

# 电力作业远程监控系统中视频的优化传输方法

王志强<sup>1</sup>, 王 珊<sup>1</sup>, 郭大鹏<sup>1</sup>, 刘文霞<sup>1</sup>, 张馨月<sup>1</sup>,  
牛妍舒<sup>2</sup>, 李月乔<sup>1</sup>, 孙晓光<sup>3</sup>, 耿建宇<sup>3</sup>, 李介夫<sup>4</sup>

(1. 华北电力大学新能源电力系统国家重点实验室, 北京 102206; 2. 华北电力大学国际教育学院, 北京 102206; 3. 国网吉林省电力有限公司长春供电公司, 吉林 长春 130000; 4. 国网吉林省电力有限公司吉林供电公司, 吉林 吉林 132000)

**摘 要:**针对当前电力系统现场作业监管的弊端,设计开发电力在线作业远程监控指挥系统。现场视频通过无线网络经由服务器回传至指挥中心,由于无线网络带宽的稳定性无法保证视频传输的实时性,视频图像传输存在延时长、丢帧严重等现象。为解决视频传输实时性和完整性的难题,提出一种基于帧相似度的视频优化传输方法。该方法根据 H. 264 压缩编码方式的特点,分类标记帧间相似度参数,以区分帧重要性;同时实时监测网络带宽变化,提出基于优先级的视频帧传输调度算法 Prio-Drop 算法,保证重要帧的实时传输。实验表明该优化传输方法显著提高了传输视频的解码质量,并达到实时性的要求,为提升电力监管力度、强化应急指挥能力提供技术指导。

**关 键 词:**电力在线作业; 监控指挥系统; 实时通信; 帧相似度; 优先级调度

DOI:10.19781/j.issn.1673-9140.2020.01.023 中图分类号:TM733 文章编号:1673-9140(2020)01-0169-07

## Method on video optimal transmission in on-site operation monitoring system of electrical power system

WANG Zhiqiang<sup>1</sup>, WANG Shan<sup>1</sup>, GUO Dapeng<sup>1</sup>, LIU Wenxia<sup>1</sup>, ZHANG Xinyue<sup>1</sup>,  
NIU Yanshu<sup>2</sup>, LI Yueqiao<sup>1</sup>, SUN Xiaoguang<sup>3</sup>, GENG Jianyu<sup>3</sup>, LI Jiefu<sup>4</sup>

(1. State Key Laboratory of Alternate Electrical Power System with Renewable Energy Source, North China Electric Power University, Beijing 102206, China; 2. School of International Education, North China Electric Power University, Beijing 102206, China; 3. Changchun Power Supply Company, State Grid Jilin Electric Power Co., Ltd., Changchun 130000, China; 4. Jilin Power Supply Company, State Grid Jilin Electric Power Co., Ltd., Jilin 132000, China)

**Abstract:** According to the existing problems in the supervision of on-site operation in electrical power systems, an on-site operation monitoring and command system is designed. The on-site video is transmitted to command center via servicers by wireless networks. However, the real-time transmission of video can't be guaranteed due to the instability of wireless network bandwidth. The video transmission delay is long and the frames are lost seriously. In order to make the video transmission real-time and integrity, a video optimal transmission method considering the frame similarity is proposed in this paper. Firstly, on the basis of the characteristics of H. 264 video coding mode, the frame similarity parameter is marked to distinguish the frame importance. The network bandwidth changes are then moni-

收稿日期:2017-11-26;修回日期:2018-08-02

基金项目:国网吉林省电力有限公司科技项目(52231016000P)

通信作者:王志强(1967-),男,副教授,主要从事电力系统继电保护、电力系统自动化设备研究;E-mail:498525142@qq.com

tored in real-time and the Prio-Drop scheduling algorithm is employed, so the important frames can be transmitted in advance. Finally, a test is included for verification. It is shown that the proposed optimal transmission method can improve the decoding quality of transmitted video, and achieve the requirements of real-time video transmission. It also provides a technical guidance to enhance the power supervision and strengthen the emergency command.

