

无线传感技术在粮食仓储环境监测中的应用

Application of wireless sensor technology in grain storage environment monitoring

黄 娴¹ 陈 佳¹ 陈可心²

HUANG Xian¹ CHEN Jia¹ CHEN Ke-xin²

(1. 无锡科技职业学院, 江苏 无锡 214028; 2. 苏州大学, 江苏 苏州 215325)

(1. Wuxi Vocational College of Science and Technology, Wuxi, Jiangsu 214028, China;

2. Soochow University, Suzhou, Jiangsu 215325, China)

摘要:目的:解决无线传感器网络路由算法计算效率低、节能效果差等问题,建立一种新的无线传感器网络路由协议。方法:在粮食仓储环境监测系统的体系结构基础上,提出一种基于节点剩余能量分簇的节点调度方法用于粮食仓储环境监测的无线传感器网络;簇内活动节点数量从网络覆盖率和监控精度两个方面进行计算,根据节点的能量和分布对工作节点进行确定,并验证该节能策略的性能以及优越性。结果:与传统无线网络的路由协议相比,该协议的能耗显著降低,网络中各节点的能耗相对均匀并得到了有效平衡。结论:该方法提高了计算效率和降低了能耗,具有较好的调度效果。

关键词:粮食仓储;无线传感器网络;节能路由算法;节点剩余能量;分簇协议

Abstract: **Objective:** To solve the problems of low computational efficiency and poor energy-saving effect of routing algorithm in wireless sensor networks, a new routing protocol for wireless sensor networks is established. **Methods:** Based on the architecture of grain storage environment monitoring system, a node scheduling method based on node residual energy clustering was proposed for wireless sensor network for grain storage environment monitoring. The number of active nodes in the cluster was calculated from two aspects: network coverage and monitoring accuracy. The working nodes were determined according to the energy and distribution of nodes, and the performance and superiority of the energy-saving strategy were verified. **Results:** Compared with the routing protocol of traditional wireless network, the energy consumption of this protocol was significantly reduced, and the energy consumption of each node in

the network was relatively uniform and effectively balanced. **Conclusion:** This method improves the calculation efficiency and reduces the energy consumption, and has a good scheduling effect. **Keywords:** grain storage; wireless sensor network; energy saving routing algorithm; node residual energy; clustering protocol

粮食问题是关系到基本民生的重大战略问题。目前,中国在粮食仓储方面的技术能力一般,存在粮食变质和虫害等问题^[1]。无线传感器网络(Wireless Sensor Network, WSN)具有成本低、密度高和分布随机等优点,有效解决了传统仓储监测的不足,提高了仓储环境的监测能力^[2]。

季欣然等^[3]提出了一种无线传感器网络自适应动态路由算法,结合平面路由和层次路由,建立了双路由网络框架,有效降低了路由数据传输的能耗,该方法节能效果好,适用性强。曹迪等^[4]提出了一种改进蚁群路由算法用于无线传感器网络,引入能量波动指数筛选蚁群路由候选集,引入多目标优化机制。仿真结果表明,改进的蚁群路由算法有效地提高了能量利用率,收敛速度比传统算法快,改善了网络节点的能量平衡。李伟^[5]提出了一种将遗传算法和K-均值算法相结合的无线传感器网络节能算法,与传统无线网络的路由协议相比,该方法能耗显著降低。张华南^[6]将协议和超低功耗唤醒接收机相结合,有效降低了网络的能耗,与系统方案相比,该方案在能耗、效率、吞吐量等方面均有显著提高。但实际应用中,外部环境的变化是随机的,因此很难通过设计一个统一模型来处理各个节点环境的差异性,其适应性有待进一步提高。

文章拟提出一种基于节点剩余能量分簇的节点调度方法用于粮食仓储环境监测的无线传感器网络,从网络覆盖率和监控精度两个方面计算簇内活动节点数,根据节点的能量和分布确定最终的工作节点,并通过仿真验

基金项目:江苏自然科学基金项目(编号:20JS15306)

