

物联网网络架构在智慧社区建设中的应用研究

高浩洋

(楚雄师范学院, 云南 楚雄 675000)

摘要: 物联网技术的快速发展为智慧社区建设提供了坚实的技术基础, 其网络架构的设计与优化已成为决定智慧社区各类应用服务质量与运行效率的关键因素。智慧社区物联网网络架构涵盖了感知层、网络层与应用层三个主要层次, 感知层通过部署在社区各类环境中的传感器、智能终端与执行器实现对人、物、空间的全面感知与数据采集, 网络层通过短距离无线通信、低功耗广域网以及异构网络融合等技术实现感知数据的高效、可靠传输, 应用层通过数据管理平台、智能分析引擎与决策支持系统来支撑社区安防、能源管理、环境监测、智能家居以及社区服务等多样化的智慧应用。当前智慧社区物联网网络架构在设备接入的异构性管理、数据流量的突发性应对、网络覆盖的可靠性保障以及资源受限条件下的能耗控制等方面面临着多维度的优化需求。本研究聚焦于物联网网络架构在智慧社区建设中的应用, 旨在系统分析智慧社区物联网网络架构的分层模型与设计原则、感知层的架构设计与关键技术、网络层的通信技术与协议选型、应用层的平台构建与安全保障以及面向未来的架构优化方向。

关键词: 物联网; 智慧社区; 网络架构; 传感器网络; 边缘计算

中图分类号: TP393.0

文献标识码: A

文章编号: 3106-2709 (2026) 08-0030-08

DOI: 10.62022/NCAR.issn3106-2709.2026.08.006

Research on the Application of Internet of Things Network Architecture in Smart Community Development

Gao Haoyang

(Chuxiong Normal University, Chuxiong, Yunnan 675000, China)

Abstract: The rapid development of Internet of Things technology has provided a solid technical foundation for smart community development, and the design and optimization of its network architecture have become key factors determining the quality and operational efficiency of various application services in smart communities. The Internet of Things network architecture for smart communities encompasses three main layers: the perception layer, the network layer, and the application layer. The perception layer achieves comprehensive perception of and data collection on people, objects, and spaces through sensors, intelligent terminals, and actuators deployed in various community environments. The network layer enables efficient and reliable transmission of sensing data through technologies such as short-range wireless communication, low-power wide-area networks, and heterogeneous network integration. The application layer supports diverse smart applications, including community security, energy management, environmental monitoring, smart homes, and community services, through data management platforms, intelligent analysis engines, and decision support systems. At present, the Internet of Things network architecture for smart communities faces multidimensional optimization needs in areas such as heterogeneous management of device access, response to bursty data traffic, reliable assurance of network coverage, and energy consumption control under resource-constrained conditions. This study focuses on the application of Internet of Things network architecture in smart community development and aims to systematically analyze the layered model and design principles of the Internet of Things network architecture for smart communities, the architectural design and key technologies of the perception layer, communication technologies and protocol selection for the network layer, platform construction and security assurance for the application layer, and future-oriented directions for architectural optimization.

Keywords: Internet of Things; smart community; network architecture; sensor networks; edge computing

1 智慧社区物联网网络架构的分层模型与设计原则

1.1 智慧社区物联网的三层架构模型与功能划分

智慧社区物联网网络架构采用感知层、网络层与应用

层的三层架构模型, 各层之间通过标准化的接口与协议进行数据交换与功能协同, 共同构成从物理世界感知到智能服务提供的完整技术链条。

感知层是智慧社区物联网的基础层, 其功能是通过部

作者简介: 高浩洋, 博士, 讲师, 研究方向为物联网网络架构、智能设备组网应用。

署在社区各类环境中的传感器、执行器、智能终端以及射频识别标签等设备来实现对社区物理世界信息的全面感知与采集。感知层设备的类型极为丰富,涵盖环境传感器(温度、湿度、光照、空气质量、噪声等)、安防传感器(门磁、红外、烟雾、燃气、视频摄像头等)、能源传感器(智能电表、智能水表、智能气表等)以及智能家居设备(智能照明、智能家电、智能门锁、智能窗帘等)。感知层设备需要具备数据采集、初步处理、通信连接以及能耗管理等功能,其部署密度与覆盖范围直接决定了智慧社区感知能力的深度与广度。智慧社区中感知层设备的数量通常达到数千乃至数万个,这些设备分布在社区的各个角落——从居民家庭内部到公共区域,从地面空间到地下车库,从建筑内部到室外环境,形成了一个覆盖全面的感知网络。

