

doi:10.6041/j.issn.1000-1298.2021.S0.053

温室温湿度传感网簇头选举算法研究

况 洋 王跃亭 王敏娟 李桂鑫 李民赞 郑立华

(中国农业大学现代精细农业系统集成研究教育部重点实验室, 北京 100083)

摘要: 针对目前传统温室当中仍然存在着远程操作困难、数据采集需要人工干预、智慧化程度低等问题,构建了以边缘计算为基础的智慧化边缘 Mesh 传感网,并提出一种基于改进 LEACH 算法的温室温湿度传感网簇头选举方法。利用 ESP8266-12F 型无线模块、NodeMCU 型物联网扩展板和 DHT-11 型温湿度传感器组建了温湿度传感节点并开发了自动化数据采集算法,基于 ESP8266-12F 型无线模块构建了边缘无线 Mesh 传感网,实现了节点之间的自动化组网。针对中心路由器多节点负载消耗大以及信号传输速率低等问题提出了一种基于中心路由器 RSSI 值划分网络的方法,提升了网络的传输速率,在此基础上改进了 LEACH 算法,设计了一种适用于温室温湿度 Mesh 传感网的 Sink 簇头选举方法,以均衡网络整体的能量效率。仿真结果表明,当初始簇头概率为 0.1 时,原始 LEACH 算法在中心位置出现簇头的概率为 10.86%;应用权重 $k=1$ 改进 LEACH 算法在中心位置出现簇头的概率为 17.42%;应用权重 $k=2$ 改进 LEACH 算法在中心位置出现簇头的概率为 24.96%。

关键词: 温室; 无线传感网; 数据采集; 簇头选举算法; Mesh 网络; LEACH 算法

中图分类号: TP393.1; S24 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2021)S0-0418-09

Cluster Head Selection Algorithm for Temperature and Humidity Sensor Network in Greenhouse

KUANG Yang WANG Yueting WANG Minjuan LI Guixin LI Minzan ZHENG Lihua

(Key Laboratory of Modern Precision Agriculture System Integration Research, Ministry of Education, China Agricultural University, Beijing 100083, China)

Abstract: In view of the existing problems in traditional greenhouse, such as difficulties in remote operations, necessity of manual intervention in data collections, and low intelligence in production, an intelligent edge Mesh sensor network was constructed based on edge computing, and a cluster head selection method for temperature and humidity sensor network in greenhouse was proposed based on improved LEACH algorithm. The temperature and humidity sensor nodes were constructed by using ESP8266-12F wireless module, NodeMCU type based Internet of Things extension board and DHT-11 temperature and humidity sensor, and the automated data acquisition algorithm was developed. Based on the ESP8266-12F wireless module, the edge wireless Mesh sensor network was constructed, and the automatic networking between nodes was achieved. Aiming at the problems of large load consumption and low signal transmission rate of central router, a method of dividing the network based on RSSI value of central router was proposed, which improved the transmission rate of the network. A temperature and humidity sensor network Sink cluster head selection algorithm was proposed based on LEACH algorithm, which was suitable for the plant factory temperature and humidity sensor network deployment and beneficial to balance the overall energy efficiency of the network. The simulation experiment results showed that when the probability of the initial cluster head was set to be 0.1, by using the original LEACH algorithm, the probability was 10.86% for the cluster head appearing in the center of the sensor network; however, it was increased to 17.42% when using the improved LEACH algorithm with weight $k=1$; and the probability would be further increased to 24.96% for the cluster head appearing in the center position when using the improved LEACH algorithm with weight $k=2$.

Key words: greenhouse; wireless sensor network; data collection; cluster head election algorithm; Mesh network; LEACH algorithm

0 引言

随着中国农业现代化的发展,设施农业技术被广泛应用于实际农业生产中,显著提升了中国农业产业效益^[1]。设施农业,是在环境相对可控条件下,采用工程技术手段,进行动植物高效生产的一种现代农业生产方式^[2]。温室是设施农业中的重要设施,能在不适宜植物生长的地域和季节提供环境保护以实现连续生产,环境监测对温室内农作物的生长起着关键作用^[3]。

在目前温室的环境监测系统中,主要利用温湿度传感器^[4]、CO₂传感器^[5]、光照传感器^[6]以及培养液传感器^[7]等信息传感设备进行环境监测。然而在大型温室中节点安装固定有线传感器的环境监测方式的覆盖范围有限^[7],在监测较大温室时,安装和维护工作繁琐且成本较高^[8],易造成资源浪费。使用无线传感网(Wireless sensor network, WSN)技术实时采集温室数据能够解决节点覆盖不全和安装使用困难等问题,无线传感网是由具有感知、计算和通信功能的大量微型智能传感器节点组成,通过无线通信方式形成的一个多跳的自组织网络系统^[9-11]。利用 WSN 技术可以实现对作物生长过程中的环境参数进行实时、高效、精准的监测和调控,这一技术能够推动温室的智能化和高效生产。

骆碧雯^[12]采用 LoRa 技术构建了智能温室信息传输网,研究了一种基于 Kriging 插值方法的可视化系统,能够将环境因子的分布情况直观展示。张晓培等^[13]设计了一种基于移动终端和 WiFi 通信的温室大棚在线环境监控系统,将无线传感节点采集的数据通过 WiFi 模块传输至移动客户端,能够方便快捷地对温室环境参数进行有效的监控。GARCÍA 等^[14]则针对由于植被遮挡影响 WSN 节点之间通信的灌溉问题提出了精准农业灌溉和土壤监测的 WSN 部署策略,讨论了影响信号部署的因素,例如节点高度、作物类型、灌溉形式等。

然而在 WSN 中,节点部署环境、能量供应方式、组网方式、网络簇头选择等方面的差异会影响网络的状态。吴传程等^[15]针对连栋温室调控与水肥决策中物联网监测的覆盖需求,提出基于区域面积覆盖强度的虚拟力覆盖优化算法,并通过仿真实验验证相较于 VFA 与 PSO 算法覆盖率分别提高了 4.32% 和 13.31%。张向飞^[16]针对农业物联网中可充电 WSN 中节点之间不稳定、不平均的能量获取问题,提出了一种新的分簇路由算法,并通过仿真实验验证了算法的有效性。AARTI 等^[17]综述了 WSN 在温室监测中的作用,并对 WSN 的网络布局 and 组网技

