

智能搜索中启发函数的选择及启发能力分析

许精明

(安徽工业大学 计算机学院, 安徽 马鞍山 243002)

摘要: 以八数码难题实例的启发式搜索, 分析了估价函数 $f(n)$ 中不同的启发函数 $h(n)$ 对搜索过程的影响, 比较了 3 种不同 $h(n)$ 的搜索效率. 指出了选择最佳启发函数 $h^*(n)$ 的原则, 讨论了八数码难题启发函数思路的通用性, 并对 A^* 算法及其可纳性和启发能力进行了深入研究.

关键词: 智能搜索; 启发函数; 搜索效率

中图分类号: TP301.6 **文献标识码:** A **文章编号:** 1007-855X(2007)05-0031-04

Choice of Heuristic Function and Analysis of Heuristic Power in Intelligent Search

XU Jing-ming

(School of Computer, Anhui University of Technology, Maanshan, Anhui 243002, China)

Abstract Through an example of 8-puzzle, the influence of different heuristic functions in evaluation function on a search is analyzed. The search efficiency of three different heuristic functions is compared. The principles for the choice of best heuristic function $h^*(n)$ are presented. The generality of heuristic function idea of 8-puzzle is discussed, and researches in depth on algorithm A^* , admissibility and heuristic power is made.

Key words intelligent search; heuristic function; search efficiency

0 引言

搜索是人工智能的核心技术之一. 其求解过程是从问题的状态空间中搜索出一条从初始节点到目标节点的解路径^[1]. 实际表明, 许多问题 (如: 规划、设计、诊断、控制、预测、决策、证明等) 都可以转换^[2] (或归结) 为智能搜索问题.

搜索的策略主要有 2 类: 一类是盲目搜索; 另一类是启发式搜索^[3]. 启发式搜索的关键是启发函数的选择. 同一问题选用不同的启发函数, 由于启发能力不同, 将导致状态扩展过程和搜索效率的大不相同. 越是难度大的搜索问题, 这种影响就越明显. 本文通过八数码难题实例, 阐述使用不同启发函数对同一问题搜索效率的影响, 给出了选择最佳启发函数 $h^*(n)$ 的原则, 同时对 A^* 算法的可纳性和启发函数 $h(n)$ 的启发能力进行了深入研究.

1 启发函数的选择及搜索效率

在启发式搜索中, 每一个待扩展的节点都有一个估价函数值 $f(n)$. $f(n)$ 的形式为: $f(n) = g(n) + h(n)$. 其中 $g(n)$ 是已付出的路径费用 (也称深度函数); $h(n)$ 是启发函数, 它与目标状态有关, 且由问题本身所含的启发信息确定.

最佳估价函数 $f^*(n) = g^*(n) + h^*(n)$, 它表示最佳解路径, 即由最小费用节点构成的最佳解路径. 由于 $f^*(n)$ 常常是未知的^[4], 所以用 $f(n)$ 来近似代替它.

对于八数码难题, $g(n)$ 和 $h(n)$ 的取值方法通常是: $g(n)$ 初始值为零, 每扩展一层节点, $g(n)$ 值累加

收稿日期: 2007-03-27.

作者简介: 许精明 (1963-), 男, 副教授, 主要研究方向: 人工智能理论与智能 Agent 技术、分布式系统与协同计算技术.

E-mail: jinxu8689@ahut.edu.cn

1) $h(n)$ 的值由所选的启发函数的计算式确定. 它的计算式现有 3 种方式: 以不在目标位数码的个数—— $W(n)$ 为启发函数^[5]; 以每个数码离目标位距离的总和—— $P(n)$ 为启发函数; 以 $P(n) + 3S(n)$ 为启发函数, 其中 $S(n)$ 是各数码的后继数码与目标顺序相比是否一致的总计分值.

下面如图 1 所示的八数码难题实例, 分别用上述 3 种不同的启发函数进行节点扩展, 比较各搜索过程的异同和搜索效率的变化.



图1 八数码难题实例

Fig.1 An example of 8-puzzle

1) 当 $h(n) = W(n)$ 时, 在 $W(n)$ 制导下的启发式搜索如图 2 图中每个节点左边圆圈内的数字表示该节点估价函数值, 节点右边不带圆圈的数字表示该节点的被扩展顺序. 节点的估价值越小, 表示其距离目标状态越近. 因此取估价值小的节点为优先扩展节点.

