

机器思维的数学原理

朱平, 邹卫明, 吕珀华, 史进, 蒋学涛, 马益荣

引用本文

朱平, 邹卫明, 吕珀华, 史进, 蒋学涛, 马益荣. [机器思维的数学原理](#)[J]. 计算机科学, 2024, 51(6A): 230900104-8.

ZHU Ping, ZOU Weiming, LYU Pohua, SHI Jin, JIANG Xuetao, MA Yirong. [Mathematical Principles of Machine Thinking](#) [J]. Computer Science, 2024, 51(6A): 230900104-8.

相似文章推荐 (请使用火狐或 IE 浏览器查看文章)

Similar articles recommended (Please use Firefox or IE to view the article)

[集合交集与并集的安全多方计算](#)

Secure Multiparty Computation of Set Intersection and Union

计算机科学, 2024, 51(2): 371-377. <https://doi.org/10.11896/jsjcx.221000235>

[基于N-list和DiffNodeset结构的频繁项集并行挖掘算法](#)

Parallel Mining Algorithm of Frequent Itemset Based on N-list and DiffNodeset Structure

计算机科学, 2023, 50(11): 55-61. <https://doi.org/10.11896/jsjcx.221000011>

[基于嵌套集合模型的时态层次数据管理方法](#)

Temporal Hierarchical Data Management Based on Nested Intervals Scheme in Relational Database

计算机科学, 2023, 50(6A): 220500290-5. <https://doi.org/10.11896/jsjcx.220500290>

[基于思维图的复杂算法设计和维护方法](#)

Complex Algorithm Design and Maintenance Based on Thinking Map

计算机科学, 2021, 48(11A): 682-687. <https://doi.org/10.11896/jsjcx.210100065>

[基于价格趋势驱动的元学习算法在线投资组合策略](#)

Meta-learning Algorithm Based on Trend Promote Price Tracing Online Portfolio Strategy

计算机科学, 2021, 48(11A): 608-615. <https://doi.org/10.11896/jsjcx.201100068>

机器思维的数学原理

朱平^{1,2} 邹卫明³ 吕珀华¹ 史进³ 蒋学涛¹ 马益荣³

1 北京博大网信股份有限公司 北京 101111

2 泰豪智慧城市研究院 北京 100176

3 北京泰豪智能工程有限公司 北京 100176

(1401626437@qq.com)

摘要 本研究以构建以人类可以理解的方式寻找解决实际问题的方法与步骤的机器思维机制为目的。数学是人类描述客观世界状态和运行规律的重要思维工具。数学也是机器类人自动求解问题答案、解释运行方法和生成中间步骤的重要工具。客观世界的描述语言表述形式多样、规模巨大且特征稀疏,其语义表示、语义积聚、语义分析、以及机器思维机制的实现方法都是基于用例积累渐进式明晰和完善的。在数学应用题类人自动求解领域,机器思维主要依靠的基本数学概念及其蕴含的计算理论包括集合、比例(分数)、不等关系、枚举和数据归纳与推导(趋势判别)等。从机器思维系统实现的角度,以集合对象及其比例计算的语义渐进积聚和识别为例,讨论了数学原理在机器思维系统中的应用技术路线。最后,用示例介绍了机器自动类人求解一道具体的初等数学应用题的完整过程和中间步骤,展望了机器思维应用不等关系、枚举、数轴、坐标系和数学归纳与推导等数学工具的方法和前景。

关键词 机器思维;集合;比例;数学对象;数学概念

中图分类号 TP391

Mathematical Principles of Machine Thinking

ZHU Ping^{1,2}, ZOU Weiming³, LYU Pohua¹, SHI Jin³, JIANG Xuetao¹ and MA Yirong³

1 Beijing Broad Network & Information Company Limited, Beijing 101111, China

2 Tellhow Institute of Smart City, Beijing 100176, China

3 Beijing Tellhow Intelligent Engineering Company Limited, Beijing 100176, China

Abstract Constructing machine thinking mechanisms that are understandable to humans is the ultimate goal of this paper. Mathematics is an important thinking tool for humans to describe the state and running laws of the objective world, and is also a tool for machines to automatic resolving, interpretable running, and intermediate steps generating. The description language of the objective world has diverse forms, huge scale, and sparse features. Its semantic representation, semantic accumulation, semantic analyzing, and the implementation of machine thinking mechanisms are all based on progressive clarity and perfection by use cases. In the field of automatic humanoid solving elementary mathematic application problem, machine thinking mainly relies on basic mathematical concepts and their underlying computation theories, including set, proportion (fraction), unequal relationship, enumeration, and data induction and derivation (trend discrimination). Taking the semantic gradual accumulation and recognition of set elements and their proportions as the example, this paper discusses the application technology of mathematical principles in machine thinking systems from the perspective of machine thinking system implementation. Finally, an example is presented to illustrate the complete process and intermediate steps of machine automated humanoid resolving a specific elementary mathematic application problem. The methods and prospects of using mathematical tools such as inequality, enumeration, number axis, coordinate system, and mathematical induction and deduction in machine thinking are discussed.

Keywords Machine thinking, Set, Proportion, Mathematical object, Mathematical concept

1 引言

基于知识工程的机器思维是机械的、可解释的和图灵可计算的^[1-2]。数学是人类了解和描述客观世界及其运行规律的工具。自然语言可以显式或隐式引入某个数学对象,在问题求解应用中,若此数学对象及其特征属性可以显式表述出来,那么此数学对象所属数学概念及其相关计算规律就可以自然加入动态语义圈(指问题求解过程中所涉及的动态信息库)中,供问题求解推导答案;数学对象及其特征属性同样可

以隐式表述,由数学概念的属性进行渐进识别,确认后,数学概念及相关计算规律也可以加入动态语义圈中,服务于此数学对象及其特征数学的问题推导求解过程。

机器(计算机)在处理正负数、整数、有理数、大小等基础数学对象时不需要专门识别处理,机器思维需要特别识别和逻辑推演的常用高级数学概念有:集合、比例(分数)、不等式、枚举和数学归纳法(趋势判别)等。高级数学对象表述的方式同样包含显/隐两种方式。数学对象基本属性可以由不同语义粒度、不同语义密度和不同语义形式渐进地进行知识

