

基于规则的联想网络¹⁾

高 济 何志均

(浙江大学计算机系)

摘 要

本文提出一种用于人工智能专家系统的知识表达方式——基于规则的联想网络(ANBR), ANBR把智能系统获取的知识表达分为内外两种形式。外部形式是基于规则的知识结构,用于知识的获取和知识库管理;内部形式是分块联想网络,用于驱动推理控制。由于把产生式规则的可理解性和模块性与网络的知识索引和联想推理功能结合于同一系统,使ANBR成为专家系统知识表达的有效方式。

关键词——知识库,知识表达,联想网络,联想推理。

一、引 言

知识表达是人工智能专家系统设计的核心问题之一,因为领域专家提供的知识决定专家系统的问题求解水平,而知识表达和推理方法则提供运用这些知识的机制^[1]。单一的知识表达方式,如产生式规则、框架和联想网络等,由于它们各自的优点,已广泛应用于人工智能的各个领域。但是当知识库因复杂问题的求解而增大时,知识库管理和使用效率的失配就显得严重起来。人们正在探索更好的知识表达方案,其方向之一就是结合不同种类的知识表达方式,使智能系统兼有双重优点。

我们提出基于规则的联想网络 ANBR (Associative Network Based on Rules) 作为知识表达方式,旨在结合产生式规则库易于获取和管理及联想网络加速推理搜索的优点,以期产生更有效的表达和推理功能。ANBR已用于地质探矿专家系统 GPE 的设计²⁾。本文将以此 GPE 系统为例描述 ANBR 的某些概念。

GPE 系统用于帮助现场地质勘探人员预测勘探点地下矿藏的开发前景,由于设计了知识获取框架——探矿预测模型,可适用于多矿种探矿预测知识的获取。我们采用浙江大学地质系柳志青副教授提供的脉状钨矿床预测模型 *VW* 作为第一个探矿预测模型。我们曾用从野外(江西、湖南、广西)采集回来的 37 例钨矿点勘测资料在 GPE 系统上作了探矿预测试验,结果与柳志青钨矿床预测理论基本相符,与矿点实际情况的符合程度也相当好,达到人类专家级水平。

本文于 1987 年 3 月 31 日收到。

- 1) 该系统为国家自然科学基金资助项目, GPE 系统为其应用实例,于 1985 年 4 月通过鉴定。
- 2) 高济, GPE 系统的知识表达,全国第四届人工智能会议论文集,贵阳, 1984。

二、知识表达的基本设想

ANBR 的知识表达分内外两种形式。外部形式是基于规则的知识结构，内部形式是推理联想网络。

产生式规则能够有效地表达逻辑推理知识，特别是那些不精确和不完整的经验知识。由于其表达形式为“条件-行动”或“前提-结论”，与人的推理思维过程十分接近，易于理解，促进了人机交互的知识获取过程。产生式规则具有很好的模块性，方便了知识库的修改和扩充。目前基于规则的知识获取程序已经有了深入研究^[2]，我们将借鉴这些研究成果去提高知识表达的一致性和完整性。若 ANBR 采用基于规则的知识结构作为外部表达形式，当规则库较大时，基于匹配检查来选用规则的推理机制会严重影响推理搜索效率，使用联想网络作为知识的内部表达形式刚好能弥补这一不足。联想网络即语义网络^[3]，传统上用于表达语言理解方面的知识，近年来已逐渐应用于人工智能的各个领域。联想网络由节点和节点之间的联系弧组成，能直观地表达事物之间的关系。网络本身就是一个很好的索引系统，联系弧作为指针加快了推理搜索过程。使网络结构具有吸引力的另一个原因是网络表达功能的充分性，凡是其它形式的符号系统可以编码的信息，都能用网络表达。此外，联想网络能十分方便地实现特性继承，似然率传递和演释跟踪。

