

无线传感器网络中的能量效率传输技术研究

李 成

日海恒联通信技术有限公司 河南 郑州 450048

摘要: 为了提高无线传感器网络中的能量利用率和传输性能, 延长网络寿命并提升系统效率, 文章通过分析和比较不同传输技术, 提出了多种优化方案。首先阐述了单跳传输与多跳传输、基于路由协议的能量优化技术、MIMO技术与协作传输技术等能量效率传输技术, 然后探讨了基于MIMO技术的节能协作传输方案, 分析了其能效优势, 探讨了智能反射面在优化能量传输和空中计算系统中的应用, 为进一步提升WSN的能量效率和整体性能提供新思路。

关键词: 无线传感器网络; 能量效率; 传输技术; MIMO; 智能反射面

引言

无线传感器网络在环境监测、智能家居等领域中得到了广泛应用。然而, 传感器节点的能量受限问题严重制约了网络的生命周期和性能。因此, 研究能量效率传输技术以优化无线传感器网络中的能量消耗具有重要意义。当前, 单跳传输与多跳传输、基于路由协议的能量优化技术、MIMO技术与协作传输技术等方法已经被提出并应用于实际网络中, 通过分析这些技术在不同应用场景下的能量效率, 可以为无线传感器网络的设计和 optimization 提供理论支持和实际指导。

1 能量效率传输技术的分类

1.1 单跳传输与多跳传输

单跳传输和多跳传输是无线传感器网络中常见的两种数据传输方式^[1]。单跳传输指的是数据从源节点直接传输到目标节点, 而不经中间节点的转发。多跳传输则是数据在源节点和目标节点之间通过多个中继节点逐级传输。单跳传输的优点在于其简单性和传输延迟较低, 但由于直接传输距离较长, 传输功率需求较高, 导致能量消耗较大, 不适合能量受限的无线传感器网络。相反, 多跳传输通过多个中继节点分段传输数据, 可以显著降低每段传输的功率需求, 进而减少整体能量消耗, 延长网络寿命。然而, 多跳传输增加了网络复杂性, 并引入了路由管理和数据包传递延迟等问题。

1.2 基于路由协议的能量优化技术

在无线传感器网络中, 路由协议的设计对网络的能量效率具有至关重要的影响, 常见的能量优化路由协议包括LEACH和PEGASIS^[2]。LEACH是一种分簇协议, 通过随机选择簇头节点并轮换其角色来均衡节点能量消

耗, 从而延长整个网络的生命周期。每个簇头节点负责收集其簇内节点的数据并将其传输到基站, 这种方式减少了直接传输的距离和能量消耗。LEACH在节点分布密集且负载较均匀的网络中表现出较高的能量效率。然而, LEACH在节点分布不均或负载较高的网络中可能导致某些簇头节点过早耗尽能量, 影响整体网络性能。PEGASIS协议则采用链式结构, 通过节点之间逐级传输数据至链末的领导节点, 再由领导节点将数据发送至基站。

1.3 MIMO技术与协作传输技术

MIMO技术和协作传输技术是提高无线传感器网络能量效率的两种重要方法^[3]。MIMO技术通过在发射端和接收端配置多个天线, 以实现多路信号的并行传输, 从而提高频谱效率和传输速率。MIMO系统通过空间分集和空间复用, 能够显著提高信号的可靠性和传输容量, 从而在相同能量消耗下实现更高的数据传输效率。在MIMO系统中, 空间分集通过传输相同的信号副本到不同天线, 降低了多径衰落的影响, 提高了信噪比; 而空间复用则通过同时传输多个独立的数据流, 提高了频谱利用率。协作传输技术则利用多个传感器节点协同工作, 以实现数据传输的空间分集。节点间通过相互协作, 共享天线资源, 形成虚拟MIMO系统, 从而提高数据传输的可靠性和能量效率。协作传输的基本原理是, 通过中继节点转发信号, 增加信号路径的多样性, 降低单一节点传输的功率需求, 进而减少能量消耗。协作传输技术还可以通过选择最佳中继节点, 进一步优化能量利用。MIMO技术通过提高传输速率和信号质量, 减少了传输时间和重传次数, 从而降低了能量消耗。