术进行了分类比较。曹宇^[18]针对 WSN 中能量利用效率和均衡性问题,改进 SEP 算法以提高网络能量消耗的均衡性。

但是,目前温室采集数据仍存在智能化程度低、人工采集困难、有线设备安装麻烦等问题;并且部署 WSN 存在着节点之间信号接收不稳定,空间障碍复杂、不同层培养架格之间信号差异等问题^[19]。因此,构建温室边缘数据传感网、智能化选举网络簇头,对于温室的智能化发展和 WSN 网络的均衡能量具有重要意义。

本文提出一种以温室为研究对象的温湿度传感网簇头选举算法,以无线传感网为基础建立分级分簇的 Mesh 网络传输数据,结合改进的 LEACH 能量阈值簇头选举算法,实现以 NodeMCU 型物联网扩展板、ESP8266-12F 型无线模块以及 DHT-11 型温湿度传感器为底层的智慧化温室数据传感网。

1 材料和方法

1.1 无线温湿度传感节点设计

1.1.1 硬件设计

无线传感器数据采集节点由 ESP8266-12F 型无线模块、NodeMCU 型物联网扩展板、DHT-11 型温湿度传感器组成。ESP8266-12F 型无线模块是安信可科技公司开发的 WiFi 模块,该模块核心处理器 ESP8266 在较小尺寸封装中集成了业界领先的 TensilicaL106 超低功耗 32 位微型 MCU,集成 WiFi MAC/BB/RF/PA/LN 板载天线^[20]。NodeMCU 型物联网扩展板是基于 Lua 脚本语言的物联网开发平台,具有低功耗、适应性强等特点;扩展板上还有许多 GPIO 口能够外接多种传感器。DHT-11 型传感器是一款含有已校准数字信号输出的温湿度复合传感器^[21],其相对湿度精度为 $\pm 5\%$,温度精度为 $\pm 2^{\circ}\text{C}$ 。无线传感器数据采集节点硬件结构如图 1 所示。

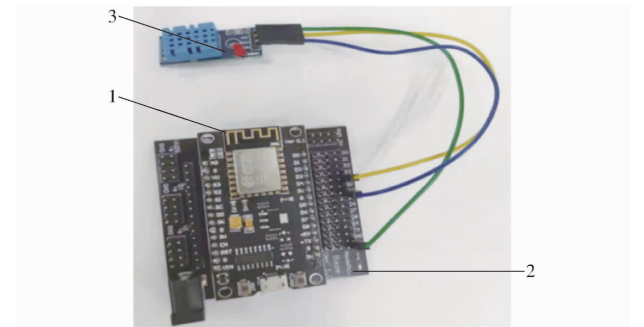


图 1 无线数据采集节点硬件结构图

Fig. 1 Temperature and humidity wireless sensor node

1. ESP8266-12F 型无线模块 2. NodeMCU 型物联网扩展板

3. DHT-11 型温湿度传感器

1.1.2 软件设计

无线边缘温湿度传感网需要对传感节点进行相应功能开发,以实现实时采集温室湿度、节点自组网、Mesh 网络划分和 Sink 节点选举等功能。在设计 Sink 簇头节点选举算法时,考虑到在大型温室中存在多个培养架,而一个培养架又具有多层培养架格,当在每一个培养架格中部署传感器节点时,存在着与 WiFi 之间的时空位置差异,这些差异将直接导致所选举簇头节点的能量消耗不同,因此同一层培养架格之间的节点传感网和不同层之间的节点传感网应当应用不同的簇头选举算法选举网络 Sink 节点簇头,以增强不同无线传感网数据传输效率和能量利用率。采用 Arduino 编译器对传感节点进行开发,温湿度传感节点开发流程如图 2 所示。

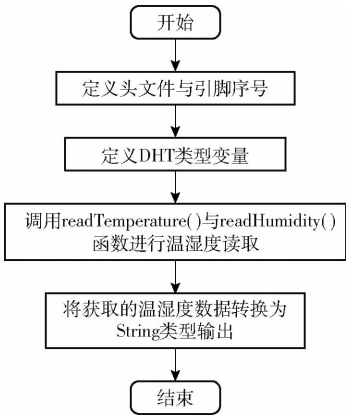


图 2 温湿度数据读取流程图

Fig. 2 Flow chart of temperature and humidity data collecting

在 Arduino 编译器中加载 NodeMCU 型开发板与 DHT. h 的头文件,这是利用官方的 DHT 库进行二次开发。定义 DHTTYPE 的类型为 DHT11,定义 DHT11_PIN 引脚号即 D4 GPIO 口,从 Arduino 官方的开发文档得知 D4 GPIO 口对应的数字引脚为 2;随后定义 DHT 类型变量,通过 DHT 类型变量调用 DHT 库里面的温湿度读取函数进行温湿度数据的读取;最后通过数据类型转换将读取的浮点型温湿度数据转换为字符串数据输出网络,之所以需要进行数据转换,是因为在所搭建的 Mesh 网络中传输的是字符串数据。

1.2 无线 Mesh 网络组建和簇头选举

1.2.1 温室无线 Mesh 网络组建

以 WSN 中的 Mesh 网络为基础建立边缘数据传感网,无线 Mesh 网络是一种多跳自组织网络,主要利用分布式思想构建一种动态去中心化网络,在网络中的每个节点都具有接收信息和转发路由的功能。Mesh 网络是一种与传统无线网络完全不同的新型无线网络技术^[22],传统无线网络主要有星型网络结构

和完全连接的网络结构。在星型网络中,所有终端节点都直接连入中心节点^[23],通过中心节点转发信息和接入外网实现节点之间的通信以及节点与外部的通信。星型网络采用的集中式通信控制策略,具有管理维护容易、高扩展性和易于诊断故障等优点,在星形网络当中,节点之间互不影响,当某一边缘节点宕机时,其余节点仍然可以正常工作。但是由于该网络的高度集中性,也造成了过分依赖中心节点的特点,一旦中心节点出现故障,整个网络就会瘫痪。在完全连接的网络中,每个节点都会与其余节点直接相连。完全连接的网络具有很高的可靠性,节点之间的路径多,碰撞和阻塞减少,每个节点都能快速地与其余节点进行信息交换;当某一节点出现故障时不影响其余节点的信息交换。但是由于每个节点都保存其余节点的路由信息,因此网络扩展比较困难,同时节点路由开销很大,容易造成资源浪费。