感知层设备在功能上可以划分为数据采集单元、数据处理单元与通信单元三大模块。数据采集单元负责将物理世界的各类信号转换为电信号或数字信号,不同类型传感器的转换原理各异,温度传感器基于热敏电阻或热电效应,图像传感器基于光电转换效应,声音传感器基于压电效应。数据处理单元负责对采集到的原始信号进行放大、滤波、模数转换以及初步的分析处理。通信单元负责将处理后的数据通过有线或无线的方式传输至上层网络。感知层设备的计算能力通常有限,其存储资源与电池容量也受到物理尺寸与成本的限制,这些资源约束是感知层设计必须考虑的重要因素。

网络层是连接感知层与应用层的中间层,其功能是将感知层采集的数据通过各类通信网络高效、安全、可靠地传输至应用层进行处理与分析。智慧社区物联网网络层的通信技术涵盖了短距离无线通信(ZigBee、蓝牙低功耗、Wi-Fi等)、低功耗广域网(LoRa、NB-IoT等)以及有线通信(以太网、光纤等)等多种技术类型。不同类型通信技术适用于不同的应用场景与设备类型,短距离无线通信适合室内与近距离设备连接,低功耗广域网适合室外广域覆盖与低功耗设备连接,有线通信适合带宽与可靠性要求高的基础设施连接。网络层的设计需要解决异构网络之间的互联互通、数据传输的可靠性保障、通信资源的动态调配以及网络安全综合防护等关键问题。

应用层是智慧社区物联网的最上层,其功能是对网络层传输来的感知数据进行存储、处理、分析与智能决策,为社区管理者与居民提供各类智慧服务。应用层的核心组件包括数据管理平台(负责数据的存储、组织与访问控制)、数据分析引擎(负责数据的统计分析、挖掘与可视化)、

智能决策系统(负责基于数据分析结果的自动决策与预警)以及应用服务平台(负责向终端用户提供各类智慧应用服务)。智慧社区的应用场景覆盖了智能安防、智慧物业、智慧能源、智慧环境、智慧养老以及智能家居等多个领域,各应用场景对数据处理的实时性、准确性与安全性提出了差异化的要求。

三层架构之间的数据流呈现出从感知层到网络层再到应用层的单向传输为主、应用层到感知层的控制指令为辅的交互模式。感知数据从传感器节点经过网络层的多跳传输最终到达应用层的数据管理平台,而控制指令则从应用层的决策系统通过网络层下发至感知层的执行器,形成完整的感知-传输-决策-执行的闭环。各层之间的接口需要支持双向通信,以实现感知数据的可靠上传与控制指令的准确下达,接口设计的标准化程度直接影响系统的可扩展性与互操作性。

1.2 智慧社区物联网网络架构的设计原则与约束条件

智慧社区物联网网络架构的设计需要遵循可靠性、可扩展性、安全性、低功耗与实时性等基本原则,这些原则在具体设计中往往需要根据应用场景的优先级进行权衡与取舍。

可靠性原则要求网络架构能够在各种环境条件下维持稳定的通信能力,包括设备故障时的自动恢复、通信中断时的数据缓存与重传以及网络拥堵时的流量调度等机制。可靠性保障需要从设备级、链路级与网络级三个层面进行系统设计。设备级的可靠性通过硬件冗余、看门狗定时器以及故障自诊断等机制来实现,当单个传感器节点发生故障时,其功能可以被相邻节点接管或由备用节点替代。链路级的可靠性通过动态调整发射功率、选择替代路由路径以及自动重传丢失数据包等机制来保障通信链路的稳定性。网络级的可靠性通过负载均衡、拥塞控制以及网络拓扑的自适应调整等机制来维持整体网络的稳定运行。智慧社区中部署的传感器节点数量众多且分布广泛,节点故障与通信中断是常态而非例外,网络架构需要在设计上容忍这些故障并在故障发生时尽可能减小影响范围。

可扩展性原则要求网络架构能够适应社区规模的扩大、设备数量的增加以及应用功能的扩展,而不需要对整体架构进行大规模的重构。可扩展性的实现需要采用模块化的设计思路、标准化的接口协议以及灵活的资源管理机制,使新设备的接入、新应用的部署以及新功能的扩展尽可能对现有系统产生有限的影响。模块化设计将系统分解为功能相对独立的模块,每个模块的升级与替换不会影响

