

基于无线传感器网络的茶园分布式灌溉控制系统*

韩安太^{1,2} 何 勇¹ 陈志强² 沈小丽² 韩瑞珍¹

(1. 浙江大学生物系统工程与食品科学学院, 杭州 310029; 2. 中国计量学院电工与电子技术研究所, 杭州 310018)

【摘要】 为实现茶树需水信息准确检测和茶园精量灌溉自动控制,设计了一套基于无线传感器网络的茶园分布式灌溉控制系统,给出了系统体系结构及软、硬件实现方法;针对无线传感器网络节点在茶园内高度分散的特点,提出两种适用于不同规模茶园的分布式灌溉控制方案,设计了由模糊控制器和最优化控制器组成的分层灌溉控制器,使得系统可在满足一定性能指标前提下,实现茶园精量灌溉控制。试验结果表明系统设计合理可行,特别适用于大型农田、果园、苗圃等区域的精量灌溉。

关键词: 茶园 精量灌溉 无线传感器网络 分布式控制

中图分类号: TP273+.5; S126 文献标识码: A 文章编号: 1000-1298(2011)09-0173-08

Design of Distributed Precision Irrigation Control System
Based on Wireless Sensor Network for Tea Plantation

Han Antai^{1,2} He Yong¹ Chen Zhiqiang² Shen Xiaoli² Han Ruizhen¹

(1. College of Biosystem Engineering and Food Science, Zhejiang University, Hangzhou 310029, China

2. Institute of Electrical Engineering and Electronic Technology, China Jiliang University, Hangzhou 310018, China)

Abstract

In order to acquire tea plant water requirement precisely and achieve tea plantation precision irrigation control, the distributed precision irrigation control system based on wireless sensor network for tea plantation was developed, and the system architecture, hardware configuration and software design approach were also introduced in detail. According to the characteristics of many wireless sensor network nodes highly dispersed in tea plantation, two kinds of distributed irrigation control methods applied to different scale tea plantations were proposed, and the hierarchical irrigation controller composed of fuzzy controller in the lower layer and optimal controller in the upper layer was designed. The developed system with distributed hierarchical irrigation controller can realize tea plantation precision irrigation control and satisfy the certain irrigation performance index. Preliminary experimentations indicated the rationality and practicability of the system. It can be effectively applied to the large scale precision irrigation areas, such as the cropland, the orchard and the nursery garden, etc.

Key words Tea plantation, Precision irrigation, Wireless sensor network, Distributed control

引言

茶树生长所需水分在自然条件下主要靠降水供给^[1]。我国茶叶产区降水量时空分布极不均匀,多数茶叶产区存在伏旱和秋旱现象,为减少这些现象对茶树生长、茶叶品质、茶叶产量的影响,必须及时

对茶园进行补充性灌溉^[2]。
精量灌溉是实现茶园补充性灌溉的有效手段。它根据作物需水信息和环境条件,按一定策略进行适时、适量、定位灌溉,可达到节约灌溉用水、增加茶叶产量、提高经济效益等目的^[3~4]。
实现精量灌溉需准确获取作物需水信息,并根

收稿日期: 2010-10-10 修回日期: 2010-11-29
* 国家高技术研究发展计划(863 计划)资助项目(2007AA10Z210)和国家农业科技成果转化基金资助项目(2009GB23600517)
作者简介: 韩安太,博士,中国计量学院副教授,主要从事无线传感器网络研究,E-mail: antai.han@139.com

据需水信息制订灌溉控制方案^[5]。近年来,利用无线传感器网络具有的自组织、低成本、易维护等特性^[6],研究人员设计了各种基于无线传感器网络的精量灌溉系统^[7~11],但从应用现状看,这些精量灌溉系统还存在以下不足^[12~13]:①绝大多数系统仅考虑作物需水信息的采集,很少考虑如何实现作物精量灌溉控制,只是一套服务精量灌溉的作物需水信息监测系统。②可实现精量灌溉控制的少数系统采用集中控制方法,对产生控制命令的网络节点要求高,当系统规模较大时,易出现通讯瓶颈,影响控制效果。③多数灌溉控制系统依据单一因素(如土壤含水率)产生灌溉控制命令,缺少对环境信息的全面了解,没有考虑灌溉均匀性、灌溉效率等指标。④多数系统的性能测试是在温室等设施环境下进行的,这些系统在大面积茶园、果园等露天环境下的性能表现还需进一步验证。

针对上述问题,结合无线传感器网络、分布式控制、最优化等技术,本文开发基于无线传感器网络的茶园分布式灌溉控制系统,给出两种适用于不同规模茶园的分布式灌溉控制方案,设计相应的分层灌溉控制器,实现较大规模茶园内茶树需水信息的准确采集和满足一定性能指标的茶园灌溉控制。

1 系统总体设计

1.1 系统体系结构

考虑茶园面积、地形地貌、植株高度、需水信息、灌溉管网及喷滴灌头位置等因素,本文设计基于无线传感器网络的茶园精量灌溉控制系统,其结构如图 1 所示,主要包括传感器节点、执行器节点和汇聚节点。

