

LoRa 物联网设计及其甘蔗生物量预测可行性研究

李修华^{1,2} 张云皓¹ 李婉¹ 张木清² 黄豪¹ 农梦玲³

(1. 广西大学电气工程学院, 南宁 530004; 2. 广西甘蔗生物学重点实验室, 南宁 530004;
3. 广西大学农学院, 南宁 530004)

摘要: 为了充分挖掘物联网的潜力,设计了基于 LoRa 技术的农田物联网系统,该系统可实现田间环境数据的采集,并进行了田间通信试验。选取空地及两块甘蔗地进行试验,分别获取了不同发射功率、不同通信距离、不同天气状况下的共 3 000 个接收信号强度指示(Received signal strength indication, RSSI)数据。试验结果表明,在蔗田通信中,发射功率 15 dB,晴天的通信品质比发射功率 10、20 dB 及黎明、出现露水等潮湿条件下更稳定,甘蔗密度明显影响通信品质。建立了发射功率 15 dB、晴天条件下 RSSI 值与通信距离的关系模型,其决定系数 R^2 达到 0.929 1。
关键词: 甘蔗; 生物量; 物联网; 通信强度; 接收信号强度指示; 群体密度
中图分类号: S24; TN925 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2019)S0-0228-05

Design of LoRa IoTs and Its Feasibility on Prediction of Sugarcane Plant Population Biomass

LI Xiuhua^{1,2} ZHANG Yunhao¹ LI Wan¹ ZHANG Muqing² HUANG Hao¹ NONG Mengling³

(1. School of Electrical Engineering, Guangxi University, Nanning 530004, China
2. Guangxi Key Laboratory for Sugarcane Biology, Nanning 530004, China
3. College of Agriculture, Guangxi University, Nanning 530004, China)

Abstract: LoRa technology is a low-power LAN wireless standard, which is increasingly used in the agricultural internet of things due to its advantages of low power consumption and long communication distance. LoRa nodes can not only be equipped with sensors for environmental monitoring but also figure out received signal strength indication (RSSI) of each node by checking the quality of received data packets. RSSI value has a strong relationship with signal transmission intensity, communication distance and communication media. A farmland internet of things system was designed and developed based on LoRa technology, and the relationship between LoRa communication quality, transmission power, communication distance and sugarcane plant population density was preliminarily explored, and the feasibility of using RSSI value to predict sugarcane population density was evaluated. In the communication experiment, a total of 3000 RSSI data were collected at 20 different distances in the open field and two sugarcane fields. The results showed that under the transmission power of 15 dB, the communication quality on sunny days was more stable than that of 10 dB, 20 dB, rain, dew and other humidity, and the sugarcane density obviously affected the communication quality. The main factors affecting the communication quality in sugarcane field were analyzed based on these data, and the model of LoRa signal strength and communication distance was preliminarily established, the tests showed that its R^2 reached 0.929 1. The results showed that the system designed can provide important guidance for sugarcane growth monitoring, management and yield prediction.
Key words: sugarcane; biomass; internet of things; communication strength; received signal strength indication; plant population density

0 引言

信息感知、通信网络 and 智能信息处理等核心技术,实现农业生产的科学管理、提高农业资源的利用率、降低农业生产的运营生态

农业物联网是现代农业发展的重要分支,利用

环境、提升作物产量与品质等目标^[1-3]。在实际农业生产中,当面对种植地域广、自然环境复杂、气候变化大、设备组网规模需求高的农业生产场景时,基于传统无线传输技术的物联网已经无法满足实际生产的需要^[4-5]。

LoRa(Long range)传输技术是一种新型的超长距离传输技术,LoRa 的工作频率在 1 GHz 以下^[6]。得益于其线性扩频技术,LoRa 具备了较强的抗干扰、抗多孔径、传输距离远、通信品质高等技术特点^[7-9]。与传统的物联网通信技术相比,LoRa 最远传输距离可达 15 km,且功耗低,在农业生产领域具有广泛的运用前景^[10]。

