

第二部分： 智能自治Agent

章宗长

2023年3月21日

内容安排

2.1

智能Agent

2.2

智能Agent的体系结构

2.3

演绎推理Agent

2.4

实用推理Agent

2.5

反应式Agent

2.6

混合式Agent

反应式体系结构

- 用符号/逻辑的方法来构造Agent遇到了很多无法解决的问题
 - **主要问题**：Agent的行为决策基于复杂和耗时的符号推理来完成，不能确保Agent对环境事件作出适时的反应
- 这些问题使得一些研究者怀疑并否定了符号/逻辑方法的基本假设，发展出了反应式的体系结构
 - **代表性的人物**：MIT的Rodney Brooks教授
- 但是，反应式Agent的研究者没有一个共同宣言，他们使用不同的技术开展反应式Agent的研究
 - **代表性的工作**：归类式（subsumption）体系结构

Brooks的主要观点

- 智能行为无需明确使用符号AI建议的那类表示方法就能够产生
- 智能行为无需使用符号AI建议的那类精确的抽象推理就能够产生
- 智能是某种复杂系统自然产生的属性



Rodney Brooks

指导Brooks研究的关键思想

- **情景和实际**（situatedness & embodiment）
 - “真正”的智能存在于现实世界中，而不是在诸如定理证明器和专家系统这样无形的系统中
- **智能和出现**（intelligence & emergence）
 - “智能的”行为是Agent和它所处的环境交互作用的结果
 - 智能是在“旁观者的眼睛里”，不是先天、孤立的属性
- 这些思想已凝结在归类式体系结构中
 - Brooks据此构造了多个Agent（如Genghis）



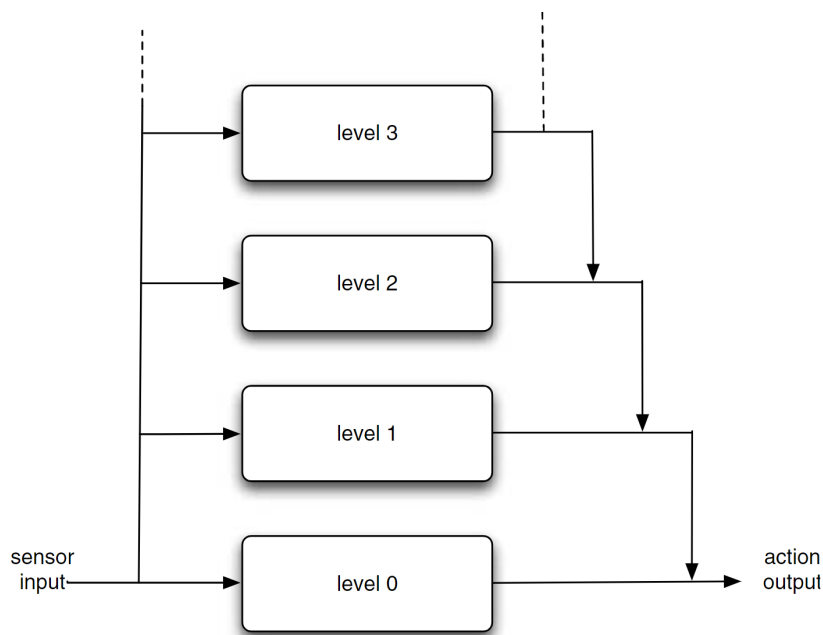
Brooks's Genghis

归类式体系结构的特点

- Agent做决策，通过一个完成任务的行为集合实现
 - 每一种行为都被看成一个动作选择函数
 - 动作选择函数把感知输入映射成要执行的动作
 - 每个行动模块都力图完成一些特定任务
 - 在Brooks的实现中，行动模块都是有限状态机
 - 假设这些完成任务的模块不包括复杂的符号表示方式，并假定不做任何符号推理
 - 在很多实现中，这些行为都是按照规则形式实现的：
情景（situation）→动作（action）

