

基于红外视频的变电站监控系统的实现

胡 旭¹ 刘晓明¹ 杨士中¹ 仲元红¹ 陈 涛²

(重庆大学通信工程学院 重庆 400044)¹ (重庆大学电气工程学院 重庆 400044)²

摘 要 变电站的红外视频监控系统能有效监控变电设备的发热情况,但目前还没有针对红外视频特点的专用编解码方案。一般的视频监控(或图像监控)系统主要基于 H. 26L、MPEG-1、MPEG-2、JPEG2000 等标准设计,由于没有针对红外视频进行优化,都有一定的不足。MPEG-4 是一种压缩效率较高、系统开销合理的视频压缩标准,经适当优化后,适于变电站视频监控。本文讨论了 MPEG-4 标准中的几个关键技术,并给出了一种 MPEG-4 标准下基于红外视频的变电站监控系统实现方案。

关键词 视频监控系统,红外线,MPEG4,DPCM/DCT

Video Surveillance System of Substations Based on IR Thermal Image Technology

HU Xu¹ LIU Xiao-Ming¹ YANG Shi-Zhong¹ ZONG Yuan-Hong¹ CHEN Tao²

(College of Communication Engineering, Chongqing University, Chongqing 400044)¹

(College of Electrical Engineering, Chongqing University, Chongqing 400044)²

Abstract IR video surveillance system of substations can monitor the states of devices in substations effectively, but there is no special CODEC system based on the characteristics of IR image. At present, the design of video(or image) surveillance system of substations is mainly based on standards such as H. 26L, MPEG-1, MPEG-2, JPEG2000, but all of them have never optimized for IR image, so all of them have some disadvantages. MPEG-4 is a video compress standard with higher efficient compression and lower complexity of the system, and it is fit for digital surveillance system of substations. In this paper, some key technology of MPEG-4 standard is analyses, and a solution of IR video surveillance system of substations based on MPEG-4 Visual is introduced.

Keywords Video surveillance system, Infrared ray, MPEG4, DPCM/DCT

1 引言

随着无人值班变电站的广泛实施,对变电站安全提出了更高的要求。为了监视变电运行设备的发热情况及火险,保证变电设备的安全运行,本文提出了一种基于红外视频的变电站监控系统实现方案。

数字式视频监控系统的技术关键在于:压缩算法、传输技术和系统健壮性。过去的变电站工业电视监控系统,一般是基于 H. 26L、MPEG-1、JPEG2000 等标准,应用在红外视频监控上,都存在一定不足。主要表现为:1、没有利用好远程监控大多数背景图像静止不动的实际特点,运动补偿预测较差,传输信息中仍有大量冗余,影响传输效率;2、适应性较差,不能根据网络情况自适应地调节传输率,使得网络发生拥塞时性能急剧下降;3、用户交互性较差。MPEG-4 和 H. 264 是两种较为适合的编码标准,但 H. 264 编码复杂度高,对硬件的要求较高,价格昂贵,性价比不高,对于变电站红外视频这样的单色视频而言,并不实用。因此,本文采用了一种基于 MPEG-4 Visual Advanced Simple Profile 的变电站红外视频监控系统实现方案,性价比好,编码效果满足变电运行要求。

2 系统总体方案

系统由监控子站、传送通道、控制中心构成,监控子站包

含红外摄像头、云台、视频切换矩阵、编码器等硬件,传送通道可是光纤、微波、一点多地微波、扩频通信等方式,控制中心包含电力公司局域网络和视频多路选择器、解码器、监控终端等,结构如图 1 所示。

3 软硬件设计

为了实现变电站的红外监控,本系统选用了 OV7135 型 CMOS 传感器,光谱响应曲线如图 2 所示,能对 1150nm 以下光谱反应。经滤光片去除 800nm 以下光谱后,即得到红外视频图像。

