

# 一种基于 QoS 的远程监控系统模型<sup>\*</sup>

杜润秋 周兵 李波

(北京航空航天大学计算机系数字媒体室 北京100083)

## Framework of a Remote Surveillance System Based on QoS

DU Run-Qiu ZHOU Bin LI Bo

(Department of Computer, Beijing University of Aeronautics and Astronautics, Beijing 100083)

**Abstract** This paper introduces the framework of a remote surveillance system and key technologies to implement the framework. A codec based on MPEG-4 is developed to encode and decode video. Both ratio and speed of compression of the codec are improved through the optimal designs of motion estimation, quantization and rate control. Error-correction functions added to entropy coding of the codec minimize the loss of quality of images due to transmission error. With a QoS mechanism of transmission and playback based on a simple RTP protocol, this framework is able to adapt bandwidth and to control congestion.

**Keywords** Remote surveillance, Video compression, Video transmission, QoS

### 1. 概述

随着电子技术、信息处理技术和传感器技术的发展,计算机及外围设备性能越来越高但价格越来越低,数字视频监控逐渐从金融、高级宾馆等安全防范重要部门走向普通厂矿、企业甚至家庭<sup>[1]</sup>,视频监控系统的用途也逐渐从安全防范演变成企业的普通管理工具。远程视频监控突破了传统监控系统距离的限制,随着通信技术和企业社会化的发展,应用也越来越广泛。另外,一些特殊的应用如无人值守变电站、重要交通路口、河道水文监测、边防海防监控等,远程监控是监控系统不可缺少的最主要的功能。

远程监控系统的设计与实现需要解决的主要问题是数据传输问题<sup>[2]</sup>。一方面,用户提供的传输信道带宽有限,目前 PSTN 仍大量使用,有些用户可能使用带宽甚低的、误码率很高的无线传输信道;另一方面,用户又要求更好的图像传输质量(帧尺寸大,清晰度高,实时)。解决这一矛盾最根本的方法寄希望于视频压缩理论和算法的突破,有人已经证明一些压缩算法如分形压缩<sup>[3]</sup>一般图像的压缩比可以达到10000倍以上,但短期内这些理论和算法因实现的复杂性太高而无法达到使用地步,基于变换、预测和统计理论的压缩算法(如 MPEG, H. 26X)仍将占绝对优势。

JKBH-1是北京航空航天大学数字技术与媒体研究室研制的远程监控系统。系统最初的设计目标是面向低码率(PSTN 线路)信道、抗恶劣环境、多用途的远程监控系统,但考虑到将来的网络发展和系统的广泛适应性,系统在支持高速线路同样具有较高的性能,对局域网线路引入了组播技术<sup>[4]</sup>,多用户同时浏览视频不会造成视频质量的降低。为了解决传输方面的问题在 JKBH-1系统设计和实现中采取的措施有:(1)采用先进的 MPEG-4视频压缩算法,提高视频压缩比;(2)利用 RTP 传输协议的用户接收质量报告,自适应编码端的帧率或位率;(3)对无线信道传输在信源编码中使用容错机制,减少误码对解码质量的影响。

以下内容主要介绍 BH-1系统的功能结构及实现的关键技术。

### 2. 系统功能结构

#### 2.1 系统结构概述

JKBH-1系统从物理结构上可以划分为4个部分,分别是:(1)传感器部件,包括摄像机、解码器和云台;(2)前端机;(3)后端机;(4)通信线路,包括网络线路和设备(如路由器或 Modem 等)。

