

# Foundation of Artificial Intelligence

## 人工智能基础

李翔宇

软件学院

Email: [lixiangyu@bjtu.edu.cn](mailto:lixiangyu@bjtu.edu.cn)

## 人工智能基础第二次课



长按识别二维码

# ChatGPT



ChatGPT 4 ▾



You

勾三股四弦五是什么



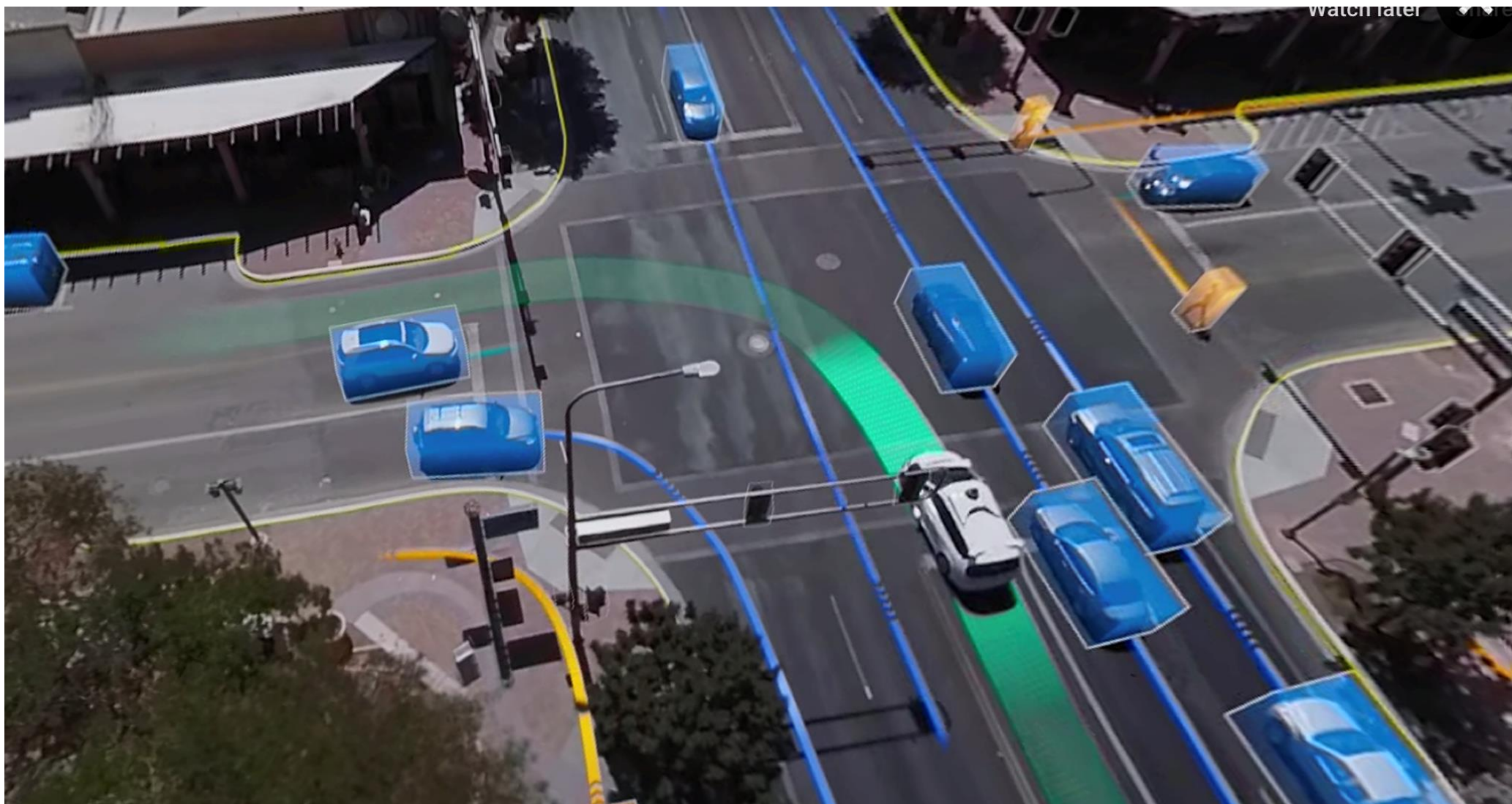
ChatGPT

"勾三股四弦五"是源自古中国的一个数学定理，也称为勾股定理或毕达哥拉斯定理。该定理描述了一个直角三角形的三条边之间的关系：直角三角形的斜边（最长边）的平方等于其他两条边的平方和。在“勾三股四弦五”的例子中，直角三角形的两个直角边长度分别为3和4，斜边（弦）长度为5，符合定理的描述，即  $3^2 + 4^2 = 5^2$  或  $9 + 16 = 25$ 。这个定理是数学中非常基础且广泛应用的定理之一，用于几何、建筑、工程等多个领域。



Generative Pre-trained Transformer (生成式预训练转换器)

# 看 —— 目标检测





# 看 —— 图片特效



特效



美颜滤镜

# 看--- 换脸





马斯特



马克扎克伯格



巴菲特



马云



尼古拉斯·qiongbi



马化腾



雷军

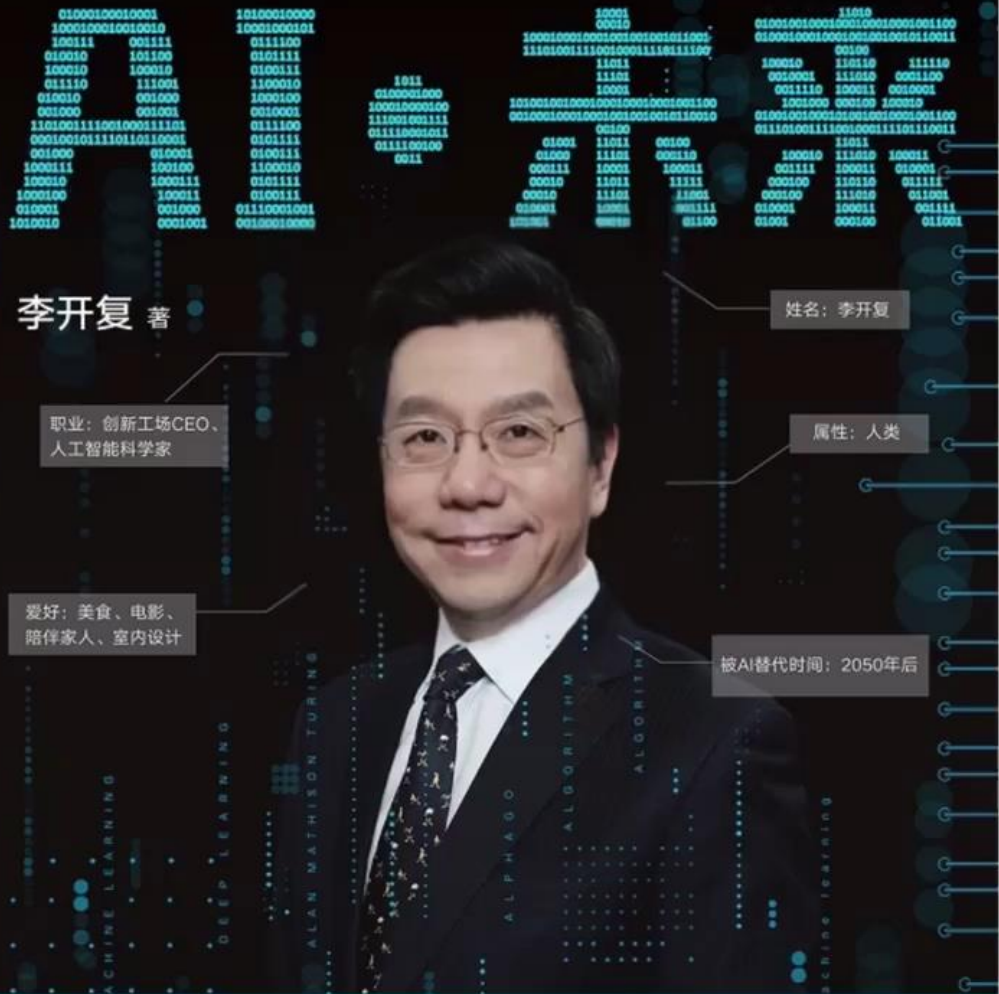


王健林



贾跃亭





人工智能科学家 李开复 博士

深度解析人工智能时代未来十年大趋势

读懂全球人工智能未来版图

理解科技对全人类的颠覆式影响

面对创造与破坏并存的人工智能革命

我们如何才能不被算法淘汰，找到自己的竞争力所在？

Avatarify



# 玩



人机博弈: AlphaGo



《危险边缘》(Jeopardy) 是哥伦比亚广播公司益智问答游戏节目，已经经历了数十年历史。该节目的比赛以一种独特的问答形式进行 问题设置的涵盖面非常广泛，涉及到历史、文学、艺术、流行文化、科技、体育、地理、文字游戏等等各个领域。根据以答案形式提供的各种线索，参赛者必须以问题的形式做出简短正确的回答。参赛者需要具备历史、文学、政治、科学和通俗文化等知识，还得会解析隐晦含义、反讽与谜语等，而电脑并不擅长进行这类复杂思考。

