

知识表示

2019年度南京大学“专创融合”特色示范课程培育项目

高 阳

<http://cs.nju.edu.cn/rl>, 2019.9.24

知识表示

从逻辑表示到知识表示

高 阳

<http://cs.nju.edu.cn/gaoy>, 2019.09.24

一个例子

类层次是一种知识

那么类层次的通用机制？

如何定义类？

如何定义异常？ 如何进行推理？ 如何表示时间？ 如何表示因果？ 如何表示不确定性？

基本概念

数据 信息的载体和表示

信息 数据的语义

知识 信息关联后所形成的信息结构：事实 & 规则

知识是智能的基础 获得知识，运用知识

知识表示 用来让计算机可以存储和处理知识的模式

不同于逻辑表示，知识表示有更多显式结构上的约束

知识特性

相对正确性

一定条件下/某种环境中

不确定性

中间状态/为真程度/随机性/模

糊性/经验性/不完全性

可表示/可利用性

语言/文字/图像/视频/图形/音
频/神经网络/概率图

知识的分类

范围 常识性知识/领域性知识

作用 事实性知识/过程性知识/控制知识

确定 确定性知识/不确定性知识

表现 逻辑性知识/形象性知识

抽象 零级知识/一级知识/二级知识

常见的知识表示方法

一阶谓词表示 (First Order Predicate)

产生式表示 (Production)

语义网络表示 (Semantic Network)

框架表示 (Framework)

脚本表示 (Script)

选择合适的表示方法

- ❑ 充分表示领域知识
- ❑ 有利于对知识的利用
- ❑ 便于理解和实现
- ❑ 便于对知识的组织、管理和维护

一阶谓词表示

一阶谓词知识表示

谓词公式表示知识的步骤

- (1) 定义谓词及变元;
- (2) 变元赋值;
- (3) 连接词连接谓词, 形成谓词公式。

谓词逻辑的推理规则

取式假言推理; 拒式假言推理;

P规则(在推理的任何步, 引入前提);

T规则(在推理的任何步, 引入永真蕴涵的公式);

CP规则(对任意引入的命题R和前提集合能推出S, 则前提集合能推出S);

反证等。

机器人搬盒子

一室内，机器人在c处，a和b处各有一张桌子（a桌和b桌）。a桌上有一个盒子。要求机器人从c处出发，将盒子从a桌上拿到b桌上，然后回到c处。请用谓词逻辑来表示机器人的行动过程。

定义两类谓词： 状态、操作。

状态：

Table(x): x是桌子

Empty(y): y手中是空的

At(y,z): y在z处

Holds(y,w): y手中拿着w

On(w,x): w在x上面

操作：

Goto(x,y): 机器人从x处走到y处

Pickup(x): 在x处拿起盒子

Setdown(x): 在x处放下盒子

机器人搬盒子

初始状态：

Table(a)

Table(b)

Empty(robot)

At(robot,c)

On(box,a)

目标状态：

Table(a)

Table(b)

Empty(robot)

At(robot,c)

On(box,b)

机器人搬盒子

状态谓词合法性和导致的状态变化

Goto(x,y):

条件：At(robot,x)

状态变化：删除公式At(robot,x)，添加公式At(robot,y)

Pickup(x):

条件：Table(x), Empty(robot), At(robot,x), On(box,x)

状态变化：删除公式Empty(robot), On(box,x)，添加公式Holds(robot,box)

Setdown(x):

条件：Table(x), At(robot,x), Holds(robot,box)

状态变化：删除公式Holds(robot,box)，添加公式Empty(robot), On(box,x)

最后采用合一和搜索完成规划求解

野人和修道士过河



野人(Missionaries)和修道士(Cannibals)(M-C问题):

设在河的一岸有三个野人、三个修道士和一条船，修道士想用这条船把所有的人运到河对岸，但受以下条件的约束：

- 修道士和野人都会划船，但每次船上至多可载两个人；
- 在河的任一岸，如果野人数目超过修道士数，修道士会被野人吃掉。

如果野人会服从任何一次过河安排，请规划一个确保修道士和野人都能过河，且没有修道士被野人吃掉的安全过河计划。

状态谓词：？

操作谓词：？

规划：初始状态、目标状态、规划的解？？

缺陷

谓词演算语义

对合式表达式保持真值运算

心理/认知科学家

获取和使用知识的方法

$\forall x \text{ human}(x) \rightarrow \text{mortal}(x)$



$\forall x \neg \text{mortal}(x) \rightarrow \neg \text{human}(x)$



丢失了类的继承、关联和因果！

小结：一阶谓词表示

知识的表示

一元谓词：对象(x)；二元谓词：对象-属性(x,y)；

三元谓词：对象-属性-值(x,y,z)；关系-对象1-对象2 (x,y,z)；

四元谓词：三元谓词+可信度

一阶谓词表示优缺点

优点：精确，自然，严密，易于实现

缺点：表示和处理分离，组合爆炸导致效率低

产生式表示

产生式表示法

产生式规则(production rules)基本形式

例：如果汽车不能发动，则检查电池

$P \rightarrow Q$ 或 IF P THEN Q。

与蕴涵式的区别

一阶谓词中蕴含式表示的知识是精确的（真或假）

而产生式表示的知识可以是不精确的（可信度）

产生式的推理匹配过程也可以是部分匹配

1936，数学家Emil Post的产生式计算模型：1972年，Newell和Simon的基于规则认知模型。

常用结构

原因→结果：天下雨，地上湿

条件→结论：将冰加热到0度以上，冰会融化成水

前提→操作：如果能找到合适的杠杆和支点，则可以翘起地球

事实→进展：夜来风雨声，花落知多少

情况→行为：手机开机了，则意味着可以收到别人发给我的信息了

产生式系统

产生式系统(production system):

