

人工智能概论-自动规划

赵亚伟

zhaoyw@ucas.ac.cn

中国科学院大学 大数据分析技术实验室

2018.5.7

目录

- 机器人规划的作用与任务
- 积木机器人的机器人规划
- STRIPS规划系统
- 具有学习能力的规划系统
- 分层规划
- 基于专家系统的机器人规划
- 小结

概述

- 自动规划（Automatic Planning或Automated Planning）是一种重要的问题求解技术，**侧重于问题求解的过程，而不是求解结果**
- 规划要解决的问题是**现实中的问题**，而不是抽象的数学模型问题
- 往往以机器人规划作为典型例子，生动直观，所以，又称为**机器人规划**
- 是人工智能与机器人学的结合，因此，又称为**智能规划（Intelligent Planning）**
- 人工智能出现前，存在一种基于运筹学和应用数学的动态规划，智能规划有别于动态规划，前者是基于人工智能理论和技术的自动规划

自动规划 { 动态规划，基于运筹学和应用数学
 智能规划，基于人工智能

概述

- 规划本质上是对动作的推理，选择和组织一组动作，尽可能地实现一个预先设定的目标
- 与知识表示、推理的关系
 - 规划本质是推理，与搜索密不可分
 - 搜索的前提是知识表示，如状态空间、问题规约等
 - 所以，规划可以是 状态空间知识表示 + 搜索

自动规划的分类

□ 按规划对象分为以下三个层次

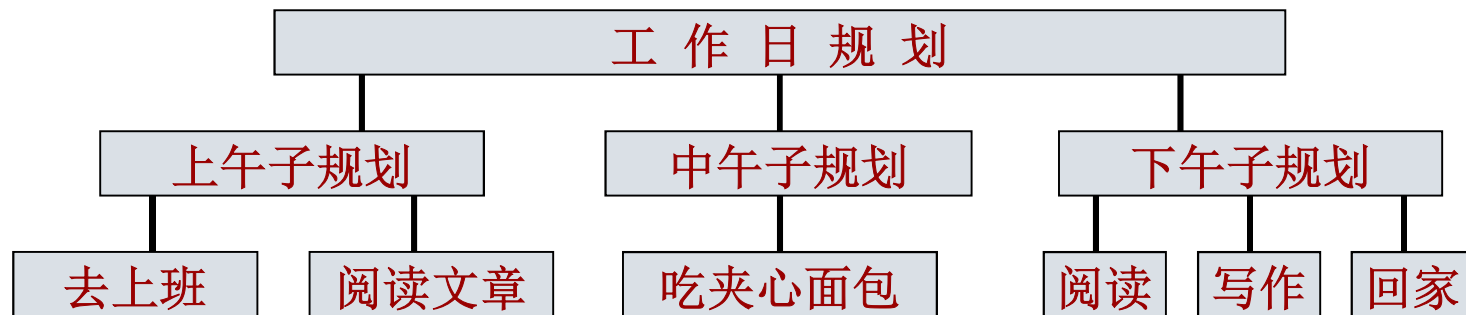
- **任务规划**，对求解问题的目标的任务进行规划，高层规划
- **路径规划**，对求解问题的途径、路径、代价等进行规划，又称为中层规划
- **轨迹规划**，对求解问题的空间几何轨迹及其生成进行规划，又称底层规划

规划的作用与问题分解途径

□ 规划的概念及作用

■ 规划的概念

- **规划**是一种重要的问题求解技术，它从某个特定的问题状态出发，寻求一系列行为动作，并**建立一个操作序列**，直到求得目标状态为止。



子规划的分层结构例子

■ 规划的作用

- **规划**可用于监控问题求解过程，并能够在造成较大的危害之前发现差错。规划的好处可归纳为简化搜索、解决目标矛盾以及为差错补偿提供基础。

□ 问题分解途径及方法

- 把某些比较复杂的问题分解为一些比较小的子问题。有两条能够实现这种分解的重要途径。

- **第一条重要途径**是当从一个问题状态移动到下一个状态时，无需计算整个新的状态，而只要考虑状态中可能变化了的那些部分。

- **第二条重要途径**是把单一的困难问题分割为几个有希望的较为容易解决的子问题。

□ 问题域的预测于规划的修正

- （1）问题论域的预测
- （2）规划的修正，问题分解使得影响局部化

机器人规划系统的任务与方法

- **在规划系统中，必须具有执行下列各项任务的方法：**
 - 根据最有效的启发信息，选择应用于下一步的最好规则。
 - 应用所选取的规则来计算由于应用该规则而生成的新状态。
 - 对所求得的解答进行检验。
 - 检验空端，以便舍弃它们，使系统的求解工作向着更有效的方向进行。
 - 检验殆正确的解答，并应用具体的技术使之完全正确

☐ 选择于应用规则

☐ 检验解答与空端

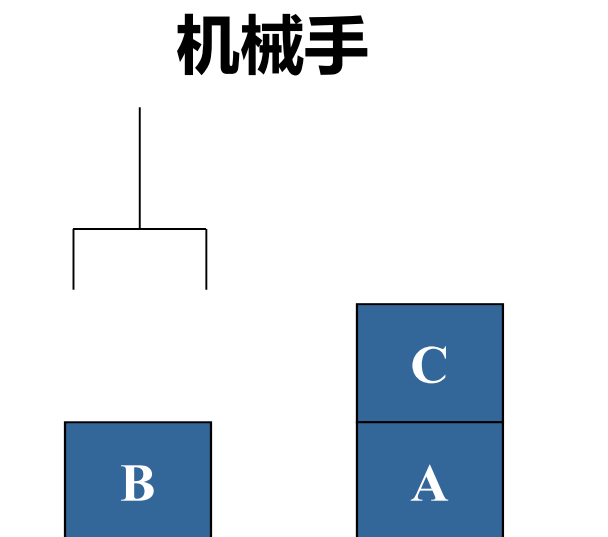
☐ 修正殆正确解

目录

- 机器人规划的作用与任务
- 积木机器人的机器人规划
- STRIPS规划系统
- 具有学习能力的规划系统
- 分层规划
- 基于专家系统的机器人规划
- 小结

