

基于体域网的穿戴式全景监控系统^①

刘浩, 任立红

(东华大学 数字化纺织服装技术教育部工程研究中心, 上海 201620)

摘要: 基于超宽带体域网以及多视点视频编码技术, 设计了一个面向穿戴式应用的全景视频监控系統, 其中着重研究了全景视频采集、编码与传输的关键技术。在穿戴式全景监控系统中, 体域网节点的处理能力、电池能量及通信带宽等资源均相当有限, 而该系统对于全景视频的重构质量又提出了较高的要求。因此, 针对全景视频的采集、编码与传输, 根据 H.264/MVC 子帧级编码结构提出了一种资源-质量控制算法, 使该系统能够取得低功耗、低延时、高质量的整体性能。

关键词: 监控系统; 体域网; 超宽带; 全景视频; 多视点视频编码

Wearable Panoramic Surveillance System Based on Body Area Network

LIU Hao, REN Li-Hong

(Engineering Research Center of Digitized Textile & Fashion Technology, Ministry of Education, Donghua University, Shanghai 201620)

Abstract: Based on UWB body area network (BAN) and multi-view video coding (MVC) techniques, this paper designs a panoramic surveillance system for wearable computing applications, which focuses on the acquisition, encoding and transmission techniques of the panoramic video. In the wearable panoramic surveillance system, the resources of BAN nodes (such as processing capacity, battery power and transmission bandwidth) are very limited, and high-quality reconstruction of panoramic video is required by the system. Therefore, for the acquisition, encoding and transmission of the panoramic video, this paper proposes a resource-quality control algorithm according to the H.264/MVC sub-frame coding structure, and thus the wearable panoramic surveillance system can achieve low-power, low-delay, high-quality performance.

Key words: surveillance system; body area network (BAN); UWB; panoramic video; multi-view video coding

1 前言

体域网(BAN)是附着在人体上的一种无线网络, 由一套具有无线通信功能的传感器和协调器组成, 且依赖于电池供电^[1]。业界倾向于认为体域网是无线个域网的一种延伸, IEEE 802.15.6 专家组正在着手相关的标准化工作。体域网主要面向医疗保健领域, 如果还能支持视频通信, 必将为开展新的增值业务提供可能^[2]。例如, 记者可以携带无线监控装置, 随时随地进行采访, 采访的音视频可以实时传回电视台(报社)进行保存或观看。目前, 该类监控装置的视域范围有限, 只能监控前方某一范围内的场景, 无法顾及四周

360° 范围内发生的所有事件; 此外, 该类监控装置往往对隐蔽性有很高的要求, 其与服装相融合的隐蔽性仍有相当大的改进空间。随着可穿戴计算与智能服装技术的发展, 穿戴式全景监控除了提供良好的隐蔽性外, 还可实现全景式的视频呈现, 即在同一时间、同一位置监视 360° 范围内的目标^[3]。基于 UWB(超宽带)体域网以及多视点视频编码技术, 本文设计了一个面向穿戴式应用的全景视频监控系統, 着重研究了如何对全景视频进行高效采集、编码与传输的关键技术, 以提升穿戴式全景监控系統的整体性能。

① 基金项目:数字化纺织服装技术教育部工程研究中心开放基金(2009-12)

收稿时间:2010-11-26;收到修改稿时间:2010-12-31

2 体域网与全景视频

2.1 UWB 体域网

体域网的核心问题是如何实现节点间的低功耗通信,目前主要使用三种短距无线通信技术:UWB、低功耗蓝牙、ZigBee,表 1 给出了三者之间主要技术参数的比较。ZigBee 是一种基于 IEEE 802.15.4 标准的无线通信技术,其最高传输速率仅为 250 Kbps。低功耗蓝牙是蓝牙 4.0 系列的低功耗版本,最高传输速率为 1 Mbps,比较适合于点对点的语音通信。对于高码率的无线视频传输,现有蓝牙或 ZigBee 技术均存在诸多限制。UWB 工作在 3.1~10.6 GHz 频段,使用 500 MHz 以上的传输带宽,传输没有视线限制,其传输速率可达 480 Mbps,在实际应用中具有抗干扰性强、传输速率高、耗电低、保密性好和成本低等诸多优势。因此相对来说,UWB 体域网是一种更加适合穿戴式全景监控应用的通信技术^[4]。UWB 相关技术仍在演进中,典型的标准有 ECMA-368 等^[5]。

