



冯健昭, 肖德琴, 胡月明, 等. 基于无线图像传感器的太阳能系统设计和实现[J]. 华南农业大学学报, 2016, 37(3): 121-125.

基于无线图像传感器的太阳能系统设计和实现

冯健昭, 肖德琴, 胡月明, 肖克辉, 姚金涛
(华南农业大学 数学与信息学院, 广东 广州 510642)

摘要:【目的】电源决定着无线传感器节点的生命周期, 本研究通过软硬件一体化设计最大限度地延长节点寿命。【方法】针对自主研发的无线图像传感器节点, 根据公式估算节点总功耗, 计算铅酸蓄电池容量, 根据电池容量设计太阳能电池板, 最后根据太阳能电池板和电池参数, 设计太阳能充放电智能控制器。【结果】节点选用阀控式密封高能铅酸蓄电池的容量为 10 Ah, 额定电压为 12 V; 选用功率为 10 W、输出电压 17 V、输出电流 0.5 A、尺寸为 540 mm × 350 mm 的单晶硅太阳能电池板。【结论】太阳能供电系统运行在该无线图像传感器节点中, 能够稳定、可靠、长期工作。

关键词:无线图像传感器; 节点; 太阳能供电系统; 太阳能板设计
中图分类号:TP393 **文献标志码:**A **文章编号:**1001-411X(2016)03-0121-05

Design and implement of solar system based on wireless image sensor

FENG Jianzhao, XIAO Deqin, HU Yueming, XIAO Kehui, YAO Jintao
(College of Mathematics and Informatics, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China)

Abstract:【Objective】Power supply determines the lifecycle of wireless sensor node. This study aims at maximizing the life of the node through integrated software and hardware design. 【Method】Based on independent research and development of wireless image sensor nodes, The total power consumption of the node was estimated according to the formula, the capacity of lead-acid battery was calculated. The solar panels were designed according to the battery capacity and the intelligent solar charge controller was designed according to solar panel and battery parameters. 【Result】The valve controlled and sealed high-energy lead-acid battery with 10 Ah capacity and 12 V rated voltage, and monocrystalline silicon solar panels with 10 W power, 17 V output voltage, 0.5 A output current and 540 mm × 350 mm size for the nodes were chose to achieve the solar power supply system. 【Conclusion】The solar power supply system can perform long-term, stable and reliable work in the wireless image sensor nodes.

Key words:wireless image sensor; node;solar power supply system; solar panel design

电源是无线传感器网络节点的重要组成部分, 特别是针对部署在野外的传感器网络节点, 电源模块决定着节点的生命周期长短^[1-3]。目前的传感器节点通常采用高性能的电池供电, 这需要定期更换电池, 增加了系统维护的成本^[4-6]。太阳能供电系统不仅解决了野外长时间无人值守的传感器网络节点

收稿日期:2015-10-12 优先出版时间:2016-04-15
优先出版网址:<http://www.cnki.net/kcms/detail/44.1110.s.20160415.1554.004.html>
作者简介:冯健昭(1981—),男,讲师,博士研究生,E-mail:kingchiu@21cn.com;通信作者:肖德琴(1970—),女,教授,博士, E-mail:deqinx@scau.edu.cn
基金项目:国家星火计划项目(2013GA780002;2015GA780002);广东省科技计划项目(2015A020209129);广东省自然科学基金(S2013040015755);广州市科技计划项目(201510010092)

供电问题,而且具有供电持久、节能环保和便于维护等优点^[7-9]。但是市场上现有的太阳能产品价格昂贵,也不利于发挥传感器节点的最优性能。文献[1]从电路设计角度实现了一种基于太阳能的节点供电系统,但没有详细阐述各部分的具体计算公式。

华南农业大学无线传感器网络研究室自主研发了无线图像传感器节点,远程采集在农田中的农业现场信息,节点主要由嵌入式 S3C6410 处理器平台搭载 OV5640 数字图像传感器和 Wi-Fi 通讯模块构成。为满足此网络节点在野外部署时的能量需求,本文针对该节点,设计了一种高效的太阳能供电系统,用于此节点的长期供电,以保证系统能够长时间运行。

