

无源物联网技术探讨

Discussion on Passive IoT Technology

陈宁宇,刘康怡,刘亮,翁玮文,刘雅,邓伟,胡南(中国移动通信有限公司研究院,北京100053)
Chen Ningyu,Liu Kangyi,Liu Liang,Weng Weiwen,Liu Ya,Deng Wei,Hu Nan(China Mobile Research Institute,Beijing 100053,China)

摘要:

针对现有物联场景中RFID技术面临的通信距离受限、不支持连续组网和不支持定位三大技术挑战,提出了联合干扰抑制、极简空口协议栈设计、基于蜂窝网络的粗定位等无源物联关键技术。面向未来无源物联网的规模商用,提出两大端到端网络架构,以及7项无线网络架构。通过对CAT1-1/CAT1-2无源标签和CAT2半无源标签的链路预算评估得出,相比于其他的无线网络架构,半无源标签在蜂窝直连架构下的上下行均可以取得98 dB的链路预算,上下行覆盖能力平衡,验证了蜂窝直连架构可以作为网络部署的优选方案。

关键词:

无源物联网;蜂窝组网;射频识别;网络架构;链路预算

doi:10.12045/j.issn.1007-3043.2022.08.006

文章编号:1007-3043(2022)08-0029-06

中图分类号:TN929.5

文献标识码:A

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Abstract:

In view of the three major technical challenges faced by RFID technology in the existing IoT scenario, namely, limited communication distance, not supporting cellular network and not supporting positioning, it proposes several key technologies of passive IOT, such as joint interference suppression, design of simplified air interface protocol stack and rough positioning based on cellular network. For the deployment of passive IoT in the future, two kinds of end-to-end network architectures as well as seven kinds of radio access network architectures are proposed. By analyzing the link budget of CAT1-1/CAT1-2 passive IoT tag and CAT2 semi-passive IoT tag, it shows that semi-passive IoT tag can achieve 98 dB link budget for both uplink and downlink compared with other wireless network architecture. The balance between uplink coverage and downlink coverage is achieved, which confirms that the cellular based passive IoT architecture can be prioritized for future deployment.

Keywords:

Passive IoT; Cellular network; RFID; Network architecture; Link budget

引用格式:陈宁宇,刘康怡,刘亮,等.无源物联网技术探讨[J].邮电设计技术,2022(8):29-34.

1 无源物联概述

物联网技术是移动通信的重要组成部分,将物与物连接在一起组建网络,极大提升了生产与生活效率。现已商用的物联网技术包括窄带物联网(NB-IoT)、增强机器类型通信(eMTC)^[1-2]、远距离无线电(LoRa)^[3]等,这些物联网技术具备低功耗广覆盖的特点,甚至可以达到10年的电池寿命。除此之外,还有

一种无需电池供电的物联技术——射频识别技术(RFID)^[5-6],通过读写器向标签供电实现通信,其优点是标签成本极低,例如在物流场景中标签可以低至0.3元人民币/个,但该技术当前由于一些技术挑战,尚难以大规模组网。本文将探讨当前RFID技术在服务物联网需求时面临的挑战,分析可能的解决方案,进而实现无源物联的规模组网。

超高频RFID最早用于服装和商超零售,之后逐步扩展到工业控制、能源电力、医疗医药、物流运输等多个领域。据IDTechEx研究报告统计^[4],2021年全球

收稿日期:2022-06-22

RFID行业市场规模为116亿美元,并且呈现上升趋势,预计2022年RFID行业市场规模将达到122亿美元,其中,全球零售领域将使用无源标签约200亿片,是超高频RFID技术应用最广泛的领域。在高频RFID领域,市场需求主要用于门禁管理、非接触式支付和交通应用,2021年行业销售了26亿张支持HF和NFC的支付卡。在LF RFID领域,市场需要6.4亿个用于动物追踪的标签。