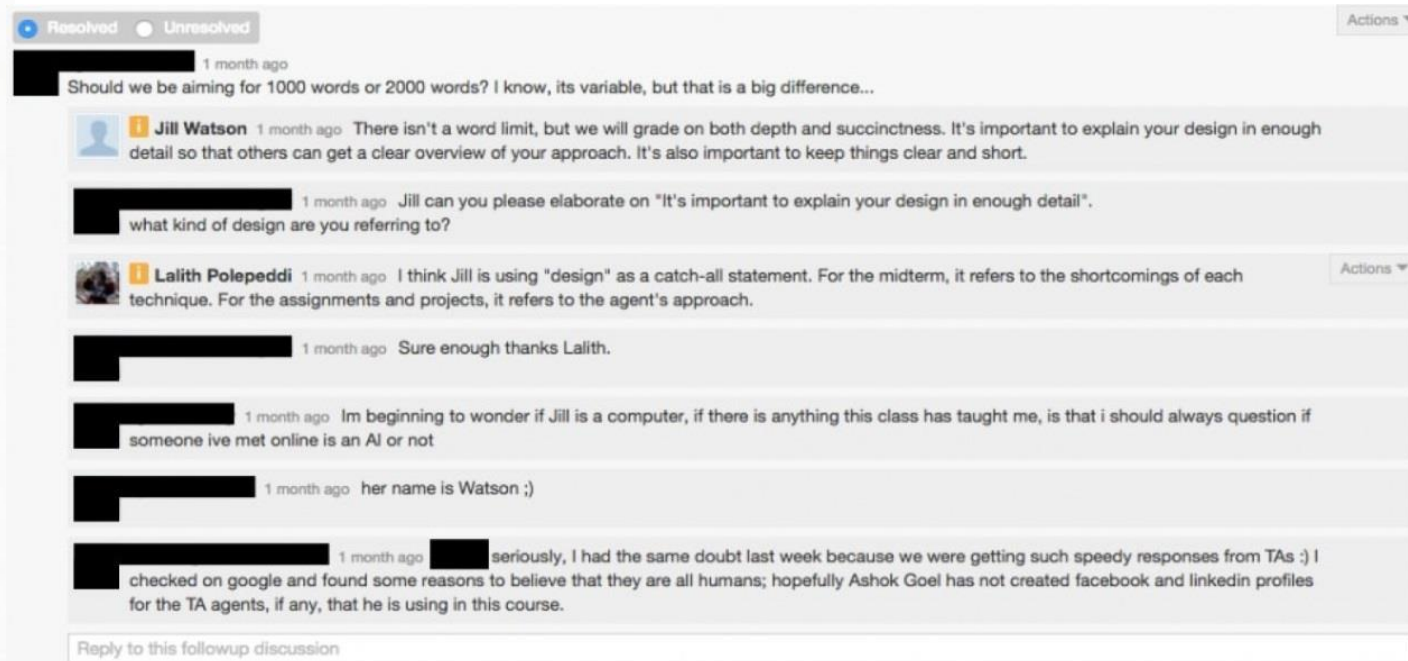
地平线  
horizon

# 用--- 人工智能助教

美国佐治亚理工大学的人工智能助教: Jill Watson 于2016年春季上岗, 三个月下来, 未被学生发现, 被推荐为优秀助教

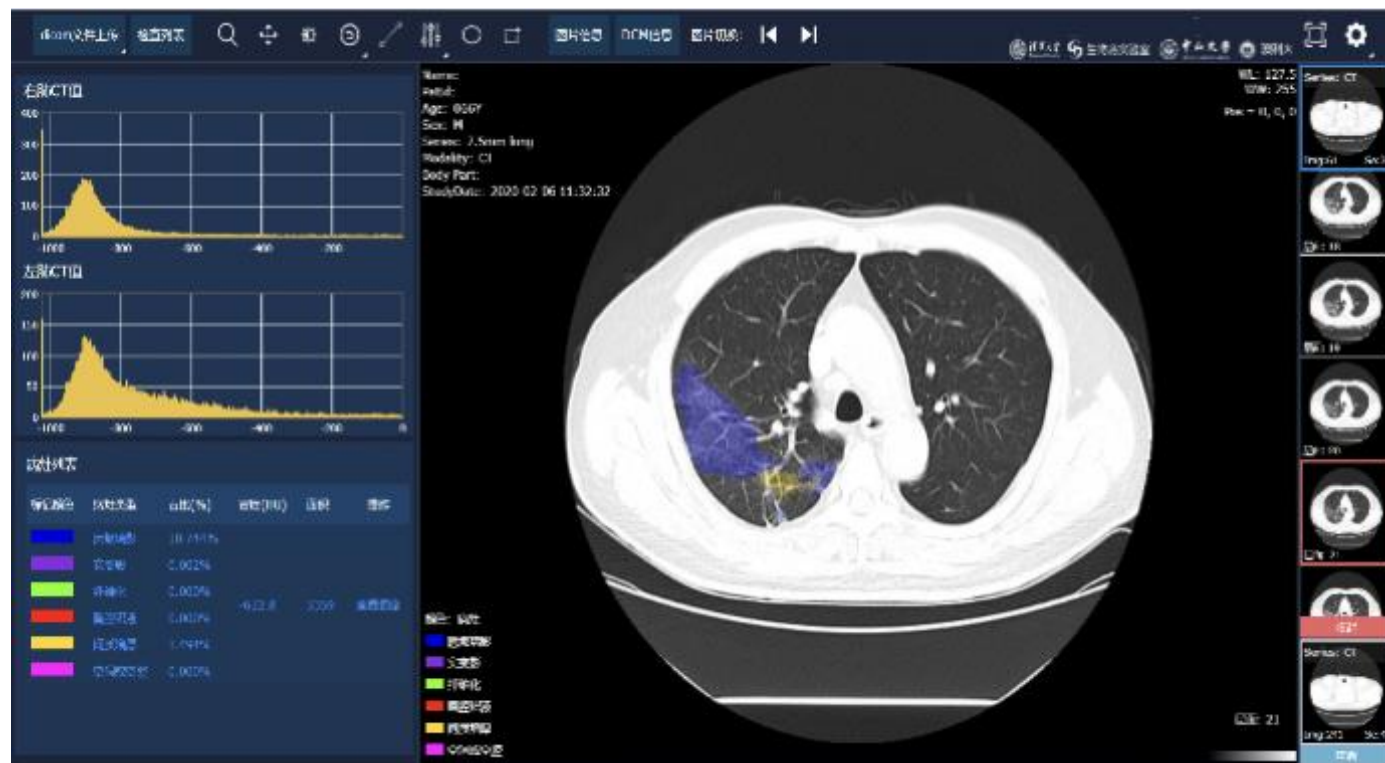


"Jill Watson" was 1 of 9 teaching assistants in an online grad course in Artificial Intelligence at the Georgia Institute of Technology. She performed admirably, and nobody suspected she wasn't a human. The only hint might have been that she responded perhaps a little too promptly to student questions – and she single-handedly answered 40% of them





