

链路赋权军事通信网的抗毁性评估

马润年¹, 文刚², 蔺根茂³, 蔡巍⁴, 王伟⁵

(1. 空军工程大学信息与导航学院, 西安 710077; 2. 中国人民解放军93846部队, 新疆昌吉 831112;
3. 中国人民解放军93926部队, 新疆和田 848000; 4. 中国人民解放军68002部队, 兰州 730058;
5. 中国人民解放军92985部队, 福建厦门 361100)

摘要: 为了研究链路赋权军事通信网抗毁性评估问题, 引入了链路赋权网络的定义; 系统地分析了军事通信网链路抗毁性评估指标体系、指标的评估标准、指标的权重系数计算方法, 并给出了链路权重的确定方法; 然后, 从链路赋权网络的抗毁性测度出发, 提出基于平均粘聚度的网络抗毁性评估方法; 最后, 通过实例对评估过程进行了说明。通过研究以期为推进军事通信网的规划和建设提供具有现实意义和实用价值的理论依据。

关键词: 军事通信网; 抗毁性; 链路赋权; 评估方法

中图分类号: V271.4; TP915.02 **文献标志码:** A **文章编号:** 1671-637X(2013)10-0011-03

Evaluation of the Invulnerability of Link-Weighted Military Communication Network

MA Runnian¹, WEN Gang², LIN Genmao³, CAI Wei⁴, WANG Wei⁵

(1. College of Information and Navigation, Air Force Engineering University, Xi'an 710077, China;
2. No. 93846 Unit of PLA, Changji 831112, China; 3. No. 93926 Unit of PLA, Hetian 848000, China;
4. No. 68002 Unit of PLA, Lanzhou 730058, China; 5. No. 92985 Unit of PLA, Xiamen 361100, China)

Abstract: The evaluation of the invulnerability of military communication network is studied. First, the definition of link-weighted network is introduced. Then, the evaluation index system, evaluation standards of indexes, and computing method of the indexes' weights are analyzed systematically for the invulnerability evaluation of the links of military communication network, and the method for computing the links' weights is given. Then, based on measurements for the invulnerability of link-weighted network, the index of average edge connectivity is used to evaluate the invulnerability of network. Finally, the process of evaluation is presented with an example. The purpose of the study is to provide a theoretical basis for planning and establishing of the military communication network.

Key words: military communication network; invulnerability; weighted link; evaluation method

0 引言

军事通信网抗毁性, 是指军事通信网络系统在遭受攻击、故障和意外事故时仍能够及时完成其关键任务的能力^[1]。在现代化战场上, 军事通信网抗毁性是确保军事信息畅通的重要支撑。随着信息技术的飞速发展, 军事通信网的安全面临严峻的挑战, 如何有效地进行安全防护是目前亟待解决的问题。

目前, 国内外对网络抗毁性的研究取得了一些成果^[2-7], 但基本是针对无权网络的评估。在军事通信网中, 由于影响网络的系统因素、环境因素、人的因素等方面存在客观差异, 导致网络中链路结合紧密程度不同。因此, 有必要对链路赋权的军事通信网抗毁性进行研究。

论文首先结合军事通信网特点对链路进行赋权, 然后研究了链路赋权军事通信网抗毁性的评估方法, 以期为推进军事通信网的规划和建设提供具有现实意义和实用价值的理论依据。

1 链路赋权网络的定义

文献[8]针对网络抗毁性问题提出了赋权网络的

收稿日期: 2012-11-01 修回日期: 2012-11-29

基金项目: 国家自然科学基金(61174162)

作者简介: 马润年(1963—), 男, 陕西绥德人, 博士后, 教授, 硕士生导师, 研究方向为生物计算、神经网络等。

定义,本文进一步针对网络抗毁性问题对链路赋权网络作如下定义。

定义 1 在无向赋权网络图 $G=(V,E)$ 中, $V=(v_1, v_2, \dots, v_n)$ 是节点的集合, $E=(e_1, e_2, \dots, e_m)$ 是边的集合, $W=\{w_{ij}>0 \mid i, j=1, 2, \dots, m\}$ 是节点 v_i 和节点 v_j 之间边的权值的集合。对于网络 G , 有网络中任意节点对之间最多存在一条边, 边的权值越大, 节点间关系越紧密的原则。规定 $w \in [1, \infty)$, 1 表示关系最疏远, 即链路处于断开状态; ∞ 表示关系最紧密, 即链路最不易被破坏。

2 军事通信网链路权重的确定

首先结合军事通信网特点构建链路的抗毁性评估指标体系; 由于层次分析法具有定性定量相结合且简单易操作的优点, 采取该方法评估链路指标权重系数; 最后对链路权重的确定方法进行分析。

