

文章编号: 1001-2486(2003)02-0068-05

基于再路由策略的保障网络性能可用性评估*

张凤林, 郭波, 王正明

(国防科技大学人文与管理学院, 湖南长沙 410073)

摘要:以保障战争物流所需的保障网络为背景, 基于面向任务的再路由策略, 提出了保障网络性能可用性评估框架。以任务物流时延为例, 研究了各种再路由策略下网络性能可用性指标的计算公式, 绘制了时延曲线图, 并作了对比分析。

关键词:再路由策略; 保障网络; 可用性; 时延

中图分类号: TB114.3 **文献标识码:** A

Evaluating the Availability on Network Performances Based on Rerouting Strategies

ZHANG Feng-lin, GUO Bo, WANG Zheng-ming

(College of Humanities and Management, National Univ. of Defense Technology, Changsha 410073, China)

Abstract: A general framework is presented for evaluating the availability on the network performances in a logistics network. The evaluation is based on mission-oriented rerouting strategies. As a representative, the availability on the traffic delay of some logistics flow is studied with different rerouting strategies and the graph on traffic delay is made. In the graph, the delays are analyzed by comparison.

Key words: rerouting strategies; logistics network; availability; delay

保障网络是为了保证现代战争所需, 以基地等保障实体为依托, 把各种保障资源按一定要求和原则合理部署, 在空间上成网络化布局的保障体系。在该体系中, 基地、兵站、仓库、供应站等构成保障实体, 铁路、公路等运输线是连接成网的纽带。在战争环境下, 如何从可用性的角度描述网络性能指标的变化是网络可靠性领域的一个新课题。

传统上, 研究网络可靠性的方法有两种: 一种是把网络看做纯图, 在已知网络节点和弧的可靠度的前提下, 把评估网络连通性的度量作为网络可用度^[1]; 另一种是考虑了流网络的目的, 认为网络是从起点到目的节点传输实体流, 在这种网络中, 可用性度量是和网络的传输能力相联系的测度^[2]。上述两种方法均存在许多不足: 在方法一中, 许多连通量计算已经被证明或被怀疑可引起 NP 问题。并且, 该方法没有考虑网络流的本质, 像容量和节点需求等的一些相关指标也被完全忽略了。方法二的明显优点是考虑了网络流的本质。但这两种方法都忽视了一个实际情况: 实际网络中的故障引起的路由或再路由问题。John^[3]指出, 网络可靠性和性能统一的模型研究是网络可用性的一个重要研究方向。文献[4~6]提出了应用路由模型评估网络可用性的问题, 但关于该问题的研究仅限于通信领域。

1 保障网络再路由策略

1.1 假设

为了说明保障网络再路由策略, 为评估其性能可用性作准备, 需要作出一些合理的假设: (1) 网络中故障或毁伤的修复时间可包括调动和维修人员到达出事地点的时间、维修所用的时间等; (2) 研究的物流对象不可分流传输; (3) 当物流需要返回源点进行再路由选择时, 可假设从源点重发同样的物流,

* 收稿日期: 2002-10-09

作者简介: 张凤林(1971—), 男, 博士生。

以节省时间,但忽略了物流的准备时间,从研究的角度讲,这种假设是可行的;(4)所研究的物流只有一个计划终点,没有备用终点。

1.2 甲情况下的再路由策略

在图1中, $S-A-B-D$ 为原始最优路径。在甲情况下,物流有四种再路由策略(如图2所示):