其他模块的正常运行。标准化接口确保不同厂商、不同类型的设备可以按照统一的规范接入系统,减少了系统集成的工作量与复杂性。灵活的资源管理机制根据设备数量与数据流量的变化动态分配计算、存储与网络资源,避免资源瓶颈的出现。智慧社区的建设往往是一个分阶段推进的过程,网络架构的可扩展性直接关系到后续阶段建设的可行性与投资的有效性。

安全性原则要求网络架构提供设备认证、数据加密、访问控制以及安全审计等多层次的安全防护机制,以抵御来自外部与内部的各类安全威胁。智慧社区物联网涉及居民生活数据、安防数据以及能源数据等敏感信息,数据泄露或系统被攻击可能对居民隐私与社区安全造成直接影响。安全机制的设计需要贯穿于感知层、网络层与应用层的全链条。在感知层,设备认证机制防止非法设备接入网络,轻量级加密算法在计算资源受限的条件下保护数据的机密性。在网络层,通信加密协议防止数据在传输过程中被窃听或篡改,安全路由协议防止路由信息被恶意操纵。在应用层,细粒度的访问控制确保不同用户只能访问其权限范围内的数据,安全审计记录所有敏感操作以便事后追溯。

低功耗原则要求网络架构在满足功能需求的前提下尽可能降低设备的能耗,延长电池供电设备的续航时间,减少维护成本。感知层设备尤其是无线传感器节点通常依靠电池供电,电池更换的人力成本在大规模部署中可能成为显著的运维负担。低功耗设计需要从硬件选型、通信协议、工作模式以及数据处理等多个环节进行综合优化。硬件选型优先选择低功耗的微控制器与射频芯片,通信协议选择具有低功耗特性的标准(如ZigBee、蓝牙低功耗等),工作模式通过休眠-唤醒机制来降低平均功耗,数据处理在本地进行初步的过滤与压缩以减少需要传输的数据量。低功耗与通信可靠性之间往往存在权衡,降低发射功率可以节省能耗但可能增加丢包率,延长休眠周期可以节省能耗但可能增加数据延迟,设计需要根据具体应用的需求找到合适的平衡点。

实时性原则要求网络架构能够满足不同应用对数据传输延迟的差异化需求。安防报警类应用要求数据在毫秒级内完成传输与响应,智能家居控制类应用要求数据在百毫秒级内完成传输,环境监测类应用可以容忍秒级至分钟级的延迟。网络架构需要支持差异化的服务质量保障机制,在网络资源有限的情况下优先保障高实时性要求的数据流,为不同类型的数据分配不同的优先级与传输通道。

1.3 智慧社区物联网的应用需求与服务场景分析

智慧社区物联网的应用需求可以按照服务对象划分为面向社区管理者的管理服务需求、面向社区居民的生活服务需求以及面向社区公共环境的环境服务需求三大类别。

面向社区管理者的管理服务需求包括智能安防管理、智慧物业管理与社区运营管理等核心领域。智能安防管理通过视频监控系统、门禁管理系统、周界防护系统与消防监测系统的集成,实现对社区安全状况的全天候监控与智能预警。视频监控系统部署在社区出入口、主干道、电梯间、地下车库等关键位置,通过智能视频分析算法实现人脸识别、车辆识别、行为异常检测以及入侵报警等功能。门禁管理系统通过人脸识别、指纹识别、刷卡或手机蓝牙等方式控制人员进出,记录所有进出事件以便事后追溯。周界防护系统通过红外对射、振动光纤或电子围栏等技术检测非法入侵行为。消防监测系统通过烟感、温感与燃气传感器实时监测火灾隐患,在检测到异常时自动报警并联动消防设备。智慧物业管理涵盖设施设备的远程监控与维护管理、报修服务的在线受理与派单、停车管理的智能引导与收费以及垃圾分类的智能监管等。社区运营管理关注能源消耗的监测与优化、公共区域的照明控制、绿化灌溉的智能调度以及社区服务资源的配置优化。

面向社区居民的生活服务需求包括智能家居控制、智慧养老监护、健康管理以及便捷生活服务等。智能家居控制允许居民通过手机应用程序或语音助手远程控制家中的照明、空调、窗帘、家电等设备,并根据居民的生活习惯自动调整设备的工作状态,在节能的同时提升居住舒适度。智能家居系统通常包括照明控制子系统、温控子系统、安防子系统与家电控制子系统,各子系统通过家庭网关实现互联与集中控制。智慧养老监护通过穿戴式设备(智能手环、智能手表等)与家庭环境传感器(紧急按钮、床垫压力传感器、门窗磁传感器等)来监测老年人的健康状态与活动安全。健康管理通过智能健康设备来采集居民的健康数据,包括血压、血糖、心率、体重、体脂等生理指标,将数据上传至健康管理平台进行分析,提供健康评估、异常预警以及生活方式建议。

