

王康,梁秀英,周风燃,等.基于磁导引的履带式小车作物图像自动采集系统设计与试验[J].华中农业大学学报,2020,39(2):141-149.

DOI:10.13300/j.cnki.hnlkxb.2020.02.018

基于磁导引的履带式小车作物图像自动采集系统设计与试验

王康¹,梁秀英¹,周风燃¹,陈欢¹,杨万能^{1,2}

1.华中农业大学工学院,武汉 430070; 2.华中农业大学作物遗传改良国家重点实验室,武汉 430070

摘要 为实现自动高效获取农作物的生长图像,设计了 1 种适用于旱田作物的高通量履带式小车图像采集系统。系统采用磁导引传感器和磁条实现小车的田间接路径自动行走;采用履带式小车底盘结构以保证系统在田间复杂环境下能稳定运行;在小车支架两侧分别安装俯视和侧视相机,可同时采集 2 个作物行的俯视图和侧视图,以提高工作效率;运用无线通信技术远程监控小车运行情况;系统顶端安装太阳能电池板,为小车在运行时补充电能。以盆栽玉米植株为研究对象,用该系统采集了玉米幼苗期到抽穗期的植株图像,结果表明,该系统运行稳定可靠,在旱田以 0.1 m/s 速度作直线行驶时,绝对误差小于 2 cm,最小转弯半径为 0.5 m,连续采集模式下单个相机采集效率为 30 张/min,能满足实际需求。

关键词 图像采集;农作物生长监测;远程监控;电磁导航;运动控制;履带式小车;磁导引;自动行走

中图分类号 TP 242.3;S 233.4 **文献标识码** A **文章编号** 1000-2421(2020)02-0141-09

目前,农作物图像采集主要综合运用计算机、网络以及各种传感器完成对农作物生长图像的采集与传输,使农作物管理者可以根据采集到的图像,对农作物生长长势进行分析,做出正确的判断^[1-3]。对于农作物图像采集的研究,国内外研究人员已经做出了很多努力并取得一定成绩。黄成龙等^[4]利用输送线将玉米植株送达旋转台,采用工业相机连续采集玉米植株的生长侧视图像,该方法可实现高通量采样但需要人工搬运盆栽,易损伤作物;Zhou 等^[5]基于开源软件 Leaf-GP,通过手持移动设备连续拍摄小麦的序列图像,该方法易操作但也易受人为主观因素影响;Jesper 等^[6]在农用拖拉机上吊装大型密闭舱,在舱内采用 CCD 相机移动采集田间植株生长图像,该方法虽可搭建成像暗室但采用拖拉机占用空间太大;Torres-Sánchez 等^[7]利用无人机平台,搭载高清数码相机获取小麦早期田间冠层生长图像,但获得的图像分辨率低,易受环境影响;梁万杰等^[8]利用 ARM 嵌入式平台搭载 CMOS 图像传感器,定时采集农作物生长图像,但该平台采集范围有限,无法实现高通量采样。

对于旱田作物图像的采集,多采用具有一定导航功能的车载平台。因为车载平台可以近距离高精

度无损地采集作物图像。目前车载平台应用于大面积的导航技术主要有无线电或激光导航^[9]、机器视觉导航^[10-11]和 GPS 导航^[12]以及磁导航^[13]等。钟海兴等^[14]设计基于 ROS 的激光导航移动机器人,可在室内场景下实现无轨导航;Bakker 等^[15]设计车载平台装配有 2 个 GPS 模块,通过实时差分全球定位系统来确定车载平台的位置和方向;Zaidner 等^[16]在葡萄园喷雾移动机器人平台上完成对 DGPS、机器视觉和 IMU 信息融合,实现高精度低功耗的葡萄园喷雾机器人自动导航。

为高效自动化采集旱田间作物图像,以实现旱田作物生长长势的分析和远程监测,利于后续进一步通过图像处理提取作物有用信息、深入挖掘作物生长机制并防御病虫害,本研究设计 1 种适用于旱田作物的高通量履带式小车图像采集系统,旨在为近距离高精度无损作物图像采集系统的研制提供参考。