Mesh 网络结构拓扑如图 3 所示,网络内部的节点一般都是相同的,因此 Mesh 网络也被称为对等网^[24]。Mesh 网络具有高带宽、结构灵活和稳定性高等特点;与星型网络不同的是在网络中的每个节点都可充当中心节点,当某个节点出现故障之后,Mesh 网络能够很快地调整网络状态,继续为网络进行路由转发等功能,具有很强的鲁棒性。同时,Mesh 网络与完全连接的网络相比,网络中节点的开销大幅度减小,信息能够多跳地到达目的节点,不需要每个节点都直接相连。特别是在无线 Mesh 网络当中,只需要将设备接入电源即可安装,十分灵活。并且某个节点还可被单独指定为簇头节点接入外网,实现额外功能。

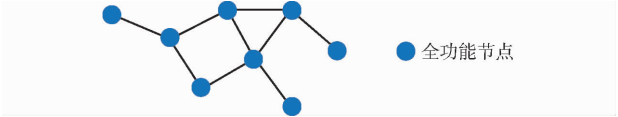


图 3 Mesh 网络拓扑结构

Fig. 3 Mesh network topology structure

目前温室大多数采用立体式培养架的方式进行植物培养,如图 4 所示。为实现每个培养单元格的精准温湿度监测,需要在每个培养单元格中放置温



图 4 温室实地场景图

Fig. 4 Field scene of greenhouse

湿度传感节点。温湿度传感节点在温室中的部署示意图如图 5 所示,所有节点都是普通节点,不同培养架的同一层的所有传感节点组成一个 Mesh 网络,如图 5 中第 1 个节点所在的网络,同一培养架的所有传感节点组成一个 Mesh 网络,如图 5 中第 2 个节点所在的网络。

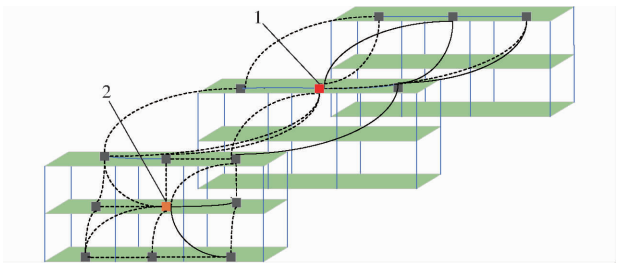


图 5 温室数据采集节点部署示意图

Fig. 5 Schematic of greenhouse data acquisition node deployment

1. 位于顶层培养单元格平面中心的节点 2. 位于培养架立体中心的节点

1.2.2 温室无线温湿度 Mesh 网络簇头选举

基于所设计的无线温湿度传感节点构建的边缘无线 Mesh 传感网是一种对等网络,网络中的每个节点都具有接收数据和转发路由的功能;但是由于中心路由器的负载能力有限以及节点部署的时空差异,因此需要选举 Mesh 网络的簇头节点以整合网络当中的数据信息,同时当网络中的 Sink 节点长期由某几个节点固定担任时,会加速节点的损耗,导致频繁的维护 Sink 节点,因此需要针对不同的 Mesh 网络场景应用不同的轮流选举 Sink 簇头节点算法。Sink 簇头节点的选举流程如图 6 所示,首先通过温湿度数据采集模块采集温湿度数据,然后以自组织方式组建 Mesh 网络,并对 Mesh 网络进行网络划分,最后针对不同位置的场景采取不同的 Sink 节点选举方法。

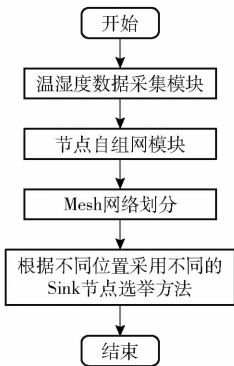


图 6 温湿度 Mesh 传感网簇头选举流程图

Fig. 6 Flow chart of temperature and humidity sensor Mesh network's sink node selection

1.2.3 基于 LEACH 算法的 Mesh 网络 Sink 节点选举

首先应用基于 LEACH 能量阈值算法的思想选

举网络中的 Sink 节点,平均网络中每个节点的能量消耗,增强 Mesh 网络的鲁棒性。

LEACH 算法是一种经典的分簇路由算法^[25], LEACH 算法定义了轮询的概念,算法的核心思想是通过在网络当中的节点轮流当选簇头实现平均网络中的节点能量消耗;LEACH 算法的每一轮由初始化和稳定工作 2 个阶段组成,稳定工作状态在每轮中的持续时间较长,在初始化阶段每个节点生成 0~1 之间的随机数,如果大于阈值 $T(n)$,则该节点当选为簇头,向周围广播消息,附近的节点选择就近簇头加入,开始稳定工作状态,持续一段时间后开始下一轮算法选举。阈值 $T(n)$ 计算式为

$$T(n) = \begin{cases} \frac{p}{1 - p(r \bmod (1/p))} & (n \in G) \\ 0 & (\text{其他}) \end{cases} \quad (1)$$

式中 p ——事先给定的网络中节点预期成为簇头的百分比

r ——当前轮数 n ——节点序号
 G ——最近 $1/p$ 轮中没成为簇头的节点集合

阈值 $T(n)$ 可由 LEACH 算法的思想进行推导。由于簇头选择概率为 p ,所以理论上每一轮须保证有 np 个选为簇头节点,所以第 r (r 不是 $1/p$ 的倍数) 轮 (轮数从 0 开始计数,便于计算) 也须有 np 个节点是簇头。由于前 r 轮被选为簇头的总个数为 npr ,此时共有 $n - npr$ 个节点未被选为簇头,所以在这些节点中须选出 np 个簇头,所占比例就是 $np/(n - npr) = p/(1 - pr)$ 。当 r 达到 $1/p$ 时,分子为零,每 $1/p$ 轮重新开始竞争簇头,所以 r 须替换为 $r \bmod (1/p)$,即 r 与 $1/p$ 的模,第 r 轮簇头占的比例就是 $p/(1 - pr \bmod (1/p))$ 。

