COMP9414: 人工智能讲座 2b:知情搜索

韦恩-沃布克

电邮：w．wobcke@unsw．edu．au

知情的（启发式）搜索

- **无信息的搜索方法能**够在寻找目标状态时系统地探索状态空间
- **然而，无信息的搜索方法是非常低效的**
- **在特定**问题知识的帮助下，知情的搜索方法更有效率

本讲座

- 启发式方法
- 知情的搜索方法
  - 最佳优先搜索
  - 贪婪的搜索
  - A* 搜索
  - 迭代深化 A* 搜索

启发式方法

- 全部使用优先级队列实现，以存储前沿节点

- 启发式方法是 "经验法则"
- **启**发式方法是一种标准、方法或原则，用于决定在几个备选行动方案中哪一个是最有效的，以实现某些目标。"启发式方法"（Pearl 1984）
- **在搜索**过程中，可以利用启发式方法决定哪条是最有 "希望 "的路径
- 在搜索中，启发式必须是对从当前节点到任何目标的实际成本的低估 - 可接受的启发式
- 记为$h(n)$；只要n是目标节点，$h(n)$=0

启发式方法 - 例子

-

2	8	3		1	2	3
1	6	4	→	8		4
	7	5		7	6	5

- 因此$h(n)$=5

启发式方法 - 例子

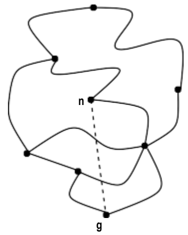
- 8-拼图--曼哈顿的距离（距离瓦片不到位）

2	8	3		1	2	3
1	6	4	→	8		4
	7	5		7	6	5

- 因此h（n）=1+1+0+0+0+1+1+2=6

启发式方法 - 例子

- 另一个常见的启发式方法是节点到目标的直线距离（"如乌鸦飞"）。

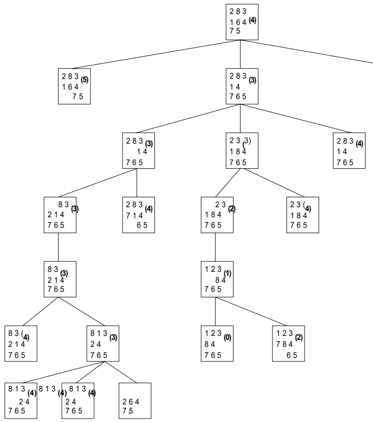


- 因此，h（n）=从n到g的距离

贪婪的搜索

- 主意。以最小的估计成本扩展节点，以达到目标
- 使用启发式函数$h(n)$为前沿的节点排序，即选择以最低的$h(n)$进行扩展的节点
- 分析报告
  - 类似于深度优先搜索；倾向于遵循单一路径到达目标
  - 非最佳，不完整
  - 时间 $O(b^m)$; 空间 $O(b^m)$
  - 然而，好的启发式方法可以减少时间和空间的复杂性显著

贪婪的搜索



A* 搜索

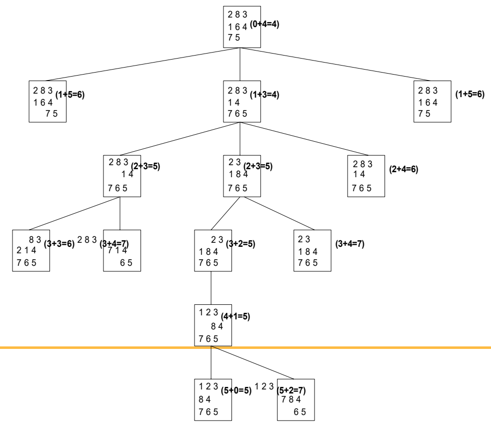
- 思想。使用生成路径的成本和对目标的估计来排列前沿的节点。
- $g(n)$ = 从起点到n的路径成本; $h(n)$ = 从n到目标的估计值
- 使用函数$f(n)=g(n)+h(n)$排序优先队列
- $f(n)$是延伸该路径的最便宜解决方案的估计成本
- 以最小的f值从边界上扩展节点
- 本质上结合了统一成本搜索和贪婪搜索

A* 算法

开放 - 边界上的节点；关闭 - 扩张的节点

OPEN = $\{(s_0, nil)\}$其中s_0 是初始状态
当OPEN不是空的时候
  从OPEN中删除一个节点$n = (s, p)$，其$f(n)$最小。
  放置n在关闭的地方
  如果s是一个目标状态，则返回成功（与路径p）。
  对于连接s和继任状态s的每条边e'，成本为c
   如果(s', p')处于关闭状态，那么如果$成本(p \oplus e) = 成本(p) + c < 成本(p')$
    然后从CLOSED中移除(s', p')，并将$(s', p \oplus e)$放入OPEN中。
  否则，如果(s', p')是在OPEN上，那么如果$成本(p \oplus e) = 成本(p) + c < 成本(p')$
    那么在OPEN上用(s', p')代替$(s', p \oplus e)$
否则，如果(s', p'')不在OPEN上，则将$(s', p \oplus e)$放在OPEN上。
返回失败

