

基于 RTP 的机载网络视频实时监控系统设计

郝朝王灏

(中国飞行试验研究院 陕西 西安 710089)

摘要:在飞行试验中,视频实时监控是保障试飞安全和提高试飞效率的重要环节。为了解决某型飞机机载网络视频的实时监控问题,提出了基于 RTP/RTCP 协议的机载网络视频实时解析系统设计方案。通过 UDP 组播协议接收网络电台发送的 RTP/RTCP 数据包,经过解包,拼成完整的一帧视频图像,采用 FFmpeg 进行视频解码并利用 SDL 进行显示。首先介绍了遥测网络视频实时监控架构,重点介绍了 RTP/RTCP 协议及解包方法,然后论述了视频解码与显示流程、YUV 图像处理算法。软件采用模块化、多线程并发和多缓冲区设计思路,提高处理效率,保证网络视频实时监控的实时性和功能的可扩展性。目前该软件已成功应用于某型号任务视频实时监控中。实际应用效果表明,视频播放效果清晰流畅,该软件具有良好的实时性、可靠性和人机交互功能,有效保证了试飞安全。

关键词: RTP/RTCP; 机载网络视频; FFmpeg; SDL; 多线程; 实时监控

中图分类号: TP311.1

文献标识码: A

文章编号: 1673-629X(2019)05-0131-04

doi: 10.3969/j.issn.1673-629X.2019.05.028

Design of Real-time Monitoring System of Airborne Network Videos Based on RTP

HAO Zhao, WANG Hao

(Chinese Flight Test Establishment, Xi'an 710089, China)

Abstract: In flight test, video real-time monitoring is an important part to ensure flight safety and improve the efficiency of flight test. In order to solve the real-time monitoring problem of airborne network video of a certain type of aircraft, we propose a design scheme of airborne network video real-time resolution system based on RTP/RTCP. The RTP/RTCP packets sent by network radio are received by UDP multicast protocol, and the complete one frame video image is combined through unpacking, and the video is decoded with FFmpeg and SDL is used to display it. Firstly, the architecture of video real-time monitoring system for telemetry network video is introduced. The RTP/RTCP and the method of unwrapping are introduced. Then the video decoding and display process and the algorithm of YUV image processing are discussed. The software adopts the modular, multithread concurrent and multi buffer design to improve the processing efficiency and ensure the real-time and functional scalability of the network video monitoring. At present, the software has been successfully applied to real-time video monitoring of a certain type mission. The practical application results show that the video play is clear and fluent and the software has a better real-time, reliability and human-computer interaction which can ensure the safety of test flight effectively.

Key words: RTP/RTCP; airborne network video; FFmpeg; SDL; multithread; real-time monitoring

0 引言

在飞行试验中,实时监控是保障飞行安全和提高飞行效率的一个关键环节,要求实时查看飞行器的位置姿态信息和设备的工作状态。机载视频影像能够以最直观与准确的方式描述飞机当前的工作状态,为地面飞行指挥人员和试飞工程师提供及时、丰富的信息,对于保障飞行安全、提高试飞效率有不可替代的

作用^[1]。

在某型飞机的实时监控中,既有传统的 PCM 数据遥测,也有网络电台遥测。传统的视频遥测是将数字视频信号以 PCM 流的形式传输至地面进行解析^[2]。在该型机上,由于任务需求,在机上加装网络摄像头,通过网络电台以 RTP/RTCP^[3-4] 网络数据包的形式进行 H.264 视频网络化遥测传输。在该型机上,视频数

收稿日期: 2018-06-25

修回日期: 2018-10-25

网络出版时间: 2018-12-21

基金项目: 国家国防科技工业局国防基础科研计划重点项目(JCKY2016205B006)

作者简介: 郝朝(1990-),男,工程师,硕士,研究方向为飞行试验软件开发和数据处理。

网络出版地址: <http://kns.cnki.net/kcms/detail/61.1450.TP.20181221.1625.066.html>

据为网络数据包,现有视频解析软件无法满足型号需求。

根据以上型号任务需求,为了有效保证试飞安全,设计了基于 RTP/RTCP 协议的机载网络视频实时监控。通过 UDP 组播^[5-6]接收地面网络电台发送的 RTP 协议数据包,对其进行解析还原成一帧图像供 FFmpeg^[7-8]解码,然后利用 SDL^[9-10]进行显示。