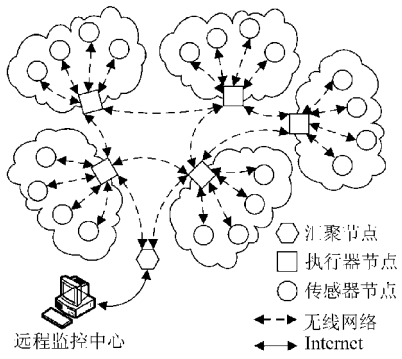


图 1 系统体系结构

Fig. 1 Architecture of the precision irrigation control system based on wireless sensor network

覆盖茶园的无线传感器网络采用分层结构。根据喷滴灌头位置、喷滴灌头灌溉范围、射频信号传输距离等参数,整个茶园划分为若干灌溉分区,每个灌溉分区放置一个执行器节点和适量传感器节点,形

成以执行器节点为中心的星形拓扑网络。

根据网络规模大小,各执行器节点与汇聚节点可构成星形或网状拓扑网络;汇聚节点通过 Internet 与远程监控中心连接;用户通过汇聚节点或远程监控中心访问、管理整个灌溉控制系统。

1.2 各组成部分功能

传感器节点对茶树需水信息(如土壤水势、大气温度等)进行周期采样,并将采样结果发往所在灌溉分区的执行器节点。

执行器节点接收所在灌溉分区内各传感器节点发出的茶树需水信息并对其进行适当处理,然后发送处理结果到汇聚节点或相邻执行器节点,同时根据来自汇聚节点或自身计算的灌溉控制命令调节喷滴灌头电磁阀开闭持续时间,实现茶园精量灌溉。

汇聚节点通过与执行器节点、远程监控中心、用户进行交互,实现无线传感器网络监督管理、茶树需水信息处理、灌溉控制命令计算等功能。

1.3 灌溉控制方案

由于无线传感器网络节点众多且在地域上高度分散,可使用灵活性较高的分布式控制方法进行灌溉控制^[14]。根据茶园规模,给出了两种分布式控制方案,如图 2 所示。

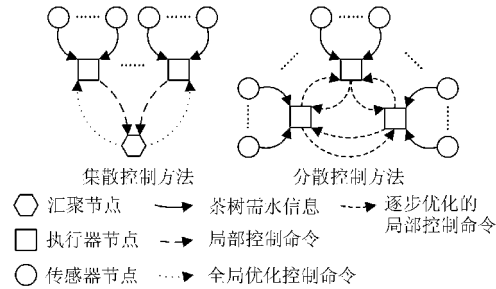


图 2 分布式控制方案

Fig. 2 Distributed control schemes

在集散控制方法中,执行器节点根据茶树需水信息计算局部控制命令并将其发往汇聚节点,汇聚节点收到全部局部控制命令后,最小化某个目标函数,计算适用于各灌溉分区的全局优化控制命令并发往各执行器节点。如果将执行器节点上运行的局部控制器放到汇聚节点上运行,则集散控制方法转换为集中控制方法^[9]。

在分散控制方法中,各执行器节点根据茶树需水信息计算局部控制命令,然后将其发往相邻执行器节点;当收到相邻执行器节点发出的局部控制命令后,各执行器节点最小化某个目标函数,并利用计算结果更新自身局部控制命令,然后再次将更新后的局部控制命令发往相邻执行器节点,上述过程重复多次,各执行器节点即可实现局部控制命令的全局优化^[15]。

2 功能模块设计

2.1 硬件设计

根据总体设计方案,综合考虑应用需求、性价比、可靠性、扩展能力、功耗等因素,设计了图3所示结构的网络节点,包括主板模块、传感器模块、执行器模块、射频模块、电源管理模块。其中,主板模块是网络节点硬件核心,连接不同功能模块即可分别构成传感器节点、执行器节点和汇聚节点。

主板模块完成信号处理、多任务调度、无线收发、功耗管理、灌溉控制等工作,选用16位超低功耗混合信号处理器 dsPIC33FJ128GP706A,可提供较丰富的计算、存储资源;板上扩展 SPI、ADC、PWM、CAN 总线等多种接口电路,可提供较强大的硬件扩展能力。

射频模块负责数据收发等工作,为降低设计难度,射频模块选用 MRF24J40MA,该模块支持 IEEE 802.15.4 协议,数据传输速率 250 kb/s,典型灵敏度 -94 dBm,最大射频输入功率 -23 dBm,典型输出功率 +0 dBm,有效传输距离大于 30 m,通过 SPI 接口与主板模块连接。

