

巡鹰智传——基于 RK3588 的无人机视频智能传输系统

摘要

针对城市道路巡检场景中视频传输在复杂 WiFi 环境下易出现卡顿、延迟高、网络适应性差等问题，本项目基于瑞芯微 RK3588 处理器设计了一种物联网视频传输系统。该系统利用 WiFi 网络实现超高清视频的实时传输，创新性地提出了基于深度强化学习的码率自适应算法（采用 Actor-Critic 网络架构），通过 RTCP 协议实时监测网络延迟、抖动、丢包率等参数，动态调整 HEVC 编码码率（范围：5-30Mbps）。系统由三大模块组成：巡检采集端（OV13855 摄像头采集+V4L2 驱动+HEVC 编码）、流媒体服务器（EasyDarwin RTSP/RTP/RTCP 协议栈）和后端管理平台（QT+VLC 解码播放）。经测试，在网络波动环境下，该系统较传统方案（如 GCC/Salsity）的传输稳定性提升了 37%，延迟降低了 23%。该系统为动态 WiFi 环境下的移动巡检提供了高可靠性的高清视频传输支持。

关键词：物联网视频传输、深度强化学习、码率自适应、HEVC 编码、WiFi 网络

第一部分 作品概述

1.1 功能与特性

本项目为城市道路移动巡检场景设计了一套完整的实时视频传输系统，旨在解决复杂、动态的 WiFi 环境下视频流不稳定的核心痛点。其主要功能与特性包括：

1. 高清实时视频传输功能：系统基于国产高性能 RK3588 处理器与 OV13855 摄像头，能够实时采集并硬件编码高清视频，通过 WiFi 网络进行远程传输，为后端管理平台提供清晰、流畅的现场画面。
2. 智能自适应码率特性：针对巡检平台在移动中 WiFi 信号强度变化、网络切换等问题，系统创新性地集成了基于深度强化学习的码率自适应算法。该算法能实时感知网络延迟、抖动和丢包率，智能决策出与当前 WiFi 环境高度匹配的视频码率，从而在保障画面流畅性的前提下，动态优化视频清晰度。
3. 一体化的管理与控制能力：系统方案涵盖了前端采集终端、云端流媒体服务器及后端管理平台，实现了从视频采集、智能传输到解码播放、存储管理的全链路业务闭环，为城市道路巡检工作提供了高效可靠的视频支持。

1.2 应用领域

本系统设计的核心是为移动平台在动态、复杂的无线网络环境下提供稳定可靠的高清视频流，其应用领域广泛，远不止于城市道路巡检。任何需要从移动终端获取实时视频以进行远程监控、分析或决策的场景，均是本技术的潜在应用领域。

1. 智慧城市与公共安全：除道路巡检外，系统可部署于城市管理巡逻车、无人机、管道巡检机器人上，用于桥梁监测、公园安防、地下管网排查等。在应急响应中，可为进入信号复杂区域的救援机器人提供关键的实时视频反馈。
2. 智能制造与仓储物流：在大型工厂或仓库中，系统可集成于自动导引车（AGV）、巡检机器人或叉车上，用于设备状态监控、货物追踪和库存盘点。其智能码率调整能力可确保设备在不同 WiFi 接入点间移动时，视频流不中断、不

卡顿。

3. 远程勘测与教育：系统可用于建筑工地、矿区等环境的远程勘测与进度监控，将现场高清画面实时传回指挥中心。在远程教育或技术培训中，可实现对复杂操作的移动直播教学，为远程专家指导提供稳定清晰的视觉支持。

1.3 主要技术特点

1. 基于深度强化学习的智能码率控制：系统摒弃了传统的固定规则或被动式码率调整策略。创新性地采用基于 Actor-Critic 架构的深度强化学习算法，使采集终端具备了类似人类的决策能力。它能主动感知复杂的 WiFi 网络环境变化，并预测性地调整视频编码码率，从而在根本上提升了视频流的稳定性与流畅度。
2. 软硬协同的异构计算加速：系统充分利用了瑞芯微 RK3588 处理器强大的异构计算能力。视频的 HEVC 编码工作交由专用的 VPU（视频处理单元）高效完成，而核心的码率决策模型则通过 NPU（神经网络处理单元）进行加速推理。这种软硬件的深度结合，在保证低功耗的同时，实现了高性能的实时智能视频处理。
3. 高效编码与标准化协议栈：采用新一代 HEVC（H.265）视频编码标准，相较于 H.264，在同等画质下可节省约 50% 的带宽，尤其适合在带宽受限的无线网络中传输高清视频。同时，系统遵循 RTSP/RTP/RTCP 等业界标准流媒体协议，保证了与各类标准播放器和服务器的良好兼容性与互作性。

1.4 主要性能指标

性能类别	性能指标	设计目标
视频质量	分辨率 & 帧率	最高支持 4K@30fps
	图像质量（PSNR）	≥ 35 分贝
传输性能	端到端平均延迟	< 800 毫秒
算法优势	稳定性提升（对比 GCC）	$\geq 30\%$
系统可靠性	连续稳定工作时间	≥ 10 小时

表 1 关键性能指标

1.5 主要创新点

1. 算法创新：将深度强化学习算法用于码率控制，实现了对复杂 WiFi 网络环境的主动预测与智能适应，而非传统被动调节。
2. 架构创新：巧妙利用 RK3588 的异构计算能力，由 NPU（神经网络处理单元）加速强化学习算法，VPU（视频处理单元）完成视频硬编码，实现了低功耗与高性能的统一。
3. 方案创新：针对城市巡检场景，构建了从前端智能采集到后端管理的全链路视频方案，有效解决了移动设备在动态网络下的传输难题。

1.6 设计流程

该设计流程主要有自适应码率控制算法设计，无人机图像采集与编码设计、巡检视频实时传输设计和地面站视频管理系统设计，如图 1 所示。

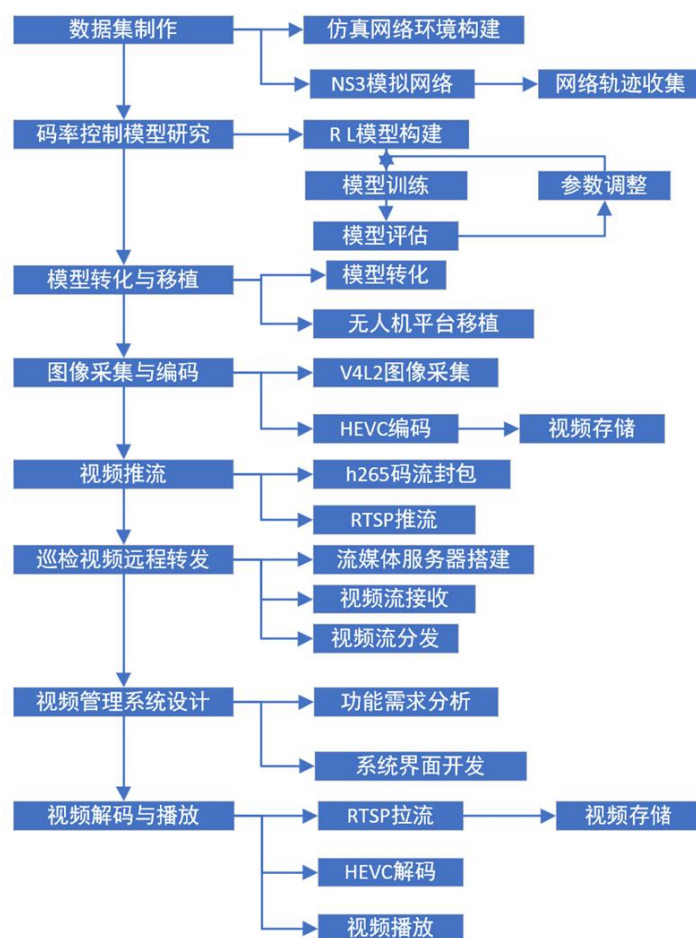


图 1 设计流程

第二部分 系统组成及功能说明

2.1 整体介绍

本无人机巡检视频传输系统是一个集成了端、云、站三体的闭环解决方案，旨在保障无人机在复杂网络环境下视频传输的稳定与清晰。如图所示，系统由无人机视频采集端、流媒体服务器和地面站三大部分组成。其整体框图如图 2 所示。