作者简介:黄娴(1983—),女,无锡科技职业学院讲师,硕士。

E-mail: hxydy@163.com

收稿日期:2021-05-02

证该节能策略的优越性,旨在为无线传感器网络在粮食仓储环境检测中的应用提供依据。

1 粮食仓储环境监测系统概述

根据仓储环境监控系统目标,将整个系统架构分为感知层、网络传输层和应用层(见图 1)。在架构的底层,感知层由探测器节点、汇聚节点和执行器节点组成^[7]。探测器节点负责采集环境参数,包括温度传感器、湿度传感器、声音传感器、热释电红外传感器。执行器节点的主要职责是驱赶仓储害虫,根据接收到的命令进行控制。汇聚节点和探测节点是一对多的,根据监控环境的要求进行配置^[8]。网络传输层负责数据传输,通过 485 总线与汇聚节点进行通信,通过网线连接后台服务器,用户可以直接访问后台服务器。应用层主要是后台服务器管理系统,其主要目的是对整个粮食贮存环境监测系统的参数进行汇总、处理和分析,对贮存环境数据进行可视化和管理,对全厂区的所有数据进行汇总、存储和分析。

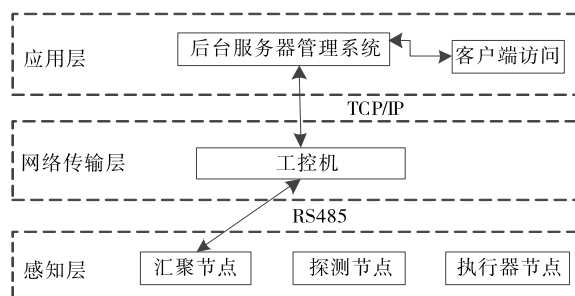


图 1 系统整体框架

Figure 1 Overall system framework

2 节能策略

根据粮食仓储监控环境中节点密度高的问题,在节点剩余能量分簇算法(ECA)的基础上,提出一种节点调度方法来延长网络寿命。基于能耗最小的原则,进一步优化簇间的数据传输协议^[9]。从网络覆盖率和监控精度两个方面对系统中的节点进行调度,同时,只有一些节点在工作。

2.1 ECA 分簇算法

ECA 结构如图 2 所示。在 ECA 中,通过簇头管理簇内节点的各种活动^[10]。簇头节点会消耗大量的能量,节点不能长时间充当簇头,否则,网络中的节点会越来越少。因此,在选择簇头节点时要定期更换,保证网络能量均衡^[11]。

2.1.1 分簇 其步骤如下:

(1) 初始化网络。

(2) 对节点剩余能量 E_{cur} 进行计算,判断是否满足节点成为簇头的最低能量,如式(1)所示^[12]。

$$E_{cur} \geq 2n_{tr}l[d_g(2E_{elec} + E_{fusion} + E_{amp}R^2)], \quad (1)$$

式中:

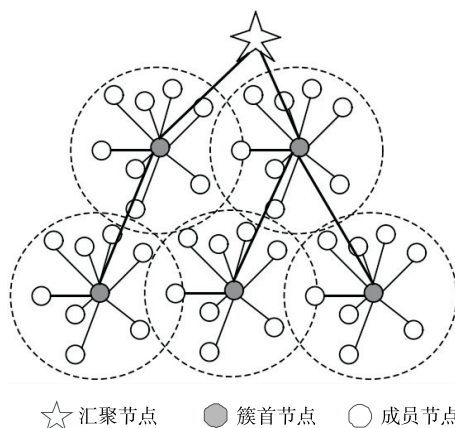


图 2 分簇路由算法

Figure 2 Clustering routing algorithm

E_{fusion} ——节点的单位能耗,J;

E_{elec} ——节点发射和接收能耗,J;

E_{amp} ——节点感知能耗,J;

n_{tr} ——节点的探测频率,kHz;

d_g ——相邻节点数;

l ——数据长度,byte;

R ——感知半径,m。

如果节点有权竞争簇头,获取广播竞争簇头消息的时间 T_c 为:

$$T_c = k_1 \times T_2 \times \frac{E_{max} - E_{cur}}{E_{max}}, \quad (2)$$

式中:

k_1 ——权重因子;

T_2 ——节点初始化完成后进入竞争簇首阶段所需的时间长度,ms;

E_{max} ——节点最大能量,J;