获取^[3-4],由不同语义片段综合识别;也可以显式明确表述数学对象,并渐进说明其相关外延属性。无论哪种方式,都涉及知识和信息的渐进积聚,可能有语义呼应(冗余)、语义冲突(不一致)和语义缺失(不完整)等情况发生,系统应处理上述情况,并保证形成合法的数学概念计算信息或规律以提供给机器思维引擎。

从软件工程中的用例积累^[5],到大数据智能系统中样本的增添^[6],尽管其渐进容纳处理逻辑的方式不同,但足以表明,完善的逻辑处理框架或工作流程不可能一蹴而就。研究有限视野、渐进逻辑积聚的方法对于软件工程和智能应用十分重要。数学概念的识别也可以是这样渐进的过程。本文从机器思维的数学模型设计出发,提出了适用数学概念形成的通用渐进积聚计算框架方法;并针对初等数学应用题类人自动求解问题,以集合、比例、不等关系、枚举和数学归纳法(趋势判断)等为例,介绍了数学概念在机器问题求解中的应用过程;最后,总结和讨论了以数学概念及理论为基础的机器思维求解问题的前景及未来发展方向。

2 机器思维的功能架构

机器思维包括子句序列输入、语义模式匹配^[7]、数学对象识别、计算规则自我迭代和推导、综合思维机制调用推理^[8-12]、常识知识体系^[13]、动态语义圈和思维过程输入等主要功能模块,如图1所示。其中,语义模式匹配模块针对输入子句序列进行计算语义识别^[14-15],依据常识知识体系匹配语义模式库,输出语义模式显式表示的子句显式蕴含的语义(数据元和语义规则等)到动态语义圈;隐式表达的数学概念片段信息,由数学概念(显/隐式)识别模块积聚和分析,输出其相关数据元变量(指计算和推导中附带语义信息的变量)、规则和条件规则到动态语义圈。计算规则自我迭代代理模块针对动态语义圈构成的事实、规则和条件规则等,分析、增添和补充动态语义圈蕴含拓展的规则集合。针对动态语义圈的内容,综合使用虚拟运营平台来综合调用计算、规则和条件规则推理、各类概念关系推理等推理机制,最后输出思维过程和结果信息。

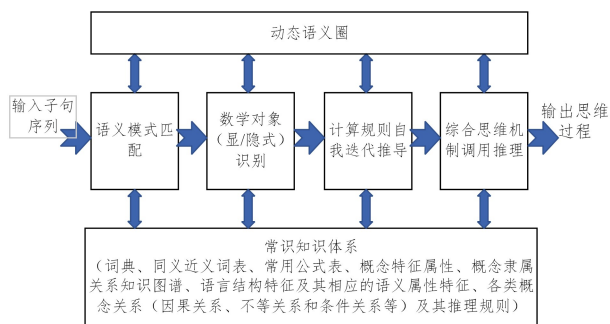


图1 机器思维架构图

Fig. 1 Machine thinking architecture

2.1 语义模式匹配

语义模式定义为输入语义成分关键词序列及其蕴含的各种信息的存储框架(见图2)。一般通过语义标注,形成语义模式库,供语义理解引擎检索应用。比如,在问题自动求解领域,语义模式构成可以包含前件(标注的子句关键词序列)和后件(子句蕴含的计算/推理规则、子句蕴含的条件计算/推理规则、子句蕴含的事实判断信息、子句蕴含的因果关系信息、子句蕴含的数学对象信息、继承前一个子句的信息和

传递给后一个子句的语义信息等)。语义关系的积聚依据语义模式前件匹配后,语义数据、信息和关系都分别入库保存,形成动态语义圈,供思维机制检索和调用。

标注的关键词序列(前件)
前件蕴含的计算/推理规则(后件1)
前件蕴含的条件计算/推理规则(后件2)
前件蕴含的事实判断信息(后件3)
前件蕴含的因果关系信息(后件4)
前件蕴含的数学对象信息(后件5)
继承前子句语义信息(后件6)
传递给后子句语义信息(后件7)
...

图2 语义模式

Fig. 2 Semantic pattern

2.2 数学对象识别

数学对象可以显式表述,比如,“集合包含A,B,C三个元素”;也可以隐式表述,比如,上一节例子中的语义模式条目“eCnOdAt子、3、堆、黑、”表示存在集合元素“第三~堆~::黑子”,其他集合元素要等上下文分析才能逐渐明晰,确认的数学对象是语义积聚和语义冲突分析的处理结果。数学对象基本元素包含的信息包括:数学对象元素变量类型标识、纵向维度链表指针、横向维度链表指针、元素父结点指针、数学对象元素名(如数据元“第一堆棋子”中的概念“棋子”)、数学对象元素显式表述数量、数学对象元素隐式数量计数、数学对象元素单位名称(如数据元“第一堆棋子”中量词“堆”)、数学对象元素划分单位(如数据元“第一堆棋子”中序数词“第一”)、数学对象元素每个划分单位的布尔标志、后置确定数学对象元素划分单位的布尔标志和数学对象元素划分单位值相互数值关系的标志ID(如相等或不等关系)等。数学对象识别基于语义片段的积聚,也就是说,可以表示为上述数学对象基本元素的多维链表结构,在词链表结构上进行语义冲突识别和数学对象合法性判断。

2.3 计算规则自我迭代推导

数学对象识别成功后,其对应的数学概念存在默认的计算理论和规律,在对数学对象进行适配后,体现这些规律的计算公式和规则都将被表示到动态语义圈中。动态语义圈中的规则自身也存在一些可以推导出的规则,都在动态语义圈自我迭代推导过程中被补充表示进动态语义圈。比如,若存在计算公式 $A=B+C$ 和 $D=B+C$,则可以推导出 $A=D$;若存在计算公式 $A=B+C$ 和 $B=D$,则可以推导出计算公式 $A=D+C$ 。

