

基于 Wi-Fi 信号的环境反向散射技术分析

成 刚

(上海诺基亚贝尔股份有限公司, 上海 200127)

摘 要: 环境反向散射技术给物联网低功耗设备部署的商业化带来了新的技术方案。首先简要概述反向散射技术的分类和基本特点, 然后基于 Wi-Fi 信号下的环境反向散射技术, 分析反向散射的设备通过接收 Wi-Fi 报文及反射信号来传递信息的可行性, 讨论设备实现 Wi-Fi 双向通信的硬件框架和软件模块结构, 介绍反向散射技术的应用场景, 并归纳该技术的挑战和改进方向。最后展望了基于 Wi-Fi 信号的环境反向散射技术的发展趋势和研究方向。

关键词: 环境反向散射; 物联网; 射频识别; 信道状态信息

中图分类号: TN926

文献标识码: A

DOI: 10.16157/j.issn.0258-7998.200506

中文引用格式: 成刚. 基于 Wi-Fi 信号的环境反向散射技术分析[J]. 电子技术应用, 2020, 46(12): 43-47, 52.

英文引用格式: Cheng Gang. Ambient backscatter technology survey based on Wi-Fi deployment[J]. Application of Electronic Technique, 2020, 46(12): 43-47, 52.

Ambient backscatter technology survey based on Wi-Fi deployment

Cheng Gang

(Nokia Shanghai Bell Co., Ltd., Shanghai 200127, China)

Abstract: Ambient backscatter technology brings new solution for those devices largely deployed with low power consumption required by Internet of Things. This paper firstly introduces an overview for basic theory and categories of backscatter technology. Then based on Wi-Fi signal transmission with ambient backscatter, the paper gives the analysis how backscatter device handles the messages encoded from Wi-Fi packets and reflects the signal for information transmitting. Then the paper provides the proposal of relevant hardware framework and software architecture, and potential deployment user cases. From perspective of product delivery, the paper also summarizes the technical challenges and key improvement areas. Finally, the paper shares the view for technical evolution trend and key points for next study.

Key words: ambient backscatter; Internet of Things; RFID; CSI

0 引言

在物联网中有大量的低成本和低功耗设备通过传感器对周围环境进行监测, 把相关的数据传送到网关或云端进行处理。这些设备不需要随时进行数据通信, 能够在低功耗的情况下长期被使用, 当环境参数发生变化的时候, 或者服务器或网关需要查询它们状态的时候, 它们将从休眠的状态中被激活进行通信。如何降低这些设备的功耗和成本是物联网得以快速发展的关键因素。

目前支持无线连接物联网技术有 LoRA(Long-Range)、窄带物联网 NB-IoT、IEEE802.15.4、低功耗蓝牙(Bluetooth Low Energy, BLE)等, 相应的设备具有低成本和低功耗的特点。然而, 这些应用场景都需要给物联网设备供电或者配置电池来维持基本的工作状态, 依赖于安装和部署特定的信号源发送特定频段的无线信号来实现数据通信等。

在目前移动通信、电视广播或 Wi-Fi 信号非常普及的情况下, 如果能利用环境中的电磁波信号作为物联

网设备的能量输入, 并且对这些无线信号进行有条件的反射, 把所需要信息传送给接收设备, 将能够使物联网设备省去传统无线信号发送和接收所需要的射频电路或芯片, 从而使设备具有非常低的功耗和成本, 实现海量物联网设备在不同场景下的部署需求。这种把周围已经存在的无线信号转变成电能来源和通信媒介的技术称为环境反向散射技术。

本文首先简要概述反向散射技术的分类和基本特点, 然后基于 Wi-Fi 信号下的环境反向散射技术, 分析反向散射的设备通过接收 Wi-Fi 报文及反射信号来传递信息的可行性, 讨论设备实现 Wi-Fi 双向通信的硬件框架和软件模块结构, 介绍反向散射技术的应用场景, 并归纳该技术的挑战和改进方向。最后展望了基于 Wi-Fi 信号的环境反向散射技术的发展趋势和研究方向。

