

Research on the Dynamic Structure and Evolution of the Network of Conspiracy Relationships in Engineering Tendering and Bidding

Zitao Fan

CHN Energy Investment Group, Hohhot, Inner Mongolia, 010020, China

Abstract

Traditional statistical methods often examine influencing factors from the perspective of macroeconomic and social development, while simulation methods focus on using computer software to simulate and analyze the dynamic behavior of the system. This project proposes a new research perspective, which is to use social relationship graphs to explore network structures in depth. We will combine descriptive and visual research methods to conduct a detailed analysis of the complex network structure in bidding collusion, aiming to reveal the deep level mechanism of the network structure's impact on the dynamic evolution of collusion relationship networks.

Keywords

engineering bidding and tendering; conspiracy relationship; social network

工程招投标合谋关系网络动态结构及其演化研究

樊子涛

国家能源集团公司, 中国 · 内蒙古 呼和浩特 010020

摘 要

传统统计学方法多从宏观经济社会发展的视角去审视影响因素, 而模拟法则侧重于利用计算机软件对系统的动态行为进行仿真分析。本项目则提出一个新的研究视角, 即利用社交关系图谱深入探索网络结构。将结合描述性和可视化的研究方法, 对招标共谋中的复杂网络结构进行细致剖析, 旨在揭示网络结构对共谋关系网络动态演化的深层次作用机制。

关键词

工程招投标; 合谋关系; 社会网络

1 引言

多年来, 招投标领域乱象丛生, 虽然中国在“围标串标”方面逐年加大打击力度, 从中央到地方连续下发多则相关文件, 但招投标合谋问题仍屡禁不止。应用社会网络分析方法, 深入探究工程招投标过程中构成合谋关系的网络发展动态特征, 合理推测工程招投标合谋的演化规律, 对规范工程招投标过程具有重要参考价值。

2 合谋关系网络构建方法

2.1 社会网络分析的深化应用

社会网络分析 (SNA) 作为一种研究工具, 能够细致地描绘群体、组织及其成员之间的复杂关系。在此框架下, 将社交网络中的参与者视为各种实体, 如组织、城市、国家乃至个人。表 1 详细列出用于分析的社交网络关联指数。

【作者简介】樊子涛 (1973-), 男, 中国内蒙古人, 高级会计师, 从事招标采购研究。

表 1 社会网络分析指标

名称	计算公式	指标定义
网络密度	$D = \frac{2K}{n(n-1)}$	网络密度表示网络内的合谋行为为联系的紧密度, 密度越大则网络结构越稳定
点度中心度	$C_{RDi} = \frac{d(n_i)}{g-1}$	点度中心度表示合谋行为人在整个网络中所处位置重要性的指标, 当网络中一名合谋行为人与其他合谋行为人联系越多, 则其点度中心度的值越高
中间中心度	$C_{RBI} = \frac{2 \sum_j^n \sum_k^n b_{jk}(i)}{n^2 - 3n + 2}$	中间中心度表示合谋人对资源的控制程度。当网络中一名合谋行为人在许多合谋行为人对的捷径上, 则该名合谋人中间中心度的值越高
接近中心度	$C_{RPI} = \frac{n-1}{\sum_{j=1}^n d_{ij}}$	接近中心度是一种针对不受他人控制的测度。当一名合谋行为人与网络中其他所有合谋行为人的距离都很短, 则该名合谋行为人的接近中心度的值越高

2.2 随机行动者模型及其在网络演化中的应用

随机行动者模型的心理理论在于：网络中的参与者会评估自身的位置，并通过调整其连接关系——如建立新连接、维护或断开现有连接——来优化其在网络中的位置和获得的收益^[1]。本项目将采用基于马尔科夫过程的动态仿真方法来研究这一模型，对特定时段内的连续监测数据进行建模，深入探索网络结构、行为特征等因素如何影响网络的动态演变。控制函数如下：

$$f_i^{net}(\beta, x) = \sum_k \beta_k^{net} s_{ki}^{net}(x)$$

其中， s^{net} 为影响节点关系选择的各种结构效应； β^{net} 为结构效应的参数估计。

在随机行动者模型中，网络节点的连接选择是由一个目标函数决定的，该函数考虑多种因素。共谋关系网络的形成是一个受内外部因素共同驱动的动态且复杂的过程^[2]。内部影响力主要涉及节点在网络中的角色，如传递性三元组、三元环和互惠性等网络特性。而外部影响力则与节点自身的属性有关，如“质量”等。