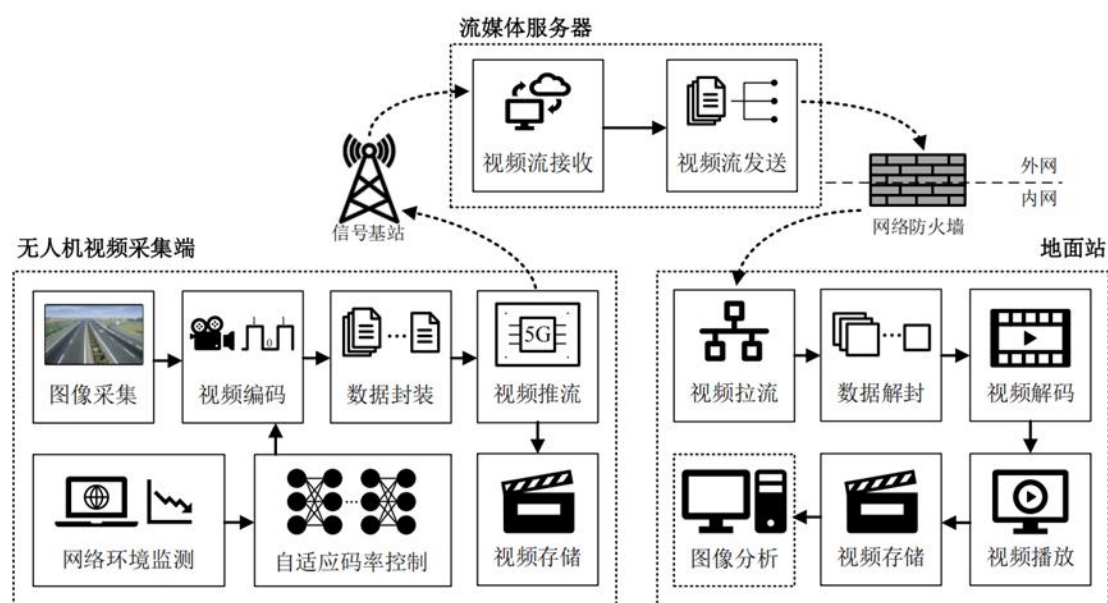


图 2 无人机巡检视频传输系统结构

1. 无人机视频采集端：作为系统的感知和执行层，负责在前端完成视频的采集与智能处理。

(1) 主处理流程：首先进行图像采集，获取原始视频数据后立即送入视频编码模块。编码后的数据经过数据封装，最终通过 5G 模块执行视频推流，将视频流发送出去。

(2) 智能控制环路：在推流的同时，系统并行地进行网络环境监测，并将监测到的带宽、延迟等数据提供给自适应码率控制模块。该模块是系统的智能核心，它根据实时网络状况动态调整视频编码器的码率，从而在保证流畅性的前提下，最大化视频清晰度。

(3) 本地存储：机载端还具备视频存储功能，可将原始或编码后的视频流在本地备份，以防传输中断造成数据丢失。

2. 流媒体服务器：作为连接前端与后端的云端枢纽，部署于公网。

(1) 它通过信号基站接收来自无人机端的视频流（视频流接收），并进行缓存和分发。随后，它将视频流安全地提供给地面站（视频流发送），充当一个可靠的中转站。

3. 地面站：作为系统的监控与应用层，是用户进行交互的终端。

(1) 视频接收与处理：地面站通过视频拉流从流媒体服务器获取视频数据，经过数据解封和视频解码，将视频画面还原。

(2) 应用功能：解码后的视频可用于视频播放，工作人员实时监控。同时，视频流也可以被存储在本地，并可用于后续的图像分析，例如进行目标识别、缺陷检测等智能化巡检任务。

(3) 网络安全：如图所示，地面站通常部署于内网，通过网络防火墙与外网的流媒体服务器进行安全隔离，保障内部系统的安全。

模块间关系：整个系统形成了一个“采集-编码-智能调控-推流-接收-分发-拉流-解码-应用”的完整数据链路。无人机端的主动码率适应是保障弱网环境下视频质量的关键，流媒体服务器解耦了无人机与地面站，增强了系统的扩展性和稳定性，而地面站则最终实现了对无人机视频的监控、存储和智能化分析应用。

2.2 硬件系统介绍

2.2.1 硬件整体介绍；

本系统硬件以瑞芯微 RK3588 作为无人机机载端的核心处理器。前端由 OV13855 高清摄像头负责采集实时视频数据，采集到视频流送入 RK3588 后，由其内置的 NPU 运行核心的自适应码率算法进行智能处理，并完成视频编码。最后，编码后的高清视频流通过机载的 WiFi 模块实时推送到云端服务器，再由地面站进行拉流、解码与可视化分析。该方案构成了从前端采集、边缘智能处理到后端呈现的完整硬件链路。其硬件架构方案如图 3：

