

## 4.2 圆形、三角形和四边形形状识别实验

### 4.2.1 实验概述及数据预处理

圆形、三角形与四边形最直观的区别是角和边的数目，小孩子经过父母的引导，都能够逐步学会区分。模拟认知发展的第一步必定是从简单信息开始进行学习。

假设传感系统能够通过计算机视觉技术获取不同形状的角的数量  $Angles$ （对圆形  $Angles=0$ ）。

1) 规格化处理

$$A = \frac{\arctg\left(\frac{Angles}{3}\right)}{\pi/2}$$

将角数目除以3的目的是使3~5边形的差异处于较为明显的位置，如图2所示。

2) 形成适合 ART2 网络处理的向量形式

由于 ART2 网络的输入只能是向量形式，对于角的数目一个信息量而言，只能通过补充冗余信息的方式形成特征向量：

$$\text{Input}=[A, 1-A];$$

这种补充方法相对简单，在 ARTMAP 中也曾用到过类似方法，称之为补码。

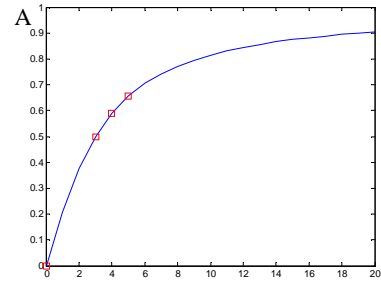


图2 角信息的规格化处理

Fig.2 The nomilization of angles information

### 4.2.2 学习方式与学习规则

学习采用有教师监督的问答式方法。教师根据手中所握的形状，告诉向儿童这个形状的特征（例如有几个角），如果儿童不知道这是什么则要求教师告诉他，如果儿童认为自己知道，并进行了回答，则教师根据回答的情况给予肯定或否定的回答。

程序设计表现为：用户通过键盘输入给定形状的角的个数，如果 ART2 网络不知道这是什么，则回答“我不知道这是什么，请告诉我”，然后用户通过键盘输入该形状的名称。如果 ART2 网络根据自己的知识给出了回答，则用户根据回答判断结果给予肯定或否定。肯定与否定的结果是导致系统调整自己的警戒值。

ART2 网络的学习规则采用慢速学习规则，如式(2)、式(3)所示。

$$z_{ji}(t + \Delta t) = \Delta t du + (1 - \Delta t d(1 - d))z_{ji}(t) \quad (2)$$

$$z_{ij}(t + \Delta t) = \Delta t du' + (1 - \Delta t d'(1 - d'))z_{ij}(t) \quad (3)$$

在  $\Delta t=1$ 、 $\Delta t=5$  和  $\Delta t=10$  三种情况下进行 20 轮学习，学习的交互方式和每轮计算记录如表 1 所示

表 1 学习记录

Tab.1 Learning record

|                 | 教师提供形状             | ART2 网络          | 教师             |
|-----------------|--------------------|------------------|----------------|
| ART2 网络程序交互过程示例 | 圆形○/三角形△<br>(同化成功) | 这个东西有几个角？请告诉我。   | 0 / 3          |
|                 |                    | 我不知道这是什么？请告诉我。   | 圆形 / 三角形       |
|                 |                    | 我知道了这是一个圆形 / 三角形 |                |
|                 | 四边形□<br>(同化失败)     | 这个东西有几个角？请告诉我：   | 4              |
|                 |                    | 我知道这是一个三角形       |                |
|                 |                    |                  | 不对，你搞错了！下次认真点！ |
| 学习记录            |                    |                  |                |