我们称一个基于规则的知识结构为问题求解模型。例如，脉状钨矿床预测模型 VW 就是地质探矿方面的一个问题求解模型。一个网络生成程序用于转换问题求解模型为推理联想网络。网络凭借链弧作指针进行联想推理，改变了规则库通过匹配检查控制推理的低效局面，这正是用网络生成程序对规则库作预处理的结果。一个专家系统可以有若干个问题求解模型，它们均置于模型库中，以便随时对其作修改扩充。每个模型都经过预处理生成相应的联想网络，存放在外存，随时均可应用户要求启动作问题求解。

三、问题求解模型

一个问题求解模型由产生式规则集和断言框架集两部分组成。断言包括假设命题和事实命题，以统一的框架形式加以表示。每一个框架由若干个栏目 (Slots) 组成。栏目的名称及其内容格式根据问题求解模型的要求预先加以定义。作为例子，我们观察地质探矿专家系统 GPE 使用的断言框架，如图 1 所示。断言框架的栏目中，除了断言缩写名和断言全文外，其余栏目均可任选。由于这些任选栏目提供了众多的信息，加强了系统的推理能力。特别有吸引力的是系统可借以在不改变控制策略的情况下，给用户提对假设命题和事实命题的解释，指示用户如何准确地回答系统提出的询问，甚至调用特定的子过程去处理数据和执行推理子任务。断言框架将成为推理联想网络中节点记录内容的主要来源。

产生式规则形如 $E \Rightarrow H P(H/E) P(H/\bar{E})$ 。其中 E 为规则的前提； H 为规则的结论； $P(H/E)$ 和 $P(H/\bar{E})$ 分别为规则前提成立和不成立时结论成立的条件概率。对于确定性推理规则，可省略条件概率。为了简化推理联想网络的表达，我们限定规则的结论部分只

- NAME <断言缩写名>
- ASSERTION <断言全文>
- QUESTION <断言提问形式,当不同于断言全文时使用>
- NOTE <断言注释,用以说明地质概念和作用>
- AID <断言回答辅助,指导用户提供可靠的信息>
- PRIOR <断言成立的自然概率>
- THRESHOLD <断言触发阈值,当断言有先决条件时,能触发断言作用的先决条件的概率最低值>
- SUBROUTINE <断言调用的子过程名,子过程可以是函数或子推理系统>

图1 GPE 系统断言框架

能是单一的断言(以缩写名表示)。每一规则的前提部分可以是若干断言(以缩写名表示)的逻辑组合。允许的逻辑运算符按运算优先级顺序排列如下: NOT, AND, OR, K-(先决条件),可用括号改变逻辑运算的优先级。如此,脉状钨探矿预测模型 *VW* 的一条确定性推理规则可以表示如下:

$$(((GBEY \leftarrow EDNS) \text{ AND } FORD) \leftarrow FAU) \text{ AND } FRBG \Rightarrow SIRF.$$

问题求解模型相当于一个产生式系统的规则库。所不同的是产生式系统直接在规则库上进行推理活动,而 ANBR 方案只把规则库视为领域专家知识的原始记录。

四、分块联想网络

ANBR 的内部知识表达形式是一个逻辑级联想网络^[4]。网络节点代表断言,而链弧则表示推理方向(蕴涵)和逻辑关系(与、或、非、先决条件)。通过链弧进行搜索推理,可以模拟人类的联想思维行为。为了有效地组织联想网络上的逻辑推理,我们采用了网络分割技术^[5]。网络中的节点和链弧组织进网络子块,形成分块联想网络。我们限定网络子块最多包含两个节点,从而逻辑关系与、或、非和先决条件就可方便地表示为网络子块的一个特性。网络子块可以视为超节点,出现在其它网络子块中,形成网络子块的嵌套结构。作为例子,我们观察脉状钨矿床预测模型 *VW* 的联想网络片断,如图 2 所示。

通常分块联想网络的存贮形式为三种记录的集合:网络子块、节点和链弧。每个记录型又是若干个指针的集合体,指针分别指向相关的网络子块、节点、链弧特性表或其它信息结构,这些记录通过指针交织在一起形成网络。本方案中,链弧记录退化为网络子块记录和节点记录中的指针场。记录场的内容由网络生成程序根据问题求解模型获取的知识填入或作为中间结果在推理过程中填入。

