



# (12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 115655468 A

(43) 申请公布日 2023. 01. 31

(21) 申请号 202211307152.7

G06V 10/30 (2022.01)

(22) 申请日 2022.10.25

G06F 17/16 (2006.01)

(71) 申请人 华南农业大学

地址 510642 广东省广州市天河区五山路  
483号

(72) 发明人 谢家兴 赵帅 宋淑然 刘梓伊  
张振宇 付仙冰 华佳俊 何培华  
余振邦 张笑微 肖傲

(74) 专利代理机构 北京盛凡佳华专利代理事务  
所(普通合伙) 11947

专利代理师 汤镇宇

(51) Int. Cl.

G01J 3/28 (2006.01)

G01J 5/48 (2006.01)

G06V 20/17 (2022.01)

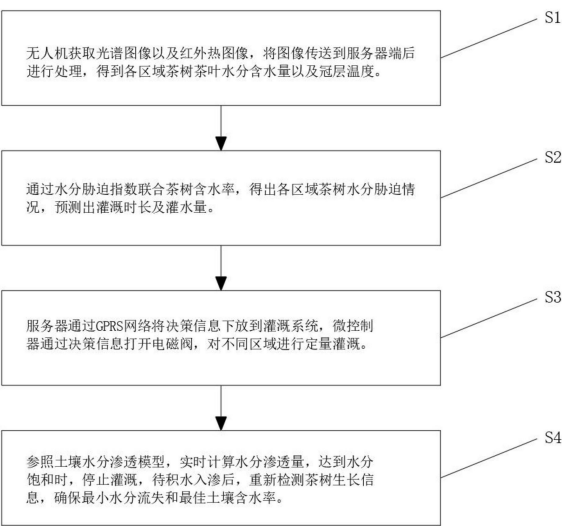
权利要求书4页 说明书8页 附图2页

## (54) 发明名称

一种基于无人机光谱遥感的多传感器灌溉  
响应系统和方法

## (57) 摘要

本发明属于无人机灌溉技术领域,具体为一种基于无人机光谱遥感的多传感器灌溉响应系统和方法,无人机获取茶树园光谱图像以及红外热图像信息,同时,通过气象台获得茶树的一系列生长环境信息对所述的光谱图像及红外热成像图像信息进行预处理和数据提取后,结合气象台的茶树生长信息建立茶树水分胁迫指数,根据茶树需水量公式及茶树水分胁迫程度确定各区域灌溉量,通过网关下发灌溉决策信息到各个微控制器节点,打开电磁阀,实现灌溉,水分入渗量和土壤水分湿度状态决定是否继续灌溉,达到土壤水分湿度饱和后,停止灌溉;本发明便于精确地获得土壤含水率信息,便于计算决策不同土壤灌溉所需的用水量,便于提高水分利用率,降低水资源的浪费。



1. 一种基于无人机光谱遥感的多传感器灌溉响应系统和方法, 其特征在于, 包括以下步骤:

S1. 无人机获取茶树园光谱图像以及红外热图像信息, 同时, 通过气象台获得茶树的一系列生长环境信息;

S2. 一种基于无人机光谱遥感的多传感器灌溉响应系统和方法, 其特征在于: 对所述的光谱图像及红外热成像图像信息进行预处理和数据提取后, 结合气象台的茶树生长信息建立茶树水分胁迫指数, 根据茶树需水量公式及茶树水分胁迫程度确定各区域灌溉量;

S3. 一种基于无人机光谱遥感的多传感器灌溉响应系统和方法, 其特征在于: 通过网关下发灌溉决策信息到各个微控制器节点, 打开电磁阀, 实现灌溉;

S4. 一种基于无人机光谱遥感的多传感器灌溉响应系统和方法, 其特征在于: 根据实时的水分入渗量和土壤水分湿度状态决定是否继续灌溉, 达到土壤水分湿度饱和后, 停止灌溉。

2. 根据权利要求1所述的一种基于无人机光谱遥感的多传感器灌溉响应系统和方法, 其特征在于: 茶树水分胁迫状况的获取;

所述茶树水分胁迫状况获取步骤包括:

S1: 所述的水分胁迫指数公式如下所示:

$$CWSI = \frac{(T_c - T_a) - (T_c - T_a)_{II}}{(T_c - T_a)_{u1} - (T_c - T_a)_{II}}$$

公式中: CWSI 为作物水分胁迫指数;  $T_c$  和  $T_a$  分别为冠层的表面温度和上方空气温度,  $(T_c - T_a)_{II}$  为作物在潜在蒸发状态下的冠气温差, 是冠气温差的下限:  $^{\circ}\text{C}$ ;  $(T_c - T_a)_{u1}$  为作物无蒸腾条件下的冠气温差, 是冠气温差的上限:  $^{\circ}\text{C}$ ;

S2: 其中  $(T_c - T_a)_{II} = A + Bp_{vpd}$ , A, B 分别为线性回归系数,  $p_{vpd}$  为空气的饱和水汽压差: Pa;

S3:  $VPD = 0.61078 * e^{\frac{17.27 * T_a}{T_a + 237.3}} * (1 - RH)$ ,

其中,  $T_a$  为空气气温, RH 为空气相对湿度, 可由气象台传感器采集得出;

S4: 通过采集多组  $T_c$ ,  $T_a$  值可获得 AB 系数值;

S5:  $(T_c - T_a)_{u1} = A + Bp_{vpd}$ ,  $p_{vpd}$  为温度为  $T_a$  时的空气饱和水汽压和温度为  $T_a + A$  时的空气饱和水汽压差: Pa;

S6: 通过无人机获取的茶叶冠层温度, 气象台获取的冠层上方气温, 空气相对湿度信息, 代入公式得出茶叶冠气温差, 最终得到茶树的水分胁迫指数。

3. 根据权利要求1所述的一种基于无人机光谱遥感的多传感器灌溉响应系统和方法, 其特征在于: 所述需水量的计算,

$$S1: \text{作物蒸散量 } ET_0 = \frac{0.408 \Delta (R_n - G) + \gamma (900 / (T + 273)) u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma (1 + 0.34 u_2)}$$

