

# 基于特征和知识的模式识别专家系统

周冠雄 肖萍 雷宜武 邹海明

(华中工学院计算机系模式识别与人工智能研究室, 武汉)

**摘要** 作者在文献〔1〕,〔2〕中分别论述了传统模式识别及专家系统方法的局限性,提出了两者结合以实现模式识别专家系统的构想,给出了为实现这一构想的“缺言推理-回归”思维模型。本文以地震剖面图象的岩性分析为背景,给出一个运用上述思维模型实现的基于特征和知识的模式识别专家系统,阐明其中的理论与实现问题,并给出一个运行实例。

**关键词:** 专家系统, 模式识别, 思维模型, 缺言推理和回归, 基于知识的系统。

## 1 前言

传统的模式识别方法是基于特征的,它将客体的类别特性归结为统计或结构特征,并将其映射为“类别号”,从而实现客体的识别〔3〕〔4〕。然而,人类在实现自己的识别能力时,除了依赖客体的特征外,还依据客体的性质及其与其他客体的性质差异。后者往往很难量化为“特征”,而表现为“知识”的形式。面临的识别任务越是复杂,“知识”比之“特征”就显得更为重要。因此,使模式识别系统智能化,使其具有处理知识的能力,已成为当前的主要发展方向之一。

传统的专家系统是基于知识的。它将人类对某一客观事物的“认识”存储于计算机中,利用它们来模拟人类专家的思维活动,进行推理和判断,从而为知识性过程的计算机实现提供了基本的理论方法与手段。但是,目前已投入使用的许多专家系统只能处理描述性知识,而缺乏模式识别的能力,因而不能借助于计算机提供某些使思维得以展开的客观“事实”与“概念”。而且,作为其逻辑学与心理学基础的推理模型,又使得系统必须在信息完备时才能驱动规则开始工作,因而无法确定思维的近期子目标,大大限制了专家系统的应用。

基于上述两方面的原因,作者在文献〔1〕〔2〕中指出,模式识别与专家系统可以互为补充。一个模式识别专家系统能增强自身处理

“特征”和“知识”的能力,应用前景十分宽广。为了实现这种系统的推理过程,“缺言推理-回归”则是一种新的、更为合适的思维模型。

本文从上述观点出发,以石油勘探中之地震剖面图象岩性分析为物理背景,论述一个模式识别专家系统的设计与实现。该系统的特点,一是实现了“特征”和“知识”的通讯;二是实现了基于“缺言推理-回归”思维模型的推理策略。

## 2 系统的基本结构

如图1所示,一个模式识别专家系统(以下简称PRES-I)由五个主要部分组成,其中单线表示控制流方向,双线表示信息流和控制流方向。

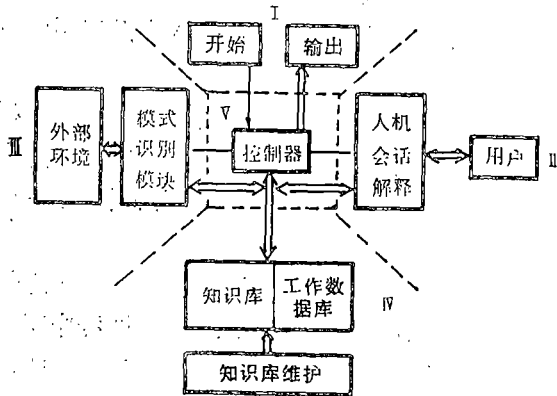


图1 PRES-I的基本结构

## 2.1 启动与终止

用户通过驱动命令进入系统,进行设置参数等初始化工作。运行工作结束后,由终止命令退出系统,并可进行相应的清除和保存工作。系统提供多种输出方式以输出最终结果、中间结果及某些特殊信息。

## 2.2 交互通讯

系统可以响应用户的请求回答用户提问,并提供用户强制输入信息的手段,使用户能达到与系统会话,了解系统状态及干预系统运行等诸项目的。

## 2.3 模式识别模块

它具有针对特定的问题范围 $\Omega$ 而设计的模式识别功能块。它提供的信息是通过控制器 $V$ 调用的。该模块与知识库的信息通讯正是本系统的主要特点之一。

## 2.4 知识模块

它包含了由语义网络构成的知识库和对知识库的管理。知识库中存储了由专家经验所构成的规则知识,原理性知识及某些特定的事实知识。知识库的更新与删除由知识库维护模块完成。工作数据库存放各种状态参数和推理过程中得到的各种动态信息,这些中间信息在系统工作过程中可以随时改变。