一组产生式，互相配合/协调，其中一个产生式产生的结论可以作为另一个产生式的事实使用，以求解决问题。



产生式系统：规则库

规则库：

- 有效表达领域内的过程性知识。
- 对知识进行合理的组织与管理，提高问题求解效率。



产生式系统：数据库

数据库(工作内存):

- 存放问题求解过程中的各种信息的数据结构，包括初始状态、原始证据、中间结论、最终结论。
- 其内容在推理过程中在动态、不断变化的。



产生式系统： 控制系统

控制系统：

- 从规则库中选择规则，并与数据库中的已知事实进行匹配。
- 发生冲突时调用相应策略进行消解。
- 如果执行规则的右部是一个或多个结论，则将结论加入到数据库中。
- 如果执行规则的右部是一个或多个的操作，则执行这些操作。并将操作产生的事实加入到数据库中。
- 对不确定性的知识，也计算结论的不确定性。
- 在适当时候终止系统运行。



汽车故障检测系统

包含以下产生式：

- R1：如果发动机不能转动，且电池有电，则检查启动器。
- R2：如果没有火花，则检查电极尖端。
- R3：如果发动机能转动，但车子不能启动，则检查火花塞。
- R4：如果发动机不能转动，则检查电池。
- R5：如果电池没电，则充电。

目前有一个简单的事实：“发动机不能转动”

整除问题

包含以下产生式：

- R1：如果能被12整除，则能被6整除。
- R2：如果能被20整除，则能被10整除。
- R3：如果能被6整除，则能被2整除。
- R4：能被10整除，则能被5整除。

目前有一个简单的事实：N能被12整除，也能被20整除

目标：判断N能否被5整除？

数据驱动：正向推理

```
procedure generate;  
begin  
  identify the set S of applicable rules;  
  while S is non-empty  
    do begin  
      select a rule R from S;  
      apply R;  
      if the problem is solved by the application of R  
        then indicate SUCCESS  
      else call 'generate' recursively  
    remove R from S and undo the effect of applying R  
  end  
end;
```

本质是深度搜索！

N能被12整除，也能被20整除

迭代次数1：匹配产生式，冲突集合R1和R2，选择R1执行

迭代次数2：在工作内存中产生事实“能被6整除”，匹配产生式，应用规则R3

迭代次数3：失败，回溯，将事实“能被6整除”从工作内存中去除。应用规则R2.....

目标驱动：反向推理

```
function validate(X:expression): boolean;  
  var result:boolean;  
  begin  
    result:=false;  
    identify the set of applicable rules S which have X on the  
    right-hand side;  
  
    While (result = false) and (S is non-empty)  
      do begin  
        select and remove a rule R from S;  
        C:=the condition part of R;  
        if C is true in the database  
          then result:=true  
        else if C is false in the database  
          then do nothing  
        else if validate (C) is true  
          then result:=true  
      end;  
    validate:=result  
  end;
```

本质也是深度搜索！

N能被5整除

迭代次数1：匹配产生式，选择R4执行

迭代次数2：匹配“能被10整除”，应用规则R2

迭代次数3：在数据库中匹配了R2的左部“能被20整除”

混合驱动和控制策略

```
procedure mixed-method;  
begin  
  repeat  
    let user enter data into the database;  
    call procedure 'generate' to generate  
    new facts which are added to the  
    database;  
    call 'select-hypothesis' to select a goal  
    statement E;  
    call 'validate (E)';  
  until the problem is solved  
end;
```

冲突消解策略

- 随机选择
- 相继阶段选择不同规则
- 选择第一条可用规则
- 给规则赋予权值，并用权值选择规则(启发式)

