



专题：智能边缘计算

基于边缘计算的视频监控系统及应用

潘三明, 袁明强

(中国铁塔股份有限公司, 北京 100142)

摘要: 随着视频监控应用的普及化和功能应用的多样化, 以云计算为核心的集中式数据处理模式越来越难以继。边缘计算就近对视频数据进行预处理, 在带宽、存储、时延等方面表现优异, 但仍需要边云协同来提升整体性能。从边云协同的视频监控系统架构出发, 提出白盒化的边缘节点设计方案和算法训练、推理思路, 最后以森林防火、智慧杆塔为例, 阐述边缘计算在视频监控业务上的应用实现和价值。

关键词: 边缘计算; 视频监控; 边云协同; 边缘节点

中图分类号: TP393

文献标识码: A

doi: 10.11959/j.issn.1000-0801.2020177

System and application of video surveillance based on edge computing

PAN Sanming, YUAN Mingqiang

China Tower Co., Ltd., Beijing 100142, China

Abstract: With the popularization of video surveillance systems and the diversification of their applications, traditional data processing methods using cloud computing to handle all the computations are more and more unsustainable. Edge computing pre-processes video data nearby, and performs well in terms of bandwidth, storage, and latency, but edge-cloud collaboration is still required to improve overall performance. The architecture of edge-cloud collaborative video surveillance system was proposed, then an open edge node design scheme and algorithm training and inferencing ideas were proposed. Finally, taking forest fire prevention and smart poles & towers as examples, the application realization and value of edge computing in video surveillance services were illustrated.

Key words: edge computing, video surveillance, edge-cloud collaboration, edge node

1 引言

为了应对 5G 和万物互联时代的数据洪流, 边缘计算作为新的计算范式应运而生。边缘计算将算力、存储和应用等资源分散到靠近数据源头的网络边缘, 就近处理并快速做出响应, 减少非必

要的数据上传云端, 从而降低对云计算中心的计算、存储开销以及网络带宽压力^[1]。业务的发展将驱动算力部署从网络核心层向汇聚层、接入层迁移, 铁塔站址紧邻用户和业务现场, 有与生俱来的网络边缘属性, 是边缘节点部署的理想载体。

在数字化、高清化、网络化和智能化的加持下,具有直观、方便、内容丰富等特征的视频监控技术,已不再局限于安防用途,在交通、环保、工业、零售等领域信息化升级中发挥着非常重要的作用。视频监控与人工智能、云计算、大数据及物联网等技术融合发展,带动相关应用爆炸式增长。铁塔站址点多面广,通信、供电条件一应俱全,塔上加挂高清摄像头即可实现高点监控和丰富的业务应用。然而,大量摄像头的接入及其产生的海量数据以及数据隐私泄露风险,对以云计算为核心的视频监控架构提出了极大的挑战。基于边缘计算构建新型视频监控系统^[2-3]已成为当下研究的热点。边缘计算本质上是云计算的延伸,边云协同可发挥各自所长。边缘节点在云端的统筹下执行部分或全部计算任务,对视频监控数据进行预处理,剔除冗余和无效的视频帧,向云端上报计算结果及其他关键数据;云端统筹管理边缘节点,并通过大数据分析和模型训练,为边缘节点持续优化业务规则和算法模型^[4],增强边缘智能和应用部署。

2 边云协同的视频监控系统

从逻辑上,边云协同的视频监控系统从下至上分为现场层、边缘层、云平台层和应用层,如图1所示。现场层是整个系统的神经末梢,负责现场数据的采集。视频监控往往需要与物联网配合实现联合检测和反馈控制(如河流排污监控等场景);除摄像头外,系统的接入终端还包括各类传感器、控制器等物联网设备。边缘层汇总各个现场终端送来的非结构化视频数据和物联网数据并进行预处理,按既定规则触发动作响应,同时将处理结果及相关数据上传给云端。根据需要,边缘节点可实现一个或多个边缘应用的部署。云平台层主要由边缘管理模块、视频云平台、人工智能模块和物联网平台组成,负责全局信息的处理和存储,承担边缘层无法执行的计算任务,并向边缘层下发业务规则和算法模型以及为各类应用的开放对接提供标准的API。应用层利用分析处理的结构化/半结构化数据,结合特定的业务需求和应用模型,为用户提供具体的垂直应用服务,

