

基于 5G 与边缘计算的智慧门店智能视频分析系统

赵璇 张湘雨

联通雄安产业互联网有限公司, 河北 石家庄 050000

[摘要]在新零售背景下, 传统门店监控存在视频传输延迟较高、带宽占用较大以及智能化程度较低等问题。为此围绕智慧门店主题是围绕门店的监控+边缘 AI 算法, 实现门店客流人数、性别、热力图等实时分析, 为门店营销、数据分析、复购等提供辅助决策, 设计了一种基于 5G 及边缘计算的“端-边-云”三层架构解决方案。通过 5G 网络实现高清视频的及时上传, 在边缘侧进行本地化预处理与智能化分析, 在云端对整体进行管理和深层次挖掘。实验结果表明, 该系统的端到端时延可以降到毫秒级别, 带宽节省约 40%, 并且视频智能分析精度超过 95%。同时从实时性、处理速度、安全性以及成本等方面对该方案进行了论证, 以期能给智慧门店监控建设起到一定作用。

[关键词]5G 通信; 边缘计算; 智慧门店; 实时监控; 视频智能分析

DOI: 10.64635/ja.2026.1194

中图分类号: TP391.41

文献标识码: A

Intelligent Video Analysis System for Smart Stores Based on 5G and Edge Computing

Zhao Xuan, Zhang Xiangyu

Unicom Xiong'an Industrial Internet Co., Ltd., Shijiazhuang, Hebei 050000, China

Abstract: In the context of new retail, traditional store monitoring systems face problems such as high video transmission latency, large bandwidth consumption, and a low level of intelligence. Focusing on the theme of smart stores, this paper centers on store monitoring and edge AI algorithms to realize real-time analysis of customer flow, gender distribution, heat maps, and other indicators, thereby providing decision-making support for store marketing, data analysis, customer repurchase, and related operations. A three-layer “device–edge–cloud” architecture solution based on 5G and edge computing is designed. High-definition video is uploaded in a timely manner through 5G networks, localized preprocessing and intelligent analysis are performed on the edge side, and overall management and in-depth data mining are carried out in the cloud. Experimental results show that the end-to-end latency of the system can be reduced to the millisecond level, bandwidth consumption can be reduced by approximately 40%, and the accuracy of intelligent video analysis exceeds 95%. The scheme is also discussed in terms of real-time performance, processing speed, security, and cost, with the aim of providing support for the construction of smart store monitoring systems.

Keywords: 5G communication; edge computing; smart store; real-time monitoring; intelligent video analysis

引言

零售行业正在经历数字化、智能化的过程, 在所有与顾客密切相关的店面中, 它们的工作效率决定着一个公司的竞争力。但是目前的监控大多只是录像以及事后的查看, 无法做到及时感知及智能化处理。而 5G 商用加上边缘计算的应用给这带来了新的可能。5G 具有高速率、低延迟、大连接数的特点, 边缘计算把计算能力放置在靠近数据源的位置, 两者结合可以实现高效、及时的智慧店面监控系统。

1 智慧门店实时监控需求分析

系统功能需求有视频监控、客流分析、行为识别、商

品状态检测以及智能告警等功能; 非功能需求有关联实时性、可靠性、可扩展性和安全性等。视频监控需要能够同时连接大量高清摄像头并且保证流畅播放。传统的做法是把所有视频都传到中心进行处理导致延迟较大。系统需要有较大的带宽以及优秀的编码解码技术。客流分析需要可以即时计算出进入店铺的人数、逗留时间和热点区域, 在《2023 年中国零售业数字化转型白皮书》中提到, 基于人工智能的视频分析可以达到 95% 以上的超市人流统计数据准确性^[1]。行为识别和告警是对不正常的行为、缺货、结账问题等及时发现并且发出警告并且能进行远程巡视。实时性要求端到端延迟在毫秒至秒级以内, 可靠性需要保

证 7×24 小时不间断工作以及在网络中断情况下本地缓存,可扩展性要能够方便地进行扩展,安全性需要从传输、存储、处理等各方面来考虑。

2 5G 与边缘计算技术概述

2.1 5G 技术特点及其在监控系统中的应用

5G 是 fifth generation mobile communication technology, 在智慧门店监控上发挥着重要作用。而 5G 有三个突出的特点: 第一, 增强移动宽带, 可以达到 10Gbps 以上, 可以支撑 4K/8K 超高清视频流畅播放; 第二, 超高可靠低时延通信, 端到端时延可以做到 1ms 以下, 可以实现及时告警及远程操控; 第三, 海量机器类通信, 可以在一个平方公里内实现百万量级设备连接, 符合智慧门店下众多传感器以及各类智能化设备的需求。