归类式体系结构的特点（续）

- 很多行为可以同时“触发”
 - 把行动模块组织成归类式等级（层次结构）
 - 等级结构中的低层可以抑制高层，层次越低，优先权越高



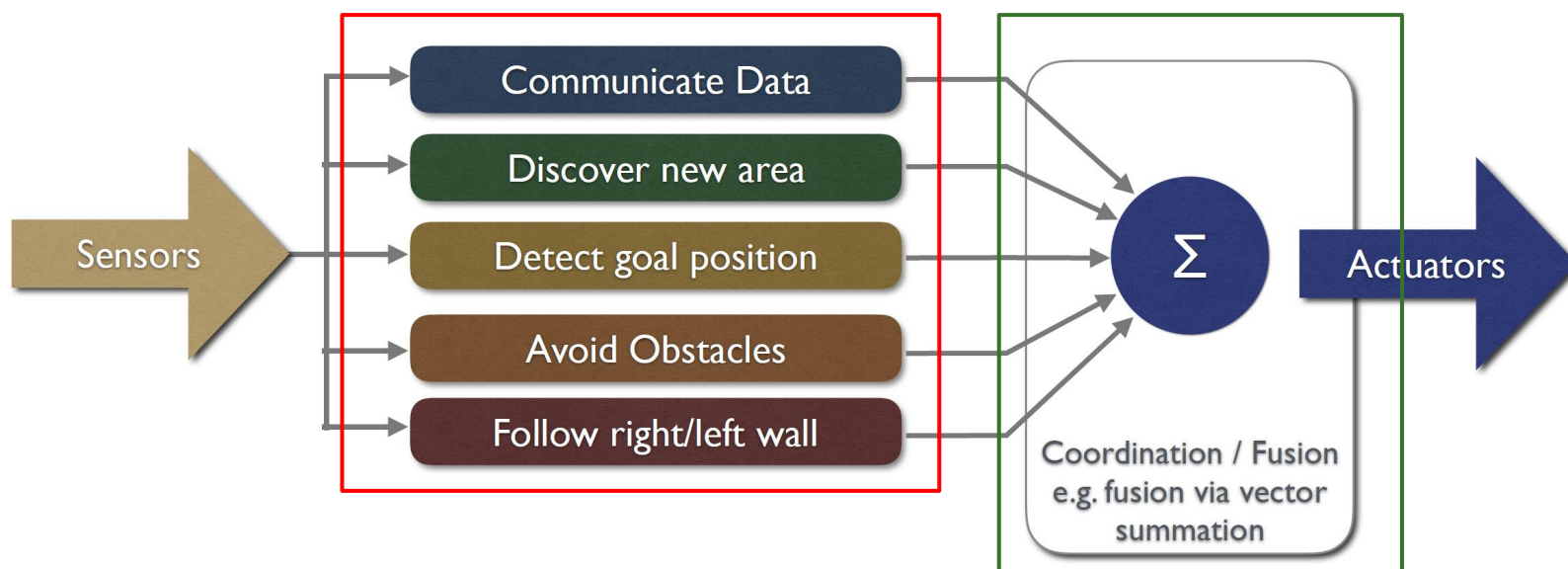
行动模块的层次结构

例：希望移动机器人有躲避障碍的行为，要给躲避障碍物赋予一个高的优先级



归类式体系结构的特点（续）

- 通过一个**完成任务的行为集合**做决策
 - 每个行动模块都力图完成一些特定任务



- 很多行为可以同时“触发”
 - 可以通过**归类式层次结构**由简单组件得到复杂的行为

Steels的火星探索者系统

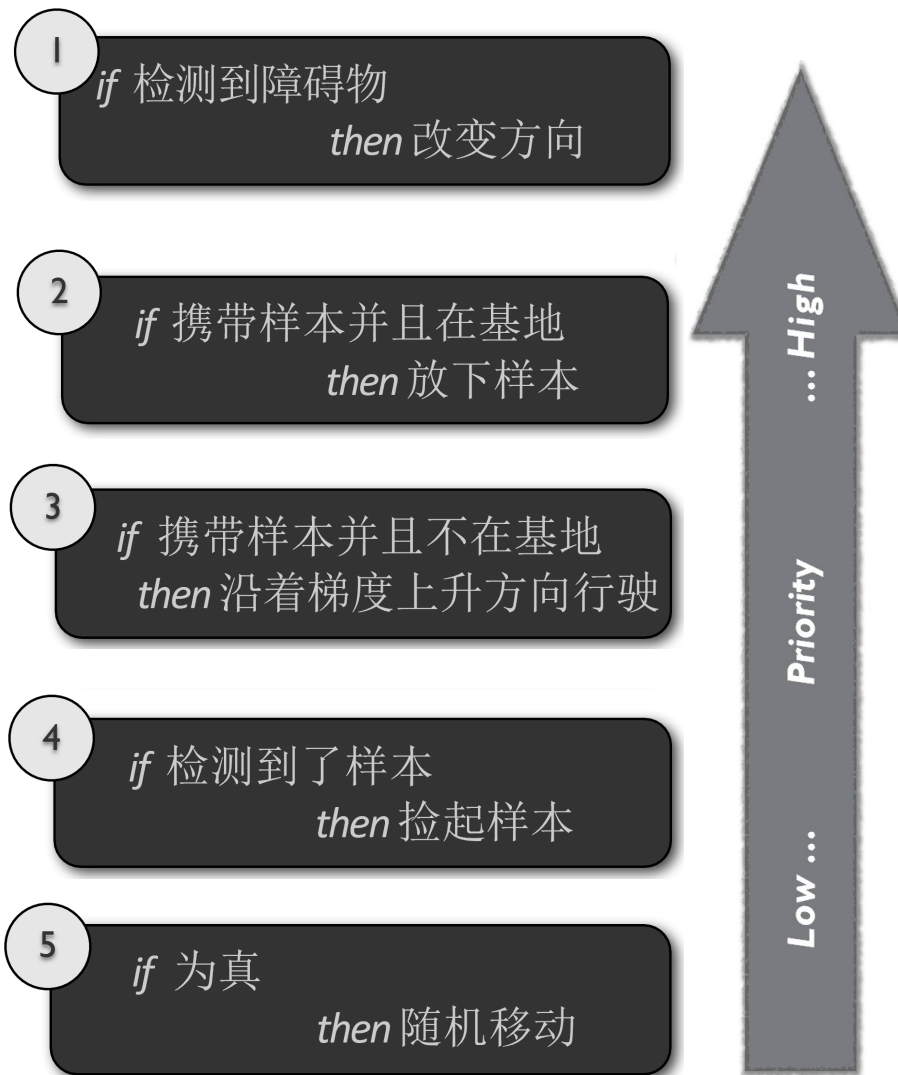
- 采用了**归类式**结构，在模拟的“火星岩石收集”领域中实现了近乎最佳的协同性能
- **个体行为**受一系列**简单规则**支配
- Agent之间的**合作**可以通过将“**标记**”留在环境中来实现



目标是探索遥远的星球，尤其是收集珍贵岩石的样本。样品的位​​置事先未知，但已知它们倾向于聚集在一起。

Steels的火星探索者系统（续）

- 对于个体（非合作）Agent，最低层的行为（也就是“优先级”最高的行为）是躲避障碍物
- 保证Agent携带的任何样本都会被送到母舰上去
 - 为了让Agent找到母舰，母舰产生一种无线电信号，它会随距离的增加而减弱
- 使Agent能收集起来它找到的样本
- 保证“无事可做”的Agent随机地探索



Steels的火星探索者系统（续）

- 如果样本是随机分布的，那么前面的策略将会获得很好的效果
 - 然而，样本往往是聚集的
 - Agent应该相互合作来寻找样本
- 解法
 - 当Agent把样本送回母舰时，会留下一条洒满碎屑的“小路”
 - 如果在此之后，另外一个Agent经过这条路，它只需要沿着这条路的梯度下降方向走下去就可以找到岩石样本的来源
 - 在这过程中，会捡起一些碎屑，使小路更模糊 ...

