

面向无线网络相机的低功耗架构研究综述

何权奇 余飞鸿

浙江大学光电科学与工程学院 杭州 310027

(rivers, sparksfly@gmail.com)

摘要 目前,无线网络相机在环境监控领域、军事监控领域、城市监控领域正发挥越来越重要的作用。在远程或者密闭环境中使用时,无线网络相机由电池供电且不方便更换电池,相机必须满足长时间续航的要求。相机续航时间由相机功耗以及电池容量共同决定,由于电池技术无突破性进展,无线网络相机的低功耗架构设计成为了一个重要的研究方向。首先,罗列和分析了无线网络相机上各种硬件方案以及实际功耗表现。接着,对比了不同编码算法的功耗表现。在相机动态功耗管理方面,提出和分析了无线网络相机的动态功耗模型,为动态功耗管理提供理论基础,还分析了相机状态切换时的功耗模型,确定了超时模式下相机切换状态的阈值时间。最后,提出了无线网络相机的低功耗架构的总体设计流程。

关键词: 无线网络相机;低功耗框架设计;电池;动态功耗管理;嵌入式应用系统

中图法分类号 TN919.82

Review of Low Power Architecture for Wireless Network Cameras

HE Quan-qi and YU Fei-hong

College of Optical Science and Engineering, Zhejiang University, Hangzhou 310027, China

Abstract At present, wireless network camera is playing an increasingly important role in the field of environmental monitoring, military monitoring and urban monitoring. When used in remote or closed environments, the wireless network camera is powered by batteries and it is not convenient to replace the battery. The camera must meet the requirements of long battery life. The battery life of the camera is determined by the power consumption of the camera and the battery capacity. Since there is no breakthrough in battery technology, the low-power architecture design of wireless network cameras has become an important research direction. Firstly, the hardware solutions and power consumption performance of wireless network cameras are listed and analyzed. Then, the power performance of different coding algorithms is compared. In the aspect of camera dynamic power management, the dynamic power model of wireless network camera is proposed and analyzed, which provides the theoretical basis for dynamic power management. The power model of camera state switching is also analyzed, and the threshold time of camera state switching in time-out mode is determined. Finally, the overall design process of low power architecture of wireless network camera is presented.

Keywords Wireless network camera, Low energy consumption architecture, Battery, Dynamic power management, Embedded application system

1 引言

在过去的20年里,无线网络相机已经被广泛应用于从不同的监控场景中收集视觉数据,这直接促进了IoT(Internet of Things)应用领域的成熟^[1-9]。最近20年,无线网络相机随着新的通信标准和硬件平台的出现而不断更新,成为许多复杂监控环境的实用解决方案^[10]。组网后的无线网络相机系统是由空间上分布的众多相机节点组成,相机节点之间通过无线网络彼此通信以及与服务服务器通信,其中的相机节点由电源管理模块、成像模块、网络信号收发模块、视频处理模块组成。

由于无线网络相机在社会生产生活中得到广泛的应用,海量的相机设备带来了巨大的能量消耗。顺应节能减排的发展趋势,无线网络相机的功耗问题值得关注。信息和通信技术产生的碳排放量占据了总碳排放量的2~4%^[11]。而且,在一些偏远或者危险场景下应用的无线网络相机不方便更换电

源或者由电线供电,这也对无线网络相机的功耗提出了新要求^[12]。

目前,无线传感器网络低功耗设计处于一种各自为战的状态,没有研究在系统研究的基础上进行低功耗设计^[13]。硬件元器件的选择从底层决定了相机的功耗,高功耗的元器件对于长期工作的无线网络相机来说往往会带来巨大的功耗。占相机总功耗较多的器件包括:图像传感器、主控芯片、无线信号收发模块等。有学者专门调研了硬件平台并建立了评价体系,对不同平台进行了比较,方便大家选择合适的硬件平台^[1]。此外,无线网络相机一般需要对图像进行捕获,编码压缩,再无线传输,编码压缩过程中通过对软件算法的优化,减小传输带宽以及软件计算量,达到低功耗的要求。在更高的系统设计层次,需要设计一种动态能量管理系统,在系统层次对相机整体的功耗进行动态管理。研究者在绿色能源方面、能量收集方面的尝试也给降低能耗提供了新的思路。

本文第 2 节描述低功耗无线网络相机的元器件选择;第 3 节描述低功耗无线网络相机的编码软件设计;第 4 节描述低功耗无线网络相机的动态功耗管理策略;第 5 节描述在无线网络相机能源收集方面的设计;最后总结全文。

2 低功耗无线网络相机的元器件

硬件方面,无线网络相机使用的处理器主要分为两类:基于微控制器和基于 ARM Cortex-A 系列芯片。无线网络相机的通信模块包括 Wi-Fi 模块、ZigBee 模块等。