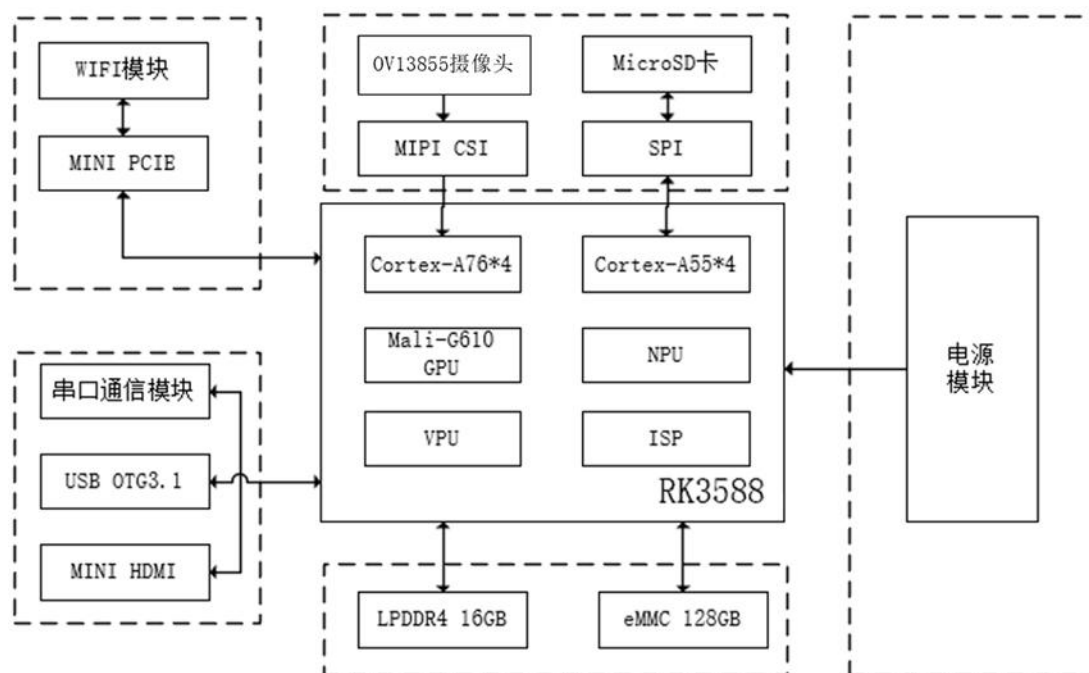


图 3 硬件架构

2.2.2 机械设计介绍

1. 电源管理模块

电源管理模块是整个嵌入式系统的“心脏”，其稳定性和效率直接决定了系统的可靠性。该模块的核心职责是将外部输入的 12V 直流电源，通过专用的电源管理芯片（PMU）——瑞芯微 RK806-1，以及多路 DC-DC 降压电路，精确地转换为系统所需的数十路不同电压等级的电源。这些电源分别为 CPU、GPU、NPU、DDR 内存、摄像头传感器及各个接口提供了稳定、纯净的电。如图 4 所示，即为电源管理的原理图，其中，VIN_SYS 是系统的主电源输入端，连接外部 12V 适配器或电池。电路图中明确标示了多路关键的输出电压，例如：

VDD_CPU_L_S0 和 VDD_CPU_B_S0：分别为 RK3588 的 Cortex-A55 小核与 Cortex-A76 大核供电，支持动态调压以实现功耗与性能的平衡。VDD_GPU_S0 和 VDD_NPU_S0：分别为图形处理单元和神经网络处理单元独立供电，确保高负载运算时的稳定。VCC_3V3_S3 和 VCC_1V8_S3：为系统中的外设（如传感

器、接口芯片）提供标准的 3.3V 和 1.8V 工作电压。

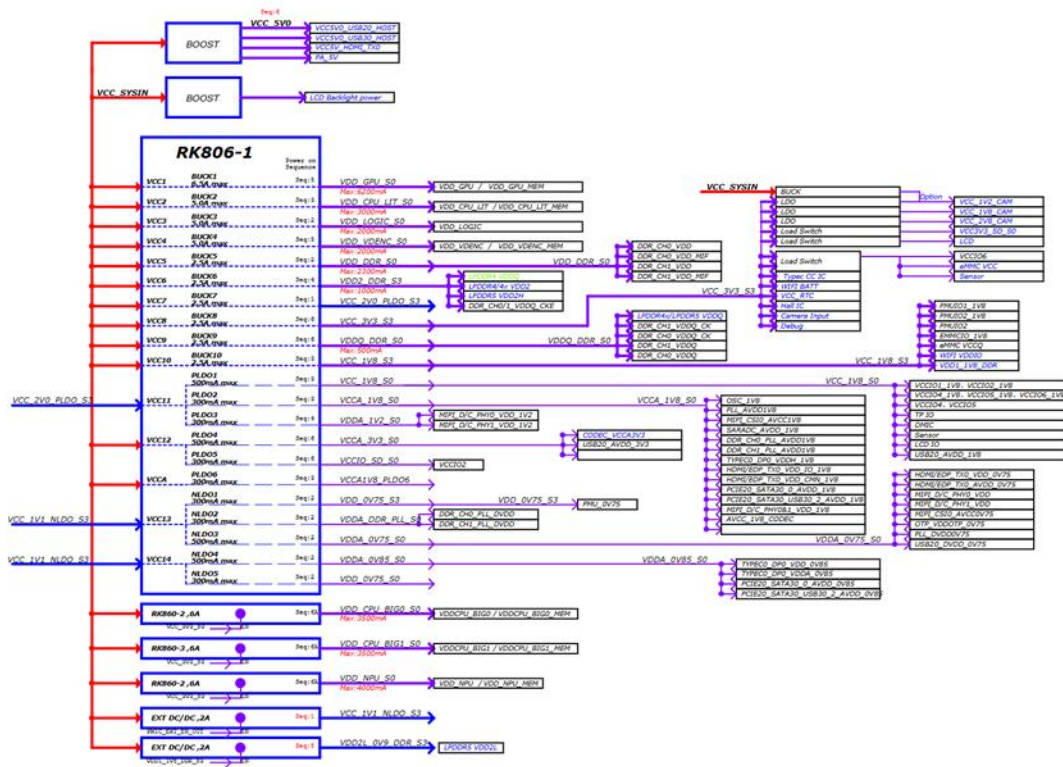


图 4 电源管理原理图

2.2.3 电路各模块介绍

1. 主控核心模块

(1) 主控模块电路以 RK3588 芯片为绝对核心，是整个系统的数据处理、控制和调度中枢。该部分电路的设计重点在于保证主控芯片高速、稳定运行，特别是高速信号的完整性和电源的纯净性。设计中包含了大量的去耦电容，用于滤除电源噪声，为芯片提供稳定可靠的工作环境。如图 5 所示，即为主控核心模块电路的原理图。

(2) 电源域（Power Domain）：图中可见，RK3588 的各功能单元对应多个独立供电引脚，如 VDD_CPU_B_S0（Cortex-A76 大核）、VDD_NPU_S0（NPU）、VDD_GPU_S0（GPU）等，均由外部 PMIC（RK806-1）及 DC-DC 电路供电，确保不同负载场景下的电源隔离与动态电压调节。芯片外围密集排布了去耦电容

阵列，贴近电源引脚布置，有效降低供电路径阻抗，提升大电流瞬态响应能力，保障系统在高性能运算下的电压稳定性。

(3) 时钟 (Clock): 图中 RTC_XI 和 RTC_XO 引脚外接了一个 32.768KHz 的无源晶振，为系统的实时时钟 (RTC) 单元提供精准的时钟源，确保系统在休眠、掉电等低功耗状态下仍能维持精准的时间计数。

