

基于太阳能的无线土壤水分传感器的研制

李晓东, 吴永烽, 李光林^{*}, 曾庆欣, 汪时机

(西南大学工程技术学院, 重庆 400716)

摘要: 为实现土壤水分的自动检测与无线传输, 采用电场法检测土壤质量含水率, 利用 Zigbee 技术构建无线传感网络实现数据传送。利用太阳能电池收集太阳能并存储于锂电池中, 实现对系统供电。通过合理的充放电管理, 能有效地延长锂电池寿命。试验结果表明, 该传感器能够实现 0~30% 间的土壤质量含水率的测量, 相对误差小于 10%。利用 Zigbee 模块及 MiWi(TM) 协议栈构建星形网络能实现数据无线传输。当节点发射功率为 1 mW 时, 在无阻挡条件下可靠传输距离为 30 m, 在有农作物遮挡时, 可靠传输距离为 10 m 左右。在 1 h 采集发送 1 次数据及正常天气条件下, 系统能自动持续工作。在连续阴雨天气条件下, 系统能正常工作 7~20 d。

关键词: 无线传感网络, 土壤水分, 传感器, 太阳能电池, 无线土壤水分传感器, 锂电池, 电源管理

doi: 10.3969/j.issn.1002-6819.2010.11.003

中图分类号: S24, TP212.6

文献标志码: A

文章编号: 1002-6819(2010)-11-0013-06

李晓东, 吴永烽, 李光林, 等. 基于太阳能的无线土壤水分传感器的研制[J]. 农业工程学报, 2010, 26(11): 13—18.
Li Xiaodong, Wu Yongfeng, Li Guanglin, et al. Development of wireless soil moisture sensor base on solar energy[J]. Transactions of the CSAE, 2010, 26(11): 13—18. (in Chinese with English abstract)

0 引言

土壤含水率是精准农业中必需检测的一个参数^[1]。目前测定土壤水分的方法归纳起来有两大类, 一类是变动位置取样测定(如烘干称质量法等), 另一类是原位测定(如中子法、 γ 射线法、时域反射仪法、频域发射仪法、传感器法等)。烘干称质量法原理简单, 精度高, 但不能在田间实时连续监测。中子法和 γ 射线法虽可在室外快速准确监测, 但是存在放射性物质危害人体健康^[2-8]。目前市场上的土壤水分传感器可在野外实现实时测量, 但只能实现单点测量或通过总线实现测量结果的传输。要实现多点实时检测, 需要布置大量的通讯电缆。

无线传感器网络作为一种全新的信息获取和处理技术, 凭借其低功耗、低成本、高可靠性等特点, 已逐渐渗透到农业领域^[9]。文献[10-12]提出将无线传感器网络用于农田数据采集的思想。但如何有效解决系统供电问题的文献很少见报道。如果使用电线供电, 势必增加建设成本, 且观测点的变更不便, 不能实现真正意义上的“无线”传输; 如果使用电池供电, 必须定期更换电池, 大量废旧电池会造成环境污染, 且增加维护成本。因此要实现真正意义的“无线”传输必须解决系统供电问题。

由于土壤水分传感器是间歇式工作, 且无线传感器

网络的功耗很低, 如果能充分利用太阳能, 就可满足系统的能量需求^[13-15]。文献[16-17]提出利用太阳能、风能、灌溉水能实现对无线传感器网络中的路由器节点供电。因此利用太阳能可实现对小功耗、间歇式工作的无线土壤水分传感器系统供电^[18]。

本文主要论述了一种以太阳能为能源, 使用电场法测量土壤含水率, 并采用 Zigbee 无线收发模块实现结果的无线传输的土壤水分传感器。

1 电场法检测土壤含水率的原理

土壤是干土、水分和空气三者组成的混合物。由于水的介电常数比干土高几十倍, 土壤含水率直接影响土壤的介电常数。在高频电场作用下, 土壤的阻抗随土壤含水率的变化而变化。通过检测阻抗的变化, 实现对土壤含水率的检测, 原理示意图如图 1。