积木世界的机器人问题

- ❑ 积木世界由一些有标记的立方形积木，互相堆迭在一起构成；
- ❑ 机器人有个可移动的机械手，它可以抓起积木块并移动积木从一处至另一处。

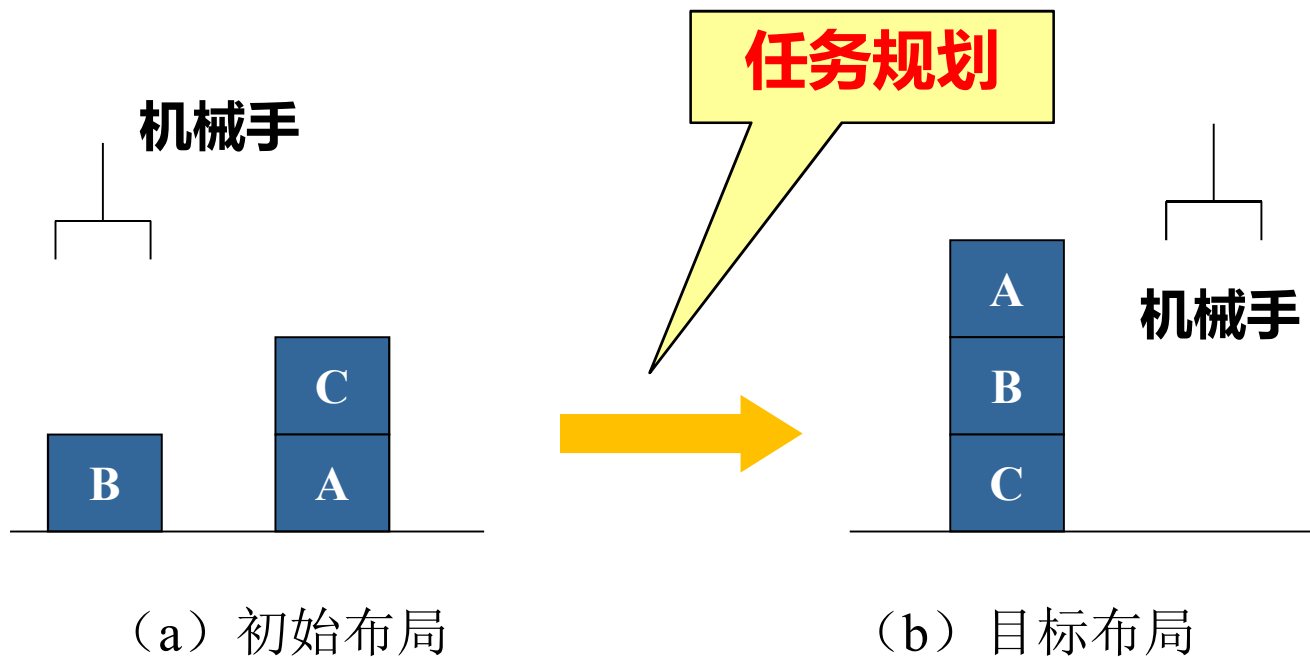


□ **在这个例子中机器人能够执行的动作举例如下：**

- **unstack(a,b):** 把堆放在积木**b**上的积木**a**拾起。在进行这个动作之前，要求机器人的手为空手，而且积木**a**的顶上是空的。
- **stack(a,b):** 把积木**a**堆放在积木**b**上。动作之前要求机械手必须已抓住积木**a**，而且积木**b**顶上必须是空的。
- **pickup(a):** 从桌面上拾起积木**a**，并抓住它不放。在动作之前要求机械手为空手，而且积木**a**顶上没有任何东西。
- **putdown(a):** 把积木**a**放置到桌面上。要求动作之前机械手已抓住积木**a**。

-
- **研究内容**是综合机器人的动作序列，即在某个给定初始情况下，经过某个动作序列而达到指定的目标。
 - 机器人问题的状态描述和目标描述均可用谓词逻辑公式构成：
 - **ON(a,b)**: 积木a在积木b之上。
 - **ONTABLE(a)**: 积木a在桌面上。
 - **CLEAR(a)**: 积木a顶上没有任何东西。
 - **HOLDING(a)**: 机械手正抓住积木a。
 - **HANDEMPY**: 机械手为空手。

-
- 目标在于建立一个积木堆，其中，积木B堆在积木C上面，积木A又堆在积木B上面。



积木世界的机器人问题

□ **初始布局可由下列谓词公式的合取来表示：**

- **CLEAR(B):** 积木B顶部为空
- **CLEAR(C):** 积木C顶部为空
- **ON(C, A):** 积木C堆在积木A上
- **ONTABLE(A):** 积木A置于桌面上
- **ONTABLE(B):** 积木B置于桌面上
- **HANDEEMPTY:** 机械手为空手