小结：产生式表示

产生式表示/系统的优点

知识和控制的分离；

自然映射到状态空间搜索；

产生式规则的模块性；

模式导向控制；

多种启发式控制；

易于跟踪和解释；

问题求解的模型之一。

小结：产生式表示

产生式表示适用范围

领域中知识单元相对独立，不存在结构关系；

具有经验型或者不确定性的知识，领域对这些知识缺少完整的理论模型；

领域问题的求解过程可表示为一些列相对独立的操作，每个操作也可表示为一条或多条的产生式规则。

善于处理过程性的知识！

语义网络表示

语义网络表示法

□ 1968年, Quillian(奎廉)的博士论文

人类联想记忆的显式心理学模型

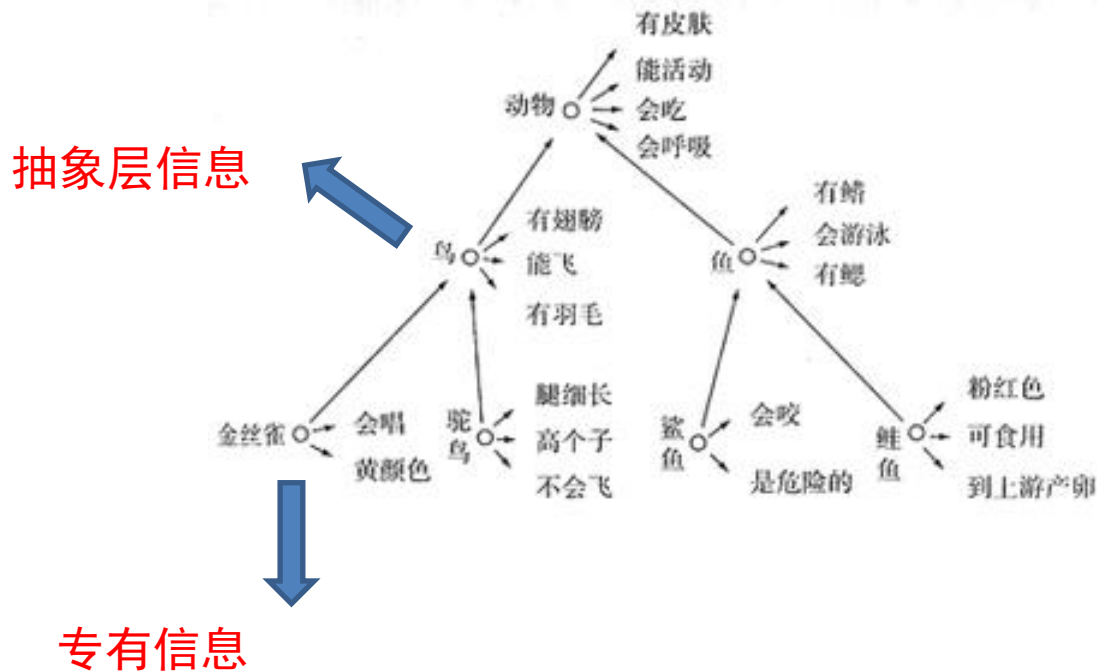
□ 1972年, R. F. Simon(西蒙)正式提出

通过有向图, 其顶点表示概念, 边表示概念间的语义关系, 来表达复杂的概念及其相互关系。

奎廉的认知实验

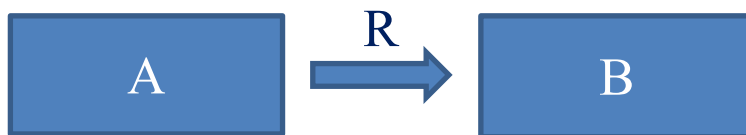
□ 回答：金丝雀会飞吗？

□ 回答：金丝雀会唱歌吗？



基本网络单元和语义关系

(节点1, 边, 节点2)

