

文章编号:1672-3813(2016)03-0069-07;DOI:10.13306/j.1672-3813.2016.03.009

## 中国电影圈主要导演和演员合作网络的结构特征分析

周静<sup>1</sup>,袁瑛<sup>2</sup>,涂平<sup>2</sup>

(1.中国人民大学统计学院,北京100872;2.北京大学光华管理学院,北京100871)



**摘要:**运用社会网络分析方法,对中国电影圈近十年(2004—2013年)主要的导演和演员之间的合作网络进行了描述和分析。以导演为中心,运用双模网络分析方法,对导演和演员之间的合作关系进行了系统的描述,比较了在不同时期港台导演(演员)和大陆演员(导演)之间的合作情况,分析了电影江湖的“派系”关系。结果表明:1)导演—演员双模网络的分析发现,近十年来大陆和香港的导演—演员合作网络结构存在明显差异,相比于大陆导演,香港导演更倾向于与同一批演员反复合作;而纵向看来,近十年来,香港导演表现出越来越多地与大陆演员合作的趋势。2)导演与演员的合作网络关系十分稀疏,网络密度只有0.026。“成分”分析表明在导演与演员的双模网络中,香港导演和演员处于一个子群的中心,而大陆导演和演员相对较孤立。3)区块分析表明在电影江湖中确实存在“派系”特点,即同一地区的导演与演员更愿意在一起合作。

**关键词:**社会网络分析;双模网络;电影圈;网络结构

中图分类号:C912,N94

文献标识码:A

## Analysis of the Collaboration Network of Chinese Film Directors and Actors

ZHOU Jing<sup>1</sup>, YUAN Ying<sup>2</sup>, TU Ping<sup>2</sup>

(1. School of Statistics, Renmin University of China, Beijing 100872, China;

2. Guanghua School of Management, Peking University, Beijing 100871, China)

**Abstract:** Social network analysis has been used to analyze the collaborative network of Chinese film directors and actors for the past decade. We apply two-mode network analysis method to collaboration data of movie directors and actors and compared collaborative relationship between directors and actors in Hong Kong and Mainland China, as well as its changing. Some group characteristics are revealed from our data. The main findings of this paper are: (1) there exists significant difference in the structure of collaborative network between Hong Kong and Mainland China. HK directors are more likely to cooperate with the same actors repeatedly than mainland directors. HK directors show a trend of more and more cooperation with mainland actors in the past decade. (2) The collaborative network of directors and actors is very sparse, with density of only 0.026. Component analysis shows that HK directors and actors are at the core in the network while the mainland directors and actors are at the periphery in the network. (3) Block analysis shows that there indeed exists “fractions” in this network, that is directors and actors who are in the same area are more likely to cooperate with each other.

**Key words:** social network analysis; two-mode network; film industry; network structure

收稿日期:2014-11-17;修回日期:2015-03-16

基金项目:国家自然科学基金(71332066)

作者简介:周静(1989-),女,黑龙江哈尔滨人,博士研究生,主要研究方向为营销模型、社会网络分析等。

## 0 引言

中国电影产业在过去十年取得了快速而持续的增长,相关调查数据显示,2005至2009年期间,中国城市的电影院票房总额的年复合增长率达到32.0%,而同一时期,美国只有4.7%,全球平均也仅为6.7%。从纵向来看,影响电影成功(主要是票房上的成功)的因素多种多样,包括国民经济的增长,人们消费水平的提高,对精神文化需求的增加等等。而横向来讲,影响一部电影成功的因素可能更多在于电影本身,包括导演的影响力,演员的知名度、受欢迎程度,剧本好坏,电影制作水准,营销团队的宣传能力等等。其中,一部电影的导演和演员往往是普通观众最关注的因素,也是很多电影宣传的侧重点<sup>[1]</sup>。导演与演员的影响力形成通常是一个相辅相成的过程。一名演员在电影圈的人际网络(这里仅仅讨论其在导演中的人际网络)对他的成功至关重要,无论是跟很多导演有联系,还是有幸能跟某些大导演合作,都有助于他们的成功成名。反过来讲,导演也可能通过与一些知名演员合作获得电影的成功。那么,如果可以用科学的方法全面地描述电影导演和演员之间的合作关系,并在此基础上探讨其与电影成功或导演(演员)个人成功的关系,将为我们提供关于电影圈的系统认识。基于以上分析,本文从社会网络分析的视角出发,运用双模网络分析方法系统地研究中国电影圈导演与演员的合作网络关系,进一步理解导演—演员合作网络的结构特征,并探讨网络结构对网络成员的社会资源、信息、信任与合作可能产生的影响。