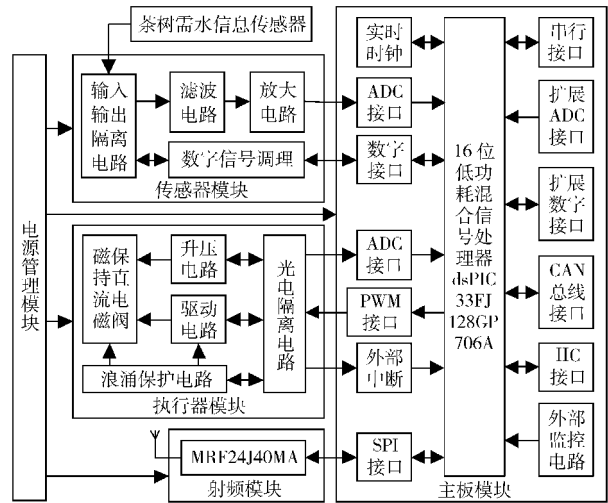


图3 网络节点硬件结构

Fig.3 Hardware structure of wireless sensor network nodes

传感器模块用于连接茶树需水信息传感器与主板模块,主要由传感器接口电路和信号调理电路构成,具体设计取决于所使用传感器类型。本设计使用了土壤水势传感器 EQ15 和微型气象站 WS-600。EQ15 输出 100 ~ 800 mV 模拟电压信号,经低通滤波、放大后,通过 ADC 接口与主板模块连接;WS-600 通过标准串行口输出大气温湿度、气压、风速、风向、降雨量、太阳辐射等微气象信息测量数据,可直接与主板模块连接。

执行器模块控制喷滴灌头电磁阀的开启和关

闭,主要包括升压电路、驱动电路和保护电路等,为节约电池电能,喷滴灌头电磁阀采用磁保持直流电磁阀 J041H-1.6-40-G;为满足电磁阀对驱动电压要求,升压电路由 TPS40210 及外围模拟电路构成;电磁阀驱动电路采用磁锁定保持型继电器 G2AK;电磁阀保护电路由快恢复二极管 FR304 和限流电阻构成;通过 PWM 控制接口与主板模块连接。

电源管理模块为网络节点提供所需电源,主要由不同容量锂电池、电池电量监测芯片 BQ2052、充电管理及电源变换芯片 TPS65010、电池保护芯片 BQ29440 和相应外围模拟电路构成。

2.2 软件设计

虽然不同类型节点实现不同功能,但运行软件的硬件环境基本相同,为提高软件开发效率,改善资源管理效率,便于程序修改和功能扩充,节点软件可按图4所示结构^[16]进行编写。

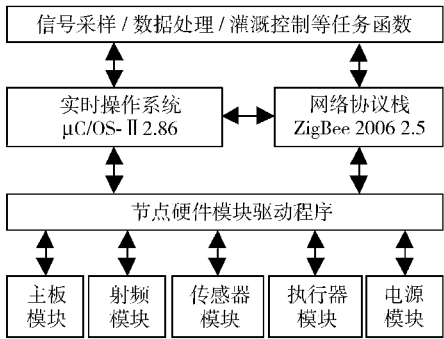


图4 网络节点软件结构框图

Fig.4 Software structure of wireless sensor network nodes

由图4可知,节点软件底层为根据硬件特点编写的驱动程序,中间层为嵌入式实时操作系统 μC/OS-II 2.86 和符合 IEEE 802.15.4-2003、ZigBee-2006 R13 规范的网络协议栈 ZigBee 2006 2.5,高层为实现信号采样、数据处理、无线通信、灌溉控制等应用功能的任务函数。由于实时操作系统、网络协议栈、硬件驱动程序可分别从生产商处获取代码,因此,软件设计重点是按图5所示有限状态机模型编写各任务函数。

由图5可知,节点上电后,首先进行硬件模块初始化,然后完成实时操作系统、网络协议栈运行环境初始化,在此基础上,建立无线通信网络并设置相关工作参数,最后进入多任务并行状态。在多任务并行状态下,节点执行空闲任务,处于低功耗待机状态。一旦出现某种触发条件(如定时器中断、状态标志位改变等),节点立即退出空闲任务,转而调用相应任务函数,当任务函数执行完毕后,节点重新返回低功耗待机状态。