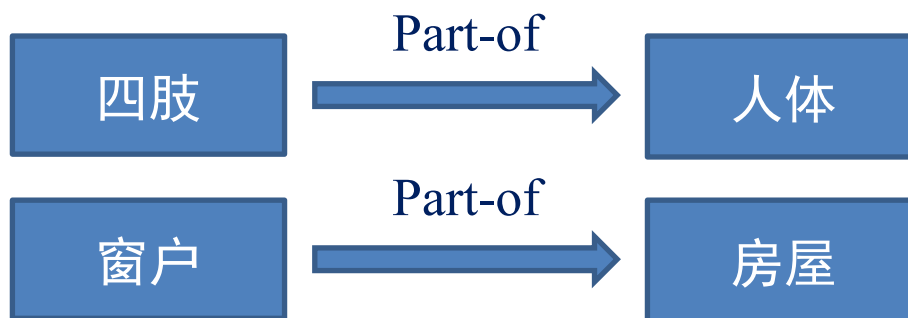


类属关系

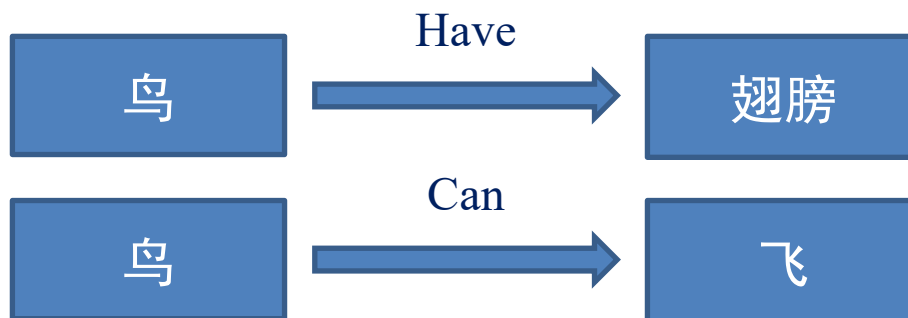


基本语义关系

包含或聚类关系



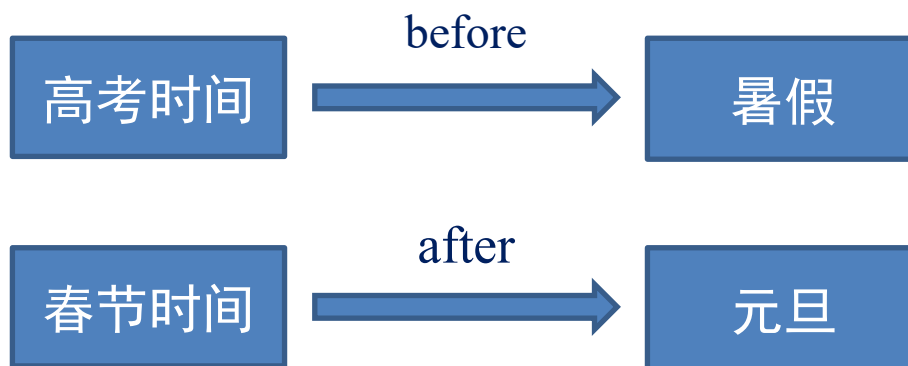
属性关系



聚类关系不同于类属关系，其没有继承性。

基本语义关系

时间关系

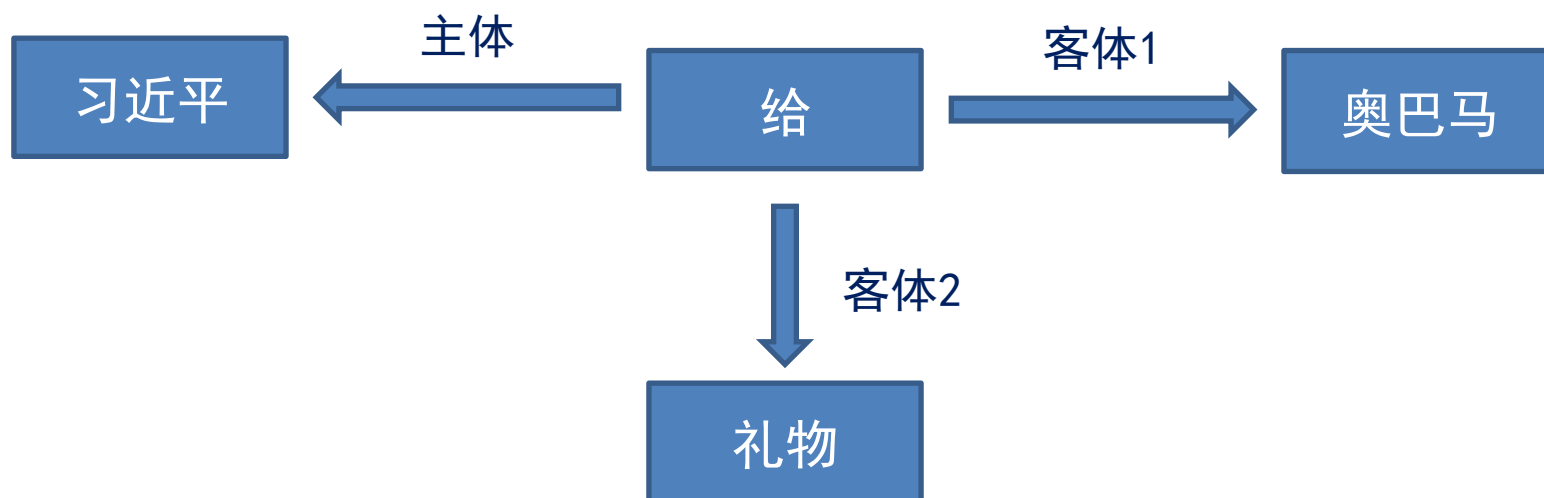


位置关系(Located-on)/相似关系(Similar-to, Near-to)/推论关系



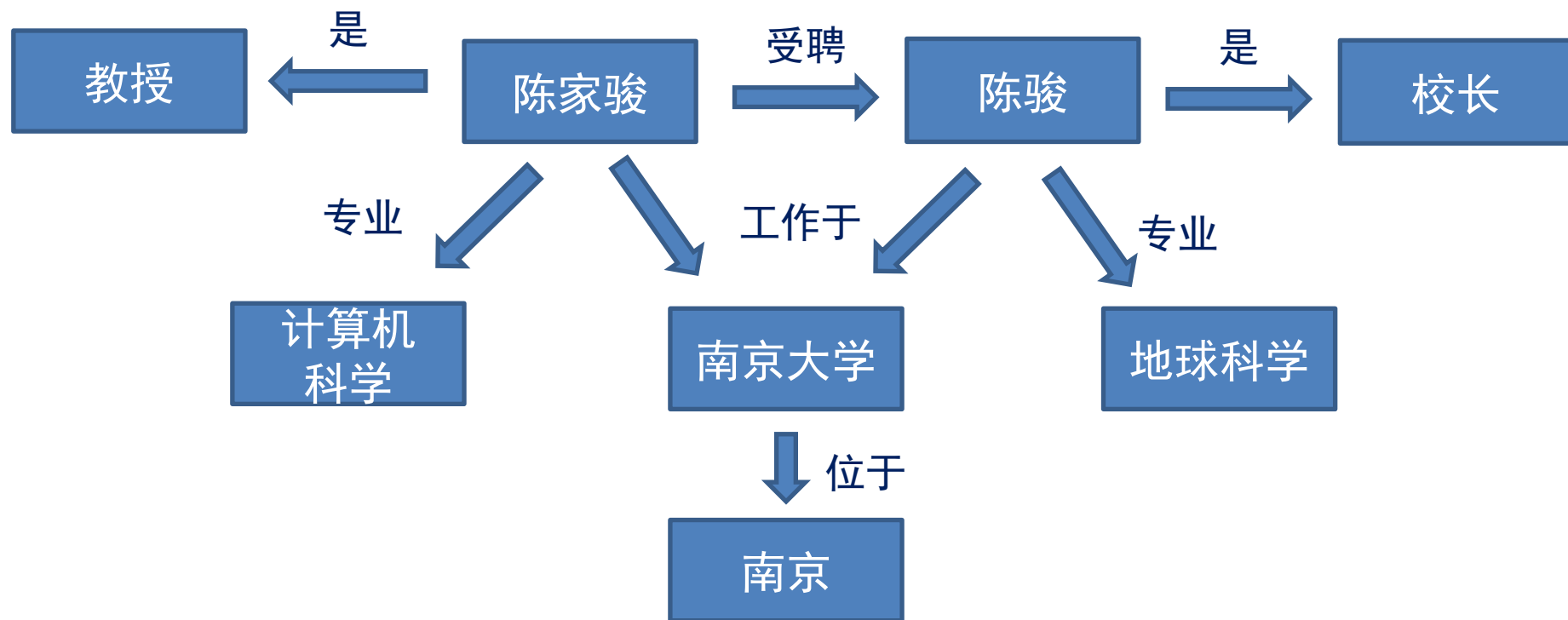