近年来,RFID在国内也有广泛的应用。在零售领域,以鞋服零售领域为主,该领域对成本非常敏感,而对覆盖距离要求不高,海澜之家、富安娜^[7]已建立了基于RFID的供应链管理系统,主要应用方式为手持读写器近距离读写操作,监控产品从生产到销售的全流程环节,传统商用RFID基本满足需求。供应链管理系统RFID读写器与贴有标签的货物如图1所示。



图1 供应链管理系统RFID读写器与贴有标签的货物

在工业和物流领域,自动化物流对覆盖能力要求很高,同时需要一定的定位能力,如数万平的物流仓库和车间的连续覆盖、单品级的跟踪等,受限于传统商用RFID的覆盖距离,当前应用方式主要是手持式、通道式、卡口式,还无法做到区域性的无缝盘存,设备部署成本高,效率低,人工成本高^[8-10]。

在电力能源领域,预防性维护需要对设备进行实时监控,典型应用场景是特高压变电站,该场景的实时监控对物联网的要求包括超低功耗的温湿度与振动传感、分钟级传感数据上报、满足防燃防爆与人身安全规范。传统商用无源RFID覆盖距离短,需要人工手持读写器读取标签传感数据,在超高压场景下有人身安全隐患。有源终端安全级别低,同时因为业务上报频率高,电池需要频繁更换,维护成本高。

在医疗领域,为了实现疫苗全程追溯与低温储存,需要监控储藏在保温箱内部的疫苗温度,但现有RFID由于穿透损耗高,无法穿透保温箱,只能人工开箱测温,影响了低温密封的储藏环境。在畜牧业领域,将RFID与温度传感器、三轴加速度传感器结合,可以用于牲畜的盘点与健康状态监测。典型无源物联网应用场景如图2所示。

面向实际部署场景,传统RFID技术面临如下挑战。

a) 通信距离受限、干扰大。传统超高频RFID读写器采用收发一体全双工架构,同时发射激励信号并接收反射信号,存在较强的系统自干扰和异系统互干扰,加上标签较低接收灵敏度,以及RFID频段发射功率限制,导致传统RFID技术覆盖受限、通信距离不足10m,集成传感器之后,通信距离不足3m。

b) 无法连续组网,部署与人工运维成本高昂。传统商用RFID读写器存在严重的自干扰和互相干扰,通信距离受限,只能依赖人工手持或卡口式部署盘点标签,难以组成具有自动化盘点功能的连续覆盖的局域网或广域网,导致部署、运行与维护的成本高、效率低。



图2 典型无源物联网应用场景

c) 不支持定位。传统RFID不支持定位,也不支持大规模组网,主要依赖手持读写器或卡口式部署盘点标签实现出入库管理,难以实现对标签的自动化位置追踪与定位^[12]。

2 无源物联网关键使能技术

针对传统RFID面临的上述挑战,通过蜂窝无源物联网技术构建新型无源物联网,在不显著增加标签的成本、功耗、复杂度、体积的前提下,增加通信距离、降低读写器间干扰、实现低成本大规模组网、且支持对标签的定位。无源物联网需要攻克的关键技术包括3点。

2.1 联合干扰抑制,提升通信距离

a) 站间联合干扰抑制。通过站间资源协同与联合调度优化,规避读写器间干扰;设计集中式收发与分布式激励,即载波供能节点分布式部署在靠近标签的位置,杆站上仅作上下行信令的收发,降低读写器激励信号对读写器接收机的自干扰。

b) 空口技术增强。借鉴蜂窝通信的多天线波束赋形^[9]、正交载波、信道编码、射频干扰对消、数字干扰对消等技术,提升接收灵敏度,规避读写器之间的互干扰。

通过上述关键技术,实现无源物联网站点室外200 m、室内20 m的覆盖,满足局域与广域组网对干扰与通信距离的要求。

2.2 极简协议栈与信令设计,降低功耗与成本

设计同时适用于无源与半无源标签的协议栈与控制信令,支持蜂窝网空口数据收发,实现无源标签1 μ W级功耗,半无源标签100 μ W级功耗。其中无源标签无需挂载电容,支持分组、盘存与标签ID上报;半无源标签可以挂载电容和光能充电薄膜,可以为温湿度与加速度传感器供电,支持采集并上报传感数据。因此在信令设计上,无源标签需要满足1 μ W级超低功耗的需求,半无源标签可以支持100 μ W级功耗。