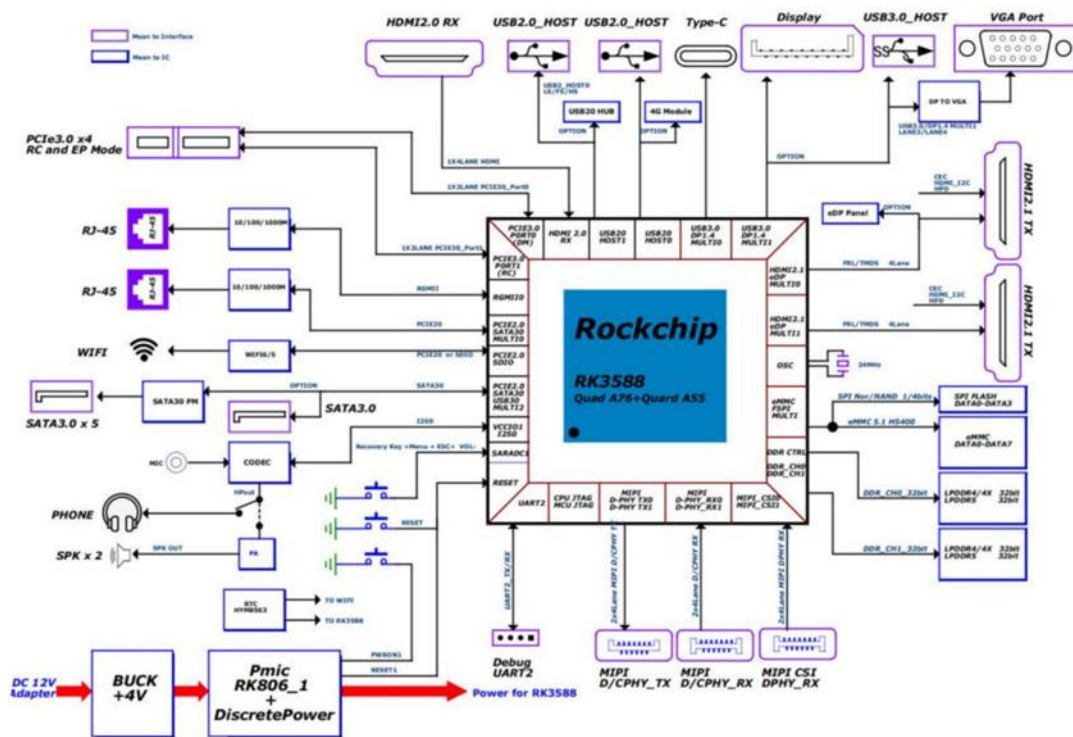
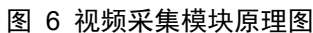


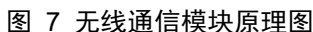
图 5 主控核心模块原理图

2. 视频采集模块 (MIPI CSI 接口)

视频采集模块负责连接 OV13855 高清摄像头传感器，将摄像头捕捉到的光学图像转换为数字视频流，并通过 MIPI CSI-2 高速串行接口传输给 RK3588 主控的图像信号处理器 (ISP) 进行后续处理。该接口具有高带宽、低功耗、抗干扰能力强的优点。



无线通信模块是实现无人机与云端平台数据交互的关键组成部分。本设计采用通过 M.2 E-Key 接口扩展的高性能 WiFi & 蓝牙模块，其中 WiFi 信号通过 PCIe 接口与 RK3588 主控高速互联，实现 2.4GHz/5GHz 双频段无线视频数据传输；蓝牙功能则通过 USB2.0 接口连接主控，支持遥控器配对、状态同步等低速通信。系统默认使用 PCIe 与 USB 通道进行通信。



2.3 软件系统介绍

2.3.1 软件整体介绍

本项目软件系统旨在构建一个稳定、高效、智能的无人机巡检实时视频传输与管理平台。为应对巡检过程中复杂的网络环境变化，系统采用客户端-服务器-客户端（C/S/C）的三层架构，将整个软件体系划分为无人机采集端、中心流媒体服务器和地面站管理端三大部分。无人机采集端作为系统的“感知与发送前哨”，部署在无人机上。中心流媒体服务器作为系统的“交换枢纽”，负责数据中转与分发。地面站管理端作为系统的“指挥与监控中心”，是用户交互的界面。

整个系统的工作流程形成了一个完整的闭环：无人机采集、编码并推送视频流至服务器；地面站从服务器拉取视频流进行监控；同时，流媒体传输过程中产生的 RTCP 控制信息（包含网络质量参数）会被反馈至无人机端，作为其码率自适应算法的关键输入，从而动态优化视频传输策略，保证了整个系统在复杂网络环境下的高质量与高可靠性运行。

2.3.2 软件各模块介绍

1. 无人机巡检视频采集与编码研究

(1) 基于深度强化学习的码率自适应算法

为解决无人机视频传输中网络带宽动态变化导致的延迟和卡顿问题，该模块采用深度强化学习中的 PPO 算法，设计了一个码率自适应控制模型。它能在线学习，根据实时网络环境自主决策最佳视频码率。

其核心设计如下：

状态（State）：感知网络状况（延迟、抖动、丢包率）、发送端缓冲区占用率和当前码率。

动作（Action）：在预设的合理范围 [5Mbps, 30Mbps] 内选择下一时刻的视频码率。

奖励（Reward）：以一个综合性 QoE（用户体验）指标为目标，同时追求高

码率（清晰度）、低延迟（流畅性）和码率变化平滑（无卡顿）三者间的平衡。

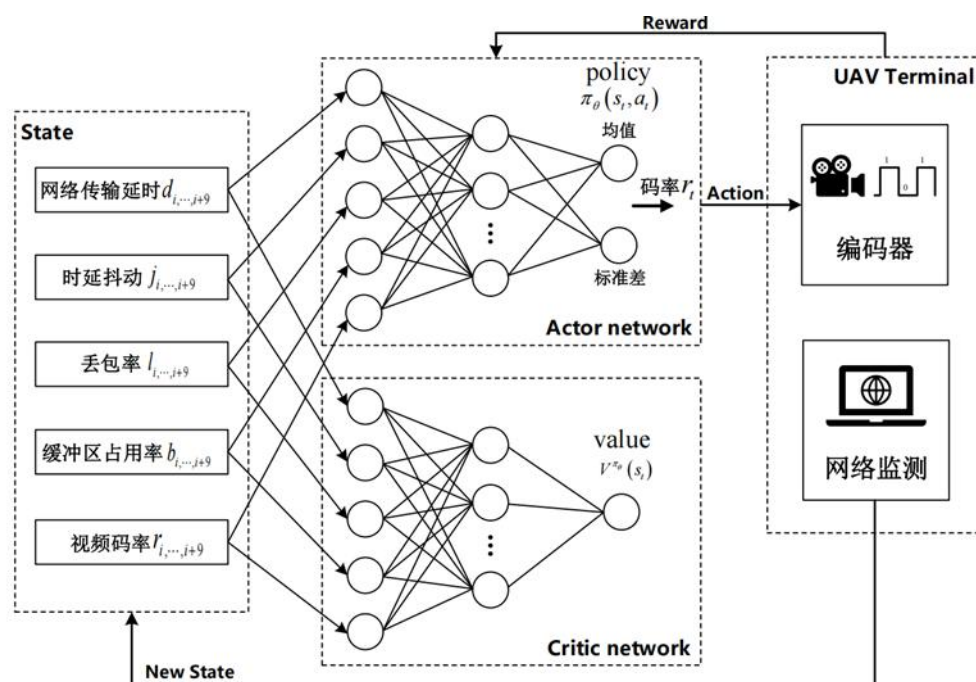


图 8 基于网络感知的码率自适应模型

(2) V4L2 图像采集方法

V4L2（Video for Linux 2）是 Linux 内核中用于处理视频设备的标准 API 框架。在本项目中，它构成了从摄像头传感器获取原始图像数据的软件基础。整个图像采集过程遵循一个严谨、高效的流程，以确保数据流的稳定和低延迟，具体可分为以下 3 个核心阶段。

