



基于位置加权的电力通信网站点带宽估算方法

朱正甲¹, 尤新雨², 郑陈熹³, 李莉¹, 樊冰³

(1. 国网冀北电力有限公司经济技术研究院, 北京 100070;

2. 国网冀北电力有限公司廊坊供电公司, 河北 廊坊 065000;

3. 华北电力大学, 北京 102206)

摘要: 提出一种电力通信网站点通信带宽估算方法, 涉及电力通信网领域。所述方法包括如下几个步骤: 首先根据电力通信网拓扑图, 确定电力通信网站点在电力通信网中的局部重要度和全局重要度; 接着对电力通信网站点的局部重要度和全局重要度进行融合, 得到电力通信网站点的实际重要度值; 然后根据所述实际重要度值确定每一个站点通信带宽估算模型中的数据业务冗余系数; 最后根据站点通信带宽估算模型计算电力通信网站点的规划带宽。提出的方法利用站点在网络拓扑中的位置计算站点的重要度, 并将节点重要度引入站点通信带宽估算中, 克服了传统站点通信带宽估算结果不够精确的问题。

关键词: 电力通信网; 带宽估算; 节点重要度

中图分类号: TN915

文献标识码: A

doi: 10.11959/j.issn.1000-0801.2018162

Power communication website bandwidth estimation method based on position weighting

ZHU Zhengjia¹, YOU Xinyu², ZHENG Chenxi³, LI Li¹, FAN Bing³

1. Economic Research Institute, State Grid Jibei Electric Power Co., Ltd., Beijing 100070, China

2. Langfang Power Supply Company of State Grid Jibei Electric Power Co., Ltd., Langfang 065000, China

3. North China Electric Power University, Beijing 102206, China

Abstract: A power communication network site point communication bandwidth estimation method was proposed, which was related to the field of power communication networks. Firstly, according to a topology diagram of a power communication network, the local importance of the power communication site in the power communication network was determined. Then, the local importance and global importance of the power communication website was merged to obtain the actual importance value of the power communication website. Secondly, according to the actual importance value, each station's communication bandwidth estimation model was determined. The data traffic redundancy factor was calculated based on the site communication bandwidth estimation model to calculate the planning bandwidth of the power communication site. The station's position in the network topology was used to calculate the importance of the site and the importance of the node was introduced into the communication bandwidth of the site in the proposed method. In the estimation, the inaccuracy of traditional site communication bandwidth estimation result was overcome.

Key words: power communication network, bandwidth estimation, node importance

1 引言

当前,随着信息通信技术的迅速发展,计算机通信已经在电力通信网中得到了广泛深入的应用,高效快速的信息通信将成为电力生产和管理的基础。电力通信网络的设计必须能够满足运行各种应用的需求,其中最关键的一个问题是网络的带宽是否足够。随着智能电网建设不断深化,能源互联网建设不断开展,电力通信网络的建设和改造也必须紧跟电网前进步伐,满足电网业务传输的需求。在电力通信网络规划中,变电站通信带宽的估算直接影响电力通信网络建设和改造的结果,过于超前的估算会增加系统投入,浪费网络带宽;相反,过于乐观的估算,认为简单的网络带宽叠加就能满足系统要求,则会使按此建设的电力通信网络在面对突发事件时具有较大的脆弱性。

在现有技术中,节点混合业务的传统带宽预测方法是基于业务断面的弹性系数法^[1-3],这种方法容易导致带宽估计过于保守、系统带宽利用率低,造成通信资源浪费,或系统通信容量成为瓶颈而无法保证业务通信服务质量要求等问题。节点的带宽预测包含带宽保护资源的预测,生产实时业务采取的是1+1保护(一种保护业务流的方式),数据通信网业务采用共享保护,所以如何确定共享保护带宽是节点通信带宽估算中的关键。而目前现有技术中的电力通信网节点通信带宽估算方法存在准确性较差的问题。