2007 年,Hengstler 等^[14]提出了一种用于分布式监控领域的混合分辨率的智能无线网络相机系统,其中相机节点为 MeshEye。如图 1 所示,该相机采用了 Atmel 的 AT91SAM7S 微控制器作为主控芯片,副摄像头采用两个低功耗的光学鼠标传感器,主摄像头使用 Agilent Technology 的 ADNS-3060 图像传感器,输出 VGA(640×480)分辨率的图像,通信模块使用的是 Texas Instrument 的 CC2420 信号的 ZigBee 传感器。在供电方面,使用 2 节 AA 电池供电,容量为 2850mAh,转换效率为 90%。经过测试,在轮询时间为 1s 的情况下,且物体被探测的间隔为 45s 时,相该机的全生命周期为 22 天。

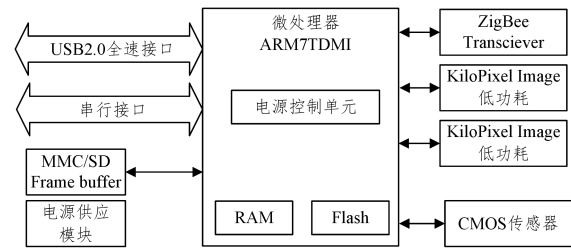


图 1 MeshEye 相机的硬件框图
Fig. 1 Hardware block diagram of MeshEye camera

2008 年,Chen 等^[15]提出了一个低带宽无线网络相机平台 CITRIC。如图 2 所示,在硬件上使用了用于嵌入式平台的低功耗的 Intel XScale 系列 PXA270 处理器,图像传感器使用了低电压的 OV9655 CMOS(Complementary Metal Oxide Semiconductor 互补金属氧化物半导体)传感器,分辨率为 1300 万像素。供电方面使用了 4 个 AA 电池,电池容量 2700mAh。经测试,相机的全生命周期为 16h。

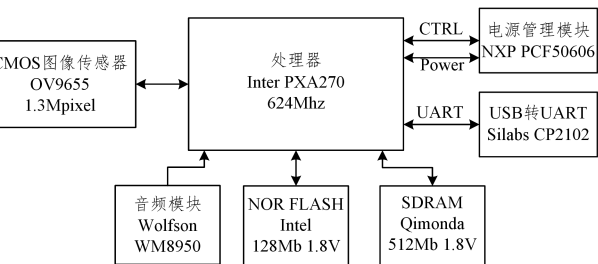


图 2 CITRIC 无线网络相机的硬件框图
Fig. 2 Hardware block diagram of CITRIC Wireless Network Camera

Luo 等^[16]提出了一种对无线网络相机的 IEEE 802.15.4 协议的硬件优化实现,重新进行了硬件设计,提高了协议的性能。

随着相机的视频质量的提高以及机器视觉的广泛应用,处理器的性能要求也提高了。无线网络相机的处理器逐渐由微处理器转为功耗较高的基于 ARM Cortex-A 系列芯片的处理器。高帧率的高清视频的传输对无线传输带宽的要求越来

越高,过去的 ZigBee 协议(最高数据传输速率 250kbps)已经无法满足对高清视频的有效传输,Wi-Fi(基于最新的 802.11ac 协议的一收一发天线的最高数据传输速率为 433 Mbps)通信逐渐占据了无线网络相机的通信协议的主流。

2014 年,Li 等^[17]提出了一种网络摄像头的设计,该设计采用基于 ARM A8 芯片的 S5PV210 处理器,采用了 2.4GHz 的 Wi-Fi 模块,图像传感器采用了 OV5642 CMOS,采用 H.264 压缩,通过 Wi-Fi 输出视频 1080@30fps。

2017 年,Saeed 等^[18]设计了用于无人机的 Argus 相机,该相机采用了基于 ARM A8 芯片的 Parrot AR.Drone 2.0 无人机平台,上面集成了 Linux2.6.32 系统,采用了 720P 的摄像头,采用 Wi-Fi 模块,相机输出视频 720P@30fps。

3 低功耗无线网络相机的编码算法设计

最近 20 年,无线网络相机在软件方面的主要优化方向是视频编码压缩算法的优化。由于未压缩的原始视频数据大,不适合通过无线传输,所以相机在网络传输前一般会进行视频编码。目前有多种视频压缩算法,每一种算法的性能和复杂度都不同。最常见的视频编解码算法包括 MPEG-4、DVC(Distributed Video Coding 分布式视频编码)、HEVC(H.265)和 H.264 压缩算法。