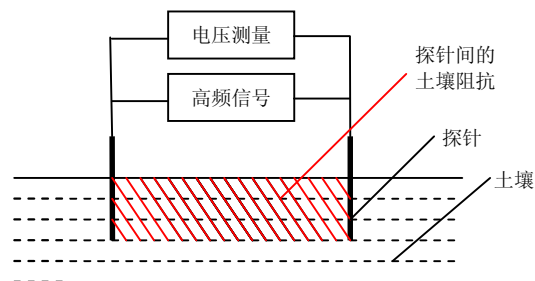


图 1 电场法测量土壤含水率原理示意图

Fig.1 Schematic of soil moisture measurement by electric field method

在图 1 中, 探针之间的土壤在高频信号作用下等效于随含水率变化的阻抗, 含水率越大, 阻抗越小, 该阻抗相当于信号源的负载。当负载相对于信号源内阻不能

收稿日期: 2010-03-16 修订日期: 2010-11-10

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(10902091); 西南大学科研基金资助项目(SWU208012)

作者简介: 李晓东(1979—), 男, 四川武胜人, 研究方向为智能检测, 自动控制。重庆 西南大学工程技术学院, 400716。

Email: lixiaodong45678@163.com

^{*}通信作者: 李光林(1963—), 男, 四川平昌人, 教授, 博士, 研究方向为传感器与智能检测。重庆 西南大学工程技术学院, 400716。

Email: liguanglin@swu.edu.cn

忽略时, 信号源输出的幅值将发生变化, 通过测量信号源的幅值变化, 可以得出土壤含水率。

当不同频率的信号源作用于相同土壤时, 土壤表现出不同的阻抗特性。文献[8]给出了土壤的阻抗特性, 当频率低于 20 MHz 时, 土壤阻抗很大, 含水率对土壤阻抗影响很小, 灵敏度很低, 当频率在 280 MHz 时, 土壤阻抗很小, 含水率对土壤阻抗影响很大。利用安捷伦高频信号发生器 (E8257C), 分别用频率为 10~120 MHz (步长 10 MHz 增加), 空载电压幅值 3.3 V 的正弦信号, 测定相同土壤的不同含水率下的电压输出值。比较电压测量值与含水率的线性关系以及稳定性, 并考虑到高频发生电路实现的难易程度及功耗, 选择频率为 50 MHz, 幅值为 3.3 V, 内阻与土壤的阻抗在同一个数量级的正弦波作为信号源。

由于只考虑土壤的阻抗随含水率的变化, 而忽略其感抗与容抗, 因此不需检测信号源输出的相位的变化, 只需检测信号源幅值的变化。将检测到的电压信号进行整流滤波, 用 A/D 转换器实现信号输出的检测。

2 系统结构及工作流程

2.1 系统硬件结构

该太阳能无线土壤水分传感器由高频信号发生电路、探针、整流滤波电路、单片机、Zigbee 无线收发模块、太阳能电池、锂电池、充放电管理电路等构成, 结构如图 2 所示。

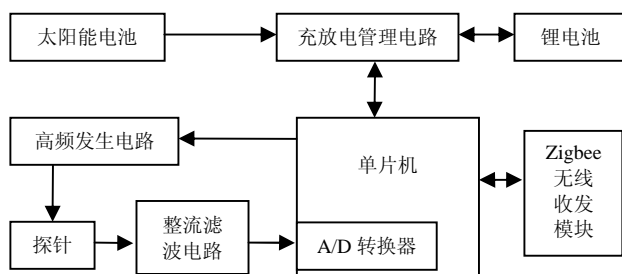


图 2 系统总体结构示意图
Fig.2 Structure of system

太阳能电池采用金光能公司的 JGN77-P8C50 滴胶太阳能电池板, 其开路电压为 5 V、短路电流为 50 mA, 用于收集太阳能。锂电池采用飞毛腿公司的 650 mA·h 手机电池, 其标称电压为 3.7 V, 充电限制电压为 4.2 V, 用于存储太阳能电池收集到的能量。充放电管理电路实现锂电池的充放电控制并提供电池的状态信息, 并将锂电池电压经降压稳压后为整个系统供电。