公式中,  $R_n$  为作物表面净辐射,  $\text{MJ} / (\text{m}^2 \cdot \text{d})$ ;  $G$  为土壤热通量:  $\text{MJ} / (\text{m}^2 \cdot \text{d})$ ;  $T$  为地面 2m 高处日平均气温:  $^{\circ}\text{C}$ ;  $u_2$  为 2m 高处风速:  $\text{m} / \text{s}$ ;  $e_s$  为饱和水汽压: kPa;  $e_a$  为实际水汽压: kPa,

$\Delta$  为饱和水汽压与气温关系曲线斜率:  $\text{kPa} / ^{\circ}\text{C}$ ;  $\gamma$  为湿度表常数:  $\text{kPa} / ^{\circ}\text{C}$ ;

S2: 茶树作物需水量  $ET_c = K_c ET_0$

公式中,  $ET_c$  为作物实际耗水量: mm/d;  $K_c$  为作物系数;  $ET_0$  为参考作物蒸散量: mm/d。

4. 根据权利要求1所述的一种基于无人机光谱遥感的多传感器灌溉响应系统和方法, 其特征在于: 通过GPRS网络实现数据发送和上传; GPRS网关采用SIM900A模块, 用于实现在网络覆盖条件较差情况下, 仍可以实现网络数据的正常传输, 达到灌溉的正常运转的目的, 比如在乡村, 山地等情况。同时, GPRS网络通过气象台天气数据实现天气预警, 通过GPRS模块发送手机短信到用户, 用户根据短信监控茶树园环境信息, 操作简便, 没有繁琐的界面操作, 适合推广到广大用户。

5. 根据权利要求1所述的一种基于无人机光谱遥感的多传感器灌溉响应系统和方法, 其特征在于: 建立了土壤水分入渗模型来计算土壤水分的实时入渗量, 所述土壤水分入渗量模型建立步骤如下:

S1: 渗透模型选用Kostiakov三参数入渗模型, 这是一种纯经验型公式, Kostiakov三参数入渗公式为:  $i(t) = Kt^{-a} + f_0$

公式中:  $i(t)$  为  $t$  时刻的累积入渗量: cm;  $t$  为入渗时间: min;  $K$  为入渗系数指入渗开始后第一个单位时间末扣除相对稳定入渗率后的累积入渗量: cm;  $a$  为入渗指数, 能够反映土壤入渗能力的衰减速度; 两者均为由实测资料拟合得到的经验常数, 由土壤基本理化性质以及入渗初始条件所决定。  $f_0$  为土壤相对稳定入渗率, 即单位土壤势梯度下饱和土壤的入渗速度或非饱和土壤入渗达到相对稳定阶段的入渗速度: cm/min。在实际工作中的应用均较为普遍, 特别是三参数模型广泛应用于地面灌溉入渗过程的模拟;

S2: 获取Kostiakov的各项系数首先对茶树园土壤进行各项试验, 如: 土壤容重、土壤含水量、土壤有机质组成成分等等, 这些都会对各项系数产生影响, 当然有一些影响较小的可以剔除, 通过建立T检验来获得各项系数的结构特征。最终确定各项系数的线性预报模型结构:

$$K = \beta_0 + \beta_1 r_0 + \beta_2 \theta_1 + \beta_3 \omega_1 + \beta_4 \omega_2 + \beta_5 G$$

$$a = \beta_0 + \beta_1 r_0 + \beta_2 r_2 + \beta_3 \theta_2 + \beta_4 \omega_2 + \beta_5 \omega_3 + \beta_6 G$$

$$f_0 = \beta_0 + \beta_1 r_0 + \beta_2 \omega_2 + \beta_3 \omega_3 + \beta_4 G$$

公式中:  $\gamma_0$  为 0~10cm 的土壤容重: g/cm<sup>3</sup>;  $\gamma_1$  为 0~20cm 土壤容重: g/cm<sup>3</sup>;  $\gamma_2$  为 20~40cm 土壤容重: g/cm<sup>3</sup>;  $\theta_1$  为 0~20cm 土壤体积含水率;  $\theta_2$  为 20~40cm 土壤体积含水率;  $\omega_1$  为 0~20cm 砂粒质量分数;  $\omega_2$  为 0~20cm 粉粒质量分数;  $\omega_3$  为 0~20cm 黏粒质量分数;  $G$  为 0~20cm 有机质含量;

S3: 通过入渗公式:  $i(t) = Kt^{-a} + f_0$ , 求得任意时刻的土壤累积入渗量。

6. 根据权利要求1所述的一种基于无人机光谱遥感的多传感器灌溉响应系统和方法, 其特征在于: 无人机巡航获取茶树园光谱图像以及红外热图像信息; 气象台获取茶树生长环境信息, 如: 最高温度, 最低温度, 最高湿度, 最低湿度, 光照度, 风速; 通过多传感器模糊融合获取土壤水分湿度状态。

所述土壤水分湿度状态确立步骤如下:

S1: 根据渗透模型拟合曲线获取不同时间段水分入渗量, 每次灌溉水之后, 实时监测多传感器的数据融合值, 进而再次判断是否需要继续灌溉, 整个灌溉入渗过程设置为 1h/周期;

S2: 如图3所示, 把要测量的土壤按单位面积采用一维垂直法划分为  $i$  组, 每组间隔为

jcm,测量土壤深度为 $i*jcm$ ,水平划分为k组,分别处于不同位置,具体实施可根据实际土壤环境确定;

S3:由于在土壤水分入渗前期,湿度变化较快,为了使输入变量(湿度)能够模拟当前土壤水分入渗的湿度状态,对其进行模糊化处理,使得每个输入变量对应一种湿度状态;

S4:根据专家经验,建立模糊集“100%含水量”,“80%含水量”,“60%含水量”,“40%含水量”,“20%含水量”;

S5:模糊集表示为:

$$F = \{\mu_F(u_1)/u_1, \mu_F(u_2)/u_2, \dots, \mu_F(u_n)/u_n\};$$

S6:根据专家尝试及经验,设定各百分比含水率对应湿度区间,然后用MATLAB建立隶属函数u;

