

一种顺序 PROLOG 机系统结构的研究*

李 真 真

(计算机系)

摘要 文中概述顺序执行 PROLOG 程序的计算机的一种系统结构的研究和实现情况, 主要包括一个扩充的顺序 PROLOG 的抽象执行模型、机器指令系统、编译型 PROLOG 数据库的研究与实现算法、实验系统 YH-SIM-ES 的设计与实现、以及一种支持快速回溯的 PROLOG 机硬件组织的研究。

关键词 系统结构, 模型, Prolog 程序, 顺序执行

分类号 TP391.1

引 言

作者的研究目标是设计一个顺序执行 PROLOG 程序的计算机系统结构, 并研究其实现方法。本课题是新一代计算机预研任务中的一部分。

研究和设计顺序 PROLOG 机的目的主要有两个, 即为研究并行 PROLOG 机积累经验, 提供开发工具和基础处理单元; 以及为推进人工智能、专家系统等知识信息处理领域的发展, 提供具有较高推理和知识处理能力的专用计算机。

自1986年开始, 经过三年时间的探索, 已取得的主要研究成果如下:

- (1) 提出了一种功能完善的抽象 PROLOG 机模型—YH-SIM;
- (2) 扩充设计了 YH-SIM 指令系统;
- (3) 提出了一种结构化的编译型 PROLOG 数据库组织形式, 并设计了一系列快速、简洁的实现算法;
- (4) 设计并实现了一个顺序 PROLOG 实验系统 YH-SIM-ES;
- (5) 设计了一种支持快速回溯的 PROLOG 机硬件组织。

1 YH-SIM: 一种功能完善的顺序 PROLOG 机抽象模型

PROLOG 作为一种程序设计语言, 除了过程语义外, 还具有问题求解语义和数据库语义。多种不同的语义是支撑多种应用领域的基础。研制一个实用的 PROLOG 机, 在机器的系统结构中必须对 PROLOG 的各种语义逐一提供支持。

* 本课题由国家自然科学基金部分地资助, 博士论文摘要

1988年8月23日收稿

以一个代表当前顺序 PROLOG 机研究的先进水平、但尚不完善的 WAM 模型为基础，我们提出一个新的功能比较完整的顺序 PROLOG 机系统结构，即 YH-SIM 模型，它主要有如下三个组成部分。

(1) 顺序 PROLOG 求解机制与栈式结构

按最左子目标优先的法则确定 PROLOG 程序的问题求解空间；

按子句书写顺序优先、深度优先加回溯的策略搜索确定的问题求解空间；

用栈式存储结构自然地支持上述的深度优先加回溯的搜索策略。

(2) PROLOG 数据库

PROLOG 程序的数据库语义，是 PROLOG 能够支持知识信息处理的关键。从实现的角度来看，它要求 PROLOG 程序不能象传统计算机那样存放，而应该组织成具有丰富功能的数据(或程序)库。因此，顺序 PROLOG 系统的存储空间将主要由两部分组成，即 PROLOG 数据库区和工作区(栈)。

PROLOG 数据库的实现，包括一种结构化的编译型 PROLOG 数据库组织及其管理策略，DBOP 谓词的快速实现，以及子句的表示方法。

(3) 抽象 PROLOG 机指令与预处理

PROLOG 允许多重过程定义(多个子句)以及以变元一致化作为参数传递手段。故它比其它 AI 语言更好地支持了人工智能应用的非确定性。然而，这却是以牺牲执行效率为代价的。利用预处理的手段(即编译环节)将 PROLOG 程序执行的不确定性操作和复杂操作转换成相对确定、功能简单的操作(机器指令)序列。这是一条提高执行效率的重要途径。

图 1 描述了 YH-SIM 模型的各个成份对于 PROLOG 语言及其应用间的支撑关系，即顺序 PROLOG 求解机制支撑 PROLOG 的问题求解语义；PROLOG 数据库支撑 PROLOG 的数据库语义；而抽象机器指令系统和编译器作为整个模型的基础，对 PROLOG 程序的执行效率起着关键作用。

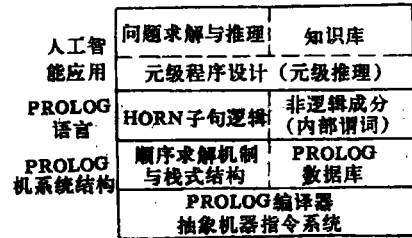


图 1 PROLOG 机系统结构及其与语言、应用的关系

2 YH-SIM 指令系统与 PROLOG 编译器设计

YH-SIM 系统结构的具体内容主要包括存储空间的定义和功能划分，数据字、数据类型定义和表示方法，寄存器与机器状态，YH-SIM 机器指令集合，以及 PROLOG 编译器的研究与设计。

