

无线网络通信链路实时反馈自愈方法

周霞¹ 陈芳¹
ZHOU Xia CHEN Fang

摘要

常规的无线网络通信链路实时反馈自愈方法主要使用 Q-learning 强化动力学机制标记节点优先级, 易受收敛约束条件影响, 导致自愈指标不佳, 因此提出了一种无线网络通信链路实时反馈自愈方法。即构建无线网络通信链路节点反馈自愈状态转换模型, 设计分布式通信链路实时反馈自愈算法, 从而完成无线网络通信链路实时反馈自愈。实验结果表明, 设计的通信链路实时反馈自愈方法的各项反馈自愈指标均良好, 具有可靠性, 有一定的应用价值, 为提高无线网络通信质量、降低通信链路综合风险作出了一定的贡献。

关键词

无线网络; 通信; 链路; 实时; 反馈自愈

doi: 10.3969/j.issn.1672-9528.2025.01.010

0 引言

无线网络是一种特殊的通信互联网, 可以通过各种各样的无线信号完成数据传输^[1], 降低有线电缆的局限性, 实现灵活通信。无线网络的传输介质相对特殊, 整体扩展性较强, 无须设置大量网线, 维护与安装成本均较低。无线网络的应用场景较广泛^[2], 包括家庭网络、办公网络、移动互联网络等。无线网络通信链路可以连接多个设备, 是通信基站部署的基础。研究表明, 在无线网络通信链路运行过程中, 容易受外界环境、设备故障等多种因素影响, 导致信号质量不佳, 甚至造成通信中断, 产生严重故障。进行通信链路反馈自愈可以获取链路性能参数变化^[3], 实时进行修复, 因此需要对无线网络通信链路实时反馈自愈进行深入研究。

事实上, 通信链路实时反馈自愈需要排除人工干预影响, 通过有效机制实现快速响应。除此之外, 还需要结合不同的智能算法进行实时分析预测^[4], 满足通信连接稳定性要求。相关研究人员针对通信链路业务特点设计了几种常规的反馈自愈方法。基于 5G 通信技术的无线通信链路实时反馈自愈方法通过配电网分线进行重合闸保护^[5], 计算自愈整定值, 提高自愈成功率, 但该方法的反馈复杂度较高, 与复杂通信链路无法适配; 基于对等通信网络的无线通信链路实时反馈自愈方法构建了链路 GOOSE 模型^[6], 解决了自愈信息交互

跳闸问题, 生成了 FA 自愈算法, 但该自愈方法的自愈时间较长, 效率偏低。为了满足通信质量要求, 本文设计了一种有效的无线通信链路实时反馈自愈方法。

1 无线网络通信链路实时反馈自愈方法设计

1.1 构建无线网络通信链路节点反馈自愈状态转换模型

无线网络通信链路的随机性较强, 链路始终在发生动态改变, 因此本文设计了心跳\组网帧, 有效处理了逻辑子节点, 使其满足负载逻辑标准。当通信强度发生改变时, 原本的组网帧树结构出现了偏差, 可以将 INIT 作为初始节点, UO-M 作为非正式主节点, O-M 作为正式主节点, UO-S 作为非正式子节点^[7], O-S 作为正式子节点调整反馈自愈时间, 构建的节点反馈自愈状态转换模型如图 1 所示。

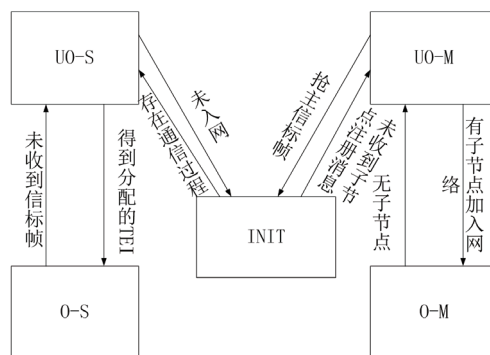


图 1 节点反馈自愈状态转换模型

由图 1 可知, 上述自愈状态转换模型设置了不同信标周期, 可以满足网络建立时间差要求, 降低无线通信网络的损毁风险^[8]。本文选取 OMNeT++ 进行通信分析, 获取图形化网络自愈信道, 确定各个节点的自愈扩展性, 生成的自愈流