DVC 被认为是一种适合组网使用的无线网络相机的视频编码的解决方案。DVC 是基于 Slepian-Wolf^[19]和 Wyner-Ziv^[20]的分布式源编码理论的一种编码方案。分布式视频编码与传统视频编码相比,其明显区别在于:基于运动估计的混合视频编码(如 MPEG-4, H.264)的编码端各帧之间通过运动估计进行联合编码,解码端通过运动补偿来联合解码;而基于 Slepian-Wolf 与 Wyner-Ziv 理论的分布式视频编码,编码端每帧采用类似帧内编码的独立编码方式,解码端利用帧间时域相关性进行联合解码。分布式视频编码具有以下主要特点:低复杂度的编码,高复杂度的解码;对于容易产生误码的通信网络,具有更好的健壮性;具有更高的压缩效率。

2013 年,Chien 等^[21]从编码器的角度来分析无线网络相机的功耗问题,在基于 ARM 处理器的平台上,比较了基于 DVC(分布式视频编码)和基于 H.264 的成熟编码方案的能耗。功耗的测试平台是基于 Scole 公司的 MDK-3D 开发板,采用的是 ARM11 处理器,内嵌 Linux 操作系统,包含一个 1300 万像素的图像传感器以及一个 Wi-Fi 模组。其测试的是编码 QCIF@15fps 时的功耗。测试中,DVC 编码的软件实现是使用其课题组研发的一个开源网站的项目“NTU DISCOVER”的解决方案,而 H.264 编码是使用的免费商业化的 x264 的解决方案。结果表明,DVC 的能耗要远小于 H.264 编码。在基于 ARM 处理器的平台上,DVC 的能耗只有 H.264 编码的一半。

4 低功耗无线网络相机的动态功耗管理

动态功耗管理的基本宗旨是:期间的所有功能原件或者资源并非一直需要用能量驱动^[22]。目前,动态能量管理大致分为 3 类:超时策略、预测策略、随机策略。超时策略是指,目前的空闲时间超过了阈值,就进行休眠模式切换;预测策略是指,在空闲时间开始的时候进行空闲时间长度的预测,当预测时间大于阈值,就进行休眠模式切换;随机策略是指,把动态能量管理问题当成随机优化的问题,利用随机决策模型求解。

在实际的动态能量管理策略的使用中,目前多采用超时策略。Wu 等^[23]通过计算得出了结论:在空闲时间满足 Pareto 分布的时候,超时算法性能良好。

4.1 相机的动态功耗管理数学模型

为了清楚地分析相机的功耗问题,很多学者尝试对无线网络相机的功耗进行建模^[24-26]。网络相机的功耗部分包括图像传感器的功耗、处理器的功耗、网络传输芯片的功耗。

图像传感器工作模式有活跃模式、IDLE 模式和休眠模式。休眠模式的功耗可以被认为是与频率无关的常量 P_s ;考虑到活跃和 IDLE 模式下功耗与时钟频率的线性关系,活跃和 IDLE 模式下的功耗可以被表示为:

$$P_a^s = k_1 f^s + b_1 \quad (1)$$

$$P_i^s = k_2 f^s + b_2 \quad (2)$$

其中, k_1, k_2, b_1, b_2 是与硬件和软件相关的参数, f^s 是传感器的时钟频率。

处理器工作模式有活跃模式、IDLE 模式和休眠模式。根据文献^[24]的结论,活跃模式下的功耗与时钟频率有 3 次关系,所以活跃模式下处理器的功耗可以表示为:

$$P_a^p = k_3 (f^p)^3 + k_4 (f^p)^2 + k_5 f^p + k_6 \quad (3)$$

其中, k_3, k_4, k_5, k_6 是与硬件和软件相关的参数, f^p 是处理器的时钟频率。IDLE 和休眠模式下的处理器功耗可以被近似为常数 P_i^p 和 P_s^p , 其中 $P_i^p > P_s^p$ 。

网络传输芯片的工作模式有:发送模式、接收模式、IDLE 模式和休眠模式。假设收发数据, IDLE 以及休眠时功耗分别为 $P_a^{rx}, P_a^{tx}, P_i^c, P_s^c$ 。在一帧的时间内,收发数据时, IDLE 模式和休眠的时间分别为 $t_a^{rx}, t_a^{tx}, t_i^c, t_s^c$ 。那么一帧的时间内,网络传输芯片的功耗为:

$$P_c = P_a^{rx} t_a^{rx} + P_a^{tx} t_a^{tx} + P_i^c t_i^c + P_s^c t_s^c \quad (4)$$