S7:建立模糊综合评判模型。对于综合评判有三要素:

$$\text{因素集 } U = \{u_1, u_2, u_3, \dots, u_n\}$$

它是评判对象的各因素组成的集合,在这里表示湿度传感器位于土壤不同深度的n个不同区域,

$$U = \{\text{土壤深度}3cm, \text{土壤深度}6m, \dots, \text{土壤深度}30m\}$$

$$\text{判断集 } V = \{v_1, v_2, v_3, \dots, v_n\}$$

它是评语组成的集合,在这里表示传感器对应的模糊状态,如:

$V = \{20\% \text{含水率}, 40\% \text{含水率}, 60\% \text{含水率}, 80\% \text{含水率}, 100\% \text{含水率}\}$ ,用于收集多点传感器数据所对应的土壤湿度状态。

单因素判断,即对单个因素 $u_i (i=1, 2, 3, \dots, n)$ 的评判,得到V上的模糊集 $(r_{i1}, r_{i2}, r_{i3}, \dots, r_{im})$ ,它是从U到V的一个模糊映射, $f: U \rightarrow F(V; u_i \rightarrow (r_{i1}, r_{i2}, r_{i3}, \dots, r_{im}))$ ;

S8:模糊映射f可以确定一个模糊关系,称为评判矩阵R:

$$R = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \dots & r_{1m} \\ r_{21} & r_{22} & \dots & r_{2m} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ r_{n1} & r_{n2} & \dots & r_{nm} \end{bmatrix}$$

评判矩阵是R是由所有对单因素评判的F集合所组成的。由于各因素地位未必相等,所以需要对各因素加权。例如:各个水分传感器深度不同,对应的影响权值则不同;

S9:用U上的F集合 $A = (a_1, a_2, a_3, \dots, a_n)$ 表示各因素的权数分配,它与评判矩阵R的合成,作为对各因素的综合评判,可以得到数据融合后的综合评判模型:

$$A \circ R = B = (b_1, b_2, b_3, \dots, b_m)$$

$$\text{其中, } A = (a_1, a_2, a_3, \dots, a_n); \sum_{i=1}^n a_i = 1, a_i \geq 0;$$

$$R = (r_{ij})_{n \times m},$$

$$b_j = \sum_{i=1}^n a_i r_{ij}, j=1, 2, 3, \dots, m。$$

此外, $b_j$ 是 $r_{ij}$ 的函数( $i=1, 2, 3, \dots, n$ ),将其集合B称为评判函数;

S10:各个深度的水分传感器数据融合,由多点采集的水分湿度数据,经过模糊化处理,转换成某个区域对应的土壤水分湿度状态。使得到的数据能够准确地反映当前环境下的土壤水分湿度状态。

## 一种基于无人机光谱遥感的多传感器灌溉响应系统和方法

### 技术领域

[0001] 本发明属于无人机灌溉技术领域,具体是一种基于无人机光谱遥感的多传感器灌溉响应系统和方法。

### 背景技术

[0002] 在中国专利CN201711478980.6中,本发明公开了一种基于无人机的山地柑橘园灌溉控制系统和方法,所述系统包括:多个灌溉节点,与灌溉节点无线连接的无人机;每个灌溉节点包括:第一核心处理器,与第一核心处理器电连接的土壤温湿度传感器模块、双稳态电磁阀模块、GPS模块和第一无线通信模块;无人机包括:第二核心处理器,与第二核心处理器电连接的九轴运动传感器模块、无刷电机电子调速器模块、气压计模块、GPS电子罗盘二合一模块、第二无线通信模块和无线控制模块;第一无线通信模块和第二无线通信模块无线连接。本发明公开提供了基于无人机的山地柑橘园灌溉控制系统和方法,将无人机技术应用在山地柑橘园中,有效减少柑橘种植的劳动力投入,提高了山地柑橘灌溉效率。

[0003] 现有的无人机灌溉系统及方法存在难以精确地获得土壤含水率信息,难以计算决策不同土壤灌溉所需的用水量,难以提高水分利用率的问题。

[0004] 因此,针对上述问题提出一种基于无人机光谱遥感的多传感器灌溉响应系统和方法。

### 发明内容

[0005] 为了弥补现有技术的不足,解决了现有的无人机灌溉系统及方法存在难以精确地获得土壤含水率信息,难以计算决策不同土壤灌溉所需的用水量,难以提高水分利用率的问题。

[0006] 本发明解决其技术问题所采用的技术方案是:

[0007] 包括以下步骤:

[0008] S1.无人机获取茶树园光谱图像以及红外热图像信息,同时,通过气象台获得茶树的一系列生长环境信息;

[0009] S2.一种基于无人机光谱遥感的多传感器灌溉响应系统和方法,其特征在于:对所述的光谱图像及红外热成像图像信息进行预处理和数据提取后,结合气象台的茶树生长信息建立茶树水分胁迫指数,根据茶树需水量公式及茶树水分胁迫程度确定各区域灌溉量;

[0010] S3.一种基于无人机光谱遥感的多传感器灌溉响应系统和方法,其特征在于:通过网关下发灌溉决策信息到各个微控制器节点,打开电磁阀,实现灌溉;

[0011] S4.一种基于无人机光谱遥感的多传感器灌溉响应系统和方法,其特征在于:根据实时的水分入渗量和土壤水分湿度状态决定是否继续灌溉,达到土壤水分湿度饱和后,停止灌溉。

[0012] 优选的,利用搭载了多光谱相机及红外成像的无人机对整个茶树园进行巡航拍摄,获取茶树园光谱图像及红外热成像图像。

[0013] 优选的,通过气象台获取茶树的一系列生长环境信息,由多种传感器采集获得,所述的生长环境信息包括:最高温度,最低温度,最高湿度,最低湿度,光照度,风速。

[0014] 优选的,将无人机获取的图像信息和气象台获取的茶树生长环境信息分区域上传到服务器端,服务器端保存后传送到智能决策系统进行数据处理。

[0015] 优选的,对光谱图像处理包括预处理和线性回归预测模型建立,预处理主要降低图像散射,消除图像信噪比,偏最小二乘回归法用来预测茶树冠层含水量。

[0016] 所述的光谱图像预测模型建立步骤如下:

[0017] S1.首先对光谱图像进行多元散射校正预处理

$$[0018] \quad \bar{A}_{i,j} = \frac{\sum_{i=1}^n A_{i,j}}{n}$$

$$[0019] \quad A_i = m_i \bar{A} + b_i$$

$$[0020] \quad A_{i(MSC)} = \frac{(A_i - b_i)}{m_i}$$

[0021] 公式中:

[0022] A:  $n \times p$  维定标光谱数据矩阵; n: 定标样品数;  $\bar{A}$ : 平均光谱矢量;  $A_i$ : 单个样品光谱矢量;  $m_i$ : 相对偏移系数;  $b_i$ : 相对偏移量;

[0023] S2.校正结束后用偏最小二乘回归法PLSR对光谱图像线性建模。

[0024] 首先,分解矩阵S和矩阵M,

$$[0025] \quad S = ZK^Z + A$$

$$[0026] \quad M = RD^Z + B$$

[0027] 公式中:S:光谱矩阵;Z:X的得分矩阵;K:S的载荷矩阵;A:S的残差矩阵;M:浓度矩阵;R:M的得分矩阵;D:M的载荷矩阵;B:M的残差矩阵;

[0028] S3.其次,对Z和R进行回归分析,

$$[0029] \quad R = ZL$$

$$[0030] \quad L = (Z^Z Z)^{-1} Z^Z M;$$

[0031] S4.在对未知样品光谱进行预测时,先由K得到未知样品的光谱矩阵S未知的Z未知得分矩阵,然后计算得到M未知。

$$[0032] \quad M_{\text{未知}} = Z_{\text{未知}} L D$$

[0033] 优选的,对红外图像的处理:首先经过预处理对图像进行降噪,干扰背景剔除后,提取冠层区域,通过正态分布拟合曲线,最终得到冠层温度。

[0034] 优选的,基于无人机冠层温度数据及气象台茶树生长信息,联合茶叶冠层含水率,建立茶树水分胁迫指数。

[0035] 所述的水分胁迫指数公式如下所示:

$$[0036] \quad CWSI = \frac{(T_c - T_a) - (T_c - T_a)_{II}}{(T_c - T_a)_{u1} - (T_c - T_a)_{II}}$$

[0037] 公式中:CWSI为作物水分胁迫指数; $T_c$ 和 $T_a$ 分别为冠层的表面温度和上方空气温度。

[0038]  $(T_c - T_a)_{II}$  为作物在潜在蒸发状态下的冠气温差,是冠气温差的下限:℃;  
 $(T_c - T_a)_{u1}$  为作物无蒸腾条件下的冠气温差,是冠气温差的上限:℃

[0039] 其中,  $(T_c - T_a)_{II} = A + Bp_{vpd}$ , A, B 分别为线性回归系数,  $p_{vpd}$  为空气的饱和水汽压差: Pa。

[0040]  $VPD = 0.61078 * e^{\frac{17.27 * T_a}{T_a + 237.3}} * (1 - RH)$  ;

[0041] 其中,  $T_a$  为空气气温, RH 为空气相对湿度,可由气象台传感器采集得出。

[0042] 通过采集多组  $T_c, T_a$  值可获得 AB 系数值。

[0043]  $(T_c - T_a)_{u1} = A + Bp_{vpg}$ ,  $p_{vpg}$  为温度为  $T_a$  时的空气饱和水汽压和温度为  $T_a + A$  时的空气饱和水汽压差: Pa。

[0044] 通过无人机获取的茶树冠层温度,气象台获取的冠层上方气温,空气相对湿度信息,代入公式得出茶叶冠气温差,最终得到茶树的水分胁迫指数。

[0045] 优选的,所述 S3 中茶树需水量公式建立步骤如下:

[0046] 作物蒸散量  $ET_0 = \frac{0.408 \Delta (R_n - G) + \gamma (900 / (T + 273)) u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma (1 + 0.34 u_2)}$

[0047] 公式中,  $R_n$  为作物表面净辐射: MJ/(m<sup>2</sup> · d); G 为土壤热通量: MJ/(m<sup>2</sup> · d); T 为地面 2m 高处日平均气温:℃,  $u_2$  为 2m 高处风速: m/s;  $e_s$  为饱和水汽压: kPa;  $e_a$  为实际水汽压: kPa;

[0048]  $\Delta$  为饱和水汽压与气温关系曲线斜率: kPa/℃;  $\gamma$  为湿度表常数: kPa/℃。

[0049] 茶树作物需水量  $ET_c = K_c ET_0$

[0050] 公式中,  $ET_c$  为作物实际耗水量: mm/d;  $K_c$  为作物系数;  $ET_0$  为参考作物蒸散量: mm/d。

[0051] 优选的,所述 S4 的灌溉系统包括:上位机、GPRS 网关、Zigbee 协调器、灌溉节点、水分湿度传感器、电磁阀等。所述上位机,一方面接收来自智能决策系统收到的茶树区域灌溉量和灌溉时长信息,另一方面将 GPRS 网关发来的土壤水分入渗信息和土壤湿度状态发送到智能决策系统。

[0052] 优选的,当上位机部署在云端或距离灌溉系统较远时,采用所述 GPRS 网关接收信息,将控制信息发送到 Zigbee 协调器, Zigbee 协调器通过 Zigbee 无线通信技术将控制信息发送到各个灌溉节点。

[0053] 优选的,所述 S5 的水分入渗量模型建立步骤如下:

[0054] S1. 渗透模型选用 Kostikov 三参数入渗模型,这是一种纯经验型公式, Kostikov 三参数入渗公式为:  $i(t) = Kt^{-a} + f_0$

[0055] 公式中:  $I(t)$  为 t 时刻的累积入渗量: cm; t 为入渗时间: min; K 为入渗系数指入渗开始后第一个单位时间末扣除相对稳定入渗率后的累积入渗量: cm; a 为入渗指数,能够反映土壤入渗能力的衰减速度;两者均为由实测资料拟合得到的经验常数,由土壤基本理化性质以及入渗初始条件所决定。  $f_0$  为土壤相对稳定入渗率,即单位土壤势梯度下饱和土壤的入渗速度或非饱和土壤入渗达到相对稳定阶段的入渗速度: cm/min。在实际工作中的应用均较为普遍,特别是三参数模型广泛应用于地面灌溉入渗过程的模拟;