双模网络分析是社会网络理论中一个非常重要的部分,它与单模网络有很多相似的地方,但是涉及到具体的分析方法时又有很多不同之处。由于双模网络理论涉及到更多的网络节点与边的从属关系,分析起来相对复杂,很多属性变量的计算方式都与单模网络不同,所以有关双模网络的研究在目前来看还比较有限。本文通过实际数据对导演与演员的双模网络进行探索性分析,试图拨开这个复杂网络的一层面纱,以期为后续的研究提供一些理论指导。

## 1 文献回顾

社会网络分析是通过分析社会网络内部成员之间的关系和交互,发现它们的组织结构、组织特点、行为方式、个性特征等<sup>[2]</sup>。社会网络由两个要素组成,一是个体(或节点),二是个体之间的关系(或联结)。对于本文要研究的电影圈社会网络关系而言,节点就是导演和演员,而导演与演员之间的关系则根据是否有合作的电影进行定义,合作过则认为有关系,反之,则没关系,两个节点合作拍电影次数越多,关系就越强。

回顾文献,我们发现之前学者只对演员合作关系网进行了描述,如Watts和Strogatz<sup>[3]</sup>曾经用社会网络分析的方法对好莱坞演员合作网进行了研究,发现其具有“小世界”特性,国内也有类似的研究,例如对部分中国电影演员的合作网络进行了描述<sup>[4-5]</sup>。然而,这些研究都不是从研究电影圈网络形态的目的出发,而是关注网络的一些普遍性质,也没有引入导演这一重要的网络节点。尽管如此,这些研究为我们研究电影圈导演和演员的合作关系提供了科学的范式——社会网络分析的方法。

之前的研究都是基于“演员”这一单模网络,忽略了导演的作用,而一部电影的成功与否和导演与演员的共同合作是分不开的,所以研究导演—演员的合作网络关系对理解电影行业的发展非常重要。对于这种不同节点的网络结构分析,我们采用了双模网络分析方法。双模网络分析应用非常广泛,如研究学术论文互相引用的网络<sup>[6-7]</sup>,企业董事会的网络结构等<sup>[8-10]</sup>,在双模网络中,分析的节点来自不同的群体,例如在我们的研究中就有两个群体:导演圈和演员圈。分析的关系则是一个群体的节点与另一个群体的节点建立的关系,如导演与演员通过影片建立起关系。

双模网络分析可以帮助我们了解导演和演员在合作关系中的地位和特征。本文运用导演与演员双模网络中的3种中心度来描述他们各自所处的网络的结构特点,这3种中心度分别是点度中心度、接近中心度和中介中心度<sup>[11]</sup>。点度中心度被定义为与该节点相连的边的个数,在双模网络中,导演的点度中心为与该导演有过合作的演员的个数,而演员的点度中心度为该演员和多少导演合作过,该指标衡量了网络中节点度之间的联结程度。一个有着高中心度水平的节点,是网络中行为所在地,度值高的节点与很多其他节点直接关联,或是邻接关系,这是显示关系信息的主要渠道,也表示他占据了网络的中心位置,相反度值低的节点显然处于网络的边缘位置,这样的节点在关系进程中是不活跃的。接近中心度,顾名思义表示一个节点与其他节点的接近程度<sup>[12]</sup>,最简单的量化方法由Sabidussi<sup>[13]</sup>提出,即节点接近度由距离函数来度量,节点*i*与所有其他节点的总距离的倒数即为该节点的接近中心度。如果网络中的某个节点与其他节点的距离很短,则在传播信息上他就会扮演很重要的角色,也就是说一个节点的接近中心度反比于该节点与其他节点的距离总和。值得注意的是,在双模网络中不同群体之

间节点的最短距离为 1,但是同一群体之间节点的最短距离为 2,因为在同一群体中节点之间的距离要靠另一个群体的节点进行联系。最后中介中心度度量的是一个节点处在其他两个节点中间的程度,如果某个节点位于其他节点的最短路径上,该节点就处于中心,这说明为了有一个大的中介中心度,节点必须在通过更多节点间的最短路径之间。即如果一个节点处在许多交往网络的路径上,那么他很有可能处于重要的地位,因为此时此刻该节点的位置就像一个交通枢纽一样拥有控制资源信息和他人交往的能力。

除了用这 3 个中心度来刻画导演—演员的双模网络结构特征,我们还希望研究组织成员的“派系”关系,即在导演与演员圈中是否存在着固定的合作关系,比如是不是香港导演就更愿意和香港演员合作,而大陆导演更愿意和大陆演员合作。为了研究组织成员的派系关系,本文引入区块概念,区块是对社会网络关系矩阵的一种重组,这种重组可以依据某种社会属性,比如性别、国籍等。在本文的例子中,按照地区将导演与演员的网络邻接矩阵进行重组,考察区块内和区块间联系密度的差异和变化。通过对比这些差异和变化,可以对导演与演员这个圈子的组织结构特征有一定的了解。