1 系统架构设计

机载网络化视频遥测监控整体架构如图 1 所示。

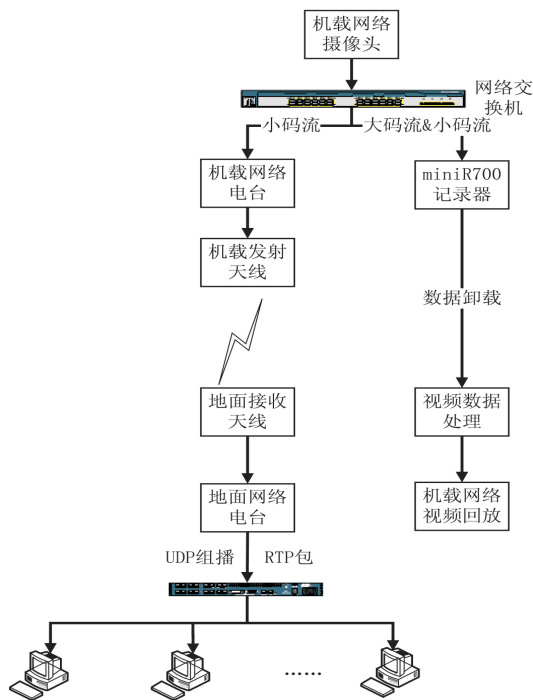


图 1 系统整体架构

机载网络摄像头经过机载网络交换机同时传输 8 M 大码流(1 920* 1 080)和 1 M 小码流(640* 352)两种格式的视频,其中小码流用于遥测视频实时监控,而大码流高清视频则用于机载记录。小码流经过机载网络电台通过机载天线发射出来,地面天线接收后经过地面网络电台将 RTP/RTCP 数据包以 UDP 组播的方式发送出去,客户端进行视频解析显示。通过对机载记录数据进行卸载处理后进行视频回放。该系统基于 FFmpeg 和 SDL,主要工作流程如下:接收经 RTP 协议封装的 H.264 NALU 数据包后,首先去除 RTP 封装,封装的 NALU 被取出后,根据数据类型,把 NALU 还原成完整的一帧交由 FFmpeg 解码处理,被解码后的 YUV^[11-12]数据通过 SDL 进行实时显示。

2 关键技术

2.1 RTP/RTCP 协议分析

RTP(real-time transfer protocol)提供端对端实时媒体数据传输协议,其配套协议是 RTCP(real-time

transfer control protocol)用来监控实时数据的传输,通过组播和点播传送实时数据。RTP 使用偶数端口号接收发送数据,相应的 RTCP 则使用相邻的下一位奇数端口号,构成一个 UDP 端口对。

RTP 数据包由两部分组成:包头和有效载荷。包头为 12 字节,结构如图 2 所示。



图 2 RTP 包头格式

RTCP 数据包的格式如图 3 所示。

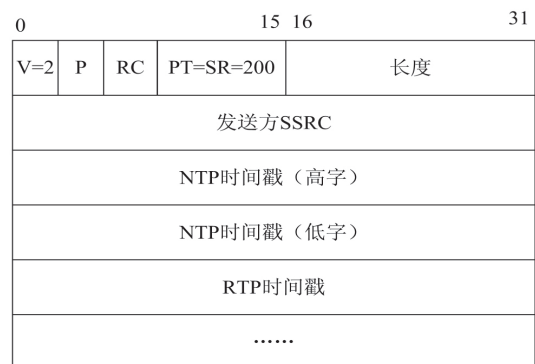


图 3 RTCP 数据包格式

利用 NTP 时间戳、RTCP 数据包和 RTP 包中的 RTP 时间戳计算得到当前 RTP 包的绝对时间。计算步骤如下:

(1) 由 NTP 时间戳计算得到 RTCP 包的 PTP 时间 PTP_{RTCP} ;

