

一种启发式的计算机局域网故障诊断方法*

虞红芳** 詹柔莹 李乐民

(电子科技大学通信与信息工程学院 成都 610054)

【摘要】介绍了概率诊断的思想；给出了一种考虑网络对象相关性的局域网故障诊断概率模型。由于故障诊断问题是一个NP-C问题，提出了一种启发式算法，克服了现有故障诊断算法在故障相关性、计算复杂度等方面存在的不足。通过分析比较，该启发式算法有效地降低了计算复杂度。实验仿真结果表明该启发式算法具有较好的性能，诊断概率高。

关键词 概率诊断；局域网；故障诊断；启发式算法

中图分类号 TN302

A Heuristic Scheme for Fault Diagnosis in Local-Area Networks

Yu Hongfang Zhan Rouying Li Leming

(College of Communication and Information Engineering, UEST of China Chengdu 610054)

Abstract The probability diagnosis idea is presented in this paper; A system model suitable for fault diagnosis purpose, which takes into account the dependencies between the different objects in the Local-Area Networks (LAN) is introduced. For fault diagnosis problem is a NP-C problem, a heuristic algorithm is developed. The algorithm overcomes the disadvantages of existing fault diagnosis algorithms like high computing complex and ignoring fault dependency. It is proved to be effective by our simulation results. And it can generate acceptable results with good performances.

Key words probability diagnosis; local-area networks; fault diagnosis; heuristic algorithm

网络故障诊断的现状是由有经验的技术人员根据故障管理终端的状态信息，进行故障定位。随着局域网的构成愈来愈复杂，功能也愈来愈强，使得故障表现变得十分复杂，传统人工诊断方法已不能适应局域网的性能评估和故障检测的需要。由于局域网是广域网、Internet/Intranet等的重要组成部分，所以研究局域网故障诊断方法具有十分重要的现实意义。

文献[1]应用专家系统方法进行网络故障诊断，取得了一定的成果。但是该方法很难对网络故障进行“细”定位(定位到节点或链路)，专家系统的设计复杂，诊断速度慢。文献[2]提出了“概率诊断”的思想，成功地解决了网络物理层故障诊断问题。目前，概率诊断的思想引起世界各国学者的重视，已广泛应用在网络故障诊断中。

故障诊断常用的方法有穷举算法和贪心算法等。这些算法都存在忽略了对对象的相关性及时间的复杂度较高的缺陷，严重影响了算法的实用性。考虑对象的相关性，本文提出一种启发式算法，并与其他算法进行了性能比较。

2001年11月12日收稿

* 总装部预研基金资助项目

** 女 27岁 硕士 讲师

1 网络故障概率诊断模型

当系统发生故障时,被故障影响到的对象就会发送警告来显示有故障。每个警告都与警告域相关,即所有有嫌疑引起此警告的对象集合。文献[3]采用基于字段结构语法的网络模型,通过把所有与警告有关系的对象关联起来,从而获得警告域。由于有些警告所对应的警告域存在交集,文献[3]提出了警告群的概念;认为这些警告有可能是由同一故障引起的,因此这些警告应该被放在一起考虑。警告群对应的可能故障节点为所有这个群中警告所对应的警告域的并集,称为相关故障集 A 。图1给出了一个例子, A_2 、 A_3 和 A_4 的警告域存在交集,因此属于同一警告群,他们的相关故障集 $A=\{a_1,a_2,a_3,a_4,a_5,a_6\}$ 。在下面的描述中,假设相关故障集是已知的。

相关故障集 A 中的对象可能是已观察到失效的第1根源,也有可能为第2根源。把真正处在故障中的对象定义为故障第1根源;由于对另一个处于故障中的对象的依赖而导致工作异常(不是处于故障)的对象定义为故障第2根源。显然,第1根源是真正需要关注的。如何从相关故障集 A 中找到第1根源,是故障诊断所要解决的问题。

由于网络中故障节点参与测试,而且实际网络的拓扑结构是不规则和变化的,这些都使得对网络进行确定性诊断非常困难,使上述诊断的时间复杂性很高。因此,采用概率诊断的思想,使得诊断正确性的概率很高。同时,由于局域网对象之间存在复杂相关性,所以在网络建模和故障诊断中,必须考虑对象相关性。目前大多数算法假设对象间相互独立,这样就严重影响了算法的实用价值。

