企业多线程通信网络阻塞故障节点自适应定位

王玖苏 [1]
WANG Jiusu

摘 要 企业多线程通信网络中，线程间频繁交互与资源竞争问题显著，加之节点连接关系、数据交互强度及负载情况等关键参数处于动态变化状态，缺乏自适应机制，导致定位结果滞后于网络实际状态，难以满足网络高效、稳定运行对故障快速定位的需求。为此，文章提出一种企业多线程通信网络阻塞故障节点自适应定位方法。以网络流量数据和节点性能参数为原始数据，依据子域反映的链路层位置、网络连通性和数据传输效率提取节点特征，结合潮流熵分析构建辨识模型，将节点阻塞程度二值化以此辨识阻塞故障。根据阻塞故障诊断结果对故障点所在区域全局节点进行策略导入式探测，生成故障节点定位的概率密度函数，在定位假设中融入自适应机制，通过动态调整探测参数，实时更新故障概率，实现精准定位。实验结果表明：所提方法对应的故障节点定位成功率均在 85% 以上，整体定位准确度较高。

关键词 多线程；通信网络；阻塞故障；自适应定位

doi：10.3969/j.issn.1672-9528.2026.02.030

0 引言

在企业信息化与智能化的高速发展背景下，多线程通信网络成为信息交换的主要方式之一。多线程通信网络由多个具备不同功能的节点组成，在不同的应用环境下，通过改变网络中的节点分布与链路搭建结构，确保指定信息的有效传输与交换，为创造网络安全运行的环境，对多线程通信网络的故障检测也提出了更高的要求。常规的网络阻塞故障节点定位方法仅基于阈值判断机制，无法适应实时动态变化的网络环境，难以准确定位故障节点的具体位置。

当前，针对网络故障节点定位已有诸多研究成果。例如，安世博等 [1] 通过测量与估算确定网络各节点之间的感知距离，并利用蒙特卡罗方法构建节点样本空间，结合统计分析确定故障节点的位置。但该方法本质上仍基于固定的阈值判断机制，难以适应企业多线程通信网络动态变化的特点。邵烨荣 [2] 通过故障信号追踪，评估网络故障状态，并利用寻优平滑因子集来优化故障定位过程，通过多次迭代完成故障节点定位。然而，企业多线程通信网络具有更为复杂的拓扑结构和动态特性，该方法虽能优化故障定位过程，但在面对网络中线程间频繁交互与资源竞争引发的复杂变化时，缺乏对网络动态变化的自适应调整能力，难以实时、精准地定位阻塞故障节点，无法充分满足企业多线程通信网络对故障快速定位的需求。

本文提出企业多线程通信网络阻塞故障节点自适应定位方法，旨在解决传统方法无法适应网络动态变化、定位结果滞后等问题，提高故障节点定位的准确性和实时性。

1 多线程通信网络阻塞故障节点自适应定位

1.1 网络阻塞故障节点辨识

由于通信网络的带宽波动、网络流量增减和拓扑结构的调整等因素的影响 [3-4]，阻塞故障特征提取过程易产生较大偏差，导致提取到的故障特征无法真实反映阻塞故障的本质，进而严重影响后续故障定位和诊断的可靠性 [5]。为此，在特征提取过程中，以网络流量数据和节点性能参数作为原始数据，并依据网络子域所反映的故障节点所处的链路层位置，同时结合网络的连通性和数据传输效率，设置一个大小为 O 的时间窗口，规定在此窗口内完成特征提取操作，以此有效控制提取误差。用公式表示为：

$$\chi^2=\gamma_e\left(f^2-2e^2+u_e\right) \tag{1}$$

式中：γ_e 表示网络线程调用栈深度；f 表示故障节点特征分量；e 表示通信数据的功率谱阈值；u_e 表示时间常数；χ 表示阻塞故障特征时效性约束参数。

网络支路的潮流熵是衡量网络运行状态紊乱程度与能量分布不均衡性的关键指标。当通信网络出现阻塞故障时，其潮流熵也会发生变化 [6]。因此，需要充分考虑网络运行状态

1. 大庆油田第二采油厂数字化运维中心数控管理室
黑龙江大庆 163414

对节点的影响，依据节点性能、链路质量、流量分布等因素，深入分析网络状态变化时的统计特征与时序特征，并结合运行稳定性极限，计算网络节点的潮流熵。用公式表示为：

$$\Delta\eta_d^s=\frac{\chi^2\left|C+U_o\right|}{\varpi_j\cdot F} \tag{2}$$

式中：U_o 表示第 o 种流量类型的概率；ϖ_j 表示节点控制区域规则参数；F 表示所有源节点的集合；$\Delta\eta_d^s$ 表示节点 d 在链路 s 上的潮流熵。