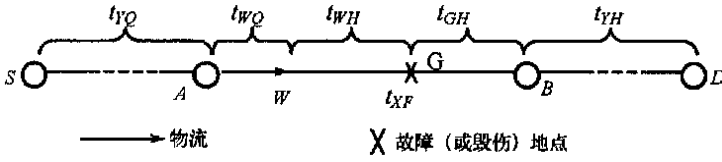


图1 甲情况下网络链路故障示意图

Fig. 1 Logistics flow and network damage in case A

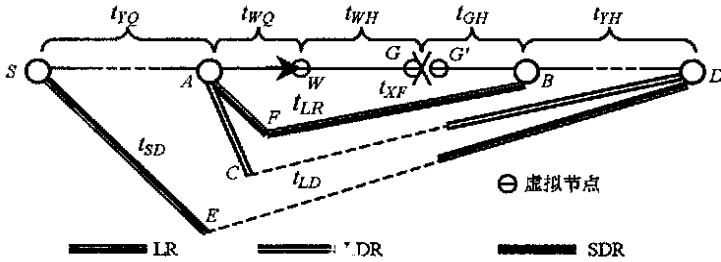


图2 甲情况下物流再路由策略示意图

Fig. 2 Rerouting strategies of logistics flow in case A

(1) 不路由策略(NR): 对物流不执行再路由选择, 只等待毁伤修复, 即沿路径 $W-G-B-D$ 运行。(2) 局部再路由(LR): 以毁伤链路的两端点为始终点执行的再路由选择。在图中, 以 $W-A-F-B$ 代替 $W-G-B$ 。(3) 局部终点再路由(LDR): 以毁伤链路的始点为始点, 以物流终点为终点执行的再路由选择。图2中, 以 $W-A-G-D$ 代替 $W-G-B-D$ 。(4) 始终点再路由(SDR): 以物流源终点为始终点执行的再路由选择。该策略是从全网的角度总体平衡, 为节约任务物流到达目的地的时间, 从物流源点再重发同样的物流。在图2中, 重发物流沿路径 $S-E-D$ 到达终点 D 。

1.3 乙情况下的再路由策略

在图3中, 原始最优路径是 $S-A-B-C-E-D$ 。乙情况下, 物流有四种再路由策略(如图4所示):

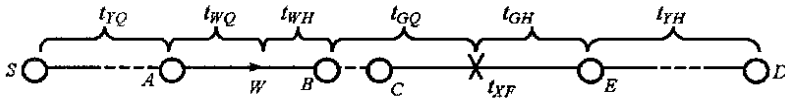


图3 乙情况下网络链路故障示意图

Fig. 3 Logistics flow and network damage in case B

(1) 不路由策略(NR): 同甲情况的NR。(2) 局部再路由(LR): 同甲情况的LR。图4中, 以 $G-J-E$ 代替 $G-C-E$ 。(3) 局部终点再路由(LDR): 以物流所在虚拟节点为始点, 以物流终点为终点执行的再路

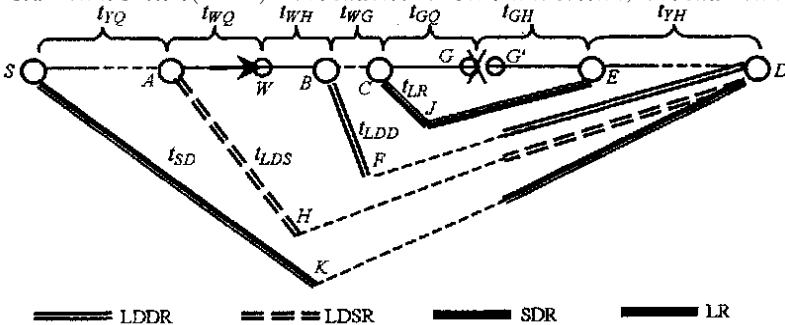


图4 乙情况下物流再路由策略示意图

Fig. 4 Rerouting strategies of logistics flow in case B

由选择。该策略又分两种情况:一种是再路由最优路径经过物流所在链路的前方节点(LDDR),在图4中,再路由路径为 $W-B-F-D$;另一种是再路由最优路径经过物流所在链路的后方节点(LDSR),在图4中,再路由路径为 $W-A-H-D$ 。(4) 始终点再路由(SDR):同甲情况的 SDR。

2 可用于评估网络可用性的性能指标

(1) 物流运行时延

网络故障或毁伤引起的物流传输时间的变化,既可以用绝对值——时间表示,也可以用相对值——时间的比值表示。本文采用前者。

(2) 物流流量变化

网络故障或毁伤引起的物流传输量的变化,既可以用路径的流量变化表示,也可以用网络最大流的流量变化表示。当然,这种变化既可以用绝对值表示,也可以用相对值表示。相对值为物流流量的变化比率: $R_f = f_{\max_d} / f_{\max_o}$, 式中, f_{\max_d} 表示毁伤发生以后的网络最大流量, f_{\max_o} 表示毁伤发生以前的网络最大流量。