基于联想网络,推理控制程序可以方便地进行似然率传递、逻辑运算、先决条件评判。网络子块的嵌套结构使得这三方面的推理算法有机地交错在一起,执行问题求解。网络节点通过指针集结了所有涉及断言的信息,构成一种高效的丛生索引组织方式。

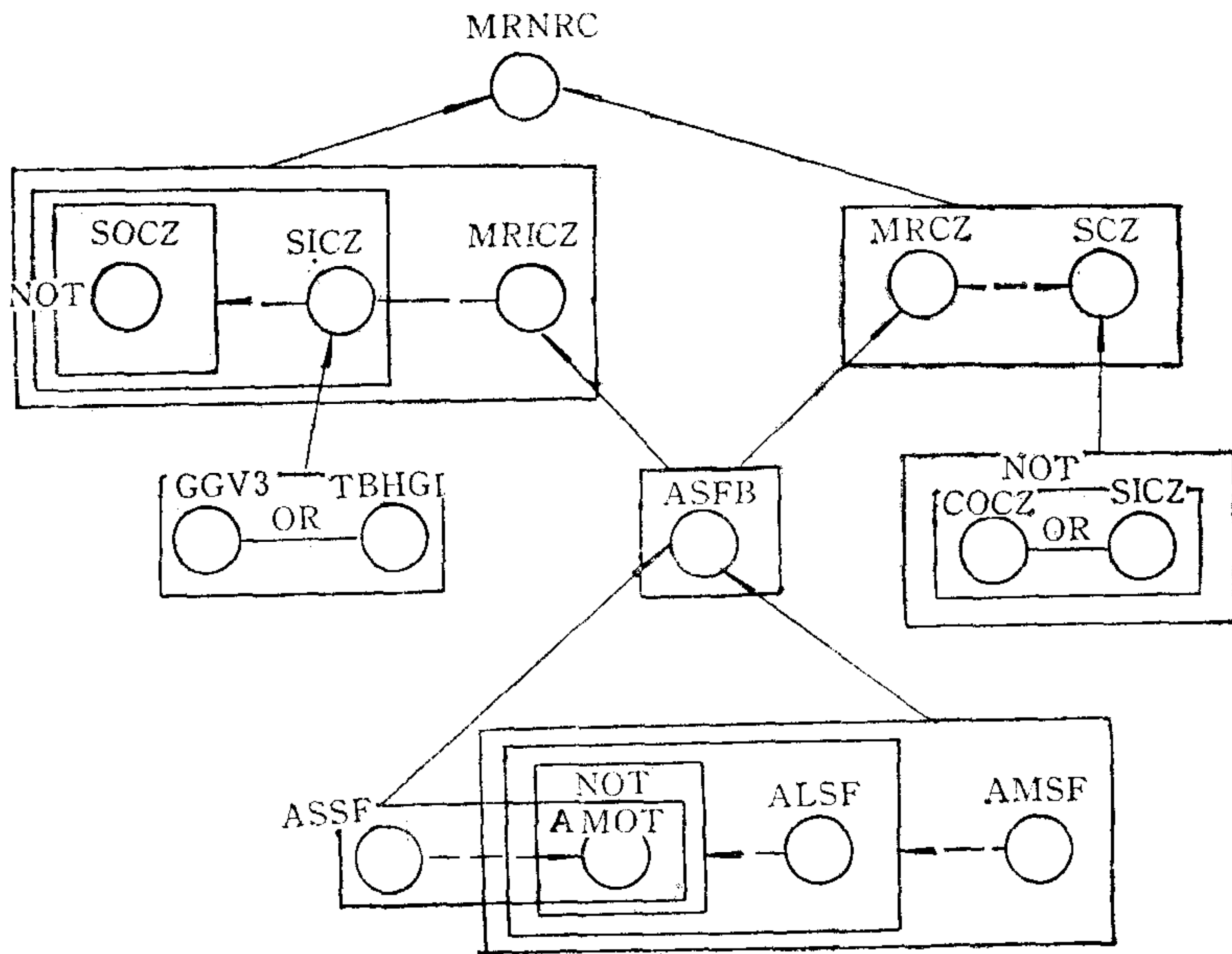


图 2

五、推 理 控 制

现以 GPE 系统为例，描述采用 ANBR 知识表达方式的专家系统的推理机制。GPE 系统流程框图如图 3 所示。系统推理搜索控制采用深度优先的树搜索技术，因为逻辑级联想网络可以通过重复设置断言节点和网络子块展开为推理树，而网络子块的嵌套结构又使得这种树搜索技术能容易地以递归形式实现。考虑到我们已经限定产生式规则结论部分是单一断言，而前提部分可以是多个断言的逻辑组合，显然采用逆向链推理方式简便快速。推理时从问题求解模型的最高目标出发，相继追索前提去支持结论的成立，直至用户提供的现场观测数据或可以调用特定子过程采集证据为止，这就是在网络上推理的联想思维方式。联想网络上的似然率传递是系统进行不精确推理的核心部分。基于非确定