E_{cur} ——节点剩余能量,J。

(3) 确定簇头节点。如果一个节点在 T_c 时间之前收到另一个节点广播的簇头竞争消息,该节点状态设置为普通节点^[13]。如果节点未接收到该消息,其将向检测范围内的所有节点发送竞争簇头消息。

(4) 节点选择加入各簇,并将分簇时间长度设置为 T_3 。此时,分簇过程完成。节点根据每个簇头的剩余能量加入簇。

2.1.2 簇间数据传输路由及优化 网络最终将监控数据发送到接收器节点,接收器节点将监控数据提供给用户。数据传输中,簇头节点采集簇内节点数据并对数据进行处理,然后以多跳方式将其发送到汇聚节点。汇聚节点首先向网络发送 Inter_CH_M 消息。

当簇头节点接收到 Inter_CH_M 时,发送消息到簇中节点。簇间路由选择如式(3)所示^[14]。

$$P_i = E_i^{k_2} / d_{i_sink}^{k_3} / \sum_{j=1}^n E_j^{k_2} / d_{i_sink}^{k_3}, \quad (3)$$

式中:

k_2, k_3 ——权重因子;

E_i, E_j ——节点 i 和 j 剩余能量, J;

$d_{i, \text{sink}}$ ——节点 i 到汇聚节点的距离, m。

簇头节点需先处理簇中成员节点发送的数据, 然后将这些数据发送到汇聚节点^[15]。簇头节点能耗高, 传输数据量大。但存在簇头节点距离汇聚节点较远的情况, 能量不足而丢失, 导致监控盲区问题, 因此对其进行进一步优化。

根据式(4)的能量消耗函数, 对相邻的簇首节点进行选择, 并进行数据传输, 反复执行直到数据传输至汇聚节点^[16]。

$$f(i, j) = w \frac{c(CH_i, CH_j)}{E_{CH_i}} + (1-w) \frac{g(CH_j, \text{sink})}{E_{CH_j}}, \quad (4)$$

式中:

w ——权值系数;

E_{CH_i} ——簇首节点 i 的能耗, J;

E_{CH_j} ——簇首节点 j 的能耗, J;

c (CH_i , CH_j)

$$= \begin{cases} \frac{d^2(CH_i, CH_j)}{\max(d^4_{CH_i, \text{sink}})}, d^2(CH_i, CH_j) \leq d_0 \\ \frac{d^4(CH_i, CH_j)}{\max(d^4_{CH_i, \text{sink}})}, d^2(CH_i, CH_j) > d_0 \end{cases};$$

$$g$$
 (CH_j , sink)
$$= \begin{cases} \frac{d^2(CH_j, \text{sink})}{\max(d^4_{CH_i, \text{sink}})}, d(CH_j, \text{sink}) \leq d_0 \\ \frac{d^4(CH_j, \text{sink})}{\max(d^4_{CH_i, \text{sink}})}, d(CH_j, \text{sink}) > d_0 \end{cases}。$$

2.2 基于簇内调度的节能算法

文中通过调度的方法降低能耗, 簇内活动节点数量从网络覆盖率和监控精度两个方面进行计算, 减少网络能耗和数据采集冗余, 避免节点睡眠造成的监控盲区问题^[17]。

(1) 网络覆盖率: 图 3 为相邻节点之间的覆盖拓扑。为了最大化节点 A 的检测范围, 在 A 的覆盖区域中, 边长为 r (簇半径) 的正六边形, 面积大小 $S_A = \frac{3\sqrt{3}r^2}{2}$ 。如果网络中节点按图 3 中的模型布置, 则整个区域被最小数量的节点覆盖, 即 $h_{\min} = \left\lceil \frac{2S}{3\sqrt{3}r^2} \right\rceil$ ^[18]。以上是理想状态下网络中的最小节点数。在文中的监控系统中, 节点是从实际应用中随机部署的。

在以簇头节点为中心, 簇半径 R 为半径的圆中, 如果节点的感知距离为 r_s , s 为节点在其簇外的感知范围, 则需要至少 h 个活动节点来实现簇内的覆盖 η , 活动节点 h 的范围如式(5)所示^[19]。