系统的核心技术是 MPEG-4 视频编码器和解码器。考虑到变电站红外视频监控具有单色、背景基本固定、图像变化较小的特点,利用合理的去相关技术,将获得很高的压缩效率。为了在压缩效率、可靠性和系统开销之间取得最佳效益,本系统采用 MPEG-4 VISUAL 的 Advanced Simple Profile 档 L2 层作为系统 CODEC 模块的核心。

和其他视频压缩标准不同,MPEG-4 把视频流视作为背景和若干个 VO(VISUAL OBJECT)视频对象构成,这些对象可按照不同等级来编码其视觉质量和时间分辨率,从而反映它们在整个场景中的重要性。这使 MPEG-4 VISUAL 的编解码具有极强的灵活性。

*)该项目为云南省科委省校合作项目,项目名称:基于软件无线电的红外图像无线扩频传输。胡 旭 博士研究生,主要从事红外图像传感器应用及图像处理等。刘晓明 教授,博士后,主要从事测控系统数字化、软化、智能化研究。杨士中 院士,主要研究方向为运载体测控。仲元红 硕士研究生,主要从事图像处理研究。陈 涛 高级工程师,博士研究生,主要从事非可见检测及图像压缩、通信技术研究。

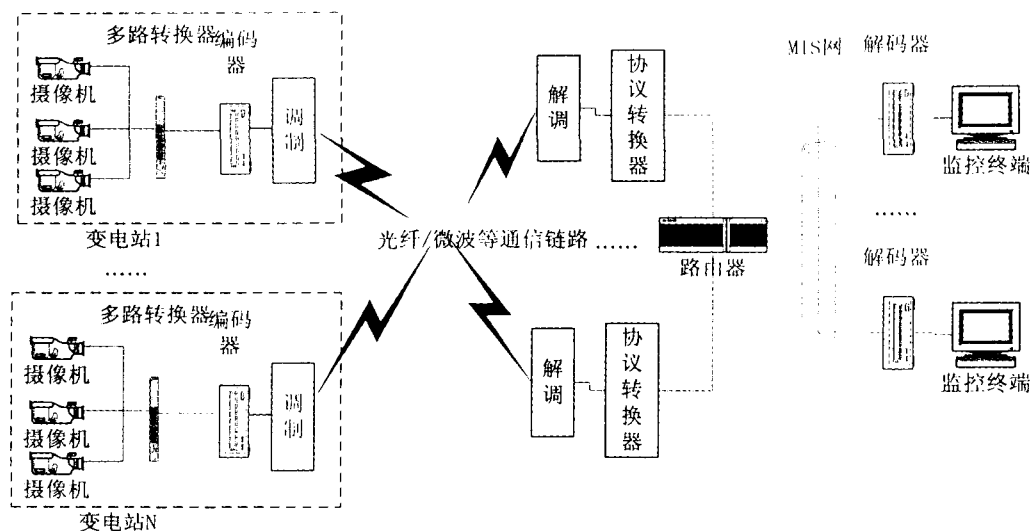


图1 变电站视频采集系统

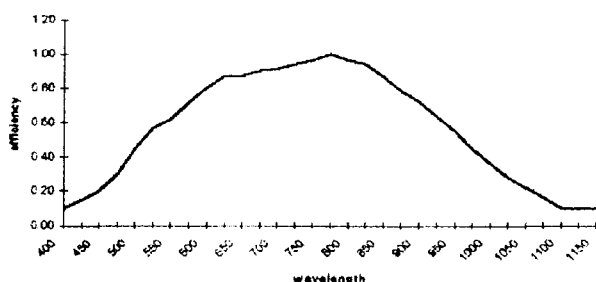


图2 CMOS传感器光谱响应曲线

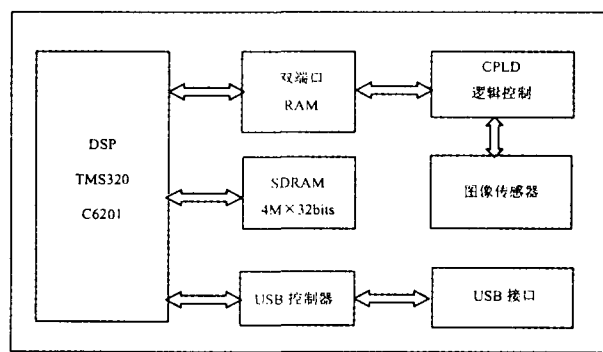


图3 DSP系统框图

MPEG-4 的 Advanced Simple Profile 档能支持解码 Simple Object 和 Advanced Simple Object, 可应用于 352×288 像素彩色图像编解码, 最大比特率 384kbps, 它具备以下特点:

1) 具备 Simple Profile 档的所有工具: 支持 I-VOP 和 P-VOP, 具有和 H. 263 兼容的短头部工具, 具有压缩效率工具 (每宏块 4 个运动矢量, 自由运动矢量, 内部预测), 具有传输效率工具 (视频包, 数据分割, 可逆式可变长编码, 极低码率编码)。其中, 传输效率工具更使 MPEG-4 能适应各种不同质量的通道, 推动了 MPGE-4 的应用;

2) B-VOP (双向预测运动补偿编码 VOP) 工具;

3) $1/4$ 像素运动矢量工具;

