

Optimization method of low latency data transmission in Intelligent Airport Iot Communication System

Yuanfeng Liu

CAAC Zhongnan Airport Design and Research Institute (Guangzhou) Co., Ltd., Guangzhou, Guangdong, 510000, China

Abstract

With the rapid development of the air transport industry, the airport is facing the challenge of increasing operating pressure. The construction of smart airport has become an important way to improve the airport management and service level. The Internet of Things technology is the core support of the smart airport, but the data generated by the massive heterogeneous equipment puts forward a severe test to the airport communication network. Aiming at the bottleneck problem of data transmission in intelligent airport IOT communication system, this paper proposes some optimization methods for low-latency data transmission. Firstly, the paper summarizes the architecture and characteristics of the importance of low latency transmission is analyzed; secondly, the data transmission bottleneck caused by network congestion and equipment heterogeneity. Finally, the corresponding optimization strategy is given from the perspectives of data classification, multi-path transmission, edge computing, intelligent routing and network slicing.

Keywords

smart airport; Internet of Things; low latency; data transmission; optimization method

智慧机场物联网通信系统中的低延迟数据传输优化方法

刘远丰

民航中南机场设计研究院（广州）有限公司，中国·广东广州 510000

摘要

随着航空运输业的快速发展，机场面临着运营压力不断增大的挑战。智慧机场建设成为提升机场管理和服务水平的重要途径。物联网技术是智慧机场的核心支撑，但海量异构设备产生的数据对机场通信网络提出了严峻考验。本文针对智慧机场物联网通信系统中数据传输面临的瓶颈问题，提出了一系列低延迟数据传输的优化方法。首先概述了智慧机场物联网通信系统的架构和特点，分析了低延迟传输的重要性；其次剖析了网络拥塞、设备异构等导致的数据传输瓶颈；最后从数据分类、多路径传输、边缘计算、智能路由、网络切片等角度，给出了相应的优化策略。

关键词

智慧机场；物联网；低延迟；数据传输；优化方法

1 引言

智慧机场是民航业发展的必然趋势，对提升机场运行效率、改善旅客体验、增强航空安全等方面起着关键作用。机场内海量的传感设备、监控设备、自助终端、移动设备需要联网并交换数据，物联网技术成为智慧机场建设中不可或缺的基础设施。高效可靠的机场物联网需要强大的通信系统作为支撑，能够满足数据传输的低延迟、高带宽需求。然而，机场物联网通信系统面临着诸多挑战，网络拥塞、异构设备互联、安全管控等问题限制了数据传输的性能，成为制约智慧机场发展的瓶颈。

2 智慧机场物联网通信系统概述

2.1 智慧机场的概念与特点

智慧机场是传统机场向数字化、网络化、智能化升级的产物，通过物联网、云计算、大数据、人工智能等新兴技术手段，实现机场各类设施设备、业务系统、服务资源的全面感知、泛在互联、智慧协同。

智慧机场具有信息高度共享、运行高度协同、管理高度智能、服务高度人性化的特点。海量数据的实时采集、传输、处理是智慧机场的核心能力，高效的物联网通信系统是其关键支撑。同时，智慧机场是一个复杂系统，涉及航站楼、飞行区、停车场等不同区域，可容纳旅客、航空公司、机场员工、安保人员等多种角色，业务系统、设备种类繁多，对物联网数据的时延、可靠性、安全性提出了严苛要求。

2.2 智慧机场物联网通信系统的架构

智慧机场物联网通信系统采用层次化的网络架构，可

【作者简介】刘远丰（1980-），男，中国广东梅州人，博士，高级工程师，从事航管设计研究。

分为感知层、网络层、平台层、应用层。感知层包括各种传感器、射频识别、视频监控等物联网终端,负责机场环境和设备状态数据的采集。网络层利用多种异构网络实现端到端的数据传输,涵盖有线、无线、广域网、本地网等多种形式。^[1]平台层以机场私有云或行业云为基础,提供物联网设备管理、数据汇聚与共享、业务流程编排等服务。应用层面向航空公司、机场管理部门、旅客、民航主管部门等用户,提供智能化、个性化的应用,如智能值机、行李全流程跟踪、异常航班监测等。

2.3 智慧机场物联网通信系统的数据传输需求分析

智慧机场物联网终端种类多样,数据源复杂,传输对象具有明显的异构性特点。其中,行李处理、安检值机、空管调度等系统对数据实时性要求较高,如行李跟踪要求分钟级延迟;人脸识别、异常行为分析等智能应用则产生海量视频、图像数据,对传输带宽要求较大;登机口引导、停车诱导等位置服务需要兼顾移动性和精确定位。此外,不同优先级的业务数据在网络中存在竞争,需要区分服务质量^[2]。总的来看,智慧机场物联网通信系统需要在低延迟、高带宽、移动性、服务质量保障等方面提供有力支撑。

