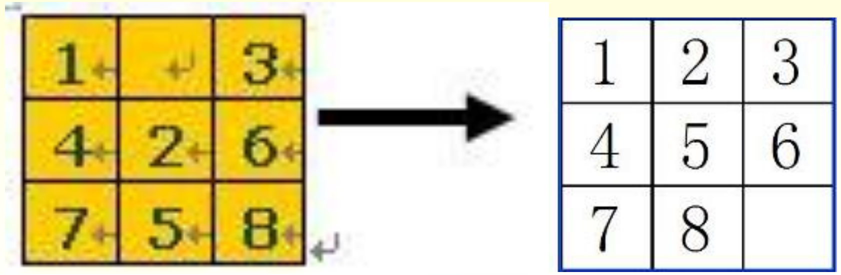
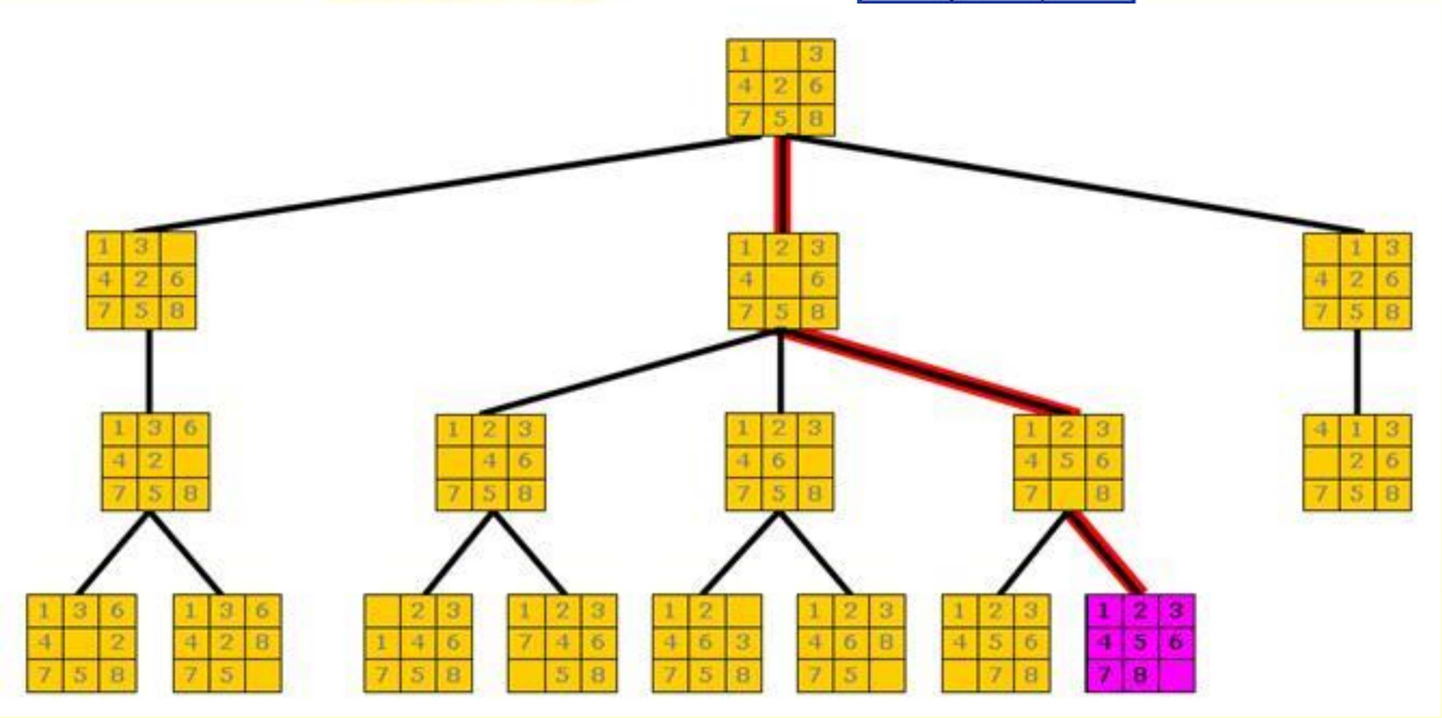
# 第2章　算法运用