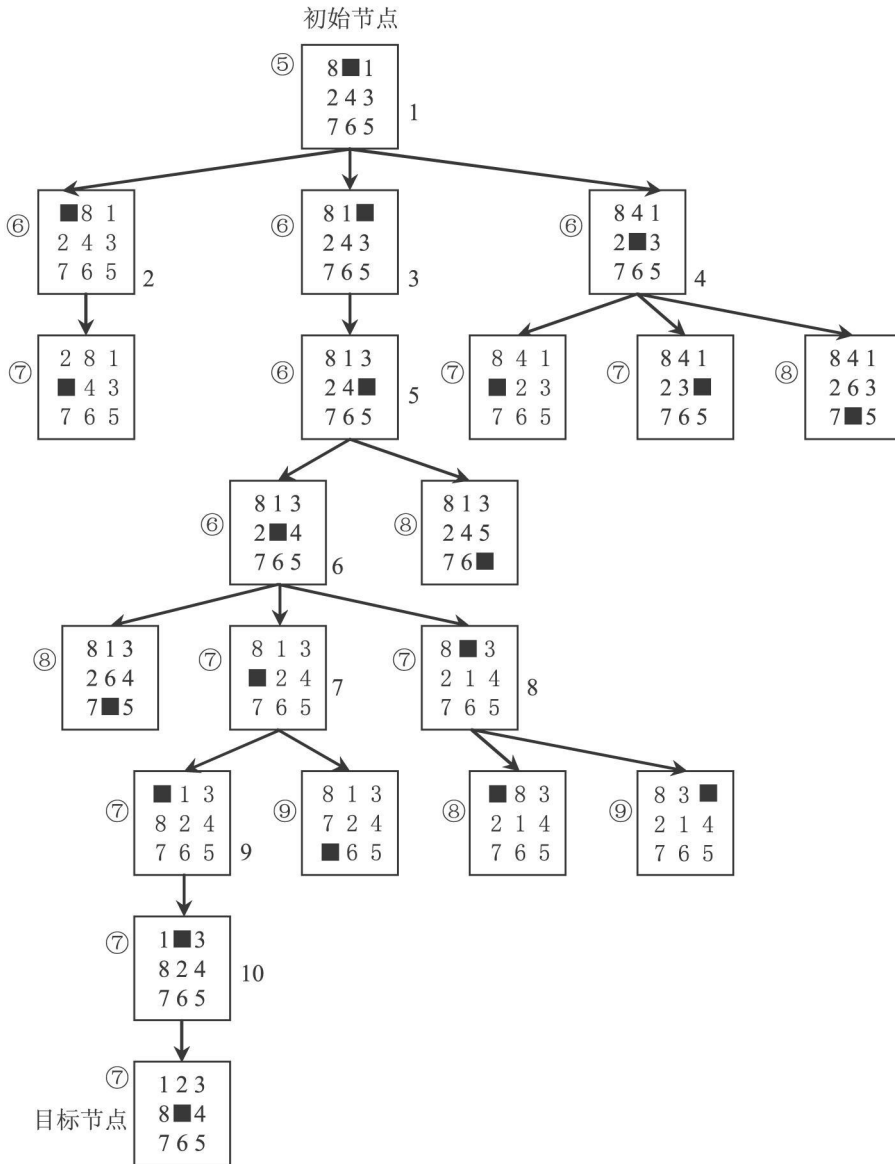


图2 以 $W(n)$ 为启发函数的搜索图

Fig.2 Searching based on heuristic function of $W(n)$

2) 当 $h(n) = P(n)$ 时, 由 $P(n)$ 制导下的启发式搜索如图 3 图中每个节点左边圆圈内的数字也表示该节点在 $P(n)$ 制导下的估价函数 $f(n)$ 的值, 右边不带圆圈的数字表示该节点的扩展顺序. 图 3 中节点左

用 $P(n)$ 时计算量较少,并能搜索出且终止在最佳解路径上.但由于 $P(n)$ 的启发能力低,节点扩展量很大,扩展范围宽,搜索效率低;而用 $P(n) + 3S(n)$ 时^[6],虽然得出的解路径并非是最佳解路径,但因为其启发函数计算精确,启发能力加大,能在较窄的节点扩展带中较快地找到一条解路径,使搜索效率提高(参见文献[6], 55-57).