天气气候条件是制约区域内甘蔗作物正常生长、取得较好生产效果的主要因素^[11]。本研究针对广西甘蔗种植的实际场景,利用无线传输技术搭建甘蔗大田农业物联网。由于甘蔗种植密度高、植株高、种植范围广,选择以 LoRa 技术为基础搭建大田物联网^[12]。

目前,田间物联网主要集成各类传感器对田间环境参数进行采集。国内外大多以物联网作为数据的传输途径,但通信信号本身也可以作为一个参数来反映环境信息,如利用其进行商场的设备定位、作为优化节点部署的参考条件等^[13-14]。在农业领域,也有部分研究利用物联网的无线传输信号进行田间机器人的定位。文献[15]利用信号强度进行夜间采摘作业机器人的定位参考。

无线信号强度随距离增大而产生大尺度衰减,并会受传播路径周围散射体影响产生小尺度衰弱,还会受到植株、湿度、水蒸气等因素的多重影响^[16-20]。甘蔗植株在生长中后期具有高大、密集的特点,可看作一个均匀的传输媒介。而这一媒介随着生长密度变化而发生显著改变,也会直接影响物联网的通信品质。而对于作物生长情况与植株密度的监测则大多采用无人机航拍、卫星遥感或是人为统计等方式,此类方法在成本和易用性上难以兼顾^[21-23]。

本文在设计 LoRa 物联网的基础上,以 LoRa 节点通信时的信号强度指示(Received signal strength indication, RSSI)值作为反映其通信品质的指标,并通过田间试验探索通信品质与发射功率、天气情况、甘蔗作物分布密度之间的关系,以期实现对大田作物群体生物量的长期、宏观监测。

1 大田物联网整体设计

1.1 系统架构

基于 LoRa 技术的大田物联网总体结构如图 1

所示。网络由末端节点和主节点组成。末端节点通过 STM32 单片机汇总各传感器数据并利用 LoRa 通信芯片向主节点发送。主节点采集传感器数据并汇总末端节点传感器数据后利用 NB-IoT 数据模块进行上传。末端节点与主节点组建成为星型网络,末端节点周期性地将传感器数据汇总至主节点并由主节点上传至服务器进行处理,从而最终实现大田传感器数据的无线采集。

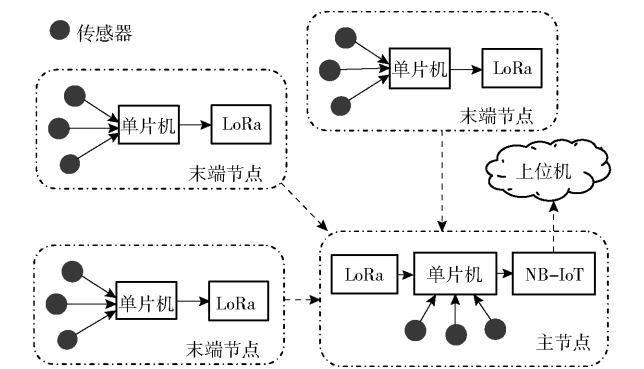


图 1 物联网架构
Fig. 1 Internet of things architecture

1.2 系统硬件设计

系统硬件设计主要包含末端节点与主节点的硬件设计,节点电路实物图如图 2 所示。末端节点采用 18650 锂电池供电,配备土壤温度和土壤水分传感器;而主节点采用太阳能电池板与蓄电池进行供电,选配的传感器包括光照强度传感器、空气温湿度传感器和二氧化碳传感器等。末端节点与主节点都具备充分的扩展能力,可随任务的变化新增或更换传感器。节点的主控芯片均为意法半导体公司的 STM32F030F4P6,其具有 20 个引脚,64 KB 的 Flash, 8 KB 的 RAM,最高主频 32 MHz,外设资源丰富。其处理性能与外设资源可满足一般情况下农业环境部署物联网的功能需求。



图 2 物联网节点核心板硬件实物图
Fig. 2 IoT node core board's physical map

LoRa 局域网采用的是 Semtech 的 SX1278 通信芯片,其通过 LoRa 进行调制,具备 168 dBm 的最大链路预算,射频输出功率最高可达 20 dB(100 mW),灵敏度最低可至 - 148 dBm,而其接收电流仅为 9.9 mA,发射电流为 120 mA^[13]。当采用最大发射

