

中国象棋计算机博弈局面评估技术研究

黄 鸿, 林 健, 任雪梅

(北京理工大学, 100081)

E-mail: {honghuang, sswv, xmren}@bit.edu.cn

摘要: 以博弈树搜索为核心的人机对弈系统中, 局面评估是决定程序智能水平的关键. 基于对近年来相对成熟的中国象棋软件的研究, 将各类局面评估方法分为了四类: 静态单子型、未来局势型、象棋知识型及局面附加信息. 综述各类方法的原理、实现策略、优化方法及其与相关博弈模块的关系. 指出近期的研究趋势并对其发展前景进行了展望.

关键词: 中国象棋 计算机博弈 局面评估

Research on Technology of Board Evaluation in Chinese Chess Computer Game

HUANG Hong, LIN Jian, REN Xue-mei

(Beijing Institute of Technology, Beijing 100081, China)

E-mail: {honghuang, sswv, xmren}@bit.edu.cn

Abstract: In the man-machine game system with the core of game tree search, board evaluation is a key factor determining intelligent level. Based on the study of some relatively mature Chinese chess softwares, the board evaluation methods were classified into 4 categories: static independent chessman, further situation, knowledge-based and over-chessboard. Then the principles, implemental and optimizational strategies and the relations to other game modules were reviewed. Finally, the research trend was pointed out and the potentials were prospected.

Key words: Chinese chess; computer game; board evaluation

1 引言

计算机博弈是人工智能领域公认的最具挑战性的科研课题之一, 系统化的计算机博弈研究是从棋类游戏开始的. 中国象棋是一个标准的博弈问题, 研究者从系统论、博弈论的角度提出了解决此类问题的数学模型和一般方法^{[1][2]}. 中国象棋计算机博弈的核心方法是博弈树搜索, 决定性策略在于局面评估. 所谓局面评估就是建立数学模型, 使用特定的函数映射将以感性形式存在的“某个局面对我方的好坏程度”理性化, 得到一个量化评估值. 局面评估需要大量的象棋知识, 是计算机博弈中最为人性化的部分. 其设计优劣直接影响整个博弈系统的智能水平与效率.

局面评估涉及的状态参数众多, 反馈结构复杂, 需要认真地选择与权衡. 本文基于现有的计算机博弈理论与部分象棋软件实践成果, 分类分析局面评估方法的原理与实现, 讨论局面评估与博弈系统中其它模块的关系, 同时阐述了局面评估系统设计与优化中一些较

为创新的策略.

2 局面评估方法

局面评估的核心是评估函数. 评估函数以一个局面的所有信息为参数, 返回量化的评估值. 这个函数可以归结为多项式^{[3][4]}:

$$E_{sum,player} = \sum_{i=1}^n k_i \cdot E_i(p) \quad (1)$$

其中 $E_{sum,player}$ 为当前局面 p 对于棋手 $player$ 而言的最终评估值, 它由 n 种反映局面不同特征的子评估函数 $E_i(p)$, ($i=1, 2, \dots, n$) 分别按权重 k_i 加权求和得到. 每个子评估函数 $E_i(p)$ 又可细化为以下函数^[4]:

$$E_i(p) = E_i(x_1, x_2, \dots, x_k) \quad (2)$$

其中 x_j , ($j=1, 2, \dots, k$) 为局面 p 的局部信息, 一般包含两类: 1、棋盘表面信息, 即棋盘上每个位置的棋子种类; 2、由整个对局过程决定的附加信息 (如当前回合数、积累未吃子的回合数、当前局面循环出现的次数等). 各种子评估函数的本质是从不同观测层面对静态局面的量化. 依据其考查因素和实现方法的不同, 可以分为表 1 所列的四类.