为了提高电力通信网节点通信带宽估算的准确性,需要一种考虑电力通信网拓扑并且适用于规模各异的电力通信网的节点重要度计算方法。

王林等^[4]简述了网络中心性指标的相应特点和定义以及各个指标所适合的应用场合。孙睿等^[5]简述了国际上基于网络舆论方面的节点重要度排序方法,从模型中节点的具体属性和网络拓扑两个视角,介绍了现有基于网络舆论的计算复杂网络节点重要度的方法。刘建国等^[6]基于网络结构

的节点重要度,对网络结构从网络的局部、全局属性、拓扑位置和随机游走4个方面进行考虑。

定量的衡量网络中节点的重要程度通常会用到中心性指标,如度、介数中心性、聚类中心性等,然而这些中心性指标与网络的拓扑结构有着很强的依附关系,而不考虑网络的业务等。而Kitsak等^[7]认为重要节点之所以重要,与节点所在的网络拓扑的位置有关,而在内层的节点可视为网络中的重要节点,即K-核算法。

Hou等^[8]考虑使用欧拉距离公式综合节点度、点介数、K-核这3个指标对节点重要度进行详细刻画,得到节点重要度的排序结果;Comin等^[9]将介数与度综合为一个节点重要度排序的指标。

本文提出一种电力通信网节点通信带宽估算方法,在节点重要度计算中能够依据节点在网络拓扑中的位置,融合节点局部重要度和全局重要度,综合考虑节点对周边区块的通信网络和整个电力通信网络的影响,从而使节点重要度的计算能更准确地反映节点在电力通信网中的重要程度。然后通过各个节点的重要程度来确定节点带宽数据业务冗余系数,从而估算出各个节点的规划带宽大小。

2 节点重要度指标的选择

在电力通信网中,节点的重要度不仅仅包含其邻居节点,还包括节点在整个网络中所处的位置。同时需要考虑电力通信网拓扑结构,选取合适的节点重要度指标才能够更准确地确定节点重要性。本文将电力通信网节点的重要度分为局部重要度和全局重要度,通过将两种重要度融合得到节点的实际重要度。通过这个方法不仅能够找到重要中枢节点在全局网络拓扑中的位置,还能够找到区块中的重要连接节点。

2.1 局部重要度指标

局部重要度指标表示节点在网络局部拓扑中的重要度。局部拓扑中的节点通过与其他节点建立紧密连接来提高自身的重要度。局部重要度指



最常用的指标是节点度、聚类系数、二级度等。这类指标的计算相对简单,同时时间复杂度低,能够在大型网络中发挥较好的作用。局部重要度指标也能够通过一定关系式的组合使用,获得比单独使用某种局部重要度指标更好的效果。

作为复杂网络中最直观的指标,节点度经常被加入指标参数中。把度当作指标进行排序后,只需移除数个节点,就会对网络结构造成较大影响。可是有些节点的度比较大,但是其邻居节点的连接密切,即使移除这些节点,对整个网络的连通性影响也较小。对第 i 个电力通信网站点的站点度 $k_0(i)$ 进行效益型归一化,得到第 i 个电力通信网站点的效益型归一化指标 $k(i)$ 。

聚类系数是能够描述网络拓扑中节点聚集程度的度量。一个节点与邻居节点相连接,但当该点的邻居节点有连接时,此时该节点和两个邻居节点构成了一个三角形。那么两个邻居节点间的通信等都不需要通过该节点进行中转,相应地,该点的重要度则会降低。对第 i 个电力通信网站点的聚类系数 $C_0(i)$ 进行成本型归一化,得到第 i 个电力通信网站点的成本型归一化指标 $C(i)$ 。

聚类系数能弥补度的缺陷,但由于电力通信网中较少出现与邻居节点构成三角形的节点,导致许多节点的聚类系数相同,并且聚类系数也不能体现邻居节点的规模大小,区分不开点与点之间的区别。所以不能仅用聚类系数作为局部节点重要度指标,而应该使用节点度和聚类系数相结合的局部节点重要度。

