

南水北调工程异构网络下的视频监控方案

贾克斌^{1,2,3}, 魏之皓^{1,2,3}

(1. 未来网络科技高精尖创新中心, 北京 100124; 2. 先进信息网络北京实验室, 北京 100124;
3. 北京工业大学电子信息与控制工程学院, 北京 100124)

摘要: 针对南水北调中线工程在异构网络下的视频监控传输问题, 提出了一套包括基于网络状况的带宽评估方法, 以及参数可调的网络视频编码传输方式的异构网络视频监控解决方案。该方案对南水北调工程异构网络环境下视频监控系统的整体架构进行了设计, 并基于实时传输协议/实时传输控制协议(RTP/RTCP)对网络参数进行了评估。在得出的网络带宽评估结果基础上, 设计了一种码率可调的编码传输方案。最后结合所实现的系统, 对系统性能进行了详细测试和分析。通过在南水北调中线工程的实际应用证明, 本系统能够对当前带宽下的视频编码进行优化, 提高异构网络下的视频编码传输效率, 且性能指标达到了4路720P视频监控的设计要求。

关键词: 异构网络; 视频监控系统; 实时传输协议/实时传输控制协议(RTP/RTCP); H.264 视频编码; 带宽自适应
中图分类号: TN 919.81 **文献标志码:** A **文章编号:** 0254-0037(2017)02-0173-07

doi: 10.11936/bjtxb2016060062

Video Monitoring Solution to South-to-North Water Diversion Project Under Heterogeneous Network

JIA Kebin^{1,2,3}, WEI Zhihao^{1,2,3}

(1. Beijing Advanced Innovation Center for Future Internet Technology, Beijing University of Technology, Beijing 100124, China;
2. Advanced Information Network Beijing Laboratory, Beijing 100124, China;
3. College of Electronic Information and Control Engineering, Beijing University of Technology, Beijing 100124, China)

Abstract: A video monitoring scheme of video was proposed under a heterogeneous network, which included a network condition evaluation method and a video coding method under network with adjustable parameters. Firstly, a model of the video monitoring system for the south-to-north water diversion project under heterogeneous network was proposed. Secondly, a network parameters evaluating method based on the real-time transport protocol/real-time transport control protocol (RTP/RTCP) was presented to improve video coding efficiency with adjustable parameters. Finally, the performance of the video monitoring scheme was proved by the system deployed in the middle route of south-to-north water diversion project. The performance of the video coding in current bandwidth and the video transmission efficiency were improved under heterogeneous network. The video monitoring system met the design requirements of four channel 720P video monitoring.

Key words: heterogeneous network; video monitoring system; real-time transport protocol/real-time transport control protocol (RTP/RTCP); H.264 video coding; bandwidth self-adapt

收稿日期: 2016-06-20

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(61672064); 国家科技支撑计划资助项目(2011BAC12B03)

作者简介: 贾克斌(1962—), 男, 教授, 博士生导师, 主要从事多媒体信息处理与通信技术方面的研究, E-mail: kebinj@bjut.edu.cn

南水北调工程是迄今为止,世界上规模最大、距离最长、受益人口最多的跨流域水利工程。其中,南水北调中线工程自丹江口水库输水北上至北京、天津等地区,对促进华北地区的水资源分配与社会经济建设具有重要意义^[1]。在输水工程的管线架设方面,南水北调中线工程的干渠总长达 1 432 km,沿途在黄河等地建有隧道和暗渠,输水管线所处周边环境较为复杂。在干渠环境安全防护方面,由于南水北调工程对水质要求极高,其中直接汇入丹江口水库的各主要支流水质不低于Ⅲ类(总氮保持稳定,地表水源地为二级保护区),汉江干流省界断面水质达到Ⅱ类^[2]。作为水质保护的重要手段之一,沿线视频实时监控系统能够对沿线区域出现的水面异物、岸堤可疑人物以及发生的危险物倾倒与排放等行为进行及时发现、警告,达到预防、制止流域污染事故发生的目的。

