

用业务量损失法评估通信网链路的重要性*

田芳 沙基昌

(国防科技大学系统工程与数学系 长沙 410073)

摘要 本文从业务量损失方面来考虑通信网链路的重要性,提出了一种用于评估通信网链路重要性的方法—业务量损失法。该方法根据不同链路故障造成业务量损失率的不同,据此判断链路的重要性。在不同的路由选择方式下,业务量损失法的评估结果也不同。本文考虑了两种路由选择方式,并举例说明了业务量损失法的运用。

关键词 通信网, 可靠性, 链路, 重要性

分类号 TN913.2

Evaluation of Link Importance in Communication Networks

Tian Fang Sha Jichang

(Department of Systems Engineering and Mathematics, NUDT, Changsha, 410073)

Abstract The paper provides three methods to evaluate link importance in communication networks. The methods are compared one another to distinguish their goodness. These methods can be applied to the design of network and the improvement of network reliability.

Key words communication network, reliability, link, importance.

由于人为因素和自然因素,通信网链路容易发生故障,对通信网的可靠性造成很大影响。当有多条链路同时发生故障时,如何确定维修的先后顺序,使通信网遭受的损失为最小,或者在设计网络时,对网络某些重要链路予以重视,减少它们的故障率,这将提高整个通信网的可靠性。因此有必要对通信网链路重要性进行评估。

通信网链路重要性取决于链路对通信网可靠性度量的影响程度。因此,对通信网可靠性的不同度量,也就产生了不同的评估通信网链路重要性的方法。文献[1]介绍了两种评估通信网链路重要性的方法:最小路集—割集法和可靠性多项式法。这两种方法都

是从网络拓扑结构方面来评价链路的重要性，没有考虑到网络的通信业务性能。本文提出了一种业务量损失法，从网络的通信业务量损失方面来评估链路的重要性，考虑了网络的通信流量性能。

本文首先介绍通信网链路重要性的评估模型，然后介绍业务量损失法，最后举例说明该方法的运用。

1 评估模型

连通图 $G(V, E)$ 表示一个通信网系统，它由 $|V|=n$ 个节点和 $|E|=m$ 条边所组成。图中的节点表示通信网的终端设备和交换设备。图中的边表示通信网的传输链路。图 G 有目标节点集 K 表示通信网系统中相互通信的源—宿节点的集合，它是节点集 V 的子集。在规定某种可靠性测度指标 I 的前提下，如果链路（边） e_1 比链路（边） e_2 重要，则表示为 $e_1 \overset{I}{>} e_2$ ；如果链路（边） e_1 比链路（边） e_2 重要或者同等重要，则表示为 $e_1 \overset{I}{\geq} e_2$ ；如果链路（边） e_1 与链路（边） e_2 同等重要，则表示为 $e_1 \overset{I}{\approx} e_2$ 。通过比较每条链路对通信网系统可靠性测度指标的影响程度，可以判断它们的重要性。一般地，对于链路 e ，可以考虑如下两种情况：

- (1) 当链路 e 出故障时，在图 G 中删掉边 e 后的图 $G-e$ 的可靠性测度指标值；
- (2) 当链路 e 正常时，在图 G 中收缩边 e 后的图 $G * e$ 的可靠性测度指标值。

对于链路 e_1, e_2 而言。如果对于可靠性测度指标 I 有：

- (1) $G-e_1$ 的可靠性测度指标值劣于或等于 $G-e_2$ 的可靠性测度指标值；
- (2) $G * e_1$ 的可靠性测度指标值优于或等于 $G * e_2$ 的可靠性测度指标值。

那么， e_1 比 e_2 重要或同等重要，记为 $e_1 \overset{I}{\geq} e_2$ ；当上述两个等于情况不同时成立时，则 e_1 比 e_2 重要，记为 $e_1 \overset{I}{>} e_2$ 。
如果 $e_1 \overset{I}{\geq} e_2, e_2 \overset{I}{\geq} e_1$ ，那么 $e_1 \overset{I}{\approx} e_2$ 。