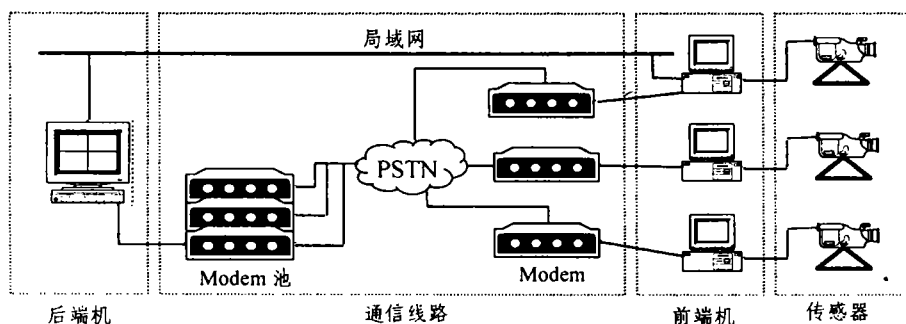


图1 JKBH-1——远程监控系统拓扑结构

<sup>\*</sup> 本文受国家自然科学基金(60075006)、国家高技术研究发展计划专项经费(2001AA114142)和教育部博士点基金资助。

前端机负责视频的采集、压缩、本地存储和传输,前端机配置为独立工作时,相当于一个本地监控系统。当前系统视频压缩完全基于软件实现,考虑普通工业 PC 的处理能力,一台前端机仅负责一路视频处理,包括一路视频实时采集、压缩、存储;当有远程用户访问时,如果远程用户的连接线路是 PSTN 线路时,则另外启动一路视频压缩线程,生成低位率压缩码流发送给远程用户;如果用户连接线路为局域网,则直接将实时压缩码流发送给远程计算机。一台后端机通过局域网或多个 MODEM 同时与多台前端机的建立连接,同时监测多个远程地点。局域网传输时采用组播技术,允许多个后端机同时访问一个前端机而不会加重网络系统的负载。

前端机为嵌入式工业控制 PC 计算机,具有抗恶劣气候环境(高热、高寒、潮湿)能力,还配有看门狗电路,防止系统死机等。后端机是普通 PC。

### 2.2 软件系统结构

JKBH-1 的软件功能和结构参考图 2。“数据采集”模块采集来自摄像机的视频信号存入采集缓冲区,由视频显示模块送显示器输出,同时送“高位率压缩”模块压缩后写入硬盘。如果连接线路为低速信道(<128kbps),则启动“低位率压缩”模块,产生的压缩码流由“网络发送”模块发送给网络远端;如果连接线路是局域网或高速线路,则直接将高位率压缩码流送给网络发送模块。如果用户启动了自动报警功能,“运动分析报警”模块也利用采集缓冲区当前视频进行异常分析,如果发现异常则将分析结果存入数据库。

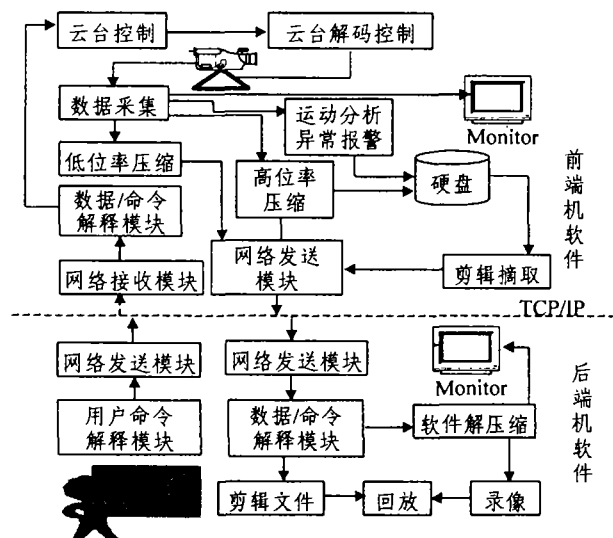


图2 BKH-1软件功能结构

网络远端(后端机)“网络接收”模块将接受到的数据送“数据/命令解释模块”进行数据类别分析,如果当前数据为实时视频流则发送给“软件解压缩模块”解码,然后送显示器显示输出,如果是文件数据则存入硬盘。后端机具有视频录像功能,用户启动录像功能后,“软件解压缩模块”在解压之前首先存盘。

后端机用户发出的控制命令经“用户命令解释模块”准备好命令格式,然后由“网络发送模块”发送给前端机的“网络接收模块”,在“数据/命令解释模块”分析数据的类别,并根据类别的要求分送不同的操作控制单元,实现用户需要的操作。