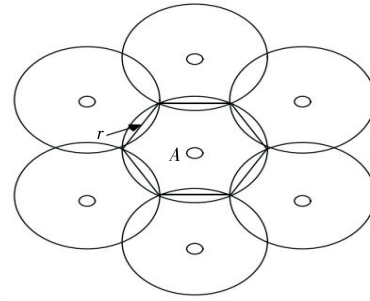


图 3 覆盖拓扑结构

Figure 3 Overlay topology

$$\left\lceil \frac{\log(1-\eta)}{\log(1-3\sqrt{3}r_s^2/(2\pi R^2))} \right\rceil \leq h \leq \left\lceil \frac{\log(1-\eta)}{\log[1-3\sqrt{3}r_s^2/(2\pi R^2+s)]} \right\rceil. \quad (5)$$

(2) 监测精度: 由于无线传感器网络中节点的分布密度较高, 可以通过较少点对区域进行监测^[20]。置信度定为 $1-\alpha$, 传感器节点策略结果受环境中诸多因素影响。节点测量值 X 通常遵循正态分布, 用 μ 表示节点测量值的平均值, σ^2 为方差。可求得样本均值 $\hat{\mu}$, 如式(6)所示。

$$\hat{\mu} = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m x_i, \quad (6)$$

式中:

m ——活动节点数。

由实际测量和概率论知识得到最终活动节点数 m , 如式(7)所示。

$$m = (z_{\frac{\alpha}{2}} \sigma / |\mu - \hat{\mu}|)^2, \quad (7)$$

式中:

z ——标准正态分布。

3 结果与分析

3.1 仿真参数

选择设备为联想 PC, 操作系统为 windows1064 位旗舰, Intel i5 2450m CPU, 频率为 2.5 GHz, 仿真平台为 NS2。在网络中, 执行器节点较少, 主要接收汇聚节点发送的执行命令。试验中, 只分析仓储环境中的探测节点, 其相关参数见表 1。

3.2 仿真分析

为了验证文中提出的路由算法的有效性, 使用 NS2 仿真系统, 不使用调度机制。

3.2.1 能耗比较 不同节点数的网络结构下, 将文中方法与 LEACH 分簇算法进行比较, 验证该方法的优越性, 结果如图 4 所示。

由图 4 可知, 随着节点数的增加, ECA 算法能量消耗速度比 LEACH 算法的慢, 是因为 LEACH 路由协议中的簇头节点直接与汇聚节点进行数据传输, 如果簇头距离汇聚节点较远, 则能量耗费非常多。

表 1 试验参数

Table 1 Experimental parameters

算法	单位	数值	算法	单位	数值
监测区域	m ²	10 000	汇聚节点坐标		(50,100)
探测节点数		100 · 600	初始能量	J	5
感知半径	m	10~25	数据包	byte	512
簇半径	m	15~50	广播包	byte	20

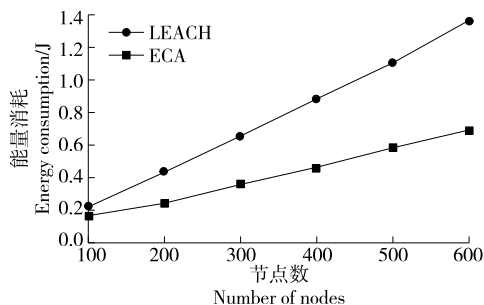


图 4 不同算法随节点数变化的能耗曲线

Figure 4 Energy consumption curves of different algorithms with node number

3.2.2 节点间剩余能量差比较 网络结束时,网络中每个节点的剩余能量差在一定程度上反映了网络节点的平均能耗和网络生存周期的长度。与 LEACH 聚类算法进行比较,不同方法的节点剩余能量差随节点数的变化曲线如图 5 所示。

由图 5 可知,随着节点数的增加,ECA 算法的节点剩余能量标准差小于 LEACH 分簇算法的。这是因为 ECA 算法的簇头节点在网络中分布更均匀,此外,在能量传输中还考虑了簇头节点的能量消耗,因此节点能量分布相对均衡。

3.2.3 网络寿命比较 网络寿命定义为死区节点出现在网络中时的程序循环数,即网络生存期。与 LEACH 分簇算法进行比较,不同方法随节点数变化的网络生存期曲线如图 6 所示。