基本语义关系

二元关系/多元关系



语义网络

例：陈骏是南京大学的校长；南京大学在南京；陈骏专业是地球科学。陈家骏是陈骏聘用的教授，陈家骏专业是计算机科学。



语义网络的推理

□ 继承

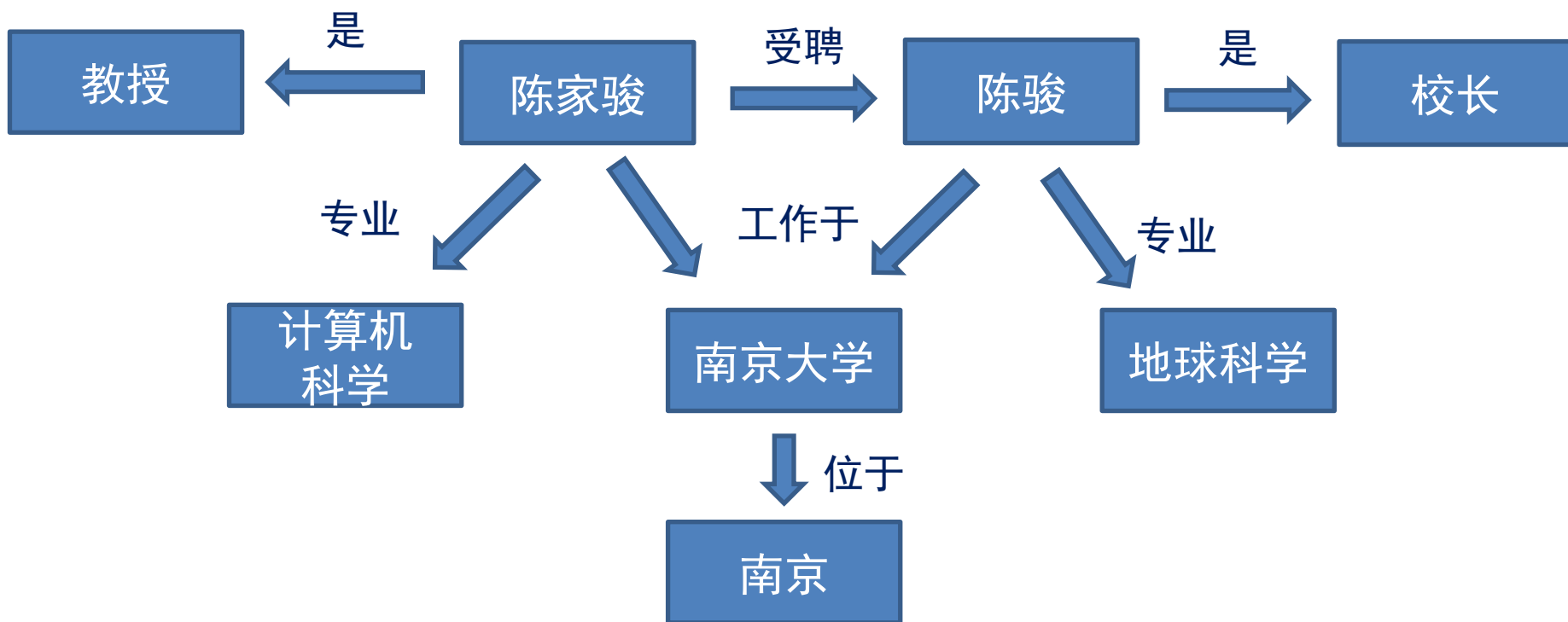
- 把对事物的描述从抽象节点传递到具体节点，通常沿着类属关系ISA, AKO等具有继承关系的边进行。

□ 匹配

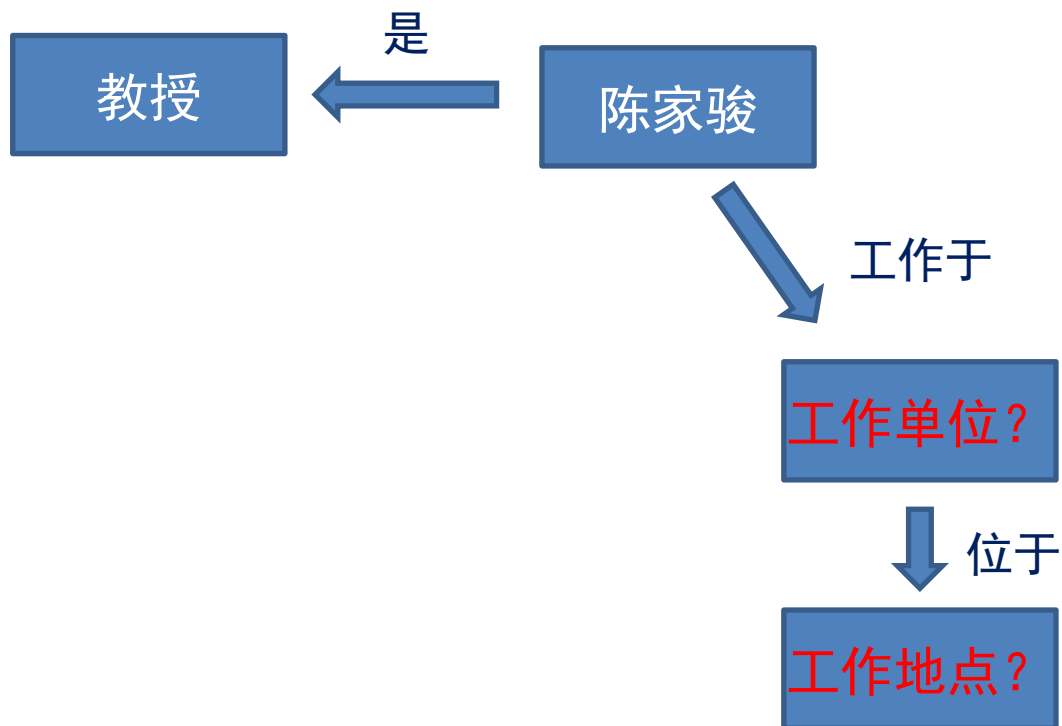
- 把待求解问题构造为网络片段，其中某些节点或边的标识是空的，称为询问点。
- 将网络片段与知识库中的某个语义网络片段进行匹配，则与询问点相匹配的事实就是该问题的解。