本文用有向图 $G(E, D)$ 来表示概率故障模型,顶点表示有故障嫌疑的网络对象,有向边

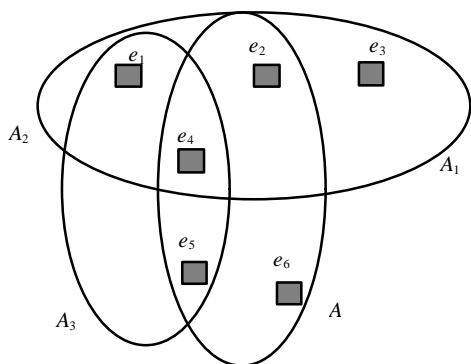


图1 警告群的概念

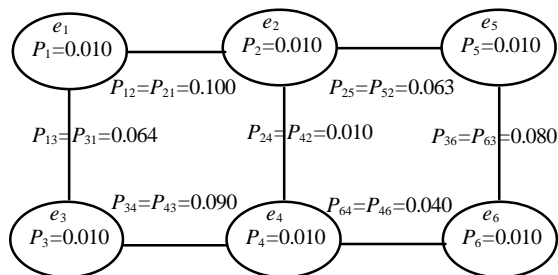


图2 局域网故障概率模型

$(e_j, e_i) \in D$ 表示 e_j 和 e_i 之间存在故障相关性。如图2所示,其中顶点集 $E = \{1, 2, \dots, N\}$, 顶点的权值即为对象 e_i 发生故障的概率 P_i ; 有向边集 $D = \{1, 2, \dots, K\}$, $k(k \in D)$, 有向边 $(e_j, e_i) \in D$ 的权值表示 e_j 故障引起 e_i 故障的条件概率 P_{ji} , 即 $P_{ji} = P(e_i \text{故障} | e_j \text{故障})$ 。若对象间存在有向路径 $\{(e_k, e_i)(e_i, e_k)(e_j, e_i)\}$, 其权值 $P_{ji} = P_{ji} \cdot P_{ik} \cdot P_{kl}$ 。另外, 若对象间存在多条有向边或路径, 其权值为所有路径权值中的最大值。故障定位就是在相关故障集合 A 中, 求出最大故障概率子集, 并且子集的对象数尽可能少。

设一网络共有 N 个对象, 相关故障集合 A 包含 S 个对象。有一子集 $S' \subseteq S$, S' 有 K 个对象, 且 $K \leq S$, 子集 S' 的故障概率 $P(S')$ 。网络故障诊断问题为

$$P_{\max}(S') = \sum_{\forall i: e_i \in S'} [P_i + \sum_{\substack{\forall i: e_i \in S' \\ j \neq i}} P_{ij} \cdot P_j] \quad \text{s.t. } S' \subseteq S; K \leq S \quad (1)$$

式中 $i, j = 1, 2, \dots, N$ 。由此可知, 网络故障诊断问题属于NP问题。由于目前常用的穷举方法无法进行大型网络故障诊断, 所以必须寻找新的解决思路, 迅速而有效地求得问题的最优解。本文提出了基于概率诊断的启发式故障诊断算法。

2 启发式算法(HA)

2.1 设计思想

目前求解(1)式问题有两种方法:穷举算法和贪心算法。这两种方法都存在以下问题:1)忽略对象间的相关性;2)诊断的时间复杂性很高。由于实际网络的拓扑结构是不规则和变化的,因此对网络进行确定性诊断非常困难。如果使诊断结果不一定绝对正确,但是其诊断正确性的概率很高,这样时间复杂性就较低,开销较小和实时性强,这就是概率诊断的思想。

基于这种概率诊断的网络故障诊断方法是:在贪心算法的基础上,我们首先建立局域网的故障诊断树,逐步组合故障相关性最大的对象,得到概率诊断模型,其次根据报警对象,得到相关故障集合。根据拓扑结构,进行故障预诊断,设定搜索范围。然后根据相关故障集合,按照一定的法则,对故障诊断树进行推理,直到找到故障对象为止。

2.2 算法设计

以 N 个对象的网络为例。首先初始化故障对象,根据网络功能特点、历史故障记录等资料,估计网络对象的故障概率 p_i 和相关故障概率 $p_{ij}(\forall i, j \in 1, 2, \dots, N)$ 。然后根据报警对象获得的相关故障集合 A 。

2.2.1 生成故障诊断树 S

首先生成故障诊断树 S 。遍历所有网络对象,逐步搜索相关故障概率最大的两个相邻网络对象,并将它们组合成一个新的对象。为了提高计算效率,故障树的生成方向为从叶结点到根结点。

- 1) 始化迭代次数 $m = 1$;
- 2) 利用Dijkstra算法搜索相关故障概率最大的两个相邻网络对象,将它们用一个新的叶结点代替,并由式(1)计算其故障概率;
- 3) $m = m + 1, m = 1, 2, \dots, N$;

