

## 基于 TMS320DM355 的 MAV 机载视频传输系统的设计与实现

姜蓉蓉, 周建江

(南京航空航天大学电子信息工程学院, 南京 210016)

**摘要:** 为了提高微型飞行器(MAV)无线视频传输的质量、扩大传输距离,设计并实现了一种基于3G WCDMA无线网络的机载视频传输系统。采用TI公司的达芬奇处理器 TMS320DM355 作为核心处理器,给出了总体设计方案和硬件结构,并阐述了采用PPP协议拨号接入WCDMA网络的方法。采用嵌入式Linux操作系统作为软件开发平台,分析并设计了基于V4L2(Video For Linux Two)驱动的视频采集模块。通过调用TI提供的编解码引擎API,实现了视频MPEG-4压缩编码处理。针对视频传输的实时性要求,采用了实时传输协议RTP和实时传输控制协议RTCP,重点阐述了MPEG-4视频的RTP封包策略,并基于JRTPLIB库文件实现了视频的实时传输功能。实验结果表明,该系统可以满足视频清晰、实时的传输要求。

**关键词:** 视频传输; 微型飞行器; MPEG-4; 3G无线网; RTP/RTCP

**中图分类号:** V271.4      **文献标志码:** A      **文章编号:** 1671-637X(2013)01-0056-05

## Design and Implementation of Video Transmission System of MAV Based on TMS320DM355

JIANG Rongrong, ZHOU Jianjiang

(College of Electronic and Information Engineering, Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, Nanjing 210016, China)

**Abstract:** A video transmission system based on 3G WCDMA wireless network used in Micro Air Vehicle (MAV) was designed and implemented in order to improve the quality of video transmission and extend the transmission distance. The overall design and hardware architecture of the system were given, using TI DaVinci processor TMS320DM355 as the core processor. The method for accessing WCDMA network using PPP dial-up was described. Video capture module based on V4L2(Video For Linux Two) was analyzed and designed, using embedded Linux operating system as the software development platform. The MPEG-4 compression and encoding process was implemented by calling Codec Engine API provided by TI. Real-time Transport Protocol (RTP) and Real-time Transport Control Protocol (RTCP) were used for the real-time video transmission requirement. The RTP packet strategy for MPEG-4 videos was described in detail, and the real-time video transmission was implemented based on JRTPLIB library. Experiments showed that the system can satisfy the requirements for video transmission in clarity and real-time performance.

**Key words:** video transmission; Micro Air Vehicle (MAV); MPEG-4; 3G wireless network; RTP/RTCP

### 0 引言

微型飞行器(Micro Air Vehicle, MAV)的概念源于20世纪90年代<sup>[1]</sup>,它具有体积小、重量轻、隐蔽性好等优势<sup>[2]</sup>,在军事和民用两方面都有着重要的应用。其首要任务是侦察监视,即实现图像信息的获取与无线传输,国外对此问题早有研究,如美国的“黑寡妇”

微型飞行器<sup>[3]</sup>,采用调频体制,发射频率为2.4 GHz,有效传输距离为1.5 km。国内在该方面的研究起步较晚,大多数采用模拟信道传输方式,系统易受干扰,且传输距离有限<sup>[4]</sup>。

针对以上微型飞行器视频采集与无线传输的研究背景,本文设计并实现了基于TMS320DM355的机载视频传输系统。考虑到MAV应用的移动性、实时性和可靠性方面的要求,本文采用3G网络WCDMA作为传输信道,以及实时流媒体传输协议RTP/RTCP作为传输协议,从而可以满足视频的高质量、低时延的传输要求。

