

# 通信网络抗毁性的评价方法

任俊亮, 申卯兴, 史向峰

(空军工程大学 导弹学院, 陕西 三原 713800)

**摘要:**基于多抗毁性度量值的评估技术,以作战运用的视角,对通信网络的抗毁性进行评价。首先,从通信网络抗毁性的定义出发,构建了通信网络拓扑结构的抗毁性评价模型。在所建模型中,选取了用户较为关心的网络抗毁性度量,方差的引入弥补了以往的量度不能体现个体差异的不足。其次,采取的点打击策略没有按度的大小进行打击,而是取路径中出现次数最多的点进行打击,这更符合实际情况。最后利用模型对实例进行了分析,结果表明模型不仅能够评价通信网络拓扑结构的抗毁性,而且还能指出网络结构需要优化的地方。

**关键词:**抗毁性;通信网络;评估方法;网络结构优化;打击策略

**DOI:**10.3969/j.issn.1009-3516.2010.01.016

**中图分类号:** TP393 **文献标识码:** A **文章编号:** 1009-3516(2010)01-0070-04

当今信息化条件下的高技术战争迫使人们不得不面对网络化作战模式,也预示着未来战争中网络化特征会不断明显。通信网络是网络化战争中最基本、最基础的研究内容之一,而且,通信网络往往是敌方打击的首选目标,通信网络在复杂战场环境中满足战场通信要求,将在战争中起到关键作用。

通信网络抗毁性是指当网络中出现确定性或者随机性故障时,网络维持或恢复其性能到一个可接受程度的能力<sup>[1]</sup>。基于多抗毁性度量值的评估技术<sup>[2]</sup>是指在在网络拓扑抗毁性进行评估时,给出多个评估指标。这种评估技术充分体现了抗毁满足了需求的特殊性,但是缺乏对这些度量值的分散程度的评估。因此,文中采用多抗毁性度量值的评估技术,通过引入方差来弥补这个缺陷,并针对信息化作战中的通信网络面对的实际威胁,建立了更加贴近实战的网络打击策略。

## 1 评价模型

### 1.1 模型假设

此评价模型基于以下几点假设:

①将通信网络抽象为网络图,网络图由节点及连接各点的边组成;②各节点内部结构功能相同,即将两节点(不包括边)互换位置对网络中的信息传输没有影响;③各节点间的通信需求相同,即任意两节点间需要交换的信息量及频率是基本相同的。

### 1.2 建模思路及评价方法步骤

#### 1.2.1 建模思路

从通信网络抗毁性定义出发,要对一个通信网络的抗毁性进行评价,可以先选取一些用户较为关心的网络抗毁性量度<sup>[3-10]</sup>,然后对网络按某种策略进行打击,对比打击前后网络抗毁性量度的变化,得出网络抗毁性的评价结果。

首先,设定任意两节点间被允许的最大路径长度(路径长度为路径中边的个数) $L_{\max}$ ,所有满足  $0 < l_{mij}^j \leq$

\* 收稿日期:2009-10-20

基金项目:国家重点实验室基金资助项目(K200907)

作者简介:任俊亮(1985-),男,山西洪洞人,硕士生,主要从事网络抗毁性研究;E-mail:rjl19850106@sina.com

申卯兴(1961-),男,陕西合阳人,教授,主要从事防空作战决策分析及其优化理论与方法研究。

$L_{\max}$  (其中  $l_{m_{ij}}^j$  为节点  $v_i, v_j$  间第  $m_{ij}$  条路径的长度) 的路径都是网络中的有效路径。计算所有有效路径的平均长度  $L_{\text{ave}}$  并判断网络是否是个完整网络。设定  $L_{\max}$  是因为过大的  $l_{m_{ij}}^j$  会导致这两点间的网络通信不能满足战场通信的要求。当不满足要求时置  $l_{m_{ij}}^j$  为无穷大。若  $L_{\text{ave}}$  较大可以通过减小  $L_{\max}$  来减小  $L_{\text{ave}}$ 。当  $L_{\text{ave}}$  变为无穷大时, 认为这两点之间没有有效路径或者网络已被分成两部分。其次, 用整个网络的平均最短路径长度  $L_{\min}$ 、方差  $D_l$  与整个网络的平均路径数  $M$ 、方差  $D_m$  对网络的抗毁性行衡量。 $L_{\min}$  是网络中正在使用的节点间最短路径长度的平均值,  $D_l$  反映的是最短路径长度的波动情况,  $M$  能体现出当网络中某节点故障使得某条路径不通时, 找到替代路径的能力, 方差  $D_m$  反映所有节点对间的不同路径数是否均匀。引入方差可弥补以往的量度不能体现个体差异的不足。