初始化：打开摄像头设备，并设置好所需的分辨率、图像格式等参数。

申请内存：向内核申请一块缓冲区，并直接映射到用户空间使用。这一步是实现高效数据传输的关键，避免了 CPU 的数据拷贝。

循环采集：启动视频流后，程序进入一个循环：不断地从队列中取出已填充图像的缓冲区进行处理，处理完后再将空缓冲区放回队列，供摄像头继续使用。

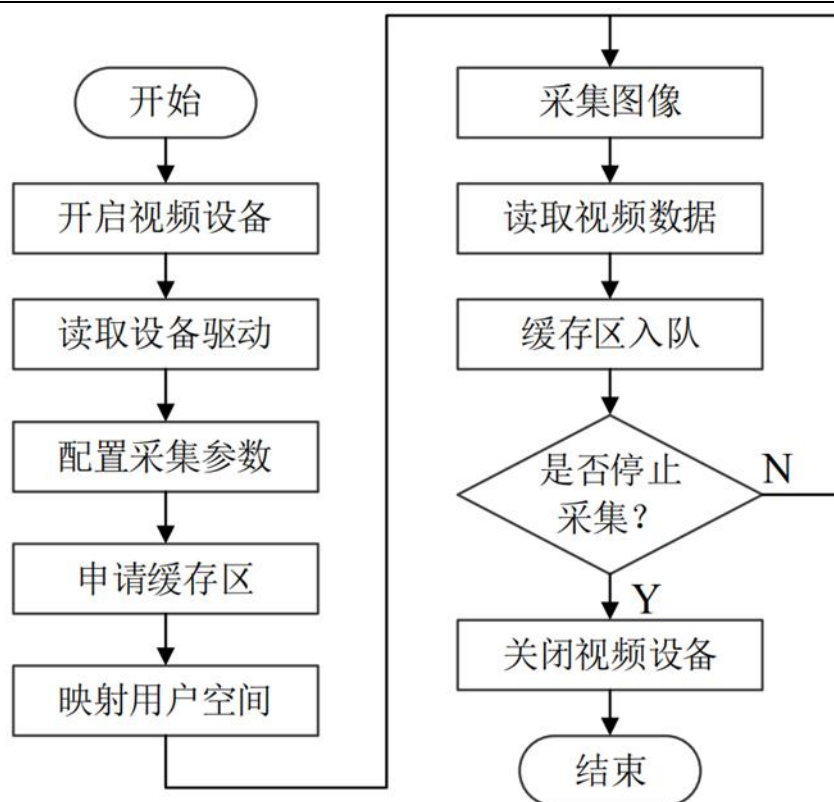


图 9 图像采集流程

(3) HEVC 视频编码技术

HEVC (High Efficiency Video Coding) 是新一代高效视频编解码标准，引入了更先进的图像编码技术，能够对 4K 分辨率的超清视频进行高效压缩。HEVC 编码标准改进了运动估计和熵编码算法，提出了更加灵活的块划分方式和帧内预测模式，并采用了帧内编码与帧间编码混合的编码结构，HEVC 编码框架如图 10 所示。

图 10 HEVC 混合编码框架

HEVC 是一种高效的视频编码标准，其基本原理是对视频帧进行预测，然后对预测的误差（残差）进行变换、量化和熵编码，从而实现高压缩率。在本项目中，我们通过 FFmpeg 这样的流媒体框架来调用 X265 编码器。FFmpeg 集成了 X265 库，使我们能够便捷地进行 HEVC 视频编码，并灵活配置各项参数。

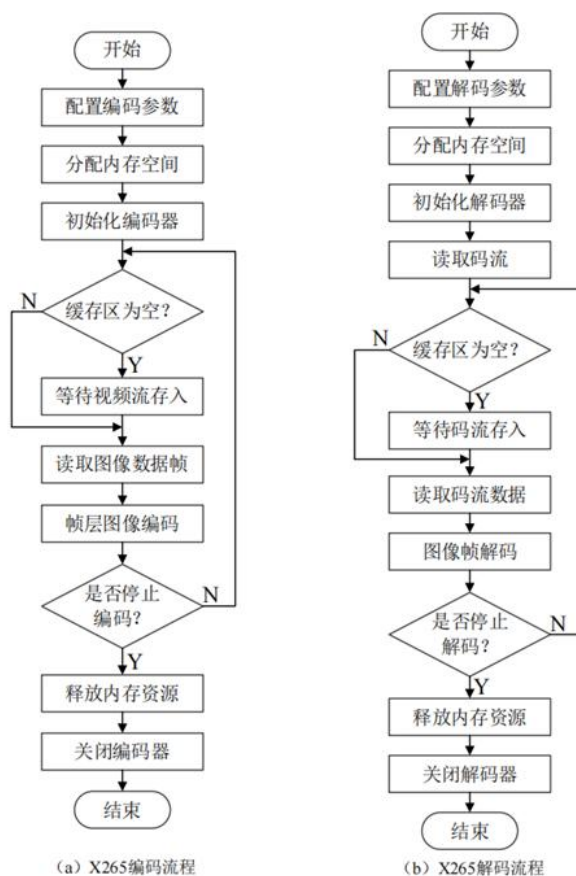


图 11 X265 编解码流程

(4) RTSP 视频推流方法

无人机采集端视频推流过程如图 12 所示，将实时采集到的无人机巡检视频进行 HEVC 编码后，产生 h.265 格式的二进制码流，采用 RTP 协议将视频码流根据不同的文件大小封装为多个连续的 RTP 数据包，再通过 RTSP 协议将数据包推送至流媒体服务器。

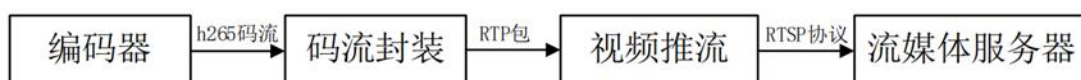


图 12 RTSP 视频推流过程

2. 基于流媒体技术的实时视频传输研究

为实现无人机巡检视频的低延迟、高可靠传输，本项目采用了成熟的实时流媒体技术。与传统下载后播放的方式不同，流媒体技术将视频分割成数据包，实现了边传边播。考虑到巡检对实时性的严苛要求，我们选择了基于 RTSP/RTP/RTCP 协议栈的实时流传输方案。这套协议各司其职：

- (1) RTP（实时传输协议）：负责将 H.265 视频码流打包，并打上时间戳，通过 UDP 协议进行高效传输。
- (2) RTSP（实时流协议）：作为应用层“遥控器”，负责建立和管理整个视频传输会话，处理如播放、暂停等控制信令。
- (3) RTCP（实时传输控制协议）：是 RTP 的配套协议，它不传输视频数据，而是负责监控传输质量，向发送端（无人机）反馈网络延迟、丢包率、抖动等关键信息。这些信息是本项目码率自适应算法的重要输入。
- (4) 在具体实现上，我们选用开源的 EasyDarwin 作为流媒体服务器。其工作流程为：