2.4 综合思维机制调用

对于初等数学应用类人自动求解问题而言,基于规则和条件规则的推理计算是综合思维机制的基本内核,在外围依次有一元一次方程求解、二元一次方程求解、特征约束枚举求解和枚举试探求解等思维方式的综合调用。综合思维机制确立方法是实例处理经验积累,与数学对象识别和积聚方式相同,是实例个体调用思维方式的语义综合凝炼。从经验积累角度,若将规则和条件规则的推理计算作为功能调用模块,则综合思维机制首先要调用它试图求解问题;若不成功,则按照疑问数据元变量和中间变量依次假设未知量 x ,探索推导一元一次方程求解未知量 x ,然后继续调用规则和条件

规则内核求解问题;若不成功,则假设两个未知量 x 和 y ,探索推导二元一次方程求解未知量 x 和 y ,然后继续应用一元一次方程以及规则和条件规则内核求解问题求解其余疑问变量;若不成功,则检查未知变量约束特征,在约束范围内循环枚举变量值,依据枚举变量的已知情况,调用二元一次方程、一元一次方程、规则和条件规则推理计算内核求解问题;若依然不成功,则识别整数未知量,默认从 1 至 n 枚举未知变量的值,依次试探上述功能调用模块求解问题。从实例求解方式渐进积累的角度,可以根据实例问题类型和数据元变量属性特征等信息对其标准思维机制进行分类存储。新问题可以检索和选择采用其语义近似的求解方式探索解决;也可以对实例求解方式进行凝炼和逻辑归纳,形成一个统一和固定的思维套路来处理所有的新提出的问题。上述 3 种方法对于所有需要渐进积累经验的功能任务都适用,研究其演进理论与技术对复杂算法设计具有现实和普遍意义。下一章将以数学概念集合对象的形成和应用为例,进行重点分析和讨论。

3 数学对象的渐进识别

对于集合对象,以子句标注集合元素和属性及其关系,并用子句的集合语义矩阵图来描述。比如,由 7 个子句构成的数学应用题:“有三堆棋子(C1),每堆棋子总数一样多(C2),并且都只有黑、白两种棋子(C3)。第一堆里的黑子与第二堆里的白子一样多(C4),第三堆里的黑子占全部黑子的 2/5 (C5)。把这三堆棋子集中在一起(C6),白子占全部棋子的

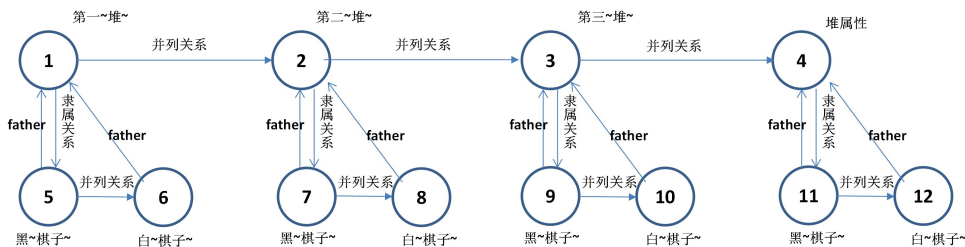


图 3 语义矩阵图

Fig. 3 Semantic matrix

3.3 功能模块

构建多维集合对象的语义矩阵图,其功能模块可以定义为不同节点类型次序相遇时的思维动作。比如,前例中的节点类型为{NULL 节点,堆节点,颜色节点,堆属性节点、颜色属性节点},初始语义矩阵图链表为 NULL 节点。在语义矩阵图与输入语义片段节点位置关系<语义矩阵图节点(表示为 struct adaptor_global * * pMatrix),语义片段节点(表示为 struct adaptor_global * pInput)>已知的情况下,功能模块 Process_Modules(struct adaptor_global * * pMatrix, struct adaptor_global * pInput)迭代轮询下述子功能:

- (1)若输入<NULL,堆节点>:复制此堆节点内容,替换 NULL 节点并返回。
- (2)若输入<NULL,堆属性节点>:复制此堆属性节点内容,替换 NULL 节点并返回。
- (3)若输入<NULL,颜色节点>:复制此颜色节点内容,替换 NULL 节点并返回。
- (4)若输入<NULL,颜色属性节点>:复制此颜色属性节点内容,替换 NULL 节点并返回。
- (5)若输入<堆节点,堆节点>:若两节点均为堆节点,若同名则返回;否则沿并列关系比较语义矩阵图下一个节点。

几分之几(C7)?”

3.1 集合局部语义标注

对于前述问题求解实例进行语义标注,其中集合概念相关的标注如下:

C1:eCnUpN 棋子、堆、棋子::堆~数~、///”e”表示集合类型语义;”Cn”表示集合元素;”Up”表示集合元素上级划分(量词);”N”表示数值;

C2:eEhUpCnRlSt 堆、棋子、相等、///”EhUp”表示每个集合元素上一级划分,“RlSt”表示上级划分的主体状态(比如,相等);

C3:eEhUpCnUpNAt 每、堆、棋子、种、棋子::种~数~、黑、白、///”At”表示集合划分名称;

C4:eCnOdAtOdAt 子、1、堆、黑、2、堆、白、///”Od”表示序数词;

C5:eCnOdAt 子、3、堆、黑、

C6:eCnUpN 棋子、堆、棋子::堆~数~、

C7:eCnAt 棋子、白、

3.2 节点类型

语义矩阵图的节点包括集合维度元素和维度元素属性两种类型,连接包括维度并列关系和分级隶属关系两种类型。依据语义矩阵图的定义,前述例子中的节点集合包括以下 6 种元素:{"第一~堆~","第二~堆~","第三~堆~",堆属性,"黑~棋子~","白~棋子~"}。构成语义矩阵图如图 3 所示。

