

网络环境下终端资源交换的经济学模型研究

王玲芳

(中国科学院声学研究所国家网络新媒体工程技术研究中心 北京 100190)

摘要 互联网环境下用户终端资源(下简称终端资源)的使用是运行商讳莫如深的问题,但终端资源却一直在被他们所使用,而且将经济学的各种模型引入资源共享是过去数年来(尤其是对等网络出现情况下)的研究热点。对终端资源的交换使用进行经济学建模,给出简单模型(二元模型),在此基础上引入用户的资源贡献因子,给出用户介入后的模型(三元模型),使终端资源的使用可量化。最后将终端资源交换模型归结为运输模型,以存储资源作为实例给出求解方法,证明模型的可解性。

关键词 终端资源,经济学模型,运输模型

中图分类号 TP393.4 **文献标识码** A

On Economics Model of Terminal Resource Exchange under Network Environment

WANG Ling-fang

(National Network New Media Engineering Research Center, Institute of Acoustics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100190, China)

Abstract The use of customer's resource under the networked environment is a problem that various providers such as network provider and content provider unwilling to discuss, but they always use this kind of resource without telling their customers. Forthemore, introducing economics models into resource sharing, especially as peer-to-peer network emerges on the horizon, is recent years' research hot topic. Modeling the exchange of terminal resources under networked environment by using economics concept, presented simple model(bi-party model) and upon which by introducing customer's contribution factor put forward the user involved model(tri-party model) that enable the quantization of terminal resources. Finally this paper reduced the terminal resource exchange model to transport model, and by storage resource exemple, illustrated that the method is able to gain the resolution.

Keywords Terminal resource, Economics model, Transportation model

1 引言

随着互联网的普及和终端的小型化趋势,以及云计算、泛在计算、普适计算、互联网计算、物联网等在研究社团和商业公司受到极大关注,功耗问题成为各大 IDC 运营商的关注重点。另一方面,在对等网络中,终端的资源(CPU、硬盘、带宽)的闲置是相当严重的,这些资源能否被使用以及如何使用,成为人们关注的问题。在网格和对等计算环境下,研究人员研究了基于多种经济学理论的资源分配模型,例如拍卖模型、商品市场模型、供需关系模型,但这些研究存在共同的问题,即资源使用的方式是隐性的,终端的属主是不知情的。

上述各种模型,没有考虑到用户对资源控制的绝对性和交互性,用户处于暗箱之中,对于终端各种资源的网络使用(利他性)茫然不知。所以目前终端用户的普遍做法是,只要完成数据下载,就断线下网,如关闭下载程序,拔掉网线等。面对用户的这种利己性行为特征,研究人员采取的做法是激励法,即在终端下载数据的过程中,采取数据对等的原则,使其上载数据量和下载数据量大体相等,鼓励上载量大的终端,而去励(discourage)上载量小的终端。这是终端使用过程中

的资源共享状态,蕴含着这样的物物交换过程:网络带宽↔共享文件。另外一个层面则是内容提供商(可能是非法的)和终端用户之间的博弈。我们画出这个矛盾,如图 1 所示。

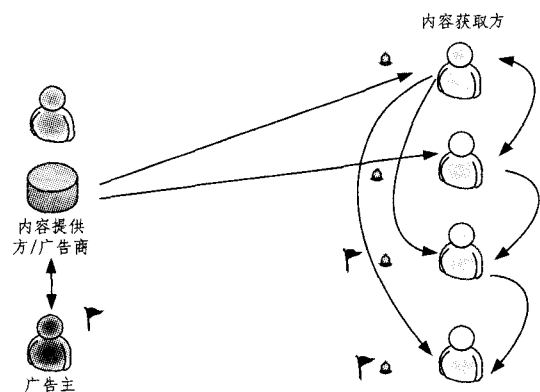


图 1 内容提供商/广告主/内容获取方间的关系图

这个图中另外的一方是广告主,广告主是内容提供商/广告商赖以生存的衣食父母,由他促动对等共享的价值链。终端用户在使用共享软件下载内容的过程中,共享软件经常会弹出一些广告页面,如果终端用户点击该页面,则共享软件的

本文受国家自然科学基金面上项目(60972082)资助。

王玲芳(1969—),男,博士,副研究员,主要研究方向为宽带网络通信、分布式计算,E-mail:wanglf@dsp.ac.cn.