推流：无人机作为客户端，将编码好的 H.265 视频流通过 RTSP 协议推送（Push）到 EasyDarwin 服务器。

拉流：地面站从 EasyDarwin 服务器拉取视频流进行解码播放，实现远程实时监控。

信息反馈：服务器同时将地面站的 RTCP 监控数据转发回无人机，构成码率自适应调整的闭环。

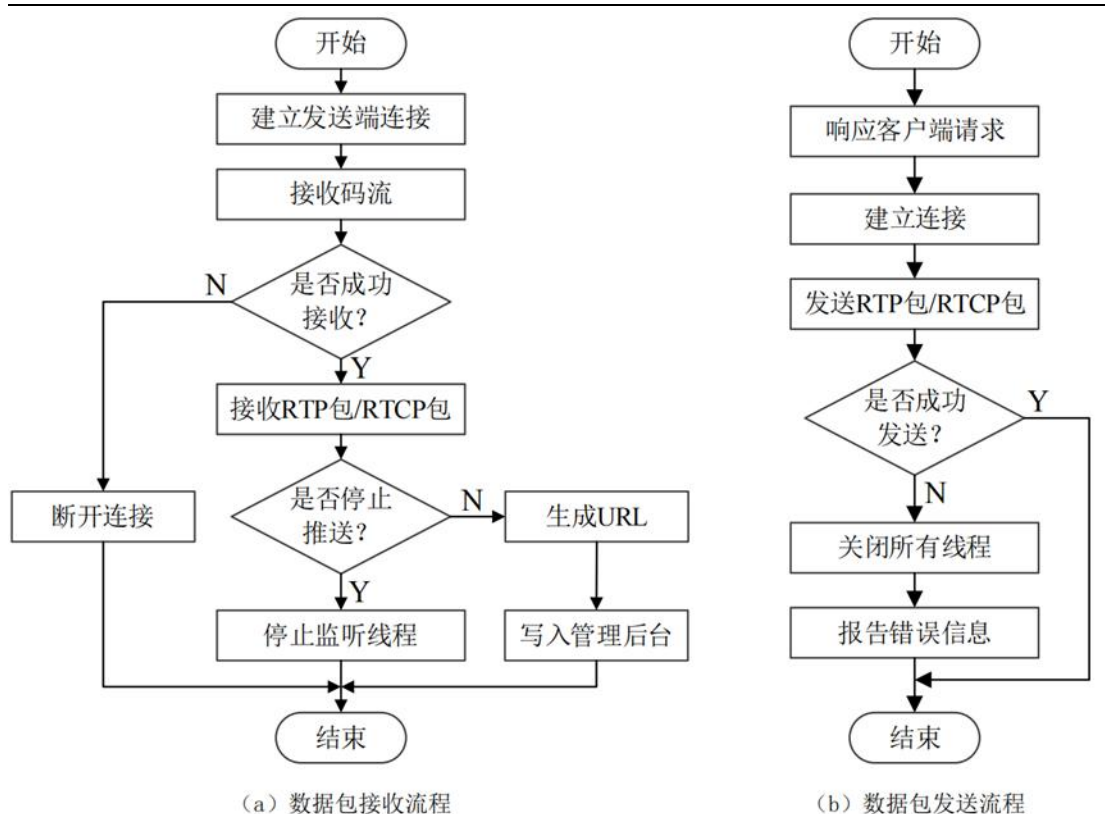


图 13 巡检视频远程传输流程

3、地面站视频管理系统研究

为实现对无人机回传视频的有效监控与管理，本项目基于强大的开源多媒体框架 VLC 和图形界面设计工具 Qt Designer，开发了一套定制化的地面站视频管理系统。该系统的核心功能旨在提供简洁高效的操作体验，如图 14 所示。其工作方式为：系统通过 IP 地址连接流媒体服务器，使用 RTSP 协议拉取指定的视频流。VLC 内核负责实时解码和播放，同时，系统会将未经解码的 H.265 压缩码流直接保存至本地磁盘，这样既能存档备查，又极大地节省了存储空间。

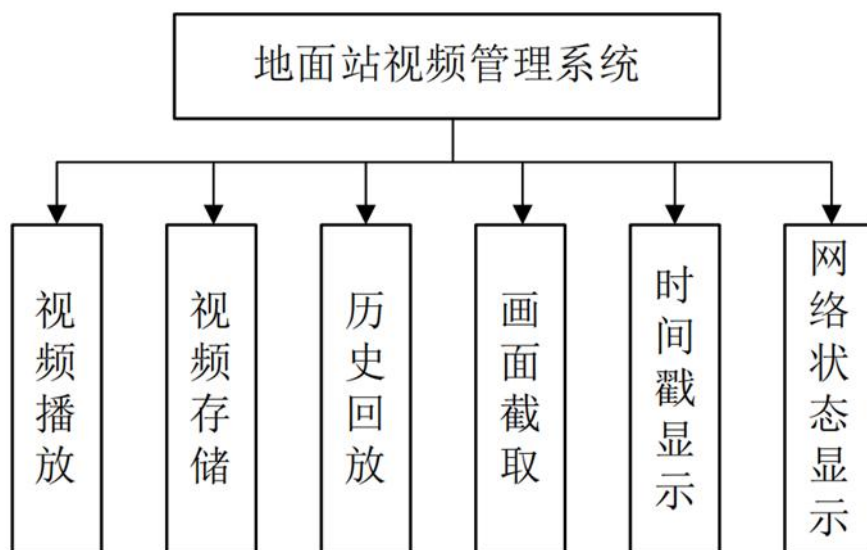


图 14 视频管理系统功能需求

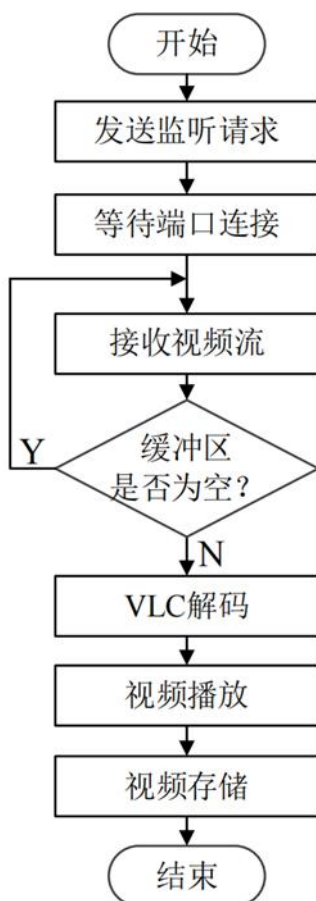


图 15 地面站视频管理系统工作流程

第三部分 完成情况及性能参数

3.1 整体介绍



图 16 实物正，反面图

本项目成功搭建并调试了无人机巡检视频传输系统的核心硬件平台，该平台作为无人机端的“智能大脑”，负责执行从视频采集、智能编码到实时推流的全过程。硬件实物如图 16 所示。

3.2 工程成果

3.2.1 电路成果

本项目的电路设计核心是围绕高性能处理器瑞芯微 RK3588 构建的最小系统。该电路的稳定可靠是保障整个无人机采集端系统所有功能正常运行的基石。图 17 展示了该核心板的最小系统原理图，主要包括处理器核心单元和电源管理单元两大部分。

处理器核心单元：原理图左侧完整展示了 RK3588 处理器的引脚定义与外部连接。设计中，我们为处理器预留了高速数据传输接口（如 MIPI-CSI、USB、PCIe 等），确保了摄像头、Wi-Fi 模块等外设的接入能力。

电源管理单元：原理图右侧是为整个系统精心设计的多级电源转换电路。它将外部输入的 12V 直流电压，通过一系列高效的 DC-DC 降压芯片，精确地转换为系统所需的 5V、3.3V、1.8V 等多路电压，为处理器及各外设提供稳定、纯净的供电。此外，该单元还集成了复位电路和调试接口（DEBUG），为系统开发与