前端机用户通过“剪辑摘取”模块抽取部分视频剪辑作为文件,使用“网络发送模块”传送到后端机,形成后端机“剪辑文件”。后端机用户使用“回放”模块播放本地录像和剪辑文

件。

## 3. 关键技术及实现

### 3.1 基于 MPEG-4 的高性能视频编码器

高性能的编码器能够在保证视频质量的前提下,实时、高质量地编码视频。在设计实现中,本系统的编码器主要参照 MPEG-4 标准,对编码器中影响性能的关键部分采用了本课题组研制的高性能算法,其中包括:

**运动估计与补偿** 运动估计与补偿是视频编码器中对编码时间影响最大的部分,同时也是影响帧间图像压缩比和帧间图像恢复质量的重要部分。本系统中根据运动矢量和块失真度的分布规律及其相关性,制定出了一种由搜索起点预测、搜索模式自适应选择、高效中止准则等构成的搜索策略,并设计出了快速自适应的运动估计算法<sup>[5]</sup>,在不影响估计精度的条件下,大大缩短了运动估计所需的时间。

**量化** 视频编码器中的量化部分是将经过频率变换之后的系数根据人眼的视觉感知特点进行取整的过程,因为量化过程直接影响图像中各部分恢复之后的质量,因此在帧内图像与帧间图像编码中都具有重要的地位。本系统提出一种适合 PC 硬件特点的量化方案,通过构造合适的量化矩阵,将量化部分原来比较耗时的除法操作,改为简单的移位或查表操作,实现了一步量化,并在不影响视频质量的前提下提高了编码器的速度。同时,对不同的视频编码块类型,采用不同的量化策略,避免了统一量化引起的图像质量下降<sup>[6]</sup>。

**位率控制** 位率控制部分在视频编码器中的作用是根据输出信道的带宽,为视频序列中的各图像合理地分配位数,使压缩后的视频流能够适应传输信道的带宽。原有的位率控制算法因为是基于一阶率失真模型,因此虽然能够起到一定的位率控制作用,但控制精度不够高,特别是在低带宽应用中,其缺点表现得更为明显。本系统中采用二阶率失真模型<sup>[7]</sup>,并改进了原有的位率控制算法复杂性高、速度慢的不足,实现了高精度、高速的位率控制。

**解码后处理** 如果不考虑信道错误的话,视频图像的客观质量完全是由编码器来决定的。编码器根据具体应用中所需要的压缩比对图像进行有损压缩,解码器则从信道中接收到压缩码流并解码回放。本系统在解码器端加入了后处理功能,具体的后处理方法<sup>[8]</sup>包括:加入合适的去块效应滤波器,去除图像中的块效应,提高图像主观质量;对显示图像进行必要的锐化处理,使其中重要目标更易于观察。通过在解码器端加入上述的后处理算法,实现了在不改变客观图像质量的前提下提高了主观图像质量。

### 3.2 简单有效的信源容错机制

由于无线或移动信道带宽低、误码率高,为了保证视频在信道中可靠地传输,JKBH-1 使用了简单、有效的信源容错机制<sup>[9]</sup>,在没有明显增加额外的码流量和处理的负担情况下,提高了传输的抗误码能力。

本模型采用如下容错机制(见图 3):

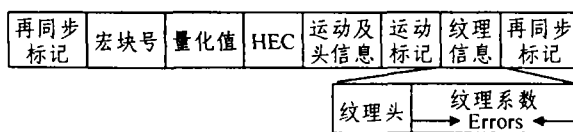


图3 容错机制示意图

**再同步机制** 在编码的位流中加入再同步标记,通过将

错误局限在尽量小的区域内(两个同步点之间)来限制其传播的范围。

**数据恢复机制** 虽然再同步机制能有效隔离错误,但通常的做法是将错误段的数据抛弃,而这部分很可能包含重要的信息。数据恢复机制就是不再简单地把错误的数据段抛弃,而是尽可能恢复其中的正确部分。本模型使用称为 RVLC 的反向可变长编码,其原理是:当正向解码碰到错误时从反方向进行解码,从而保证错误数据段前后的数据都能够被正确解码。