1 反向散射技术的分类及基于 Wi-Fi 信号的环境反向散射概述

已经得到规模使用的典型的反向散射技术是射频

综述与评论

Review and Comment

识别(RFID)系统。RFID的通信双方是阅读器和电子标签,阅读器向电子标签持续发送一定频率的射频信号,电子标签收到信号后产生感应电流并被激活工作进行信息发送。电子标签发送信息的方式有负载调制或反向散射调制。反向散射调制的方式是通过控制天线阻抗来改变天线的反射系数,从而实现载波信号的调制和发送。

RFID系统需要有专门的阅读器来发送特定的射频信号给接收标签,而本文讨论的环境反向散射技术^[1-3]是设备或者标签利用环境中已经存在的无线信号进行能量提取,设备被激活而进行信息的传送,所以具有更加广泛的应用场合。参考图1的反向散射技术的分类。

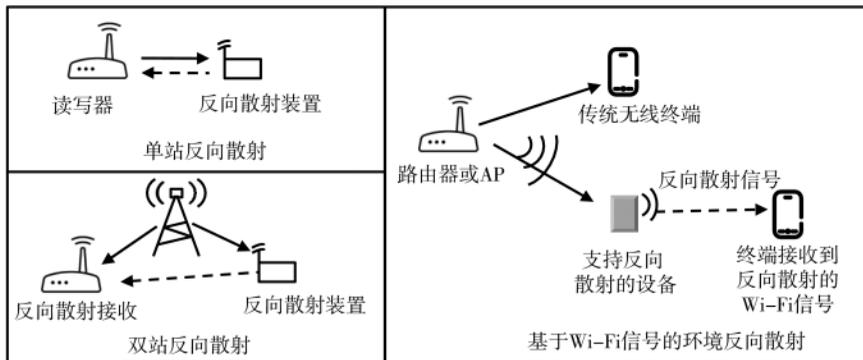


图1 反向散射的分类及基于Wi-Fi信号的环境反向散射框图

根据反向散射所使用的无线信号的来源,通常反向散射分为单站反向散射、双站反向散射和环境反向散射。RFID是常见的单向反向散射技术;双站反向散射的网络中存在一个专门发送载波的设备,反向散射设备接收这个载波,然后加载相关的信息状态并反射给读写器;而环境反向散射则直接利用环境中已有的射频信号进行通信。表1是反向散射技术的比较。

环境反向散射技术已经得到很多最新的研究关注,例如参考文献[4]介绍一种全双工环境反向散射通信网络访问方式,接入点向其用户发送下行正交频分复用信号,并以时分多址接收从多个反向散射设备反向散射的上行链路信号。

本文讨论基于Wi-Fi信号的环境反向散射的场景,实现方案包括环境中已经存在的Wi-Fi信号传播、实现反向散射的设备或电子标签、接收反向散射数据的Wi-Fi终端或AP。为了描述方便,下文把支持反向散射技术的

设备统称为电子标签。

该技术方案的原理是支持反向散射的电子标签从环境中检测出Wi-Fi信号,然后提取能量实现电子标签的供电,接着通过天线阻抗调整来反射或吸收Wi-Fi信号,Wi-Fi反射信号的接收信号强度(Received Signal Strength Indication, RSSI)和信道状态信息(Channel State Information, CSI)由于天线阻抗调整的影响而发生变化,反向散射的电子标签把带有编码信息的Wi-Fi信号反射给对应的接收终端,接收终端通过对RSSI和CSI的处理来获得反向散射的数据^[5-7]。

2 Wi-Fi环境下的反向散射技术的技术方案分析

支持反向散射的电子标签的硬件系统中不包含Wi-Fi的ASIC芯片,也就不支持对Wi-Fi数据链路层(802.11 MAC层)的数据报文封装和解析。在Wi-Fi环境中要实现这样的新系统,关键技术在于如何使得数据收发双方能完成基于Wi-Fi协议的通信。例如,反向散射的电子标签如何获取并处理接收到的Wi-Fi报文的内容,电子标签如何把编码信息通过对Wi-Fi信号的反射而传送到接收方,如何在Wi-Fi环境中与其他无线终端利用Wi-Fi载

