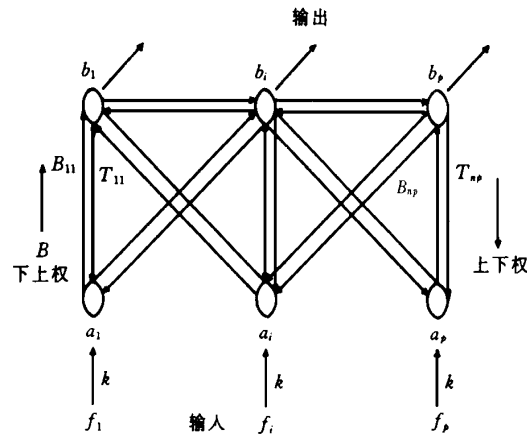


图 2 ART2神经网络分类器

Fig. 2 The ART2 neural network classifier

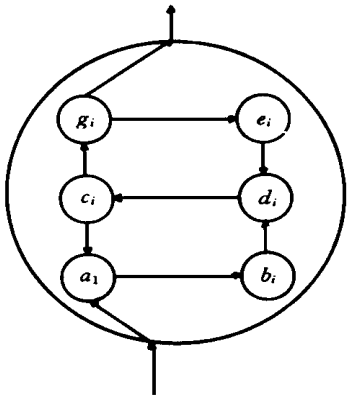


图 3 输入神经元内部结构

Fig. 3 ART2 input neuron inner structure

ART2神经网络是通过竞争学习方案来实现在线学习的,这种竞争学习方案是由输入神经元的内部元素来实现的. ART2神经网络的学习和记忆能力,对以前未看过的新零件,它可以学习到有关知识,并把它贮存起来,当这个零件再一次出现时,神经网络能把它识别出来,并把它归到相应的类中,因此,ART2神经网络分类器这种在线学习功能不需要离线训练就能进行分类,具有很多实际应用.

利用 ART神经网络,我们可以构造三维零件识别算法步骤如下:

(1) 由输入神经元输入新的特征矢量 $F= \{f_i\}$.

- (2) 由下至上求加权和 $y_i = \sum B_{ij}f_i$, 其中, B_{ij} 为由下至上的权.
- (3) 采用 MAXNET 程序找出具有最大 y_i 值的神经元.
- (4) 利用由上至下的处理, 确认 x 真正属于第 j 类, 即构造加权和 $\sum_i T_{ji}f_i$.

如果 $\sum T_{ji}f_i \parallel F \parallel > W$, 则 F 属于第 j 类. 式中, W 为警戒参数, T_{ji} 为由上至下的权, $\parallel F \parallel$ 为 F 矢量的范数.

如果上式成立, 则进入步骤 (5), 否则进入步骤 (6).

- (5) 对 j 和所有的 i , 修改 B_{ji} 和 T_{ji} .
- (6) 由于 F 不属于最大可能的那个神经元, 减活该神经元转步骤 (2), 开始另一类.

当特征矢量输入到神经网络后, 由 ART2 输入层的内部神经元归一化, 根据上述算法, 如果 ART2 分类器以前看过这个零件, 则它将被识别或分成现有的类, 如果 ART2 以前没看过这个零件, 则将会建立一个新类, 并且贮存在 ART2 神经网络中. 我们将用实例和实际应用来描述 ART2 神经网络分类器在零件识别过程中是如何实现的.

3 实验及其应用

为了研究本文所建立的神经视觉系统在三维物体识别中的应用情况, 我们用真实的零件进行检验, 这里, 我们用 4 个零件代表 4 个种类, 由于零件的种类较少, 我们只用零件的 4 个特征参数来构造特征矢量, 这 4 个参数是体积, 平均高度, J_4 和 J_5 , 它们都是利用前面三维信息重建获得的 (如表 1 所示).

利用 ART2 神经网络分类器进行分类, 其结果如表 2 所示. 从结果可以看出, 该神经网络分类器对真实零件也能很好地分类.

在表 2 中第一列是检验过程中的迭代次数, 第二和第三列分别为输入矢量的名称和顺序号, 最后二列分别为神经网络所匹配到的矢量名称和分类序号.

表 1 真实零件的特征矢量
Tab. 1 Feature vectors of real parts

零件名称	体积	平均高度	J_4	J_5
1 齿轮	312960	51. 45	35. 01	0. 0021
2 轴	212166	93. 15	15. 79	0. 0039
3 螺栓	172154	69. 27	145. 17	0. 0005
4 螺母	193167	46. 31	41. 29	0. 0032

表 2 ART2 神经网络对真实零件分类结果
Tab. 2 Performance of ART2 network with feature vectors of real parts