**错误隐藏机制** 即使使用了上述两类机制,仍然会有一部分出错的数据位被抛弃,这部分数据在视频回放时会造成当前图像帧的黑块效应,甚至可能在后面的图像帧中产生错误蔓延。错误隐藏机制就是将这部分错误的数据位用参考图像中的对应部分填充,从而将错误隐藏起来。本系统中采用运动向量与纹理数据分离的方法实现错误隐藏机制。

使用上述的容错机制能够在信道出错情况下,最大程度地恢复视频中的数据,有效地保证视频的准确性。

### 3.3 自适应的视频流传输

由于远程监控系统的应用范围广,采用的通信线路的带宽差别很大,从100Mbps 的高速局域网到9600bps 的无线通信线路都有可能遇到;另外由于视频流信息的数据量大,对传输的实时性要求高,对端到端的延迟有严格限制,如果前端子系统发送的包不能在限定时间内被后端子系统接收到,就必须被丢弃,这将严重影响视觉效果,因而如何适应众多的网络带宽保证好的视频传输质量是远程监控系统需要解决的关键技术之一。

针对上述情况 JKBH-1 系统采用下面的解决方案:前端子系统对视频流进行分解、打包,在传输过程中为编码器进行速率控制提供反馈信息,后端子系统完成数据包的解包、整合,得到完整的视频数据送给显示部分播放。

视频流传输子系统以前端 TCP/IP 通信协议模块和速率自适应编码模块为基础,采用实时传输协议(RTP)和实时传输控制协议(RTCP)<sup>[10]</sup>,实现视频流的带宽自适应传输。体系结构框图如图4。

前端编码器生成的视频流依次经过 RTP 层、UDP 层进

入 IP 网络。当视频流数据包被成功传输到接收端(后端)后,依次经过 IP 层、UDP 层和 RTP 层,然后送交视频解码器进行解码。接收端的 QoS 监视器根据接收到包的状况诊断网络的拥塞情况(如丢包率和延迟等),反馈控制模块对这些信息进行分析后向发送端(前端)反馈信息;发送端的质量控制模块根据反馈信息判断当前网络的可用带宽,并传送给编码器进行位率的自适应调整,使之适合当前的网络带宽。

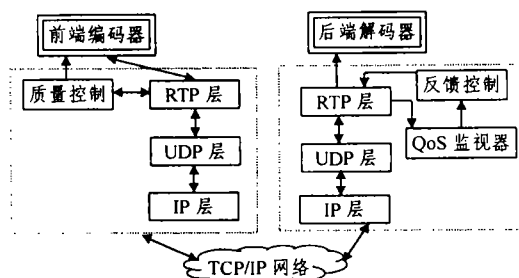


图4 视频流传输体系结构

### 3.4 基于 QoS 的多路视频流的实时回放

由于 PC 的速度有限,当视频回放的路数较多时,可能无法同时满足所有路回放速度和窗口尺寸要求,这时就需要进行合理的资源分配和调度。在多路回放中,每一路视频流可能对应于一种不同的网络带宽和传输质量,用户对每一路回放质量、速度要求也会有差别。JKBH-1 实现了一种称为基于 QoS 的多路回放技术<sup>[11]</sup>,根据系统资源(CPU 速度,显示缓存容量)配置情况,通过资源优化调度,使系统运行达到整体最佳状态,满足用户的特定需要。

基于 QoS 的多路视频的解码线程的调度可以分为3个阶段:检测,预留和性能监视。当一路新的码流到来时,首先通过检测算法计算估计的 CPU 占用率,然后判断是否有足够的 CPU 时间片分配给该码流,如果有,则预留,最后在运行时不断监视该码流的解码情况并动态改变预留时间片。

JKBH-1 使用一种简单的 CPU 占用率模型,并在此基础上计算每一路码流的 CPU 时间片占用率。图5是一路 MPEG-4 视频解码时的 CPU 占用率情况,它基本符合正态分布  $N(m, \sigma^2)$ 。

