



博弈论在对等网络中的应用

陈宏伟 王春枝 叶志伟 著



科学出版社

博弈论在对等网络中的应用

陈宏伟 王春枝 叶志伟 著



科学出版社

北京

内 容 简 介

本书主要包括：博弈论与对等网络概述；博弈论在对等网络结点信任预测中的应用；博弈论在对等网络信任建模中的应用；博弈论在对等网络结点信任协商中的应用；博弈论在对等网络激励机制中的应用；博弈论在对等网络流量优化中的应用。

本书可作为计算机科学与技术、网络工程、信息安全及相关专业硕士研究生及高年级本科生的教材，也可作为开展相关研究的科研人员的参考书，还可作为硕士研究生、博士生及教师论文写作的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

博弈论在对等网络中的应用 / 陈宏伟, 王春枝, 叶志伟著. —北京: 科学出版社, 2017.12

ISBN 978-7-03-055560-1

I. ①博… II. ①陈… ②王… ③叶… III. ①博弈论-应用-计算机网络-研究 IV. ①TP393

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2017) 第 289148 号

责任编辑: 戴 薇 王 惠 / 责任校对: 陶丽荣
责任印制: 吕春珉 / 封面设计: 东方人华平面设计部

科学出版社 出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码: 100717

<http://www.sciencep.com>

北京京华虎彩印刷有限公司 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2017 年 12 月第 一 版 开本: B5 (720×1000)

2017 年 12 月第一次印刷 印张: 11

字数: 212 000

定价: 57.00 元

(如有印装质量问题, 我社负责调换〈京华虎彩〉)

销售部电话 010-62136230 编辑部电话 010-62135397-2052

版权所有, 侵权必究

举报电话: 010-64030229; 010-64034315; 13501151303

前 言

对等网络 (peer-to-peer network, P2P) 是采用对等模式工作的网络。在对等网络中, 每个结点 (peer) 在行为上是自主的, 在功能上是平等的, 结点之间是互连的, 并自组织成一个网络。对等网络的本质在于打破传统客户端/服务器模式, 具有可扩展性、健壮性、自组织性等特性, 让网络中的结点享有自由、平等和互连的功能, 不再有客户端和服务器的区别, 任意结点之间都能共享文件和传递信息。因此, 对等网络能够极大地提高网络效率, 充分利用网络中的边界资源, 从而在文件信息共享、协同计算、分布式存储领域得到广泛应用。

博弈论 (game theory) 是应用数学方法研究决策主体的行为发生直接相互作用时的决策以及这种决策的均衡问题的一门学问。也就是说, 博弈论研究的是当一个主体的选择受到其他主体选择的影响, 而且反过来影响到其他主体选择时的决策问题和均衡问题。博弈论研究的基本假设是主体都是理性的。正是围绕这一基本原则, 人们才创造出各种各样的博弈模型, 不断推动博弈论的发展。

博弈论作为一种分析工具, 用来研究怎样以数学模型模拟理性决策者之间的冲突与合作, 广泛应用于对等网络相关理论与技术的研究中。本书主要阐述如何将博弈论应用于对等网络, 尤其是对等网络结点之间的信任激励及对等网络的流量优化领域。

本书共 6 章, 主要内容如下:

第 1 章主要对博弈论与对等网络进行概述, 包括对等网络定义、特性、应用分类、拓扑分类等, 博弈论分类、重复博弈、混合策略博弈、扩展博弈等, 以及博弈论在对等网络中的应用。

第 2 章主要研究博弈论在对等网络结点信任预测中的应用, 将马尔可夫链应用于预测博弈机制。首先, 针对网络现实结点的交互状况对结点状态进行分类, 对三类状态存在的各种转移趋势进行了分析, 以此为基础对网络未来的运行状态进行预测分析。其次, 将所提出的两种策略引入博弈框架: 奖励策略博弈模型对结点进行正面激励, 惩罚策略对结点进行惩罚约束。最后, 提出预测机制的博弈规则, 从宏观上设计出预测机制与结点的博弈框架, 预测机制针对不同的网络运行状态采取不同的策略, 对网络运行进行监督和维护。对预测机制进行了仿真模拟, 以验证该机制对于结点间信任关系的建立是否具有有效的激励, 以及博弈规则的合理性。