## 2 数据介绍

本文研究的是导演—演员的双模网络关系,因此首先从导演出发,然后确定与之合作的主要演员。为了研究合作网络随时间的动态变化,主要关注 2004 年至 2013 年这 10 年间在中国内地上映的电影。本文的数据主要来源于国内专业电影资料库——时光网。

首先从网上的“中国著名导演名录”中筛选出了中国(包括大陆和港台)近十年来有电影作品在内地上映的 82 名导演,其中基本涵盖了这个时期内所有的知名导演;然后收集了这 82 名导演在 2004-2013 年间拍摄并在内地上映的所有电影,合计 342 部,以及这些电影的主演,合计 854 人。在导演中,来自大陆、香港、台湾的导演各占 56%、34%和 10%,这些导演在近十年拍摄电影数最少为 1 部,最多达 23 部,平均为 4.17 部。在演员中,来自大陆、香港、台湾、海外的演员各占 39%、28%、17%和 16%。

本文采取社会网络分析中的双模网络分析方法,并使用社会网络分析专用软件 Ucinet 进行数据处理,包括绘制网络结构图和计算网络结构参数(网络密度、点度中心度、接近中心度和中介中心度等),其中网络结构图使用 Ucinet 里的 Netdraw 实现。密度代表了一个图中各个点之间关联的紧密程度,它的计算公式是用网络中实际拥有的连线数除以可能拥有的最大连线数,在双模网络中,由于节点来自两个群体,所以可能拥有的最大连线数是  $m * n$ ,其中  $m$  和  $n$  分别代表两个群体的节点个数。双模网络中这 3 种中心度的计算与单模网络中的计算并不一样,正因为双模网络中存在两种不同的节点,所以对于 3 种指标的标准化计算会有一些不同,本文使用 Borgatti 和 Everett 的方法来计算 3 种指标的标准化数值。

具体,用  $G(A+E, R)$  代表导演—演员的双模网络,其中  $A$  和  $E$  分别代表导演和演员集合,  $R$  代表导演与演员之间的合作关系。其中导演集合的大小为  $n$ , 演员集合的大小为  $m$ 。用  $C_D, C_C, C_B$  分别代表非标准化的点度中心度、接近中心度和中介中心度。则:

$$1) \text{ 导演}(x) \text{ 标准化的点度中心度: } \frac{C_D(x)}{m}$$

$$2) \text{ 演员}(y) \text{ 标准化的点度中心度: } \frac{C_D(y)}{n}$$

$$3) \text{ 导演}(x) \text{ 标准化的接近中心度: } \frac{m+2n-1}{C_c(x)}$$

$$4) \text{ 演员}(y) \text{ 标准化的接近中心度: } \frac{n+2m-1}{C_c(y)}$$

$$5) \text{ 导演}(x) \text{ 标准化的中介中心度: } \frac{C_B(x)}{\frac{1}{2}(m^2(s+1)+m(s+1)(2t-s-1)-t(2s-t+3))}$$

其中,  $s$  代表  $(n-1)/m$  的整数部分,  $t$  代表余数部分。

$$6) \text{ 演员}(y) \text{ 标准化的中介中心度: } \frac{C_B(y)}{\frac{1}{2}(n^2(p+1)^2+n(p+1)(2r-p-1)-r(2p-r+3))}$$

其中,  $p$  代表  $(m-1)/n$  的整数部分,  $r$  代表余数部分。

### 3 研究结果

#### 3.1 网络基本特征分析

首先对导演—演员的双模网络进行了初步的描述性分析,在双模网络中定义“关系”为导演与演员合作过一部电影,因此这是一种无向关系,网络密度可以刻画一个网络中各个节点的合作密集程度。该合作网络由 82 名导演和 854 名演员构成,网络密度为 0.026,即观察到的合作关系只是理论上的最大值的 2.6%,说明这是一个非常稀疏的网络结构。该双模网络中导演和演员的 3 种中心度的描述性统计如表 1 所示。

表 1 双模网络 3 种中心度描述性统计

Tab. 1 Descriptive statistics of three centrality measures in two mode network

成员类别	中心度	均值	标准差	最小值	最大值
导演	点度中心度	27.33(0.032)	25.67(0.030)	4(0.005)	143(0.167)
	接近中心度	3 406(0.303)	406.39(0.035)	2 749(0.224)	4 540(0.370)
	中介中心度	10 653.23(0.024 4)	10 105.32(0.023)	436.56(0.001)	56 753.32(0.130)
演员	点度中心度	2.624(0.032)	3.115(0.038)	1(0.012)	26(0.317)
	接近中心度	3 946(0.459)	464.09(0.052)	2 895(0.326)	5 488(0.618)
	中介中心度	588.5(0.001)	1 705.3(0.004)	0.000(0.000)	17 702.65(0.041)
网络中心度(导演)			1.673%		
网络中心度(演员)			0.281%		