LEACH 选举 Sink 簇头节点的 Arduino 实现过程为:首先计算当前轮的 LEACH 阈值 $T(n)$,产生 0~100 之间的随机数并除以 100 得到 0~1 之间两位精度的随机数。然后判断节点类型是否为普通节点,不是普通节点则向网络广播该节点是簇头节点的消息;当节点为普通节点时,比较随机数与阈值,当随机数小于等于阈值时,向网络广播该节点是簇头节点的消息,当随机数大于阈值时,将温湿度数据以 Mesh 组网方式向簇头节点传输。最后簇头节点通过中心路由向服务器通过 TCP/IP 方式传输数据,当稳定时间结束后开始下一轮算法选举网络簇头。LEACH 算法的实现流程如图 7 所示。

2 结果和分析

2.1 温湿度传感节点数据采集

温湿度数据采集主要通过无线温湿度传感节点

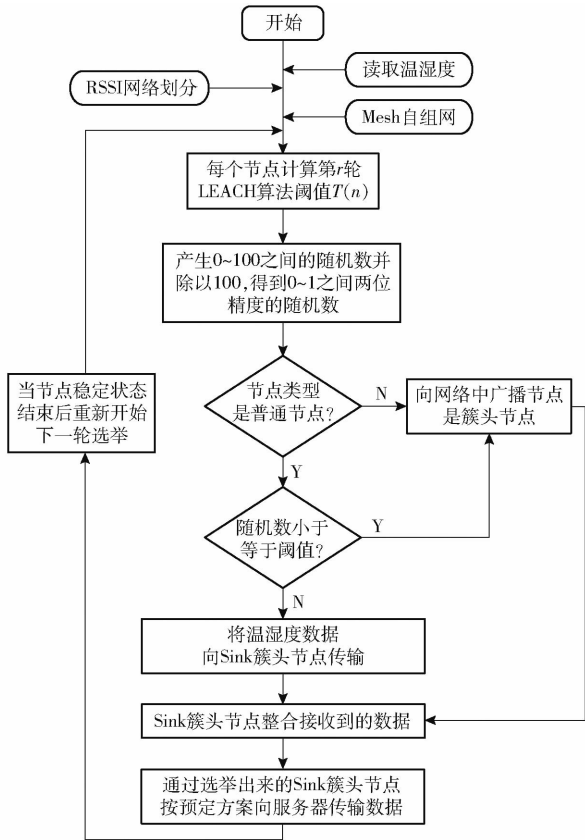


图 7 基于 LEACH 算法选举 Sink 簇头节点流程图

Fig. 7 Selecting Sink cluster head node based on LEACH algorithm

实现。首先将 ESP8266 - 12F 型无线模块与 NodeMCU 型扩展板按照引脚序号与天线位置组合安装好,用杜邦线将 DHT - 11 型温湿度传感器的数据输出口连接至 NodeMCU 型扩展板的 D4 GPIO 引脚上,温湿度传感器正极连接至扩展板 3V 引脚上,负极连接至扩展板 GND 引脚上,最后通过串口线连接计算机,采用 Arduino 编译器按照 1. 1. 2 节中介绍的温湿度数据读取流程图进行编程开发。利用串口将采集的温湿度数据传送至计算机中显示,图 8 为温湿度采集结果输出示例,t 表示温度数据,h 表示湿度数据,* C 表示℃。

t=25.70*℃,h=28.00%
t=25.70*℃,h=28.00%
t=25.70*℃,h=28.00%
t=25.70*℃,h=28.00%
t=25.70*℃,h=28.00%
t=25.70*℃,h=28.00%
t=25.70*℃,h=28.00%
t=25.70*℃,h=28.00%
t=25.70*℃,h=28.00%
t=25.70*℃,h=28.00%

图 8 温湿度读取结果

Fig. 8 Temperature and humidity reading results

2. 2 无线 Mesh 组网

2. 2. 1 无线 Mesh 自组网

无线 Mesh 网络的实现主要依靠 ESP8266 - 12F

型 WiFi 模块完成,利用 Arduino 编译器进行编程开发。在 Arduino 编译器中加载 NodeMCU 开发板与 DHT. h 以及 painlessMesh. h 的头文件,并且对 Mesh 网络的网络名和密码进行定义,防止非外部节点对无线网络的干扰。随后定义 painlessMesh 类型变量和字符串变量,painlessMesh 类型变量可以调用 painlessMesh 库中的组网函数进行网络开发,定义的字符串变量用于 Mesh 网络节点之间的消息传递。引入读取温湿度数据的程序,将温湿度数据赋给之前定义的字符串变量。定义发送消息函数、接收消息函数、新节点接入通知函数、网络状态改变函数、时间同步函数等。在发送消息函数当中,将节点 ID 整合进入之前赋值的温湿度字符串当中,方便接收节点判断消息源,调用 sendBroadcast() 函数进行消息发送,并利用 Task. setInterval() 函数设置发送的时间间隔,此处不能通过整体程序的延时实现数据的采集间隔,因为延时对于网络传输是致命的。在接收消息函数中,通过调用 receivedCallback() 函数,将收到的消息字符串进行解析,解析出节点 ID 和温湿度数据,并通过串口传送至计算机显示。在新节点接入函数当中,调用 newConnectionCallback() 函数实现新节点接入的通知。在网络状态改变函数当中,通过调用 changedConnectionCallback() 函数,通知 Mesh 网络连接出现变化,比如有设备离线或有新设备加入等。在时间同步函数当中,通过调用 nodeTimeAdjustedCallback() 函数,以确保网络中所有节点设备的时间是同步的。随后在 setup() 函数中进行节点的初始化设置和函数调用运行,例如需要初始化温湿度传感器的引脚输入输出模式,Mesh 节点的网络名称和密码以及调试信息,还有上一步中定义的功能函数初始化。因为在 Arduino 编程中,所有函数的执行和初始化工作都需要在 setup() 函数中执行,且只运行一次。最后通过在 loop() 函数中调用 update() 函数更新网络,即可不断收到节点上传的数据。loop() 函数是一个循环函数,当节点通电之后会首先运行一次 setup() 函数中的操作,随后一直循环 loop() 函数中的内容。

Mesh 网络传输温湿度数据程序流程如图 9 所示,利用串口将 Mesh 网络数据传输结果显示如图 10 所示,在图 10 当中可以看到收到的温湿度数据以及传感器节点 ID,同时当网络节点出现变化时,系统会提示相应信息。