波侦听冲突避免的方式来实现共存等。下面是相关技术分析。

2.1 发送Wi-Fi报文给支持反向散射的电子标签

主动查询电子标签信息的Wi-Fi终端或AP是常见的Wi-Fi设备,所以它们必须遵循Wi-Fi数据链路层的规范,发送Wi-Fi报文的时候不能修改Wi-Fi基本协议格式。同时,因为电子标签无法根据Wi-Fi协议来解析数据报文的内容,所以不管如何选择发送Wi-Fi报文的方式,必须能让电子标签直接获得发送方期望传递的编码信息。图2是两种Wi-Fi报文发送的基本方式。

这两种方式的关键是利用Wi-Fi的数据载荷或Wi-Fi报文是否“存在”的标识来传递“1”或“0”的编码信息,而不是利用Wi-Fi报文中的实际数据来表示具体消息。

(1)利用Wi-Fi报文是否包含数据载荷来指示二进制比特“1”或“0”^[5]。

表1 反向散射类别的比较

比较内容	信号来源	信号反射距离	信号反射信道和检测复杂度
单站反向散射	专门的阅读器发送固定频率信号	阅读器与标签之间往返的信号衰落限制了通信距离	信号反射的信道固定,检测相对简单
双站反向散射	不参与通信的第三方设备发送载波信号	载波设备安置与标签距离较近,但阅读器与标签之间距离可以更灵活	信号反射的信道固定,检测相对简单
环境反向散射	环境中已有的射频信号	不受第三方载波设备放置距离的限制,阅读器与标签之间距离可以更灵活	反射信道随环境信号变化,阅读器收到的信号可能同时是射频源信号和反射信号,或只有射频源信号,检测相对复杂

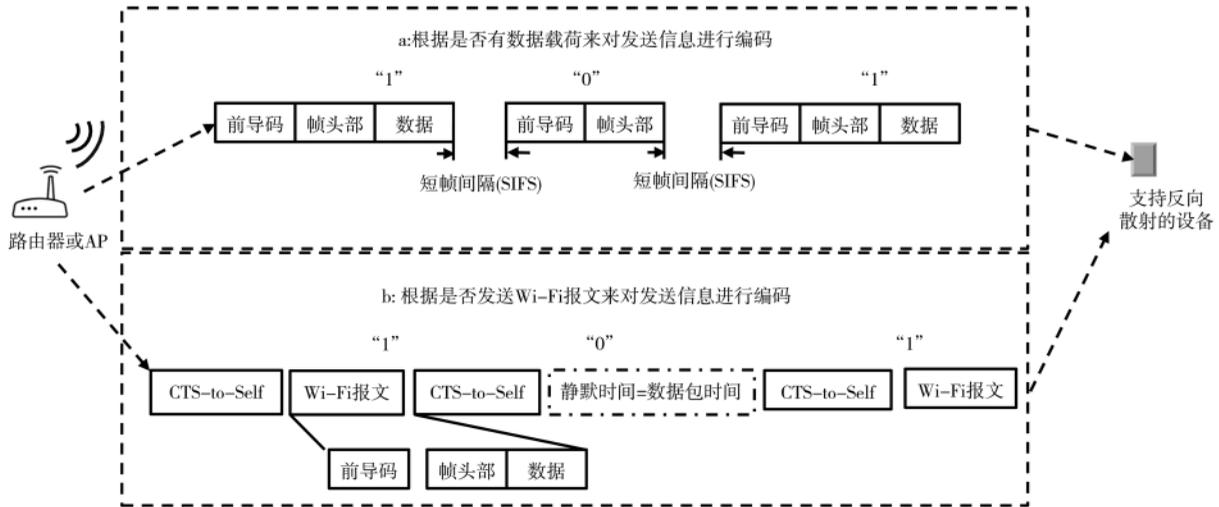


图2 向支持反向散射的设备发送 Wi-Fi 消息

发送的 Wi-Fi 报文由前导码、帧头部和数据载荷所构成,如果填充数据载荷,则表示传送的比特为“1”,如果没有填充数据载荷,则表示传送的比特为“0”。传输相邻比特信息的帧间隔是 Wi-Fi 报文的短帧间隔(Short Interframe Space, SIFS)。