其中括号里的数字是将各个指标标准化后的结果。从非标准化的指标可以看到在该双模网络中导演平均和 27 个演员合作过,其中合作最多的是 143 个演员,而演员平均和 3 个导演有过合作,其中合作最多的有 26 个导演。平均来说演员的接近中心度要大于导演,说明在该网络中,比起导演,演员作为信息交流者更有效率,他们能快速与其他节点产生内在连接。导演的平均中介中心度指标要远远大于演员,这说明了导演在双模网络中处在比较重要的位置,对资源信息的控制能力较强。从表 1 中可以看到导演的网络中心度要明显高于演员(1.67%对 0.28%),这说明导演之间的集中程度要高于演员。这很容易理解,因为在一部电影中通常只有一个导演但却有很多个演员,因此一个导演可以同时和很多个演员有合作关系。而演员的集中度之所以低可能是因为演员的数量相对于导演要大很多,一个演员同时和多个导演合作的可能性比较小,这就导致了演员的中心度较低。

除此之外本文统计了点度中心度排在前 5 位的导演和演员情况,详见表 2。

我们发现无论是导演还是演员,排名前 5 位的都在香港地区,这也进一步说明了在我们的网络中香港的导演和演员确实处于比较重要的地位。而且这些基本是名导和名演员,值得注意的是在演员中林雪可能并不怎么出名,可是搜索之后发现原来这个演员可以算的上是“金牌”配角,几乎在任何一部卖座的电影里都能找到他的身影。另外本文还对导演和演员的点度中心度的非标准化数值进行了图示分析,在单模的社会网络中通常认为个体的度数服从 Power-Law 分布,那么在双模网络中,两组节点的度数是否也服从 Power-Law 的分布呢?为此,通过直方图的方法分别展示导演和演员的点度分布情况。

表 2 点度中心度前 5 位的导演和演员情况

Tab. 2 Top 5 degree centrality for directors and actors

成员类别	姓名	地区	点度中心度	接近中心度	中介中心度
导演	王晶	香港	143	2 749	56 753.32
	杜琪峰	香港	123	2 889	25 320.71
	叶伟信	香港	83	2 906	37 107.94
	麦兆辉	香港	82	2 931	26 193.84
	刘伟强	香港	82	2 889	33 178.86
演员	古天乐	香港	26	2 992	6 476.58
	吴彦祖	香港	22	3 084	9 067.21
	甄子丹	香港	19	2 992	8 635.44
	梁家辉	香港	18	2 938	15 975.56
	林雪	香港	18	3 331	2 590.63

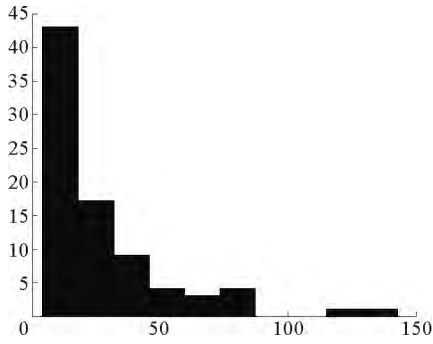


图 1 导演点度的分布

Fig. 1 Degree distribution for directors

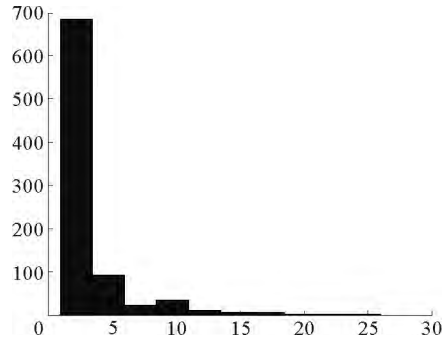


图 2 演员点度的分布

Fig. 2 Degree distribution for actors

其中直方图的横轴表示度数,纵轴表示拥有该度数的人数,从这两幅图中可以看到导演和演员的度数近似服从 Power-Law 分布,共同的特征是有很多人的度数很小,而仅有很少一部分人会有很大的度数。

在导演与演员的关系网络中,我们主要关注导演与演员的合作关系。重复合作的存在是一个比较明显的信号,说明该导演比较认可该演员,今后建立长期合作关系的可能性比较大。由于在本网络中涉及的节点较多,为了用图示的方法更清晰地展现出导演与演员的合作网络关系,这里选取那些合作超过 2 次的节点进行绘制,得到图 3,其中圆圈代表导演节点,方块代表演员节点,圆圈的大小表示该导演在这 10 年间拍摄的电影数,而方块的大小代表演员在这 10 年间参演的电影数,线的粗细代表该导演和演员合作的次数,线越粗说明合作的次数越多。不同的颜色代表来自不同的地区,蓝色代表香港,红色代表大陆,黑色代表台湾,灰色代表海外。