(3) 物流路径保护率

该指标是以路径为描述对象的,表示某路径毁伤以后,备选路径容量满足其容量要求的程度,计算公式为: $PR_i = \min(f_i, f_b) / f_i$, 式中, f_i 表示发生毁伤的路径的流量, f_b 表示可能的备选路径的流量。

(4) 最小费用

物流在运输过程中,由于各种原因可能会遭受损失,损失量用最小费用表示。最小费用可能指所用时间、物流损失等,也可以用相对值表示。

3 时延指标的可用性评估

在保障网络中,定义物流时延(t_{delay})为:由于网络毁伤导致物流需要进行再路由选择,使得物流到达终点的时间延长量。计算公式为

$$t_{delay} = t_R - t_Y \quad (1)$$

式中, t_R 为经再路由选择后,物流从源点到达终点所需要的总时间, t_Y 为在再路由选择前,物流从源点到达终点原定所需要的时间。

3.1 甲情况下物流时延分析

(1) 不路由策略

在该策略下, t_R 的计算可分为两种情况,即 $t_{XF} > t_{WH}$ 和 $t_{XF} \leq t_{WH}$ 。则 t_R 和 t_Y 分别为

$$t_R = \begin{cases} t_{YQ} + t_{WQ} + t_{XF} + t_{GH} + t_{YH} & t_{XF} > t_{WH} \\ t_{YQ} + t_{WQ} + t_{WH} + t_{GH} + t_{YH} & t_{XF} \leq t_{WH} \end{cases} \quad (2)$$

$$t_Y = t_{YQ} + t_{WQ} + t_{WH} + t_{GH} + t_{YH} \quad (3)$$

式中, t_{YQ} 为再路由选择前,物流从源点到达物流所在链路的始点所需要时间; t_{YH} 为再路由选择前,物流从毁伤链路的终点到达物流终点所需要时间; t_{XF} 为预计修复毁伤链路所需要的时间; t_{WQ} 为物流从所在链路的始点到达物流所在点所需要的时间; t_{WH} 为物流从物流所在点到达网络毁伤点所需要的时间; t_{GH} 为物流从毁伤点到达毁伤链路终点所需要的时间。利用公式(1)得

$$t_{delay} = \begin{cases} t_{XF} - t_{WH} & t_{XF} > t_{WH} \\ 0 & t_{XF} \leq t_{WH} \end{cases} \quad (4)$$

(2) 其他再路由策略

如图2所示,分别以 t_{LR} 、 t_{LD} 、 t_{SD} 表示物流经过 LR 路径 $A-F-B$ 、LDR 路径 $A-G-D$ 、SDR 路径 $S-E-D$ 所用时间。则在 LR 再路由策略下, t_R 和 t_{delay} 分别为

$$t_R = t_{YQ} + t_{LR} + 2t_{WQ} + t_{YH} \quad (5)$$

$$t_{delay} = t_{LR} + t_{WQ} - (t_{WH} + t_{GH}) \quad (6)$$

同理可得, 在其他再路由策略下, t_{delay} 分别为:

$$\text{LDR:} \quad t_{delay} = t_{LD} + t_{WQ} - (t_{WH} + t_{GH} + t_{YH}) \quad (7)$$

$$\text{SDR:} \quad t_{delay} = t_{SD} - (t_{WH} + t_{GH} + t_{YH}) \quad (8)$$

3.2 乙情况下物流时延分析

与甲情况相比, 乙情况的不同点在于物流还没有到达故障(或毁伤)链路, 物流与毁伤点之间相隔数条链路。因此, 其物流时延的计算相对要复杂一些。如图 4 所示, t_{LR} 、 t_{LDD} 、 t_{LDS} 、 t_{SD} 分别表示物流经过 LR 路径 $G-J-E$ 、LDDR 路径 $B-F-D$ 、LDSR 路径 $A-H-D$ 、SDR 路径 $S-K-D$ 所用时间。则在不同策略下, 可以得到物流到达终点的时延计算公式。

