

[变电站]

智能变电站组网配置中的自适应路由技术

文/张洁华 吴旻哲

国网江苏省电力有限公司技能培训中心

自适应路由技术通过优化数据流路径和响应网络变化，提升了网络的效率和可靠性，尤其适用于智能变电站这种需求严格的环境。详细探讨自适应路由技术在智能变电站组网配置中的应用，包括技术的基本原理、在其他领域的成功应用案例，以及具体的技术实现策略。

在当今快速演进的电力系统中，智能变电站作为重要的网络节点，承担着调控供电与分配负荷的双重任务，其效率和稳定性直接影响到整个电网的可靠运行。随着电力系统的智能化、数字化进程的加速，对变电站网络配置的要求也随之增高，尤其是在实时数据处理和高可靠性通信方面。自适应路由技术，作为一种先进的网络通信技术，通过动态地选择最优的数据传输路径，以应对网络中的各种变化和可能的故障，从而保证数据传输的稳定性和网络的高效运行。此技术在其他高要求的网络环境中已经得到了广泛的应用和验证，在数据中心网络 and 大规模分布式网络中，自适应路由技术能有效地降低数据丢包率，提高网络吞吐量，优化网络的总体性能。

自适应路由技术概述

1. 自适应路由技术的基本原理

自适应路由技术的基本原理依赖于动态的路由决策过程，该过程使网络能够根据实时流量状况和网络拓扑的变化自动调整数据传输路径。在智能变电站组网配置中，这一技术通过持续监控网络链路的状态如延迟（通常以毫秒计量）、带宽使用率（以Gbps计）和丢包率（以百分比表示），以及基

于指标的综合评分系统，来决定最佳的数据转发路线。例如，自适应路由算法会计算多条路径的成本效益，采用成本最低且效益最高的路径进行数据传输，其中路径成本可能涉及跳数、延迟或任何其他网络性能指标^[1]。当网络发生变化，如链路故障或流量拥堵时，路由算法会重新计算路径选择，以避免故障链路并优化网络性能。此过程不仅提高网络的自适应能力和容错能力，还确保在不断变化的网络环境中数据传输的连续性和效率^[2]。

2. 自适应路由在其他领域的应用

自适应路由技术已广泛应用于多个领域，尤其在数据中心网络管理、无线传感网络和车载网络等关键领域，表现出其独特的优势。在数据中心网络管理中，自适应路由技术通过实时监控网络流量和链路状态，动态调整路由策略，以应对突发的流量高峰和链路故障，确保数据中心的高可用性和服务连续性。例如，自适应路由可以降低数据中心的平均延迟约20%~30%，提高网络吞吐量达10%~15%。在无线传感网络中，自适应路由技术通过评估链路的信号强度和能量消耗，优化传感器节点间的数据传输路径，显著提高了网络的能源效率和数据收集的可靠性，网络寿命延长了约25%。车载网络中，自适应路由技术则通过实时处理车辆

间的通信数据，优化信息的流向，有效提升了道路安全和交通管理的效率，降低了交通拥堵的可能性。表1展示了自适应路由技术在不同领域应用的关键参数和改进效果。

表1 自适应路由技术在不同领域应用的关键参数和改进效果

应用领域	关键改进参数	改进效果
数据中心网络	平均延迟与网络吞吐量	延迟降低20%~30%，吞吐量提高10%~15%
无线传感网络	网络寿命与能源效率	网络寿命延长约25%
车载网络	通信效率与道路安全	降低交通拥堵，提升交通管理效率

数据表明自适应路由技术在提升网络性能和可靠性方面具有显著优势，对电力系统外的多个关键行业均有重大影响^[3]。

自适应路由技术在智能变电站组网中的实现

1. 技术架构设计

在智能变电站组网配置中实施自适应路由技术，首先需要设计一套高效的技术架构，确保数据传输的灵活性和网络的可靠性。该技术架构设计基于分层的网络模型，包括数据链路层、网络层和传输层，每一层均嵌入自适应路由机制，以支持复杂的网络操作和管理任务。数据链路层利用自适应链路状态监控技术，实时调整链路权重和传输路径；网络层采用动态路由协议，如开放最短路径优先（OSPF）和增强内部网关路由协议（EIGRP），协议支持路由信息的快速更新和路径的自适应选择；传输层则通过流量控制和拥塞避免机制，优化数据包的传输效率。整个架构中还集成了网络管理系统（NMS），该系统基于网络性能指标，如延迟、带宽利用率和丢包率，实施集中式的动态路由管理，确保网络在遭遇故障或流量剧增时的鲁棒性和自适应性。通过这样的技术架构设计，智能变电站的网络不仅能够应对日益增长的数据处理需求，还能保证关键操作的实时性和准确性，极大地提高电网的整体稳定性和安全性^[4]。

2. 自适应路由策略的设计与优化

设计与优化智能变电站组网中的自适应路由策略，关键在于确保网络通信的高效性与可靠性，同时提高对网络状态变化的响应速度。这一策略通过引入多种路由算法和优化技术，包括基于成本

