

远程视频监控系统中的解码技术及显示控制策略

彭 强¹, 杨天武¹, 陈维荣²

(1. 西南交通大学计算机与通信工程学院, 四川省成都市 610031)

(2. 西南交通大学电气化自动化研究所, 四川省成都市 610031)

摘要: 讨论和比较了 MPEG-1, Motion-JPEG, H. 263 视频压缩标准的特征, 及其在分布式远程视频监控系统中的选用原则, 研究了视频实时回显技术。针对不同视频标准的图像帧回放时间控制策略给出了上屏控制的具体算法, 提高了抗干扰能力和算法的鲁棒性, 最后对各种视频压缩和回显进行了对比试验, 给出了适于远程视频监控的应用范围。

关键词: 远程监控; 视频编码; 视频解码; 视频传输; 视频显示

中图分类号: TM764; TN919.8

0 引言

分布式远程视频监控系统(distributed remote video monitoring system, 缩写为 DRVMS)是集多媒体图像处理技术、网络通信技术、自动控制技术及智能报警技术于一体的综合技术, 是实现牵引变电站自动化的重要装备之一。DRVMS 涉及视频压缩标准选择、视频采集、编/解码、图像实时显示、视频差错控制与恢复、视频设备控制等多项视频技术, 还涉及网络结构设计、多线程同步控制、容错编码、网络协议选择等多项网络通信技术。

目前, 国内外对视频监控系统已有较多研究^[1~4], 一些成熟的系统正在许多领域得到成功应用。随着铁路现代化的发展以及企业减员增效压力的增加, 对铁路变电站采用综合自动化系统和实现无人值班的要求日益迫切, 因此, 逐步采用远程视频监控系统是铁路发展的必然趋势。但是, 与其他视频监控系统相比, 铁路变电站相关的通信信道一般是沿铁路线分布的, 各变电站之间距离较远(一般为几十 km)。因此, 一方面, 通道受系统特有的电气干扰严重; 另一方面, 信道相对比较紧张。通道结构多采用总线型或环状引入, 目前还没有一套成熟的远程视频监控系统在铁路牵引供电系统中得到成功应用。本文结合铁道部科技计划项目——牵引变电站安全监控及自动化成套技术的研究, 提出了一种分布式远程视频监控系统方案, 并对其中关键技术之一的视频解码及播放等进行了详细分析和研究, 给出了适用于 DRVMS 视频压缩、还原的可行方法。

1 系统构成

铁路牵引变电站 DRVMS 结构如图 1 所示。本系统从布局上分为监控中心、通道和前端设备 3 部分, 从功能上分为数字视频、通信和报警控制 3 个子系统。

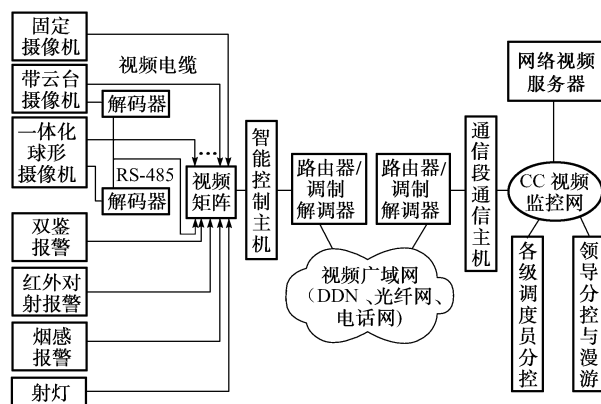


图 1 牵引变电站 DRVMS 结构

Fig. 1 Structure of DRVMS for traction substation

由于目前电气化铁路通信信道布局的特殊性, 要求 DRVMS 通信系统具有极其灵活的特点, 并支持不同的通信结构、物理介质和通信速率。因此, 本系统采用多种视频压缩标准和不同的压缩模式, 并且支持星形、总线、环形等不同的网络拓扑结构。通信子系统采用基于 TCP/IP 和 UDP 协议。对实时数字视频图像数据采用 UDP 协议, 以保证视频流的快速有效传输; 对各种控制命令和报警信息则采用 TCP 协议, 以保证其准确无误。牵引变电站 DRVMS 的软件功能模块关系如图 2 所示。

本文将重点讨论数字视频子系统的功能及实现方案。

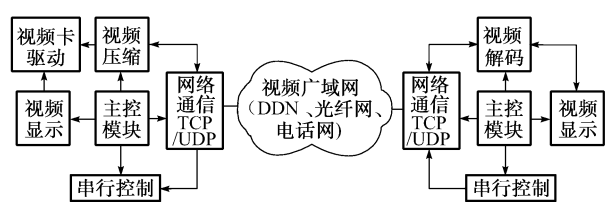


图 2 牵引变电站 DRVMS 软件功能模块关系图
Fig. 2 Software framework of DRVMS for traction substation