(6)若输入<堆节点,颜色节点>:若当前语义矩阵图节点为堆节点,输入颜色节点,则当前比较位置沿隶属关系方向循环下移一层比较下一个节点。

(7)若输入<堆节点,堆属性节点>:若当前语义矩阵节点为堆节点,则沿并列关系方向用输入堆属性节点比较下一个节点。

(8)若输入<堆节点,颜色属性节点>:若当前语义矩阵节点为堆节点,则沿隶属关系方向用输入颜色属性节点比较下一个节点。

(9)若输入<颜色节点,堆节点>:若当前语义矩阵节点为颜色节点,则沿隶属关系的相反(father)方向用输入堆节点比较下一个节点。

(10)若输入<颜色节点,颜色节点>:若两节点均为颜色节点,若同名则返回,否则沿并列关系比较语义矩阵图下一个节点。

(11)若输入<颜色节点,堆属性节点>:若当前语义矩阵节点为颜色节点,则沿隶属关系的相反(father)方向用输入堆属性节点比较下一个节点。

(12)若输入<颜色节点,颜色属性节点>:若当前语义矩阵节点为颜色节点,输入为颜色属性节点,则沿并列关系比较语

义矩阵图下一个节点。

(13)若输入(堆属性节点,堆节点):若当前语义矩阵节点为堆属性节点,输入为堆节点,则沿并列关系循环比较语义矩阵图下一个节点,判断是否存在同名节点,存在则成功返回;若不存在,则在并列关系链表中添加此堆节点,在此堆节点的隶属关系方向复制堆属性节点的下属节点链表后返回。

(14)若输入(堆属性节点,颜色节点):若当前语义矩阵节点为堆属性节点,输入颜色节点,则沿隶属关系方向比较下一节点。

(15)若输入(堆属性节点,堆属性节点):若两节点均为堆属性节点,则补充语义矩阵堆属性节点信息并返回。

(16)若输入(堆属性节点,颜色属性节点):若当前语义矩阵节点为堆属性节点,输入颜色属性节点,则沿隶属关系方向比较下一节点。

(17)若输入(颜色属性节点,堆节点):若当前语义矩阵节点为颜色属性节点,输入堆节点,则沿隶属关系节点反方向(father)比较下一个节点。

(18)若输入(颜色属性节点,颜色节点):若当前语义矩阵节点为颜色属性节点,输入颜色节点,则沿并列关系方向循环比较下一个节点。判断是否存在同名节点,存在则成功返回;若不存在,则在并列关系链表中添加此颜色节点,在此颜色节点的隶属关系方向复制颜色属性节点的下属节点链表后返回。

(19)若输入(颜色属性节点,堆属性节点):若当前语义矩阵节点为颜色属性节点,输入堆属性节点,则沿隶属关系反(father)方向比较下一个节点。

(20)若输入(颜色属性节点,颜色属性节点):若两节点均为颜色属性节点,则补充完善颜色属性节点信息并返回。

3.4 全局语义渐进积聚算法

假定输入的语义片段链表结构头指针为 pInput,语义矩阵链表头指针为 pMatrix,全局语义渐进积聚算法工作流程是:对于每个输入语义片段节点,压栈其并列关系不为 NULL 的节点,然后选择调用执行上节中 20 个功能模块 Process_Modules(struct struct_adaptor_global * * pMatrix, struct struct_adaptor_global * pInput)中的某个匹配模块,循环压栈其并列关系不为 NULL 的节点,执行相应功能模块,直到其概念隶属关系指针为 NULL 后,依次弹出压栈节点,进行递归处理,直到输出链表所有节点都遍历处理完成。全局语义渐进积聚算法类 C 语言形式化表述如下:

```
void Glocal_Semantic_Accumulation_Algorithm(struct
struct_adaptor_global * * pMatrix, struct
struct_adaptor_global * pInput)
{
If(pInput == NULL) return;
//输入为 NULL 指针,则直接返回;
If(pInput -> pVet! = NULL) PUSH_STACK(pInput ->
pVet); //若存在并列节点,则压栈;
Process_Modules(pMatrix, pInput); //处理当前语义矩阵与输入节点对;
Glocal_Semantic_Accumulation_Algorithm(pMatrix, pInput ->
pHor); //递归调用隶属关系下一级节点;
If(pInput == NULL) POP_STACK(&pInput); //若当前输入指针不为空,则弹出最近的并列节点;
Glocal_Semantic_Accumulation_Algorithm(pMatrix, pInput); //
```

递归调用遍历所有输入链表分支;

```
return;
```

```
}
```

3.5 语义冲突判别

机器思维的文本语义模式匹配阶段,若存在文字表达混乱,无法匹配语义模式的子句,通常可以认定其为语义冲突表征现象之一。

语义理解和机器思维过程中,若存在下述情景,则通常也可以认定其存在语义冲突:(1)显式数据元变量与同一变量隐式表达的值不一致,比如,“第一个苹果是红色,第二个苹果是绿色,这 3 个苹果...”;(2)数据元变量与指代数据元变量值不一致,比如,“3 个苹果分别为红、黄和绿色,这 4 个苹果...”;(3)显式语义呼应的数据元变量(全局名称相同)值不一致,比如,“有 3 个人买了苹果一公斤,吃了半公斤,两人还剩下多少苹果?”;(4)同一中间变量不同计算路径(指求解某个变量的计算规则序列)得到的值不一致,比如,若存在事实“不等于, B, D,”并且存在公式“ $A+B=C$ ”和“ $A+D=C$ ”,则“C”的取值存在语义冲突;(5)数据元变量性质为人数、台数和个数等不可分割对象时,若其值或推导计算值为小数时,引发语义冲突;(6)动态语义圈存在相互矛盾事实或不等关系时,比如,动态语义圈同时存在不等关系“大于, A, B,”和“大于, B, C,”,引发语义冲突;(7)若无前提条件公式与有前提条件公式后件完全相同时,比如,动态语义圈同时存在公式“ $C=A-B$ ”和“IF(大于, A, B,) THEN $C=A-B$ ”,则动态语义圈存在语义冲突。