# 1 系统设计方案与硬件结构

## 1.1 系统总体设计方案

假设本系统分为机载发送端和地面接收端,系统整体功能框架如图 1 所示。

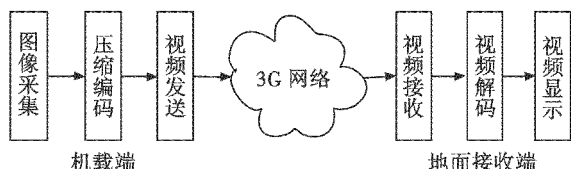


图 1 系统整体功能框架图

Fig. 1 Functional block diagram of the system

在机载发送端,CMOS 图像传感器将采集到的视频图像数据输出至核心处理器,由于原始图片数据量较大,不适合在有限带宽的无线信道中传输,因此,首先需要对原始的视频图像进行相应的 YUV 格式转化,然后将其压缩编码为 MPEG-4 格式,以消除运动图像中的冗余信息,减小传输数据量。当今日益发展成熟的 3G 数字通信技术具有传输速率高、抗干扰能力强等优点,在远距离视频无线传输方面具有明显的优势,因此这里采用 3G 无线网络作为视频传输的信道。为降低丢包率以及保证实时性,在传输过程中采用了流媒体实时传输协议 RTP/RTCP,对每一帧视频进行了拆分,并封装成若干个 RTP 包,指定目的 IP 地址及端口号,从而正确地发送出去。

相应地,地面接收端从网络中获得 RTP 包,从中提取出完整的 MPEG-4 视频,然后进行相应的解码和显示,达到实时回放的效果。

## 1.2 系统硬件结构

根据本文要实现的功能,系统机载端采用如下硬件设计方案:图像传感器 + 核心处理器 + 3G 无线模块 + 外围电路。硬件结构如图 2 所示。

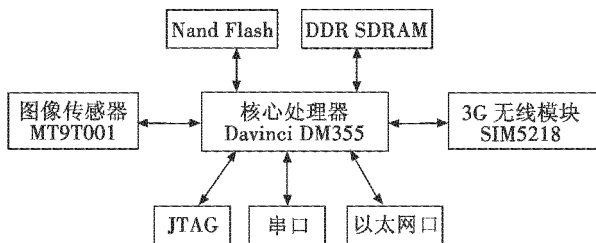


图 2 系统硬件结构框图

Fig. 2 Block diagram of hardware structure

图中,MT9T001 是 MICRON 公司生产的一款拥有 1/2 in (1 in ≈ 2.54 cm) 光学格式、QXGA 分辨率的 CMOS 数字图像传感器。它具有高帧率、高分辨率的成像优势以及低功耗特性,外接 BAYER 滤镜,可实现 RGB 彩色图像采集,三色彩分量都为 10 b,可采用简

单的 I<sup>2</sup>C 串口通信方式配置片内寄存器,图像输出时序控制便捷。

3G 无线模块采用 SIMCOM 公司生产的 SIM5218,是一款 WCDMA/HSDPA/GSM/GPRS/EDGE 模块解决方案,支持下行速率达 7.2 Mb/s 和上行速率为 5.76 Mb/s 的数据传输服务。SIM5218 具有丰富的 AT 指令,并集成了点到点链路(point to point protocol, ppp)协议栈和 TCP/IP 协议栈,非常适合数据传输应用。同时具有丰富的接口,包括 UART、USB2.0、GPIO、I<sup>2</sup>C、GPS 和内嵌 SIM 卡等。本系统中,SIM5218 与 DM355 通过 USB2.0 接口相连。

核心处理器芯片采用 TI 公司推出的面向便携高清视频应用的低成本 Davinci 平台 TMS320DM355。DM355 内核采用 ARM926EJ-S RISC 处理器,能够处理 32 位或 16 位的指令和 8 位、16 位、32 位的数据,并集成了高性能的 MPEG-4 HD(720 p)编解码器和高达 50 M 像素/s 的 JPEG 编解码器,可以方便地实现视频图像的硬件编解码功能。同时,DM355 提供丰富的外设资源,可支持不同类型的 CCD 或 CMOS 图像传感器、信号调理电路、电源管理、DDR/mDDR 内存、SRAM、Nand Flash 等<sup>[5]</sup>。

DM355 内部集成了一个视频处理子系统 (Video Processing Subsystem, VPSS)。VPSS 由视频处理前端 (Video Processing Front-End, VPFE) 和视频处理后端 (Video Processing Back-End, VPBE) 组成。VPFE 为 CCD/CMOS 图像传感器模块和视频解码器提供了接口,主要用于捕获原始视频信号、YUV 格式转换以及实现自动聚焦、自动白平衡、自动曝光等功能。VPBE 为屏幕显示 (On-Screen Display, OSD) 提供硬件支持,并输出复合 NTSC/PAL 和 LCD 输出<sup>[5]</sup>。