4) 交叉量化工具: 对 Intra DC 量化参数的重调和以前一样, 对其他量化参数则用交替方法;

5) 全局运动补偿工具;

6) 隔行扫描工具 (隔行扫描视频的编码工具)。

由于 MPEG-4 Visual Advanced Simple Profile 档具有以上工具, 使编解码效率极大提高, 通道适应性好, 适合变电站视频监控传输应用。

3.1 硬件设计

编码器、解码器均基于 DSP 系统设计, 用于视频处理的 DSP 系统框图如图 3 所示。从模拟视频信息经 A/D 采样得到数字视频的信息, CPLD 产生控制逻辑, 设置 A/D 采样器参数并调整 A/D 采样器与双端口 RAM 的时序, 把视频信息送入双端口 RAM (缓存器), DSP 以 DMA 方式把缓存中的数据传送到 SDRAM 中进行处理, 最后将处理结果送入 USB 控制器, 通过 USB 接口与外部设备通信。

3.2 视频编码器

本系统使用的是基于 VOP 的 DPCM/DCT 编码器, 编码器中主要有两个数据流路径, 从左到右是编码, 从右到左是重组 (用于生成参考 VOP)。编码流程如下:

输入视频对象的 VOP_n 被送入编码器, 被分为多个宏块 (对应于 8×8 的亮度区域及相应的色度区域), 用 VOP_n 和一个参考 VOP 比较。通过运动估计、搜索, 在 VOP_{n-1} 的内插子采样中找到一个 8×8 区域与 VOP_n 中的当前宏块匹配。找到匹配宏块后, 并把当前宏块位置相对于被选中的参考块位置的偏移记做当前运动矢量 (MV); 基于被选中的运动矢量 MV, 在运动补偿器中产生一个参考块 P (一个被运动估计器选中的 8×8 宏块); 从当前宏块中减去 P 块, 产生一个残值块 D; 用残值块 D 进行前向 DCT 变换;

$$Y_{xy} = C_x C_y \sum_{i=0}^{N-1} \sum_{j=0}^{N-1} D_{ij} \cos \frac{(2j+1)y\pi}{2N} \cos \frac{(2i+1)x\pi}{2N} \quad (1)$$

其中 D_{ij} 为残值块的参数, Y_{xy} 为对应的 DCT 变换后参数。

分别将每个 DCT 子块进行量化, 得到量化参数块 X; 对每个子块的 DCT 系数重组和游程编码 (RLE), 将得到的系数和运动矢量、再同步标志、宏块头信息等一起作熵编码 (这里采用的是变长编码 RLV), 最终产生压缩比特流。编码器的重组流程如下:

每个量化的宏块 X 均被重调和反变换, 产生一个解码了的残值 D'; 将运动补偿参考 P 和残值 D' 相加, 得到一个重组的宏块, 并存储以产生重组的 VOP, 即 VOP'_n; 在编码了一

个完整的 VOP 之后,重组的 VOP'_n 被用作下一个 VOP_{n+1} 的参考 VOP。

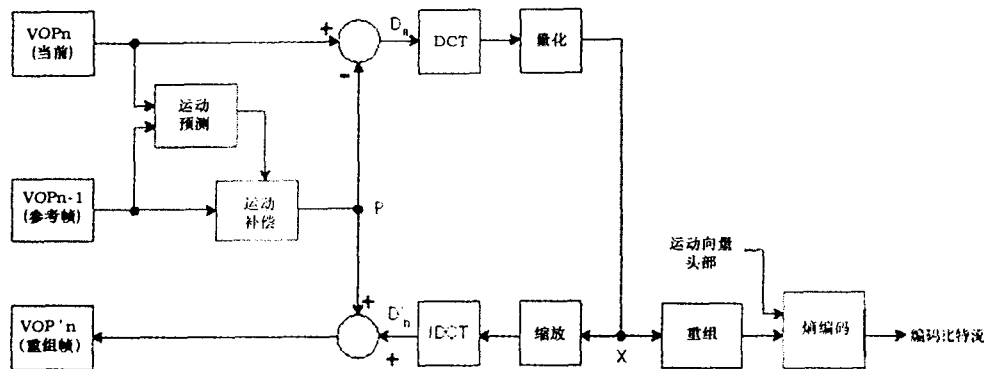


图4 编码器工作流程

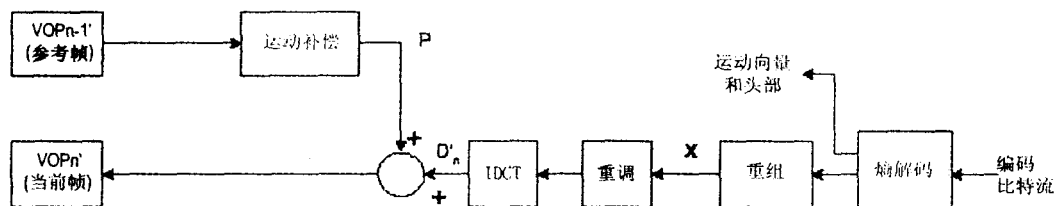


图5 解码器工作流程

3.3 视频解码器

解码器的工作流程:对压缩比特流进行熵解码,释放出量化系数、运动矢量、宏块头信息等;进行游程解码和反重组以产生量化参数块 X ; X 被 IDCT 变换和重构,产生解码了的残值宏块 D' ;

$$D_j = \sum_{x=0}^{N-1} \sum_{y=0}^{N-1} C_x C_y Y_{xy} \cos \frac{(2j+1)y\pi}{2N} \cos \frac{(2i+1)x\pi}{2N} \quad (2)$$

其中 D_j 为反向 DCT 变换后的残值宏块 D' 的参数, Y_{xy} 为量化参数块 X 的参数。

利用解码了的运动向量 MV,在解码器的参考 VOP(此处用的是前一个 VOP),即 VOP_{n-1} 中定位一个 8×8 区域,该区域构成运动补偿预测 P ;将 P 和 D' 相加,产生重建的宏块,保存该宏块,以产生解码的 VOP'_n ;在一个完整的 VOP 解码完成后, VOP'_n 用于显示,并被存储为下一个 VOP 对象的参考 VOP。在上述流程中,编码器包含了一个解码流程(重调、IDCT、重构),这是为了确保编码器和解码器使用相同的参考 VOP_{n-1} 来进行运动补偿。

