事件对策理论及在棋类游戏中的应用

徐心和，　王　浩，　孔凡禹

（ 东北大学人工智能与机器人研究所，辽宁, 沈阳市 110004）

摘要：搏弈论在过去的半个世纪中取得了举世瞩目的成果，已经成为主流经济学的重要组成部分，在其它领域也有不少成功的应用。但应看到，虽然博弈论衍生于象棋、围棋等棋类游戏，但是对于这样一类分枝数和阶段数都很庞大的完全信息动态博弈问题，却无法进行有效的分析与求解。通过剖析博弈论在“纳什均衡”、“一致预测”和“完全理性”等一系列重要结论上的局限性，对应于离散事件动态系统给出了事件对策系统的形式化描述，通过对于牛角棋的建模和求解分析，指出了事件对策问题的求解策略与方法，并可以推广到其它棋类的对策问题。

关键词：博弈论；机器博弈；事件对策；棋类游戏

中图分类号：

Event Games Theory and Its Application to Board Games

XU Xinhe,　　WANG Hao,　　KONG Fanyu

（Institute of Artificial Intelligence and Robotics, Northeastern University, Shenyang 110004）

Abstract: A great and significant advance has been made in Game Theory during the past half century. Game theory becomes the most important part in the Modern Economics, besides，successful applications appear in various fields. Even though the game theory came from board games, such as chess and I-go, it couldn’t analyze and solve this kind of dynamic games which have complete information but with a large number of branches and stages. Based on the analysis of the limit problems of Nash equilibrium, consistent forecast and complete rationality of Game Theory, the formal frame of Event Game system is proposed, corresponding to discrete-event dynamic system. With the help of modeling and solving the NIUJIAO game, strategy and method of Event Game is pointed out. Obviously, it could be used in the other board games.

Key Words: Game Theory; Computer Games; Event Game; board games

博弈论（Game Theory）是一种关于游戏的理论，又叫做对策论，是一门以数学为基础，研究对抗冲突中最优解问题的学科[1]。其实，博弈论作为一门学科的历史并不算长，20 世纪 50 年代，合作型博弈在冯•诺依曼和摩根斯特恩提出的理论基础上达到颠峰期并推动了数理经济学的快速发展。而天才数学家纳什提出的“纳什均衡”概念与数学家图可对“囚徒困境”的定义则共同奠定了现代非合作博弈理论的基石[1-4]，为现实社会中更加普遍的博弈问题找了答案。到了 70 年代，博弈论正式成为主流经济学研究的主要方法之一，并逐渐成为现代经济学发展中十分标准的分析工具。博弈论发展到今天，已在除经济学以外的众多领域，如：生物学、管理学、国际关系、计算机科学、政治学、军事战略等方面得到了广泛应用[1]。

自古以来，下棋便是人类智慧的典型体现。虽然博弈论的概念源于棋类游戏，但博弈论对于这样一类分枝数和阶段数都很庞大的完全信息动态博弈问题，却无法进行有效地分析与求解。通过对棋牌游戏的属性分析，不难发现，棋牌游戏的系统主要由两部分构成，

收稿日期：2007 年 3 月 18 日

基金项目：国家自然科学基金项目（60475036）

作者简介：徐心和(1940-)，男，黑龙江哈尔滨人，教授，博士生导师；王浩(1977-)，男，辽宁省沈阳人，东北大学博士研究生；孔凡禹(1984-)，男，辽宁省沈阳人，东北大学软件学院本科生。

通信作者：徐心和　　电话：024 23899982　E-mail: xuxinhe@gmail.com

即局面和着法。着法是驱动棋牌游戏系统状态演变的基本因素。局面的状态都发生在离散时间点，即在着法给出时局面才能发生跃变，其它时刻保持不变，并且在空间中具有一种不连续的固有属性。着法的变化域和局面的状态空间也都具有离散性。基于以上因素，有理由认为棋牌类游戏系统属于离散事件动态系统，着法即是触发DEDS状态变化的事件[5]。

本文首先分析了完全信息动态博弈的研究成果及其局限性，通过对牛角棋的建模和求解分析，指出了棋类游戏中事件对策问题的求解策略与方法，为机器博弈的研究与开发提供了新的方向与工具。