面向社区公共环境的环境服务需求包括环境质量监测、垃圾分类与回收监测、公共设施状态监测以及应急响应支持等。环境质量监测通过部署在社区各区域的传感器网络来连续采集空气质量(PM2.5、PM10、二氧化氮、臭氧等)、噪声水平、温度、湿度以及风速等环境参数,进行实时分析与异常报警,当监测值超过预设阈值时自动通

知社区管理者采取应对措施。垃圾分类与回收监测通过在垃圾桶上安装满溢传感器与重量传感器来监测垃圾的填充状态与分类情况,优化垃圾清运的路线与时间安排。公共设施状态监测对社区内的电梯、水泵、照明、健身器材等公共设施进行运行状态监测与故障预警。应急响应支持在火灾、燃气泄漏、洪涝等突发事件中为应急指挥提供实时数据与决策支持,通过传感器数据与地图信息的融合来评估事件的影响范围与发展趋势,辅助应急资源的调配与疏散路线的规划。

智慧社区物联网的服务场景呈现出多样化的特征,不同场景对网络架构的带宽、延迟、可靠性、安全性以及能耗等指标提出了差异化的要求。单一的通信技术与网络架构难以满足所有场景的需求,需要采用多种技术的异构融合与智能适配策略,根据应用场景的特征动态选择合适的通信方式与网络路径。

2 智慧社区物联网感知层的架构设计与关键技术

2.1 多类型传感器的选型与部署策略

智慧社区感知层的传感器选型需要根据应用场景的感知需求来确定传感器的类型、精度、量程、采样频率以及环境适应性等参数,不同类型的传感器在性能指标、成本与功耗等方面存在显著差异。

环境监测传感器的选型需要根据监测参数的特征来确定。PM2.5传感器的检测范围应为0微克/立方米~1000微克/立方米,精度为 ± 10 微克/立方米,响应时间应小于60秒,检测原理可采用光散射法或 β 射线吸收法。温度传感器的精度宜为 ± 0.3 摄氏度,测量范围应覆盖-20摄氏度~60摄氏度以适应不同季节的气候变化。湿度传感器的精度宜为 $\pm 3\%$ 相对湿度,测量范围应覆盖0%~100%相对湿度。噪声传感器的测量范围应为30分贝~130分贝,精度为 ± 1.5 分贝,频率响应范围应覆盖20赫兹~20千赫兹的人类听觉范围。

安防传感器的选型需要根据监控目标与场景特征来确定。视频摄像头的分辨率应根据监控区域的大小与细节要求来选择,出入口区域需要500万像素以上的高清摄像头以实现人脸识别与车牌识别,公共区域可以使用200万像素~500万像素的摄像头。红外探测器的探测距离应为8米~12米,探测角度应为90度~110度,需要具备抗宠物干扰功能以避免误报。烟雾传感器的类型包括离子式与光电式,光电式烟雾传感器对阴燃火灾的响应更快,适合家庭与社区室内场所的安装。

智能计量设备的选型需要根据计量精度与通信方式来

确定,智能电表的精度等级应不低于1.0级,智能水表的精度等级应不低于2.0级,智能气表的精度等级应不低于1.5级。智能计量设备需要支持远程抄表与远程控制功能,通信模块应支持NB-IoT或LoRa等低功耗广域网技术以实现数据的自动上传。

传感器的部署策略需要兼顾感知覆盖的完整性与部署成本的经济性。部署密度过低可能导致感知盲区,使得某些区域的安全状态或环境质量无法被有效监测。部署密度过高则可能增加设备成本、通信冲突概率与维护复杂度。安防传感器的部署需要根据社区的建筑布局、出入口位置以及安全风险等级来确定设备的安装位置与覆盖范围。社区周界需要部署红外对射或电子围栏来实现入侵检测,主要出入口需要部署视频摄像头与门禁系统,单元门与电梯间需要部署门禁与监控设备。关键区域的监控覆盖应当实现无死角,一般区域的覆盖可以适度降低密度,但应确保公共通道与活动区域的基本安全监控需求得到满足。

传感器部署后的覆盖质量需要通过现场测试来验证。信号的强度、通信的成功率以及数据的完整性需要在部署完成后进行测量与分析,对于覆盖不足的区域需要增加中继设备或调整部署位置。环境监测传感器的位置选择需要考虑污染源分布与气流方向,儿童活动区需要重点监测,但监测点应避免直接位于污染源旁或通风死角,以保证数据的代表性^[1]。

