

清华大学学术专著

新兴电子商务重大基础问题与关键技术（专著系列）

Emerging E-Business

Keyword Auction: Theory and Computational Experiments

新兴电子商务

——关键字竞价基础理论与计算实验

王飞跃 曾大军 袁勇 李林静 杨彦武 著

Feiyue Wang Dajun Zeng Yong Yuan Linjing Li Yanwu Yang



清华大学出版社



013037809

F713.36
820
V4



新兴电子商务重大基础问题与关键技术 (专著系列)

Emerging E-Business

Keyword Auction: Theory and Computational Experiments

新兴电子商务

——关键字竞价基础理论与计算实验

王飞跃 曾大军 袁勇 李林静 杨彦武 著

Feiyue Wang Dajun Zeng Yong Yuan Linjing Li Yanwu Yang



F713.36
820
V4

清华大学出版社



北航

C1645712

内 容 简 介

新兴电子商务与传统电子商务相比,呈现出移动性(如泛在互联、移动商务)、虚拟性(如虚拟体验、赛博空间)、个性化(如精准营销、推荐服务)、社会性(如社交媒体、社会商务)、极端数据(如富媒体、大数据)等鲜明特征。本书围绕搜索引擎关键字竞价广告这一代表性的新兴电子商务应用模式,全面阐述了关键字竞价机制设计、投标策略均衡分析、预算分配策略优化、点击欺诈行为检测和防范等领域的最新研究成果,并介绍了基于社会计算领域 ACP(人工社会+计算实验+平行执行)方法研发的关键字竞价计算实验平台。研究内容紧扣现实问题,研究成果对于关键字竞价广告系统的稳定性、有效性和盈利性具有借鉴意义,有助于互联网经济系统的健康和可持续发展。本书通过科学凝练和系统性建模,旨在为学界和业界提供具体技术方法和管理策略的同时,也为相关研究提供求解路径和方法论实例。

本书主要面向高校和科研单位的硕士生、博士生和学者。对企业应用和研发人员也具有参考价值。

本书封面贴有清华大学出版社防伪标签,无标签者不得销售。

版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13701121933

图书在版编目(CIP)数据

新兴电子商务——关键字竞价基础理论与计算实验/王飞跃等著. —北京:清华大学出版社,2013.5

新兴电子商务重大基础问题与关键技术(专著系列)

ISBN 978-7-302-31866-8

I. ①新… II. ①王… III. ①电子商务—研究 IV. ①F713.36

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 070994 号

责任编辑:索梅 赵晓宁

封面设计:傅瑞学

责任校对:梁毅

责任印制:李红英

出版发行:清华大学出版社

网 址: <http://www.tup.com.cn>, <http://www.wqbook.com>

地 址:北京清华大学学研大厦 A 座 邮 编:100084

社总机:010-62770175 邮 购:010-62786544

投稿与读者服务:010-62776969, c-service@tup.tsinghua.edu.cn

质 量 反 馈:010-62772015, zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

印 装 者:三河市春园印刷有限公司

经 销:全国新华书店

开 本:153mm×235mm 印 张:11.25 字 数:201 千字

版 次:2013 年 5 月第 1 版 印 次:2013 年 5 月第 1 次印刷

印 数:1~2000

定 价:49.00 元

总 序^①

信息技术的飞速进步和电子商务的广泛应用正深刻改变着人们的生活方式以及企业的运作和创新模式。近些年来,电子商务在经历了潮起潮落的洗礼之后显现出强大的生命力,并在国家经济活动中扮演着积极角色,成为国家发展战略和信息化进程的重要关注焦点。

新兴电子商务与传统电子商务相比,呈现出移动性(如泛在互联、移动商务)、虚拟性(如虚拟体验、赛博空间)、个性化(如精准营销、推荐服务)、社会性(如社交媒体、社会商务)、极端数据(如富媒体、大数据)等鲜明的新特征。这些新特征是技术进步和应用创新两者交错融合、螺旋式演化的结果,形成了当今电子商务实践的主流色调。目前,我国互联网和移动通信的发展已经迈上了一个新的台阶。社会与商务应用具有愈来愈丰富的网络经济形式、广博的网络接入服务、激增的网络消费群体、多样的网络数字生活以及活跃的线上线下互动。特别是从业界在重要战略技术方面的走向来看,云计算、大数据等新型计算模式以及社会化网络应用等进一步凸显了这些特征的深化。有鉴于此,解决新兴电子商务中最具基础性、开拓性的科学与技术难题,发现和诠释新兴电子商务的运行规律,构建新兴电子商务的理论体系,对相关学科领域的进步、我国电子商务乃至国民经济的发展以及企业竞争力的提升都具有十分深远的理论与实践意义。