2 业务量损失法

业务量损失法用业务量损失率指标（记为 LS ）来衡量通信网的可靠性，评估链路的重要性。这里的业务量损失率是指单位时间内通信网的业务损失量占总业务量的比率。在指标 LS 下，如果链路 e_1 比链路 e_2 重要，则记为 $e_1 \overset{LS}{>} e_2$ ；如果链路 e_1 比链路 e_2 重要或者同等重要，则记为 $e_1 \overset{LS}{\geq} e_2$ ；如果链路 e_1 与链路 e_2 同等重要，则记为 $e_1 \overset{LS}{\approx} e_2$ 。对于一个通信网，假如通信网的业务总量为 L ，已知目标节点对的业务需求情况，那么，在一定的路由准则下，可以求得：当链路 e_i 发生故障时，通信网的业务损失量 L_i 。由此可以算出链路 e_i 的业务量损失率 r_i 为 L_i/L 。对于链路 e_1, e_2 ，如果：

- (1) $r_1 > r_2$ ，那么 $e_1 \overset{LS}{>} e_2$ ；
- (2) $r_1 \geq r_2$ ，那么 $e_1 \overset{LS}{\geq} e_2$ ；
- (3) $r_1 = r_2$ ，那么 $e_1 \overset{LS}{\approx} e_2$ 。

在不同的路由准则下，运用业务量损失法所得出的结果是不一样的。在采用固定路由的情况下，每个节点对只有一条固定路由，每条链路的业务流量就是该链路故障时的业务损失量 L_i 。在采用顺序路由的情况下，假设每对节点之间有 S 条路由可供选择，节点对 a 选择第 k_a 条路由的概率为 p_{a,k_a} ， $a=1, 2, \dots, A$ ， $k_a=1, 2, \dots, S$ ，其中 A 为目标节点集 K 的节点对数量。那么，可以证明，链路 ei 的业务量损失率 ri 为：

$$ri = \sum_{k_1=1}^S \sum_{k_2=1}^S \dots \sum_{k_A=1}^S p_{1,k_1} \cdot p_{2,k_2} \dots p_{A,k_A} \cdot L_{i,k_1 k_2 \dots k_A} / L$$

$$= \sum_{a=1}^A H_a \sum_{k_a=1}^S P_{a,k_a} \cdot \delta_{a,k_a,i} / L$$

其中： $L_{i,k_1 k_2 \dots k_A}$ 为当链路 ei 故障，节点对 a 选择第 k_a 条路由时，网络的业务损失量；

H_a 为节点对 a 的业务负荷量；

$\delta_{a,k_a,i}$ 为示性函数，当链路 i 在节点对 a 的第 k_a 条路由上时为 1，当链路 i 不在节点对 a 的第 k_a 条路由上时为 0。

在采用固定路由的情况下，业务量损失法的计算较简单，计算复杂性为 $O(A \cdot m \cdot d)$ ，其中 d 为网络直径。在采用顺序路由的情况下，如不考虑计算 P_{a,k_a} 的计算量，计算复杂性为 $O(A \cdot m \cdot d \cdot S)$ 。业务量损失法不但反映了网络的拓扑结构，还反映了网络的业务量需求以及路由选择方式。下面以一个具体的例子来说明该方法的运用。

3 举例说明

图 1 是一个长途电话网的网络拓扑结构图，图中的方形表示终端局，圆形表示汇接局。该电话网的日常话务量分布如表 1 所示，话务量单位为 Erlang。总话务量为 118.7 Erlang。

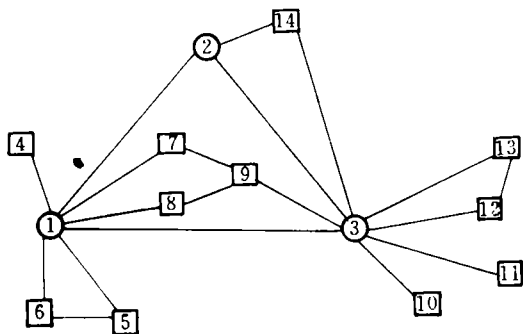


图 1

表 1

话务局 量号 局号	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
4	0	0	0	0	0.2	0.7	0.2	0	0	0	0.2
5	0.2	0	7.1	0.4	0.4	0.4	0.2	0.2	0.2	0.2	1.6
6	0	7.1	0	0.4	0.4	0.4	0.2	0	0.2	0.2	1.6

(续表1)