第 3 章主要研究博弈论在对等网络信任建模中的应用, 提出四种适用于不同信任场景的信任模型: 对于 P2P 网络中结点类型已知的情况, 提出已知结点类型

的 P2P 信任博弈模型, 分析这些结点所采取的行为策略, 通过调节两结点合作的收益和支出大小, 提高结点合作的可能性; 对于结点类型未知的情况, 提出未知结点类型的 P2P 信任博弈模型, 调节结点的支出, 减少结点背叛的概率; 对结点中的背叛结点进行惩罚, 提出基于监督博弈的 P2P 结点激励模型, 加强惩罚力度, 监督网络中的结点自觉加入网络; 对于意图伪装的结点, 提出识别结点信息的 P2P 博弈信任模型, 通过调整结点的支付, 减少结点的伪装, 使其自觉地共享资源。

第 4 章主要研究博弈论在对等网络结点信任协商中的应用。在对自动信任协商行为进行抽象和分析的基础上, 引入扩展博弈的理论, 设计了名为 GTree-Strategy 的协商策略。该策略引入一套计算凭证收益的公式, 以协商双方为协商树的结点, 以可出示的凭证集为策略空间, 逐步建立扩展博弈树。通过计算扩展博弈的子精炼纳什均衡, 求出可选纳什均衡中的最优或次优解, 得到协商双方该出示的最小凭证集, 一次性完成凭证的交换, 达到建立信任的目的。设计了基于扩展博弈协商流程的一致性校验算法, 引入信任键和完全缓存序列机制, 在完成一次成功协商后颁发给双方信任键, 可在失效期内跳过协商过程直接建立信任。引入混合策略博弈的理论, 对完全缓存和部分缓存进行了建模和分析。

第 5 章主要研究博弈论在对等网络激励机制中的应用。针对经典对等网络拓扑结构 BitTorrent 应用博弈论提出了自适应宽容的一报还一报激励策略 (AGTFT), 在不稳定的网络环境下, AGTFT 策略比 TFT 策略更健壮, 容错性更好; 同时由于 AGTFT 策略对合作结点比 TFT 策略更加友好, 更加能够促进合作结点之间的合作, 从而直接或间接抑制“搭便车”现象, 有效提高 BitTorrent 系统的服务质量。针对对等网络流媒体系统, 基于马尔可夫预测机制建模, 将结点动态选择一个合作博弈, 并构成一个稳定的联盟, 提出基于动态联盟的对等网络流媒体系统激励机制, 该机制对网络结点的自私行为具有有效的约束性, 进而能够维护网络的稳定性。

第 6 章主要研究博弈论在对等网络流量优化中的应用, 提出了基于三方合作的 P2P 流量优化框架, 并将该框架细化为基于缓存博弈的流量优化模型和基于三方合作博弈的流量优化模型。①提出了基于缓存博弈的 P2P 流量优化思路, 对基于缓存博弈的 P2P 流量优化方案进行建模分析; 讨论了部署缓存的成本耗费和域间流量减少所带来的收益是一种博弈关系, 建立了以缓存容量为约束条件的 P2P 流量优化模型, 并提出了分段缓存策略及其算法, 该算法能够明显减少域间流量, 并获得正收益。②从流量负载均衡着手对 P2P 流量进行优化, 提出了基于合作博弈的 P2P 流量负载均衡模型, 并推导求得模型的均衡解, 从演化迭代角度对均衡的动态收敛性进行了讨论, 提出了流量负载均衡算法, 并从公平性角度对算法进行了讨论。基于合作博弈的 P2P 流量负载均衡模型能较好地实现 ISP 均衡地处理 P2P 流量请求。

参加本书相关专题研究和书稿撰写工作的有陈宏伟、王春枝、叶志伟等老师，以及陈莉、周可、黄雅、王淑平等研究生。宗欣露、徐慧、严灵毓、刘伟、苏军等老师参加了校对工作。

本书的写作和出版得到了国家自然科学基金、湖北省自然科学基金、武汉市晨光计划基金的资助。此外，在本书撰写过程中，参考了国内外相关研究成果，在此谨表示诚挚的谢意！衷心感谢湖北工业大学对著者的帮助和支持！