相比传统的视频监控系统的应用场景,南水北调中线工程面临跨流域广,流域监控路数多且数据量大,以及信息传输网络复杂度高的客观现状。该现状与未来网络应用背景下所进行的主流的海量数据传输与异构网络的研究方向相契合,即针对网络所承载的数据量呈爆炸式增长以及网络通路多样化的发展趋势,基于未来网络相关技术研究通过一种具有兼容性的“数据共享”方式来进行海量数据的传输^[3]。因此,为满足南水北调工程在复杂环境下对海量视频监控需求,本文以未来网络研究中关键的异构网络核心技术为指导,研究能够在监控范围、监控点数目、监控流量控制方面满足南水北调中线工程需求的监控系统。

现有较成熟的视频监控方案普遍具有较强的使用环境针对性。我国的网络视频监控被广泛应用于以“天网工程”为代表的公安网络安全监控环节中。其主要利用专网对公共场所以及相关敏感区域视频信息进行收集汇总,实现可回溯的视频监控体系^[4]。美国国防高级研究项目署(Denise Advanced Research Projects Agency, DARPA)联合美国国内高校研究军民两用的大型视频监控系統,主要包括人物检测、识别与身份认证^[5]。

在英国朴次茅斯,已建设一套“Perceptrak”智能监控网络系统,能够基于前端测速设备,结合视频监控设备,对车辆超速、可疑人员徘徊等进行检测记录,并及时通知安全人员采取相应的措施。

通过对现阶段国内外较成熟的视频监控系统进行调研,可以发现其主要依赖于带宽稳定性较高的

局域网、专网或者城市主干网络,同时视频监控区域较为集中。而对于本文研究的南水北调中线工程而言,由于跨流域广、沿途地理环境复杂,不具备搭建专网以及集中监控的条件,这为南水北调中线工程的监控视频数据的传输提出了很大挑战。具体而言,受到水源地的异构网络布局以及实线/虚线传输的影响,部分传输网络存在带宽不稳定、传输速度波动大、易发生数据拥塞等问题,这对流域视频监控的数据传输的时效性和完整性造成了很大影响^[6]。在检测环境中测得,宽带码分多址(wideband code division multiple access, WCDMA)网络的最低带宽可低至 3.6 Mbit/s,而在网络条件较好时,局域网(local area network, LAN)网络的传输带宽可达约 100 Mbit/s。针对异构网络传输中存在如此大带宽波动的现状,考虑在视频编码传输中加入带宽检测,并将网络参数作为视频编码的各参数调节的因素之一,设计出带宽自适应、编码参数可调的 H. 264 视频编码传输方案。

因此,针对南水北调中线工程沿线网络组成复杂、带宽不稳定的特点,本文对适用于异构网络环境的视频监控传输的关键技术进行了研究,主要通过包括可变周期的带宽检测、适合实时视频监控的低码率视频编码方式、基于网络带宽的视频编码参数调节等关键技术,设计实现了适合于异构网络环境下水利工程的视频监控解决方案。

1 系统模型

南水北调中线工程南起丹江口水库,经长江与淮河流域分水岭南阳,于河南通过隧道穿过黄河,沿京广铁路西侧北上,止于北京颐和园团城湖,整体呈现出流域跨度大、涉及地域广的特点。中线输水工程沿途建有多个监测站,每个监测站下设若干个监测点,终端建有水环境调度总控中心^[7]。其中,三级监测点主要设在干渠河流沿岸,地理环境较为封闭复杂,因此,主要基于无线方式进行监控视频回传。另外,监测站与总控中心的信息交换方式较多,包括专线、运营商有线网络等。因此,各个监测站点、总控中心等之间的网络传输环境十分复杂^[8]。本模型用于对监控视频进行编码传输决策,因此,本模型主要由视频编码传输过程所需的设备、传输线路及控制模块组成,如图 1 所示。