由图 6 可知,随着节点数的增加,ECA 算法的网络生存期逐渐增加,而 LEACH 分簇算法的网络生存周期相

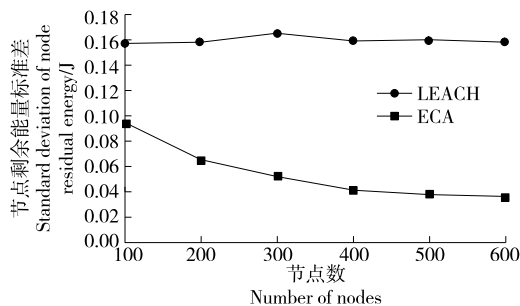


图 5 不同算法随节点数变化的剩余能量差曲线

Figure 5 Residual energy difference curves of different algorithms with node number

对较为稳定。这是因为 ECA 算法在簇头竞争时以剩余能量作为约束,能量较少节点不再作为簇头,有效均衡了网络中节点能量。

使用调度机制时,分析节点调度前后的能耗和网络生存期,并用 NS2 对系统进行仿真,以验证文中方法的有效性,结果见图 7。对 ECA 改进前后进行分析,比较簇内调度前后节点能耗和网络生存期的变化,结果如图 8 所示。

由图 7 可知,随着节点数的增加,节点能耗逐渐增加,但 ECA 算法通过簇内调度能耗有明显改善。网络中节点数量越少,簇中冗余节点数量越少,此时进行簇内调度会增加网络的能耗。这是因为如果簇中的节点数量较

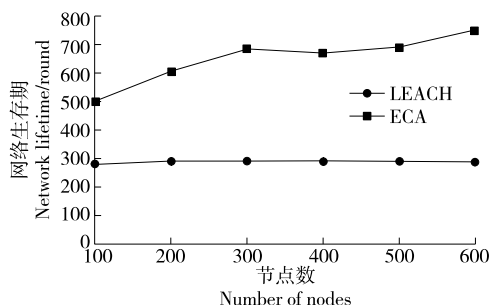


图 6 不同算法随节点数变化的网络生存期曲线

Figure 6 Network lifetime curves of different algorithms with node number

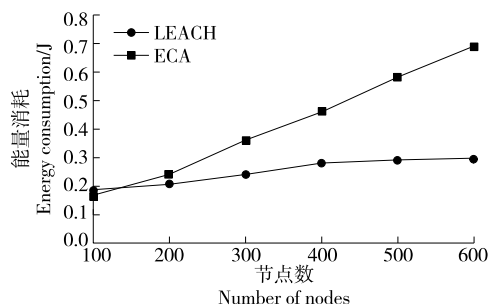


图 7 改进前后随节点数变化的能耗曲线

Figure 7 Energy consumption curve with node number before and after improvement

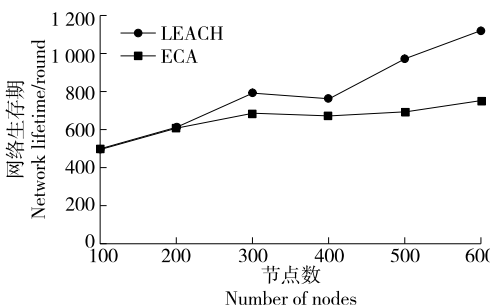


图 8 改进前后随节点数变化的网络生存期曲线

Figure 8 Network lifetime curve with node number before and after improvement

少,则簇中所有节点都处于活动状态,以满足覆盖要求,簇内调度会消耗更多的能量,因此,当网络节点数量较少,即节点冗余时,无需应用节点调度策略。

由图 8 可知,随着节点数的增加,网络生存期逐渐增加,在 ECA 算法进行簇内调度前,网络生存期增加,但增加较小。在网络中使用节点调度策略后,网络寿命的变化趋势保持不变,尤其是当网络中存在大量节点时。这是因为网络中节点的冗余度跟不上增长,使用节点调度策略后,可以有效利用网络中的每个节点对监控区域进行监控,说明整个网络的生命周期被延长。

4 结论

研究提出了一种基于节点剩余能量分簇的节点调度方法用于粮食仓储环境监测的无线传感器网络。结果表明,该协议的能量消耗明显低于传统的无线传感器网络路由协议,且网络中各节点的能量消耗得到了有效平衡。与改进前相比,该方法可以有效降低数据采集过程中的能耗,具有一定的应用价值。在现有测试条件下,文中研究还处于初级阶段,后续将不断提高整个节能策略的性能。