采用专用波形发生芯片 AD9850 来产生 50 MHz, 电压幅值 3.3 V 的正弦信号, AD9850 在 5 V 工作电压下最高能发生 125 MHz 的正弦波, 通过串行方式与单片机接口。探针采用不锈钢板制成, 尺寸为长 200 mm, 宽 27.5 mm, 厚 4 mm, 探针间距 70 mm。整流滤波电路实现对高频信号的整流滤波, 得到直流电压信号, 以进行 A/D 转换。

Zigbee 无线收发模块采用 microchip 公司的

MRF24G40MA。该模块采用芯片 MRF24J40 构成, 同时集成了无线传输所必需的外围器件和天线, 省去了复杂的天线匹配设计与射频电路的设计, 提高了系统的可靠性。结合 microchip 公司的 MiWi(TM) IEEE 802.15.4 无线网络协议栈, 可实现无线传感网络的组网及数据的传输。

单片机是整个系统的控制核心, 实现高频信号发生电路的控制与输出电压的检测、含水率的计算、电池的监控与管理、无线传感网络协议栈的运行等, 型号为 PIC18F14K22。它是 microchip 公司最近推出的低功耗器件, 具有 8k 字节程序存储器, 512 字节数据存储器, 内部集成振荡器, A/D 转换器等, 当处于休眠状态时, 消耗电流为 100 nA。使用该单片机可以减少很多外围器件, 在提高可靠性的同时, 降低了成本与功耗。

2.2 系统工作流程

为降低功耗, 系统采用间歇工作方式, 定时检测发送土壤含水率, 并监控一次锂电池状态。在休眠状态, 单片机看门狗定时器保持工作, 利用该定时器溢出, 唤醒系统工作一次, 工作流程如图 3 所示。

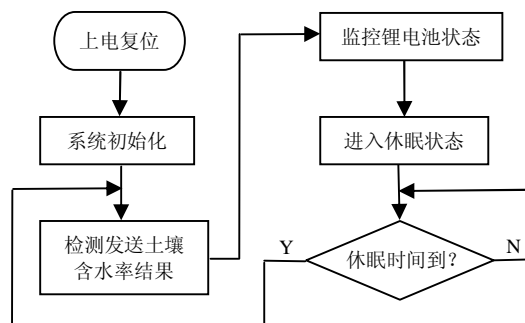


图 3 系统工作流程图
Fig.3 Working flowchart of system

3 土壤水分传感器的标定及数据处理

土壤水分传感器的输出为电压信号, 该电压大小受信号源的频率与幅值、探针间距、探针插入土壤的深度及土壤含水率的影响。该传感器设计为检测耕作层土壤含水率, 大部分农作物主要根系分布在深度为 100 mm 至 200 mm 的土壤中, 故探针插入土壤深度 150 mm。当这些参数确定后传感器的输出电压仅随土壤含水率的变化而变化。由于输出电压的理论计算复杂, 且误差较大, 采用标定的方法来确定传感器输出电压与土壤含水率的定量关系。标定所用土壤为重庆地区紫色土壤, 因土壤质地与有机质含量对土壤的阻抗有影响, 所以当该传感器用于其他种类土壤含水率测量时, 应重新标定。

从农田中取耕层土壤约 15 L, 用烘箱在 105℃ 温度下烘 24 h 以上至恒质量, 将自来水与干土按质量比配制土壤含水率一定的土壤, 将其拌匀并在密闭容器中存放 24 h 后用电场法检测其土壤含水率, 每隔 2 min 检测一次, 共 5 次, 取平均值。改变自来水质量, 重复上述过程。分别测得含水率为 0、5.5%、10.1%、15.4%、20.7%、25.4%、30.1%、35.4%、40.0%、45.0% 时传感器输出的电压, 含水率与电压间的关系如图 4 所示。