后台系统就会记录这次点击,并据此向广告主要求支付的凭证。终端用户点击广告页面,就可能构成一次购买行为。因此从图1看出,内容共享是依靠广告生存的,最终为内容共享买单的还是终端用户。

前面提到的各种激励机制,仅是在去除广告主、广告系统后的简单系统基础上加以设计的,构成极其简单的共享内容、终端资源的二元物物交换模型。事实上,仅有终端资源对共享系统是至关重要的,其分配和使用就构成核心问题,本文对该问题进行了建模。将用户交互考虑在内之后的经济学模型是本文不同于其他工作之处。下面描述与本文模型相关的前人所做的研究工作。

文献[1]在对等网络中引入现实世界纽带关联的债务责任关系,设计了 SPECT 市场架构,说明了对等端可使用该架构中债务关系及不同的投资组合管理能力而得到益处。文章侧重的是经济学方法的使用,而本文的重点是经济学模型在网络环境中的使用和求解问题。

文献[2]中重点论述博弈论在电子商务中的可能作用,将 Vickrey 拍卖与计算机化代理的经济学机制设计做了对比分析,指出 Vickrey 的局限性,之后描述一种广义的 Vickrey 拍卖(GVA)。拍卖是经济学中的一种高级行为,与本文介绍的资源潜在物物交换方式存在极大不同,本文所采用的方法是经济实体萌芽阶段的资源分配方法。

文献[3]详细研究了在一个分布式计算机系统中最优分布一种可分割资源去中心化算法。为了在一个具体的上下文中研究这个问题,作者们考虑最优文件分配的问题,其中优化准则是与一次文件存取相关联的通信开销和平均处理延迟。本文则用的是一种中心化方法,考虑的是具有中心管理实体情况下的各分布资源的分配问题。这篇文章的主要结果是资源分配的各种分布式的基于梯度的方法收敛的经验研究和量化比较。

文献[4]给出了使用经济学概念的几种资源分配技术。案例研究给出了将经济学模型应用到计算机系统(分布式系统和计算机网络)的情形。特别讨论了为了获取到资源的访问能力,消费者(工作、任务、事务、流量类等)与资源提供者(处理器、通信链路、传输信道、数据对象、网络缓冲)交互通信的机制,还有几项数值结果(通过仿真)和分析,为的是支持计算机系统经济学的有效性。在几个案例研究中,讨论了计算机和通信资源共享的两级经济学建模。在第一等级中,将资源共享问题转换为一个合适的性能模型(范例:排队模型),在每个提供商处优化和控制服务参数。在第二等级中,系统的性能模型被转换为一个经济体,它使用经济学优化技术和机制,以一种去中心化方式获取资源的高效利用。

文献[5]给出的系统可使用户方便、安全地在一个处理容量的全球市场中输出他们的机器能力。高效的资源分配是在统计机器思想基础上进行的,初期用来提升动态的任务放置。系统的基本编程原语可扩展用来开发类层次结构,这支持不同的分布式计算范型。

为了高效地分配“消费者注意力空间”,文献[6]给出一种基于自适应软件代理的竞争性的分布式推荐机制。在电子购物商场的范例中,该项任务委托给各商店,每家商店评估有关消费者以及他或她的兴趣(例如关键字、产品查询和可用的一个概要组成部分)的可用信息。各商店在一次交易中做出货