# 第06讲　问题求解

为了说明算法在问题求解中的运用实际，就从早期人工智能相对集中开展的有关智力游戏说起，看看机器到底是如何进行问题求解的。首先让我们来看一个具体的八数码难题的智力问题。如下图所示，在３×３个格图中置入１到８这八个数码，问题要求对于任意事先设定的两种格局，你是否能单靠一步一步挪动数码（利用空格进行）来建立起从一种设定的格局转变为另一种设定格局的完整步骤。

# 1、空间搜索的问题求解





# 1、空间搜索的问题求解

这个问题有点类似于我们小时候常常游玩的“华容道”游戏，你必须想方设法将曹操从围困中解救出来。只是对于八数码问题来说，其格图布置要比“华容道”游戏更简明一些。因此，对于智力正常的人而言，显然是不难解决这样的问题的。


三国华容道游戏

# 1、空间搜索的问题求解

比如我们可以通过状态空间遍历搜索策略来解决这一问题。这种解法的思想就是，我们对所有可能走出的格局全部依次列出，然后寻找一条能够在两种设定格局之间连接起来的途径，那么这条路径所经过的格局，依次就构成了沟通两种设定格局转变的完整步骤。

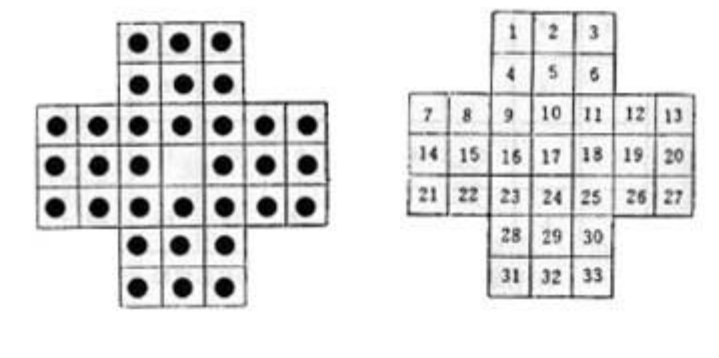
更一般地，为了方便满足机器算法实现上的要求，我们还可以通过设置一些基本的格局单步变换规则，来使机器具有通用八数码问题的解题能力。此时机器可以对任意给定的初始格局和终结格局，靠运用固定的变换规则，求解出其间完整的步骤路径。

# 1、空间搜索的问题求解

很显然，只要给出的具体格局之间有解的路径存在，那么采用上述策略，机器照样可以胜任工作，顶多花费多一点时间而已。但如果让人来进行足够大的数码问题的求解，不管你有多么快的思考速度，要按照这里的思路去解题，恐怕你会力不从心了。这其实就是人与机器在求解问题中的一个显著差别，当然也是机器所固有的一个最大优势：具有十分强大的计算和搜索能力。

# 1、空间搜索的问题求解

利用状态空间搜索方法，原则上我们可以让机器解决一大类智力游戏问题。只要为机器找到反映问题本身状态（格局）及其变化规则，然后利用机器无比惊人的搜索能力去寻找解路径。例如一个稍微复杂的问题是所谓寻找“独立钻石棋”解的问题，如图所示。