1 无线图像传感器节点的系统架构

针对研究小组自主研发的无线图像传感器节点,远程采集在农田中的农业现场信息,需要构建太阳能供电系统满足节点的能量需求。本文中节点的系统架构主要包括无线图像传感器节点、单晶硅太阳能电池板、阀控式密封高能铅酸蓄电池、太阳能充放电智能控制器等设备,见图 1。采用自主研发的无线图像传感器节点获取农业现场的图像信息,传感器节点以嵌入式 S3C6410 处理器平台,搭载 OV5640 数字图像传感器和 Wi-Fi 通讯模块,构建了低成本、高分辨率的农田图像传感器节点,获取的图像质量最高达 500 万像素。太阳能电池板是太阳能供电系统的核心,主要作用是把太阳能的辐射能量转换成电能,一方面传输到铅酸蓄电池中存储起来,另一方面使负载设备能够工作^[10]。综合考虑各方面性能,本系统选择单晶硅太阳能电池板。太阳能充放电智能控制器的作用是控制整个供电系统的工作状态^[11],对铅酸蓄电池提供充放电管理、电池状态监测、防反流、防过充电和防过放电^[12]。同时,控制器的参数还必须匹配无线图像传感器节点的工作电压、太阳能电池板的输出电压与输出电流、铅酸蓄电池的充电电压和输出电压等参数。蓄电池采用阀控式密封高能铅酸蓄电池,在太阳能供电不足的情况下维持负载设备的有效工作。铅酸蓄电池的选择取决于无线图像传感器节点的总功耗和持续工作时间。蓄电池的容量要保证负载设备连续供电,同时还要考虑持续的阴雨天气也能使负载设备持续工作。整个无线图像传感器节点的太阳能供电系统三维外观设计如下图 2 所示。

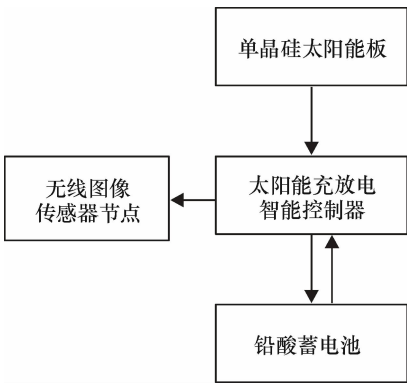


图 1 无线图像传感器节点的系统架构
Fig. 1 System architecture of wireless image sensor node



图 2 无线图像传感器节点的三维外观设计
Fig. 2 3D design of the wireless image sensor node

2 太阳能供电系统设计

首先估算无线图像传感器节点的总功耗,然后计算适合的铅酸蓄电池容量,接着根据铅酸蓄电池的容量设计太阳能电池板,最后根据太阳能电池板和铅酸蓄电池的充电电压、充电电流、输出电压和无线图像传感器节点的工作电压等参数,设计合适的太阳能充放电智能控制器。

2.1 无线图像传感器节点功耗估算

目前市场上高精度的图像采集设备成本相对较高,不利于在农业上推广应用^[13-15]。因此本系统自主研发了以嵌入式 S3C6410 处理器平台,搭载 OV5640 数字图像传感器和 Wi-Fi 通讯模块的高分辨率农田图像传感器节点。

在无线图像传感器节点工作时,仅 Wi-Fi 模块以最大功率发射信号时峰值电流为 20 mA,接收信号

时峰值电流为 8 mA。S3C6410 处理器工作在 667 MHz 时,正常工作电流为 10 mA,图像传感器模块工作电流为 20 mA,因此发送数据时所需的总电流为 30 mA,接收数据时所需的总电流为 18 mA,采集图像时所需总电流为 30 mA。