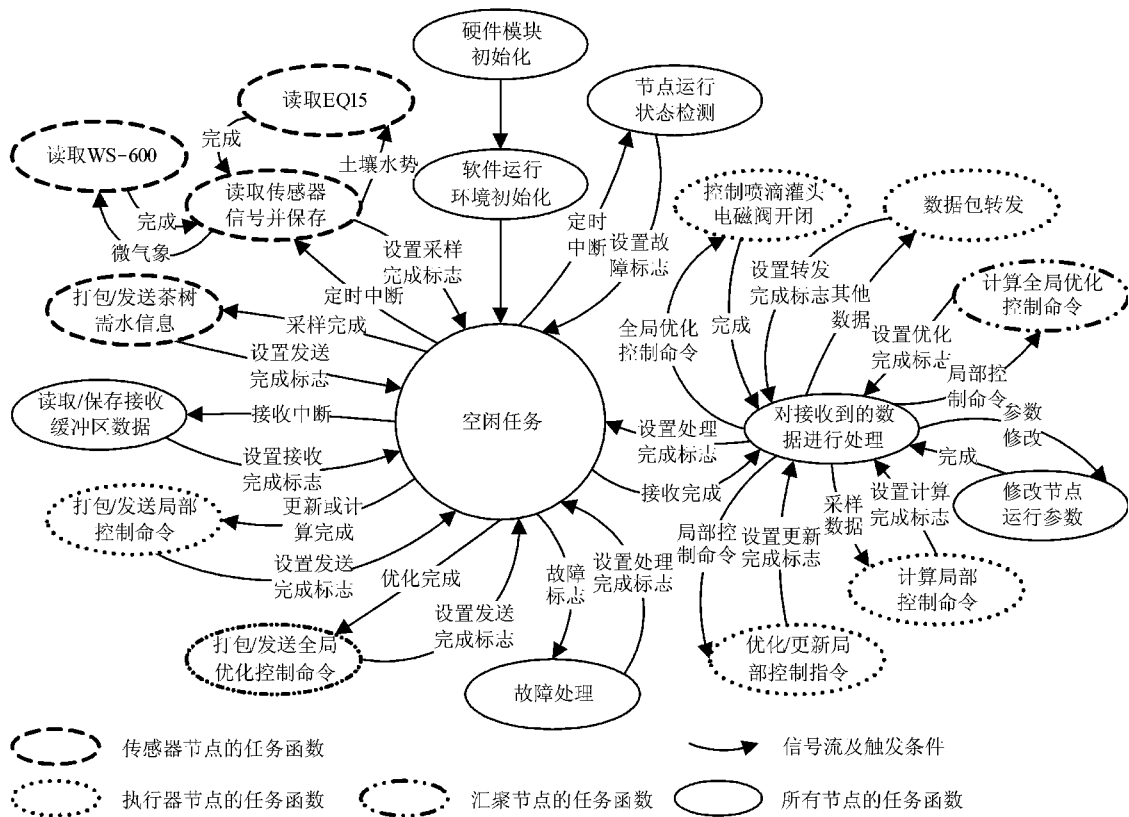


图 5 任务函数的有限状态机模型

Fig. 5 Finite state machine model of task functions

3 灌溉控制器设计

与图 2 给出的分布式控制方案相对应,灌溉控制器采用分层控制策略,底层为运行在执行器节点上的模糊控制器,高层为运行在汇聚节点(集散控制方法)或执行器节点(分散控制方法)上的最优化控制器。

底层模糊控制器可使执行器节点及时响应茶树需水信息变化,实现各灌溉分区局部灌溉控制,高层最优化控制器可按用户一定要求调整茶园灌溉过程,满足适当的灌溉质量评价指标。

3.1 模糊控制器

结合茶园灌溉控制要求,以归一化处理后的土壤水势和茶园蒸散量作为输入变量,灌溉时间系数作为输出变量^[17],通过多次灌溉试验,得到 Takagi - Sugemo 型模糊控制器

$$R_i: \text{ if } w_p(k) \text{ is } L_{w_p}^i \text{ and } e_t(k) \text{ is } L_{e_t}^i \text{ then}$$
$$w_t(k) = p_{i0} + p_{i1}w_p(k) + p_{i2}e_t(k)$$
$$(i = 1, 2, \cdots, q; k = 0, 1, \cdots, \infty; p_{i0} + p_{i1} + p_{i2} \leq 1)$$
$$(1)$$

其中 $w_p(k) = w_{pa}(k)/w_{pmax}$ $e_t(k) = e_{ta}(k)/e_{tmax}$
 $e_{ta}(k) = e_{t0}k_s k_c$
式中 R_i ——第 i 条模糊控制规则,共有 q 条规则
 k ——采样时刻

$w_p(k)$ 、 $e_t(k)$ ——输入变量,归一化处理后的土壤水势值、茶园蒸散量值
 $w_t(k)$ ——输出变量,灌溉时间系数
 $L_{w_p}^i$ 、 $L_{e_t}^i$ ——第 i 条模糊控制规则中,与 $w_p(k)$ 、 $e_t(k)$ 对应的模糊语言值
 p_{i0} 、 p_{i1} 、 p_{i2} ——第 i 条模糊控制规则的后件比例系数
 $w_{pa}(k)$ ——传感器获取的土壤水势实测值
 w_{pmax} ——试验确定的土壤水势最大值
 $e_{ta}(k)$ ——茶园蒸散量估计值
 e_{tmax} ——试验确定的茶园蒸散量最大值
 e_{t0} ——利用 FAO56 - Penman - Monteith 公式^[18]估算的茶园蒸散量参考值,公式所需环境参数通过 WS - 600 获取
 k_s ——土壤湿度修正系数
 k_c ——作物类型修正系数
归一化处理后, $w_p(k)$ 、 $e_t(k)$ 的取值范围为 0 ~ 1,可量化为 5 个等级 [0 0.23 0.46 0.69 0.92],对应的模糊语言值为 [Z S M B VB],使用单点模糊产生器、乘积推理机^[19],式(1)可转换为

$$w_t(k) = \sum_{i=1}^q \alpha_i (p_{i0} + p_{i1}w_p(k) + p_{i2}e_t(k)) \quad (2)$$

$$\alpha_i = w_i / \sum_{i=1}^q w_i > 0 \quad \left(\sum_{i=1}^q \alpha_i = 1 \right) \quad (3)$$
$$w_i = M_i^{\text{mwp}}(w_p(k)) \otimes M_i^{\text{met}}(e_t(k)) \quad (4)$$