[0056] S2. 获取 Kostikov 的各项系数首先对茶树园土壤进行各项试验,如:土壤容重、土壤含水量、土壤有机质组成成分等等,这些都会对各项系数产生影响,当然有一些影响较小



的可以剔除,通过建立T检验来获得各项系数的结构特征,此过程并非本发明的重要内容,简要阐述其参数获取过程。最终确定各项系数的线性预报模型结构

$$[0057] \quad K = \beta_0 + \beta_1 r_0 + \beta_2 \theta_1 + \beta_3 \omega_1 + \beta_4 \omega_2 + \beta_5 G$$

$$[0058] \quad \alpha = \beta_0 + \beta_1 r_0 + \beta_2 r_2 + \beta_3 \theta_2 + \beta_4 \omega_2 + \beta_5 \omega_3 + \beta_6 G$$

$$[0059] \quad f_0 = \beta_0 + \beta_1 r_0 + \beta_2 \omega_2 + \beta_3 \omega_3 + \beta_4 G$$

[0060] 公式中:  $\gamma_0$  为0~10cm的土壤容重:g/cm<sup>3</sup>;  $\gamma_1$  为0~20cm土壤容重:g/cm<sup>3</sup>;  $\gamma_2$  为20~40cm土壤容重:g/cm<sup>3</sup>;  $\theta_1$  为0~20cm土壤体积含水率;  $\theta_2$  为20~40cm土壤体积含水率;  $\omega_1$  为0~20cm砂粒质量分数;  $\omega_2$  为0~20cm粉粒质量分数;  $\omega_3$  为0~20cm黏粒质量分数; G 为0~20cm有机质含量;

[0061] S3. 然后,通过入渗公式:  $i(t) = Kt^{-a} + f_0$ ,求得任意时刻的土壤累积入渗量。

[0062] 在上述试验中发现,土壤含水率对K和 $\alpha$ 的影响相关性很大,故实时检测土壤各层含水率对土壤水分入渗模型意义重大。

[0063] 优选的,所述S5的土壤水分湿度状态确立步骤如下:

[0064] 根据渗透模型拟合曲线获取不同时间段水分入渗量,每次灌溉水之后,实时监测多传感器的数据融合值,进而再次判断是否需要继续灌溉,整个灌溉入渗过程设置为1h/周期。

[0065] 如图3所示,把要测量的土壤按单位面积采用一维垂直划分为i组,每组间隔为jcm,测量土壤深度为i\*jcm,水平划分为k组,分别处于不同位置,具体实施可根据实际土壤环境确定。

[0066] 本发明提供了一种多传感器数据融合获取水分渗透率的方法:

[0067] 多传感器数据融合获取水分渗透的步骤为:

[0068] S1. 由于在土壤水分入渗前期,湿度变化较快,为了使输入变量(湿度)能够模拟当前土壤水分入渗的湿度状态,对其进行模糊化处理,使得每个输入变量对应一种湿度状态;

[0069] S2. 根据专家经验,建立模糊集“100%含水量”,“80%含水量”,“60%含水量”,“40%含水量”,“20%含水量”;

[0070] S3. 模糊集表示为:

$$[0071] \quad F = \{\mu_F(u_1)/u_1, \mu_F(u_2)/u_2, \dots, \mu_F(u_n)/u_n\};$$

[0072] S4. 根据专家尝试及经验,设定各百分比含水率对应湿度区间,然后用MATLAB建立隶属函数u;

[0073] S5. 建立模糊综合评判模型。对于综合评判有三要素:

$$[0074] \quad \text{因素集 } U = \{u_1, u_2, u_3, \dots, u_n\}$$

[0075] 它是评判对象的各因素组成的集合,在这里表示湿度传感器位于土壤不同深度的n个不同区域,

$$[0076] \quad U = \{\text{土壤深度3cm}, \text{土壤深度6m}, \dots, \text{土壤深度30m}\}$$

$$[0077] \quad \text{判断集 } V = \{v_1, v_2, v_3, \dots, v_n\}$$

[0078] 它是评语组成的集合,在这里表示传感器对应的模糊状态,如:

[0079]  $V = \{20\% \text{ 含水率}, 40\% \text{ 含水率}, 60\% \text{ 含水率}, 80\% \text{ 含水率}, 100\% \text{ 含水率}\}$ ,用于收集多点传感器数据所对应的土壤湿度状态。

[0080] 单因素判断,即对单个因素 $u_i$  ( $i=1, 2, 3, \dots, n$ )的评判,得到V上的模糊集( $r_{i1}, r_{i2},$

$r_{i3}, \dots, r_{im}$ ), 它是从U到V的一个模糊映射,  $f: U \rightarrow F(V); u_i \rightarrow (r_{i1}, r_{i2}, r_{i3}, \dots, r_{im})$ ;

[0081] S6. 模糊映射f可以确定一个模糊关系, 称为评判矩阵R:

$$R = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \dots & r_{1m} \\ r_{21} & r_{22} & \dots & r_{2m} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ r_{n1} & r_{n2} & \dots & r_{nm} \end{bmatrix}$$

[0083] 评判矩阵是R是由所有对单因素评判的F集合所组成的。由于各因素地位未必相等, 所以需要对各因素加权。例如: 各个水分传感器深度不同, 对应的影响权值则不同;

[0084] S7. 用U上的F集合  $A = (a_1, a_2, a_3, \dots, a_n)$  表示各因素的权数分配, 它与评判矩阵R的合成, 作为对各因素的综合评判, 可以得到数据融合后的综合评判模型:

$$[0085] \quad A \circ R = B = (b_1, b_2, b_3, \dots, b_m)$$

[0086] 其中,  $A = (a_1, a_2, a_3, \dots, a_n); \sum_{i=1}^n a_i = 1, a_i \geq 0$ ;

$$[0087] \quad R = (r_{ij})_{n \times m},$$

$$[0088] \quad b_j = \sum_{i=1}^n a_i r_{ij}, j=1, 2, 3, \dots, m。$$

[0089] 此外,  $b_j$  是  $r_{ij}$  的函数 ( $i=1, 2, 3, \dots, n$ ), 将其集合B称为评判函数;