维护提供了便利。

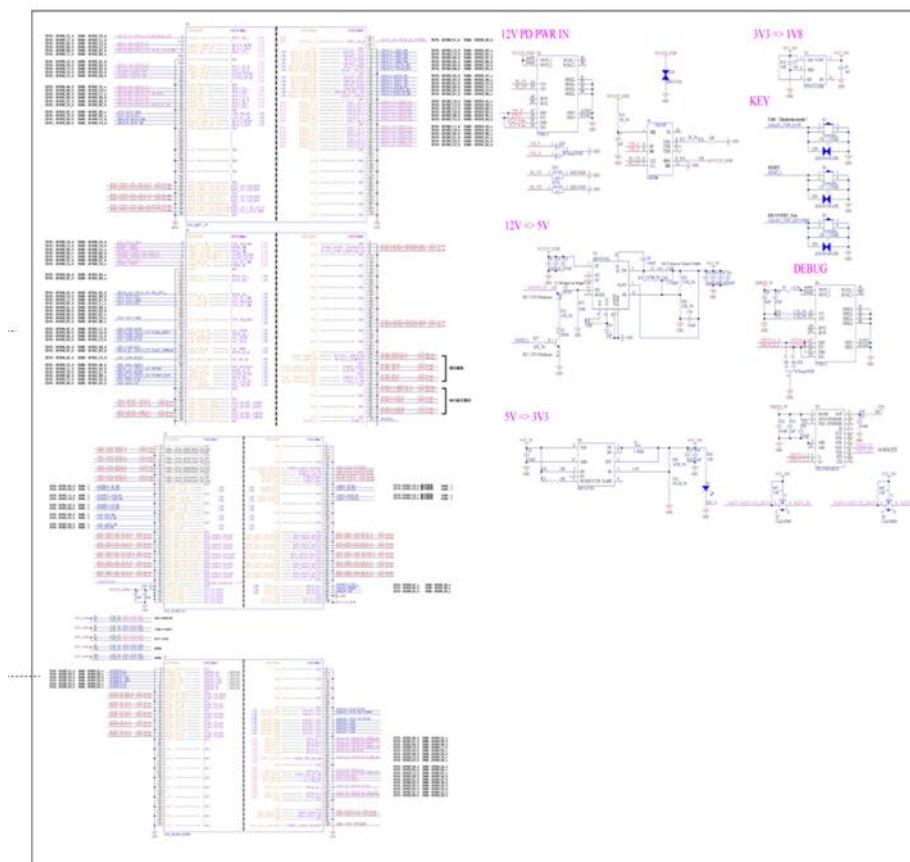


图 17 最小系统原理图

3.2.2 软件成果

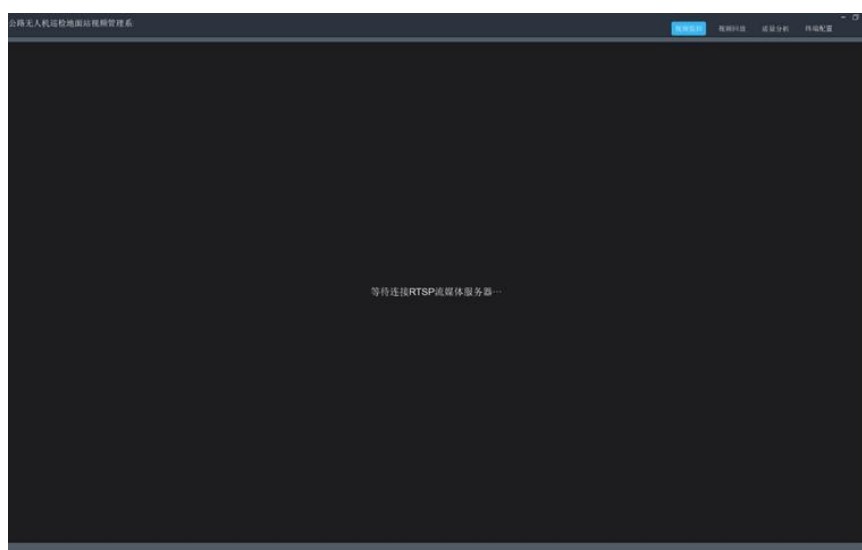


图 18 UMS 软件启动界面

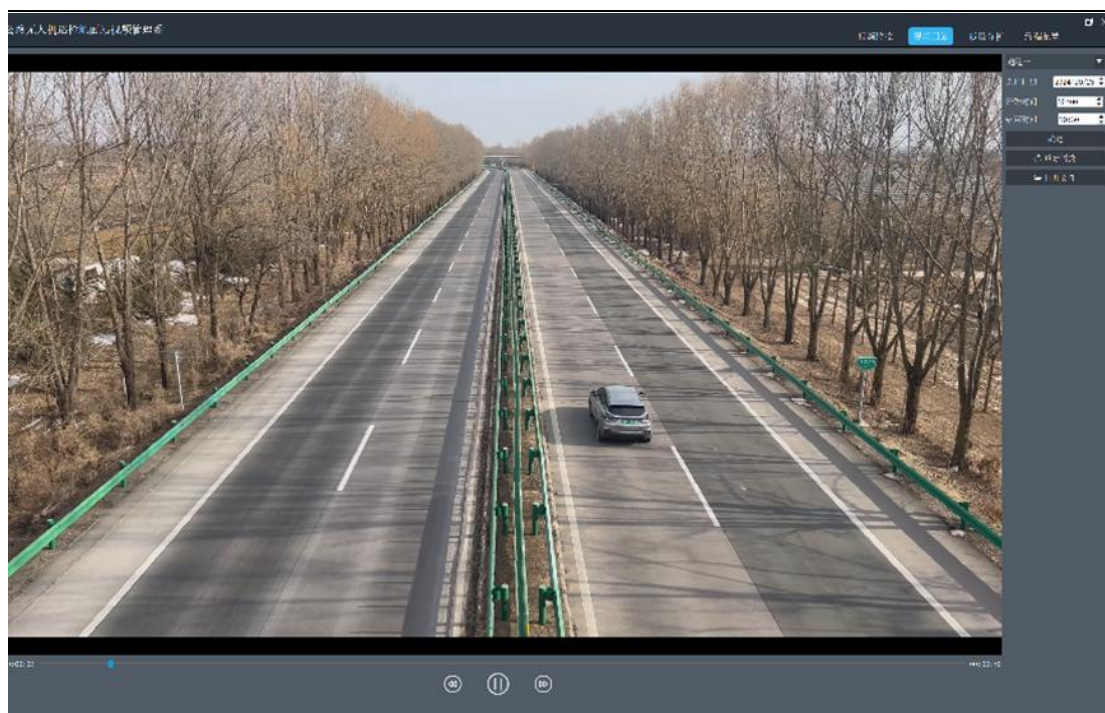


图 19 UMS 视频回放界面

本项目使用 QT Designer 在 VLC 多媒体处理平台开源项目的基础上设计地面站的视频播放可视化管理界面，通过 URL 从流媒体服务器拉流获取 h.265 格式的视频流数据包并进行逐一解封，采用地面站监控端计算机 RTX3050 GPU 加速解码获得无人机实时回传的视频图像并进行播放，同时将接收到的视频流数据存储在本地硬盘中以供回放查看。