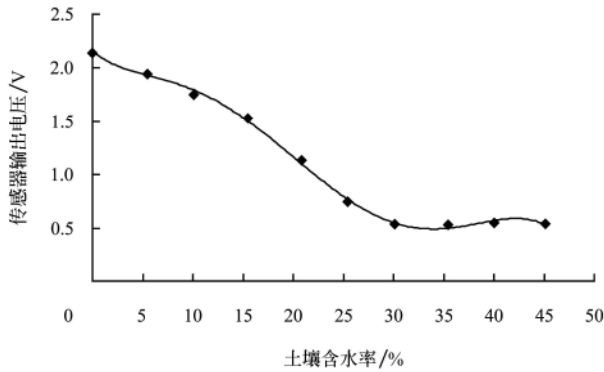


图 4 土壤含水率与传感器输出电压关系图

Fig.4 Relationship between soil moisture and sensor output voltage

可以看出,当含水率超过 30%后,传感器输出无明显变化,这是因为含水率增加到一定程度后,土壤阻抗无明显改变。

当含水率在 30%以内时,传感器的输出电压随含水率增大而减小。需要将传感器的输出电压转换成对应的土壤含水率。由于传感器输出电压与含水率并不是严格线性关系,如果采用单片机实时计算,即通过曲线拟合,得到电压与含水率的函数关系,并由电压计算含水率的方法,将导致大量的浮点数乘法运算,从而导致处理时间增加,增大系统平均功耗。采用查表法可以克服直接计算法的缺点。首先利用计算机对图 4 的曲线进行拟合,得到传感器输出电压 v (mV) 与土壤含水率 y (%) 的函数关系式,如式 (1) 所示。然后分别计算电压为 55~2 150 mV (以 5 mV 为步长增加) 所对应的土壤含水率,将这 419 个土壤含水率从大到小排列并以数组形式存放到单片机中。测量时将传感器输出电压 v 按式 (2) 计算并取整得到数组下标 n ,并由此读出土壤含水率。

$$y = -7 \times 10^{-9} v^3 + 2 \times 10^{-5} v^2 - 0.0397 v + 45.385 \quad (1)$$

$$n = (v - 55) / 5 \quad (2)$$

4 系统功耗分析

系统所需功耗由式 (3) 计算。

$$P_{sys} = P_{sen} + P_{mcu} + P_{trans} + P_{powman} \quad (3)$$

式中, P_{sys} 为系统总功耗; P_{sen} 为土壤含水率检测电路功耗; P_{mcu} 为单片机功耗; P_{trans} 为无线传输模块功耗; P_{powman} 为电源管理模块功耗。

AD9850 在 3.3 V 工作电压下,发生 50 MHz 信号时, P_{sen} 为 158.4 mW。单片机工作在 3.3 V,工作频率为 16 MHz 条件下, P_{mcu} 为 49.5 mW,休眠时为 0.33 μ W。无线收发模块在发射时 P_{trans} 为 75.9 mW,接收时为 62.7 mW,休眠时,为 6.6 μ W。电源管理电路 P_{powman} 为 33 mW。系统测量与发送时,总功耗 P_{sys} 约为 330 mW,考虑系统损耗和可靠性,以 495 mW 计算;休眠时只有单片机与电源管理模块中的部分电路供电,总功耗小于 3.3 mW。系统每隔 1 h 采集发送一次数据,每次工作时间 1 s,在一个工作周期内,工作时消耗的功率为

495 mW,休眠功率约为 3 mW。由于工作时间占整个工作周期的 1/3 600,所以平均功耗为 3.2 mW 左右。

太阳能电池最大输出功率为 250 mW,考虑到夜间及阴雨天气,输出平均功率以 25 mW 计算。因电源管理电路的效率在 60%左右,因此太阳能电池实际可用功率约为 15 mW。因此在正常天气条件下,太阳能电池能够提供系统所需的能量。

5 电源管理策略

锂电池的寿命决定了整个系统的寿命,在不影响系统工作前提下,减少锂电池的充放电次数,可延长系统寿命。对于单节锂电池,当电压高于 4 V 时,充电时间变长,且增加的存储能量占总存储能量的比例很小,因此停止充电的阈值设定为 4 V^[19-20]。当电压在 3.7~3.9 V 之间时,电压变化较小,能使用较长时间。当电压低于 3.6 V 时,电压下降非常快,因此当电压低于 3.6 V 时,必须对锂电池充电。当电池电压低于 3 V,电池可能损坏,此时停止放电,系统暂停工作。