迭代次数	输入矢量名称	矢量序号	网络匹配矢量名称	分类序号	迭代次数	输入矢量名称	矢量序号	网络匹配矢量名称	分类序号
1	螺母	4	螺母	1	26	螺母	4	螺母	1
2	螺栓	3	螺栓	2	27	轴	2	轴	3
3	轴	2	轴	3	28	齿轮	1	齿轮	4
4	螺栓	3	螺栓	2	29	螺母	4	螺母	1
5	螺母	4	螺母	1	30	螺母	4	螺母	1

续表 2

迭代次数	输入矢量名称	矢量序号	网络匹配矢量名称	分类序号	迭代次数	输入矢量名称	矢量序号	网络匹配矢量名称	分类序号
6	螺栓	3	螺栓	2	31	螺栓	3	螺栓	2
7	螺母	4	螺母	1	32	轴	2	轴	3
8	齿轮	1	齿轮	4	33	轴	2	轴	3
9	轴	2	轴	3	34	螺栓	3	螺栓	2
10	齿轮	1	齿轮	4	35	螺栓	3	螺栓	2
11	轴	2	轴	3	36	螺栓	3	螺栓	2
12	螺母	4	螺母	1	37	轴	2	轴	3
13	齿轮	1	齿轮	4	38	齿轮	1	齿轮	4
14	齿轮	1	齿轮	4	39	轴	2	轴	3
15	齿轮	1	齿轮	4	40	轴	2	轴	3
16	齿轮	1	齿轮	4	41	轴	2	轴	3
17	轴	2	轴	3	42	轴	2	轴	3
18	齿轮	1	齿轮	4	43	轴	2	轴	3
19	螺母	4	螺母	1	44	轴	2	轴	3
20	轴	2	轴	3	45	轴	2	轴	4
21	轴	2	轴	3	46	齿轮	1	齿轮	3
22	螺栓	3	螺栓	2	47	轴	2	轴	3
23	螺母	4	螺母	1	48	齿轮	1	齿轮	4
24	齿轮	1	齿轮	4	49	螺栓	3	螺栓	2
25	螺栓	3	螺栓	2	50	轴	2	轴	3

4 结 论

本文研究了智能装配系统中三维零件识别问题,提出了利用神经视觉进行三维物体识别的理论和方法,以满足智能装配系统对三维零件识别的要求.利用所获取的立体象对,提取零件的三维信息,重建其外形表面,获得其区域图,在此基础上提出了利用物体的三维矩及其不变性来构造代表该物体的特征矢量.利用 ART2神经网络构成神经网络分类器,把物体的特征矢量作为神经网络分类器的输入,从而对该物体进行识别或分类.这种识别方法能进行在线学习,不需要离线训练.本文对所提出的理论和方法进行了实验验证和实际应用,都收到了很好的效果,证明所提出的理论和方法是正确的,能满足智能装配系统的要求.

参 考 文 献

1 Paul JB, Pamesh C J. Three-dimensional object recognition. Computer Surveys, 1986, 17(1): 75 ~ 145

2 Chong-Huan L, Hon-Son D. 3-D Moment forms Their construction and application to object identification and position. IEEE Transaction on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1989, 11

- (10): 1053~ 1064
- 3 Carpenter G, Grossberg S. A massively parallel architecture for a self-organizing pattern recognition machine. *Computer Vision, Graphics, and Image Understanding*, 1987, 37: 218~ 247
 - 4 熊银根, 张光昭, Paul S Wu. 智能装配视觉系统新的三维重建方法. *中山大学学报 (自然科学版)*, 1997, 36(3): 48~ 53
 - 5 Carpenter G, Grossberg S. ART2: Self-organization of stable category recognition codes for analog input patterns. *Applied Optical*, 1987, 126(23): 4919~ 4930
 - 6 Carpenter G, Grossberg S. The ART of adaptive pattern recognition by a selforganizing neural network. *Computer*, 1988: 77~ 88
 - 7 Sadjadi F, Hall E. Three dimensional moment invariants. *IEEE Trans Pattern Anal Machine Intell*, 1980, PAMI-2: 127~ 136

3D Object Recognition Using Neuro-Vision in Intelligent Assembly System

Xiong Yingen^{} Zhang Guangzhao Paul S Wu*

Abstract A 3D object recognition method using neuro-vision is presented based on the research of intelligent assembly system. In this method, the stereo image pairs are obtained by using vision system first. The 3D information is extracted from the stereo image pairs, and then the 3D configuration and surfaces of object are reconstructed, so that the range map of the object can be obtained. The feature vectors representing objects to be recognized are constructed by using 3D moment and its invariant. The ART2 neural network is adopted to construct classifier. After the input of the feature vectors into the classifier, the objects can be recognized or classified. This classifier can learn knowledge on line, so that it can be used in continuous operation in intelligent assembly system. It is proved through experiment and actual applications that the method presented in this paper are correct. It can be used in intelligent assembly system and in other fields.

Keywords intelligent assembly, neural network, neuro-vision, 3D object recognition

^{*} Department of Radio and Electronics, Zhongshan University, Guangzhou 510275