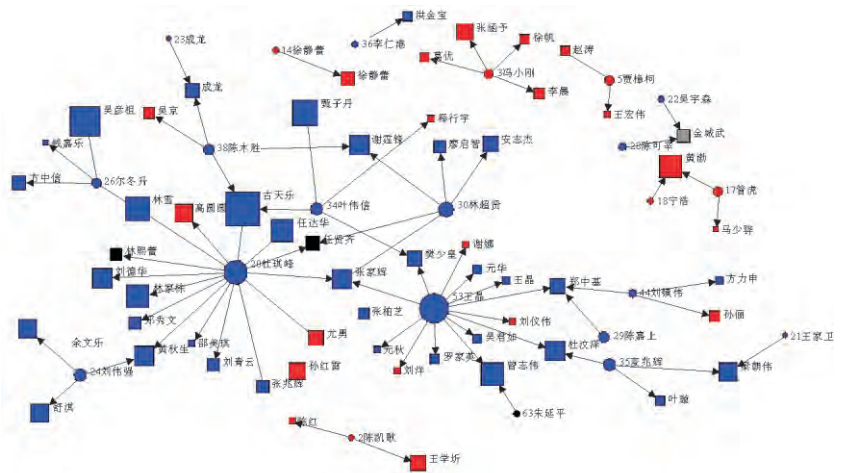


图 3 合作超过 2 次的导演—演员网络关系

Fig. 3 Director-actor network structure of cooperation over twice

从图 3 可以看出香港导演比大陆导演更容易和演员保持长期关系,他们有更多的“御用演员”,在这方面,香港导演杜琪峰表现尤为突出。从拍片数量看,王晶最高产,但是其影响力并不如杜琪峰。整体来看,香港导演的影响力要大于大陆导演。演员方面可以看到香港的古天乐、吴彦祖和甄子丹是比较高产的演员,大陆方面,黄渤、张涵予和高圆圆是比较高产的演员。从图中可以看出越是高产的导演,越愿意和高产的演员合作,而且明显香港导演和演员的合作密集程度要远远大于大陆方面。

从图 3 可以看出香港导演比大陆导演更容易和演员保持长期关系,他们有更多的“御用演员”,在这方面,香港导演杜琪峰表现尤为突出。从拍片数量看,王晶最高产,但是其影响力并不如杜琪峰。整体来看,香港导演的影响力要大于大陆导演。演员方面可以看到香港的古天乐、吴彦祖和甄子丹是比较高产的演员,大陆方面,黄渤、张涵予和高圆圆是比较高产的演员。从图中可以看出越是高产的导演,越愿意和高产的演员合作,而且明显香港导演和演员的合作密集程度要远远大于大陆方面。

### 3.2 网络中的子群分析

在导演—演员网络中是否存在一些子网络?例如是否香港导演和演员更愿意抱团形成一个子群?于是我们利用图示方法进行成分分析,结果显示在这个大网络中存在一个大的子群,该子群中以香港导演和演员为中心,部分大陆导演和演员处于边缘(见图 4)。

除了这个大的子群,还有一些小的孤立的子群(图 5),在这些小的孤立子群中,我们发现绝大多数都是大陆的导演和演员,而且他们通常是自我抱团,形成一个又一个小团体。从成分分析中不难得出以下两点结论:1)香港导演和演员处于这个网络的中心地位,而且合作紧密;2)大陆导演和演员更容易形成自我团体,不太容易进行大范围的紧密合作。

从图 4 中可以看到,有部分大陆演员和香港导演有很多合作。为了揭示香港导演与大陆演员合作的变化趋势,我们选取了 3 个时间段:2004 年~2006 年、2007 年~2009 年、2010 年~2013 年,分别画出这 3 阶段的香港导演与演员合作的关系图。图 6 至图 8 分别说明了这十年中香港导演与演员关系之间的动态关系。

