

doi: 10.7690/bgzd.2015.05.006

某型武器通信系统脆性建模与分析

胡 俊

(陆军军官学院五系, 合肥 230031)

摘要: 某型武器通信系统进行脆性建模与分析的目的是找到该通信系统的脆性源, 为改进装备维修保障工作提供依据。运用图论建立通信系统脆性模型, 对模型进行分层重构。找到通信系统的脆性源, 得到分层的系统脆性模型。分析结果表明: 在某型武器通信系统中, 通信控制机是其脆性源, 对完善某型武器通信系统建构、改善通信控制机性能、开展通信控制机操作训练和故障诊断训练等具有很强的指导作用, 同时也为建设某型通信控制机故障诊断训练系统提供理论依据。

关键词: 通信系统; 通信控制机; 脆性建模分析; 图论

中图分类号: TJ02 **文献标志码:** A

Brittleness Modeling and Analysis on A Weapon's Communication System

Hu Jun

(No. 5 Department, Army Command College, Hefei 230031, China)

Abstract: Brittleness modeling and analysis that was adopted to a weapon's communication system aimed to find the brittle source of the communication system and to provide basis for improve the work of equipment's maintenance. Brittleness model of communication system was constructed by the graph theory, then the model was reconstructed hierarchically. And brittle source of communication system was found, hierarchical system brittle model was got at last. It was demonstrated by the analysis result that communication controller was brittle source of a weapon's communication system. As a result it has stronger directive function to consummate the construction of a weapon's communication system, improve the performance of communication controller, develop the operation training and fault diagnosis training of communication controller, theoretical support was afforded to construct a fault diagnosis training system of communication controller at the same time.

Keywords: communication system; communication controller; brittleness modeling and analysis; graph theory

0 引言

某型武器通信系统是由通信控制机、电台、数传设备、电话机、传真机、网络交换机、路由器、网络通信转换器及各种接口设备组成的一个较为复杂的通信系统, 通过有线通信、无线通信的方式, 构成通信网完成通信任务。对某型武器通信系统进行脆性研究, 可以深化对某型武器通信系统的认识, 提高解决突发事件对通信系统影响的能力。

文献[1]依据复杂系统脆性基础理论, 界定了指挥信息系统脆性概念, 建立指挥信息系统脆性分析模型, 提出指挥信息系统脆性评估方法, 并以某战术级指挥信息系统脆性评估为例说明了模型的应用, 有效地解决了指挥信息系统脆性评估问题, 对于系统建设方案优先和改进完善系统具有重要意义。在建立分析模型过程中, 采用了脆性熵函数模型, 对于指挥信息系统中的脆性源的分析还不够具体。对某战术级指挥信息系统建设方案进行脆性评估, 最终给出评估结果, 为确定指挥信息系统建设

方案提供理论依据。但是没有给出现有指挥信息系统、通信系统等指控系统进行系统脆性分析的建模与分析方案。基于此, 笔者对某型武器通信系统采用基于图论的系统脆性分析, 以找到某型武器通信系统的脆性源。

1 通信系统脆性模型与分析

某型武器通信系统的脆性模型的建模思想是先建立通信系统的脆性模型, 再进行通信系统脆性模型的分层重构, 最后得到分层的通信系统脆性模型。

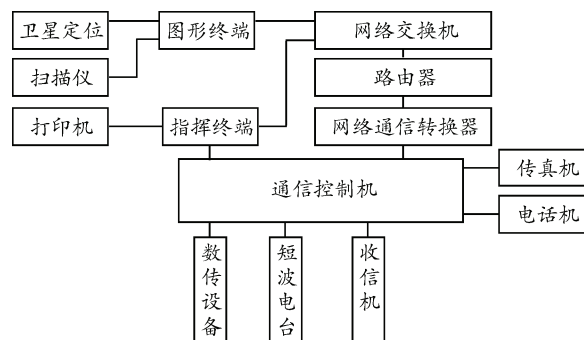
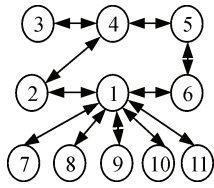


图1 通信系统组成

收稿日期: 2015-01-06; 修回日期: 2015-02-02

作者简介: 胡俊(1983—), 男, 山西人, 在读硕士, 从事武器装备训练模拟器材研究。



1. 通信控制机; 2. 指挥终端; 3. 图形终端; 4. 网络交换机; 5. 路由器; 6. 网络通信转换器; 7. 传真机; 8. 电话机; 9. 收信机; 10. 短波电台; 11. 数传设备。

图 2 某型武器通信系统关联有向图

某型武器通信系统的脆性模型的建立思路：

$$Z = \left\{ (1,2), (1,6), (1,7), (1,8), (1,9), (1,10), (1,11), (2,1), (2,4), (3,4), (4,2), (4,3), (4,5), (5,4), (5,6), (6,1), (6,5), (7,1), (8,1), (9,1), (10,1), (11,1) \right\}$$

