

射频能量收割技术在自供能传感器网络中的创新应用

欧阳浩¹ 田园¹ 王妍² 王松²

1.深圳迈塔兰斯科技有限公司 广东深圳 518000; 2.泽淙科技(海南)有限公司 海南琼中 572900

【摘要】随着无线传感器网络在各个领域的广泛应用,传感器节点的能源供应问题成为制约其发展和应用的重要因素。为了摆脱传统电池供电的限制,射频能量收割技术逐渐成为自供能传感器网络中的一项创新应用。本文总结了射频能量收割技术的原理及其在自供能传感器网络中的创新应用,并讨论了相关挑战和未来研究方向。

【关键词】射频能量收割;自供能传感器网络;创新应用

Innovative application of RF energy harvesting technology in self-powered sensor networks

Ouyang Hao¹ Tian Yuan¹ Wang Yan² Wang Song²

1.Shenzhen Metalanance Technology Co., LTD. Guangdong Shenzhen 518000;

2.Zelong Technology (Hainan) Co., LTD. Hainan Qiongzong 572900

【Abstract】With the wide application of wireless sensor network in various fields, the energy supply of sensor nodes has become an important factor restricting its development and application. In order to get rid of the limitation of traditional battery power, RF energy harvesting technology has gradually become an innovative application in self-energy sensor network. This paper summarizes the principles of RF energy harvesting technology and its innovative applications in self-powered sensor networks, and discusses related challenges and future research directions.

【Key words】RF energy harvesting; self-supplied energy sensor network; innovative application

引言

在无线传感器网络中,传感器节点往往分布在各种环境中,包括人类难以到达或者无法持续供电的场所。传统的电池供电方式存在着容量有限、更换困难以及对环境造成污染等问题,限制了传感器网络的可靠性和可持续性。为了解决这些问题,自供能传感器网络采用从环境中收集能量来为传感器节点供电的方式成为了一种新的解决方案。射频能量收割技术作为一种有效的能量收集手段,逐渐受到研究者的关注。

一、射频能量收割技术的原理

射频能量收割技术利用环境中的无线信号作为能源进行收集,通过能量接收与转换装置将射频信号转换为电能供给传感器节点使用。其原理是通过天线对射频信号进行接收,在整流器和能量存储设备的协同工作下,实现能量的转换、存储和管理。

二、射频能量收割技术在自供能传感器网络中的创新应用

(一) 应用于传感器节点的设计

射频能量收割技术是一种将无线射频能量转换为电能

的技术,可以用于自供能传感器网络中的传感器节点设计。具体体现在如下几个方面:一是储能系统设计,传感器节点通常需要一定的能量进行运行,但传统的电池供电方式有着限制,需要不断更换或维护。利用射频能量收割技术,传感器节点可以通过接收周围的射频信号,将其转换为电能并储存起来^[1]。这样一来,传感器节点就可以实现长期自供能,从而降低了维护成本。二是网络拓扑优化,由于传感器节点可以自供能,网络拓扑结构也可以根据能量收集情况进行优化。传感器节点可以根据自身能量状态选择合适的传输距离和传输功率,从而实现更灵活和高效的通信。这种优化可以提高网络的覆盖范围和传输质量,并延长整个网络的寿命。

(二) 转换技术

射频能量收割技术是一种将环境中的射频信号转换成可用电能的技术,它在自供能传感器网络中具有创新的应用。其中一个关键领域是转换技术,即将收割到的射频能量转换为传感器节点所需的直流电能。首先,射频-直流(RF-DC)能量转换器是射频能量收割技术的核心组件之一。它可以将收集到的射频信号转换为直流电能供给传感器节点^[2]。RF-DC转换器的设计需要考虑匹配天线与电路之间的阻抗,以最大限度地提高能量转换效率。其次,除射频能量收割外,自供能传感器网络还可以同时利用其他能量收割技术,如光能、振动能等。将不同的能量收割技术集成到一个系统中,可以提高整体能量收集效率,并增加能量供给的稳定性和可靠性。另外,针对射频能量收割系统,开发能量

