

企业研发团队复杂网络的可视化与描述^①

李建勋¹, 李维乾², 郭莲丽¹, 邓朝晖¹, 刘 斯²

¹(西安理工大学 经济与管理学院, 西安 710048)

²(西安理工大学 水利水电学院, 西安 710048)

摘要: 针对现有复杂网络分析软件对企业研发团队表征程度的不足, 基于 JGraph 建立了一个具有属性描述、关系多样、可互操作的复杂网络模型和其描述方法, 给出以信息组织、节点分类、建立联系和网络展现几个步骤为核心的建模方案, 并采用 J2EE 技术, 集成 JGraph 和 JFreeChart 组件, 进行了系统实现, 为复杂网络理论与企业实际相结合提供了一种可视化思路, 为模型映射、指标分析、动态演化奠定了良好的基础。

关键词: 复杂网络; 研发团队; 可视化建模

Visual Modeling and Description of R&D Team's Complex Network

LI Jian-Xun¹, LI Wei-Qian², GUO Lian-Li¹, DENG Zhao-Hui¹, LIU Si²

¹(College of Economic and Management, Xi'an University of Technology, Xi'an 710048, China)

²(College of Water Conservancy and hydropower, Xi'an University of Technology, Xi'an 710048, China)

Abstract: In view of the shortage of existing complex network analysis software on describing R&D team, a complex network model and its description method is built based-on JGraph component, which possessing attribute, diverse relationship and mutual operations. Taking information organization, node classification, establish relationship and network exhibition as the core procedure, a R&D team's complex network modeling scheme is provided. Then by adopting J2EE technology, a demo system is realized with integrating JGraph and JFreeChart component, which providing a visual thinking of combining complex network theory and enterprise actual situation, and lay a well foundation for model-mapping, index analysis and dynamic evolution.

Key words: complex network; R&D team; visual modeling

复杂网络(Complex Network)是一种具有自组织、自相似、吸引子、小世界、无标度中部分或全部性质的网络。它能够有效表征系统中的复杂关系和网络特征, 受到了众多学者的广泛研究, 并已成功应用到数学学科、工程学科、生命学科等诸多领域。企业研发团队是企业活力的源泉, 其具有更多样的组织方式与更高的协同需求, 采用复杂网络研究企业研发团队管理能够有效的描述研发团队中的关系和属性, 建立团队成员之间的关联关系, 实现团队层次的划分, 给出团队成员合理评价和发展规划, 为研发团队的评价、发展趋势分析以及可持续发展管理提供一个崭新的思

想工具。随着复杂网络研究的开展, 目前已有多个分析软件, 如 GUESS^[1]、NetVis^[2]、Pajek^[3]、UCINET^[4,5]、NetDraw^[2,6]、NetworkX^[7]等, 实现了大量节点下的可视化分析, 解决了文字和表格无法表达复杂网络结构的问题, 支持了如结点度、接近度、介数、特征向量、子图等研究。但企业研发团队复杂网络不同于一般网络: (1)团队人员所构成的结点数量不多, 但均具有特征属性, 基本信息内容丰富; (2)人员之间的关系可能不只一条, 如业务关系, 人际关系, 技术关系等^[8], 有的还具有方向性, 如从属关系, 技术指导关系等; (3)需要支持良好的交互式表现模式, 可手动的修改网络

① 基金项目:陕西省教育厅科研计划(11JK0174);西安市科技计划(CX12179(3));陕西省科学技术研究发展计划(2012KRM78)

收稿时间:2013-04-24;收到修改稿时间:2013-08-19

现状,并在一定程度抽象描述的基础上,给出形象化表达.为此本文基于 JGraph 开展了企业研发团队的复杂网络建模与可视化描述的研究.

1 JGraph体系结构

JGraph 是由纯 Java 开发的矢量图形绘制组件,是成熟的、健壮的 Java 图形框架,具有整套的图形自动布局方案,支持图元元素和属性设置,拖、缩、放、移等互操作,实现了新建、导入、保存、撤销、全选、删除、图形的无限放大和缩小等互操作.它可以被结合到任意的 Swing 应用程序中,帮助用图论原理来进行网络图形的表示和开发,实现多任务窗口画图,打造一个便捷、灵活的复杂网络中图元、图形编辑器,表示流程图、UML、交通线路、网络等图结构. JGraph 拥有来自 ComponentUI 所衍生的独立 GraphUI,其核心类 JGraph 继承自 JComponent,并在模型 GraphModel 和视图 GraphView 的支持下形成基于 MVC 的体系结构,如图 1 所示.在绘图时, JGraph 将图元定义为一个具有 Map 形式属性和嵌套结构的 cell,每个 cell 由顶点(vertex)、边(edge)、节点(port)中的一种组件来形成.顶点可以通过边来建立邻接顶点,如图 2 所示,在有向图支持下连接边的顶点分别记为目标和源.在实现企业研发团队复杂网络的建模中,将主要使用的 JGraph 类包有: org.jgraph.graph、org.jgraph.event、org.jgraph.glaf、org.jgraph.util、org.jgraph.algebra、org.jgraph.layout,分别用于网络构造、事件模型、UI 委托、工具调用、布局格式.对图的操作则主要是图显示、图交互、图布局、图分析等.

