

学校编码: 10384

分类号 \_\_\_\_\_ 密级 \_\_\_\_\_

学号: 23020071151305

UDC \_\_\_\_\_

厦 门 大 学

硕 士 学 位 论 文

类型一阶逻辑的基础理论研究

Research on Basic Theories of Typed First-order Logic

徐 丹

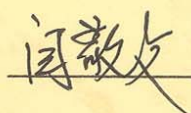
指导教师姓名: 赵致琢 教授

专业名称: 计算机软件与理论

论文提交日期: 2010 年 5 月

论文答辩日期: 2010 年 月

学位授予日期: 2010 年 月

答辩委员会主席: 

评 阅 人: \_\_\_\_\_

2010 年 5 月

厦门大学博硕士学位论文摘要库

## 厦门大学学位论文原创性声明

本人呈交的学位论文是本人在导师指导下,独立完成的研究成果。本人在论文写作中参考其他个人或集体已经发表的研究成果,均在文中以适当方式明确标明,并符合法律规范和《厦门大学研究生学术活动规范(试行)》。

另外,该学位论文为( )课题(组)的研究成果,获得( )课题(组)经费或实验室的资助,在( )实验室完成。(请在以上括号内填写课题或课题组负责人或实验室名称,未有此项声明内容的,可以不作特别声明。)

声明人(签名):

徐丹

2010年6月2日

厦门大学博硕士学位论文摘要库

## 厦门大学学位论文著作权使用声明

本人同意厦门大学根据《中华人民共和国学位条例暂行实施办法》等规定保留和使用此学位论文，并向主管部门或其指定机构送交学位论文（包括纸质版和电子版），允许学位论文进入厦门大学图书馆及其数据库被查阅、借阅。本人同意厦门大学将学位论文加入全国博士、硕士学位论文共建单位数据库进行检索，将学位论文的标题和摘要汇编出版，采用影印、缩印或者其它方式合理复制学位论文。

本学位论文属于：

1. 经厦门大学保密委员会审查核定的保密学位论文，  
于 年 月 日解密，解密后适用上述授权。

2. 不保密，适用上述授权。

（请在以上相应括号内打“√”或填上相应内容。保密学位论文应是已经厦门大学保密委员会审定过的学位论文，未经厦门大学保密委员会审定的学位论文均为公开学位论文。此声明栏不填写的，默认为公开学位论文，均适用上述授权。）

声明人（签名）：

徐丹

2010年6月2日

厦门大学博硕士学位论文摘要库

## 摘要

Prolog是目前最典型和最具代表性的逻辑程序设计语言，但是它在实际的研究和使用中暴露出了诸多不足，Gödel语言的提出很好的解决Prolog的问题。

Gödel语言是继Prolog语言之后出现的新型说明性通用逻辑程序设计语言。它摒弃了Prolog语言中的非逻辑成分，引入了多态多类的类型系统，增加了延迟计算等新的语言成分，具有灵活的计算规则和剪枝操作。这些特点使得它成为一种功能强大的、高效的说明性逻辑程序设计语言。然而，由于缺乏严格的理论基础，包括语法和语义等相关基础理论的支撑，到目前为止，实用的Gödel语言的编译系统始终没有能够推出。为此，首先需要发展Gödel语言的理论基础，建立一整套比较完善的理论体系，为最终编译系统的实现奠定必要的基础。

本文着眼于建立一个带类型的一阶逻辑系统，为Gödel语言奠定必要的数学基础。首先，在绪论部分，概要介绍逻辑程序设计语言Prolog和Gödel，给出了本文主要工作的研究背景。接着，对传统的一阶逻辑进行扩展，引入类型，给出了带类型的一阶逻辑系统，完整地给出了类型一阶逻辑的语法和语义的基本知识。在此基础上，详细证明了一组类型一阶逻辑的逻辑推理关系，给出并阐述了形式推理规则，之后运用形式推理规则证明了一系列重要形式定理。最后，进一步阐述了类型一阶逻辑的两个重要的系统特征：可靠性和完备性。本文从总体上建立了一个较为完整的类型一阶逻辑系统，为今后深入地开展Gödel语言的语义研究奠定了必要的基础。随着今后对类型一阶逻辑系统理论的不完善，以类型一阶逻辑为基础的Gödel语言逻辑程序设计必将取得大的进展和突破。

**关键词：**逻辑程序设计语言； Gödel语言； 类型一阶逻辑

厦门大学博硕士学位论文摘要库



## Abstract

Prolog is the most typical and representative logic programming language, but many inadequacies are exposed in the actual research and use, Gödel language can solve the problems of Prolog well.