2.1 建立军事通信网链路抗毁性评估指标体系

通过分析影响军事通信网链路抗毁性的因素, 拟定草案后广泛征求专家意见, 进行统计归纳处理, 建立军事通信网链路抗毁性评估指标体系^[9], 如图 1 所示。

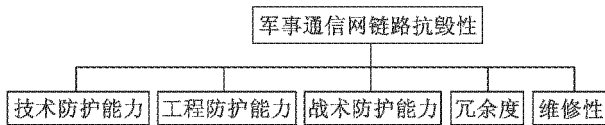


图 1 军事通信网链路抗毁性评估指标体系

Fig.1 The evaluation index system for the invulnerability of military communication network's link

2.2 利用层次分析法确定链路指标权重系数

由于军事通信网通信手段多样化, 例如在有线通信网和无线通信网中, 链路抗毁性各项评估指标的相对重要性有很大差别, 对具体问题要具体分析, 以下仅针对有线军事通信网链路评估指标的权重进行评估。

层次分析法确定指标权重系数的算法步骤如下所述。

- 1) 输入初始比较判断矩阵 $A=[a_{ij}]_{n \times n}$ 。
- 2) 计算比较判断矩阵 $A=[a_{ij}]_{n \times n}$ 的最大特征根 λ_{max} 及对应的特征向量 $W=(w_1, w_2, \dots, w_n)$ 。
- 3) 利用一致性指标 CI 、随机一致性指标 CR 和一致性比率 $CR=CI/RI$ 做一致性检验。

若通过检验(即 $CR < 0.1$, 或 $CI < 0.1$), 则将上层输出权向量 $W=(w_1, w_2, \dots, w_n)$ 归一化之后作为下层要素 B_j 到上层要素 A_j 的权向量, 转入下一步;

若 $CR < 0.1$ 不成立, 则需重新构造成对比较矩阵, 返回步骤 1)。

- 4) 输出各指标相对权重系数。

算法流程如图 2 所示。

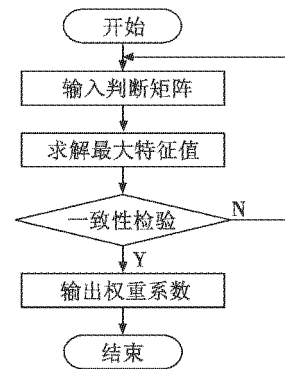


图 2 层次分析法确定指标权重系数的流程

Fig.2 The flow of computing index weight by the analytic hierarchy process

计算得到的各项指标的权重系数如表 1 所示。

表 1 有线军事通信网链路指标权重系数

Table 1 Index weight of wired military communication network's link

指标	技术防护能力	工程防护能力	战术防护能力	冗余度	维修性
权重系数	0.1964	0.2579	0.1722	0.1496	0.2239

2.3 确定军事通信网链路权重

确定了链路抗毁性评估指标的权重系数之后, 在实际中对某个有线军事通信网链路权重进行评估时, 首先按照如表 2 所示的评估标准对每条链路的各项指标进行评分, 可采取表 3 中 1~9 标度进行评分。

表 2 有线军事通信网链路抗毁性指标评估标准

Table 2 Evaluation standards of the invulnerability indexes of wired military communication network's link

指标	评估标准
技术防护能力	通信链路的抗干扰、抗核电磁脉冲、电磁兼容、病毒防护、保密传输等安全功能符合技术要求; 技术保障力量充足。
工程防护能力	按要求采取工事(例如利用地形、地物、植被、掩埋线路等方法)进行伪装防护、电磁防护。
战术防护能力	网络管理符合操作规程, 经常进行安全检测, 落实保密制度, 战术措施正确。
冗余度	通信链路带宽能满足实际业务量需要, 确保通信畅通, 并有一定冗余备份。
维修性	通信链路长度、战场自然环境(地形、气候、水文等)和电磁环境等便于链路的维修; 维修制度完备, 维修队伍过硬, 仪表设备齐全。

表 3 1~9 标度的含义

Table 3 The signification of 1~9 scales

评估意见	优秀	良好	一般	较差	差
分值	9	7	5	3	1

表 3 中, 8、6、4、2 表示相邻判断中的中间值。

然后, 在计算每条链路权重时, 采用加权求和的方法

$$W_i = w_1 P_{i1} + w_2 P_{i2} + w_3 P_{i3} + w_4 P_{i4} + w_5 P_{i5} \quad (1)$$

式中： W_i 为第 i 条链路的权重； w_1, w_2, w_3, w_4, w_5 分别为技术防护能力、工程防护能力、战术防护能力、冗余度、维修性这 5 项指标的权重系数； P_{ij} 为第 i 条链路的第 j 项指标的分值，其中， $j=1, 2, 3, 4, 5$ 。