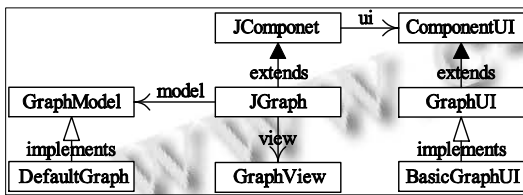


图 1 JGraph 核心关系图

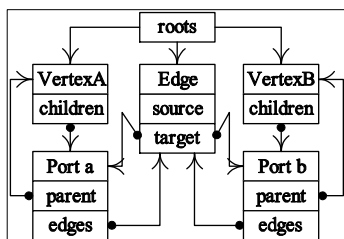


图 2 JGraph 的 Cell 关系图

2 复杂网络建模

在企业研发团队复杂网络中,节点被定义为 5 元组 Node=(id,property,type,action,icon),分别代表节点标识、节点属性、节点角色、节点集合、节点图标.节点是构成企业研发团队复杂网络的实体单元,对应于 JGraph 中的 vertex,它通过对企业研发团队的网络结构进行研究,将研发团队中的人员按照网络节点模型进行抽象,以可视化的方式表征复杂网络系统中的不同角色,如创造~革新者、探索~倡导者、评价~开发者、推动~组织者、总结~生产者、控制~核查者、支持~维护者、汇报~建议者等等^[9](其中~表示职能与角色的对应关系),其类型由 type 给出;id 采用 UDDI(Universal Description Discovery and Integration)描述,确保在同一网络图中的唯一性,并构成节点列表,成为节点信息存储的主键;action 一般为调整、离职、培训、指导、管理、交流 {adjustment, demission, training, instruction, management, interflow, ……},每个行为将对应一个算法逻辑,在扩展 JGraph 的 util 类包的服务功能后,由组件方式开发;icon 则以 URL(Uniform Resource Locator)方式给出节点单元的描述图像的资源位置,用以形象化标示实体单元,在企业研发团队复杂网络中则主要是人形的图像符号;property 需要根据所研究网络的特点和组织结构来确定,包括技术特征和人口统计特征等,如出生日期、教育程度、专业方向、职业经历、文化背景及异质性水平等,这些数据分别以定量描述和定性描述结合的方式附加给节点,以便于后期开展的复杂网络分析.

基于节点的定义和复杂网络建模基本要求,企业研发团队复杂网络中用于描述不同人员之间关系的边 Edge={sourceID,targetID, edgeType},分别代表源节点标识、目标节点标识、节点间关系的类别.Edge 是由源点节点指向目标节点的有向关系,边所代表的关联关系可以是多种关系汇集后的集成描述,亦可以是分类描述,形成不同的关系网络和图示方案,如按照业务、技术、人际等三大关系分类,并分别以 R、G、B 三种色彩表示,此时 edgeType={R,G,B}.通过 Node 和 Edge 模型的建立,整个网络实际上被刻画为 Node 和 Edge 的集合,Node 给出企业研发团队成员的抽象特征,而 Edge 则给出人员之间的关联关系状况,最终整个网络将采用 Xml 方式存储,形成了一个属性矩阵和一个关联矩阵,分别存储节点属性、节点与节点间的相互

关系, 属性矩阵与 Node 对应, 关联矩阵则与 Edge 对应, 从而构成了这两个矩阵与原始系统之间的一个映射关系, 表征出企业研发团队的复杂网络结构图, 支持相关指标的度量和分析。