(2)发送方通过是否发送 Wi-Fi 报文或不发送 Wi-Fi 报文来指示比特“1”或“0”^[6]。

不发送 Wi-Fi 报文相当于在网络中产生报文的静默期,它的持续时间等同于 Wi-Fi 报文发送的时间。为了避免在静默期有其他 Wi-Fi 设备抢占媒介来发送报文,发送方在传送比特信息之前发送 CTS-to-SELF 消息^[6],要求其他 Wi-Fi 设备在指定的时间间隔内不检测媒介是否空闲,以及不发送数据报文。

不同数量的“1”和“0”的组合构成不同的控制消息类型,当电子标签接收到 Wi-Fi 报文的时候,由内置的处理器根据“1”和“0”的编码方式中识别出对应的控制命令。然后电子标签必须通过反射的方式传递响应消息给发送方,例如发送 ACK 的确认消息,否则发送方将持续发送查询消息。

2.2 电子标签对 Wi-Fi 信号进行反向散射而传递信息给接收方

支持反向散射的电子标签不能封装 Wi-Fi 的协议报文,即不能构造物理层格式的比特流和数据链路层报文。如果需要向外发送信息的时候,电子标签通过调节不同的天线阻抗来表示“1”或“0”的比特信息。如果传送的比特为“1”,则设备自动调整天线阻抗来反射 Wi-Fi 信号;如果传送的比特为“0”,则设备自动调整天线阻抗来吸收 Wi-Fi 信号,即不反射 Wi-Fi 信号。Wi-Fi 终端或 AP 根据是否收到反射信号而获得对应的比特信息。

Wi-Fi 信号的 RSSI 和 CSI 因为天线阻抗调节所引起的反射而发生变化,接收方根据 RSSI 和 CSI 的信息来判断是否来自电子标签所反射的信号。图 3 中电子标签持续收到路由器或 AP 在环境中发射的 Wi-Fi 信号,然后电子标签根据传递信息的需求对信号进行反射或不反射,接收设备根据 RSSI 或 CSI 的波幅或相位变化来获得对应的信息。

2.3 Wi-Fi 网络中电子标签与其他无线终端共存方式

在实际应用的 Wi-Fi 局域网中,经常有多个 Wi-Fi

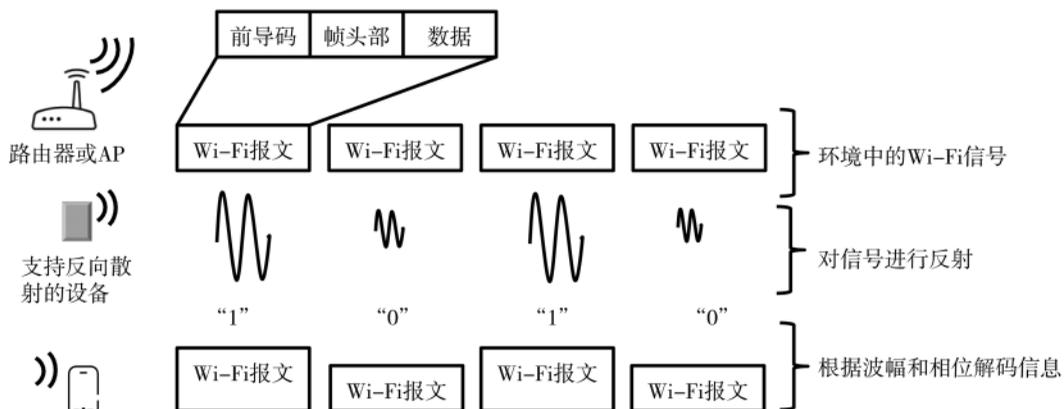


图3 设备对 Wi-Fi 信号进行反向散射而传递信息给接收方

综述与评论 Review and Comment

终端或 AP 同时在工作状态中,除了接收反向散射信号的特定 Wi-Fi 阅读器以外,其他 Wi-Fi 设备并不知道反向散射设备的存在。不管是向电子标签发送查询消息,还是电子标签反射信号,都要避免影响这些设备的正常工作。

Wi-Fi 设备访问物理媒介方式是载波侦听多路访问/冲突避免技术,即设备先检测媒介是否空闲,如果是,则随机退避一段时间以后发送数据包。上面所描述的阅读器向电子标签发送 CTS-to-SELF 消息就是一种避免影响其他 Wi-Fi 设备工作的方式,这个消息要求其他 Wi-Fi 设备在指定的时间间隔内不检测媒介是否空闲,从而避让比特“0”传送的静默期。

