

# 基于边介数的信息系统网络节点重要性评估方法

熊金石, 李建华, 沈迪, 王刚

空军工程大学信息与导航学院, 西安 710077

**摘要** 网络中节点的重要性评估是复杂网络研究中的一项重要内容。针对已有复杂网络节点重要性评估方法中片面强调节点的度而忽略了边对与之相连节点的支撑作用的缺陷, 构建了基于边介数的信息系统网络节点重要性评估的数学模型。该模型在充分考虑节点度的基础上, 为体现边对其端节点的支撑作用, 引入边介数概念, 形成了节点度和边介数共同作用下的评估数学模型。以某信息系统网络为例进行了仿真验证。仿真结果表明: 考虑边的支撑作用后评估结果更切合实际, 进一步印证了构建的评估模型对于评估信息系统网络节点重要性的有效性。

**关键词** 信息系统; 复杂网络; 关键节点; 边介数

**中图分类号** TN915.02

**文献标志码** A

**doi** 10.3981/j.issn.1000-7857.2013.14.009

## Evaluation Method for Node Importance of Information System Networks Based on Edge-betweenness

XIONG Jinshi, LI Jianhua, SHEN Di, WANG Gang

School of Information and Navigation, Air Force Engineering University, Xi'an 710077, China

**Abstract** It is an important content to evaluate the importance of network nodes in the research of complex network. A mathematical model for evaluating the key nodes of information system network is constructed in the light of the defects that node degree is unevenly emphasized and supporting function of edge to its correspondent nodes is ignored in the importance evaluation of complex network nodes. The concept of edge-betweenness is introduced in the person of the supporting function of edge to its correspondent nodes based on node degree, the mathematical model reflecting the joint function of node degree and edge-betweenness is formed. The simulation results by means of certain information system network demonstrate the effectiveness of the model for evaluating the importance of complex network nodes.

**Keywords** information system; complex network; critical node; edge-betweenness

### 0 引言

随着复杂网络的小世界效应及无标度性的发现, 复杂网络研究逐渐成为多个学科共同关注的前沿热点<sup>[1]</sup>。作为复杂网络的一个重要研究方向, 复杂网络的容错抗毁性也随之兴起。当一个网络已经建成而要进行网络拓扑优化时, 为了增强其容错抗毁能力, 一种可行的方法是对关键节点或链路采用冗余备份。冗余备份的前提是评估节点或链路重要性, 从而找到最关键的节点或链路。

网络中的最关键节点往往不是网络的几何中心, 所以网络节点的重要性评估问题不仅仅是发现网络图形的几何中心, 更为重要的是发现在人们所关心的几个状态上表现特别

的节点<sup>[2]</sup>。通过节点重要性评估找出那些重要的“核心节点”, 一方面可以重点保护这些“核心节点”提高整个网络的可靠性, 另外一方面也可以攻击这些“薄弱环节”达到摧毁整个网络的目的<sup>[3]</sup>。

相对于复杂网络中边的重要度评估, 复杂网络中节点的重要度评估一直以来并未受到太多关注, 现有的评估方法很有限。常用的是把节点的度作为衡量节点重要性的标准, 认为度越大的节点越重要, 该评估方法存在一定的片面性, 有些重要的“核心节点”并不一定具有较大的连接度, 如只有两条边相连的“桥节点”<sup>[4]</sup>。文献[4]中假设节点失效, 通过比较删除节点前后网络性能的变化评估节点重要度。文献[3]中认为

收稿日期: 2013-01-09; 修回日期: 2013-02-21

基金项目: 国家自然科学基金项目(61174162)

作者简介: 熊金石, 博士研究生, 研究方向为信息系统基本理论与规划建设, 电子信箱 stonedoc@126.com; 李建华(通信作者), 教授, 研究方向为网络规划与评估, 电子信箱: LJH@163.com

节点删除法存在缺陷,即如果多个节点的删除都使得网络不连通,那么这些节点的重要度将是一致的,从而使得评估结果不精确。例如,在很多实际复杂网络中都存在大量连接度为1的“末梢节点”,如果这些“末梢节点”所依附的节点被删除,网络就不再连通,由此推断这些被依附节点的重要度相同显然是不合理的。据此,文献[3]中提出一个新的评估准则,即假设在节点正常工作的情况下,通过收缩与该节点相连的边,认为收缩后得到的网络凝聚程度越高则该节点越重要,该方法综合考虑了节点的连接度以及节点所处位置,直接评估节点正常工作对网络的贡献。

### 1 信息系统网络拓扑结构描述

信息系统是由计算机及其相关的配套设备、设施构成,按照一定的应用目标和规则对信息进行采集、加工、存储、传输、检索等处理的人机系统<sup>[9]</sup>。

拓扑结构模型是在合理简化信息系统网络后,利用适当表现形式对主要特征描绘得到的分析对象。信息系统网络可以用图  $G=(V,E)$  表示,假设  $G$  有  $n$  个节点,  $m$  条边,用  $V=\{v_1, v_2, \dots, v_n\}$  表示  $G$  的节点集合,  $E=\{e_1, e_2, \dots, e_m\}$  表示边的集合。