**Key words:** on-site operation of electric; monitoring and command system; real-time communication; frame similarity; priority scheduling

电力系统的运维检修工作是对系统工作可靠性的预判,预防事故发生的重要手段。而如今,电力系统的日常运维检修作业大多是人工巡视,这种方式使作业环境恶劣,内容繁杂,难以保障现场作业人员的人身安全;此外,调度管理中心无法实时掌握现场作业的情况,难免疏于对现场人员的管理,造成作业效率低下,难以达到预期的巡视效果<sup>[1-2]</sup>。因此,开发一套现场作业监控指挥系统,实现指挥中心与作业现场的在线连接,对解决电力系统现场作业难监管低效率具有现实意义。

目前,现场作业监控指挥系统已经在运维检修工作现场投入使用,实现任务派遣、人员监控、应急指挥和设备管理等功能,但在对现场的监控与信息交互时,语音视频等数据接收延迟较大,接收到的数据信息丢失严重,对系统的在线监控指挥功能影响极大<sup>[3-4]</sup>。因此,提高实时通信性能至关重要。研究人员对实时视频传输的研究集中在2个方面,即调整视频本身数据量和选择不同的视频传输算法。采用压缩比高的视频压缩编码技术,使视频本身的数据量减少,在带宽有限的网络中单位时间内可以传输更多的视频数据,目前 H. 264 压缩技术最为常用;在调整视频本身数据量方面,改变压缩编码过程中的量化参数,或改变 DCT 系数的编码阈值<sup>[5]</sup>都可以适应时变的网络带宽,以丢包率最小为目的保证视频传输的实时性;在选择传输算法方面,丢尾算法(Drop-Tail)<sup>[6]</sup>和主动队列管理算法(AQM)<sup>[7-8]</sup>是缓解网络拥塞,减少传输延迟的2种主要传输策略,虽能做到接收端视频的实时性,但无法避免重要帧数据的丢失,造成跳帧现象严重,接收端视频无法正常观看。

该文在保证视频传输实时性的同时,提高传输质量,提出了基于视频内容优先级的主动丢帧策略,利用相邻帧差法检测关键帧,并赋予优先级,在带宽不足时优先传输关键帧,保护重要信息<sup>[9]</sup>;但帧差法作为关键帧的判断依据,一些运动点会因为2帧的颜色相近而被误判为静止点,而产生内部空洞<sup>[10]</sup>。

因此,该文在文献[9]、[11]的基础上做出改进,提出一种基于特定帧相似度值的丢包优先级调度策略(Prio-Drop),根据时变的网络带宽动态调整视频传输调度策略,在现场作业监控指挥系统中应用改进后的传输调度算法,并取得良好的监控效果。

## 1 作业监控指挥系统总体设计

### 1.1 系统总体架构

电力系统的现场作业监控指挥系统由安装监控指挥系统客户端的 PC 机、服务器和移动终端构成<sup>[12]</sup>,其作业监控指挥系统的总体架构如图 1 所示。

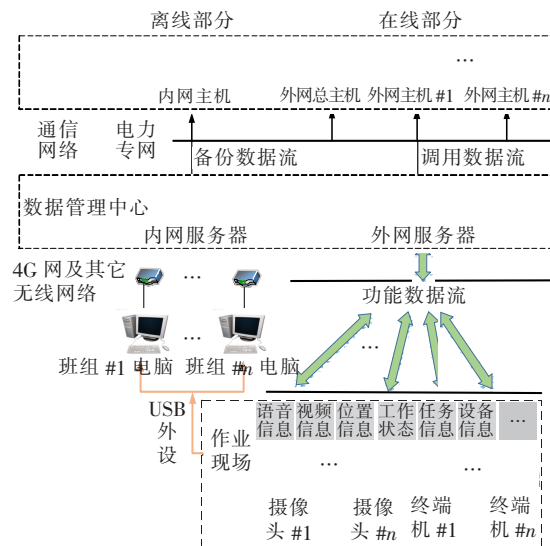


图 1 现场监控指挥系统总体架构

Figure 1 Structure of on-site monitoring and command system

其中:在线监控部分,将作业现场的实时视频和人员定位等信息通过 4G 等无线网络传输技术实时回传至电网公司的监控指挥调度中心,实现电力设备或线路故障的远程在线诊断和作业人员的实时监控指挥;离线存储部分,将现场录制的信息存储在移动终端上,以文件夹的形式通过 USB 外设拷贝至班

组电脑,进而可以访问电力系统内网主机<sup>[13]</sup>,实现工作内容的备份。

在系统在线监控指挥过程中发现,在流量使用高峰时段,经常出现通信带宽不稳定的情况,视频信息在传输过程中丢包显著,客户端接收的视频卡顿明显,延迟较高,无法达到系统的实时性功能。因此,解决实时性要从视频压缩方式和实时传输策略方面改进,保证重要信息优先传输<sup>[14-15]</sup>。