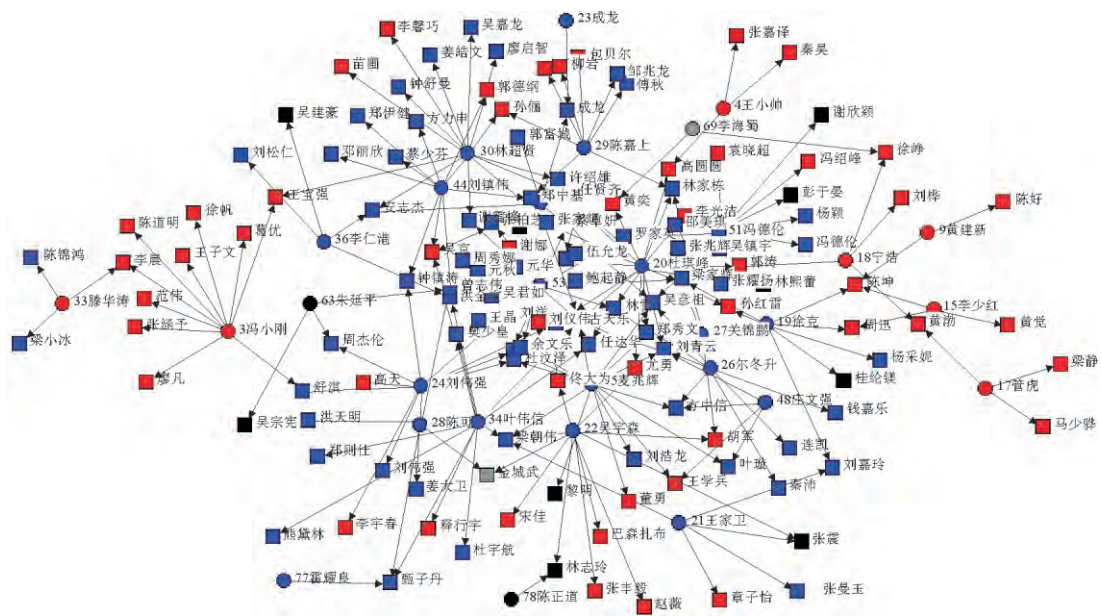


图 4 最大的子群

Fig. 4 The largest subgroup

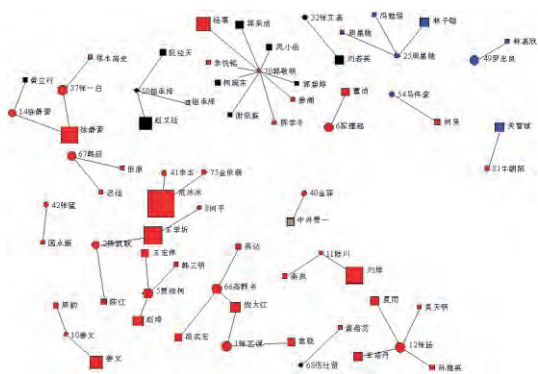


图 5 其他子群

Fig. 5 Other subgroups

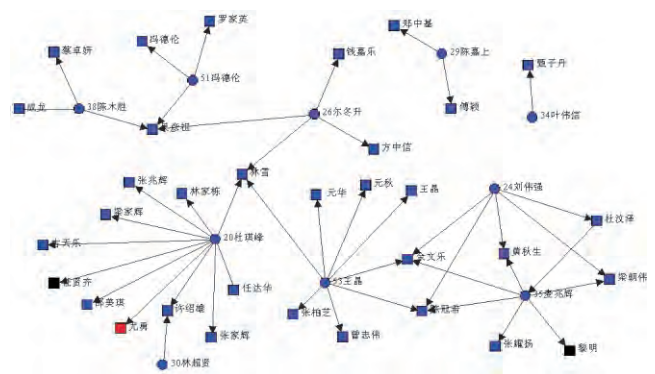


图 6 2004年—2006年香港导演与演员合作关系图

Fig. 6 Hong Kong director-actor network structure from 2004 to 2006



图 7 2007年—2009年香港导演与演员合作关系图

Fig. 7 HongKong director-actor network structure from 2007 to 2009

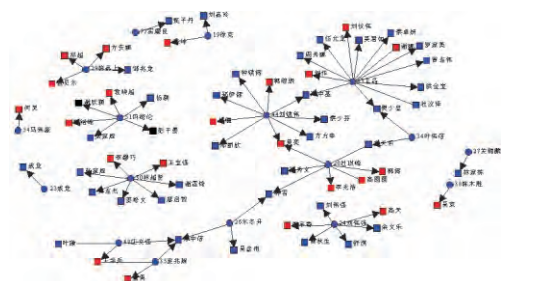


图 8 2010年—2013年香港导演与演员合作关系图

Fig. 8 HongKong director-actor network structure from 2010 to 2013

第 1 阶段(2004 年—2006 年)香港导演还主要是与香港演员合作,几乎没有大陆演员。第 2 阶段(2007 年—2009 年),已经有 3 个大陆演员开始和香港导演有超过一次的合作关系了。这阶段上映的电影较少,网络比较稀疏,可能的一个原因是金融危机导致了电影产业的暂时萎靡。但是,到了第 3 阶段(2010 年—2013 年),电影数量明显增多,而且与香港导演合作的大陆

表 3 各个区块的密度

Tab. 3 Density of each block

	港台演员	大陆演员	海外演员
港台导演	0.083	0.029	0.022
大陆导演	0.010	0.030	0.012
海外导演	0.011	0.014	0.031