空口协议栈与信令相比5G被极大精简。标签仅需支持应用层、NAS层(可选)、RRC层、MAC层、PHY层。NAS层的设计取决于网络架构中是否包含核心网。无核心网的无源物联网架构无需支持NAS层,通过应用层实现简化的鉴权认证;有核心网的无源物联网架构需要支持NAS层,通过核心网实现对标签的鉴权认证。为了降低标签复杂度、功耗与成本,传统5G通信中的SDAP层、PDCP层和RLC层均可透传。信令

方面,RRC层支持寻呼,用于标签的分组与盘寻;MAC层支持随机接入、RFID信令传输以及数据传输。PHY层支持上下行调制,如ASK或BPSK等,复用LTE/NR信号波形生成方式和物理层参数,保持无源物联网信号与LTE/NR信号的子载波正交,减小干扰,确保无源物联网与LTE/NR共存。无源标签与半无源标签的功能与场景分析如表1所示。

表1 无源标签与半无源标签功能分类

标签类型	功耗	支持的信令	是否支持核心网	适用场景
无源标签 (CAT1-1, CAT1-2)	1 μ W级功耗	寻呼、随机接入、数据收发、应用层认证	不支持核心网和NAS信令	身份识别类场景
半无源标签(CAT2)	100 μ W级功耗	寻呼、随机接入、数据收发、核心网认证	支持核心网和NAS信令	传感监测场景

2.3 支持米级精度粗定位

蜂窝物联网与基于蜂窝的5G定位技术相结合,可以为行业提供米级精度、更低成本的室内外定位方案。不同于NR蜂窝系统基于PRS和SRS参考符号的定位,无源物联网受限于标签的解调能力和窄带频谱,无法支持复杂的大带宽参考符号解调。无源物联网可考虑通过多站密集组网,联合确定标签所处的位置。

3 蜂窝无源物联网架构设计

设计端到端的网络架构,拓展无线蜂窝系统支持无源物联能力,实现广域标签定位与传感信息采集,拓展应用场景。

3.1 面向广域组网的Proxy代理节点设计

传统RFID系统受到通信距离限制仅支持局域部署,而广域场景下由覆盖范围提升带来的海量标签的管理存储和多形态的读写器与多个后台应用互联互通的需求导致传统的中间件难以满足广域组网的需求。且由于传统的RFID系统多在受控的局域场景中使用,较少暴露在外部网络的恶意攻击下,而广域场景下需要安全机制保证数据和隐私安全。

为此提出一种连接RAN与上层应用的Proxy代理节点,其分别为二者提供服务,避免RAN受到外部的网络攻击。

对RAN而言,Proxy负责将盘存请求等来自上层应用的信令发送给RAN,同时将RAN收集的标签信息发送给经过鉴权认证的上层应用。对上层应用而言,Proxy负责对发送请求的上层应用进行鉴权认证,并进

行拥塞控制,以保证 RAN 的安全和网络的效率。当鉴权认证通过后,上层应用可以配置过滤收集准则给 Proxy,Proxy 可以按照配置的准则对 RAN 上报的数据进行收集过滤操作,并将处理后的标签数据发送给上层应用。除此之外,Proxy 节点还具有加密,标签信息存储和分类管理,并和其他 Proxy 节点通信等功能。

3.2 端到端网络架构和无线网络架构设计

面向未来商用部署,蜂窝无源物联网的端到端网络架构可以根据有无核心网分为 2 种架构。

无核心网架构类似传统 RFID,通过应用层实现开卡、鉴权认证、访问管理等功能,RAN 集成读写器功能,支持低成本、低功耗、低复杂度的无源和半无源标签。无核心网架构如图 3 所示,RAN 具备读写器功能,与第三方服务器之间可以通过 Proxy 代理网元相连,代理网元具备面向第三方服务器的路由、API 认证、计费、接入访问等功能,另一方面代理网元也负责保护 RAN 免受外部恶意攻击。无核心网架构可以直接接入垂直行业客户现有的 RFID 管理平台,是一种可以兼容现存管理平台的客户友好型解决方案。