(2) 计算 RTP 包与 RTCP 数据包的 RTP 时间戳差 ΔRTP ;

(3) 计算当前 RTP 包的 PTP 时间:

$$PTP_{RTP} = PTP_{RTCP} + \Delta RTP$$

2.2 基于 RTP 协议的解包技术

原始 H.264 的 NALU 由 [Start Code][NALU Header][NALU Payload]三部分组成,其中起始码用于标识一个 NALU 的开始,必须是“0x00 00 00 01”或者“0x 00 00 01”^[13]。NALU 头仅一个字节,其后是 NALU 内容。

H.264 的 NALU 封装成 RTP 的方式有三种^[14]:

(1) 单一 NALU 模式:一个 RTP 包仅由一个完整的 NALU 组成;这种情况下只需要去掉 RTP 包头加上 NALU 起始码即可送去解码。

(2) 组合封包模式:一个 RTP 包由多个 NALU 组成。

(3) 分片封包模式: 将一个 NALU 封装成多个 RTP 包。数据包格式如图 4 所示。

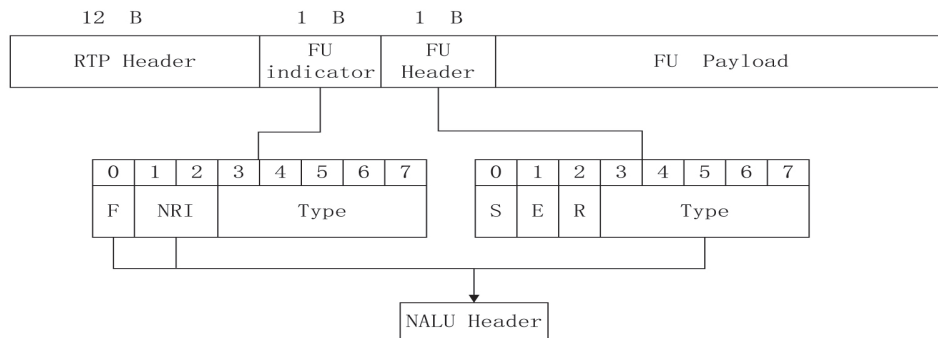


图4 FU-A 分片封包 RTP 数据包格式

当 FU 指示字节的 Type 为 28 时,代表为 FU-A 分片。

S: 起始位(1 bit),当设置为 1 时,代表分片 NAL 单元的开始。

E: 结束位(1 bit),当设置为 1 时,代表分片 NAL 单元的结束。

RTP 数据包解包逻辑流程如图 5 所示。

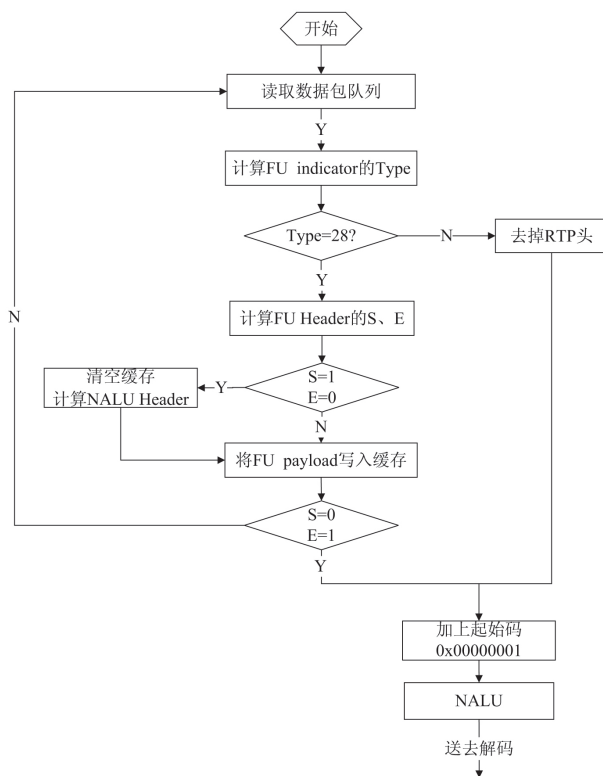


图5 RTP 协议解包逻辑流程

2.3 基于 FFMpeg 和 SDL 的视频解码与显示技术

在获得完整的 NALU 后,将其送入 FFMpeg 缓存进行解码,解码流程为:首先对解码进行初始化,注册容器及编码类型,然后查找解码器,分配解码器上下文,分配解码帧缓冲,最后循环对 NALU 进行解码得到 YUV 图像数据。