系统中设置了三个状态参数:

- 目标表 (GL): 存放系统工作过程中所得的各个结论。在进入和退出系统时GL被清除。
- 子目标表 (SGL): 存放系统工作过程中可能推出但尚未证明的论断(称为子目标)。在进入和退出系统时SGL被清除。
- 基本事实集 (BPL): 存放 $\Omega$ 中被认为是最基本的事实。在系统工作过程中BPL并不改变,但系统提供了修改BPL的功能。

设置上述参数的目的在于实现“缺言推理-回归”思维模型的推理控制策略,并使系统可记录自己的工作结论。

## 2.5 控制模块

实现各模块之间的信息通讯,协调整个系统的工作,对推理过程实施有效的控制。它提供两种推理控制策略:自上而下与混合推理方式。

自上而下的推理方式采用启发式搜索策略实现,由用户提供待验证的目标,系统根据某一启发信息选择规则,实施逐步验证,搜索过程总是选出具有最大启发信息的规则。

混合推理方式将自上而下与自下而上的推理方式结合起来。推理从用户提供的基本事实集BPL开始,逐步向上递推。系统基于“缺言推理-回归”思维模型,在基本事实不完备时便驱动某条规则开始工作,那些需要但尚未获取的信息在以后的推理过程中可以向用户请求、或从模式识别模块及其他方式获取。这种推理方式既可使用户不必提供非常完备的信息,又可避免庞大的基本事实集所带来的组合爆炸的危险。它是一个要求具有模式识别功能的专家系统的合适的推理模式。这种基于“缺言推理-回归”思维模型的推理控制,正是本系统的第二个特点。

## 3 知识表示

PRES-I系统采用一种特定的语义网络表示知识规则。

### 3.1 一种特定的语义网络表示方法

每一知识规则由结点和弧构成,结点表示一个概念,弧说明由一个概念到另一个概念的“推理关系”或“包含关系”,其一般形式为  
IF (前提1 and 前提2 and...) THEN (结论)。规则的前提部分不允许OR连接。

网络中定义了两种形式的结点,即概念结点和中间结点。概念结点表示一个具有单一意义的简单概念,具有逻辑或的特性,可以有多条规则达到同一概念;中间结点则连接一条规则的所有前提,具有逻辑与的特性。

网络中定义了两种形式的弧,即两种结点链接关系:包含链接与属性链接。前者反映两结点的包含与被包含关系,可以构成知识的分类结构;后者反映结点间的推理关系,即前提

与结论的关系，可以构成知识的推理结构。

概念结点的结构形式如表1所示。在结点描述域中，“调用标志”建立了模式识别模块与知识模块之间的联系。如果该标志为“要求调用”，则控制权转移至模式识别模块，在完成了模式识别功能后控制权返回到知识库模块的当前处理之中；“结点验证标志”记录了该结点是否已被验证及得到何种结论：

N—表示对该结点概念未作任何验证，或虽实施了验证但无任何结果；

A—表示对该结点概念的证实与证伪都作了验证；

B—表示对该结点概念进行证实的验证；

D—表示对该结点概念进行证伪的验证。

“置信度”与“启发函数值”用于实施推理控制策略，将在下文论及。

表1 概念结点的结构形式

|       |  |
|-------|--|
| 结点描述域 | 结点名称<br>...<br>调用模式识别模块的标志                               |
|       | 结点类型标志<br>结点验证标志<br>结点的启发函数值<br>结点概念的置信度<br>指向子结点与父结点的指针 |

表2 中间结点的结构形式

|  |  |
|--|--|
|  | 结点类型<br>结点的访问标志<br>链接关系<br>各子概念的置信因子<br>指向子结点和父结点的指针 |
|--|--|

中间结点的结构形式如表2所示。“链接关系”指明子概念结点与父概念结点之间的关系，它们或者是属性关系，或者是包含关系。

“置信因子”描述知识获取时的不确定性，亦将在下文论及。

例如，图2表示规则集

- (a)  $A_1 \wedge A_2 \wedge A_3 \rightarrow A$
  - (b)  $A_1 \wedge B_1 \rightarrow A$
  - (c)  $C_1 \subset A$
- (1)