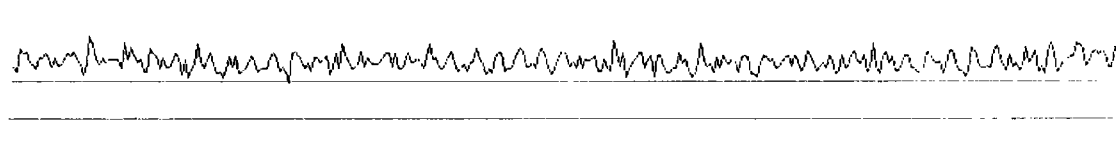


图5 一段176X144, 25f/s 的 MPEG4码流解码时的 CPU 占用率情况

具体调度过程如图6所示,步骤如下:

(1)探测阶段 在一路新的码流到来时,首先在不预留时间片的情况下运行它一段时间(例如30秒),计算 CPU 利用率的正态分布函数,利用其97.73%的置信上限( $m+3\sigma$ )作为初始估计值。

(2)协商与预留阶段 CPU 调度系统首先判断系统是否有足够的 CPU 时间片分配给该码流,如果有,则将该解码项加入调度队列。调度程序按照预留的 CPU 占用率调度队列中的线程。

(3)性能监控阶段 监控程序不断监视各个解码线程的运行情况并动态调整预留时间。

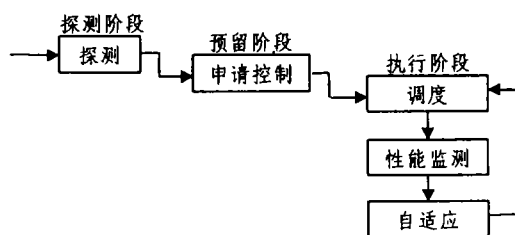


图6 基于 QoS 的 CPU 时间片调度

### 3.5 复杂背景下的运动对象检测

视频内容理解是数字视频监控相对于模拟监控的主要优势 (下转封四)

(上接第 91 页)

点之一。视频理解的难点在于精确的运动对象检测,特别是在复杂监控背景下运动对象的检测与分割是经典困难的问题。本系统提出一种称为基于背景减的 3 关键值运动对象检测算法,实际应用表明该算法在复杂背景下(如场景亮度变化、树枝叶运动等)有较好的稳健性。

背景减 3 关键值运动对象检测算法的思想是,当前背景中每一个背景像素都分别由 3 个值表示:像素强度变化的最大值、最小值和混合值,用符号表示为  $I_{max,b}(x,y)$ 、 $I_{min,b}(x,y)$  和  $I_{mix,b}(x,y)$ ,其中  $(x,y)$  为像素坐标(以下省略), $b$  表示“背景”, $i$  为帧号。通常  $I_{mix,b}$  用于环境光线变化时获得背景像素最理想的近似,以增强运动像素检测的稳健性; $I_{max,b}$  和  $I_{min,b}$  配合使用,用于记录背景像素可能出现的最大和最小值,这一最大或最小值可以表示背景像素由于其对应的实际物体振动离开原位后显示的颜色。因此  $I_{mix,b}$ 、 $I_{max,b}$  和  $I_{min,b}$  合起来可以较理想地表示一个复杂的监控背景。

采用 3 关键值背景维护算法,运动像素的判定公式是:

$$\min(|I_{min,bn} - I_{cn}|, |I_{max,bn} - I_{cn}|, |I_{mix,bn} - I_{cn}|) > T_Y$$

其中  $I_{cn}$  为当前帧像素的强度; $T_Y$  为亮度变化判定阈值,本系统设定  $T_Y = 0.1$ 。

背景更新公式是:

$$\begin{cases} I_{min,bn+1} = \min(I_{min,bn}, I_{cn}) \\ I_{max,bn+1} = \max(I_{max,bn}, I_{cn}) \\ I_{mix,bn+1} = \lambda I_{mix,bn} + (1-\lambda)I_{cn} \end{cases} \quad \text{当 } I_{cn} \text{ 为非运动像素时}$$

$$\begin{cases} I_{min,bn+1} = I_{min,bn} \\ I_{max,bn+1} = I_{max,bn} \\ I_{mix,bn+1} = I_{mix,bn} \end{cases} \quad \text{当 } I_{cn} \text{ 为运动像素时}$$