A* 搜索



A*搜索-分析

须符合下一张幻灯片上的条件。

- 最优（和最有效）的
- **完整的**
- 搜索（和存储）的节点数量在最坏的情况下仍然是指数级的
  - 除非启发式的误差增长速度不超过从n出发到达目标的实际路径成本h^* （n） 的对数。

    $$|h(n) - h^*(n)| \leq O(\log h^*(n))$$

  - 这几乎不会发生：对许多启发式方法来说，这个误差至少与路径成本成正比。

A* 搜索--优化

- 状态空间图上的条件
  - 每个节点都有有限数量的继承者
  - 图中每个弧的成本都大于某个ε>0
- 启发式函数$h(n)$的条件：可接受性

  对于每个节点n，启发式永远不会高估实际成本

  $h^*(n)$的目标，即$h(n) \leq h^*(n)$

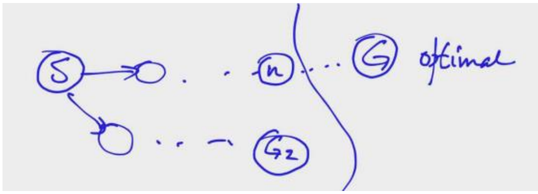
A* 搜索 - 最佳效率

- 一个*，对于一个给定的启发式算法来说是最有效的：在从根节点扩展搜索路径的最优搜索算法中，没有其他最优算法在寻找解决方案时扩展的节点更少
- 单调启发式--沿任何路径，f-成本都不会减少
  - 从三角形不等式推导出来的

    $$h(n) \leq cost(n, n') + h(n')$$

    - 可接受的启发式方法的共同属性
  - 如果这一点成立，就不需要CLOSED集--节省了很多钱
  - 如果不是，与n'连接的路径成本可以设定为。(Pathmax方程) $f(n') = \max(f(n), g(n') + h(n'))$

A*算法的优化性证明



G：最佳目标节点；G_2 ：由A选择的另一个目标节点*
n：通往G的最佳路径上的前沿节点；$h^*(n)$：从n到目标的真实成本
假设A* 选择G_2 而不是n
那么：$g(G_2) = f(G_2) \leq f(n)$，因为$G_2$ 是一个目标节点，而A* 选择了G_2

根据定义，$= g(n) + h(n)$
$\leq g(n) + h^*(n)$ by admissibility
$\leq g(G)$，因为G是一个目标节点，

在一条从n
并且该路径是通往G的最优路径

这意味着G_2 也是最优的，因此，由A返回的任何节点也是如此。*

启发式方法 - 属性

- 如果$h_2(n) \ge h_1(n)$ 对于任何节点n，h_2 支配h_1 。
- 一个*， 平均使用h_2，扩展的节点比h_1
  - $f(n) < f^*$ 的每个节点都被展开
    所以只要$h(n) < f^* - g(n)$，n就会被展开。
    因此，任何使用h_2 的节点都是使用h展开的$_1$
  - 总是更好地使用具有更高数值的（可接受的）启发式方法
- 假设对一个问题有许多可接受的启发式方法 $h_1(n), h_2(n), \ldots, h_k(n)$
  - 那么*最大*$_{i \le k} h_i(n)$是一个更强大的可接受的启发式方法
  - 因此可以为特殊情况设计一系列的启发式方法

生成启发式方法

- 可接受的启发式方法可以从问题的宽松版本的
  精确解决成本中得出
- 如果放宽8字谜的规则，让瓷砖可以在任何地方移动，那么#瓷砖不在原地#就可以得到最短的解。
- 如果放宽规则，让瓷砖可以移动到任何相邻的方格，那么曼哈顿的距离就会给出最短的解决方案
- 对于TSP：让路径是连接所有城市的任何结构
  =⇒最小生成树启发式

迭代深化的A*搜索

- IDA*，和迭代深化一样，执行重复的有边界的深度优先搜索，然而边界是基于$f(n)$
- 通过使用初始状态的f值开始
- 如果搜索结束时没有找到解决方案，就用超过先前界限的最小f值的新界限来重复。
- IDA* 是最佳和完整的，其前提条件与A相同*
- 由于深度优先搜索，空间复杂度=$O(\frac{bf^*}{\delta})$(其中δ=最小运算符成本，f^* =最优解成本) - 通常为$O(bd)$是一个合理的近似值
- 另一个变体--SMA*（简化的有内存限制的A*）--充分利用内存，避免扩展以前扩展的节点

总结

- **知情搜索利用特定**问题的知识来指导搜索的进展
- 这可能会导致性能的显著改善
- 对可接受的启发式方法进行了大量研究
- **即使是在**自动生成可接受的启发式方法方面