打击策略并没有按度的大小对网络节点进行打击, 而是采用一种更贴近实战的打击策略: 先根据节点在网络最短路径中出现的次数将节点排序, 再依此序列对网络进行打击。

### 1.2.2 评价方法步骤

**步骤1** 计算任意2点  $v_i, v_j (j = i + 1; 0 < i < n, 0 < j \leq n)$  间的不同有效路径条数  $m_{ij}$ 。

**步骤2** 计算出  $v_i, v_j$  间有效路径的平均长度。

$$L_{\text{ave}} = \left( \sum_{k=1}^m l_k^j \right) / m_{ij} \quad (1)$$

**步骤3** 计算整个网络的平均最短路径和方差。任意节点对间的最短路径长度, 见式(2)为, 整个网络的最短路径长度平均值见式(3), 最短路径方差见式(4)。

$$l_{\min}^j = \min \{ l_k^j \mid 0 < k \leq m_{ij} \} \quad (2) \quad L_{\min} = \frac{2 \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=2}^n l_{\min}^j}{n(n-1)} \quad (3) \quad D_l = \frac{2 \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=2}^n (l_{\min}^j - L_{\text{ave}})^2}{n(n-1)} \quad (4)$$

**步骤4** 计算整个网络的平均路径数和方差。整个网络的路径平均数见式(5), 路径数方差见式(6)。

$$M = \frac{2 \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n m_{ij}}{n(n-1)} \quad (5) \quad D_m = \frac{2 \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=2}^n (m_{ij} - M)^2}{n(n-1)} \quad (6)$$

**步骤5** 根据各节点在最短路径中出现的次数大小(体现节点重要性差异), 将节点进行排序。并依此序列对网络进行打击。

**步骤6** 每打击一次就按上述步骤1-步骤4进行一次评价。这样就可以得到被打击节点对网络的重要程度。

## 2 实例分析

假设网络如图1所示。由图1可以得到网络-1中各节点对所对应的路径、长度及条数, 见表1。首先判断  $L_{\text{ave}}$  是否为无穷大。若是, 则说明网络中存在不能有效连通的节点对, 否则进行下一步。经过计算:  $L_{\text{ave}} = 20/11 \approx 1.82$ , 不是无穷大, 进行下一步。利用表中数据计算模型中的参数如下:  $L_{\min} = 8/6 \approx 1.33$ ;  $D_l \approx 0.22$ ;  $M = 11/6 \approx 1.83$ ;  $D_m \approx 0.14$ 。

由表1可以得到点1, 2, 3, 4在所有最短路径中出现次数分别是: 2, 2, 5, 0。所以打击序列为: 3→1→2→4。

当去掉  $v_3$  后, 网络将变成两部分,  $L_{\text{ave}}$  变为无穷大。这是用户最不愿看到的。因此, 在  $v_1$  与  $v_4$  之间添加一条边(见图2), 优化网络结构后, 对其再次评价。由图2可以得到网络-2中各节点对所对应的路径、长度及条数。见表2。

首先判断  $L_{\text{ave}}$ , 计算得  $L_{\text{ave}} = \frac{39}{19} \approx 2.05$ 。不是无穷大, 进行下一步。利用表中数据计算模型中的参数如下:  $L_{\min} = \frac{7}{6} \approx 1.17$ ;  $D_l \approx 0.14$ ;  $M = \frac{19}{6} \approx 3.16$ ;  $D_m \approx 0.14$ ;

由表2可以得到点1, 2, 3, 4在所有最短路径中出现次数分别是: 7, 3, 7, 3。所以打击序列为: 1→3→2→4。

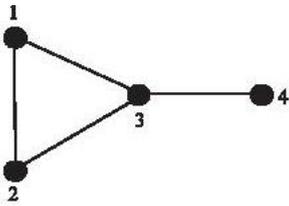


图1 网络-1

Fig. 1 Network - 1

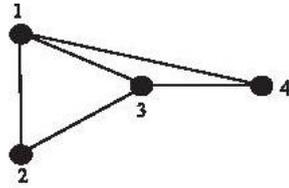


图2 网络-2

Fig. 2 Network - 2

表1 图1中各节点对所对应的路径、长度、条数

Tab. 1 Different paths, length, number of paths about the network in fig. 1

节点对	路径	长度	条数
1→2	1→2	1	2
	1→3→2	2	
1→3	1→3	1	2
	1→2→3	2	
1→4	1→3→4	2	2
	1→2→3→4	3	
	1→3→4	2	
2→3	2→3	1	2
	2→1→3	2	
2→4	2→3→4	2	2
	2→1→3→4	3	
	2→3→4	2	
3→4	3→4	1	1

从图2中可以看出任意去掉一点后,网络都是连通的。

1) 当去掉  $v_2$  或  $v_4$  时,网络变为一个三角形。判断  $L_{ave} = 1.5$  不是无穷大,进行下一步。

计算模型中的参数如下:  $L_{min} = 1$ ;  $D_l = 0$ ;  $M = 2$ ;  $D_m = 0$ ;

2) 当去掉  $v_1$  或  $v_3$  时,网络变为一条线。判断  $L_{ave} = 1.5$  不是无穷大,进行下一步。

计算模型中的参数如下:  $L_{min} \approx 1.33$ ;  $D_l \approx 0.22$ ;  $M = 1$ ;  $D_m = 0$ ;