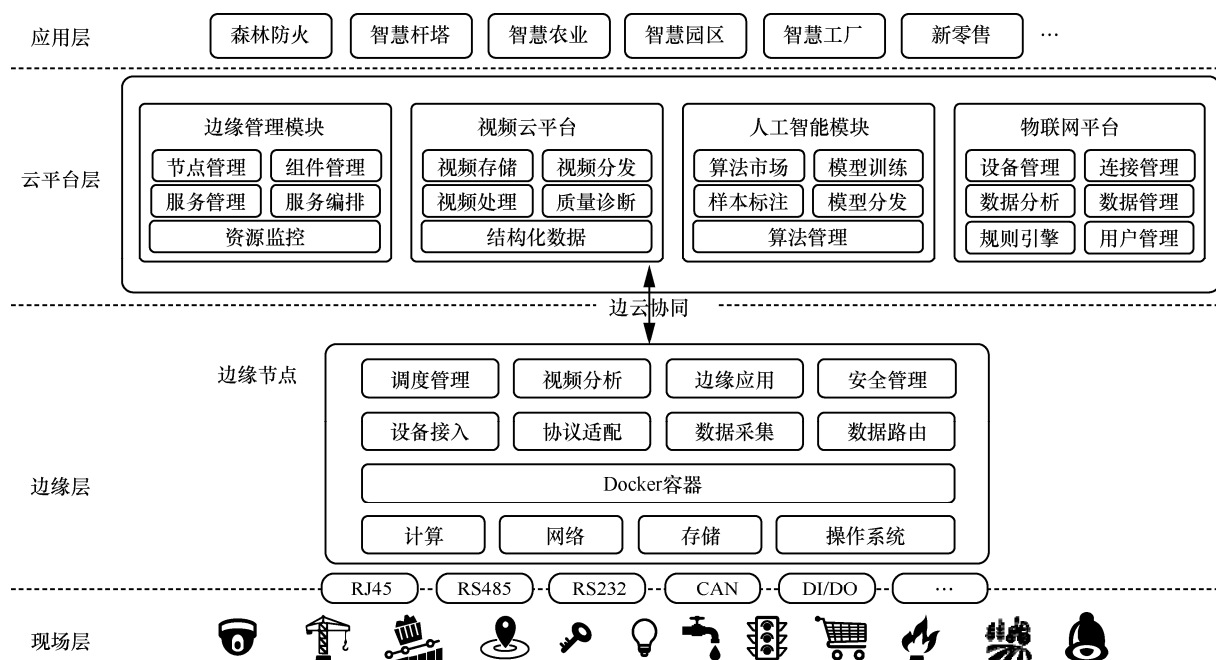


图1 边云协同的视频监控系统架构



如森林防火、智慧杆塔、智慧农业等。

云平台层统筹管理边缘节点，为其创建部署、运行监控、维护以及边云协同提供支撑，并根据边缘节点资源状态动态调整服务编排方案，实现全局高效运行。在实际部署中，边缘节点和云平台都基于微服务方式，各功能模块通过 Docker 引擎工具实现。每个微服务都是一个独立的构建块，既可以运行于单个节点上，也可以由多个节点交互完成。这种分布式的部署能够降低系统中不同功能模块之间的耦合度，便于开发、部署和测试，提升系统服务的可拓展性和复用率。

3 边缘节点设计

3.1 软硬件解耦

边缘节点融合计算、存储、网络、虚拟化等基础能力，部署位置可按需灵活选择。由于业务场景和用户需求不尽相同，边缘节点须具备较强的场景适应性，支持业务规则、算法及应用的敏捷部署和快速调整。“通用硬件+开放软件”显然是理想的实现方案。一方面，硬件白盒化有利于降低部署成本；另一方面，也为充分共享产业成果加快落地应用提供了便利条件。当然，软硬件解耦也会带来额外的资源消耗和复杂度，运行效率和整体性能有所损失，因此软硬件的适配和迭代优化尤为关键。

边缘节点为边缘 PaaS 和 SaaS 应用的部署提供基础软件运行环境。与物理机和虚拟机相比，Docker 容器运行环境更轻量高效、可移植性强，更适合边缘节点部署。EdgeX Foundry 是基于 Linux 操作系统的边缘计算开源框架^[5]，可解决异构设备综合接入带来的互操作问题，所有微服务都以容器的形式运行于各种操作系统之上，且支持动态增加或减少功能，具有较好的可扩展性。

3.2 硬件配置方案

边缘节点需要从云端下载安装运行组件以及

相应的函数模型，通常要求采用 64 位 x86 或 ARM 处理器，CPU 主频不低于 1.6 GHz。在 H.264 编码格式下，按 4 Mbit/s 码流计算，1 路 1080P 摄像头每天产生的视频流容量为 42 GB，30 天的总容量约为 1.3 TB。显然，不经过边缘计算的处理，冗余和无效的视频数据会对云端的计算和存储造成极大的消耗。为保障脱网时边缘节点自治运行和视频备份，可酌情配置 1~4 TB 硬盘。