表 1 子评估函数的分类

Tab.1 Categories of sub-evaluation-function

函数类别	评估内容	实现方法
静态单子型	当前棋盘上每个棋子的种类和位置	遍历棋盘统计计算
未来局势型	当前局面对后续局面的影响	通常在着法生成的同时计算
象棋知识型	象棋理论与经验中特殊的“形”与“势”	模式匹配或使用知识库技术
局面附加信息	依棋盘表面之外的附加信息调整评估值	在程序特定位置特殊处理

各类子评估函数并不具备正交性, 几种子评估函数的考查对象可能有交集, 因此在实际系统中不一定全部采用.

2.1 静态单子型

所谓静态单子型评估, 是指对棋盘上的每一个棋子考虑其种类和位置, 依种类的重要性与位置的优劣决定它的评估值, 然后将棋盘上所有棋子的评估值直接累加. 此类方法仅考虑每个棋子本身的属性, 不关心棋子周围形势. 一般来说静态单子评估是各种评估中权重最大的^[1].

2.1.1 固定子力价值

固定子力价值指棋子本身的存在价值, 反映一种棋子的综合子力. 对将、帅设定特殊的价值——无穷大, 以表明其不可失去的重要性. 其它棋子根据当前象棋理论研究通常可按照近似下列比例设定固定子力价值^[4]:

$$e_{车} : e_{马} : e_{炮} : e_{士} : e_{相} : e_{兵} = 9 : 4 : 4.5 : 2 : 2 : 1 \quad (3)$$

2.1.2 子力位置价值

子力位置价值反映棋子在棋盘特定位置的攻击能力. 对于同一棋子处于棋盘不同位置施加不同的奖励值或惩罚值可使局面向占据有利位置的方向发展. 小卒过河顶大车、当头炮、卧槽马等象棋经验都是子力位置价值的体现. 下例为棋天大圣软件作者提出的兵的位置评估值矩阵^[2]:

$$\begin{bmatrix} 0 & 3 & 6 & 9 & 12 & 9 & 6 & 3 & 0 \\ 18 & 36 & 56 & 80 & 120 & 80 & 56 & 36 & 18 \\ 14 & 26 & 42 & 60 & 80 & 60 & 42 & 26 & 14 \\ 10 & 20 & 30 & 34 & 40 & 34 & 30 & 20 & 10 \\ 6 & 12 & 18 & 18 & 20 & 18 & 18 & 12 & 6 \\ 2 & 0 & 8 & 0 & 8 & 0 & 8 & 0 & 2 \\ 0 & 0 & -2 & 0 & 4 & 0 & -2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (4)$$

2.2 未来局势型

单纯评估眼前局面的优劣显得目光短浅。象棋讲究子力快速展开，灵活出动，还有不少以退为进的打法。因此我们有必要分析一个局面的产生是否利于我方未来发展。这类评估一般只考查当前局面对下一步局面的影响，但由于博弈树本身在向深层次展开，这种对下一步局面的评估也能从一定程度上体现对长远局势发展的影响。

2.2.1 棋子灵活度

棋子灵活度也称机动性，反映一方所有棋子所有可行着法数目及重要性。其计算方法是统计待评估方每个棋子的可行着法种数 (n_{move})，乘以其着法价值 (e_{kind})，然后对所有棋子的计算值累加^[1]：

$$E_{mobility} = \sum e_{kind} \cdot n_{move} \quad (5)$$

着法价值的设定，通常与固定子力价值正相关（将、帅除外），并小于固定子力价值。这体现了象棋中大子及时出动的重要性。

2.2.2 棋盘控制力

某方可行着法的落点称为被该方控制的点。棋盘控制力反映我方及敌方所控制的点上棋子的情况，体现在威胁与保护两个方面。在编程实现时，可将我方每一棋子分别作为可行着法的起点和终点，遍历它可以到达的各点上的棋子以及所有可以达到它的其它棋子，依据棋子的所属方和种类加减分。具体包含表 2 所列的 4 种情况。

表 2 棋盘控制力评估的组合情况

Tab.2 Combinations of the control force evaluation

考查点	目标点是我方棋子 B	目标点是敌方棋子 B
我方棋子 A 可到达的点	B 受 A 保护，加分	B 被 A 威胁，加分
可达到我方棋子 A 的点	A 受 B 保护，加分	A 被 B 威胁，减分