将图1和图2的参数进行比较可以看出图2的抗毁性比图1好。

表2 图2中各节点对所对应的路径、长度、条数

Tab. 2 Different paths, length, number of paths about the network in fig. 2

节点对	路径	长度	条数
1→2	1→4→3→2	3	2
	1→2	1	
	1→3→2	2	
1→3	1→4→3	2	3
	1→3	1	
	1→2→3	2	
1→4	1→4	1	3
	1→3→4	2	
	1→2→3→4	3	
2→3	2→1→4→3	3	3
	2→3	1	
	2→1→3	2	
2→4	2→3→1→4	3	4
	2→1→4	2	
	2→3→4	2	
	2→1→3→4	3	
3→4	3→1→4	2	3
	3→2→1→4	3	
	3→4	1	

### 3 结束语

对于网络抗毁性评估量的选取,许多文献都采用了综合性的单一抗毁性量度,都是一种宏观的评价。这对于用户来说不能很清晰地体现网络的抗毁性能。本文中的模型采用了多个抗毁性度量值,从多个角度对网络的抗毁性进行了评价且模型具有以下特点:

1) 所选取的评价参数是用户最为关心的参数;

2) 可以进行网络拓扑结构优化;

3) 用方差反映评估量的个体波动情况。最后一点是其它的评估方法所没有涉及到的,也是用户想要看到的。需要指出的是模型还需要考虑,当失去网络中某些节点后,对完成通信量及速度方面的影响并引入相关的评价量。

#### 参考文献:

- [ 1 ] 钟联炯,徐锋. 通信网络拓扑抗毁性算法[J]. 火力与指挥控制,2003,28(7):113-114.  
ZHONG Lianjiong,XU Feng. The Computer Network Algorithm of Invulnerability[J]. Fire Control & Command Control,2003,28(7):113-114. (in Chinese)
- [ 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.  
CHEN Jianguo,ZHANG Yongjing. Study on Evaluation Algorithm for Topology Survivability of Communication Network[J]. Radio Communications Technology, 2006,32(1):6-7. (in Chinese)
- [ 3 ] 刘啸林,王能. 通信网络抗毁性量度研究[J]. 上海师范大学学报:自然科学版,2006,35(5):38-41.  
LIU Xiaolin,WANG Neng. Study on Measures of Communication Network Invulnerability[J]. Journal of Shanghai Normal University:Natural Science Edition,2006,35(5):38-41. (in Chinese)
- [ 4 ] 肖伟锋,钟联炯. 一种通信网络抗毁性评价方法[J]. 西安工业学院学报,2002,22(4):292-294.  
XIAO Weifeng,ZHONG Lianjiong. A Method to Evaluate the Invulnerability of Communication Networks[J]. Journal of Xi'an Institute of Technology,2002,22(4):292-294. (in Chinese)
- [ 5 ] 刘亭,张杭. 网络抗毁性综述[J]. 军事通信技术,2003,24(4):19-21.  
LIU Ting,ZHANG Hang. Review of the Network Survivability[J]. Journal of Military Communications Technology,2003,24(4):19-21. (in Chinese)
- [ 6 ] Knight J C,Sullivan K J. On the Definition of Survivability[R]. Technical Report CS-TR-33-00,2000.
- [ 7 ] Kent F,Shahram L,Pradip K S. Reliability Modeling and Assessment of the Star Graph Networks[J]. IEEE Transactions on Reliability,2002,51(1):49-59.
- [ 8 ] Schroeder M A,Newport K T. Augmenting Tactical Communications Networks to Enhance Survivability[C]//Proceedings of the IEEE Military Communications Conference. NJ,USA:IEEE Press,1998:507-513.
- [ 9 ] Shi J J,Fonseka J P. Analysis and Design of Survivable Telecommunications Networks[C]//IEEE Proceedings of Communications. UK:IEE Press,1997:322-330.
- [ 10 ] 申卯兴,许进,王帅. 空中目标威胁排序的灰色聚类决策方法[J]. 系统工程与电子技术,2008,30(9):1721-1723.  
SHEN Maoxing,XU Jin,WANG Shuai. Grey Cluster Decision Making Way for the Threat Ordering of Aerial Targets[J]. Systems Engineering and Electronics,2008,30(9):1721-1723. (in Chinese)

(编辑:徐楠楠)

## A Method of Evaluating the Invulnerability of Communication Networks Structure

REN Jun-liang, SHEN Mao-xing, SHI Xiang-feng

(Missile Institute, Air Force Engineering University, Sanyuan 713800, Shaanxi, China)

**Abstract:** Based on the evaluation technology of multi-value about invulnerability, the invulnerability of the communication networks is evaluated in the view of battle. First, an evaluation model is built. In the model, some invulnerable indexes about which the clients are concerned are selected. The variation can incarnate the fluctuation of individuals. Second, the strategy of attacking vertexes, which has been used in many articles, is not adopted. But the more practical strategy is that the vertex which emerges most frequently in paths is searched and attacked. Finally an example of network is analyzed by using the model, the analysis result shows that the model can be used to evaluate the invulnerability of the communication networks and tell that which part of the network structure needs optimization.

**Key words:** invulnerability; communication networks; evaluation scheme; network structure optimization; attack strategy