在中小型规模的视频监控场景，摄像头数量一般少的有 1~3 个，多的可达 8~16 个，因此要求边缘节点的摄像头接入能力不少于 16 路，并发实时视频处理能力不低于 8 路。以 Keras-YOLOv3 训练模型为例，1 路 1080P 视频流所需的算力约为 0.25 TFLOPS，8 路共需 2 TFLOPS，进而可选择合适算力的 AI 芯片型号。通过算法优化，边缘节点可处理的视频流路数会适当增多。

边缘节点的接口设置要兼顾使用需求和成本。上行通信优先选择吉比特以太网口或光口，满足多路视频流实时回传和远程调阅的需要。摄像头既可以通过以太网口直连边缘节点，还可以通过汇聚交换机转接，同时部分摄像头还存在远端供电需求，因此 LAN 口要保留吉比特、百兆以太网口和 POE 端口等多种类型。为便于物联网终端接入，还需要配置一定数量行业应用场景常用的 RS485、RS232、CAN、DI/DO 等接口。

3.3 视频流预处理

边缘节点结合自身资源状态与云端协商，并根据云平台提供的图像算法模型，执行与视频预处理相关的全部或部分计算任务。通常，视频分析是针对特定目标进行的，如人、车、动物、火点、烟雾、废弃物等，涉及目标检测、目标识别、目标分类、目标过滤、行为/轨迹分析及事件判断等一系列过程^[6]。一旦检测到指定的物体或规则指定的事件，边缘节点就会向云平台上报消息，并将相关的预处理结果和关键数据上传到云端处理。

4 算法训练与推理

4.1 云端算法训练

算法模型成熟与否,直接决定了边缘节点视频预处理结果的准确性和可信度。云平台层的人工智能模块提供与算法相关的业务功能,内置丰富的算法模型,提供算法查询、展示、管理等功能。用户根据业务场景订阅相应的算法,关联设备后即可下发算法到边缘层进行推理使用。利用云平台的计算资源搭建训练环境,支持算法模型的训练和开发,并提供算法更新与移植能力,通过统一的算法配置接口,实现便捷的算法调整和再部署,如图2所示。

人脸识别、步态识别、行为识别和电子围栏等算法广泛用于人员管理和安防领域,而在交通、环保、工业制造等行业应用方面,车辆识别、车牌识别、物体识别、火点识别、烟雾识别等算法将进一步放大视频监控的应用价值。

4.2 边缘算法推理

边缘节点可以使用云端训练好的算法进行本地推理决策。当检测识别到火灾等目标时,将向

云端发出报警信号并上传视频流。云端根据上传的数据重新训练算法模型,并将训练结果推送到边缘节点进行模型更新。

利用英伟达 Jetson TX2 嵌入式平台(6个CPU,1个256核GPU,8GB内存)搭建边缘节点实验环境,并基于Keras训练的Tiny YOLOV3模型^[7]进行火灾视频分析。模型训练使用自标注的火灾数据集,摄像头支持H.264、MJPEG视频编码标准和RTP/RTSP实时传输协议。在实时视频流分析过程中,采用DeepStream框架实现GPU硬件加速视频解码,支持多线程并行处理,并通过调用TensorRT推理引擎来处理图像推理任务。图3(a)中,Jetson TX2同时支持4路1080P视频检测,推理速度能够达到12 f/s。图3(b)展示了视频通道数与模型推理速度的关系。