计算及程序调试运行时,若存在下列情景,则可以认定处理过程存在语义冲突:(1)除法计算除数数据元值为零时,引发语义冲突;(2)空指针地址寻址时,引发语义冲突;(3)访问数据地址越界时,引发语义冲突。

4 应用实例

本章将以具体数学应用题类人自动求解的实例,介绍应用数学原理机器求解的过程和方法。沿用前文例子,其处理过程如下:

4.1 语义模式匹配

对问题文本分词和词性标注,以子句断句为 7 个连续的词汇序列片段之后,有如下 7 个对应的语义模式:

```
C1 //语义模式 ID
常规 //语义模式类型
5 //语义模式条目数
v 有 //“v”表示动词;
n 棋子::堆~数~//“n”表示数据元,“棋子::堆~数~”是数据元局部名称;
q 堆 || * * //“q”表示量词,“* *”表示此量词可以被其他量词替换;
s 棋子 || * * //“s”表示名词,“* *”表示此名词可以被其他名词替换;
eCnUpN 棋子、堆、棋子::堆~数~//“e”表示集合,“Cn”表示集合元素概念,“Up”表示集合元素上级划分量词,“N”表示划分数量的数据元。
C2 //语义模式 ID
常规 //语义模式类型
7 //语义模式条目数
```

t 每///“t”表示形容词、副词或其他类型词汇;
s 堆 || * * ///“s”表示名词,“* *”表示此名词可以被其他名词替换;

s 棋子 || * *

s 总数 || 数量 ~ ///“数量~”表示其为“总数”的场景同义词;

t 一样多

eEhUpCnRlSt 堆、棋子、相等、///“e”表示集合,“EhUp”表示每个集合元素的上级划分量词,“Cn”表示集合元素,“RlSt”表示集合元素上级划分的关系状态;

f0EhUpCn::每::堆::棋子///“f”表示焦点向后传递继承;“0”表示词汇串;“Eh”表示每个,“Up”表示集合元素的上级划分量词,“Cn”表示集合元素名,分别对应词汇“每”“堆”和“棋子”。

C3///语义模式 ID

拓展///语义模式类型

2///语义模型蕴含的数学计算公式数;

棋子::数量,黑::数量,白::数量,///数学公式的数据元变量表

6///数学公式 ID,“6”表示 2 变量加法公式;

总量,A 部分,B 部分,///数学公式变量表

1,黑::比例数,白::比例数,///数学公式数据元变量表

6///数学公式 ID,“6”表示 2 变量加法公式;

总量,A 部分,B 部分,///数学公式变量表

14///语义模式条目数

F0EhUpCn::每::堆 || * * :: 棋子///“F”表示焦点前向继承;“0”表示词汇串;“Eh”表示每个,“Up”表示集合元素的上级划分量词,“Cn”表示集合元素名,分别对应词汇“每”、“堆”和“棋子”,其中“|| * *”表示“堆”可以被其他量词替换;

t 并且///“t”表示形容词、副词或其他类型词汇;

t 都

v 只有///“v”表示动词;

t 黑 || * * ///“t”表示形容词、副词或其他类型词汇,“* *”表示可被其他同词性词汇替换

d、|| @@///“d”表示助词,“@@”表示可缺省;

t 白 || * *

n 棋子::种~数~ ///“n”表示数据元,“棋子::种~数~”表示数据元局部变量名;

q 种 || * * ///“q”表示量词,“* *”表示可被其他量词替换;

s 棋子 || * * ///“s”表示名词,“* *”表示可被其他名词替换;

m 白::数量 ///“m”表示中间变量,“白::数量”表示数据元局部变量名;

m 黑::数量

m 白::比例数

m 黑::比例数

m 棋子::数量

eEhUpCnUpNAt 每、堆、棋子、种、棋子::种~数~、黑、白、///“e”表示集合,“Eh”表示每个,“Up”表示集合元素上级划分量词,“Cn”表示集合元素,“N”表示数据元,“At”表示二级数据元划分名。

C4///语义模式 ID

拓展///语义模式类型

4///语义模型蕴含的数学计算公式数;

1::黑::数量,2::白::数量,///数学公式数据元变量表

9 ///数学公式 ID,“9”表示左边变量向右边变量赋值;

左端,右端,///数学公式变量表

2::白::数量,1::黑::数量,///数学公式数据元变量表

9 ///数学公式 ID,“9”表示左边变量向右边变量赋值;

左端,右端,///数学公式变量表

1&.&. 黑 &.&.:比例数,2&.&. 白 &.&.:比例数,///数学公式的数据元变量表

9 ///数学公式 ID,“9”表示左边变量向右边变量赋值;

左端,右端,///数学公式变量表

2&.&. 白 &.&.:比例数,1&.&. 黑 &.&.:比例数,///数学公式的数据元变量表

9 ///数学公式 ID,“9”表示左边变量向右边变量赋值;

左端,右端,///数学公式变量表

19///语义模式条目数

c1 || * * ///“c”表示常量,“* *”表示可以被其他常量替换;

q 堆 || * * ///“q”表示量词,“* *”表示可以被其他量词替换;

d 里///“d”表示助词;

d 的 || @@///“@@”表示可省缺;

t 黑 || * * ///“t”表示形容词、副词或其他词汇,“* *”表示可以被其他形容词、副词等词汇替换;

s 子 || * * ///“s”表示名词,“* *”表示可以为其他名词替换;

t 与

c2 || * *

q 堆 || * *

d 里

d 的 || @@

t 白 | * *

s 子 || * *

t 一样多

eCnOdAtOdAt 子、1、堆、黑、2、堆、白、///“e”表示集合,“Cn”表示集合元素,“Od”表示序数词,“At”表示二级数据元划分名;

m1::黑::数量///“m”表示中间变量,“1::黑::数量”表示局部中间变量名称;

m2::白::数量

m1&.&. 黑 &.&.:比例数

m2&.&. 白 &.&.:比例数

C5///语义模式 ID

拓展///语义模式类型

1///语义模型蕴含的数学计算公式数;