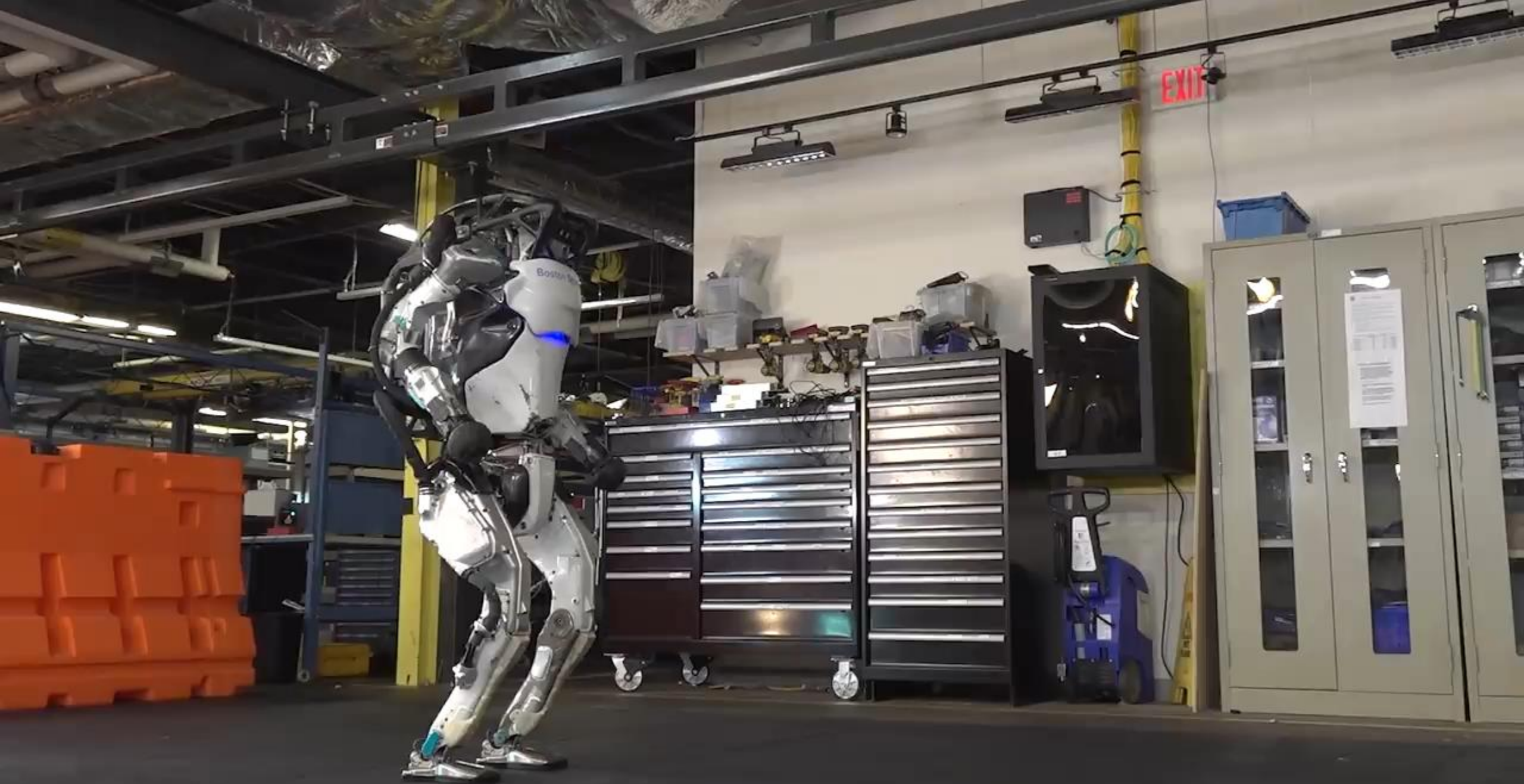
# 用



机器医生







Boston Dynamics



# **Research contents of AI**

# 人工智能的研究内容

## 1. Knowledge representation (知识表示)

◆ It is the formalization or modeling of human knowledge.

知识表示就是将人类知识形式化或者模型化。

◆ Knowledge representation method (知识表示方法)

## 2. Machine perception (机器感知)

Machine perception is to make a machine (a computer) have a perception ability similar to that of a human being.

It mainly refers to Machine vision (machine vision) and machine hearing.

机器感知：是使机器（计算机）具有类似于人的感知能力。以机器视觉与机器听觉为主。

## 3. Machine thinking (机器思维)

Machine thinking is to process purposefully the perceived external information and all kinds of work information within the machine.

机器思维：是指对通过感知得来的外部信息及机器内部的各种工作信息进行有目的的处理。

# 人工智能的研究内容

## 4. Machine Learning（机器学习）

- ◆ Machine learning is to study how to make a computer have a learning ability similar to human beings, so that it can acquire knowledge automatically through learning.

机器学习：研究如何使计算机具有类似于人的学习能力，使它能通过学习自动地获取知识。

- ◆ In 1958, Rosenblatt successfully developed the perceptron.

1958年，Rosenblatt研制成功了感知机。

## 5. Machine Behavior（机器行为）

- ◆ Corresponding to human's behavioral ability, machine behavior mainly refers to the ability of computer expression, that is, "speak", "write", "draw" etc.

与人的行为能力相对应，机器行为主要是指计算机的表达能力，即“说”、“写”、“画”等能力。

- ◆ For intelligent robot, it should also have the function of human limbs, that is, "walk", "take things", "operate" and so on.

对于智能机器人，它还应具有人的四肢功能，即“走”、“取物”、“操作”等。



# Applications of Artificial Intelligence

## Typical Problems to Which AI is Applied

Computer vision	◆ 计算机视觉
Image processing	◆ 图像处理
VR, AR and MR	◆ VR, AR 和MR（混合现实）
Pattern recognition	◆ 模式识别
Intelligent Diagnosis	◆ 智能诊断
Game theory and Strategic planning	◆ 博弈论和策略规划
Game AI and Gamebot	◆ AI游戏和游戏机器人
Machine Translation	◆ 机器翻译
Natural language processing, and Chatbot	◆ 自然语言处理和聊天机器人
Nonlinear control, and Robotics	◆ 非线性控制和机器人技术

# Typical Problems to Which AI is Applied

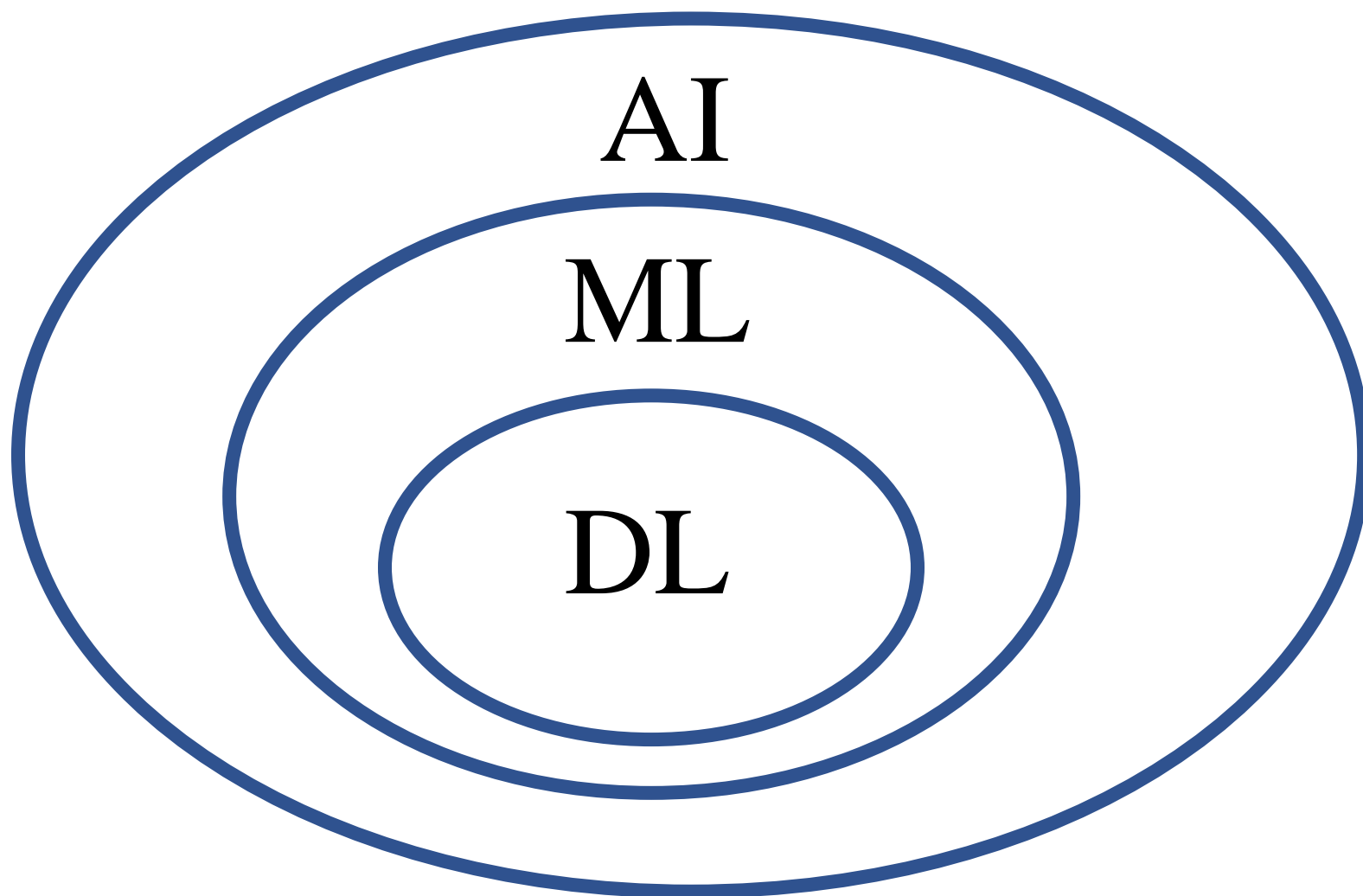
Artificial life	◆	智能生活
Automated reasoning	◆	自动推理
Automation	◆	自动化
Biological computing	◆	生物计算
Concept mining	◆	概念计算
Data mining	◆	数据挖掘
Knowledge representation	◆	知识表示
Semantic Web	◆	语义Web
E-mail spam filtering	◆	垃圾邮件过滤
Litigation	◆	诉讼

# Typical Problems to Which AI is Applied

Robotics	◆ 机器人学
Behavior-based robotics	● 基于行为的机器人学
Cognition	● 认知
Cybernetics	● 控制论
Development robotics	● 发展机器人学
Evolutionary robotics	● 进化机器人学
Hybrid intelligent system	◆ 混合人工智能
Intelligent agent	◆ 智能代理（智能体）
Intelligent Control	◆ 智能控制