币出价,其中针对到达的消费者卖出有效量的“消费者注意力空间”。每家商店由为每个消费者出价的一个软件代理表示。这允许各商店快速地调整他们的出价策略,以便将焦点集中在对他们的出价感兴趣的消费者。对于在线消费者、商店和场景的简单模型,通过在基于代理的计算经济(ACE)域中的演进仿真,展示了系统的可行性。基于神经网络和策略挖掘启发法,作者们开发了学习出价策略的自适应代理。

为了解决复杂的资源管理问题,文献[7,8]为网格计算环境中的资源分配和约束的供应和需求,提出了一个计算经济框架。这个框架通过交易和代理服务,为优化资源提供商和消费者目标函数提供了机制。在一个真实世界市场中,针对基于供求关系以及服务对用户价值,存在设定服务价格的各种经济学模型(商品市场、抛出价格、出价和拍卖模型)。其中讨论将这些模型用于网格组件(为了确定资源服务价值)和必要的基础设施(实现每个模型)间交互的情形,简短地讨论了提供服务的现有技术,并说明其在开发 Nimrod-G 网格资源代理中的用途。

文献[9]综述经济学与计算机科学交叉的研究成果,目标是分布式系统设计,这些系统由具有不同兴趣和自私趋向的理性参与者组成。特别地,讨论了与 P2P 系统中搭便车有关的主要发现和开放问题:影响搭便车程度的因素、鼓励用户协作的激励机制以及 P2P 激励机制设计中的挑战。文献[10]研究了类似的经济学激励问题,其目标是 P2P 网格系统的可靠性和服务对等端经济收益的最大化。

文献[11]表明,在简单环境中,如果投标环节不能控制其成员在拍卖中提交的投标,则相比于非合作竞标,第一价格封存竞标拍卖中的投标环节就不能取得任何收益。这与如下情形中的结果形成对比,其中环节可控制其成员的投标,或预防环节成员的所有人(但允许其中一个)参与到拍卖之中。数值结果表明,这个结果可扩展到一些比较复杂的环境。分析结果使用了线性规划技术,这些技术具有潜在应用到许多其他经济学问题的能力。

资助式搜索的成功极大地影响了人们如何与万维网上的信息、网站和服务进行交互的方式。资助式搜索为万维网搜索引擎提供了必要的收入流,且对许多在线商务的成功是至关重要的。文献[12]将资助式搜索过程概念化为信息搜索的一个侧面,描述了资助式搜索的一个简短历史,给出使资助式搜索成为可能的详细技术探讨,突出了资助式搜索未来的可能隐含意义。

互联网提供了联网能力,如 Grid 和 PlanetLab 等的分布式集群支持获得计算的统计复用效率。一项主要挑战是以一种经济上有效率的和低延迟的方式来分配资源。一种通用的解决方案是比例方式共享,其中每个用户都得到与其提前确定的权重成比例的资源。但是,这种做法不允许用户对其任务进行区分。相反,要求预留的各系统为了获得资源,却引入了高的延迟(典型情况下是数分钟到数小时)。文献[13]提出 Tycoon,这是基于比例方式共享的基于市场的、分布式资源分配系统。Tycoon 的主要优势是:它允许各用户区分其任务的价值,其资源获取延迟仅受限于通信延迟,它对用户不施加人为的投标(干涉)额外负担。

本文第2节描述了终端资源的简单交换模型;第3节描述用户介入后终端资源使用的经济学模型;第4节对第2、3

节的模型进行了详细分析,提出可用的数学解决方法;第5节则以范例说明本文模型的求解过程;最后给出结论和未来研究工作。

2 终端资源的简单交换模型

2.1 场景

在我们考虑的模型中,网络环境是必备条件之一,其中包括:

- 1)数千台终端,带有一定处理能力的CPU,一定容量的硬盘,联接网络;
- 2)数家网络应用提供商,提供计算、媒体、娱乐(如游戏)等服务;
- 3)终端的属主,即人类用户。