由于著者水平有限，书中的疏漏及不妥之处在所难免，敬请广大读者批评指正。

著 者

2017年8月于武汉

湖北工业大学计算机学院

目 录

第 1 章 博弈论与对等网络概述	1
1.1 对等网络概述	1
1.1.1 对等网络定义与特性	1
1.1.2 对等网络应用分类	2
1.1.3 对等网络拓扑结构分类	2
1.2 博弈论概述	4
1.2.1 博弈论分类	5
1.2.2 重复博弈	6
1.2.3 混合策略博弈	7
1.2.4 扩展博弈	7
1.3 博弈论在对等网络中的应用概述	8
1.3.1 博弈论在对等网络结点信任预测中的应用	8
1.3.2 博弈论在对等网络信任建模中的应用	9
1.3.3 博弈论在对等网络结点信任协商中的应用	11
1.3.4 博弈论在对等网络激励机制中的应用	12
1.3.5 博弈论在对等网络流量优化中的应用	13
参考文献	13
第 2 章 博弈论在对等网络结点信任预测中的应用	15
2.1 P2P 信任模型	15
2.1.1 基于第三方认证的信任模型	15
2.1.2 基于信誉的信任模型	17
2.1.3 基于资源签名的信任模型	21
2.1.4 P2P 信任模型存在的问题	21
2.1.5 P2P 信任困境	22
2.2 P2P 信任预测博弈机制	24
2.2.1 马尔可夫链	24
2.2.2 结点状态分类	25
2.2.3 结点状态转移预测	26
2.2.4 基于奖励策略的 P2P 博弈模型	27
2.2.5 基于惩罚策略的 P2P 博弈模型	29
2.2.6 预测博弈机制	31

2.3	仿真实验	33
2.3.1	仿真环境	33
2.3.2	奖励阶段仿真	33
2.3.3	惩罚阶段仿真	36
2.3.4	奖惩策略对网络状态的影响	40
	参考文献	42
第3章	博弈论在对等网络信任建模中的应用	44
3.1	已知结点类型的 P2P 博弈信任	44
3.1.1	P2P 结点策略集合	44
3.1.2	P2P 结点策略分析	46
3.1.3	仿真分析	47
3.2	未知结点类型的 P2P 博弈信任	49
3.2.1	建立模型的条件	49
3.2.2	P2P 信任博弈模型	50
3.2.3	博弈模型分析	51
3.2.4	仿真分析	51
3.3	基于监督博弈的 P2P 结点激励	53
3.3.1	P2P 结点的参与模式	53
3.3.2	激励机制	54
3.3.3	混合策略纳什均衡	55
3.3.4	仿真分析	56
3.4	识别结点信息的 P2P 博弈信任	59
3.4.1	建立博弈模型	60
3.4.2	最优反应函数	62
3.4.3	仿真分析	63
3.5	四种模型对比分析	65
3.5.1	体系结构	65
3.5.2	四种模型比较	67
	参考文献	68
第4章	博弈论在对等网络结点信任协商中的应用	70
4.1	基于博弈论的自动信任协商思路	70
4.1.1	自动信任协商概述	70
4.1.2	基于扩展博弈的自动信任协商思路	75
4.1.3	扩展博弈协商框架需求	76