同时,还需要考虑模式切换产生的功耗,在一帧时间内,传感器、处理器和网络传输芯片的总功耗可以被表示为:

$$P_{\text{total}} = \sum_{j \in \{s, p\}} \left(\sum_{o \in \{a, i, s\}} t_o^j P_o^j + \sum_{o \in \{a, i, s\}} \sum_{k \in \{rx, tx, i, s\}} T_{ok}^j P_{ok}^j \right) + \sum_{v \in \{rx, tx, i, s\}} t_v^c P_v^c + \sum_{v \in \{rx, tx, i, s\}} \sum_{k \in \{rx, tx, i, s\}} T_{vk}^c P_{vk}^c \quad (5)$$

其中, T_{oq}^j 和 P_{oq}^j 是指传感器 ($j=p$) 或者处理器 ($j=s$) 由 o 模式切换到 q 模式的时间和功耗, T_{vk}^c 和 P_{vk}^c 指网络传输芯片由 v 模式切换到 k 模式的时间和功耗。 $\{a, i, s\}$ 是传感器和处理器模式的集合, $\{rx, tx, i, s\}$ 是网络传输芯片模式的集合。其中所有的系数都可以使用最小二乘法优化取得^[24]。

总功耗模型表明,控制频率以及工作模式,可以有效控制无线网络相机的总功耗。

4.2 相机的门限时间选择模型

在 2010 年, Yin 等^[27]提出了相机的门限时间选择模型,通过公式推导,计算出了状态切换的门限时间的值。

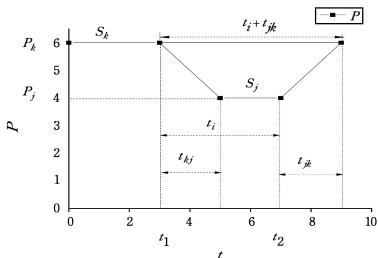


图3 状态 k 转换到状态 j 的示意图

Fig. 3 Schematic diagram of state k transition to state j

如图 3 所示,在 t_1 时,相机工作在活跃状态 k ,相机的能耗

是 P_k ,在 t_2 时才会出现事件 2, $t_2 = t_1 + t_i$,相机从状态 k 切换到状态 j 的时间是 t_{kj} ,从状态 j 切换到状态 k 的时间是 t_{jk} 。若不切换状态, t_2 时相机会处理事件 2,所产生的功耗是:

$$P_1 = (t_2 - t_1) P_k \quad (6)$$

当进行状态切换时,相机从 t_2 时开始切换到活跃状态 k ,在 $t_2 + t_{jk}$ 时才会处理事件 2,所产生的功耗是:

$$P_2 = \frac{1}{2} (P_k + P_j) t_{kj} + \frac{1}{2} (P_k + P_j) t_{jk} + (t_i - t_{kj}) P_j \quad (7)$$

假如状态切换可以降低功耗,那么 P_1 应该大于 P_2 ,于是可以得到门限时间为:

$$t_{th} = \frac{1}{2} \frac{P_k - P_j}{P_k + P_j} t_{kj} + \frac{1}{2} t_{jk} \quad (8)$$

当然,由于状态 k 切换到 j 有额外功耗 P_{ad} ,且与状态 j 到 k 切换的额外功耗一样,那么此时 P_2 的表达式为:

$$P_2 = \frac{1}{2} (P_k + P_j) t_{kj} + \frac{1}{2} (P_k + P_j) t_{jk} + (t_i - t_{kj}) P_j + P_{ad} \quad (9)$$

可以计算新的门限时间为:

$$t_{th} = \frac{1}{2} \frac{P_k - P_j}{P_k + P_j} t_{kj} + \frac{1}{2} t_{jk} + 2 \frac{P_{ad}}{P_k + P_j} \quad (10)$$

因此,在超时模式时,需要根据状态功耗、状态切换以及状态切换时间来共同决定时间阈值的大小。

4.3 基于动态能量管理的解决方案

2014 年, Sousa 等^[28]提出了一种使用 FM (Frequency Modulation) 作为无线网络相机的控制通道的解决方案。其比较了 FM 模块和 Wi-Fi 模块的功耗,博通公司的 BCM4329 FM 收发模块的功耗为 10mW,而 Intel 的 Link5300 Wi-Fi 模块在睡眠模式的功耗高达 100mW。同时 FM 模块的传输覆盖距离最大可到 160km,轻松覆盖 Wi-Fi 网络。如图 4 所示,在网关上使用 FM 设备发送控制信号,控制相机节点发送数据、接收数据。通过模拟实验表明:对于大于 10 个节点的无线相机网络,功耗降低了至少 25%;对于组网的大型网络,功耗降低了 50% 以上,其中对于节点有 64 个的网络,降低了 90% 的功耗。然而基于 FM 控制系统的无线网络相机的实际实现有一定难度,FM 传输数据的错误率较高^[29],控制信号不是很稳定。