### 1.2 无线视频的传输过程

对视频进行实时传输前的准备工作,主要是对视频的压缩编码和对压缩视频流的封装打包,为后续视频的传输调度提供依据。

#### 1.2.1 视频压缩编码

目前,最为常用的视频压缩编码技术有 M-JPEG、MPEG-X 和 H. 26X 三大主流标准。M-JPEG 源于静态图像压缩标准 JPEG,对视频的每一帧进行帧内压缩,无法去除帧间冗余,压缩比有限;MPEG-4 是面向对象的压缩标准,采用帧内、帧间混合编码模式,根据对象的内容重要性确定压缩比,为移动通信设备在 Internet 网实时传输制定的视音频信号压缩标准,但由于面向对象编码的性能尚有技术障碍,难以普遍应用;而 H. 264 协议最大的改进在于采用了分层编码结构:视频编码层(video coding layer,VCL)和网络抽象层(network abstraction layer,NAL),在 VCL 层对 I、P、B 帧分别压缩编码,将压缩流送入 NAL 层进行封装后,才能用来传输和存储。NAL 的封装格式如图 2 所示。

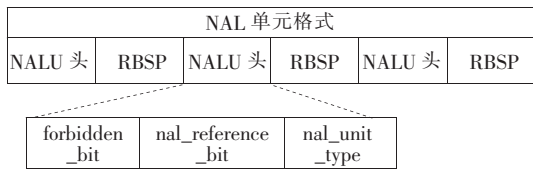


图 2 NAL 单元封装格式

Figure 2 Packaging format of NAL-units

从图 2 看出,一个 NAL 单元由一系列的 NALU 头部与原始字节序列载荷 RBSP 组成。其中,NALU 头部信息包括:

禁止位 forbidden\_bit:编码时默认为 0。若 forbidden\_bit=1,则直接丢弃该帧。

优先级位 nal\_reference\_bit:取值为 0-3,表示 NAL 单元是否参考帧。值越高,丢失的影响越大。

单元类型位 nal\_unit\_type:用于判断帧类型,如当 nal\_unit\_type=5 时,为 I 帧。

#### 1.2.2 实时传输

实时传输协议由 RTP 和 RTCP 2 个部分组成。RTP 为待传输数据提供实时传送服务,并帮助读取数据的压缩编码方式、数据类型、时间戳等特征信息;RTCP 则负责管理传输质量,为系统提供网络拥塞控制。RTP/RTCP 的协同作用,使系统在时变网络中做出自适应调整。

草案 RFC 3550 规定了 RTP 分组封装的固定格式。一个 RTP 分组由 RTP 报头、负载标志和有效载荷构成。在实际应用时,由待传输数据的特征信息赋值 RTP 协议的报头标记位。如图 3 所示,在报头信息标志位中,将扩展位 CC 置 1 可以在头部字段扩展一个字段,以完成特定的功能。

2	1	1	4	1	7	16
V=2	P	X	CC	M	PT	序列号
时间戳						
同步源标识 SSRC						
提供源标识 CSRC						
...						

图 3 RTP 数据报头部格式

Figure 3 RTP datagram head format

其中 CC 位是 RTP 报头的扩展位标志位;CC=1 时,该 RTP 报头可扩展;时间戳提供视频帧的发送时间,时间戳与当前时刻的差值表征视频帧的时延特征值。

## 2 基于帧间相似度的视频传输优化算法模型

### 2.1 视频优化传输方法方案设计

终端机通过无线网络向客户端发送视频时,视频发送速率不会因网络变化而调整,在网络环境较差时,时常出现传输视频信息丢包严重的现象,使客户端接收的视频卡顿、延时,无法起到实时监控指挥的作用。但由于客户端只实现回传视频的显示,不会影响视频传输的实时性问题,故该改进方法主要针对采集视频信息的终端机。

该文提出的视频优化传输方法为编码器提供了视频帧重要性的判别方法和传输调度策略,根据 RTCP 实时反馈网络状况信息,当网络状况较差时,传输缓存区拥塞,需要主动丢帧来缓解拥塞,根据 H. 264 标准特殊的压缩格式对视频帧特征信息进