实际上无线图像传感器节点采集数据通常是定时采集,大多数时间节点处于休眠模式。节点的供电系统工作流程如图 3 所示。

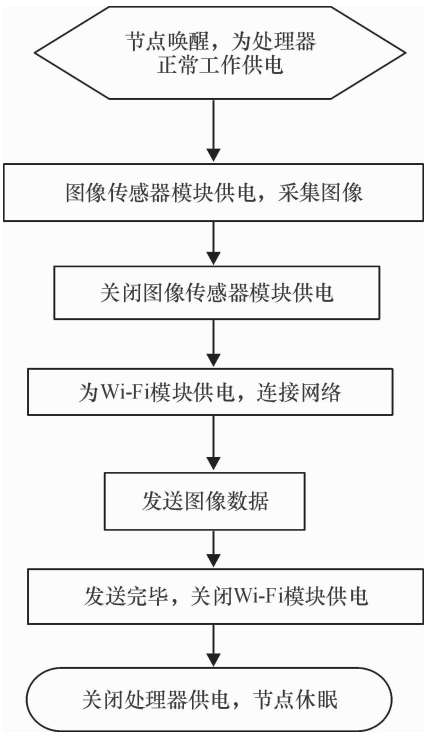


图3 工作流程
Fig.3 The working process

根据上述无线图像传感器节点供电系统的工作流程图,节点电流变化状况如图 4 所示。

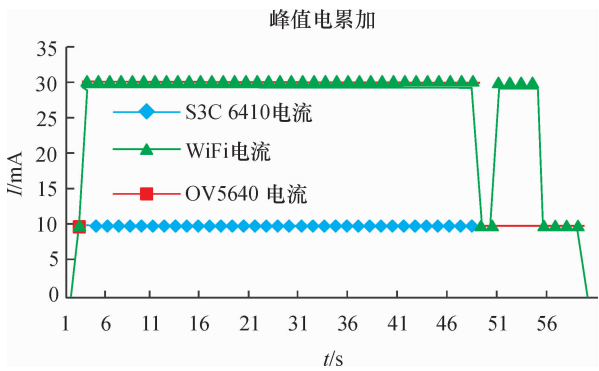


图4 节点电流变化状况
Fig.4 Electric current changes in the nodes

无线图像传感器节点长期处于休眠状态,休眠时工作电流在 μA 级可以忽略不计。当无线图像传感器节点唤醒时,首先为处理器正常工作供电,电流为 10 mA。接着打开图像传感器模块采集图像,此

时峰值电流累加后为 30 mA,试验表明采集最高分辨率为 500 万像素的图像需要 45 s,然后关闭图像传感器模块供电,此时节点的峰值电流恢复到 10 mA 状态。处理器对图像进行处理后,打开 Wi-Fi 模块连接网络,此时节点的峰值电流上升为 30 mA,试验证明发送图像数据最长需要 5 s。数据发送完毕后,关闭 Wi-Fi 模块供电,此时只有处理器工作,峰值电流又一次下降到 10 mA。最后关闭处理器的供电,节点再次进入休眠状态。

实际电路还会有其他能耗,为了提高安全性和便于设计,本文选取最大总电流为 30 mA。

2.2 蓄电池容量设计

铅酸蓄电池的选择取决于无线图像传感器节点的总功耗和持续工作时间。蓄电池的容量要保证负载设备连续供电,太阳能电池板每天获得的能量都要存储到蓄电池,作为负载设备所需的电量消耗,同时要求太阳能电池板还要多获取一些能量,存储到蓄电池作为阴雨天时使用。蓄电池容量 (B) 的计算公式为:

$$B = \frac{A \times Q_L \times N_L \times T_C}{C_c}$$

式中, A 是安全系数, $1.1 \leq A \leq 1.4$,取值越大安全性越高; Q_L 是负载日平均耗电量,除去耗电极小的休眠时间外,无线图像传感器节点的工作电流为 0.03 A,每天工作 24 h,则 $Q_L = 0.03 \times 24 = 0.72 \text{ Ah}$; N_L 是最长连续阴雨天数,为保证节点工作的稳定性,使其在阴雨天气也能正常工作,蓄电池容量应满足设备负载连续 7 d 的正常供电, N_L 取值为 7; T_C 是温度修正系数,其取值范围一般为:

$$T_C = \begin{cases} 1 & > 0^\circ\text{C} \\ 1.1 & -10 \sim 0^\circ\text{C} \\ 1.2 & < -10^\circ\text{C} \end{cases}$$

根据广州的天气特征, T_C 取值为 1; C_c 是蓄电池的放电深度,取值为 0.8。计算出蓄电池容量为: $B = 8.82 \text{ Ah}$ 。

为提高系统安全性,本系统节点选用阀控式密封高能铅酸蓄电池容量为 10 Ah,额定电压为 12 V。充满电量后电压为 13.8 V,一般正常工作电压为 10.8 ~ 13.8 V。

2.3 太阳能电池板设计

太阳能电池板主要分为单晶硅和多晶硅 2 种,它们的区别在于最高效率的单晶硅电池比最高效率的多晶硅电池转换效率高约 1%。单晶硅太阳能板的转换效率比较高,但加工工艺要求高,价格相对较高。多晶硅太阳能板转换效率较低,成本也较低。

太阳能电池板的选取主要考虑太阳能板的最大输出电压和输出电流。一般 12 V 蓄电池的充电电压需大于 12 V, 太阳能板的输出电流决定了充电时间。综合考虑性能方面, 节点选择单晶硅太阳能电池板。