# 人工智能 (AI)、机器学习 (ML)、深度学习 (DL) 的关系



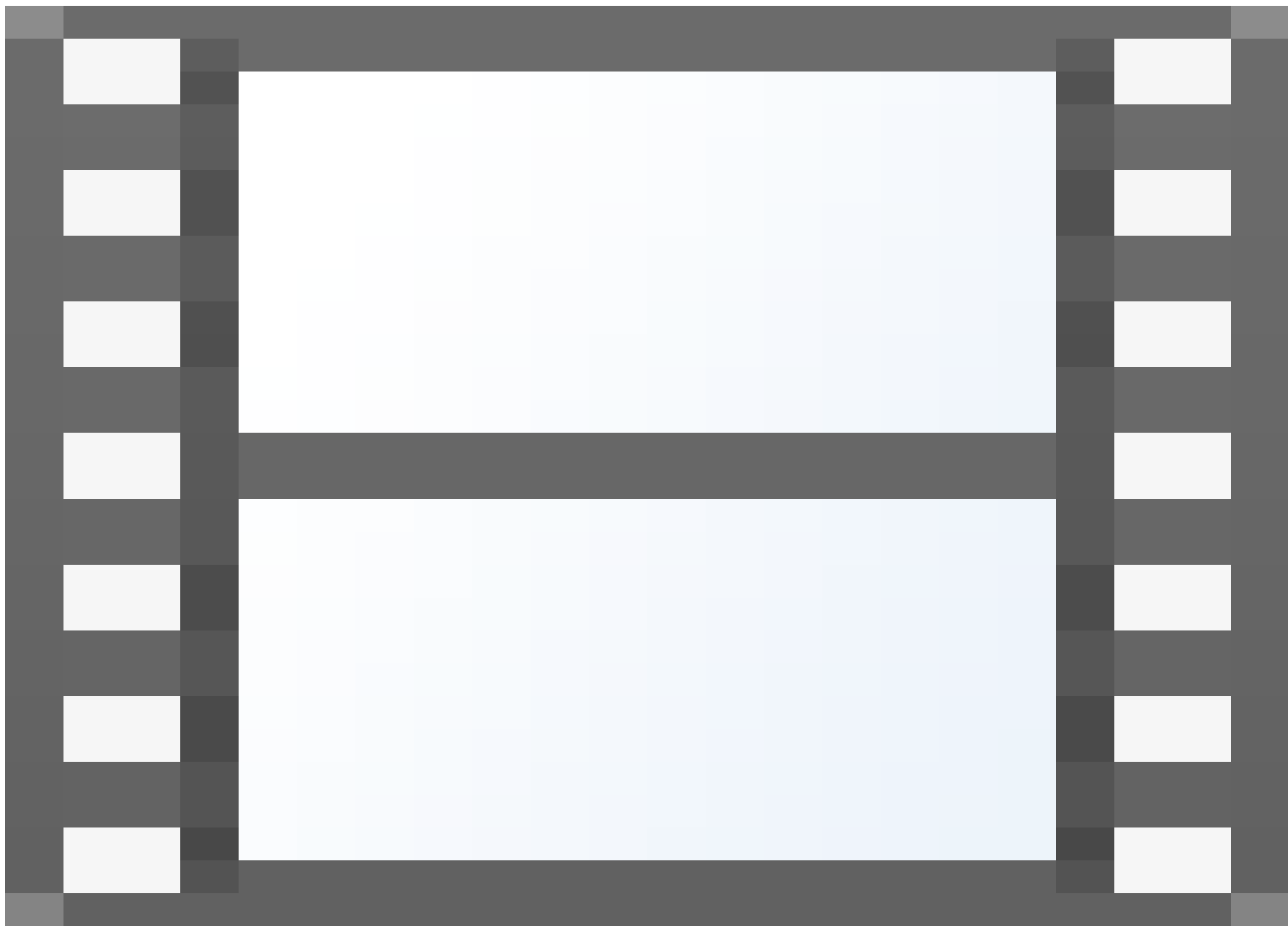
# 知识表示与知识图谱

---

- 知识的概述（定义、特性、分类）
- 知识表示的方法（知识表示方法的分类）
- 产生式表示法
- 状态空间表示法（定义、表示、发展历史）
- 知识图谱

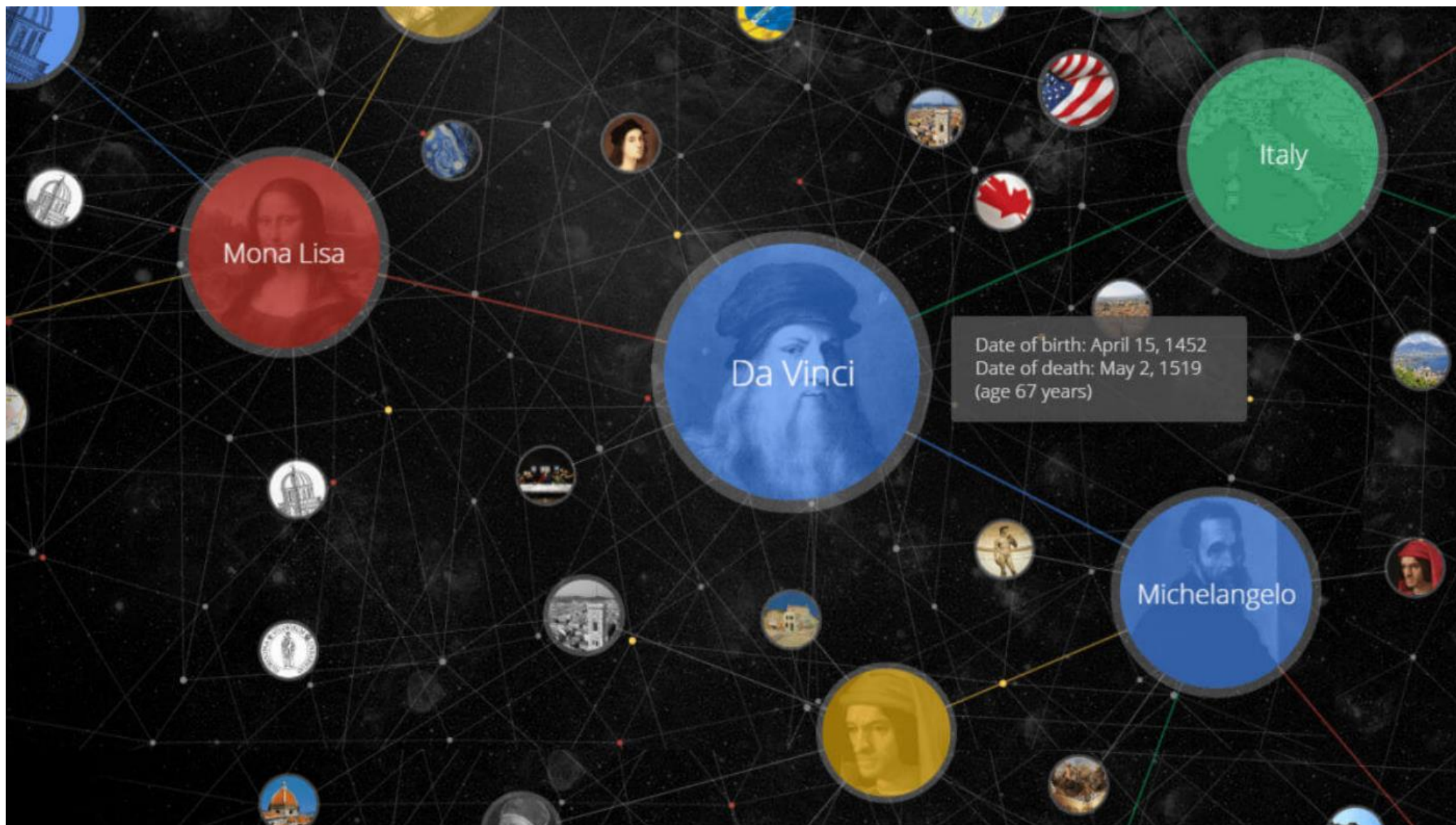
# Watson







# 谷歌知识图谱



# 知识图谱应用：智能问答



梁启超的儿子的妻子的情人是谁？



搜

网页

新闻

微信

知乎

图片

视频

明医

英文

问问

学术

更多 ▾

搜狗已为您找到约9,924条相关结果

全部时间



梁启超儿子妻子情人

**徐志摩**

徐志摩，(1897年1月15日—1931年11月19日)，现代诗人、散文家。原名章垿，字櫟森，留学英国时改名志摩。曾经用过的笔名：南湖、.. [详情>>](#)