式中 α_i ——模糊基函数
 w_i ——第 i 条模糊控制规则的前件强度
 $M_i^{\text{mwp}}(w_p(k))$ —— $w_p(k)$ 相对于 $L_{w_p}^i$ 的隶属度

$M_i^{\text{met}}(e_t(k))$ —— $e_t(k)$ 相对于 $L_{e_t}^i$ 的隶属度
 $\otimes$ ——模糊逻辑乘运算

表 1 给出了 $w_p(k)$ 、 $e_t(k)$ 取不同模糊语言值时,对应的后件比例系数取值,将其代入式(2)~(4),结合 $w_p(k)$ 、 $e_t(k)$ 在各采样时刻的取值,即可得到精确灌溉时间系数 $w_t(k)$ 。

表 1 输入变量和后件比例系数 p_{a0} , p_{a1} , p_{a2} 取值
Tab.1 Values of the input variables and consequent proportional coefficients

$w_p(k)$	$e_t(k)$				
	Z	S	M	B	VB
Z	0.0,0.0,0.0	0.0,0.1,0.1	0.1,0.1,0.2	0.2,0.3,0.3	0.4,0.1,0.4
S	0.2,0.0,0.1	0.2,0.3,0.2	0.2,0.4,0.4	0.3,0.1,0.2	0.4,0.1,0.1
M	0.3,0.1,0.1	0.3,0.4,0.2	0.4,0.1,0.1	0.4,0.2,0.3	0.5,0.3,0.1
B	0.5,0.2,0.1	0.5,0.3,0.1	0.6,0.1,0.1	0.6,0.2,0.1	0.7,0.1,0.2
VB	0.8,0.0,0.0	0.8,0.1,0.1	0.8,0.2,0.0	0.9,0.0,0.1	1.0,0.0,0.0

3.2 最优化控制器

最优化控制器的设计关键是将用户灌溉要求或质量评价指标转换为解析形式目标函数并求解。一般来说,茶园精量灌溉要求是:根据茶树需水信息适时、适量灌溉,既要均匀供水,又要节约用水,促进茶树健康生长^[3,12]。

根据上述要求,建立目标函数

$$J = \frac{1}{2} \sum_{j=1}^n \left[\frac{\theta}{2} \sum_{m=1}^{N_j} (w_{t_j}(k) - w_{t_m}(k))^2 + (1 - \theta) w_{t_j}^2(k) \right] \quad (0 \leq \theta \leq 1) \quad (5)$$

式中 $w_{t_j}(k)$ ——第 j 个执行器节点上运行的模糊控制器的输出变量
 $w_{t_m}(k)$ ——第 m 个执行器节点上运行的模糊控制器的输出变量
 N_j ——第 j 个执行器节点的所有邻居执行器节点组成的集合
 n ——茶园中执行器节点或灌溉分区个数
 θ ——权重系数

$$\begin{cases} \min J \\ \text{s. t. } 0 \leq w_{t_j}(k) \leq 1 \end{cases} \quad (6)$$

$$w_{t_j}^c(k) = w_{t_j}^{\text{opt}}(k) w_{t_{\max}} \quad (7)$$

式中 $w_{t_j}^c(k)$ ——第 j 个执行器节点控制的喷滴灌头电磁阀持续打开时间
 $w_{t_j}^{\text{opt}}(k)$ ——式(6)计算的最优灌溉时间系数
 $w_{t_{\max}}$ ——单次灌溉最长持续时间

将式(2)、(5)代入优化问题式(6),再将式(6)计算结果代入式(7),即可得到满足用户要求的全局优化灌溉控制指令。

优化问题式(6)的求解取决于灌溉控制系统使

用的控制方法。当使用集散控制方法时,各执行器节点先将 $w_{t_j}(k)$ 发往汇聚节点,当汇聚节点收到全部 $w_{t_j}(k)$ 后,求解偏导数

$$\frac{\partial J}{\partial w_{t_j}(k)} = \theta \sum_{m=1}^{N_j} (w_{t_j}(k) - w_{t_m}(k)) + (1 - \theta) w_{t_j}(k) = 0 \quad (8)$$

即可得到全局最优 $w_{t_j}^{\text{opt}}(k)$ 。

当使用分散控制方法时,各执行器节点先设置 $w_{t_j}^{\text{opt}}(k) = w_{t_j}(k)$,然后分别与邻居执行器节点交换 $w_{t_j}^{\text{opt}}(k)$,并更新 $w_{t_j}^{\text{opt}}(k)$ ^[20]

$$w_{t_j}^{\text{opt}}(k) = w_{t_j}^{\text{opt}}(k) + \Delta w_{t_j}^{\text{opt}}(k) \quad (9)$$

其中
$$\Delta w_{t_j}^{\text{opt}}(k) = -\varepsilon \frac{\partial J}{\partial w_{t_j}(k)} = -\varepsilon \left[\theta \sum_{m=1}^{N_j} (w_{t_j}(k) - w_{t_m}(k)) + (1 - \theta) w_{t_j}(k) \right] \quad (10)$$