锂电池在单片机控制下进行充电。一种充电的方法是只要有阳光且锂电池电压低于 4 V 就充电。该方法的优点是能最大程度利用太阳能,不足是充电过于频繁,对锂电池寿命不利。另一种方法是将锂电池充电到 4 V 后结束充电,然后一直放电,直到电压低于 3.6 V 再次充电。一次放电过程可以持续 10 d 左右,充电时间视天气情况而定。这种方法的优点在于在锂电池电压从 4 V 降至 3.6 V 过程中禁止了对其充电,大大减少了充电次数。不足在于浪费了太阳能。当电压低于 3.6 V 后,如果没有光照,充电也不能进行,此时锂电池可以继续供电,直到电压降至 3 V,如果此时还没有光照,系统将暂停工作,直到锂电池电压高于 3 V。但锂电池电压从 3.6 V 降至 3 V,系统可工作 100 h 左右,因此在正常天气条件下,系统不会暂停工作。这 2 种方法都没有克服充电过程中存在放电过程的缺点。本文采用第二种方法实现对锂电池充电。

6 结果与分析

6.1 土壤水分传感器测量结果及误差分析

从农田中取耕层土壤 5 份,每份约 15 L。在每份土壤样本中加不同质量的自来水,得到含水率不同的土壤,并搅拌均匀,在密闭容器中存放 24 h。对 5 份样本依次编号为 1 至 5,用电场法对每种样本间隔 2 min 检测一次,共 10 次,计算平均值。用烘干法测得 5 种样本的含水率并作为标准值,计算电场法检测结果的相对误差,结果如表 1 所示。

由表 1 可以看出,测量值比标准值小,存在系统误差。该误差由 A/D 转换及数据处理过程中的舍入误差引起。随着土壤含水率增加,相对误差增加,这是由于含水率较小时,土壤阻抗的变化对水分的变化比较敏感,传感器灵敏度较大,所以误差较小,随着含水率的增加,土壤阻抗变化不明显,传感器灵敏度降低,导致误差

增大。

表 1 土壤含水率测量结果

Table 1 Test result of water content in soil

样品号	传感器测得含水率 平均值/%	烘干法测得含水率 标准值/%	相对误差/%
1	7.5	7.9	-4.9
2	10.4	11	-5.1
3	15.4	16.5	-6.4
4	18.5	20.3	-9.1
5	23.6	26.2	-9.9

6.2 无线传输性能测试

用 6 个节点对 6 个不同的观测点进行实地测量, 用 1 个汇聚节点接收 6 个测量节点传送的数据。以汇聚节点为中心, 6 个测量节点均匀分布在汇聚节点周围。利用 MiWi(TM) IEEE 802.15.4 无线网络协议栈, 组建成一个拓扑结构为星型的网络, 节点的发射功率设定为 1 mW, 通信频率设定为 2.405 GHz。汇聚节点通过串口把接收到的数据传输到计算机中, 利用串口调试助手软件观察接收到的数据。径向移动测量节点, 改变测量节点与汇聚节点之间的距离, 测试无线传输的性能。

当测量节点与汇聚节点间无任何农作物或农作物的高度低于无线收发模块时, 可靠传输距离在 30 m, 超过 30 m 时数据可能丢失, 超过 50 m 时测量节点与网络完全失去联系。当测量节点与汇聚节点之间的农作物高度超过无线收发模块时, 可靠传输距离在 10 m 左右。农作物的疏密程度对传输距离影响不大。

传输距离有限是因为天线由电路板上铜箔构成, 且发射功率没有设置到最大。加大节点发射功率, 可以增大传输距离, 但系统功耗增加。改进天线结构并使天线高度超过农作物高度也可增加传输距离。

6.3 锂电池供电能力测试

将锂电池充电至 4 V, 断开太阳能电池, 间隔 1 h 进行一次测量和传输, 每天观测一次锂电池的电压。锂电池电压如图 5 所示。由图 5 可以看出, 锂电池电压在 15 d 左右降至 3.3 V。

