

# 用于变电站自主巡视机器人的图像传输系统研究

马承志<sup>1</sup>, 王宇雷<sup>2</sup>, 杨奎<sup>1</sup>, 郭素梅<sup>1</sup>, 付亮<sup>1</sup>, 姚军艳<sup>1</sup>, 王少荣<sup>2</sup>

(1. 广东电网公司江门供电局, 广东 江门 529000;

2. 华中科技大学强电磁工程与新技术国家重点实验室, 湖北 武汉 430074)

**摘要:** 为了实现变电站自主巡视机器人稳定可靠的传输高清图像, 采取了 WLAN 与 3G/GPRS 相结合的方式, 采用稳定可靠的 3G/GPRS 网络传输必须的图像数据, 而采用 WLAN 网络传输非必要的高清实时视频信息。设计了图像服务器与控制客户端, 针对不同的摄像机分别采用专用 SDK 与开源 Live555+FFmpeg 项目实现各个子函数。图像服务器能正确地传输图像数据和转发实时视频流。控制客户端可以接收保存图像数据和播放实时视频, 图像清晰且传输时延较小。

**关键词:** 变电站自动化; 自主巡视机器人; 图像传输; 3G/GPRS; WLAN

## Research on image transmission system for substation autonomous patrol robot

MA Cheng-zhi<sup>1</sup>, WANG Yu-lei<sup>2</sup>, YANG Xi<sup>1</sup>, GUO Su-mei<sup>1</sup>, FU Liang<sup>1</sup>, YAO Jun-yan<sup>1</sup>, WANG Shao-rong<sup>2</sup>

(1. Jiangmen Power Supply Bureau of Guangdong Power Grid Company, Jiangmen 529000, China; 2. State Key Laboratory of Advanced Electromagnetic Engineering and Technology (Huazhong University of Science and Technology), Wuhan 430074, China)

**Abstract:** In order to achieve reliable and steady transmission of HD images, substation autonomous patrol robot uses a combination of WLAN and 3G/GPRS. The robot uses reliable and steady 3G/GPRS network to transmit necessary image data, and uses WLAN network to transmit unnecessary real-time HD videos. This paper designs an image server and a control client, implements each subroutine for different cameras by using a dedicated SDK and the open source project Live555+FFmpeg. The image server can transmit image data and forward real-time video stream correctly. The control client can receive and save image data and play real-time video, the images is clear and the transmission delay is small.

**Key words:** substation automation; autonomous patrol robot; image transmission; 3G/GPRS; WLAN

中图分类号: TM764 文献标识码: A 文章编号: 1674-3415(2014)18-0105-05

## 0 引言

变电站作为电力系统极其重要的一个组成部分, 其能否安全与可靠的运行决定了电网能否正常运转。为了保证变电站安全, 一般需要定期的巡视和维护, 而变电站通常位于市郊或远离市区的偏僻地带, 再加目前我国已经出现了大量的无人值班甚至无人值守变电站, 人工驱车循环巡视工作量很大。变电站自主巡视机器人的研制, 就是用机器人取代人工巡视, 将工作人员从繁重的定期巡视工作中解放出来。为了完成传统人工巡视所能完成的任务, 变电站自主巡视机器人必须具备图像采集能力并将采集到的图像及时传输到控制中心, 以便控制中心的工作人员依据自主巡视机器人采集到的图像信息做出判断。因此, 图像传输系统是变电站自主巡视机器人系统中的关键子系统。

## 1 图像传输方案选择

由于变电站自主巡视机器人处于不断运动过程之中, 所以机器人必须具备无线传输图像的能力。目前可选用的无线传输技术主要有三种, 即 3G、WLAN 和 GPRS<sup>[1-2]</sup>。

**3G 技术:** 3G 的全称为第三代移动通信技术 (3rd-generation), 是指支持高速数据传输的蜂窝移动通信技术。目前 3G 存在三种主流标准: CDMA2000, WCDMA 和 TD-SCDMA<sup>[3-4]</sup>。其中中国电信支持 CDMA2000, 中国联通支持 WCDMA, 中国移动支持 TD-SCDMA, 详细的技术对比如表 1 所示<sup>[5]</sup>。