为便于分析用图的邻接矩阵来表征图的连接状态,假定任意两个节点之间最多只存在一条边相连。图  $G$  的邻接矩阵  $A=[a_{ij}]$ , 其中

$$a_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{节点 } i \text{ 与节点 } j \text{ 有边相连} \\ 0 & \text{节点 } i \text{ 与节点 } j \text{ 无边相连} \end{cases} \quad (1)$$

### 2 基于边介数的节点重要性评估

#### 2.1 评估模型

如前所述,现有的节点重要性评估方法的出发点是节点的连接度以及节点所处位置,这忽略了与节点相连的边的影响力对该节点的支撑作用。

文献[6]中分析了节点对边的支撑作用,认为节点对边支撑作用的大小主要取决于节点的介数和节点的影响能力。相应的,边对与之相连的节点的支撑作用主要体现在边的介数和边的影响能力。

定义边介数  $e_{ij}$  代表图  $G=(V,E)$  中的一条边,假设节点对  $v_g$  和  $v_k$  之间的最短路径有  $L(g,k)$  条,其中有  $L(g,k,e_{ij})$  条经过边  $e_{ij}$ , 则  $e_{ij}$  的边介数  $B_{ij}$  可以表示为

$$B_{ij} = \frac{\sum_g \sum_k \frac{L(g,k,e_{ij})}{L(g,k)}}{n(n-1)/2} \quad (2)$$

式中  $n$  为图中节点的总数。

在网络中,边介数反映了路径对网络资源的传输能力和控制能力。边介数越大,表明网络中任意节点对经过该条边的次数越多,对网络资源的传输能力和控制能力就越强,在网络中所起的作用也就越大。

基于上述分析,构建基于边介数的节点重要性评估模型表达式为

$$E_i = D_i + \frac{\sum B_{ij}}{D_i} \quad (3)$$

式中,  $E_i$  为节点  $v_i$  的评估值;  $D_i$  为节点  $v_i$  的度;  $B_{ij}$  为边  $e_{ij}$  的介数。

#### 2.2 评估流程

根据式(2)和式(3),信息系统网络节点重要性评估流程如下:

- 步骤 1 确定信息系统网络节点  $v_i$  的度  $D_i$ ;
- 步骤 2 确定信息系统网络中所有节点对  $v_g$  和  $v_k$  之间的最短路径的条数  $L(g,k)$ ;
- 步骤 3 确定信息系统网络中所有节点对  $v_g$  和  $v_k$  之间的最短路径经过边  $e_{ij}$  的条数  $L(g,k,e_{ij})$ ;
- 步骤 4 计算边  $e_{ij}$  的边介数  $B_{ij}$ ;
- 步骤 5 计算边  $e_{ij}$  对节点  $v_i$  的支撑作用;
- 步骤 6 计算节点  $v_i$  的评估值  $E_i$ ;
- 步骤 7 比较信息系统网络中所有节点的评估值的大小,确定关键节点。

### 3 实例仿真与分析

根据上文中构建的信息系统网络关键节点的评估模型及评估流程,由式(1)得到如图1所示的某信息系统网络拓扑结构(局部)示意图。图中,  $\circ$  代表各信息实体, 连线代表两

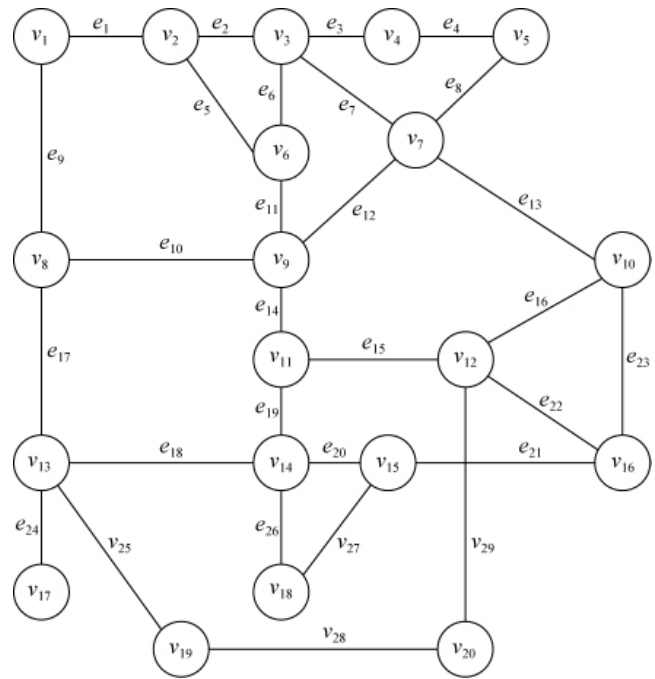


图1 某信息系统拓扑结构(局部)

Fig. 1 Topological structure of certain information system (partial)

信息实体之间有直接的信息联系。