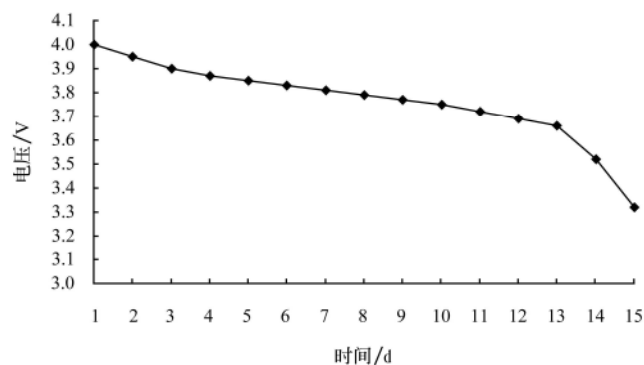


图 5 无太阳能电池条件下锂电池的电压-时间图

Fig.5 Curve of voltage-time of Li-ion battery without solar cell

6.4 系统综合供电能力测试

该测试在室外进行, 分别在重庆地区的 6 月 (阳光

充足天气 11 d, 阴天 9 d, 雨天 10 d, 平均气温 25℃) 和 11 月 (阳光充足天气 8 d, 阴天 12 d, 雨天 10 d, 平均气温 12℃) 进行测试。将锂电池放电至 3.3 V, 系统每小时进行 1 次测量和传输。每天下午 6 点记录锂电池电压, 连续测试 30 d, 结果如图 6 所示。由图 6 可以看出, 在阳光充足的夏季, 当锂电池电压低于 3.6 V 后, 锂电池很快被充电到 4 V, 然后一直处于放电状态, 直到电压降至 3.6 V。在阳光较少的冬季, 锂电池很难达到充电完成的电压 4 V, 因此不断地充放电, 这对锂电池寿命不利。

如果遇到重庆地区冬季连续阴雨天气, 系统能正常工作的时间与锂电池电压有关。当锂电池电压为 4 V 时, 无太阳能电池能维持 16 d 左右, 加上太阳能电池提供的能量, 系统能维持 20 d 左右。当锂电池电压为 3.6 V 时, 无太阳能电池能维持 3 d 左右, 加上太阳能电池提供的能量, 系统能维持 7 d 左右。可增加太阳能电池面积及锂电池容量来提高光照不足情况下的可靠性。

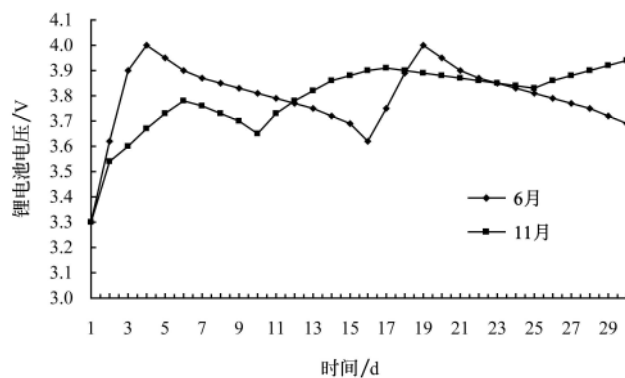


图 6 系统供电能力测试结果

Fig.6 Test result of capacity of electric power supply by system

7 结论与讨论

1) 采用电场法来实现土壤水分的检测, 该方法能实现 0~30% 间的土壤质量含水率的检测, 具有较好的可重复性。

2) 采用 Zigbee 模块及无线传感器网络协议栈构建星型无线传感网络以实现水分结果的无线传输。节点发射功率为 1 mW 时, 在无遮挡条件下, 可靠传输距离为 30 m, 有农作物遮挡条件下可靠传输距离为 10 m。

3) 使用太阳能电池收集太阳能并存储于锂电池中。在 1 h 采集发送 1 次数据及重庆地区正常天气条件下, 系统能够持续工作; 冬季连续阴雨天气条件下, 系统能工作 7~20 d。