表 1 体域网主流技术的比较

体域网类型	频段 (GHz)	传输速率 (Mbps)	多址接入	覆盖范围 (米)	网络拓扑
UWB (ECMA-368)	3.1~10.6	480	CSMA/ TDMA	<10	星型
低功耗蓝牙	2.4 (ISM)	1	FH+TDMA	10	星型
ZigBee	ISM	0.25	CSMA	30~100	星型/ 网格

TDMA:时分多址 CSMA:载波侦听多路访问
ISM:工业、科学和医用频段 FH:跳频

2.2 全景视频的呈现

全景视频是指以观察者为中心,环绕四周所观察到的 360° 视域场景。典型的全景视频采集方法是通过多路摄像头获取整个场景的多个视频信号,并将这些视频的合成形式提供给用户,由此实现自由视角切换以及场景漫游等功能。全景视频的采集模式主要有球面全景、立方体全景和柱面全景 3 种。其中如图 1 所示,柱面全景能够表达水平环状 360° 空间的视域信息,能够满足穿戴式全景监控的大部分需要且相对易于创建和使用。

人眼最大的水平视角是 180°~200°,而全景图像的水平视角是 360°,可以同时显示观察者前方和后方的图像。因此,多个摄像头采集的多路视频需要通过全景合成技术转换成适合人眼观看的形式。监控

中心可在配准参数的辅助下,通过对各个视频进行同步标定、抖动纠正、特征匹配、投影拼接等步骤合成全景视频。基于多路视频的柱面全景视频合成已经有很多成熟有效的方法^[6],由于本文侧重于研究全景监控视频的采集、编码与传输技术,故不再赘述相应的全景视频合成技术。

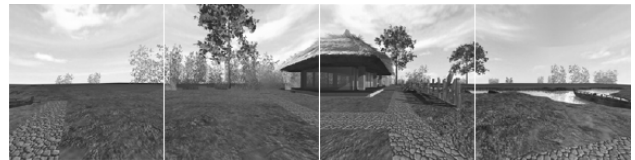


图 1 4 路摄像头合成的柱面全景图像

3 基于体域网的穿戴式全景监控

3.1 网络拓扑结构

作为一种新型的全景视频应用,基于体域网的穿戴式全景监控系统具有如图 2 所示的网络拓扑结构,该系统需要在用户服装上部署一个协调器和若干摄像头,协调器与摄像头的通信采用星形结构的 UWB 体域网,图中 C1、C2、C3、C4 分别表示一摄像头。作为体域网的中心,协调器将控制多个摄像头进行不同视域的图像采集,并对采集的多路视频进行压缩编码,再通过 3G/HSPA 等外网将码流实时地传回监控中心。监控中心则将接收到的视频数据存成文件或者通过全景视频合成进行实时观看。

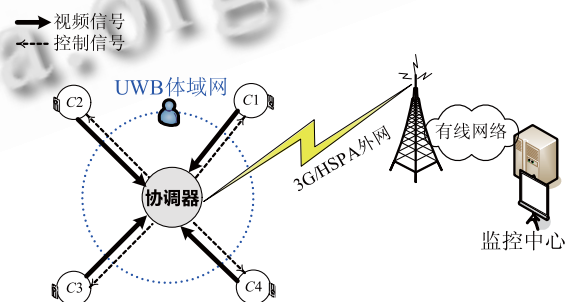


图 2 基于体域网的穿戴式全景监控系统拓扑图

在体域网中,协调器负责系统的调度以及视频编码传输,其硬件主要包括带 DSP 引擎的嵌入式中央处理器(CPU)、UWB 收发器、外网传输模块以及存储器。根据隐蔽性等要求,多个摄像头被部署在用户服装上的适当位置。每个摄像头的硬件主要包括 CMOS 视频传感器、UWB 收发器、磁力计以及角度计。由于摄像

头存在一定程度的抖动，为了提高全景视频合成的质量，有必要适时测量摄像头的空间坐标、拍摄角度等配准参数。磁力计测量当前采集图像与地磁的夹角，以保持柱面全景视频的主方向不变；角度计的同步运动能够纠正摄像头偏离和旋转所引起的视频抖动。这些配准参数将与采集的图像数据一道传给协调器。

为保障传输速率的稳定，UWB 体域网的 MAC 层采用保留通道的时分多址(TDMA)方式，保留通道占用时隙的相关信息在信标时段传送。UWB 体域网的总传输速率可达 480 Mbps，多个摄像头采集的原始视频数据可实现实时传输。例如，一路常用的 CIF 格式视频(352×288、4:2:0、30 帧/秒)具有约 36 Mbps 的原始数据率，UWB 体域网支持原始视频的传输路数为“480/36≈13”。假定摄像头个数为 N，其水平视角均为 R°，多摄像头必须满足“N×R° > 360°”，由此在相邻视频间获得一定的重叠视域，以便于全景视频合成。一个普通摄像头的视角范围只有 75° 水平视角，一个广角摄像头(如鱼镜头)能让水平视角扩大到 90° 以上。该系统采用广角摄像头，以减少摄像头个数并且增强隐蔽性。因此，如图 3 所示，监控系统在人体前后合适位置部署 4 个超广角(水平视角>90°)摄像头(C1,C2,C3,C4)和 1 个协调器。