功率时,其空旷地域的通信距离可达 2 ~ 15 km,而在植被分布密度较高的田间其通信距离也达到 1 km 以上。

NB - IoT 数据上传模块采用稳恒电子公司的 WH - NB75 模块,其休眠电流为 240 μ A,发射电流为 300 mA,通信频率为 850 MHz,通过串口进行数据收发。

1.3 系统软件设计

1.3.1 末端节点

末端节点的程序主体流程如图 3 所示,软件功能包括读取、存储传感器数据,发送传感器数据,节点周期性休眠与唤醒等功能。

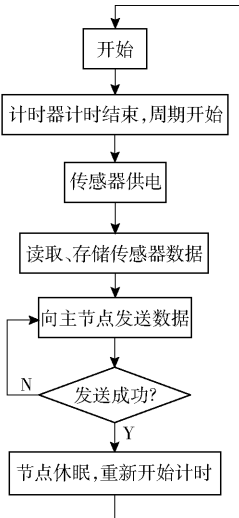


图3 末端节点软件主流程图

Fig.3 Flow chart of end nodes' software

1.3.2 主节点

主节点的程序流程如图 4 所示,其功能包括读取传感器数据、接收末端节点传感器数据、利用 NB - IoT 芯片上传数据等。因采用太阳能电池供电,主节点不进入休眠,其处理器对传感器数据进行周期性采集,LoRa 芯片接收末端节点传感器数据进行存储,由 NB - IoT 模块进行本周期全部数据的上传。

2 LoRa 通信信号衰减特性测试试验

2.1 试验原理

RSSI 值与信号发射强度、通信距离、通信媒介等有较强的关系,通过衡量 RSSI 值可以反映通信品质。相比于其他物联网通信技术,LoRa 技术具备长传输距离的优点,使得通过 RSSI 值反映大田的植株分布密度等情况成为可能。

SX1278 芯片设有寄存器对 RSSI 数据进行存储,RSSI 值的计算公式为

$$I_{RSSI} = 10\lg \frac{P_t}{P_r}$$

(1)

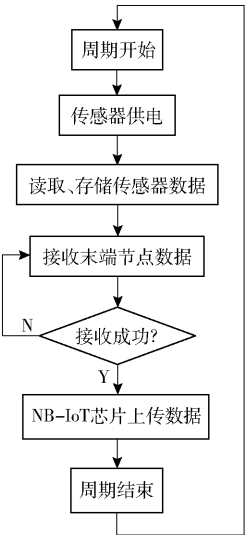


图4 主节点软件流程图

Fig.4 Flow chart of center nodes' software

式中 P_t ——发射功率,dB

P_r ——接收功率,dB

I_{RSSI} ——RSSI 值,dB

2.2 试验方法

选取一块空地与两块处于同一生长期的甘蔗种植地进行测试试验;甘蔗地块 1 长势良好、无倒伏,甘蔗地块 2 长势与地块 1 接近、有倒伏。测试时选取 2 个节点组成 LoRa 网络,其中主节点放置在固定立杆上,末端节点放置在可移动的立杆上。节点的离地高度统一为地面以上 1.4 m 处,即此生长期内甘蔗植株的冠层密集处。为了寻找影响通信品质的主要因素,研究初步进行了不同发射功率、不同通信距离、不同传输介质(空地或甘蔗地)、不同天气状况等条件下的 20 余组对照试验。共采集到 RSSI 数据 3 000 余条。

2.3 结果分析

图 5 显示了 20 dB(100 mW)发射功率下,空地与甘蔗地块 1 的试验对比结果。可以看出,空地的 RSSI 值远低于甘蔗地,信号在空地中的传输品质更好,表明了甘蔗作物本身会对信号的传输起到衰减作用。

以 20 dB 发射功率在甘蔗地块 1 进行了不同环境下的测试,结果如图 6 所示。结果表明,天气因素会对信号传输品质产生影响,当在黎明较湿润或出现露水情况时,信号会受到空气湿度与叶片上小水滴的影响而增加损耗。