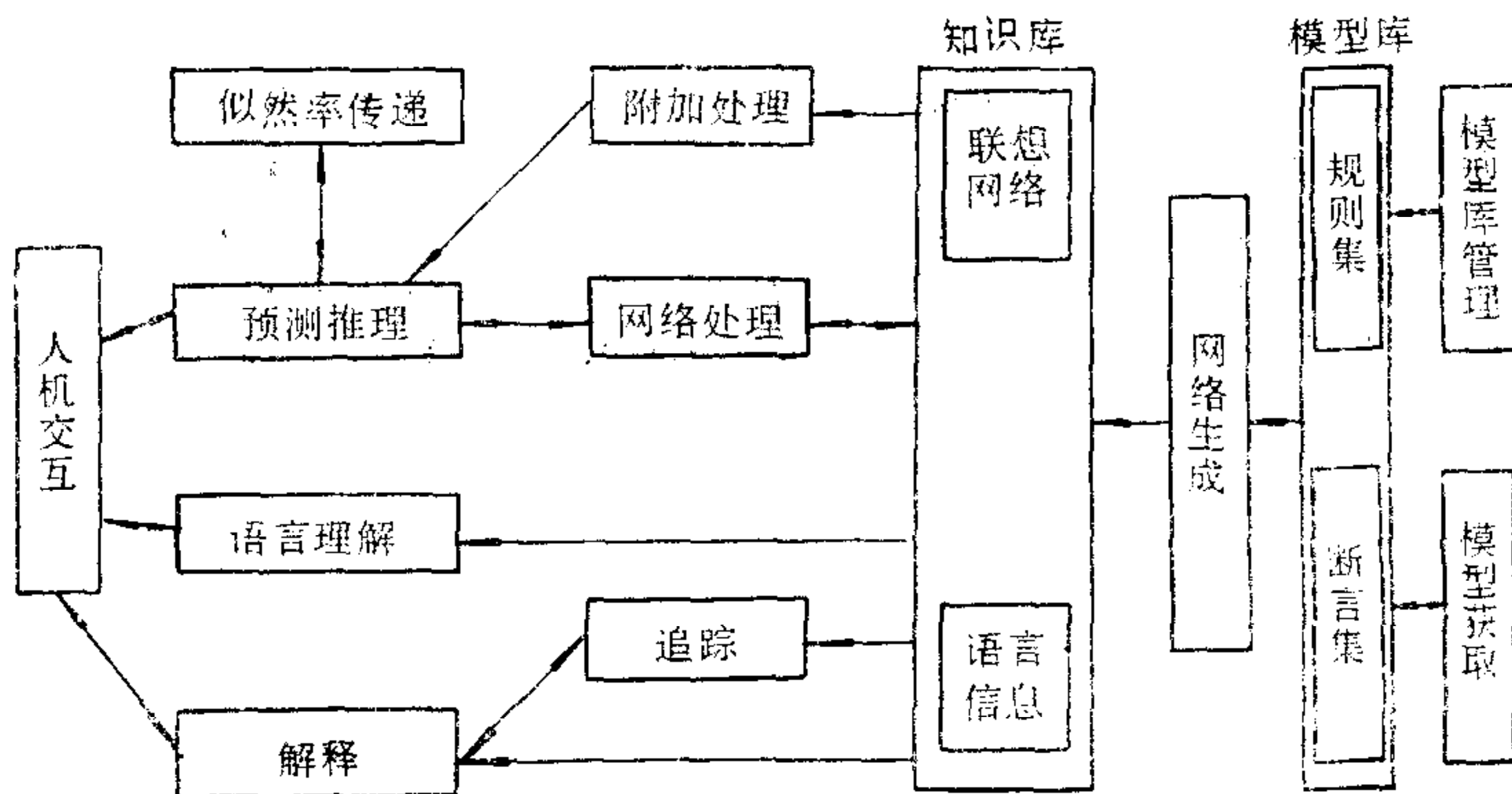


图 3

性规则中给定的条件概率 $P(H/E)$ 和 $P(H/\bar{E})$, 断言成立的自然概率 (先验概率) 以及模糊数学原理, 我们采用 Prospector 的开发者 R. O. Duda 提出的估算方法^[6], 如图 4 所示。