（a）棋盘初始　（b）棋位编码

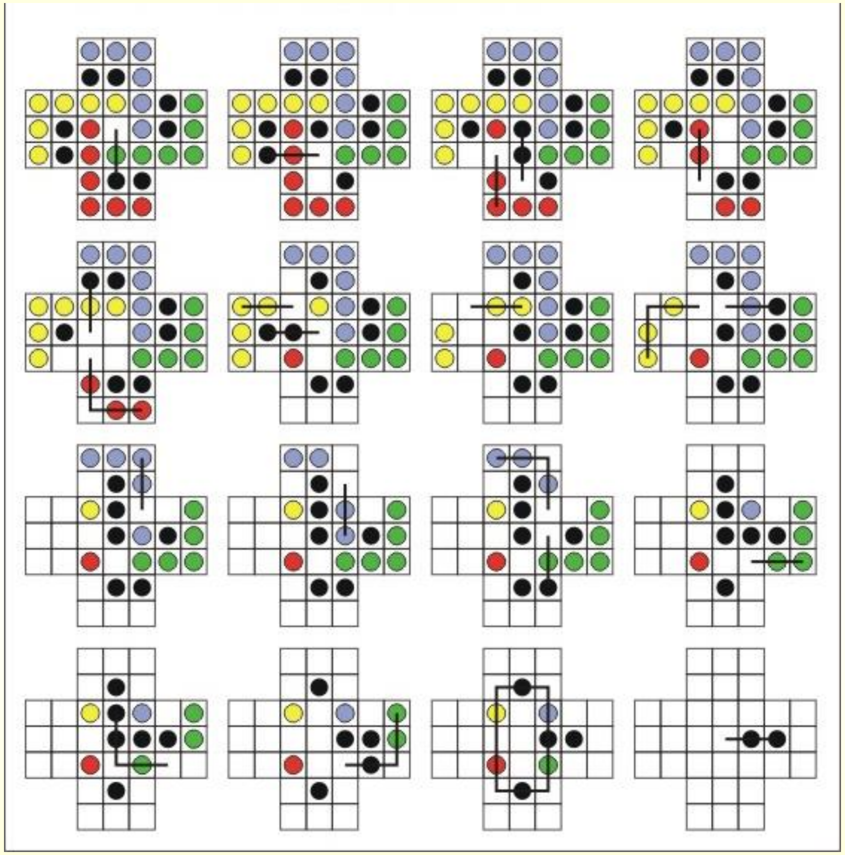
独立钻石棋

# 1、空间搜索的问题求解

独立钻石棋是一个人独自下棋的游戏，在有33个方格的棋盘上，共有32个棋子，棋子的移动规则为：一个棋子以竖直或水平方向跳过与其相邻的棋子且正好落于空位，那么就可以去掉那个被跳过的棋子（这一步骤称为吃子）。如果你通过不断运用这唯一的规则能将棋盘上的棋子吃剩一个并且其刚好位于棋盘中央，那么你就获胜。

# 1、空间搜索的问题求解

很明显，如果你真正理解了刚才八数码问题的解题策略的话，那么无疑你就可以如法炮制，通过找出所有可能到达终结状态的棋局状态的搜索来解决独立钻石棋的求解问题。右图给出了这一问题求解状态空间的一个片断。



独立钻石棋图解

# 1、空间搜索的问题求解

聪明的读者也许早已觉察到这种方法太机械蠢笨，许多绝对不可能获胜的状态棋局，就根本没有必要去搜索产生的。确实如此，机器在解决问题时，同人类解决问题时所采用的那种审时夺势和灵活机变的原则是大相径庭的。

我的一位学生第一次下这种独立钻石棋时就是靠得直觉判断和有方向的选择完成了问题的解。如果试想这位学生采用这种机械的搜索方法去搜索，那么恐怕劳其一生也未必能够找到通向成功的路径。

当然，尽管机器有强大的搜索能力，但机器的计算速度总是有限度的，特别是对于搜索空间特别庞大的问题求解，如何避免不必要的计算搜索也是机器要更好地解决实际问题所面临的课题。经过科学家们的研究，作为一种改进，原则上机器也可以变得稍许“聪明”一点，虽然乃难逃机械搜索的巢臼，但确实可以避免许多不必要的搜索；特别那些会落入死胡同的路径，根本就不去搜索。

# 1、空间搜索的问题求解

为了做到这一点，在实际的机器算法实现中，对于任意一种棋局状态都先将其与终结状态进行比较，计算其间的差距，然后每次在向前生成新棋局状态时，只对最有希望（差距最小）的作进一步搜索发展，并依次类推，直到遇到终结状态为止。只有在最佳棋局搜索发展失败时，才再去发展次佳棋局。如果为了保证不丢失正确的路径或多种解的可能，则要求能判断出每个棋局状态是否为无效棋局，而搜索只在有效棋局间展开。这样就可以避免大量不必要状态的试探。

# 1、空间搜索的问题求解

用这种方法，就需要有对所解问题本身的了解并在大量经验或知识的基本上设计出能巧妙估算出当前棋局好坏标准的策略和估算方法，从而更加有效地实现问题求解。对于独立钻石棋，采用这种新思想进行问题求解，可以得到的解为：