DM355 内部结构如图 3 所示。

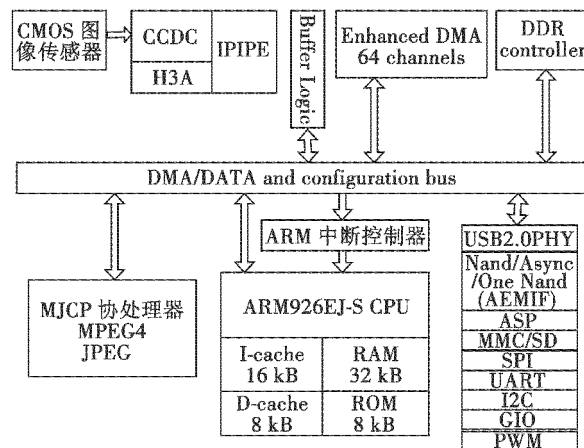


图 3 DM355 内部结构

Fig. 3 Internal structure of DM355

## 2 3G 无线网络及拨号接入

目前主流的3G标准有WCDMA、CDMA2000和TD-SCDMA,其中以WCDMA技术最为成熟。与另外两种3G标准相比较,WCDMA具有更大的带宽和码片速率,以及更高的频谱利用率。WCDMA Release5版本引入了下行链路增强技术(HSDPA),可提供最高14.4 Mb/s的下行数据传输速率,Release6版本中引入了上行链路增强技术(HSUPA),可提供最高约6 Mb/s的上行数据传输速率,能够满足视频无线传输速率的要求,因此本系统中采用WCDMA无线网络。

WCDMA分组域支持用户终端设备(UE)通过拨号方式与外部IP网络建立连接<sup>[6]</sup>,通常采用点到点链路协议(Point-To-Point Protocol,PPP)实现。移动终端通过AT命令设置3G无线模块,定义相应的PDP上下文,并发出申请GPRS服务的拨号命令。当3G模块与网关GPRS支持节点(Gateway GPRS Support Node, GGSN)握手成功后,双方进行PPP协商,包括链路控制协议(Link Control Protocol, LCP)协商、用户身份认证以及网络控制协议(IP Control Protocol, IPCP)的协商。以上协商成功完成后,PPP数据链路建立,系统将得到GGSN分配的IP地址,然后采用TCP/UDP作为传输层协议,实现与外部IP网络之间的数据传输。

## 3 系统的软件设计与实现

本系统开发平台底层由Montavista Linux操作系统支持,该操作系统为Davinci系列处理器提供了绝大部分外设和片内资源的驱动程序,设计时可根据系统需求对内核进行剪裁。整个系统的软件开发建立在交叉编译环境下,主要包括采集、编码和传输三大模块,下面分别进行介绍。

### 3.1 视频图像采集模块

Linux下视频图像采集的开发遵循统一的视频处理标准V4L2。V4L2包含了一系列API函数、相关标准和语音及图像卡驱动,涵盖音视频流捕捉及处理等内容,支持视频采集卡、USB摄像头等多媒体设备。

V4L2支持几种不同的从采集设备读写数据的方法,本文中使用的内存映射方式。该方式通过mmap()函数将设备里的内存映射到应用程序的地址空间,应用程序和驱动程序之间只有指向数据buffer的指针被交换<sup>[7]</sup>,在进行数据处理时不需要对数据本身进行拷贝,可以大大提高I/O访问效率。

视频采集开发流程如下:首先打开视频设备,查询设备的驱动能力,设置视频输出的格式,本文设置视频的宽度为640,高度为480,接着为视频捕获设备分配缓

冲区,并将这些缓冲区映射到用户空间,初始化工作完成;然后启动视频捕获,进入主循环。应用程序不断地从采集队列中取出装有采集数据的缓冲,进行后续处理,再重新放回采集队列,等待再次装满视频数据。基于V4L2的视频处理操作是通过IOCTL系统调用完成的,本文中采用的IOCTL命令主要包括以下几种。