[0090] S8. 各个深度的水分传感器数据融合, 由多点采集的水分湿度数据, 经过模糊化处理, 转换成某个区域对应的土壤水分湿度状态。使得到的数据能够准确地反映当前环境下的土壤水分湿度状态。

[0091] 一种基于无人机光谱遥感的多传感器灌溉响应系统, 包括设置在茶树园的气象台、搭载光谱相机和红外成像的无人机、服务器、智能决策系统、控制灌溉系统的上位机、执行灌溉决策的微控制器, 或者说灌溉节点。

[0092] 气象台: 获取茶树生长环境的基本信息;

[0093] 无人机: 获取茶树园光谱图像的红外热成像信息;

[0094] 服务器: 接收存储无人机和气象台数据, 并将处理后的信息送到智能决策系统;

[0095] 智能决策系统: 由专家经验数据库进行茶树生长信息最佳决策, 根据数据经验得出最佳灌溉时间;

[0096] 上位机: 将灌溉指令通过GPRS网络下发到灌溉节点。

[0097] 优选的, 采用GPRS网络增强了网络的适应性和鲁棒性, 使灌溉系统的布置范围扩大, 结合Zigbee无线网络, 有利于实现全方位的网络覆盖。

[0098] 本发明的有益之处在于:

[0099] 1. 经由上述技术方案可知, 与现有技术相比, 利用先进的无人机遥感技术, 能够比较准确地获取茶树的叶片含水率信息和茶树叶片冠层温度信息, 相比传统的仪器采集, 大大提高了检测效率, 同时减少了人力劳动;

[0100] 2. 据此建立水分胁迫指数来对茶树进行灌溉, 符合茶树生长发育要求, 结合茶树生长最重要的土壤状态来监测茶树, 则更是未来精准灌溉的研究方向, 通过建立土壤水分

入渗模型以及多传感器数据融合监测土壤水分状态,一方面获得茶树需水量进行灌溉,一方面通过水分入渗监测茶树水分吸收情况,不仅最大化利用了水资源,而且能够更好地控制监测茶树水分信息,为精准灌溉提供了新的研究方向;

[0101] 3.本发明通过无人机快速获取了茶树茶叶叶片的含水率及冠层温度信息,增强了灌溉决策的精确度,利用GPRS网关,即使在网络条件较差的场景下,仍能够完成数据传输,实施灌溉,采用土壤水分入渗模型来监测土壤水分入渗量,再通过多传感器数据融合获取水分湿度状态,实现了灌溉与土壤水分湿度状态监测的统一,节约了水资源。

## 附图说明

[0102] 为了更清楚地说明本发明实施例或现有技术中的技术方案,下面将对实施例或现有技术描述中所需要使用的附图作简单地介绍,显而易见地,下面描述中的附图仅仅是本发明的一些实施例,对于本领域普通技术人员来讲,在不付出创造性劳动性的前提下,还可以根据这些附图获得其它的附图。

[0103] 图1为本发明无人机光谱遥感的多传感器灌溉响应系统和方法步骤流程图;

[0104] 图2为本发明无人机光谱遥感的多传感器灌溉响应系统的工作流程图;

[0105] 图3为本发明土壤单位面积一维图。

[0106] 图中:1、红外热成像;2、茶叶冠层图像;3、无人机;4、无线网络/GPRS网关;5、气象台;6、温湿度、光照度、风速等信息;7、服务器;8、智能决策系统;9、上位机;10、GPRS网关;11、Zigbee协调器;12、灌溉节点;13、电磁阀;14、多个水分湿度传感器。

## 具体实施方式

[0107] 下面将结合本发明实施例中的附图,对本发明实施例中的技术方案进行清楚、完整地描述,显然,所描述的实施例仅是本发明一部分实施例,而不是全部的实施例。基于本发明中的实施例,本领域普通技术人员在没有做出创造性劳动前提下所获得的所有其它实施例,都属于本发明保护的范围。

[0108] 实施例一

[0109] 请参阅图1至图3所示,一种基于无人机光谱遥感的多传感器灌溉响应系统和方法,如图1所示的基于无人机3光谱遥感的多传感器灌溉响应系统和方法,包括以下步骤:

[0110] 首先,通过无人机3巡航获取茶树园整体光谱图像,往返巡航时,降低飞行高度至一定高度,拍摄得到茶树园红外热成像1图像,然后通过无线网络传送到服务器7端,将图像处理后传送到智能决策系统8。另外,在茶树园布置气象台5,气象台5主要获取茶树园茶树生长环境的基本信息,如:最高温度,最低温度,最高湿度,最低湿度,光照度,风速等信息,将此信息也传送到智能决策系统8。

[0111] 无人机3拍摄所得的光谱图像经过多元散射校正预处理之后,提高光谱信噪比,然后利用偏最小二乘回归法对光谱图像建模,用来预测茶树叶片含水量;

[0112] 对红外热图像的处理:首先通过预处理之后,将干扰背景剔除,提取冠层区域,随后提取冠层温度。

[0113] 对红外热成像1的图像处理得到茶树叶片冠层温度,之后通过水分胁迫指数便可计算出某片区茶树的水分胁迫程度。

[0114] 水分胁迫指数模型建立:冠层表面温度由红外热成像1处理得到,对于某一区域的冠层温度,由正态分布中的众数取得;冠层上方空气温度由气象台5布置的空气温湿度传感器获得,饱和水汽压差所需的空气相对湿度和气温由气象台5布置的空气温湿度传感器获得,然后,根据多组冠层表面温度水汽压差数据,拟合出冠气温差与空气饱和差的关系,之后便可计算出某一区域水分胁迫指数。

[0115] 智能决策系统8根据作物胁迫指数CWSI以及联合茶树叶片含水量信息计算各区域茶树的水分胁迫情况,预测出各区域所需灌溉量和灌水时间。

[0116] 采用作物蒸散量和作物需水量公式计算灌溉量,并根据灌溉装置的单位时间灌溉量计算灌溉时长。

[0117] 智能决策系统8将各区域所需灌溉量和灌水时间发送到灌溉上位机9,上位机9对各个微控制器发出灌溉命令,微控制器控制电磁阀13的打开和关闭,完成灌溉。

[0118] 智能决策系统8将各区域所需灌溉量和灌水时间通过无线或GPRS网络传送到上位机9,上位机9将灌溉信息发送到GPRS网关10,GPRS网关10将数据包送到Zigbee协调器11节点,Zigbee协调器11发送数据到各个微控制器模块,微控制器通过改变电磁阀13对应端口电平,启动电磁阀13,对各区域进行灌溉。

