

复杂网络在传统经济系统上的模型研究

白勇¹ 陆一南²

(重庆高等电力专科学校 重庆 400053)¹ (马来西亚林国荣创意科技大学信息工程系 吉隆坡 63000)²

摘要 在当今社会,经济系统的模型研究一直是科学家研究的热点对象之一。许多自然界存在的经济系统都可以运用复杂网络建立出不同规模和不同拓扑结构的相关研究模型。在这些复杂的经济数学模型中,当研究复杂经济系统的相对特性时,必须针对性地考虑其复杂网络模型中的特性与模型结构。主要研究了复杂网络上的传统经济与部分社会系统,对于复杂网络上的社会经济系统的研究给出了一种新的思路。

关键词 复杂网络,经济系统,供求模型

中图分类号 TP393.11 文献标识码 A

Modeling Research in Complex Network of Traditional Economic System

BAI Yong¹ LU Yi-nan²

(Chongqing Electric Power Specialist University, Chongqing 400053, China)¹

(Department of Information Engineering, Limkokwing University of Creative Technology, Kuala Lumpur 63000, Malaysia)²

Abstract In contemporary society, model study in economic system has been one of the hot object in scientists. Many of the complex economic system can exist in nature. In these complex economic and mathematical model, when we research the relative characteristics of complex economic system, we must consider the targeted structure in complex network model characteristics. This thesis mainly researched the complex network of traditional economic and social system, gave a new research ideas for the socio-economic system in complex network.

Keywords Complex networks, Economic system, Supply and demand model

1 引言

本文主要是将传统社会经济系统的网络结构从自然社会抽取出来,研究经济结构与经济系统在行为上的关系,以数学图论和复杂网络学科的分析手段来研究其特定的网络结构。本文对梳理经济系统中参与者之间的组织关系、复杂经济系统的演化行为有一定的启发。传统的自然界经济系统可以运用复杂网络构建出一个网络模型并在网络模型上模拟参与者交易、生产、买卖、消费等经济活动。社会系统则是运用复杂网络模拟网络上社会成员进行的各种社会活动^[1],如政治、文化、旅行、社交等等。在研究社会经济系统的复杂网络模型中,数学图论的思想和方法被广泛使用,而复杂网络则是研究理论的主要工具。

2 复杂网络的概述

近几年来复杂网络一直是各个领域研究的热点问题,在各个领域都可以找到复杂网络结构研究的身影。对于小世界网络的发现和对于无标度网络的研究揭示了自然界中隐含的有趣规则。根据 Stanley Milgram 在 1960 年的研究,一封信件从美国的两个海岸之间传递只需要 6 个人的参与,这个现象被称为 6 度分离。复杂网络的研究不仅仅局限在社会网络中,小世界和无标度的现象同样在其他领域得以揭示和应用,如城市交通网络、科研合作网络、以太网网络、细胞网络等自

然或人造网络结构^[2]。

3 复杂网络在经济社会系统的应用研究

3.1 非线性系统和复杂系统

首先,大部分经济和社会系统都是非线性系统。系统的规模一般非常巨大,是典型的复杂巨系统。系统由 Bertalanffy 定义为相互作用的多模块,而两个参与者之间的关系通常是非线性关系。事实上,有两个隐含的意义,其一,活动是非线性的,不是简单线性关系;其二,两个子系统常常包含着第三方子系统的参与。当然,其中的相互关系在一定情况下是合作与协调。

3.2 经济系统作为复杂网络

本文试图将一些社会和经济系统作为复杂网络系统。每个社会系统中的参与者都有熟人和朋友或者亲戚,同时,有些人是一些人的熟人同时也是其他一些人的熟人。这样,他们形成一个我们称之为熟人网络的网络结构系统。一个人在他生活的位置上同其他的人保持一定的社会关系,这种关系在不同层次和社会范围上保持存在。事实上,在一些可能的模型中,我们借助于着色理论来给不同的参与者上色。一个个体的家庭成员、朋友、同事等与其有不同的距离。我们用 $A(I, R)$ 来表示一个熟人网络,其中 I 集合是熟人集合,而 R 是关系集合。同时可以定义 $\Gamma(i) = \{j | j \in I, i, j \in R\}$ 为 i 的直接熟人。一般地,我们说 i 是一个人群中的 VIP,如果他的直