3) 求出通信系统的邻接矩阵：

$$L = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

4) 求出通信系统的可达矩阵：

通信系统的可达矩阵的求取：令 $M=L+I$ ，求得 M^2 ， M^3 等元素的值，直到 $M^i=M^{i+1}$ ，则可达矩阵为 $R=M^i$ 。在计算过程中，当矩阵中的数值大于 1 时，由于大于 1 的数值与数值 1 的物理意义相同，故而将其赋予数值 1。

$$M = L + I = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

1) 对整个通信系统进行结构分析，整理出通信系统的总节点数。

某型武器通信系统如图 1 所示。

2) 对通信系统内的各设备关联情况进行分析，得到各设备间的关联有向图。某型武器通信系统关联有向图如图 2 所示。

此系统共有 11 个节点，各个节点间的关系为：系统的节点： $J = \{1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11\}$ 。

系统中的有向支路：

$$M^4 = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$$

$$M^5 = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$$

从计算中可以看出： $M^5=M^4$ ，所以通信系统脆性可达矩阵为 $R=M^4$ 。

从通信系统脆性可达矩阵中能看出：该通信系统各个节点均可以到达其他节点，如果通信系统的脆性强度和脆性传播概率足够大，就可以造成整个通信系统的崩溃。

5) 给出通信系统的脆性强度矩阵。脆性强度是指脆性源被触发条件触发而导致崩溃，并且会对与其相关联的节点产生影响，导致连锁性崩溃的发生。为了衡量影响程度，定义脆性强度 W_{ij} 指子系统 i 的崩溃对子系统 j 的影响程度，且 $W_{ij} \in [0, 1]$ 。根据影响程度的不同， W_{ij} 在 0~1 中间变化。 W_{ij} 越大表明脆性强度越强。在此采用专家打分法，并经过数据归一化处理 and 一致性检验后，得到通信系统的脆性强度矩阵 W 和传播概率矩阵 P 。

$$W = \begin{bmatrix} 0 & 0.9 & 0 & 0 & 0 & 0.9 & 0.4 & 0.4 & 0.5 & 0.8 & 0.8 \\ 0.7 & 0 & 0 & 0.8 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0.2 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0.8 & 0.2 & 0 & 0.7 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0.7 & 0 & 0.8 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0.7 & 0 & 0 & 0 & 0.8 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0.2 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0.2 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0.3 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0.6 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0.6 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$P = \begin{bmatrix} 0 & 0.6 & 0 & 0 & 0 & 0.6 & 0.8 & 0.8 & 0.7 & 0.8 & 0.8 \\ 0.6 & 0 & 0 & 0.9 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0.7 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0.9 & 0.7 & 0 & 0.9 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0.9 & 0 & 0.8 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0.6 & 0 & 0 & 0 & 0.8 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0.8 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0.8 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0.7 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0.8 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0.8 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

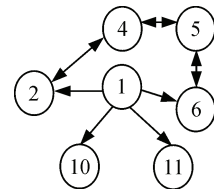
6) 给出通信系统的传播概率矩阵。传播概率 P_{ij} 是指当脆性强度位于 0~1 之间变化时，节点 i 引起节点 j 崩溃的概率， $P_{ij} \in [0, 1]$ 。

7) 给出通信系统的脆性传播阈值，求出通信系统的脆性传播矩阵。脆性传播矩阵 C 表示通信系统中的节点间是否能引起连锁性崩溃的矩阵， $C = [0, 1]$ 。节点 i 是否引起节点 j 崩溃，由脆性传播阈值 Y 决定， $C = \begin{cases} 0, & W_{ij}P_{ij} < Y \\ 1, & W_{ij}P_{ij} > Y \end{cases}$ 。设通信系统的脆性传播阈值 $Y=0.5$ 。通信系统的脆性传播矩阵为

$$C = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$(C + I)^4 = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

8) 由通信系统的脆性传播矩阵，得到通信系统的脆性模型。最后形成通信系统的脆性模型如图 3 所示。



1. 通信控制机; 2. 指挥终端; 4. 网络交换机; 5. 路由器; 6. 网络通信转换器; 10. 短波电台; 11. 数传设备。

图 3 通信系统的脆性模型

通过对通信系统的脆性传播矩阵的运算可知，节点 1 的崩溃引起其他 6 个节点的崩溃。

9) 求出通信系统各节点的脆性度矩阵 D 。节点 i 的脆性度 D_i 是由节点 i 引起的崩溃节点的个数。

$$D = [6 \ 3 \ 0 \ 3 \ 3 \ 3 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0]$$

10) 求出通信系统各节点的脆性关键度矩阵 η 。节点 i 的脆性关键度 η_i 是指由节点 i 引起崩溃的节点个数占总的节点个数的值。

$$\eta = \begin{bmatrix} 3 & 3 & 0 & 3 & 3 & 3 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 5 & 10 & 10 & 10 & 10 & 10 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