2. 2. 2 基于中心路由 RSSI 值的 Mesh 网络划分

无线信号强度在传输过程中通常随着网络传输距离增大而衰减,同时还受环境因素的干扰。故而可以将信号强度看作与传输距离和环境因素相关的

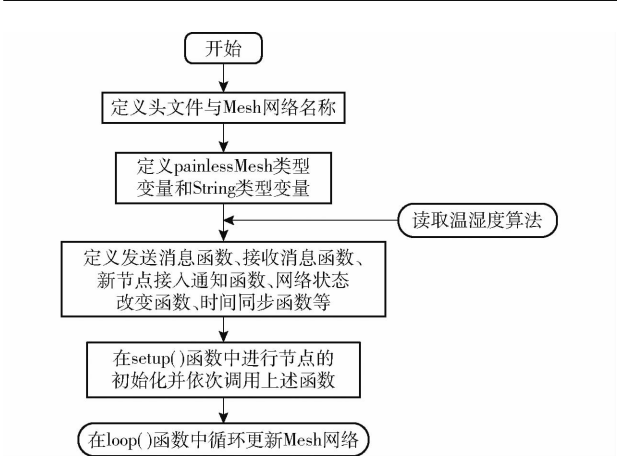


图 9 Mesh 自组网流程图

Fig. 9 Flow chart of Mesh Ad Hoc network algorithm

```
startHere: Received from 2734121357 msg= Temperature: 25.0 Humidity: 34.0 2734121357
startHere: Received from 2734121357 msg= Temperature: 25.0 Humidity: 34.0 2734121357
Changed connections
Changed connections
--> startHere: New Connection, nodeId = 3667724499
startHere: Received from 2734121357 msg= Temperature: 25.0 Humidity: 34.0 2734121357
startHere: Received from 3667724499 msg= Temperature: 24.0 Humidity: 34.0 3667724499
startHere: Received from 2734121357 msg= Temperature: 25.0 Humidity: 34.0 2734121357
startHere: Received from 2734121357 msg= Temperature: 25.0 Humidity: 34.0 2734121357
startHere: Received from 3667724499 msg= Temperature: 24.0 Humidity: 34.0 3667724499
startHere: Received from 2734121357 msg= Temperature: 25.0 Humidity: 34.0 2734121357
```

图 10 Mesh 自组网传输温湿度结果

Fig. 10 Mesh Ad Hoc network transmits temperature and humidity results

函数。接收的信号强度指示 (Received signal strength indication, RSSI) 测距是一种基于测距的定位算法,根据信号空间传播衰减与传输距离关系完成信号测距定位^[26],计算公式为

$$RSSI(d) = RSSI(d_0) + 10n_0 \lg \left(\frac{d}{d_0} \right) + X_\sigma \quad (2)$$

式中 $RSSI(d)$ ——在与信号源距离 d 处所能接收到的信号强度, dBm

$RSSI(d_0)$ ——参考距离 d_0 处接收的信号强度, dBm

n_0 ——传输路径损耗因子

X_σ ——一种均值为 0 且方差为 σ 的高斯随机变量的信号衰减因子

RSSI 是一个负值。一般在 $-50 \sim 0$ dBm 之间,信号强度很好,使用感知好,信号传输稳定;在 $-70 \sim -50$ dBm 之间,信号强度稍好,使用感知略差,但体验上无明显影响,传输性能满足一般要求;在 -70 dBm 以下信号较差,使用感知较差,传输性能不太好。在无线传感网中,网络的信号传输速率是影响网络性能的关键,同时考虑中心路由的负载和 ESP8266-12F 型无线模块自组网的最大路由跳数限制,本文提出一种基于 RSSI 值的 3 层 Mesh 网络划分,增强网络的传输效率。

传感器节点与中心路由器的 RSSI 大于 -50 dBm 时为第 1 层 Mesh 网络,网络中的节点可以选择直接连接路由器或者通过网络中选举的 Sink 节点连接中心路由器向外网传输数据;传感器节点与中心路由器的 RSSI 在 $-70 \sim -50$ dBm 时为第 2 层 Mesh 网络,网络中的节点通过 Sink 节点连接路由器或者通过 Sink 节点连接第 1 层 Mesh 网络的 Sink 再连接中心路由器向外网传输数据,即在第 2 层 Mesh 网络中除 Sink 节点之外的节点不能直接连接中心路由器或者其他网络的节点;传感器节点与中心路由器的 RSSI 在小于 -70 dBm 时为第 3 层 Mesh 网络,网络中的节点通过 Sink 节点连接第 2 层 Mesh 网络的 Sink 节点向外网传输数据,即网络中的所有节点都不可通过直接连接中心路由向外网传输数据。基于中心路由 RSSI 划分 Mesh 网络流程如图 11 所示。

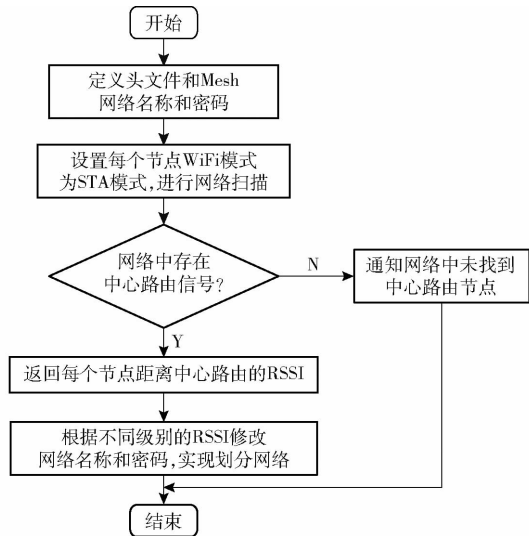


图 11 根据中心路由 RSSI 划分 Mesh 网络流程图

Fig. 11 Dividing Mesh network flow chart according to RSSI of central route

2.2.3 基于改进 LEACH 算法的培养单元格 Mesh 网络 Sink 节点选举

在温室中,每个单元格之间部署无线传感节点存在着上下层节点空间障碍,同层不同架格节点距离障碍,传统 LEACH 算法选举的网络簇头在实际应用中存在着“不平等”的网络消耗,即空间距离近的节点实际传输能量损耗更大。因此,针对不同层、不同培养架之间的节点 Mesh 自组网 Sink 簇头节点选举,需要采取不同权重的 LEACH 算法进行,同时还需考虑节点之间的距离。温室节点部署示意图如图 5 所示,为了尽可能使同层不同培养架格之间的立体中心节点为 Mesh 簇头节点,如图 5 中的节点 1;同时又为了尽可能使同一培养架不同层之间的平面中间层节点为 Mesh 簇头节点,如图 5 中的节点 2。