式中 $\Delta w_{t_j}^{\text{opt}}(k)$ —— $w_{t_j}^{\text{opt}}(k)$ 的增量

ε ——步长,满足 $\varepsilon > 0$

上述交换、更新过程多次重复, $w_{t_j}(k)$ 即可转换为全局最优 $w_{t_j}^{\text{opt}}(k)$ 。

4 试验结果及分析

4.1 试验方案

在浙江省临安市某茶园进行试验。该茶园安装固定式喷灌系统,采用中压摇臂式旋转喷头,喷头出水量 18~20 m³/h,射程 25 m,有效灌溉范围是以喷头为中心、直径 40 m 的圆形区域(灌溉分区),喷头利用竖管与埋在土内的灌溉支管连接,通过直流电磁阀控制喷头开闭。

建立 A、B 两个试验区,每个试验区由 15 个灌溉分区组成,A 试验区包含汇聚节点,采用集散控制方法,B 试验区采用分散控制方法。每个灌溉分区放置 2 个传感器节点和 1 个执行器节点;传感器节点放在距喷头竖管 20 m 的支架上,分别连接土壤水势传感器 EQ15 和微气象站传感器 WS-600,获取模糊控制器式(1)所需的土壤水势和茶园蒸散量信息;执行器节点挂在喷头竖管上,与控制喷头开闭的直流电磁阀连接。汇聚节点放在靠近灌溉区的水泵房中,通过串行口与计算机连接。

设置传感器节点采样周期 10 min,数据包大小 64 B, $w_{lmax}=90\text{ min}$, $\varepsilon=0.015$, $\theta=0.5$, $n=15$, $w_{pmax}=-1\,500\text{ kPa}$, $e_{lmax}=20\text{ mm/d}$, N_j 通过读取网络协议栈的邻接表确定,式(9)、(10)重复计算次数为 30;时间同步、地址分配等见文献[21]。

试验时间为 2009-08-21 至 2009-09-20,共 31 d,试验方法为每天 8:00、13:00、18:00 人工记录各灌溉分区的土壤水势,每天 18:30 计算机自动读取汇聚节点在过去 24 h 内接收的所有土壤水势数据,通过分析这些土壤水势数据,验证所设计灌溉控制系统的不同方面性能。

4.2 试验结果

主要试验结果如图 6~9 所示。

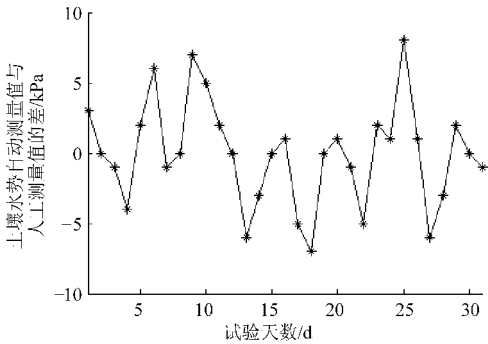


图 6 A 试验区土壤水势自动测量值与人工测量值的差

Fig.6 Difference between automatic and manual measurement of soil water potential in test area A

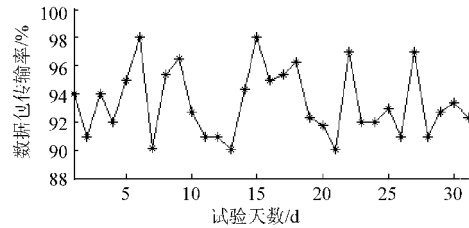


图 7 A 试验区土壤水势数据包传输率曲线

Fig.7 Delivery rate curve of soil water potential packet in test area A

由图 6 可知,整个试验期间,A 试验区土壤水势人工测量平均值与自动测量平均值之间的差值小于 $\pm 8\text{ kPa}$,表明所设计灌溉控制系统能实现茶园不同

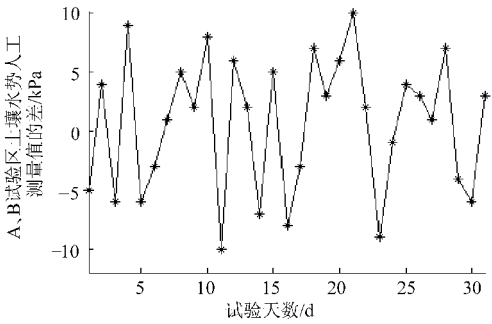


图 8 A、B 试验区土壤水势人工测量值的差

Fig.8 Difference between manual measurement of soil water potential in test area A and in test area B

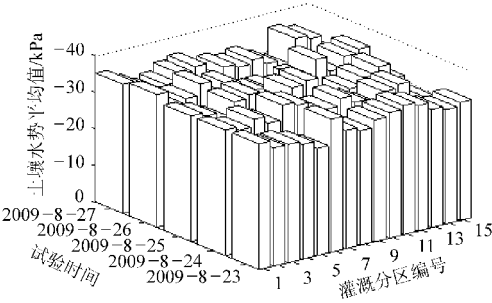


图 9 B 试验区土壤水势的时空分布

Fig.9 Spatial-temporal distribution of soil water potential in test area B

位置土壤水势的准确测量,具备准确测量其他茶树需水信息的能力。

由图 7 可知,整个试验期间,A 试验区传感器节点发出的土壤水势数据包绝大多数可被汇聚节点接收,正确传输率高于 90%,表明所设计灌溉控制系统具备无线、远程、可靠传输各种数据包的能力。