2 数字视频子系统的设计与实现

2.1 视频压缩标准的比较和选择

目前流行的压缩标准有 MPEG-1, MPEG-2, MJPEG (Motion-JPEG), H. 263 等。其中 MPEG-2 主要应用于高清晰度视频领域(带宽为 5 Mbit/s~20 Mbit/s), 目前尚不适合于远程监控。其他几种压缩标准各有特点(见表 1), 适合于不同的监控应用场合。

表 1 不同视频压缩编码标准在 DRVMS 中的特征
Table 1 Features of some video coding standards for DRVMS

特征	编码标准		
	MPEG-1	MJPEG	H. 263
图像压缩后数据率/ (Mbit · s ⁻¹)	0.4~1.5	2.0~8.0	0.2~0.5
视频帧类型	I, P, B	I	I, P
解码单元	图像组	帧	帧
抗信道干扰能力	差	很强	较强
群时延	大	小	小
图像连续性	很好	一般	一般
数据丢失对视频质量的影响	很大	很小	一般
图像剧烈变化对数据率的影响	一般	较小	很大

由于 MPEG-1 编码采用了双向预测帧(B 帧), 解码需要以图像组为最小解码单元^[5], 因此, 编/解码延迟较大。解码时, 少量数据的差错或丢失会造成大量的马赛克现象, 甚至出现停顿或大量丢帧现象。MJPEG 是将视频图像的每帧按 JPEG 编码并顺序存放的一种编码方法, 每帧都采用帧内编码, 数据丢失只影响当前帧, 其他帧不受影响。H. 263 是低速率(≤64 kbit/s)的窄带视频编码标准, 采用二维预测和半像素精度运动估计, 并有 4 种可选的高效编码模式, 保证了在极低速率下取得较好的图像质量^[6]。H. 263 标准的升级版 H. 263+和 H. 263++提供了更优的差错检测和差错恢复技术以及大量可选高效编码模式, 利用传输信道可以实现前向差错掩盖和基于反馈的差错控制^[7]。由于 H. 263 编码算法对运动不剧烈的视频压缩比很高, 在信道较差的低速信道上仍能得到效果较好的视频图像, 因而特别适合于在信道差的低速通道上传输连续的监控视

频图像。但在视频运动剧烈时, H. 263 压缩率明显降低。

本系统支持上述多种压缩标准, 并对网络传输速率、特性、数据包丢失情况等信道状态进行实时测定, 根据网络状况动态或手工配置各个站点的压缩编码模式。监控中心可切换观看不同编码模式的站点的视频, 并能够实现多点轮流观看。在切换到监控站点时, 监控中心解码器等待新帧或新的图像组到达, 同步时钟并初始化解码器。在切换到 H. 263 编码站点时, 如果 H. 263 中 I 帧间隔很大, 可以通过网络通知监控站点强制编码器重新生成 I 帧。

2.2 视频解码

在系统实现视频解码时, 研究了 JPEG, H. 263, MPEG-1 视频解码标准, 参考了 H. 263 + Test Model Near-term (TMN10), Berkeley MPEG-1 等解码算法, 着重考虑因干扰或数据包丢失而使解码器可能出现的各种问题, 增加了大量异常控制, 例如: 判断每个编码基本单位宏块(MB)的运动向量是否超出可能的范围、DCT 系数是否超出规定范围, 判断 VLC 解码时查表入口地址是否为非法、VLC 解码后的数据是否正常、每个 DCT 块中的系数个数是否大于 64, 等等。对于无法解码的 MB, 则将包含该 MB 的 Slice 丢弃, 甚至将整个图像组(GOP)丢弃。这样, 虽然会带来视频解码的不连续性, 但是大大提高了软件的稳定性, 避免了视频解码出错和死机现象。

同时, 根据网络传输的特点, 对视频流进行了特殊控制, 以适应网络传输特性。采用了恒定位速率的压缩模式, 以避免视频图像剧烈变化时产生过多视频数据而引起图像抖动。解码时, 采用数据接收缓冲池, 消除网络传输速率变化的影响。同时, 监视视频数据缓冲池的变化, 并根据缓冲池的变化情况, 通过网络通知编码器提高或降低位速率, 以达到视频数据连续、平滑。