5D，12L，3D，1R，18U，3D，30U，27L，13D，24R，27L，10R，12D，26L，23R，18D，31U，33U，22R，25L，32U，24L，21R，8R，10D，24L，7D，21R，23U，4D，15R。

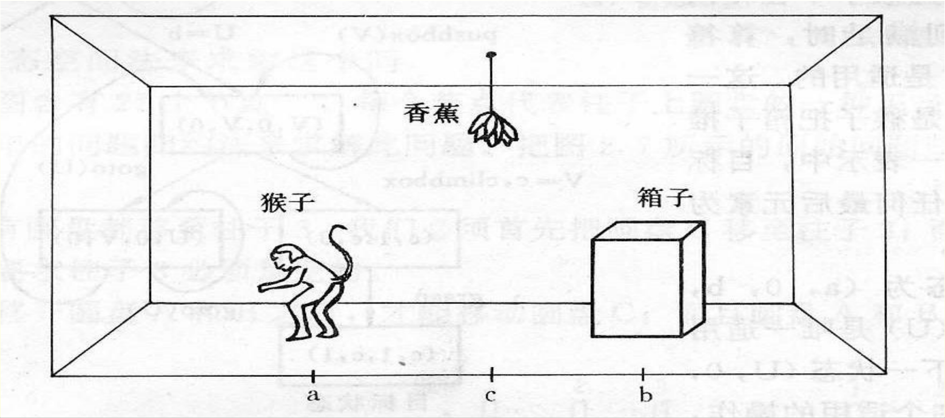
其中数码表示棋子所在位置，字母 D， U， R， L 分别表示棋子跳越方向为向下，向上，向右和向左。

# 2、步步为营的归结策略

也许有的读者会问，如果实际问题比独立钻石棋问题还要复杂，那么机器又如何进行求解呢？当求解的问题非常复杂，如果依然能用机器去解，此时往往需要将问题分解为一些相互联系又相对独立的子问题，然后对这些子问题逐步进行求解，最后求得总问题的解决。这种策略就称为问题求解的归结策略，其思想是分阶段对相关联的子问题各个击破，最后得出问题的求解结果。

# 2、步步为营的归结策略

作为稍难一点问题求解的考虑，我们举一个靠归结方法才能解决的例子。如图给出的是人工智能中很著名的“猴子与香蕉”问题。在一间房子里有一只猴子、一个箱子和一把香蕉，随意分布在各个位置上，问题是要让猴子在任何情况下都能吃到香蕉，猴子该怎么实现这个目标？



# 2、 步步为营的归结策略

当然，我们可以用状态空间搜索方法来求解猴子与香蕉问题：

（1）状态表示：用四元组表示问题某时刻的状态：

（W，x，Y，z）其中W表示猴子的水平位子（取值为a，b，c），x表示猴子是否位于箱子之上（取值1表示是，0表示否），Y表示箱子的水平位子（取值为a，b，c），z表示猴子是否取到香蕉（取值1表示是，0表示否）