本文提出一种改进的 LEACH 算法选举网络簇头,算法思想为:为了使中心位置节点成为簇头节点的概率更大,因此需使簇头节点的阈值 $T(n)$ 更大, $T(n)$ 和每个节点与中心位置节点的信号强度成正比,信号越强, $T(n)$ 越大,说明越靠近中心节点,越容易当选簇头。改进的 LEACH 算法 $T(n)$ 计算公式为

$$T(n) = \begin{cases} \frac{p}{1 - p(r \bmod (1/p))} - \frac{k}{\text{RSSI}(d) - 1} & (n \in G) \\ 0 & (\text{其他}) \end{cases} \quad (3)$$

式中 k ——当前节点所处不同培养位置的权重

RSSI(d)是一个负数,越靠近 0 表示接收到的信号越强,中心节点本身接收自身的信号强度默认为 0,即全部接收,故在分母中减 1,防止出现分母为 0 的情况。由于在温室当中,同层不同培养架之间节点组网的距离障碍导致的信号衰减比同一培养架格不同层之间的信号衰减程度低,因此需要设置不同位置的权重,以使得同一培养架格不同层的中间层的中心节点成为 Mesh 网络簇头节点概率比同层不同培养架之间的中心位置节点成为 Mesh 网络簇头节点的概率大。

算法实现流程如图 12 所示,在 1.2.3 节基础上改进了权重 k 和阈值 $T(n)$,需要特别说明的是在图 12 判断节点是否是同层不同培养架的 Mesh 网中,判断结果为真时权重 k 为 1,即在同一层 Mesh 传感网中选举 Sink 节点,判断结果为假时权重 k 为 2,即在同一培养架 Mesh 传感网中选举 Sink 节点。

2.2.4 算法仿真结果分析

为了验证基于改进的 LEACH 算法的培养单元格 Mesh 网络 Sink 节点选举的性能,通过仿真实验对比普通 LEACH 算法和改进的 LEACH 算法的簇头节点选举效果以及改进 LEACH 算法不同权重之间的簇头节点选举效果,仿真实验在 Python 3.8 环境下进行。

将温室同层节点部署示意图在平面中模拟,首先进行 LEACH 算法簇头选举仿真。如图 13 所示,在 100×100 坐标系中均匀分布 100 个节点,初始轮次 r 为 0,节点概率 p 为 0.1,每个节点具有随机数和阈值两种属性。当随机数小于或等于阈值时,节点是簇头节点,如图 13 中的节点 3;当随机数大于阈值时,节点是普通节点,如图 13 中的节点 1。在坐标系中心位置(即坐标(50,50))处放置中心位置节点,如图 13 中的节点 2。从图 13 可以看到簇头节点随机分布在坐标系中,并未靠近中心位置节点。权重为 1 的改进 LEACH 算法簇头选举仿真结果如

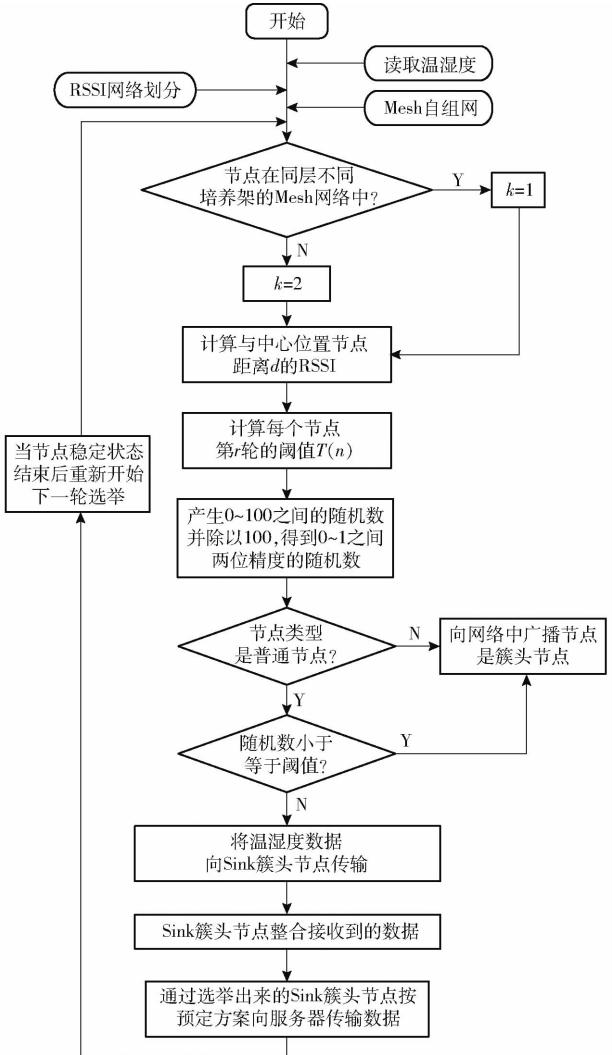


图 12 基于改进 LEACH 算法选举 Sink 簇头节点流程图

Fig. 12 Selecting Sink cluster head node based on improved LEACH algorithm

图 14 所示,与 LEACH 算法仿真类似,初始轮次 r 为 0,节点概率 p 为 0.1,改进 LEACH 算法 $T(n)$ 公式中的 RSSI(d)以节点与中心位置节点(即图 14 中的节点 2)平面距离代替,从仿真结果(图 14)可以看到,簇头节点虽然随机分布在坐标系当中,但是簇头节点相较于图 13 更加靠近中心位置节点。