在此背景下,我们汇集一大批优秀学者组成具有良好研究基础、跨学科的科研团队,承担国家自然科学基金委员会重大项目“新兴电子商务重大基础问题和关键技术研究(70890080)”,围绕新兴电子商务参与者的行为规律、新兴电子商务经营运作与商务模式、面向服务的商务智能与知识分析方法、新兴电子商务安全性和社会实验平台等方面的若干科学问题和技术方法进行学术探索和科技攻关。整体研究内容框架如图1所示。

^① 本序关于新兴电子商务论述内容部分摘自本序作者在《中国信息化蓝皮书》(社会科学文献出版社,2013)中《新兴电子商务基础理论与方法研究》一文。

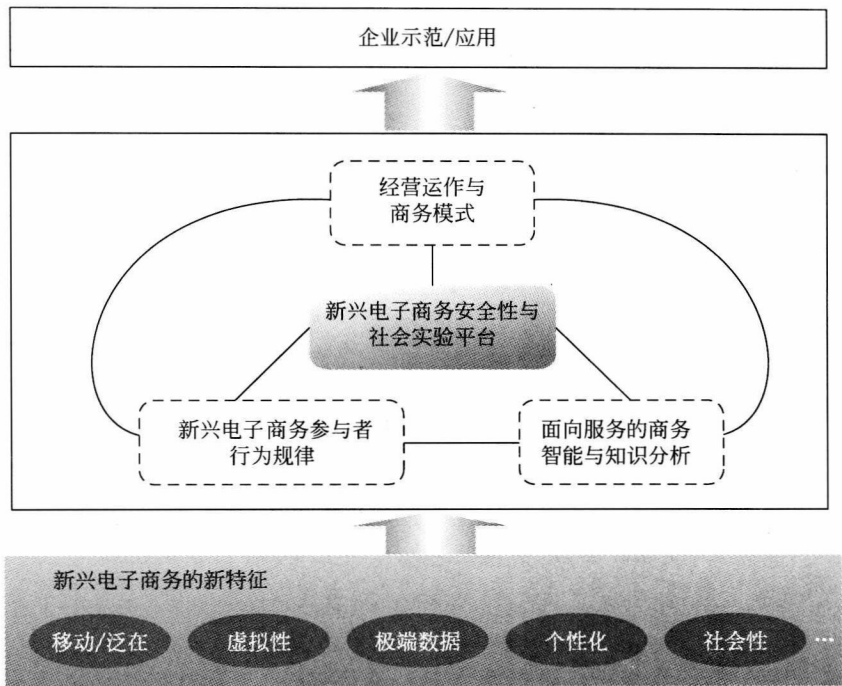


图1 新兴电子商务研究内容框架

在新兴电子商务参与者行为规律的研究中,我们围绕新兴电子商务参与者的交易行为特征,阐释新兴电子商务在中国文化及国情条件下的采纳及扩散过程,揭示电子商务的价值产生机理,进而为新兴电子商务设计服务提供的策略,包括:中国文化背景下的参与者行为,新兴电子商务的用户采纳行为及其演化,Web 2.0 环境下的用户参与价值形成模式等等。

在新兴电子商务经营运作与商务模式研究中,我们围绕新兴电子商务的特征对电子商务经营运作与商务模式进行了系统的研究,解析电子市场结构,揭示商务模式和创新的特征,结合典型问题优化电子商务环境下的运营策略,包括:电子商务企业商务模式和技术创新,电子市场中的价格形成机制及经营策略,电子商务中的多渠道协调和供应链优化等等。