3'

if 携带样本并且不在基地
then 扔下两个碎屑并且沿着梯度向上方向走

4.5

if 感知到了碎屑
then 采集一个碎屑并且沿着梯度下降的方向走



受蚂蚁觅食方法的启发

反应式Agent的优点 & 局限性

- **优点：** 原理简单， 易理解， 易计算， 易实现 ...
- **局限性**
 - 在局部环境中一定要有充分的可用的信息来决定一个可以接受的动作
 - 按照局部信息做决策——天生的“短视”
 - 从工程上实现反应式Agent以完成特定的任务非常困难
 - 虽然只要少量的行为就可以生成有效的Agent，但是要构造一个包含很多层的Agent十分困难

内容安排

2.1

智能Agent

2.2

智能Agent的体系结构

2.3

演绎推理Agent

2.4

实用推理Agent

2.5

反应式Agent

2.6

混合式Agent

混合式体系结构

- 很多研究者认为，完全慎思式的或完全反应式的方法都不适合构建Agent
- 他们建议使用混合式体系结构，使得Agent具有反应行为和预动行为能力
- 用至少两个子系统来构建一个Agent：
 - 慎思式子系统：包含一个符号世界模型和一些规划，并使用符号AI的方式做决策
 - 反应式子系统：能对不需要复杂推理的事件做出反应

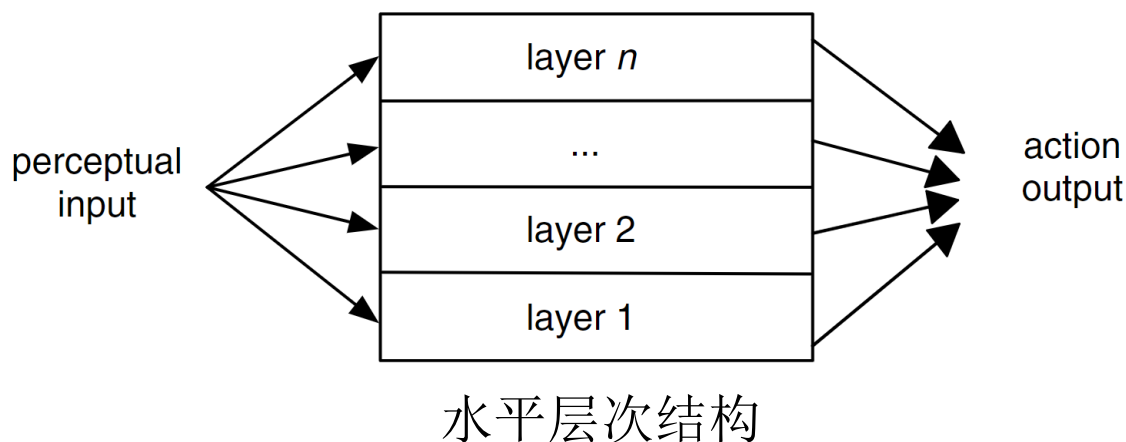
混合式体系结构（续）

- 通常，相比慎思式子系统，反应式子系统的优先级更高
- 各个子系统被排列成层次间相互交互的等级结构
- 根据不同层次的实现型体系结构之间的相关性和组织方式的差异，分成两种集成方式：
 - 水平层次结构，代表性的例子：Touring机
 - 垂直层次结构，代表性的例子：InteRRaP

水平层次结构

- 每一个软件层都与传感器输入和动作输出直接相连
- 从效果上讲，每一层都扮演一个Agent的角色，产生关于执行什么动作的建议
- 一般包括一个仲裁（mediator）函数，来决定在给定时间内由哪一层来“控制”Agent