行提取并标记,传输时采用改进的主动丢尾调度策略(Prio-Drop),保证重要帧数据的实时传输。实现方案如图4所示。

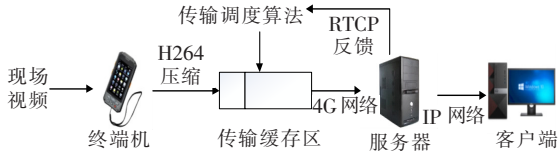


图4 视频优化传输算法实现方案

Figure 4 Video optimized transmission algorithm implementation scheme

## 2.2 基于帧间相似度值的丢包优先级调度模型

终端机的视频编码器利用对视频帧重要性的判别和传输调度策略,确定每帧视频帧大小为 $B$ ,视频帧重要性由帧间相似度函数  $\text{important\_factor}()$  表征,根据相似度函数计算丢包优先级  $\text{prio}(n)$ ,结合丢包率  $p$  与网络实时带宽  $BW$  确定可传输视频帧数  $m$ ,利用改进的优先级调度算法(Prio-Drop)优先传输较为重要的  $m$  帧数据。

### 2.2.1 帧间相似度数学模型

目标函数:缓存区内可传输的视频帧数:

$$m = \begin{cases} n(1-p) & R \leq R_{\max} \\ \lfloor \frac{R_{\max} \times T}{B} \rfloor & R > R_{\max} \end{cases} \quad (1)$$

根据香农采样定理,实时带宽  $BW$  决定数据最大传输速率:

$$R_{\max} = 2 \times BW \quad (2)$$

根据2.2.1节对H.264视频编码标准的描述,视频帧在进行压缩编码时,根据帧类型标志位可以确认关键帧I帧。对I帧进行帧内编码,可以保存自身的视频信息,P、B帧以I帧为参考进行帧间编码,无法保留完整视频信息,因此,提取I帧的特征值计算相邻I帧的相似度函数,从而确定I帧的丢包优先级;P、B帧的丢包优先级则根据其关联的I帧确定。

1) I帧的丢包优先级  $\text{prio}(n)$  模型。

I帧的丢包优先级由视频帧的相似度函数确定。构造I帧的内容相似度函数,将一定时间范围内的相似度函数值进行归一化处理,确定丢包优先级  $\text{prio}(n)$ 。

I帧视频帧相似度函数:

$$\text{importance\_factor}(n) = \alpha \times \Delta C_n + \beta \times \Delta t_n \quad (3)$$

式中  $\Delta C_n$  表征帧的内容特征值变化率;  $\Delta t_n$  表征帧的时限特征值;  $\alpha$ 、 $\beta$  分别为描述相似度内容的权值,具体值根据场景不同而变,可通过实验测得。

① I帧内容特征值变化率。I帧无需参考其它帧而可以直接进行帧内编码。通过这些分析,在对I帧进行帧内压缩时,直接提取I帧的DCT系数,以便快捷地提取所携带的视频信息,DCT系数中直流分量DC表示基色调信息,交流分量AC表示帧的纹理信息。

第  $n$  个 I 帧的特征信息:

$$C_n = a \sum_{i,j} DC_n(i,j) + b \sum_{i,j} AC_n(i,j) \quad (4)$$

因人眼对色调信息比对纹理信息更敏感,故该文的  $a$ 、 $b$  取值分别为 0.75、0.25。

相邻 I 帧的特征量差值:

$$\text{diff}(C_{n-1}, C_n) = |C_n - C_{n-1}| \quad (5)$$

第  $n$  个 I 帧的特征值变化率:

$$\Delta C_n = \frac{\text{diff}(C_{n-1}, C_n)}{C_{n-1}} \times 100\% \quad (6)$$

② I帧时限特征值。在多媒体信息流传输过程中,根据数据包产生时刻距离时限要求的长度分配任务的优先级;距离时限要求越小的数据包获得的优先级就越高。因此根据视频帧的时间戳可以给出视频帧的丢包优先级,时间戳越接近当前时刻,丢包权重越小。

$$\Delta t_n = \left| \frac{1}{t_n - t_0} \right| \quad (7)$$

式中  $t_n$  为第  $n$  帧编码单元的时间戳标志位;  $t_0$  为当前时刻。

③ 丢包优先级  $\text{prio}(n)$ 。将I帧根据相似度函数值从大到小排序,丢包优先级  $\text{prio}(n)$  依次赋值 0、1、2……,即相似度函数值越大,丢包优先级越低,优先传输。