模型共分为 3 级:第 3 级为前端的监测站点,包含摄像头、编码传输器,该级主要完成视频采集、编码工作;第 2 级为中端的监测站,包括监测站客户

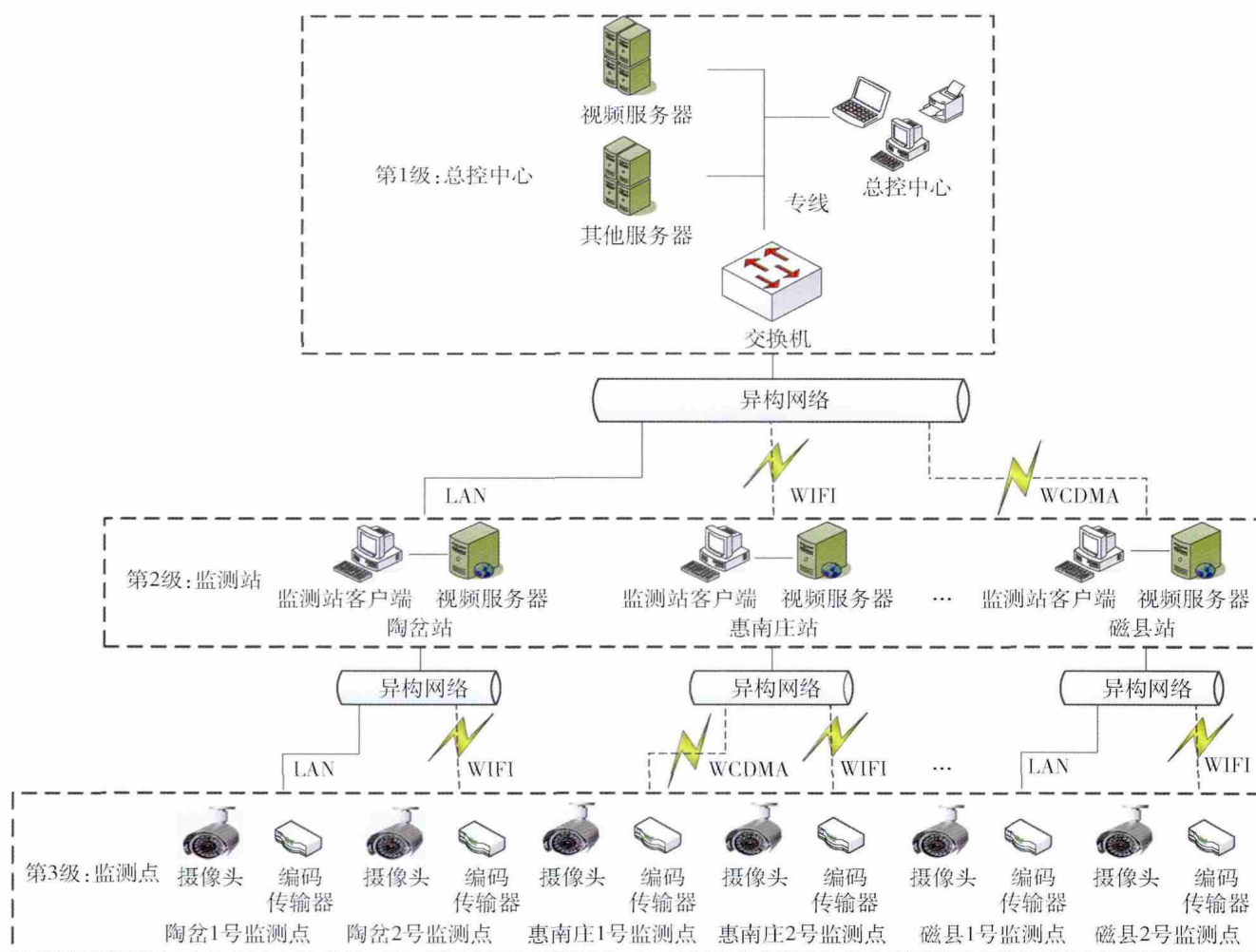


图1 异构网络下的视频监控系统模型

Fig.1 Model of video surveillance system in heterogeneous networks

端、视频服务器,该级主要完成局部视频的汇总工作,同时针对网络状况进行视频的转码;第1级为总控中心,包括视频汇总显示设备、视频服务器以及其他服务器,该级主要完成全局视频汇总显示以及决策分析下达等工作。