因此,确定最佳启发函数 $h^*(n)$ 的原则是:对问题中所含的启发信息进行正确分析判断和充分挖掘,抓住问题的关键特征,得出算式或算法. $h^*(n)$ 的确定是与具体问题密切相关的,以直观判断和经验推定为主,没有固定的理论步骤和计算公式. $h^*(n)$ 是客观存在的,它最恰当地反映了智能问题所包含的内在求解信息线索.人为确定的 $h(n)$ 不应有所偏差,不能过高,也不能低于.过高则不是 A^* 算法,不具有可纳性,不能保证搜索出最佳解.甚至在选择思路不合理情况下,搜索不出实际中存在的解. $h(n)$ 过低则接近于宽度优先搜索,导致节点扩展工作量过大,降低了搜索效率,并且在计算机上的运行效率也大大降低,甚至不可实现.

对于复杂的、难度较大的搜索问题,有时为了只找出一条解路径(不必是最佳解路径),在 $h(n)$ 选择合理的情况下,可采用加大 $h(n)$ 中某些项的权值的办法.虽然牺牲了一些可纳性,但能够有效压窄扩展区间,尽快得出一条解路径.另外,在 $f(n)$ 中包含 $g(n)$ 是必要的,其目的是对搜索增加一个宽度优先分量,确保每一个有希望到达目标的节点都能得到扩展.

3 八数码难题启发函数的通用性分析

由上述可知,确定八数码难题启发函数的指导思想是:不在目标位数码的个数,或每个数码离目标位距离的总和,或各数码的后继数码与目标顺序相比是否一致的总计分值加权.这种利用位置状态比较的思路对其他智能问题的启发函数确定具有一定的借鉴价值和通用性.例如,在机器人行动规划中,可以把机器人运动过程中的各中间动作以不同状态描述出来,这些状态中包括了各运动参数和动作能力、意图等属性.用这些状态可构成一个状态空间图.通过借鉴和八数码难题相似的办法,以目标状态各参数、属性与初始状态各参数、属性比较,可以得出机器人行动规划的启发函数算式或算法,得到最佳或接近最佳的行动路线,提高机器人的行动效率.

对于可以转化为用特征参数和相应属性描述成状态空间形式的智能问题,都能够在一定程度上运用状态比较的方法来确定启发函数.通过编程实现、测试、运行所确定的启发函数的搜索效率和可纳性.

4 结束语

启发函数的选择是解决智能搜索问题的关键技术之一.应根据具体问题,在合理的思路指导下,发掘问题中蕴涵的全部启发信息和关键特征,以得到最佳启发函数或接近最佳启发函数的算式或算法.由于启发函数的判定需要直观经验,没有固定的理论通式和模式,不同的智能问题的启发信息特征和含量不同,因此应针对具体问题进行充分地分析和正确有效地测试.

进一步应做的研究是:对具有共性的同类问题,例如,自动定理证明、自动翻译、NP难题类等智能问题,能够归纳提炼出各类问题的关键参数、特征信息和属性类别等,将其状态空间化、形式化和函数化.为启发函数的正确确立提供框架和指导.

参考文献:

- [1] Stuart Russell, Peter Norvig. Artificial Intelligence: A Modern Approach(人工智能——一种现代方法)[M].北京:人民邮电出版社, Pearson Education 出版集团(英文版), 2002
- [2] 廉师友.人工智能技术导论[M]. 2版.西安:西安电子科技大学出版社, 2002
- [3] 许精明.状态空间的启发式搜索方法研究[J].微机发展, 2002, 12(4): 87-89
- [4] 俞瑞钊,史济建.人工智能原理与技术[M].杭州:浙江大学出版社, 1993
- [5] 吴泉源,刘江宁.人工智能与专家系统[M].北京:国防科技大学出版社, 1995
- [6] 傅京孙,蔡自兴,徐光祐.人工智能及其应用[M].北京:清华大学出版社, 1987