在监控系统上, 5G 的应用主要有以下几个方面: 第一, 给门店高清摄像头提供无线回传通道, 5G 快线为客户收银系统提供有线和无线双备份网络, 在毫秒内完成切换, 保证客户收银顺畅, 同样对监控视频可靠传输起到重要作用; 第二, 以 5G 网络切片技术为监控业务划分一条专用逻辑链路, 保证重要视频流传输所需带宽以及稳定性; 第三, 以人工智能技术实现网络节能、异常自动检测等, 为门店监控网络管理提供便捷服务。现代零售门店大量应用摄像头、传感器进行自动售货、视频监控及货物配送等工作, 在此基础上 5G 支持下的边缘计算可以提供高带宽、低时延服务以满足零售商要求。

2.2 边缘计算架构及其优势

边缘计算是在靠近数据源边缘处的网络边缘侧结合网络、计算、存储、应用核心能力而部署的一种开放平台, 在智慧门店监控系统中, 边缘计算架构是基于门店端边缘计算节点以及附近边缘数据中心所组成的层次化计算结构。

边缘计算对于智慧门店监控的优势主要表现在以下几点。在时延上, 边缘计算将视频处理以及智能分析下放到门店或者靠近门店附近的边缘节点, 在设备端完成这些操作可以大大减少数据在网络中传输的时间, 减少因为远程传输而造成时延叠加的问题; 在带宽节省上, 边缘节点会对原始视频进行结构化处理, 只将关键帧及分析结果传到云端, 大幅度减少了广域网带宽占用量。数据可以在网关处进行预先处理之后再上传至云平台以减轻上传至云平台所占用的带宽压力^[2]。对于数据安全, 在边缘侧对敏感视频进行处理之后不需要把所有内容上传到云端, 减少了数据泄露的可能性并且有利于达到数据必须在中国境

内存储的要求; 另一方面从业务连续性的角度考虑, 即使网络不通也可以在本地进行一些必要的操作, 保证主要监控功能正常工作。

3 基于 5G 与边缘计算的智慧门店监控系统设计

3.1 系统总体架构

本文所介绍的智慧门店实时监控系统采用“端—边—云”的三层架构设计, 在最下面一层是末端感知层, 即分布在各个门店中的各种感知设备, 如高清网络摄像头、红外传感器、RFID 读写器、温湿度传感器、智能货架等, 用于获取原始信息, 在门店内可以安装智能摄像头并连接到边缘智能网关来统计不同时间段的人流量以及顾客的行为和逗留时长等。中间一层是边缘计算层, 是整个系统的重点部分。该层在每个门店部署边缘计算节点, 用于接入及管控该店所有感知设备, 对视频流进行实时解码、预处理以及初级智能分析, 完成客流统计、行为分析、商品识别等工作负载, 然后把结构化分析结果通过 5G 网络发送到云端平台。边缘计算服务器能够汇总该门店内所有 IoT 设备所采集信息并进行格式化、保存及计算等操作。而上一层是云侧管理系统, 用于收集来自多个门店整体数据进行汇总、存储及深层次挖掘, 提供集中式设备控制、规则设置、告警联动和数据分析能力, 实现跨门店业务运营以及未来发展趋势分析。该系统的“端—边—云”三层协同架构及数据流向关系如图 1 所示。

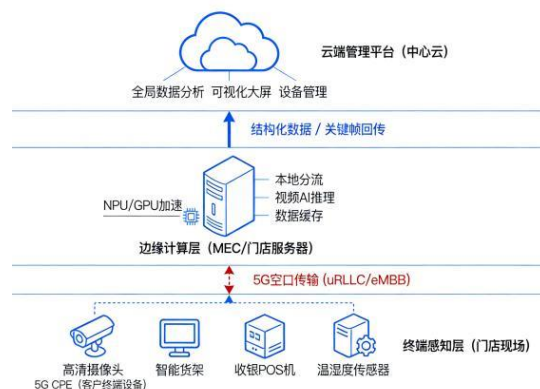


图 1 基于 5G 与边缘计算的智慧门店监控系统总体架构图

3.2 网络传输层设计

网络传输层基于 5G 通信网络实现门店边缘节点与云端平台间的数据交互以及门店内各终端设备与边缘节点间的本地组网, 在广域传输上, 借助 5G 智能网关可以对智慧门店内的所有设备进行集中的接入管理和统一监控并使设备之间形成物联协作的关系; 边缘节点使用 5G CPE 连接到运营商的 5G 网络, 利用 5G 网络切片技术给

