面向大规模视频数据的智能边缘计算技术探讨

作者 姜云杰 吉莉 熊重驰



# 摘要

智能边缘计算是大规模视频监控数据处理发展的主旋律，边缘计算在未来大规模视频监控预警市场占绝对优势。随着“智能管道 智慧管网”的迅速推进，将安防监控与运营商的网络、边缘计算、云技术相结合，为视屏监控云网融合、云边协同带来可能。

视频监控技术作为实现“智能管道 智慧管网”系统的重要技术手段受到了社会各界的重视。为提高监控系统效率，实现智能监控，面向大规模视频数据的智能边缘计算技术已经成为迫切需求。本文聚焦于大规模视频数据分析所面临的传输瓶颈、计算能力瓶颈等问题。

针对数据传输瓶颈问题，提出一种边缘化视频计算架构，围绕视频数据源部署和分配计算资源，克服传统计算方式需要传输大量视频的问题。通过部署区域计算节点处理区域内的视频数据，部署和新阶段实现区域计算节点的统一调度和管理，实现基于区域和视频源的视频计算资源部署和分配模式。计算节点只需将计算后的信息片段发送到核心节点，有效降低通信带宽的消耗。

针对计算能力瓶颈问题，提出一种计算资源动态调整策略。针对监控视频价值密度低的特点，提出一种自适应的视频丢帧策略和基于视频重要程度的计算资源分配方法。当计算任务骤增，计算能力不足时，根据丢帧策略选择性丢弃部分摄像头的视频帧，减小其对计算资源的消耗，保证系统稳定的同时使重要计算任务得到充足的计算资源。

本文基于以上提出的计算架构与方法，探讨面向大规模视频数据的智能边缘计算技术的可行性、有效性和实用性。

# 课题研究背景及意义

长输油气管道安防主要依靠人力巡检巡查，西气东输每年投入的人力巡护成本较高，为了响应国家油气体制改革要求，西气东输公司率先开展了“智能管道 智慧管网”的探索与建设，并在管道智能监控感知威胁态势方面取得了实质性的突破。视频监控技术作为实现“智能管道 智慧管网”的重要技术手段也越来越受到社会各界的重视，同时在各个行业得到了广泛的应用。2010年，为了顺利、安全地举办世博会，上海市大规模增加监控网络的范围和密度，仅在浦东新区就建设了包含一万多个监控点位的高清监控系统；截至2011年，黑龙江投入8亿多建设资金用于监控系统建设，共建设近千个监控中心，二十多万个监控点；武汉市为推进“平安城市”建设，建设了覆盖跨江大桥、主干道和主城区城道口等重点部位的监控系统。

视频监控系统的发展主要分为以下三个阶段：

第一阶段：以模拟摄像机及模拟录像机为主的模拟视频监控系统，这种监控系统多是以摄像机、录像机、分割器为核心，通过模拟信号输出视频，传输距离短，图像质量差，目前已逐步退出市场。

第二阶段：基于模拟摄像机和数字录像机的视频监控系统，采用模拟信号传输视频，数字方式处理与贮存，属于过渡阶段。

第三阶段：基于网络摄像机的全数字视频监控系统，以数字方式传输视频，传输距离长，图像质量好，目前正得到广泛应用。

以上三代视频监控系统，主要解决视频捕捉、传输、存储等问题，并不具备视频职能分析的功能，真正起到安全防范的作用则需要人为观察视频从而做出安全评估。一种方法是实时观看，建设一个监控中心，将监控点所有的视频流导入监控中心，同时配备多块显示屏来播放视频画面，由工作人员通过观看屏幕上的监控点的视频，事后进行调阅，本质上还是以人观看的方式来查找感兴趣的信息。

然而人工监控具有本身固有的缺陷，例如：消耗大量人力、易使人产生疲劳、可扩展差等等。尤其随着“智能管道 智慧管网”监控系统规模不断扩大，面对数以万计的监控点和海量视频数据，以人工为核心的监控系统越来越无法满足需求。如何解决人工监测带来的种种问题，加强监控系统的事前预警和事后的检索，成为当前摆在“智能管道 智慧管网”发展前的重要问题。