语义网络的匹配

问题：陈家骏教授工作地点在哪里？



语义网络片段



小结：语义网络表示

优点

结构性、联想性、自索引性、自然语言的转换性

缺点

不严格性、处理复杂。本质和谓词演算等价

强大在于：连接和推理规则的丰富和定义！

善于处理结构性的知识！

框架表示

什么是框架

□ 想象：第一次出国，到一个国外的餐厅点餐

□ 会有餐桌

□ 会有菜单

□ 会有服务员

□ 心理学证据：人的知识以框架结构存在大脑中

□ 面临新情况中，会从记忆中找出合适的框架

□ 根据细节就以修改补充，形成对新观察到的事物的认识

框架的定义及表示

□ 定义：

- 是描述对象（一个事物、一个事件、一个概念）属性的一种数据结构。在框架表示法中，框架被认为是知识表示的最基本单元

□ 表示形式：

- 框架名、槽名(描述某一方面的属性)、侧面(描述属性的某一方面)、值组成

框架的一般表示形式

<框架名>

槽名1: 侧面名11 侧面值111, 侧面值112, ..., 侧面值11n

.....

侧面名1m 侧面值1m1, 侧面值1m2, ..., 侧面值1mn

.....

槽名k: 侧面名k1 侧面值k11, 侧面值k12, ..., 侧面值k1n

.....

侧面名ks 侧面值ks1, 侧面值ks2, ..., 侧面值ksn

约束: 约束条件1

.....

