

基于 3G 和 H.264 技术的无线视频监控系统

任守华¹, 王胜华^{2a}, 刘士雷^{2b}, 蒋习旺³

(1. 黑龙江八一农垦大学 信息技术学院, 黑龙江 大庆 163319; 2. 北京航空航天大学 a. 计算机学院; b. 软件学院, 北京 100083; 3. 哈尔滨工程大学 计算机学院, 哈尔滨 150600)

摘 要: 针对网络视频监控设备的实际应用需求, 融合视频压缩、嵌入式系统和无线通信等相关技术, 设计实现了基于 3G 技术的 H.264 无线视频监控系统。该监控系统实现了视频数据的采集、压缩与网络传输以及编解码等功能。由于 H.264 标准中码率控制策略过于强调通用性而没有考虑无线网络的误码率高、抖动性大以及嵌入式终端的处理能力有限的因素, 本系统在实现了 H.264 标准中码率控制策略的基础上进行了优化。实验表明, 在码率没有明显增加的情况下, 图像 PSNR 值有所提高, 从而较好地实现了码率控制效果。

关键词: 3G; H.264; 视频监控系统; 码率控制

中图分类号: TP37

文献标志码: A

文章编号: 1001-3695(2010)04-1554-03

doi:10.3969/j.issn.1001-3695.2010.04.099

Wireless video surveillance system based on H.264 and 3G technology and optimized rate control algorithm

REN Shou-hua¹, WANG Sheng-hua^{2a}, LIU Shi-lei^{2b}, JIANG Xi-wang³

(1. School of Information Technology, Bayi Agricultural University of Heilongjiang, Daqing Heilongjiang 163319, China; 2a. School of Computer Science & Engineering, 2b. College of Software, Beihang University, Beijing 100083, China; 3. College of Computer Science & Technology, Harbin Engineering University, Harbin 150600, China)

Abstract: As the demand for network video surveillance equipment, this paper designed and realized the wireless video surveillance system based on 3G and H.264 technology. The system integrated video compression, embedded systems and wireless communications and related technologies. As the rate control algorithm of H.264 emphasis too much on versatility without taking into account about the high error rate of wireless networks, and with limited processing power of embedded terminals, the system optimized rate control algorithm of H.264 to fit these conditions. Experimental results show that there is no significant increase in the coded bits, but the image PSNR value has increased, and thus achieves a better rate control effect.

Key words: 3G; H.264; video surveillance system; rate control

中国已经跨入 3G 技术时代, 无线网接入固网的大网络时代已经来临。随着流媒体和嵌入式技术的不断发展, 基于无线网络和嵌入式技术的无线监控将取代传统的监控方式, 在许多方面得到广泛的应用, 如银行、超市、小区、远程教育领域以及各种工业场所等^[1]。本文针对网络视频监控设备的实际应用需求, 融合视频压缩、嵌入式系统无线通信等新技术, 设计实现了基于 3G 技术的 H.264 无线视频监控系统。由于 H.264 标准中码率控制策略过于强调通用性而没有考虑无线网络的误码率高、抖动性大以及嵌入式终端处理能力有限的因素, 而本系统在实现了 H.264 标准中码率控制策略的基础上进行了优化, 增强了系统的稳定性。

1 视频监控系统总体结构

视频监控系统由视频拍摄节点、视频采集控制模块、网络代理模块和观看终端组成。其中, 拍摄节点为高精度摄像机, 负责采集原始视频; 视频采集控制模块由采集卡以及控制软件

组成, 采集卡安装在嵌入式主板上, 把摄像机采集的原始视频数据压缩成 H.264 格式的码流并回调给系统处理; 控制软件运行在嵌入式 Linux 系统上, 通过采集卡的驱动程序获取压缩后的 H.264 格式的码流, 并控制与网络代理模块的连接以及数据和命令的传输及响应, 如将压缩后的码流传输给网络代理, 对某个摄像机通过串口发控制命令; 网络代理模块负责与视频观看终端进行网络连接的管理以及控制命令和视频数据的传输; 观看终端为主流的基于 Symbian 操作系统的智能手机。

2 系统硬件构成及主要模块

手机视频监控系统的硬件环境由摄像机、采集卡、嵌入式主板以及智能手机组成。摄像机使用的是 SONY FCB-EX480CP; 嵌入式主板使用的是威盛 EPIANR 系列 Nano-ITX 嵌入式主板, 型号为 EPIANR10000EG; 智能手机使用当前主流的基于 Symbian 操作系统的手机诺基亚 N95。系统框图如图 1