监控界提出了智能视频监控(Intelligent Video Surveillance, IVS)的概念。智能监控即使用计算机强大的计算能力以及图像分析技术对传统的监控视频进行处理、分析和理解，过滤无用信息。目 前智能视频监控在计算机视觉领域中备受关注。

相比于传统监控系统，智能监控系统具有以下优势：

1. 全天候的监控能力：使用计算机代替人来监控视频画面，实现对监控画面的不间断分析，彻底改变以往由监控人员对监控画面进行监视和分析的方式。
2. 快速的响应能力：通过设置某些可疑行为的识别规则，在其发生危害之前通知相关人员采取相应措施，为潜在威胁做好准备工作。
3. 扩展视频资源的应用领域：传统视频监控系统只能获取单一的视频数据，而智能监控系统可以提取视频中的各种信息，为其他应用提供支持。

随着“智能管道 智慧管网”监控系统规模的不断扩大，面向大规模监控系统的视频计算对智能监控系统提出了新的挑战：

1. 数据传输瓶颈。监控视频流数据量大，需要较高的网络带宽，如何解决数据传输瓶颈，将视频导入计算分析平台，是智能监控系统需要解决的首要问题；
2. 计算能力不足。图像分析算法是计算密集型的工作，需要消耗大量的计算资源，如何保证充足的计算资源也是亟待解决的问题；

本文针对以上两个问题进行研究，有利于实现智能监控，推进“智能管道 智慧管网”建设， 对公共安全、社会稳定等具有重要意义。

# 国内外发展研究现状

基于边缘计算的智能城市实时监控视频分析目前引起了从业者和研究人员的广泛关注，大量的视频数据被提交到互联网。根据原始视频内容，如何删除冗余视频帧、正确分割视频序列并减少不必要的计算资源消耗是一项具有挑战性的工作。X. Zhang等人提出了一种检测和定位具有运动场形状的视频异常的方法，S. Ding等人利用改进的 Harris-Laplace 时空兴趣点从大视频中识别有趣的片段，然后从中选择关键帧。时空兴趣点可以准确地附着在检测到的目标周围，兴趣区域构建算法可以快速准确地定位包含目标的候选区域。由于图像分类和目标识别的巨大成功，特别是视频监控、目标计数和目标检测，深度学习受到了广泛关注。相比之下，Y. Fang等人提出了空间和时间特征图的计算，然后检测视频显著性。由于资源限制（能源消耗、计算和内存），在智能终端设备上部署这些具有低延迟要求的大型、强大的视频任务仍然是一个挑战。因此，考虑将这些计算任务转移到更强大的边缘服务器或云。然而，云计算模型不适用于需要短期执行的边缘服务，因为将任务卸载到云中心增加了网络往返传输延迟，应用服务请求不会很快得到响应，但是充分利用云中强大的计算和内存资源将减少总响应时间。由于边缘节点和边缘服务器离用户近，可以快速响应用户请求，成为首选的帮手。在边缘服务器上运行计算密集型任务时，需要对多个终端设备资源进行有效管理。目标是平衡精度、能耗、延迟和负载平衡的性能参数。 VideoStorm引入了这些权衡，以在满足准确性和延迟目标的前提下为每个请求选择正确的配置。例如，在 Chameleon中，配置在流视频输入期间在线更新。然而，基于任务划分的不同模型分割点会导致不同的计算延迟。因此，有必要选择合理的切割策略，以最大限度地发挥端边甚至云协同的优势。在将任务卸载到边缘服务器时，我们可以在边缘进行数据预处理，减少冗余、带宽、延迟和对云中心的依赖，同时提高视频分析的效率。为了减少带宽消耗，有学者提出了端边云协同架构和模型压缩，以消除不同环境下的数据传输。例如M. Song等人提出只有从边缘设备推断出的数据传输到云端进行再训练，以减少数据传输，建议在不影响精度的情况下去除冗余数据以减少数据传输。Glimpse 将所有 DL 计算任务迁移到最近的边缘服务器，同时使用更新检测来删除应该卸载的相机帧。如果检测没有变化，将在本地进行帧跟踪。这种过滤增强了系统的处理能力并使移动设备上的实时目标检测成为可能。Vigil提出了一种分布式架构，它巧妙地利用边缘和云之间的处理任务来减少视频监控中的带宽消耗。类似地，VideoEdge提出了边缘和云的分层架构来处理摄像机流，以便在多个目标和约束之间实现更好的权衡，公平地分配资源。我们在智能视频检测系统中提出了一种支持边缘计算的时序建模方法，该算法能够执行视频动作检测与预测。