**WLAN:** WLAN 是 Wireless Local Area Network 的缩写, 指应用无线通信技术将计算机设备互联起来, 构成可以互相通信和实现资源共享的网络体

系<sup>[6]</sup>。无线局域网本质的特点是不再使用通信电缆将计算机与网络连接起来,而是通过无线的方式连接,从而使网络的构建和终端的移动更加灵活。通常人们将 WLAN 与 Wi-Fi 等同,但二者实际上是不同的,Wi-Fi (wireless fidelity, 无线保真) 实质上

是一种商业认证,同时也是一种无线联网的技术,宽泛地讲,Wi-Fi 属于 WLAN 的一种。目前 WLAN 采用的主流标准为 IEEE 802.11 (原始) /a/b/g/n, 网络带宽的理论值分别为 2 Mbps/54 Mbps/ 11 Mbps/54 Mbps/54 Mbps。

表 1 国内主要运营商 3G 技术对比  
Table 1 3G technology comparison of major domestic carriers

运营商		中国电信			中国联通		中国移动	
3G标准		CDMA2000 EVDO			WCDMA		TD-SCDMA	
		rel-0	rel-a	rel-b	HSPA	HSPA+	HSDPA	HSUPA
理论速度	上行 (bps)	156 K	1.8 M	5.4 M	5.75 M	5.8 M	128 K	1.6 M
	下行 (bps)	2.4 M	3.1 M	9.3 M	14.4 M	28 M	2.8 M	2.8 M

**GPRS:** GPRS (General Packet Radio Service) 是通用分组无线服务技术的简称,它是 GSM 移动电话用户可用的一种移动数据业务<sup>[7]</sup>。GPRS 经常被描述成“2.5G”,也就是说这项技术位于第二代(2G)和第三代(3G)移动通讯技术之间<sup>[8]</sup>。理论上 GPRS 可提供 115 Kbps 的,最高值为 171.2 Kbps (上下行合计)。

通过上面的简单介绍我们可以看到,WLAN 的传输速率最快且上下行传输速率对称,理论上,WLAN 的传输距离可达上百米乃至数百米(依据具体标准与技术而定),但是,在实验室实际测量中发现,WLAN 信号实际传输距离远小于理论值,并且受障碍物影响严重,测试表明,采用 IEEE 802.11b/g 标准(现行主流产品,IEEE 802.11n 标准正在推广之中)的实际无线路由器的信号在经过三堵墙(墙厚为 200 mm)之后信号几乎衰减至 0,无障碍物的情况下直线传输距离一般也小于 100 M (信号不稳定),而且 WLAN 的传输速率随着传输距离的增大而减小。变电站内障碍物众多,WLAN 信号衰减很快;同时,变电站内含有众多强电设备,相对微弱的 WLAN 信号而言这些设备会产生严重的电磁干扰。为了保证变电站自主巡视机器人能够获得足够强的 WLAN 信号,就需要在变电站内布置大量的无线路由设备,而这些设备又需要稳定的电源供电,就需要相应布置大量的电缆,这就削弱了 WLAN 的无线优势,因此只采用 WLAN 的方案并不适合变电站自主巡视机器人。

3G 网络具有下行速率较快而上行速率相对较慢的不对称特点,而变电站自主巡视机器人需要上传图像数据而远方控制中心客户端需要接收图像数据,变电站自主巡视机器人对无线网络的上下行速率均有较高的要求。目前国内 3G 网络覆盖范围尚

