一种新的网络2-终端可靠性评估算法*)

何 明[1,2] 裘杭萍[1] 刘 勇[1]
(解放军理工大学指挥自动化学院 南京 210007)[1] (东南大学信息科学与工程学院 南京 210096)[2]

摘 要 为了评估网络可靠性,提出一种计算网络2-终端可靠性的新方法。此方法在图的前沿描述的概念基础上,通过分析依赖树宽的复杂度,将其应用于网络可靠性问题中。该方法将平均维修时间应用到实际管理维修队列中,尤其对于优化网络、合理分配平均维修时间有实际应用价值。

关键词 网络可靠性,2-终端可靠性,平均维修时间,平均故障时间
中图法分类号 TP393 **文献标识码** A

New Evaluation Algorithm for the Network Two-terminal Reliability

HE Ming[1,2] QIU Hang-ping[1] LIU Yong[1]
(Institute of Command Automation, PLA Science and Technology University, Nanjing 210007, China)[1]
(Institute of Information Science and Engineering, Southeast University, Nanjing 210096, China)[2]

Abstract A new method for computing the network two-terminal reliability was presented. The basic idea of the algorithm presented here relies on the notion of a frontal description of a graph. The innovation point is that the originality of the present work is in the application to the two-terminal and all-terminal reliability problem with close analysis of the complexity depending on the tree-width. We discussed methods to optimize the mean time to repair of the components. The method is valuable for optimizing network and assigning the mean time to repair.

Keywords Network reliability, Two-terminal reliability, Mttr, Mtbf

从设计者的角度考虑,通信网可靠性的研究为通信网的架设、维护和修复提供了重要的指导依据。但是,提高网络可靠性的解决方案通常是很昂贵的。首先,从目前的研究情况来看,网络可靠性的定义有以下几种[1]:

定义1 在人为或自然的破坏作用下,网络在特定环境下和规定时间内,充分完成规定通信功能的能力。

定义2 在给定时间间隔内,装备能在给定条件下执行要求功能的概率。

定义3 由源点到终点能够成功地传送所需信息的概率。

定义4 当传输、交换发生故障和话务异常时可以维持正常业务的程度。

定义5 网络在规定条件下,在规定时间内,保持连通的能力。记为$R(t)$,其表示$R(t)=P(T>t)$。

后三种定义更倾向于消费者角度考虑,也是我们主要关注的。

对于网络中每一个设备,平均发生故障时间记为$Mtbf$,平均维修时间记为$Mttr$。假设所有的失效都是独立的,因此设备i不能工作的概率可以表示为比值$Mttr_i/Mtbf_i$。还可以说网络由每一个交换节点和传输链路组成,一个组成要素由若干设备构成。例如,一条SDH传输链路,可能由光纤和光多路复用器构成,在WDM网络中由若干光分插多路复用器构成。因此,计算每个网络组成要素的失效概率是可能的。本文基于以上假设,提出计算网络2-终端可靠性的新方法。

本文第1节介绍网络模型与符号;第2节分析了算法的理论基础;第3节描述了2-终端可靠性评估算法,并分析其计算复杂度;第4节给出一个实际的算法示例;最后指出下一步工作。

1 网络模型与符号

1.1 网络模型

通信网用图$G=(V,E)$来表示,图G中的每个节点或链路只有两种状态:可用或失效。其状态都是统计独立的,因此每个节点Vi的可用概率可表示为$P_V(i)$,而$Q_V(i)$则为v_i的失效概率。同理,每个链路(v_i,v_j)的可用概率可表示为$P_E(i,j)$,而$Q_E(i,j)$则为(v_i,v_j)的失效概率。E中的边失效是独立的。每个失效事件都与对应的边e相关,是随机发生的,概率为p_e。

概率事件W,随机变量Z,定义图$G_w=(V,E_w)$,其中$E_w=\{e\in E, Y_e(w)=1\}$,对于V中的任意两个节点s和t(s为源节点,t为终端节点),引入随机变量$X_{s,t}$。

1.2 符号

$\mathrm{Re}\,l(G)$:网络G的全网可靠性,即所有节点能通过可执行链路通信的概率;