（2）变换操作：求解该问题共有四种变换操作，相应的算符分别是goto（U），pushbox（V），clinbbox，和grasp，定义如下：

（a）移步（goto（U））：（W，0，Y，z）→（U，0，Y，z）

（b）推箱（pushbox（V））：（W，0，W，z）→（V，0，V，z）

（c）爬箱（clinbbox）：（W，0，W，z）→（W，1，W，z）

（d）摘蕉（grasp）：（c，1，c，0）→（c，1，c，1）

# 2、 步步为营的归结策略

（3）问题求解：设初始状态为（a，0，b，0），则成功路径为

{ goto（b），

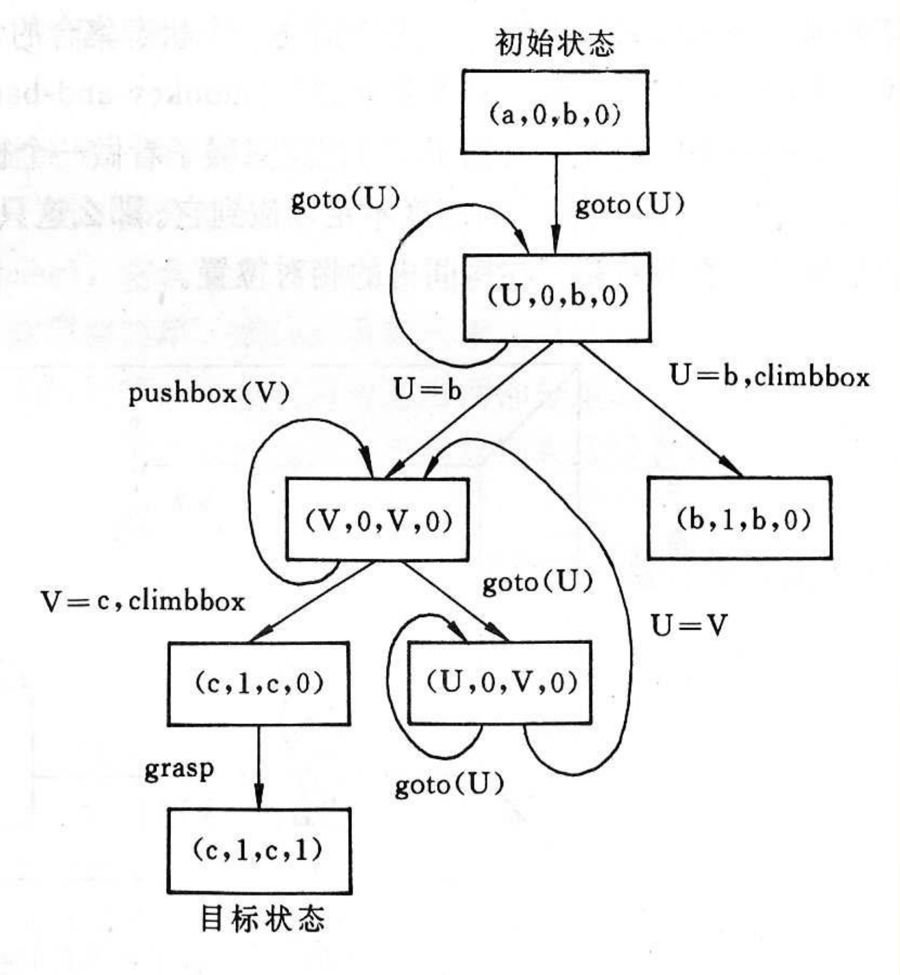
pushbox（c），

climbbox，

grasp

}

状态空间图如右。



# 2、 步步为营的归结策略

不过，如果现在假设猴子是一台机器，而要让你编制一个程序，使得这台机器能通过搬动箱子和走动，来取到香蕉。有没有其他更通用的方法求解这一个问题呢？稍深入分析，不难发现，这个问题可以归结为如下四个子问题：