2.2 感知数据的采集与边缘预处理技术

感知数据的采集是感知层的核心功能,其需要按照设定的采样频率与精度来采集各类传感器的输出信号,并进行模数转换、数据打包与初步处理。数据采集的频率需要根据感知对象的变化速率来确定。环境温度、湿度等变化较慢的参数可以采用较低的采样频率(如每分钟1次),而振动、加速度等变化较快的参数则需要较高的采样频率(如每秒100次)。采样频率的选择需要在数据精度、存储空间与能耗之间进行权衡,对于变化较慢的环境参数,较高的采样频率会浪费存储与传输资源而并不显著提高信息获取质量;对于变化较快的振动信号,过低的采样频率可能导致关键信息丢失,无法满足故障诊断的精度要求。

边缘预处理技术在感知层的应用可以显著减少需要传输至上层的数据量,降低网络带宽的占用与云端的处理负荷。边缘预处理的内容包括数据的滤波去噪、异常值检测、数据压缩以及简单的特征提取等。滤波去噪通过移动平均、中值滤波、卡尔曼滤波等方法来去除传感器数据中的随机噪声,提高数据的质量。移动平均滤波器对周期性噪声有

较好的抑制效果,计算简单,适合资源受限的传感器节点。中值滤波器对脉冲噪声有较好的抑制效果,在去除孤立异常值的同时保留信号的边缘信息。卡尔曼滤波器适用于线性动态系统,可以根据系统的状态方程与观测方程来估计最优状态值,对高斯白噪声有较好的滤波效果。

边缘预处理中的异常值检测可以识别出由于传感器故障、通信错误或环境突变导致的异常数据。常用的异常值检测方法包括基于阈值的方法、基于统计的方法与基于机器学习的方法。基于阈值的方法设定传感器数据的合理范围,超出范围的数值被标记为异常,实现简单但需要根据环境变化动态调整阈值。基于统计的方法利用数据的均值和标准差来识别离群点,假设数据服从正态分布且异常值出现在分布的尾部区域。基于机器学习的方法通过训练分类器来识别异常模式,适合检测复杂的、非线性的异常模式,但需要较多标注数据进行训练。

数据压缩技术可以减少需要传输的数据量,降低通信能耗与带宽占用。无损压缩(如差分编码、游程编码、霍夫曼编码等)可以完全恢复原始数据,适合对数据精度要求高的应用场景。有损压缩(如离散余弦变换、小波变换等)可以获得较高的压缩率但会损失部分信息,适合对数据精度有一定容忍度的场景。压缩率与重建误差之间存在权衡,压缩率越高重建误差越大,设计时需要根据应用的数据精度要求来选择合适的压缩率。

边缘预处理中的简单特征提取可以在感知层设备上完成数据的初步分析,提取出对上层应用最有价值的特征信息。对于振动数据,可以在边缘节点完成时域特征(峰值、均方根值、峰峰值等)与频域特征(频谱峰值频率、频谱能量分布等)的提取,只将特征向量上传至上层,从而大幅减少数据量,同时降低对传输带宽的持续占用。对于图像数据,可以在边缘节点完成运动检测与目标识别,只上传检测到异常事件的视频片段或识别结果,避免持续传输大量视频数据对网络带宽的占用。

2.3 感知层设备的能耗管理与续航优化

感知层设备的能耗管理是智慧社区物联网持续运行的重要保障技术,大量传感器节点依靠电池供电,电池更换的人力成本与设备停机的影响要求系统尽量延长节点的续航时间。感知层设备的能耗主要由数据采集能耗、数据处理能耗与通信传输能耗三部分构成,通信传输能耗通常占总能耗的50%~80%,是能耗优化的重点方向。

能耗管理的策略包括优化采样频率、调整通信周期、采用低功耗通信协议以及利用休眠-唤醒机制等。采样频率

的优化根据感知对象的变化速率与数据分析的需求来设定,在变化缓慢的时段降低采样频率,在变化快速的时段提高采样频率,在保证数据有效性的前提下减少不必要的采样能耗。自适应的采样频率调整可以根据数据的方差或变化率来动态决定采样间隔,当数据变化平稳时延长采样间隔,当数据出现显著变化时缩短采样间隔,在保证信息获取质量的同时最大限度地降低采样能耗。