的知识网络，其中 $M_i$ 表示规则的中间结点。

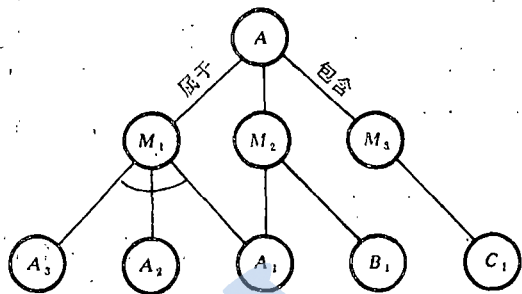


图2 规则集(1)的知识网络构成

### 3.2 知识网络的参数

由于知识获取本身具有不确定性，因而在构造知识网络时，必须依据所研究的问题，规定各种不确定性参数。

**定义1.** 概念的置信因子 $CFW$ 。一个概念作为一条规则的前提时，这一前提概念的真伪一般都带有不确定因素，概念的置信因子用来表示前提论据获取的不确定性，并使其与具体的规则相联系，它反映了前提概念对结论证明的贡献大小。关于概念的置信因子，作如下假定：

- (a)  $CFW \in [-1, +1]$  异于0，否则，说明该概念对于与其相关的规则是无意义的。
- (b) 对任何一条规则，当其中的一个前提概念的 $CFW > 0$ 时，该前提概念为真时可以为推出结论作出贡献；当 $CFW < 0$ 时，该前提概念应为假时方能对推出结论作出贡献。
- (c) 当 $CFW > 0$ ，其值越大，或 $CFW < 0$ 时，其值越小时，表明该概念与其结论的相关性越大；反之则越小。

**定义2.** 规则的置信因子。它反映规则的可靠程度。规则的置信因子越大，该规则的可靠性越高。

**定义3.** 前提概念的重要程度因子。它反映同一条规则中的各个前提的重要性，取值于 $[0, +10]$ ，重要的前提概念赋予较大的指标。

**定义4.** 一条规则相对于推导其结论的其他规则的贡献因子。对于推导结论而言，具有

较高可能性的规则赋予较大的规则贡献因子。该因子取值于 $[-1, 1]$ 。在本系统中有证实概念与证伪概念的两种规则，证实与证伪的特性由规则贡献因子来描述。当贡献因子取正值时，表示该规则用于证实结论，值的大小表示规则对于证实结论的贡献大小；反之，当贡献因子取负值时，表示该规则用于证伪结论，值的大小表示规则对于证伪结论的贡献大小。

上述因子均须在构造知识网络中由用户与设计者确定，一般不再改变。它们的修改由知识库维护模块完成。

#### 4 不确定性推理

除了知识的不确定性外，推理的不确定性是专家系统设计中的另一重要问题。目前已有了一系列方法用以描述这种不确定性。MYCIN系统采用的是置信度方法<sup>[6]</sup>，PROSPECTOR系统采用的是概率方法<sup>[6]</sup>。考虑到在石油勘探中不可能获取大量的数据信息作为统计样本，因而剖面图解释时必须利用局部的、不完备的数据及经验知识来引导判断，不宜采用概率方法。因而，本文修正了MYCIN系统的置信度方法来度量结论概念的确定程度。在这种方法中，置信度代表某一条件下概念的可靠性，并受到其前提及规则的不确定性参数的影响。因而是可变化的。

**定义5.** 置信度  $CF(H, E)$  表示由论据  $E$  推出结论 (概念)  $H$  的确信程度，并满足如下规定：

- (a)  $-1 \leq CF(H, E) \leq +1$ 。
- (b)  $CF(H, E) > 0$  说明由论据  $E$  推出结论  $H$  时结论为真的置信程度； $CF(H, E) < 0$  说明由论据  $E$  推出结论  $H$  时结论为假的置信程度。
- (c) 设  $E_+$  和  $E_+$  表示证实结论的论据， $E_-$  和  $E_-$  表示证伪结论的论据，则有
  - i.  $CF(H, E_+) \geq 0, CF(H, E_-) \leq 0$ 。
  - ii.  $CF(H, E_+) \leq CF(H, E_+ \wedge E_+)$ ,  
 $CF(H, E_-) \geq CF(H, E_- \wedge E_-)$ 。