对于电子标签反射信号来说,它无法遵循冲突避免的机制,反射信号是根据比特流编码来调整天线阻抗实现的。为了避免影响其他设备的数据发送,一种方式是使天线阻抗调节所需要的时间大于 Wi-Fi 数据包传送的时间^[6],即电子标签传送 1 个比特的时间大于 Wi-Fi 数据包传送的时间,这是为了尽可能减小对其他 Wi-Fi 设备传送数据包的干扰,带来的负面影响是降低了电子标签对信号进行反射的速率。

3 支持反向散射的设备或电子标签的系统框架

根据上面讨论的关键技术分析,图 4 所示是基于 Wi-Fi 环境反向散射的设备或电子标签的硬件框架及软件模块结构,系统设计中主要包括接收端模块、发送端模块、系统处理模块和传感器装置等。

3.1 接收端模块

接收端模块主要包括 Wi-Fi 信号能量收集器、能量控制管理与存储单元、Wi-Fi 信号接收处理单元。当设备接收到环境中的 Wi-Fi 信号的时候,能量收集器的电路负责把不稳定的 Wi-Fi 信号转换成稳定的直流电压,然后能量控制管理与存储单元负责给整个设备供电。

Wi-Fi 信号接收处理单元通常至少包含滤波器、倍

压器和低功耗比较器等电路,负责唤醒系统及提取数据报文。设备一般工作在休眠状态,当有 Wi-Fi 阅读器向它发送查询消息的时候,Wi-Fi 信号接收处理单元识别信号并触发设备系统的唤醒过程,同时 Wi-Fi 信号接收处理单元把物理层信号中提取出来的数据报文传递给处理器进行消息处理。

3.2 发送端模块

发送端的设计相比接收端较简单,如上所述,主要是通过调节天线阻抗匹配来实现对环境中的 Wi-Fi 信号进行反射,从而完成特定比特流消息的发送。发送端模块没有传统 Wi-Fi 电路所需要的射频电路和功率放大器,所以成本和功耗都比较低。

发送端的天线设计是关键,原则上可以使用不同的单极或偶极子天线,参考文献[6]中设计了一种特殊的微带贴片天线,天线同时支持阻抗调节和实现对环境中的 Wi-Fi 信号的能量收集,然后多个天线组合在一起构成微带贴片阵列,目的是提高信号反射的有效性。

3.3 系统处理模块及软件架构

在环境反向散射设备中,虽然支持的软件功能有限,但是为了完成能量收集、传感器信息采集、接收信号处理和命令解析、调整阻抗发送比特信息等基本功能,设备中有基本的软件系统,按层次结构从下到上可以分为设备硬件初始化和驱动、环境信号能量接收和存储模块、Wi-Fi 信号接收和反射驱动、传感器驱动、发送和接收数据的协议控制与管理、能量管理、设备管理和安全管理。软件模块基本与硬件单元相匹配,主要功能是支持各个硬件单元功能的正常运行。

3.4 传感器装置

在环境反向散射设备上配置传感器,则传感器从周围环境中收集到的信息可以通过反向散射传递到 Wi-Fi 终端或 AP。传感器装置既可以在设备被激活的时候根据命令收集环境状态信息,也可以在检测到环境参数发