11) 求出通信系统的脆性源： $S=\{1\}$ 。

12) 求出通信系统的可达集 K 、先行集 X 和共同集 T 。可达集 K 由节点 i 能够到达的节点集合组成，也就是通信系统脆性传播矩阵中第 i 行中所有数值为 1 的节点组成。先行集 X 由能到达节点 i 的所有节点的集合组成，也就是通信系统脆性传播矩阵中第 i 列中所有数值为 1 的节点组成。共同集 T 指把所有节点 i 的可达集 $K(i)$ 与先行集 $X(i)$ 的交集作为先行集 $X(i)$ 的节点集合。通信系统的可达集、先行集和共同集如表 1 所示。

表 1 通信系统的可达集、先行集和共同集

节点	$K(i)$	$X(i)$	$K(i) \cap X(i)$	T
1	1, 2, 4, 5, 6, 10, 11	1	1	
2	2, 4, 5, 6	1, 2, 4, 5, 6	2, 4, 5, 6	
3	3	3	3	
4	2, 4, 5, 6	1, 2, 4, 5, 6	2, 4, 5, 6	
5	2, 4, 5, 6	1, 2, 4, 5, 6	2, 4, 5, 6	
6	2, 4, 5, 6	1, 2, 4, 5, 6	2, 4, 5, 6	1, 3, 7, 8, 9
7	7	7	7	
8	8	8	8	
9	9	9	9	
10	10	1, 10	10	
11	11	1, 11	11	

13) 对通信系统脆性模型进行区域划分。所谓区域划分就是把节点之间的关系分为可达与不可达，并且判断哪些节点是连通的。由于共同集有 5 个节点，所以具有 5 个连通域。其中节点 1, 2, 4, 5, 6, 10, 11 是一个连通域，节点 3, 7, 8, 9 各为一个域。

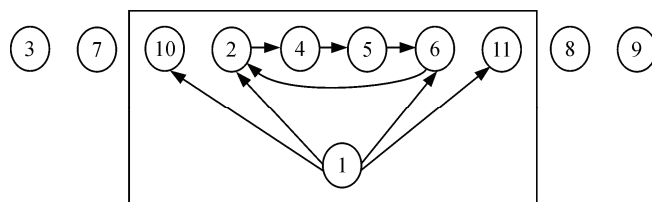
14) 对通信系统脆性模型进行级间划分。所谓级间划分就是把系统中的所有节点以脆性传播矩阵为准则划分成不同级层。方法：找出最上一级节点，满足条件 $K(i)=K(i) \cap X(i)$ 。找出最高一级节点后，再从剩下的节点中寻找新的最高级节点。

由于 $K(i)=K(i) \cap X(i)$, $i=2, 3, \dots, 11$ ，划去 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11 后，有

$$K(1) = K(1) \cap X(1)$$

15) 对通信系统脆性模型进行强连通块划分。所谓强连通块是指双向通道划分，就是说 2 个节点是互为可达的。由于 2, 4, 5, 6 互为可达，所以它们是强连通块。

16) 得到分层的通信系统脆性模型。划分后的分层通信系统脆性模型为 2 层：第 1 层为 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11；第 2 层为 1，如图 4 所示。



1. 通信控制机; 2. 指挥终端; 3. 图形终端; 4. 网络交换机; 5. 路由器; 6. 网络通信转换器; 7. 传真机; 8. 电话机; 9. 收音机; 10. 短波电台; 11. 数传设备。

图 4 分层通信系统脆性模型

2 结束语

笔者运用图论建立某型武器通信系统脆性模型并进行分析，最后找到某型武器通信系统的脆性源——通信控制机。即某型武器通信系统在完成任务过程中，就必须保证通信控制机始终处于可靠、稳定的工作状态中，否则就有可能引起整个通信系统的崩塌，最终影响到某型武器的作战使用^[6]。然而在实际操作使用过程中，很难保证某一装备能够始终处于可靠稳定的工作状态，特别是像通信控制机这样的现代电子通信装备。因此，就更有必要开展通信控制机的故障诊断训练，特别是建设一个通信控制机故障诊断训练平台，在此平台上开展装备维修保障训练，对于克服装备维修保障训练依赖实装开展的困难、减少实装损耗具有很强的现实意义。

参考文献:

[1] 李志刚. 军队指挥信息系统脆性评价分析方法[J]. 指挥控制与仿真, 2010, 32(6): 5-8.
 [2] 闫丽梅. 系统的脆性理论及其在电力系统中的应用[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工程大学, 2006: 19-22.
 [3] 张美荣. 基于图论的电力系统脆性分析及仿真[D]. 哈尔滨: 哈尔滨理工大学, 2012: 34-37.
 [4] 董文峰. 基于事故调查报告的船舶碰撞事故脆性分析[D]. 大连: 大连海事大学, 2012: 51-53.
 [5] 王佳明. 基于复杂系统脆性理论的电网连锁故障预警模型研究[D]. 北京: 华北电力大学, 2013: 38-41.
 [6] 蒋煜琪, 谷兆贵, 史旺旺. 基于 ZigBee 和 GPRS 的多通讯功能无线测控系统[J]. 机电工程, 2014, 31(6): 814.