三联体结构在社交网络中极为常见，它揭示好友之间的关联，并体现社交网络的传递性和封闭性。特别是传递三元组和三元环（见图 1），它们虽然都是闭合网络，但前者呈现层级性，后者则具有对等性。

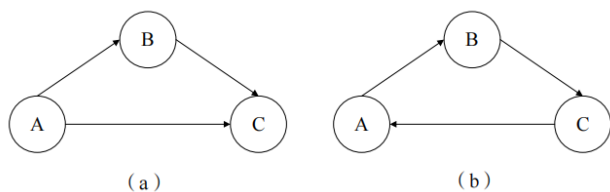


图 1 三元包结构

互惠性是社交网络中的一个基本特性，即网络中的参与者倾向于对他人的善意行为给予相同的回应。在定向网络中，互惠性成为衡量两个节点间互联程度的重要指标。

3 合谋关系网络动态结构及演化分析

3.1 案例信息详解

本研究精选中国法院网站、《澎湃新闻》《中国经济周刊》等权威媒体发布的典型案件，根据案件中提及的工程时序信息，将相关数据划分为三个关键时间段：T1、T2 和 T3，以便更细致地分析网络动态。

为确保研究的广泛适用性，对共谋者进行详尽的分类。依据其在合谋中的角色，将共谋者划分为招标人（A 类）、投标人（B 类）和陪标人（C 类）。此外，还根据共谋者参与项目的顺序进行排序，具体信息参见表 2。

T1 期间共谋事件概述：在 2014 年下半年至 2015 年期间，B01、B02、B03 和 B04 计划竞标某市一号线的电气设备工程。B01 通过前同事 A01（A02 的亲弟弟）与市轨道交通集团公

司董事长 A02 取得联系。随后，A02 介绍 B05 给 B01，共同商讨投标事宜，并通知其下属 A03 和 A04。为便于 B01 和 B05 中标，A03 和 A04 在招标时特意增加“三级一类”的投标要求。最终，B01 和 B05 分别中标两个和三个标包，此次工程随之结束。

表 2 合谋行为人及其编号

时期	关联工程	招标人	投标人	陪标人
T1	机电安装项目	A01、A02、A03、A04	B01、B02、B03、B04、B05	C01、C02、C03、C04、C05、C06
T2	地面四小件项目	A01、A02、A03	B01、B03、B06、B07	C07、C08、C09
T3	大学宿舍改造项目	A01、A02、A05、A06、A07	B01	C10

T2 期间共谋事件概述：2015 年下半年，B01 获悉轨道交通 1 号线的另一工程信息，并再次通过 A01 联系到 A02。A02 推荐 B07 给 B01，并派 A03 协助其竞标。同时，B03 安排 B06 加入 B01 负责的工地管理，并寻找建筑公司进行分包招标。最终，B01 成功中标，此次合谋事件结束。

T3 期间共谋事件概述：A05 计划将 3 号线的一所高校宿舍楼改建工程承包给某城市公司，并委托 B01 下属的 C10 负责施工。A06 则根据 A05 的要求进行对接。最终，B01 成功中标，标志着此次合谋事件的终结。

3.2 合谋关系网络的构建及其动态结构深度分析

本研究基于共谋事件的详细信息，构建相应的共谋关系矩阵。在这个矩阵中，节点代表项目参与者，而他们之间的联系则通过“0”和“1”来表示：存在共谋关系则标记为“1”，否则为“0”。利用这一矩阵，进一步根据三个不同时间点的共谋数据，构建 T1、T2 和 T3 三个阶段的合谋关系网络。通过社交网络分析方法，整合这些网络，形成 T1-T2 和 T1-T2-T3 的合谋关系网络，并使用 Netdraw 工具进行直观的可视化展示^[3]。