2.3 视频实时显示控制策略

视频显示一方面要考虑软件执行效率, 以达到实时解码和上屏显示; 另一方面需要结合网络状况以及不同的视频压缩标准, 对视频帧的送屏显示加以控制。

平滑视频是以视频图像序列的更新间隔短于视觉滞留时间为前提的。根据人体视觉系统特征和电视图像技术估算, 平滑视频的帧速率一般为 22 帧/s~30 帧/s, 而产生平滑视频的临界帧频约 17 帧/s。低于这个帧速率, 就会感到视频跳动和不舒服。因此, 要做到视频实时显示, 关键是要保证帧速率不小于 20 帧/s。

网络特性的差异造成视频数据抵达视频监控中心的时间差别较大,采用的压缩标准也存在差异,这就要求系统必须对视频的上屏显示进行有效控制。

2.3.1 对 MJPEG 和 H. 263 标准的视频解码上屏显示控制

MJPEG 标准只有 I 帧(帧内编码帧),H. 263 标准通常只有 I 帧和前向运动预测帧(P 帧)。这两种视频解码的共同之处是:能够以帧为解码单元并且能够按顺序逐帧解码。因此,解码上屏回显控制相对简单。这里介绍 2 种解决方法:

a. 在收到完整一帧的数据时,立即解码显示。实际上是把视频显示时间控制交给视频采集卡和网络通信。这种方法在信道质量好、传输稳定时,能够得到理想的平滑视频,而且群时延很小,经测试一般不会超过 500 ms。但是在信道较差、数据传输突发性较强时,效果很不理想。

b. 对新收到的视频帧不立即解码显示,而是先放到视频缓冲队列中,每隔一个确定时间间隔从队列中读取一帧上屏显示。当网络传输数据率大于视频数据率时,这种方法很有效。但在网络带宽较小时,会引起接收等待,造成视频显示的停顿,该方法退化为第 1 种方法。网络传输突发性很强时则会造成视频队列溢出,这个缺陷可以通过加大缓冲区来解决。经过缓冲和时间控制后,减少了网络突发性传输的影响,图像更平滑,但同时也推迟了视频帧上屏时间,造成群时延加大。

缓冲区大小应通过对网络突发性状况的测定和实际需要来确定。缓冲区队列大小一般可取 5 帧~15 帧,群时延增加约 200 ms~600 ms。另外,采用 MJPEG 标准时,因 MJPEG 没有帧解码时序信息,传输前应加入这些信息,以便控制端确定上屏时间。

2.3.2 对 MPEG-1 标准的视频解码上屏显示控制

MPEG-1 存在双向预测帧,因此,解码不能以单帧为单元按帧的时间顺序解码,只能以 GOP 为解码单元。这里提出 3 种 MPEG-1 上屏时间控制方法,实际应用中根据具体情况和要求进行选择:

a. 在收到一个完整的 GOP 时,立即送解码器解码上屏,GOP 内各帧严格按固定速率(40 ms/帧)进行上屏时间控制。

b. 在启动上屏显示线程时,保存一个起始时间值,与当前时间值一起决定现在应该显示哪一帧。在第 N 个 GOP 的第 1 帧解码完成后,首先确定当前时刻是否已到显示该帧的时刻。如果时刻未到,则延迟等待,到当前帧的显示时刻再上屏显示。如果已经超时,有以下 2 种解决方法:一种是追赶法,即以最快的速度上屏显示,直到当前帧应该显示时刻比现

在时刻超前,对以后各帧的解码按确定帧率控制;另一种是平均法,预计该组最后一帧显示结束的时刻,与当前时刻相减,然后除以每组帧数,得到组内两帧间显示时间间隔,以后各帧按这个时间间隔控制进行显示。

c. 为了避免组间延迟过大造成视频跳跃,与 MJPG 的上屏时间控制一样,缓存 N 个 GOP,控制它们之间的延迟,使之达到更平滑的视频回放。但这时群时延会加大很多,在实时性要求较高的应用中要考虑这种影响,而在对群时延不敏感的应用中该方法较理想。一般缓冲取 2 个~4 个 GOP 即能满足大多数情况。该方法的 N-S 图如图 3 所示。

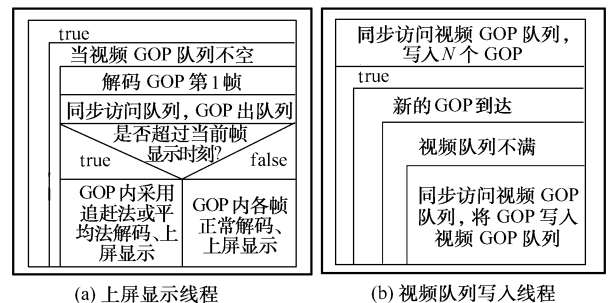


图 3 MPEG-1 上屏显示控制算法(方法 c)的 N-S 图
Fig. 3 N-S diagram of time controlled algorithm for MPEG-1 video display