不及 GPRS,各公司的覆盖范围也有差异,通常需要 3G 网络与 GPRS 相结合以保证网络的稳定性。目前最快的 3G 网络为联通的 HSPA,其下一代方案 HSPA+正在建设中,覆盖面极低,并且各公司所能提供的实际网络带宽一般低于理论值。本论文所研发变电站自主巡视机器人为了获取高清晰的图像,采用了 720p 以上的高清图像,如果采用实时视频传输方案,将会导致网络负担过重,同时产生大量的网络费用。因此为了减少网络流量,而不降低图像质量,机器人并不传输实时视频而是传输 JPEG 格式的图片。通过在程序内事先设置好需要采集图像的拍照点或接收来自远方控制中心的拍照命令,当机器人行至拍照点时,通过判断逻辑确定需要采集图像信息,拍摄相应照片并通过 3G 网络传输至远方控制中心。

一方面通过在变电站内设置适量的无线路由器,结合变电站布局,在不需要大量布线的前提下为变电站自主巡视机器人提供一个不完全的高速 WLAN 网络,使变电站自主巡视机器人在变电站部分区域内可以传输高清实时视频;另一方面,使用覆盖全变电站的 3G+GPRS 网络,确保机器人在任何时刻任何地点可以可靠地传输高清图片,满足远方控制中心对基本环境信息的需求。

## 2 图像传输系统设计

图像传输系统主要包括车载图像采集设备、车载通信控制中心与变电站远方控制中心。

### 2.1 硬件部分

车载图像采集设备包括前端摄像机与车载旋转升降平台。前端摄像机位于旋转升降平台之上,采用了两款不同的摄像机以应对不同的使用场合。一款为拍摄远景图像所使用的半球型网络摄像机,该

摄像机支持最高可达 500 万像素的 (2560×1920) 高清图像, 该摄像机还支持音频信号输入, 可以与摄像机拍摄到的图像数据合成为现场视听信息。另一款为拍摄远景所使用的全球型网络摄像机, 该摄像机支持水平 360°, 垂直 120° 旋转, x30 倍光学变焦, 可以拍摄到远达 100 m 以上的清晰图像。两款摄像机皆防水、防暴, 可工作于户外恶劣环境之中。车载旋转平台限制为正向与反向各只能旋转 180°, 既使前端摄像机能绕过支架真正实现 360° 拍照, 又避免了旋转引起的连接线缆绞在一起; 升降平台位于旋转平台之上, 可以升高至少 0.5 m, 配合车身高度使摄像机可以越过较高的障碍物拍摄图像。

车载通信控制中心采用基于 Windows 平台的嵌入式控制器, 拥有 RJ45、WLAN 和 3G/GPRS 三种不同的网络接口。RJ45 接口与网络摄像机通过网线直连, 摄像头控制信号与图像数据均通过一根网线传输。WLAN 接口通过无线信号与布置于变电站内的无线路由器交换数据, 无线路由器负责无线与有线信号的转换, 中转车载通信控制中心与变电站远方控制中心之间的数据, 当启用该接口时, 变电站远方控制中心可以监控到实时影像。3G/GPRS 接口为机器人与远方之间的主要通信接口, 受制于速度限制, 该接口只能传输控制命令与图片数据, 实时视频数据不允许通过该接口传输以免造成堵塞。

变电站远方控制中心使用工控机, 拥有两个 RJ45 网络接口和 6 个 USB 接口。一个 RJ45 接口与变电站内部网络相连, 同中转无线路由器交换数据; 另一个 RJ45 接口可接入 Internet 公网或不用; 3G/GPRS 网络接口通过 3G/GPRS 无线上网卡经 USB 接口与工控机连接, 使工控机可通过 3G/GPRS 公共网络与车载通信控制中心交换数据。

## 2.2 软件部分

在 Windows 平台下, WLAN 接口与 RJ45 接口的差异由系统处理, 3G/GPRS 无线上网卡提供了 3G/GPRS 上网驱动, 三者向上提供统一的网络接口处理函数, 应用软件无需关心, 故应用程序不需要提供额外的底层网络接口驱动程序。

网络摄像机厂商提供的监控客户端仅支持监控视频的实时播放与录像而不支持图像的自动截取与上传, 另外由于整合控制界面的需要, 摄像机的监控客户端需要重写以满足需要。车载通信控制中心的监控客户端包括相对于变电站远方控制中心的图像服务器和相对于前端摄像机的控制客户端两部分, 变电站远方控制中心的监控客户端则为相对于