到稿日期:2012-09-21 返修日期:2012-12-25

白勇 男,硕士,副教授,主要研究方向为计算机网络;陆一南 男,主要研究方向为计算机网络, E-mail: 450925968@qq.com(通信作者)。

接熟人个数所占总人口的比例 $\Gamma(i)I$ 相对较大。一个有趣的现象已经被发现:在一个熟人网络中,尽管任意的两个体不一定直接认识,但他们很可能通过一个较短的熟人链条就可以达成联系,这个链条的路径较短是相对于网络的大规模而言的。通过这样的短链接,他们非常靠近。Stanley Milgram 在 1960 年就引入了小世界的概念。他发现一个有趣的现象,即在美国两岸之间传递一个信件,只需要一个短短的熟人链条就可以传递到,其平均长度为 6,故又称为 6 度分离。

3.3 复杂网络作为多代理系统

多代理系统^[3]是一个多学科交叉的领域,包括分布系统、人工智能、经济、社会科学和博弈等。

一个代理是一个基本系统,具有自己的信息处理单元和感知外部环境刺激的能力。代理根据自己的行动集合来采取行动,如果具有智能,则该代理能够从自己的经验和历史中不断学习。如果系统中有多个代理,这些代理则需要互相通信来交换信息从而协同完成某一任务。这样代理的行动在某个时候将取决于环境和该代理所交互的代理行动。

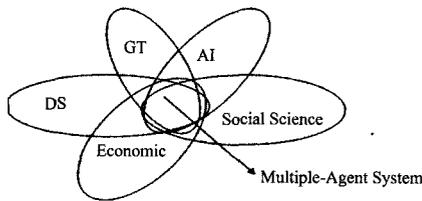


图 1 复杂多代理系统在不同领域的合作共性

对于单一的代理,我们关心的是其成功有效而且尽量在人干预的情况下完成被赋予的任务的方式和策略。一个代理只是在整个行动中扮演一个特定角色和具有一定的任务,不同的代理一起工作来完成的任务,所以他们需要一种要遵守的规则以便于相互交流、理解并协同地完成。这些自动代理一起形成多代理系统,在这个系统中代理协同合作并且协调行动。引入交流语言和社会规则是必须的。一个代理是一个三元组 $Agent(State, Action, Environment)$, 其中 $State = \{s_1, \dots, s_N\}$ 是状态集合。如果一个代理可能有多个特征,则这些特征的可能组合就是一个状态,也就是说一个状态是一个特征向量 $s_i = (p_1, \dots, p_m)^T$, 行动集合 $Action = \{action_1, action_n\}$ 是一个代理可采取的行动集合,而其环境为 $Environment$ 。本文将多代理系统表示为 $Mas(A, E, R, L)$, 其中 $A = \{Agent_1, \dots, Agent_n\}$ 是系统环境, R 是社会交互的规则, L 是代理间相互交流用的语言。如图 2 所示,在一个典型的多代理系统中,许多代理通过相互交互(包括:冲突、协同、通讯)来形成网络,则每个代理具有:角色、状态、特性、行动集合、智能、目标和 IO 接口。

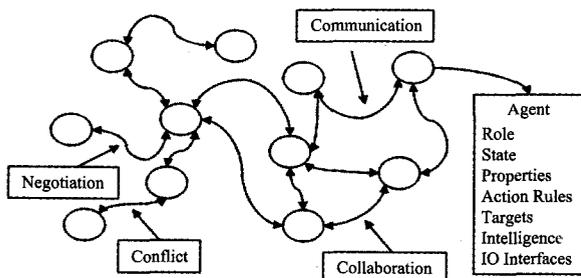


图 2 一个多代理的复杂网络系统结构

4 复杂网络供求网络模型

4.1 小世界网络中的信息扩散模型

本文讨论一个小世界社会网络上的信息扩散模型,因为小世界网络模型是描述真实社会网络的一个最好的手段之一。在本模型中,每个参与者都具有一个连续参数来描述他对信息的态度是正的还是负的。引入了局部和全局信息概念。计算实验在不同的随机度和规模的小世界网络中进行。结果表明,全局信息的权重在信息扩散过程中扮演一个非常重要的角色,特别是当所有的参与者演化为具有相同的态度的过程^[4]。

在一个社会网络中,每两个参与者相互连在一起,如果有相互的交互,新的信息则通过这个交互能够从一个参与者扩散到另一个参与者,最后影响整个网络。当然,一个扩散过程的特性包括速度、规模和持久周期,这些不仅仅依赖于信息本身的特性,而且更重要地依赖于社会网络的拓扑结构。已经得到的研究表明,规则网络和随机网络不适合描述真实社会,而在这两个极端之间,小世界网络模型具有不管网络规模大小如何其任意点对之间的平均距离都相对较短的特性,这更接近于客观世界,使得小世界模型比规则网络和随机网络能更好地描述我们的社会网络。