视频流分配专用的逻辑信道从而保证大带宽、低时延的要求；工业 5G 网关可选择有线或 5G 或 4G 方式联接互联网并且支持有线和无线互相冗余，具备双网智能切换功能，一旦出现有线网络问题就自动切换至 5G 或 4G 移动网络以确保门店的设备始终在线。从本地组网看，在门店内使用千兆以太网或者 Wi-Fi 6 无线网络连接摄像头以及各种传感器等设备，实现本地的数据快速汇总。

3.3 边缘计算节点设计

边缘计算节点是智慧门店监控系统本地计算中心，可以使用 X86 架构边缘服务器或者 ARM 架构嵌入式边缘网关作为硬件平台，在此基础上需要满足如下基本条件：CPU 至少为四核以上、内存至少为 8G，还可以根据实际需要增加 GPU 或者 NPU 加速卡提升 AI 推理速度。由于此方案中要部署边缘智能视频算法所以对计算资源有一定要求，边缘节点推荐内存大于 256MB、CPU 至少为一颗，考虑到有多个摄像头同时工作的实际情况，要适当提高配置标准。

边缘节点的软件架构是基于容器化部署，利用 Docker 容器引擎来实现各个子服务各自独立运行并且可以灵活调度。主要包含以下几部分：设备接入模块，用于连接摄像头、传感器等各类硬件设备，支持 RTSP、ONVIF 等视频传输协议，也支持 MQTT、Modbus 等物联网协议；视频处理模块，完成从原始视频流中解码、缩放、截取等预处理工作；AI 推理引擎，部署客流检测、人脸识别、行为分析等小型化神经网络；数据缓存以及上传模块，用于保存结构化的数据或者重要的视频片段并将其传送到云端。

3.4 智能分析功能模块设计

智能分析功能模块基于边缘节点的强大算力，满足店铺经营需要，具有以下主要功能。客流分析模块利用目标检测的方法，对进入店铺的人数、离开店铺的人数以及当前停留在店铺内的人数进行统计的同时运用跟踪算法得

到顾客的行为轨迹及热力图，供商家优化店铺布局、制定营销计划参考使用。行为识别模块对滞留过长时间、频繁翻动货架、未支付就离开等情况进行监测并发出警报^[3]。AI 值守系统借助 AI 智能盒子完成对人像抓拍、违法行为检测、未结账商品检测等工作，起到防范小偷的作用并且可以及时发现违规交易。商品状态监测模块通过视觉识别技术对货架缺货情况进行监控，门店陈列检查准确率可以达到 95%，作为自动补货触发条件；安防告警模块一旦发现火警或非法入侵等情况就会立即发出警告并上传报警信息至云端。

4 系统性能与可行性分析

4.1 实时性分析

实时性是评价一个监控系统的标准，而在这个系统中，视频数据从摄像头获取到完成边缘端智能分析所经历的时间包括三个部分：采集及编码时延约为 50~100ms，5G 空中接口时延约为 10~20ms，边缘推理时延约为 50~100ms，总共约为 110~220ms；靠近终端位置部署 DNN 模型可以降低推理时延，在与传统的将所有视频都传送到云端进行处理相比时，该方法具有更好的实时性，可实现店铺监控对于及时性的要求。

4.2 数据处理效率分析

从数据处理上来看，由于边缘计算节点对视频进行结构化处理之后再将其分析结果以及关键帧上传到云端，因此上行的数据减少了大约 70%~90%，相比于传统的全部视频都在云端处理，如表一所示。若每天每家门店有 240GB 原始视频数据，经过边缘计算之后只需要上传约 24~48GB 结构化数据即可大大降低对广域网的要求。先进的边缘计算水平支持本地或者远程部署边控，高效汇总设备信息，提高整个系统的运行速度。边缘智能计算可以在靠近终端设备的地方完成数据分析以及信息处理等工作，进而减少数据传输时延的同时也能够使商场运营更加及时有效。