本文中使用的局部重要度指标具体定义如下:

$$Ck(i) = \frac{k(i)}{\sqrt{\left(\sum_{j=1}^N (k(j))^2\right)}} + \frac{C(i)}{\sqrt{\left(\sum_{j=1}^N (C(j))^2\right)}} \quad (1)$$

其中, $Ck(i)$ 是第 i 个电力通信网站点在电力通信网中的局部重要度, N 表示电力通信网中的站点总数; $C(j)$ 表示第 j 个电力通信网站点的成本型归一化指标; $k(j)$ 表示第 j 个电力通信网站点的效

益型归一化指标。

但是电力通信网拓扑不是简单的耦合网络,其网络拓扑常常由区块结构组成,区块间仅通过主干路数个节点相连接来进行数据交流和通信。那么主干路上也将会呈现链状结构,其节点度值较小,而其聚类系数较大,与末梢节点拓扑结构类似,容易被认定为末梢节点,局部节点重要度较低。所以只使用局部重要度指标来判定节点重要性具有一定局限性,主干路上的节点更为重要,却不能和末梢节点的重要度值拉开差距,所以需要引入全局重要度指标。

2.2 全局重要度指标

全局属性的节点重要性排序指标主要考虑节点在网络的全局拓扑结构的位置,通过结构的连接特征来确定节点在全局拓扑中的重要度。这类指标的准确性比较高,但由于运算复杂导致时间复杂度高。

特征向量^[9]是评估复杂网络节点重要性的一个全局指标。它能够从网络中节点之间声誉的影响角度考虑,通过将单个节点的声誉看成其他节点声誉的线性组合得到了所需的方程。而这个线性方程组的最大特征值所对应的一维特征向量,其每一行就是对应节点编号的节点声誉。

但当考虑网络中节点间通信能力时,最直观的概念就是一个节点到网络中另外一个节点间的最少跳数,即最少需要经过多少个中间节点才能够到达另外一个节点。所以在考虑节点通信能力时,容易想到的便是介数。

介数的表达式如下:

$$BC(i) = \sum_{w \neq w' \in V} \frac{\alpha_{ww'}(i)}{\alpha_{ww'}} \quad (2)$$

其中, V 表示节点的集合; $\alpha_{ww'}$ 表示节点 w 和 w' 之间的所有最短路径数, $\alpha_{ww'}(i)$ 表示在 w 和 w' 之间的最短路径中经过节点 i 的条数。

节点间介数的差别是经过该节点的最短路径数。那么,通过主干路上的节点与通过末梢节点的最短路径数将会有巨大差别。主干路上的节点

包括区块与区块之间节点的大量信息传递,其介数较大,但末梢节点较少。这样便解决了上文中如何区分节点类型的问题。所以考虑电力通信网络中的通信能力时,可以使用介数作为全局重要度,与局部重要度融合。

对介数进行归一化得到全局节点重要度,为:

$$\text{Bet}(i) = \frac{\text{BC}(i) - \min(\text{BC}(i))}{\max(\text{BC}(i)) - \min(\text{BC}(i))} \quad (3)$$

2.3 逼近理想排序法

节点重要度计算方法需要针对具体的网络拓扑结构提出来,每个方法都有自身的优点和缺陷,不同的方法从不同的方面描述节点在网络中的特征。由于复杂网络具有多种形式,很难仅使用一个指标便能描述一个节点在网络中的某些特性,而网络节点的重要性的和网络的整体拓扑相关,需要从不同的角度、网络特性,利用网络节点属性中的多个度量方法来描述一个节点。因此本文提出了基于“逼近理想排序法 (technique for order preference by similarity to an ideal solution, TOPSIS)”^[10]的多属性决策方法。该方法能够将网络中单个节点的特征向量、介数、节点度、节点效率等多个指标作为决策方案进行融合,以确定节点在网络中的重要程度。考虑多个度量才能对节点进行全方位的评价,这种融合后的评价方式可以涵盖影响节点重要性的多种因素,不再是片面强调某种单一因素的影响,而是通过综合考虑多方面因素来确定节点重要度,得到更为准确的节点重要性计算结果。