$$\text{iii. } CF(H, E_-) \leq CF(H, E_+ \wedge E_-) \leq CF(H, E_+).$$

- (d)  $CF(H, E) = 1$  说明结论  $H$  绝对为真，  
 $CF(H, E) = -1$  说明结论  $H$  绝对为假；

$CF(H, E) = 0$  说明由论据  $E$  推出的结论  $H$  的真伪性并不确定。

下面给出置信度  $CF$  的计算方法，它是 [5] 中给出的算法的一个修正文本。

设由论据  $E$  可以推出  $n$  个结论  $H_i$ ，即

$$E \rightarrow H_i, i = 1, 2, \dots, n \quad (2)$$

其置信度为  $CF(H_i, E)$ ，定义下列近似计算公式：

- (a) 结论的“与”关系

$$CF(H_1 \wedge H_2 \wedge \dots \wedge H_n, E) = WB - WD$$

$$WB = \min\{CF(H_i, E) / CF(H_i, E) \geq 0\}$$

$$WD = \max\{|CF(H_i, E)| / CF(H_i, E) < 0\} \quad (3)$$

其中  $WB \geq 0, WD \leq 0$ 。

- (b)  $CF$  值的修正

- 设有规则

$$S \rightarrow H \quad (4)$$

且该规则的置信因子为  $CFW$ ，则

$$CF(H, S) = CFW * \max\{0, CF(S, E)\} \quad (5)$$

其中  $CF(S, E)$  为获取论据  $S$  的不确定性。

- 设  $CF_{o.i.d}$  表示由其他规则已推出结论  $H$  的置信度  $CF(H, S_0)$ ， $CF_{n.e.w}$  表示由规则 (4) 得到的结论  $H$  的置信度  $CF(H, S)$ ，则如  $CF_{o.i.d} * CF_{n.e.w} > 0$  时

$$CF(H, S_0 \wedge S) = CF_{o.i.d} + CF_{n.e.w} - |CF_{o.i.d}| * CF_{n.e.w} \quad (6)$$

如  $CF_{o.i.d} * CF_{n.e.w} < 0$  时

$$CF(H, S_0 \wedge S) = CF_{o.i.d} + CF_{n.e.w} \quad (7)$$

根据上述计算公式，如果有一知识规则，以逻辑关系表示为

$$S_1 \wedge S_2 \wedge \dots \wedge S_n \rightarrow H \quad (8)$$

且  $CFW_i$  为每个前提条件的置信因子，规则的置信因子为  $CFW$ ，已由其他规则推出结论  $H$  的

置信度为  $CF_{old}$ ，由规则 (8) 推出结论的置信度为  $CF_{new}$ ，那么，结论  $H$  的置信度  $CF(H)$  由下面算法给出。

CF-Comput 算法:

(a) 对每一前提概念  $S_i, i=1, 2, \dots, n, n \geq 1$ , 计算

$$CF[S_i, E] * CFW_i \rightarrow CF'[S_i, E]$$

(b) 计算  $CF'[M, E] = CF[S_1 \wedge S_2 \wedge \dots \wedge S_n, E]$

$$\text{令 } WB = \min\{CF'[S_i, E]/CF'[S_i, E] \geq 0\}$$

$$WD = \max\{|CF'[S_i, E]|/CF'[S_i, E] < 0\}$$

$i=1, 2, \dots, n, n \geq 1$

计算

$$CF'[M, E] = WB - WD$$

(c) 计算

$$CF[H, M] = CFW * \max\{0, CF'[M, E]\}$$

$$CF[H, M] \rightarrow CF_{new}$$

(d) 计算  $CF(H)$

如  $CF_{old} * CF_{new} \geq 0$ , 则

$$CF(H) = CF_{old} + CF_{new} - |CF_{old}| * CF_{new}$$

否则

$$CF(H) = CF_{old} + CF_{new}$$

(e) RETURN

## 5 推理控制策略

如前所述, PRES-I 系统是基于“缺言推理-回归”思维模型实施其控制策略的, 它提供了两种推理控制方式。

### 5.1 自上而下的推理控制

自上而下的推理策略是专家系统常用的推理策略<sup>[7]</sup>。它适合于目标可以预先指定的情况且易于实现。

PRES-I 所采用的自上而下的推理控制策略, 引入了  $\alpha$ - $\beta$  剪枝思想并运用了启发信息, 以减少搜索空间, 但仍遵循逐步向下搜索证据的原则。