通信周期的优化将多个采样数据在本地缓存后批量发送,减少通信次数与通信连接建立的开销。批量发送策略需要在数据传输延迟与能耗节省之间进行权衡,缓存的数据量越大、发送间隔越长,能耗节省越明显,但数据的实时性越低。对于实时性要求不高的环境监测数据,可以采用较长的发送间隔(如每小时发送一次)来最大程度地节省能耗;对于实时性要求较高的安防数据,需要采用较短的发送间隔(如每秒发送一次)来保证事件的及时上报。

休眠-唤醒机制是降低传感器节点能耗的有效手段,节点在不进行数据采集与通信时进入低功耗休眠状态,在预定的时间或外部事件的触发下唤醒进行数据采集与传输。休眠周期的设定需要根据应用的数据采集需求来确定,环境监测类应用可以采用较长的休眠周期(如每小时唤醒一次),安防监测类应用需要采用较短的休眠周期(如每秒唤醒一次)或事件触发唤醒模式。事件触发唤醒在检测到异常事件时即时唤醒节点进行数据采集与传输,可以在保证事件响应及时性的同时节省常规状态下的能耗,事件检测的灵敏度与误报率之间的平衡需要在节点配置中予以考虑。

低功耗通信协议的选择对能耗有显著影响,ZigBee与蓝牙低功耗等协议针对低功耗场景进行了专门的优化,其通信能耗远低于Wi-Fi等高速协议。通信功率的控制根据信号的强度与通信距离来动态调整,在不影响通信质量的前提下尽可能降低发射功率,既节能又减少对相邻节点的干扰。

3 智慧社区物联网网络层的通信技术与协议

3.1 短距离无线通信技术的选型与组网方案

短距离无线通信技术是智慧社区物联网网络层的核心组成部分,其覆盖范围在数米至数百米之间,适用于社区内传感器节点之间的局部通信与数据汇聚。ZigBee技术基于IEEE 802.15.4标准,工作在2.4吉赫兹频段,具有低功耗、低速率(250千比特/秒)、自组网等特点,适用于数据量较小、节点数量较多的传感器网络场景。ZigBee技术的组网方式支持星型、树型与网状三种拓扑结构,网状拓扑通过多跳中继来扩展覆盖范围,可以适应社区中建筑物遮挡与复

杂空间结构对信号传播的影响。ZigBee网络中协调器负责网络的建立与维护,路由器负责数据的转发与中继,终端设备负责数据的采集与上传。

蓝牙低功耗技术在智慧社区物联网中主要应用于可穿戴设备、智能家居设备以及近距离位置服务等场景,其功耗较低,通信距离约为10米~100米,数据传输速率可达1兆比特/秒~2兆比特/秒。蓝牙低功耗的广播模式支持设备间的快速发现与连接,在智能家居控制场景中具有较好的用户体验,设备在不需要连接时保持休眠状态,仅在需要通信时快速建立连接并在数据传输完成后迅速断开,这种连接模式显著降低了平均功耗。蓝牙Mesh组网技术扩展了蓝牙低功耗的覆盖范围与节点数量,支持多对多的设备通信,通过中继节点的多跳转发来扩展网络覆盖范围,单跳覆盖约10米~30米,经过3跳~5跳后覆盖范围可扩展至50米~100米。

Wi-Fi技术在智慧社区物联网中适用于高数据速率、大数据量的通信场景,如视频监控、智能家居设备的大数据上传等。Wi-Fi 6技术在传输速率、并发用户数、频谱效率以及能耗控制等方面较前代标准有显著提升,支持更多终端设备同时接入,单个接入点可支持数百个终端的同时连接,适合智慧社区中高密度设备接入的场景。Wi-Fi的覆盖范围约为50米~100米,需要通过多个接入点的合理部署来实现社区范围的连续覆盖,接入点的位置与密度需要根据社区的建筑结构来确定,楼宇内部与室外公共区域对接入点覆盖能力的要求不同^[2]。

3.2 低功耗广域网技术在智慧社区中的应用

低功耗广域网技术在智慧社区物联网中适用于覆盖范围广、数据速率低、功耗要求高的应用场景,如智能抄表、环境监测、停车管理以及公共设施监控等。LoRa技术采用扩频调制方式,在免授权频段上工作,具有传输距离远(市区可达1千米~5千米)、功耗低、穿透能力强等特点。LoRa的通信速率在0.3千比特/秒~50千比特/秒之间,较低的数据速率可以换取更远的传输距离与更好的穿透能力,适合需要远距离传输且数据量较小的应用场景。LoRaWAN网络架构采用星型拓扑,网关节点汇聚终端设备的数据并通过标准IP网络上传至云端,单个网关可以覆盖直径数千米的范围,在城市密集建成区,建筑遮挡会影响实际覆盖范围,需要通过路测来确认网关数量与位置。