基于节点在各个链路层中的潮流熵变化，确定节点潮流流动方向，并结合通信网络节点的凝聚度，分析节点的阻塞程度，以此构建故障节点的辨识模型。用公式表示为：

$$\begin{cases}D_w=\dfrac{\Delta\eta_d^s\theta_{w1}-\theta_{w2}}{\theta_{w1}}\\ f\left(w\right)=\sum\kappa\left(m\right)+D_w\end{cases} \tag{3}$$

式中：θ_{w1}、θ_{w2} 分别表示节点 w 收缩前后的凝聚度；D_w 表示节点 w 的波特曲线阶数；$\kappa(m)$ 表示管理者权限数据；$f(w)$ 表示节点 w 的阻塞程度值。

最后，根据网络节点阻塞程度值，将其划分为二标度权重向量，即 1 和 0。其中，1 为有阻塞发生，0 为无阻塞发生。根据 $f(w)$ 的取值，可辨识阻塞故障，便于故障节点的自适应定位。

1.2 网络阻塞故障节点自适应定位

在企业多线程通信网络阻塞故障节点处理流程中，完成网络阻塞故障节点辨识后，虽已圈定可能存在阻塞故障的节点范围或明确相关特征，但网络环境处于动态变化之中，节点间的连接关系、数据交互强度以及负载情况等均随时发生改变。仅依赖辨识结果，难以实时且精准地确定故障节点的具体位置与故障程度，无法满足网络高效、稳定运行的需求。因此，在完成网络阻塞故障节点辨识后，需进一步开展网络阻塞故障节点自适应定位工作。

根据通信网络阻塞故障诊断结果，对故障点所在区域的全局节点进行策略导入式探测，根据后验概率分布生成故障节点定位的概率密度函数，以此将故障定位到具体节点[7]。用公式表示为：

$$E=\int\vartheta\left(x\right)/G\times f\left(w\right) \tag{4}$$

式中：$\vartheta(x)$ 表示数据通信量为 x 时的网络负载率；G 表示当前使用带宽；E 表示故障节点定位的概率密度函数。

在依据网络各节点之间的受力关系进行定位假设时，融入自适应机制。鉴于网络节点间的连接关系与数据交互强度会随时间动态变化，在构建节点故障数据初始处理公式时，根据网络实时的连接权重、数据传输量等因素，自适应地调整公式中的调节系数与流量波动系数，进而更精准地处理节点故障数据。即：

$$S=Q-\frac{\sum_{\xi=1}^{\infty}\left(\cos\dfrac{\xi g}{\mu}+\sin\dfrac{\varsigma\tau}{h}\right)}{ME} \tag{5}$$

式中：Q 表示警告系统数据；ξ 表示节点中心定位数据序号；g 表示交换矩阵法则；μ 表示基准阈值；ς 表示历史平均负载率；τ 表示调节系数；h 表示流量波动系数；M 表示受影响节点总数；S 表示节点故障处理参数。

经过初始处理后，布设网络阻塞故障监测点，根据网络的通信功能划分故障监测层次，进而规划节点的路径探测模型，用公式表示为：

$$R=\frac{\sum\nu\left(\lambda\right)}{\left|S\times o_q\right|} \tag{6}$$

式中：$\nu(\lambda)$ 表示当前已选择探测路径经过网络边 λ 的次数；o_q 表示探测路径上被覆盖的节点数目；R 表示节点探测路径模型。

在节点探测路径上计算所有节点发生故障的概率时，结合故障定位匹配规则、带宽资源动态分配系数以及用户接入优先级等网络实时参数，持续自适应地更新节点故障概率[8]。当节点阻塞故障发生概率越高时，表明其故障可能性越高，该节点将被优先关注，由此实现对网络阻塞故障节点的自适应定位，用公式表示为：

$$P_\iota=\frac{R}{2\pi}\int\frac{T}{\sigma-a'}\mathrm{d}\iota \tag{7}$$

式中：T 表示故障定位匹配规则；σ 表示带宽资源动态分配系数；a' 表示用户接入优先级；P_ι 表示在探测路径中第 ι 个节点的阻塞故障发生概率。

当节点阻塞故障发生概率越高时，表明其故障可能性越高。因此，该节点为优先关注的故障节点，由此完成故障节点定位。

2 实例论证分析

2.1 实验准备

对提出的企业多线程通信网络阻塞故障节点自适应定位方法进行仿真实验测试。采用的研究网络为某大规模企业内部通信网络，其拓扑结构层数为 8 层，节点数量为 40 个，链路数量为 65 条。以企业内的服务器、工作站、路由器等各类设备作为节点，且部分节点被配置为探测站节点，用于发送探测数据包并收集探测结果，确保网络中所有节点均可被探测覆盖。设备间的通信连接路径为链路。