由图 8 可知,整个试验期间,A 试验区土壤水势人工测量平均值与 B 试验区土壤水势人工测量平均值之间的差值小于 $\pm 10\text{ kPa}$,表明两套灌溉控制系统的灌溉控制效果类似,集散控制方法和分散控制方法的控制性能相当。

由图 9 可知,B 试验区内各灌溉分区的土壤水势人工测量平均值连续 5 d(气象条件相同,日平均气温 27°C 以上,晴热无雨,茶园需要灌溉)都保持在 $-29\sim-36\text{ kPa}$ 内,由于整个试验期间 A、B 试验区土壤水势人工测量平均值的差在 $\pm 10\text{ kPa}$ 内,表明采用不同控制方法的两套灌溉控制系统都能够实现适时、适量、按需、时空均匀灌溉。

4.3 讨论

传感器节点、执行器节点的空间布置应根据茶树植株高度、灌溉管网及喷滴灌头位置、茶园地形地貌、射频信号强度、数据传输距离优化设计,各种传感器的安放应考虑茶园土壤性质及用户对茶树需水信息的测量要求。

目标函数式(5)着眼于提高灌溉均匀性和节约

灌溉用水,体现了用户对灌溉过程的总体要求,可根据实际需要对目标函数进行修改或建立多个目标函数,从而得到满足不同灌溉控制要求(如提高灌溉效率等)的优化灌溉方案。

使用集散控制方法时,计算得到的灌溉控制指令一定是全局最优的,使用分散控制方法时,局部控制指令的优化程度取决于式(9)重复执行次数。重复次数越多,局部控制指令越接近全局最优,但执行器节点通信量越大,优化计算所需时间越长。

在分散控制方法中,重复执行式(9)来求解优化问题式(6)的方法也称为梯度下降法,步长 ε 的取值影响解的收敛性,在保证收敛性的前提下,合理选择步长可减少重复执行式(9)的次数^[20]。

从灌溉控制角度来看,集散控制方法适用于网络节点少、结构简单的中小规模无线传感器网络,分散控制方法适用于网络节点多、结构复杂的大规模无线传感器网络,在两种情况下,各种数据包通过单跳传输即可到达目的地,无需使用复杂路由管理机制来提高通信质量,可有效降低大规模无线传感器网络的设计实现难度。

当灌溉控制系统既要实现茶园环境远程监测又要实现茶园灌溉控制时,系统必须使用汇聚节点且执行器节点必须转发茶树需水信息等数据到汇聚节

点,在这种情况下,系统应优先使用集散控制方法或集中控制方法。

5 结论

(1)开发了基于无线传感器网络的茶园分布式灌溉控制系统,介绍了系统结构及详细的软硬件设计方案,提出了集散控制方法、分散控制方法两种分布式灌溉控制方法,设计了由模糊控制器和最优化控制器组成的分层灌溉控制器。

(2)通过试验分析了所设计分布式灌溉控制系统的性能。试验结果表明,采用不同灌溉控制方法的两套灌溉控制系统都能够准确采集茶园不同位置茶树需水信息,能够实现各种数据包的远程、无线、可靠传输,能够按照用户要求、以较高精度实现茶园按需、适时、均匀、节水灌溉,能够在环境条件复杂多变的露天茶园中长时间连续、稳定运行。

(3)开发的灌溉控制系统同时实现了茶树需水信息采集和茶园精量灌溉控制,提出的两种分布式灌溉控制方法可分别用于不同规模茶园的灌溉控制,设计的分布式、分层灌溉控制器具有较高灵活性,兼顾了茶园局部和茶园整体灌溉控制要求,是对现有以实现精量灌溉为目标的各种作物需水信息监测系统的有益补充。

参 考 文 献

- 1 黄寿波. 茶树气象生态及其调控方法[J]. 茶叶, 2004, 30(3): 127~129.
Huang Shoubo. Meteorological ecology of tea plant and its control [J]. Journal of Tea, 2004, 30(3): 127~129. (in Chinese)
- 2 李胜多. 茶园节水灌溉控制系统的设计[J]. 农机化研究, 2010, 32(8): 98~100.
Li Shengduo. Design of a control system of tea plantation irrigation [J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2010, 32(8): 98~100. (in Chinese)
- 3 康绍忠, 蔡焕杰, 冯绍元. 现代农业与生态节水的技术创新与未来研究重点[J]. 农业工程学报, 2004, 20(1): 1~6.
Kang Shaozhong, Cai Huanjie, Feng Shaoyuan. Technique innovation and research fields of modern agricultural and ecological water-saving in the future [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2004, 20(1): 1~6. (in Chinese)
- 4 金宏智, 严海军, 钱一超. 国外节水灌溉工程技术发展分析[J]. 农业机械学报, 2010, 41(增刊): 59~63.
Jin Hongzhi, Yan Haijun, Qian Yichao. Overseas development of water-saving irrigation engineering technology [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2010, 41(Supp.): 59~63. (in Chinese)
- 5 刘秀珍, 郑德聪, 马骏, 等. 精确灌溉与施肥自动化管理系统的研制与实现[J]. 水土保持学报, 2006, 20(5): 197~200.
Liu Xiuzhen, Zheng Decong, Ma Jun, et al. Accurate to irrigate and apply fertilizer automatic research of administrative system and realize [J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2006, 20(5): 197~200. (in Chinese)
- 6 Cullar D, Estrin D, Srivastava M. Overview of sensor networks [J]. Computer, 2004, 37(8): 41~49.
- 7 邴志刚, 卢胜利, 刘景泰. 面向精准灌溉的传感器网络的研究[J]. 仪器仪表学报, 2006, 27(6): 294~296.
Bing Zhigang, Lu Shengli, Liu Jingtai. Research on sensor networks for precision irrigation [J]. Chinese Journal of Scientific Instrument, 2006, 27(6): 294~296. (in Chinese)
- 8 高峰, 俞立, 张文安, 等. 基于茎直径变化的无线传感器网络作物精量灌溉系统[J]. 农业工程学报, 2008, 24(11): 7~12.