2 关键技术研究

2.1 基于 RTP/RTCP 的网络状况评估关键技术

本文所研究的视频监控数据是基于实时传输协议/实时传输控制协议(real-time transport protocol/real-time transport control protocol,RTP/RTCP)进行传输的。RTP是主要用来在网络环境下对多媒体数据进行传输的协议^[9]。RTCP作为RTP的控制协议,其目的是为数据收发提供可参考的服务质量(quality of service,QoS)评价反馈数据^[10]。收发设备之间通过定期发送RTCP协议包,并对相互收到的RTCP协议包进行解析,得到数据包的收发时间、

数据包总数等数据。通过进一步数据分析,得出包括网络延迟、丢包率等网络质量参数,从而为下一步的视频编码参数调节提供参照。

网络延迟是指一帧数据从发送端发出到接收端接收完成所需要的时间,采用ms为时间精度单位。正常的网络状况下,网络延迟通常不超过200ms。在网络处于忙碌状况下,网络延迟可达到甚至超过1s^[11]。

RTCP基于数据位对网络延迟进行计算,主要利用了RTCP包中的时间戳。发送端和接收端在收到数据包时,各自会基于当前系统时间的的时间戳 T_s 、 T_r 进行标记。因此,利用收发的时间戳之差,即可获得网络传输延迟,即

$$T = T_s - T_r \quad (1)$$

但是考虑到发送端和接收端的系统时钟可能存在不同步的问题^[12],因此,需要额外引入一个时差修正参数 C ,其意义是发送端系统时钟 C_s 和接收端

系统时钟 C_r 的差值,即

$$C = C_s - C_r \quad (2)$$

因此,最终的网络传输延迟计算公式为

$$T = T_s - T_r + C \quad (3)$$

丢包率是指单位时间内传输丢失的数据包数量占发送数据包总数的比例. 通过 RTCP 包中记录的发送数据量总量 P_t 、丢失累计数 P_L ,可以计算出单位时间内数据传输的丢包率,即

$$L = \frac{P_L}{P_t} \quad (4)$$

本文网络状况的评价方法是通过对网络传输延迟和丢包率的 2 个网络参数的数值特征进行分析. 需要指出的是,由于不同地点的网络环境条件不同,因此,网络状况的评价指标也有所不同. 评价结果是网络传输延迟状况和丢包率状况的总和. 网络状况评价结果 S 的具体计算方法为

$$S = \omega_1 S_d + \omega_2 S_L \quad (5)$$

网络传输延迟状况权值 ω_1 和丢包率状况权值 ω_2 要满足两权值和为 1,初始的 ω_1 和 ω_2 权值设置为 0.5,在特定网络传输环境下,可人为根据该网络传输的传输延迟波动特性和丢包率波动特性对 ω_1 和 ω_2 进行权值调整,使得网络状况评估方法能够基于明显的网络波动特性参数对网络状况进行评价,在网络延迟波动性明显高于丢包率波动性的网络传输环境下,设置权值 $\omega_1 > \omega_2$. 在丢包率波动性明显高于网络延迟波动性的网络传输环境下,设置权值 $\omega_1 < \omega_2$.

其中式(5)的网络延迟评价价值 S_d 由

$$S_d = T - T_0 \quad (6)$$

计算得出. 丢包率评价价值 S_L 由

$$S_L = L - L_0 \quad (7)$$

计算得出. 式中 T_0 和 L_0 分别为网络延迟和丢包率的基准值,可通过一段时间的数据取均值获得.