到稿日期:2008-08-22 返修日期:2009-01-07 本文受国家高技术研究发展计划(863)项目(2007AA01Z432,2007AA01Z433)资助。
何 明(1978—),博士后,副教授,主要研究方向为信息安全和建模与仿真等,E-mail:blue_horse@126.com;裘杭萍(1965—),女,教授,主要研究方向为系统工程和评估等;刘 勇(1981—),男,硕士,助教,主要研究方向为分布式仿真和评估等。

p:链路可靠性,$0<p<1$;

Y_e:失效事件可以用一系列的相互独立的 0/1 变量来表示;

$P[Y_e=0]=p_e$;

$X_{s,t}(w)=1$:G_w 中 s 和 t 之间存在一条通路;

$X_{s,t}(w)=0$:G_w 中 s 和 t 之间不存在通路;

$Z(w)=1$:G_w 是连通的;

$Z(w)=0$:G_w 不连通。

2 算法理论基础

现有计算网络系统中节点对可靠性的方法很多,大致可归为两类:一类是基于事先获取的最小路径;另一类是基于网络系统事件树分析。但是,多数方法的最大问题在于计算复杂度大,若不对网络结构做出一些假设,计算网络可靠性将是一个 NP 难题[2,3]。所谓"2-终端"指的是两个独立节点分别作为源和目的,余下节点作为源和目的节点间的中继,提供通信路径。目标是评估 $E[X_{s,t}]$,这个问题也称为 2-终端网络可靠性问题。

在分解树的定义基础上,提出一种新的计算 2-终端可靠性的方法,该算法的基本思想是依靠图的前沿描述的概念。本文创新工作在于通过周密分析依赖树宽的复杂度,将其应用于 2-终端可靠性问题中。

定义 1 图 G 的分解树即 V 的子集族$(X_i, i\in I)$,且树 T 中顶点以 I 通过下列方式编号:

(1)$\bigcup_{i\in I}X_i=V$。

(2)对于 G 中每条边,其两个端点都在 $X_i(i\in I)$中。

(3)对于 I 中的 i,j 和 k,如果 j 位于从 i 到 k 的通路上,则有 $X_i\cap X_k\ X_j$。

因此,分解树的宽度 w 为 $\max_{i\in I}|X_i|1$。图的树宽可以近似在 $O(\log(|V|))$内,但是除非 $P=NP$,没有多项式时间算法可以将 w 近似估计为一个固定常量。

现选择一个 $r\in I$ 作为树 T 的根,如果 i 位于树 T 上从 r 到 j 的通路上,称 $j\in I$ 是 $i\in I$ 的后代,并且记 i 的后代的集合为 D_i,相邻的后代也称为儿子。设有两个节点 s 和 t,i 的锋(front)可以定义为

$$F_i=X_i\bigcup(\{s,t\}\bigcap\bigcup_{j\in D_i}X_j) \tag{1}$$

根据定义 1,可以任意选择一个索引 i_e,使得 X_{i_e} 包含边 e 的两个端点。

3 2-终端网络可靠性的算法

设想对树 T 用以下方式做一次自底向上的访问,假设要访问 K。需要收集涉及 K 的所有的失效边 e 的信息,条件是 i_e 作为 K 的后代。这些边的所有可用/失效状态构成顶点 F_k 的一个划分,其等价类即在该两点间存在一条由可用边 e 组成的通路,其中 i_e 是 K 的后代。一个等价类出现的概率等于对应划分中可用/失效状态概率的总和。

在访问 K 的过程中保持 F_k 所有划分出现的概率,最后在 F_r 中仅剩下 s 和 t,并且有两种可能的状态,它们是连通或不连通的。它们连通的概率也就是 2-终端可靠性。

3.1 算法流程

保存各个划分在划分表 PT 中出现的概率,基本步骤如下:

步骤一 初始化,对于树 T 的任意一个叶子 i,创建一个划分表 $PT(i)$,(单独顶点 $F_i=X_i$ 的概率为 1)。

步骤二 访问 K

If K 不是叶子,在 $PT(k)$中合并 K 的所有儿子 j 的划分表 $PT(j)$。

将 F_k 中单独顶点加入到 $PT(k)$中。

对于所有满足 $i_e=k$ 的边 e,将其加入 $PT(k)$。

if $k\neq r$,将所有不属于 F_l 的顶点 $v(v\notin\{s,t\})$移出 $PT(k)$,其中 k 是 l 的儿子。

步骤三 两个划分表 PT_1 和 PT_2 的合并而成的划分表的每个状态 s_3,有

$$\Pr(s_3)=\sum\Pr(s_1)\Pr(s_2) \tag{2}$$

其中,所有的划分 s_1 和 s_2 联合形成 s_3。应用合适的集合合并算法[4],假设没有比 w 大的集合,由 s_1 和 s_2 可以在 $O(w\log(w))$步内得到 s_3,其中函数 log 用来计算一个数需要取多少次对数才能将其降到 2 以下。