3 网络抗毁性评估方法

3.1 建模思路

文献[10]提出了通过粘聚度(即断开一对节点之间所有通路所需去掉的最少边数)和连通度(即断开一对不相邻的节点之间所有通路所需去掉的最少节点数)这两个可靠性的确定测度来表示网络的抗毁性。本文进一步对链路赋权网络的粘聚度做出如下定义。

定义 2 在链路赋权的网络中，节点对 (v_i, v_j) 的粘聚度 CH_{ij}^* 为断开该节点对 (v_i, v_j) 之间所有通路所需去掉边的权值和的最小值，即断开该节点对 (v_i, v_j) 的割集中权值和的最小值。而整个网络的粘聚度定义为

$$CH^* = \min_{i,j} (CH_{ij}^*) \quad (2)$$

在链路赋权网络的粘聚度基础上，对链路赋权网络的平均粘聚度做出如下定义。

定义 3 在链路赋权的网络中，定义平均粘聚度 $\overline{CH^*}$ 为整个网络所有节点对的粘聚度的平均值，即

$$\overline{CH^*} = \frac{2 \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n CH_{ij}^*}{n(n-1)} \quad (3)$$

式中： CH_{ij}^* 为节点对 (v_i, v_j) 的粘聚度； n 为网络中节点个数。

可以使用平均粘聚度 $\overline{CH^*}$ 和方差 D_{CH^*} 这两项度量值，对链路赋权网络抗毁性进行评估。平均粘聚度 $\overline{CH^*}$ 反映了网络所有节点连接紧密程度的整体特性，方差 D_{CH^*} 反映所有节点对间的连接紧密程度是否均匀。

3.2 评估方法步骤

- 1) 计算任意 2 点 $v_i, v_j (j > i, 0 < i < n, 0 < j \leq n, n$ 为网络的节点数) 间的粘聚度 CH_{ij}^* 。
- 2) 计算整个网络的平均粘聚度 $\overline{CH^*}$ ，见式(3)。
- 3) 计算整个网络的粘聚度的方差

$$D_{CH^*} = \frac{2 \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n (CH_{ij}^* - \overline{CH^*})^2}{n(n-1)} \quad (4)$$

通过对计算结果的比较，可以判断两个网络抗毁性大小。网络的平均粘聚度 $\overline{CH^*}$ 越大，方差 D_{CH^*} 越小，说明这个网络各个节点连接紧密程度越高，且各个节点的连接情况越均匀，则网络抗毁性越好。

4 实例分析

假设某光纤通信网拓扑图如图 3 所示。有 3 种线

路增设方案供选择(方案 1 为增设链路 v_7v_{13} ，即连接节点 v_7 和 v_{13} ；方案 2 为增设链路 v_7v_{11} ；方案 3 为增设链路 v_1v_6)，要求对 3 种方案进行评估并择优选择，以最大程度地提高网络的整体效能。

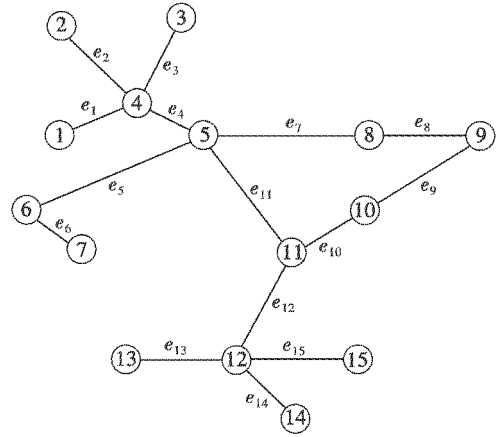


图 3 某光纤通信网拓扑图

Fig. 3 Topologic of one fiber optic communication network

利用本文提出的链路权重的确定方法对该网络链路进行赋权，得到链路赋权的光纤通信网拓扑图，如图 4 所示。

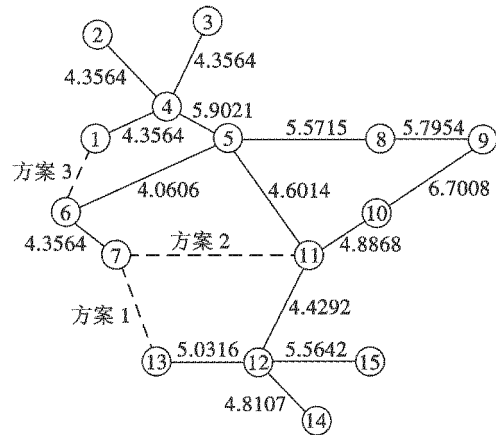


图 4 链路赋权光纤通信网拓扑图

Fig. 4 Topologic of the link-weighted fiber optic communication network

其中，方案 1 中链路 v_7v_{13} 的权重为 2.8141，方案 2 中链路 v_7v_{11} 的权重为 3.6403，方案 3 中链路 v_1v_6 的权重为 3.6920，然后计算网络的平均粘聚度 $\overline{CH^*}$ 和方差 D_{CH^*} ，如表 4 所示。