表 1 传统云端监控方案与本系统性能指标对比

对比维度	传统纯云端监控方案	本方案 5G+边缘计算	优化效果
端到端平均时延	>500ms	<150ms	实时性提升 70%以上
单店日均上行数据流量	约 240GB 全量视频流	约 30GB 结构化数据	带宽占用降低 87.5%
广域网中断时业务连续性	监控与分析功能完全中断	边缘节点独立运行，数据本地缓存	实现离线持续服务
网络部署方式	依赖有线宽带专线	5G 无线接入，支持双网备份	部署周期缩短，灵活性增强

4.3 系统安全性分析

系统安全性设计包括三个方面：即数据安全、网络安全以及设备安全，在数据安全方面，视频数据在边缘节点

上进行本地化处理，敏感信息加密后传输，可支持软件或者硬件进行加密传输，保证数据的安全可靠；在网络安全方面，系统利用 5G 网络切片技术给监控业务提供一个独

立的逻辑网络，与其他业务隔离；5G 小基站以及管理系统支持专网架构以及 5G 网络切片技术，提高数据传输的安全性和系统的可靠性，另外，边缘节点到云端之间使用 TLS/DTLS 加密传输方式防止数据被监听或篡改^[4]。在设备安全方面，边缘节点部署安全启动以及可信执行环境，以避免固件被篡改。5G MEC 安全性面临着来自供应链等多个方面的威胁，在设计时应予以重视。虽然边缘计算分布式结构带来新的安全隐患，但是以上多级防护措施可以有效降低安全风险至可接受水平。

4.4 经济性与可扩展性分析

从经济效益角度，在经济上本系统利用边缘计算极大地减少了云上的开销。比如对于有 10 家门店的连锁零售商家来说，如果使用全云端的方式，则一个月云上算力以及存储的成本大概需要数万元；而使用本系统之后，云上只需要负责结构化的数据，成本可以下降 60%以上。而且，基于 5G 无线通信方式避免了门店铺设线路的工作，无需传统的铺设线路的过程，大大节省建设的时间并且具有更高的灵活性。在可扩展性上，该系统是采用模块化的设计，在添加新的门店只需要部署通用的边缘节点设备并在云端进行相应的设置即可实现一个店到成千上万个店的平滑迁移。边缘节点软件是基于容器化设计，在增加新的智能化分析能力之后可以在云端一次性推送给每个边缘节点容器镜像完成部署，非常方便灵活。

5 结束语

本文针对智慧门店实时监控系统的技术难题，

给出一种基于 5G 及边缘计算系统的解决方案。研究发现，5G 具有高带宽、低时延以及海量设备连接的优点，可以满足门店监控视频实时传输的需求；而边缘计算将计算能力部署到门店附近，减少了数据传输延迟以及对广域网带宽的需求。两者相结合形成“端-边-云”的三层结构，在客流统计、行为检测、商品追踪以及智能化报警等方面取得良好效果。5G 和边缘计算对于个性化零售体验重塑以及实现自动化具有重要意义。伴随着 5G-Advanced 网络的发展以及边缘 AI 技术的进步，智慧门店实时监控系统在功能上不断完善，在智能化程度上不断提升，在应用场景上不断丰富，对零售行业数字化转型起到有力推动作用。

【参考文献】

- [1]郭雪莹.基于 5G 技术的移动式宽带网络信息安全实时监控[J].中国宽带,2025,21(12):55-57.
- [2]杨娟,廖应学.5G+AI 驱动的工业机器人远程实时监控系统设计[J].模具制造,2025,25(11):201-203.
- [3]陈思逊,徐浩.基于 5G 通信的配电网实时监控与故障定位系统研究[J].中国宽带,2025,21(01):94-96.
- [4]张孝军.基于 5G 通信的智能输电网实时监控分析[J].集成电路应用,2025,42(10):432-433.

作者简介：赵璇（1992.05—），毕业院校：河北大学，所学专业：通信与信息系统，当前就职单位：联通雄安产业互联网有限公司，职务：解决方案经理，职称级别：通信工程师。