的路由优化、负载均衡、链路状态监控和故障恢复机制，实现对动态网络环境的快速适应。首先，基于成本的路由优化考虑各链路的带宽消耗、延迟和故障概率，通过算法动态计算并选择最佳路径。其次，负载均衡技术通过实时监控网络流量，自动调整数据流的路由路径，防止任何网络节点过载，从而保持网络整体性能的稳定性。链路状态监控则实时更新网络的状态信息，确保路由决策基于最新的网络数据。最后，故障恢复机制能在检测到链路故障时快速切换到备用路径，减少数据传输的中断时间。表2概述了自适应路由策略设计与优化的关键技术参数和效果。

表2 自适应路由策略设计与优化的关键技术参数和效果

策略类型	技术参数	优化效果
成本基路由优化	带宽消耗、延迟、故障概率	选择最佳成本效益的路径
负载均衡	实时流量监控	避免网络节点过载
链路状态监控	链路质量指标更新	保证路由决策的实时性
故障恢复机制	快速路径切换	最小化链路故障对网络的影响

策略集合确保智能变电站网络的自适应路由能够高效响应各种网络状态变化，支撑起智能电网中关键应用的稳定运行。

3. 自适应路由算法

自适应路由算法在智能变电站组网中的实现关键在于其能够动态调整路由决策，以适应网络条件的实时变化。算法基于各种网络性能指标，如延迟、带宽、链路可用性和网络拥堵状态，自动计算最优路径。算法利用如下公式进行路径成本的计算

$$C = \alpha D + \beta B + \gamma L \quad (1)$$

式中， C 表示路径成本； D 表示路径的平均延迟； B 表示路径的带宽容量； L 表示链路的可用性指数； α ， β ，和 γ 是调节因素影响的权重参数。

此外，自适应路由算法还需实现快速的故障恢复功能，通过以下公式快速重新计算路由

$$R = \frac{1}{1 + e^{-(k - S - t)}} \quad (2)$$

式中， R 表示路由重计算的响应速度； S 表示实时监测到的网络状态变量，如流量峰值或丢包率； k 和 t 是算法中的调节参数，用于确定网络变化敏感度和触发重新计算的阈值。

通过精确的数学模型，自适应路由算法能够在

保证网络稳定性和响应速度的同时，优化数据传输路径，减少通信延迟和提高数据传输效率，这对于电力系统的稳定运行和高效管理至关重要^[5]。这种算法不仅提升网络自我修复的能力，还增强对复杂网络环境的适应性，从而确保智能变电站在各种操作条件下都能保持最佳性能。

技术测试

在本次实验中使用的数据集是专门为测试智能变电站中的自适应路由技术而设计和生成的。整个测试过程未明确分组，而是采用统一的实验环境和条件来评估不同测试指标，以确保结果的一致性和可比性。这种方法有助于直观地展示自适应路由技术在相同条件下的表现，并且避免由于分组导致的变量不控因素的干扰。测试中涵盖四个主要指标：延迟（以毫秒计），反映了数据从发送点到接收点的传输时间；带宽利用率（以百分比表示），指出在给定时间内网络带宽的使用情况；网络吞吐量（以Mbps计），描述网络在单位时间内处理数据的能力；链路可用性指数，评估网络链路在给定时间内的可靠性和稳定性。指标共同构成了评估自适应路由技术性能的基础，测试结果见表3。

表3 测试结果

测试编号	延迟 /ms	带宽利用率 (%)	网络吞吐量 /Mbps	链路可用性 指数
1	12.34	75.56	100.47	0.98
2	13.21	60.45	95.34	0.95
3	11.76	80.32	110.56	0.99
4	14.55	65.78	90.21	0.93
5	12.89	70.67	105.78	0.97

从结果可以看出，自适应路由技术能够在不同的网络条件下保持较低的延迟和较高的链路可用性。尽管带宽利用率在各次测试中有所波动，但

网络吞吐量保持在一个相对稳定的高水平，显示自适应路由算法在动态网络环境中优化路由选择和应对网络拥堵的有效性。整体来看，自适应路由技术显示出了提高智能变电站网络性能的潜力，特别是在保持网络稳定性和提高数据处理能力方面表现突出。

结束语

综上所述，将自适应路由技术应用于智能变电站的组网配置，不仅具有重要的技术价值，提升变电站网络的自我管理和自我修复能力，还具有显著的社会效益和经济效益，为电网的可靠性、安全性和经济性提供有力保障。因此，研究智能变电站在自适应路由技术的具体应用和优化策略，不仅是智能电网技术发展的需要，也是提高电力系统自动化水平、确保电网安全高效运行的关键措施。**EA**

(收稿日期：2024-08-09)

参考文献

[1] 李斌, 丁衍然, 宋宇, 等. 500 kV智能变电站改扩建二次回路验证方案研究[J]. 电工电气, 2023(11): 70-71.

[2] 谢毅琨. 基于层次分析模型的220kV智能变电站组网设计及优化[J]. 集成电路应用, 2023, 40(11): 230-231.

[3] 胡保林. 集约化智能变电站组网模式探讨[J]. 电力安全技术, 2023, 25(8): 14-16.

[4] 刘韵韬, 张洪涛, 张子健, 等. 智能变电站过程层网络配置研究[J]. 科技风, 2023(12): 68-71.

[5] 付威. 智能化变电站组网调试问题研究[J]. 电工技术, 2022(4): 86-88.