收稿日期: 2009-07-20; 修回日期: 2009-09-21

作者简介: 任守华, 男, 讲师, 主要研究方向为嵌入式系统、无线流媒体; 王胜华, 男, 黑龙江哈尔滨人, 硕士研究生, 主要研究方向为嵌入式系统、移动流媒体、移动计算(wsh604@163.com); 刘士雷, 男, 河北唐山人, 硕士研究生, 主要研究方向为嵌入式系统、移动流媒体; 蒋习旺, 男, 黑龙江哈尔滨人, 硕士研究生, 主要研究方向为嵌入式系统、水下机器人。

所示,拍摄节点为可控制摄像头。下面主要介绍视频采集控制模块和网络代理模块的功能及构成。

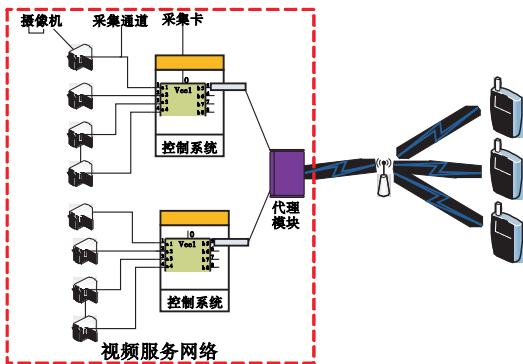


图1 手机视频监控系统框架图

2.1 视频采集控制

视频采集控制模块主要负责视频的采集、压缩和控制命令的响应,采集视频时主要负责采集卡的启动、初始化和各种控制操作,同时也负责摄像头相关的一些控制操作。具体的软件构架如图 2 所示。其中:NCCMain 模块负责管理各个子模块,打开 Socket 监听 7020 端口,当有从网络代理模块的连接请求时,则响应并接收数据;数据处理模块负责处理各种命令(如视频的开启和焦距调整命令),并对这些命令发送确认消息进行响应;RS-232 串口线控制模块通过 RS-232 串口线控制摄像机的拍摄焦距,以响应焦距调整命令;板卡采集管理模块主要负责板卡的初始化、采集信道的开启、H. 264 各种参数(I、P 帧的间距、量化参数、编码格式(CIF、QCIF)等)的设置、回调函数的设置,与代理进行连接从而向代理发送视频流等操作。该模块基于采集卡开发包,通过接口调用厂商提供的驱动程序来实现各种功能。该模块的工作流程如下:a)调用厂商提供的驱动程序设置视频采集的初始参数;b)启动网络管理程序,打开套接字监听 7020 端口,当收到连接请求便响应连接请求并接收命令,收到命令后调用命令处理模块,根据不同命令进行不同处理;c)当收到启动视频命令,向代理发连接请求,请求响应后连接建立,通过该连接向代理发送视频数据,并将连接描述符保存到转发表中;d)当收到视频关闭命令,关闭与代理的视频传输连接,将转发表对应的表项清空;e)当收到焦距调整命令后,调用 RS-232 串口控制模块设置摄像头的拍摄焦距,然后与网络代理监听的 7005 端口建立连接,将当前的焦距级数信息报告给网络代理。

2.2 网络代理

网络代理模块主要负责响应手持设备的连接请求和控制命令,并向其发送视频数据,它又包含以下子模块:

a)连接请求监听模块。该模块作为一个单独的线程,监听 9000 端口,如收到手持设备的代理信息请求命令则回送一个确认消息。

b)控制命令处理模块。它负责处理手持设备发来的各种命令,并向视频采集控制模块发送对应的处理命令;接收视频采集控制模块的命令响应,并对手持设备的命令作相应的响应。

c)视频数据收发模块。当接收到来自视频采集控制模块的 H. 264 视频码流便将此视频数据流转发给发出点播命令的手持设备。网络代理模块的结构关系如图 3 所示。

该模块的工作流程如下:a)启动连接请求处理模块,监听 9000 端口,根据第一个字节值判断消息类型,如果是注册消息,则回送一个确认消息。b)启动一个新的线程,首先启动命令服务模块,监听 7000 端口,等待连接请求,当收到连接请求后,响应请求连接建立,之后接收发来的命令并对不同命令作不同处理:对手持设备关于视频服务网络中摄像头列表请求命令则回复摄像头列表信息;对视频启动命令,提取命令中知道的节点 ID 号和摄像头号,根据节点 ID 号在配置表中提取出该节点的 IP,然后向该节点的视频采集控制模块发送视频采集命令并向手机终端发起连接请求,连接建立后把连接描述符保存在关于手持设备的表中,以备以后传输视频数据用;对视频关闭命令则提取命令中指定的节点 ID 号和摄像头号,根据节点 ID 号在配置表中提取出该节点的 IP,然后向该节点的视频采集控制模块发送停止视频采集命令,再把关于手持设备表中保存的连接关闭;对焦距调整指令,提取命令中指定的节点 ID 号和摄像头号,根据节点 ID 号在配置表中提取出该节点的 IP,然后向该节点的视频采集控制模块发送焦距调整命令。c)启动数据处理模块。该模块监听 7001 ~ 7004 的端口等待连接请求,当对连接请求响应后便可接收来自拍摄节点视频采集控制模块发来的视频数据。d)启动控制命令服务模块。该模块监听 7005 端口,准备接收来自拍摄节点视频采集模块的连接请求,视频采集模块发送连接请求并当连接建立后发送当前摄像头焦距的级数值。

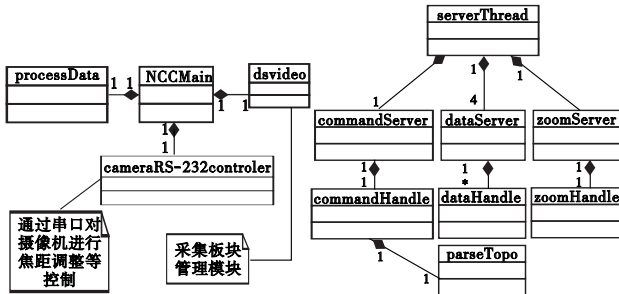


图2 NCC视频采集控制类图

图3 NPY网络代理类图

2.3 视频监控系统通信流程

无线视频监控系统的总体流程如下:a)手持设备接入网络。手持设备通过 3G 无线网络跨移动网关接入有线网,与视频服务网络代理交互,注册自己的信息,并从代理节点得到网络中采集设备的信息。b)进行视频浏览操作。手持设备接入网络后,可根据需要进行视频浏览,用户选定要进行浏览的节点和摄像头,向其发送控制命令,开启摄像头进行采集,得到的视频数据通过视频服务网络代理经 3G 网络传输给手持设备,在手持设备上观看。c)进行视频控制操作。手持设备获得拍摄节点视频后,可根据需要对拍摄节点进行控制以获取更感兴趣的视频区域,如用户对拍摄节点更远处的场景感兴趣,可发送放大指令,让采集视频的摄像机向远处变焦;用户也可以根据自己的需要发送摄像机或节点切换指令给代理,代理进行响应并按用户需求启动相应的摄像机。

3 码率控制优化算法

在 H. 264 标准中,码率控制是根据当前的带宽和缓冲区使用情况来动态地调节量化参数等系数实现的^[2]。考虑到移动终端的处理能力差异大以及无线网络误码率高抖动大等因

素,本系统在实现了 H. 264 标准中码率控制策略的基础上进行了优化,即在码率控制过程中,不仅考虑到带宽和缓冲区的使用度,还结合终端的视频处理能力以及无线网络的状态,动态地调节编码器的参数,此外,增加了跳帧策略,并结合本系统优化了跳帧策略,从而达到更好的码率控制效果。

3.1 移动终端反馈信息优化

H. 264 标准中,码率控制根据式(1)计算第 i 个 z 帧组的第 j 帧配比比特数^[3]:

$$\hat{A}_{n_{i,j}} = \frac{u(n_{i,j})}{F_r} + \gamma \times (Tbl(n_{i,j}) - B_c(n_{i,j})) \tag{1}$$

其中: $u(n_{i,j})$ 表示编码第 i 组第 j 帧时信道可获带宽; F_r 表示预定帧率; $Tbl(n_{i,j})$ 表示第 i 个帧组编码第 j 帧时目标缓冲区的使用量; $B_c(n_{i,j})$ 表示编码完第 $j-1$ 帧时缓冲区的占用量。