NB-IoT技术基于蜂窝网络架构,在授权频段上工作,具有覆盖好、连接多(单个小区可支持5万个~10万个连接)、功耗低等优势。NB-IoT技术在信号覆盖方面相比GSM

有20分贝的增益,可以穿透墙壁与地下空间,适用于需要深度覆盖的智慧社区应用场景,如地下车库的环境监测、高层住宅的远程抄表以及社区边缘区域的设施监控等。NB-IoT的部署可以借助现有4G/5G基站基础设施,无需新建专用网关,在大规模部署时具有网络基础设施方面的便利性。

LoRa与NB-IoT技术在智慧社区中的应用存在互补关系。LoRa适用于社区自建网络、数据主权要求高、通信频次较低的场景,社区可以在内部自行部署LoRa网关,数据完全在社区内部网络中传输,不经过运营商的骨干网络,降低了数据外泄的风险。NB-IoT适用于需要广域覆盖、运营商统一管理的场景,无需自行维护网络基础设施,但需向运营商支付连接服务费用。技术选型需要结合社区的具体需求、技术维护能力以及长期运营成本来综合判断。

3.3 异构网络的融合与数据路由策略

智慧社区物联网中的异构网络融合是指将不同类型的通信网络进行互联互通,形成一个统一的通信基础设施,使数据可以在不同类型网络之间无缝传输。异构网络融合的架构包括网关汇聚模式、边缘网关模式与软件定义网络(SDN)模式等。

网关汇聚模式通过多协议网关将不同类型网络的数据汇聚后统一上传至上层网络,不同网络的协议转换在网关处完成。网关需要支持ZigBee、蓝牙、LoRa、Wi-Fi等多种协议,在协议栈的不同层次完成数据的接收、解析、格式转换与重新封装。网关的协议转换能力与数据处理能力需要根据接入设备的类型与数据流量来确定,接入设备类型越多、数据流量越大,网关对处理能力的要求也越高。

边缘网关模式在网络边缘处进行异构网络的协议转换与数据融合,在网关处完成部分数据处理与分析,只将经过处理的关键数据上传至云端。边缘网关的计算能力与存储能力直接决定了其数据处理的质量与效率,边缘网关需要支持轻量级的数据库与数据分析算法,在本地完成数据的聚合、统计、异常检测与事件报警^[3]。

数据路由策略需要根据数据的优先级、实时性要求以及网络状态来动态选择最优的传输路径。优先级高的数据应当选择最可靠的传输路径,优先级低的数据可以选择能耗最优的传输路径。实时性要求高的数据应当选择延迟最小的路径,实时性要求低的数据可以选择成本最低的路径。动态路由策略需要实时监测各通信链路的负载、延迟与丢包率,根据网络状态的变化动态调整路由选择,在网络状态变化时重新计算路径。

4 智慧社区物联网应用层的平台构建与安全保障

4.1 智慧社区物联网数据管理平台的架构与功能

智慧社区物联网数据管理平台是应用层的核心基础设施,其功能涵盖数据的接入、存储、处理、分析与服务等全生命周期管理。数据管理平台的架构通常包括数据接入层、数据存储层、数据处理层、数据分析层与数据服务层五个层次。

数据接入层负责接收来自网络层传输的各类感知数据,进行数据格式的标准化转换与初步的质量校验,将不同通信协议与不同数据格式的数据转换为统一的数据模型进行存储。数据接入层需要支持多种数据接入协议,包括消息队列遥测传输(MQTT)、受限应用协议(CoAP)、超文本传输协议等,以适应不同类型设备与网络的数据传输方式。

数据存储层根据数据的类型、访问频率以及查询模式来选择合适的存储技术。时序数据适合存储于时序数据库中,结构化数据适合存储于关系数据库中,非结构化数据适合存储于对象存储中。数据存储层的容量规划需要根据设备数量、采样频率、数据保留周期以及数据增长率来综合确定。

数据处理层负责数据的清洗、转换、聚合与质量保障,通过数据质量检查规则来自动识别缺失数据、异常数据与重复数据,并采取相应的修复或标记措施。数据分析层通过统计分析、机器学习与深度学习等方法来从数据中提取有价值的信息与知识。数据服务层通过标准化的应用程序编程接口向各类智慧应用提供数据访问服务。