1) VIDIOC\_S\_FMT:设置视频格式。

2) VIDIOC\_REQBUFS:在驱动层申请多个缓冲区用于存放采集到的视频数据。

3) VIDIOC\_QUERYBUF:获取申请到的缓冲区的大小和偏移地址。

4) VIDIOC\_STREAMON:开始视频采集。

5) VIDIOC\_QBUF:将缓冲区放入采集队列。

6) VIDIOC\_DQBUF:将已填充数据的缓冲区移出队列。

### 3.2 MPEG-4 编码压缩模块

MPEG-4是运动图像专家组(Moving Picture Experts Group)标准家庭中的一员,是国际标准化组织为多媒体通信制定的一种解决方案。MPEG-4采用基于对象的编码方法。每个场景由单独编码的视频对象(VO)组成,每一个VO有几个可分级的层,称为视频对象层(VOL),每一个VOL依次组成了在时间上有秩序的快照序列,称为视频对象面(VOP)。对每一个VOP,编码器处理其形状、运动和纹理特征,形状信息的编码是通过用一个矩形框界定并将矩形框分成多个宏块(MB)来完成的。

本系统中对视频图像的MPEG-4压缩由DM355内部的MPEG-4-JPEG协处理器完成,编码算法依据TI公司制定的基于eXpressDSP算法互用性标准(xDAIS)的xDAIS-DM标准实现。应用程序开发时符合xDAIS的音视频编解码算法(即xDM算法),其调用通过Codec Engine的VISA API完成<sup>[8]</sup>。

首先调用Engine\_open()函数,创建一个Codec Engine实例。如果打开成功,那么通过VIDENC\_create()函数创建并初始化一个算法实例,其中包括对图像最大高度、宽度、最大帧速率、最大码速率等参数的设置。然后调用VIDENC\_control()控制和查询算法能力,从而得到算法例程中关于输入和输出缓冲的特性。接着采用Memory\_contigAlloc()函数申请物理内存空间以用来存放视频输入和输出。在主处理循环中,对每一帧视频数据的MPEG-4算法处理通过VIDENC1\_process()实现:status = VIDENC1\_process(enc, &inBufDesc, &outBufDesc, &inArgs, &outArgs)。其中:enc为已打开的算法实例句柄;inBufDesc和outBufDesc为上一步中分配的输入输出内存空间首地址;inArgs

和 outArgs 为输入输出配置参数。每一帧视频数据从 inBufDesc 缓冲区中读取,压缩编码处理后输出至 out-BufDesc 缓冲区中。

### 3.3 网络传输模块

#### 3.3.1 RTP/RTCP 协议介绍

本文所研究的机载视频传输系统对于端到端的时延、时延抖动和分组丢失率等要求较高,因此选取合适的传输协议非常重要。这里采用专门为解决多媒体数据在网络中传输而制定的协议:实时传输协议(Real-Time Transport Protocol, RTP)和实时传输控制协议(Real-Time Transport Control Protocol, RTCP)。其中, RTP 用于传送具有实时属性的音视频数据, RTCP 用于监控服务质量并传送正在进行的会话参与者的相关信息。RTP 和 RTCP 配合使用,能有效地反馈和以最小的开销使传输效率最佳化<sup>[9]</sup>。

RTP 分组由分组首部和有效载荷组成,有效载荷即为要传输的多媒体数据,分组首部结构如图 4 所示。

V	P	X	CC	M	PT	序列号
时间戳(timestamp)						
同步源标识符(SSRC)						
贡献源标志(CSRC)						

图 4 RTP 分组首部结构

Fig. 4 Structure of RTP packet header

其中:M 为标记位,可用于在数据包流中进行标记一帧的边界;PT 为负载类型,接收端可以利用它识别 RTP 有效负载的格式;序列号用于记录 RTP 包的个数;时间戳用于反映 RTP 包中第 1 个采样数据的采样时间<sup>[7]</sup>。接收端播放器可根据序列号重新排列 RTP 包并组成完整的一帧视频,然后根据每一帧的时间戳进行回放,同一帧视频的时间戳保持一致。