参考文献

- [1] 罗剑, 毕晓东. 基于改进萤火虫聚类的异构 WSNs 能耗优化路由算法[J]. 传感技术学报, 2018, 31(10): 1 584-1 591.
LUO Jian, BI Xiao-dong. Energy consumption optimization routing algorithm for heterogeneous WSNs based on improved firefly clustering[J]. Journal of Sensing Technology, 2018, 31(10): 1 584-1 591.
- [2] 项辉宇, 薛真, 冷崇杰, 等. 基于 Halcon 的苹果品质视觉检测试验研究[J]. 食品与机械, 2016, 32(10): 123-126.
XIANG Hui-yu, XUE Zhen, LENG Chong-jie, et al. Experimental study on visual inspection of apple quality based on Halcon[J]. Food & Machinery, 2016, 32(10): 123-126.
- [3] 纪辛然. 无线传感器网络自适应动态路由算法仿真[J]. 计算机仿真, 2021, 38(6): 259-262, 310.
JI Xin-ran. Simulation of adaptive dynamic routing algorithm for wireless sensor networks[J]. Computer Simulation, 2021, 38(6): 259-262, 310.
- [4] 曹迪, 谢敏杰, 黄霆豪, 等. 改进蚁群算法的环境能源采集型 WSN 多目标路由研究[J]. 小型微型计算机系统, 2021, 42(5): 1 115-1 120.
CAO Di, XIE Min-jie, HUANG Ting-hao, et al. Research on multi-objective routing of environment and energy collection WSN based on improved ant colony algorithm[J]. Small microcomputer system, 2021, 42(5): 1 115-1 120.
- [5] 李伟, 张凤梅. 基于 K-Means 的无线传感网络节能算法研究[J]. 传感器与微系统, 2021, 40(4): 41-44.
LI Wei, ZHANG Feng-mei. Research on energy saving algorithm for wireless sensor networks based on K-means[J]. Sensors and Microsystems, 2021, 40(4): 41-44.
- [6] 张华南, 金红, 王峰. 无线传感器网络节能探索与研究[J]. 计算机工程与科学, 2021, 43(2): 295-303.
- [7] ZHANG Hua-nan, JIN Hong, WANG Feng. Exploration and research on energy saving in wireless sensor networks[J]. Computer Engineering and Science, 2021, 43(2): 295-303.
- [7] 刘浩然, 赵翠香, 李轩, 等. 一种基于改进遗传算法的神经网络优化算法研究[J]. 仪器仪表学报, 2016, 37(7): 1 573-1 580.
LIU Hao-ran, ZHAO Cui-xiang, LI Xuan, et al. A neural network optimization algorithm based on improved genetic algorithm[J]. Journal of Instrumentation, 2016, 37(7): 1 573-1 580.
- [8] 高亮, 张新燕, 张家军, 等. 基于拟合剔除的优化小波神经网络太阳辐射量预测[J]. 电测与仪表, 2019, 40(4): 1-5.
GAO Liang, ZHANG Xin-yan, ZHANG Jia-jun, et al. Optimal wavelet neural network solar radiation prediction based on fitting elimination[J]. Electrical Measurement and Instrument, 2019, 40(4): 1-5.
- [9] GAUTAM J V, PRAJAPATI H B, DABHI V K, et al. Empirical study of job scheduling algorithms in hadoop map reduce[J]. Cybernetics and Information Technologies, 2017, 21(1): 146-163.
- [10] 杨双艳, 杨紫刚, 张四伟, 等. 基于近红外光谱和 PSO-SVM 算法的烟叶自动分级方法[J]. 贵州农业科学, 2018, 46(12): 141-144.
YANG Shuang-yan, YANG Zi-gang, ZHANG Si-wei, et al. Automatic tobacco grading method based on near infrared spectroscopy and PSO-SVM algorithm[J]. Guizhou Agricultural Sciences, 2018, 46(12): 141-144.
- [11] 王阳阳, 黄勋, 陈浩, 等. 基于同态滤波和改进 K-means 的苹果分级算法研究[J]. 食品与机械, 2019, 35(12): 47-51, 112.
WANG Yang-yang, HUANG Xun, CHEN Hao, et al. Apple grading algorithm based on homomorphic filtering and improved K-means[J]. Food & Machinery, 2019, 35(12): 47-51, 112.
- [12] CAETANO C E F, LIMA A B, PAULINO J O S, et al. A conductor arrangement that overcomes the effective length issue in transmission line grounding[J]. Electric Power Systems Research, 2018, 46(5): 159-162.
- [13] JIA Zhi-wei, WANG Li-jun, ZHANG Jin-chuan, et al. High efficiency, low power-consumption DFB quantum cascade lasers without lateral regrowth[J]. Nanoscale Research Letters, 2017, 12(1): 88-95.
- [14] 钟潇柔. 基于动态遗传算法的云计算任务节能调度策略研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2015: 40-45.
ZHONG Xiao-rou. Research on energy saving scheduling strategy of cloud computing tasks based on dynamic genetic algorithm[D]. Harbin: Harbin University of Technology, 2015: 40-45.
- [15] 王利平, 庞晓艳, 朱雨, 等. 基于物联网和移动互联的二次设备运维技术研究与应用[J]. 中国电力, 2019, 52(3): 177-184.
WANG Li-ping, PANG Xiao-yan, ZHU Yu, et al. Research and application of secondary equipment operation and maintenance technology based on Internet of Things and mobile interconnection[J]. Electric Power, 2019, 52(3): 177-184.