为了保证模型的稳定性,选取晴天,在甘蔗地块 1 进行了 3 个发射功率下,不同距离的通信品质测试,结果如图 7 所示。可以看出,整体上,RSSI 值随发射功率的增加而降低;但这 3 个发射功率中,15 dB 的 RSSI 值与距离的相关性最高,RSSI 值对距

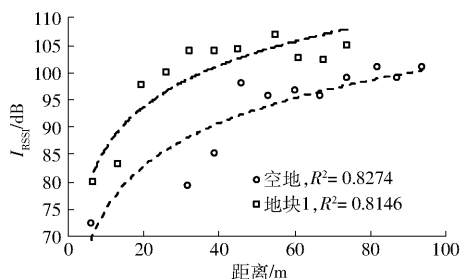


图5 空地与甘蔗地 RSSI 值对比(20 dB)

Fig. 5 Comparison of RSSI between vacant field and sugarcane field

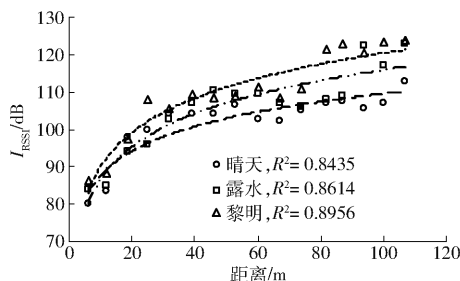


图6 不同天气情况下 RSSI 值散点图(20 dB)

Fig. 6 Scatter plots of RSSI under different weather conditions

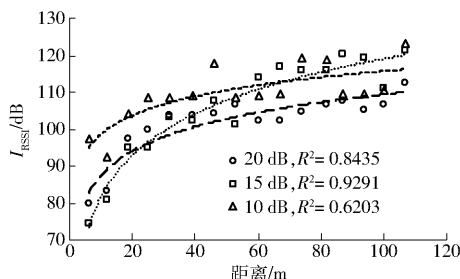


图7 不同发射功率下 RSSI 值散点图(晴天)

Fig. 7 Scatter plots of RSSI under different transmission powers (sunny day)

离的变化表现得更为敏感,反映出更好的稳定性与区分度。因此选取 15 dB 作为最优发射功率,初步建立距离 D 与 RSSI 值的关系模型为

$$D=0.1e^{0.057I_{RSSI}} \quad (R^2=0.9291) \quad (2)$$

以上 3 组对照试验表明信号传输品质会受植株分布密度、信号发射功率和天气变化等因素的影响。

为了进一步验证 RSSI 值与作物生长状态之间的关系,选择没有倒伏的甘蔗地块 1 与具有明显大面积倒伏的地块 2 进行对比试验。两块地的甘蔗生长状况俯视图对比如图 8 所示,可以看出,地块 2 有较大面积的倒伏情况。试验在晴天采集了 15 dB 发射功率下,不同通信距离的 RSSI 值,数据分析结果如图 9 所示。不同距离下,地块 2 的 RSSI 值比地块 1 的 RSSI 值均有明显下降;相同距离下,地块 2 的传输品质优于地块 1,主要原因为地块 2 甘蔗的倒伏使得冠层高度处的甘蔗密度明显降低,通信品质变

好。从图 9 还可以看出,不同地块中,通信品质与距离具有高度一致的变化趋势,也进一步证明了通信品质在预测甘蔗群体密度方面的可行性。

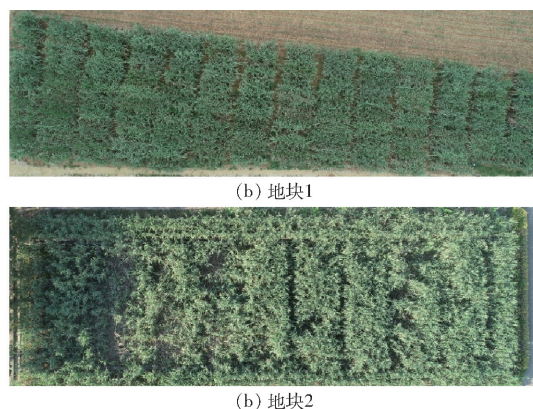


图8 两块甘蔗地的低空航拍图像

Fig. 8 Low altitude aerial images of two sugarcane fields

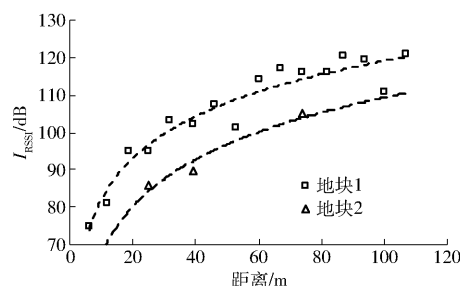


图9 两地块 RSSI 值对比(15 dB)