1 材料与方法

1.1 小车结构设计

履带式小车作物图像采集系统结构如图 1 所示。采集平台总质量为 65 kg,最大载荷 140 kg,大

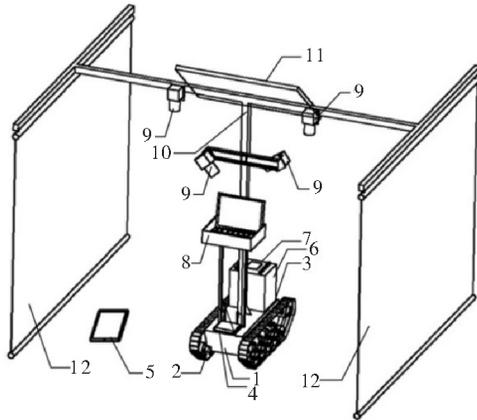
收稿日期:2019-03-18

基金项目:国家自然科学基金面上项目(31770397)

王康,硕士研究生,研究方向:智能检测与控制。E-mail: wangkang_1210@126.com

通讯作者:梁秀英,博士,副教授,研究方向:智能检测与控制。E-mail: nancy@mail.hzau.edu.cn

小为 160 cm×140 cm×220 cm,作业时最高行走速度为 0.5 m/s。采用单晶太阳能电池板(JRG-M100W18V)向蓄电池(6-EVF-32)储存电能。



1.履带式底盘 Crawler chassis; 2.地标传感器 Landmark sensor; 3.磁导引传感器 Magnetic guidance sensor; 4.路由器 Router; 5.iPad; 6.控制箱 Control box; 7.触摸屏 Touch screen; 8.计算机 Computer; 9.数码相机 Digital camera; 10.T 字型支架 T bracket; 11.太阳能板 Solar panels; 12.背景布 Background cloth.

图 1 履带式小车图像采集系统结构设计
Fig.1 Structure design of image acquisition system based on crawler car

履带式小车作业环境为旱田田间,田间地面凹凸不平伴有湿泥。因此,采用履带式底盘(大小:86 cm×45 cm×25 cm),其装配 2 条宽度为 70 mm 合金履带,履带环绕驱动轮、承重轮、方向轮、拖带轮,由驱动轮带动使车身具有良好的行进和转向能力,机身采用双弹性减震确保小车行走时抖动小,适合载质量大但要求旱田田间地面坡度小地势相对平坦;T 字型挂载支架(大小:180 cm×160 cm)由不锈钢管铸造而成,支架底部采用三角板焊接在履带式底盘上,中杆可固定侧视相机,顶杆可固定俯视相机和太阳能电池板。元器件采用对称方式挂载在 T 字型支架上,确保整个小车车身平衡性。底盘质量为 35 kg,占据小车总质量的一大半,可保证整个车身重心相对较低。

16 位开关量输入磁导引传感器(CCF-D16)可实现履带式小车沿导引磁条的循迹功能,大小为 200 mm×18 mm×52 mm,有效检测距离为 5~55 cm;标准型 1 位地标传感器(CCF-DB1)可实现小车的自动启停和转向等功能,大小为 50 mm×18 mm×52 mm,有效检测距离为 5~85 cm。

触摸屏(PFXGP4401TAD)、无线路由器、iPad 三者通过网络连接组建远程监控系统,可在远程端

观测履带式小车行驶状态;图像采集包括计算机、相机、背景布。计算机内存为 8 G,主频 1.6 GHz,内置软件 CX-Programmer、LabVIEW8.6 等,相机的型号为 Canon EOS 760D,分辨率为 6 000×4 000,使用黑色背景布(大小:160 cm×150 cm),可排除其他作物干扰。