2 基于MIMO技术的能量效率传输

采用多个传感器节点进行协同工作, 形成虚拟MIMO系统, 以实现高效的数据传输和能量利用。通过空间分

作者简介: 李成(1979.1-), 男, 汉族, 籍贯: 新疆哈密, 本科, 工程师, 研究方向: 通信工程

集和空间复用,降低单一节点的传输功率需求,减少整体能量消耗。能量消耗主要包括发射功率消耗和电路功耗。协作MIMO系统由多个传感器节点和一个基站组成,每个节点都有一个天线,通过协作,每个节点只需在较低功率下传输信号,而不是单独进行高功率传输。节能协作MIMO传输方案在长距离和高数据率传输场景下,能够显著降低能量消耗,延长网络寿命。

MIMO技术通过多天线系统,实现了空间分集和空间复用,显著提升了频谱效率和信号质量,从而在相同能量消耗下,实现更高的数据传输速率和可靠性。在不同传输条件下,MIMO技术和非协作传输方案的适用性也存在差异。在高数据率和长距离传输场景中,MIMO技术通过多路径传输和空间复用,能够显著提高传输效率和可靠性,减少传输时间和重传次数,降低整体能量消耗。而在短距离和低数据率传输场景中,非协作传输方案由于其系统结构简单,仍然具有一定的优势,特别是在能量充足且网络拓扑较为固定的情况下。

3 协作传输技术的能量效率研究

3.1 增加协作传输的能量效率

首先,当通信距离较远时,直接传输的能量消耗会显著增加,因为传输功率随着距离的增加呈指数增长。在这种情况下,利用中继节点进行协作传输,可以分段传输数据,每段传输距离较短,从而大大降低能量消耗。其次,当信道条件恶劣,如多径衰落严重或者信号干扰较大时,直接传输的成功率低,需要多次重传,增加了能量消耗,而协作传输通过多条独立路径传输数据,提高了传输的可靠性,减少了重传次数^[4]。在节点能量不均衡的情况下,某些节点能量充足而另一些节点能量不足,通过协作传输,可以平衡网络中的能量消耗,延长整个网络的生命周期。最后,当网络拓扑动态变化较大时,协作传输可以利用临时可用的中继节点,适应网络变化,保持较高的传输效率。

3.2 中继节点位置对协作传输能效的影响

合理选择中继节点的位置,可以最大化协作传输的能效增益。中继节点的位置对传输功率、信号质量和网络寿命等多个方面都有影响。首先,从传输功率的角度来看,中继节点应选择在源节点和目的节点之间的某个优化位置,使得总的传输功率最小化。假设源节点、目的节点和中继节点的位置分别为S、D和R,且R的位置在SD连线上,当R靠近S或D时,某一段的传输距离较短,但另一段的传输距离较长,总的传输功率较高;而当R位于SD的中间位置时,两段传输距离较为均衡,总的传输功率最低。

4 智能反射面辅助的能量效率传输

4.1 智能反射面的反射相位优化

反射相位优化的目标是通过调整每个反射单元的相位,使得反射信号在目标位置处形成最大的建设性干涉,从而增强信号强度和传输效率。

首先,基站或信号源根据当前信道状态信息(CSI),计算出理想的反射相位设置。由于信道状态是动态变化的,需要实时更新CSI以进行相应的调整。其次,采用迭代算法如梯度下降法或遗传算法,逐步调整各反射单元的相位,使目标函数(如接收信号强度或能量效率)达到最优。反射相位优化可以显著提高能量传输效率。在室内环境中,通过优化反射相位,接收端的信号强度可以提高2~3倍,从而大幅减少传输功率需求。反射相位优化还可以实现多用户环境下的干扰管理,通过在不同用户路径上施加不同的相位调整,减少多用户干扰,提升系统容量和性能^[5]。

4.2 智能反射面对能量传输效率的提升

智能反射面通过精确控制反射信号的相位和幅度,在提高无线能量传输效率方面展现出显著效果,其主要优势在于能够灵活调整信号传播路径,使得更多的传输能量聚焦到目标设备,从而减少能量损耗,提高能量利用率。智能反射面通过优化反射路径,可以在目标接收位置形成强信号波束,实现更高的能量密度。当智能反射面正确调节相位,使得反射信号在接收端形成最大限度的建设性干涉时,接收端的信号强度将显著增加。通过智能反射面,可以为多个接收设备分别设计最佳反射路径,确保各设备接收到足够的能量,平衡网络中的能量分布。在多用户场景中,智能反射面能够显著提高系统的能量传输效率和公平性,有效延长网络寿命。