Fig. 9 Comparison of RSSI values between two plots (15 dB)

本文建立的模型仅为甘蔗某一生长阶段下,通信距离与 RSSI 值的关系,虽然其精度较高,但尚未实现通过通信品质来预测甘蔗群体密度的最终目的。后续研究将把物联网节点固定放置到甘蔗地中,进行更全面的全生长期监测,以建立固定距离下对甘蔗生长量及密度进行预测的模型。通过对特定地块进行多生长季连续的 RSSI 值监测,分析地块的长期生长状态变化,及时发现其生长问题;通过与往年数据对比,在一定程度上进行当前作物的产量预测。

3 结论

(1)设计了基于 LoRa 技术的物联网系统,该系统可实现田间数据的实时采集与上传,并可获取信号 RSSI 值,提高了设备的功能性。

(2)通信品质测试试验结果表明,信号传输品质受植株分布密度、信号发射功率和天气变化等因素的影响。

(3)采用 15 dB 发射功率,建立了甘蔗某一具体生长阶段、晴天条件下通信距离与 RSSI 值的关系模型,其决定系数达到 0.929 1。

参考文献

- [1] 李瑾,郭美荣,高亮亮. 农业物联网技术应用及创新发展策略[J]. 农业工程学报,2015, 31(增刊2): 200-209.
LI Jin, GUO Meirong, GAO Liangliang. Application and innovation strategy of agricultural internet of things[J]. Transactions of the CSAE, 2015, 31(Supp. 2): 200-209. (in Chinese)
- [2] 葛文杰,赵春江. 农业物联网研究与应用现状及发展对策研究[J]. 农业机械学报,2014, 45(7): 222-230.
GE Wenjie, ZHAO Chunjiang. State-of-the-art and developing strategies of agricultural internet of things[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2014, 45(7): 222-230. (in Chinese)
- [3] 孙雷. 上海农业物联网探索与实践[M]. 上海:上海科学技术出版社,2015.
- [4] 政纪业,阮怀军,封文杰,等. 农业物联网体系结构与应用领域研究进展[J]. 中国农业科学,2017, 50(4): 657-668.
ZHENG Jiye, RUAN Huaijun, FENG Wenjie, et al. Agricultural IOT architecture and application model research[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2017, 50(4): 657-668. (in Chinese)
- [5] 何勇,聂鹏程,刘飞. 农业物联网与传感器研究进展[J]. 农业机械学报,2013, 44(10): 216-226.
HE Yong, NIE Pengpeng, LIU Fei. Advancement and trend of internet of things in agriculture and sensing instrument[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2013, 44(10): 216-226. (in Chinese)
- [6] AUGUSTIN A, YI J, CLAUSEN T, et al. A study of LoRa: long range & low power networks for the internet of things[J]. Sensors, 2016, 16(9): 1466.
- [7] 徐松松,周西峰,郭前岗. 基于 ARM 平台的 ZigBee 网关设计[J]. 微型机与应用,2013, 32(16): 51-53.
XU Songsong, ZHOU Xifeng, GUO Qiangang. Design of ZigBee gateway system based on ARM[J]. Microcomputer & Its Applications, 2013, 32(16): 51-53. (in Chinese)
- [8] MOHAMED A, AXEL S. Free space range measurements with Semtech LoRaTM technology [C] // 2014 2nd International Symposium on Technology and Applications (IDAACS-SWS). Offenburg, 2014: 19-23.
- [9] LEWARK U, ANTES J, WALHEIM J, et al. Link budget analysis for future E-band gigabit sate communication links [J]. CEAS Space Journal, 2013, 4(1): 41-46.
- [10] 陆游,禹素萍,姜华,等. 一种能量可计算的星型无线传感器网络协议[J]. 天津工业大学学报,2013, 32(4): 60-65.
- [11] 肖凌,梁玉莲,杨宇红,等. 南宁市甘蔗气候产量预测模型[J]. 广东农业科学,2013, 40(4): 174-176, 238.