□ **目标布局：**

- **ON(B,C) and ON(A,B)**

用F规则求解规划序列

□ STRIPS规划系统的规则由3部分组成：

- 第一部分是**先决条件**。
- 第二部分是一个叫做**删除表的谓词**。
- 第三部分叫做**添加表**。

复习：

F规则：正向演绎推理（Forward reasoning）

■ 推理规则（知识）的表示

这些规则是建立在某个问题辖域中普通陈述性知识的蕴涵公式基础上的。我们把允许用作规则的公式类型限制为下列形式：

$$L \Rightarrow W$$

式中，**L**是**单文字**；**W**为**与或形的唯一公式**。

□ **例：**表示堆积木的例子中move这个动作，如下所示：
move(x,y,z)表示把物体 x 从物体 y 上面移到物体 z 上面

先决条件：CLEAR(x), CLEAR(z), ON(x,y)

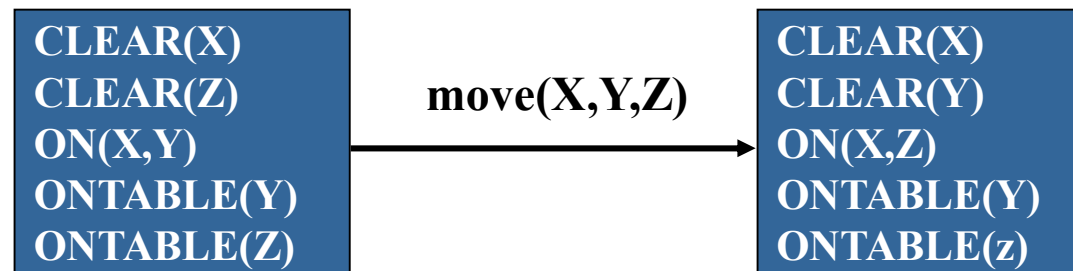
删除表：ON(x,y), CLEAR(z)

添加表：ON(x,z), CLEAR(y)

删除表：当一条规则被应用于某个状态描述或数据库时，就从数据库中删去删除表的内容

添加表：添加一种新状态

□ 如果move为此机器人仅有的操作符或适用动作，那么，
可以生成搜索图或搜索树



表示move动作的搜索树

□ 机器人的4个动作(或操作符)可用STRIPS形式表示如下:

□ **stack(X,Y)**

■ 先决条件和删除表: $\text{HOLDING}(X) \wedge \text{CLEAR}(Y)$

■ 添加表: $\text{HANDEEMPTY}, \text{ON}(X, Y)$

删除表

□ **unstack(X,Y)**

■ 先决条件: $\text{HANDEEMPTY} \wedge \text{ON}(X, Y) \wedge \text{CLEAR}(X)$

■ 删除表: $\text{ON}(X, Y), \text{HANDEEMPTY}$

■ 添加表: $\text{HOLDING}(X), \text{CLEAR}(Y)$

□ **pickup(X)**

■ 先决条件: $\text{ONTABLE}(X) \wedge \text{CLEAR}(X) \wedge \text{HANDEEMPTY}$

■ 删除表: $\text{ONTABLE}(X) \wedge \text{HANDEEMPTY}$

■ 添加表: $\text{HOLDING}(X)$

□ **putdown(X)**

■ 先决条件和删除表: $\text{HOLDING}(X)$

■ 添加表: $\text{ONTABLE}(X), \text{HANDEEMPTY}$

-
- 从初始状态开始，正向地依次读出连接弧线上的F规则，我们就得到一个能够达到目标状态的动作序列（如图8.3中粗线所示）于下：
 - {unstack (C,A), putdown (C), pickup (B), stack (B, C), pickup (A), stack (A,B)}
 - 就把这个动作序列叫做达到这个积木世界机器人问题目标的规划。

目录

- 机器人规划的作用与任务
- 积木机器人的机器人规划
- **STRIPS规划系统**
- 具有学习能力的规划系统
- 分层规划
- 基于专家系统的机器人规划
- 小结

STRIPS规划系统

□ STRIPS的介绍

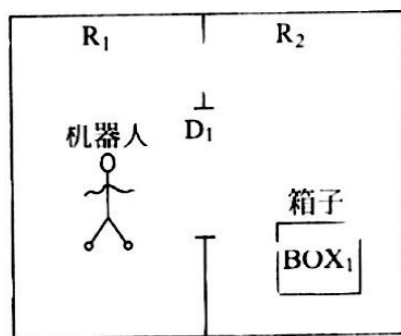
- STRIPS是由Fikes、Hart和Nilsson3人在1981及1982研究成功的，它是夏凯(Shakey)机器人程序控制系统的一个组成部分。

□ STRIPS系统组成

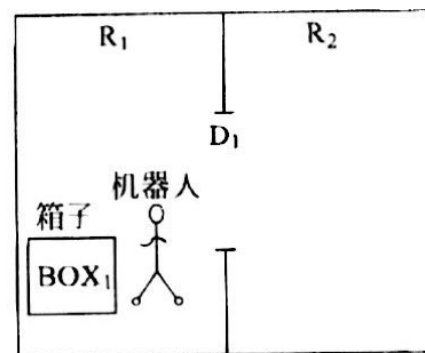
- 世界模型：为一阶谓词演算公式；
- 操作符(F规则)：包括先决条件、删除表和添加表；
- 操作方法：应用状态空间表示和中间-结局分析。

□ Strips是Shakey机器人系统的一个组成部分， Shakey机器人系统包括：

- (1) 车轮及其推进系统；
- (2) 传感器，由电视摄像机和接触杆组成；
- (3) 计算机，接受机器人的传感器信息与输入指令，经过计算后向车轮及其推进系统发出信号；
- (4) 无线通信系统，用于在车轮与计算机之间的数据传递