演员增多,显示香港导演已经开始越来越多地和大陆演员合作了。

进一步地我们希望通过导演—演员的双模网络去研究电影江湖中的“派系”组成,通过“派系”分析了解电影圈的结构特点。我们采取了“区块”分析的方法,把导演—演员的社会关系网络矩阵按照地区进行了重组,分别为港台区、大陆区和海外区,这样通过重组原来的社会关系网络矩阵就变成了 $3 \times 3$ 的区块。通过 Block 分析,得到 9 个区块的密度如表 3。

其中对角线区块表示同一地区的导演与演员合作圈,可以看到香港的导演演员合作关系要强于大陆和海外,分析结果均验证了我们前面的分析,可以看到在电影江湖中确实存在着“派系”关系,至少从地区上来看,同一地区的导演和演员更愿意在一起合作,如果单从导演来看,港台地区的导演更活跃,和各个地区的演员都有比较紧密的合作。

#### 4 结论与讨论

本研究运用双模网络分析方法对近十年来中国(包括港澳台)电影导演—演员合作关系数据进行了分析,导演—演员双模网络的网络密度只有 0.026,具备了网络的稀疏性,较小的接近中心度说明该双模网络同样具备小世界特性<sup>[3]</sup>。

我们认为这样的双模网络结构对研究信息传播有很大的帮助,例如中心度的结果说明香港导演和演员是信息的主要传播渠道,在网络中是比较活跃的。接近中心度的结果说明比起导演,演员作为信息交流者更有效率,他们能快速与其他节点产生内在连接。最后,中介中心度的结果说明导演更多地处于其他节点间的最短路径上,可以控制网络中其他节点之间的相互作用,可以对其他节点产生一定的压力。

然而,本研究也有一定的不足和局限,具体体现在:1)本研究还局限在基于横截面数据分析,今后可以考虑根据时间序列数据动态考察导演和演员在网络中的地位演变,以及网络地位与收益之间的因果关系。2)本文对社会资本的研究仅考虑了有关网络变量,今后还可以把演员的一些社会属性,以及影片本身的一些属性加进来进行综合分析,看这些变量与电影票房(电影评分)是否有显著的相关性。

在接下来的研究中,我们会进一步探索社会网络属性变量与社会资本之间的因果关系,考虑采取适合的回归分析方法进行研究。此外,我们还将引入对双模网络中与个体有联系的其他个体的特征的考量,比如一个导演与身价高的演员合作是否伴随着更大的收益,或者一个演员与影响力大的导演合作是否会带来更高的身价。

#### 参考文献:

- [1] 向往. 电影导演技术的重要性[J]. 北京电影学院学报, 2012, (3): 17-24.  
Xiang Wang. The importance of film director technology [J]. Journal of Beijing Film Academy. 2012, (3): 17-24.
- [2] Wasserman S, Faust K. Social Network Analysis: Methods and Applications [M]. Cambridge: Cambridge University Press. 1994.
- [3] Watts D J, Strogatz S H. Collective dynamics of “small-world” networks [J]. 1998, Nature: 393, 440.
- [4] 赫南, 涂文燕, 李德毅, 等. 一个小型演员合作网的拓扑性质分析[J]. 复杂系统与复杂性科学, 2006, 3(4): 1-10.  
He Nan, TuWenyan, Li Deyi, et al. The topological analysis of a small actor collaboration network [J]. Complex Systems and Complexity Science, 2006, 3(4): 1-10.
- [5] 刘爱芬, 付春花, 张增平, 等. 中国大陆电影网络的实证统计研究[J]. 复杂系统与复杂性科学. 2007, 4(3): 10-16.  
Liu Aifen, Fu Chunhua, Zhang Zengping, et al. An empirical statistical investigation on Chinese mainland movie network [J]. Complex Systems and Complexity Science, 2007, 4(3): 10-16.
- [6] Newman M E J. Scientific collaboration networks: I. network construction and fundamental results [J]. Physics Review E, 2001, 64: 016131.
- [7] Newman, M E J. Scientific collaboration networks: II. Shortest paths, weighted networks, and centrality [J]. Physics Review E, 2001, 64(1/2): 132-158.
- [8] Robins G., Alexander M., Small worlds among interlocking directors: network structure and distance in bipartite graphs [J]. Computational & Mathematical Organization Theory, 2004, 10 (1), 69-94.
- [9] Conyon M J, Muldoon M R., The small world of corporate boards [J]. Journal of Business Finance & Accounting, 2006, 33(9), 1321-1343.
- [10] Battiston S, Catanzaro M, Statistical properties of corporate board and director networks [J]. European Physics Journal B 2004, 38, 345-352.
- [11] Borgatti S P, Everett M G, Network analysis of 2-mode data [J]. Social Networks, 1997, 19 (3), 243-269.
- [12] Freeman L C, Centrality in social networks: I. Conceptual clarification [J], Social Networks, 2013, 1(3): 215-239
- [13] Sabidussi G, The centrality index of graph [J]. Psychometrika. 1966, 31: 581-603
- [14] Coleman J S. Foundations of Social Theory [M]. Cambridge, MA: Harvard University Press, 1990

(下转第 80 页)

ics: cellular automaton simulations for target waves in excitable media[J]. *Communications in Theoretical Physics*, 2010, 53(1):171-174.