2.2.2 搜索故障

根据相关故障集合 A ,对故障诊断树进行推理,直到找到故障子集 S_{sol} 。

1) 初始化最大故障概率子集 S_{sol} 为空。输入根结点的 (S', A') ,其中 S' 为故障诊断树 S 的当前结点, A' 为当前结点的相关故障集合。

2) 比较 S' 的左、右子结点的故障概率 $P(S'_l)$ 和 $P(S'_r)$,各自的相关故障集合为 A'_l 和 A'_r 。确定下次搜索结点 S' 方法可分以下4种情形(以左子结点为例):

- (1) 若 S' 只包含一个对象,则搜索结束,有 $S_{sol} = S'$ 。
- (2) 若 $A'_l = A$ 且 $A'_r = A$,选择故障概率大的结点为下次搜索结点。
- (3) 若 $A'_l = A$ 且 $A'_r \neq A$,如果左子结点的故障概率大,则它即为下次搜索结点。
- (4) 若 $A'_l = A$ 且 $A'_r \neq A$,如果左子结点的故障概率小,或者若 $A'_l \neq A$ 且 $A'_r \neq A$,则下次需对左、右子结点进行搜索:下次搜索故障概率较大的结点,其相关故障集合 A' ;下次搜索故障概率较小的结点,其相关故障集合 $A' - A'$,重复第2)步操作。

2.3 算法性能分析

首先比较HA算法、穷举算法和贪心算法的时间复杂度。由文献[2],可得:穷举算法的时间复杂度为 $O(2^N)$;贪心算法的时间复杂度为 $O(\log_2 N 2^{(N/2)\lg(4N/(N+2))})$ 。它们均为指数关系,只适合小型网络。由上述HA算法,步骤(2)的时间复杂度 $O(|E| \cdot |D|)$,步骤(3)的时间复杂度 $O(N^3)$,步骤(4)的时间复杂度下限 $O(\log_2 N)$,上限为 $O(N)$,因此HA算法的时间复杂度为多项式关系,最坏的情况为 $O(N^3)$,大大提高了计算效率。然后比较HA算法解与最优解的相对误差。这里最优解为贪心算法的解。设HA算法解为 S_{sol} ,最优解为 S^* ,两者的相对误差表示为 $|P(S_{sol}) - P(S^*)| / P(S^*)$ 。

由式(1),设 S^* 的对象数为 N^* , P_{\min} 表示 S^* 中的最小故障概率,于是

$$P(S^*) = \sum_{\forall i: e_i \in S^*} [P_i + \sum_{\substack{\forall i: e_i \in S^* \\ j \neq i}} P_{ij} \cdot P_j] \quad N^* [P_{\min} + (N^* - 1)P_{\min}] \quad (N^*)^2 P_{\min} \quad (2)$$

根据文献[4], 令 S^* 的对象数的均值为 $E(N^*)$, 有

$$E(N^*) = \sum_{i=1}^N iP_{N^*}(i) \quad (3)$$

式中 $P_{N^*}(i)$ 表示 i 个对象同时出现故障的概率。

若用 $E(N^*)$ 代入(2)式中的 N^* , 则HA算法解与最优解的相对误差上限为

$$\left| \frac{P(S_{sol})}{P(S^*)} - 1 \right| \quad \left| \frac{P(S_{sol})}{E^2(N^*)P_{\min}} - 1 \right| \quad (4)$$

3 仿真实验及其结果

考虑一网络实例, 共有50个结点, 每个结点的故障概率随机分布于0.1~0.01。分别利用HA算法、贪心算法和穷举算法进行故障诊断。为讨论方便, 因为网络结点数较少, 以穷举算法的解为最优解, 分别与HA算法和贪心算法进行性能比较。 N 为发生故障节点数的比例, d 为故障诊断相对误差, b 为与最优解的误差。

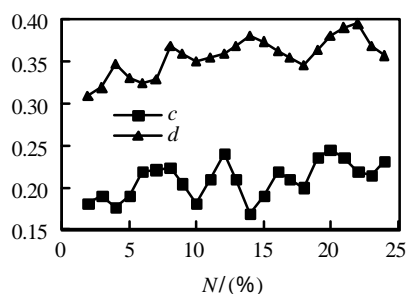


图3 故障结点数与故障诊断相对误差的关系

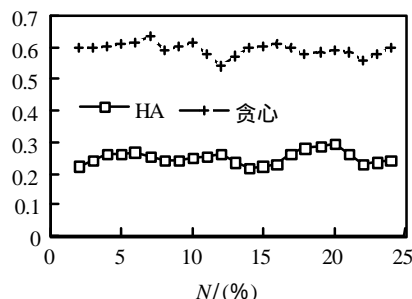


图4 HA算法、贪心算法与最优解的误差关系

图3给出了HA算法的故障诊断相对误差。首先随机分配网络结点的故障概率, 且各自相互独立, 得到曲线 c 。然后所有结点的故障概率均相同, 且相互独立, 得到曲线 d 。由图3可得, HA算法的相对误差是较低的, 特别是当所有结点的故障概率均相同时。这不仅表明HA算法逼近最优解, 而且当网络对象的故障概率均相同时, 还可进一步减少相对误差。