在不同再路由策略下, t_{delay} 分别为:

$$\text{NR:} \quad t_{delay} = \begin{cases} t_{XF} - (t_{WH} + t_{WG} + t_{GQ}) & t_{XF} > (t_{GQ} + t_{WG} + t_{WH}) \\ 0 & t_{XF} \leq (t_{GQ} + t_{WG} + t_{WH}) \end{cases} \quad (9)$$

$$\text{LR:} \quad t_{delay} = t_{LR} - (t_{GQ} + t_{GH}) \quad (10)$$

$$\text{LDDR:} \quad t_{delay} = t_{LDD} - (t_{WG} + t_{GQ} + t_{GH} + t_{YH}) \quad (11)$$

$$\text{LDSR:} \quad t_{delay} = t_{LDS} + t_{WQ} - (t_{WH} + t_{WG} + t_{GQ} + t_{GH} + t_{YH}) \quad (12)$$

$$\text{SDR:} \quad t_{delay} = t_{SD} - (t_{WH} + t_{WG} + t_{GQ} + t_{GH} + t_{YH}) \quad (13)$$

式中, t_{GQ} 为从毁伤链路的始点到达毁伤点所需要时间; t_{WH} 为物流从物流所在点到达所在链路前方节点所需要的时间; t_{WG} 为物流从物流所在链路前方节点到毁伤链路始点所需要的时间。

4 各种再路由策略的时延对比分析

各种再路由策略各有优缺点, 物流和毁伤点位于网络不同位置时, 按照不同的准则应用不同的再路由策略各有利弊, 而物流和毁伤点的位置是距离连续的。在一网络中, 为了比较各种再路由策略, 可以假设物流和毁伤点分别位于物流原始路径上的不同位置, 计算各种策略的时延值。如果以物流、毁伤点离开原点的距离为横、纵坐标, 以时延值为垂直坐标, 则得到的再路由策略时延图是俯视图为三角形的曲面柱体。

实际上, 要作出这样的立体曲面图是没有必要的, 因为根据网络的实际情况, 毁坏往往发生在一些关键路线的关键之处。因此, 可以假定毁伤点的位置固定, 这样就可以在简单的平面图上利用曲线把它们时延值描述出来, 据此比较各策略的优劣简单明了。即假设物流原始最优路径上的某点(代表桥梁或可能发生毁伤的重要地方)为毁伤点, 假设物流运行在原始路径上, 但尚未到达毁伤点。然后分别以物流离原点的距离(以时间表示, x)和时延(t_{delay})为横、纵坐标建立坐标系, 在图上画出再路由策略对应的时延曲线。

如图 5 所示, 网络中数据为用时间表示的距离, G 点为假想的链路毁伤位置, 一物流要从 S 点输送到 D 点, $S-G-B-D$ 为原始路径。分几种情况进行分析:

(1) 假设 $C-G$ 间距离为 1, 链路毁伤的修复时间为 4, 则当毁伤发生时, 得到物流在路径 $S-G-G$ 上任意位置所采取不同策略对应的时延如图 6(a) 所示; (2) 假设 $C-G$ 间距离为 4, 链路毁伤的修复时间为 4, 物流对应的再路由策略时延如图 6(b) 所示; (3) 假设 $C-G$ 间距离为 1, 链路毁伤的修复时间为 6, 物流对应的再路由策略时延如图 6(c) 所示; (4) 假设 $C-G$ 间距离为 4, 链路毁伤的修复时间为 6, 物流对应的再路由策略时延如图 6(d) 所示。

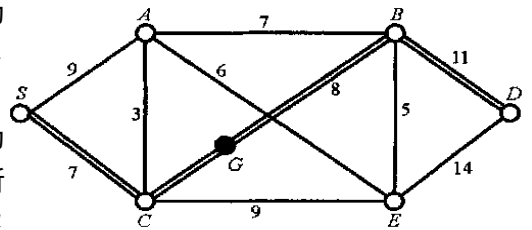


图 5 流网络示例

Fig. 5 Example of a logistics network

对比分析图 6 中各条曲线, 可以看出: (1) 毁伤位置不同, 各种再路由策略对应的时延曲线不同; (2) 毁伤的修复时间不同, 各种再路由策略对应的时延曲线不同; (3) 在毁伤位置及其修复时间确定的