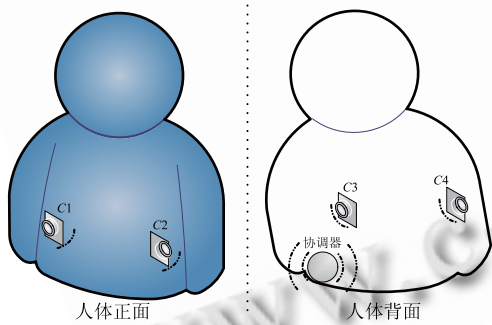


图 3 系统的摄像头与协调器在人体上的布局示意图

3.2 全景视频的采集、编码与传输

考虑到隐蔽性需求、体域网的通信能力以及协调器的资源情况，全景视频采集、编码与传输的基本机制为：基于星形拓扑结构的 UWB 体域网，协调器控制多个摄像头进行多路视频采集与原始数据传输，并对采集的多路视频进行 H.264/MVC 压缩编码^[7]，然后通过 3G 或 HSPA 外网将码流实时地传回到监控中心。在多路视频中，同一时间采集的多路子帧构成所谓的

“超帧(SF)”，“SF_n”表示按时间顺序的第 n 个超帧，若干个连续超帧构成所谓的“超图像组(GGOP)”。双向预测编码具有很高的复杂度，而同一超帧的子帧之间具有很弱的相关性。考虑到低功耗、低延时监控的需要，系统对 H.264/MVC 编码结构进行了改进，采用图 4 所示的子帧级编码结构，图中每个小方框表示一个子帧，同一时间的 4 个子帧组成一个超帧，6 个连续超帧组成一个 GGOP，子帧间箭头表示预测关系，I、P 分别表示帧内编码帧、前向预测编码帧，其下标表明了在同一 GGOP 中子帧编码的先后顺序。

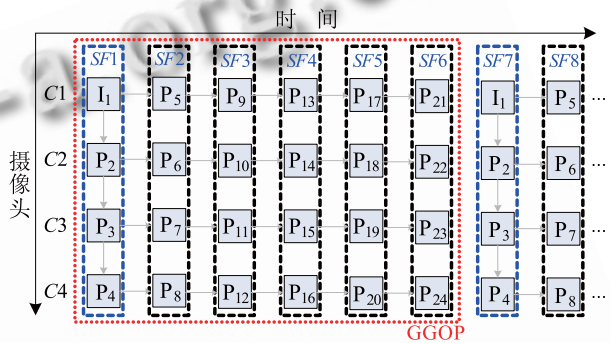


图 4 系统采用的子帧级编码结构示意图

协调器是穿戴式全景监控系统的调度中心，它在开机后首先创建一个 UWB 体域网，初始化网络设置，随后发送无线激活信号，接纳摄像头节点的入网请求。在开机完成后，协调器需要根据当前资源情况(如 CPU 占用率、电池能量、通信带宽)进行全景视频监控的质量控制，尽量避免不必要的资源消耗。基于图 4 所示的子帧级编码结构，本文针对全景视频的采集、编码与传输提出了一种有效的资源-质量控制算法，以取得低功耗、低延时、高质量的整体性能。该算法主要包括多路捕获、多视编码与远程传输三大任务，三者的并发性高，因此每个任务作为一个线程，步骤流程如图 5 所示，线程之间通过消息机制进行协同工作。

多路捕获线程通过 UWB 体域网控制各摄像头的运行，启动后向各摄像头发送统一的分辨率、焦距、拍摄模式等采集参数，以保证超帧采集质量的一致性。只有对同一时刻的多路子帧进行采集存储，才能生成同步的超帧序列，因此多路捕获线程还要进行超帧采集的同步管理。多路捕获线程需要为多路缓存分配两个原始超帧大小的缓存空间，两个缓存空间交替使用，