5 基于边缘计算的典型应用

5.1 森林防火

森林火灾对自然环境、人身财产安全的危害性极大,每年全球各地类似事件时有发生,视频监控已成为预防森林火灾的重要技术手段。以河

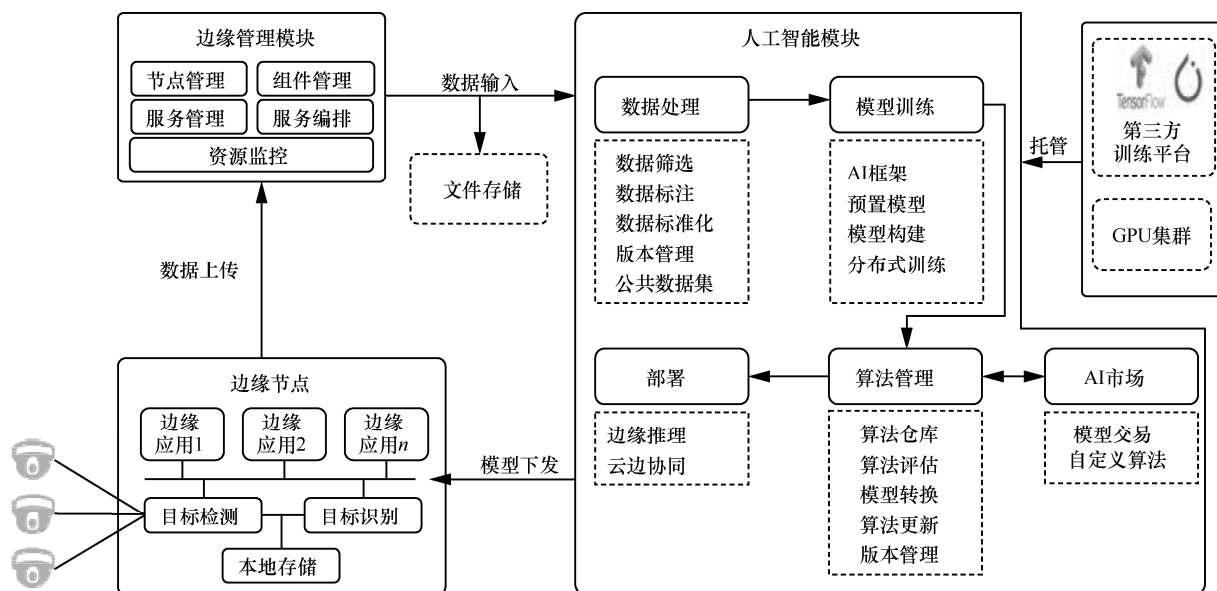
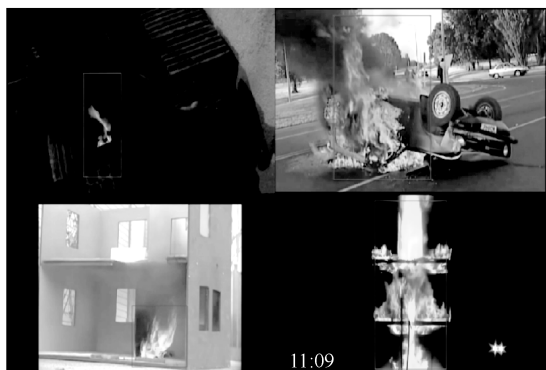
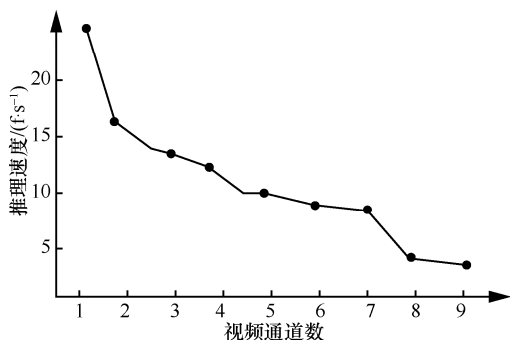


图2 智能算法训练与开发流程



(a) 4路视频并行智能推理



(b) 多线程处理与模型推理速度的关系

图3 边缘视频推理实验结果

北省为例，依托中国铁塔的站址安装热成像双光谱高清摄像头超过 5 000 个，单点监控范围 3~10 km，已形成相对完善的全域森林草原防火视频监控能力。

森林防火视频监控系统对烟火识别的时效性和准确性要求非常高，算法和算力前置是关键所在，这与边缘计算的理念不谋而合。边缘节点可就近部署在监控点或区域汇聚点，能快速发现火情并迅速做出响应；智能图像识别算法由云端持续训练和迭代，有助于提升本地推理和烟火识别能力。“边缘节点+高清摄像头”模式在系统扩展性和成本上明显优于单纯的前端智能摄像头模式。

摄像头全天候巡航，不间断采集周围的全要素信息。尽管森林防火、秸秆焚烧、国土监控、地理信息化各自对视频监控的用途和关注目标不一致，但视频图像在时间、空间及观测尺度上大体相同，使摄像头共用和视频源共享成为可能。

边缘节点能灵活部署和运行多种识别算法，在同一视频图像或图片中并行处理不同的目标和要素，可大幅提升视频分析效率和数据价值。

5.2 智慧杆塔

智慧杆塔集无线通信、智慧照明、环境监测、智慧交通、信息发布、公共安全、能源等多种功能于一身，是智慧城市建设的新型公共基础设施^[8]，也是新基建和 5G 建设的关键要素，如图 4 所示。区别于传统杆塔，其智慧主要体现在智能处理能力的提升和丰富的智慧应用上。边缘计算将杆塔承载的各类设备设施融合成有机的整体，边云协同则更好地促进智慧应用的落地与创新。