(a) 初始世界模型 M_0



(b) 目标世界模型 G_0

STRIPS的一个简化模型

Strips的规划过程

□ 问题:

- (1) 初始状态: **INROOM(Robot,R1) and INROOM(Box1,R2) and CONNECTS(D1,R1,R2)**
- (2) 目标状态: **INROOM (Robot,R1) and INROOM(BOX1,R1) and CONNECTS(D1,R1,R2)**

□ 操作符OP1:gothru(d,r1,r2);

- 先决条件: **INROOM(b,r1) and CONNECTS(d,r1,r2)**
- 删除表: 对所有S, **INROOM(Robot,s)**
- 添加表: **INROOM(Robot,r2)**

□ 操作符OP2:pushthru(b,d,r1,r2)

- 先决条件: INROOM (b, r1) and INROOM (Robot, r1) and CONNECTS (d,r1,r2)
- 删除表: 对所有S, INROOM (b, s) , INROOM (Robot, s)
- 添加表: INROOM (b,r2) , INROOM (Robot,r2)

□ 问题的差别表:

差别	操作符	
	gothru	pushthru
物体不在目标房间内		X
机器人不在目标房间内	X	
机器人和物体不在同一房间内	X	
机器人和物体在同一房间内, 但不是目标房间		X

采用中间 - 结局分析方法求解步骤

do GPS的主循环迭代, until M0 与 G0 匹配为止

Begin

G0不能满足M0, 找出M0与G0的差别;

选择操作符OP2: 一个与减少差别d1有关的操作符;

消去差别d1,为操作符OP2设置先决条件G1:

INROOM(b,r1) and INROOM(Robot,r1) and CONNECTS(d,r1,r2)

采用置换: R2/r1 , D1/d 则G1为:

INROOM(BOX1,R2) and INROOM(Robot,R2) and CONNECTS (D1, R2, R1)

重复上述步骤,

差异: INROOM(Robot, R2);

选择操作符OP1;

设置先决条件G2: INROOM(Robot,R1) and CONNECTS(d,r1,R2)

采用置换: R1/r1 , D1/d 则 G2满足

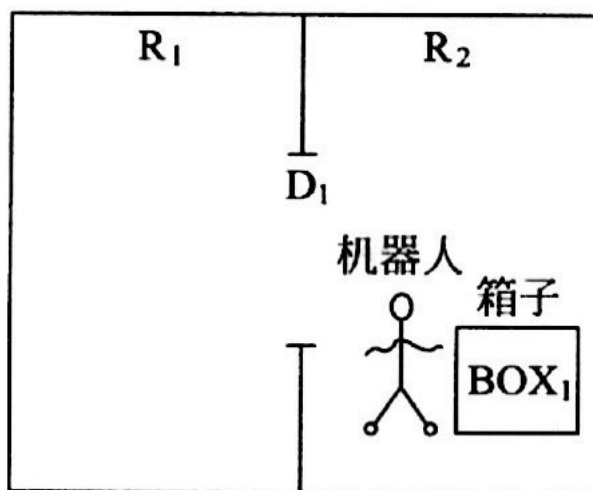
把gothru(D1,R1,R2)作用于M0, 得中间状态M1;

把pushthru(BOX1,D1,R2,R1)于M1得中间状态M2=G0

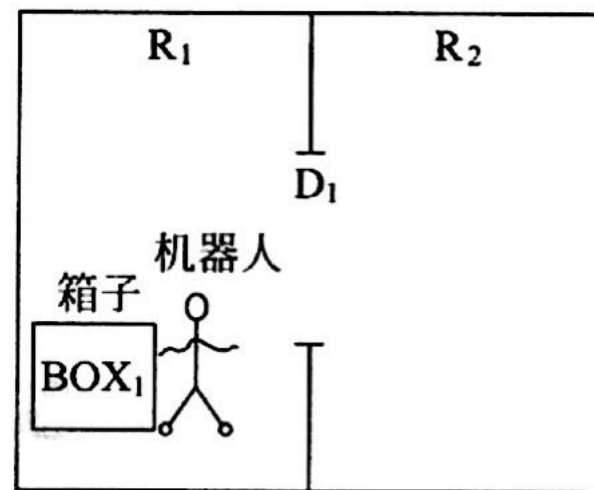
END

□ 最后的规划为:

■ {gothru(D1,R1,R2) , pushthru(BOX1,D1,R2,R1) }

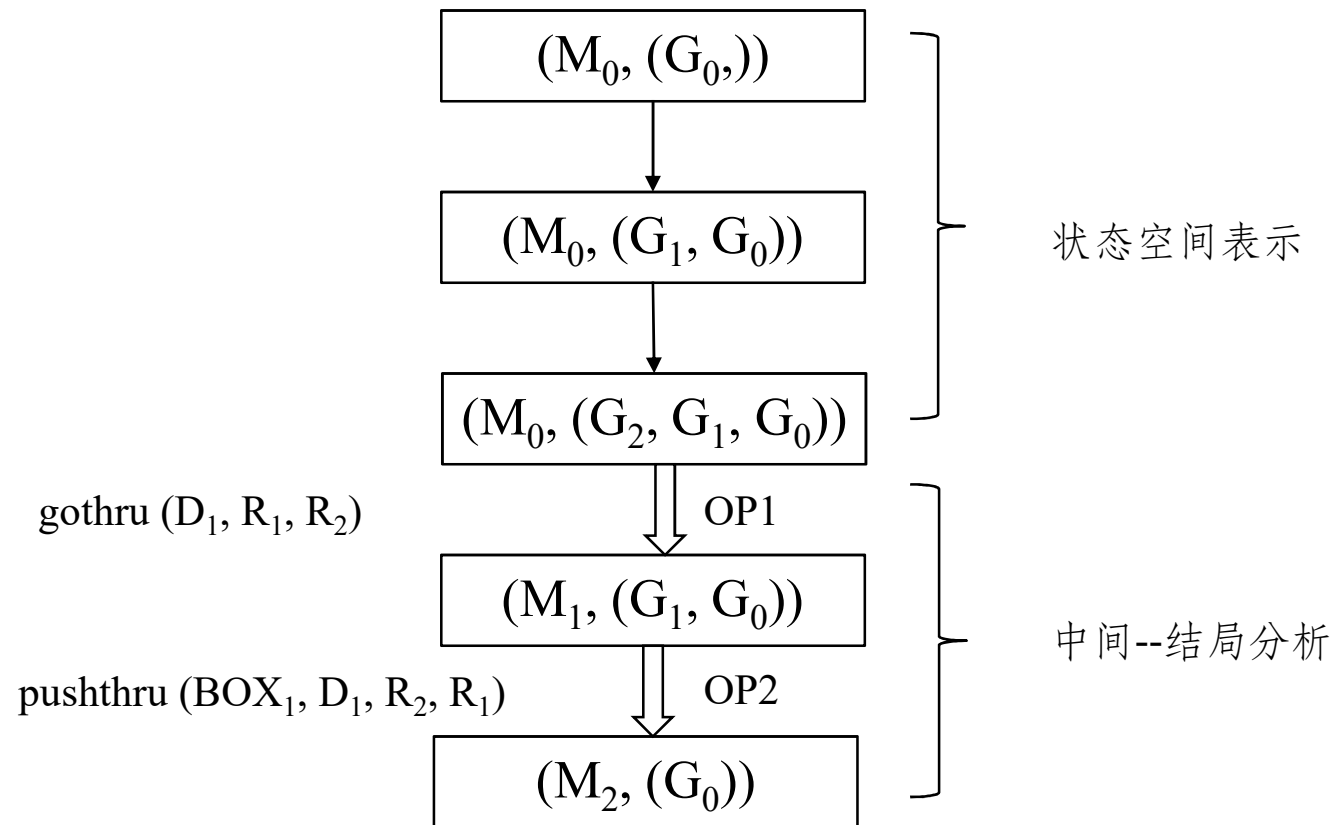


(a) 中间目标状态 M_1



(b) 中间目标状态 M_2

中间目标状态的世界模型



机器人规划例题的搜索图

含有多重解答的规划

- 例如：要求机器人ROBOT把3个不同区域的箱子推倒同一区域；
- 采用归结反演和中间-结局分析来求解；
- 得到多重解答。

目录

- 机器人规划的作用与任务
- 积木机器人的机器人规划
- STRIPS规划系统
- 具有学习能力的规划系统
- 分层规划
- 基于专家系统的机器人规划
- 小结

具有学习能力的规划系统

□ PULP-I机器人规划系统

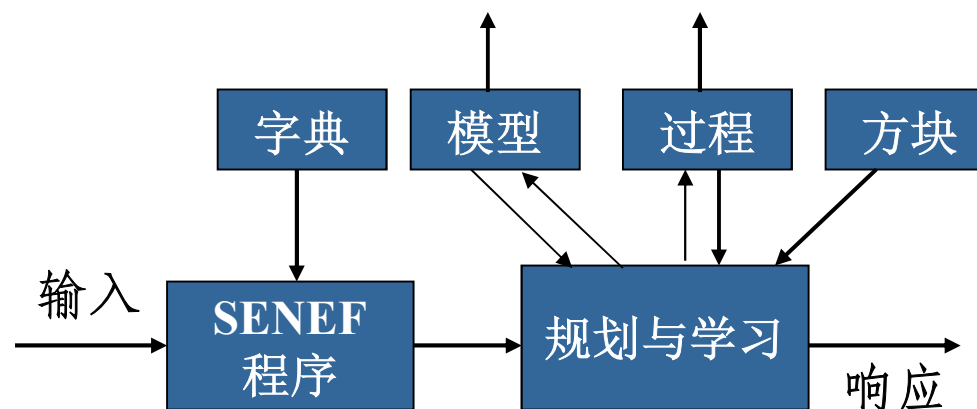
- PULP-I机器人规划系统是一种具有学习能力的系统，它采用管理式学习，其作用原理是建立在类比(analogue)的基础上的。