#### 3.3.2 基于 RTP/RTCP 协议的视频传输程序设计

本文以一个开放源代码的 RTP/RTCP 协议库 JRTPLIB 为基础,实现了 MPEG-4 视频数据在 3G 网络中的实时传输功能。

由 RFC3016 (RTP Payload Format for MPEG4 AV Streams) 可知,为了使 MPEG-4 视频在网络中传输,需要将其分割并封装映射到 RTP 包中,封装规则是以 VOP 为基本单元。当一个 VOP 数据量较小时,将其完整地封装到一个 RTP 包中;当一个 VOP 数据量较大时,分割到不同的 RTP 包中,末尾的 RTP 包中的标志位 Marker 设置为 1,用于确认一帧的结束,提高传输效率。为了防止造成过多的 IP 碎片,每个 RTP 包传输的大小应不超过该网络路径的最大传输单元(Maximum Transmission Unit, MTU)。

本文使用的是嵌入式操作系统 Montavista Linux,

因此需要对 JRTPLIB 库进行移植,交叉编译和安装后产生静态库文件 libjrtplib.a 和 libjthread.a。在后续的应用程序开发时,Makefile 文件中必须指定库文件 libjrtplib.a 的具体路径。

首先,创建一个 RTPSession 类的对象来标识此次会话<sup>[10]</sup>,并设置负载类型(PayLoad)为 96,时间戳单位(TimestampUnit)为 1/90000.0。发送之前应根据网络的 MTU 值对每一帧数据进行拆包和封装,相应的规则前面已经介绍。然后通过下面的 RTPSession 类成员函数实现一个 RTP 包的发送:SendPacket (Const void \* data, size\_t len, uint8\_t pt, bool mark, uint32\_t timestampinc)。其中:len 表示数据长度;pt 表示净荷类型;mark 为标记位;timestampinc 为时间戳增量。本系统中 30 帧/s 视频,因此每一帧的 timestampinc 设置为 3000。根据上述原理,发送完整的一帧视频的算法流程如图 5 所示。

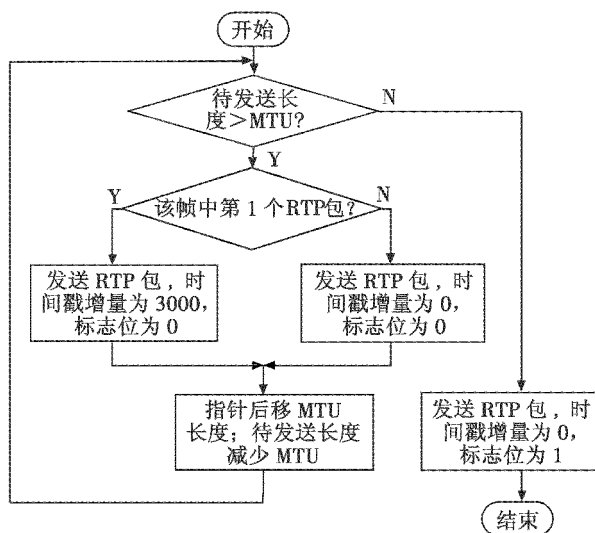


图 5 发送一帧视频的算法流程图

Fig. 5 Algorithm flow chart of sending a frame

## 4 实验结果

在 WCDMA 无线网络中对本系统进行了相关测试,机载端采用前面介绍的硬件开发平台,运行的嵌入式 Linux 内核版本为 2.6.10,交叉编译器为 arm\_v5t\_le-gcc。接收端为 PC 机上的 Windows XP 系统,采用开源软件 VLC<sup>[11]</sup>实现对视频的网络接收、MPEG-4 解码和回放。实验环境位于 3G 信号较好的市区,图像分辨率为 640 × 480,30 帧/s,机载端距离地面 15 m,地面接收端图像清晰流畅,没有失真,整个系统的延时在 0.7 ~ 1.8 s 之间;当处于 3G 信号较弱的环境时,图像会出现少许马赛克,但实时性仍然得到保证。图 6 所示为地面接收端回放的视频截图。



图 6 地面接收并回放的视频截图

Fig. 6 Screenshot of videos received and played

## 5 结束语

机载视频传输系统对于传输的实时性和可靠性有比较高的要求,本文对系统的总体功能和硬件模块进行了划分和设计,并实现了系统软件部分的程序开发。经测试,该系统传输的视频清晰、稳定,延时较低,具有很强的实用性和广阔的应用前景。随着数字通信技术及图像处理技术的发展,系统性能可做出相应改善和提高,如采用 H.264 编码压缩及采用更快数据传输速率的无线网络。

## 参考文献

- [1] ASHLEY S. Palm-size spy plane[J]. Mechanical Engineering, 1998, 11(3): 74-78.
- [2] 罗均,蒋蓁,程维明,等. 国际上微型飞行器研究的进

展及其关键技术[J]. 上海大学学报:自然科学版, 2001, 7(4): 293-296.