车载控制中心的控制客户端。车载控制中心服务器与变电站远方控制中心客户端的主流程与数据交互如图 1 所示。左边虚线框内为车载控制中心服务器, 右边虚线框内为变电站远方控制中心客户端, 虚线箭头表示二者通过网络交换数据; 两个虚线框重叠部分为二者皆有的判断逻辑; 程序正常工作时在图中央虚线框内循环, 当程序结束才会跳出循环。程序内部包含有断线重连逻辑, 流程图中未画出。如果客户端要求实时视频, 则服务器直接转发由摄像机发送来的实时视频流数据, 该任务由 ContinueAfterCmd 函数判断并执行。定点自动截图功能单独为一个线程, 主流程与图 1 类似, 只是图 1 黑线框内循环查询命令变为循环查询是否需要上传图像, 采用全局变量 *HK\_UpLoadPicture\_Flag* 来确定上传与否。

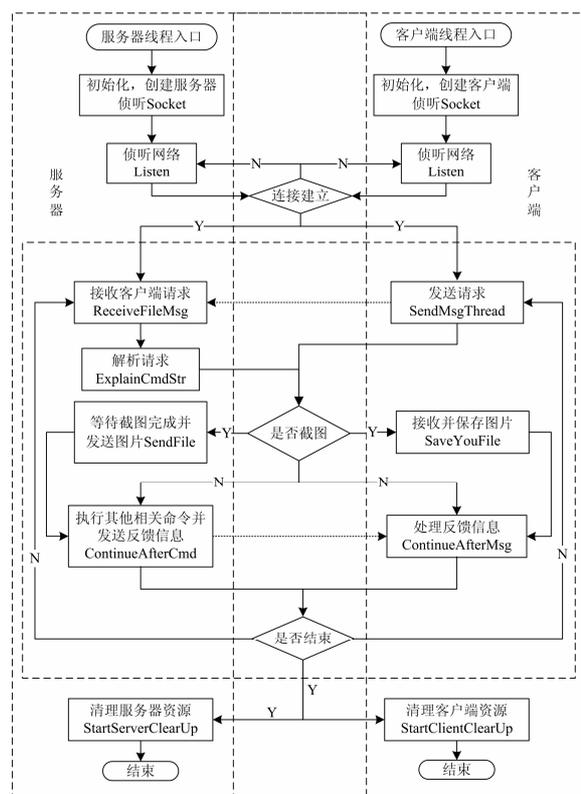


图 1 车载服务器与远方客户端

Fig. 1 Vehicle server and remote client

半球型摄像机厂商提供了二次开发 SDK 套件以满足用户个性化的需求, 因此该摄像机的控制代码使用 SDK 套件编写即可。该摄像机的基本控制流程如图 2 所示。图中, 通过判断全局变量 *HK\_CapturePicture\_Flag* 标志是否置位来确定是否需要截图, 该变量在图 1 中是否截图判断逻辑中设置; 摄像机本身并不拍摄照片, 图片实际上是从实

时视频中截取得到的，因此在截图线程中会先行启动实时视频预览为截图做好准备工作；正常工作时车载程序运行截图线程即启动，截图线程在启动预览之后即进入循环（图 2 中虚线框部分），直到全局变量 *HK\_StopRealPlay\_Flag* 标志置位才跳出循环，停止工作，通常这种情况的出现即意味着车载程序结束运行。虚线箭头指向的功能为截图线程非必需的功能，依据需要可以移出截图线程，在程序其他部分完成。