平均峰值日照时数 T_m 计算公式为:

$$T_m = \frac{Q_T \times 2.778}{10000},$$

式中, Q_T 是斜面日均辐射量, 经过查阅气象部门提供的数据, 广州地区一般取值 12 702 J; 经过计算 $T_m = 3.528\ 6\ \text{h} \cdot \text{d}^{-1}$ 。

满足负载用电的太阳能电池板的充电电流 I_1 计算公式为:

$$I_1 = \frac{Q_L \times K}{T_m \times \eta_1 \times \eta_2},$$

式中, Q_L 是蓄电池负载用电量, 本系统取 0.72 Ah; K 是太阳能电池衰减的综合损失系数, 取值为 1.05; η_1 是蓄电池充电效率, 取值为 0.9; η_2 是太阳能控制器效率, 取值为 0.85; 经过计算 $I_1 = 0.28\ \text{A}$ 。

连续阴雨天过后, 需要恢复蓄电池容量的太阳能电池板的充电电流 I_2 计算公式:

$$I_2 = \frac{B \times C_c}{T_m \times D},$$

式中, B 是蓄电池容量, 如前计算取值为 10 Ah; C_c 是蓄电池的放电深度, 如前取值为 0.8。 T_m 是平均峰值日照时数, 如前计算取值为 3.528 6; D 是 2 个连续的阴雨天数间隔时长, 取值为 10; 经过计算 $I_2 = 0.226\ 7\ \text{A}$ 。

由太阳能电池板的功率公式:

$$P = (I_1 + I_2) \times U,$$

式中, U 是太阳能电池板的工作电压, 计算得到功率为 8.62 W。

综上, 本系统节点中太阳能电池板选用功率为 10 W、输出电压 17 V、输出电流 0.5 A、尺寸为 540 mm × 350 mm 的单晶硅太阳能电池板。

2.4 太阳能充放电智能控制器

本系统铅酸蓄电池充电过程如下: 当太阳能电池板的输入电压大于低电压检测阈值 10.5 V 和铅酸蓄电池端电压时, 开始对铅酸蓄电池进行充电, 此时充电电流为最大充电电流的 10%; 当检测到铅酸蓄电池端电压大于 10.8 V 时, 调整充电模式为恒流充电模式, 同时自动检测铅酸蓄电池端电压; 当检测到铅酸蓄电池端电压达到 13.8 V 时, 调整为恒压充电模式, 采用小电流为铅酸蓄电池充电, 防止“虚充”, 当充电电流减少至充电结束阈值时, 充电周期完成。充电时红色 LED 亮表示正在进行充电, 绿色

LED 亮时表示充电完毕。

3 结果与分析

2015 年 5 月至 6 月, 将无线图像传感器节点部署在广州市天河区岑村农田试验基地。根据本文设计, 节点选用阀控式密封高能铅酸蓄电池容量为 10 Ah, 额定电压为 12 V; 选用功率为 10 W、输出电压 17 V、输出电流 0.5 A、尺寸为 540 mm × 350 mm 的单晶硅太阳能电池板。

通过软件设定传感器节点每 30 分钟唤醒 1 次, 计划每天采集和传输 48 张图像, 分别进行节点本地存储和网络服务器存储。每天记录试验基地的天气状况, 统计结果为阴天 24 d 和阵雨 23 d, 占大多数, 其余为晴天 8 d、大雨 5 d 和中雨 1 d。

其中 05-09、05-17、05-20、05-22、06-23 是大雨天气, 05-10、05-18、05-22、06-03、06-15、06-25 为连续阴雨天气的最后一天。同时, 每天中午 12 点定时测量蓄电池的两端电压, 试验结果见图 5。

通过图 5 观察发现, 当遇到连续阴雨天气时蓄电池端电压会缓慢地下降, 当遇到晴天烈日时蓄电池又迅速充满, 端电压又重新恢复到 12 V 左右, 每次连续阴雨天气的最后一天成为电压下降的拐点。实际上, 通过充电指示灯可以观察到, 上午的白天时间基本上处于充电状态, 即使是多云没有太阳的天气; 而只有下雨天或者极度阴暗的天气; 才无法进行充电。