1. 苏州信息职业技术学院 江苏苏州 215200

[基金项目] 中国高校产学研创新基金: 新一代信息技术创新项目 (2023IT229); “十四五”期间院品牌专业计算机网络技术 (2024YJPZ02)

程如图 2 所示。

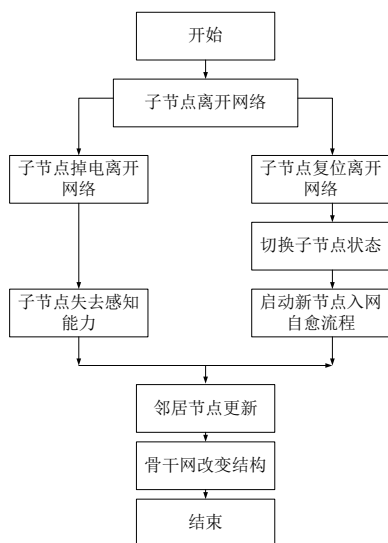


图 2 子节点自愈流程

由图 2 可知，当子节点离开网络后，可以立即确定其感知状态，进行邻居表更新^[9]，按照信道环境与网络处理状况发送父节点信标，使其满足各个时段的设定值。已经离开通信链路的节点会删除原本的网络信息^[10]，转变为全新的 INIT 状态。

已经离开的邻居节点在某时间段内无法收到有效的信标帧，需要更新邻居列表，调整相关的离网信息，使其满足自愈反馈要求。无线网络通信链路实时反馈对自愈协调性与合理性要求较高，必须保证逻辑主节点统一，因此本文根据链路状况对节点分布区域进行了调整，按照通信组网要求进行融合。各个节点可以基于网络表示状态判定主节点是否发送了解散请求，确定是否需要调整节点的自愈加入状态。使用上述构建的模型可以进行灵活反馈，保证了无线网络通信链路的自愈实时性。

1.2 设计分布式通信链路实时反馈自愈算法

为了满足反馈自愈的复杂任务处理要求，提高综合反馈效率，本文设计的分布式通信链路实时反馈自愈算法。首先需要设定有效的自愈指标值，进行通信节点信息交换，如果一个节点长时间未收到相邻节点的响应，需要立即发送自愈指令，此时需要根据通信链路传输要求生成自愈分类式 B ，其公式为：

$$B = \sum (B' \times \varphi_1 \times \varphi_2) \quad (1)$$

式中： B' 表示通信传输量； φ_1 、 φ_2 分别表示计算系数。通信链路内部节点存在相似性，可以协助主节点进行反馈处理，此时的反馈集中参量 F 计算公式为：

$$F = \sum_{i=1}^n w_i \times \frac{s_i}{\sqrt{N_i^2 + (ad_i)^2}} \quad (2)$$

式中： n 表示内部节点数量； s_i 表示节点的信号强度； N_i 表示噪声水平； d_i 表示传输延迟； w_i 表示节点权重； a 表示共享范围。

基于此，需要对反馈自愈指令 M 进行验证，其公式为：

$$M = \sum K + \frac{\partial M}{\partial F} E \quad (3)$$

式中： K 表示通信信道数据量； ∂M 、 ∂F 均表示不同时刻的通信参数； E 表示通信频率。本文设计的实时反馈自愈算法主要结合路由恢复、链路恢复、网络重构实现自愈，即重新计算最优路由，切换到备用路由，减少网络中断时间。在故障链路修复后，重新建立链路连接，或采用链路聚合提高冗余度。若发生大规模故障，则重新规划拓扑，优化网络性能。此时通信链路的传输格式 m ，其公式为：