图4将HA算法和贪心算法的运算结果分别与最优解相比较, 给出了两者解个数的差异相对误差。HA算法解基本上与最优解相匹配, 而贪心算法解与最优解的相同部分较少, 诊断性能较差。HA算法的解一般为最优值, 能覆盖70%~80%。HA算法能较准确诊断, 其原因是考虑了网络对象的故障相关性。

4 结束语

本文提出的基于概率诊断的网络故障模型, 讨论中考虑了故障的相关性, 基于其计算复杂度是NP-C问题, 又提出了一种启发式算法。仿真实验结果表明启发式算法能有效逼近最优解, 诊断效率高, 具有较好的实际应用潜力。

参 考 文 献

- 1 Deng R H, Lazar A, Wang W. A probabilistic approach to fault diagnosis linear lightwave networks, IEEE J. Select. Areas commun., 1993, (11): 1 438-1 449
- 2 Schwarz M, Wang C. Identification of faulty links in dynamic-routed networks. IEEE J. Select. Areas commun.,

- 1993, (11): 1 449-1 460
- 3 Papadimitriou C H, Steiglitz. Combinatorial optimization, algorithms and complexity. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall, 1982
 - 4 Jordanan J F, Parterok M E. Event correlation in herterogeneous networks using the OSI management framework. Third IEEE/IFIP Int. Sym. Integrated network management, 1993.8: 18-23
 - 5 杨志娟, 梁业伟. 立足于实际的数字系统级诊断. 计算机学报, 1997, 20(9): 845-848

· 科研成果介绍 ·

物理、化学、工程化学CAI课件研究

主研人员: 蒋德光 刘承红

物理、化学、工程化学CAI三个课件教学目标恰当、内容丰富、教学功能强、学练结合, 为学生提供了创造性的学习环境, 突出体现了因材施教的教育思想。在设计技巧方面, 脚本编制周密, 将超媒体技术应用于化学课件制作中, 使课件图、文、声、像、动画并茂, 人机交互性好、信息网络化、适应读者思维的发展, 选择练习部分有较强的统计分析功能。三个课件的扩充功能、导航功能强, 可靠性高、使用方便。除课件本身外, 还提供了使用说明、习题编辑器、主题表、主题与联系编辑器等软件, 便于课件的创作与更新。该成果在物理、化学、工程化学CAI课件领域具有较高的水平, 商品化程度较高。

Ka频段三倍频、四倍频——功率放大组件

主研人员: 延波 薛良金 吴秋生 徐锐敏 罗慎独 徐军 薛泉 喻梦霞 李桂萍

Ka频段三倍频、四倍频——功率放大组件是单脉冲体制毫米波接收机的重要组成部分之一。该组件采用HEMTMMIC及微带电路制成。经过理论分析、电路优化, 妥善解决了倍频器、放大器的输入、输出匹配网络以及毫米波带通滤波器的设计问题, 采用加载衬底结构, 实现了短引线连接, 突破了制作中的工艺难点。

该组件具有成本低、体积小、可靠性高等优点。本项目的研制成功填补了国内空白, 打破了国外封锁, 其社会效益和经济效益十分明显。

PLRS系统信号侦察测向及干扰机理研究

主研人员: 余敬东 柴蓉 郭伟 何旭 文光俊 徐骁 杨芳 傅智敏 谭燕敏 傅斌

PLRS系统信号侦察测向及干扰基于扩频信号的周期平稳特性, 提出了预滤波的谱相关测量方法, 抑制了干扰对短时扩频信号谱相关估计的严重影响, 提高了对弱信号的检测能力; 针对通过谱相关测量方法提取出的复杂弱信号特征序列, 提出了分选感兴趣信号的方法及参数估计技术, 在对链路干扰效果分析的基础上, 建立了完善的PLRS系统干扰效果评估仿真平台, 能够分析、评估各条链路在不同干扰效果情况下PLRS的运行情况, 将干扰效果评估提高到网络级、系统级。该成果突破了一系列关键技术, 其中预滤波的谱相关测量方法和PLRS系统级干扰效能评估仿真系统为国内首创。

· 科 卞 ·