将终端上的3类资源:CPU、硬盘、带宽,分别称为处理资源、存储资源和传输资源。前面提到的资源共享亦即这些资源在多应用提供商间的共享使用。

2.2 简单经济学模型

假定存在 m 个网络应用提供商, n 台终端。网络应用提供商对3种资源的需求量为 (d_{i1}, d_{i2}, d_{i3}) ,其中 $i=1, \dots, m$ 。终端对3种资源的供应量为 (s_{j1}, s_{j2}, s_{j3}) ,其中 $j=1, \dots, n$ 。假定

$$\sum_{i=1}^m d_{ij} = \sum_{i=1}^n s_{ij}, j=1, 2, 3 \quad (1)$$

在终端 i 上,网络应用提供商 j 使用3种资源的成本为 $(c_{ij1}, c_{ij2}, c_{ij3})$,求分配 P ,满足

$$\min \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^m c_{ijk} P_{ijk} \quad (2)$$

s. t.

$$\sum_{i=1}^n P_{ijk} = d_{jk}, j=1, \dots, m, k=1, 2, 3 \quad (3)$$

$$\sum_{j=1}^n P_{ijk} = s_{jk}, i=1, \dots, n, k=1, 2, 3 \quad (4)$$

$$P_{ijk} \geq 0, i=1, \dots, n; j=1, \dots, m; k=1, 2, 3 \quad (5)$$

上述模型是目前网络应用提供商希望使用的,其中没有考虑人类用户对终端设备的绝对控制。网络应用提供商使用终端设备的情况,人类用户是不可知的,而且也无法知道。下一节描述人类用户介入后的情况。

3 用户介入后终端资源使用的经济学模型

终端上的资源受控于人类用户,人类用户的特征是利己性,即首先本终端上的资源要满足个人所用,例如在用户使用终端看网络电影时,提供商利用该终端提供的网络能力时就不应和用户的网络电影抢带宽,遇到用户的需求时要退避,这是一个约束条件。这可称为用户友好性。

由于终端在线状态呈现一定的规律性,会影响网络应用提供商对该终端上资源的使用。为了使终端在某个时间段在线,可能需要类似SLA的东西,即用户作为终端资源的提供商,要向网络应用提供商这类用户确保服务质量。SLA要分等级(有保障的、无保障的/概率性的)。

我们以介入因子 α 表示用户介入对终端资源使用的影响。介入因子 α 有如下两种:(1)绝对量;(2)相对量。对于可直接量化的资源,采用绝对量介入因子表示;对于不宜可直接量化的资源,采用相对量介入因子表示。我们分析终端的3种资源,存储、计算和通信,其中存储可以字节加以量化,这是

比较容易的;就计算能力而言,由于CPU主频的不同,不便于以一个特定的量衡量,因此以相对量介入因子表示比较合适;对于通信能力,通常是以bps(比特每秒)表示的,所以以绝对量介入因子表示比较合适。前面提到,使用终端资源时,要遵循规避原则,这仅对相对量介入因子的情况比较适合,考虑到绝对量介入因子实际调整的复杂工作,在瞬态下做出调整几乎是不可可能的。如此,我们分别以 α_1, α_2 和 α_3 表示一台终端上用户对资源的存储、计算和通信介入因子,则第2节中提到的终端资源贡献量变为 $(s_{j1} - \alpha_{j1}, s_{j2} - \alpha_{j2}, s_{j3} - \alpha_{j3})$,令该贡献量为 $(sh_{j1}, sh_{j2}, sh_{j3})$,其中 $sh_{j1} = s_{j1} - \alpha_{j1}, sh_{j2} = s_{j2} - \alpha_{j2}, sh_{j3} = s_{j3} - \alpha_{j3}$ 。据此重新整理式(1)、式(4),如下:

$$\sum_{i=1}^m d_{ij} = \sum_{i=1}^n sh_{ij}, j=1, 2, 3 \quad (6)$$

$$\sum_{j=1}^n P_{ijk} = sh_{ik}, i=1, \dots, n, k=1, 2, 3 \quad (7)$$

将式(6)、式(7)与式(2)、式(3)、式(5)相结合,就形成用户介入后终端资源使用的经济学模型。

4 模型分析

由文献[14]知,第2节、第3节的模型可归为运筹学中典型的运输问题。运输问题是解决产地和销地之间安排调运的方案。按总产量和总运输量的关系,分为3个小类:

(1)平衡运输问题,即总产量等于总运输量,生产出来的产品必须全部运走;

(2)不平衡运输问题之一,即总产量大于总运输量,生产出来的产品除了满足各个销地间的需求外还有剩余;

(3)不平衡运输问题之二,即总产量小于总运输量,生产出来的产品满足不了各个销地间的需求。

由上可知,式(1)满足平衡运输问题的条件,即总供应量满足总需求量,在这种情况下,是平衡运输问题。另外在实际情形中,通常的情况是总供应量不等于总需求量的情况,如式(8)、式(9)所示:

$$\sum_{i=1}^m d_{ij} \leq \sum_{i=1}^n s_{ij}, j=1, 2, 3 \quad (8)$$

$$\sum_{i=1}^m d_{ij} \geq \sum_{i=1}^n s_{ij}, j=1, 2, 3 \quad (9)$$

式(8)、式(9)与相应公式相结合,则构成两类不平衡运输问题,其中之一为总供应量大于总需求量的不平衡运输问题,其中之一为总供应量小于总需求量的不平衡运输问题。

需求线性规划的求解算法在运筹学界有各种解法,如单纯形法、椭圆法、内点法等,在MATLAB中则采用linprog线性规划程序统一求解,属于静态(离线)求解方法,它求解的是下述形式的线性规划问题:

$$\min_x f^T x \quad (10)$$

满足约束条件:

$$A \cdot x \leq b \quad (11)$$

$$A_{eq} \cdot x = b_{eq} \quad (12)$$

$$lb \leq x \leq ub \quad (13)$$

其中, A 是不等式约束的系数矩阵, A_{eq} 是等式约束的系数矩阵, b 表示不等式约束常向量, lb, ub 是自变量 x 的上下限范围。

在MATLAB系统中,使用“help linprog”得到linprog线性规划函数的9种不同用法,这里不再详细描述,可参见MATLAB的在线帮助或有关书籍。

5 模型范例求解

下面给出本文场景的一个范例,该范例仅为了说明问题,所以参数都比较简单。假定有 10 个终端可提供存储资源,而有 6 个应用提供商需要使用存储,这 10 个终端可提供的存储量(单位为 MB)如表 1 所列。

表 1

序号	1	2	3	4	5
存储量	1000	800	1500	600	700
序号	6	7	8	9	10
存储量	950	680	400	850	900

6 个应用提供商对存储的需求量分别为 1000、1200、1400、1650、1630、1500,假定费用(以访问数据延迟度量)矩阵如表 2 所列。

表 2

	1	2	3	4	5	6
1	4	3	2	3	4	1
2	2	6	1	3	6	7
3	5	1	1	5	2	3
4	3	2	4	2	3	4
5	3	4	3	2	1	5
6	5	2	1	4	5	3
7	4	2	2	3	1	3
8	5	2	1	3	4	6
9	8	2	4	7	3	5
10	6	2	3	4	3	2

我们的目的是设计一种存储分配方案。因为总存储量为 8380MB,总需求量也为 8380MB,所以这是平衡运输问题。设优化目标函数为:

$$\min C = \sum_{i=1}^{10} \sum_{j=1}^6 c_{ij} x_{ij}$$

其中费用矩阵为:

$$[c_{ij}] = \begin{bmatrix} 4 & 3 & 2 & 3 & 4 & 1 \\ 2 & 6 & 1 & 3 & 6 & 7 \\ 5 & 1 & 1 & 4 & 2 & 3 \\ 3 & 2 & 3 & 2 & 3 & 4 \\ 3 & 4 & 3 & 2 & 1 & 5 \\ 5 & 2 & 1 & 4 & 5 & 3 \\ 4 & 2 & 2 & 3 & 1 & 3 \\ 5 & 2 & 1 & 3 & 4 & 6 \\ 8 & 2 & 4 & 7 & 3 & 5 \\ 6 & 2 & 3 & 4 & 3 & 2 \end{bmatrix}$$