$$m = \frac{L}{\sqrt{D^2 + (kE)^2}} \quad (4)$$

式中： L 表示带宽； d 表示通信传输时延； k 表示常数，用于调整错误率； E 对传输格式 m 的影响程度。

生成有效的实时反馈自愈算法 Y ，其公式为：

$$Y = X(T+k) \sum_{i=1}^n h_i (N-1)^r \quad (5)$$

式中： X 表示待传输通信数据； T 表示捕捉时序； k 表示常数； h_i 表示传输参数； N 表示采样时延； r 表示传输次数。使用上述的自愈算法可以生成高性能自愈脚本，快速与反馈自愈参数匹配，最大程度上降低了自愈执行风险，提高了自愈的可靠性。

2 实验

为了验证设计的无线通信链路实时反馈自愈方法的反馈自愈效果，本文选取了有效的实验平台，将其与基于 5G 通信技术的无线通信链路实时反馈自愈方法，以及基于对等通信网络的无线通信链路实时反馈自愈方法对比，进行了实验。

2.1 实验准备

结合实验要求，本文选取 TRY-811 平台作为实验平台，该实验平台由多松散耦合路由器组件，利用 ICAP (internal configuration access port) 进行动态接口连接，实时修改实验指令，完成动态重构，该实验平台的组成架构如图 3 所示。

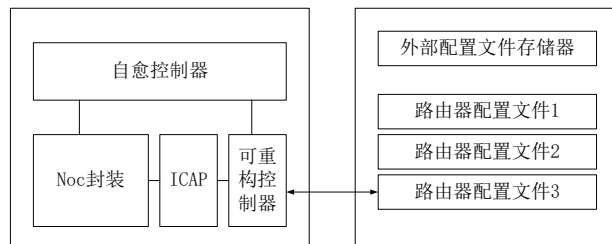


图 3 实验平台组成架构

由图3可知,上述实验架构可以按照规定时间进行FPGA逻辑调整,发送命令序列,生成有效的控制信号。在实验过程中,原始的ICAP命令可能存在响应偏差,需要进行动态重构,保证指令的实时性。

本实验选取的FPGA芯片型号为XC7A100T FPGA,结合mesh拓扑控制credit,构建Verilog HDL自愈中心,实验约束性布局。实验平台可以划分不同编号链路的自愈等级,设置业务防护网,从而满足实验的分值区间。当实验网络接收数据后,需要判断数据优先级,选取有效的传输路径进行数据整合,流程如图4所示。

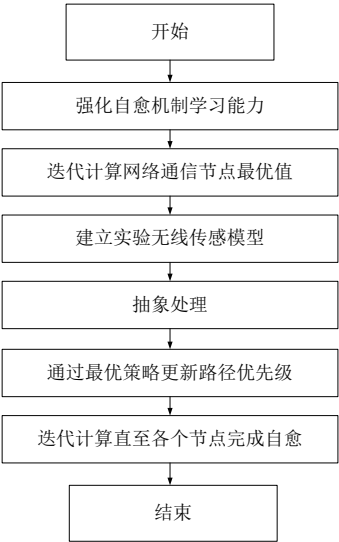


图4 实验流程

由图4可知,该实验流程对通信链路的敏感性较高,满足实验反馈与更新要求。实验选取IEC 61850作为基础协议进行多重自愈控制,得到独立自治单元,对实验结果做出实时反应。此时即可设置无线通信数据包,输出可靠的实验结果。