4.2 智慧社区物联网的安全防护体系

智慧社区物联网的安全防护体系需要覆盖感知层、网络层与应用层的全链条,提供设备安全、数据安全、通信安全与应用安全等多层次的安全保障。

设备安全涉及感知层设备的物理安全与系统安全,设备应当具备防拆、防破坏的物理防护措施,设备固件应当具备安全启动、安全更新以及漏洞修复的机制。设备认证机制确保只有经过授权的设备才能接入物联网网络,设备认证的机制包括基于证书的认证、基于令牌的认证以及基于设备指纹的认证等。

数据安全涉及数据的机密性、完整性与可用性保护。感知数据在传输过程中应当采用加密协议来防止被窃听,在存储过程中应当采用加密存储来防止数据泄露。数据完整性

保护采用数字签名或消息认证码来验证数据在传输与存储过程中是否被篡改。数据访问控制基于角色的访问控制或基于属性的访问控制来限制不同用户对数据的访问权限。

通信安全涉及网络层数据传输的安全保护。通信加密采用TLS/DTLS等协议来保护数据传输的机密性,通信认证防止中间人攻击与重放攻击。通信安全的密钥管理是安全体系中的重要环节,密钥的生成、分发、更新与撤销需要建立完整的管理流程,密钥的更新频率应根据安全策略来确定,频繁更新会降低系统的可用性,较少更新则可能增加密钥泄露的潜在窗口。

应用安全涉及应用层服务的安全防护,包括身份认证、权限管理、输入验证、日志审计以及应急响应等方面,形成纵深防御的安全保障体系。

4.3 智慧社区物联网的标准化与互操作性

智慧社区物联网的标准化是实现不同厂商设备与不同系统之间互操作性的基础,其标准体系涵盖设备接口标准、数据格式标准、通信协议标准以及应用接口标准等。

设备接口标准规定了传感器、执行器等设备与网关或网络之间的物理接口与电气特性,标准化的接口减少了设备更换与系统升级时的适配工作。数据格式标准规定了感知数据、设备状态数据以及控制指令等数据的格式与编码方式,标准化的数据格式使不同来源的数据可以在统一的平台上进行存储、处理与分析。

通信协议标准规定了设备之间、设备与网关之间、网关与平台之间的通信协议与数据交换规则,标准化的通信协议支持不同厂商设备的互联互通。应用接口标准规定了智慧应用调用数据管理平台功能的方式与数据格式,标准化的应用接口支持不同应用的快速开发与部署。

互操作性的实现不仅需要标准的制定,还需要标准的测试与认证,以确保不同厂商的产品在声称符合标准时确实能够实现互联互通。互操作性测试需要建立测试用例集与测试环境,对设备的协议实现、数据格式解析以及接口功能进行系统验证,有助于发现标准实施中可能存在的理解差异,为标准的修订提供反馈。

5 结论

物联网网络架构在智慧社区建设中的应用在感知层的多类型传感器部署与边缘预处理、网络层的异构通信技术融合与动态路由、应用层的数据管理平台构建与安全保障

等方面形成了系统的技术体系，感知层通过传感器选型、边缘计算与能耗管理的技术整合实现了社区物理世界的全面感知与高效数据采集，网络层通过短距离无线通信、低功耗广域网与异构网络融合为感知数据的可靠传输提供了多样化的通信保障，应用层通过数据管理平台、安全防护体系与标准化互操作性为各类智慧社区应用提供了统一的数据支撑与服务能力，三个层次的功能协同共同构成了智慧社区物联网完整的技术架构。智慧社区物联网建设相关主体在今后的工作中应当着力推进感知层设备能耗管理的持续优化与边缘智能能力的逐步提升、网络层异构通信技术的深度集成与智能路由策略的自适应优化以及应用层数

据管理平台的开放性与安全性的协同增强，使物联网网络架构更好地支撑智慧社区建设从设备互联向数据驱动、智能决策的方向持续演进，为社区居民生活品质的提升与社区治理效率的改善提供更加坚实的技术基础。

参考文献：

- [1] 罗俊，段超.面向实践能力培养的物联网教学改革探索[J].教育教学研究前沿，2025，3（5）：56-58.
- [2] 高榕谦.基于深度学习的物联网传感器数据智能处理研究[J].人工智能研究，2025，2（2）：34-36.
- [3] 宫艳雪，武智霞，郑树泉，等.面向智慧社区的物联网架构研究[J].计算机工程与设计，2014，35（1）：6.