另外,在实际网络中,还存在网络状况短时波动的情况^[3],表现为网络带宽可能会在很短时间内出现大幅下降,随后很快恢复至原本水平. 这主要是由于实际网络本身的不稳定造成的,因此,需要在评价方法中引入针对这种可能存在的波动的应对策略,即结合最近的几个时间点的网络状况监测记录,判定当前时刻检测到的波动是否具有孤立性,避免短时波动引起的参数频繁调节.

由评价结果计算公式可知,当网络评价结果大于零时,说明网络延迟较高,丢包率较高,推断出带宽不足,网络传输呈现过载状况,需要降低视频编码

的码率. 当网络评价结果小于零时,说明网络延迟较低,丢包率较低,推断出带宽过剩,网络传输呈现轻载状况,需要提高视频编码的码率.

综上,基于 RTP/RTCP 的网络状况评估方法的流程如图 2 所示.

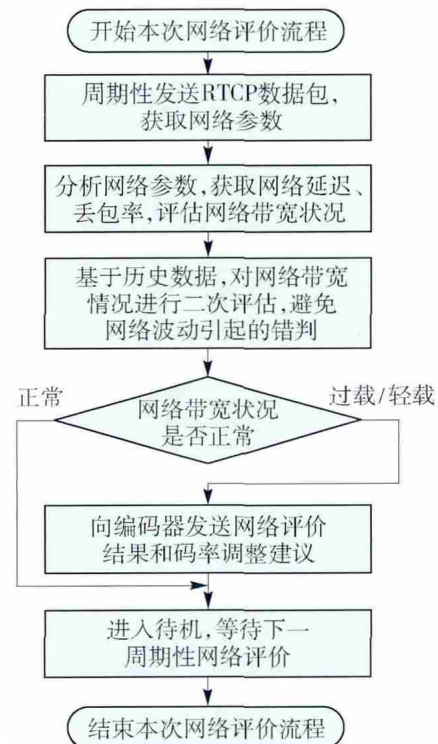


图2 基于 RTP/RTCP 的网络状况评估流程

Fig. 2 Network status evaluation process based on RTP/RTCP

2.2 实时视频监控中基于帧差图像的可调码率编码关键技术

视频编码技术能够降低数据传输过程的带宽占用率,从而达到流畅传输视频数据的目的^[4]. 本文选取了适合水面及沿岸视频监控的基于帧差图像的低码率编码方案对视频数据进行压缩编码处理. 对比传统的视频监控场景,水面及沿岸视频具有画面的运动变化率低、视频相邻帧的相关性高的特点,视频相邻帧的差值结果十分平坦. 即在该类型视频的编码中,较原始图像而言,帧差图像只需要很少的比特资源就能够表示编码结果^[5]. 因此,本文采用的基于帧差图像的低码率编码方案具体流程如图 3 所示.

图 3 中涉及了基于网络状况评估结果值 S 的视频编码参数调节过程,即基于评价结果值 S ,对视频编码参数中的码率进行调试. 具体调节方法描述如下:

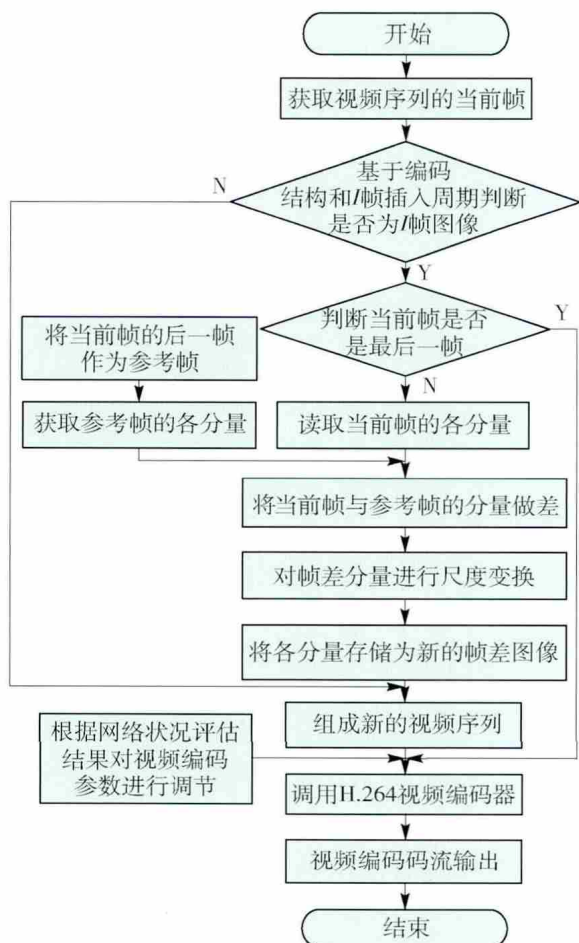


图3 基于帧差图像的可调码率视频编码流程

Fig. 3 Frame difference image based variable rate video coding process

首先基于近 N 个关键帧的网络状况评价结果值 S 的累加值 S_N , 得到该时间段网络状况评价结果。当 S_N 高于网络状况评价结果的平均水平上限时, 按照预设的梯度值下调视频编码码率。当 S_N 低于网络状况评价结果的平均水平下限时, 按照预设的梯度值上调视频编码码率。

综上, 基于帧差图像的可调码率编码方案达到了基于网络状况对视频编码的码率进行动态调节的功能, 使视频传输的带宽占用率得到合理化调节, 保证了视频监控的流畅性和时效性。

2.3 基于 B/S 架构的视频监控系统设计、搭建的关键技术

通过对视频监控的需求进行分析, 设计视频监控系统。系统模块如图 4 所示。

在对本文设计的监控系统进行搭建过程中, 主要应用了以下技术: 基于浏览器/服务器 (browser/server, B/S) 架构的系统交互模式, 应用 JavaScript 技术及 .NET Framework 技术的系统页面设计, 以及

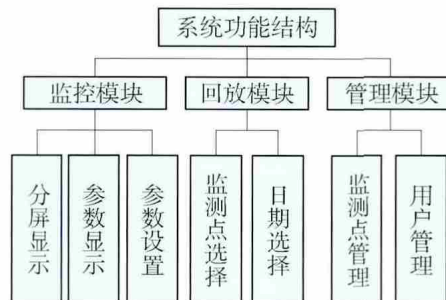


图4 系统功能结构

Fig. 4 System function structure

基于 MySQL 数据库技术的综合数据管理技术。其中, B/S 架构因在兼容和维护等方面较其他架构更为出色^[4], 能够提高系统整体的适用性和可靠性^[7]。所应用的 B/S 架构模式如图 5 所示。

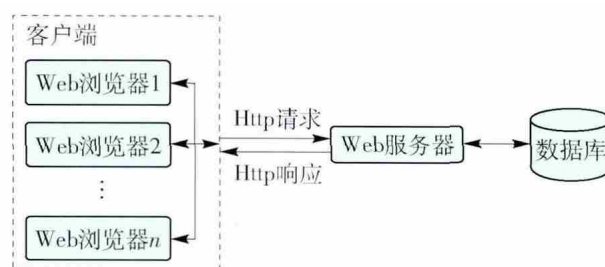


图5 B/S 架构模式

Fig. 5 B/S schema model

通过对以上技术的有机结合, 最终设计构建了本文的视频监控系统。

3 研究结果与系统测试

在系统运行环境下, 对基于网络状况的评价结果的码率反馈调节过程进行测试。

其中, 视频编码的 I 帧间隔为 24 帧, 初始码率为 60 Kbit/s, 码率调节步长梯度为 20 Kbit/s。视频码率随网络状况的自适应调节过程如图 6 所示。其中, 柱状图分为橙色、灰色、绿色 3 种, 分别表示当前时间点累计的网络评价结果高于网络状况评价结果的平均水平上限、当前时间点累计的网络评价结果在网络状况评价结果的平均水平上限和下限间、当前时间点累计的网络评价结果低于网络状况评价结果的平均水平下限。随后, 基于该信息, 对视频编码的关键参数之一的码率进行调节, 用折线表示。