分别用于下一超帧的采集存储和当前超帧的编码输入。多路捕获线程首先控制多摄像头并发地进行图像采集,将采集子帧通过UWB体域网传输到下一超帧的缓存空间,等到最后一路子帧存储到该缓存空间后,多路捕获线程就会通知多视编码线程“当前超帧可用”,随后等待新的消息。在收到来自多视编码线程的“捕获下一超帧”消息后,多路捕获线程才会再次控制各摄像头进行下一超帧的捕获与存储。

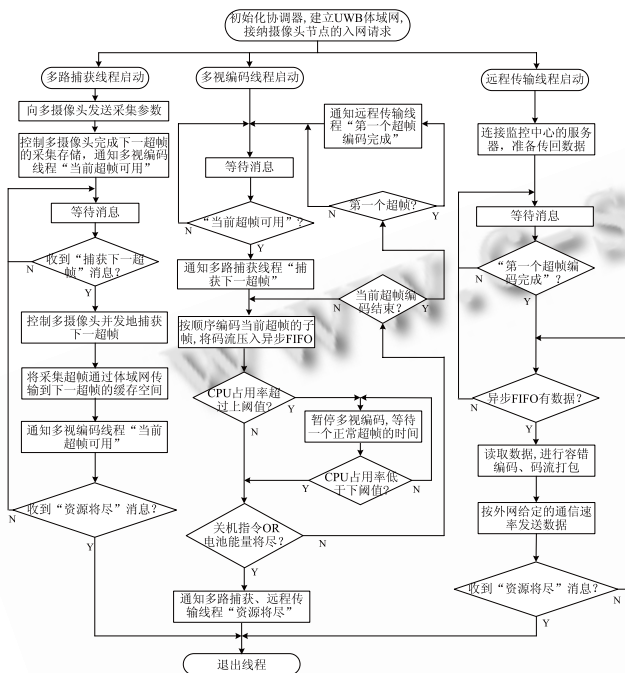


图5 资源-质量控制算法的多线程流程图

多视编码线程采用H.264/MVC编码器对多路缓存中的当前超帧进行编码,该线程占用了主要的CPU资源。在收到“当前超帧可用”消息并且上一超帧编码已完成之后,多视编码线程开始读取当前超帧的原始数据进行编码,并通知多路捕获线程“捕获下一超帧”。多视编码线程按图4所示的子帧级编码顺序依次编码当前超帧中的子帧,并将编码码流压入异步FIFO(先进先出存储器)中。根据外网给定的平均速率,编码器使用码率控制模块来生成给定比特率的码流,并且避免异步FIFO的上溢。当监控现场剧烈变化时,全景视频编码的复杂度会大幅增加,使得协调器的CPU超负荷运行,导致重建视频出现马赛克,且系统面临崩溃的危险。为此,多视编码线程采用一种主动跳帧策略来避免CPU处于超负荷状态,以使协调器长期稳定运行。为了防止CPU超负荷运行,当CPU占

用率达到某一个上阈值时,协调器将暂停全景视频的采集与编码,直到CPU占用率低于某一个下阈值后,再进行图像采集与编码。上阈值和下阈值的选择取决于协调器的硬件配置与操作系统等因素,通常可将CPU占用率99%作为上阈值,CPU占用率80%作为下阈值。多视编码线程在压缩当前超帧的下一子帧之前,会查询当前时段的CPU占用率。当CPU占用率超过上阈值时,多视编码线程将暂停当前超帧后续子帧的编码,每隔一个正常超帧的时间间隔就查询当前时刻的CPU占用率,直到当前CPU占用率低于下阈值之后,才继续对当前超帧的下一子帧进行编码。系统通过主动跳帧策略,可以保证编码出来的码流均是有效数据,避免无效的超帧采集与编码。在压缩下一子帧之前,多视编码线程还会检查关机信息和剩余电池能量。如果收到关机指令或者电池能量将尽,多视编码线程将通知多路捕获、远程传输线程“资源将尽”,使得三个线程随后退出运行。

远程传输线程在启动后,首先通过3G或HSPA等外网连接监控中心的服务器,完成远程传输码流的准备。在来自多视编码线程的“第一个超帧编码完成”消息到来后,远程传输线程随即从异步FIFO中读取码流数据,进行容错编码、码流打包等外网协议栈的处理,然后将数据包通过无线外网传回监控中心。由于外网的无线带宽往往波动较大,异步FIFO可能偶尔出现没有码流数据的情况,此时远程传输线程处于低功耗的数据等待状态。远程传输线程将与多视编码线程的码率控制模块协同运行,保证全景视频压缩码率与外网通信速率的适配。