[14] Wasserman S. *Social Network Analysis: Methods and Applications*[M]. Cambridge: Cambridge University Press, 1994.

[15] Wu J, Watts D J. Small worlds: the dynamics of networks between order and randomness. [J]. *Sigmod Record*, 1999, 31(2):74-75.

[16] Daihai H, Gang H, Meng Z, et al. Pattern formation of spiral waves in an inhomogeneous medium with small-world connections. [J]. *Physical Review E Statistical Nonlinear & Soft Matter Physics*, 2002, 65(5Pt2):126-126.

[17] Orit S, Ido G, Ronen S, et al. Morphological characterization of in vitro neuronal networks[J]. *Physical Review E Statistical Nonlinear & Soft Matter Physics*, 2002, 66(2):1039-1044.

[18] 甘正宁, 马军, 张国勇, 等. 小世界网络上螺旋波失稳的研究[J]. *物理学报*, 2008, 57(9), 5400-5406.  
Gan Zhengning, Ma Jun, Zhang Guoyong, et al. Instability of spiral wave in small-world networks[J]. *Acta Phys Sin*, 2008, 57(9), 5400-5406.

[19] 马军, 唐军, 张爱华, 等. 二维格子神经元网络中螺旋波的鲁棒性和破裂[J]. *中国科学*, 2009, (12):1754-1761.  
Ma Jun, Tang Jun, Zhang Aihua, et al. Robustness and breakup of spiral wave in a two-dimensional lattice networks of neurons[J]. *Sci China Phys Mech Astron*, 2009, (12):1754-1761.

[20] 宋宣玉, 钱郁, 陈光旨, 等. 不同缺陷对周期螺旋波的影响[J]. *广西物理*, 2007,(1):7.  
Song Xunayu, Qian Yu, Chen Guangzhi, et al. The effect of different defects on the periodic spiral wave[J]. *Guangxi Physics*, 2007,(1):7.

[21] Hendrey M, Ott E, Antonsen T M. Effect of inhomogeneity on spiral wave dynamics[J]. *Physical Review Letters*, 1999, 82(4): 859-862.

[22] Hendrey M, Ott E, Antonsen T M. Spiral wave dynamics in oscillatory inhomogeneous media[J]. *Physical Review E*, 2000, 61(5): 4943.

[23] Xie F, Qu Z, Weiss J N, et al. Coexistence of multiple spiral waves with independent frequencies in a heterogeneous excitable medium[J]. *Physical Review E*, 2001, 63(3): 031905.

[24] 田昌海, 邓敏芝, 孔令江, 等. 螺旋波动力学性质的元胞自动机有向小世界网络研究[J]. *物理学报*, 2011, 60(8): 80505-80505.  
Tian Changhai, Deng Minzhi, Kong Lingjiang, et al. Cellular automaton simulation with directed small-world networks for the dynamical behaviors of spiral waves[J]. *Acta Phys Sin*, 2011, 60(8):80505-80505.

[25] 戴瑜, 唐国宁. 离散可激发介质激发性降低的几种起因[J]. *物理学报*, 2009, 58(3): 1491-1496.  
Dai Yu, Tang Guoning. Some origins of the low excitability of a discrete excitable medium[J]. *Acta Phys Sin*, 2009, 58(3):1491-1496.

(责任编辑 李进)

=====  
(上接第 75 页)

[15] Bourdieu P, Wacquant L J D. *An Invitation to Reflexive Sociology* [M]. Chicago, IL: University of Chicago Press,1992

[16] Burt R S. *Structural Holes* [M]. Cambridge, MA: Harvard University Press,1992

[17] Putnam R D. *Making Democracy Work* [M]. Princeton, NJ: Princeton University Press,1993

[18] Coleman J S. Social capital in the creation of human capital [J]. *American Journal of Sociology*, 1988, 94:S95-S120.

[19] Baker W E. The social structure of a national securities market [J]. *American Journal of Sociology*, 1984, 89:775-811.

[20] Baker W E, Iyer A. Information networks and market behavior [J]. *Journal of Mathematical Sociology*, 1992, 16:305-332.

[21] Granovetter M S. The strength of weak ties [J]. *American Journal of Sociology*, 1973, 78:1360-1380.

[22] Freeman L C. A set of measures of centrality based on betweenness [J]. *Sociometry*, 1977, 40:35-40.

[23] Burt R S. The network structure of social capital [J]. *Research in Organizational Behavior*, 2000, 22:345-423.

(责任编辑 耿金花)