1.2 小车控制系统设计

履带式小车控制系统结构如图 2 所示,主要由供电系统、传感器、远程监控系统、主控制器、驱动系统、图像采集系统等 6 部分组成。

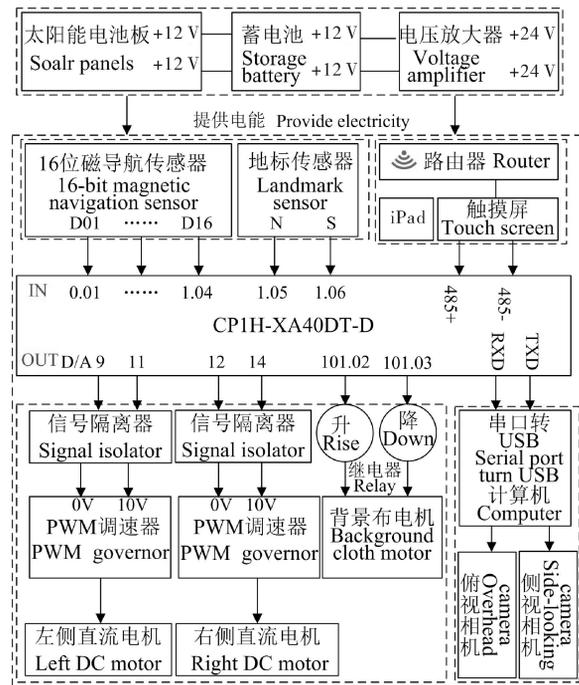


图 2 履带式小车控制系统结构框图

Fig.2 Structure block diagram of control system based on crawler car

供电系统包括单晶太阳能电池板、蓄电池、电压放大器。太阳能电池板功率为 100 W,匹配太阳能控制器组合使用,可以向蓄电池储存电能。因履带式小车驱动电机电源电压为 12 V,所以选用蓄电池额定输出电压为 12 V、容量为 32 A·h。为了提供 PLC、触摸屏等设备 DC 24 V 供电,使用电压放大器将 DC 12 V 升压为 DC 24 V。

传感器是履带式小车实现自动导航的核心部件,包括磁导引传感器和地标传感器。磁导引传感器电源电压为 DC 24 V,采用 S 极性 16 位开关量输出,可直接接入欧姆龙 PLC 0.01~1.04 输入点,将响应点的位置信息传送到欧姆龙 PLC 中;地标传感器电源电压为 DC 24V,只有 1 个检测点响应,可分

别感应 N 极和 S 极性磁条,将响应信号传送到欧姆龙 PLC 1.05、1.06 输入点。

远程监控系统主要是用来完成小车与远程端之间的无线通信功能,实现手持端对小车的远程监控。履带式小车远程监控系统主要由 proface 触摸屏、无线路由器、iPad 组成。触摸屏电源电压为 DC 24V,具备 RS485 和以太网接口,分别与欧姆龙 PLC 485 接口和无线路由器网口对接。无线路电源电压为 DC 24V,无线信号覆盖面积达到 120 m² 以上,可与触摸屏组建局域网。远程端 iPad 通过连接无线路由器 wifi 信号,就能和触摸屏在同 1 个局域网内相互访问。

履带式小车控制系统的核心是欧姆龙 PLC,输入输出点数达 40 点,具备 4 路模拟量输入、2 路模拟量输出(CIO 区 210 和 211 通道),电源电压为 DC 24 V。PLC 可获取磁导航传感器 16 位检测点的响应信息,通过设计的运动控制算法,输出两路模拟量电压调控驱动电机,以此实现小车的速度和航向的控制。PLC 亦可接收地标传感器响应信息,若检测到连续地标信号,则向触摸屏和手持端 iPad 发送站点信息;若检测到单个地标信号,则发送采集作物图像信号或发送背景布升降信号。