该通信网络的参数统计如表 1 所示。实验环境由硬件平台和软件平台搭建而成。其中，硬件平台包括实验服务器、测试工作站和 Cisco Catalyst 9300-48U 路由器；软件平台包括 Hyper-V 虚拟化工具、Podman 容器化工具和 ELK Stack 日

志管理。利用 Mininet 2.3 网络仿真工具模拟多线程通信环境，并利用 Netem 编写通信网络阻塞故障程序，模拟链路与节点的故障情况。

表 1 通信网络参数统计

参数名称	数据值
线程数	10
多线程并发数	50
每个线程带宽	100 bit/s
总带宽	1 000 bit/s
数据包大小	1 500 Byte
发送速率	100 Byte/s
接收速率	80 Byte/s
探针数据包大小	64 Byte
探针发送间隔	10 ms
丢包率	2%
延迟	50 ms
抖动	10 ms
网络协议	TCP/IP
连接数	500
错误率	0.1%
网络直径	6 m

2.2 网络阻塞故障节点定位结果与分析

测试中，将节点 2、4、7 设为故障节点，以异常定位指标为参考检测方法性能，结果如图 1 所示。

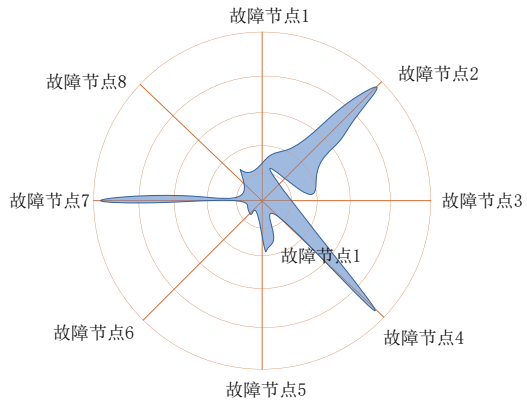

图 1 应用本文方法的阻塞故障节点定位结果

由图 1 可知，利用设计的方法对该通信网络阻塞故障节点进行定位，在 8 个网络节点中，识别出调度故障节点分别为 2、4 和 7，与实验前模拟的故障节点一致，验证了文中提出的多域划分和故障辨识模型的有效性。通过聚类划分缩小故障范围后，结合节点性能参数和潮流熵量化阻塞程度，最终通过二值化完成精准定位。时间窗口约束的引入避免了因网络波动导致的特征提取偏差，进一步提升了定位稳定性。

另外，为证明所提方法的有效性，将本文方法和作为对照组的基于蒙特卡罗的方法（方法 1）、基于 Kalman 滤波和 APNN 的方法（方法 2）进行对比。利用 3 种方法分别在不同线程并发数下进行 13 次故障节点自适应定位测试，统计各种方法的定位成功率。结果如图 2 所示。

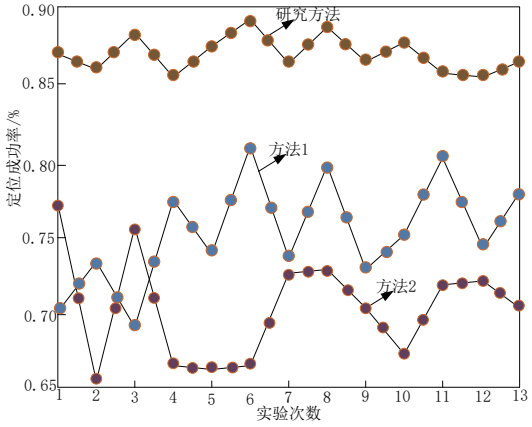

图 2 基于不同方法的节点故障定位成功率结果

根据图 2 可知，与对照组方法相比，在研究方法的应用下，通过自适应机制动态调整探测参数，实时更新故障概率密度函数，从而适应网络动态变化，提高了故障节点的定位精度。在 13 次实验中，本文方法对应的故障节点定位成功率均在 85% 以上，显著高于基于蒙特卡罗的方法（方法 1）和基于 Kalman 滤波与 APNN 的方法（方法 2）。方法 1 由于依赖静态拓扑图，无法实时感知动态路由变化，导致其定位精度随网络环境变化而下降；方法 2 虽然适用于卫星网络，但其性能易受电磁干扰影响，泛化能力不足，难以适应企业多线程通信网络的复杂场景。相比之下，本文方法通过融合多域划分、动态特征提取和自适应定位机制，展现出更强的鲁棒性和适应性，为企业网络阻塞故障定位提供了更可靠的解决方案。

3 结语

本研究针对企业多线程通信网络中阻塞故障节点定位精度不足的问题，提出了一种基于自适应机制的多域划分与动态特征融合的故障定位方法。实验结果表明，自适应机制确保定位成功率采用策略导入式探测与概率密度函数实时更新机制，动态调整探测参数。在 13 次不同线程并发测试中，定位成功率稳定在 85% 以上，显著优于对照组方法。

参考文献：

[1] 安世博，齐锦．基于蒙特卡罗的无线传感网络通信故障节点定位方法 [J]. 长江信息通信 ,2023,36(11):191-192.