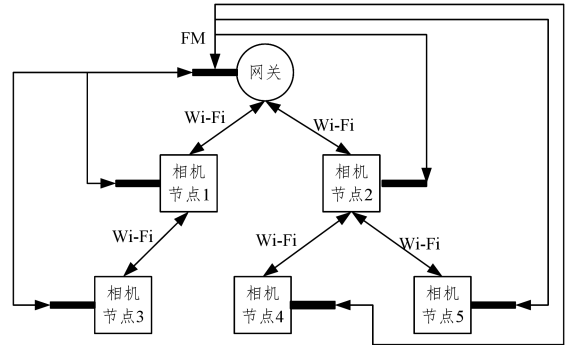


图4 基于 FM 控制的无线网络相机的框图

Fig. 4 Block diagram of wireless Network camera based on FM control

2007 年, Hengstler 提出了一种混合分辨率的智能相机系统。该系统由一个低功耗的副摄像头和一个 720P 的主摄像头组成。日常监控的时候,利用低功耗的光学鼠标进行移动监测,而功耗高的主摄像头进入睡眠模式。监测到移动物体时,再唤醒功耗较高的主摄像头进行立体视觉匹配,匹配成

功以后,相机才开始录像。

2014 年,Abas 等^[30]提出了一种用于公共空间监控的无线智能网络相机。如图 5 所示,该设计采用了树莓派平台,采用了低功耗的 RN-174 Wi-Fi 模块(睡眠模式功耗 4 μ A),作者新颖地使用 MSP430 微控制器作为电源管理模块,使用 PIR (Passive Infrared sensor,被动红外传感器)产生的硬件中断来通知 MSP430 微控制器。系统的调度策略为:当 PIR 没有检测到目标,MSP430 就进入睡眠模式,功耗由 230 μ A 降低到 1 μ A;当 PIR 检测到目标,唤醒 MSP430,接着 MSP430 再来控制 Raspberry Pi 上电启动。测试结果表明,相机正常工作的功耗为 2 W,但是 MSP430 睡眠,Raspberry Pi 下电以后的功耗只有毫瓦级。

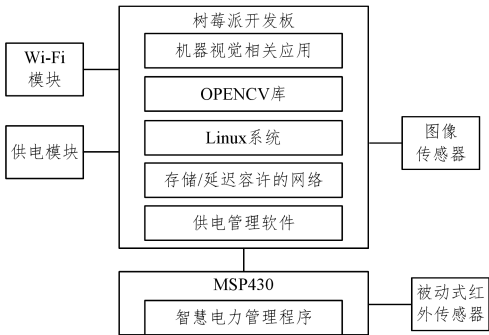


图 5 用于公共空间监控的混合分辨率智能相机系统的硬件框图

Fig. 5 Hardware block diagram of hybrid resolution smart camera system for public space monitoring

2016 年,Pham 等^[31]介绍了一种低成本、低功耗、长距离的无线网络相机。该设计使用 Teensy3.4 开发板作为主控,用 μ CamII 图像传感器来获取 128 $\times$ 128 的图像,通信单元采用 Semtech 公司的 LoRa SX1276 芯片,用 4 节电池来供电。软件方面使用了适用于小内存平台的图像变化探测算法和丢包容忍的视频压缩算法。实际测试效果表明,传输大小 128 $\times$ 128 像素的图像,传输距离达到 1 800 m。供电采用 4 节 AA 电池。相机定时唤醒,其余时间休眠,以节省能源。经测试,相机每小时醒来拍摄一幅图像(约 2 s),对其进行编码(约 290 ms,图像质量因子为 10),4 节 AA 电池可运行 268 天左右。

2017 年,Vitek 等^[32]提出了一种用于停车场车位管理的分布式组网的无线网络相机。在该无线网络相机的设计中,考虑到车位的变化不会太频繁,为了减少相机的待机功耗,硬件上采用了微控制器和 Raspberry Zero 的组合,相机节点会周期性被定时器唤醒,在睡眠模式下,微控制单元(Microcontroller Unit,MCU)会给主芯片和 Wi-Fi 模块下电,在定时唤醒以后,再查看当前的车位情况。主芯片下电以后,相机的整体功耗降低到毫瓦级别。

对于切换条件比较复杂的情况,可以使用机器学习的办法来设计动态能量管理策略。在 2019 年,Chen^[33]提出了一种多点协作的无线视觉传感器网络架构,该架构采用了基于机器学习的发射功率调节方案,可以依据当前信道状态对节点的发射功率进行分配。

5 收集外部能量的无线网络相机

处理器的功耗在过去十年里提高了 100 多倍,然而在过

去的三十年里,单位体积的电池容量仅仅提高了不到 4 倍,电池技术远远滞后于处理器功耗的发展。因此,延长相机的待机时间不能仅仅依靠电池技术,还可以引入对外部能量的收集。