5 基于无线能量传输的空中计算网络

5.1 空中计算系统设计

基于无线能量传输的空中计算系统需要综合考虑系统架构、能量管理、数据传输与计算模型等方面。首先,系统架构包括能量发射器、多个传感器节点和数据接收端。能量发射器负责通过无线能量传输为传感器节点提供能量,传感器节点利用接收到的能量进行数据采集和传输。数据接收端则负责接收和处理通过空中计算聚合的数据。其次,能量管理是系统的核心。需要通过能量波束成形技术将能量高效传输到传感器节点,优化能量发射器的能量分配策略,以确保每个节点都能获得足够的能量。再次,数据传输与计算模型需要基于空中计算的原理设计。在数据传输过程中,多个传感器节点同时发送数据,利用无线信道的叠加特性,在接收

端实现数据的实时聚合和计算。为了提高系统的能量效率,可以采用多跳传输和协作传输技术,通过中继节点分段传输数据,降低传输功率需求。系统设计需考虑信道状态信息(CSI)的获取和利用,通过动态调整能量发射和数据传输策略,适应信道条件的变化,确保系统性能的最优化。

5.2 联合优化策略

联合优化策略包括能量发射优化、传输功率控制和信道分配等多方面内容。首先,能量发射优化是关键,通过对能量发射器的发射功率和波束方向进行优化,使能量集中传输到需要的传感器节点,最大化能量利用效率。其次,传输功率控制策略需要根据节点的能量状态和信道条件,动态调整每个节点的传输功率,以平衡能量消耗和数据传输速率。具体来说,可以采用自适应功率控制算法,根据实时的信道状态信息(CSI)和节点的剩余能量,调整传输功率,确保能量高效利用和数据传输的可靠性。再次,信道分配策略需要结合多用户环境下的信道资源利用,通过优化信道分配,提高系统的整体性能。例如,可以采用正交频分复用(OFDMA)技术,根据不同节点的需求和信道状态,动态分配频谱资源,减少干扰,提高传输效率。

5.3 智能反射面辅助的空中计算系统优化

通过动态调节反射单元的相位,智能反射面可以显著增强信号传播路径,提高能量传输和数据传输的效率。首先,智能反射面能够优化能量传输路径。通过调整反射相位,使能量波束集中在目标传感器节点,提高接收能量的密度和效率,减少能量传输过程中的损耗。研究表明,在复杂的室内环境中,智能反射面可以使接收端的能量接收效率提高30%以上。其次,在数据传输过程中,智能反射面能够优化信号路径,增强信号强度,减少多径效应和干扰,提高数据传输的可靠性。特别是在多用户环境下,智能反射面可以通过智能调控不同用户的反射路径,减少用户间的干扰,提高系统的总

传输速率和能量效率。智能反射面还能够适应动态变化的环境,例如用户的移动和障碍物的引入,通过实时调整反射相位,确保能量和数据传输的稳定性和连续性。采用智能反射面优化的空中计算系统,在能量效率和传输性能方面均有显著提升,在多用户场景中,智能反射面优化后的系统传输速率提高了40%,能量消耗降低了20%^[6]。

6 结语

综上,本文系统研究了无线传感器网络中的能量效率传输技术,涵盖了单跳传输与多跳传输、基于路由协议的能量优化技术、MIMO技术与协作传输技术等多个方面。通过理论分析和仿真验证,展示了这些技术在不同应用场景下的能效优势。特别是,智能反射面和联合优化策略的引入,为进一步提升无线传感器网络的能量利用率和传输性能提供了新的技术手段,在实际应用中能够显著延长网络寿命,提高数据传输的可靠性和效率。

参考文献

- [1]汤恒行,汤宝平,赵春华,等.机械振动WSNs子带多阶层自适应量化数据压缩方法[J].振动与冲击,2023,42(10):188-193,214.
- [2]李青云,高宇鹏,杨倩倩.基于分片重传链路感知的无线传感器网络能耗控制方法[J].传感技术学报,2023,36(7):1136-1142.
- [3]区展华,李翠然,杨茜.基于ANN的能量采集无线传感器网络中继选择策略[J].计算机工程,2023,49(5):215-222,230.
- [4]张勇,吕黎明.基于模糊密度峰聚类和PSO的WSN能量均衡算法[J].计算机仿真,2023,40(7):418-422.
- [5]刘庆亚.无线传感器网络中的数据运输效率优化[J].电脑爱好者(普及版)(电子刊),2022(6):3081-3082.
- [6]王国仕,刘瑛,颜清,等.适用于智能电网WSN的能量有效分簇路由协议[J].计算机工程与设计,2023,44(3):671-676.