2.4 低延迟数据传输的重要性

在智慧机场物联网场景中,关键业务和应用对数据传输时延有苛刻要求,如航班调度、安检信息核验、行李分拣等需要亚秒级—秒级的端到端时延,才能保障机场运行的协同性和有序性。一旦数据传输时延超过限定时间,就会引起航班延误、旅客滞留、行李错漏装等连锁反应,造成较大经济损失和安全隐患。因此,低延迟数据传输能力是智慧机场物联网通信系统的核心竞争力,直接影响机场运行的效率和服务质量。相关优化措施的研究落地,对确保机场安全平稳运营,提升整体服务水平具有重要意义。

3 智慧机场物联网通信系统中的数据传输瓶颈分析

3.1 网络拥塞问题

机场内大量物联网设备同时接入,尤其是高峰时期的业务量剧增,易导致局部热点区域出现网络拥塞,表现为丢包率增高,时延抖动加剧。无线网络是机场通信系统的重要组成部分,受制于有限的频谱资源和信道容量,更易出现拥塞^[3]。此外机场业务特性决定高低优先级数据在网络中混合传输,关键业务的带宽也容易被大批量低优先级数据抢占。上述问题限制了智慧机场物联网系统的实时响应和稳定性能。

3.2 设备异构性问题

机场物联网涉及视频监控、射频识别、行李处理等诸多专用设备,不同厂商、接口、协议并存,存在明显的异构性。异构终端给数据传输、管理、维护带来挑战。一是难以实现无缝互联。各自为政的私有协议限制了互操作能力。二

是封闭的网络结构不适应开放互联的大趋势。三是不同终端在网络中的多样化需求难以得到有效满足,带来次优的业务体验。统一的标准和灵活的对接方式亟待建立。

3.3 安全管控问题

作为关系国计民生的基础设施,机场对网络安全、数据保护有极高要求。大规模物联网接入使系统攻击面扩大,边界防护难度显著增加。各类敏感数据在开放网络环境中易遭窃取、篡改、破坏,若缺乏有效的认证、加密等安全机制,后果不堪设想。此外物联网设备的算力资源往往十分有限,难以负担高强度的安全防护。如何在严格的安全管控下保障通信性能,是智慧机场物联网系统必须考虑的重点问题。

3.4 资源配置问题

机场物联网通信网络需要为众多业务系统服务,不同时间、区域的业务负荷变化很大。如何根据业务优先级和时变特性,在网络中实现资源的精细化、差异化配置,缺乏有效手段^[4]。静态的网络部署方式容易造成一些区域网络资源紧张,另一些区域又存在浪费,难以实现低延迟传输。此外海量设备对网络带宽、存储、计算资源也提出了巨大挑战。为终端节点匹配最优路径、提供分级服务保障,需要智能化的资源调度机制。

4 低延迟数据传输优化方法研究

4.1 数据分类与优先级机制

智慧机场物联网通信系统涉及众多业务数据流,不同业务对传输性能的要求差异很大。粗放的数据传输模式难以满足这种差异化需求,必须建立面向物联网的多级数据分类机制。首先,梳理行李运输、旅客服务、安检审核等各类数据流的业务属性,根据业务服务协议(SLA)中关于时延、可靠性、带宽的具体要求,将数据流划分为多个优先级,制定明确的分级标准。其次,在数据帧或数据包中预留QoS标记字段,将优先级映射到相应编码。在网络传输过程中,边缘网关、核心交换机等识别数据帧中的QoS标记,严格按照优先级高低进行排队和调度^[5]。高优先级数据能够优先占用缓冲区资源、抢占传输时隙,保证端到端时延满足服务质量要求。而对于大批量的低优先级数据,则采用适度缓存、分批次发送等方式进行削峰填谷,在保证关键数据优先传输的同时提高链路利用率,避免低优先级业务抢占过多带宽影响整体传输性能。多级数据分类机制使得机场物联网通信系统能够在有限资源条件下,灵活适应差异化的业务传输需求。

4.2 多路径传输与链路聚合

机场物联网通信系统承载的海量数据和多样化业务对网络传输能力提出巨大挑战,传统的单路径传输模式在时延、可靠性、负载均衡等方面难以适应。引入多路径传输机制,充分利用网络拓扑中的路径多样性,可以显著改善端到端传输性能。多路径传输的核心是路径选择和流量调度。