XIAO Ling, LIANG Yulian, YANG Yuhong, et al. Sugarcane climatic yield prediction model of Nanning[J]. Guangdong Agricultural Sciences, 2013, 40(4): 174-176, 238. (in Chinese)
- [12] 段维兴. 广西蔗糖产业发展现状及对策[J]. 中国糖料,2016, 38(1): 65-72.
- [13] 徐立鸿,早明华,蔚瑞华,等. 温室无线传感器网络节点发射功率自适应控制算法[J]. 农业工程学报,2014, 30(8): 142-148.
XU Lihong, ZAO Minghua, WEI Ruihua, et al. Adaptive control algorithms of transmitting power for greenhouse WSN nodes [J]. Transactions of the CSAE, 2014, 30(8): 142-148. (in Chinese)
- [14] 詹杰,刘宏立,刘述刚,等. 基于 RSSI 的动态权重定位算法研究[J]. 电子学报,2011, 39(1): 82-88.
- [15] 马永兵. 基于 RSSI 信号强度定位的夜间采摘作业机器人设计[J]. 农机化研究,2017, 39(1): 212-216.
- [16] 周渝,杨福增,朱海,等. 基于 WI-FI 的麦田无线信道传播性能试验[J]. 农机化研究,2015, 37(2): 155-160.
- [17] 文韬,洪添胜,李震,等. 橘园无线传感器网络不同节点部署方式下的射频信号传播试验[J]. 农业工程学报,2010, 26(6): 211-215.
WEN Tao, HONG Tiansheng, LI Zhen, et al. Test of wireless sensor network radio frequency signal propagation based on different node deployments in citrus orchards[J]. Transactions of the CASE, 2010, 26(6): 211-215. (in Chinese)
- [18] 郭秀明,赵春江,杨信廷,等. 苹果园中 2.4 GHz 无线信道在不同高度的传播特性[J]. 农业工程学报,2012, 28(12): 195-200.
GUO Xiuming, ZHAO Chunjiang, YANG Xinting, et al. Propagation characteristics of 2.4 GHz wireless channel at different heights in apple orchard[J]. Transactions of the CSAE, 2012, 28(12): 195-200. (in Chinese)
- [19] 岳学军,王叶夫,洪添胜,等. 基于信道测试的橘园 WSN 网络部署试验[J]. 农业机械学报,2013, 44(5): 213-218.
YUE Xuejun, WANG Yefu, HONG Tiansheng, et al. WSN layout experiment based on radio frequency propagation tests in citrus orchard[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2013, 44(5): 213-218. (in Chinese)
- [20] MARDINI W, KHAMAYSEH Y, ALMODAWAR A A, et al. Adaptive RSSI-based localization scheme for wireless sensor networks[J]. Peer-to-Peer Networking and Applications, 2016, 9(6): 991-1004.
- [21] 鄂月胜,王新生,汪全芳,等. 湖北省一季稻种植面积遥感监测方法研究[J]. 湖北大学学报(自然科学版), 2012, 34(1): 116-119.
E Yuesheng, WANG Xinsheng, WANG Quanfang, et al. Research on remote sensing monitoring methods of single-crop rice planting area in Hubei Province[J]. Journal of Hubei University(Natural Science), 2012, 34(1): 116-119. (in Chinese)
- [22] ZHANG Minghua, QIN Zhizhao, LIU Xue, et al. Detection of stress in tomatoes induced by late blight disease in California, USA, using hyperspectral remote sensing[J]. International Journal of Applied Earth Observations and Geoinformation, 2003, 4(4): 295-310.
- [23] SINDHUIA S, LAV R, CARLOS Z, et al. Low-altitude, high-resolution aerial imaging system for row and field crop phenotyping: a review[J]. European Journal of Agronomy, 2015, 70: 112-123.