无论采取哪一种上屏控制方案,在 GOP 丢失或数据严重破坏而不能解码时,都必须对整个上屏控制过程重新初始化。表 2 给出了上述几种显示算法的对比情况。

表 2 视频上屏显示时间控制算法比较
Table 2 Comparisons of time controlled video display algorithms

特征	H. 263 和 MJPEG		MPEG-1		
	方法 a	方法 b	方法 a	方法 b	方法 c
帧间时控	无	有	有	有	有
GOP 间时控	不存在	不存在	无	有	有
群时延	小	较小	一般	一般	大
稳定网络中的视频	较好	很好	较好	好	很好
突发性强网络中的视频	差	较好	差	一般	较好

注:在低速网络中采用 H. 263 可得到连续视频,此时对 MJPEG 和 MPEG-1 的上屏时控已没有太大意义。

3 试验与讨论

3.1 视频压缩算法对比试验

在研究中,将多个监控现场采集的视频数据作为原始视频数据,用 MJPEG,MPEG-1,H. 263 这 3 种压缩算法,设置不同的压缩率进行压缩,并对压缩后数据进行回放效果比较,利用主观评判等方法确

定图像质量。对同一视频数据流测试对比的综合结果如表 3 所示。

表 3 MPEG-1,MJPEG,H. 263 数据率试验比较结果
Table 3 Comparisons of compressed data rate for MPEG-1,MJPEG and H. 263

编码标准	图像质量	原始数据率/(Mbit·s ⁻¹)	压缩后数据率/(Mbit·s ⁻¹)	压缩比
MPEG-1	好	30.42	1.0~1.5	20:1~30:1
	一般	30.42	0.6~1.0	30:1~51:1
	差	30.42	0.4~0.6	51:1~76:1
MJPEG	好	30.42	3.6~8.0	4:1~9:1
	一般	30.42	2.6~3.6	9:1~12:1
	差	30.42	2.0~2.6	12:1~15:1
H. 263	好	30.42	0.28~0.35	87:1~109:1
	一般	30.42	0.22~0.28	109:1~138:1
	差	30.42	0.19~0.22	138:1~160:1

注:原始视频以 25 帧/s、352×288 大小 SIF 格式 YUV(4:2:0)图像为准。

从试验结果以及前面的讨论中可以看出,对于一个远程视频监控系统,在高速网络条件下,或在 2 Mbit/s 的 E1 通道中,采用 MPEG-1 为好,既能保证较高的画面质量,又能保证较好的连续性。在信道条件恶劣的情况下应采用 MJPEG,不但能够得到比较清晰的单帧图像,而且具有极强的抵抗干扰扩散的能力。在带宽低于 500 kbit/s 并且对图像显示连续性要求较高时,则应采用 H. 263。对于带宽低于 64 kbit/s 的电话通道(通常情况下只有 20 kbit/s~30 kbit/s),则只能采用 QCIF(176×144)大小的视频图像,并且帧频也限制在 10 帧/s~20 帧/s 范围,用 H. 263 标准进行压缩;而对图像分辨率要求较高,对连续显示要求不高时,也可采用 MJPEG。

3.2 视频实时显示对比试验

在本研究中,用 Windows 提供的 3 种显示方式进行了对比试验,对 GDI 的 StretchDIBits 函数、DrawDib 技术中的 DrawDibDraw 函数、DirectDraw 技术中的 Blt 函数的执行效率在不同微机上进行了测试,其时间测定利用 Windows 提供的 timeGetTime 函数实现,精度为 ms 级。测试 1 000 帧标准序列“PARIS. CIF”视频图像,绘制时间通过 1 000 帧视频实际播放时间减去解码所用时间获得。测试结果与不同的微机、显卡、屏幕显示模式有一定关系,数据略有差异,但总体情况一致,在 PⅢ/800,艾尔莎 32 MHz 显卡的微机上测试,结果如图 4 所示。

从测试结果来看,如果要对图像拉伸放大后实时上屏,必须使用 DirectDraw 来实现。而对于 GDI 或 DrawDib 功能函数,上屏显示执行效率低,加上视频解码时间后,很难达到实时显示。使用