路径选择方面,综合考虑各备选路径的时延、带宽、可靠性等参数,通过加权最短路径等算法,动态选出端到端时延最优的路径集合。流量调度方面,可根据路径质量和数据优先级对流量进行加权分发,并动态调整分发比例,实现负载均衡。此外,在通信链路中引入链路聚合技术,可将多条物理链路捆绑为一条虚拟链路,实现链路带宽的叠加。聚合链路中的成员链路可进行流量均分,显著提升单链路传输能力。同时聚合链路也具备备份冗余机制,当某条成员链路发生故障时,流量可无缝切换到其他活动链路,从容应对局部拥塞,保障关键业务数据的低延迟连续传输。多路径传输与链路聚合相结合,可充分发掘网络潜力,为机场物联网数据传输提供强有力的品质保障。

4.3 边缘计算与数据压缩

随着机场物联网规模不断扩大,大量数据跨网传输对骨干网络造成巨大压力。采用边缘计算架构,在靠近数据源的网络边缘节点布设智能网关,可以有效缓解这一问题。智能网关对本地数据进行汇聚、过滤,将链路状态、设备告警等时效性要求不高的数据存储在本地图,上传管理平台的数据量大幅减少。对于实时性强的控制指令、告警数据,网关则直接进行点对点转发,使之免于核心网络转发环节的排队时延。此外,在数据压缩方面引入新技术,能够在保证实时性的同时减少传输数据量。如对监控视频采用 H.265 编码,能够比 H.264 节省约 50% 带宽;对物联网数据采用 MQTT、CoAP 等轻量级协议传输,开销远低于 HTTP。

4.4 智能路由与流量调度

机场物联网通信网络需要进行全局统筹的路由优化和负载均衡,以适应复杂多变的数据流量模式。采用智能路由技术,可以对全网链路状态、负载水平进行实时监测,形成全局网络视图,并据此实现路由的动态优化。比如利用强化学习算法,根据网络拓扑、流量矩阵、服务质量需求等输入,对路由策略进行自主学习优化,不断提升链路利用率和负载均衡水平,将端到端延迟降至最低。在流量调度方面,引入基于优先级和服务质量的动态流量控制,对突发流量进行抑制,对关键数据流优先保障资源,避免由于流量激增导致的网络严重拥塞。

4.5 网络切片技术应用

网络切片是近年来兴起的新一代网络架构,通过软件

定义网络(SDN)和网络功能虚拟化(NFV)技术,在物理网络上叠加多个虚拟网络,不同虚拟网络为特定业务提供定制化、独立的传输资源保障,从而实现网络服务的灵活定制和性能隔离。引入网络切片理念,可以从根本上解决机场物联网通信面临的资源配置冲突和性能干扰问题。可针对机场不同业务特点,构建行李处理切片、旅客服务切片、安防监控切片等,每个切片内独立进行拓扑设计、协议栈定制、带宽分配,并根据业务级别和负荷变化实现切片资源的动态调整。关键业务切片严格保障端到端时延,普通业务切片则在满足基本性能的同时提高资源利用效率。这种按需定制的网络架构,能够在物理资源有限的情况下,实现关键数据的精准传输和服务质量保障。

5 结语

智慧机场的建设发展对民航服务质量提升和行业数字化转型具有重大意义,但也对机场物联网通信系统提出更高要求。网络拥塞、异构互联、安全管控等问题制约了通信性能和服务质量,尤其是关键数据传输面临严峻的低延迟挑战。本文从数据分类、多路径传输、边缘计算、智能路由、网络切片等方面提出了低时延传输优化策略,通过构建分级的服务质量保障机制、引入传输冗余和负载均衡、下沉数据处理任务、实现网络资源的精准配置和灵活调度,能够有效缓解机场物联网通信系统的瓶颈问题,为关键业务提供有力的低延迟传输保障。未来还需在网络架构优化、海量异构接入、数据安全融合等方面开展更深入系统的研究,推动机场物联网通信系统的技术创新和综合集成,为智慧机场高质量发展提供有力支撑。

参考文献

- [1] 顾兆军,张一诺,宋跃东,等.智慧机场物联网应用及网络安全挑战[J].指挥信息系统与技术,2023,14(05):14-20.
- [2] 陈炳根,龙宽.800 MHz数字集群通信系统在智慧机场的实施[J].电信快报,2022,(07):18-22.
- [3] 丁磊,韩建云,张西武,等.智慧机场物联网系统安全防护研究[J].民航学报,2021,5(05):81-84.
- [4] 沈建.智慧机场物联网系统安全防护分析[J].信息与电脑(理论版),2022,34(04):211-213+238.
- [5] 张玄弋,张立斌.智慧机场物联网平台架构设计[J].物联网技术,2021,11(10):91-96.