优点：概念简洁
缺点：仲裁部件的交互复杂度高



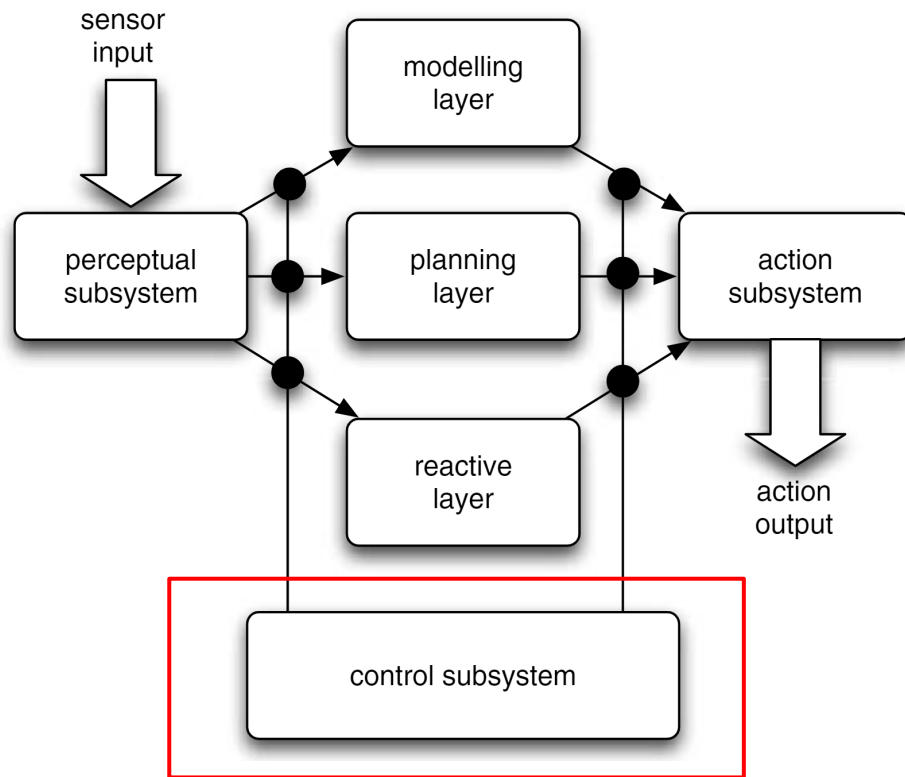
Touring机

■ 包含三个动作的产生层

- 模型层
- 规划层
- 反应层

可以彼此通信

对Agent应该完成什么动作，每一层都不断地产生“建议”



Touring机：一个水平层次的Agent结构

■ 这三个控制层嵌入到控制子系统中

- 控制子系统能有效地决定这些层中哪一个应该控制Agent

Touring机（续）

- 反应层用情景-动作规则集实现，能对环境中发生的改变提供迅速的反应
- 例子：自动驾驶车辆避免街边镶边石的反应规则

```
rule-1: kerb-avoidance
  if
    is-in-front(Kerb, Observer) and
    speed(Observer) > 0 and
    separation(Kerb, Observer) < KerbThreshHold
  then
    change-orientation(KerbAvoidanceAngle)
```

如果规则被触发，则change-orientation(...)是建议的动作

Touring机（续）

- 规划层完成Agent的预动行为
 - 有一个规划库
 - 为了实现目标，尝试在规划库中找到一个合适的规划
 - 据此选择出要执行的动作
- 模型层代表世界上各种各样的实体（包括Agent本身和其他Agent）
 - 可以预言Agent之间的冲突，并产生需要完成的新目标来解决这些冲突
 - 新目标下传到规划层，利用规划库来决定如何实现它们

Touring机（续）

- 控制子系统是一个动作仲裁部件
 - 按照控制规则集来实现
- 一个控制规则的例子
 - 阻止反应层了解obstacle-6是否能被感知

```
censor-rule-1:
```

```
  if
```

```
    entity(obstacle-6) in perception-buffer
```

```
  then
```

```
    remove-sensory-record(layer-R, entity(obstacle-6))
```

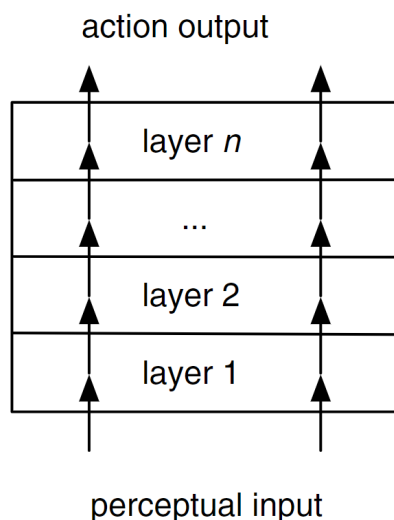
这条规则保证反应层根本不会知道这些障碍物

垂直层次结构

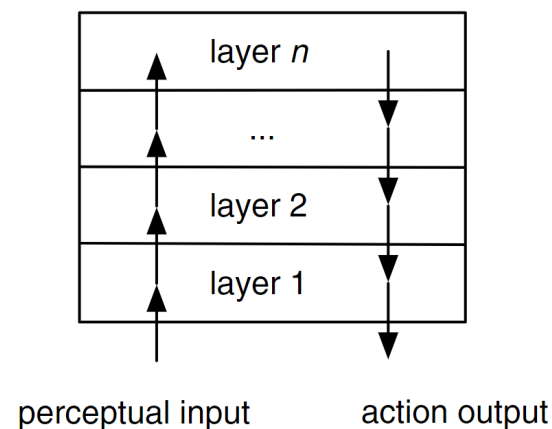
- 每个传感器输入和动作输出最多与一层相关
- 可以采用两种方法在不同层次的实现型体系结构之间显式地交互数据和控制信息
 - 一路结构
 - 二路结构