为了增加一条边 e,由 PT_{old} 构建一个新的划分表 PT_{new},每个状态 s 在 PT_{old} 中的概率以概率 p_e 传导到 PT_{new}。对概率为 PT_{old} 的所有状态 s,将包含边 e 两个端点的类合并到 s',并将 s' 出现的概率(1 p_e)加入到 PT_{new}。

为从划分表 PT_{old} 中移出顶点 v,我们删除 v 并将通过求概率的和来合并 v 中所有不同的状态。

3.2 计算复杂度分析

通过合并划分表、添加边、移出顶点等的操作,算法可以得到复杂度的边界,在 T 中最多有 $2|V|$ 个元素(假设两个 X_i, X_j $i\neq j$ 至少可以区分一个顶点),因此 $|V|$ 个顶点可以有两个或更多的儿子,进一步的每个划分表可以有最多不超过 $\max_{i\in I}|X_i\cup\{s,t\}$ $w+3$ 的元素。k 的儿子们合并可以在$(k\ 1)B^2_{w+3}O(w\log(w))$步内完成,这也使得合并过程总共需要 $O(|V|B^2_{w+3}w\log(w))$步。同时添加一条边可以在 $O(B_{w+3})$步内完成。一个节点在访问树的整个过程中只移出一次,每个节点操作步数边界为 $O(B_{w+3})$。综上,算法总共需要 $O(|V|B^2_{w+3}w\log(w)+|E|B_{w+3})$步操作。应用以上提出的规则,得到边界为 $O(|V|f(w)^2+|E|f(w))$,其中 $f(x)=\frac{x}{\ln x}e^{(1+o(1))x}$。相对其它算法[5,6],本文算法更能显示优势。表现在即使 w 数值较小也能体现算法优越性,因为算法中要求的合并数量增加时树宽度也在增长。

4 算法示例

下面描述了该算法工作的一个实际例子,目标是计算图 1 中从节点 1 到节点 8 这个连接的可靠性,假设每条边的可靠性都是 50%。在表 1 中,左边一栏是可能的划分元素,右边一栏是对应的相关概率。所有的中介媒介节点都被考虑过并且剔除,划分表仅基于集合$\{v_1,v_8\}$,2-终端可靠性就等于全划分$\{\{v_1,v_8\}\}$发生的概率,也就是排除划分$\{\{v_1\},\{v_8\}\}$后剩余概率。

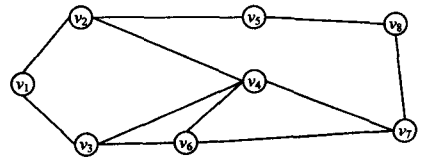

图 1 网络示意图

(下转第 59 页)

如图5所示的直方图。从图5可以看出，这两种算法都不存在明显的“拖尾”现象，可以预见本文提出的两种隐写算法能在一定程度上抵抗近邻颜色直方图分析方法的检测。

3.2.3 广义 χ^2 检测

χ^2 检测算法首先由 A. Westfeld 提出，可用于检测连续嵌入秘密信息的 LSB 隐写。后来 N. Provos 对该算法进行了扩展，能成功检测连续或随机嵌入秘密信息的 LSB 隐写，一般将其称为广义 χ^2 检测。广义 χ^2 检测算法能成功检测的基础是 LSB 类隐写算法在秘密信息嵌入过程中主要进行 0-1“翻转”操作。因为“翻转”操作的存在，会给掩密图像像素直方图带来异常：“值对”之间出现的频数会随着消息的嵌入越来越接近。从本算法的嵌入思想可知，VSQS 和 TLQS 隐写的基本操作是对像素加减高斯整序列，不会产生明显的“值对”现象，从而可预见广义 χ^2 检测难以对 VSQS 和 TLQS 隐写实施成功的检测。

结束语 本文提出了一种基于高斯序列量化的图像隐写算法——VSQS，该算法可进一步扩展成 TLQS。对这两种隐写算法的隐藏容量和安全性进行了实验分析和讨论，结果表明，它们不仅可提供较大的隐藏容量（隐藏容量分别为 1 bpp 和 2 bpp），并且能有效抵抗几种常见的隐写分析方法。