3::黑::数量,黑::数量,3&.&. 黑 &.&.:黑::比例数,///数学公式的数据元变量表

3///数学公式 ID,“3”表示 2 变量乘法;

1 变量,2 变量,倍数,///数学公式变量表

15///语义模式条目数

c3 || * * // “c”表示常量，“* *”表示可以被其他常量替换；

q 堆 || * * // “q”表示量词，“* *”表示可以被其他量词替换；

d 里 || @@ // “d”表示助词，“@@”表示可省缺；

d 的 || @@

t 黑 || * * // “t”表示形容词、副词或其他词汇，“* *”表示可被为其他形容词、副词等词汇替换；

s 子 || * * // “s”表示名词，“* *”表示可被其他名词替换；

v 占 // “v”表示动词；

t 全部

t 黑 || * *

s 子 || * *

d 的

r3&&. 黑 &&.:: 黑:: 比例数 // “r”表示比例数据元变量，“3&&. 黑 &&.:: 黑:: 比例数”是局部变量名；eCnOdAt 子、3、堆、黑、// “e”表示集合，“Cn”表示集合元素，“Od”表示一级序数集合划分名，“At”是二级集合划分名；

m 黑:: 数量 // “m”表示中间变量，“黑:: 数量”是变量名称；

m3:: 黑:: 数量

C6 // 语义模式 ID

常规 // 语义模式类型

9 // 语义模式条目数

t 把 // “t”表示形容词、副词和其他类型词汇；

t 这

n 棋子:: 堆~数~ // “n”表示数据元变量，“棋子:: 堆~数~”是变量名；

q 堆 || * * // “q”表示量词，“* *”表示可被其他量词替换；

s 棋子 || * * // “s”表示名词，“* *”表示可被其他名词替换；

v 集中 // “v”表示动词；

t 在

t 一起

eCnUpN 棋子、堆、棋子:: 堆~数~、// “e”表示集合，“Cn”表示集合元素，“Up”表示元素上级划分量词，“N”表示量词表征的数据元变量；

C7 // 语义模式 ID

拓展 // 语义模式类型

1 // 语义模型蕴含的数学计算公式数；

白:: 数量, 棋子:: 数量, 白:: 比例数, // 数学公式的数据元变量表

3 // 数学公式 ID, “3”表示 2 变量乘法；

1 变量, 2 变量, 倍数, // 数学公式变量表

10 // 语义模式条目数

t 白 || * * // “t”表示形容词、副词和其他类型词汇，“* *”表示可被其他形容词、副词和其他类型词汇替换；

s 子 || * * // “s”表示名词，“* *”表示可被其他名词替换；

v 占 // “v”表示动词；

t 全部

s 棋子 || * *

d 的 // “d”表示助词；

r 白:: 比例数

m 白:: 数量 // “m”表示中间变量，“白:: 数量”是变量名称；

m 棋子:: 数量

eCnAt 棋子、白、// “e”表示集合，“Cn”表示集合元素，“At”表示集合划分名；

4.2 问题变量表

经过语义模式匹配生成的问题基本变量(见表 1)和数学对象识别生成的问题联想变量(见表 2)一起构成了问题的数据元变量表。在这个问题的场景识别分析中,整个问题属于同一场景,所有变量都只有一个机器自动生成的统一全局标识“sys 第一 sys”。比例性质变量局部语义命名有两种模式:(1)“比例分子量:: 比例数”含义为“比例分子量/全部量”;(2)“比例分子量:: 比例分母量:: 比例数”含义为“比例分子量/比例分母量”。其他性质变量局部语义命名模式有 3 种模式:(1)“集合名:: 变量性质”含义为集合所有元素的数量;(2)“集合划分名:: 变量性质”含义为满足集合划分名的元素数量,其对应数量在比例数中表示为“集合划分名”;(3)“1 级划分名:: 2 级划分名:: 变量性质”含义为 1 级划分下属性满足 2 级划分的元素数量,其对应数量在比例数中表示为“1 级划分名 &&. 2 级划分名 &&.”。

表 1 问题基本变量

Table 1 Problem basic variables

ID	变量名	类型	值
1	棋子:: 堆~数~	常数	3
2	棋子:: 种~数~	常数	2
3	第三 &&. 黑 &&.:: 黑:: 比例数	常数	2/5
4	白:: 比例数	疑问变量	未知
5	白:: 数量	中间变量	未知
6	黑:: 数量	中间变量	未知
7	黑:: 比例数	中间变量	未知
8	棋子:: 数量	中间变量	未知
9	第一:: 黑:: 数量	中间变量	未知
10	第二:: 白:: 数量	中间变量	未知
11	第一 &&. 黑 &&.:: 比例数	中间变量	未知
12	第二 &&. 白 &&.:: 比例数	中间变量	未知

表 2 问题联想变量

Table 2 Problem associative variables

ID	变量名	类型	值
13	第三:: 黑:: 数量	中间变量	未知
14	第三:: 数量	中间变量	未知
15	第二:: 数量	中间变量	未知
16	第二:: 第三:: 比例数	中间变量	未知
17	第三:: 第二:: 比例数	中间变量	未知
18	第一:: 数量	中间变量	未知
19	第一:: 第三:: 比例数	中间变量	未知
20	第三:: 第一:: 比例数	中间变量	未知
21	第一:: 第二:: 比例数	中间变量	未知
22	第二:: 第一:: 比例数	中间变量	未知
23	第三:: 比例数	中间变量	未知
24	第二:: 比例数	中间变量	未知
25	第一:: 比例数	中间变量	未知
26	第二^ 第三^:: 数量	中间变量	未知
27	第二^ 第三^:: 比例数	中间变量	未知
28	第一^ 第三^:: 数量	中间变量	未知
29	第一^ 第三^:: 比例数	中间变量	未知
30	第一^ 第二^:: 数量	中间变量	未知
31	第一^ 第二^:: 比例数	中间变量	未知