优点：层次间交互的复杂度低

缺点：不能容错，即任何一层的故障都可能对Agent的性能产生严重影响



一路控制结构

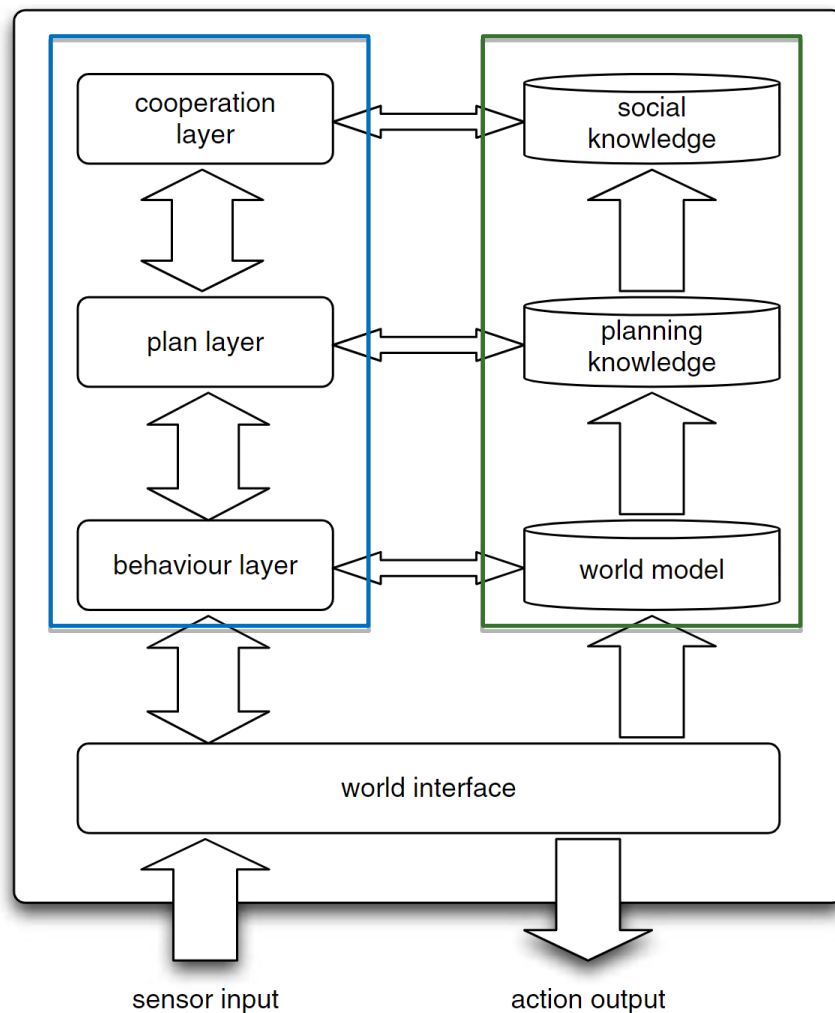


二路控制结构

InteRRaP

每一层都与一个知识库相关联

- 与Touring机的主要差别
 - 层次与环境间交互的方式
- 三个层次的行为决策
 - 行为层
 - 处理反应行为
 - 规划层
 - 处理日常规划来完成Agent的目标
 - 协作层
 - 处理社会交互作用



InteRRaP: 一个垂直层次的Agent结构

Stanley

- 获得了2005年DARPA无人驾驶机器人挑战赛冠军
- 结合使用了**归类式结构**和**慎思式规划**
- 其控制系统的软件体系结构包含30种不同的独立操作模块，可以把它们粗略分成**6个层次**：