在面向服务的商务智能与知识分析方法研究中,我们围绕非结构化数据挖掘和知识管理、商务交易流程的知识发现和服务支持以及模式表达和模式发现等方面展开了全面系统的研究工作,形成了一系列新兴电子商务的关键支撑技术和方法,包括:面向富媒体、简约性、超高维/稀疏数据的模式分析与提取,支持移动商务与个性化推荐的分类、聚类、关联与搜索方法,

管理决策中的不确定性表达和知识发现方法等等。

在新兴电子商务安全性与社会实验平台研究中,我们围绕 ACP 方法设计了电子商务计算实验系统架构,并开发了用于电子商务实验平台的分析工具。同时,设计了电子商务安全体系和认证技术,以支撑电子商务安全运营。包括:社会网络环境下关键字竞价与个性化推荐,关键字竞价社会实验平台与垂直搜索平台,新兴电子商务安全体系和分级证书策略,病毒扩散机理以及业务安全影响因素分析等等。

此外,相关理论、方法和技术还在互动式远程农业以及若干不同类型的企业中得到了示范和应用。综上所述,整个项目的研究在多个方面取得了一系列重要的创新和进展。一方面,这些理论和方法成果产生了重要的国内外学术影响,其中许多研究以国际视野审视中国问题,体现了科学探索在“世界-中国”视角上的会聚;另一方面,这些理论和方法成果也产生了重要的实践指导作用,其中许多研究从我国实际现象出发进行科学凝练,对于我国制定相关政策和指导企业运作具有重要的价值,体现了科学探索在“严谨-相关”视角上的融合。

展望新兴电子商务的发展,仍然有许多重要的基础科学问题和关键技术值得探索和创新。

首先,新技术发展及其应用为企业运作提供了新模式。云计算、大数据等新型计算模式受到越来越多的关注,人们也从传统的重点关注企业内数据转向更多地关注企业外数据及用户生成内容(UGC)的数据。因此对这些海量的非结构化数据进行深入分析,获取有价值的信息,有效挖掘客户行为模式,创新企业竞争优势等是亟待解决的课题。此外,为提高客户满意度,需注重各种体验类服务的提供,以及实体和虚拟经济的线上/线下等多渠道互动,这也是值得重视的课题。同时,虚拟化、移动化、个性化等特征还带来了社会化网络的广泛使用和移动终端的快速普及,促进了新的移动商务与社会化商务的研究热潮。

其次,新技术发展及其应用推动了新业态的形成。数字化生活为人们的工作与生活带来了全新的变化;智能手机、平板电脑的广泛使用促进了移动泛在化,如赛博空间带来了新的商务契机和创新形态,众包这一新型生产组织方式也为电子商务的发展带来了新的经营乃至业态形式;人们对云数据的高度重视促进了云计算的发展,云数据中心的建立形成了一系列相关的新产业,这对区域经济的发展和相关政策的产生有深刻的影响。

再者,新技术发展及其应用普及催生了新人群。客户、员工和社区人群的特征呈现多元化态势。在信息社会的环境下,既有经历了从传统技术到

互联网应用全部发展历程的人群,也有仅仅接触了平板电脑和虚拟现实等新技术的年轻群体。这些不同类型的信息技术体验经历将导致不同的信息社会行为特征(特别是那些以在线生活和赛博空间活动为第一生活方式的新型人群和新生代社区所具有的行为模式、精神物质需要等),这就为适应和引导人群的需求、挖掘潜在商机、提供多元化人群服务提出了新的挑战。

面向未来,我们将继续看到新兴电子商务在我国信息化和经济建设中日益重要的作用。而新兴电子商务伴随着技术进步和商务创新的脉动,在带来理论和实践挑战的同时,也孕育了大量的学界和业界的机遇和广袤的探索空间。

今天,我们策划出版这套《新兴电子商务重大基础问题与关键技术研究》专著系列,旨在进一步总结研究成果,归纳梳理、承前启后;凝练新兴电子商务的科学问题,共享新兴电子商务的求解路径,把握新兴电子商务的发展方向。本专著系列由六部著作组成,分别从不同视角展现项目团队所取得的思想新知、学术论点和技术方法:

《新兴电子商务——参与者行为》,陈国青等著

《新兴电子商务——定价、多渠道协调与供应链优化》,陈剑等著

《新兴电子商务——商务智能方法与服务知识管理》,杨德礼等著

《新兴电子商务——关键字竞价基础理论与计算实验》,王飞跃等著

《新兴电子商务——安全体系与电子认证技术》,荆继武等著

《新兴电子商务——深度模式分析与不确定性建模》,陈国青等著

最后,借此机会感谢在项目执行过程中对我们提供各种热心支持和帮助的机构和个人,使得我们能够顺利开展工作,取得今天的成果。首先,衷心感谢国家自然科学基金委员会(简称基金委)在立项上的前瞻性和研究经费上的支持。基金委郭重庆院士、吴启迪教授、李一军教授、张维教授、高自友教授等学部领导不同形式的指导、关心和激励对我们的工作是莫大的促进和鞭策;特别是基金委主管学科处领导冯芷艳教授的指导、支持和学科视野对项目顺利开展起到了重要作用。我们也衷心感谢戴汝为院士、李德全院士、汪应洛院士、王众托院士、周宏仁主任等对我们工作所给予的支持和真知灼见。特别需要感谢清华大学、大连理工大学、中国科学院自动化研究所、西安交通大学、中国科学院信息安全国家重点实验室、哈尔滨工业大学等项目依托单位和主要参与单位及其相关院所为项目团队所提供的良好工作平台和环境;感谢郭迅华、胡祥培、荆继武、刘红岩、王刊良、肖勇波、徐心、叶强、曾大军等教授作为各课题团队带头人/骨干的出色工作和诚挚合作;感谢所有研究团队成员对项目工作的积极贡献,以及卫强教授、孙荣

玲女士等在项目组织和协调中的大量努力。此外,我们对本专著系列在撰写过程中作者和合作者们所投入的大量时间精力、对本专著系列在出版过程中清华大学出版社及其编辑们所付出的辛勤专业努力表示深深的谢意。

陈国青:清华大学经济管理学院教授

陈剑:清华大学经济管理学院教授

杨德礼:大连理工大学管理学院教授

王飞跃:中国科学院自动化研究所研究员

2013年1月

前 言

21 世纪以来,互联网信息技术发展与普及程度进入高速增长期。截至 2012 年底,全球网民总数已经突破 25 亿,中国网民数则超过 5.64 亿。在网民数量激增的同时,以搜索引擎和社会媒体等为代表的新兴互联网应用和服务也逐渐发展繁荣,极大地丰富和延拓了社会公众的生活方式。据统计,2012 年中国网民人均上网时长达到每周 20.5 小时。由此可见,虚拟网络世界已经变得与真实物理世界同样重要。

世界上从来没有“免费的午餐”,互联网亦是如此。社会公众在享受免费互联网应用与服务的同时,也在无形中贡献着自己的“眼球”和“注意力”,从而使得互联网成为市场营销和广告投放的最佳平台。自从 1997 年 Chinabyte.com 获得第一笔网络广告收入以来,互联网与网络广告一直相伴走过高速发展的 15 年,并衍生出搜索引擎广告、品牌图形广告、视频广告和富媒体广告等新兴广告形式。

本书介绍的关键字竞价是搜索引擎广告的核心商业模式。据统计,2012 年第 3 季度以关键字竞价为核心的搜索引擎广告市场份额达到 36.4%,高居中国网络广告市场首位。Google 和百度等搜索引擎巨头凭借关键字竞价广告取得巨大成功,其关键字竞价广告市场营销均超过总收益的 95%。借鉴 Google 和百度的成功经验,国内外搜索引擎均采用关键字竞价广告作为其首选盈利方式,并在市场模式和系统架构上仿效 Google 和百度,即采用基于关键字或内容匹配的方式触发广告,按点击次数付费,每次点击的价格由竞价方式决定而非传统的事前协商定价。可以说,关键字广告不仅成就了 Google 和百度等搜索引擎巨头,目前也已经成为推动网络广告产业进一步发展和创新的“经济引擎”。