- Gao Feng, Yu Li, Zhang Wenan, et al. Preliminary study on crop precision irrigation system based on wireless sensor networks for stem diameter micro-variation [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2008, 24(11): 7 ~ 12. (in Chinese)
- 9 张伟, 何勇, 裘正军, 等. 基于无线传感器网络与模糊控制的精细灌溉系统设计[J]. 农业工程学报, 2009, 25(增刊2): 7 ~ 12.
- Zhang Wei, He Yong, Qiu Zhengjun, et al. Design of precision irrigation system based on wireless sensor network and fuzzy control [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2009, 25(Supp. 2): 7 ~ 12. (in Chinese)
- 10 冯友兵, 张荣标, 沈敏. 面向精确灌溉的无线传感器网络构建[J]. 农业机械学报, 2009, 40(1): 56 ~ 59.
- Feng Youbing, Zhang Rongbiao, Shen Min. Construction of wireless sensor networks for precision irrigation [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2009, 40(1): 56 ~ 59. (in Chinese)
- 11 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, Wang Ning, Hong Tiansheng, et al. Design of wireless sensor network system based on in-field soil water content monitoring [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2010, 26(2): 212 ~ 217. (in Chinese)
- 12 蔡甲冰, 刘钰, 雷廷武, 等. 精量灌溉决策定量指标研究现状与进展[J]. 水科学进展, 2004, 15(4): 531 ~ 537.
- Cai Jiabing, Liu Yu, Lei Tingwu, et al. Review of indices for precision irrigation decision-making [J]. Advances in Water Science, 2004, 15(4): 531 ~ 537. (in Chinese)
- 13 龚道枝, 雷志栋, 郝卫平. 基于果树需水信号的精量灌溉控制理论与技术[J]. 灌溉排水学报, 2009, 28(4): 6 ~ 9.
- Gong Daozhi, Lei Zhidong, Hao Weiping. Theory and technology of plant-based precision irrigation in orchard [J]. Journal of Irrigation and Drainage, 2009, 28(4): 6 ~ 9. (in Chinese)
- 14 Lin Y, Megerian S. Low cost distributed actuation in large-scale Ad-Hoc sensor-actuator networks[C]//Proceedings of 2005 International Conference on Wireless Networks, Communications and Mobile Computing, Maui, HI, USA, 2005: 975 ~ 980.
- 15 Masayuki N, Asushi S, Shizuo F, et al. Collaborative processing in Mote-based sensor/actuator networks for environment control application [J]. Signal Processing, 2008, 88(7): 1 827 ~ 1 838.
- 16 韩安太, 何勇, 李剑锋, 等. 基于无线传感器网络的粮虫声信号采集系统设计[J]. 农业工程学报, 2010, 26(6): 181 ~ 187.
- Han Antai, He Yong, Li Jianfeng, et al. Design of acoustic signal acquisition system of stored grain pests based on wireless sensor networks [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2010, 26(6): 181 ~ 187. (in Chinese)
- 17 裘正军, 童晓星, 沈杰辉, 等. 基于模糊控制与虚拟仪器的灌溉决策系统研究[J]. 农业工程学报, 2007, 23(8): 165 ~ 169.
- Qiu Zhengjun, Tong Xiaoxing, Shen Jiehui, et al. Irrigation decision-making system based on the fuzzy-control theory and virtual instrument [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2007, 23(8): 165 ~ 169. (in Chinese)
- 18 Lecina S, Martubea-cob A, Perez P J, et al. Fixed versus variable bulk canopy resistance for reference evapotranspiration estimation using the Penman - Monteith equation under semi-arid condition [J]. Agricultural and Water Management, 2003, 60(3): 181 ~ 198.
- 19 Kevin M P, Stephen Y. Fuzzy control [M]. 北京: 清华大学出版社, 2001.
- 20 张洪钺, 王青. 最优控制理论与应用[M]. 北京: 高等教育出版社, 2006.
- 21 Flowers D, Otten K, Yang Y F. Microchip ZigBee wireless networking protocols user programming guide [EB/OL]. [2008 - 10 - 11]. <http://www.microchip.com/ZigBee/DS00965.pdf>.