

认知无线传感器网络中基于流量的多路径路由

金玉珠, 张宁, 闫莹莹

河南科技职业大学, 河南 周口 466000

DOI: 10.61369/TACS.2025140028

摘 要 : 认知无线传感器网络是无线传感器网络和认知无线电技术融合的产物, 其动态频谱接入能力在很大程度上缓解了传统传感器网络频谱稀缺的问题, 在很多领域都有非常广泛的应用。路由协议是认知无线传感器网络的核心支撑, 基于流量的多路径路由技术可以通过感知实时流量、构建多条最优路径等方式, 可以有效解决单路径路由拥塞、抗干扰弱等问题。鉴于此, 本文将针对认知无线传感器网络中基于流量的多路径路由展开分析, 并提出一些策略。

关 键 词 : 认知无线传感器网络; 流量; 多路径路由

Traffic-Based Multipath Routing in Cognitive Wireless Sensor Networks

Jin Yuzhu, Zhang Ning, Yan Yingying

Henan Vocational University of Science and Technology, Zhoukou, Henan 466000

Abstract : Cognitive Wireless Sensor Networks (CWSNs) are the product of the integration of Wireless Sensor Networks (WSNs) and Cognitive Radio (CR) technology. Their dynamic spectrum access capability has largely alleviated the problem of spectrum scarcity in traditional sensor networks, leading to widespread applications in various fields. Routing protocols are the core support of CWSNs. Traffic-based multipath routing technology can effectively address issues such as congestion and weak anti-interference in single-path routing by perceiving real-time traffic and constructing multiple optimal paths. In view of this, this paper will analyze traffic-based multipath routing in CWSNs and propose corresponding strategies.

Keywords : Cognitive Wireless Sensor Networks (CWSNs); traffic; multipath routing

一、认知无线传感器网络中基于流量的多路径路由研究现状

(一) 路由路径构建研究

路由路径构建的核心是在动态频谱环境中结合实时流量状态, 构建一个多条性能优、干扰小的传输路径。现阶段, 很多研究会将精力放在路径的评价指标与构建算法优化上, 核心点是平衡路径性能、流量负载以及保证频谱的稳定性。路径评价指标通常综合了链路带宽、流量负载以及频谱的可用性等诸多参数, 通过权重函数量化路径的方式分出优劣, 这也为路径的选择提供了较为明确的依据^[1]。

构建算法可以分为两类: 其一是基于贪心策略的算法, 通过逐跳选择的方式选择最优链路, 这样可以快速构建一个无干扰路径, 整体的计算复杂度较低、响应也较快, 适用于流量多变场景, 比如非常典型的 SAMR 协议, 可以通过感知频谱空洞与流量负载的方式优先选择负载轻、频谱稳定的链路, 这样可以有效规避单路径瓶颈。其二是基于预测模型的算法, 这一算法可以通过 ARIMA、LSTM 等模型预测流量变化趋势, 从而实现提前构建备用路径, 这样当主路径拥塞或故障时可以快速切换, 有利于降低传输延迟, 适用于实时性要求高的环境监测、智能交通等场景^[2]。节点协作感知与路径容错也是研究重点, 通过相邻节点协作收集

信息, 减少单一节点感知误差, 预留冗余链路保障传输连续性。但现有技术仍有不足, 多数算法难以适配频谱快速变化与流量突发波动的双重场景, 多路径干扰抑制考虑不全面, 易出现路径间频谱干扰加剧、传输质量下降的问题。

(二) 流量分配策略研究

流量分配是核心环节, 分配的目标是将流量合理分配到多条路径, 这样可以实现负载的均衡, 能够有效降低延迟和丢包率, 从而大幅提升资源的利用率, 我们可以围绕公平性、动态适应性与频谱开销平衡展开研究, 从而形成更多优化算法。基于博弈论的算法是当前研究的热点, 这一模式可以将流量分配转化为博弈模型, 以节点或路径为参与者, 通过设定一些收益函数, 可以更为高效地引导参与者自主选择最优分配比例, 这样可以实现网络整体性能的最优, 还能兼顾负载均衡与能耗优化, 能够适配节点能量有限的认知无线传感器网络场景^[3]。基于线性规划与凸优化的算法可以通过建立优化模型, 以最大化吞吐量、最小化延迟为目标, 从而逐渐在链路带宽、频谱资源等约束下求解最优分配比例, 这一模式的精度高但计算复杂度高, 在实际的应用中需要进一步简化模型, 能够有效适配传感器节点资源约束。动态自适应策略可以通过实时感知网络状态调整分配比例, 在拥塞时自动分流至轻负载路径, 频谱带宽下降时可以及时调整分配量。此外, 这一模式还可结合机器学习技术学习流量规律, 大幅提升场景的适配性。