关键字广告模式中竞价机制、策略与行为的分析与设计,对网络营销与推广业务的成败具有决定性的影响。虽然 Google 和百度等公司采用这一模式取得了成功,也公布了各自广告系统的架构以及关键字竞价的流程和机制,但其中若干参数的具体数值和动态调整与优化方法仍然属于商业机

密,其他公司可以模仿已有系统,但仍需要解决其中的参数设置和优化等关键性问题。另一方面,伴随关键字竞价广告模式的普及和市场的发展,各种未曾预料到的负面行为逐渐涌现出来,阻碍了搜索引擎营销市场的健康发展,甚至有可能摧毁关键字竞价广告商业模式。因此,建立一套综合考虑关键字竞价市场上各个环节(市场结构、竞价机制和系统参数等)的整体机制设计、策略优化和行为分析理论和方法,存在巨大的市场需求。

从研究角度来讲,关键字竞价广告是极具代表性的新兴电子商务模式,不仅涉及市场营销、在线竞价、博弈和机制设计等传统电子商务研究领域,同时也能够充分体现新兴电子商务的动态性、虚拟性、社会性和极端数据等复杂特征,因此具有重要的研究意义和实践价值,并逐渐成为管理信息系统、电子商务、运筹规划、博弈论和拍卖理论等领域的研究热点。

在这一背景下,本书依托国家自然科学基金重大项目子课题《新兴电子商务复杂性、安全性和社会实验平台》(项目编号:70890084),根据作者多年来的基础研究积累和实验平台研发经验,全面阐述了关键字竞价广告机制设计、投标策略均衡分析、预算分配策略优化、点击欺诈行为检测和防范等领域的最新研究成果,并介绍了基于社会计算领域新兴的 ACP(Artificial Societies + Computational Experiments + Parallel Executions,即人工社会+计算实验+平行执行)方法研发的关键字竞价计算实验平台。这些研究成果对于关键字广告系统的稳定性、有效性和盈利性具有重要意义,有助于整个网络应用系统的健康和可持续发展。

本书是国内第一本全面介绍关键字竞价广告基础研究成果与计算实验平台研发成果的中文专著,其主要特色包括:涵盖关键字竞价机制设计、投标策略、预算分配策略、点击欺诈和计算实验等重要内容;既包含国外学者已有的研究成果,同时又特别侧重于国内学者最近3年的理论基础研究成果和实验平台建设成果;为从事电子商务、搜索引擎营销及相关领域前沿研究与应用的专业人员和工作者提供了理论指导与应用案例。

本书分关键字竞价基础理论(第1章至第5章)与计算实验(第6章至第8章)两部分。各章的主要内容如下。

第1章概述了关键字竞价的基本概念,并系统地综述了关键字竞价市场现状与学术界的研究动态。

第2章详细阐述了关键字竞价的数学模型及参数,探讨了一般线性机制的均衡特性,提出设计最优机制的 max-min 框架,并基于计算机制设计思想提出基于协同演化的机制设计与评估方法。

第3章详细阐述了主流关键字竞价市场中 GSP 机制的投标策略 Nash

均衡集合,介绍了 Nash 均衡的若干精炼均衡概念(对称 Nash 均衡、无风险对称 Nash 均衡、局部无嫉妒 Nash 均衡和上限均衡等),并基于演化博弈论分析了 Nash 均衡投标策略的演化稳定性。

第 4 章重点关注广告主预算分配策略优化问题,提出针对关键字竞价推广整个生命周期的三层次跨搜索引擎预算分配框架,并分别介绍了横向(跨搜索引擎)和纵向(时序)制定广告预算的分配与调整优化策略。

第 5 章探讨了对搜索竞价生态系统构成重大威胁的点击欺诈问题,阐述了点击欺诈问题的表现形式、内在经济性质、产生机理以及不同类型点击欺诈中市场参与者的决策和收益状况,并介绍了点击欺诈计算实验研究方法及其检测技术。

第 6 章介绍了基于 ACP 的关键字竞价计算实验方法,提出并详细阐述了关键字竞价平行系统的基本框架。

第 7 章详细介绍了关键字竞价的计算实验场景设计方法,阐述了搜索竞价机制设计、搜索竞价策略优化和点击欺诈行为检测 3 个最为重要的实验场景,以及实验场景中各类智能体的信息交流、行为互动和同步等机制。