2) P帧、B帧的丢包优先级模型。

由于P、B帧的压缩编码是以I帧为参考,为保证传输的视频帧可以成功解码,参考某I帧编码的P帧,越靠近I帧,丢包优先级越小;

对于B帧,是最不重要的视频帧,在网络拥塞时,对B帧丢包权重赋1,即将B帧全部丢弃,为I帧、P帧的传输提供空间。

### 2.2.2 基于优先级的传输调度策略

网络调度功能从网络层次上可分为网络底层的调度和应用层的调度。网络底层的调度由于成本较



高而无法推行;而基于应用层调度的 DropTail 算法是结构最简单、使用最广泛的调度策略,基本思想是在网络拥塞时,主动丢弃队列尾部的数据分组从而保证队列不至于长时间处于满状态,但对每个数据包丢弃的概率是相等的,严重影响解码端的视频质量。

因此提出基于丢包优先级的改进 DropTail 算法的 Prio-Drop 算法,其中包含选择性丢包和自适应带宽机制。Prio-Drop 调度算法流程:逐帧读取方式获取每帧的类别信息和特征值参数,计算出每帧的相似度,在打包时标记相对应的丢包优先级。利用 RTCP 反馈的网络丢包率等性能指标,计算当前时刻队列可以传输的数据帧数,实现对关键帧的保护,保证解码质量。

### 2.3 视频优化传输方案的具体步骤

通过以上分析,基于帧间相似度的视频优化传输算法的具体流程如图 5 所示:

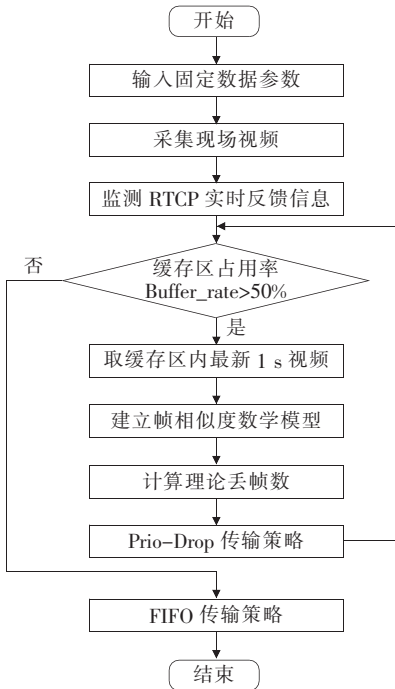


图 5 优化传输算法流程

Figure 5 Optimized transmission algorithm flow chart

## 3 仿真与实验测试

### 3.1 实验方案

该文通过现场作业监控指挥平台测试。平台由终端机、服务器和一台安装监控指挥客户端的 PC 机组成,终端机通过 4G 网络发送视频数据至服务

器端,PC 机通过 IP 地址访问服务器以获取视频信号。在终端机利用 Eclipse 上安装 Android SDK 插件,搭建 Android 开发平台,利用 Java 语言编写视频传输主动丢包算法,并在作业监控指挥系统中试运行,采集客户端视频进行验证。

如图 4 所示搭建实验测试平台,终端机在与客户端建立连接实时通信时,每帧视频的大小固定为  $B=176 \times 144$  bytes;传输缓存区 Buffer\_size=1 500×20 bytes;以在终端机侧建立或关闭网页链接来改变可用带宽 BW,传输缓存区占用率作为网络状况标志;服务器端的 RTCP 反馈信息实时记录不同带宽下的视频丢包率  $p$  和延迟  $t$ 。

### 3.2 实验结果

根据实验方案进行实验,选取 2 台型号相同的移动终端设备进行实验,其中 1 号设备未改进视频传输策略,2 号设备采用了该文的改进视频传输方式。

#### 3.2.1 参数测试

1)网络拥塞程度与丢包率关系。

网络拥塞程度与丢包关系如图 6、7 所示。

2)网络拥塞程度与延时关系。

分析图 6、7 可以看出,在缓存区占用率低于 50%时,2 台设备的视频传输丢包率与延时时间相近,在网络良好时,视频传输方式相同;当缓存区占用率高于 50%,2 号设备改进的传输算法投入应用,即在网络拥塞前主动丢帧,因此在缓存区占用率为