[2] 邵烨荣．基于 Kalman 滤波和 APNN 的卫星网络节点故障定位方法 [J]. 兵器装备工程学报 ,2022,43(2):191-196.

[3] 游金梁，张帝，康童，等．基于路径搜索的配电网多端行波故障定位算法 [J]. 湖南电力 ,2022,42(1):43-47.

群签名及其应用场景

刘 丹[1] 胡桃英[1]
LIU Dan HU Taoying

摘 要 针对实际多方协作场景中隐私保护与行为追溯的双重核心需求，群签名技术因兼具匿名性与可追踪性的独特优势，成为信息安全领域的研究热点。基于此，文章首先系统梳理群签名的定义与分类，明确其安全性要求并完成安全模型的形式化描述；其次，结合电子投票、区块链隐私保护、物联网设备认证及车载网安全通信等典型场景，分析群签名的实际应用价值；最后，阐述群签名技术的国内外研究现状，并展望其未来发展趋向，以期为信息安全领域的相关研究与应用提供参考，为群签名技术的工程化应用提供实践借鉴。

关键词 群签名；静态群签名；动态群签名；安全模型；应用研究

doi：10.3969/j.issn.1672-9528.2026.02.031

0 引言

在信息技术高速发展的背景下，数字签名技术已成为信息安全的重要基石。然而，面对商业联盟决策、医疗数据共享等需要多方协作的场景，传统签名机制暴露出明显的局限性：一方面需要保障参与者的匿名性需求，另一方面又必须满足纠纷时的责任追溯要求。群签名技术通过创新性的设计解决了这一矛盾——允许群成员代表群体生成有效签名（验证者仅能确认签名者属于该群组而无法识别具体身份），同时赋予群管理员在必要时“打开”签名揭示真实身份的特权。这种兼具隐私保护与可追溯性的特性，使其成为平衡信息安全与隐私保障的理想技术方案。

1. 马鞍山师范高等专科学校 安徽马鞍山 243041
[基金项目] 2024 年安徽省一般教学研究项目（2024jyxm0988）；2024 年度安徽省自然科学基金项目（2024AH051773）

1 群签名的分类、定义和安全模型

1.1 分类

根据群组管理的动态特性，群签名可分为静态群签名和动态群签名两大类型。

静态群签名在群系统建立时即固定成员集合，无法在系统运行过程中进行成员变更。若需更换群成员，必须重新建立整个群体系统。在静态群签名方案中，群管理员的职责相对有限，主要负责群签名的追踪工作。静态群签名主要应用于短期项目合同签署、固定委员会决议等场景。

动态群签名则允许在群体系统建立后，由特权管理员动态管理成员资格。管理员既能追踪签名，又能通过颁发或撤销证书来增减成员，整个过程无需重建群体系统。动态群签名主要应用于企业 VPN 访问控制、联盟链节点管理等场景。

1.2 定义

静态群签名的定义基于固定的群成员集合，其核心算法

[4] 李亚晓，李青山，王璐，等 .AmazeMap: 基于多层次影响图的微服务故障定位方法 [J]. 软件学报，2024, 35(7): 3115-3140.
[5] 仇莹，曹刚，朱晞旸 . 电力数据通信网络阻塞故障节点快速辨识研究 [J]. 电子设计工程，2024,32(13):149-153.
[6] 唐婧壹，李强 . 基于无约束插值法的无线传感网络故障节点检测研究 [J]. 传感技术学报，2023,36(7):1143-1147.
[7] 牟小令 . 光纤通信网络中节点故障定位方法研究 [J]. 激光杂志，2023, 44(2):143-148.
[8] 石海杰，李京华，刘丽丽，等 . 基于贝叶斯估计的浅海声源被动定位方法 [J]. 兵工学报，2023,44(5):1394-1402.

【作者简介】
王玖苏（1990—），女，黑龙江哈尔滨人，本科，助理工程师，研究方向：信息工程。

（收稿日期：2025-05-18 修回日期：2026-01-26）