启发信息是构造知识网络时给出的规则贡

献因子。搜索过程总是选出那些具有最大(或最小)贡献因子且没有使用过的规则。

系统引入了  $\alpha$ - $\beta$  剪枝原理, 作了相应改进并使之适合推理过程。首先将所有推理规则划分为证实概念与证伪概念两大类, 并假定: 使用证实概念的规则只能加强而不会削弱该概念为真的确信程度; 使用证伪概念的规则只能削弱而不能加强该概念为真的确信程度。如图 (3) 所示, 定义置信度  $CF$  的两个非零阈值  $\alpha_1$  和  $\alpha_2$ , 并设当  $|CF| > \alpha_1$  时, 认为论据足以使结论为真(或伪); 当  $\alpha_2 < |CF| < \alpha_1$  时, 则  $CF$  表示论据使结论为真(或伪)的确定程度; 当  $|CF| < \alpha_2$  时则认为论据不足以说明任何结论。

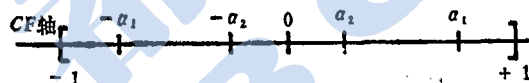


图 3 置信度的阈值,  $\alpha_1, \alpha_2$

当证实某一概念时, 首先尽量搜索证实的规则, 当推得的结论的置信度  $CF > \alpha_2$  时, 再尽量搜索证伪的规则, 以检查证伪论据对其置信度  $CF$  的削弱程度; 反之, 当证伪某一概念时, 则首先尽量搜索证伪规则, 当推得的结论的置信度  $CF < -\alpha_2$  时, 再尽量搜索证实的规则, 检查证实论据对  $CF$  值的加强程度。

TOP-DOWN( $S, G$ ) 算法 ( $S$  为标识目标是证实 ( $B$ ) 还是证伪 ( $D$ ) 的状态标志):

- (a) 若目标  $G$  已达到验证要求, 则结束;
- (b) 若目标要求调用模式识别模块或请求用户输入, 则  
Call Low-Process( $G$ );

转 (h);

- (c) 若  $S = B$  且  $CF \geq \alpha_1$  或  $S = D$  且  $CF \leq -\alpha_1$ , 则 Call Rule-Select( $\bar{S}, G$ ), 选择符号  $\bar{S}$  的规则;  
若已无规则可供选择, 则转 (h);
- (d) 若  $S = B$  且  $CF < \alpha_1$  或  $S = D$  且  $CF > -\alpha_1$ , 则 Call Rule-Select( $S, G$ ), 选择符合  $S$  的规则;

若已无规则可供选择, 则

若  $S = B$  且  $CF < \alpha_2$  或  $S = D$  且  $CF > -\alpha_2$ , 则转 (h);

否则, Call Rule-Select( $S, G$ );

若已无规则可供选择, 则转 (h);

(e) 对所选择的规则的每一前提执行操作:

若其前提的置信因子  $CFW_i > 0$ , 则 Call TOP-DOWN( $B, S_i$ );

若其前提的置信因子  $CFW_i < 0$ , 则

Call TOP-DOWN( $D, S_i$ );

若  $CFW_i * CF(S_i) \leq 0$ , 则转 (g);

(f) Call CF-Comput( $G$ ), 计算目标  $G$  之置信度;

(g) 转 (c);

(h) Call SUBGOAL( $G, SGL$ ), 将由该目标所可能联想出的其他论断存储于  $SGL$  (子目标) 表中;

(i) RETURN

## 5.2 混合推理控制

混合推理控制体现了“缺言推理-回归”思维模型的思想, 综合使用了自上而下与自下而上的推理方式。首先以基本事实集  $BPL$  中的部分数据驱动自下而上的推理过程, 由另一过程  $SUBGOAL$  根据启发信息向上推出某些可能的论断作为子目标, 完成“缺言推理”这一子过程。然后进一步确定所推出的子目标的置信度, 并通过由上而下的推理过程来实现, 这是“回归”的子过程。