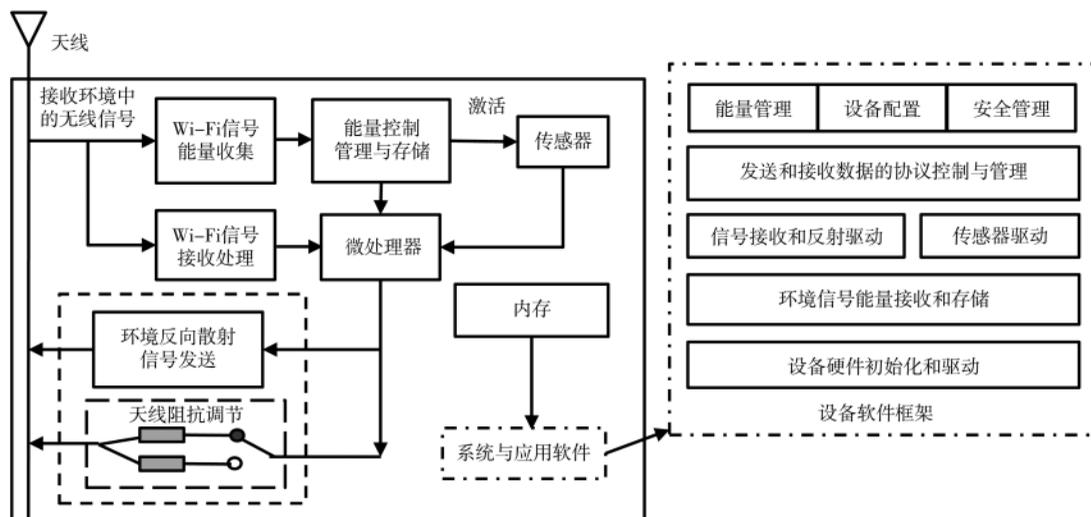


图 4 基于 Wi-Fi 环境反向散射的设备架构及软件模块框架

综述与评论 Review and Comment

生变化的时候主动向处理器汇报信息。

根据上面设计的系统方案,基本通信工作流程如图5所示。

4 Wi-Fi环境下的反向散射技术的应用场景

支持环境反向散射技术的设备具有低功耗、低成本、支持海量部署的特点。因为设备不需要复杂的射频电路设计,所以电路板上节省了Wi-Fi芯片、放大器、滤波器等器件,使得它可以在很低的功耗条件下长时间工作,同时使得系统成本非常低。

在这样的设备上配置传感器,可以大量放置在任何有无线信号的地方,不需要人工去安装电池或设备维护,特别适用于人员不宜或很少进入的地区,例如有毒气体区域、高温高湿环境、工厂嘈杂的自动化生产车间等。支持Wi-Fi的阅读器向这些地区发送射频信号,设备立即上报环境状况,为人们进行常规维护或采取措施提供参考。

智慧城市日常治理中需要有大量的传感器来收集环境变化、交通状况、人员流动等信息,例如支持环境反向散射的传感器设备可以探测温湿度状态、大气压变化、阳光照明、燃煤气浓度等环境信息,通过邻近的Wi-Fi路由器为环境监控传送数据;轨道上的传感器设备可以检测水浸、道路裂缝、异常障碍物等信息^[2],及时通过无线网络进行信号反射,从而向道路交通管理人员告警;遍布城市的传感器设备可以检查人员进出场所统计、停车位信息、井盖安置、路灯状态等,随时利用附近安置的Wi-Fi网关进行信息汇总并传递到游客的手机APP上或统一管理的云平台。

散布在农场中的环境反向散射的传感器设备,可以采集温度、pH值、降水量、土壤盐分、植物营养、湿度以及空气指标等,通过无线网络帮助农场管理人员及时了解温室大棚的环境情况、养殖场的生态数据等,并短时间内做出决策和调整。

5 Wi-Fi环境下的反向散射技术的挑战和改进方向

Wi-Fi环境下的反向散射设备由于没有单独的射频电路或芯片,所以功耗和成本都可以非常低。但从工程实现角度来看,通信速率低、传送距离短、易受环境干

扰、信息安全保护等都是产品化的关键技术挑战。

5.1 通信速率和传送距离的讨论

因为反向散射是对Wi-Fi报文的反射或不反射来传送比特流的,所以设备反射的通信速率总是远小于它接收Wi-Fi数据的速率,提高反射速率的方式是研究在较短时间内如何传送更多的比特信息。例如,Wi-Fi报文之间的间隔至少是30 μs,通常Wi-Fi反射速率低于30 kb/s,在参考文献[7]中提出多层级的天线阻抗匹配方式,通过电容和电感组合在一起的电路阵列实现相应的反向散射信号调制。在Wi-Fi AP和无线终端间隔5 m的情况下,反向散射设备从Wi-Fi AP发射的Wi-Fi信号中收集能量和接收数据,然后通过反向散射把数据发送给无线终端,反向散射传输数据的性能达到60 kb/s。