# 课题需求分析

在视频监控的背景下，存在大量的摄像机对视频流进行实时信息采集，并将视频数据发送到后台，由人工对视屏信息进行实时排查，一旦发现异常情况，需要安排特定人员到现场进行喊话。这不仅浪费了大量的人力成本，而且针对实时的人工监控，存在着盲区多、耗时久、隐性问题大等问题，为工程实施带来了极大不便。

同时，如果采用基于云计算的视频处理方式，视频信息的传输会为骨干区域带来巨大的数据传输负担；将视频数据发送到云计算服务器的过程中存在一定的延迟；在公共网络中的传输，监控系统所产生的视频数据在从边缘端到云端的传输过程中也存在着大量的安全隐患。针对于云计算网络带宽不足、延迟性高及安全和隐私保护性不足的问题，智能边缘计算可以在更靠近数据的源头进行计算，以更贴近用户的方式将部分云计算提供的服务迁移至边缘设备，在边缘端进行计算和分析处理，其与云计算相结合发挥了巨大作用。

在多场景中，要求利用智能边缘计算，起到边缘化效果，即监控系统基于边缘计算，在智能处理部件内部进行智能边缘计算；起到实时性效果，即监控系统可以从摄像头采集视频，实时对视频内容进行智能分析；起到安全性效果，即无需将数据传至云端以防止一定的数据泄露。具体需求包括：

#（1）打破数据传输瓶颈：传统云架构搭建网络需要将海量视频数据进行统一存储和处理，因此对大量视频数据进行传输的过程中，往往存在宽带不足现象。而边缘计算技术可以在临近视频数据的网络边缘，就近为边缘端用户提供智能服务，解决大量视频流数据传输问题。

（2）智能视频分析功能：在传统的视频监控系统基础上，扩展基于深度学习的智能识别检测和特征提取单元，并将该边缘设备作为独立的智能视频分析模块，对视频数据信息进行行为预测。在视频检测的不同场景结构中，如果存在异常情况，边缘设备立即发出智能通报禁止现场人员继续执行相关活动。

#（3）增强的边缘计算能力：云端服务器虽然拥有强大的处理能力，但是面对海量的数据信息，所需消耗的大量资源有时无法满足对应需求。因此，边缘计算将云的框架移植到边缘上，使边缘节点拥有较强的计算能力，其运算既可以在大型运算设备内完成，也可以在中小型运算设备或本地端网络内完成，增强的计算能力可以进一步满足视频数据处理的需求。

#（4）健壮的边缘计算功能：智能视频监控系统中的每台摄像机至少能够到达两台及以上智能边缘计算节点。正常情况下，根据优先级选择最优的边缘节点进行计算；如果发生应急情况时，能及时切换到非最优边缘节点，利用冗余性来保证边缘节点的健壮性。

（5）边缘计算节点的信息共享和管理：在不同的场景结构中，对采用时序动作检测技术所训练的最优模型参数进行存储，共享给其他智能边缘计算节点；边缘计算模型分散式的在边缘节点对视频信息进行预处理和存储数据，以构建容器化的资源调度平台，实现网络带宽资源的调度控制。

# 解决方案