能源收集技术利用环境能源,如太阳能、热能、风能等,最近已经引起了极大的关注,许多能源收集系统,包括能源收集设备和电路,已经被开发为“零功率”自我可持续的独立电子^[34-36]。可再生能源的优点是:环保、可再生、设备维护方便。可再生能源的缺点也很明显:能量获取具有时间随机性、抗干扰能力弱^[37]。而事件驱动行的无线网络相机的通信也具有时间随机性。两者都具有时间上的随机性,为能量的有效利用提出了新的要求。

图 6 是能量收集型的无线网络相机的典型结构框图,其由三大部分构成:第一部分是能量采集模块,可以采集太阳能、热能、振动能、射频电磁能量等;第二部分是电源模块,包含能量转换器、能量存储器、能量管理单元、多个供电管道;第三部分就是相机系统,包含微控制器、无线信号收发单元、图像传感器。

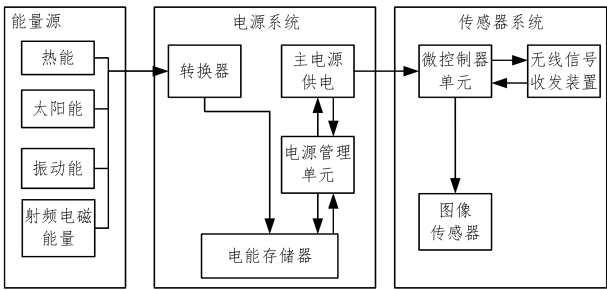


图 6 典型的能量收集型的相机的结构框图

Fig. 6 Structural block diagram of typical energy harvesting camera

2008 年,Gilbert 等^[38]回顾了典型的几种无线网络相机的能量需求,列举了一系列潜在的可利用的环境能量,以及列举了一系列能量转换设备,提出了一种基于归一化能量密度的方法评价这些转换设备。其模拟计算以后得出结论:一个无线网络相机的所需功率大概为 3 mW,而典型最大的能量密度是 1 μ W/mm³,所以节点的能量转换设备的体积必须为大概 3 000 mm³。

接着,为了提高太阳能收集效率,研究者还提出了诸如:基于能量预测模型的太阳能和风能收集的无线传感器系统^[39]、基于自适应理论的无线传感器系统节点的太阳能最优采集系统^[40]等方案。

2014 年,Kim 等^[41]介绍了一种典型的能量采集无线传感器平台。该设计通过使用一种高增益的宽带天线,在 UHF (ultrahigh-frequency)数字 TV 波段搜集无线能量,供电给基于微处理器的无电池的相机平台,而该波段的信号由 6.3 km 以外的广播天线发出。该基于 UHF 波段收集能量的相机由天线、RF 转直流电荷泵、电源管理模块、电存储器、调试模块、MCU 微控制器、温度传感器构成。结果表明,该系统可以实现无电池工作。

在 2012 年,Zhou 等^[42]提出了一种用于可再生能源与电网共同供电情景下的离线控制算法。当能量和通道的变化已知,其提出了基于双注水法的最优功率离线控制算法。该算法在传统的定向注水法的基础上进行了改进。

结束语 本文回顾了过去 20 年,无线网络相机的低功耗

框架的发展,从底层到上层依次论述了在硬件选择、编码软件设计、动态功耗管理层次、外部能量收集层次的研究进展。在硬件层次上,列举了国内外众多研究者的硬件选择以及实际的整体功耗表现。在编码软件层次,需要不断优化现有的视频压缩算法以及研究新的适合于无线网络相机的算法,来降低算法的空间复杂度和时间复杂度。在调度策略方面,通过对相机功耗建模以及切换阈值时间建模,发现采用动态功耗管理以及合适的阈值时间,可以整体上的节能。在收集外部能量供电方面,由于近年来相机功耗的增加,同时考虑到能源收集方法的稳定性以及设备体积与成本,无论是太阳能、风能还是射频电磁能,对于简单的传感器来说足够,但是对于高清视频传输的无线网络还是远远不足。传统的外部能量采集的供电方式已经无法满足相机运行的需求,需要提高外部能量采集效率,优化能量采集的算法。

对于未来无线网络相机的低功耗框架的发展,本研究认为:为了达到低功耗,必须系统地进行设计。设计流程包括选取低功耗的元器件,优化编码算法,提出合适的能源收集的方案,利用机器学习对相机的动态功耗管理策略进行训练,从而开发出对具体场景更加有针对性的调度策略。