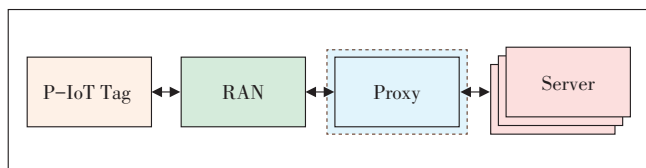


图3 无核心网架构

有核心网架构可支持类似 5G 的开卡、鉴权认证、流量计费等功能,适用于无源和半无源标签。有核心网架构如图 4 所示,无线网接入 5GC 核心网,并通过 Proxy 代理网元与外部服务器相连。该架构下,标签的开卡、鉴权认证、计费、位置管理等功能均由核心网管理,标签的盘寻、读写等功能可由物联网服务器或核心网提供。

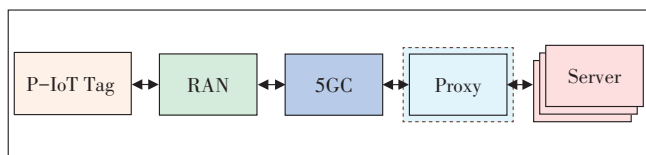


图4 有核心网架构

综上所述,无核心网架构与有核心网架构对比如表 2 所示。

无线网络架构方案,按照供能与触发节点的不同,可以分为基站直连的无源物联网和基于终端辅助

表 2 无核心网架构与有核心网架构对比

		无核心网架构	有核心网架构
场景		局域网场景与广域网场景	广域网场景
功能	开卡	无,或应用层实现	核心网实现
	移动性	无,或应用层实现	核心网实现
	读写器鉴权	新增网元,或应用层实现	核心网实现
	标签鉴权	无,或应用层实现	核心网实现,运营商可控
计费	包月计费,或应用层流量计费	包月计费或核心网流量计费	
标签	类型	支持无源与半无源标签	支持无源与半无源标签
	功耗	无源 1 μW,半无源 100 μW	无源 1 μW,半无源 100 μW

的无源物联网 2 大类。链路预算计算假设如表 3 所示。

表 3 链路预算计算假设

上下行信号带宽	180 kHz
标签	CAT1-1/ CAT1-2/ CAT2 标签对应参数如下: 标签天线增益为 2 dBi 供电信号充电灵敏度分别是 -20 dBm/-30 dBm/不涉及(不含标签天线增益),数据解调灵敏度分别是 -20 dBm/-30 dBm/-50 dBm 上行反向散射功率是 -26 dBm/-36 dBm/-34 dBm(不含标签天线增益)
基站	EIRP 46 dBm(天线增益为 6 dBi) CAT1-1/ CAT1-2/ CAT2 标签对应的基站接收灵敏度是 -112 dBm/-112 dBm/-124 dBm(不含天线增益,无源标签较半无源标签在上行链路上设计更简单,所以接收灵敏度较半无源低)