在第 0 ~ 175 帧中, 带宽保持在 105 Kbit/s 左右, 此时网络带宽大于视频码率, 网络评估结果为网络带宽处于轻载状态。故视频编码码率从初始值 60 Kbit/s 开始, 以 20 Kbit/s 步长梯度递增, 最终视频码率稳定在 100 Kbit/s。

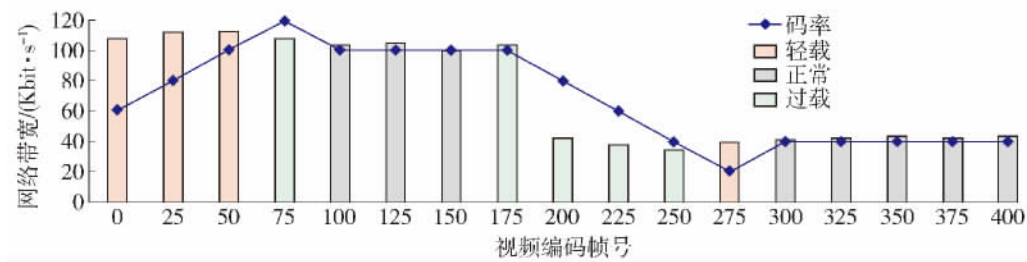


图6 基于 RTP/RTCP 的网络状况评估及码率调节结果

Fig. 6 Network condition evaluation and rate adjustment result based on RTP/RTCP

在第 200 帧之后,带宽陡降,并保持在 40 Kbit/s 左右。此时网络带宽小于视频码率,网络评估结果为网络处于过载状态,并指导视频编码码率以 20 Kbit/s 的步长梯度逐渐下降,最终视频码率稳定在 40 Kbit/s。

在搭建的视频监控系统中,监控模块界面的功能主要包括二级检测点的视频监控信息显示、视频录制、图像截取、摄像头编号选择以及监控视频相关参数的设置,如图 7 所示。同时,系统还包含了监控视频历史回放、使用人员管理等功能页面。整个系统能够满足南水北调工程异构网络下视频监控的多功能需求。



图7 视频监控系统监控界面

Fig. 7 Video surveillance system monitoring interface

4 结论

1) 针对水利工程的水源地及沿线的异构网络状况复杂、不稳定的特点,提出了一个基于 RTP/RTCP 的网络状况评估方法,通过定时获取网络延迟、丢包率等关键网络参数,对网络带宽状况进行评估,指导视频编码进行参数调整。结果表明:该方法能够对当前带宽下的视频编码进行优化,提高异构网络下视频的编码传输效率。

2) 针对水利监控视频具有的运动变化率低、帧间相关性高的特点,提出了采用基于帧差图像的视频编码方式,结果表明:该方式能够有效压缩视频编码的数据量。

3) 本文设计实现了异构网络下的视频监控系统,并进行了系统测试。结果表明:该系统满足了设计要求。同时,该视频监控系统已应用于南水北调中线工程中,能够有效完成异构网络下的水源地及沿线的水利视频监控任务。

参考文献:

- [1] 包洪福,孙志禹,陈凯麒. 南水北调中线工程对丹江口库区生物多样性的影响 [J]. 水生态学杂志, 2015, 36(4): 14.
- BAO H F, SUN Z Y, CHEN K L. Environmental impact of the middle section of the south-to-north water transfer project on biological diversity in the Danjiangkou reservoir area [J]. Journal of Hydroecology, 2015, 36(4): 14. (in Chinese)
- [2] 中华人民共和国国务院办公厅. 国务院关于丹江口库区及上游水污染防治和水土保持规划的批复 [J]. 中华人民共和国国务院公报, 2006(10): 43-44.
- General Office of the State Council of the People's Republic of China. Approval of the State Council on Danjiangkou reservoir area and upstream water pollution control and water conservation planning [J]. Communiqué of the State Council, 2006(10): 43-44. (in Chinese)
- [3] 任勇,徐蕾,叶王毅,等. 未来网络的研究进展和发展趋势 [J]. 中国科技论文在线, 2011(4): 247-249.
- REN Y, XU L, YE W Y, et al. Research progress on future Internet [J]. Sciencepaper Online, 2011(4): 247-249.
- [4] 肖龙. 论视频监控系统在公安工作中的应用 [J]. 山东警察学院学报, 2014(2): 156-158.
- XIAO L. On the application of monitoring cameras system in public security work [J]. Journal of Shandong Police College, 2014(2): 156-158. (in Chinese)