（1）猴子从位置 a 走到位置 b；

（2）猴子把箱子从位置 b 推到位置 c；

（3）猴子爬上箱顶；

（4）猴子摘取香蕉。

如果我们能够得到这四个子问题的一组解答，那么我们也就求得了原问题的解答。

# 2、步步为营的归结策略

因此，也可以采用归约方法来求解猴子-香蕉问题（我们将采用一种与或图问题分解表示方法）。

（1）初始问题表示为 （{a，0，b，0}，F，G）

其中F=（f1，f2，f3，f4），f1=goto（U），f2=pushbox（V），f3=climbbox，f4=grasp；G为状态集。

（2）满足解的关键条件是末位状态变量的值为1，现初始状态显然不满足，于是产生差别。解决的关键算符是f4=grasp，于是可用f4来归约初始问题，得到如下子问题：

（{（a，0，b，0）}，$G_{f4}$）

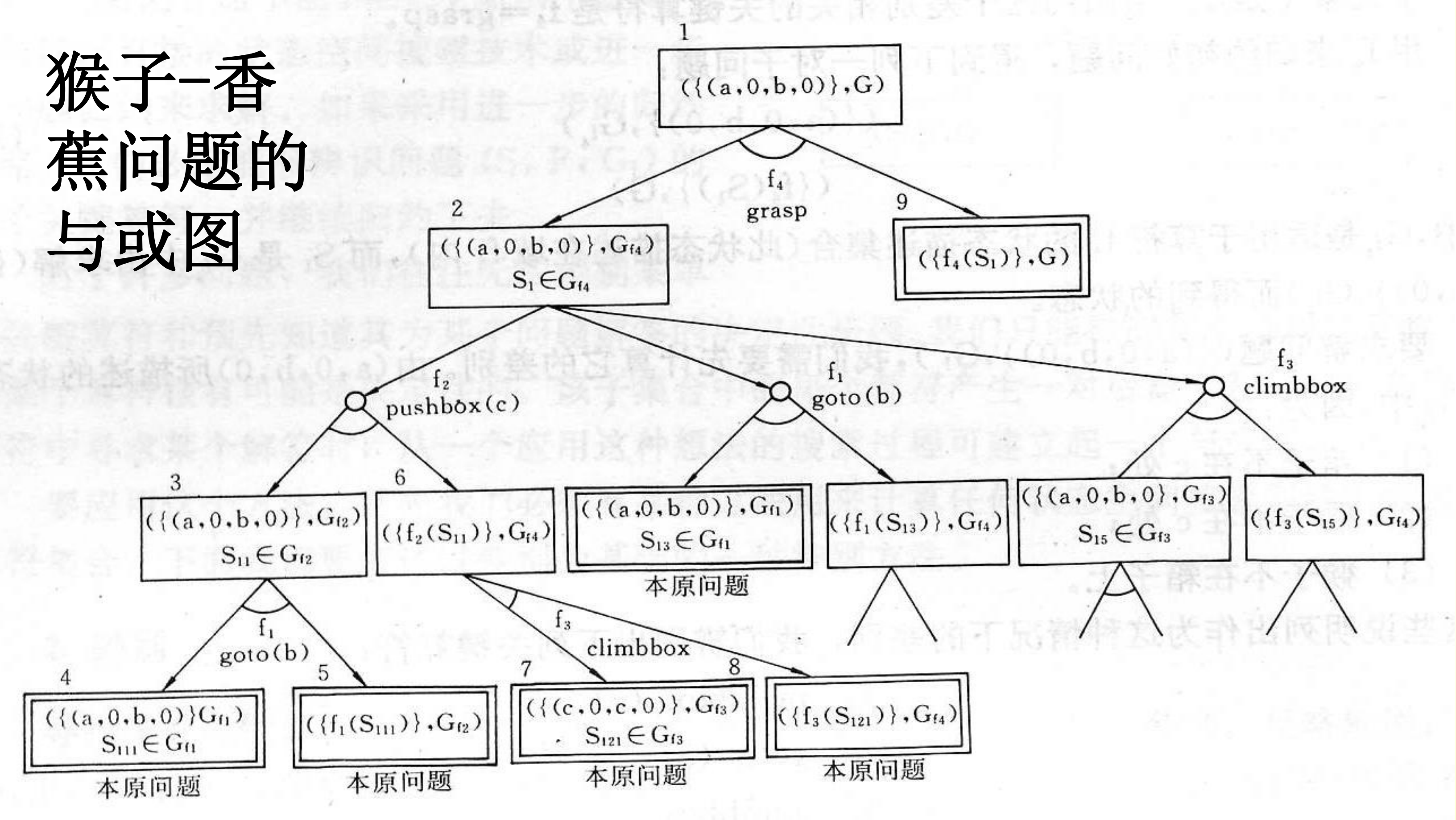
（{ f4（s1）}，G）

其中$G_{f4}$是适合于f4处理的状态集，而s1为$G_{f4}$中通过求解第一个子问题可以得到的状态。

（3）进一步分析s1与G f4之间差别，依次可以找到关键算符f3，f2、f1，最终可以归约为原子问题，结果给出解序列为{goto（b），pushbox（c），climbbox，grasp}。

# 2、 步步为营的归结策略

猴子–香蕉问题的与或图



# 2、 步步为营的归结策略

能够靠归结方法解决问题，这就使得机器的解题能力和范围大大提高和扩大了。即使是一个实际生活中的复杂问题，你只要能够将其分解或归结为某些机器能够解决的子问题，那么原则上机器就可以解决这样的实际问题。但实际上，在许多情况下这种归结求解问题的方法也会失效。