（三）频谱感知与路由协同研究

频谱感知与路由协同是提升路由性能的关键，其核心在于将两大模块深度融合，这样可以实现频谱状态、流量信息与路由决策的实时联动，从而有效解决两者脱节导致的路径选择不合理、频谱利用率低等问题。在分布式架构中，节点可以自主完成感知与流量采集，而后方可通过信息交互共享状态自主性地调整路由策略，这样可以大幅提升其去中心化水平，保证其抗故障能力，适用于大规模网络。但是，信息交互的整体开销较大，对于全局的优化也较为不足。在集中式架构中，汇聚的节点可以统一调度感知与路由决策，整体的全局优化效果更好，但是它对汇聚节点要求高，存在一定的单点故障风险^[4]。

协同优化可以将频谱可用性作为路径选择核心指标，结合流量负载选择最优链路，此外，还可以动态调整感知与路由更新周期，在流量波动大时缩短周期，在网络稳定时延长周期，这样可以更好地平衡性能与能耗。部分研究引入了频谱预留机制，这样可以为关键路径预留资源，从而大幅提升关键数据传输可靠性。现阶段，协同技术仍存在一定的不足，频谱感知的精度与延迟难以兼顾，感知延迟也较高，这样很容易导致路由决策滞后。此外，频繁感知与更新会增加节点能耗，这样也会缩短网络生命周期，难以适配节点能量约束。

二、认知无线传感器网络中基于流量的多路径路由的核心价值

（一）提升网络传输性能，缓解拥塞问题

一般来说，传统的认知无线传感器网络采用单路径路由，所有的数据都是通过一条路径传输，流量的激增或链路带宽有时会出现拥塞的情况，这样会导致延迟增加、丢包率上升。基于流量的多路径路由可以通过构建多条路径更为合理地分流流量，这样可以保证负载的均衡，从而在根本上缓解拥塞。该技术通过实时感知流量状态可以实现动态化调整分配比例，从而将拥塞的路径流量分流至轻负载路径，能够有效避免单路径过载^[5]。结合动态频谱接入，我们可以选择一些频谱稳定、带宽充足的链路构建路径，这样可以大幅提升传输速率，保障实时性数据高效传输。

（二）优化资源利用率，降低网络能耗

认知无线传感器网络的核心约束是节点能量有限、频谱资源稀缺，该技术通过合理地分配流量与频谱资源，能够大幅提升资源利用率，还能再无形中降低能耗，从而逐渐延长网络生命的周期。在频谱利用方面，我们可以将流量分配与动态频谱接入结合，这样可以优先选择空闲授权频谱，从而让多路径分流，以此实现对频谱资源的合理应用。在能耗优化方面，我们可以通过路径选择与流量分配协同，优先选择那些能耗低的节点与链路，这样可以更为均衡地消耗各节点的能耗，避免某一个节点过载。同时，我们可以动态地调整路由与感知策略，尽可能减少感知与重传次数，这样可以进一步降低能耗。

（三）增强网络可靠性，提升抗干扰能力

一般来说，认知无线传感器网络多是应用在一些复杂恶劣的

场景，这样会导致其链路很容易受到干扰、频谱切换的影响，传统单路径路由一旦发生故障传输就会中断，整体的可靠性较低。基于流量的多路径路由通过多条路径构建具有天然容错优势，它能大幅提升可靠性与抗干扰能力。当某条路径因故障、干扰中断时可快速切换至其他路径，这样可以保障信号的传输连续性^[6]。同时，这一模式可以实时感知链路状态，有利于提前调整路由策略，这样可以避免链路不稳定导致传输质量下降。同时，我们可以尝试引入一个链路可靠性评价机制，优先选择那些干扰小、稳定性高的链路，这样可以提升网络的可靠性提升50%以上，更能适配复杂、恶劣的场景需求。

（四）适配复杂应用场景，推动实际落地

随着我国物联网的不断发展，认知无线传感器网络的应用场景不断拓展，不同场景对网络性能需求差异较大，这也导致传统的单路径路由难以适配。基于流量的多路径路由具有较强的灵活性与适应性，我们可以根据场景的需求动态调整路由策略，这样可以适配更为多样化的需求。在环境监测中，我们可以根据数据优先级分配路径，以此保障预警信息及时传输。在智能交通中，我们可以根据分流路况、调度数据展开应用，这样可以避免拥塞导致调度延迟。在军事侦察中，多路径并行传输可以保障数据的安全与连续。通过将其与人工智能、机器学习的融合，能够进一步提升场景适配能力，有利于推动认知无线传感器网络在各领域落地。