与 WAM 模型相比，作者有代表性的工作主要有如下几方面。

(1) 增设了模块说明指令、扩充了跟踪栈 TRAIL 的功能，旨在支持 PROLOG 数据库的有效实现。

(2) 研究了 PROLOG 的非逻辑成分(即内部谓词)的一般实现方法，增设了通用和专用两类内部谓词指令，尤其是设计了快速实现 CUT 的专用指令和相应的编译过程。

3 一个结构化的编译型PROLOG数据库及其实现研究

编译型 PROLOG 数据库在概念上是由两个子库即代码库和源库组成。本文中提出一种根据这两个子库在结构上耦合的程度,对编译型 PROLOG 数据库的各种结构方案进行分类的方法,分析和评价了几种典型的结构形式及其有关的存储管理方法。

在 YH-SIM 系统结构的支持下,本文中提出了编译型 PROLOG 数据库的一种一体化结构形式,见图 2,其中:

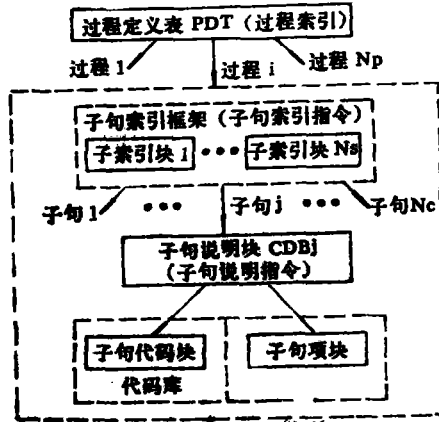


图 2 PROLOG数据库结构

(1) PROLOG 数据库中的过程是由过程定义表 PDT 进行登记和管理的。PDT 由过程定义块 PDB 组成,一个 PDB 对应数据库中定义的一个谓词;

(2) 一个过程由子句及子句索引两部分组成,且彼此分离;

(3) 子句索引按照具体的索引机制,又分为多个专门的子索引块,降低因数据库操作导致的索引重构开销;

(4) 一个子句按两种方式存于数据库中,即代码形式和数据(项)形式,通过唯一的子句说明块 CDB 联系在一起,且共享同一索引框架。因此,两种形式的子句(库)的管理是统一的,开销降低一半;数据库操作(访问数据形式的子句)和逻辑推理(执行子句代码)可以一致地使用过程中的索引框架,从而获得了: a) 逻辑与非逻辑成分实现的一致性、简洁性; b) 数据库操作的高效率。

以过程定义表 PDT 的子句说明块 CDB 为基础,作者设计了简单而有效的登记和管理策略,以过程为使用登记单位,以子句为删除登记单位。

基于上述的 PROLOG 数据库结构及其管理策略,将数据库操作谓词定义成一般 PROLOG 过程,既加强了它的非确定性特征,又获得了实现的简洁性和高效率。

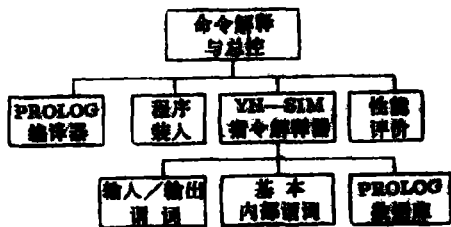


图 3 YH-SIM-ES 的系统组成

PROLOG 数据库必须支持子句的双重特征，为此深入研究了子句在数据库中的表示方法，设计了并存项(拷贝)方法和反编译方法的详细实现算法和过程。尤其是利用扩充的跟踪栈 TRAIL，完全、高效地解决了项复制中变量共享关系的传递，使并存项(拷贝)方法成为优越性较大的一种子句表示方法。

4 顺序 PROLOG 机实验系统 YH-SIM-ES 的研究与设计

作者在 VAX-11/780 上用 PROLOG 和 C 语言编写，实现了旨在模拟 PROLOG 程序的执行过程和对 YH-SIM 系统结构的各种实现方案进行正确性验证和性能评价的顺序 PROLOG 机实验系统 YH-SIM-ES，其系统构成见图 3，主要有八个功能模块。

通过在 YH-SIM-ES 中运行典型的 PROLOG 测试程序，已经进行了系统结构与 PROLOG 数据库实现算法的正确性验证。

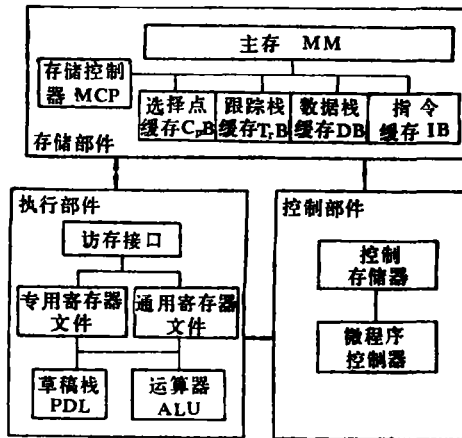


图 4 YH-SIM 硬件的总体结构

5 YH-SIM 硬件组织的研究

在顺序 PROLOG 机硬件组织方面，作者着重对存储子系统进行了研究，寻求解决顺序 PROLOG 系统的访存瓶颈问题。作者提出一种支持顺序 PROLOG 求解机制的存储器方案，即多专用 Cache 结构(图 4)。设置了常规 Cache 和栈式 Cache (即栈式缓存)，分别支持存储空间中的随机访问区域和栈式访问区域。多重专用 Cache 的设置，有效地吻合了顺序 PROLOG 机系统结构的基本特点，提高了 Cache 层次的功效。文中具体给出了选择点缓存的控制和调度策略。