在由下而上的推理过程中使用了启发信息。

**定义6.** 设一规则的某一前提为  $S_i$ , 其置信因子为  $CFW_i$ , 该前提具有启发函数值  $H(S_i)$ , 该规则的置信因子为  $CFW$ ,  $LN$  为结论结点在知识网络中的深度, 定义由前提  $S_i$  可能推出结论  $H_i$  的启发函数为:

$$H(H_i) = |CFW_i * CFW * H(S_i)| + 1/LN$$

$$H(S_i) > 0$$

该函数值较高的方向具有较大的启发性。

于是, 可如下建立混合推理控制算法。

**BOTTOM-UP(SGL, SG)算法:**

(a) 将  $SGL$  中所有满足验证条件的子目标  $Subgoal_i$  取出, 执行下述操作:

i. Call TOP-DOWN( $B, Subgoal_i$ ) (以回归过程验证子目标);

ii. 若  $CF(subgoal_i) < \alpha_3$  (可选择  $\alpha_3 = 0$ ), 则 Call TOP-DOWN( $D, Subgoal_i$ ) (再搜索证伪概念的规则);

iii. 若  $Subgoal_i$  满足结束条件, 则  $GL = GL \cup Subgoal_i$ ;

操作者判断是否满足用户要求, 若满足, 则 RETURN;

(b) 对  $SGL$  中的每一元素  $Subgoal_i$ ,

Call SUBGOAL( $Subgoal_i, SGL$ );

(c) 若  $SGL = Nil$ , 即前述子目标均被验证为不符合条件, 则搜索知识网络, 建立子目标;

(d) 若  $SGL = Nil$ , 即得不到任何子目标, 则 RETURN, 否则转 (a);

(e) RETURN

## 6 一个运行实例

下面给出 PRES-I 运行的一个实例。

附录(略)给出了由九条规则构造的一个关于岩性分析的知识子网络。系统的操作命令有

- CLEAR 清除网络
- INIT 建立基本事实集  $BPL$
- RP 填写  $BPL$  并建立  $SCL$  的初值
- IRR 实施双向推理
- CPMI 强制性输入
- EXIT 退出系统
- EXP 解释推理过程
- MODNET 维护知识网络

前三种命令实施系统的初始化工作, 其后系统进入工作状态。在 IRR 命令下, 用户可选择推理方式, 并提供了调用模式识别算法的功能。本实例中的模式识别模块是一个岩性分析过程中对速度剖面图查找速度降低程度最大的

层位的算法。

### 参 考 文 献

- 1 周冠雄, 雷宜武. 性质、特征与模式识别. 自然杂志, 1985, (3):197—200
- 2 周冠雄, 雷宜武. “缺言推理-回归”思维模型 —— 一个设计专家系统新设想的探讨. 机器人, 1987, 1(1): 57—60
- 3 周冠雄. 计算机模式识别 (统计方法). 武汉, 华中工学院出版社, 1986; 1—14
- 4 周冠雄. 计算机模式识别 (结构方法). 武汉, 华中工学院出版社, 1987. 1—10
- 5 Shortliffe E H. Computer-based medical consultations MYCIN. American Elsevier Publishing, Co Inc, 1976:44—46, 159—193
- 6 管纪文. 勘探专家系统的研制. 计算机科学, 1985, (4):23—24, (5):49—57
- 7 Buchanan B G, Duda R O. Principles of rule-based expert system. Advances in Computers, 1983; 22:163—216

## Pattern Recognition Expert System Based on Feature and Knowledge

ZHOU Guanxiong et al.

(Huangzhong University of Science and Technology Wuhan)

### Abstract

We have expanded the limitations of classic pattern recognition and expert system methods in references [ 1 ] and [ 2 ], respectively, and presented the idea of the combination of the two to realize pattern recognition expert system, and given a thinking model of incomplete-reasoning and regressing which is used to realize the above idea. This paper presents a pattern recognition system based on feature and knowledge, i.e., on a background of analysis of rock properties of earthquake section image, and realized by using the above thought model. And some theoretical and practical problems of this method are discussed in detail. An application example is given.

**Keywords:** expert system, pattern recognition, thinking model, incomplete-reasoning and regressing, knowledge-based system.

(上接第28页)

## Hyperstability Method and Its Application in Industrial Robots

XIN Yi CHEN Mian GAO Weibing

(Seventh Lab, Beijing Institute of Aeronautical & Astronautics)

### Abstract

Model Reference Adaptive Control, or MRAC, of a class of systems based on the control of industrial robots is studied by hyperstability method. This paper avoids the drawback of the previous hyperstability method which can not assure asymptotic stability. The method is used to control industrial robots rather well.

**Keywords:** industrial robot, adaptive control, hyperstability,