式(1)强调通用性而没有对无线环境以及嵌入式设备进行相关处理。本文结合无线网络误码率高以及移动终端处理能力弱的特点对标准中算法进行了优化。首先移动终端统计误码率和丢包率,分别记为 $E_{i,j}$ 和 $L_{i,j}$,并设定一个值 $M_{i,j}$ 表示移动终端反馈的其缓冲使用度。移动终端定时把几项数据反馈给网络代理模块,网络代理根据移动终端的反馈信息重新对网络带宽可用度进行评估并对原算法公式进行调整,计算式为

$$BW_{i,j} = \frac{\beta_1 E_{i,j} + \beta_2 L_{i,j} + \beta_3 BW_{i,j-1}}{BW_{k-1}} \tag{2}$$

$$\gamma_{i,j} = \frac{\beta_4 \times M_{i,j-1}}{M_{i,j}} \tag{3}$$

$$\hat{A}_{n_{i,j}} = \left\{ \frac{u(n_{i,j}) \times BW_{i,j}}{F_r} + \gamma \times (Tbl(n_{i,j}) - B_c(n_{i,j})) \right\} \times \gamma_{i,j} \tag{4}$$

其中: $BW_{i,j}$ 表示根据移动终端反馈信息获取的当前带宽可用度; $\gamma_{i,j}$ 表示移动终端承载能力因子; β_1 、 β_2 、 β_3 和 β_4 为加权系数。在帧组层码率控制计算第 j 帧分配的码字时把原算法的式(1)调整为式(4)。

3.2 跳帧

为了避免溢出,当缓存区内比特数超过缓存区空间的 85% 时,跳过当前帧而不对其进行编码,直到其低于临界值后再进行编码。在 H. 264 码率控制算法的第二步中,根据目标缓存使用量、帧率、可用带宽和实际缓存占用度以及当前编码图像的复杂度,可以由下式计算得到第 i 个帧组第 j 帧的目标比特数,计算式如下^[3]:

$$f(n_{i,j}) = \beta \times \hat{A}_{n_{i,j}} + (1 - \beta) \times \mathcal{N}_{n_{i,j}} \tag{5}$$

其中: $\mathcal{N}_{n_{i,j}}$ 表示考虑剩余比特数和图像复杂度后应该增加的比特数; γ 为一常数,一般取值 0.5; 当没有 B 帧的情况下取值 0.25; $\hat{A}_{n_{i,j}}$ 与式(1)的意义相同。本文利用该公式结果进行码率控制的同时,优化跳帧策略,即当预测的码率加上当前缓冲区使用量大于预定阈值 $K_{\max}$ (目前定位为 95%) 时,可进行主动丢帧处理,即如果不是 i 帧,就将其丢掉,不作编码处理。计算如下:

$$CLQ_{i,j} = \frac{f(n_{i,j}) + B_c(n_{i,j}) - \frac{u(n_{i,j})}{F_r}}{M_{\max}} \tag{6}$$

当收到移动终端的反馈值 M 大于 85% 时,同样采取跳帧策略,避免造成移动终端缓冲区不够的丢帧现象发生,因为丢帧丢的如果是 i 帧,会影响后续视频帧的重建。该策略可以通过跳过一些复杂度较低、对于整个序列而言并不重要的图像来

为后面复杂度较高、不能丢失的图像留出缓存区空间。

4 测试结果

针对本文的无线视频系统和优化算法,主要测试系统总体性能和码率控制优化的效果,码率控制的结果主要以传输比特数和 PSNR 值来衡量^[4]。在接收端程序中加入了 $iBufSizeTotal$ 变量,用来统计发送的数据大小的总和;在拍摄端加入了编码启动时间 $iTimeStart$ 和编码结束时间 $iTimeEnd$,并加入了变量 $iFrameCount$ 来统计共编码了多少帧。针对计算码率控制的效果,计算码率控制算法优化前和优化后平均每秒的输出比特数(码率),计算式如下:

$$B_r = \frac{iBufSizeTotal}{iTimeEnd - iTimeStart} \tag{7}$$

针对编码优化的效果计算出编码器优化前后编码的平均每秒编码帧数(帧率),计算式如下所示:

$$F_r = \frac{iFrameCount}{iTimeEnd - iTimeStart} \tag{8}$$

在进行系统的测试时,将拍摄节点放置在以下四种背景环境中:a)纹理简单,运动缓慢;b)纹理比较丰富,运动平缓;c)纹理丰富,运动中等;d)纹理复杂,运动剧烈。拍摄的摄像头采样模式均设为 YUV 的 4:2:0 格式。表 1 显示了编码器优化前后的四种背景下每秒帧率的情况。