4.2 扩展博弈协商策略	77
4.2.1 自动信任协商策略	77
4.2.2 扩展博弈信任协商策略模型	82
4.2.3 协商策略子博弈精炼纳什均衡求解	83
4.2.4 协商策略博弈建立流程	84
4.2.5 扩展博弈信任协商策略收益	84
4.3 协商序列缓存研究	87
4.3.1 完全缓存序列简介	87
4.3.2 完全缓存序列博弈模型	88
4.3.3 基于混合策略博弈的缓存序列模型	89
参考文献	90
第5章 博弈论在对等网络激励机制中的应用	92
5.1 对等网络激励机制研究现状	92
5.1.1 对等网络非合作结点行为	92
5.1.2 对等网络激励机制主要研究内容	93
5.1.3 对等网络激励机制分类	94
5.1.4 基于博弈论的对等网络激励机制建模	97
5.2 自适应宽容的一报还一报激励机制	98
5.2.1 BitTorrent 简介	98
5.2.2 BitTorrent 激励机制及不足之处	99
5.2.3 TFT 策略及改进策略研究	101
5.2.4 自适应 GTFT 策略及演化过程	102
5.2.5 自适应 GTFT 策略特性分析	103
5.3 基于动态联盟的对等网络流媒体激励机制	109
5.3.1 对等网络流媒体简介	109
5.3.2 对等网络流媒体激励机制研究现状	110
5.3.3 基于动态合作博弈的流媒体激励机制研究	113
5.3.4 基于马尔可夫随机过程的动态合作博弈	113
5.3.5 基于动态合作博弈的对等网络流媒体激励模型	114
5.3.6 仿真分析	120
参考文献	122
第6章 博弈论在对等网络流量优化中的应用	125
6.1 P2P 流量优化研究现状	125
6.1.1 P2P 应用面临的流量问题	125

6.1.2	P2P 流量优化主要技术方案	126
6.2	ISP 与 P2P 流量管理分析	129
6.2.1	跨域流量的控制方案	129
6.2.2	P2P 流量管理分析	131
6.3	基于缓存博弈的 P2P 流量优化	134
6.3.1	基于缓存部署的流量优化研究	134
6.3.2	基于缓存博弈的 P2P 流量优化模型	136
6.3.3	基本模型的建立与推导	137
6.3.4	分段缓存策略和算法	143
6.3.5	缓存博弈的收益分析	146
6.3.6	仿真实验与分析	147
6.4	基于合作博弈的 P2P 流量优化	153
6.4.1	基于博弈论的 P2P 流量优化研究	154
6.4.2	基于合作博弈的 P2P 流量均衡模型	155
6.4.3	模型建立与求解推导	157
6.4.4	流量负载均衡算法	159
6.4.5	仿真实验与分析	160
	参考文献	162

第1章 博弈论与对等网络概述

1.1 对等网络概述

对等网络 (peer-to-peer network, P2P) 是采用对等模式工作的网络。在对等网络中, 每个结点 (peer) 在行为上是自主的, 在功能上是平等的, 结点之间是互连的, 并自组织成一个网络。对等网络的本质在于打破传统客户端/服务器模式, 具有可扩展性、健壮性、自组织性等特性, 让网络中的结点享有自由、平等和互连的功能, 不再有客户端和服务器的区别, 任意结点之间都能共享文件和传递信息。因此, 对等网络能够极大地提高网络效率, 充分利用网络中的边界资源, 即用户的计算能力、存储能力和带宽, 甚至计算机硬盘的内容, 加速资源的搜索定位与下载, 提供海量数据存储, 从而在文件信息共享、协同计算、分布式存储领域得到广泛应用。作为一种越来越具有普遍应用价值的技术, 对等网络技术对于未来的网络传播特性的影响将不可估量。

1.1.1 对等网络定义与特性

Schollmeier 给对等网络给出如下定义^[1]: 对等网络中的参与者共享一部分自己的硬件资源 (如处理能力、存储能力、网络链接能力、打印机等), 这些共享资源有必要在网络中提供服务 and 内容 (如文件共享或协同共享空间等), 这些共享资源能够被其他结点直接获取, 而不需要通过其他实体, 则这个网络中的资源提供者及资源请求者就是对等结点, 即 Servent (Server 和 Client 的合写缩写, 表示对等结点既是客户端又是服务器)。

Andrew Oram 定义^[2]对等网络是由等同的、自治的实体 (对等结点) 组成的自组织的系统, 其目的是在互连的网络环境中共享分布式的资源, 并避免中心化服务。也就是说, 对等网络是一个完全去中心化的自组织和资源使用的网络系统。

对等网络系统主要具有如下特征^[3]: ①去中心化的资源利用。对等网络系统中的资源尽可能分布均匀, 并广泛分布在网络的边缘。在对等网络中, 每个结点充分使用其他对等结点提供的资源。②去中心化的自组织。对等网络中的结点可以在没有任何中央控制或协同的环境下直接进行交互并获得共享的资源。③对等结点能够同时作为客户端和服务器。这是对等网络与客户端/服务器模式网络的根本区别。