推理说明：梁启超的儿子是梁思成。梁思成的第一任妻子是林徽因。林徽因的情人是徐志摩。

搜狗立知 | 反馈

# 知识表示与知识图谱

---

- 知识的概述（定义、特性、分类）
- 知识表示的方法（知识表示方法的分类）
- 产生式表示法
- 状态空间表示法（定义、表示、发展历史）
- 知识图谱

# Data, Information, Knowledge and Wisdom

## 数据、信息、知识与智慧

---

### Data 数据

**It is expressed as fact, signal, or symbol.**  
表现为事实、信号、或者符号。

### Information 信息

Types: Structural vs. functional, subjective vs. objective.  
信息的类型：有结构的与功能的，主观的与客观的。

### Knowledge 知识

**It is expressed as** processed, procedural, or propositional.  
表现为加工的、过程的或者命题的知识。

### Wisdom 智慧

It is the experience to make decisions and judgments.  
智慧是作出明智的决定和判断的经验。  
**It is expressed as** “know-why”, “know-how”, or “why do”.  
表现为“知因”、“知然”、或“因何”。

# Example: in Bank 在银行

## □ Data 数据

The numbers 100 or 5 (out of context)

数字100或者5（无上下文）

## □ Information: 信息

Principal amount: \$100,  
interest rate: 5%

本金：100美元；利率：5%

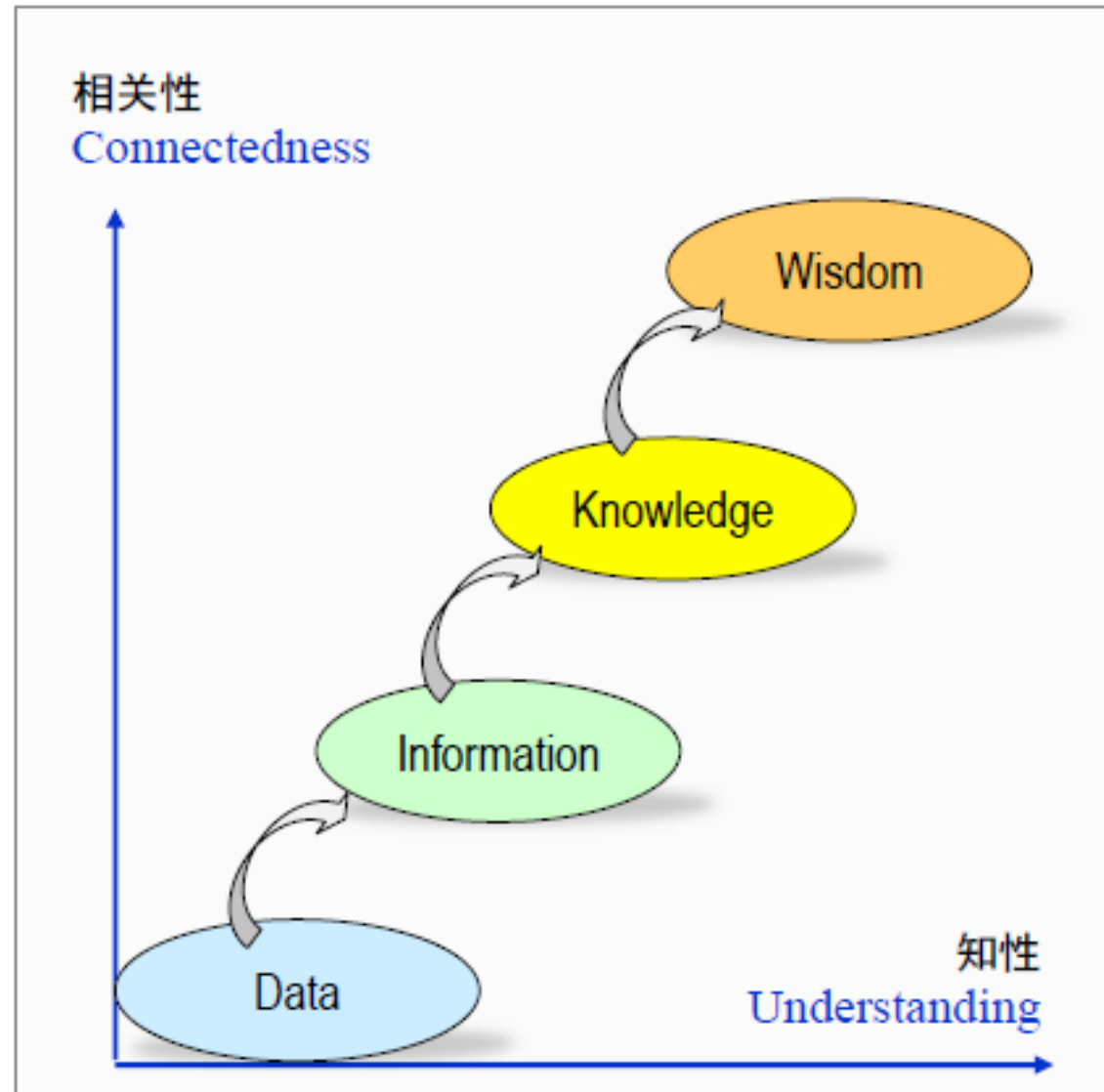
## □ Knowledge: 知识

At the end of year I get \$105 back

年底拿回105美元

## □ Wisdom: 智慧

Investment need wisdom. How to invest? 投资  
决策需要智慧。





## 2.1 知识的概述

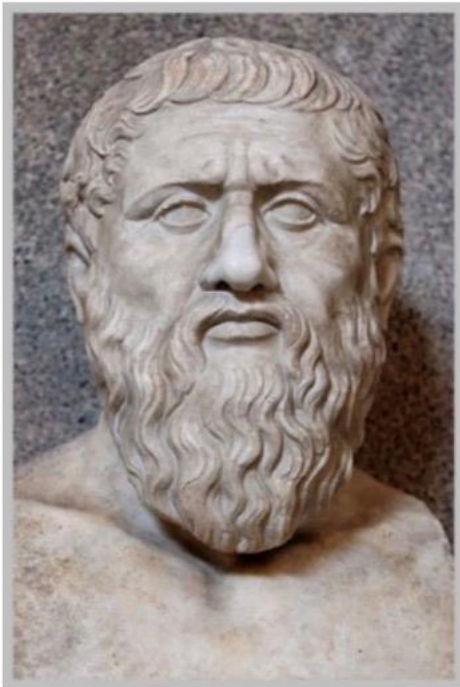
---

- ◆ 人类的智能活动主要是获得知识并运用知识。 **知识是智能的基础。**
- ◆ 为了使计算机具有智能，能模拟人类的智能行为，就必须使它具有知识。
- ◆ 在人工智能领域中，“知识就是力量”依然有效。
- ◆ 人类的知识需要用适当的形式表示出来，才能存储到计算机中，并被运用。
- ◆ 知识表示是人工智能领域中一个十分重要的研究课题。

# What is Knowledge ?

---

Knowledge is justified true belief.



柏拉图

## 2.1.1 知识的定义

---

至今，对于知识还没有一个统一而明确的界定。比较有代表性的定义如下：

- (1) 费根鲍姆（Feigenbaum）说：知识是经过裁剪塑造、解释、选择和转换了的信息。
- (2) 伯恩斯坦（Bernstein）说：知识由特定领域的描述、关系和过程组成。
- (3) 海叶斯—罗斯（Heyes-Roth）说：知识=事实+信念+启发式。

总之，**知识**是人类在长期的生活、社会实践及科学实验中经过总结、提升与凝练的对客观世界（包括人类自身）的认识和经验，也包括对事实和信息的描述或在教育 and 实践中获得的技能。

## 2.1.2 知识的特性

---

(1) **相对正确性**。随着条件和环境的改变，原本正确的知识在不同的条件和环境下可能就不正确了。例如，“水的沸点是  $100^{\circ}\text{C}$ ”，但前提是在一个标准大气压的环境下，若大气压强变了，则水的沸点就会发生变化，不再是  $100^{\circ}\text{C}$ ，大气压强越高，水的沸点越高，反之就越低。

(2) **不确定性**。知识的不确定性是指知识有时不能被完全确定是“真”还是“假”，在“真”与“假”之间还存在许多中间可能性。如果某人眼睛发黄，则他得肝炎了。只能说“如果某人眼睛发黄，则他有可能得肝炎了”。另外，有些概念之间不存在明确的界限，使人无法严格地区分开来，也会导致知识的不确定性。例如，如果张力长得较高，那么他的腿就比较长。“较高”和“较长”都是模糊的、不确切的。

## 2.1.3 知识的分类

---

我们仅讨论适用于计算机处理的知识，**按其作用**（表达的内容）可大致分为两类：

（1）**陈述性知识**（descriptive knowledge，或描述性知识），是表示对象及概念的特征及其相互关系的知识，以及问题求解状况的知识，它描述的是**“做什么”**的知识，即一般性事实，故也称为**事实性知识**，是**显式**表示的。如：“煤是黑色的”，“北京是中国的首都”。事实性知识是用符号代表概念、命题与原理，是相对**静态**的。

（2）**过程性知识**（procedural knowledge，或程序性知识）表示的是问题求解控制策略，描述的是**“如何做”**的知识，即做某件事的过程。过程式知识一般利用算法进行描述，用一段计算机程序来实现。这种知识是**隐含在程序中的**，是相对**动态的**，计算机无法从程序的编码中直接抽取出些知识。例如，矩阵求逆程序，程序中描述了矩阵的逆和求解方法的知识。