约束条件n

槽

槽的作用

框架标识信息

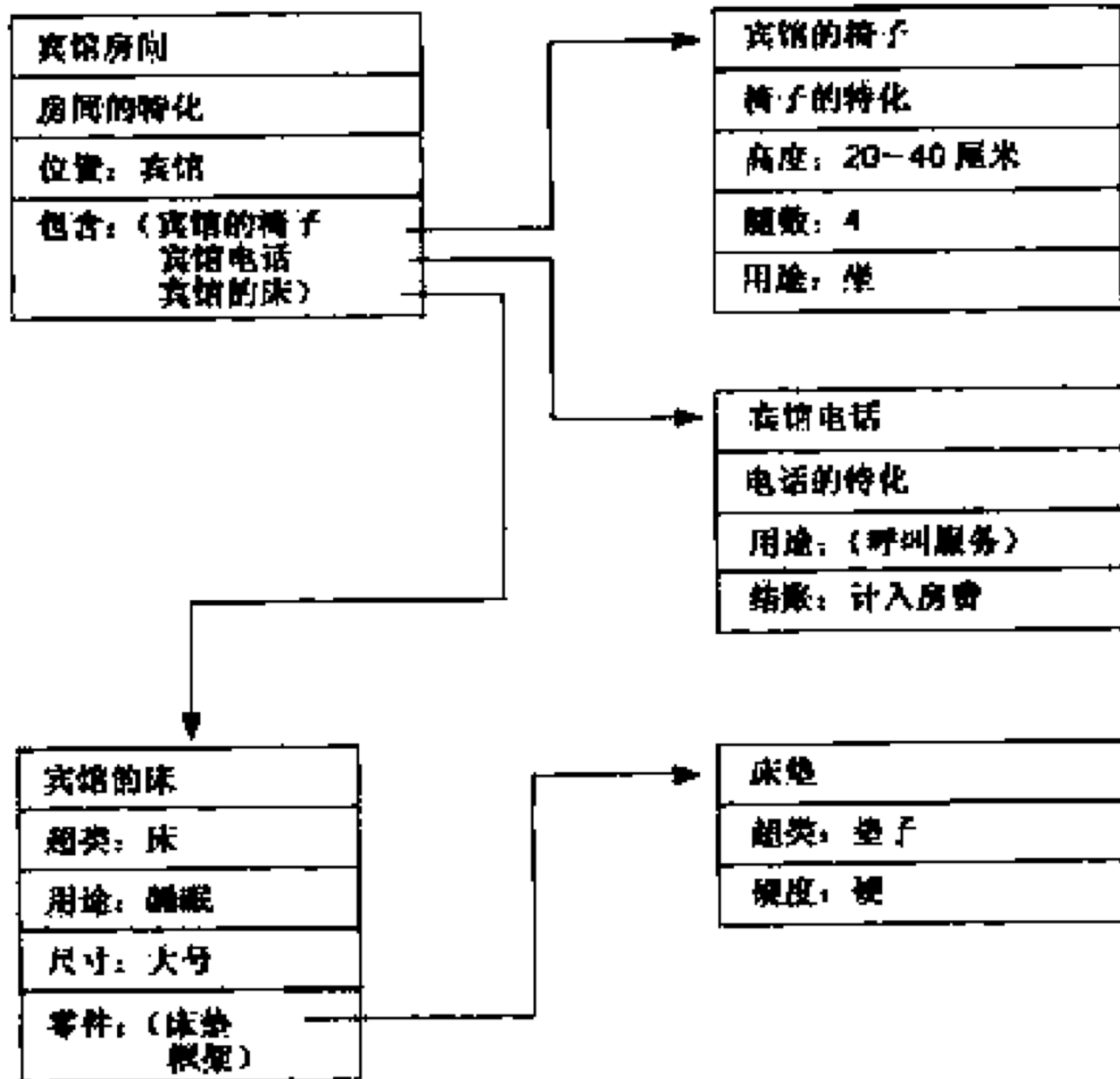
与其他框架的关系

框架的特征描述

默认信息

新的实例信息

被描述对象用法的过程信息



描述教授有关情况的框架

框架名：<教授>

姓名：单位（姓，名）

性别：范围（男，女）

默认（男）

年龄：单位（岁）

研究方向：单位（方向名）

主持课题：<课题>

任职时间：单位（年，月）

框架名：<教授>

姓名：高阳

性别：男

年龄：47

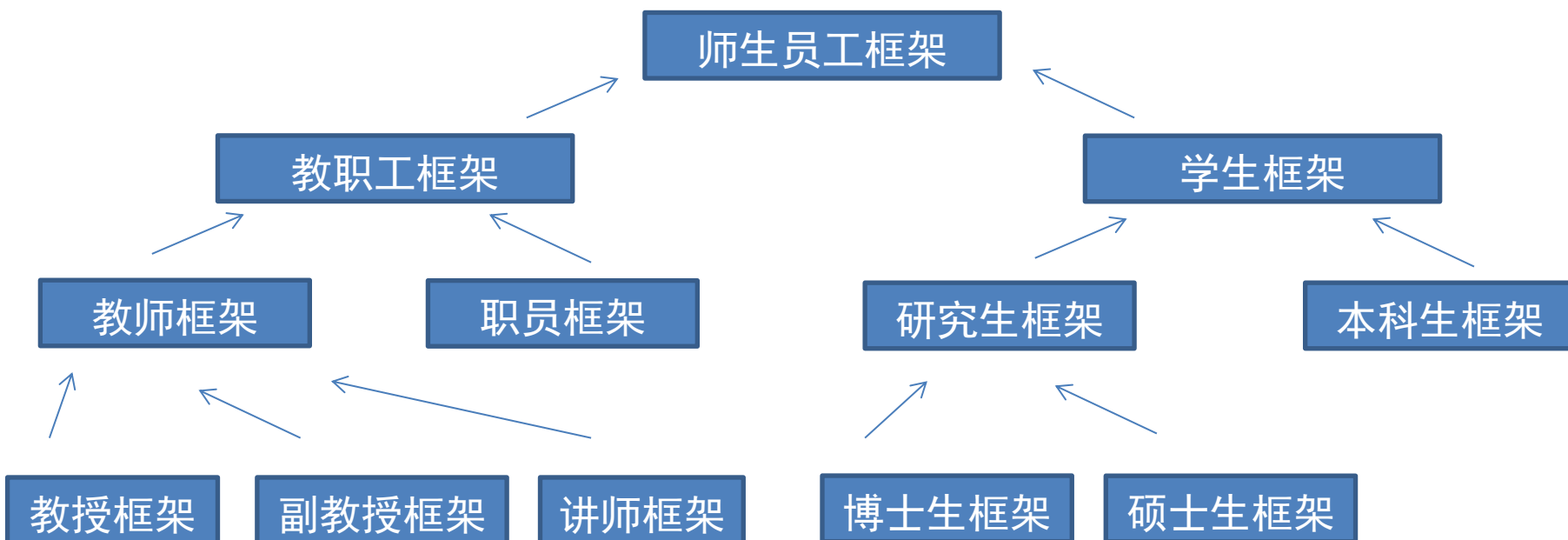
研究方向：人工智能

主持课题：<国家级课题>

任职时间：2008年12月

框架网络系统

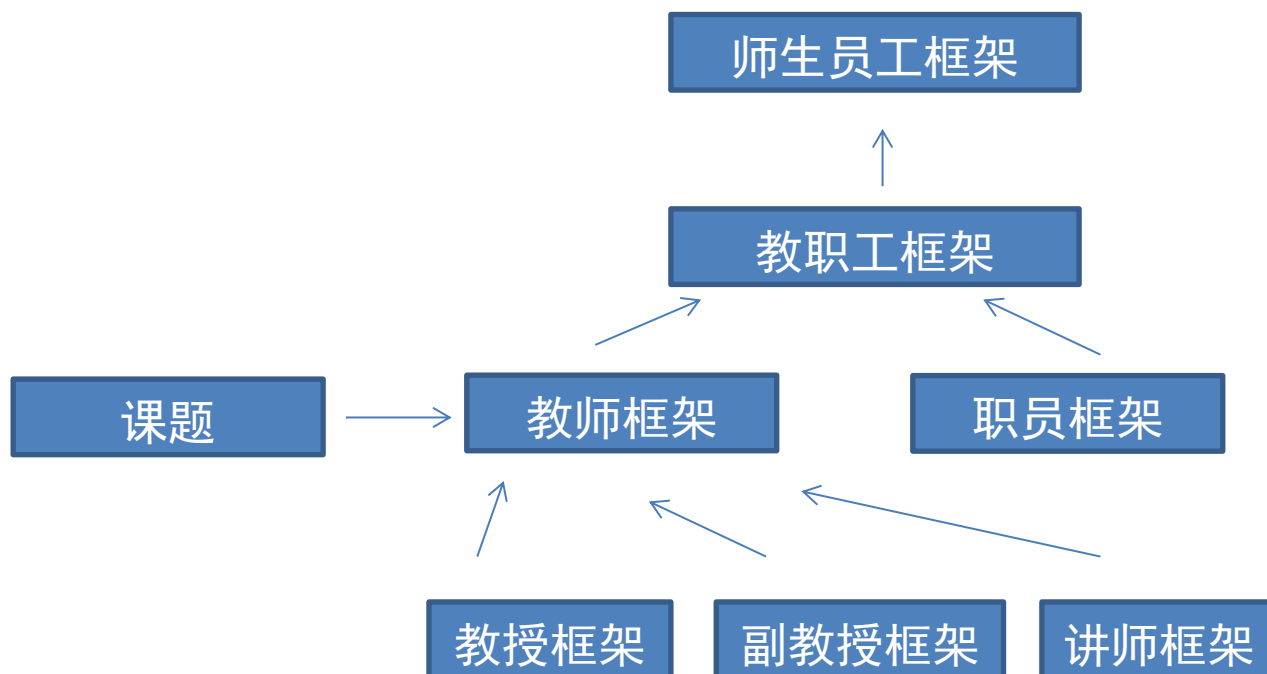
将多个相互关联的框架连接起来组织的知识表示和推理系统



框架网络系统

纵向联系：通过框架中增加“继承”槽来实现

横向联系：通过槽值或侧面值为另一个框架名



框架系统的推理

➤ 找出一个满足以下条件的老师：

男性，年龄>40岁，教授

框架名：<教授>

姓名：

性别：男

年龄：>40

框架名：<教授>

姓名：高阳

性别：男

年龄：47

研究方向：人工智能

主持课题：<国家级课题>

任职时间：2008年12月

小结：框架表示

优点

结构性（不同于语义网络的结构性）、继承性、自然性

是语义网络的重要扩展

面向对象语言OO的产生

缺点

缺乏过程性知识表示

思考和讨论

1. 最广泛使用的知识表示方法：产生式。
2. 支持谓词逻辑的语言有：Prolog和Lisp；支持产生式的语言有OPS5；支持框架的语言有FRL。请了解。
3. 语义网络表示法中对合取和析取的处理。
4. 语义网络表示法中对全称量词和存在量词的处理（请查阅G.G.Hendrix的网络分区技术）。
5. 请了解什么是知识图谱。

设动物识别知识库中已包含识别虎、金钱豹、斑马、长颈鹿、企鹅、鸵鸟、海鸥等7中动物15条规则。