(下转第 166 页)

- [11] 江雪彬, 胡开利, 吴雪芹, 等. 叶片结构与烟丝结构的相关关系[J]. 江苏农业科学, 2018, 46(1): 129-132.
JIANG Xue-shan, HU Kai-li, WU Xue-qin, et al. Relationships between leaf structure of tobacco strips structure of cut tobacco[J]. Jiangsu Agricultural Sciences, 2018, 46(1): 129-132.
- [12] 刘泽, 何邦华, 林文强, 等. 片烟形态、结构与烟丝结构的关系[J]. 烟草科技, 2020, 53(11): 83-88.
LIU Ze, HE Bang-hua, LIN Wen-qiang, et al. Relationships between morphology and structure of tobacco strips and structure of cut tobacco[J]. Tobacco Science & Technology, 2020, 53(11): 83-88.
- [13] 唐军, 邱昌桂, 周冰, 等. 不同尺寸片烟及不同长度成品烟丝化学成分的变化[J]. 烟草科技, 2016, 49(11): 42-55.
TANG Jun, QIU Chang-gui, ZHOU Bing, et al. Variations of chemical components in different strip sizes and cut filler lengths of tobacco[J]. Tobacco Science & Technology, 2016, 49(11): 42-55.
- [14] 余娜, 夏艺丰, 朱文魁, 等. 叶片结构与叶丝结构关系模型研究[J]. 郑州轻工业学院学报(自然科学版), 2013, 28(3): 24-28.
YU Na, XIA Yi-feng, ZHU Kui-wen, et al. Study on the model of relation of tobacco lamina structure and cut tobacco structure[J]. Journal of Zhengzhou University of Light Industry (Natural Science), 2013, 28(3): 24-28.
- [15] 刘志平, 姜焕元, 林平, 等. 叶片大小与叶丝尺寸关系的探讨[J]. 烟草科技, 2002, 17(2): 15-17.
LIU Zhi-ping, JIANG Huan-yuan, LIN Ping, et al. Discussion on the relationship between leaf size and cut tobacco size[J]. Tobacco Science & Technology, 2002, 17(2): 15-17.
- [16] 李善莲, 申晓锋, 李华杰, 等. 烟丝结构对卷烟端部落丝量的影响[J]. 烟草科技, 2010(2): 5-7, 10.
LI Shan-lian, SHEN Xiao-feng, LI Hua-jie, et al. Effects of cut tobacco size on tobacco loss from cigarette end[J]. Tobacco Science & Technology, 2010(2): 5-7, 10.
- [17] 段鹏, 韩李峰, 赵亚恒, 等. 滚筒复烤方式下不同尺寸烟片的干燥与收缩特性对比分析[J]. 食品与机械, 2021, 37(3): 47-51.
DUAN Kun, HAN Li-feng, ZHAO Ya-heng, et al. Variations of chemical components in different strip sizes and cut filler lengths of tobacco[J]. Food & Machinery, 2021, 37(3): 47-51.
- [18] 刘超, 赵阔, 杨永锋, 等. 打叶后浓香型烤烟不同尺寸片烟质量变化特征[J]. 食品与机械, 2018, 34(11): 56-60.
LIU Chao, ZHAO Kuo, YANG Yong-feng, et al. The quality variation characteristics among different strip size of robust flavor style flue-cured tobacco leaf in henan[J]. Food & Machinery, 2018, 34(11): 56-60.