3.4 提高压缩效率的方案

1)半像素运动补偿 MPEG-4 的 Advanced Simple Profile 档支持 $1/4$ 像素精度的运动矢量,使预测块能更接近原始宏块,有利于编码效率提高。为了提高匹配精度并节约系统消耗,本系统采用的是半像素运动补偿。

2)全局运动补偿 GMC 考虑到变电站红外视频图像变化较慢的特点,这里还采用了全局运动补偿 GMC。具有相同 VOP 的宏块,很多时候有相似的运动轨迹,GMC 允许编码器传输较小的运动(扭曲、变形)参数来描述全局运动,利用 GMC 和每个宏块的位置,可内插出当前宏块的 MV。这样,节约了大量运动矢量的传递。

3)小尺寸 DCT 变换 为了提高变换效率,本系统采用 4×4 子块的小尺寸 DCT 变换。

4)对参考 I 帧进行基于小波的单独编码 考虑到变电站

红外视频图像是单色图像,且具有大部分静止不动的特点,对 I 帧采用小波变换进行单独编码,从而避免了大量冗余信息的传输,提高压缩效率,而且可以减少码率过低时的方块效应。此处的小波变换采用的是 Daubechies(9,3)-tap 双正交小波,有一对双正交镜像的低通滤波器 H (含 3 个滤波系数)和高通滤波器 G (含 9 个滤波系数)。

对 Daubechies(9,3)-tap 双正交小波,具有通解

$$P(y) = P_k(y) = \sum_{k=0}^{K-1} \binom{K-1+k}{k} y^k, K = \frac{N}{2}$$

其系数为: $P_k = \sum_{k=0}^{K-1} (-1)^{k-l+1} \binom{K}{k-l} P_l, k=1,2,\dots,K-1$

h 和 g 分别是低通和高通滤波器的冲激响应, C_n^0 为一维原始数据信号序列,尺度 2^j 下的平滑分量和细节分量为 C_n^j 和 d_n^j , (3)和(4)式是分解运算, (5)式是合成运算,即:

$$c_n^{j+1} = \sum_k h(n-2k) c_n^j \quad (3)$$

$$d_n^{j+1} = \sum_k g(n-2k) c_n^j \quad (4)$$

$$c_n^j = \sum_k h(n-2k) c_n^{j+1} + \sum_k g(n-2k) d_n^{j+1} \quad (5)$$

图像处理中使用 Daubechies 双正交小波,能保证实现 FIR 滤波器的线性相位。I 帧的编码过程如图 6 所示,解码过程反之。

3.5 错误检测和隐藏

考虑到变电站的电磁工作环境,传输过程中可能有一些错误,必须做好错误检测和隐藏。

1)错误检测 假设解码后在 x 点接收到有错的 VOP_n ,记做 $Y_n(x)$,正确的原始数据记做 $I_n(x)$,则:

$$Y_n(x) = (1-b_n(x))I_n(x) + b_n(x)\mu_n(x) \quad (6)$$

$b_n(x)$ 是个二进制变量,设为 1 表示坏点,0 表示其他。 $\mu_n(x)$ 是在点 x 的坏数据。

这样,通过估计 $b_n(\cdot)$ 对应的比特流 s 和观察到的 $Y_n(x)$,就可进行错误检测。

2) 错误修复 修复时,过去一般使用运动补偿的前一个参考 VOP 代替相应区域的数据,达到隐藏错误的效果。当出错的区域较大时,可能难以从参考 VOP 推断丢失的大量数据。最极端的情况,可能整个 VOP 的运动和图像信息丢失。故需要改进算法。