参 考 文 献

- [1] COSTA D G. Visual Sensors Hardware Platforms: A Review [J]. IEEE Sensors Journal, 2019, 20(8): 4025-4033.
- [2] CHEN Y B, LI Q, WANG Y J. Design of hospital Environmental Monitoring System based on WSNs [J]. Sensors and Microsystems, 2016, 2016(2): 120-122, 129.
- [3] IDOUDI M, BOURENNANE E B, GRAYAA K. Wireless visual sensor network platform for indoor localization and tracking of a patient for rehabilitation task [J]. IEEE Sensors Journal, 2018, 18(14): 5915-28.
- [4] CAO T, LAI Z Y, HUANG A W. Design and Implementation of crop growth image remote Acquisition System [J]. Agricultural Mechanization Research, 2020(1): 16.
- [5] WANG Z, ZHANG B K, WANG J, et al. Cuda-based real-time HD Video Mosaic Method for Multiple Cameras [J]. Computer Applications and Software, 2016, 33(2): 123-128.
- [6] WANG X. Design and Implementation of Android Network Panorama Camera based on Multi-sensor [D]. Harbin: Harbin Engineering University, 2016.
- [7] YUAN S D, DENG Y, LUO A, et al. Attempt to use wireless infrared camera technology to alleviate human-image conflict [J]. Forestry Construction, 2019(6): 12.
- [8] WANG Y D. Research on multi-robot Positioning System based on binocular camera and K-means Algorithm [D]. Anhui: Anhui University of Technology, 2018.
- [9] WANG L, LEI C H, YANG Y J. Design of a microscope Video Wireless Teaching Device [J]. China Medical Devices, 2018, 33(12): 91-93.
- [10] KUMAR A, ZHAO M, WONG K J, et al. A comprehensive study of iot and wsn mac protocols; Research issues, challenges and opportunities [J]. IEEE Access, 2018, 6: 76228-76262.
- [11] WEBB M. SMART 2020: enabling the low carbon economy in the information age [R]. The Climate Group on behalf of the

- Global eSustainability Initiative (GeSI), 2008.
- [12] LI YANRONG. Camera motion control based on 485 interface of 4G Wireless Network Camera [D]. Northwest A&F University, 2018.
- [13] QIAN Z H, WANG Y J. Overview of Wireless Sensor Networks facing the Internet of Things [J]. Journal of Electronics and Information Technology, 2013, 35(1): 215-227.
- [14] HENGSTLER S, PRASHANTH D, FONG S, et al. MeshEye: a hybrid-resolution smart camera mote for applications in distributed intelligent surveillance [C] // International Conference on Information Processing in Sensor Networks, 2007.
- [15] CHEN P, AHAMMAD P, BOYER C, et al. CITRIC: A low-bandwidth wireless camera network platform [C] // ACM/IEEE International Conference on Distributed Smart Cameras, 2008.
- [16] LUO A, YIN S, LIU L, et al. Low-Power Low-Cost Implementation of IEEE 802. 15. 4 in WiNSoC Design [C] // International Conference on Wireless Communications Networking and Mobile Computing (WiCOM), 2010.
- [17] LI YUCHENG, HUANG TANGMENG. Design of 1080P Webcam based on S5PV210 [J]. Computer Engineering and Design, 2014, 35(11): 3813-3819.
- [18] SAEED A, ABDELKADER A, KHAN M, et al. Argus: realistic target coverage by drones [C] // ACM/IEEE International Conference on Information Processing in Sensor Networks, 2017.
- [19] SLEPIAN D, WOLF J. Noiseless coding of correlated information sources [J]. IEEE Transactions on information Theory, 1973, 19(4): 471-80.
- [20] WYNER A, ZIV J. The rate-distortion function for source coding with side information at the decoder [J]. IEEE Transactions on information Theory, 1976, 22(1): 1-10.
- [21] CHIEN S Y, CHENG T Y, OU S H, et al. Power consumption analysis for distributed video sensors in machine-to-machine networks [J]. IEEE Journal on Emerging and Selected Topics in Circuits and Systems, 2013, 3(1): 55-64.
- [22] BENINI L, BOGLIOLO A, DE MICHELI G. System-level dynamic power management [C] // IEEE Alessandro Volta Memorial Workshop on Low-Power Design, 1999.
- [23] WU Q, XIONG G M. Research on Dynamic Power Consumption Management Strategy Based on Stochastic Decision Model [J]. Acta Computerica Sinica, 2007, 30(4): 622-628.
- [24] SANMIGUEL J C, CAVALLARO A. Energy consumption models for smart camera networks [J]. IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, 2016, 27(12): 2661-2674.
- [25] MARGI C B, PETKOV V, OBRACZKA K, et al. Characterizing energy consumption in a visual sensor network testbed [C] // International Conference on Testbeds and Research Infrastructures for the Development of Networks and Communities, 2006.
- [26] REDONDI A, BURANAPANICHKIT D, CESANA M, et al. Energy consumption of visual sensor networks: Impact of spatio-temporal coverage [J]. IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, 2014, 24(12): 2117-2131.
- [27] YIN G H, GUO M, TIAN X, et al. Research on dynamic Power Management of Wireless Sensor Nodes based on MSP430 [J]. Modern Electronic Technique, 2010, 33(8): 163-166.

pporo:IEEE Press,2015:811-813.