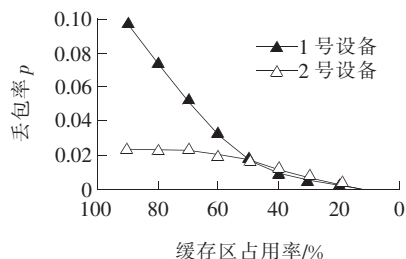
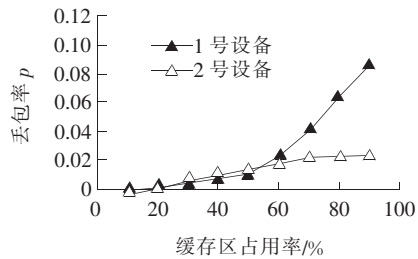


图 6 算法改进前后丢包率对比

Figure 6 The comparison of packet loss rate with and without the algorithm

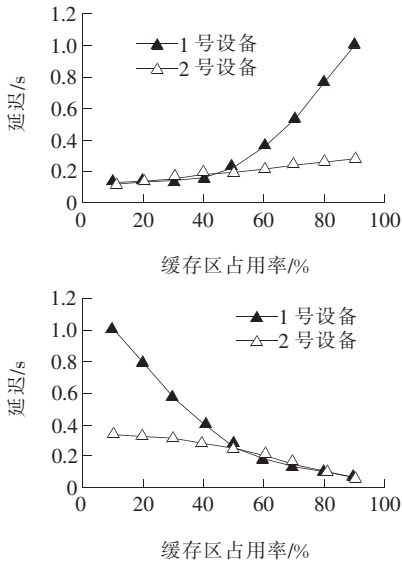


图7 算法改进前后延时时间对比

Figure 7 The comparison of delay time with and without the algorithm

50%~70%时,丢包率高于1号设备,以降低传输延时时间;而在缓存区占用率高于70%时,1号设备的

传输调度算法无法解决缓存区 congestion 的问题,因此2号设备的丢包率与延时都优于1号设备。

### 3.2.2 视频质量测试

将1号终端机与2号终端机分别与2台相同的客户端建立连接,调整缓存区占用率保持在60%左右,每隔6s截取客户端接收的画面,如图8、9所示。

结果分析:从图8、9这2组视频监控截图中可以看出,在10:08:40~10:08:52的时间段内,1、2号设备都完成了从室内到楼梯间整个过程的视频传输;但1号设备在整个时段内丢失了长廊场景的视频数据,2号设备在视频画面卡顿的情况下,对整个时段内场景变化的视频数据较为完整的传输。因此从视频信息传输的完整度分析,2号设备优于1号设备。对比10:08:40~10:08:52内每一时段的视频数据,图8(b)视频数据停留在室内场景,图9(b)则是长廊场景,对比实验人员的实际位置,可以看出1号设备的传输卡顿较严重,而改进后的2号设备视频传输延时显著降低。



(a)时间:10:08:40



(b)时间:10:08:46



(c)时间:10:08:52

图8 1号设备客户端截取图像帧

Figure 8 The image screenshots from the client of device 1



(a)时间:10:08:40



(b)时间:10:08:46



(c)时间:10:08:52

图9 2号设备客户端截取图像帧

Figure 9 The image screenshots from the client of device 2

## 4 结语

为提高电力系统现场作业的监管力度和工作效率,现场作业监控指挥系统的开发至关重要,而对指

挥系统的视频图形的实时传输是其功能实现的关键。该文结合H.264视频压缩格式和传输调度策略,提出基于帧间相似度的主动丢尾算法(Prio-Drop),该算法考虑网络实时状况,选择不同的传输调度策略,根据标记的帧重要性主动丢帧。从实验