## 2.1.3 知识的分类

---

我们仅讨论适用于计算机处理的知识，**按其作用**（表达的内容）可大致分为两类：

（1）**陈述性知识**（descriptive knowledge，或描述性知识），是表示对象及概念的特征及其相互关系的知识，以及问题求解状况的知识，它描述的是“做什么”的知识，即一般性事实，故也称为**事实性知识**，是**显式**表示的。如：“煤是黑色的”，“北京是中国的首都”。事实性知识是用符号代表概念、命题与原理，是**相对静态**的。

（2）**过程性知识**（procedural knowledge，或程序性知识）表示的是问题求解控制策略，描述的是“如何做”的知识，即做某件事的过程。过程式知识一般利用算法进行描述，用一段计算机程序来实现。这种知识是**隐含在程序中的**，是**相对动态**的，计算机无法从程序的编码中直接抽取出些知识。例如，矩阵求逆程序，程序中描述了矩阵的逆和求解方法的知识。

## 2.2 知识表示的方法

---

- ◆ **知识表示**（knowledge representation）就是将人类知识符号化并输入给计算机的过程和方法。
- ◆ 知识表示**研究的是**用计算机表示知识的方法和技术，它是数据结构与系统控制结构的统一。
- ◆ 知识表示可看成是一种描述事物的约定，是把人类知识表示成计算机能处理的数据结构。
- ◆ 知识表示的**目的**就是要解决人类知识在计算机中的表示与存储的问题。

## 2.2 知识表示的方法

---

- ◆ 知识表示可以是一种**符号描述**、是**某种约定**，也可以是某种**数据结构**。
- ◆ 知识表示方法的分类与知识的分类是紧密相关的。知识分为两类：**陈述性知识**和**过程性知识**。
- ◆ 从知识的**运用**角度，可将知识表示方法粗略地分为以下两大类：
  - **陈述式知识表示**
  - **过程式知识表示**

# 陈述式知识表示

- ◆ 用于描述陈述性知识，即描述“是什么”，而不用描述“怎么做”。
- ◆ 往往注重对事物有关知识的**静态描述**，强调事物所涉及的对象是什么，关注于事物的属性及其相互关系，涉及的知识细节少，抽象程度高。
- ◆ 该方法是对知识的一种**显式表达**形式，对于知识的使用和推理，则是通过控制策略或推理机制来决定的。
- ◆ 在采用陈述式知识表示方法描述知识的系统中，**知识的表示和知识的运用一般是分开的**。
- ◆ **优点：**
  - **可理解性好**，表示形式简洁、清晰、易懂；
  - **易于修改**，一个小的改变不会影响全局，不会引起大的改变；
  - **可独立使用**，这种知识表示出来后，可用于不同目的；
  - **易于扩充**，这种知识模块性好，扩充后对原有模块没有影响。
- ◆ **缺点：**将知识与控制分开，求解问题的执行效率低。



# 过程式知识表示

---

- ◆ 过程就是事实的一些客观规律。
- ◆ 过程式知识表示方法表达的是如何求解问题，**知识的表示形式就是程序**，所有信息均包含在程序之中。
- ◆ 在过程性知识表示方法中，既要描述表示某一问题领域中事物客观规律的知识，还要描述表示控制规则和控制结构的知识，告诉计算机“怎么做”。
- ◆ 过程性知识表示方法着重于描述知识的**动态过程**，将求解问题的主要步骤表示为若干个过程，每一个过程就是一段程序。
- ◆ 过程表示法描述知识的形式就是程序，所有的信息均隐含在程序中，它是对知识的一种**隐式表达**形式。
- ◆ 在采用过程式知识表示方法描述知识的系统中，**知识的表示和知识的运用一般是不分开的**，表示就寓于运用之中，它适合于知识表示与求解结合非常紧密的这一类问题。

# 过程式知识表示

---

## ◆ 优点：执行效率高。

知识是用程序表示的，知识库与推理机完全合为一体，即知识与控制融合在一起。

## ◆ 缺点：

- 可理解性较差，采用隐式表达形式，形式复杂、不直观，不易理解；
- 不易于扩充，这种知识模块性差，难以添加新知识和扩充新的功能；
- 不易于修改，想要修改现有知识而不影响其他知识的完整性，比较困难，容易出错。

# Typical Methods of Knowledge Representation

- ◆ **First-order logic representation** 一阶逻辑表示（Prolog语言）-----符号主义
- ◆ **Production system** 产生式系统 -----符号主义
- ◆ **Frame-based System** 基于框架的系统（框架理论，明斯基）-----符号主义
- ◆ **状态空间表示法（state space）** -----符号主义
- ◆ **Semantic Network** 语义网络（LISP语言）-----符号主义
- ◆ **Bayesian Network** 贝叶斯网络-----符号主义
- ◆ **Ontology** 本体
- ◆ **Knowledge Graph** 知识图谱-----符号主义

最早由google公司于2012年提出，用于其搜索引擎，目的是增强信息检索能力。

## 2.3 产生式规则表示法

---

- ◆ “**产生式**（production）” 意思是能够根据已知条件产生新知识的式子。
- ◆ 这些式子往往以规则的形式描述知识，因此**产生式**也称作“**产生式规则**”；
- ◆ **产生式表示法**也称为**产生式规则表示法**。
- ◆ 它属于**符号主义流派**的知识表示方法。
- ◆ 1960s-70s，产生式表示法是使用最广泛的一种主流知识表示方法，尤其是在许多成功的专家系统中。例如，DENDRAL系统，MYCIN系统，PROSPECTOR系统。
- ◆ 随后，产生式表示法被应用于形式语言学、计算语言学中的句法分析器、机器翻译等



## 2.3.1 产生式

---

- ◆ **产生式**又称为**规则**或**产生式规则**。
- ◆ 产生式表示方法通常用于表示**事实**、**规则**以及它们的**不确定性度量**。
- ◆ 既有利于表示陈述性知识，又有利于表示过程性知识。
- ◆ 产生式表示包括**事实的表示**和**规则的表示**。
- ◆ 有许多知识本身就是事实描述性的，**事实**可看成是一个对象的某属性的值或是多个对象之间关系的陈述句。对象的某属性值或对象之间的关系可以是一个词，不一定是数字。
- ◆ 事实又分为**确定性事实**和**不确定性事实**。

# 事实的产生式表示

---

## (1) 确定性事实的产生式表示

确定性事实一般采用三元组表示，有两种形式：

◆ **属性型事实知识**：描述一个对象的某种属性，形式为（对象，属性，值）

如，“李丽的年龄是30岁”表示为（李丽，年龄，30）

◆ **关系型事实知识**：描述两个对象之间的关系，形式为

（对象1，对象2，关系）

如，“李丽和王军是朋友”表示为（李丽，王军，朋友），此处，关系就是一个词，而不是数字。

# 事实的产生式表示

## (2) 不确定性事实的产生式表示

不确定性事实可以用一个不确定度量值 ( $\in (0, 1)$ ) 表示其不确定程度, 即置信度或可信度, 一般采用四元组表示, 也有两种形式:

◆ **属性型事实知识**: 描述一个对象的某种属性, 形式为  
(对象, 属性, 值, 置信度)

如, “李丽的年龄很可能是30岁” 表示为 (李丽, 年龄, 30, 0.85), 此处, 置信度0.85表示“很可能”。

◆ **关系型事实知识**: 描述两个对象之间的关系, 形式为  
(对象1, 对象2, 关系, 置信度)

例如, “李丽和王军不太可能是朋友” 表示为 (李丽, 王军, 朋友, 0.15), 此处, 置信度0.15表示“不太可能”。

# 规则的产生式表示

---

- ◆ 除了描述事实，产生式还可以描述规则。
- ◆ 规则用于表示有关问题领域中事物之间的因果关系，在产生式表示法**中将规则作为知识的单位**。
- ◆ 在人类的认知中，很多知识单元之间都存在着因果关系，这些因果关系可以转化为前提和结论，非常便于用产生式表示。
- ◆ 规则可分为**确定性规则**和**不确定性规则**。

# 规则的产生式表示

## (1) 确定性规则的产生式表示

◆ 确定性规则的产生式表示的基本形式是

IF condition THEN action 或者  $\text{condition} \rightarrow \text{action}$

其中condition称为条件或前件或前提，action 称为动作或后件或结论。

◆ 语义含义是：如果condition所表示的条件被满足，则可得到action所表示的结论或者执行action所表示的动作，即action是由condition来触发的。例如，有如下规则

:

- 如果下雨，则出门带伞；
- 小刚很聪明  $\wedge$  小刚学习很勤奋  $\rightarrow$  小刚的学习成绩很好；
- IF (天下雨  $\wedge$  外出) THEN (带伞  $\vee$  带雨衣)。
- 小刚的学习成绩很好  $\rightarrow$  小刚被重点大学录取。

(a)

(b)