2.2 实验结果与讨论

结合上述实验准备,可以进行通信链路实时反馈自愈实验,即设置ACY0128/BCX2858两条不同的通信链路,选取若干个不同的网络通信节点,确定传输优先级,对原始信息进行整合,此时分别使用本文设计的无线通信链路实时反馈自愈方法,基于5G通信技术的无线通信链路实时反馈自愈方法,以及基于对等通信网络的无线通信链路实时反馈自愈方法进行反馈自愈,使用MOXA TurboChain工具获取3种方法自愈前后的自愈指标,得到的实验结果如表1所示。由表1可知,本文设计的无线通信链路实时反馈自愈方法在两种链路编号上均表现出较快的自愈时间(ACY0128为10.54~12.68 ms,BCX2858为11.52~12.84 ms)。自愈后,通信信号强度显著提升,丢包率显著降低至接近0,延迟也大

幅下降。基于5G通信技术的无线通信链路实时反馈自愈方法自愈时间相对较长(ACY0128为71.59~85.14 ms,BCX2858为72.84~86.12 ms)。自愈后,通信信号强度有所改善,但丢包率和延迟均显著增加,可能表明该方法在提升信号强度的同时,引入了额外的网络负担。基于对等通信网络的无线通信链路实时反馈自愈方法自愈时间也较长(ACY0128为83.22~89.89 ms,BCX2858为88.36~95.74 ms)。自愈后,通信信号强度有显著提升,但丢包率和延迟也有不同程度增加,表明该方法在恢复链路质量时可能牺牲了一定的网络性能。由此可知,所有方法均能有效提升通信信号强度,但提升幅度和效果因方法而异。本文设计的方法提升最为显著,是一种高效且实用的链路自愈方法。

表1 实验结果

方法	链路编号	指标	初始状态	反馈自愈后状态	自愈时间/ms
本文设计的无线通信链路实时反馈自愈方法	ACY0128	通信信号强度/dBm	-90	84.512	10.54
		丢包率/%	5.0	0.018	11.12
		延迟/ms	100	1.213	12.68
	BCX2858	通信信号强度/dBm	-95	75.212	11.52
		丢包率/%	7.0	1.235	12.36
		延迟/ms	150	1.895	12.84
基于5G通信技术的无线通信链路实时反馈自愈方法	ACY0128	通信信号强度/dBm	-90	-82.215	85.14
		丢包率/%	5.0	3.226	84.22
		延迟/ms	100	92.242	71.59
	BCX2858	通信信号强度/dBm	-95	-74.361	72.84
		丢包率/%	7.0	5.721	86.12
		延迟/ms	150	88.394	75.33
基于对等通信网络的无线通信链路实时反馈自愈方法	ACY0128	通信信号强度/dBm	-90	-57.148	83.22
		丢包率/%	5.0	3.636	86.27
		延迟/ms	100	84.482	89.89
	BCX2858	通信信号强度/dBm	-95	-43.912	88.36
		丢包率/%	7.0	4.832	95.74
		延迟/ms	150	79.715	87.18

3 结语

综上所述,在科技与无线通信技术双重发展背景下,无线网络通信覆盖的面积越来越大,应用的范围越来越广。与此同时,无线通信网络的复杂性随之增加,对通信链路的可靠性要求更高。受天气等多种因素影响,无线通信网络的信号质量波动明显,容易出现链路中断问题。除此之外,随着用户增长,链路的拥塞率显著增加,无法保证无线网络的通信安全性。因此,本文设计了一种有效的无线网络通信链路

实时反馈自愈方法。实验结果表明,设计的反馈自愈方法的综合性能良好,各项指标极佳,有一定的应用价值,为保证无线通信服务有效运行作出了一定的贡献。

参考文献:

[1] 常呈武,刘宏阳.卫星互联网星间激光通信链路传输与路由交换技术研究(特邀)[J].激光与光电子学进展,2024,61(7):70-75.

[2] 邵军虎,史魏征,刘依朔,等.无线紫外光与射频混合链路中继协作方案性能分析[J].电子测量与仪器学报,2024,38(1):160-167.

[3] 杜娟,马红波,魏清新,等.实现3 kW功率与50 Mb/s速率的电-数据同步无线传输的解耦设计技术[J].电工技术,2023(23):50-55.