- [5] JOHNSON A Y, BOBICK A F. A multi-view method for gait recognition using static body parameters [C] // Audio- and Video-Based Biometric Person Authentication. Berlin: Springer, 2011: 301-311.
- [6] LI G D, JIAO D J, ZHANG Y J. Bandwidth measurement based on adaptive filtering [J]. Chinese High Technology Letters, 2011, 21(5): 478-481.
- [7] 王浩, 郑和震, 雷小辉, 等. 南水北调中线干线水质安全应急调控与处置关键技术研究 [J]. 四川大学学报 (工程科技版), 2016, 48(2): 3-5.
WANG H, ZHENG H Z, LEI X H, et al. Study on key technologies of emergency regulation and treatment to ensure water quality safety of the main canal of middle routes of south-to-north water diversion project [J]. Journal of Sichuan University (Engineering Science Edition), 2016, 48(2): 3-5. (in Chinese)
- [8] 王敏. 南水北调中线控制专网计算机网络技术探讨 [J]. 水利信息化, 2014(6): 65-67.
WANG M. Discuss on computer network technology of control private network in middle route project for south-to-north water [J]. Water Resources Informatization, 2014(6): 65-67. (in Chinese)
- [9] REN Y Z, YU Z W, HU R M. Real-time data transport and synchronization scheme based on RTP/RTCP [J]. Computer Engineering and Applications, 2003, 39(10): 144-147.
- [10] ZHA Q W, ZHANG W, ZENG X W, et al. A parallel TCP congestion control algorithm for multi-core systems in a high-speed network [J]. Chinese High Technology Letters, 2013, 23(9): 894-900.
- [11] MEHROTRA S, LI J, HUANG Y Z. Optimizing FEC transmission strategy for minimizing delay in lossless sequential streaming [J]. IEEE Transactions on Multimedia, 2011, 13(5): 1066-1076.
- [12] GRUEN J, GORIUS M, HERFET T. Interactive RTP services with predictable reliability [C] // Proceedings 2013 IEEE 3rd International Conference on Consumer Electronics. Berlin: IEEE Computer Society, 2013: 372-373.
- [13] TSAI M F, CHILAMKURTI N K, ZEADALLY S, et al. Concurrent multipath transmission combining forward error correction and path interleaving for video streaming [J]. Computer Communications, 2011, 34(9): 1125-1136.
- [14] HANZO L, CHERRIMAN P, STREIT J. Video compression and communications: from basics to H. 261, H. 263, H. 264, MPEG4 for DVB and HSDPA-style adaptive turbo-transceivers [M]. New Jersey: Wiley-IEEE Press, 2007: 1-18.
- [15] BARNICH O, DROOGENBROECK M V. Vibe: a universal background subtraction algorithm for video sequences [J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2011, 20(6): 1709-1724.
- [16] 李云云. 浅析 B/S 和 C/S 体系结构 [J]. 科学之友, 2011, 1: 6-8.
LI Y Y. Discussion on the architecture of B/S and C/S [J]. Friend of Science Amateurs, 2011, 1: 6-8. (in Chinese)
- [17] XU H N, WANG T Y, ZOU X X, et al. Development of an information management system for NC machine tools based on B/S architecture [J]. Key Engineering Materials, 2016, 693: 1854-1860.

(责任编辑 梁洁)