如图 5 所示,基于基站直连的蜂窝无线无源物联网架构可进一步细分为 3 种子架构。

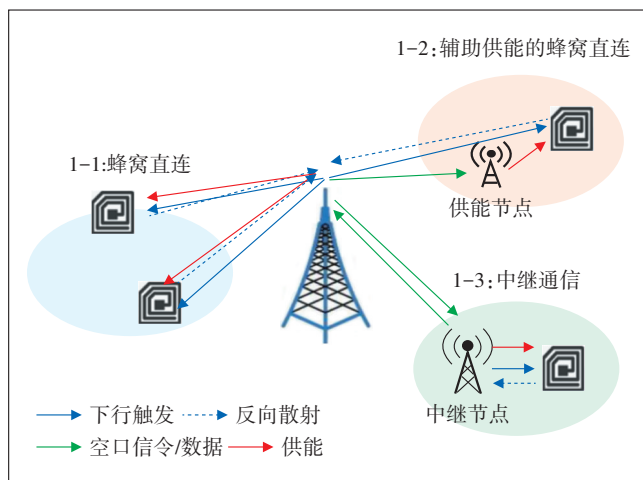


图5 基于蜂窝连接的无线无源物联网架构

a) 1-1 是蜂窝直连架构,基站直接为标签提供电磁波供能及下行触发信令,标签反向散射的上行信号

也直接由基站接收。该场景 CAT1-1/CAT1-2/CAT2 下行链路的最大路径损耗(MPL)分别约为 68 dB/78 dB/98 dB,上行链路最大路径损耗(MPL)分别约为 94 dB/84 dB/98 dB。因此在蜂窝直连架构下,无源标签 CAT1-1 和 CAT1-2 受限于下行的供能信号充电灵敏度,下行覆盖能力收缩;半无源标签 CAT-2,通过环境能量收集与上行链路增强技术,使得标签数据解调灵敏度不受限于无线充电灵敏度,进而实现标签的下行与上行覆盖能力平衡。

b) 1-2 是基于辅助供能的蜂窝直连架构,通过分布式供能节点,为标签近距离供能,以满足充能需求。该场景下,CAT1-1/CAT1-2 下行链路最大路径损耗(MPL)约为 98 dB/98 dB,上行链路最大路径损耗(MPL)约为 94 dB/84 dB。相比 1-1 架构,CAT1-1/CAT1-2 下行覆盖有所改善。

c) 1-3 是基于中继通信的架构,中继节点与标签间可通过传统 RFID 空口技术通信,中继节点与基站间可通过 5G 空口或有线回传。该架构可以一定程度补充上下行覆盖,但额外引入的分布式中继节点将带来比前 2 种架构更高的组网成本。

如图 6 所示,基于中继终端辅助的无线无源物联网架构可进一步细分为 4 种子架构。

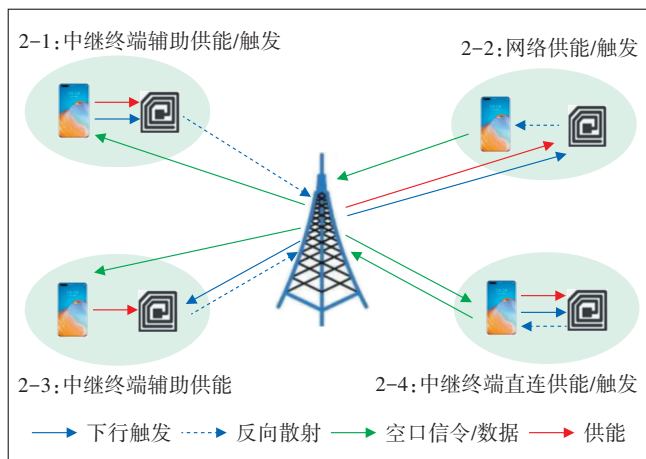


图6 基于终端辅助的无线无源物联网架构

a) 2-1 是由中继终端辅助为标签供能,并由中继终端提供下行触发信令,基站接收标签的反向散射上行信令,该架构中 CAT1-1/CAT1-2 上行链路最大路径损耗(MPL)分别约为 94 dB/84 dB,下行覆盖受限于中继终端的分布密度与移动性。

b) 2-2 是由基站向标签供能并发送下行触发信令,标签的上行反向散射信令发送给中继终端。该架

构中 CAT1-1/CAT1-2 下行链路的最大路径损耗(MPL)分别约为 68 dB/78 dB,上行覆盖受限于中继终端的分布密度与移动性,该架构的覆盖受限于下行供能灵敏度,因此覆盖较差。

c) 2-3 是由中继终端辅助供能,基站负责向标签发送下行触发信令和接收上行反向散射信令。该架构中 CAT1-1/CAT1-2 下行链路的最大路径损耗(MPL)分别约为 98 dB/98 dB,上行链路最大路径损耗(MPL)分别约为 94 dB/84 dB,该架构由于中继终端的辅助供能,可在一定程度上补充基站直连架构供能的不足。