以本文所使用的局部重要度 $Ck(i)$ 和全局重要度 $\text{Bet}(i)$ 为例,两个指标对应的矩阵都为 N 行、1 列。确定矩阵 $A(i)=[Ck(i),\text{Bet}(i)]$ 。根据式 (4) 计算融合局部和全局重要度后的实际重要度 $S(i)$ 。

$$S(i) = \text{TOPSIS}(A(i)) = D_i^- / (D_i^- + D_i^+) \quad (4)$$

其中, D_i^+ 与 D_i^- 的表达式如下:

$$D_i^+ = \left[\sum_{f=1}^2 (A_{if} - A_f^{\max})^2 \right]^{1/2} \quad (5)$$

$$D_i^- = \left[\sum_{f=1}^2 (A_{if} - A_f^{\min})^2 \right]^{1/2} \quad (6)$$

其中, A_{if} 表示矩阵 $A(i)$ 的第 i 行第 f 列的数值; $A_f^{\min}$ 表示矩阵 $A(i)$ 第 f 列的最小值; $A_f^{\max}$ 表示矩阵 $A(i)$ 的第 f 列的最大值。

3 通信带宽估算模型

由于电力通信网络以环网为主,除生产实时性业务采用 1+1 保护方式外,数据通信业务采用恢复方式,原来的站点通信带宽分配方法根据业务分配冗余带宽,其实质是数据通信网络使用恢复方式,不分配保护资源,只为实时性、可靠性较高的生产实时业务分配冗余带宽,采用 1+1 保护方式。这种方式没有考虑到站点对其他站点和整个网络的影响。若站点为网络中的核心节点,不为数据业务分配适当的保护资源,在受到来自外界不可抗力的攻击时,造成核心站点的破坏,易对片区乃至整个电力通信网的可靠性造成影响。对于各个站点的实时性业务而言,采用 1+1 保护能够很好地保障实时性业务在站点被破坏时依然能够使用冗余带宽进行通信。但对于数据业务的带宽而言,主要面临两个问题:一个是带宽估计较大,降低了电力通信系统的带宽利用率,进而导致通信资源的浪费;另一个问题是带宽估计较小,使得各个电力通信系统站点的通信容量无法保证数据业务通信服务质量要求。所以为了降低站点被破坏所带来的影响,保证系统的带宽利用率以及站点发展所需的带宽资源,不仅要为站点分配实时性业务冗余带宽,还应为各个节点分配合理的数据业务冗余带宽。

本文定义电力通信网节点通信带宽估算式如下:

$$B(i) = \varphi_1(i) \times \sum_{j \in J} P_j(i) + \varphi_2(i) \times \sum_{q \in Q} P_q(i) \quad (7)$$

其中, $B(i)$ 表示第 i 个电力通信网节点的规划带宽; J 表示数据通信网业务集合, Q 表示生产实时业务集合; $P_j(i)$ 表示流经第 i 个电力通信网站点或第 i 个电力通信网站点产生的第 j 类数据通信网业务

网络效率下降越大,说明移除某节点后网络内其他站点与站点之间的通信变得越困难,该被移除站点对电力通信网的通信能力影响较大。使用参考文献[11]中的方法作为对比方法,通过蓄意攻击依次移除节点重要度靠前的节点,得到网络效率趋势如图 2 所示。

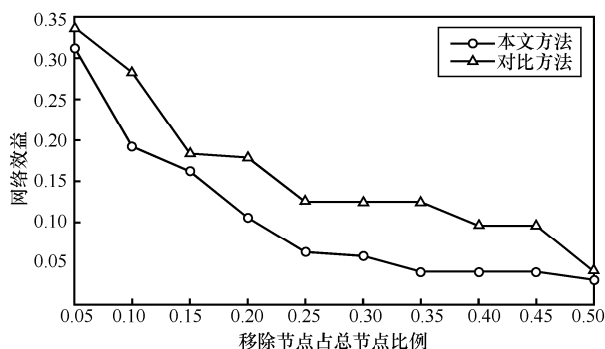


图2 ARPA网移除节点后网络效率趋势

可以看出,通过移除本文所述方法所得到的重要站点,较对比方法中所得到的站点,对网络中节点间的通信能力影响更大,说明本文所述方法得到的节点重要性评价结果更加准确,得到的数据业务比例系数更加合理。