1.1.2 对等网络应用分类

对等网络在很多方面都有应用,如文件共享、流媒体、计算、即时通信等,典型应用软件如下:

(1) 文件共享。Napster 是一款可以在网络中下载 MP3 文件的软件,它同时能够让自己的机器成为一台服务器,为其他用户提供下载,但是由于版权问题,目前已不存在。最著名的对等网络文件共享应用是 BitTorrent(简称 BT)。BitTorrent 既是一个混合式对等网络及协议,又是一个支持该协议的应用软件。eMule 也是比较著名的文件共享软件,最初用于共享音乐、电影和软件,它将文件分块,提供多源文件下载机制和细粒度的数据完整性检查。

(2) 流媒体应用。Skype^[4]是网络语音传输软件,不仅提供高清晰的语音对话功能,还可以拨打国内/国际电话,已对传统电信业务产生巨大的冲击。为了安全起见,Skype 通话进行了加密,并且支持严格的隐私权政策。华中科技大学在对等网络流媒体研究中开发对等流媒体直播系统 AnySee,用于解决教育网内网络电视服务器难以服务众多用户的问题。国内比较著名的对等网络电视软件有 PP 视频、腾讯视频等。视频是一款全球安装量较大的对等网络电视软件,支持对海量高清影视内容的“直播+点播”功能,由于采用对等网络方式传输,看的人越多越流畅。

(3) 分布式计算。SETI@Home 是一项利用全球联网的计算机共同搜寻地外文明的科学实验计划,志愿者可以通过运行一个免费程序,利用成千上万计算机的闲置能力,分析从射电望远镜传来的数据。此外,GPU 也是著名的对等网络分布式计算机应用软件,它在 Gnutella 网络上共享 CPU 计算能力,其计算任务分配是在对等结点之间。

(4) 即时通信。微信、QQ、MSN(已被 Skype 取代)、百度 Hi 等都是著名的基于对等网络方式的即时通信软件,提供了文本消息、语音、视频、游戏等功能,对实时性要求较高。微信、QQ 之所以能够取得成功,原因不在于它的功能如何强大,而在于它的界面设计得十分合理,用户操作简单。

(5) 对等网络开发平台。JXTA 是 Sun 公司提供的—个通用、开放的对等网络开发平台。JXTA 具体来说是一种标准组件平台,它提供了用于开发分布式服务和应用程序的基本组件。整套技术由一组开放源码的对等网络协议组成,这组协议使网络上的任何计算设备协作变为可能。

1.1.3 对等网络拓扑结构分类

(1) 集中式对等网络,典型应用有 Napster、BitTorrent、eMule 等。集中式对等网络的特征是由它所依赖的一个集中式索引服务器所决定的,其拓扑描述为一个星形网络,如图 1.1 所示,文件搜索协议使用的是客户端/服务器模型,但文件

传输则是以对等网络方式进行的, 文件交换直接发生在对等结点之间, 不通过索引服务器。如果索引服务器出现单点故障, 则无法查询到所需要的文件资源。集中索引服务器的计算和存储能力随着结点规模增大而成比例增加, 因此, 这种模式的可扩展性一般, 容易造成单点故障。

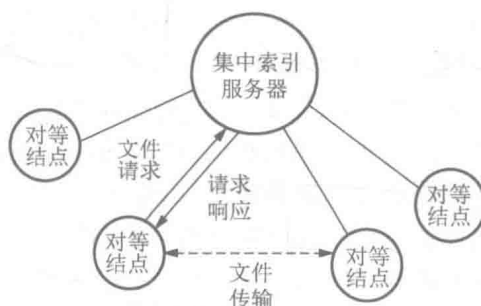


图 1.1 集中式对等网络示意图

(2) 无结构对等网络, 典型应用有 Gnutella、Freenet 等。在无结构对等网络中, 只有对等结点, 不再有服务器, 每个结点既是客户端又是服务器。在 Gnutella 网络中, 对等结点向其他结点发送查询请求、获得查询结果, 同时又接受其他结点发来的查询请求, 并返回对方所要的资源信息, 或将此请求转发给其他结点。每个对等结点都负责监控网络局部的通信状态, 相互协作以保持整个对等网络的完整性和一致性。