驱动系统为履带式小行走提供驱动能力,主要元器件包括信号隔离器(MZ6719)、PWM 电机调速器(C24D20B1)、直流电机(G60-775)、背景布电机(AOK 车载卷帘电机)。履带式小车在田间自动行驶是基于左右两侧电机的差速运动,因此,需要提供两路模拟量电压信号调控驱动电机。由于模拟量电压信号易受到外界干扰,因此,选用 2 个信号隔离器,保证 PLC 输出到电机调速器 0~10 V 模拟电压信号不受外界干扰,其电源电压为 DC 24 V,分别接入欧姆龙 PLC 第 0 路和第 1 路模拟量输出接口。PWM 调速器是调节直流电动机速度的设备,电源电压为 DC 12 V,输出电机电压为 0~10 V,调速电位端子接收信号隔离器输出的模拟量电压信号,电压输出端子接出到两侧直流电机。直流电机功率为 80 W,额定转速为 243 r/min,转矩为 20 N·m,电源电压为 DC 12V,所以其转速由 PWM 电机调速器控制。履带式小车在进出弯道前背景布需要频繁地升降(避免损伤作物),因此,采用奥科车载卷帘电机驱动,其工作电压为 DC 12 V。

图像采集系统可以高精度地自动采集农作物不同生长时期的图像。采集设备包括计算机、佳能数

码相机、背景布。当履带式小车进入图像采集状态后,可在控制箱面板上手动点击降下背景布按钮,背景布保持降下状态,直到履带式小车进入弯道前触发地标传感器 S 极检测点,欧姆龙 PLC 接收地标传感器信号输出反向电压驱动背景布电机反转升起背景布。同理,当履带式小车出弯道后,背景布会自动降下为图像采集做好准备。由于普通计算机不具备 232 接口,为实现 PLC 和计算机之间串口通讯功能,增加串口转 USB 转换模块,实现欧姆龙 PLC 和计算机之间的正常通讯。佳能 760D 数码相机正常情况是无法通过有线受控于计算机的,因此,对佳能相机做二次开发,在计算机中调用佳能公司提供的 SDK 工具包,实现计算机对佳能相机采集图像的控制,并将采集到的图像储存在计算机中,释放佳能相机 SD 卡。当有图像采集命令到来时,欧姆龙 PLC 会将采集指令通过串口通讯方式传送到计算机,在计算机中运行 LabVIEW 图像采集程序驱动数码相机,就能同时自动采集 2 个作物行的俯视图和侧视图。

1.3 自动导引方法研究

传感器在履带式小车底盘安装位置如图 3 所示,磁导引传感器安装在小车底盘前部中央位置,地标传感器安装在小车尾部偏左位置。

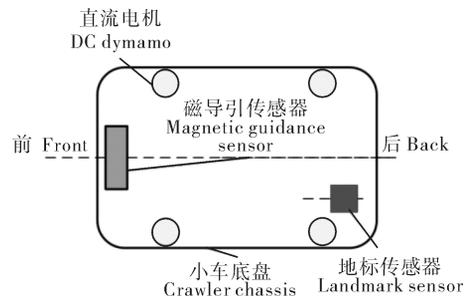


图 3 传感器位置分布图

Fig.3 Sensors location distribution

1) 导向控制。磁导引传感器具有 16 个 S 极性功能检测点,每个检测点之间距离为 1 cm,第 8 和第 9 位检测点为中间检测点,且规定第 1 位检测点位于小车前进方向的左边,第 16 位检测点位于小车前进方向的右边,如表 1 所示,表 1 中“√”代表磁导引传感器在导引磁条磁场的作用下响应的检测点,“×”代表磁导引传感器在导引磁条磁场的作用下需要被屏蔽的检测点,避免上、下 2 种情况相互竞争干扰。D100~D119 通过赋值给 CIO 区 210 通道控制

右侧电机转速, D200~D219 赋值给 211 通道控制左侧电机转速。

所用导引磁条宽度为 5 cm, 当磁导引传感器运动至导引磁条上方时, 至少有 1 个检测点可以感应到导引磁条磁场的存在, 最多有 5 个检测点可以同时感应到导引磁条磁场的存在, 磁导引传感器检测点被响应情况如表 1 所示, 共计 20 种。