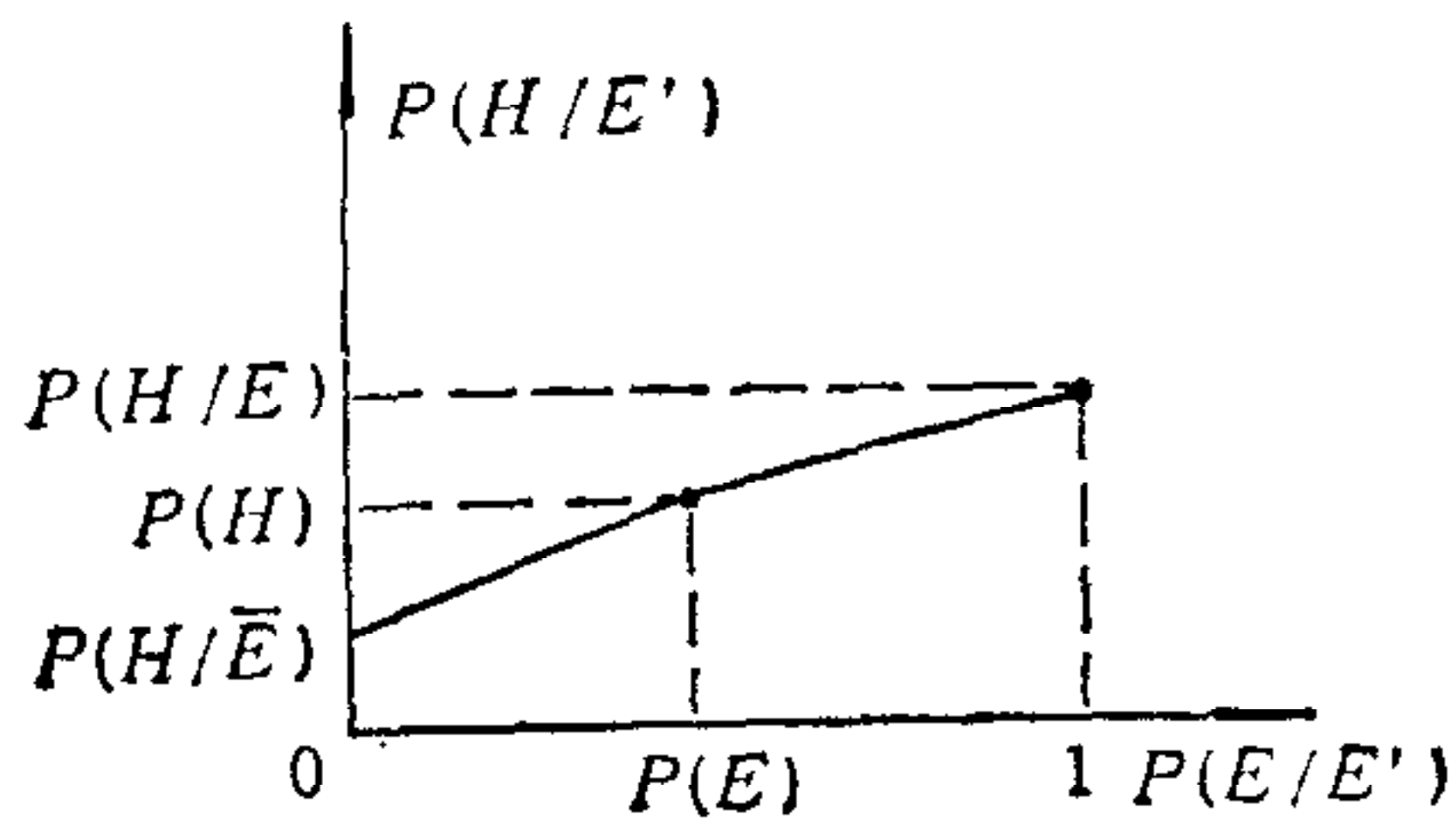


图 4

以 E' 表示非确定的前提状态, 则前提成立的概率记为 $P(E/E')$, 结论成立的概率记为 $P(H/E')$. $P(E)$, $P(H)$ 分别表示推理规则之前提和结论的先验概率。

为了进一步开发 ANBR 的知识表达功能, 提高分块联想网络指导推理活动的有效性, GPE 系统还设计了以下特点:

1) 推理树修剪. 为了避免穷尽搜索, 加速推理判决过程, 逻辑与、或、先决条件用于

做推理树修剪. 先决条件的使用还提供了一种进行启发式搜索的有效手段。

2) 子过程附加. 复杂问题求解领域中, 某些问题难以用统一的方式描述, 例如数值计算和特别推理子任务的执行等. 我们通过在断言框架中增设子过程调用这一栏目来加以解决, 使统一形式表达的知识 and 特别形式表达的知识能够融合在一起, 加强了知识表达和问题求解功能。

3) 推理追踪. 联想网络提供了记忆推理踪迹的好场所, 加上断言框架提供的各种辅助信息, 用户可以在系统推理活动的过程中或结束后对推理过程加以询问和考核. 此外, 推理追踪功能也大大方便了对问题求解模型的测试和维护, 并可指导用户通过问题求解模型学习专门知识。

4) 人机交互汉字化. 人机交互汉字化加速了问题求解模型的获取, 方便了用户, 从而促进了专家系统的推广应用。

参 考 文 献

- [1] Feigenbaum, E. A., The Art of Artificial Intelligence: Themes and Case Studies of Knowledge Engineering, In IJCAI5, 1014—1029.
- [2] Davis, R., Teiresias: Applications of Meta-level Knowledge. Knowledge-based Systems in Artificial Intelligence, New York, McGraw-Hill, 1980.
- [3] Findler, N. V., Associative Networks: The Representation and Use of Knowledge by Computers. New York, Academic Press, 1979.
- [4] Brachman, R. J., On the Epistemological Status of Semantic Network. Associative Networks: The Representation and Use of Knowledge by Computers. New York, Academic Press (1979), 1—50.
- [5] Hentrix, G. G., Encoding Knowledge in Partitioned Networks. Associative Networks: The Representation and Use of Knowledge by Computers, New York, Academic Press (1979), 51—92.
- [6] Duda, R. O., Hart, P. E. and Nilsson, N. J., Subjective Bayesian Methods for Rule-based Inference Systems, In Proceedings of the AFIPS 1976 National Computer Conference, 1075—1082.

THE ASSOCIATIVE NETWORK BASED ON RULES

GAO JI HE ZHIJUN

(Computer Science Department Zhejiang University)

ABSTRACT

A knowledge representation scheme for AI expert systems—the Associative Network Based on Rules (ANBR) is proposed in this paper. By this scheme, the knowledge acquired by an intelligent system is represented in two forms: the outer and the inner. The former is a knowledge structure based on rules and used to acquire knowledge and manage the knowledge base, while the latter is a partitioned associative network and used to direct inference control. Because the ANBR combines the understandability and modularity of production rules and the powers of knowledge indexing and associative inference in networks, it becomes an effective scheme for knowledge representation.

Key words — Knowledge base; knowledge representation; associative network; associative inference.