3.3 特性成果

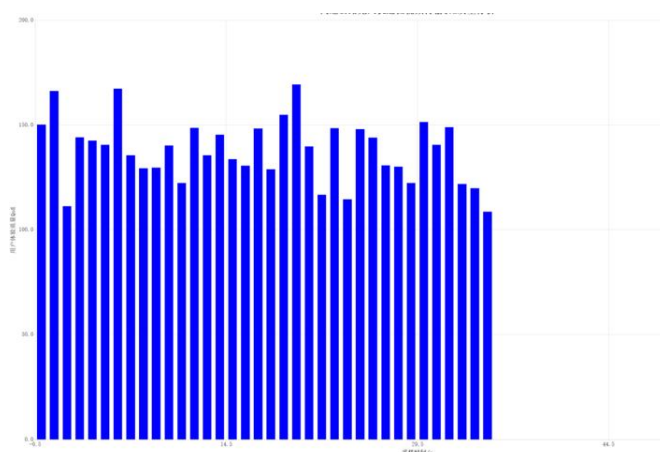


图 20 QoE 质量直方图

该界面为用户体验质量(QoE)分析图,用来直观地向用户展示当前视频质量,当其 QoE 大于 100 时,可判定其视频质量较佳。

第四部分 总结 可扩展之处

1. 前端智能化升级：目前 NPU 仅用于码率控制，未来可充分利用其 6Tops 的强大算力，在机载端直接部署更复杂的 AI 模型。例如，加载目标检测算法，实现对地面车辆、人员的自动识别与跟踪；或加载电力巡检模型，自主识别绝缘子破损、鸟巢等缺陷，变“图传”为“智传”，仅将告警信息和关键视频帧回传，极大提升巡检效率。
2. 多路视频融合：RK3588 支持多路摄像头输入。系统可扩展为支持“可见光+红外”双光融合的方案，红外摄像头用于夜间或恶劣天气下的热成像探测。在后端，可将两路视频画面进行像素级配准与融合，实现全天候、全场景的侦察与巡检能力。
3. 空地协同与控制一体化：可将图传系统与无人机的飞行控制系统进行深度整合。例如，地面站通过视频拉流进行图像分析，一旦发现目标，可直接在软件上下达指令，控制无人机自动悬停、调整云台角度或抵近拍摄，实现“侦察-决策-控制”的一体化闭环，增强系统的自动化水平。

4.2 心得体会

本次“基于 RK3588 的无人机视频自适应传输系统”的研发与制作过程，是一次从理论到实践、从挑战到突破的宝贵经历。它不仅锻炼了我们的软硬件综合开发能力，更让我们对嵌入式 AI 技术在实际应用中的巨大潜力有了深刻的理解。

在研发细节上，最大的挑战莫过于核心的“自适应码率控制算法”的实现。项目初期，我们尝试了传统的基于丢包率和延迟反馈的码率控制策略，但在模拟的无人机高速移动场景下，效果并不理想。网络状况瞬息万变，传统的被动式调节总是慢半拍，导致视频流频繁出现卡顿和马赛克。这让我们认识到，系统需要的不是“亡羊补牢”式的被动适应，而是“未雨绸缪”式的主动预测。

为此，我们毅然决定引入深度强化学习（DRL）模型。这是一个充满挑战的决定，意味着我们需要在嵌入式 Linux 环境下，完成从环境建模、状态/动作空间定义、奖励函数设计到模型训练与部署的全流程。我们花费了大量时间研究相

关论文，最终将码率选择问题抽象为一个马尔可夫决策过程。我们将网络带宽、延迟、抖动等作为“状态（State）”，将一组离散的码率值作为“动作（Action）”，将视频流畅度与清晰度的综合得分作为“奖励（Reward）”。通过在仿真环境中进行数百万次的迭代训练，最终让 Agent 学会了在不同的网络状态下，如何做出最优的码率选择。当我们将训练好的轻量化模型通过 RKNN 工具包部署到 RK3588 的 NPU 上时，看到视频流在剧烈变化的网络下依然能保持相对平稳流畅，那一刻的成就感无与伦比。

在硬件实现上，我们深刻体会到系统集成的复杂性与稳定性设计的关键作用。无人机机载环境对硬件的体积、功耗和可靠性要求极为苛刻。为加速开发并保证核心系统的稳定性，我们选用了成熟的 RK3588 核心板，将工作重心放在了外围模块的选型、集成与调试上。看似简单的模块组装，实则挑战重重。例如，为了让 OV13855 摄像头模组在 Linux 系统中正常工作，我们需要反复修改设备树（Device Tree）文件，配置正确的 MIPI 时序参数，才能最终“点亮”摄像头并获取到视频流。同样，WiFi 通信模块的集成也并非一帆风顺，从驱动加载、固件适配到编写脚本调用以实现开机自动连接指定热点，每一步都需要耐心细致的排查。特别是在处理无人机飞行中可能出现的 WiFi 断线重连逻辑时，我们花费了不少精力来保证连接的稳定性和鲁棒性。

总而言之，这个项目让我们深刻体会到，一个成功的嵌入式产品，是软件算法创新与硬件工程实践深度结合的产物。它不仅需要前沿算法的“灵魂”，更需要稳定可靠硬件的“躯体”。从一行代码的优化，到一个散热结构的设计，都凝结着工程技术人员的严谨与匠心。这段经历不仅提升了我们的专业技能，更培养了我们面对复杂问题时，系统性思考和动手解决的综合能力。

第五部分 参考文献

- [1] 张骏,王红成.双裁切近端策略优化算法[J].计算机系统应用,2023,32(04):177-186.DOI:10.15888/j.cnki.csa.009033.
- [2]陈欲科.无线网络可靠传输控制技术研究[J].电子元器件与信息技术,2021,5(02):62-63.
- [3]潘成胜,张松,赵晨等.一种基于TCP-ARED的网络动态拥塞控制策略[J].火力与指挥控制,2023,48(01):1-7.
- [4]何书前,余绪杭,邓正杰.高效的H.265/HEVC快速帧内编码方法[J].计算机工程与设计,2022,43(09):2601-2608.
- [5]周迪之.开源网络模拟器ns-3[M].北京:机械工业出版社,2018.
- [6]李锐.基于NS3的高效网络仿真方法研究[D].电子科技大学,2023.
- [7]袁晴.基于H.265的视频快速编解码研究和实现[D].杭州电子科技大学,2021.
- [8]明瑞,张金奎,胡杰.基于FFMPEG实时视频传输系统设计[J].电脑知识与技术,2021,17(15):25-27.
- [9]李晓辉.基于流媒体技术的无线通信网络视频传输技术[J].计算机与网络,2021,47(09):45.
- [10]郭庆华,胡天宇,刘瑾等.轻小型无人机遥感及其行业应用进展[J].地理科学进展,2021,40(09):1550-1569.
- [11]大疆.大疆发布DJI Mavic 3系列新产品[J].机器人技术与应用,2022,(01):7.
- [12]刘建新,廖望,严月浩.基于ARM的无人机HEVC实时视频传输系统设计[J].南昌航空大学学报(自然科学版),2019,33(02):91-101.
- [13]彭湛博.无人机实时高清图传系统的设计与实现[D].西安电子科技大学,2018.
- [14]张伟.4K超高清视频近距离无线传输技术探究[J].影视制作,2018,24(07):

70-72.

[15]肖强, 白光伟, 沈航. 强化学习在自适应视频码率控制算法中的应用[J]. 小型微型计算机系统, 2020, 41(02): 252-258.