[4] 虞湘宾,于凯,钱盼盼.面向6G移动通信的可重构智能反射表面技术研究综述[J].南京航空航天大学学报,2023,55(5):745-756.

[5] 黄振华,王少春,余剑,等.基于5G通信技术的配网架空线路故障自愈方案研究[J].农村电气化,2023(6):23-27+31.

(上接第43页)

[4] MANDALIANA K A, HARSONO T, SIGIT R. 3D visualization and reconstruction of lung cancer images using marching cubes algorithm[C/OL]//2019 International Electronics Symposium (IES). Piscataway: IEEE, 2019[2024-03-11]. <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/8901667>.

[5] 易玮玮,陈子轩,徐泽楷,等.一种基于CPU的三维超声图像体绘制方法[J].生命科学仪器,2019,17(1):32-36+31.

[6] 赵梓儒.脑肿瘤MRI图像的分割和三维重建[D].济南:山东大学,2020.

[7] 张笃正.医学超声影像三维重建技术研究[D].哈尔滨:哈尔滨理工大学,2022.

[8] 李怡敏,王宝珠,刘翠响,等.基于MC-E算法的CT图像三维重建[J].计算机工程与设计,2019,40(10):2959-2963.

[9] 许婉露,李彬,田联房.基于MC算法的高质量脊柱CT图像三维重建[J].计算机应用与软件,2013,30(6):79-82+92.

[10] LINDER C, ZHANG X X. A marching cubes based failure surface propagation concept for three-dimensional finite elements with non-planar embedded strong discontinuities of higher-order kinematics[J].Numerical methods in engineering, 2013, 96(6): 339-372.

[6] 郑龙全,韩卫卫,辛晓东.基于对等通信网络的智能分布式自愈控制的研究[J].电工技术,2022(15):230-234+242.

[7] 刘娇蛟,陈阿粤,马碧云.基于直扩超声波宽带人体通信多点接入的自适应速率调整[J].华南理工大学学报(自然科学版),2023,51(3):91-97.

[8] 李毅超,杨会峰,崔俊彬,等.基于最近位置中继选择策略的电力5G网络D2D通信安全可靠性能分析[J].计算机应用,2022,42(z2):168-174.

[9] 夏元清,谢超,高寒,等.天空地一体化网络环境下多运动系统跨域协同控制与智能决策[J].控制与决策,2023,38(5):1176-1199.

[10] 李璞,潘莉丽,丁锐.无线高时延环境下自适应信道带宽的TCP协议传输优化方法[J].成都大学学报(自然科学版),2021,40(4):374-378.

【作者简介】

周霞(1982—),女,江苏宜兴人,硕士,副教授,研究方向:信息通信技术。

(收稿日期:2024-07-21)

[11] 李丹,彭海欣.基于GPU的MC算法[J].河南科技,2017(5):57-60.

[12] LENG K Q. An improved non-local means algorithm for image denoising[C/OL]//2017 IEEE 2nd International Conference on Signal and Image Processing (ICSIP), Piscataway:IEEE, 2017[2024-03-22].<https://ieeexplore.ieee.org/document/8124523>.

[13] 陶自强,吕留帅,吴剑,等.CUDA加速医学超声图像SRAD去噪[J].中国医药导刊,2015(Z1):44-48.

[14] 武沛多.基于聚类与图割算法的图像分割方法[D].北京:华北电力大学,2020.

[15] 赵杰,龚硕然,王龙.一种改进的MC算法[J].激光杂志,2014,35(8):19-22.

【作者简介】

豆志恒(1997—),男,河南新乡人,硕士,研究方向:控制理论与控制工程。

朱立忠(1967—),男,辽宁盖州人,硕士,教授,研究方向:控制理论与控制工程, email: zlz2686312@sina.com。

(收稿日期:2024-10-08)