FFmpeg 将 NALU 解码成 YUV 数据后送到 SDL 进行显示。SDL 显示 YUV 数据流程为:首先对 SDL

进行初始化,利用控件创建 SDL 显示窗口,然后利用控件创建 SDL 显示窗口,创建纹理用于显示 YUV 数据,循环将处理后的 YUV 数据设置为纹理的像素数据,将纹理数据复制给渲染目标,显示画面。

2.4 基于 YUV 的图像像素重构技术

YUV 是一种颜色编码方法,将亮度信息(Y)与色彩信息(UV)分离。YUV 分为三个分量,Y 表示明亮度,也就是灰度值;U 和 V 表示色度,作用是描述影像颜色及饱和度。一个像素点对应一个 Y。YUV 格式分为平面(planar)格式和打包(packed)格式。平面格式使用 3 个数组分开存放 YUV 三个分量;打包格式将 YUV 分量存放在同一个数组中,通常是几个相邻的像素组成一个宏像素(macro-pixel)。YUV 码流的存储方式与其采样的方式相关,主流的采样方式有三种:YUV4:4:4(Y 与 UV 分量一一对应),YUV4:2:2(每两个 Y 共用一组 UV 分量)和 YUV4:2:0(每 2×2 个 Y 共用一组 UV 分量)。FFMPEG 解码之后的数据为 YUV420p 格式,属于平面格式。

图像旋转的关键在于由源画面的大小、旋转角度确定目标画面的大小,然后计算目标画面每个像素 YUV 分量在源画面中的位置。假设源画面分辨率为 $w \times h$,顺时针旋转 90° ,则目标画面分辨率为 $h \times w$,YUV 分量与源画面对应关系如下:

$$Y_n(i, j) = Y_o(h - j - 1, i)$$

$$U_n(k) = U_o(w \times h / 4 - w / 2 * (k \% h / 2 + 1) + k / h / 2)$$

$$V_n(k) = V_o(w \times h / 4 - w / 2 * (k \% h / 2 + 1) + k / h / 2)$$

2.5 多级缓冲与多线程并发机制

在数据包发送较快的情况下,由于接收端不仅要完成接收码流,还要进行分析、解码、显示,这个处理需要较长的过程,如果接收端顺序执行这个过程,会出现视频画面延迟的现象,另外无法保证数据包的完整接收,出现丢包等情况,导致解码花屏、程序崩溃等严重错误。由于网络不稳定,接收到的数据可能时快时慢,

这直接导致解码的不稳定和视频播放的不连续。

针对此问题,采用多线程并发^[15-16]处理机制予以解决。分别针对数据接收、解包、解码和显示均开辟单独的线程,设置缓冲区存放接收到大量的码流,同时为视频数据分析解码提供数据及写入和读出的过程,采用先入先出的队列进行处理。将接收到的数据暂时存放在队列中,接着去接收下一包数据,这样大大提高了接收效率同时避免由于程序缺陷导致的丢包问题。

设置三个缓冲区: RTP 数据包缓冲区; NALU 缓冲区; YUV 数据缓冲区。网络接收线程和 RTP 解包线程均需对 RTP 数据包缓冲区进行操作, RTP 解包线程与解码线程均需对 NALU 缓冲区进行操作,解码线程与显示线程均需对 YUV 数据缓冲区进行操作。因此每两个线程均需要进行线程间同步与互斥处理。

3 应用效果

网络遥测视频实时播放界面如图 6 所示。设置组播 IP 地址和端口号,实现接收并显示相应的网络摄像头视频。根据机上摄像头安装位置限制设置图像的旋转角度,实际应用效果表明该软件能够对 RTP 数据包进行实时解析,采用 FFmpeg 和 SDL 能够实现视频图像的解码与显示。