(上接第 137 页)

- [16] 杨阳, 汪玉成, 吕玉祥, 等. 基于软件定义的电力通信网络业务感知流量调度机制研究[J]. 自动化与仪器仪表, 2017(8): 146-149.
YANG Yang, WANG Yu-cheng, LU Yu-xiang, et al. Research on service-aware traffic dispatch mechanism of power communication network based on software definition[J]. Automation and Instrumentation, 2017(8): 146-149.
- [17] 徐彬泰, 周洁, 于秋生, 等. 基于协作智能与子梯度优化算法的电力业务差异化 QoS 路由策略[J]. 电测与仪表, 2020, 57(10): 50-57.
XU Bin-tai, ZHOU Jie, YU Qiu-sheng, et al. Differentiated QoS routing strategy for power services based on collaborative intelligence and sub-gradient optimization algorithm[J]. Electrical Measurement & Instrumentation, 2020, 57(10): 50-57.
- [18] 翟学明, 王佳, 李金泽. 基于蚁群算法和 BP 神经网络的信道分配策略的研究[J]. 传感技术学报, 2016, 29(3): 445-450.
ZHAI Xue-ming, WANG Jia, LI Jin-ze. Research on channel allocation strategy based on ant colony algorithm and BP neural network[J]. Journal of Sensing Technology, 2016, 29(3): 445-450.
- [19] 李祝红, 赵灿明, 闫龙, 等. 智能电网中电力线通信网络负载均衡的机会路由协议[J]. 计算机应用, 2019, 39(3): 812-816.
LI Zhu-hong, ZHAO Can-ming, YAN Long, et al. Opportunistic routing protocol for load balancing of power line communication network in smartgrid[J]. Computer Applications, 2019, 39(3): 812-816.
- [20] 叶波. 基于负载均衡度的云计算任务调度算法[J]. 东北电力大学学报, 2019, 39(1): 88-95.
YE Bo. Cloud computing task scheduling algorithm based on load balancing degree [J]. Journal of Northeast Electric Power University, 2019, 39(1): 88-95.

(上接第 160 页)

- [12] 曹琳, 秦利霞, 康诗钊, 等. 香精香料的常见检测方法综述[J]. 上海应用技术大学, 2017, 45(21): 17-20.
CAO Lin, QIN Li-xia, KANG Shi-zhao, et al. Review of common detection methods of flavors and fragrances [J]. Shanghai University of Technology of Technology, 2017, 45(21): 17-20.
- [13] 黄曼艳, 陈森林, 陶红, 等. 烟叶中致香成分前处理与检测方法研究进展[J]. 食品安全质量检测学报, 2018, 9(9): 2 072-2 079.
HUANG Man-yan, CHEN Sen-lin, TAO Hong, et al. Research progress of pretreatment and detection methods for aroma components in tobacco leaves[J]. Journal of Food Safety and Quality, 2018, 9(9): 2 072-2 079.
- [14] 蒋举兴, 夏启东, 段焰青, 等. 卷烟香精香料中 23 种加香物质的气相色谱质谱法检测[J]. 食品工业, 2013, 34(9): 221-223.
JIANG Ju-xing, XIA Qi-dong, DUAN Yan-qing, et al. Determination of 23 flavor compounds in cigarette flavor by gas chromatography mass spectrometry[J]. Food Industry, 2013, 34(9): 221-223.
- [15] 李超, 刘秀明, 秦云华, 等. 基于挥发性特征组分的卷烟烟丝质量趋势分析[J]. 烟草科技, 2017, 50(11): 41-46.
LI Chao, LIU Xiu-ming, QIN Yun-hua, et al. Analysis of tobacco quality trend based on volatile characteristic components[J]. Tobacco Science and Technology, 2017, 50(11): 41-46.