然而, 拓扑一致性问题是无结构对等网络的共同问题。由于无结构化对等网络结构简单、松散, 并且未采用任何机制来缩小覆盖网络与物理网络之间的差异, 其网络的拓扑一致性较低, 这对网络的性能产生了较大的影响。此外, 无结构对等网络由于消息的洪泛式广播造成系统的巨大开销。无结构对等网络示意图如图 1.2 所示。

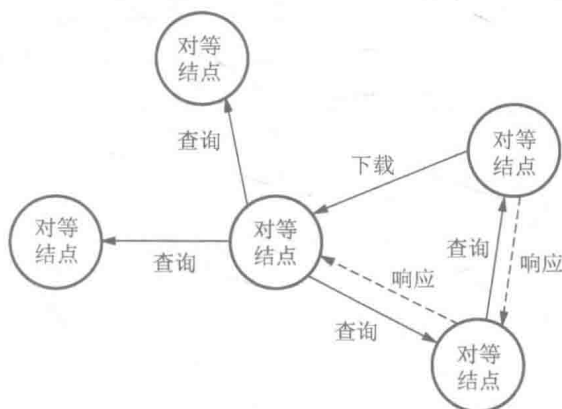


图 1.2 无结构对等网络示意图

(3) 分布式哈希表, 典型的分布式哈希表结构有 Chord、Tapestry、CAN、Kademlia。由于集中式对等网络和无结构化对等网络的搜索方法都存在着不足之处, 为了解决这个问题, 产生了基于分布式哈希表 (distributed hash table, DHT) 的方法。分布式哈希表是一种分布式存储方法, 在不需要服务器的情况下, 每个对等结点通过哈希映射方法, 负责一个小范围的路由, 并负责存储一小部分数据, 从而实现整个 DHT 网络的寻址和存储。

分布式哈希表具有如下特点: 相对于非结构化对等网络而言, 每个 DHT 结点只管理少量结点的指针; 通过将结点和数据资源映射到哈希空间, 路由到结点就是引导到结点所负责的数据资源; 能够通过 $O(\log_2 n)$ 跳路由定位一个数据资源; 结点和数据资源几乎均匀地分布于对等网络系统中; 所有结点在功能上是平等的; 抗随机性故障和攻击能力较强。

分布式哈希表通过将路由信息和数据资源分散在多个结点, 避免集中式系统的规模扩展问题, 而数据查询要显著高于非结构化对等网络系统。但是, 分布式哈希表也面临着大量结点加入和离开对等网络系统的动态性问题, 而且在没有负载的情况下, 维护分布式哈希表存在一定的开销。

图 1.3 所示为分布式哈希表示意图^[5], 数据资源通过哈希函数映射形成键值, 然后将数据资源分配给相应键值管理范围的对等结点进行维护, 从而以分布式方式持久可靠地存储和查询数据。

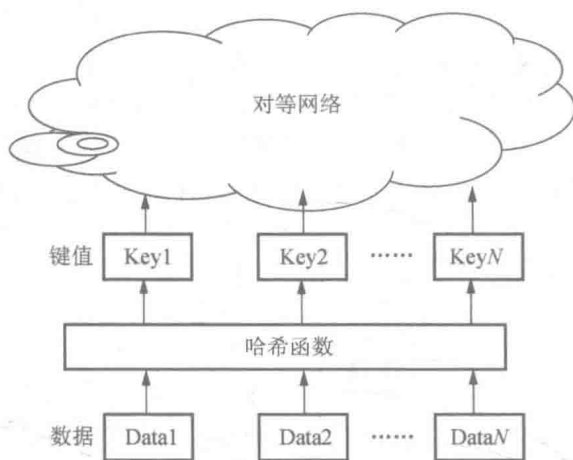


图 1.3 分布式哈希表示意图

1.2 博弈论概述

博弈论是应用数学方法研究决策主体的行为发生直接相互作用时的决策以及这种决策的均衡问题的一门学问。也就是说, 博弈论研究的是当一个主体的选择

受到其他主体选择的影响,而且反过来影响到其他主体选择时的决策问题和均衡问题。博弈论研究的基本假设是主体都是理性的。这个基本假设的含义是:主体在面对一个决策问题和一个特定场景时,都不是盲动的,而是能够在选择策略时具有明确的目标,这就是使自身的利益最大化^[6]。这个基本假设为人们进行博弈分析奠定了理论基础。正是围绕这一基本原则,人们才创造出各种各样的博弈模型,不断推动博弈论的发展。