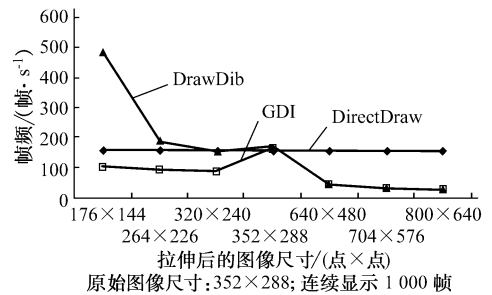


图 4 PARIS. CIF 视频序列(1 000 帧)显示效率比较
Fig. 4 Comparison of video display testing for CIF sequence PARIS (1 000 frames)

DirectDraw 时,应获得硬件支持能力级别,以便最大限度地利用视频卡的硬件加速性能。特别是在执行图像拉伸时,如果视频卡不支持硬件拉伸,其图像拉伸函数的执行效率极低,甚至不如 GDI 函数。

4 结语

本文结合铁道部科技计划项目“牵引变电站安全监控及综合自动化系统研究”以及“秦沈客运专线牵引变电站安全监控及综合自动化系统的研制”,并结合牵引供电系统的特点,在详细分析对比视频编/解码的基础上,深入研究了视频解码和显示回放的算法,并针对不同应用,通过选择不同的编码压缩模式,提高了系统的可适应性。通过加强解码程序的稳定性和接收流量控制,提高了视频解码的实用性。对不同视频显示方式的研究试验,极大地提高了显示速度,同时降低了 CPU 的负荷,较好地实现了远程视频传输,使系统具有灵活多样的编码模式和良好的显示性能。

参考文献

- 王慧斌,方国才,徐立中(Wang Huibin, Fang Guocai, Xu Lizhong). 视频监控系统中的图像预处理技术(Digital Image Pre-processing Techniques in Video Monitor and Control System). 计算机工程(Computer Engineering), 2000, 26(1): 61~62
- 吴勇,吴月珠,程剑峰(Wu Yong, Wu Yuezhu, Cheng Jianfeng). 视频信息在网络上的实时传输与处理(Real-time Transmitting and Processing of Video Information on Network). 小型计算机系统(Mini-micro Systems), 1999, 20(8): 637~640
- 张原,史浩山,范磊(Zhang Yuan, Shi Haoshan, Fan Lei). 分布式智能视频监控系统设计与实现(Design and Realization of Distributed Intelligent Video Monitor and Control System). 计算机应用研究(Research of Computer Application), 1999, 16(11): 98~101
- 陈君(Chen Jun). 广深线牵引变电站(亭)远程安全监控方案的探讨(Discussion of Remote Secure Monitor and Control System for Traction Power Substation in Guang-Shen Railway). 电气化铁道(Electrified Railway), 2000(3): 48~51
- 张福炎(Zhang Fuyan). 运动图像及其伴音的压缩与编码——MPEG-1(Compression and Coding of Motion Picture and Its

- Audio—MPEG-1). 南京:南京大学出版社(Nanjing: Nanjing University Press), 1995
- 6 Video Coding for Low Bitrate Communication. ITU-T Recommendation H. 263 Version 2, 1998
- 7 Girod B, Farber N. Feedback-based Error Control for Mobile Video Transmission. Proceeding of IEEE, 1999, 87(30): 1707~1723

彭 强(1962—),男,在取博士研究生,副教授,主要研

究方向为多媒体技术、视频图像编码与传输等。E-mail: pqliang@sina.com

杨天武(1971—),男,硕士研究生,主要研究方向为多媒体与虚拟现实技术。E-mail: yskyw@263.net

陈维荣(1965—),男,教授,博士生导师,副所长,主要研究方向为 SCADA 系统、工业监控、电力设备状态检测及测控技术等。E-mail: wrchen@ieee.org

VIDEO DECODING AND DISPLAY CONTROL TECHNIQUES FOR A DISTRIBUTED REMOTE VIDEO MONITORING SYSTEM

Peng Qiang, Yang Tianwu, Chen Weirong

(Southwest Jiaotong University, Chengdu 610031, China)

Abstract: The features of the video compression standards MPEG-1, Motion-JPEG and H. 263 and the principles of selection for use in the distributed remote video monitoring system are discussed and compared. The video real-time display back technique is studied, and specific algorithms are given for the onto-the-screen control in the light of the time control strategy for the image frame playback of different video standards, thus improving the anti-interference capability and the robustness of the algorithms. Finally, the comparative experiments are made on video compressions and display back and the range of application suitable for remote visual monitoring is given.

This project is supported by Science and Technology Development Plan Project in Railway Ministry (No. 1999J32-B, No. 2000J04-C).

Key words: remote monitoring; video coding; video decoding; video transmission; video display