三、认知无线传感器网络中基于流量的多路径路由的实现路径

（一）基于流量感知的频谱状态采集

频谱与流量状态是路由决策的基础，为此，我们可以设计一个更为高效地感知机制，这样可以更好地平衡感知精度，确保信息准确实时。一般来说，频谱感知采用分布式与集中式的结合方式，分布式主要是由节点自主扫描频谱、共享结果，这样可以有效降低感知误差，集中式则是由汇聚节点调度，这样可以大幅提升精度、协调感知周期。流量感知可以采用本地与协同感知结合的方式，相关节点可以采集自身的流量信息，相邻节点则可以交互获取链路整体负载，同时，我们可以尝试引入ARIMA、LSTM等预测模型预测流量变化，这样可以为路径构建与流量分配提供支撑。

（二）基于流量与频谱协同的多路径构建

在多路径构建中，我们要遵循“性能优先、负载均衡、能耗优化”原则，结合频谱与流量信息构建一个最优路径。为此，我们应构建一个更为完善的评价指标体系，综合链路带宽、流量负载等参数，通过层次分析法确定权重，而后方可更好地量化链路优劣。此外，我们还可采用分布式构建算法降低对汇聚节点依赖，主要流程包括初始化路径集合、逐跳筛选最优链路、检测路径干扰等^[7]。而后，我们可以以此为基准，设计一个动态化的更新机制，这样可以实时监测路径状态并及时调整路径结构，有利于后续工作结合流量预测提前更新，从而有效避免拥塞。

（三）基于负载均衡的动态流量分配

在流量分配中，我们要遵循“动态适配、公平高效、开销最小”的原则，基于路径与流量状态合理分配流量。在实际工作中，我们可以建立一个优化模型，这样可以更好地优化延迟、丢包率，同时，可以将链路带宽、频谱以及节点能量作为约束，通过凸优化、博弈论等方式求解最优的分配比例，以此进一步简化模型适配节点计算能力。同时，我们可以设计一个动态化的调整机制，实时监测路径负载与链路状态，在出现拥塞分流、带宽下降时，我们可以及时启动备用路径^[8]。不仅如此，我们还可尝试引入一个流量优先级机制，尽可能保障高优先级数据实时传输，避免频繁切换，降低延迟与能耗。结合实际情况与需求，我们可以尝试构建一个协同优化框架，进一步明确两大模块的交互机制，

频谱感知模块传输频谱信息至路由模块，路由模块反馈决策至感知模块，指导感知重点与周期调整^[9]。

（四）性能评估与自适应调整

在实际工作中，我们可以建立一个更为完善的性能评估体系，选取传输性能、资源利用等作为核心指标，这样可以更为全面地评估路由协议性能。比如，我们可以尝试采用仿真测试（NS-3、OMNeT++）与实际测试结合的方式，验证协议有效性与可行性。此外，我们还可设计一个自适应调整机制，根据评估结果调整路径构建算法、流量分配策略与感知周期^[10]。例如，在延迟过高时，我们可以调整分配比例，在能耗过高时，可以进一步优化路径选择，在频谱利用率低时，调整感知的重点，这样可以更好地让协议适应复杂的动态网络环境，从而保证性能的提升。

参考文献

[1] 吕安琪. 铁路无线传感器网络部署与路由算法研究 [D]. 兰州交通大学, 2024.
[2] 范志峰. 基于卫星辅助的化工无线传感器数据安全传输研究 [D]. 淮阴工学院, 2025.
[3] 苏锡同. 主动智能反射表面辅助的认知无线传感器网络非均匀分簇路由协议设计 [D]. 东北电力大学, 2025.
[4] 李浩民. CRSN 中的分簇路由机制的研究 [D]. 黑龙江大学, 2025.
[5] 阎予涵. 基于概率感知的传感器网络节点部署策略研究 [D]. 北京邮电大学, 2024.
[6] 韩琨. 移动 CRSN 中的分簇路由与信道分配算法研究 [D]. 黑龙江大学, 2024.
[7] 曹成刚. 基于智能算法的 WSN 的频谱感知与频谱分配 [D]. 哈尔滨工程大学, 2024.
[8] 程宇. 认知无线传感网中分簇算法的研究 [D]. 黑龙江大学, 2024.
[9] 张涌逸. 基于合作微分博弈的无线传感器网络频谱分配 [J]. 电脑编程技巧与维护, 2023, (08): 58-60+99.
[10] 张涌逸. 认知无线传感器网络中基于流量的多路径路由 [J]. 电脑编程技巧与维护, 2023, (07): 71-74.