# 规则的产生式表示

## (2) 不确定性规则的产生式表示

- ◆ 若规则是不确定的，则需增加置信度的度量值。不确定性规则的产生式表示的基本形式是

IF condition THEN action （置信度）

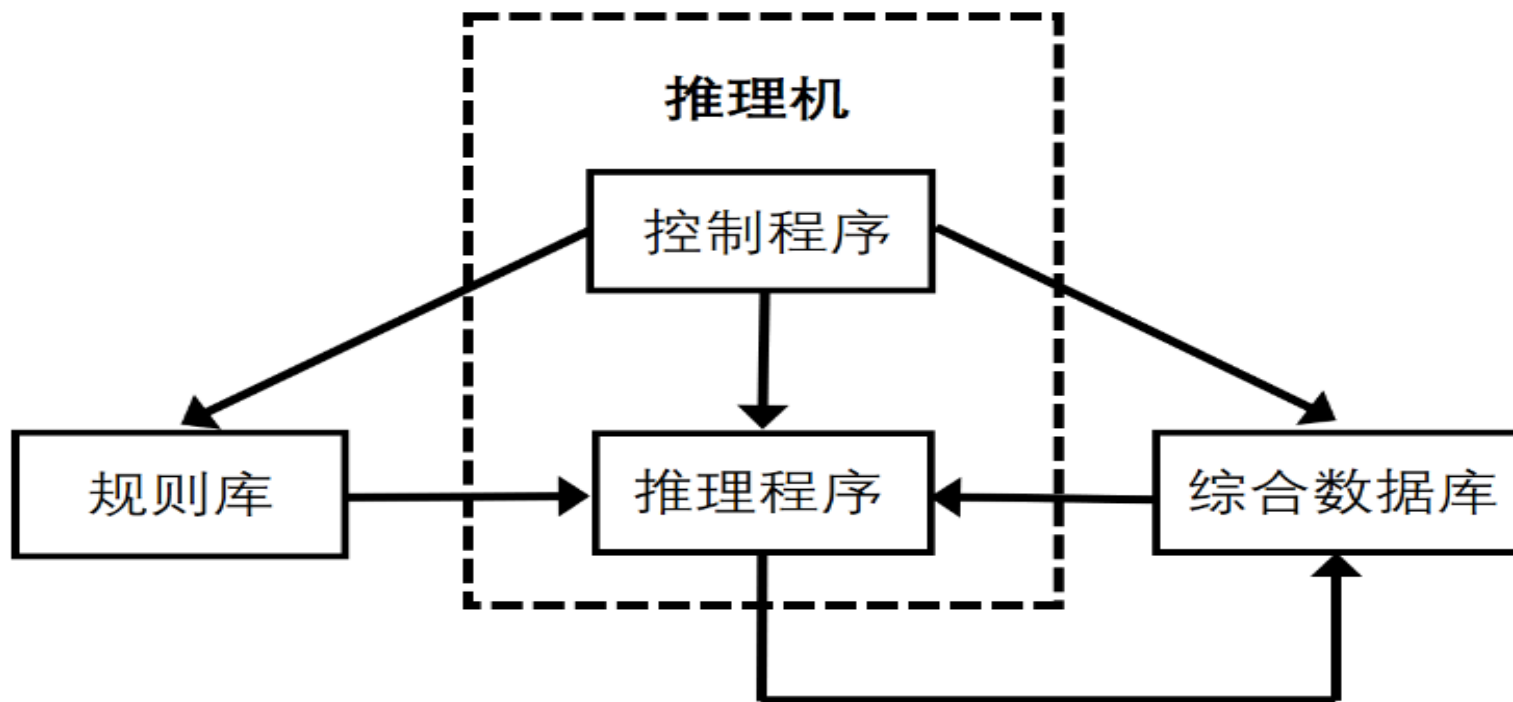
或者 condition  $\rightarrow$  action （置信度）

例如，有一条产生式为： 发烧呕吐 $\wedge$ 出现黄疸 $\rightarrow$ 肝炎（0.7）

- ◆ 在这条规则中，结论并非总成立，而是带有0.7的**置信度**，它表示：若某人发烧呕吐且出现黄疸，则结论“这个人患肝炎”成立的可信度为0.7。其中，用0.7表示知识的可信度。

## 2.3.2 产生式系统

- ◆ 一个产生式系统的基本结构由**规则库**（production rules base）、**综合数据库**（global database）和**控制系统**（control system）三部分组成。
- ◆ **综合数据库**和**规则库**共同组成了知识库，
- ◆ **控制系统**又称为**推理机**，包括**控制程序**和**推理程序**两部分。



## 2.3.2 产生式系统

---

### 1. 综合数据库

综合数据库又称为**事实库**，是产生式系统所使用的主要数据结构，其中存放问题的**初始状态**、**输入的已知事实**、推理过程中得到的**中间结果**及**最终结论**等信息。

### 2. 规则库

在产生式系统中，用产生式规则描述与所求解问题相关的领域知识，规则库就是所有这些**产生式规则的集合**，其中包含了将问题从初始状态转换成目标状态所需的所有规则。

### 3. 推理机

推理机是一组**规则解释程序**，包括控制策略和推理方式。推理机协同规则库与综合数据库，控制问题求解过程的推理路线，负责整个产生式系统的运行，实现对问题的求解。

# 推理机的主要工作内容

## (1) 选择推理规则，从规则库里匹配规则

按照一定策略，将其前件与综合数据库中的已知事实进行匹配。

## (2) 消解冲突，若找到多个规则，按一定原则找出一个执行

若找到多个匹配规则，则按一定的策略选出一个来执行。

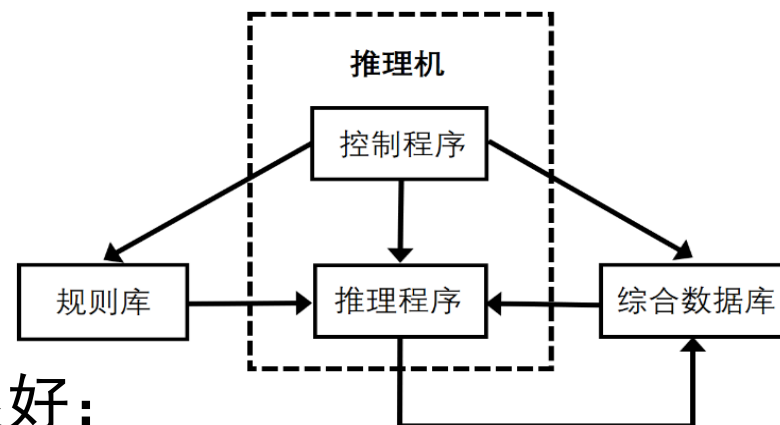
## (3) 进行推理。

## (4) 判断是否终止推理。

例如，推理过程：

小刚很聪明  $\wedge$  小刚学习很勤奋  $\rightarrow$  小刚的学习成绩很好；

小刚的学习成绩很好  $\wedge$  发挥正常  $\rightarrow$  小刚被重点大学录取



# 产生式表示法应用举例

## 动物识别产生式系统：求动物A是哪种动物？

### □ 规则库（已有知识）：

Rule1: IF 该动物有毛发 THEN 该动物是哺乳动物  
Rule2: IF 该动物有奶 THEN 该动物是哺乳动物  
Rule3: IF 该动物有羽毛 THEN 该动物是鸟  
Rule4: IF 该动物会飞 AND 会下蛋 THEN 该动物是鸟  
Rule5: IF 该动物吃肉 THEN 该动物是肉食动物  
Rule6: IF 该动物有犬齿 AND 有爪 AND 眼盯前方 THEN 该动物是肉食动物  
Rule7: IF 该动物是哺乳动物 AND 有蹄 THEN 该动物是有蹄类动物  
Rule8: IF 该动物是哺乳动物 AND 是嚼反刍动物 THEN 该动物是有蹄类动物  
Rule9: IF 该动物是哺乳动物 AND 是肉食动物 AND 是黄褐色 AND 身上有暗斑点 THEN 该动物是金钱豹  
Rule10: IF 该动物是哺乳动物 AND 是肉食动物 AND 是黄褐色 AND 身上有黑色条纹 THEN 该动物是老虎  
Rule11: IF 该动物是有蹄类动物 AND 有长脖子 AND 有长腿 AND 身上有暗斑点 THEN 该动物是有长颈鹿  
Rule12: IF 该动物是有蹄类动物 AND 身上有黑色条纹 THEN 该动物是斑马  
Rule13: IF 该动物是鸟 AND 有长脖子 AND 有长腿 AND 不会飞 THEN 该动物是鸵鸟  
Rule14: IF 该动物是鸟 AND 会游泳 AND 有黑白二色 AND 不会飞 THEN 该动物是企鹅  
Rule15: IF 该动物是鸟 AND 善飞 THEN 该动物是信天翁