致 谢

感谢指导老师慈云桂教授的悉心指导和帮助。

参 考 文 献

[1] Buettner K A, Fast Decompilation of Compiled Prolog Clauses, In Proceedings

- of the 3rd International Conference on Logic Programming, 1986
- [2] Chang C L and Lee R S T. Symbolic Logic and Mechanical Theorem Proving. Academic Press, New York, 1973
- [3] Clocksin W F. Implementation Techniques for Prolog Databases. In SOFTWARE—PRACTICE AND EXPERIENCE, 1985, 15(7): 669~676,
- [4] Clocksin W F. and Maillish, C Programming in PROLOG. Springer-Verlag, 1981
- [5] Dobry T P, et al. Design Decisions Influencing the Microarchitecture for a Prolog Machine. In Proceedings of the MICRO 17, 1984
- [6] Fuchi K and Furukawa K. The Role of Logic Programming in the Fifth Generation Computer Project. In Proceedings of the 3rd International Conference on Logic Programming, 1986
- [7] Kowalski R A. Logic for Problem Solving. Elsevier North Holland Inc. New York, 1979
- [8] Kursawe P. How to Invent a Prolog Machine. In Proceedings of the 3rd International Conference on Logic Programming, 1986
- [9] Lloyd J W. Foundations of Logic Programming. Berlin, Springer Verlag, 1984
- [10] Lloyd J W. An Introduction to Deductive Database Systems. Australian Computer Journal, 1983, 15(2): 52~57
- [11] Pereira F C N. C-Prolog User's Manual. SRI International, Menlo Park, California 1983
- [12] Pereira L M F and Warren D H D. User's Guide to Dec-10 Prolog. Department of Artificial Intelligence, University of Edinburgh, 1978
- [13] Roy P V. A PROLOG Compiler for the PLM, Master's Thesis. Computer Science Division, University of California, Berkeley, 1984
- [14] Warren D H D. An Abstract Instruction Set, Technical Note 309, SRI International, 1983
- [15] Warren D H D. Optimizing Tail Recursion in Prolog. In Logic Programming and Its Applications, Caneghem M and Warren D H. D (Eds.), Ablex Publishing Corporation, Norwood, New Jersey, 1986
- [16] Warren D H D. Applied Logic—Its Use and Implementation as a Programming Tool. Technical Note 209, AI Center, SRI International, 1983
- [17] 李良良. 一种顺序PROLOG机系统结构的研究. 国防科大博士学位论文, 1987
- [18] 慈云桂, 刘桂仲, 孙成政, 张晨曦, 李良良, 王志英. 新一代计算机的研究——我们的工作与初步结果. 全国新一代计算机学术研讨会, 1987
- [19] 张晨曦, 慈云桂, 李良良, 胡运发. An Approach to the Implementation of Prolog Code Databases and Source Databases in Compiler-Based Systems. In Proceedings of the Fourth International Symposium on Logic Programming, 1987
- [20] 李良良, 慈云桂. YH—SIM: 一种支持 PROLOG 数据库操作的顺序推理机系统结构. 全国新一代计算机学术研讨会, 1987
- [21] 李良良, 慈云桂. 编译型 PROLOG 程序的反编译算法及其实现. 计算机研究与发展新一代计算机专辑, 1987
- [22] 李良良, 慈云桂. 一种结构化的编译型 PROLOG 数据库及其管理方法. 国防科学技术大学学报, 1988, 10(2)
- [23] 李良良, 张晨曦. 顺序推理机研究中几个重要问题. 国防科学技术大学学报, 1987, 9(3)
- [24] 张晨曦, 李良良. PROLOG 编译器的设计. 人工智能学报, 1987, (6)

- [25] 李良良. 编译型PROLOG数据库操作的一体化实现方法. 广州: 全国DB-AI-MIS-DSS学术讨论会, 1988
- [26] GKD-PROLOG/VAX780 V1.1 系统参考手册. 国防科学技术大学计算机系智能计算机研究室, 1986

Studies on an Architecture of Sequential PROLOG Machines

Li Liangliang

Abstract

In this paper outlined are the studies on YH-SIM—an architecture for sequential PROLOG machines, including an extended sequential execution model of PROLOG programs, the instruction set, the implementation of compiler-based PROLOG database operations, the experimentation system YH-SIM-ES, and the study of the machine hardware organizations.

Key words: system architecture, model, prolog program, sequential execution