

一种通信网络节点重要性的计算公式

张小娟¹, 王旭峰²

(1. 北京航空航天大学 电子信息工程学院, 北京 100191; 2. 中国人民解放军空军勤务学院, 江苏 徐州 221000)

摘 要: 针对基于节点的移除可能导致网络拓扑结构变化的不足, 提出了一种确定通信网络节点重要性的评价公式. 该公式综合考虑了节点在网络中的全局性影响, 能精确地评价网络节点重要性, 尤其对解决卫星网络的节点重要性评价方面. 该计算公式定义了网络中节点重要性取决于该节点在网络中的位置信息和其他节点对该节点的贡献度. 节点的位置由节点介数确定, 其他节点对该节点的贡献度与其他节点的介数及紧密度相关. 利用该公式对典型网络的节点重要性进行分析, 并与其他评价方法进行对比, 结果表明, 该公式能精确并正确评价节点对网络的控制能力.

关 键 词: 通信网络; 节点重要性; 位置; 贡献; 介数; 紧密度

中图分类号: TN 915

文献标志码: A

文章编号: 1005-3026(2014)05-0663-04

Evaluation Formula for Communication Network Node Importance

ZHANG Xiao-juan¹, WANG Xu-feng²

(1. School of Electronics and Information Engineering, Beihang University, Beijing 100191, China. 2. Air Force Logistics College of Chinese People's Liberation Army, Xuzhou 221000, China. Corresponding author: ZHANG Xiao-juan, E-mail: Juan13593120996@163.com)

Abstract: Node importance evaluation based on removal of nodes and their incident links may change the topology of the network. An improved node importance evaluation method was proposed, in which the global importance is combined. The important nodes could be more accurately measured with the proposed method, especially in satellite networks. In the method, the importance of nodes are not only determined by its location in the network, but also limited by the contribution of its neighboring nodes. The location of the node is determined by its betweenness, and the contribution of the node is impacted by the betweenness and closeness centrality of other nodes. The method was compared with the node-removal based method in the analysis of advanced research project agency (ARPA) net topology. The results showed that the node importance could be accurately represented by the proposed method.

Key words: communication network; node importance; location; contribution; betweenness; closeness centrality

通信网是一种由通信节点和传输链路相互有机连接起来, 以实现在两个或更多的规定通信节点之间提供连接或非连接传输的通信体系. 通信网络使信息的源头和目的地之间存在多条可用路径的选择, 提高了信息传递的成功概率, 但同时也造成了各个中继点在完成通信任务时候信息流量的差异. 因此, 在一个通信网络中, 就需要区分各

个中继点的“重要程度”, 对完成通信任务起关键作用的中继点, 在硬件质量、安全设置和监测频度方面, 给予额外的考虑. 在网络对抗中, 重要节点也成为攻防双方关注的焦点. 节点的重要性研究源于故障管理的需要.

网络节点重要性评价方法主要分为两类: 节点“显著度”和节点“破坏度”. 节点“显著度”是

在不破坏通信网络的结构下,通过分析节点的某些显著性特性来确定节点的重要性,此类方法本质源于图论,是节点重要性评价方法的研究趋势. “破坏度”是通过移除节点后对网络性能的破坏程度来确定此节点的重要性,在此方法上衍生出了不同的移除节点的方法(节点删除、节点团收缩),此类方法是最早提出的研究方法. Corley 等^[1]提出两个节点间的重要节点是移除后最短距离增加最多的节点. 此方法无法判别全网范围内的节点. 陈勇等^[2]提出通过移除节点后生成数的数目变化来确定节点的重要性. 余新等^[3]提出了基于网络性能梯度的节点重要性,但网络切割的临界点难以确定. 节点移除方法导致由于节点移除后网络拓扑结构变化问题. 对于卫星通信,其网络结构一般为星型或网状型,当卫星节点被移除后,网络无法正常工作,节点重要性失去意义. 赵毅寰等^[4]提出了网络关联法,引入了贡献矩阵的概念,能较好地解决卫星通信网络的节点重要性评价问题,但该方法在参数的选择上,需进一步的优化.