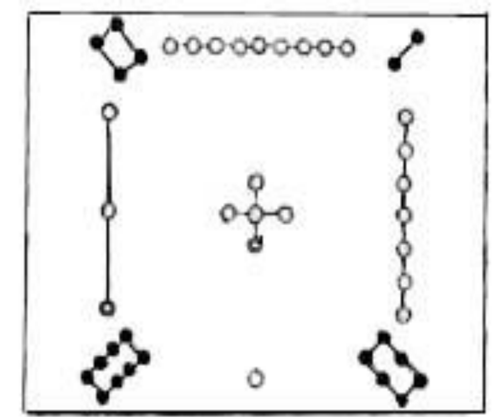
例如设有一条狗，主人扔给他的一块肉骨头不巧飞过栅栏落入了邻居的院子里。狗隔着栅栏能看到骨头，而在离骨头约十多米远处有扇开着的门。此时狗会绕道通过门去取骨头吗？看来要构造全部状态搜索空间是不可能的事，按照“缩短目标距离”的优化方法也不可能让狗啃到骨头，而这一问题又难以分解归结，除非狗自己知道某种背离目标的子问题的实现是有助于接近目标的

# 2、步步为营的归结策略

此时需要某种根据局势的审定来正确地选择问题的表述，但机器却缺乏这种整体局势判断能力，机器只能根据表述好的问题去求解。从这个意义上讲，说到底机器所解决的任何问题，实际上也是人解决的，是人设计好了解决问题的方案和程序，借用搜索和计算能力蛮劲十足的机器作为工具去解决问题的，除非有朝一日机器能够解决“解决问题”的问题，自己会设计解决问题的方案、策略以及程序。

# 3、智力游戏的机器博弈

了解了机器求解问题的基本原理和策略后，现在我们可以回到“深蓝”下棋程序，来看一看“深蓝”是如何进行“运筹帷幄”的、看一看“深蓝”成功的背后所发生的事情。那么，机器下棋到底靠得是什么制胜秘诀呢？为了揭开机器下棋的制胜奥妙，让我们从最简单的九宫图填数游戏说起。



| | | |
|---|---|---|
| 4 | 9 | 2 |
| 3 | 5 | 7 |
| 8 | 1 | 6 |

九宫图游戏

# 3、智力游戏的机器博弈

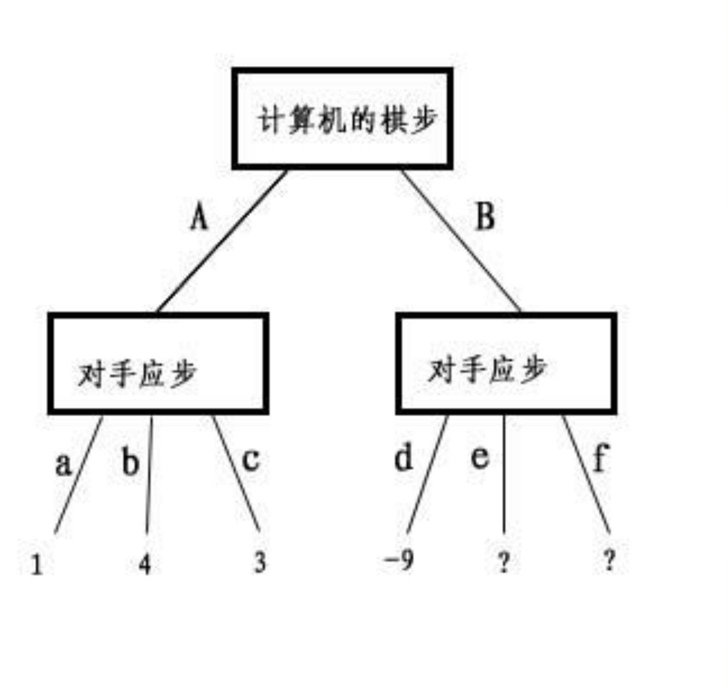
所谓九宫图填数游戏（在西方，称为tick-tack-toc双人游戏，也称三子棋、一字棋或井字棋），就是由二人轮流向九宫图中填数，率先形成三数共线之和为15者为赢家。因为是两人对局，因此为了取胜你不仅要努力去完成胜局局面，而且还必须时刻防范对方胜局的出现。或者说既要充分利用对方的失误，又要尽可能避免自己出错。这就需要有比较全面的对局策略。