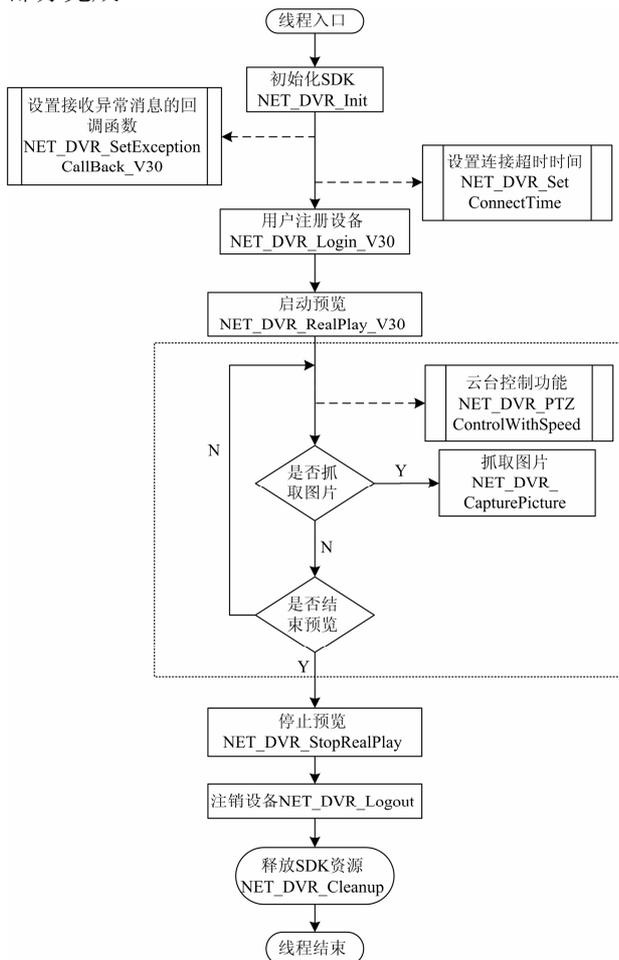


图 2 车载客户端截图线程

Fig. 2 Screenshot thread of vehicle server

全球型摄像机的基本流程与图 2 并无区别，但是由于全球型摄像机厂商不能提供相应的 SDK 开发套件，图 2 中各个函数的具体实现需要自行编写。由厂商提供的资料可以得知，IPC 与上位机之间的通信协议采用 RTP/RTCP 与 RTSP 协议。分析摄像机与厂商提供的监控客户端软件之间的 IP 数据报也可以验证这一点，并且还可以得知摄像机端视频服务器是基于开源项目 Live555 建立的，因此车载通信控制中心的客户端软件采用 Live555+

FFMPEG 的方式建立。

Live555 是一个为流媒体提供解决方案的跨平台的 C++ 开源项目，它实现了对标准流媒体传输协议如 RTP/RTCP、RTSP、SIP 等的支持<sup>[9]</sup>。Live555 实现了对多种音视频编码格式的音视频数据的流化、接收和处理等支持，包括 MPEG、H.263+、DV、JPEG 视频和多种音频编码。FFMPEG 是一套可以用来记录、转换数字音频、视频，并能将其转化为流的开源计算机程序<sup>[10]</sup>。它包括了目前领先的音/视频编码库 libavcodec。在 Live555+ FFMPEG 的解决方案中，Live555 负责接收 RTSP 流并对数据链路进行管理控制，FFMPEG 负责解码、播放和控制 H.264 编码的实时视频流以及截图。

### 3 运行结果

由于机器人的运动部分仍在完善，图像传输系统的测试在实验室内完成，对两款摄像机分别进行了测试，使用 RJ45 接口的有线网络与 WLAN 的无线网络（距离较短，约 10 m）测试结果良好，实时视频播放流畅清晰（均采用最高分辨率，网络平均速度均大于 500 KBytes/s），图片（大小均超过 500 KBytes）传输及时，控制无延时。3G/GPRS 模块尚未接入系统中，测试未能进行，但是考虑到 3G/GPRS 网络的速度，图片的传输将会出现一定的延时，由于控制线程与图片传输线程分属不同的线程，控制命令应当不会受到影响。

### 4 结语

变电站自主巡视机器人工作于变电站的恶劣环境下，面临着障碍物多、电磁干扰严重与常年暴露于户外等不利因素，其图像传输系统在不使用有线网络的方式时，面临着传输数据量大而网络速度慢、网络不稳定的问题。采用不同类型的网络以应对不同的需求是显而易见的选择，WLAN 网络较快却不稳定，适合用来传输数据量大却不那么重要的数据，例如实时视频与图片；3G/GPRS 网络速度较慢却相对稳定，因此适合传输控制命令等，也可以通过设置较长的图片传输间隔来传输图片。

### 参考文献

[1] 王贺燕, 侍才洪, 杨康建, 等. 基于救援机器人的远程无线图像传输技术[J]. 医疗卫生装备, 2013, 34(3): 88-108.