在实验过程中发现，VSQS 和 TLQS 两种隐写算法虽然具有类似高斯噪声的失真，但由于加性高斯白噪声在自然图像中很常见，使其安全性得到一定程度的保证。但是当秘密信息嵌入量接近满容量时，在图像的平滑区域可能会产生比较明显的失真。这是由于这两种算法都没有充分利用载体图像本身的统计特性来进行自适应嵌入，使得对载体图像的更改可能发生在平滑区域。如何结合载体图像的统计特性进行隐写和盲提取，是今后的研究重点。

参 考 文 献

[1] Anderson R J, Petitcolas F A. On the limits of steganography [J]. IEEE Journal on Selected Areas in Communications, 1998, 16(4): 474-481

[2] Steganography Information, Software, and News to Enhance Your Privacy [URL]. http://www.stegoarchive.com

[3] Westfeld A, Pfitzmann A. Attacks on Steganographic Systems [C]// The Third International Workshop on Information Hiding. Dresden, Germany, September-October, 1999: 61-76

[4] Provos N, Honeyman P. Detecting Steganographic Content on the Internet [C]// BISOC NDSS'02. San Diego, CA, February 2002

[5] Fridrich J, Goljan M, Du R. Detecting LSB steganography in color and gray-scale images [J]. IEEE Multimedia, 2001, 8(4): 22-28

[6] 徐江峰，李昊，杨有. 一种基于多变换的 LSB 隐写算法 [J]. 计算机科学，2007，34(10)：106-109

[7] Sharp T. An Implementation of Key-based Digital Signal Steganography [C]// The 4th International Workshop on Information Hiding. LNCS 2137. Pittsburgh, PA, April 2001: 13-26

[8] Fridrich J, Goljan M. Digital Image Steganography Using Stochastic Modulation [C]// Security and Watermarking of Multimedia Contents. SPIE 5020. 2003: 191-202

[9] Westfeld A. Detecting Low Embedding Rates [C]// The 5th International Wokshop on Information Hiding. LNCS 2578. Noordwijkerhout, Netherlands, Oct. 2002: 324-339

（上接第 41 页）

表 1 2-终端可靠性计算表

前栏包含节点、链路	Rel(G)
节点 1	50%
节点 1,2	25%
节点 1,2,3	12.5%
节点 1、2、3 和 4 及边{2,4}，不含链路{3,4}	12.5%
节点 1、2、3 和 4	31.25%
包含节点 1、2、3、4、6	28.13%
包含节点 1、2、7	29.29%

结束语 如果计算出每个网络设备的平均修复时间，就可以决定服务所需部分集合的大小和维护队列的大小。另一个发展方向是，在设备失效概率范围很大的情况下，计算尽可能接近的上下界，如果考虑到地面作业期间的网络行为，这一点很重要，因为这种情况下某些设备更没有保障。以上问题将是下一步重点完成的工作。尝试提出一套新型的网络可靠性测量与评价模型及方法，将对网络安全提供技术支撑，可视化的可靠性评估软件可被用于网络管理系统，提供直观的、动态的网络可靠性显示，对及时修复网络结构问题、提升网络节点的性能、合理部署网络节点，具有重要的指导意义。

参 考 文 献

[1] 郑龙，罗鹏程，周经伦. 网络可靠性研究综述[J]. 中国科技信息，2006(1)：9-11

[2] Gebre B, Ramirez-Marquez J. Element substitution algorithm for general two-terminal network reliability analyses[J]. IIE Transactions, 2007, 39(3): 265-275

[3] Satitsatian S, Kapur K. An algorithm for lower reliability bounds of multistate two-terminal networks[J]. IEEE Transactions on Reliability, 2006, 55(2): 199-206

[4] Galtier J, Laugier A, Ponst P. Algorithms to evaluate the reliability of a network[J]. IEEE Trans Reliab, 2005: 93-100

[5] Krivoulets V G, Polesskii V P. Monotone Structures. The Best Possible Bounds of Their Reliability[J]. Information Processes, Toml, 2001, 2: 188-198

[6] Younes A, Girgis M. A tool for computing computer network reliability [J]. International Journal of Computer Mathematics, 2005, 82(12): 1455-1465