7	1.6	0.2	0.4	0	0.4	2.0	0.4	0.2	0.4	0.2	0.5
8	0	0.4	0.4	0.4	0	2.1	0.2	0.2	0.2	0.2	0.7
9	0	0.5	0.4	1.8	2.1	0	2.7	2.8	2.7	3.4	6.6
10	0	0.4	0.2	0.4	0.2	2.0	0	0.4	0.4	0.5	0.5
11	0	0.2	0.2	0.2	0.2	4.6	0.4	0	2.8	2.0	6.0
12	0	0.2	0.2	0.4	0	2.0	0.4	2.8	0	1.4	0.5
13	0	0.2	0.2	0.2	0.2	5.7	0.5	1.1	1.4	0	2.1
14	0.2	1.6	1.6	0.5	0.5	6.6	0.5	6.0	0.5	2.8	0

有业务需求的节点对所采用的顺序路由及其采用概率如表2所示。

表2

源-宿节点对	第一路由	概率	第二路由	概率	第三路由	概率
4-8	4-1-8	1.0				
4-9	4-1-3-9	0.7	4-1-2-3-9	0.3		
4-10	4-1-3-10	0.7	4-1-2-3-10	0.3		
4-14	4-1-2-14	0.5	4-1-3-14	0.3	4-1-3-2-14	0.2
5-4	5-1-4	1.0				
...						
13-5	13-3-1-5	0.7	13-3-2-1-5	0.3		
13-6	13-3-1-6	0.7	13-3-2-1-6	0.3		
...						
13-14	13-3-14	0.5	13-3-2-14	0.3	13-3-1-2-14	0.2
14-4	14-2-1-4	0.7	14-3-1-4	0.3		
14-5	14-2-1-5	0.7	14-3-1-5	0.3		
...						
14-11	14-3-11	0.5	14-2-3-11	0.3	14-2-1-3-11	0.2
14-12	14-3-12	0.5	14-2-3-12	0.3	14-2-1-3-12	0.2
14-13	14-3-13	0.5	14-2-3-13	0.3	14-2-1-3-13	0.2

运用顺序路由方式下的链路业务量的计算方法，可得链路的业务量及其故障损失率如表3所示。

表 3

链路 (i, j)	业务量 (Erlang)	故障损失率
(1, 2)	13. 6	0. 1145
(1, 3)	15. 68	0. 1321
(1, 4)	3. 3	0. 0278
(1, 5)	11. 76	0. 0990
(1, 6)	11. 26	0. 0948
(1, 7)	7. 2	0. 0607
(1, 8)	5. 2	0. 0438
(2, 3)	11. 81	0. 0995
(2, 14)	22. 35	0. 1883
(3, 9)	41. 5	0. 3496
(3, 10)	10. 7	0. 0901
(3, 11)	30. 3	0. 2553
(3, 12)	14. 74	0. 1242
(3, 13)	20. 54	0. 1730
(3, 14)	18. 75	0. 1580
(5, 6)	9. 94	0. 0837
(7, 9)	3. 8	0. 0320
(8, 9)	4. 2	0. 0354
(12, 13)	1. 96	0. 0165

根据故障损失率, 链路的重要性顺序为:

$$\begin{aligned}
 & (3, 9) \overset{LS}{>} (3, 11) \overset{LS}{>} (2, 14) \overset{LS}{>} (3, 13) \overset{LS}{>} (3, 14) \overset{LS}{>} (1, 3) \overset{LS}{>} (3, 12) \overset{LS}{>} \\
 & (1, 2) \overset{LS}{>} (2, 3) \overset{LS}{>} (1, 5) \overset{LS}{>} (1, 6) \overset{LS}{>} (3, 10) \overset{LS}{>} (5, 6) \overset{LS}{>} (1, 7) \overset{LS}{>} (1, 8) \\
 & \overset{LS}{>} (8, 9) \overset{LS}{>} (7, 9) \overset{LS}{>} (1, 4) \overset{LS}{>} (12, 13)
 \end{aligned}$$

参 考 文 献

- 1 Lavon B • page, Jo Ellen Perry. Reliability Polynominals and Link Importance in Networks. IEEE Trans. on Reliability, 1994, 43 (1) March
- 2 Ali Zolfaghari, Fred J. Kaudel. Framework for Network Survivability Performance. IEEE JSAC, January 1994, 12 (1)
- 3 Tsen, Sung. Lin , Hsu, Myrvold. Finding the Most Vital Edges with Respect to the Number of Spanning Trees. IEEE Trans. on Reliability, December 1994 43 (4)

(责任编辑 潘 生)