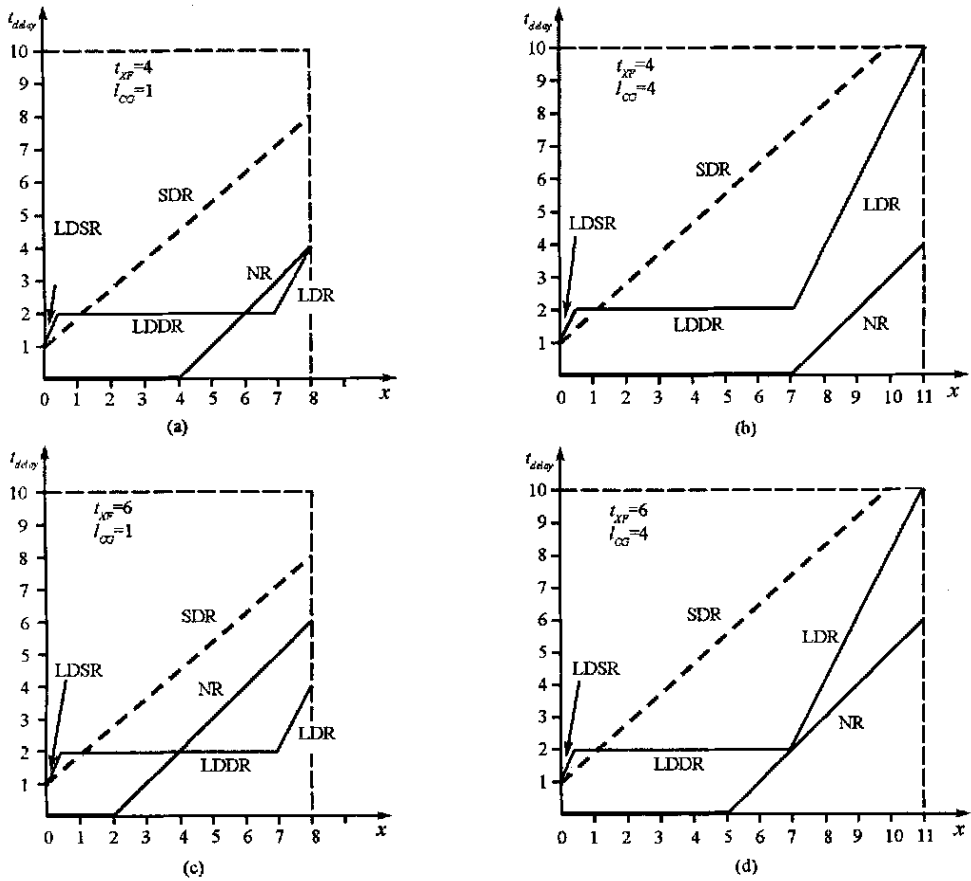


图6 再路由策略时延对比分析曲线

Fig. 6 Delay-time curves of rerouting strategies

状况下,根据时延对比曲线图可以给出物流应采取的再路由策略。例如,在图6(a)中,当物流位于 $x=7$ 的位置时,被通知毁伤已经发生,则可以采取“局部再路由”策略。

5 结论

提出了一组可用于保障网络可用性评估的性能指标。以指标“时延”为例,基于保障网络的再路由策略,给出了各种再路由策略的时延计算公式,以此为基础,应用再路由策略时延曲线对比了不同情况下各种再路由策略的时延。根据文中再路由策略时延对比分析曲线,可以给出网络任意状态(毁伤点确定)下的再路由策略选择路径。

参考文献:

- [1] Provan S, Ball M. Computing network reliability in time polynomial in the number of cuts[J]. Operations Research, 1984, 2(5): 516- 526.
- [2] Aggarwal K K. Integration of Reliability and Capacity in Performance Measure of a Telecommunication Network[J]. IEEE Trans. Reliability, 1985, 34(2): 184- 186.
- [3] John D, James C, Yong J. Current Telecommunication Network Reliability Models: A Critical Assessment[J]. IEEE Journal Selected Areas in Communication, 1986, 4(7): 1168- 1173.
- [4] Sanso B, Soumis F. Communication and Transportation networks Reliability using routing models[J]. IEEE transportation reliability, 1991, 40(1): 29- 38.
- [5] Kyamakyia K. Survivability performance analysis of rerouting strategies in an ATM/VP DCS survivable mesh network[J]. Computer Communication Review, 1998, 28(5): 22- 49.
- [6] Zhang F L, Go B, Wang Z M. Rerouting with considering communication network reliability[C]. Proceedings of ICRMS 2001: 1057- 1063.