第 8 章重点阐述了中国科学院自动化研究所基于 ACP 方法研制的关键字竞价 ACP 计算实验平台,介绍了实验平台的设计思想、主要功能、配置机制和运行流程等,最后介绍了若干基于实验平台的关键字竞价研究案例。

本书研究工作由国家自然科学基金项目 70890084,71025001,71102117,71202169 和 71071152 资助。

本书内容来源和撰写工作安排如下:第 1 章至第 5 章的基础理论研究成果是王飞跃和曾大军研究团队的工作提炼与集结,其中,第 2 章和第 3 章来源于袁勇和李林静的研究工作,第 4 章内容由杨彦武提供,第 5 章内容取自博士生李厦戎的研究工作;第 6、7 和 8 章的关键字竞价计算实验由袁勇和李林静整理,其研究成果来自王飞跃提出的 ACP 方法以及基于 ACP 方法研发的关键字竞价计算实验平台。全书由袁勇和李林静统稿;所有作者通读和交叉校对了全书。

由于时间和水平有限,书中难免有疏漏和错误,请读者不吝指正。

作者

2013 年 2 月

目 录

第 1 章 关键字竞价研究与应用现状	1
1.1 关键字竞价的基本概念	1
1.1.1 网络广告	2
1.1.2 关键字营销	4
1.2 关键字竞价的市場现状	9
1.3 关键字竞价的研究动态	12
1.3.1 GSP 机制的特性分析	12
1.3.2 竞价机制设计与优化	13
1.3.3 广告主策略优化	15
1.3.4 点击欺诈行为特性	17
第 2 章 关键字竞价机制分析与设计	20
2.1 关键字竞价与 GSP 机制	20
2.1.1 关键字竞价的基本设定	20
2.1.2 广告主效用	21
2.1.3 基本竞价模型	23
2.1.4 GSP 机制	24
2.2 关键字竞价的线性机制分析与设计	26
2.2.1 线性机制	26
2.2.2 线性机制的均衡及特性	27
2.2.3 最优线性关键字竞价机制设计	32
2.3 关键字竞价的计算机制设计	35
2.3.1 计算机制设计研究现状	35
2.3.2 基于协同演化仿真的计算机制设计	36

第 3 章 投标策略的均衡分析	43
3.1 GSP 机制的纯策略 Nash 均衡	43
3.2 GSP 机制的精炼均衡	44
3.2.1 对称 Nash 均衡	44
3.2.2 无风险对称 Nash 均衡(RfSNE)	45
3.2.3 局部无嫉妒均衡	47
3.2.4 上限均衡	48
3.3 GSP 投标策略的稳定性分析	51
3.3.1 非均衡策略的稳定性	51
3.3.2 均衡策略的稳定性	54
3.3.3 均衡投标策略的演化稳定性	55
第 4 章 跨搜索引擎预算分配策略	62
4.1 关键字竞价预算分配概述	62
4.2 预算分配框架、三层模型及总体设计	64
4.3 跨搜索引擎预算分配优化策略	66
4.3.1 横向预算分配模型	66
4.3.2 实验分析和验证	68
4.4 分时段预算分配优化策略	69
4.4.1 分时段预算分配模型	69
4.4.2 实验分析和验证	70
4.5 实时预算调整优化策略	71
4.5.1 实时预算调整模型	71
4.5.2 实验分析和验证	71
第 5 章 关键字广告的点击欺诈研究	75
5.1 点击欺诈的表现形式	75
5.1.1 按点击付费广告	75
5.1.2 点击欺诈的定义	77
5.1.3 点击欺诈问题	78
5.2 点击欺诈的经济性质	78