Global Services Layer

User Interface Layer

Vehicle Interface Layer

Planning and Control layer

Perception layer

Sensor interface layer



小结

■ 反应式Agent

- Brooks的主要观点，指导其研究的关键思想
- 归类式体系结构
 - 通过一个**完成任务的行为集合**做决策
 - 很多行为可以同时“**触发**”
- Steels的火星探索者系统

■ 混合式Agent

- 具有反应行为能力和预动行为能力
- 用至少两个子系统来构建Agent：反应式和慎思式
- 两种**集成**不同层次的实现型体系结构的方式
 - **水平层次结构**，代表性的例子：**Touring机**
 - **垂直层次结构**，代表性的例子：**InteRRaP**

课后作业2-12

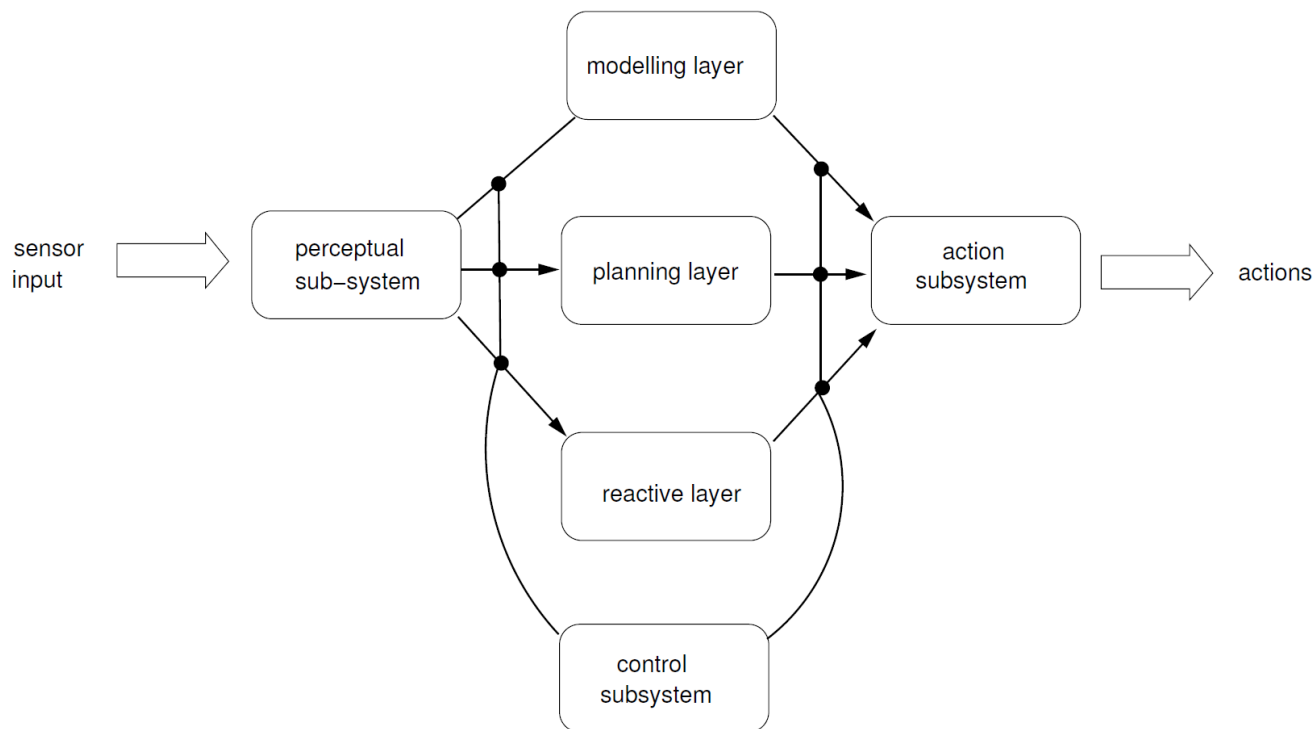
- 用Brooks的归类式结构的方法求解第2.3节描述的真空吸尘器的例子。

课后作业2-13

- 用第2.3节描述的基于逻辑的方法求解探测火星的例子。

课后作业2-14

- 下列示意图阐明了Touring机体系统结构的关键子系统：



描述这个系统结构的各个部分，包括解释其中三个决策层如何实现产生反应式行为和预动行为的目标。