4.2 供求网络模型

最基础和最简单的经济系统中的活动是需求供应。经济系统中最基本的关系是买卖者之间的需求关系,这是所有更复杂和更高级的经济活动的基础和起点。对供求关系的研究有助于我们理解经济系统的基本运作机制。本文试图从关系的角度来研究参与者的行为和价格,并且这个研究是在买卖关系确定的网络上建立交易模型。本模型中分别定义买卖供求函数和目标函数以及相互的交易。buyers 具有一定的钱和需求,而 sellers 具有一定的产品和一定的有效供给。双方通过交易来达成资源重新配置的目的^[5]。

1) 需求

一个市场是三元组 $M = (B, S, T)$, 其中 B 和 S 是买卖者集合, T 是买卖者之间所有可能的交易集合。为了避免混淆,用卖者来代替供给者。 $B = \{buyer_1, buyer_2, buyer_m\}$ 。对于 $buyer_i$, 需求函数为 $D_i = f_i(\Theta_i, p)$, Θ_i 为是 $buyer_i$ 影响需求的因素,而 p 是 $buyer_i$ 接受的价格。如果 Θ_i 能够不计, $D_i = f_i(p) = a_i - b_i p$ 。

对 B , 总需求为:

$$Demand = \sum_{i=1}^m D_i = \sum_{i=1}^m f_i(p) = \sum_{i=1}^m a_i - \sum_{i=1}^m b_i p$$

我们可以看到所有的卖者和买者都是统一的,没有考虑具体的交易是如何在两个代理之间产生的。也就是说,买卖者都被看成了统一的,而内在的结构却被忽视了。

(a) 买卖者都被看成了一个整体。

(b) 内在的结构和竞争被忽视。

(c) 交易是在两个集团而不是两个个体之间。

图 3 表达了,从整体上看,买者和卖者两个交易集体之间的相互关系。

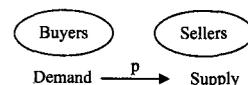


图 3 Sellers 和 buyers in a whole view

2) 网络上的买者

$buyer_i$ 具有 M_{buyer_j} 。在市场中, 每个买者都能够和其他的多个卖者进行交易, 每个交易都相互独立, 这里独立意味着买者必须服从 $D_i = f_i(p) = a_i - b_i p$ 。考虑到这点, 一个买者能够与每个直接相连的卖者进行交易。

$$D_i = \begin{cases} 0, & p_i = 0, \text{ price is not reached} \\ a_i - b_i p_i, & p_i \neq 0, \text{ price is reached} \end{cases}$$

实际在传统的观点上没有考虑买者的竞争。本模型将讨论由于结构所导致的竞争。一个竞争只有当买者或者卖者具有相同的第三方时才能发生。

(a) 如果 $buyer_i$ 和 $buyer_j$ 共享 $buyer_{i,j}$, 则 $buyer_i$ 和 $buyer_j$ 是 $buyer_{i,j}$ 的直接竞争者;

(b) 对于间接竞争者 $buyer_i$ 和 $buyer_j$, 如果其最短路径是无穷的, 则没有可能的线路将 $buyer_i$ 和 $buyer_j$ 连接起来, 即它们不是竞争者。

3) 网络上的卖者

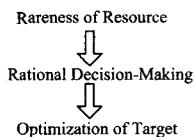


图4 资源紧缺, 理性决策来最大化利益

一个卖者实际上是在交易中克服一定成本通过提供产品来获得回报的参与者。 $-c_j$ 是交易成本。其目标是最大化自

己的利益, 并在多边中建立交易关系。图4表达了, 在市场资源紧缺的情况下, 卖者在交易过程中通过控制成本来决定市场, 以确定目标各个环节的理性决策, 使效益最大化。

结束语 本文基于复杂网络上的社会经济系统的研究给出了一种研究社会和经济系统的新手段。其基本思想是在研究这些系统的时候将系统的结构考虑进来, 将现有的社会经济系统模型再造到复杂网络上, 并将被抽取的社会经济模型重新模拟为更适应现实社会的复杂网络模型加以研究, 对复杂网络上的社会经济系统的研究具有一定的启发作用。

参考文献

(上接第264页)

$\sigma_{MAPE} = 14.6383\%$, 最大精度为 49.0910% , 耗时 $14.088s$ 。显然, 编程实现的小波网络与工具箱实现的小波网络在此没有可比性。因此, 对大规模数据的训练和预测, 本文方法的优越性是明显的。