| 轮次 | $\Delta t=10$ |   |   |         | $\Delta t=5$ |   |   |         | $\Delta t=1$ |   |   |         |
|----|---------------|---|---|---------|--------------|---|---|---------|--------------|---|---|---------|
| 1  | ○-?           | 1 | √ | 0.995   | ○-?          | 1 | √ | 0.995   | ○-?          | 1 | √ | 0.995   |
| 2  | △-?           | 2 | √ | 0.98505 | △-?          | 2 | √ | 0.98505 | △→○          | 1 | × | 0.98505 |
| 3  | ○             | 1 | √ | 0.9752  | ○            | 1 | √ | 0.9752  | △→○          | 1 | × | 0.99252 |
| 4  | △             | 2 | √ | 0.96545 | △            | 2 | √ | 0.96545 | △-?          | 2 | √ | 0.99626 |
| 5  | □→△           | 2 | × | 0.95579 | □→△          | 2 | × | 0.95579 | △            | 2 | √ | 0.9863  |
| 6  | □→△           | 2 | × | 0.9779  | □→△          | 2 | × | 0.9779  | ○→△          | 2 | × | 0.97644 |
| 7  | □→△           | 2 | × | 0.98895 | □→△          | 2 | × | 0.98895 | ○            | 1 | √ | 0.98822 |
| 8  | □→△           | 2 | × | 0.99447 | □→△          | 2 | × | 0.99447 | △            | 2 | √ | 0.97834 |
| 9  | □-?           | 3 | √ | 0.99724 | □-?          | 3 | √ | 0.99724 | ○            | 1 | √ | 0.96855 |
| 10 | □→△           | 2 | × | 0.98726 | □→△          | 2 | × | 0.98726 | □→△          | 2 | × | 0.95887 |
| 11 | □→△           | 2 | × | 0.99363 | □→△          | 2 | × | 0.99363 | □→△          | 2 | × | 0.97943 |
| 12 | □             | 3 | √ | 0.99682 | □→△          | 2 | × | 0.99682 | □→△          | 2 | × | 0.98972 |
| 13 | □             | 3 | √ | 0.98685 | □            | 3 | √ | 0.99841 | □→△          | 2 | × | 0.99486 |
| 14 | △             | 2 | √ | 0.97698 | □            | 3 | √ | 0.98842 | □→△          | 2 | × | 0.99743 |
| 15 | △             | 2 | √ | 0.96721 | △→□          | 3 | × | 0.97854 | □-?          | 3 | √ | 0.99871 |
| 16 | □             | 3 | √ | 0.95754 | △→□          | 3 | × | 0.98927 | □→△          | 2 | × | 0.98873 |
| 17 | □             | 3 | √ | 0.94796 | △→□          | 3 | × | 0.99463 | □→△          | 2 | × | 0.99436 |
| 18 | △             | 2 | √ | 0.93848 | △            | 2 | √ | 0.99732 | □→△          | 2 | × | 0.99718 |
| 19 | □             | 3 | √ | 0.9291  | △            | 2 | √ | 0.98734 | □→△          | 2 | × | 0.99859 |
| 20 | ○             | 1 | √ | 0.91981 | □→△          | 2 | × | 0.97747 | □            | 3 | √ | 0.9993  |

表中每种情况下 4 列分别代表：

- 1) 输入的的形状，以及：-? 代表发生疑问，向教师询问；→△/→□/→○代表发生误认；
- 2) 被激活的神经元编号；
- 3) 学习成功或识别正确与否；
- 4) 警戒值变化。

### 4.3 学习过程与结果分析

以 $\Delta t=10$ 的情况为例，说明具有警戒值自适应调整功能的 ART2 网络在学习这些基本形状时，所体现的同化、顺应过程。

#### 1) 初始学习

第 1 轮和第 2 轮学习中，系统开始不认识圆形和三角形，询问教师“这是什么？”，经过教师指导，在自适应谐振过程中，学习并能记住这两个形状的特征，将圆形和三角形记录到了 F2 层第 1 个和第 2 个神经元（胜出神经元）对应的长期记忆系统中，修改对应连接权重。同时我们在程序中定义了语义存储器，将交互过程中输入的文字存储起来。由于没有遇到挫折（被否定），警戒值开始下降。

#### 2) 同化与回忆

第 3 轮和第 4 轮学习中，我们看到，在警戒值降低到 0.96545 时，ART2 系统依然能够正确地识别圆形和三角形，并正确回答。

#### 3) 同化失败

第 5 轮学习中，教师向 ART2 网络展示四边形。在警戒值 $\rho=0.95579$ 的条件下，ART2 网络的第 2 个神经元胜出，将从未接触过的矩形同化为三角形（从数学上来讲，矩形的特征向量经过 ART2 网络的 STM 运算后，最接近系统存储的三角形信息）。

此时外界教师将纠正系统错误，提示：“不对，你搞错了！下次认真点！”。系统除了将警戒值按注意子系统修正方法进行调整外，不改变系统的其他信息。

#### 4) 顺应过程

在接下来的第 6~8 轮学习中, 系统依然不能正确识别矩形特征, 将其同化为三角形, 但警戒值不断提高。在第 9 轮学习中, 警戒值提高到 0.99724, 在这个警戒值水平, 系统终于认识到矩形的特征向量与存储的三角形信息存在差异, 经过教师指导, 动用 3 号神经元存储新形状的特征, 并关联语义存储器。

#### 5) 平衡调整

在第 10 轮和第 11 轮中, 警戒值水平下降到 0.99724 以下, ART2 网络进入了新的环境状态, 似乎忘记了刚刚学习的四边形, 第 9 轮建立的平衡状态被置疑。在第 12 轮警戒值提升到 0.99682, 重新认识了四边形, 并在慢速学习机制下再次对四边形特征进行学习, 调整 LTM 向量值, 进入新的平衡状态。

#### 6) 系统校验

在第 13~20 轮中, 反复输入圆形、三角形和四边形信息, 由于 ART2 系统的 LTM 向量基本调整到位, 对比第 11 轮警戒值为 0.99363 的情况, 即使是警戒值逐渐下降到 0.9291, 系统仍然能够正确地识别四边形。

如果系统继续学习五边形, 在警戒值不高的情况下, 系统会将五边形同化为特征向量最为接近的矩形, 但随警戒值的不断提高, 系统最终能够认识五边形的特征。学习六边形的情况也类似, 只不过警戒值需要提高到更高的水平。而通常情况下, 相对圆形、三角形、四边形的识别, 即使是成年人, 对于边数在 5 以上的形状进行识别也需要花费一些时间, 而且必须要具备数数的能力。