通过对案件中涉及的合谋人员和关联数据进行深入分析，对 T1 至 T3 期间的网络数据进行全面的统计。分析结果显示：在关联度为 0~0.25 的范围内，网络连接的分布相对集中，这表明网络呈现出稀疏连通的特点。值得注意的是，三个阶段的合谋关系网络均属于稀疏型，即 T1、T2 和 T3 阶段的整体网络结构密度均未超过 0.25。从 T1 到 T3 阶段，随着节点数量和连接数的增加，说明不断有新的成员加入合谋网络中。然而，整体的网络密度和聚类系数却逐渐降低，而平均距离逐渐增大。这一趋势表明，合谋关系网络正逐渐变得更加稀疏和松散。

根据 Enders 等人的观点，当网络处于松弛状态时，网络行为趋向于形成一种较为开放的结构。这种疏松的网络结构往往更难以检测。同样，合谋关系网络作为一种非法的网络形式，也随着时间的推移而呈现出越来越疏松的特点^[4]。

3.3 合谋关系网络的演化机制分析

本研究采用随机参与者建模方法，深入探讨不同时期共谋行为主体的动态变化，以揭示合谋关系网络的演化机理。首先，引入 T0 环节来刻画共谋发生前主体间的关联状态，随后利用马尔科夫链蒙特卡洛方法（MCMC）进行建模，并进行显著性检验。为进一步分析，使用 R 语言开发 Rsiena 软件包，对网络的动态变化进行模拟。通过模型评估发现：

全局最大收敛性：模型的全局最大收敛比达到 0.0458，远低于 0.25 的阈值，表明模型具有良好的全局收敛性。各节点的 t-ratio 均不超过 0.14，验证模型参数估计的收敛性^[5]。

网络变动率分析：在不同阶段，共谋关系中各节点的连接方式发生变化。结果显示，T1 阶段节点间连接度最高（0.6794），而 T2 和 T3 阶段连接度较低（0.2982，0.2194）。这表明在共谋初期，关系变动频繁（以新关系形成为主），而随着共谋网络的稳固，参与者更倾向于维持现有关系而非建立新连接。这反映共谋者偏好与有过合作的人再次共谋，增加共谋的隐蔽性，同时也加大检测难度。

三联体结构影响：传递三元组的参数为正（1.9939），表明它有助于共谋网络的发展；而三元环的系数为负（-1.2346），可能阻碍网络形成。共谋者更倾向于与朋友的朋友建立联系，这种信任关系促进网络的快速发展。传递三元组的主观倾向性强于三元环的迁移性，说明共谋成员在建立关系时具有明确的目的性。

同质性效果分析：同质性效果的系数为负（-0.0753），

表明相同属性的个体间连接并不促进共谋网络的形成。在招投标过程中，不同角色的行为人通过垂直关联获取各自利益，这种关联是推动共谋网络发展的关键。

互惠效果的重要性：互惠效果的系数为正（1.7422），显示互惠在共谋关系形成中扮演重要角色。共谋行为以追求个人利益为最终目标，各参与方均受利益驱动加入共谋网络。因此，互惠作用贯穿共谋网络的发展始终，是网络扩张的重要动力。

4 结语

综上所述，通过对合谋关系网络的深入分析和动态模拟，在一定程度上揭示网络演化的内在机制及其影响因素。这些发现不仅有助于增进对共谋行为的理解，也为预防和检测共谋行为提供新的视角和思路，以提高社会治理的效率和公正性。

参考文献

- [1] 牟程竹.工程招投标合谋行为与防治策略研究[J].中国招标,2022(11):132-133.
- [2] 朱文喜,张勇.工程招投标合谋关系网络动态结构及其演化研究[J].工程管理学报,2022,36(5):25-30.
- [3] 龙吴燕.基于文本挖掘的建设工程招投标合谋行为及其关联因素研究[D].重庆:重庆大学,2022.
- [4] 王晓维.工程投标合谋的外部环境影响机理及治理对策研究[D].重庆:重庆大学,2022.
- [5] 吴丽丽.建设项目招投标纵向合谋演化博弈研究[D].武汉:武汉理工大学,2022.