□ STRIPS的弱点

- 需要极其大量计算机内存和时间等。
- 应用具有学习能力的规划系统能够克服这一缺点。

PULP-I系统的结构与操作方式

□ PULP-I系统的结构



PULP- I 系统的总体结构

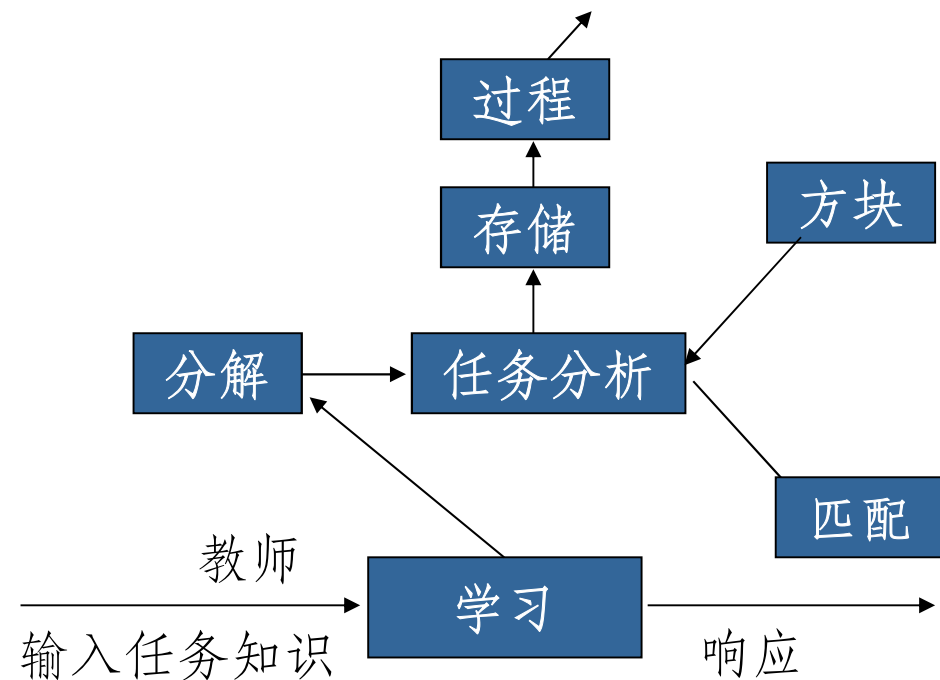
- “字典”是英语词汇的集合。
- “模型”部分包括模型世界物体现有状态的事实。
- “过程”集中了预先准备好的过程知识。
- “方块”集中了LISP程序，它配合“规划”对“模型”进行搜索和修正。

PULP-I系统的操作方式

□ PULP-I系统具有两种操作方式：

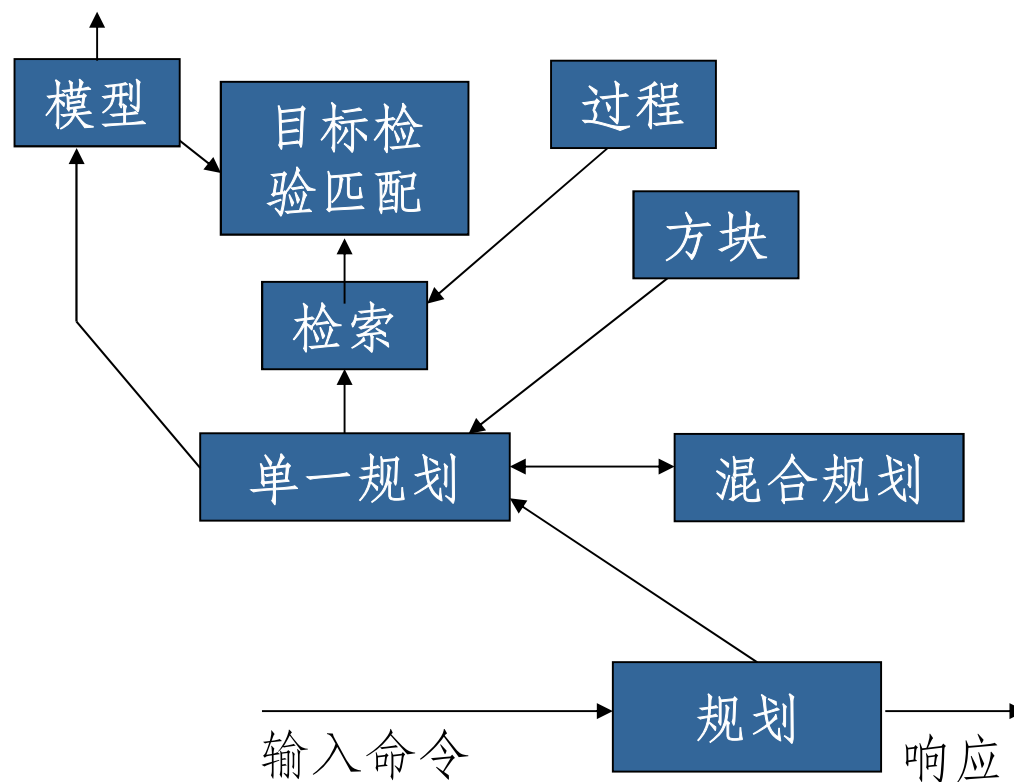
■ 学习方式

□ 在学习方式下，输入至系统的知识是由操作人员或者所谓“教师”提供的。图示出在学习方式下的系统操作。



PULP- I 系统结构

- 规划方式
- 当某个命令句子送入系统时，PULP-I就进入规划方式。上图表示PULP-I系统在规划方式下的结构。



规划方式下PULP- I 系统的结构

目录

- 机器人规划的作用与任务
- 积木机器人的机器人规划
- STRIPS规划系统
- 具有学习能力的规划系统
- 分层规划
- 基于专家系统的机器人规划
- 小结

分层规划

- 为了有效地对问题进行求解，重要的是主要解答之前，能够暂时删去某些细节。然后设法填入适当的细节。
 - 在ABSTRIPS系统(Sacerdoti,1974年)中，研究出一种较好的方法。这个系统实际上在抽象空间的某一层进行规划，而不管抽象空间中较低层的每个先决条件。
 - 分层规划的基本方法
 - 长度优先搜索
 - NOAH规划系统
-