- [3] KEENNON M T, GRASMEYER J M. Development of the black window and microbat MAVs and a version of the future of MAV design[R]. USA: AIAA, 2003-2901, 2003.
- [4] 高珍,邓甲昊,孙骥,等. 微型无人机图像无线传输系统方案与关键技术[J]. 北京理工大学学报, 2008, 28(12): 1078-1082.
- [5] Texas Instruments. TMS320DM35x Digital Media System-on-Chip (DMSOC). Real Time Out (RTO) controller [DB/OL]. 2007 [2011-10-29]. <http://www.ti.com/lit/ug/spruf74.pdf>.
- [6] 姜波. WCDMA 关键技术详解[M]. 北京:人民邮电出版社, 2008.
- [7] 邓赵勇,袁誉乐,丁锐. Davinci 技术原理与应用指南[M]. 南京:东南大学出版社, 2008.
- [8] Codec Engine\_Application Developer\_User Guide[Z]. SPRU E67D-September, 2007.
- [9] 张起贵,张胜,张刚,等. 最新 DSP 技术——“达芬奇”系统、框架和组件[M]. 北京:国防工业出版社, 2009.
- [10] 秦臻,曹剑中. 基于 TMS320DM365 的高速网络摄像机的设计[J]. 电子工程设计, 2011, 19(10): 121-124.
- [11] 王晓露,毛燕琴,沈苏彬. 实时网络视频播放控件的优化与实现[J]. 计算机技术与发展, 2011, 21(7): 229-232.

(上接第 22 页)

法——向量相似度法,并对方法的科学性和合理性进行了理论证明,结合实例说明了此方法的有效性。较其他常用方法,本模型有以下特点:

1) 通过向量相似度表征系统效能,可看作是求取系统某一状态向量与其最优向量的一种贴近程度,贴近程度越大系统效能也越大,而这种贴近程度是通过向量相似来表征的;

2) 本模型是一个解析模型,理论上科学严谨,方法简单实用,便于从宏观上计算系统效能,具有较强的可操作性;

3) 本模型是对各指标值与其相互关系的统一,这在  $\alpha$  和  $\beta$  的求取中得到了充分的体现,在其他评估方法中,大多只注重了各指标值对系统效能的影响,而指标间发展的平衡关系对系统效能的影响没有或没有充分得以体现,这也是此方法较其他方法的区别和优越之处;

4) 正像 1.5 节中分析 2) 所推导的那样,在各指标发展平衡的情况下模型即变成线性加权模型了,也就是说线性加权模型实际上是本模型的一个特例,但线

性加权模型中的线性关系只是为计算简便而做的一种简化处理,并无严格证明,此推导同时也证明了线性加权模型线性关系成立的条件。

## 参考文献

- [1] 李曙东,王运峰. 指挥自动化系统建模与仿真技术[M]. 北京:国防工业出版社, 2005.
- [2] 焦利明,于伟,李冬岩. 一种评价 C<sup>3</sup>I 系统效能的新方法[J]. 电光与控制, 2006, 13(5): 54-57.
- [3] 徐泽水. 部分权重信息下多目标决策方法研究[J]. 系统工程理论与实践, 2002, 1: 43-47.
- [4] 王季方. 模糊控制中隶属函数的确定方法[J]. 河南科学, 2004, 4: 12-16.
- [5] 王莲芬,许树柏. 层次分析法引论[M]. 北京:中国人民大学出版社, 1990.
- [6] 王宗军. 多目标权系数赋值方法及其选择策略[J]. 系统工程与电子技术, 1993, 15(6): 35-41.
- [7] 刘曙阳,程万祥. C<sup>3</sup>I 系统开发技术[M]. 北京:国防工业出版社, 1997.
- [8] 邵强,李友俊,田庆旺. 综合评价指标体系构建方法[J]. 大庆石油学院学报, 2004, 28(3): 74-76, 105.