由于一点可能被多个棋子威胁或保护，这个分值应当积累计算。

2.3 象棋知识型

中国象棋历史悠久，博大精深，形成了丰富的知识体系。人类棋手可以运用这些知识统领全局，运筹帷幄。但对于计算机，用机械的搜索却无法走出经典的着法。因此我们有必要在计算机博弈系统中对象棋知识进行特殊处理。开局库和残局库技术是解决此问题的重要方向，局面评估在此方面可以起到补充作用。

2.3.1 棋子配合打法

棋子配合打法，就是棋手常说的连环马、马后炮、车沉底炮碾丹砂等，是由两个或两个以上的棋子处于棋盘的特定位置，形成攻防能力大于棋子分立时的攻防能力的情形。对棋子配合的识别，可以使用类似棋盘控制力评估的方法，但与棋盘控制力评估相比，除判断棋子相对位置外还要判断其绝对位置——配合打法只有在棋盘要害位置才能充分发挥威力，盲目的配合不利于大局发展。

2.3.2 特定“形”、“势”判断

中国象棋学者总结了大量的定“形”（子力位置）与定“势”（子力配置）。定“形”如特殊位置的单马双象可守单车^[5]，定“势”如单马必胜单士。将这些知识应用于局面评估，可以使评估值更加准确，利于残局的发展及将军、应将的进行。在实现时，对定“势”可以直接统计各类棋子数目来判断；而定“形”变化多端，不易通过简单的模式匹配识别，最好设立残局库。定“形”、定“势”除可采取加减分对策外，也有研究者提出了对这些特殊局面评估值加倍或减半的方案^[5]。

2.4 局面附加信息

上述各类评估的对象都是棋盘表面信息。事实上其它一些与整个对局过程相关的附加信息也在一定程度上也影响着局面的优劣，需要单独分析。

2.4.1 先行权分值^[6]

棋类游戏中的先行权对局势有重要的影响，一般而言先手一方占优。在博弈树搜索过程中，先行权问题体现在奇偶层效应上，这会降低一些窗口搜索算法的效率。为此有必要针对先行权问题附加一定的先行权分值以调节局面评估值。先行权分值在开局时较大，随局势的演化而趋于减小，在残局时甚至可能出现“无等着”（Zugzwang）的负分值。

2.4.2 特殊局势常值

特殊局势包括出现必胜、必败局面，循环局面，自然限招局面，时限逼近等情况。出现这类局面后搜索引擎应当有特殊的处理策略，避免因棋规等客观原因走出错着。对特殊局势的识别，要依靠局面评估函数返回特定的常值通知搜索引擎处理。

3 局面评估与相关模块

从软件工程的角度而言，一个灵活的象棋博弈系统的各个功能模块应做到高内聚、低耦合。典型的博弈系统模块划分与逻辑关系如图1所示。

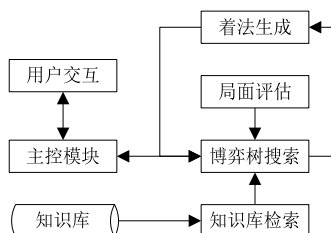


图1 典型的象棋博弈系统结构
Fig.1 Typical structure of a chess game

但博弈系统对于执行效率的特殊要求使得程序中循环的合并、数据的共享成为必然。因此，在各个模块技术趋于成熟和确定的情况下，模块间的融合现象在现实系统中变得十分普遍，局面评估与相关模块的关系也更加紧密。