这里  $\lambda \in [0,1]$ ,其值大小决定背景的更新速度: $\lambda=0$  直接使用当前帧作背景; $\lambda=1$  使用初始帧作背景,本系统设定  $\lambda=0.1$ 。

**结束语** 现有的数字视频监控绝大部分采用专用视频处理硬件实现视频信号的采集、压缩和显示,虽然使用硬件较好地解决了系统的实时性问题,但同时也产生了系统参数不可调、适应性和灵活性差的问题。特别是对于远程监控应用,由于网络信道的多样性、传输速度和质量变化的随机性以及不同用户提出的需求的差异,都要求系统能够将信源编码、网络传输、客户端解码等有机结合起来,以期达到最佳 QoS,这也是现代多媒体通信技术研究的主要目标。

JKBH-1 系统的信源编码、解码、传输、回放和存储完全基于软件实现,信源编码关键参数如帧效率、码率、图像质量允许用户手工设定,也可以定义为自动方式,通过系统的 QoS 机制和 RTP 多媒体传输协议,自动网络带宽自适应和拥塞控制,实现最佳客户端服务质量。

JKBH-1 的不足之处是,受目前 CPU 速度的限制,前端机只能保证一路视频信号的实时采集、显示、压缩、传输及存储任务。要实现多路视频信号的处理,对最耗 CPU 资源的压缩任务需要使用硬件来完成,这也是我们正在研究的课题之一。

## 参考文献

- Hernandez A I, Mora F, Villegas M, Passariello G, Carrault G. Real-time ECG transmission via Internet for nonclinical applications. *Information Technology in Biomedicine. IEEE Transactions*, 2001, 5(3): 253~257
- Wunnavu S V, De La Cruz M. Web based remote security system (WRSS) model development. In: *Southeastcon 2000 Proc. of the IEEE*. 2000. 379~382
- Kopilovic I, Saue D, Hamzaoui R. Progressive fractal coding. *Image Processing*, 2001. In: *Proc. 2001 Intl. Conf. Volume: 1*, 2001. 86~89
- Lee J Y B. On a unified architecture for video-on-demand services. *Multimedia, IEEE Transactions on*, 2002, 4(1): 38~47
- 涂亚明. 基于块匹配的快速运动估计技术研究及应用: [硕士学位论文]. 北京航空航天大学, 2001
- 李尊峰, 王文义, 周兵, 等. 一种基于通用 DSP 的视频编码器量化策略. To appear
- He Z, Mitra S K. Novel rate-distortion analysis framework for bit rate and picture quality control in DCT visual coding. *Vision, Image and Signal Processing*. In: *IEE Proc. Volume: 148 Issue: 6*, Dec. 2001. 398~406
- Cheung W-F, Chan Y-H. Improving MPEG-4 coding performance by jointly optimising compression and blocking effect elimination. *Vision, Image and Signal Processing*. In: *IEE Proc. Volume: 148 Issue: 3*, June 2001. 194~201
- Peng Ge, McKinley P K. Comparisons of error control techniques for wireless video multicasting. *Performance, Computing, and Communications Conference*, 2002. 21st IEEE Intl. 2002. 93~102
- RFC 1889, RTP A Transport Protocol for Real-Time Applications
- Hashimoto K, Shibata Y, Shiratori N. Flexible multimedia systems architecture with adaptive QoS Guarantee functions. In: *7th Intl. Conf. on Parallel and Distributed Systems (ICPADS '00)*

# 计算机科学

(1974年1月创刊)

第30卷第2期(月刊)

2003年2月25日出版

ISSN 1002-137X  
CN50-1075/TP

定价: 20.00元 国外定价: 5美元

邮发代号: 78-68

发行范围: 国内外公开

主管单位: 国家科学技术部

主办单位: 国家科技部西南信息中心

编辑出版: 《计算机科学》杂志社

重庆市渝中区胜利路132号 邮政编码: 400013

电话: (023) 63500828 E-mail: jsjcx@swic.ac.cn

社长: 牟炳林

主编: 朱宗元

印刷者: 重庆科情印务有限公司

总发行处: 重庆市邮政局

订购处: 全国各地邮政局

国外总发行: 中国国际图书贸易总公司(北京399信箱)

国外代号: 6210-MO