一、　完全信息动态博弈研究成果与局限性分析

说到博弈论，不得不提的一个重要概念就是纳什均衡。纳什均衡是博弈论中第一个极其重要的概念，它主要描述的是这样一种策略（或行动）集：在这一策略集中每一个博弈者都确信，在给定竞争对手的情况下，他选择了最好的策略(纯策略或混合策略)。并且，没有任何人有积极性偏离这种均衡的局面。一般来说，人类的集体行动是不可能预知的。但是在某些假定的条件下，某种集体行动是可预测的。博弈论中对行动者的假定是，行动者是理性的。理性的人不可能作出非理性的事情，在这个假定下，许多结果就能预测出来。纳什均衡最重要的性质之一就是“一致预测性”[1]。

我们知道，按照参与人行动的次序，博弈可以划分为静态博弈和动态博弈。动态博弈指的是参与人的行动有先后顺序，且后行动者能够观察到先行动者所选择的行动的博弈。在静态博弈中，每个博弈方只有一次选择行动的机会，而在动态博弈中，各个博弈方的选择和行为不仅有先后之分，而且一个博弈方的选择很可能不是只有一次，而是有几次甚至多次，并且在不同阶段的多次行为之间有内在联系，是不能分割的整体。显然，动态博弈在策略和博弈结果方面的特点与静态博弈相比有很大的差异[1]。而完全信息博弈是指各博弈方都完全了解所有博弈方各种情况下得益的博弈。由此可知，大多数棋类游戏属于完全信息动态博弈。

在一般的动态博弈中，往往会存在多个纳什均衡，这时博弈方会选择自己认为最合适的纳什均衡。以下棋为例：在双方对弈的过程中，由于博弈者的行动有先后顺序，且后行动的博弈者在自己行动之前就可以观察到先行者的行为，并在此基础上选择相应的策略，博弈者在下棋时就会根据自己所掌握的信息选择更加合理的着法。由此引出子博弈精炼纳什均衡的概念：如果在一个具有完美信息的动态博弈中，各博弈方的策略构成的一个策略组合在整个动态博弈及它的所有子博弈中都构成纳什均衡，那么这个策略组合称为该动态博弈的一个“子博弈精练纳什均衡”。子博弈精练纳什均衡能够排除均衡策略中不可信的威胁或承诺，排除不合理、不稳定的纳什均衡，只留下真正稳定的纳什均衡。

近年来，随着人工智能学科的不断发展，机器博弈（Computer Games）——主要指计算机下棋，由于其规则明确，状态有限，与现实世界纷繁复杂的博弈事例相比单纯且不失典型性，适合计算机实现等特点，被众多人工智能研究学者广泛关注。半个多世纪以来，经过计算机和人工智能领域的学者们不懈的努力，机器博弈取得了一系列出人意料和举世瞩目的成就。1997 年 5 月在美国，IBM“深蓝”计算机战胜世界棋王卡斯帕罗夫；2006 年 8 月在中国，浪潮天梭服务器与东北大学“棋天大圣”软件结合战平了“中国象棋第一人”许银川，这都标志着计算机的“博弈能力”已经可以和人类天才相媲美[6]。

尽管纳什均衡理论及其应用取得了巨大的成就，但对于一些复杂的动态博弈问题却难以适用。以象棋的机器博弈为例：理论上象棋博弈是完全信息动态博弈，博弈双方可选择的策略都是有限的，是可以被列举被穷尽的，应当可以通过比较确定最优的策略选择。但实际上该博弈的有限策略数已大到远远超出人们的分析考察能力，即使把其中一些明显较差的可能性先筛选掉，然后用世界上最先进的每秒运算速度上亿次的计算机来处理，下一步棋也仍然需要很长时间。我们知道，下象棋时平均每步大约有 35 种合法的可行选择，通

常一局棋有几十个、上百个甚至更多的步骤或回合，因此一局棋的可能路径数至少应该是35 的几十、上百次方。其实，在象棋对弈中更重要的往往是局面,在博弈的初始阶段或大部分时间里，局面都比纳什均衡更重要。只有在博弈接近尾声，局面已经大大简化的时候，纳什均衡分析才可能奏效。由此揭示出纳什均衡分析一个重要的薄弱环节，即无力解决步骤过多的动态博弈问题[7]。

为了解决此类动态博弈问题的表述与求解，更好地总结、归纳和提升机器博弈的丰富成果，将机器博弈的宝贵成果应用到更为广泛的领域，弥补现代博弈论在复杂博弈过程中的某些局限性，在此提出事件对策理论的概念与框架，以期能够解决因现代博弈论在求解诸如机器博弈等复杂动态博弈方面局限性所带来的一系列问题。