表 1 无线视频监控系统帧率

序列	帧率/fps	序列	帧率/fps
纹理简单,运动缓慢	15.31	纹理丰富,运动中等	12.86
纹理较丰富,运动平缓	13.78	纹理复杂,运动剧烈	11.02

对于码率控制优化算法实验的结果通过表格的形式给出。表 2 给出了标准中原码率控制算法和本文提出的算法对于六种标准序列在不同目标码率和帧率下的实际编码码率和平均重建图像的峰值信噪比 PSNR 值的测试结果;表 3 给出了原标准算法和本文算法对应的比特率偏移与平均 PSNR 值差值比较。

表 2 对应的实际码率和平均 PSNR 值比较

视频序列 (QCIF)	平均目标码率 /kbps	优化前		优化后	
		平均 PSNR	实际 码率	平均 PSNR	实际 码率
foreman	32	25.13	32.93	25.71	32.23
carphone	32	26.56	34.59	26.83	32.57
silent	64	28.28	66.34	28.25	65.28
news	64	27.89	65.71	27.77	64.38
paris	128	27.52	130.39	26.81	127.97
mobile	128	26.78	129.82	26.97	128.95

表 3 优化前后对应的比特率偏移和平均 PSNR 值差值比较

视频序列 (QCIF)	目标比特率/kbps	比较率偏移/kbps		高出的 PSNR 值/dB
		原算法	本算法	
foreman	32	0.93	0.23	0.58
carphone	32	2.59	0.57	0.27
silent	64	2.34	1.28	-0.03
news	64	1.72	0.38	-0.12
paris	128	2.39	-0.03	-0.71
mobile	128	1.82	0.95	0.19

从表 3 中可以看出,本文提出的算法可以更为合理地控制码率,六个序列中四个的峰值信噪比原算法有一定提高,表明本文提出的图像复杂度因子是合理有效的。

为了进一步对比改进算法的效果,本文将视频序列每帧的 PSNR 值通过坐标图的形式给出,图中横坐 (下转第 1559 页)

每组实验从每类人脸图像中随机抽取 ϑ ($\vartheta=3,4,5$) 个样本组成训练样本集,同时所有样本组成测试样本集。表 2 是 Eigenface、Fisherface、D-LDA 和本文方法的识别性能比较,实验结果显示了各算法在 10 次不同实验数据下的均值。



图2 ORL人脸数据库部分人脸图像

表 2 不同数量训练样本集下 ORL 人脸数据库上识别率比较

number of training samples	Eigenface/%	Fisherface/%	D-LDA/%	Proposed method/%
3	83.25	88.25	91.78	92.24
4	90.50	91.25	94.58	95.16
5	93.00	95.50	96.46	97.25

根据文献[10,13,14]的研究可知,Fisherface 算法执行效率的高低一定程度上依赖于特征维数的使用数量。通过表 1 和 2 的实验数据可以看出,基于对称线性子空间的特征抽取方法的性能在不同人脸数据库下均优于其他代数特征抽取方法。

5 结束语

本文在 Fisher 鉴别准则下,提出了一种新的对称线性子空间的 LDA 特征抽取方法。与其他的经典方法相比,基于 PCA 思想的 Eigenface 得到的特征向量是有效重构数据的向量,但不是最有助于分类的特征向量。Fisherface 虽然采用了 PCA + LDA 的变换过程,但是该组合方法在变换过程中损失了有助于分类的鉴别信息。D-LDA 方法是一种简单有效的线性特征提取方法,该方法剔除了不含最有判别力信息的类间散布矩阵的零空间,但在实际应用中去除 S_b 零空间的同时往往间接丢失了 S_b 零空间中的有用信息。本文通过构造一种矩阵变换,得到了相对于 S_b 的另一个对称线性子空间,从而巧妙地解决了传统 Fisher 线性鉴别分析方法中的最终特征维数受类别数限制的问题。实验结果表明,该算法是一种解决小样本问题的有效方法,而如何充分利用对偶代数理论进一步增大有效鉴别特征的数量,这是后续的研究方向。

(上接第 1556 页)

标为帧的编号,纵坐标为对应的 PSNR 值。本文中给出了具有 mobile(码率限制较高比特 128 kbps)的视频序列 PSNR 图,如图 4 所示,即限定码率分别为 32 kbps、64 kbps 和 128 kbps 的典型视频。从图 4 中可以看出,改进算法的 PSNR 值波动相对较小,从而在视觉上不会感觉到明显的图像质量变化,这就保证了图像质量的平稳过渡,具有较高的主观视觉质量。