在 Node 和 Edge 的模型建立后, 企业研发团队复杂网络的构建过程将被划分为信息组织、节点分类、建立联系和网络展现几个步骤。同时, 企业研发团队复杂网络的构建过程将是一个动态的, 随着企业研发团队的变化而不断更新的动态网络。①信息组织主要是使用形式化的方法, 采用调查问卷、被动收集和主动汇报方式获取数据, 或者收集公开的基准数据库, 和企业合作共享数据, 实现数据的整合、筛选和编码, 按概念、概念的属性、概念之间的关系来识别信息, 获取数据资源, 建立信息的语义联系, 并审查信息及其来源, 确定关键节点, 了解经常使用的知识、专业术语的使用、信息的使用频率。②节点分类指将职位信息、个人信息、角色信息进行分类, 建立分类标准将人员所具备和应具备的技能和个体特征显性标示出来。③建立联系主要指建立节点的索引链接, 以属性方式配置相关信息资源, 形成人员之间的关联关系, 甚至采用个性化方式构造索引, 实现人、场所、事的相关联, 记录何时、何地、何人之间的关系特征。④网络展现则采用可视化方法利用 JGraph 的 layout 布局格式(辐射结构、树形结构或者网状结构), 展现节点信息, 并标示其间的关系, 以可互操作的服务模式把企业研发团队复杂网络展现出来。

另外, 考虑到复杂网络图的动态性和扩充性, 在预先明确企业研发团队复杂网络的设计特性, 构成成分、节点关系的定义、链接资料的存贮方法等的前提下, 尽量减少对结构的控制。构建复杂网络图时, 应将原有信息通过数据整序、数据抽取、数据转换、数据净化等手段进行处理, 确保数据的一致性和完整性, 提高数据的可利用率, 将其设计成灵活、分布式的输入输出结构, 以反映节点信息的不断增长和更新。

3 可视化描述

为了便于企业研发团队复杂网络的互操作, 实现以分析为导向的复杂网络图所包含的信息量及其关联关系的有效表现, 确保描述的全面性, 同时满足操作服务的实用、方便需求, 我们采用可视化方法对复杂网络加以描述, 通过可视化描述体现企业内部信息,

强调个体在企业研发团队复杂网络中的地位, 对于节点, 赋予填充色、边线色、字体等描述, 提供操作方法, 由 JGraph 的 event 事件来激发, 如图 3 所示, 增加可视化表现的特征, 节点对应的图元则分别具有背景、留空、大小、对齐方式属性, 在 JGraph 的 glaf 委托下采用多样式的信息展现方法, 将人员所具备和应具备的技能特征显性标示出来, 实现对原本复杂网络描述能力的增强, 通过关联关系展现企业内知识的交流与共享, 每个用于表征关联关系的边给出箭头样式、线色、线上字体等描述, 使得复杂网络图的风格与企业内部组织结构、技术文化构成相匹配, 彰显工作岗位的适应性和恰当性, 以便于实现复杂网络图的演化。企业研发团队复杂网络中, 每个描述将均以 mxStyleSheet 方式给出, 其样式方式均采用 Xml 方式存储, 形成一种企业研发团队复杂网络映射方案和表示方案, 从而为关系网络的分析 and 展示提供一个可操作环境。值得注意的是, 新布局应该在每次画完图后重新设置, 并对布局重绘结果进行保存, 图 4 所示, 给出在 JgraphFunction 类中加入的平行边布局代码。

```

1 <add as="defaultVertex" extend="defaultVertex"><add as="fillColor" value="#d6d5ff" />
2 <add as="gradientColor" value="#7d85d7" /><add as="strokeColor" value="#5d65df" />
3 <add as="fontSize" value="12" /><add as="fontColor" value="#1d256f" />
4 <add as="fontFamily" value="Verdana" /></add>
5 <add as="icon" extend="label"><add as="align" value="center" />
6 <add as="imageAlign" value="center" /><add as="verticalLabelPosition" value="bottom" />
7 <add as="verticalAlign" value="top" /><add as="spacingTop" value="4" />
8 <add as="labelBackgroundColor" value="#FFFFFF" /><add as="spacing" value="0" />
9 <add as="spacingLeft" value="0" /><add as="spacingTop" value="6" />
10 <add as="fontStyle" value="0" /><add as="imageWidth" value="48" />
11 <add as="imageHeight" value="48" />

```

图 3 节点的可视化描述方式

```

1 public static void redrawLayout(mxGraphComponent graphComponent){
2     final mxGraph graph = graphComponent.getGraph();
3     final mxIGraphLayout layout = new mxParallelEdgesLayout(graph);
4     Object cell = graph.getSelectionCell();
5     if (cell == null || graph.getModel().getChildCount(cell) == 0)
6         (cell = graph.getDefaultParent());
7     graph.getModel().beginUpdate();
8     try {layout.execute(cell);}
9     finally {mxMorphing morph = new mxMorphing(graphComponent, 20, 1.2, 20);
10        morph.addListener(mxEvent.DONE, new mxIEventListener(){
11            public void invoke(Object sender, mxEventObject evt){graph.getModel().endUpdate();}