[2] 朱永利, 范新桥, 尹金良. 基于三点电流测量的输电线路行波故障定位新方法[J]. 电工技术学报, 2012, 27(3): 260-268.

- ZHU Yong-li, FAN Xin-qiao, YIN Jin-liang. A new fault location scheme for transmission lines based on traveling waves of three measurements[J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2012, 27(3): 260-268.
- [3] 焱煊, 熊小玲, 阮新波. 高速电压随动电源的发展及面临的挑战[J]. 电工技术学报, 2011, 26(9): 151-159.  
XI Huan, XIONG Xiao-ling, RUAN Xin-bo. Development and design challenges of high speed envelope tracking power supply[J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2011, 26(9): 151-159.
- [4] 熊小玲, 焱煊, 阮新波. 一种开关线性复合包络线跟踪电源的控制策略[J]. 电工技术学报, 2012, 27(8): 101-106.  
XIONG Xiao-ling, XI Huan, RUAN Xin-bo. A control strategy for switch-linear hybrid envelope tracking power supply[J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2012, 27(8): 101-106.
- [5] 张逸, 杨洪耕, 叶茂清, 等. 3G 技术在电能质量监测系统中的应用[J]. 电力系统保护与控制, 2012, 40(17): 139-144.  
ZHANG Yi, YANG Hong-geng, YE Mao-qing, et al. Application of 3G technology in power quality monitoring system[J]. Power System Protection and Control, 2012, 40(17): 139-144.
- [6] 李霞. 无线局域网(WLAN)标准与实现[J]. 计算机与数字工程, 2005, 33(1): 125-128.  
LI Xia. Criterion and realization of wireless LAN (WLAN)[J]. Computer & Digital Engineering, 2005, 33(1): 125-128.
- [7] 张忠会, 章璟, 欧峻彰. 基于 GPRS 的一种新型电力系统在线检测系统的设计[J]. 电力系统保护与控制, 2010, 38(9): 105-108.  
ZHANG Zhong-hui, ZHANG Jing, OU Jun-zhang. A new design of online detection system in power system based on GPRS[J]. Power System Protection and Control, 2010, 38(9): 105-108.
- [8] 雷学丽. GPRS 技术在集中式自动抄表系统中的应用[J]. 电力系统保护与控制, 2009, 37(24): 184-187.  
LEI Xue-li. Application of the GPRS technology in an automatic meter reading system[J]. Power System Protection and Control, 2009, 37(24): 184-187.
- [9] 曾金, 毛燕琴, 沈苏彬. 嵌入式流媒体服务器的设计和实现[J]. 计算机技术与发展, 2011, 21(7): 81-89.  
ZENG Jin, MAO Yan-qin, SHEN Su-bin. Design and implementation of embedded streaming media server[J]. Computer Technology and Development, 2011, 21(7): 81-89.
- [10] 胡聪, 周甜, 唐璐丹. 基于 FFMPEG 的跨平台视频编解码研究[J]. 武汉理工大学学报, 2011, 33(11): 139-142.  
HU Cong, ZHOU Tian, TANG Lu-dan. Research on cross-platform video codec based on FFMPEG[J]. Journal of Wuhan University of Technology, 2011, 33(11): 139-142.

收稿日期: 2013-11-29; 修回日期: 2013-12-05

作者简介:

马承志(1985-), 男, 硕士, 工程师, 从事变电运行工作;

王宇雷(1990-), 男, 通信作者, 博士研究生, 主要研究方向为变电站智能监控。E-mail: 648011163@qq.com