优化算法可以进一步提升能量转换效率和能量管理性能。这些算法可以根据当前环境中可用的射频信号强度和节点能量需求,动态地调整能量收割和分配策略,实现最佳的能量利用。

(三) 能量管理与分配

射频能量收割技术在自供能传感器网络中的一个创新应用是能量管理与分配,这涉及到对收集到的射频能量进行智能管理和合理分配以满足传感器节点的能量需求。首先,传感器节点可以通过能量收集器将收集到的射频能量转换为直流电能,然后利用能量存储元件(如超级电容器或电池)进行能量储存。这些能量存储元件可以在传感器节点需要能量时提供持续供电,同时也可以平衡能量输入和输出之间的差异^[3]。其次,在自供能传感器网络中,能量收集的效率和功率输入的稳定性往往受到环境因素(如射频信号强度的变化)的影响。通过使用功率适配与优化算法,传感器节点可以根据当前接收到的射频信号强度和节点的能量需求动态调整功耗,以实现最佳的能量利用。这使得传感器节点能够自适应地管理和调整功耗,从而在能量有限的情况下延长其运行时间。同时,在自供能传感器网络中,不同的传感器节点可能具有不同的能量需求和优先级。因此,需要开发能量分配策略以合理地分配收集到的射频能量。这些策略可以基于传感器节点的能量需求、节点间的通信负载等因素进行决策,以保证整个网络的稳定性和正常运行。另外,为了进一步延长传感器节点的运行时间,可以利用睡眠调和节能模式。当节点没有足够的能量供应时,可以使节点进入低功耗或睡眠状态,仅保持基本功能或定期唤醒以检查能量供应情况。这种节能模式可以有效减少能量的消耗,延长传感器节点的寿命。

三、射频能量收割技术在自供能传感器网络中的应用挑战

(一) 能量收集效率不高

射频能量收割技术在自供能传感器网络中确实面临着一些挑战,其中之一是能量收集效率不高。例如,射频能量收割的效率受到射频信号环境的影响。对于室内或城市环境中,信号传播受到遮挡、多径衰落等因素影响,射频能量的捕获和收集变得更加困难。目前,射频能量转换的效率仍然相对较低,通常在几个百分点左右。而且,自供能传感器节点需要根据能量收集的速率和节点功耗之间的平衡来管理能量。如果能量收集速率低于节点的功耗消耗速率,节点可能无法正常运行^[4]。此外,射频能量收割技术需要与其他组件和系统进行集成,例如能量存储元件、能量管理电路等。在系统级别上,需要进行整体的优化设计,包括能量收集器的位置选择、电路设计和算法优化等。可见,射频能量收割技术的应用也会受到多种因素的影响,这些因素都会影响到

能量的收集效率。

(二) 能量存储容量有限

射频能量收割技术在自供能传感器网络中的应用,也存在诸多挑战,其中非常重要的一点就是能量存储容量有限,其主要体现在以下几个方面:第一,能量需求超过供应。传感器节点通常需要在运行过程中消耗一定的能量来完成任务,如感知、数据处理和通信等。然而,射频能量收割技术所能提供的能量源通常是相对有限的,难以满足节点持续高功率运行的需求。第二,能量不稳定性。射频能量收割技术依赖于环境中的射频信号转换为可用电能,但环境中的射频能量通常是不稳定的。这导致了能量的不确定性和不可靠性,使得能量收集和存储变得更加困难。在能量供应不稳定的情况下,能量存储容量有限将进一步限制传感器节点的工作时间和可靠性。第三,存储设备容量限制。当前可用的能量存储设备,如电池或超级电容器,虽然可以存储一定量的能量,但其储能密度相对较低。这意味着在有限的空间内,能够存储的能量总量有限。第四,能量管理复杂性。由于能量存储容量有限,传感器节点需要进行有效的能量管理,以最大程度地利用有限的能量资源。能量管理涉及节点对能量需求的动态调度和优化,以确保在关键时刻有足够的能量供应。然而,能量管理的复杂性和算法设计的挑战增加了对系统性能和稳定性的要求。

(三) 对多种射频信号的适应性

射频能量收割技术在自供能传感器网络中的应用,也需要对多种射频信号进行适应。不同射频信号具有不同的频率特性,传感器节点需要具备适应不同频率信号的能力。挑战在于设计能够收集和转化多个频率范围内的射频信号的能量收集系统,这就要求传感器节点具备广泛的频率响应范围,以适应各种不同频率的射频信号^[5]。而且射频信号的功率在环境中可能会发生显著的变化,传感器节点需要具备适应不同功率水平的能力。这意味着能量收集系统必须能够在低功率环境下有效地收集能量,并在高功率环境下进行功率调节和适应。传感器节点需要能够实时监测射频信号的功率变化,并相应地调整能量收集和存储策略。另外,在现实环境中,可能存在多个射频信号源同时存在的情况。传感器节点需要具备处理和区分多个射频信号的能力,以避免信号干扰和相互干扰的问题。这需要能量收集系统能够识别、定位并选择目标射频信号源,有效利用可用的射频能量。同时,不同的射频信号可能使用不同的通信协议和协议规范。传感器节点需要具备适应不同射频信号协议的能力,以与周围环境的射频设备进行通信。这涉及到对多种射频通信协议的理解和处理,以确保能够正确解码和处理接收到的信号。