本文采用“显著度”节点重要性评价类方法,给出了确定通信网节点重要性的评价公式,有效解决了节点移除方法存在问题,并且该公式考虑了节点在网络中的全局性,具有更高的评价准确度,尤其适用于卫星通信网络的节点重要性评价研究. 最后通过具体的算例来比较分析,证明其有效性.

1 评价理论基础

定义 1 距离 d_{ij} 为节点 v_i 和节点 v_j 之间的最短路径.

表 1 网络的度与紧密度

Table 1 The degree and closeness centrality of network

节点	v_1	v_2	v_3	v_4	v_5	v_6	v_7	v_8	v_9
度	2	3	3	3	2	3	3	3	2
紧密度	0.296	0.381	0.381	0.471	0.500	0.471	0.381	0.381	0.296

从表 1 中可以看出,从度出发,节点 $v_2, v_3, v_4, v_6, v_7, v_8$ 几个节点的重要程度一致,节点 v_1, v_5, v_9 的重要程度一致且较低. 而紧密度得出节点 v_5 重要程度最高,节点 v_4, v_6 重要程度次之,节点 v_1, v_9 重要程度最低,这与实际情况相符. 从而得出紧密度的准确度明显高于度的准确度,因而紧密度较之度更能反映网络全局的结构.

定义 4 介数. 节点介数为网络中所有最短路径中经过该节点的路径的数目占最短路径总数

定义 2 节点贡献. 网络中节点之间的关联性,将度和紧密度称为节点贡献因子.

一个节点相关联的边的条数称为该节点的度. 在计算度时,每条自环算作两条边. 节点的度越高,表示与此节点关联的边越多,信息流经此节点的概率也越大,即该节点承担通信任务流量的能力越强. 另一方面,可定义节点的度为与之相邻的节点的数目,所以,节点之间重要性的依赖关系也可以很方便地用度来确定. 度反映的是一个节点相对于网络中其他节点直接作用力^[5-11].

定义 3 紧密度为该节点到达所有其他节点的距离之和的倒数. 设网络具有 n 个节点,则节点 v_i 的紧密度为

$$C(i) = \frac{n-1}{\sum_{j=1}^n d_{ij}}.$$

(1)

紧密度是用于反映网络中的节点通过网络到达网络中其他节点的难易程度,反映的是节点通过网络对其他节点施加作用的能力.

紧密度不仅考虑了节点度的因素(大小),而且还考虑了节点在网络中所处的位置,考虑了网络全局性对节点的影响,例如图 1 所示的网络.

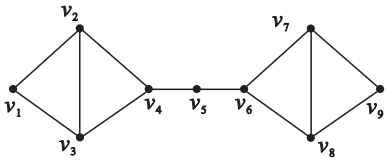


图 1 网络拓扑
Fig. 1 Network topology

表 1 为图 1 所示网络的度与紧密度.

的比例. 如果一对节点间的最短路径(距离)有 g_{jk} 条,其中有 $g_{jk}(i)$ 条经过节点 v_i ,那么 v_i 对这一对节点的介数的贡献为 $g_{jk}(i)/g_{jk}$. 把节点 v_i 对所有节点对的贡献累加起来再除以节点对的总数,就可以得到节点 v_i 的介数,即^[4]

$$B(i) = \frac{2 \sum_j \sum_k \frac{g_{jk}(i)}{g_{jk}}}{n(n-1)}, j \neq k \neq i, j < k.$$

(2)

其中 n 是网络中节点的总数.

会导致网络拓扑结构的变化,具有更强的可实现性.