假设检测到了一个 VOP 的错误,假定基本图像流模型

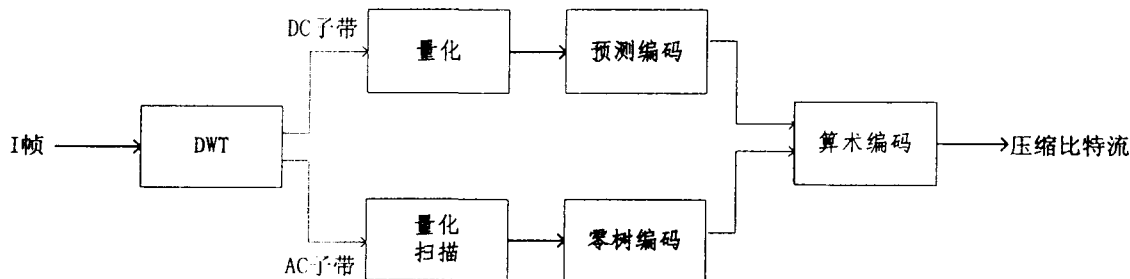


图6 I帧编码过程

通过以 Bayesian 判定规则处理 $p(d_{n,n-1} | I_{n-1}, I_{n+1})$, 得到丢失数据的最佳估计。

总结 在变电站引入红外视频监控系统,是一种有效的尝试。实践证明,基于 MPEG-4 的红外视频监控系统压缩效率高、容错性好、通道适应性强,满足变电运行要求,有利于无人值班变电站的安全运行。

参考文献

- 1 ISO/IEC WG11 MPEG Video Group, MPEG-4 Video Verification Model Version 18.0. The Pisa meeting of ISO/IEC/JTC1/SC29/WG11, No. MPEG2001/N3908, 2001~01
- 2 ISO/IEC JTC1/SC29/WG11 Document N2502. Information

如下:

$$I_n(x) = I_{n-1}(x)(x + d_{n,n-1}(x)) + e_n(x) \quad (7)$$

其中: $d_{n,n-1}(x)$ 指一个从 VOP_n 指向 VOP_{n-1} 的运动矢量; $e_n(x) \sim N(0, \sigma_e^2)$

Technology Generic Coding of Audio Visual Objects, Part2; Visual. ISO, IEC14496-2 Final Draft International Standard, 1998~11

- 3 Richardson I E G. H. 264 and MPEG-4 Video Compression; Video Coding for Next-generation Multimedia, The Robert Gordon University, Aberdeen, UK
- 4 Doyle I E, Kokaram A C. Error-Resilience in Multimedia Applications Ver AD-Hoc Nnetworks, Department of Electronic & Electrical Engineering Trinity College
- 5 朱秀昌,等. 数字图像处理与图像通信. 北京:北京邮电大学出版社, 2002
- 6 陈武凡,等. 小波分析及其在图像处理中的应用. 北京:科学出版社, 2002

科学技术贵以奉献与共享 《计算机科学》愿作益友

欢迎阅读/订阅 2006 年《计算机科学》

《计算机科学》由国家科技部主管,西南信息中心主办,系“中文核心期刊”、“中国科学引文数据库来源期刊”、“中国科技论文统计与分析用期刊”和“中国期刊方阵双效期刊”。主要报导国内外计算机科学与技术的发展动态,内容涉及程序理论、计算机软件、网络与信息、数据库、人工智能、人机界面、国际会议、应用等。

《计算机科学》杂志以其新颖、准确、及时为特色,突出动态性、综述性、学术性。报导特点是:“前沿学科”与“基础研究”相结合;“核心技术”与“支撑技术”相结合;“倡导”与“争鸣”相结合。广采百家之长,博览计算机世界之态势。重在突出文章的思想性(即哲理性的,典型性的,风格性的),令人有开拓思路之感;及时介绍新理论、新概念和新技术,尤其令高等院校学生有开阔视野之感。

2006 年扩展版面至每期 280 页,每期定价 30.00 元,全国各地邮局均可订阅,邮发代号 76-68。若误过订期者可直接寄现金到本社购买。

地址:重庆市渝中区胜利路 132 号《计算机科学》杂志社

邮编:400013

电话:63500828

E-mail: jsjx@swic.ac.cn

欢迎订阅《计算机科学》月刊,欢迎投稿,欢迎刊登广告