- R1: IF 某动物是哺乳动物 AND 是食肉动物 AND 是黄褐色 AND 身上有斑点 THEN 该动物是金钱豹
- R2: IF 某动物是哺乳动物 AND 是食肉动物 AND 是黄褐色 AND 身上有黑色条纹 THEN 该动物是老虎
- R3: IF 某动物是有蹄类动物 AND 有长脖子 AND 有长腿 AND 身上有暗斑点 THEN 该动物是长颈鹿
- R4: IF 某动物是有蹄类动物 AND 身上有黑色条纹 THEN 该动物是斑马
- R5: IF 该动物是鸟 AND 有长脖子 AND 有长腿 AND 不会飞 AND 有黑白两色 THEN 该动物是鸵鸟
- R6: IF 某动物是鸟 AND 会游泳 AND 不会飞 AND 有黑白两色 THEN 该动物是企鹅
- R7: IF 某动物是鸟 AND 会游泳 AND 善于飞 THEN 该动物是海鸥
- R8: IF 动物是哺乳动物 AND 嚼反动物 THEN 该动物是有蹄类动物
- R9: IF 某动物有毛发 THEN 该动物是哺乳动物
- R10: IF 某动物有奶 THEN 该动物是哺乳动物
- R11: IF 某动物有羽毛 THEN 该动物是鸟
- R12: IF 某动物会飞 AND 会下蛋 THEN 该动物是鸟
- R13: IF 某动物吃肉 THEN 该动物是食肉动物
- R14: IF 某动物有犬齿 AND 有爪子 AND 眼盯前方 THEN 该动物是食肉动物
- R15: IF 某动物是哺乳动物 AND 有蹄子 THEN 该动物是有蹄类动物

已知：有斑点、长脖子、长腿、有奶、有蹄

实验

1. 实现产生式系统的数据驱动(正向推理)和目标驱动(反向推理)。采用所实现算法，分析以下问题的结果。

已知：有斑点、长脖子、长腿、有奶、有蹄。

询问：这是什么动物呢？

要求：可以用任何语言，需要有日志说明推理结果的解释。10月30日前发给助教，检查。

作业提交到公共邮箱: nju_course_ai_2019@163.com

邮件主题格式：姓名_学号_第X次实验

谢谢！