- [10] ZHOU G L,LI Y M,FU C M,et al. Resource allocation based on relay selection for OFDM underwater acoustic communication system[J]. Journal of Applied Acoustics,2017,36(2):182-188.
- [11] ELAMASSIE M,KARBALAYGHAREH M,MIRAMIRKHANI F,et al. Resource Allocation for Downlink OFDMA in Underwater Visible Light Communications[C]// IEEE International Black Sea Conference on Communications and Networking. Sochi:IEEE Press,2019:1-6.
- [12] JIANG Z,WANG H Y,HAO R Q,et al. Optimum power allocation for underwater acoustic OFDM system [J]. Journal of Northwest University (Natural Science Edition),2012,42(6):919-924.



YOU Ling, born in 2000, postgraduate. Her main research interests include wireless communication system and image processing.



GUAN Zhang-jun, born in 1981, Ph.D., lecturer. His main research interests include underwater acoustic communication system and radar signal processing.

(上接第 373 页)

- [28] SOUSA F,CAMPOS R,RICARDO M. Energy-efficient wireless multimedia sensor networks using FM as a control channel [C]//IEEE Symposium on Computers and Communications (ISCC). 2014.
- [29] DIAS J,SOUSA F,RIBEIRO F,et al. Green wireless video sensor networks using FM radio system as control channel[C]// Annual Conference on Wireless On-demand Network Systems and Services (WONS). 2016.
- [30] ABAS K,PORTO C,OBRACZKA K. Wireless smart camera networks for the surveillance of public spaces [J]. Computer, 2014,47(5):37-44.
- [31] PHAM C. Low-cost, low-power and long-range image sensor for visual surveillance[C] // Workshop on Experiences in the Design and Implementation of Smart Objects. 2016.
- [32] VÍTEK S,MELNIČUK P. A distributed wireless camera system for the management of parking spaces [J]. Sensors, 2018, 18(1):69.
- [33] CHEN H. Research on the Architecture and Power Distribution of Multi-node Cooperative Visual Sensor Network [D]. Qilu University of Technology, 2019.
- [34] BOAVENTURA A,COLLADO A,CARVALHO N B,et al. Optimum behavior: Wireless power transmission system design through behavioral models and efficient synthesis techniques [J]. IEEE Microwave Magazine, 2013, 14(2):26-35.
- [35] POPOVI Z,FALKENSTEIN E A,COSTINETT D,et al. Low-power far-field wireless powering for wireless sensors [J]. Proceedings of the IEEE, 2013, 101(6):1397-1409.
- [36] VYAS R,LAKAFOSIS V,RIDA A,et al. based RFID-enabled wireless platforms for sensing applications [J]. IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, 2009, 57(5):1370-1382.
- [37] XIA Y Q,GAO R Z,LIN M,et al. Research on cloud Control

System of Green Energy Complementary Smart Power Plant [J]. Journal of Automation, 2020, 46(9):1844-1868.

- [38] GILBERT J M,BALOUCHI F. Comparison of energy harvesting systems for wireless sensor networks [J]. International Journal of automation and computing, 2008, 5(4):334-347.
- [39] CAMMARANO A,PETRIOLI C,SPENZA D. Pro-Energy: A novel energy prediction model for solar and wind energy-harvesting wireless sensor networks[C] // International Conference on Mobile Ad-Hoc and Sensor Systems. 2012.
- [40] ALIPPI C,GALPERTI C. An adaptive system for optimal solar energy harvesting in wireless sensor network nodes [J]. IEEE Transactions on Circuits and Systems I: Regular Papers, 2008, 55(6):1742-1750.
- [41] KIM S,VYAS R,BITO J,et al. Ambient RF energy-harvesting technologies for self-sustainable standalone wireless sensor platforms [J]. Proceedings of the IEEE, 2014, 102(11):1649-1666.
- [42] ZHOU S,GONG J,WANG X L,et al. Energy Management and Resource Optimization of Wireless Communication under dynamic Energy Acquisition [J]. Science in China: Information Science, 2012, 42(10):1217-1230.



HE Quan-qi, born in 1998, postgraduate, is a member of China Computer Federation. His main research interests include embedded software of camera and the image processing.



YU Fei-hong, born in 1964, Ph.D., professor, Ph.D supervisor. His main research interests include optical design and image processing.