约束方程为:

$$\begin{cases} \sum_{j=1}^6 x_{1j} = 1000, \sum_{j=1}^6 x_{2j} = 800, \sum_{j=1}^6 x_{3j} = 1500 \\ \sum_{j=1}^6 x_{4j} = 600, \sum_{j=1}^6 x_{5j} = 700, \sum_{j=1}^6 x_{6j} = 950 \\ \sum_{j=1}^6 x_{7j} = 680, \sum_{j=1}^6 x_{8j} = 400, \sum_{j=1}^6 x_{9j} = 850 \\ \sum_{j=1}^6 x_{10j} = 900 \\ \sum_{i=1}^{10} x_{i1} = 1000, \sum_{i=1}^{10} x_{i2} = 1200, \sum_{i=1}^{10} x_{i3} = 1400 \\ \sum_{i=1}^{10} x_{i4} = 1650, \sum_{i=1}^{10} x_{i5} = 1630, \sum_{i=1}^{10} x_{i6} = 1500 \end{cases}$$

自然约束条件为:

$$x_{ij} \geq 0$$

使用 MATLAB 编程,利用 linprog 函数求解,得到分配矩阵如下:

$$\begin{bmatrix} 36.9362 & 0 & 0 & 116.7705 & 0 & 846.2934 \\ 800 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 661.9334 & 386.8542 & 0 & 451.2124 & 0 \\ 0.1724 & 0 & 0 & 599.8276 & 0 & 0 \\ 162.8914 & 0 & 0 & 447.1062 & 90.0024 & 0 \\ 0 & 0 & 950 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 680 & 0 \\ 0 & 0 & 63.1458 & 336.8542 & 0 & 0 \\ 0 & 492.0046 & 0 & 0 & 357.9954 & 0 \\ 0 & 46.0620 & 0 & 149.4415 & 50.7898 & 653.7066 \end{bmatrix}$$

即在第一个终端上为应用提供商 1 分配 36.9362MB,为应用提供商 4 分配 116.7705MB,为应用提供商 6 分配 846.2934MB;在第二个终端上为应用提供商 1 分配 800MB,这相当于独享;在第三个终端上为应用提供商 2 分配 661.9334MB,为应用提供商 3 分配 386.8542MB,为应用提供商 5 分配 451.2124MB;在第四个终端上为应用提供商 1 分配 0.1724MB,为应用提供商 4 分配 599.8276MB;其他依次类推,不再赘述。

9 在实际情形中,存储资源的提供和需求经常是不相等的,因此需要根据供需情况使用不平衡的运输方法建模并求解。

对于计算资源、通信资源可采用类似的方法求解。对于数千个终端提供资源的情况,我们正在寻找有效的工具和方法,这是目前正在进行的一项工作。

结束语 本文从经济模型角度,将网络环境下的终端资源分别建模为终端资源交换的简单模型和用户介入后资源的交换模型,同时指出这两种模型是运筹学中典型的运输模型。采用 MATLAB 仿真求解法,以终端中的存储资源为例,求出一种条件下的资源分配。本文给出的方法是中心式方法,即在一个中心节点拥有网络环境中全局信息条件下,求解资源分配的方法。但在较大规模网络环境下,要收集到全局信息是不可能的,或当收集到全局信息时,又不能反映网络资源的现状,即存在信息过期问题,因此下一步需要探讨的是在信息不全情况下,模型的分布式在线求解方法。