二、 事件对策论

事件对策系统是指一类具有两个非合作的智能主体的离散事件动态决策过程。事件对策系统一般都具有以下特点。首先，事件对策系统的状态值在离散时间点上发生变化，系统状态的变化是由事件驱动的，其它时刻保持不变。其次，事件是构成事件对策系统的主体，事件集是由多个（一般为两个）决策者相互制约的决策过程构成的。另外，事件对策系统分析的目的在于，如何在“策略相互制约”的局势中寻找到每个智能主体的最佳策略（行动），使得在这一系列事件驱动下，系统达到的状态能够让每个智能主体都能获得尽可能大的盈利 (或最大程度地减少损失)。

基于这些特点，一个事件对策系统E可以定义为一个七元组[5]：

$$E=(P,Q,\Sigma,R,\delta,q_0,F) \tag{1}$$

其中：

（1）P：对策参与者集合。$P=\{P_1,P_2\}$，P_1,P_2均为理性而能动的决策者。他们总是在相机行事，为了自己利益的最大化而根据系统状态选择自己的策略（行动）；

（2）Q：系统的有限状态集合；

（3）Σ：由双方的策略（行动）有限子集合构成。$\Sigma=\{\Sigma_1,\Sigma_2\}$，它是状态$Q$的函数；

（4）R：博弈规则。给出参与者的行动顺序、时限、信息披露的内容与方式等博弈规则；

（5）δ：状态转移函数。表示在参与者行动事件的作用下状态演化规律。故有：$\delta:Q\times\Sigma\to Q$

（6）q_0：系统的初始状态。显然$q_0\in Q$；

（7）F：参与者的收益集，它是与系统当前的状态q_k相关联的。故有

$$F(q_k)=\{F_1(q_k),F_2(q_k)\} \tag{2}$$

不难看出，事件对策是从棋类游戏抽象出来的。因此它仍有很大的局限性，具有很大的可扩展空间。

首先这里将对策的参与者限制在 2 个，并且要求是理性和能动的决策者。此时利害关系简单，“二人零和，你死我活”，应用极大极小原理求解，算法相对容易。如果有第三个参与者出现，他可能并不主要，但第三者的“能动”作用，将会使问题变得非常复杂。就像在势均力敌的两党竞选中，竞选结果很可能被一个第三者所左右，尽管他本身没有任何获胜的机会。此时参与者理性与策略的内涵就需要巨大的扩展。

其次，目前的事件对策的框架还只适合于完全且完美信息的对策问题，就像棋类游戏一样。对于牌类游戏，如扑克、麻将等非完全信息的对策问题，其模型的框架和求解方法将更加复杂，当然也更有实用价值。显然，这些应该在完全信息问题得以解决的基础上继

续进行探索。

三、 棋类游戏的事件对策分析

这里我们选择了一个最简单的民间棋类——牛角棋为例进行分析。棋盘如图 1 所示，三个棋子（黑 1 白 2），10 个棋位，规则也很简单。黑子要“下山”，白子要拦截；白子只上不下（可以平走），黑子可上可下；黑子突破拦截为胜，被白子堵回“山顶”为输；一方一步，轮流走棋；只能走向空位，不得重合与跳跃。显然这是一种具有完美信息的动态博弈问题。

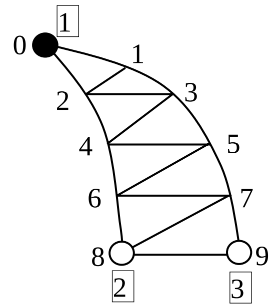

图 1 牛角棋及棋位棋子编码

Fig.1 Coding the board and chessman of horn chess

系统建模与问题分析。首先要解决棋局的表示，它包括棋盘表示（图 1）和棋子编码（方框所示）。于是系统状态的表示：

$$S_n=(P_n^1,P_n^2,P_n^3)，\quad S_0=(0,8,9) \tag{3}$$

式中，$P_n^i\in[0,9]$ 代表棋子 i 在第 n 阶段数所在的棋位。则状态演化方程为

$$S_{n+1}=S_n * q_{n+1}^i \tag{4}$$

式中算子 q_{n+1}^i 表示在 n 阶段时棋子 i 的着法，它作用于棋局 S_n，便得到 $n+1$ 阶段的棋局 S_{n+1}。各棋子的着法可以表示为：

$$q^1: \qquad P_{n+1}^1=P_n^1\pm1,\quad P_{n+1}^1=P_n^1\pm2 \quad \in[0,9] \tag{5}$$