表 3 图 3 所示网络节点重要性
Table 3 The importance of nodes in fig. 3

节点	$C(i)$	$H(i)$ 归一化	文献[2]	文献[3]
v_1	0.253	0.024	0.626 2	-0.045 0
v_2	0.299	0.050	0.972 1	0.073 2
v_3	0.357	0.073	0.993 0	0.627 2
v_4	0.317	0.068	0.838 7	0.307 6
v_5	0.294	0.058	0.838 7	0.228 7
v_6	0.294	0.062	0.983 6	0.484 0
v_7	0.253	0.046	0.879 7	0.189 2
v_8	0.230	0.035	0.879 7	0.052 4
v_9	0.233	0.033	0.879 7	0.031 3
v_{10}	0.253	0.041	0.879 7	0.126 1
v_{11}	0.286	0.057	0.879 7	0.336 6
v_{12}	0.339	0.081	0.978 0	0.712 9
v_{13}	0.317	0.064	0.805 1	0.097 1
v_{14}	0.317	0.042	0.986 4	0.289 2
v_{15}	0.274	0.040	0.878 7	0.055 0
v_{16}	0.274	0.039	0.663 9	-0.039 7
v_{17}	0.303	0.064	0.697 7	0.023 4
v_{18}	0.328	0.069	0.770 1	0.207 6
v_{19}	0.345	0.070	0.967 1	0.476 1
v_{20}	0.299	0.042	0.827 9	0.178 7
v_{21}	0.270	0.044	0.827 9	0.099 7

4 结 语

本文基于节点位置及其节点之间的关联性对节点重要性评价起着影响作用,提出了评价网络节点重要性的计算公式.在该计算公式中节点的位置信息由节点介数确定,节点的贡献度由相邻其他节点的介数及紧密度共同确定.经算例分析,证明了该公式的有效性.该方法的优点是首先在参数选择上综合考虑了节点在网络中的全局性,其次采用“显著度”节点重要性评价类方法,不会导致网络拓扑结构的分割及变化,尤其对卫星通信网络的节点重要性评价有更好的效果.

参考文献:

[1] Corley H W, Sha D Y. Most vital links and nodes in weighted networks[J]. *Operation Research Letters*, 1982, 1 (4) : 157 - 160.

[2] 陈勇,胡爱群,胡啸.通信网中节点重要性的评价方法[J].通信学报,2004,25(8):129 - 134.
(Chen Yong, Hu Ai-qun, Hu Xiao. Evaluation method for node importance in communication networks[J]. *Journal of China Institute of Communications*, 2004, 25 (8) : 129 - 134.)

[3] 余新,李艳和,郑小平,等.基于网络性能变化梯度的通信网络节点重要程度评价方法[J].清华大学学报:自然科学版,2008,48(4):541 - 544.
(Yu Xin, Li Yan-he, Zheng Xiao-ping, *et al.* Node importance evaluation based on communication network performance grads [J]. *Journal of Tsinghua University: Science and Technology*, 2008, 48 (4) : 541 - 544.)

[4] 赵毅寰,王祖林,郑晶,等.利用重要性贡献矩阵确定通信网中最重要节点[J].北京航空航天大学学报,2009,35(9):1076 - 1079.
(Zhao Yi-huan, Wang Zu-lin, Zheng Jing, *et al.* Finding most vital node by node importance contribution matrix in communication networks[J]. *Journal of Beijing University of Aeronautics and Astronautics*, 2009, 35 (9) : 1076 - 1079.)

[5] Kermarrec A M, Merrer E L, Sericola B, *et al.* Second order centrality: distributed assessment of nodes criticity in complex networks[J]. *Computer Communications*, 2011, 34 (5) : 619 - 628.

[6] Albert R, Jeong H, Barabasi A L. Error and attack tolerance of complex networks[J]. *Nature*, 2000, 406 (6794) : 378 - 382.

[7] Wu J, Tan Y J. Finding the most vital node by node contraction in communication networks[C]//IEEE International Conference on Communications, Circuits and Systems Proceeding. Changsha: IEEE Press, 2005: 1282 - 1286.

[8] He N, Gan W Y, Li D Y. Evaluate nodes importance in the network using data field theory [C]//IEEE International Conference on Convergence Information Technology. Gyeongju: IEEE CS Press, 2007: 1225 - 1234.

[9] Li D Y, Du Y. Artificial intelligence with uncertainty[M]. New York: CRC Press, 2007: 43 - 60.

[10] Holme P. Congestion and centrality in traffic flow on complex networks[J]. *Advances in Complex Systems*, 2003, 6 (2) : 163 - 176.

[11] Gomez D, Gonzalez-Aranguena E, Manuel C, *et al.* Centrality and power in social network; a game theoretic approach[J]. *Mathematical Social Sciences*, 2003, 46 (1) : 27 - 54.