同时,为了使仿真结果更具说服力,进行了多轮次的仿真结果对比。首先,对比普通 LEACH 算法与权重 k 为 1 的改进 LEACH 算法的簇头节点的选举效果。以图 13 中心位置节点为中心,边长为 100/3 的正方形区域中出现簇头节点的个数代表选举出的簇头节点“更靠近中心”这个效果。初始轮次 r 为 0,节点概率 p 为 0.1,权重 k 为 1,进行了 500 轮训练。为了验证更靠近中心的效果,每轮结束时,节点属性会重新设置,即当选过簇头的节点下一轮依旧可以当选簇头,仿真结果对比如图 15 所示。从图 15 可以看出,权重为 1 的改进 LEACH 算法选举的簇头比普通 LEACH 算法选举的簇头更加靠近中

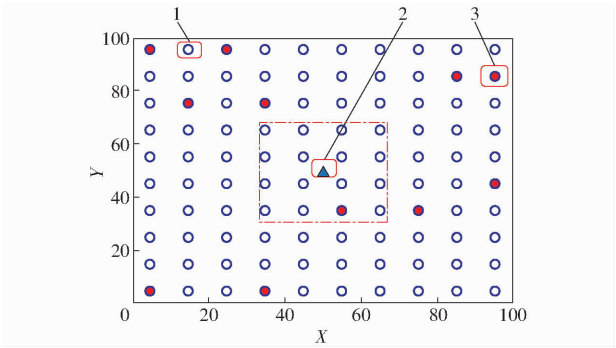


图 13 LEACH 算法簇头选举仿真结果

Fig. 13 LEACH algorithm cluster head election simulation results

1. 普通节点 2. 中心位置节点 3. 簇头节点

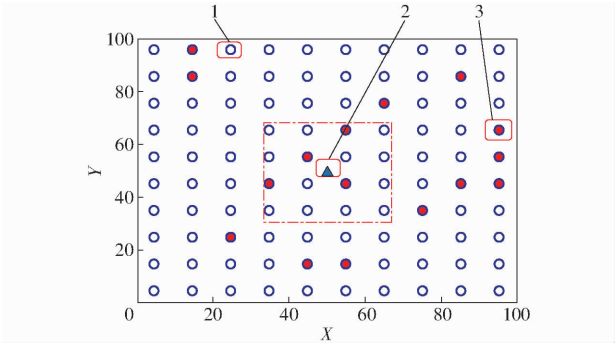


图 14 权重为 1 的改进 LEACH 算法簇头选举仿真结果

Fig. 14 Cluster head election simulation results of improved LEACH algorithm with weight of 1

1. 普通节点 2. 中心位置节点 3. 簇头节点

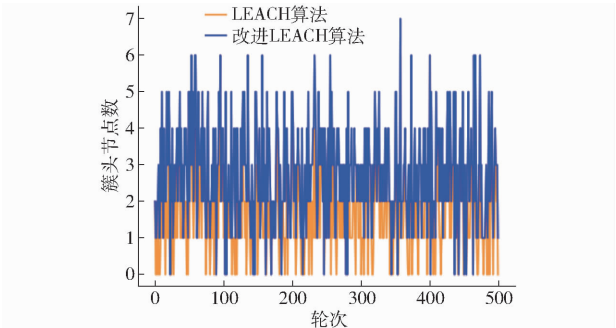


图 15 LEACH 算法与权重为 1 的改进 LEACH 算法簇头选举仿真结果对比

Fig. 15 Comparison results of multiple rounds of cluster head election simulation between LEEACH algorithm and improved LEEACH algorithm with weight of 1

心位置,验证了改进算法的有效性。最后,为了验证同一培养架之间的中心位置节点簇头选举概率大于同一层之间中心位置节点簇头选举概率的效果,

即权重 k 越大,选举的簇头节点越靠近中心区域,对比了权重 $k=1$ 与权重 $k=2$ 的改进 LEACH 算法的簇头节点的选举效果,如图 16 所示。从图 16 可以看出,权重为 2 的改进 LEACH 算法选举的簇头比权重为 1 的改进 LEACH 算法选举的簇头更加靠近中心位置。同时,统计每轮中心位置出现簇头数占中心节点数的百分比,取 5 次 500 轮仿真实验中簇头所占百分比的平均值。仿真结果表明,当 $p=0.1$ 时,原始 LEACH 算法在中心位置出现簇头的概率为 10.86%;应用权重 $k=1$ 改进 LEACH 算法在中心位置出现簇头的概率为 17.42%;应用权重 $k=2$ 改进 LEACH 算法在中心位置出现簇头的概率为 24.96%;提升效果显著,验证了改进算法权重的有效性。

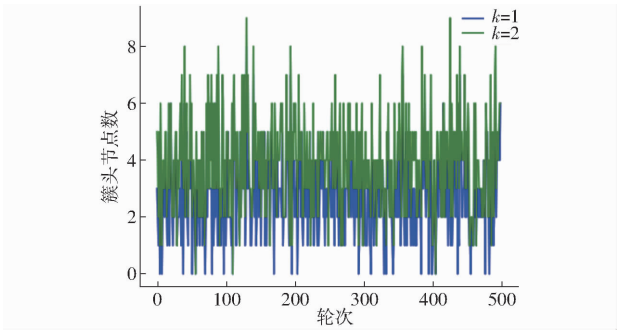


图 16 权重为 1 与权重为 2 的改进 LEACH 算法簇头选举仿真结果对比

Fig. 16 Comparison results of multiple rounds of cluster head election simulation using improved LEEACH algorithm with weight 1 and weight 2

3 结论

- (1)实现了传感器节点自动化采集温室温湿度数据。
- (2)构建了边缘无线 Mesh 数据传感网,实现传感器节点移动自组网传输温湿度数据,传感器节点通电即可接入网络,十分便捷。
- (3)基于中心路由 RSSI 值划分 Mesh 网络,划分的 3 层网络有效地提升了网络传输效率,降低中心路由器的网络负载。
- (4)针对温室当中不同应用场景提出了一种改进的 LEACH 簇头选举算法,更加贴合实际需求,并通过仿真实验验证了所提出算法的有效性。

参 考 文 献

[1] 周玉琴. 设施农业技术类型及应用现状[J]. 世界热带农业信息, 2021(1): 20.

[2] 杨其长, 魏灵玲, 刘文科, 等. 中国设施农业研究现状及发展战略[J]. 中国农业信息, 2012(11): 22-27.

[3] 侯加林, 蒲文洋, 李天华, 等. 基于 UWB 与物联网的移动式温室环境监测系统设计与实现[J]. 农业工程学报, 2020, 36(23): 229-240.