环境中的Wi-Fi信号传送到反向散射的电子标签的时候,已经经历了环境中的信号衰减。所以被反射的信号强度已经较弱,再次传输的距离必然受到限制。在电子标签中如何尽可能放大接收到的小信号并且提高有效的反射距离是工程实现中要确认的。

5.2 信号干扰和有效检测问题

在实际的应用环境中,基于Wi-Fi的环境反向散射技术容易受到环境变化的干扰,其中障碍物所引起的多径衰减是一个重要因素。不管是电子标签接收查询消息,还是电子标签反射信号,传送消息的通信信道经常是易变和不稳定的。提高阅读器或标签对信号检测的有效性必然是关键技术之一。

目前电子标签的系统设计不具备检测信号噪声干扰的能力,它能正确解析接收到的Wi-Fi报文中编码信息的能力主要取决于Wi-Fi报文到达标签时的信号强度。当电子标签对信号进行反射的时候,目前已有的系统设计不能区分信号的来源,即不能判断信号是来自某台路由器或AP,还是来自某个无线终端。阅读器既接收到信号源的信号,也接收到标签的反射信号,还有环境中的其他干扰信号。如果要提高阅读器的识别信息的有效性,则电子标签需要持续反射相同的信息,而阅读器需要关联指定的路由器,只识别该路由器被标签反射的信号,然后发送响应消息给标签。

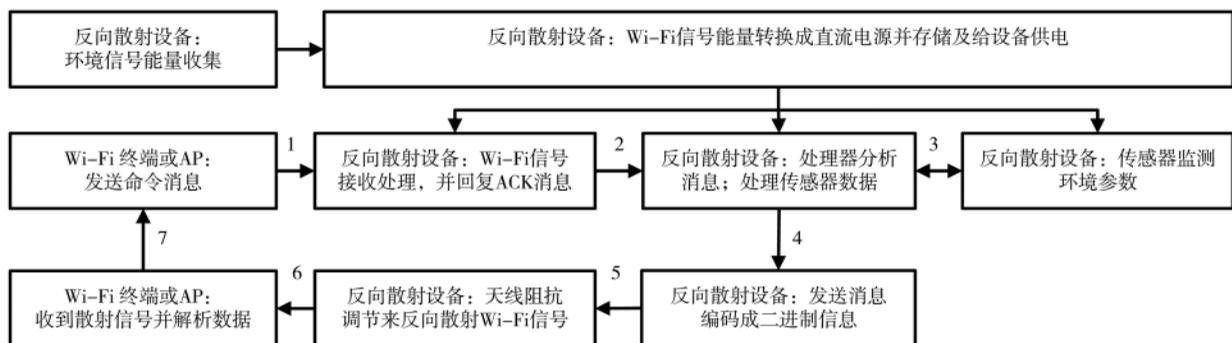


图5 环境反向散射的基本工作流程

(下转第52页)

networks for single image super-resolution[C]. Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition Workshops, 2017: 136-144.

- [13] LI X, WU J, LIN Z, et al. Recurrent squeeze-and-excitation context aggregation net for single image deraining[C]. Proceedings of the European Conference on Computer Vision(ECCV), 2018: 254-269.

(收稿日期: 2020-05-20)

作者简介:

李蔚(1996-),男,硕士研究生,主要研究方向:图像处理。
安鹤男(1963-),通信作者,男,副教授,主要研究方向:计算机视觉、图像处理, E-mail: 1800311018@email.szu.edu.cn。
刘佳(1996-),男,硕士研究生,主要研究方向:图像处理。



(上接第 47 页)

5.3 环境反向散射下的信息安全保护

由于环境反向散射技术是在空间直接传输信号,因此商业化之前必然有安全问题需要有解决方案。例如,读取信息的 Wi-Fi 装置与环境反向散射的设备或电子标签之间应该有身份验证的机制,防止非法设备冒充反向散射中的通信任意一方进行数据窃听或者发送伪造信息;攻击者可以利用拒绝服务攻击的方式向支持 Wi-Fi 反射信号读取的装置进行大量信息的发送,从而造成读写装置的处理能力过载,使得正常通信中断;攻击者也可以把支持反向散射的电子标签放置在用户的任意物品中,从而监视物品的数据或行踪等。