$$q^i\big|_{i=2or3}: \qquad P_{n+1}^i=P_n^i-1,\quad P_{i+1}^i=P_n^i-2 \quad \in[0,9] \tag{6}$$

$$P_{n+1}^i=P_n^i+1 \qquad \in[2,8]\cap P_n^i=even \tag{7}$$

胜负判定：

$$\text{黑胜：“逃出”——}P_i^1>P_i^2 \qquad or \qquad P_i^1>P_i^3 \tag{8}$$

$$\text{白胜：“憋死”——}S_e=(P_e^1,P_e^2,P_e^3)=(0,1,2)\cup(0,2,1) \tag{9}$$

通过博弈树展开（三阶段博弈树见图 2），考虑到分枝数不大（≤4），阶段数有限（10 步内可以分出胜负），可以采用穷尽搜索得到对局的解。将博弈树展开 15 层，如果不将无意义的循环走棋计算在内，那有效博弈树的总节点数为 7436771 个，在叶节点上黑胜为 532274 个，白胜为 672 个，和棋为 4637870 个。

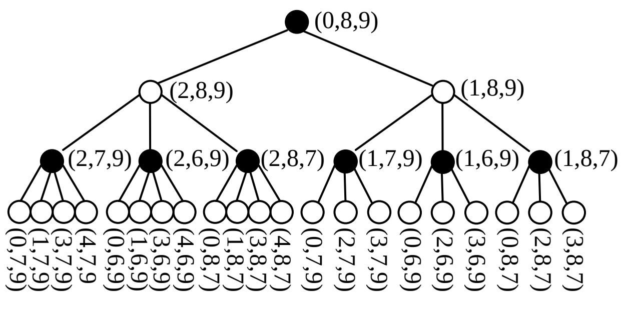

图 2 三阶段博弈树展开

Fig.2 Extended game tree with 3 depths

如果说，和棋为子博弈精炼纳什均衡，那如此多的“均衡”是绝对不

能靠人的理性判断得到的。而且棋手也绝对不会满足于这种均衡，而是要伺机战胜对手。

通过对弈的分析，还能更早地判断棋局的胜负，那就是“短兵相接，谁走谁输”（见图 3）。也就是说不能走出“黑白三子靠拢”的那一步。于是高手对弈，很可能就是“保持距离，敬而远之”，最后弈和。

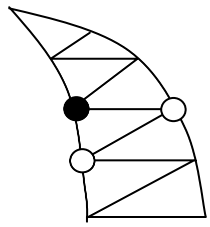

图 3 短兵相接棋局

Fig.3 The crucial situation

对于牛角棋一类不算复杂的状态空间便无法通过演绎推理和归纳推理进行数学求解，显然也是无法进行“一致预测”。

事件对策方法也同样适用于局面复杂的象棋，只是由于分枝数（30-50）和阶段数（80-100）无法在有限阶段（10-20）内判断胜负，于是需要棋局评估（打分），并且通过α－β剪枝和启发式搜索进行问题的求解[6]。

四、　　结语

不难看出，事件对策理论与方法可以求解棋类博弈的问题，弥补了现代博弈论的不足。但是这里的研究还是很初步的，只能算作是一种崭新的概念的提出，而还有大量问题需要探索。比如纳什均衡的定义及动态博弈论的诸多内涵，由此才能将事件对策融入博弈论的大家庭当中，并且在更广泛的领域得到应用[8]。

参考文献：

[1] 范如国，韩民春.博弈论[M].武汉：武汉大学出版社,2006.1

[2] 约翰.纳什(Nash,J.F).纳什博弈论论文集[M].张良桥、王晓刚译，王则柯校.北京：首都经贸大学出版社, 2000.11

[3] John L Casti. Five Golden Rules, Great Theories of 20th-Century Mathematics and Why They Matter[M]. New York: John Willy and Sons Inc, 1996

[4] 李光久.博弈论基础教程[M].北京：化学工业出版社,2005.2

[5] 徐心和，郑新颖.棋牌游戏与事件对策[J]. 控制与决策，（已录用，待发表）

[6] 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

[7] 高红阳. 纳什均衡的重要影响及其问题局限[EB/OL] . http://www.cenet.org.cn/cn/CEAC /2005in

[8] 徐心和，邓志立. 基于机器博弈的作战模拟系统探讨[C]. 中国系统建模与仿真技术高层论坛论文集，2006.11.21－22，北京， 113-117