1.2.1 博弈论分类

博弈论是一种分析工具,用来研究怎样以数学模型模拟理性决策者之间的冲突与合作。为了便于对不同的博弈问题进行研究,博弈论将博弈问题根据不同的方式进行分类:根据局中人个数,可分为二人博弈和多人博弈;根据局中人的支付函数之和是否为零,可分为零和博弈和非零和博弈;根据局中人之间是否合作,可分为合作博弈和非合作博弈;根据局中人策略集合中的策略个数,可分为有限博弈和连续博弈;根据策略的选择是否与时间有关,可分为静态博弈和动态博弈;根据博弈过程中对信息掌握的情况,分为完全信息博弈和不完全信息博弈^[7]。

合作博弈有时也叫作联盟博弈,可根据有无转移支付划分为两类:可转移支付联盟博弈和不可转移支付联盟博弈。可转移支付联盟博弈假设各参与者用相同的尺度来衡量它们的效用,而且各联盟的效用可按任意方式在联盟成员中分摊;否则,就是不可转移支付联盟博弈。

非合作博弈主要从两个角度进行分类:①参与者行动顺序。依据参与者行动顺序不同,博弈可以分为静态博弈和动态博弈。静态博弈是指参与者同时选择行动;或虽非同时行动,但后参与者并不知前参与者采取何种行动。动态博弈是指参与者的行动有先后顺序,且后参与者能够观察到先参与者所选择的行动。②参与者掌握信息。依据参与者掌握信息的不同,博弈可以分为完全信息博弈和不完全信息博弈。完全信息是指每个参与者都掌握了所有其他参与者的特征、策略空间及支付函数的准确信息;否则就是不完全信息。

现代博弈理论根据不同的博弈类型(图1.4)给出了博弈模型的三种基本表达形式:标准式表述、扩展式表述和特征函数型表述。

前两者主要用于非合作博弈,后者主要用于合作博弈。标准式表述将策略局势抽象为三个基本要素:博弈的参与者集、每个参与者的策略集、每个参与者的支付函数集。扩展式表述一般用来表述动态博弈,其表述一般包含六个要素:博弈的参与者集、参与者的行动顺序、参与者的行动空间、参与者的信息集、参与者的支付函数、自然选择概率分布。可转移支付联盟博弈包括两个要素:有限的参与者集、特征函数。不可转移支付联盟博弈包括四个要素:有限的参与者集、结果集、特征函数、支付函数。