3.1 博弈树搜索

从Min-Max搜索演化而来的Alpha-Beta等搜索方法有一个基本假设是敌方与我方具备完全相同的棋力和思路^[1]。因此要同时评估双方形势，将我方与敌方评估值之差返回给搜索引擎作为局面选择条件：

$$E_{return} = E_{sum,us} - E_{sum,opponent} \quad (6)$$

有文献^[7]提出可为我方与敌方评估值设定动态的局势系数以得到更精确的返回值。但总体而言返回值 E_{return} 反映局面均衡状况，正值代表对我方有利，负值代表对敌方有利。它是局面评估系统与搜索引擎的耦合点。

搜索的性能直接决定象棋软件的强弱，而局面评估值是决定搜索方向的必要条件。复杂的局面评估函数必然会消耗更多的时间，评估效率的微小变化将明显影响搜索的速度。因此我们有必要考虑局面评估与搜索的权重问题。理论先驱提出了如图 2 所示的关系^[8]。

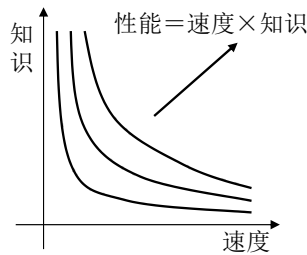


图 2 博弈树搜索中速度与知识的关系

Fig.2 Relation between speed and knowledge in search

这里的速度指标反映搜索引擎的效率，知识指标反映评估函数的复杂度。博弈系统的整体性能由两者共同决定。设计者需要找到二者的平衡点，才能使整体性能最大化。

3.2 着法生成

着法生成在博弈树搜索中起到节点展开作用。采用棋盘扫描法、模板匹配法和预置表法^[2]进行着法生成的同时，棋盘的主要信息已被遍历。局面评估所需要的部分数据可直接在着法生成过程中获取，不必进行重复的运算。

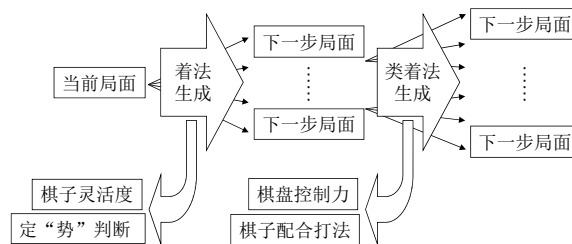


图 3 着法生成过程中的局面评估

Fig.3 Board evaluation in the move generation

如图 3 所示，定“势”和棋子灵活度评估所需的各类棋子数量及其可行着法数目可直接在棋盘遍历过程中获得。而对于棋盘控制力和棋子配合打法评估，一种高效的方法是对生成该着法的棋子再运行两次“类着法生成”过程，找到它可以到达的各点上的棋子以及所有可以达到它的其它棋子，从而得出相应评估值。

3.3 知识库

中国象棋知识库通常包括开局库与残局库。象棋知识型评估与知识库有着密切的联系，二者都是对象棋知识的量化抽象。其主要不同点见表 3 说明。

表 3 象棋知识型评估与知识库的比较

Tab.3 Comparison between the evaluation of knowledge and the knowledge-base

比较项目	象棋知识型评估	知识库
考察对象	局部几个棋子及其相对位置	整个棋盘，所有棋子绝对位置
实现方式	融入局面评估系统	由搜索引擎以一定的触发条件调用
普适性	可应对各类局面	一旦知识库中没有存储，就会失效
执行效率	需要实时计算，速度慢	用检索代替计算，速度快
空间占用	基本不占用额外空间	需要大量的外存储空间存放知识库

知识库的建立是大量评估结果的总结。这里的评估工作，一方面包括人工的、依据象

棋知识对大量对局棋谱的录入与整理（整理工作目前也采用统计学方法批量自动化进行^{[9][10]}），另一方面便是利用搜索引擎进行局面演化与回溯，通过象棋知识型评估函数建立知识库^[10]。

4 局面评估的优化

计算机博弈是一个典型的专家系统，局面评估参数及象棋知识库构成了系统知识体系，局面评估函数的数学形式则是模拟专家思维的决策机制。其实现的关键是将人类象棋大师对局面的判断较为准确地量化存储，因此在编码完成之后相当多的时间将花费在调试优化方面。理论上说，公式(1)中的方法权重 k_i 及 $E_i(p)$ 中的各个参数都是待优化对象，但实践表明调试二级参数体系的时间消耗大而总体收效小，故通常可固定 k_i ，将所有子评估函数的参数作为同一体系进行优化。