- HOU Jialin, PU Wenyang, LI Tianhua, et al. Design and implementation of mobile greenhouse environmental monitoring system based on UWB and Internet of Things[J]. Transactions of the CSAE, 2020, 36(23): 229–240. (in Chinese)
- [4] 边泽山. 基于 SVM 的温室大棚温湿度预测预警系统研究[D]. 呼和浩特: 内蒙古科技大学, 2020.
- [5] 牛萍娟, 程峥, 田海涛, 等. 非色散红外 CO₂ 传感器温度补偿模型研究[J]. 仪表技术与传感器, 2019(8): 17–20.
- NIU Pingjuan, CHENG Zheng, TIAN Haitao, et al. Research on temperature compensation model of non-dispersive infrared CO₂ sensor[J]. Instrument Technique and Sensor, 2019(8): 17–20. (in Chinese)
- [6] MATYSIAK Bożena. The effect of supplementary LED lighting on the morphological and physiological traits of miniature Rosa × Hybrida ‘Aga’ and the development of powdery mildew (*Podosphaera pannosa*) under greenhouse conditions [J]. Plants (Basel, Switzerland), 2021, 10(2): 9–11.
- [7] INCROCCI L, THOMPSON R B, MARÍA D, et al. Irrigation management of European greenhouse vegetable crops [J]. Agricultural Water Management, 2020, 242: 9–11.
- [8] 任延昭, 陈雪瑞, 贾敬敦, 等. 基于微信平台的温室环境监测与温度预测系统[J]. 农业机械学报, 2017, 48(增刊): 302–307.
- REN Yanzhao, CHEN Xuerui, JIA Jingdun, et al. Environment monitoring and temperature prediction in greenhouse based on wechat platform [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2017, 48 (Supp.): 302–307. (in Chinese)
- [9] MINHAJ A K, KHALED S. IoT security: review, blockchain solutions, and open challenges [J]. Future Generation Computer Systems, 2018, 82: 395–411.
- [10] 孟珩. 基于无线传感网络的温室监控系统研究与设计[D]. 青岛: 山东科技大学, 2020.
- [11] REZA A K, ALIREZA N, MOHAMMADREZA N. Developed wireless sensor network to supervise the essential parameters in greenhouses for internet of Things applications [J]. IET Circuits, Devices & Systems, 2020, 14(8): 1258–1260.
- [12] 骆碧雯. 基于 WSN 的智能温室系统研究与实现[D]. 杭州: 浙江农林大学, 2019.
- [13] 张晓培, 梁文海. 基于移动端的温室环境监控系统设计[J]. 农机化研究, 2018, 40(6): 215–219.
- ZHANG Xiaopei, LIANG Wenhai. Research of greenhouse environmental monitoring system based on mobile terminal [J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2018, 40(6): 215–219. (in Chinese)
- [14] GARCÍA L, PARRA L, JIMENEZ J M, et al. Deployment strategies of soil monitoring WSN for precision agriculture irrigation scheduling in rural areas [J]. Sensors, 2021, 21(5): 6–12.
- [15] 吴传程, 赵春江, 吴华瑞, 等. 大型蔬菜温室无线监测网络覆盖优化方法研究[J]. 中国农机化学报, 2021, 42(4): 49–54.
- WU Chuancheng, ZHAO Chunjiang, WU Huarui, et al. Study on coverage optimization of wireless sensor network in a large-scale vegetable greenhouse [J]. Chinese Journal of Agricultural Mechanization, 2021, 42(4): 49–54. (in Chinese)
- [16] 张向飞. 基于农业物联网的数据智能传输与大田监测应用[D]. 上海: 东华大学, 2016.
- [17] AARTI K, NARESH K. Wireless sensor networks for greenhouses: an end-to-end review [J]. Computers and Electronics in Agriculture, 2019, 163: 3–11.
- [18] 曹宇. 基于改进 SEP 协议的 WSN 能量优化方案研究[D]. 南京: 南京邮电大学, 2019.
- [19] 苏光灿. 温室环境下无线信道传播特性与无线传感器网络控制系统的研究[D]. 镇江: 江苏大学, 2018.
- [20] 徐文彬, 张怡铭, 董云峰, 等. 基于陀螺仪的睡眠波动检测装置[J]. 电子制作, 2019(21): 34–37.
- [21] 王小祥. 基于 ESP8266 的 DHT11 温湿度检测[J]. 数字技术与应用, 2019, 37(8): 34–35.
- WANG Xiaoxiang. DHT11 temperature and humidity detection based on ESP8266 [J]. Digital Technology and Application, 2019, 37(8): 34–35. (in Chinese)
- [22] ANIS O, HERVÉ R, FABRICE V, et al. Energy and throughput optimization of wireless mesh networks with continuous power control [J]. IEEE Transactions on Wireless Communications, 2015, 14(2): 1131–1142.
- [23] 张国华, 刘文龙. 基于压缩感知的星型拓扑结构无线传感网络信号检测算法[J]. 太原理工大学学报, 2018, 49(3): 473–476.
- ZHANG Guohua, LIU Wenlong. A compressed sensing based detection for star topology WSNs [J]. Journal of Taiyuan University of Technology, 2018, 49(3): 473–476. (in Chinese)
- [24] 许毅. 无线传感器网络原理及方法[M]. 北京: 清华大学出版社, 2012.
- [25] 王宗山, 李波, 保利勇, 等. 基于改进模糊 C 均值的能量均衡 LEACH 算法[J]. 现代电子技术, 2021, 44(11): 13–18.
- WANG Zongshan, LI Bo, BAO Liyong, et al. Energy-equalized LEACH algorithm based on improved fuzzy C-means [J]. Modern Electronic Technology, 2021, 44(11): 13–18. (in Chinese)
- [26] 晏勇, 刘强, 赵晓雨, 等. 基于 WSN 和 UWB 多点融合畜牧业电子围栏设计[J]. 昆明理工大学学报(自然科学版), 2021, 46(1): 68–74.
- YAN Yong, LIU Qiang, ZHAO Xiaoyu, et al. Design of animal husbandry fence based on WSN and UWB [J]. Journal of Kunming University of Science and Technology (Natural Science Edition), 2021, 46(1): 68–74. (in Chinese)