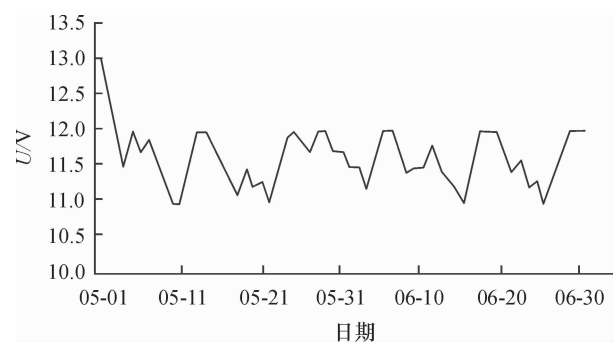


图 5 蓄电池端电压

Fig. 5 Battery voltage

由于传感器节点设置了看门狗程序, 因此只要达到最低工作电压, 节点就会自启动, 并记录启动时间。通过查看启动记录文件和最低电压时间, 试验过程中没有出现电压低于阈值的现象, 说明传感器节点一直工作正常, 没有发生断电现象。通过统计, 传感器节点本地存储图像总共 2 938 张, 网络服务器存储图像共 2 917 张, 传输丢失率为 0.7%, 其中 21 张的丢失日期天气是大雨, 说明雨天对网络传输影响较大。

试验测试结果表明所设计的太阳能供电系统能够维持图像传感器节点2个月连续工作。在晴天经过8 h左右,即可将蓄电池电压从10.8 V充到12.1 V,在阴雨天蓄电池电压的最低值为10.8 V。太阳能供电系统运行在该无线图像传感器节点中,能够稳定、可靠、长期工作。

4 结论

按照本文所述的数学计算方法,可以设计和实现满足无线传感器节点的太阳能供电系统。本文设计和实现的基于无线图像传感器的太阳能供电系统,能够维持图像传感器节点稳定、可靠、连续工作,下一步工作考虑将网络重传机制融合到传感器节点软件中,进一步提高无线网络传输的质量和系统的鲁棒性。

参考文献:

[1] 王战备. 基于太阳能的无线传感器网络节点供电系统设计[J]. 渭南师范学院学报, 2013,28(12):64-68.

[2] DEHWAH A H, MOUSA M, CLAUDEL C G. Lessons learned on solar powered wireless sensor network deployments in urban, desert environments[J]. Ad Hoc Networks, 2015, 28: 52-67.

[3] PAPAGEORGAS P, PIROMALIS D, ANTONAKOGLU K, et al. Smart solar panels: In-situ monitoring of photovoltaic panels based on wired and wireless sensor network[J]. Energy Procedia, 2013, 36: 535-545.

[4] 刑方亮. 节水灌溉太阳能无线智能控制系统的应用研究[D]. 广州:华南理工大学, 2014.

[5] 李加念,洪添胜,倪慧娜. 基于太阳能的微灌系统恒压供水自动控制装置研制[J]. 农业工程学报, 2013,29(12):86-93.

[6] 贺园园. 基于太阳能的茶园无线监测系统的设计[D]. 重庆:西南大学, 2013.

[7] 程曼,袁洪波,高立艾. 基于太阳能供电的温室无线传感器网络精量监测系统[J]. 广东农业科学, 2013,40(3):179-181.

[8] 王大美. 无线传感器网络太阳能电源管理电路设计[D]. 长春:吉林大学,2014.

[9] MIKKO K, JUKKS S, TIMO D, et al. Energy-efficient reservation-based medium access control protocol for wireless sensor networks [J/OL]. Eurasip J Wirel comm, 2010, 57: 1-22 [2015-07-21]. <http://link.springer.com/article/10.1155/2010/878412>.

[10] 王小强,欧阳骏,纪爱国. 无线传感器网络节点太阳能供电系统设计[J]. 单片机与嵌入式系统应用, 2012, 12(3):56-61.

[11] IZZUL F Z, CHIAH Y H, RAMIZI M. Development of wireless energy transfer module for solar energy harvesting [J]. Procedia Technol, 2013, 11: 882-894.

[12] 张静静,赵泽,陈海明. EasiSolar:一种高效的太阳能传感器网络节点系统设计与实现[J]. 仪器仪表学报, 2012,33(9):1952-1958.

[13] LI Q, LIU P, FU G. The solar-powered module design of wireless video monitoring system[J]. Energy Procedia, 2012, 17: 1416-1424.

[14] ANTONIO J, GARCIA S, FELIPE G, et al. Wireless sensor network deployment for integrating video-surveillance and data-monitoring in precision agriculture over distributed crops[J]. Comput Electron Agr, 2011, 75(2): 288-303.

[15] 高立艾,唐娟,于华丽. 基于太阳能的无线温室环境监测系统的设计[J]. 江苏农业科学, 2013,41(1):372-374.

【责任编辑 霍 欢】