5.2.1	发布者膨胀性欺诈	78
5.2.2	广告主竞争性欺诈	80
5.2.3	点击欺诈行为经济分析	81
5.2.4	基于机制设计的点击欺诈预防	82
5.3	点击欺诈的计算实验研究	83
5.3.1	点击欺诈计算实验的参与者建模	84
5.3.2	网络广告计算研究及实验系统	85
5.3.3	面向点击欺诈的计算实验	88
5.4	点击欺诈检测	90
5.4.1	针对特定类型欺诈点击的检测	90
5.4.2	基于外部数据的检测方法	91
5.4.3	基于半监督异常检测的欺诈点击检测	92
第 6 章	基于 ACP 架构的关键词竞价平行系统	94
6.1	关键词竞价计算实验研究现状	95
6.2	关键词竞价平行系统基本框架	96
6.2.1	研究框架	96
6.2.2	智能体建模	98
6.2.3	计算实验方法	98
6.2.4	平行执行	101
6.3	关键词竞价平行系统的科学意义与应用价值	101
6.3.1	平行系统的科学意义	102
6.3.2	平行系统的应用价值	103
第 7 章	关键词竞价的实验场景设计	105
7.1	实验场景设计方法	105
7.1.1	人工搜索用户	105
7.1.2	搜索引擎	107
7.1.3	广告主	109
7.2	关键词竞价机制设计实验场景	111
7.3	关键词竞价策略优化实验场景	113

7.3.1	子场景 1: 投标价优化	114
7.3.2	子场景 2: 投标策略优化	116
7.3.3	子场景 3: 预算分配策略优化	117
7.4	点击欺诈监测实验场景	118
第 8 章	关键字竞价 ACP 实验平台	121
8.1	实验平台的设计思想	121
8.2	实验平台的主要功能	123
8.3	实验平台的运行机制	124
8.3.1	实验配置方法	124
8.3.2	实验管理方法	132
8.3.3	实验运行流程	134
8.4	基于实验平台的典型案例分析	138
8.4.1	实验设置	139
8.4.2	实验结果与分析	140
参考文献	142
索引	154

Contents

1	Keyword Auction: The State of the Art of Research and Practice	1
1.1	Background	1
1.1.1	Online advertising	2
1.1.2	Keyword advertising	4
1.2	Industry practice	9
1.3	Research progress	12
1.3.1	Generalized second-price mechanism	12
1.3.2	Mechanism design and optimization	13
1.3.3	Advertisers' strategy optimization	15
1.3.4	Click fraud	17
2	Mechanism Analysis and Design	20
2.1	Keyword auction and the GSP mechanism	20
2.1.1	Auction formats and settings	20
2.1.2	Advertiser utility	21
2.1.3	Auction models	23
2.1.4	GSP mechanism	24
2.2	Linear mechanisms for keyword auction	26
2.2.1	Introduction of linear mechanisms	26
2.2.2	Equilibrium analysis	27
2.2.3	Optimal linear mechanism design	32
2.3	Computational mechanism design for keyword auction	35
2.3.1	Literature review	35
2.3.2	Co-evolution-based computational mechanism design	36

3	Equilibrium Analysis of Bidding Strategies	43
3.1	Pure-strategy Nash equilibria of the GSP mechanism	43
3.2	Equilibrium refinements	44
3.2.1	Symmetrical Nash equilibrium	44
3.2.2	Risk-free symmetrical Nash equilibrium	45
3.2.3	Locally envy-free equilibrium	47
3.2.4	Upper-bound Nash equilibrium	48
3.3	Stability analysis of bidding strategy	51
3.3.1	Stability of non-equilibrium strategies	51
3.3.2	Stability of equilibrium strategies	54
3.3.3	Evolutionary stability of equilibrium strategies	55
4	Cross-Search-Engine Budget Allocation Strategy	62
4.1	Introduction	62
4.2	Budget allocation: Framework, hierarchical models, and the overall design	64
4.3	Cross-search-engine budget allocation	66
4.3.1	Model and analysis	66
4.3.2	Experimental evaluation	68
4.4	Temporal budget allocation	69
4.4.1	Model and analysis	69
4.4.2	Experimental evaluation	70
4.5	Real-time budget adjustment	71
4.5.1	Model and analysis	71
4.5.2	Experimental evaluation	71
5	Click Fraud in Keyword Auction	75
5.1	Major forms of click fraud	75
5.1.1	Pay-per-click advertising	75
5.1.2	Definition of click fraud	77
5.1.3	Implications of click fraud	78
5.2	Economic nature of click fraud	78
5.2.1	Inflation fraud	78
5.2.2	Competitive fraud	80