参考文献

- [1] Loukos F, Karatzas H. SPECT: A system for Peer-to-Peer economic transactions[C]// 2011 IEEE Symposium on Computers and Communications (ISCC). 2011;1081-1084
- [2] Varian H R. Economic Mechanism Design for Computerized Agents[C]// WOEK'95 Proceedings of the 1st conference on USENIX Workshop on Electronic Commerce. 1995;2-2
- [3] Kurose J F, Simha R. A Microeconomic Approach to Optimal Resource Allocation in Distributed Computer Systems[J]. IEEE Transactions on Computers, 1989;705-717
- [4] Ferguson D F, Nikolaou C, Sairamesh J, et al. Economic Models for Allocating Resources in Computer Systems[C]// Market Based Control of Distributed Systems. World Scientific, Press, 1996;156-183
- [5] Lalis S, Karipidis R. An open market-based architecture for distributed computing[C]// IPDPS '00 Proceedings of the 15 IPDPS 2000 Workshops on Parallel and Distributed Processing. 2000;61-70

(下转第 102 页)

根据表 3 所列的实验结果发现,相比基于 K-means 聚类算法的复杂网络社团发现新方法,本文的 ICMWCN 方法在执行时间和聚类精确度上都具有一定的优势,这种优势尤其表现在算法的执行时间和效率上。

本文的 ICMWCN 方法是将 PSO 聚类算法和谱方法中的平均截方法相结合的加权复杂网络聚类方法。该方法的算法复杂度为 $O(\max\{n^2, p \times t \times n\})$ (其中 n 为复杂网络的节点数, p 为基本 PSO 聚类算法中初始设置的粒子数, t 为基本 PSO 聚类算法的迭代次数),相比基于 K-means 聚类算法的复杂网络社团发现新方法的算法复杂度 $O(m \times n^3)$ (其中 m 为复杂网络的边数, n 为复杂网络的节点数),其算法复杂度低,实现步骤简单。该方法使用基本 PSO 聚类算法克服了传统 K-means 聚类算法对初始聚类中心敏感以及易于陷于局部优化等缺点,在结构复杂、连接紧密的网络中有更快的执行速度、更好的聚类效果和精度。

结束语 首先对现有的复杂网络聚类算法进行了简单的分析,然后结合现有的知识设计和实现了基于 NJW 算法的改进加权复杂网络聚类方法(ICMWCN 方法)。通过仿真实验发现,该方法在连接紧密、簇结构较复杂的复杂网络中具有较高的执行效率和较好的执行效果,但是该方法有待改善,以适用于大中型加权复杂网络,并投入到实际工程应用当中。目前复杂网络聚类问题还远未被很好地解决^[13],未来工作可集中在:从网络的“内在”属性出发,给出一种“客观”的理论模型去理解、刻画和计算复杂网络簇结构;设计出快速、高精度和无监督的复杂网络聚类方法;针对特殊类型的复杂网络设计出新型的复杂网络聚类方法。