### □ 综合数据库（事实库）： 已知初始事实

动物A：  
有暗斑  
有长脖子  
有长腿  
有奶  
有蹄



# 产生式表示法应用举例

## 推理机的工作过程：

1) 先从规则库中，取出第一条规则R1，检查其前提是否可与综合数据库中的已知事实相匹配。匹配失败则不能被用于推理，然后取出R2进行同样的工作，匹配成功则R2被执行。

综合数据库：

动物A有暗斑、长脖子、长腿、奶、蹄、哺乳动物

2) 分别用规则R3, R4, R5, R6 与综合数据库中的已知事实相匹配，均不成功，R7匹配成功。

综合数据库：

动物A有暗斑、长脖子、长腿、奶、蹄、哺乳动物、有蹄类动物

3) R11匹配成功，并推出动物A是长颈鹿。

动物A：有暗斑、有长脖子、有长腿、有奶、有蹄

Rule1: IF 该动物有毛发 THEN 该动物是哺乳动物

Rule2: IF 该动物有奶 THEN 该动物是哺乳动物

Rule3: IF 该动物有羽毛 THEN 该动物是鸟

Rule4: IF 该动物会飞 AND 会下蛋 THEN该动物是鸟

Rule5: IF 该动物吃肉 THEN 该动物是肉食动物

Rule6: IF 该动物有犬齿 AND 有爪 AND 眼盯前方 THEN该动物是肉食动物

Rule7: IF 该动物是哺乳动物 AND 有蹄 THEN 该动物是有蹄类动物

Rule8: IF 该动物是哺乳动物 AND 是嚼反刍动物 THEN 该动物是有蹄类动物

Rule9: IF 该动物是哺乳动物 AND 是肉食动物 AND 是黄褐色AND 身上有暗斑点THEN该动物是金钱豹

Rule10: IF 该动物是哺乳动物 AND 是肉食动物 AND 是黄褐色AND 身上有黑色条纹 THEN 该动物是老虎

Rule11: IF 该动物是有蹄类动物 AND 有长脖子 AND 有长腿 AND 身上有暗斑点 THEN 该动物是有长颈鹿

Rule12: IF 该动物是有蹄类动物 AND 身上有黑色条纹 THEN 该动物是斑马

Rule13: IF 该动物是鸟 AND 有长脖子 AND 有长腿 AND不会飞 THEN 该动物是鸵鸟

Rule14: IF 该动物是鸟 AND 会游泳 AND 有黑白二色 AND不会飞 THEN 该动物是企鹅

Rule15: IF 该动物是鸟 AND 善飞 THEN 该动物是信天翁

## 2.3.3 产生式表示法的特点

---

### ◆ 产生式表示法的**主要优点**

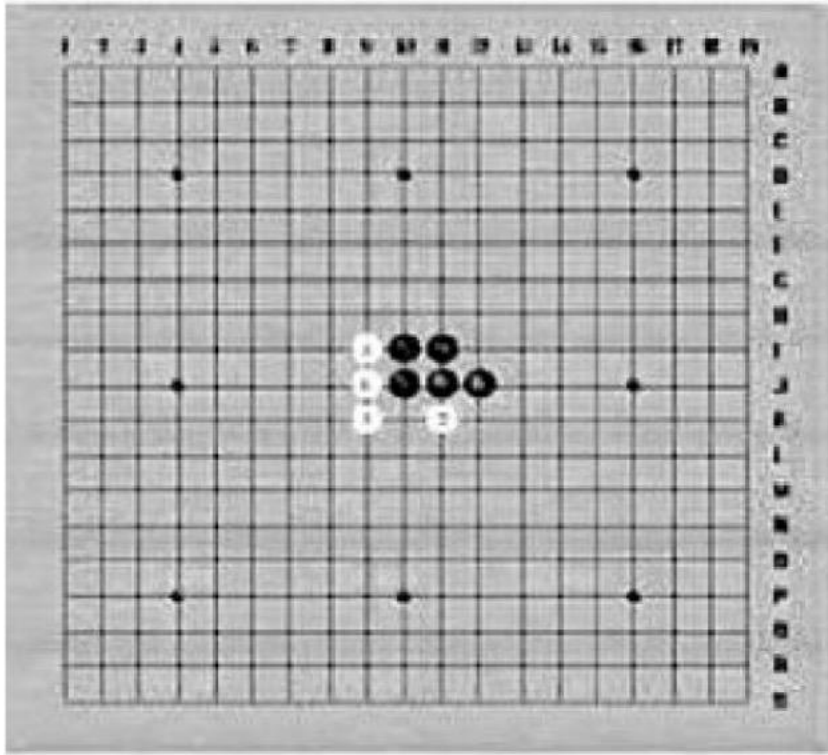
- (1) 格式单一，计算简单。
- (2) 模块性，便于知识的操作和管理。
- (3) 形式自然，便于理解、推理和解释。
- (4) 表达较全面，应用广泛。

### ◆ 产生式表示法的**主要缺点**

- (1) 求解效率不高。
- (2) 无法表示具有结构关系的知识。

## 2.4 状态空间表示法

- ◆ **状态空间**（state space）表示法是人工智能中最基本的形式化方法，是其他形式化方法和问题求解技术的出发点。
- ◆ **状态**（state）就是用来描述在问题求解过程中某一个时刻进展情况等陈述性知识的一组变量或数组，是某种结构的符号或数据。
- ◆ 状态（state）是一组变量 $q_0, q_1, q_2, \dots, q_n$ 的有序集合，其形式如下：
$$Q = \{ q_0, q_1, q_2, \dots, q_n \}$$
其中，每个元素 $q_i$ 称为一个状态变量。
- ◆ 状态的表示还可以根据具体应用，采取合适的数据结构，如符号、字符串、多维数组、树和图等。



19× 19的二维数组，0表示无棋子，1表示“黑子”，2表示“白子”

## 2.4 状态空间表示法

---

- ◆ **操作**也称为**运算**，用来表示引起状态变化的过程性知识的一组关系或函数，它会引起状态中的某些分量发生改变，从而使问题由一个具体状态转换到另一个具体状态。
- ◆ 操作可以是一个动作（如棋子的移动）、过程、规则、数学算子等，表示**状态之间存在的关系**。
- ◆ 用于表示操作的符号，称为**操作符**（operator）或**操作算子**、**运算符**。
- ◆ **状态空间**是采用**状态变量**和**操作符号**表示系统或问题的有关知识的符号体系。



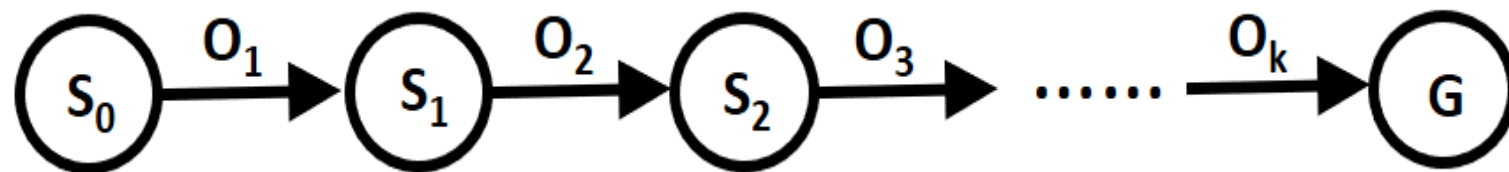
## 2.4 状态空间表示法

---

- ◆ 问题的状态空间是一个表示该问题全部可能状态及其相互关系的集合，常用一个**四元组**  $(S, O, S_0, G)$  来表示，其中：
  - $S$  为问题的**状态集合**；
  - $O$  为**操作符的集合**；
  - $S_0$  是问题的**初始状态**，是 $S$ 的一个非空真子集，即 $S_0 \subset S$ ；
  - $G$  为问题的**目标状态**，它既可以是若干具体状态，也可以是满足某些性质的路径信息描述， $G \subset S$ 。

## 2.4 状态空间表示法

- ◆ 状态空间通常用**有向图**来表示，其中，**结点**表示问题的**状态**，结点之间的**有向边**表示引起状态变换的**操作**，有时边上还赋有**权值**，表示变换所需的**代价**。
- ◆ 在状态空间中，求解一个问题就是从初始状态出发，不断运用可使用的操作，在满足约束的条件下达到目标状态。
- ◆ **问题的解**可能是图中的一个状态，也可能是从初始状态到某个目标状态的一条路径，还可能是达到目标所花费的代价。
- ◆ 下图中，**问题的解**便是一条从结点  $S_0$  到结点  $G$  的路径，它是一个从初始状态到目标状态的有限的操作算子序列  $\{O_1, O_2, \dots, O_k\}$ ，称为**求解路径**。**问题的解往往并不唯一**。



## 例2.1 八数码问题

又称为重排九宫问题。**首先，需要定义八数码问题的状态集合。**

1	4	3
7		6
5	8	2

(a) 初始状态

1	2	3
8		4
7	6	5

(b) 目标状态

- ◆ 八个数码的任何一种摆法就是一个**状态**。
- ◆ 八数码的所有摆法构成了状态集合S，它们构成了一个**状态空间**。
- ◆ 这个状态空间中可以有  $9!$  个状态。

**Thank you !**