1.长度优先搜索

□ 长度优先搜索

- **首先**，只考虑可能具有最高临界值的先决条件，
- **第二步**，用初步规划作为完整规划的一个轮廓，并考虑下一个临界层的先决条件。用满足那些先决条件的操作符来证明此规划。
- **第三步**，考虑越来越低层的临界先决条件，直至全部先决条件均被考虑到为止。

□ 重点：适当的临界值

2.NOAH规划系统

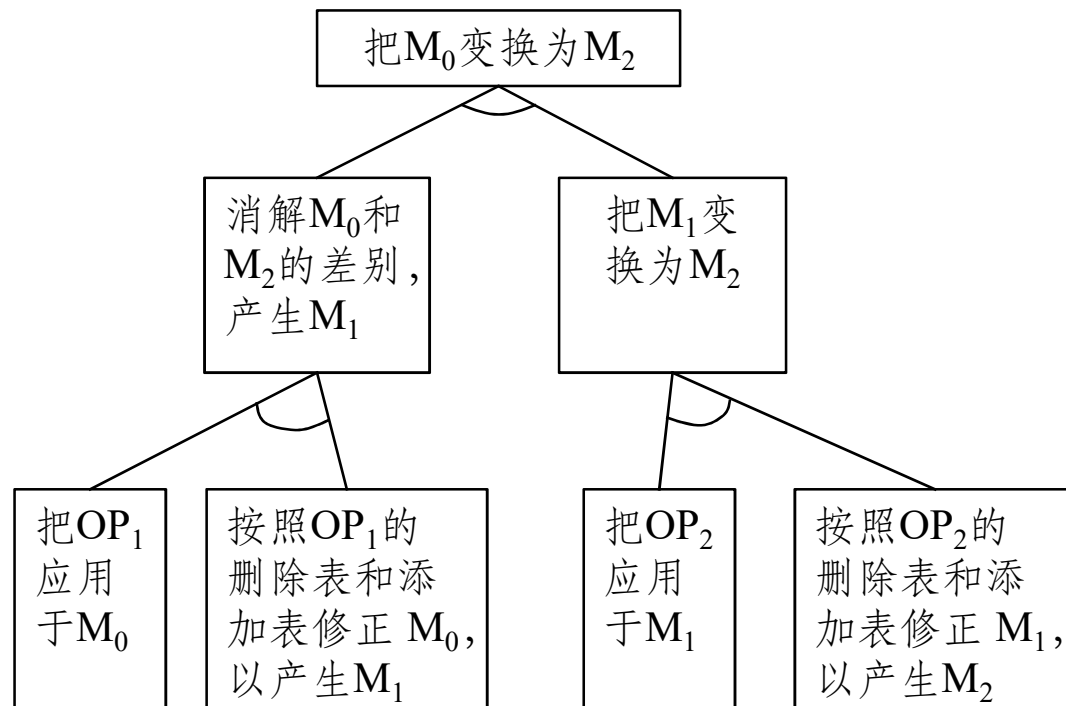
□ 1、应用最小约束策略

- 一个寻找非线性规划而不必考虑操作符序列的所有排列的方法是把最少约束策略应用来选择操作符执行次序的问题。
 - 所需要的是某个能够发现哪些需要的操作符的规划过程，以及这些操作符间的任何需要的排序(例如，在能够执行某个已知的操作符之前，必须先执行其它一些操作符以建立该操作符的先决条件)。
 - 在应用这种过程之后，才能应用第二个方法来寻求那些能够满足所有要求约束的操作符的某个排序
-

2.NOAH规划系统（续）

- 问题求解系统NOAH[Sacerdoti在1975年提出和1977年进一步完善的]正好能够进行此项工作，它采用一种**网络结构**来记录它所选取的操作符之间所需要的排序。
 - 分层进行操作运算，即首先建立起规划的抽象轮廓，然后在后续的各步中，填入越来越多的细节。
-

NOAH规划系统举例



机器人规划例题的与或图

2.NOAH规划系统（续）

□ 2、检验准则

- NOAH系统应用一套准则来检验规划并查出子规划间的互相作用。每个准则都是一个小程序，它对所提出的规则进行专门观测。
 - 准则法已被应用于各种规划生成系统。在NOAH系统中，准则被用来提出推定的方法以便修正所产生的规划。
 - 第一个涉及的准则是归结矛盾准则。
 - 第二个准则叫做消除多余先决条件准则。
-

归结矛盾准则

- 建立一个在规划中被提到一次以上的所有文字的表

CLEAR(B):

确定节点2: **CLEAR(B)**

否定节点3: **STACK(A, B)**

确定节点4: **CLEAR(B)**

CLEAR(C):

确定节点5: **CLEAR(C)**

否定节点6: **STACK(B, C)**

归结矛盾准则

CLEAR(B):