在表 1 中, 我们还对  $\Delta t=5$  和  $\Delta t=1$  的情况进行了记录。在  $\Delta t=5$  条件下, 不仅发生了四边形被误认为三角形, 还发生了三角形被误认为四边形的情况。在  $\Delta t=1$  条件下, 甚至发生了三角形被误认为圆形和圆形被误认为三角形的情况, 这是因为样本的刺激时间较短, LTM 尚未能进入理想的平衡状态。

### 5 结论

在图式理论中, 皮亚杰反对行为主义  $S \rightarrow R$  公式, 提出  $S \rightarrow (AT) \rightarrow R$  的公式, 即一定的刺激 (S) 被个体同化 (A) 于认知结构 (T) 之中, 才能作出反应 (R)。这正是目前智能 Agent 技术与刺激响应机的最大不同, 也就在于系统有无内部状态以及这些内部状态的形成过程、组织的方式, 这些都表现了智能水平高低。

本文在使用 ART2 网络模拟人类认知发展过程方面做了有益的尝试, 提出了一种警戒值的调整方式, 使得 ART2 网络由无监督自组织 (无监督) 学习网络转换为有教师监督学习的网络, 并通过这种监督型的 ART2 网络对不同形状进行识别和学习的例子, 模拟了图式理论关于人类认知发展过程描述中的同化、顺应和平衡等基本过程。虽然本文使用的例子相对简单, 但从认知发展的角度, 为智能体的认识发展和组织过程提供了一个可行的方式。

#### 参考文献

- [1] 辛润勤, 罗荣桂. 智能体理论研究述评. 科技进步与对策 2007 年 8 月, 第 24 卷第 8 期:210-213
- [2] 左任侠, 李其维主编. 皮亚杰发生认识论文选. 华东师范大学出版社, 1996
- [3] 陈英合. 认识发展心理学. 浙江人民出版社. 1996, 12:58-63
- [4] Brenda Mergel. "Instructional Design & Learning Theory.". Graduate Student Educational Communications and Technology, University of Saskatchewan, <http://www.usask.ca/education/coursework/802papers/mergel/mergel.PDF>
- [5] Noble, D.F. Schema-based knowledge elicitation for planning and situation assessment aids. IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics, Vol: 19 Issue: 3, May-June 1989: 473 -482
- [6] Maeda N, Iseda T, Iwamoto M, Ushida Y., Hata, S. Control of terminal robot using schema theory. Robot and Human Communication, 1995. RO-MAN'95 TOKYO, Proceedings., 4th IEEE International Workshop on, 5-7 July 1995: 363 -368

- [7] Cambron M.E., Peters R.A. II. Learning sensory motor coordination for grasping by a humanoid robot. Systems, Man, and Cybernetics, 2000 IEEE International Conference on , Volume: 1 , 8-11 Oct. 2000: 6-13
- [8] Yoonsuck Choe et al. Autonomous Learning Of The Semantics Of Internal Sensory States Based On Motor Exploration. International Journal of Humanoid Robotics Vol. 4, No. 2 (2007) 211 - 243
- [9] 李祖枢, 张华, 温永玲, 王桂平. 基于动觉智能图式的仿人智能控制. 第五届全球智能控制与自动化大会 (WCICA'04), 2004.6 杭州
- [10] 李祖枢, 但远宏, 温永, 张华. 小车三级摆摆起倒立的仿人智能控制, 华中科技大学学报(自然科学版), 第 32 卷增刊, 2004 年 10 月
- [11] 张华, 李祖枢, 古建功等. 三连杆单杠体操机器人的仿人智能运动控制. 重庆大学学报(自然科学版) 2007/03
- [12] G.A. Carpenter, Stephen Grosssberg. A massively parallel architecture for a self-organizing neural pattern recognition machine. Computer Vision, Graphics, and Image Processing, Vol. 37: 54-115, 1987
- [13] G.A. Carpenter, Stephen Grosssberg. ART2: Self-organization of stable category recognition codes for analog input patterns. Applied Optics. Vol. 26, No. 23 :4919-4930,1987.
- [14] G.A. Carpenter, Stephen Grosssberg, David B.Rosen. "ART2-A: An adaptive resonance algorithm for rapid category learning and recognition, " Neural Network. Vol. 4 :493-504, 1991.
- [15] Carpenter G A, Grossberg S, Reznolds J H. ARTMAP:Supervised real-time learning and classification of nonstationary data by a self-organizing neural network. Neural Networks,1991,4: 565~588
- [16] 杨宁, 张卫. 论认知不成熟的适应性本质及其对早期教育的含义. 华南师范大学学报(社会科学版), 2000 年 8 月,第 4 期:81-86.
- [17] Martin Brüne. Neoteny, psychiatric disorders and the social brain: hypotheses on heterochrony and the modularity of the mind[J]. Anthropology & Medicine, 2000, 7( 3): 301 - 318