对原序列的混沌预测实验: 不采用小波包分解, 对原始序列直接进行混沌分析。计算得到: $\tau = 14$, $m = 7$, Lyapunov 指数 $\lambda = 0.0363 > 0$, 表明原序列具有混沌特性, 用前 1500 个数据产生训练样本, 后 500 个产生检验样本。小波网络结构: 7-12-1。经寻优处理得: 当 $0 \leq Q \leq 20$, $Q = 12$ 时最好, $\sigma_{MAPE} = 4.0177\%$, 最大精度为 20.9731% ; 扩大 Q 的取值范围, $Q = 60$ 时, $\sigma_{MAPE} = 3.080\%$, 最大精度为 21.9153% , 均不及本文方法。

结束语 利用小波包变换和相空间理论, 提取和重构太阳黑子时间序列的内在本质特征, 通过分析频率特性、影响因子, 构造高维状态空间描述复杂系统, 采用小波神经网络工具箱对太阳黑子数进行预测, 其显著特点是预测速度快、数据吞吐量、预测效率高。

预测实验证明了所提方法的有效性。指出了神经网络预测结果不稳定的本质原因, 并给出了一种确定性的预测方法。其中小波网络工具箱及预测方法, 对于混沌时序预测准确拟合混沌吸引子, 以及对小波神经网络的推广应用具有重要意义, 是太阳黑子数预测的一种有效方法。

参考文献

[1] http://www.bao.ac.cn/xwzx/kydt/201108/t20110819_3324282.html

[1] 房艳君. 动态经济网络结构及其稳定性研究[J]. 经济数学, 2010(3): 92-97
 [2] 何土产. 复杂网络基本模型分析[J]. 科技经济市场, 2007(2): 53-57
 [3] Latora V, Marchiori M. The Architecture of complex systems [M]. Gell-Mann M, Tsallis C. Nonextensive entropy; interdisciplinary applications. New York: Oxford University Press, 2002: 377-386
 [4] 贾秀丽. 一类边同时变化的无标度复杂网络模型研究[J]. 东北师大学报: 自然科学版, 2008(4): 58-62
 [5] 包兴海, 姚洪兴. 一类经济系统生命体模型的建立与系统分析[J]. 复杂系统与复杂性科学, 2006(1): 53-58
 [2] 柳士俊, 俞小鼎, 陈永义. 太阳黑子活动的守恒量预报[J]. 科学通报, 2003, 48(17): 1832-1835
 [3] 罗航, 王厚军, 龙兵. 基于“紧致型”小波神经网络的时间序列预测研究[J]. 计算机应用研究, 2008, 25(8): 2366-2368
 [4] 丁刚, 钟诗胜. 基于时变阈值过程神经网络的太阳黑子数预测[J]. 物理学报, 2007, 56(2): 1224-1230
 [5] 赵海娟, 王家龙, 宗位国, 等. 用径向基函数神经网络方法预报太阳黑子数平滑月均值[J]. 地球物理学报, 2008, 51(1): 31-35
 [6] 陈果. 神经网络模型的预测精度影响因素分析及其优化[J]. 模式识别与人工智能, 2005, 18(5): 528-534
 [7] Weigend A B, et al. Predicting the future: a connection -ist approach[J]. Intl. J. Neur. Sys., 1990, 1: 193-209
 [8] 飞思科技产品研发中心. 小波分析理论与 MATLAB 7 实现 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2006: 116-117
 [9] <http://sidc.oma.be/sunspot-data>
 [10] 雷明, 韩崇昭, 郭文艳, 等. 非线性时间序列的小波分频预测[J]. 物理学报, 2005, 54(5): 1988-1993
 [11] 王永林. 小波神经网络训练研究及在织物预测中的应用[J]. 信息技术, 2010, 27(12): 1637-1640
 [12] Abarbanel H D I, Masuda N, Rabinovich M I, et al. Distribution of Mutual Information[J]. Physics Letters A, 2001(281): 368-373
 [13] Cao Liang-yue, Mees A, Judd K. Dynamics from multivariate time series[J]. Physica D, 1998, 121: 75-88
 [14] Wolf A, Swift J B, Swinney H L, et al. Determining Lyapunov exponents from a time series[D]. Physica 16D, 1985: 285-317
 [15] 韩敏. 混沌时间序列预测理论与方法[M]. 北京: 中国水利出版社, 2007: 155-157