Gödel is a new declarative general logic programming language after the Prolog language. It rejects the non-logical components in Prolog language, introduces a polymorphic and polytypic type system, adds new language elements such as delay calculation and pruning operation, which make it a powerful and efficient declarative logic programming language. However, due to the lack of rigorous theoretical foundation, practical language compiler system has not been launched so far. The theoretical foundation of Gödel language should be developed first and a set of relatively complete theoretical system is established to finally realize the compiling system.

This dissertation aims for building a typed first-order logic system, in the introduction part, an overview of the logic programming language as well as the Prolog and Gödel language is given. And the traditional logic system is extended, in which type is introduced into the system, typed first-order logic is put forward and its complete syntax and semantics definition is given. Based on that, ratiocinative rules of typed first-order logic; the formal ratiocinative rules, and a series of important theorems proved by formal ratiocinative rules are introduced in detail respectively. Finally, two important system characters — reliability and completeness — are presented. In this dissertation, a more general and complete system for further theoretical studies of Gödel has been set up. With the gradual improvement of typed first-order logic theory, the logic programming language Gödel based on the typed first-order logic will certainly make much more progress and breakthrough.

**Keywords:** Logic Programming Language; Gödel Language; Typed First-order Logic

厦门大学博硕士学位论文摘要库

|   |     |
|---|-----|
| 摘 要.....  | I   |
| Abstract.....                                       | III |
| 第一章 绪 论 .....                                       | 1   |
| 1.1 逻辑程序设计 .....                                    | 1   |
| 1.1.1 逻辑程序设计概述.....                                 | 1   |
| 1.1.2 逻辑程序设计语言 Prolog.....                          | 2   |
| 1.2 Gödel 语言 .....                                  | 3   |
| 1.2.1 Gödel 语言的研究意义.....                            | 4   |
| 1.2.2 Gödel 语言的研究现状.....                            | 5   |
| 1.2.3 类型一阶逻辑简介.....                                 | 5   |
| 1.3 本文的结构 .....                                     | 6   |
| 第二章 类型一阶逻辑的语法和语义知识.....                             | 7   |
| 2.1 类型一阶逻辑的语法知识 .....                               | 7   |
| 2.2 类型一阶逻辑的语义知识 .....                               | 15  |
| 2.3 小结 .....  | 22  |
| 第三章 类型一阶逻辑 $F^\tau$ 和 $F^{\tau*}$ 的逻辑推理关系 .....     | 23  |
| 3.1 类型一阶逻辑 $F^\tau$ 的逻辑推理规则 .....                   | 23  |
| 3.2 类型一阶逻辑 $F^{\tau*}$ 的逻辑推理规则 .....                | 28  |
| 3.3 小结 .....  | 37  |
| 第四章 类型一阶逻辑 $F^\tau$ 和 $F^{\tau*}$ 的形式推理规则以及定理 ..... | 39  |
| 4.1 类型一阶逻辑 $F^\tau$ 的形式推理规则 .....                   | 39  |

|  |           |
|--|-----------|
| 4.2 类型一阶逻辑 $F^{\tau^*}$ 的形式推理规则 .....          | 41        |
| 4.3 类型一阶逻辑 $F^{\tau}$ 和 $F^{\tau^*}$ 的关系 ..... | 44        |
| 4.4 形式推理关系（形式定理） .....                         | 45        |
| 4.5 小结 .....                                   | 63        |
| <b>第五章 类型一阶逻辑的可靠性与完备性 .....</b>                | <b>65</b> |
| 5.1 基数相关定理 .....                               | 65        |
| 5.2 可靠性与协调性 .....                              | 70        |
| 5.3 完备性 .....                                  | 71        |
| 5.4 小结 .....                                   | 72        |
| <b>第六章 总结和展望 .....</b>                         | <b>73</b> |
| <b>参 考 文 献 .....</b>                           | <b>75</b> |
| <b>致 谢 .....</b>                               | <b>77</b> |