(续表)

ID	变量名	类型	值
32	第二^第三^::白::数量	中间变量	未知
33	第一::白::数量	中间变量	未知
34	第二^第三^&&.白&&::比例数	中间变量	未知
35	第一&&.白&&::比例数	中间变量	未知
36	第二^第三^::黑::数量	中间变量	未知
37	第二^第三^&&.黑&&::比例数	中间变量	未知
38	第二^第三^&&.白&&::白::比例数	中间变量	未知
39	第一&&.白&&::白::比例数	中间变量	未知
40	第二^第三^&&.黑&&::黑::比例数	中间变量	未知
41	第一&&.黑&&::黑::比例数	中间变量	未知
42	第三::白::数量	中间变量	未知
43	第三&&.白&&::比例数	中间变量	未知
44	第三&&.黑&&::比例数	中间变量	未知
45	第二&&.黑&&::比例数	中间变量	未知
46	第三&&.白&&::白::比例数	中间变量	未知
47	第二&&.白&&::白::比例数	中间变量	未知
48	第二&&.黑&&::黑::比例数	中间变量	未知
49	第一^第三^::白::数量	中间变量	未知
50	第一^第三^&&.白&&::比例数	中间变量	未知
51	第一^第三^::黑::数量	中间变量	未知
52	第一^第三^&&.黑&&::比例数	中间变量	未知
53	第一^第三^&&.白&&::白::比例数	中间变量	未知
54	第一^第三^&&.黑&&::黑::比例数	中间变量	未知
55	第一^第二^::白::数量	中间变量	未知
56	第一^第二^&&.白&&::比例数	中间变量	未知
57	第一^第二^::黑::数量	中间变量	未知
58	第一^第二^&&.黑&&::比例数	中间变量	未知
59	第一^第二^&&.白&&::白::比例数	中间变量	未知
60	第一^第二^&&.黑&&::黑::比例数	中间变量	未知

4.3 动态语义圈

(1)数学对象默认蕴含计算关系(见表3)

表3 数学对象计算关系

Table 3 Math object computational relations

ID	公式 ID	公式数据元变量表	公式变量表
1	9	第三::数量,第二::数量	左端,右端
2	9	第二::数量,第三::数量	左端,右端
...
13	9	第三::比例数,第二::比例数	左端,右端
14	9	第二::比例数,第三::比例数	左端,右端
15	9	第三::比例数,第一::比例数	左端,右端
...
80	6	1,第一^第二^&&.白&&::白::比例数, 第三&&.白&&::白::比例数	总量,A部分, B部分
81	6	1,第一^第二^&&.黑&&::黑::比例数, 第三&&.黑&&::黑::比例数	总量,A部分, B部分
...
107	6	第一::数量,第一::白::数量, 第一::黑::数量	总量,A部分, B部分

(2)子句局部蕴含计算关系(见表4)

表4 局部语义计算关系

Table 4 Local semantic computational relations

ID	公式 ID	公式数据元变量表	公式变量表
109	6	棋子::数量,黑::数量,白::数量	总量,A部分,B部分
110	6	1,黑::比例数,白::比例数	总量,A部分,B部分
111	9	第一::黑::数量,第二::白::数量	左端,右端
112	9	第二::白::数量,第一::黑::数量	左端,右端
113	9	第一&&.黑&&::比例数, 第二&&.白&&::比例数	左端,右端
114	9	第二&&.白&&::比例数, 第一&&.黑&&::比例数	左端,右端
115	3	第三::黑::数量,黑::数量, 第三&&.黑&&::黑::比例数	1变量,2变量,倍数
116	3	白::数量,棋子::数量,白::比例数	1变量,2变量,倍数

(3)动态通用数学属性蕴含计算关系

依据当前问题求解上下文生成的动态通用数学属性规

则,适配数据元变量表,得到动态通用数学计算关系(见表5)。

表5 动态通用数学属性计算关系

Table 5 Dynamic common math attribute computing relationships

ID	公式 ID	公式数据元变量表	公式变量表
117	6	第二^第三^::比例数, 第二::比例数,第三::比例数	总量,A部分, B部分
...
129	13	1,第三::比例数, 第二::比例数,第一::比例数	总和,A变量, B变量,C变量
...
132	6	第一::比例数,第一&&.白&&::比例数, 第一&&.黑&&::比例数	总量,A部分, B部分

(4)关联关系蕴含计算关系

系统关联关系库中存在如下规则:

3

* * A # # ::比例数; # # * * A # # :: # # * * B # # ::比例数; # # * * B # # ::比例数;

1变量;2变量;倍数;

其中“# # * * A # #”和“# # * * B # #”为不同的字符串,关联关系规则与数据元变量表匹配,得到系列计算关系(见表6)。

表6 关联关系计算规则

Table 6 Association relationship calculation rules

ID	公式 ID	公式数据元变量表	公式变量表
133	3	第一&&.黑&&::比例数,第一&&.黑&&::黑::比例数,黑::比例数	1变量,2变量, 倍数
...
150	3	第一^第二^&&.黑&&::比例数,第一^第二^&&.黑&&::黑::比例数,黑::比例数	1变量,2变量, 倍数

(5)动态语义圈等价推导计算关系(见表7)

表7 等价推导计算关系

Table 7 Equivalent derivation computing relationships

ID	公式 ID	公式数据元变量表	公式变量表
151	6	棋子::数量,第二^第三^::数量,第三::数量	总量,A部分,B部分
...
317	9	第一^第二^&&.黑&&::比例数,第二::比例数	左端,右端
318	9	第二::比例数,第一^第二^&&.黑&&::比例数	左端,右端
...
4086	6	黑::比例数,第一^第二^&&.白&&::比例数,第三&&.黑&&::比例数	总量,A部分,B部分

4.4 求解步骤和结果

依据问题基本变量表和联想变量表中疑问变量与未知变量的次序,基于动态语义圈,依次应用直接推导、一元一次方程、二元一次方程等求解机制,试探求解问题。在设“第三::比例数”为x,应用一元一次方程求解模式时,取得进展,即:

公式13:推导求解得到“第二::比例数”为x;

公式15:推导求解得到“第一::比例数”为x;

公式129:推导求解得到x=1/3;则“第三::比例数”“第二::比例数”和“第一::比例数”均求解得1/3;

公式81:依据已知数据元“第三&&.黑&&::黑::比例

数”的值 $2/5$, 求解得到“第一[^]第二[^]黑::比例数”的值为 $1-2/5=3/5$;

公式 318: 推导求解得到“第一[^]第二[^]黑::比例数”的值为 $1/3$;

公式 150: 推导求解得到“黑::比例数”的值为 $(1/3)/(3/5)=5/9$;

公式 110: 推导求解得到“白::比例数”的值为 $1-5/9=4/9$, 问题至此得到解答。

结束语 自然语言语义理解是机器思维实现过程中艰巨的任务^[16-19]。除了集合和比例概念及其蕴含的计算规律, 机器思维常用的数学原理还包括区间、距离、数轴、计数、累加、枚举、数学归纳法和不等关系, 以及速度、时间与距离的计算关系等。另外, 逻辑推理关系、数据元变量的取值趋势和数据元不等关系判断也是机器思维常用的基本能力。在人类思维能力的运行机理尚不明确的情况下, 计算机模拟人类思维依然主要是通过实例渐进积聚方式实现。除了文中介绍的渐进语义积聚通用算法, 在思维机器实现方案中, 还包括大决策树的渐进构建、数学对象的渐进形成、计算规则样本体系自我迭代完善、语义框架及程序功能模块组装、综合思维机制的实例提炼等渐进工程实现场景。语言的表述方式和能力理论上是无上限的^[20], 其背后的主要描述和处理工具就是数学原理。在思维机器实现过程中, 递归遍历和数学归纳等算法得到了广泛应用。下一步, 将逐步实现各种数学概念组(如数轴、距离和比例)之间数学概念的语义识别及计算规律运用, 为实现自然语言交互环境下机器的思维反应奠定基础。

参 考 文 献

- [1] ALEKSANDAR P, CRAIG C, PAUL B. Knowledge based engineering (KBE) past, present and future [EB/OL]. <https://www.researchgate.net/publication/266586531>.
- [2] HU S. Preliminary exploration of Turing's machine thinking thought [D]. Wuhan: Central China Normal University, 2017.
- [3] CHEN Z C, WANG C. A new knowledge acquisition method for continuous information Systems [J]. Journal of Chongqing University of Technology (Natural Science), 2008, 22(6): 54-59.
- [4] PAN L, FENG S. Sentence analysis and knowledge extraction of elementary school application questions based on conceptual hierarchical networks [J]. Computer System Applications, 2009 (12): 179-183.
- [5] CHEN L J. A case driven application system analysis and design method [J]. Computer Applications and Software, 2002, (4): 42-45.
- [6] HAO J S. Design and research of intelligent systems based on big data analysis [J]. Information Systems Engineering, 2022, 35(2): 37-40.
- [7] GUO S R. Research on machine reading understanding method based on frame semantic representation [D]. Taiyuan: Shanxi University, 2021.
- [8] JIN Z L, ZHU H Y, SU Y L, et al. Research on answer selection methods based on multi granularity interactive reasoning [J]. Chinese Journal of Information Technology, 2023, 37(1): 104-111, 120.
- [9] WEI X C. Research on multi perspective feature fusion answer selection method based on relation reasoning and text understanding [D]. Beijing: Beijing University of Technology, 2018.
- [10] CHENG S Y, GUO Z Y, LIU W, et al. Research on natural language reasoning with fusion attention multi granularity sentence interaction [J]. Small Micro Computer System, 2019, 40(6): 1215-1220.
- [11] WANG X, SUN J P, JU S G, et al. Reasoning over intra-document and jointly matching question and candidate answer to the passage based multiple-choice Reading Comprehension [J]. Journal of Sichuan University: Natural Science Edition, 2019, 56(3): 423-430.
- [12] ZHANG H, WANG Y J, LI R, et al. A machine reading comprehension multi hop inference model and method for enhancing syntactic relationships: CN202011410644. X [P]. 2021-2-26.
- [13] YUBO X, PEARL P. How Commonsense Knowledge Helps with Natural Language Tasks: A Survey of Recent Resources and Methodologies [J]. arXiv: 2108. 04674, 2021.
- [14] BOS J H. A survey of computational semantics: representation, inference and knowledge in wide-coverage text understanding [J]. Language and Linguistics Compass, 2011(6): 336-366.
- [15] CHEN P, DING W, DING C. SenseNet: A knowledge representation model for computational semantics [C] // IEEE 2006 5th IEEE International Conference on Cognitive Informatics, Beijing, China, 2006: 434-439.
- [16] ZHANG J H, ZHANG S W, LIN H F, et al. Humor level recognition based on multi granularity semantic interactive understanding network [J]. Chinese Journal of Information Technology, 2022, 36(3): 10-18.
- [17] DING Z X. Research on machine reading comprehension method based on BERT [D]. Beijing: Beijing Institute of Printing, 2022.
- [18] WANG Y, WANG W, CHEN Q, et al. Fusing external knowledge resources for natural language understanding techniques: A survey [J]. Information Fusion, 2023, 92: 190-204.
- [19] CHAN S W K, FRANKLIN J. Dynamic context generation for natural language understanding: a multifaceted knowledge approach [J]. IEEE transactions on systems, man, and cybernetics, Part A, Systems and humans, 2003, 33(1): 23-41.
- [20] ZHU S X. A cognitive linguistic study of XYZ construction metaphor [D]. Nanjing: Nanjing Normal University, 2012.



ZHU Ping, born in 1970, Ph.D, professor. His main research interests include thinking machine, semantic understanding and complex algorithm.



ZOU Weiming, born in 1972, master, senior engineer. His main research interests include big data and intelligent engineering.