结果中可以看出,该算法在网络状况较差的状况下,指导系统优先传输重要的帧数据,保证接收端画面的实时性和连续性,对电力作业远程监控系统中视频的传输进行了有效优化。

### 参考文献:

- [1] 肖东晖,林立. 电力系统统一视频监控平台解决方案[J]. 电力系统自动化,2013,37(5):74-80.  
XIAO Donghui, LIN Li. Solution scheme of integrated video surveillance platform of power system[J]. Automation of Electric Power Systems,2013,37(5):74-80.
- [2] 索玉. 无线视频监控在输变电施工中的应用[J]. 电力建设,2008,29(2):41-43.  
SUO Yu. Application of wireless video monitoring in transmission and distribution constructions[J]. Electric Power Construction,2008,29(2):41-43.
- [3] 梅鲁海. 电力系统监控视频传输速率自适应控制设计[J]. 电力系统及其自动化学报,2012,24(2):142-147.  
MEI Luhai. Design of video transmission rate adaptive control in electric power monitoring system[J]. Proceedings of the CSU-EPSA, 2012,24(2):142-147.
- [4] 王智慧,汪洋,秦璇等. 系统保护业务需求分析及通信技术研究[J]. 电力建设,2017,38(5):116-123.  
WANG Zhihui, WANG Yang, QIN Xuan, et al. Requirement and communication technology of system protection [J]. Electric Power Construction,2017,38(5):116-123.
- [5] 严珍珍,刘建军. 基于离散余弦变换的图像压缩编码方法及改进[J]. 计算机技术与发展,2016, 26(1):147-149+154.  
YAN Zhenzhen, LIU Jianjun. Improved image compression coding method based on discrete cosine transform [J]. Computer Technology And Development, 2016, 26(1):147-149+154.
- [6] CHEN Xinnian. Analysis and comparison of the NS2-based router algorithms:droptail and RED[J]. Computer Engineering & Science, 2007,3(1):149-157.
- [7] 苏成龙,金光,江先亮等. 公平和低时延的主动队列管理算法研究[J]. 通信学报,2017,38(5):199-206.  
SU Chenglong, JIN Guang, JIANG Xianliang, et al. Active queue management algorithm focusing on fairness and low delay[J]. Journal on Communications,2017,38(5):199-206.
- [8] 刘譞,熊宇斌. 保护运行监测评估系统的层次化通信模型及其性能评估[J]. 智慧电力,2018,46(7):84-91.  
LIU Xuan, XIONG Yubin. Hierarchical communication model of protection operation monitoring and evaluation system & its performance evaluation[J]. Smart Power, 2018,46(7):84-91.
- [9] 龙昭华,罗浪,龚俊. 基于联合信道与缓冲区的 QoS 控制策略[J]. 计算机工程与设计,2016,37(7):1714-1719.  
LONG Zhaohua, LUO lang, GONG Jun. QoS control strategy based on joint channel and buffer[J]. Computer Engineering And Design,2016,37(7):1714-1719.
- [10] 渠燕红,王小鹏,赵君君,等. 基于动态像素补偿模型和迭代帧差的人流检测[J]. 兰州交通大学学报,2016,35(3):76-80.  
QU Yanhong, WANG Xiaopeng, ZHAO Junjun, et al. People-flow detection based on dynamic pixel compensation model and iterative frame difference[J]. Journal of Lanzhou Jiaotong University,2016,35(3):76-80.
- [11] 史久根,许林,张超. 一种场景自适应的 H.264 帧层码率控制算法[J]. 计算机应用研究,2010,27(5):1968-1969+1973.  
SHI Jiugen, XU Lin, ZHANG Chao. Scene adaptive frame-layer rate control algorithm for H.264[J]. Application Research of Computers, 2010, 27(5):1968-1969+1973.
- [12] 崔燕明,刘孝先,马超等. 电网视频监控系统及接口技术标准[J]. 电力系统自动化,2010,34(20):13-16+44.  
CUI Yanming, LIU Xiaoxian, MA Chao, et al. Standards of grid video surveillance system and interface technology[J]. Automation of Electric Power Systems,2010,34(20):13-16+44.
- [13] 洪功义,赵艳,唐栋君. 视频监控系统安全架构设计和研究[J]. 电力系统通信,2012,33(10):24-28.  
HONG Gongyi, ZHAO Yan, TANG Dongjun. Design and research of security architecture for video surveillance system [J]. Telecommunications for Electric Power System,2012,33(10):24-28.
- [14] 李志海,冯宇,朱银,等. H.264 在电力视频监控系统中的应用[J]. 电网与清洁能源,2011,27(6):43-46.  
LI Zhihai, FENG Yu, ZHU Yin, et al. Application of H.264 in power transmission video monitoring system [J]. Advances of Power System & Hydroelectric Engineering,2011,27(6):43-46.
- [15] 王浩,韩敏,董杰. 基于 Android 平台的车载视频智能监控系统的研究[J]. 电子技术应用,2016,42(6):121-123+127.  
WANG Hao, HAN Min, DONG Jie. Research of vehicle intelligent video surveillance system based on Android platform [J]. Application of Electronic Technique,2016,42(6):121-123+127.