6 结论

环境反向散射技术目前还没有商业化的产品,但它具备的低功耗和低成本的无线通信方式非常适合物联网的广覆盖的应用场景。在该技术被产业化之前还有若干挑战需要找到更高效的方案,例如上面阐述的反向散射的传输性能、反向散射的传输距离、应对无线信号干扰处理、信息安全问题等。

然而提升反向散射设备性能、改进抗干扰能力或者安全防护等可能需要额外的电路或器件设计、需要更高的处理器能力、或需要更复杂的软件功能和运行功耗,如何在产品设计的复杂性和应用场景的低功耗与低成本之间找到合适的权衡,是工程设计中必然要解决的问题。

基于 Wi-Fi 的技术通常都有 Wi-Fi 联盟联手厂家进行互通标准及认证规范定义,目前环境反向散射技术尚未放到 Wi-Fi 联盟的讨论话题中。另外,不限于 Wi-Fi 信号,环境反向散射技术同样可以应用在其他无线信号的环境中,例如 5G、广播信号、蓝牙等,根据不同的无线通信协议,需要有相应的物理层和数据链路层的通信设计。

从技术前沿性的角度来看,基于智能天线设计的环境反向散射方案、环境反向散射的微弱信号恢复技术、物理层协议设计、环境信号散射与传送同步问题、物理层安全研究^[8]等都是环境反向散射技术的研究课题,是研究人员可以深入讨论的领域。

如果上述提到的技术挑战得到不断完善,可以预见环境反向散射技术在物联网领域中将得到充分的重视和广泛场景应用。

参考文献

- [1] LIU V, PARKS A, TALLA V, et al. Ambient backscatter: wireless communication out of thin air[J]. ACM Sigcomm Computer Communication Review, 2013, 43(4): 39-50.
- [2] Zhang Wei, Qin Yao, Zhao Wenjing, et al. A green paradigm for Internet of Things: ambient backscatter communications[J]. 中国通信, 2019, 16(7): 109-119.
- [3] NGUYEN V, HUYNH D T H, XIAO L, et al. Ambient backscatter communications: a contemporary survey[J]. IEEE Communications Surveys & Tutorials, 2018, 20(4): 2889-2922.
- [4] 李皎皎, 冯锋. 全双工环境反向散射通信网络的绿色物联网[J]. 现代电子技术, 2019, 42(22): 30-34.
- [5] KIM Y H, AHN H S, YOON C, et al. Implementation of bistatic backscatter wireless communication system using ambient Wi-Fi signals[J]. KSII Transactions on Internet & Information Systems, 2017, 11(2): 1250-1264.
- [6] KELLOGG B, PARKS A, GOLLAKOTA S, et al. Wi-Fi backscatter: internet connectivity for RF-powered devices[C]. ACM Conference on Sigcomm. ACM, 2015.
- [7] KIM Y H, YOON C, AHN H S, et al. Implementation of multi-level modulated-backscatter communication system using ambient Wi-Fi signal[C]. 2019 IEEE International Conference on RFID Technology and Applications(RFID-TA). IEEE, 2019.
- [8] DUAN R, WANG X, YIGITLER H, et al. Ambient backscatter communications for future ultra-low-power machine type communications: challenges, solutions, opportunities, and future research trends[J]. IEEE Communications Magazine, 2020, 58(2): 42-47.

(收稿日期: 2020-06-15)

作者简介:

成刚(1972-),男,硕士研究生,高级工程师,主要研究方向:固定网络宽带接入系统、光终端及智能家庭网关开发、室内短距离通信技术等。

版权声明

经作者授权，本论文版权和信息网络传播权归属于《电子技术应用》杂志，凡未经本刊书面同意任何机构、组织和个人不得擅自复印、汇编、翻译和进行信息网络传播。未经本刊书面同意，禁止一切互联网论文资源平台非法上传、收录本论文。

截至目前，本论文已经授权被中国期刊全文数据库（CNKI）、万方数据知识服务平台、中文科技期刊数据库（维普网）、DOAJ、美国《乌利希期刊指南》、JST 日本科技技术振兴机构数据库等数据库全文收录。

对于违反上述禁止行为并违法使用本论文的机构、组织和个人，本刊将采取一切必要法律行动来维护正当权益。

特此声明！

《电子技术应用》编辑部

中国电子信息产业集团有限公司第六研究所