系统没有电源线及信号传输线, 可作为大型无线传感网络中的一个节点, 对精细农业的发展有一定实际意义。

传感器只对重庆地区紫色土壤进行了试验, 应用于其他类型土壤时, 应重新标定。另外, 较长距离的无线传输还需要进一步研究。

[参 考 文 献]

- [1] 汪懋华. “精细农业”发展与工程技术创新[J]. 农业工程学报, 1999, 15(1): 1—8.
Wang Maohua. Development of precision agriculture and innovation of engineering technologies[J]. Transactions of the CSAE, 1999, 15(1): 1—8. (in Chinese with English abstract)
- [2] 白泽生. 一种土壤水分检测仪的设计[J]. 微计算机信息, 2007, 23(3): 202—203.
Bai Zesheng. Design of a soil moisture measuring instrument [J]. Control and Automation, 2007, 23(3): 202—203. (in Chinese with English abstract)
- [3] 王晓雷, 胡建东, 江敏, 等. 附加电阻法快速测定土壤含水率的试验[J]. 农业工程学报, 2009, 25(10): 76—81.
Wang Xiaolei, Hu Jiandong, Jiang Min, et al. Experiment on fast-measurement of soil moisture based on additional resistance method[J]. Transactions of the CSAE, 2009, 25(10): 76—81. (in Chinese with English abstract)
- [4] 郑勤红, 曾华, 解福瑶. 土壤含水率测量探头特性阻抗的镜像解[J]. 农业工程学报, 2002, 18(3): 41—43.
Zheng Qin hong, Zeng Hua, Xie Fuyao. A solution to characteristic impedance of the measuring probe of soil water content[J]. Transactions of the CSAE, 2002, 18(3): 41—43. (in Chinese with English abstract)
- [5] 高迟, 阎勤劳, 薛少平, 等. 土壤水分检测的模糊控制技术与试验[J]. 农业机械学报, 2009, 40(5): 68—71.
Gao Chi, Yan Qinlao, Xue Shaoping, et al. Soil moisture measurement based on fuzzy control and its experimental verification[J]. Transactions of the CSAM, 2009, 40(5): 68—71. (in Chinese with English abstract)
- [6] 付磊, 孙宇瑞. 土壤水分剖面测量系统设计与应用性能检验[J]. 农业工程学报, 2010, 26(6): 42—46.
Fu Lei, Sun Yurui. Design and applicable evaluation of instrument for determining soil moisture profile[J]. Transactions of the CSAE, 2010, 26(6): 42—46. (in Chinese with English abstract)
- [7] 胡建东, 段铁城, 石建华, 等. 土样含水量快速测定传感技术研究[J]. 仪器仪表学报, 2003, 24(2): 142—145.
Hu Jiandong, Duan Tiecheng, Shi Jianhua, et al. Research on sensing technique for fast testing of water content in soil sample[J]. Chinese Journal of Scientific Instrument, 2003, 24(2): 142—145. (in Chinese with English abstract)
- [8] 孙宇瑞, 马道坤, 何权, 等. 土壤水分剖面实时测量传感器试验研究[J]. 北京林业大学学报, 2006, 28(1): 55—59.
Sun Yurui, Ma Daokun, He Quan, et al. Experimental study of a sensor for real-time measurement of soil moisture profile[J]. Journal of Beijing Forestry university, 2006, 28(1): 55—59. (in Chinese with English abstract)
- [9] 刘航, 廖桂平, 杨帆. 无线传感器网络在农业生产中的应用[J]. 农业网络信息, 2008(11): 16—17, 21.
Liu Hang, Liao Guiping, Yang Fan. Application of wireless sensor network in agriculture producing[J]. Agriculture Network Information, 2008(11): 16—17, 21. (in Chinese with English abstract)
- [10] 崔光照, 靳嵩. 基于无线传感器网络的农业环境监测系统[J]. 通信技术, 2008, 41(12): 287—289.
Cui Guangzhao, Jin Song. An agricultural environment monitor system based on wireless sensor network[J]. Communications Technology, 2008, 41(12): 287—289. (in Chinese with English abstract)
- [11] 蔡义华, 刘刚, 李莉, 等. 基于无线传感器网络的农田信息采集节点设计与试验[J]. 农业工程学报, 2009, 25(4): 176—178.
Cai Yihua, Liu Gang, Li Li, et al. Design and test of nodes for farmland data acquisition based on wireless sensor network[J]. Transactions of the CSAE, 2009, 25(4): 176—178. (in Chinese with English abstract)
- [12] 李震, Wang Ning, 洪添胜, 等. 农田土壤含水率监测的无线传感器网络系统设计[J]. 农业工程学报, 2010, 26(2): 212—217.
Li Zhen, Ning Wang, Hong Tiansheng, et al. Design of wireless sensor network system based on in-field soil water content monitoring[J]. Transactions of the CSAE, 2010, 26(2): 212—217. (in Chinese with English abstract)
- [13] Esen H, Ozgen F, Esen M, et al. Artificial neural network and wavelet neural network approaches for modelling of a solar air heater[J]. Expert Systems with Applications, 2009, 36(8): 11240—11248.
- [14] Benghanem M. Low cost management for photovoltaic systems in isolated site with new IV characterization model proposed[J]. Energy Conversion and Management, 2009, 50(3): 748—755.
- [15] Joshi A S, Dincer I, Reddy B V. Performance analysis of photovoltaic systems: A review[J]. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2009, 13(8): 1884—1897.
- [16] Morais R, Matos S G, Fernandes M A, et al. Sun, wind and water flow as energy supply for small stationary data acquisition platforms[J]. Computers and Electronics in Agriculture, 2008, 64(2): 120—132.
- [17] Morais R, Fernandes M A, Matos S G, et al. A ZigBee multi-powered wireless acquisition device for remote sensing applications in precision viticulture[J]. computers and electronics in agriculture, 2008, 62(2): 94—106.
- [18] 孙浩明. 无人值守无线传感器网络电源系统管理[J]. 通信电源技术, 2009, 26(2): 47—49.
Sun Haoming. Power system management of wireless sensor network with nobody on duty[J]. Telecom Power Technologies, 2009, 26(2): 47—49. (in Chinese with English abstract)
- [19] 张庆, 李革臣. 锂离子电池充放电特性的研究[J]. 自动化技术与应用, 2008, 27(12): 107—109.
Zhang Qing, Li Gechen. The charge/discharge characteristics of the li-ion battery[J]. Techniques of Automation and Applications, 2008, 27(12): 107—109. (in Chinese with English abstract)
- [20] 王震坡, 孙逢春. 锂离子动力电池特性研究[J]. 北京理工大学学报, 2004, 24(12): 1053—1057.
Wang Zhenpo, Sun Fengchun. Study on the characteristics of Li- ion batteries[J]. Transactions of Beijing Institute of Technology, 2004, 24(12): 1053—1057. (in Chinese with English abstract)