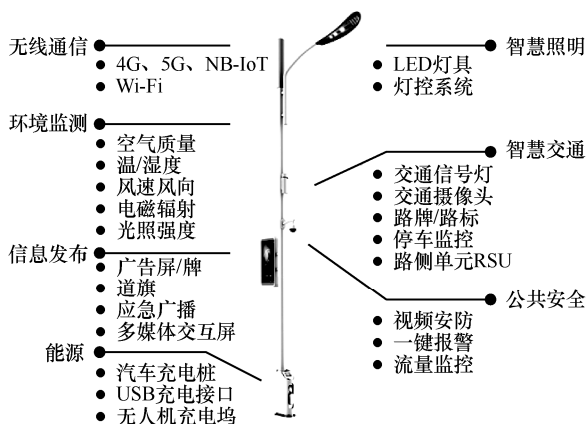


图4 智慧杆塔主要功能示意图

在公共安全方面，结合对人、车、物、行为的识别和电子围栏等技术，通过边缘的视频监控数据处理，能及时发现可疑的人员、车辆、物品及潜在的人员聚集和治安风险，做到智能预警和快速防范。在智慧交通方面，边缘节点从视频流中分析提取人和车的流量、通行速度等信息，并与交通控制系统进行联动，动态优化红绿灯间隔，提升道路通行效率，还可以实现道路积水、塌陷和交通事故的自动发现与及时发布。面向车联网，边缘计算与路侧单元、智慧杆塔的结合就更值得期待。边缘节点还对天气情况、光照条件、交通情况等多维数据进行综合分析，实现按需照明、智慧照明。

6 结束语

视频监控作为高效便捷的信息化手段,广泛应用于生产生活的各个领域。边缘计算能够有效解决视频监控系统面临的高带宽、高存储和高时延问题,通过边云协同还将大幅提升边缘应用的扩展性。基于边缘计算的视频监控解决方案,在智慧园区、智慧工厂、新零售等场景同样具有广阔的应用前景和价值。

参考文献:

- [1] 边缘计算产业联盟, 工业互联网产业联盟. 边缘计算参考架构 3.0[R]. 2018.
ECC, AII. Edge computing reference architecture 3.0[R]. 2018.
- [2] 施巍松, 孙辉, 曹杰, 等. 边缘计算: 万物互联时代新型计算模型[J]. 计算机研究与发展, 2017, 54(5): 907-924.
SHI W S, SUN H, CAO J, et al. Edge computing-an emerging computing model for the internet of everything era[J]. Journal of Computer Research and Development, 2017, 54(5): 907-924.
- [3] 葛畅, 白光伟, 沈航, 等. 基于边缘计算的视频监控框架[J]. 计算机工程与设计, 2019, 40(1): 32-39.
GE C, BAI G W, SHEN H, et al. Edge computing based video surveillance framework[J]. Computer Engineering and Design, 2019, 40(1): 32-39.
- [4] 雷波, 刘增义, 王旭亮, 等. 基于云、网、边融合的边缘计算新方案: 算力网络[J]. 电信科学, 2019, 35(9): 44-51.
LEI B, LIU Z Y, WANG X L, et al. Computing network: a new multi-access edge computing[J]. Telecommunications Science, 2019, 35(9): 44-51.
- [5] 梁家越, 刘斌, 刘芳. 边缘计算开源平台现状分析[J]. 中兴通讯技术, 2019, 25(3): 8-14.
LIANG J Y, LIU B, LIU F. The present situation of open source platforms for edge computing[J]. ZTE Technology Journal, 2019, 25(3): 8-14.
- [6] 潘国辉. 安防天下 2: 智能高清视频监控原理精解与最佳实践[M]. 北京: 清华大学出版社, 2014.
PAN G H. The world of security 2nd: principles and best practices of intelligent HD video surveillance [M]. Beijing: Tsinghua University Press, 2014.
- [7] REDMON J, FARHADI A. Yolov3: an incremental improvement[J]. arXiv:1804.02767, 2018.
- [8] 中国通信学会. 中国智慧杆塔白皮书[R]. 2019.
China Institute of Communications. White paper on smart poles & towers in China[R]. 2019.

[作者简介]



潘三明(1978—), 男, 中国铁塔股份有限公司技术部总监、高级工程师, 主要研究方向为视频监控、边缘计算及与物联网相关的业务与产品创新。



袁明强(1978—), 男, 中国铁塔股份有限公司技术部高级经理、高级工程师, 主要研究方向为与边缘计算、物联网相关的业务与产品创新。