d) 2-4 是由中继终端直连供能/触发,基站只与中继终端间的 5G 空口连接,不与标签直接相连,该架构下标签的上下行覆盖均受限于中继终端的分布密度与移动性。

通过分析基于蜂窝直连的架构和基于终端辅助的架构以及链路预算可以得出,在蜂窝直连场景,无源标签受制于下行供能信号接收灵敏度导致下行受限,半无源标签由于不受制于下行供能信号接收灵敏度,相比无源标签可以提升 20~30 dB 的覆盖,上行提升 4~10 dB 的覆盖。通过引入分布式供能节点,可以进一步提升无源标签的下行覆盖。因此蜂窝直连场景可适用于广域和局域覆盖。而对于终端辅助的架构,终端近距离供能可以弥补下行供能信号接收灵敏度不足的缺陷,但标签的覆盖受到标签与终端距离影响较大,满足局域场景覆盖需求,适用于智能家居场景。

4 标准制定与产业推进展望

当前,超高频 RFID 的核心技术主要被欧美企业垄断,英频杰、恩智浦、意联等欧美企业占据 95% 的芯片市场份额,中国企业份额不足 5%。近年来,中国移动、华为、展锐、OPPO、vivo 等国内公司积极开展了新型无源物联网技术的研发,并向 3GPP 率先提出基于蜂窝的无源物联网相关提案,推动国际标准制定工作。3GPP SA1 已于 2022 年 3 月开展基于环境供能的物联网需求研究项目^[13],中国移动和华为在 3GPP RAN 提出了面向 5G-A 的蜂窝无源物联网研究项目^[14-15]。在国内标准方面,中国移动在 CCSA 主导成立了国内首个新型 RFID 技术研究项目《基于蜂窝通信的无源物联网应用需求研究》^[16],相关技术立项工作也在积极准备中。

产业生态方面,新型无源物联技术要获得成功,需要考虑重用RFID的芯片和标签生态,技术设计上也需要充分考虑新技术引入对标签芯片的实现复杂度、超低功耗和超低成本的影响。中国移动联合合作伙伴在多个高价值行业拉动行业集成商积极探索新型无源物联技术的商业模式。中国移动已于2021年9月与华为开展面向5G-A的无源物联网联合样机研发,截至2022年4月已完成一体式样机与小型化半无源标签的开发,通信距离已超过200 m,并计划于2022年9月打通业务层端到端通信,形成具备完整无源物联网功能的样机系统,在电力、制造、畜牧等高价值行业打造行业样板。

5 总结

工业、物流、医药、电力等多样化场景的数智化建设,对物联网的性能提出更高的要求。针对现有物联网场景中RFID技术面临的干扰大、通信距离受限、不支持连续组网、不支持定位等技术痛点,提出了联合干扰抑制、极简空口协议栈设计、基于蜂窝网络的粗定位等无源物联网关键技术。面向未来商用部署,分析了无源物联网端到端的网络架构和无线网络部署的可行性与链路预算。在端到端网络架构方面,无核心网的网络架构由于可以直接接入垂直行业客户现有的RFID管理平台,是一种可以兼容现存管理平台的客户友好型解决方案。在无线网络部署方面,半无源标签CAT-2,通过环境能量收集与上行链路增强技术,使得标签数据解调灵敏度不受限于无线充电灵敏度,进而实现标签的下行与上行覆盖能力平衡,可以取得上下行98 dB的链路预算,无源标签可以通过分布式供能或终端供能,提升上下行覆盖,验证了蜂窝直连架构可以作为广域与局域网络部署的优选方案。未来也将联合产业界开展样机试验、单站与多站组网,通过外场测试进一步验证无源物联组网性能。

参考文献:

[1] 3GPP. Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA) and Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network (E-UTRAN); overall description; stage 2; 3GPP TS 36.300 [S/OL]. [2022-03-25]. <ftp://ftp.3gpp.org/Specs/>.