表 4 原网络和 3 种方案中网络的平均粘聚度和方差
Table 4 The average edge connectivity and variance of original network and the networks in three projects

	原网络	方案 1	方案 2	方案 3
平均粘聚度	4.9536	5.9360	5.4938	5.6484
方差	2.9328	3.6901	4.2080	4.3396

(下转第 32 页)

- [6] 杨胜跃,樊晓平,罗安. 基于经验数据库的迭代学习初始控制输入量的确定[J]. 控制与决策,2004,19(1): 27-30.
- [7] CHEN C H, TSAI J S H, GUO S M, et al. Iterative learning control for the linear model with a singular feedthrough term via LQAT [J]. Applied Mathematical Sciences, 2012, 86:4283-4294.
- [8] ALSUBAIE M A, FREEMAN C, CAI Zhonglun, et al. ILC initial input selection with experimental verification[C]// IEEE Symposium on Learning Control at IEEE CDC. Shanghai; IEEE, 2009:1-6.
- [9] FREEMAN C, ALSUBAIE M A, CAI Zhonglun, et al. Initial input selection for iterative learning control [J]. ASME Journal of Dynamic Systems, Measurement and Control, 2011, 133(5):054504. 1-054504. 6.
- [10] MIAO Z N, ZHENG H J. An improved back-propagation algorithm for fuzzy modeling[J]. Applied Mechanics and Materials, 2011, 48-49:198-202.
- [11] PAL N R, BEZDEK J C. On cluster validity for the fuzzy C-means model[J]. IEEE Transactions on Fuzzy Systems, 1995, 3(3):370-379.
- [12] 郑科,徐建明,俞力. 基于 T-S 模型的倒立摆最优保性能模糊控制[J]. 控制理论与应用,2004,21(5):703-708.

(上接第 13 页)

由本文提出的网络抗毁性评估方法可知,网络的平均粘聚度 \overline{CH}^* 越大,方差 D_{CH} 越小,则该网络的抗毁性越好。通过表 4 中的计算结果可以判断,网络的抗毁性由大到小依次为:方案 1 > 方案 3 > 方案 2 > 原网络。由此可知方案 1 最优。

5 结束语

本文在分析军事通信网特点的基础上构建了链路抗毁性评估指标体系,采用定量与定性相结合的层次分析法确定链路评估指标权重系数,并给出了具体的链路权重确定方法。结合链路赋权网络抗毁性测度,提出用平均粘聚度和方差对网络抗毁性进行评估的方法,该方法能对网络整体特性进行有效的评估。

通过对网络抗毁性的分析和计算不难看出,一般情况下,含有树状结构的网络,其平均粘聚度 \overline{CH}^* 较小,抗毁性较差。在军事通信网规划中要尽量避免树状结构;对已建成的网络,可通过增加回路,减少网络中树状结构,从而提高网络抗毁性。

参 考 文 献

- [1] ELLISON B, FISHER D A, LINGER R C, et al. Survivable network systems: An emerging discipline [R]. Pittsburgh: Carnegie Mellon University, 1997.
- [2] 陈建国,张永静. 通信网络拓扑抗毁性评估算法研究[J]. 无线电通信技术,2006,32(1):6-7.
- [3] 陈四军,贾连兴,李晶晶,等. 基于通信网抗毁性的链路重要性比较[J]. 计算机工程与应用,2009,45(1):118-120.
- [4] 饶育萍,林竞羽,侯德亭. 基于最短路径数的网络抗毁评价方法[J]. 通信学报,2009,30(4):113-117.
- [5] 任俊亮,申卯兴,史向峰. 通信网络抗毁性的评价方法[J]. 空军工程大学学报:自然科学版,2010,11(1):70-73.
- [6] 汪涛,吴琳丽. 基于复杂网络的城市公交网络抗毁性分析[J]. 计算机应用研究,2010,27(11):4084-4086.
- [7] 狄鹏,胡涛,胡斌,等. 基于复杂网络的作战网络模型抗毁性研究[J]. 系统仿真学报,2011,23(1):56-60.
- [8] 程克勤,李世伟,周健. 基于边权值的网络抗毁性评估方法[J]. 计算机工程与应用,2010,46(35):95-96,100.
- [9] 曲天宝. 通信能力概论 [M]. 北京:解放军出版社,1999.
- [10] FRANK H, FRISCH I T. Analysis and design of survivable networks [J]. IEEE Transactions on Communication Technology, 1970, 18(5):501-519.

欢 迎 投 稿 欢 迎 刊 登 广 告