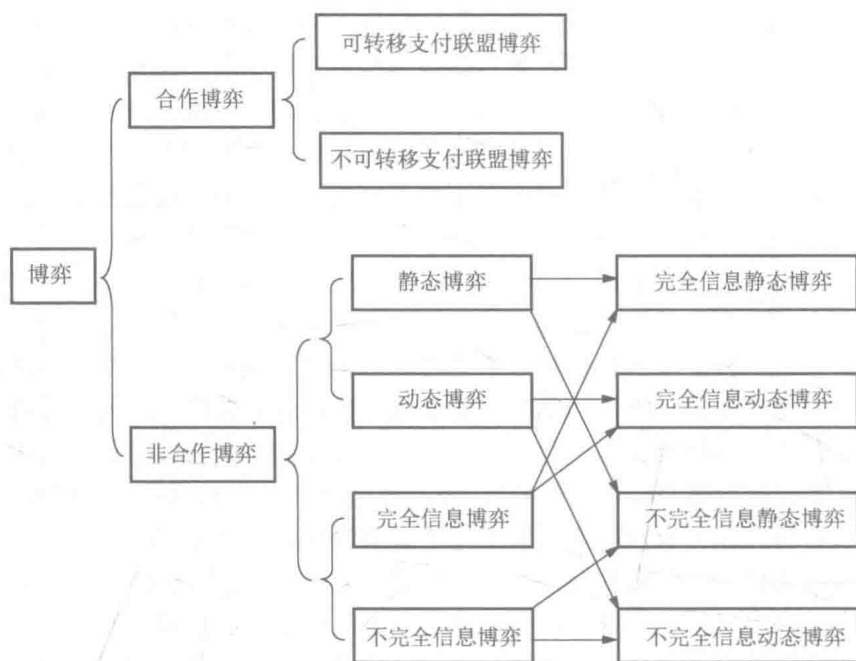


图 1.4 博弈的分类

1.2.2 重复博弈

重复博弈就是相同的博弈长期不断地重复进行，在博弈的任何一个阶段都会产生一定的收益，当前收益和未来的收益对于博弈参与者的效用是不同的，其中涉及一个贴现的问题。

重复博弈中，局中人可根据先前双方的博弈行为，决定自己下一阶段要采取的策略^[8]，在博弈论上被称为依存策略，依存策略又可看作触发策略（trigger strategy）。有两个著名的触发策略：冷酷（grim）策略和一报还一报（tit for tat, TFT）策略。

（1）冷酷策略：双方一旦开始合作，便一直选择合作，直到有一方选择背叛，从此永远选择背叛。

（2）一报还一报策略：双方从合作开始，在以后的每个阶段，如果对方在最近一次博弈或者最近连续 k 次博弈中采取合作策略，则继续与其合作；如果对方在上一阶段博弈中采取背叛策略，则在下一次博弈或者在后面连续 k 次博弈中采取背叛策略报复他。

一次的博弈可能没有概率可以研究，但是当博弈重复进行时，可以研究各个策略应该赋予多大的概率，能够获得最大的平均收益，用期望来表示，构造期望收益函数可以比较两个不同混合策略的优劣。

1.2.3 混合策略博弈

混合策略博弈是一种完全信息静态博弈，该博弈中的参与者在自己的策略空间中都找不出最优反应策略，无法单独从收益函数中做出判断，都是试图猜中对方的策略再行动。这样每个参与者为了不把自己的策略意图暴露给对方，会在自己的策略空间中随机选择一个。混合策略博弈的核心是按照一定的概率选择策略，这类博弈虽然会有输有赢，但多次进行这种博弈，并研究各个策略应赋予多大的概率，就能有所选择并获取最大的收益。

使用博弈论中传统的画横线法无法找出双变量收益矩阵的纳什均衡，根据混合策略博弈的定义：

1.2.4 扩展博弈

博弈的标准式可用于分析求解静态博弈，而对动态博弈的描述和分析则需借助扩展式。一个博弈的扩展式表述包括以下六个要素：

- (1) 参与者 i 的集合 Γ ， $i \in \Gamma \{1, 2, \dots, n\}$ ；
- (2) 每个参与者的行动顺序；
- (3) 每轮每个参与者可选的行动；
- (4) 每轮每个参与者了解的信息；
- (5) 在某个参与者行动后博弈结束时，每个参与者的收益；
- (6) 外部事件可能发生的状态及概率分布。

扩展博弈树可以有效地描述六要素，并展示博弈的结果和最终收益。博弈树包括如下两个部分：

(1) 结，是博弈行动按先后顺序进行过程中的时点，分为决策结和终点结。决策结是某个时点上参与者的决策点，终点结是博弈结束的时点，必将出现每个参与者的收益向量。

(2) 枝，是先行动者的决策结与后续行动者的决策结之间的连线，代表参与者可选的行动。

图 1.5 所示为一棵扩展博弈树。

图中虚线表示信息集，说明该行动的参与者不知道博弈到达信息集中的哪一个结。参与博弈的各方在其他方策略确定的情况下，选择自己收益最大的策略。所有这些策略的集合就形成一个纳什均衡。求解扩展博弈的纳什均衡也可以按照标准博弈使用收益矩阵^[9]。只需要先创建博弈树，再将扩展博弈转换为标准博弈即可。转换方法是根据参与者 1 的策略，将参与者 2 的策略进行排列组合，并将这些排列组合的结果作为参与者 2 的可选策略，创建收益矩阵，并进行求解。