4 结语

本文基于UWB体域网和多视点视频编码技术设计了一个穿戴式全景监控系统,着重研究了其中全景视频的采集、编码与传输问题。针对该系统提出的资源-质量控制算法能够有效提升全景监控的整体性能,从而取得低功耗、低延时、高质量的全景视频监控效果。基于体域网的穿戴式全景监控系统在新闻采访、安防等领域具有一定的应用前景。

参考文献

1 Cao H, Leung V, Chow C, Chan H. Enabling technologies for

(下转第22页)

QImage 能够存取单个像素^[6], 这样在显示前一帧图像的时候, 将该图像保存下来, 当显示后一帧图像的时候, 如果该像素值与前一帧相同, 则不必修改该值, 从而节省了大量的时间, 即哪里变修改哪里, 显示过程的具体步骤如下:

(1) 取得已解码的视频数据, 且该数据是 RGB 格式的。

(2) 循环取得视频数据的 R 分量、G 分量、B 分量。

(3) 判断该点的像素值是否与前一帧对应位置的像素值相同, 若相同, 跳转到第 2 步, 否则, 保存该像素值。

(4) 对取得的 RGB 各自分量, 构造该像素点的颜色值, 通过调用 qRGB (R,G,B) 构造方法实现。

(5) 设置相应点的像素值, 首先生成 QImage 类的对象, 然后调用该类的 setPixel(x,y,rgb)。其中, x 是图像的 x 坐标值, y 是图像的 y 坐标值, rgb 是该点的颜色值。

(6) 显示图像, 通过调用 update()方法, 该方法会触发绘画事件, 因此, 在绘画事件里, 写入显示图像代码, 即可显示刚生成的 QImage 对象, 通过调用 drawImage()方法绘制图像。

5 结论

本系统在视频图像采集时, 为了降低数据量, 采用 YUV420 的采样格式。视频数据编码采用 H264 硬编码方式, 极大地提高了编码速度。而在无线网络传

输时, 考虑到丢包问题, 将编码数据进行拆包然后发送, 降低了丢包率。经测试, 本系统采集一幅 OV9650 摄像头拍摄的且分辨率为 320X240 的图像, 经 H264 硬编码, 编码后的图像数据大致为 5KB 左右, 降低了数据传输量, 并且硬编码每秒可编码 25 帧图像数据, 达到实时视频数据编码的要求。对于 WI-FI 无线网络的传输率一般在 11-54Mbps 左右, 因此, 该无线网络可以满足实时传输视频的需求。本系统构建了高实时性, 低成本, 低功耗的数字化无线视频监控平台, 在该平台基础上, 可以搭建各种各样的应用, 比如, 路况实时监控, 人脸识别, 仓库报警等应用, 该系统具有一定的实用价值。

参考文献

- 1 王洪辉.嵌入式系统 Linux 内核开发实战指南.北京:电子工业出版社,2009.142-175.
- 2 弓雷.ARM 嵌入式 Linux 系统开发详解.北京:清华大学出版社,2010.324-336.
- 3 余兆明.图像编码标准 H.264 技术.北京:人民邮电出版社,2006.14-128.
- 4 螺丝起子研究室.共享 Wi-Fi 无线网络实务.北京:中国水利水电出版社,2005.4-39.
- 5 齐俊杰,胡洁,麻信洛.流媒体技术入门与提高.长沙:国防工业出版社,2009.71-79.
- 6 蔡志明,卢传富,李立夏.精通 Qt4 编程.北京:电子工业出版社,2008.175-183.
- 7 4 Chen M, Gonzalez S, Vasilakos A, Cao H, Leung VCM, Body area networks: a survey. Mobile Networks and Applications, 2010, DOI: 10.1007/s11036-010-0260-8.
- 8 5 Ecma International. High rate ultra wideband PHY and MAC standard. ECMA-368, 3rd edition, 2008.
- 9 6 马力,张茂军,徐玮,熊志辉,王瑜.采用视频拼图方法构建高分辨率全景视频监控系统的中国图象图形学报,2008,13(12):2291-2296.
- 10 7 Joint Video Team of ITU-T VCEG and ISO/IEC MPEG. WD 1 reference software for MVC (JMVC) 1.0,JVT-AA212, Geneva, April 2008.

(上接第 17 页)

wireless body area networks: a survey and outlook. IEEE Communications Magazine, 2009,47(12):84-93.

2 Aghdasi HS, Abbaspour M, Moghadam ME, Samei Y. An energy-efficient and high-quality video transmission architecture in wireless video-based sensor networks. Sensors, 2008,8:4529-4559.

3 Ng KT, Chan SC, Shum HY. Data compression and transmission aspects of panoramic videos. IEEE Trans. on Circuits and Systems for Video Technology, 2005,15(1):82-95.