四、自供能传感器网络中射频能量收割技术的发展方向

(一) 优化射频能量收集系统的设计

优化射频能量收集系统的设计,是自供能传感器网络中射频能量收割技术的重要发展方向之一。首先,要进行天线设计。天线是射频能量收集系统的重要组成部分,它负责接收环境中的射频信号并将其转换为电能。未来的发展将注重设计更高效的天线结构,以提高能量收集效率。例如,采用多频段和宽带天线,以便在更大范围内接收射频信号;使用宽角度天线,以增加接收能量的机会;研究新材料和制造方法,以实现更小尺寸和更轻量级的天线。其次,需要整合调整电路。收割的射频能量需要通过整合调整电路进行 rectification 和变换,以便转换为适合传感器节点使用的直流电能。未来的发展将着眼于优化整合调整电路的设计,以提高能量转换效率。可能的改进包括采用高效的整流器技术、改进电压调整电路的响应时间和精度,以及降低整合调整电路的功耗。另外,射频能量收割系统通常需要能够存储和释放能量的设备,如电池或超级电容器。发展方向之一是研究和开发更高能量密度、更持久稳定的能量存储器件,以满足传感器节点的能量需求。这可能包括新型电池材料、高能量密度的超级电容器或其他新型能量存储技术的应用。而且为了有效地利用射频能量,优化能量管理算法也是一个重要的发展方向。这包括对能量收集、存储和消耗的动态调度和优化,以确保在关键时刻有足够的能量供应。未来的发展将结合机器学习和优化算法,开发智能的能量管理策略,以适应不同环境条件和工作负载的变化。

(二) 设计适应不同环境的能量收割技术

在自供能传感器网络中,射频能量收割技术的发展方向之一是设计适应不同环境的能量收割技术。具体而言,主要包括如下几方面的内容:一是频率选择性,不同环境中存在不同频率的射频信号。未来的发展将注重设计具有频率选择性的能量收割技术,以便更好地适应不同环境中的射频信号。可以采用多频段天线、宽带天线或可调谐天线等技术,以便在不同频率范围内收集射频能量。二是多模式能量收集,考虑到不同环境中射频信号的变化和复杂性,多模式能量收集是一个重要的发展方向。这意味着能量收割技术需要适应不同模式的射频信号,包括连续波、脉冲信号、调制信号等。这可以通过结合不同的能量收集技术,如天线阵列、电容耦合、电磁感应等,来实现。三是多通道收集,为了适

应不同环境中射频信号的多样性,未来的发展将注重设计多通道能量收集系统。这意味着使用多个独立的接收通道来收集不同频率、不同功率级别的射频能量。多通道收集可以提高能量收集的灵活性和效率,使系统能够适应更广泛的环境条件。四是抗干扰和功耗优化,在不同环境中,存在各种各样的干扰源和能量衰减因素,如多径效应、阴影效应等。未来的发展将注重设计抗干扰能力强的能量收割技术,并对系统进行功耗优化,以减少能量收集过程中的能量损耗。

(三) 加强安全和隐私保护技术研究

随着物联网和传感器网络的快速发展,对数据安全和个人隐私的关注也越来越重要。所以在自供能传感器网络中,射频能量收割技术要想得到更好的应用,也需要加强安全和隐私保护技术研究。第一,要进行数据加密和身份验证。为了保护从传感器节点收集的数据,将在能量收割技术中引入数据加密和身份验证机制。通过使用各种加密算法和认证协议,可以确保收集到的射频能量数据的机密性和完整性。同时,通过身份验证,可以确保只有授权的用户或设备才能访问传感器节点。第二,进行安全通信。在能量收割技术中,建立安全的通信渠道是非常重要的。传感器节点之间的通信应采用安全的通信协议和加密技术,以防止数据被窃取或篡改。同时,还可以考虑使用防止重放攻击、身份伪造和中间人攻击等技术,提高通信的安全性。第三,注重隐私保护。在能量收割技术中,应该考虑采用匿名化和隐私保护的方法来限制收集到的数据。例如,可以使用数据脱敏技术、隐私保护模型和去标识化方法来限制数据的敏感性和可识别性。

总结:

射频能量收割技术作为自供能传感器网络中的创新应用,为传感器节点的能源供应问题提供了可行的解决方案。通过合理设计能量收割系统,并采用智能的能量管理策略,可以实现传感器节点的自供能,提高传感器网络的可靠性和可持续性。然而,射频能量收割技术仍然面临一些挑战,需要进一步的研究和探索才能实现其在实际应用中的广泛推广和应用。

参考文献

- [1]区展华,李翠然,杨茜.基于ANN的自供能无线传感器网络中继选择策略[J/OL].计算机工程:1-11[2023-08-22].
- [2]胡润彦,李翠然.基于模糊控制的自供能无线传感器网络分簇算法[J].计算机应用,2020,40(09):2691-2697.
- [3]刘子奇.自供能无线传感器网络的节点放置方法研究[D].哈尔滨工程大学,2019.
- [4]王冠,王瑞尧.基于簇头优化的自供能无线传感网络路由算法[J].计算机应用,2018,38(06):1721-1725+1736.
- [5]姚玉坤,王冠,任智等.能耗均衡的自供能无线传感器网络分簇路由算法[J].传感技术学报,2013,26(10):1420-1425.