[0119] 上述所提到的GPRS网关10采用SIM900A模块,用于实现在网络覆盖条件较差情况下,仍可以实现网络数据的正常传输,达到灌溉的正常运转的目的,比如在乡村,山地等情况。同时,GPRS网络通过气象台5天气数据实现天气预警,通过GPRS模块发送手机短信到用户。

[0120] 灌溉过程中,将实时的灌溉入渗量以及多传感器数据融合获得的水分湿度状态通过Zigbee节点发送到Zigbee协调器11,Zigbee协调器11发送到GPRS网关10,GPRS网关10将数据送到智能决策系统8,达到预设的水分饱和值后,停止灌溉,待积水入渗后,重新检测茶树生长信息,确保最小水分流失和最佳土壤含水率。

[0121] 如图2所示,一种基于无人机3光谱遥感的多传感器灌溉响应系统,包括:无人机3,用于拍摄茶树园茶叶冠层图像2以及红外热成像1图像;气象台5,主要采集与茶树相关的生长信息;无线网络/GPRS网关4,主要用于传输无人机3和气象台5数据到服务器7;服务器7,用于实时获取无人机3和气象台5数据,并对其数据进行一定周期的保存;智能决策系统8,用于处理多数据,以及获得灌溉决策信息,由专家用户经验组成;上位机9,一方面接收智能决策系统8的数据,另一方面控制灌溉节点12;GPRS网关10用于下发决策信息与上传节点传感器数据;Zigbee协调器11一方面收集节点的传感器信息,另一方面下发GPRS网关10传送的灌溉信息;灌溉节点12,负责接收协调器发送的灌溉信息,同时将采集的多传感器水分湿度信息发送出去,通过无人机3快速获取了茶树茶叶叶片的含水率及冠层温度信息,增强了灌溉决策的精确度,利用GPRS网关10,即使在网络条件较差的场景下,仍能够完成数据传输,实施灌溉,采用土壤水分入渗模型来监测土壤水分入渗量,再通过多传感器数据融合获取水分湿度状态,实现了灌溉与土壤水分湿度状态监测的统一,节约了水资源。

[0122] 工作原理:

[0123] 首先,通过无人机3巡航获取茶树园整体光谱图像,往返巡航时,降低飞行高度至一定高度,拍摄得到茶树园红外热成像1图像,然后通过无线网络传送到服务器7端,将图像处理后传送到智能决策系统8,接着,在茶树园布置气象台5,气象台5主要获取茶树园茶树

生长环境的基本信息,如:最高温度,最低温度,最高湿度,最低湿度,光照度,风速等信息,将此信息也传送到智能决策系统8;智能决策系统8根据作物胁迫指数CWSI以及联合茶树叶片含水量信息计算各区域茶树的水分胁迫情况,预测出各区域所需灌溉量和灌水时间,采用作物蒸散量和作物需水量公式计算灌溉量,并根据灌溉装置的单位时间灌溉量计算灌溉时长;

[0124] 接着,智能决策系统8将各区域所需灌溉量和灌水时间通过无线或GPRS网络传送到上位机9,上位机9将灌溉信息发送到GPRS网关10,GPRS网关10将数据包送到Zigbee协调器11节点,Zigbee协调器11发送数据到各个微控制器模块,微控制器通过改变电磁阀13对应端口电平,启动电磁阀13,对各区域进行灌溉。

[0125] 以上显示和描述了本发明的基本原理、主要特征和本发明的优点。本行业的技术人员应该了解,本发明不受上述实施例的限制,上述实施例和说明书中描述的只是说明本发明的原理,在不脱离本发明精神和范围的前提下,本发明还会有各种变化和改进,这些变化和都落入要求保护的本发明范围内。