[2] 3GPP. Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Radio Resource Control (RRC); protocol specification; 3GPP TS 36.331 [S/OL]. [2022-04-06]. <ftp://ftp.3gpp.org/Specs/>.

[3] Institute of Electrical and Electronics Engineers. IEEE standard for

low-rate wireless networks: IEEE 802.15.4-2020 [S]. New York: IEEE, 2020.

[4] DAS R, DR CHANG Y H, DR DYSON M. RFID forecasts, players and opportunities 2022-2032[R]. Cambridge: IDTechEx, 2021.

[5] 甘泉. 物联网UHF RFID技术、产品及应用[M]. 北京:清华大学出版社, 2021: 41-56.

[6] 许毅, 陈建军. RFID原理与应用[M]. 北京:清华大学出版社, 2013: 32-41.

[7] 物联网世界. RFID在零售业的应用场景与技术盘点[EB/OL]. [2022-04-02]. https://www.baidu.com/link?url=rITYcUcXfKZsVT-mxDHRFgWv5MqloqC3YxG9tFMoXnxQ8F_YgMvbYaZzFYRdf7PdAdGY2TInful29ZOGGi6KpG_sC4JJkFVs549Gpi3aB4U_&wd=&eqid=bb4a006000027811000000362bd831a.

[8] LI C H, LAO K W, TAM K W. A flooding warning system based on RFID tag array for energy facility[C]//2018 IEEE International Conference on RFID Technology & Application (RFID-TA). Macau: IEEE, 2018: 1-4.

[9] KAPUCU K, DEHOLLAIN C. A passive UHF RFID system with a low-power capacitive sensor interface[C]//2014 IEEE RFID Technology and Applications Conference (RFID-TA). Tampere: IEEE, 2014: 301-305.

[10] 丁志清, 王三山. 一种应用于5G物联网的八端口高隔离二元宽带MIMO天线[J]. 物联网技术, 2022, 12(6): 48-50, 54.

[11] 刘霞, 姜元山, 张光伟, 等. 5G行业物联网终端的软件可靠性研究及设计[J]. 物联网技术, 2022, 12(6): 100-102.

[12] ZHU Z Y, REN H, TAN J. A method for optimizing the position of passive UHF RFID tags[C]//2010 IEEE International Conference on RFID-Technology and Applications. Guangzhou: IEEE, 2010: 92-95.

[13] OPPO. SP-220085 new SID: study on ambient power-enabled Internet of Things SA1[EB/OL]. [2022-04-06]. <http://www.3gpp.org>.

[14] CMCC. RP-211990 motivation for NR passive IoT for automotive industry[EB/OL]. [2022-04-06]. <http://www.3gpp.org>.

[15] Huawei, HiSilicon. RP-213369 study proposal on passive IoT[EB/OL]. [2022-04-03]. <http://www.3gpp.org>.

[16] 中国移动. 基于蜂窝通信的无源物联网应用需求研究[J]. CCSA 中国通信标准化协会 TC10, 2022.

作者简介:

陈宁宇, 毕业于北京邮电大学, 工程师, 硕士, 主要从事物联网与5G-A技术研究与3GPP标准化工作; 刘康怡, 毕业于北京交通大学, 工程师, 硕士, 主要从事无源物联网、XR的3GPP标准化工作; 刘亮, 毕业于北京航空航天大学, 高级工程师, 博士, 主要从事5G-A与6G的网络架构研究与3GPP标准化工作; 翁玮文, 毕业于北京邮电大学, 高级工程师, 博士, 主要从事NB-IoT、无源物联网的技术方案研究工作; 刘雅, 毕业于北京邮电大学, 中级工程师, 硕士, 主要从事物联网技术研究与方案验证工作; 邓伟, 毕业于北京邮电大学, 高级工程师, 硕士, 主要从事4G与5G的网络规划与管理; 胡南, 毕业于北京邮电大学, 教授级高级工程师, 博士, 主要从事4G、5G与6G的标准化研究工作。