以电力通信网为背景,使用冀北电网拓扑结构,冀北电网含站点数 693 个、边数 944 条。通过使用本文与对比方法,得到对应的重要度排序。同样地,每次移除一个节点,观察网络效率的下降趋势,得到图 3。

如图 3 所示,本文方法的排序在移除站点占总站点数的 5%之前时,本文的仿真结果都优于对比方法。而在移除 5%的点数后,两种方法都使电力通信网裂解为数百个小电力通信网,对网络效率都能造成较大影响。所以通过两种方法移除站点后,网络效率的值会逐渐趋于相等。所以如何评判重要度排序是否正确,应观察移除排序较靠前的站点时网络效率下降的速率。同时说明了作为对比的方法具有一定的合理性,但在移除较少站点的情况下,不能很好地体现站点的重要性。本文的排序方法优于对比的方法,说明

使用本文的节点重要度排序方法能够得到合理的节点重要度。

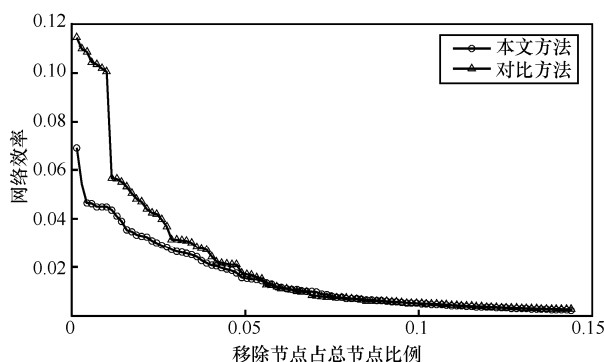


图3 冀北电网移除节点后网络效率趋势

使用本文的节点重要度排序方法后,可以得到各个节点基于拓扑位置的节点重要度值 $S(i)$,根据数据业务比例系数 $\varphi_1(i)$ 计算式,求得各个站点的数据业务比例系数。通过数据业务比例系数、数据业务净流量、实时业务净流量来确定合理的站点通信带宽。表 1 为使用本文方法得到的部分站点的重要度以及通信带宽的估算值。

表 1 冀北电网部分站点重要度及带宽估算值

站点名称	电压等级/kV	重要度值	站点带宽/(Mbit·s ⁻¹)
李庄	220	0.712	311.34
五里台	220	0.620	309.32
平方	220	0.599	308.86
...	...	...	...
桃园	110	0.227	84.25
栖云寺	110	0.207	83.87
山海关	110	0.184	83.42

5 结束语

本文提出一种电力通信网节点通信带宽估算方法,能够依据节点在电力通信网络拓扑中的位置,融合节点局部重要度和全局重要度确定合理的节点带宽数据业务比例系数,从而估算出更准确的节点规划带宽大小。可见,本文提出的方法可以解决现有技术中的电力通信网节点通信带宽



估算方法准确性较差的问题。

本文的节点重要度评估方法侧重于拓扑连接层面,忽略拓扑中可能含有其他类型的节点,例如电力通信网中含有发电节点,节点点数较少,一般位于网络的边缘。但发电节点作为能量来源,起着举足轻重的作用,若忽略节点类型,很容易被判断为末梢节点,重要度较低。之后将会把节点的类型等实际因素考虑进节点重要度计算,确定共享保护带宽,规划合理的站点带宽以满足大数据时代业务带宽需求。

参考文献:

- [1] 赵子岩, 胡浩. 一种基于业务断面的智能配用电通信网业务流量计算方法[J]. 电网技术, 2011, 35(11): 12-17.
ZHAO Z Y, HU H. A new service section based method to calculate service data flow of communication network for smart power distribution and utilization system[J]. Power System Technology, 2011, 35(11): 12-17.
- [2] 2007 电力系统通信设计技术规范: DL/T 5391 [S]. 北京: 中国电力出版社, 2007.
2007 communication system design specification for electric power system: DL/T 5391[S]. Beijing: China Electric Power Press, 2007.
- [3] 周静, 吕天光, 陈希, 等. 省级电力调度数据网带宽分析与容量规划研究[J]. 电网技术, 2012, 36(5): 173-177.
ZHOU J, LU T G, CHEN X, et al. Study on bandwidth analysis and capacity planning of provincial dispatching digital network[J]. Power System Technology, 2012, 36(5): 173-177.
- [4] 王林, 张婧婧. 复杂网络的中心化[J]. 复杂系统与复杂性科学, 2006(1): 13-20.
WANG L, ZHANG J J. Centralization of complex networks[J]. Complex Systems and Complexity Science, 2006(1): 13-20.
- [5] 孙睿, 罗万伯. 网络舆论中节点重要性评估方法综述[J]. 计算机应用研究, 2012(10): 3606-3608, 3628.
SUN R, LUO W B. Summarize of node importance evaluation method in network public opinion[J]. Computer Application Research, 2012(10): 3606-3608, 3628.
- [6] 刘建国, 任卓明, 郭强, 等. 复杂网络中节点重要性排序的研究进展[J]. 物理学报, 2013(17): 9-18.
LIU J G, REN Z M, GUO Q, et al. Research progress of node importance ordering in complex networks[J]. Acta Phys Sinica, 2013(17): 9-18.
- [7] KITSACK M, GALLOS L K, HAVLIN S, et al. Identification of influential spreaders in complex networks[J]. Nature Physics, 2010(6): 888-893.
- [8] HOU B N, YAO Y P, LIAO D S. Identifying all-around nodes for spreading dynamics in complex networks[J]. Physica A: Statistical Mechanics and its Applications, 2012, 391(15): 4012-4017.
- [9] COMIN C H, COSTA L F. Identifying the starting point of a spreading process in complex networks[J]. Physical Review E Statistical Nonlinear & Soft Matter Physics, 2011, 84(5Pt2): 056105.
- [10] BORGATTI S P. Centrality and network flow[J]. Social Networks, 2005, 27(1): 55-71.
- [11] 于会, 刘尊, 李勇军. 基于多属性决策的复杂网络节点重要性综合评价方法[J]. 物理学报, 2013, 62(2): 2020.
YU H, LIU Z, LI Y J. Comprehensive evaluation method of node importance in complex networks based on multiple attribute decision making[J]. Acta Phys Sinica, 2013, 62(2): 2020.
- [12] 任卓明, 邵凤, 刘建国, 等. 基于度与集聚系数的网络节点重要性度量方法研究[J]. 物理学报, 2013, 62(12): 128901.
REN Z M, SHAO F, LIU J G, et al. Research on network node importance measurement method based on degree and aggregation coefficient[J]. Acta Phys Sinica, 2013, 62(12): 128901.
- [13] 周璇, 张凤鸣, 李克武, 等. 利用重要度评价矩阵确定复杂网络关键节点[J]. 物理学报, 2012, 61(5): 050201.
ZHOU X, ZHANG F M, LI K W, et al. Finding vital node by node importance evaluation matrix in complex networks[J]. Acta Phys Sinica, 2012, 61(5): 050201.

[作者简介]



朱正甲(1987-), 男, 国网冀北电力有限公司经济技术研究院工程师, 主要研究方向为电网智能化与自动化规划技术。

尤新雨(1977-), 男, 国网冀北电力有限公司廊坊供电公司高级工程师, 主要研究方向为电力通信系统运维管理。

郑陈熹(1995-), 男, 华北电力大学硕士生, 主要研究方向为电力通信网可靠性。

李莉(1979-), 女, 国网冀北电力有限公司经济技术研究院高级工程师, 主要研究方向为电力通信规划。

樊冰(1977-), 男, 博士, 华北电力大学讲师, 主要研究方向为电力通信网规划、电力通信网可靠性、生存性和保密通信。