# 3、智力游戏的机器博弈

在机器对弈程序中，反映这种对局策略思想的具体方法就是所谓的最大最小法或称最佳最差法（迫使对方在所有最佳步骤中选择最差的）。在机器每走一步棋时，都要超前搜索对方所有可能的最佳应步，并从中选择使对方能取得最佳应步中最差的那种结果来走棋。如果用某种数值来衡量棋手每走一步的优劣程度，那么在机器下棋的这种策略中，所走的棋步就是要使对方的可能最大增益降至最小程度。

# 3、智力游戏的机器博弈

如右图，假设机器可选择的棋步为A或B，那么机器超前搜索后看出了对方对A步的最佳反应是应步a（对机器的增益值为1），而对方对B步的最佳反应是应步d（对机器的增益值为－9），因此机器此时有足够的理由选择A步，这时机器获得的增益值最大，而对方获得的增益值则为所有可能选择步下最佳值中最小的。




最佳最差策略

# 3、智力游戏的机器博弈

对于九宫图游戏，采用这种超前搜索的最佳最差法，就可以形成一种类似于问题求解中状态空间的搜索树。不同的是，状态的变迁由敌我双方轮流对局而形成。依此类推，可以形成全部可能的搜索空间，然后机器只须在此空间中选择一条对己最有利，对敌最不利的着棋路线就能完成对局，并赢得胜利。

不过当我们回到国际象棋上，考虑到可能着棋步骤组合数十分巨大以及棋步优劣程度（也为棋局优劣程度）的判断问题，在具体运用这种最佳最差法来进行对弈时，还必须补充各种更为具体的技术性手段，比如采取一定的策略来修剪掉那些无用或不可能出现的着棋步骤所代表的分枝树、将棋路分阶段考察而采用归结策略等，以便提高机器下棋效率。

# 3、智力游戏的机器博弈

就这一方面而言，“深蓝”的研制人员是有远见的。他们在努力提高机器无比强大的运算速度的同时，为了充分发挥机器对局势优劣程度的判断能力，研制人员专门请来了美国国际象棋大师本杰明，将他自己对局势的全部理解输入了“深蓝”，并且同时研制人员还给“深蓝”输入了一百多年来优秀棋手对弈的两百多万份棋谱。正是靠着这样的优势，加上“心态稳沉”机器的严格运算，靠着十分简单机械的策略，机器战胜了人类最优秀的棋手。

但这能说明机器的智能超过了人类最优秀的棋手了吗？卡斯帕罗夫在1996年首届与“深蓝”交手并以４：２击败机器时，曾为美国的《生活周刊》撰文指出：“最终，那可能是我最大的优势：我可以随机应变，但它不能。”没错，在对弈中人可能出错而机器可以从不出错，但出错性却正是人类智能的一大特征，在对弈中重要的是应变能力而不是永不出错的搜索能力。从这一点上讲，卡斯帕罗夫虽败犹荣

# 3、智力游戏的机器博弈

或许机器与人类的智力对抗赛，我们选错了项目。因为很明显，就计算速度而言，越是需要大量快速精确搜索的事情机器越能胜任，这是意料之中的事；而越是需要灵活创造能力的事情人类越能胜任。凭着超前搜索和事前准备充足的知识储备，蛮劲十足的机器确实战胜了人类最优秀的棋手——但那也只是一个很小的智慧之果，我们不必为之大惊小怪。

# 3、智力游戏的机器博弈

如果让机器下盘围棋又会如何呢？台湾的应昌期先生悬赏140万美元征求第一台击败围棋高手的电脑。重赏之下必有勇夫，过去十年来，电脑设计家们绞尽脑汁，的确使围棋电脑的本领日渐提高。目前在美国和日本举行的国际电脑围棋年赛，冠军奖金均约为25000美元。然而尽管这些冠军们的才技鹤立鸡群，在与学棋约一年的人比赛时仍然不堪一击。初学者便可以横扫当今所有的围棋电脑，用不着有个卡斯帕罗夫。

# 3、智力游戏的机器博弈

要使电脑下出的围棋多少像点样子，必须使其具备辨认各种微妙复杂的图形的能力以及运用自身直觉经验的能力。这种能力正是人类智慧的一大特点。如果真有一天电脑能打败围棋高手，那将标志着人工智能开始成为实实在在的东西了，也将宣告又一个科技时代的到来。