优化的前期工作是参数初值选取，一般基于经验定值，如车的固定子力价值大于马，马又大于兵。这里有一些常用的原则，如规格化原则——确定不同参数的比例系数，然后同乘一个倍数；约束原则——事先设定参数应符合的约束条件，然后在可行域内定值。初值选定之后需要使用基于最优化理论的各类算法，由计算机对大量高水平棋谱进行测试以得到相对精确的参数。最优化算法的优势在于能使参数体系具备一定的自学习能力，在较短时间和较少人工干预的情况下趋近于最优解。已有不少文献^{[3][7][8][11][12][13]}专门讨论这些方法的实现，这里只做原理性介绍。

(1)爬山法。类似于人工优化的过程，每次对一个参数进行小幅修改，然后使用大量局面测试棋力是否提高。如果提高，则继续向这个方向修改参数，直至出现棋力下降时停止。爬山法只能找到局部最优解，并且每次只能维护一个参数。

(2)模拟退火。在爬山法的基础上引入蒙特卡罗方法多次采样、全局寻优的思路，对使得棋力下降的参数依据 MetroPolis 重要性采样概率^[1]进行随机突跳，继续修改和测试。在寻找最优参数的同时逐渐降低接受使得棋力下降的参数的概率，由此逼近全局最优解。与爬山法相比，模拟退火速度更慢，但结果更优。

(3)遗传算法。模拟生物染色体的选择、遗传、变异机制，同时维护多组较好的参数组合，将它们各自的参数以一定的概率交叉互换，然后选择较优的组合。若将参数交叉与选择的过程一代代演化下去，它们就会趋于最优解。遗传算法成败的关键是适应度函数^{[3][11]}。一般通过与人类高手下同一局面的着法比照或其它程序对局计算胜率来决定适应度。

(4)神经网络。神经网络算法是对生物神经系统功能的模拟，具备高度的并行性和较强的自学习能力。局面评估中，神经元是参数权重的函数^[8]。将大量棋谱作为神经元学习的输入层，最终评估值作为输出层，用适应度函数给予奖励因子与惩罚因子，通过持续的自组织学习可以得到较优的参数组合。与上述几种方法相比，神经网络避免了单纯从统计角度出发来认定局面好坏的片面性，更加具备人性化特征。它在博弈系统中的应用研究还有很大的拓展空间。有文献^{[8][13]}提出神经网络本身就可以作为一类具备自学习功能的象棋博弈局面评估系统独立运行。

5 结语

本文通过对现有计算机博弈理论及部分相对成熟的中国象棋软件的分析研究，提出了局面评估方法的二级分类体系，有助力更加条理化地研究局面评估技术。由此展开的针对局面评估与其它博弈模块关系以及评估系统优化策略的讨论，是从整体上构建高智能、高效率人机博弈软件的重要环节。

局面评估在棋类博弈中居于策略核心地位。对它的研究既需要人工智能与博弈论作为理论支持，又需要大量的象棋知识作为专家系统。目前学术界仍缺乏对其系统化的研究成果，存在不少理论与技术盲点。局面评估理论突破与技术提升的空间非常大，有待广大学者努力开拓。

参考文献:

- [1] 王小春. PC 游戏编程 [M], 重庆: 重庆大学出版社, 2002.
Wang Xiaochun. PC Game Programming [M], Chongqing: Chongqing University Press, 2002. (in Chinese)
- [2] 徐心和, 王骄. 中国象棋计算机博弈关键技术分析[J], 小型微型计算机系统, 2006, 27(6): 961-969.
Xu Xinhe, Wang Jiao. Key Technologies Analysis of Chinese Chess Computer Game [J], Mini-Micro Systems, 2006, 27(6): 961-969. (in Chinese)
- [3] 王骄, 王涛, 罗艳红, 等. 中国象棋计算机博弈系统评估函数的自适应遗传算法实现[J], 东北大学学报, 2005, 26(10): 949-952.
Wang Jiao, Wang Tao, Luo Yanhong, et al. Implementation of Adaptive Genetic Algorithm of Evaluation Function in Chinese Chess Computer Game System [J], Journal of Northeastern University, 2005, 26(10): 949-952. (in Chinese)
- [4] 涂志坚. 电脑象棋的设计与实现[D], 广州: 中山大学, 2004.
Tu Zhijian. Design and Implementation of Computer Xiangqi [D], Guangzhou: Sun Yat-sen University, 2004. (in Chinese)
- [5] 王骄, 徐长明, 徐心和. 中国象棋计算机博弈残局处理系统[C]//2006 中国机器博弈学术研讨会论文集, 2006: 91-95.
Wang Jiao, Xu Changming, Xu Xinhe. Endgame System in Computer Chinese Chess [C]//Proceedings of 2006 Chinese Computer Games Conference, 2006: 91-95. (in Chinese)
- [6] 黄晨. 棋类游戏游戏中的先行权[C]//2006 中国机器博弈学术研讨会论文集, 2006: 40-43.
Huang Chen. Move-First Advantage in Board Games [C]//Proceedings of 2006 Chinese Computer Games Conference, 2006: 40-43. (in Chinese)
- [7] 周玮, 张贇, 周静怡. 基于对弈局势的二次估值方法[J], 系统仿真学报, 2006, 18(9): 2665-2668.
Zhou Wei, Zhang Ze, Zhou Jingyi. The Method of Secondary Estimation Based on Game Situation [J], Journal of System Simulation, 2006, 18(9): 2665-2668. (in Chinese)
- [8] David Eppstein. Evaluation Functions [EB/OL], (1999-02-22)[2007-03-01], <http://www.ics.uci.edu/~eppstein/180a/990114.html>.
- [9] 黄晨. 中国象棋程序设计探索 [EB/OL], (2005-11-01)[2007-03-01].
Huang Chen. Design Exploration of Chinese Chess Program [EB/OL], (2005-11-01)[2007-03-01], <http://www.elephantbase.net/computer.htm>. (in Chinese)
- [10] 李任轩, 林顺喜, 许舜钦. 计算机象棋知识库的压缩技术之研制[C]//2006 中国机器博弈学术研讨会论文集, 2006: 27-34.
Li Jenhsuan, Lin Shunshii, Hsu Shunchin. Design and Implementation of Compressed Knowledge-Base for Computer Chinese Chess [C]//Proceedings of 2006 Chinese Computer Games Conference, 2006: 27-34. (in Chinese)
- [11] 黄明, 高强, 梁旭, 等. 一种新的量子遗传算法在人机博弈系统评估函数中的应用研究[C]//2006 中国机器博弈学术研讨会论文集, 2006: 72-75.
Huang Ming, Gao Qiang, Liang Xu, et al. A New Quantum Genetic Algorithm and its Application Reseach in the Evaluation of Man-Machine Match System [C]//Proceedings of 2006 Chinese Computer Games Conference, 2006: 72-75. (in Chinese)
- [12] 倪志伟, 贾瑞玉, 程慧霞. 解决一类博弈问题的神经网络系统[J], 控制与决策, 1996, 11(2): 313-315.
Ni Zhiwei, Jia Ruiyu, Cheng Huixia. A Neural Network System to Solve One Kind of Game Problem [J], Control And Decision, 1996, 11(2): 313-315. (in Chinese)
- [13] 王涛. 中国象棋计算机博弈中的增强学习研究[D], 沈阳: 东北大学, 2006.
Wang Tao. Research of Reinforcement Learning for Computer Chinese Chess [D], Shenyang: Northeastern University, 2006. (in Chinese)