参 考 文 献

- [1] 田野,刘大有,杨博. 复杂网络聚类算法在生物网络中的应用[J]. 计算机科学与探索,2010,4(4):330-337
- [2] 周涛,柏文洁,汪秉宏,等. 复杂网络研究概述[J]. 物理,2005,34(1):31-36
- [3] 汪秉宏,周涛,何大彻. 统计物理学与复杂系统研究最新发展趋势分析[J]. 中国基础科学,2005,7(3):37-43
- [4] 汪晓帆. 复杂网络理论及其应用[M]. 北京:清华大学出版社,2006
- [5] 谭跃进,吴俊,等. 复杂网络抗毁性研究综述[J]. 系统工程,2006,24(10)
- [6] 车宏安,顾基发. 无标度网络及其系统科学意义[J]. 系统工程理论与实践,2004,24(4):11-16
- [7] Watts D J. Networks, dynamics, and the small world phenomenon[J]. AM J Sociol, 1999, 105:493-592
- [8] Albert R, Barabási A L. Statistical mechanics of complex networks [J]. Rev. Mod. Phys., 2002, 74:47-97
- [9] Hemant B, Narsingh D. Discovering communities in complex networks[C]// ACMSE 2006: Proceedings of the 44th ACM Southeast Conference. Florida, 2006:280-285
- [10] 李孔文,顾庆,张尧,等. 一种基于聚集系数的局部社团划分算法[J]. 计算机科学,2010,37(7):46-53
- [11] 刘美玲. 基于复杂网络的社团发现算法研究[D]. 济南:山东师范大学,2010
- [12] 汪小帆,刘亚冰. 复杂网络中的社团结构算法综述[J]. 电子科技大学学报,2009,38(5)
- [13] 杨博,刘大有, Liu Ji-ming 等. 复杂网络聚类方法[J]. 软件学报,2009,20(1):54-66
- [14] 刘婷,胡宝清. 基于聚类分析的复杂网络中的社团探测[J]. 复杂系统与复杂性科学,2007,4(1)
- [15] 蔡晓妍,戴冠中,杨黎斌. 基于谱聚类的复杂网络社团发现算法[J]. 计算机科学,2009,36(9):49-50
- [16] 李峻金,向阳,牛鹏,等. 一种新的复杂网络聚类算法[J]. 计算机应用研究,2010,27(6)
- [17] 高倩. 基于模糊理论的谱聚类算法研究与应用[D]. 南京:江南大学,2009
- [18] Newman MEJ. The structure and function of complex networks [J]. SIAM Review, 2003, 45:167-256
- [19] 刘靖明,韩丽川,侯立文. 基于粒子群的 K 均值聚类算法[J]. 系统工程理论与实践,2005,6:54-58
- [20] 冯征,阎敏,张智峰. 一种基于 PSO 的模糊聚类算法[J]. 计算机工程与应用,2006,27:150-165
- [21] 王林,戴冠中. 复杂网络的 Scale-free 性、Scale-free 现象及其控制[M]. 北京:科学出版社,2009
- [22] 赵凤霞,谢福鼎. 基于 k-means 聚类算法的复杂网络社团发现新方法[J]. 计算机应用研究,2009,26(6)
- [6] Bohte S M, Gerding E H, La Poutré J A, et al. Competitive Market-Based Allocation of Consumer Attention Space[C]// EC'01 Proceedings of the 3rd ACM conference on Electronic Commerce. The ACM Press, 2001:202-205
- [7] Buyya R, Abramson D, Giddy J, et al. Economic models for resource management and scheduling in Grid computing[J]. Concurrency and Computation, 2002, 14(13/15)
- [8] Buyya R, Stockinger H, Giddy J, et al. Economic Models for Management of Resources in Peer-to-Peer and Grid Computing [Z]. 2001. www.buyya.com/papers/economicmodels. pdf
- [9] Feldman M, Chuang J C C H. Overcoming free-riding behavior in peer-to-peer systems[J]. SIGecom Exch, 2005, 5(4):41-50
- [10] Sun H, Huai J. Combining Reliability and Economic Incentives in Peer-to-Peer Grids[C]// ICN '09 Proceedings of the 2009 Eighth International Conference on Networks, 2009
- [11] Marx L M, Sun P. Bidder Collusion at First-Price Auctions[M]. Springer, 2009
- [12] Jansen B J, Mullen T. Sponsored search: an overview of the concept, history, and technology [J]. Int. J. Electronic Business, 2008; 6, 114-131
- [13] Lai K, Rasmusson L, Adar E, et al. Tycoon: An implementation of a distributed, market-based resource allocation system [J]. Multiagent and Grid Systems, 2005, 1(3):169-182
- [14] 龚纯,王正林. 精通 MATLAB 最优化计算[M]. 北京:电子工业出版社,2009:401

(上接第 92 页)