## Contents

|   |            |
|---|------------|
| <b>Abstract in Chinese</b> .....  | <b>I</b>   |
| <b>Abstract in English</b> .....  | <b>III</b> |
| <b>Chapter 1 Introduction</b> .....   | <b>1</b>   |
| <b>1.1 Logic Programming</b> .....  | <b>1</b>   |
| 1.1.1 Overview of Logic Programming .....   | 1          |
| 1.1.2 Logic Programming Language Prolog .....   | 2          |
| <b>1.2 Gödel Language</b> .....   | <b>3</b>   |
| 1.2.1 Significance of Gödel Research .....  | 4          |
| 1.2.2 Status of Gödel Language .....  | 5          |
| 1.2.3 Brief Introduction of Typed First-order Logic .....                                   | 5          |
| <b>1.3 Structure of This Dissertation</b> .....   | <b>6</b>   |
| <b>Chapter 2 Basic Knowledge of Typed First-order Logic and Gödel</b> ...                   | <b>7</b>   |
| <b>2.1 Grammar of Typed First-order Logic</b> .....   | <b>7</b>   |
| <b>2.2 Semantics of Typed First-order Logic</b> .....                                       | <b>15</b>  |
| <b>2.3 Summary</b> .....  | <b>22</b>  |
| <b>Chapter 3 Logic Rules of Inference in Typed First-order Logic</b> .....                  | <b>23</b>  |
| <b>3.1 Logic Rules of Inference of Typed First-order Logic <math>F^{\tau}</math></b> .....  | <b>23</b>  |
| <b>3.2 Logic Rules of Inference of Typed First-order Logic <math>F^{\tau*}</math></b> ..... | <b>28</b>  |
| <b>3.3 Summary</b> .....  | <b>37</b>  |
| <b>Chapter 4 Formal Rules of Inference in TFL and its Theorems</b> .....                    | <b>39</b>  |

|  |           |
|--|-----------|
| <b>4.1 Formal Rules of Inference in Typed First-order Logic <math>F^{\tau}</math></b> .....                | <b>39</b> |
| <b>4.2 Formal Rules of Inference in Typed First-order Logic <math>F^{\tau*}</math></b> .....               | <b>41</b> |
| <b>4.3 Relation between Typed First-order Logic <math>F^{\tau}</math> and <math>F^{\tau*}</math></b> ..... | <b>44</b> |
| <b>4.4 Formal Relations of Inference(Theorems)</b> .....   | <b>45</b> |
| <b>4.5 Summary</b> .....   | <b>63</b> |
| <b>Chapter 5 Reliability and Completeness of TFL</b> .....   | <b>65</b> |
| <b>5.1 Cardinality-related Theorems</b> .....  | <b>65</b> |
| <b>5.2 Reliability and Consistency</b> .....   | <b>70</b> |
| <b>5.3 Completeness</b> .....  | <b>71</b> |
| <b>5.4 Summary</b> .....   | <b>72</b> |
| <b>Chapter 6 Conclusions and Prospect</b> .....  | <b>73</b> |
| <b>References</b> .....  | <b>75</b> |
| <b>Acknowledgement</b> .....   | <b>77</b> |

## 第一章 绪论

Gödel 作为一种继 Prolog 之后的新型说明性逻辑程序设计语言，由于它的设计中引入了一系列新的语言成分、控制机制，其发展对逻辑程序设计具有十分重要的意义。本文重点研究 Gödel 语言的理论基础，探索建立了一个带类型的一阶逻辑系统（以下简称类型一阶逻辑）。这一章，首先介绍逻辑程序设计的概念、逻辑程序设计语言 Prolog 和 Gödel，阐述了论文主要研究工作的背景，然后概要介绍了类型一阶逻辑。