```

图 4 平行边布局重绘代码

4 总结

为了测试本文方法的正确性, 我们采用 J2EE 技术, 集成 JGraph 和 JFreeChart 可视化组件, 实现了一个基础的企业研发团队复杂网络可视化环境, 系统提供一个集网络展现、操作、管理, 网络图元的图形化表达, 网络结构图的序列化 xml 文件存储, 及网络图元的集中管理为一体的展现平台, 平台中预留为后续研发团队分析和决策等功能完善的接口。操作员只需根据实

际企业的复杂网络模型要求, 在系统中拖动、选中图元, 定制图元与研发团队人员之间的关系, 并以不同颜色的边表示, 即可构建企业研发团队复杂网络图, 如图 5 所示. 在对西安市高新区企业的实际分析中, 由于节点数据量较大, 我们还建立自动导入方式, 将存储在 Excel 文件或数据库中的人员图元、属性及其之间关系直接接入到复杂网络图中, 如图 6 所示, 有效的表征的企业研发团队复杂网络的现状.



图 5 企业研发团队复杂网络的制作

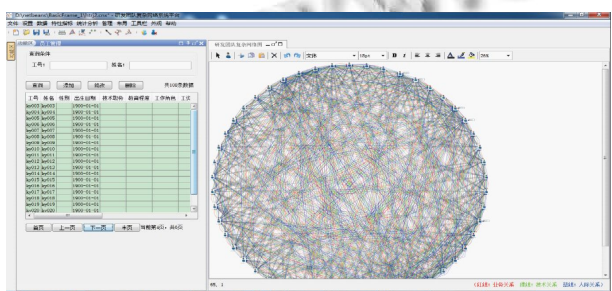


图 6 系统界面及企业研发团队复杂网络的导入

经过多次的实践分析表明, 复杂网络作为研究企业研发团队的一种全新的可直接辅助于企业人力资源管理的创新型研究方法, 具有极其强大的分析处理能力, 本文所设计的分析展示平台为复杂网络理论与企业实际相结合提供了一种可视化思路, 可快速建立起企业研发团队或者其它类型研发团队的模型, 并具有

直观性、可操作性和可量化性, 为模型映射、指标分析、动态演化奠定了良好的基础, 辅助了企业在最短的时间内做出有利于企业发展的决策, 为研发团队的管理提供一定的理论指导.

参考文献

- 1 ADAR E. GUESS: The Graph Exploration System .http://graphexploration.cond.org/.
- 2 王运峰,夏德宏,颜尧妹. 社会网络分析与可视化工具 NetDraw 的应用案例分析.现代教育技术,2008,18(4):85-89.
- 3 De Nooy W, Mrvar A, Batageij V. Exploratory social network analysis with Pajek. England, Cambridge University Press. 2005. 73-77.
- 4 邓军.整体网络分析讲义:UCINET 软件实用指南.上海:上海人民出版社,2009:34-55.
- 5 Huisman M, Van Duijn MAJ. Software for social network analysis. In: Carrington PJ, Scott J, Wasserman S, eds. Models and Methods in Social Network Analysis. New York, Cambridge University Press. 2005. 270-316.
- 6 Fruchterman TMJ, Reingold EM. Graph drawing by force-directed placement. Software-Practice and Experience, 1991, 21(11): 1129-1164.
- 7 Ahmed A, Dywer T, Hong SH. NetworkX. http://networkx.lanl.gov/.
- 8 李建勋,解建仓,郭建华.基于复杂网络的研发团队核心层划分.科技进步与对策,2011,9(28):5.
- 9 张靖江.基于团队理论的绩效评价模式[博士学位论文].合肥:中国科学技术大学,2001:1-20.

(上接第 178 页)

- 2 吕燕. 马鞍型曲线焊枪焊姿数控系统的研究与开发. 济南: 山东大学, 2009.
- 3 PCL6045B 用户手册. 日本 NIPPON PULSE MOTOR 公司, 2007.
- 4 纪文志, 陈国忠, 唐加山. 基于 CAN 总线智能节点的设计与

- 实现. 网络与通信, 2012, 31(2): 44-46.
- 5 唐润寰. 基于软件复用的嵌入式数控系统研究. 微计算机信息, 2008, 24(12-2): 84-86.
- 6 李善锋, 刘敬猛, 徐东, 陈柏成. 基于 ARM+DSP 的嵌入式 Linux 数控系统设计. 机床与液压, 2012, 40(13): 94-97.