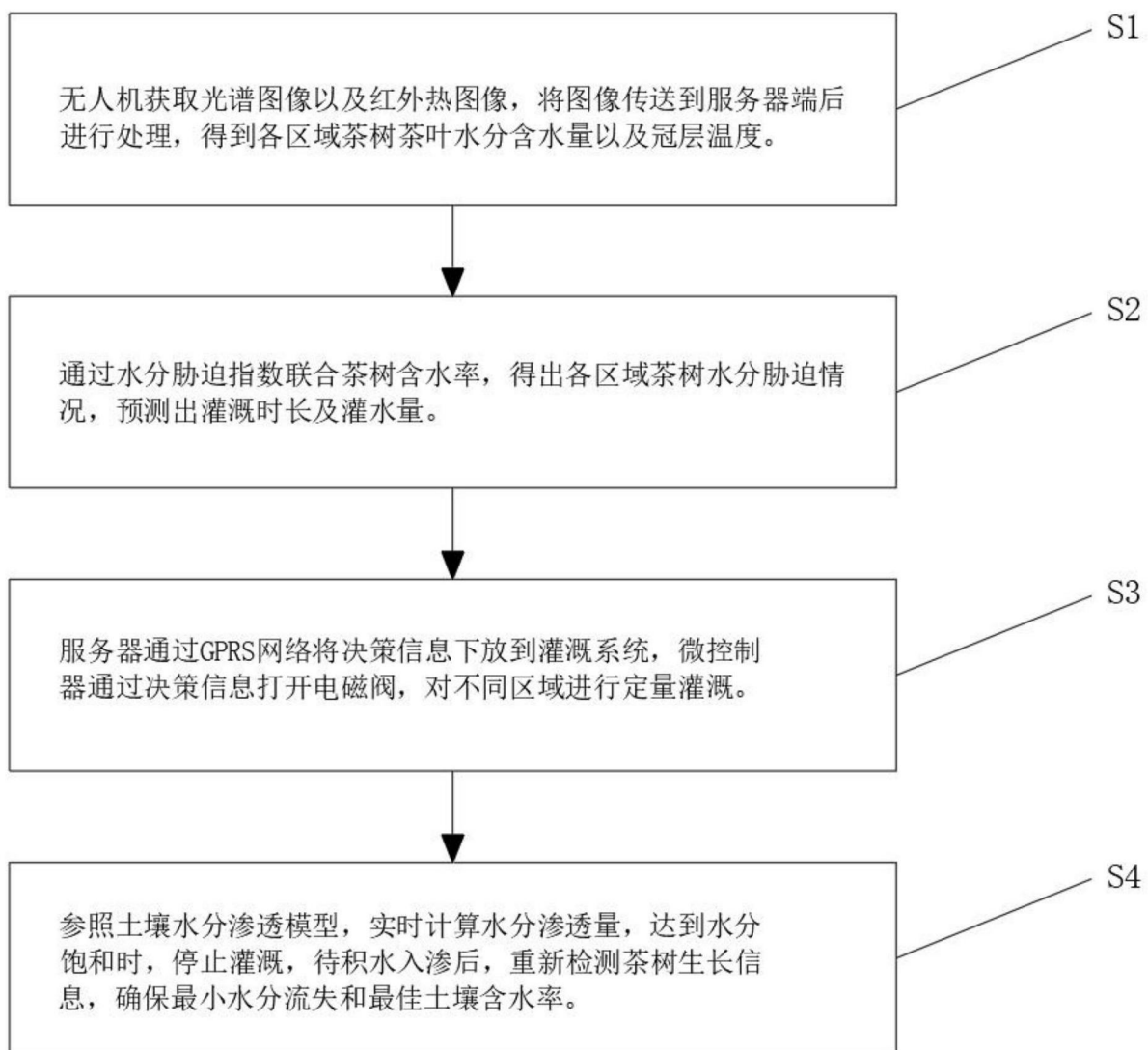


图1

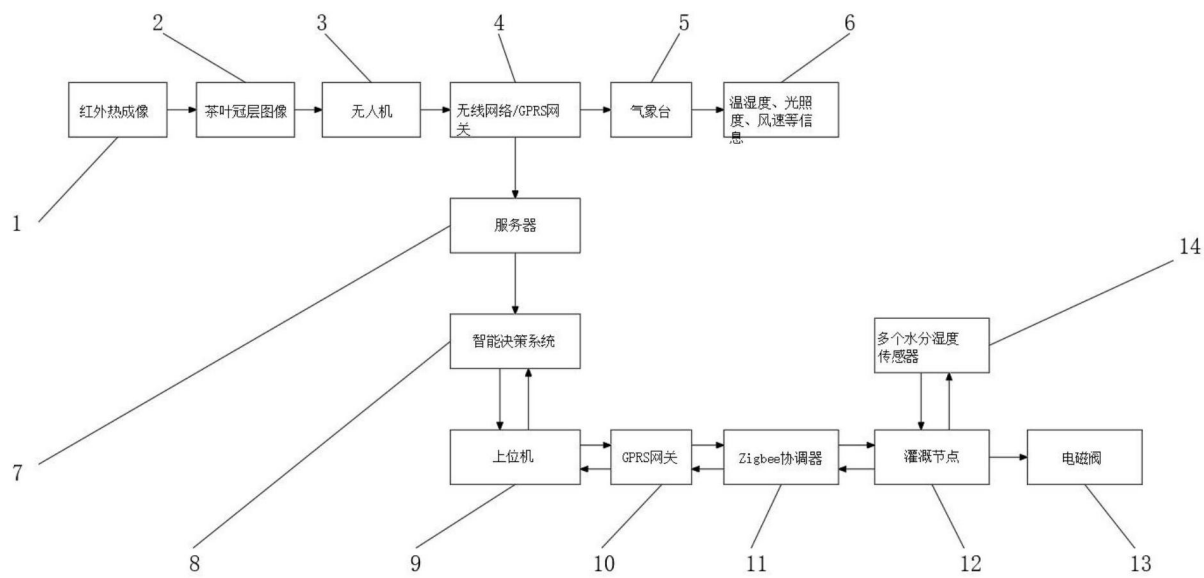


图2

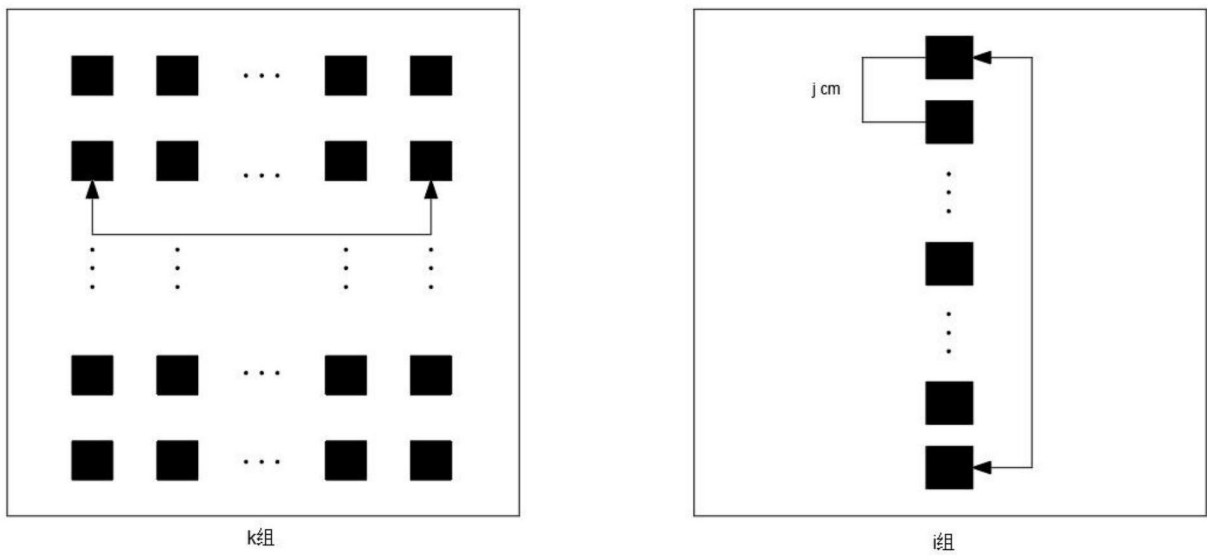


图3