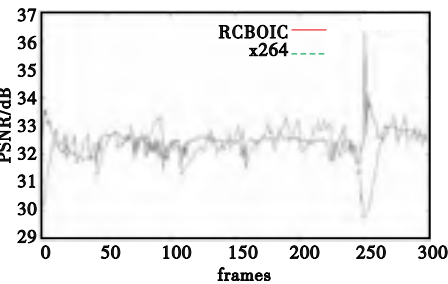


图4 Mobile序列每帧图像的PSNR值比较

5 结束语

本文设计并实现了基于 3G 和 H. 264 技术的无线实时监

参考文献:

[1] FUKUNAGA K. Introduction to statistical pattern recognition [M]. 2nd ed. New York: Academic Press,1990.

[2] CHEN Li-fen, LIAO H Y M, LIN J C, et al. A new LDA-based face recognition system which can solve the small sample size problem [J]. Pattern Recognition, 2000, 33 (10): 1713-1726.

[3] TIAN Q. Image classification by the Foley-Sammon transform [J]. Optical Engineering, 1986, 25(7): 834-839.

[4] HONG Zi-quan, YANG Jing-yu. Optimal discriminant plane for a small number of samples and design method of classifier on the plane [J]. Pattern Recognition, 1991, 24(4): 317-324.

[5] 洪子泉,杨静宇.用于图像识别的图像代数特征抽取[J].自动化学报,1992,18(2): 232-238.

[6] 王卫东,郑宇杰,杨静宇.采用虚拟训练样本优化正则化判别分析[J].计算机辅助设计与图形学学报,2006,18(9): 1327-1331.

[7] 王卫东,杨静宇.采用虚拟训练样本的二次判别分析方法[J].自动化学报,2008,34(4): 400-407.

[8] BELHUMEUR P N, HESPANHA J P, KRIEGMAN D J. Eigenfaces vs. fisherfaces: recognition using class specific linear projection [J]. IEEE Trans on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1997, 19(7): 711-720.

[9] YANG Jian, YANG Jing-yu. Why can LDA be performed in PCA transformed space [J]. Pattern Recognition, 2003, 36(2): 563-566.

[10] YANG Jian, FRANGI A F, YANG Jing-yu, et al. KPCA plus LDA: a complete kernel Fisher discriminant framework for feature extraction and recognition [J]. IEEE Trans on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2005, 27(2): 230-244.

[11] AT&T Laboratories Cambridge. ORL face database [EB/OL]. [2009-08-20]. <http://www.camorl.co.uk/facedatabase.htm>.

[12] YU Hua, YANG Jie. A direct LDA algorithm for high-dimensional data-with application to face recognition [J]. Pattern Recognition, 2001, 34 (11):2067-2070.

[13] LU Ju-wei, PLATANIOTISM K N, VENETSANOPOULOS A N. Regularization studies of linear discriminant analysis in small sample size scenarios with application to face recognition [J]. Pattern Recognition Letters, 2005, 26(2): 181-191.

[14] SONG Xiao-ning, ZHENG Yu-jie, WU Xiao-jun, et al. A complete fuzzy discriminant analysis approach for face recognition [J]. Applied Soft Computing,2010,10 (1):208-214.

控系统,并结合无线传输以及智能手机处理能力弱的特点,对 H. 264 标准中码率控制策略进行了优化。实验表明,在码率没有明显增加的情况下,图像 PSNR 值明显提高,从而较好地实现了码率控制效果。

参考文献:

[1] 何浩,王玲,马文科.基于 H. 264 无线网络视频监控系统的设计[J].电视技术,2008(10):212-216.

[2] WIEGAND T, SCHWARZ H, JOCH A,et al. Rate-constrained coder control and comparison of video coding standards[J]. IEEE Trans on Circuits and Systems for Video Technology, 2003, 13 (7): 688-703.

[3] JVT-H017, Joint Video Team (JVT) of ISO/IEC MPEG & ITU-T VCEG document[S]. 2003.

[4] JIANGM Q,LNGN. On enhancing H. 264 /AVC video rate control by PSNR-based frame complexity estimation [J]. IEEE Trans Consumer Electronics, 2005, 51(1):281-286.