Development of wireless soil moisture sensor base on solar energy

Li Xiaodong, Wu Yongfeng, Li Guanglin^{*}, Zeng Qingxin, Wang Shiji

(College of Engineering and Technology, Southwest University, Chongqing 400716, China)

Abstract: In order to measure soil moisture automatically and realize wireless transmitting for the results, electric field method was used to detect the water content in soil, and wireless sensor network was built with Zigbee technology. With solar cell, solar energy was collected and stored in Li-ion battery to provide power supply for the system. Through reasonable charge-discharge management, the life of Li-ion battery could be prolonged. Experiment results showed that only soil moisture range from 0 to 30% could be detected, and the relative error was less than 10%. With Zigbee module and MiWi (TM) protocol stack, a star topologic wireless sensor network was built, and the results could be transmitted via wireless network. When the transmitting power of sensor node was set to 1mW and there was no barrier between sink node and sensor node, the valid transmission distance was 30 miters, if there were crops between sink node and sensor node, the distance was 10 miters. If datas were acquired and transmitted once an hour and the weather was normal, the system could work continuously. Even if the weather was overcast or rainy for a period, the equipment could work normally for 7 to 20 days.

Key words: wireless sensor networks, soil moisture, snesors, solar cells, wireless soil moisture sensor Li-ion, battery, power management