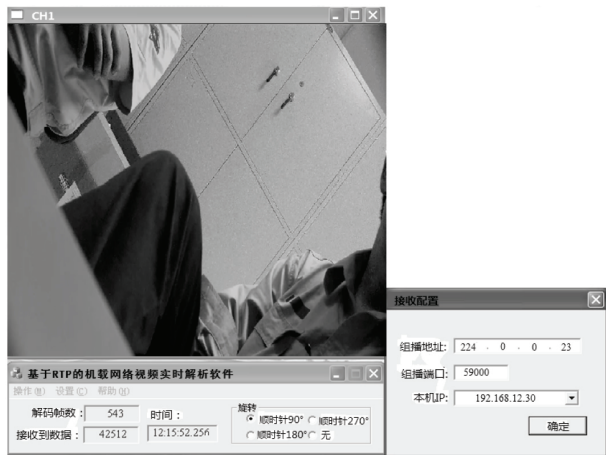


图 6 网络遥测视频实时解析界面

4 结束语

文中论述了机载网络视频实时解析软件的设计与实现,对网络电台发送的 RTP 数据包进行解析,采用具有良好解码性能的 FFmpeg 和音视频性能的 SDL 实现对机载网络视频的实时解析与显示。实际应用效果

表明,解码播放性能良好,实时性满足监控要求。软件采用模块化设计、多线程等设计思路,提高了软件的执行效率,有效保证了试飞安全。

参考文献:

- [1] 张杰,邹强,晏辉.机载多路视频 PCM 遥测视频传输技术[J].计算机与数字工程,2013,41(5):805-807.
- [2] 霍培锋,刘新乐,范旭明,等.飞机视频图像的测量与传输[J].测控技术,2006,25(3):16-20.
- [3] SCHULARINNE H, CASNER S, FREDERICK R, et al. RTP: transport protocol for real-time applications [S]. [s. l.]: [s. n.], 1996.
- [4] 樊珊.基于 RTP 的 H.264 视频传输技术的研究[D].济南:山东大学,2008.
- [5] 于宏亮. TCP 与 UDP 的原理及其在网络编程中的区别[J].科技信息,2007(22):186.
- [6] 尹然然.基于 UDP 协议的可靠性改进协议[J].电脑知识与技术,2010,6(16):4379-4380.
- [7] ZENG Hao, FANG Yuan. Implementation of video transcoding client based on FFMPEG [J]. Advanced Materials Research, 2013, 756-759: 1748-1752.
- [8] 辛长春,姜小平,吕乃光.基于 FFmpeg 的远程视频监控系统编解码[J].电子技术,2013(1):3-5.
- [9] 江俊杰,王志明.基于 SDL 的 H.264 流媒体播放系统[J].计算机系统应用,2013,22(12):51-54.
- [10] 朱靖宇,杨树堂,薛质.基于 SDL 的 Mpeg-4 视频流实时解码与回放方法[J].计算机应用与软件,2006,23(6):5-7.
- [11] 向方明,朱遵义,许敬,等.YUV 到 RGB 颜色空间转换算法研究[J].现代电子技术,2012,35(22):65-68.
- [12] MUKHERJEE J, LANGB M K, MITRA S K. Demosaicing of images obtained from single-chip imaging sensors in YUV color space [J]. Pattern Recognition Letters, 2005, 26(7): 985-997.
- [13] 张永芹,龚建荣.H.264 视频在 Android 手机端的解码与播放[J].中国多媒体通信,2012(4):63-65.
- [14] 杨伟伟,胡黎玮,孟利民,等.基于 H.264 的无线视频监控系统设计与实现[J].杭州电子科技大学学报,2010,30(5):161-164.
- [15] COURBIN P, LUPU I, GOOSSENS J. Scheduling of hard real-time multi-phase multi-thread (MPMT) periodic tasks [J]. Real-Time Systems, 2013, 49(2): 239-266.
- [16] 杨开杰,刘秋菊,徐汀荣.线程池的多线程并发控制技术研究[J].计算机应用与软件,2010,27(1):168-170.