定节点3: **STACK(A, B)**

确定节点4: **CLEAR(B)**

- **由于把A放到B上可能取消把B放到C上的先决条件, 所以必须首先把B放到C上面。**

消除多余先决条件准则

- 除去对子目标的多余说明

- 例子结论

- 把分层规划和最小约束策略结合起来，以求得非线性规划而不产生一个庞大的搜索树

目录

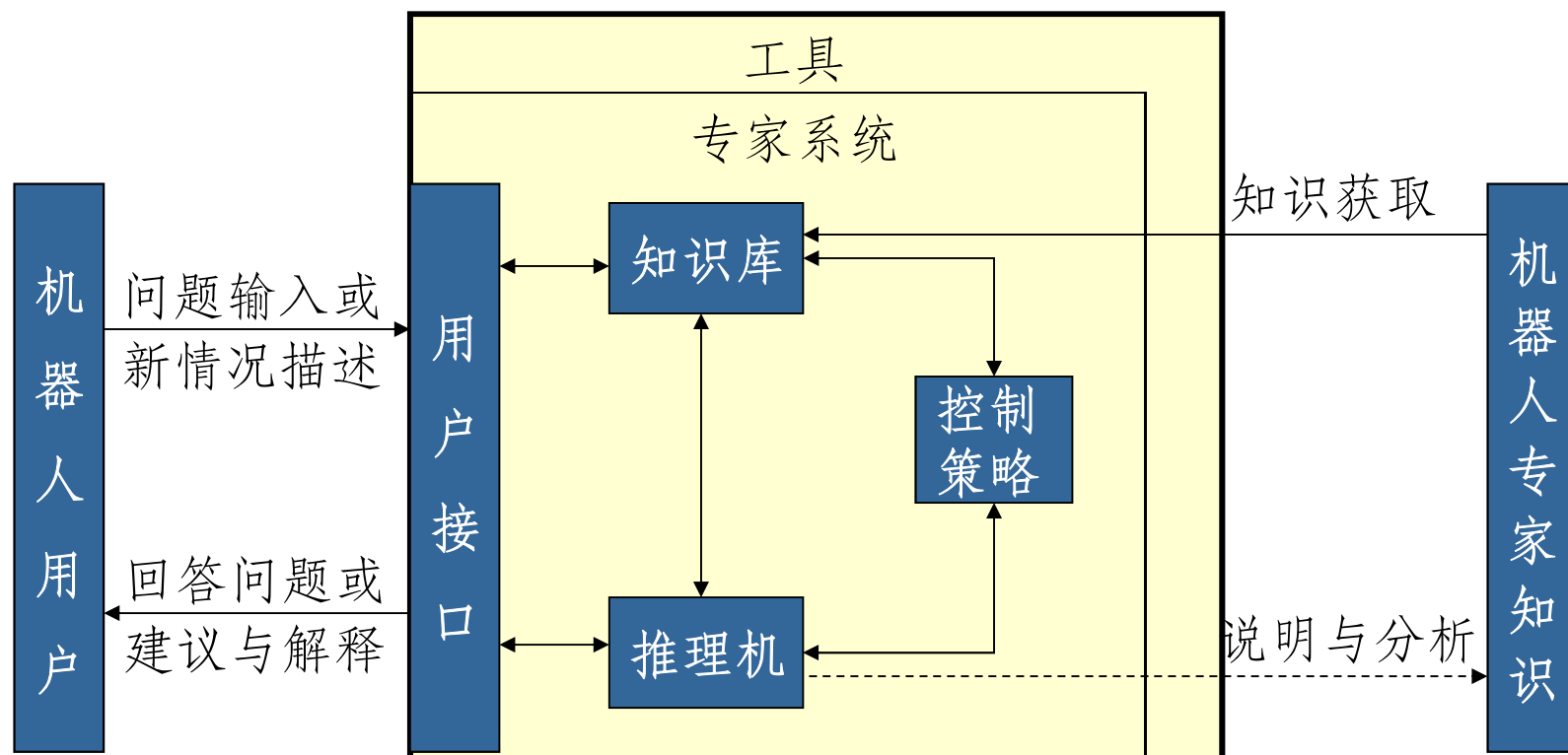
- 机器人规划的作用与任务
- 积木机器人的机器人规划
- STRIPS规划系统
- 具有学习能力的规划系统
- 分层规划
- 基于专家系统的机器人规划
- 小结

基于专家系统的机器人规划

- 机器人规划专家系统就是用专家系统的结构和技术建立起来的机器人规划系统。
- 管理式学习能力的机器人规划系统的不足：
 - 表达子句的语义网络结构过于复杂。
 - 与复杂的系统内部数据结构有关的是，PULP-I系统具有许多子系统。而且需要花费大量时间来编写程序。
- 尽管PULP-I系统的执行速度要比 STRIPS 系列快得多，然而它仍然不够快。

系统结构和规划机理

□ 系统结构及规划机理



机器人规划专家系统的结构

-
- **基于规划的机器人规划专家系统由5个部分组成，如图所示。**
 - 知识库
 - 控制策略
 - 推理机
 - 知识获取
 - 解释与说明
 - **基于规则的专家系统的目标就是要通过逐条执行规则及其有关操作来逐步地改变总数据库的状况，直到得到一个可接受的数据库(称为目标数据库)为止。**

□ 任务级机器人规划三要素

■ 任务规划是机器人高层规划最重要的一个方面，它包含下列3个要素：

□ 建立模型：建立机器人工作环境的世界模型。

□ 任务说明

□ 程序综合

□ 任务级机器人规划的最后一步是综合机械手的程序。

目录

- 机器人规划的作用与任务
- 积木机器人的机器人规划
- STRIPS规划系统
- 具有学习能力的规划系统
- 分层规划
- 基于专家系统的机器人规划
- 小结

小结

- 本讲在说明了机器人规划的作用和任务后，主要讨论了几种机器人规划的方法：
 - 规划演绎法。
 - 逻辑演算和通用搜索法
 - 具有学习能力的规划系统
 - 基于专家系统的规划
- 值得指出：
 - 第一，机器人规划已发展为综合应用多种方法的规划
 - 第二，机器人规划方法已广泛应用于图象处理、计算机视觉等各领域。第三，机器人规划尚有一些进一步研究的问题，如多机器人协调规划和实时规划等。