### 1.1 逻辑程序设计

逻辑程序设计源于自动定理证明，其中，运用了演绎推理的思想。逻辑程序设计语言的产生是长期以来逻辑学与计算机科学紧密结合发展的结果。McCarthy 最早提出了用基于逻辑的语言来表达知识。在机器定理证明的研究中，Robinson 提出了消解原理，随后又出现了一些对它的改进。以上述研究为背景，Kowalski 提出了逻辑程序设计的思想<sup>[16]</sup>。

#### 1.1.1 逻辑程序设计概述

理想的逻辑程序设计就是纯粹的说明性程序设计<sup>[2]</sup>。对于传统的程序设计来说，算法的逻辑意义往往被程序复杂的控制成分所掩盖，使程序的正确性难以理解或得到证明。通常，高级程序设计语言属于过程性语言，用这样的语言写程序，需要事先详细规定计算的运行步骤。Kowalski 对传统的算法和用通常高级语言编写的程序提出了一个著名的分析公式，即算法=逻辑+控制。其基本思想是要从根本上改变程序设计的方法：用户只需要编写程序的逻辑部分（逻辑程序设计之名由此而来），而系统中的解释程序则实施控制部分的职能。这种将逻辑与控制分开的方法具有下列的优点：

- ① 可以在控制部分设计之前不断改进逻辑程序；
- ② 可以改进控制部分而无需变动逻辑程序本身；
- ③ 可以从程序说明中生成逻辑程序，加以验证和变换，而无需考虑其控制

部分：

④ 只需在逻辑程序中规定目标和实现这些目标的现有条件，也就是只需告诉系统做什么(What to do)，至于如何执行也就是说怎样做 (How to do)，则由系统的控制部分，即解释程序处理解决<sup>[5]</sup>。

### 1.1.2 逻辑程序设计语言 Prolog

逻辑程序设计语言将逻辑系统作为语言进行计算机程序设计<sup>[4]</sup>。Prolog 是目前最典型和最具代表性的逻辑程序设计语言，它以一阶谓词逻辑的一个特殊的子集作为其语言和语义的理论基础，自 1974 年推出以来，曾一度风靡全球，取得了很大的成功。

Prolog 语言的基本语句为子句，属于一阶逻辑的一个子集，称为 Horn 子集。Horn 子句的一般形式为： $A \leftarrow B_1, B_2, \dots, B_n$ ，其中  $A, B_i (1 \leq i \leq n)$  都是原子公式，分别代表结论和前提的形式。前提部分是各原子的合取式，构成子句体，结论部分最多只有一个原子，称为子句头。由此可将 Horn 子句分成两个基本类型：

① 有头 Horn 子句（用于表示一条规则）。例如

$\text{grandfather}(x, z) \leftarrow \text{father}(x, y), \text{father}(y, z)$

表示： $x$  是  $y$  的父亲且  $y$  是  $z$  的父亲，则  $x$  是  $z$  的祖父。

有头无体的 Horn 子句是一个断言（用于表示一个事实）。例如

$\text{father}(A, B)$

表示： $A$  是  $B$  的父亲。

② 无头 Horn 子句，称为目标语句（用来表示结论的否定式）。例如

$\leftarrow \text{grandfather}(A, C)$

表示： $A$  不是  $C$  的祖父。

历史上，逻辑学家 A. 霍恩对这类子句的性质作了详尽的研究，Horn 子句因此得名。

从问题归约的角度看，可将 Horn 子句解释为一过程，它将问题（目标） $A$  归约为若干子问题（子目标），每一子问题  $B_i (1 \leq i \leq n)$  又可解释为对其他过程（Horn 子句）的调用。有头无尾的 Horn 子句则代表一个已知其解的基元问题。过程调用实际上是让构成子句体的一个原子（子目标）与某一子句头匹配，即运



Degree papers are in the "[Xiamen University Electronic Theses and Dissertations Database](#)". Full texts are available in the following ways:

1. If your library is a CALIS member libraries, please log on <http://etd.calis.edu.cn/> and submit requests online, or consult the interlibrary loan department in your library.
2. For users of non-CALIS member libraries, please mail to [etd@xmu.edu.cn](mailto:etd@xmu.edu.cn) for delivery details.

厦门大学博硕士论文摘要库