根据磁导引传感器检测点响应的的位置就能够大致判断出小车的运动趋势, 即判断出小车驱动单元的前进方向是左偏、右偏还是直行, 从而对小车的运

动方向进行纠正, 使其第 8、9 检测点始终位于导引磁条的正上方。假设小车左侧电机转速为 $V_{左}$, 小车右侧电机转速为 $V_{右}$ 。当小车左偏时, 小车右侧电机转速肯定大于左侧电机转速, 即有 $V_{右} > V_{左}$; 小车右偏时, 小车右侧电机转速肯定小于左侧电机转速, 也即有 $V_{右} < V_{左}$; 小车直行时, 小车右侧电机转速等于左侧电机转速, 即有 $V_{右} = V_{左}$ 。用 $V_{\Delta n}$ 表示左右两侧电机的转速差, n 为磁导航传感器响应点情况, 取值范围为 0~20, 则有:

$$V_{\Delta n} = |V_{左} - V_{右}| \quad (1)$$

表 1 磁导引传感器检测点的位置和小车运动方向之间的关系

Table 1 The relationship between the position of the detection point of the magnetic guidance sensor and the moving direction of the car

$V_{\Delta n}$	磁导引传感器左侧点 Left site of magnetic guidance sensor							中间点 Middle site		磁导引传感器右侧点 Right site of magnetic guidance sensor							
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	
$V_{\Delta 1}$	√	×	×	×	×										D100=0A14	D200=01A4	
$V_{\Delta 2}$	√	√	×	×	×										D101=099C	D201=021C	
$V_{\Delta 3}$	√	√	√	×	×										D102=0924	D202=0294	
$V_{\Delta 4}$	√	√	√	√	×										D103=08AC	D203=030C	
$V_{\Delta 5}$	√	√	√	√	√	×									D104=0834	D204=0384	
$V_{\Delta 6}$		√	√	√	√	√	×								D105=07BC	D205=03FC	
$V_{\Delta 7}$			√	√	√	√	√	×							D106=0774	D206=0474	
$V_{\Delta 8}$				√	√	√	√	√	×						D107=06CC	D207=04EC	
$V_{\Delta 9}$					√	√	√	√	√	×					D108=0654	D208=0564	
$V_{\Delta 10}$						√	√	√	√	√	×				D109=05DC	D209=05DC	
$V_{\Delta 11}$	D110=05DC	D210=05DC				×	√	√	√	√	√						
$V_{\Delta 12}$	D111=0564	D211=0654					×	√	√	√	√	√					
$V_{\Delta 13}$	D112=04EC	D212=06CC						×	√	√	√	√	√				
$V_{\Delta 14}$	D113=0474	D213=0774							×	√	√	√	√	√			
$V_{\Delta 15}$	D114=03FC	D214=07BC								×	√	√	√	√	√		
$V_{\Delta 16}$	D115=0384	D215=0834									×	√	√	√	√	√	
$V_{\Delta 17}$	D116=030C	D216=08AC										×	√	√	√	√	
$V_{\Delta 18}$	D117=0294	D217=0924											×	×	√	√	
$V_{\Delta 19}$	D118=021C	D218=099C												×	×	√	
$V_{\Delta 20}$	D119=01A4	D219=0A14													×	√	

当小车的运动趋势为近似直线运行(以下简称: 直线行驶)时, $V_{\Delta 10}$ 和 $V_{\Delta 11}$ 为零。当小车运动趋势为左偏或右偏时, 若磁导引传感器内测响应点越靠近中间检测点, 则转速差就越小, 若响应点越偏离中间检测点, 则转速差就越大。通过逻辑分析得出以下结论:

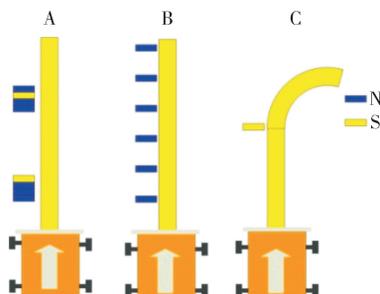
$$\begin{aligned} V_{\Delta 1} &= V_{\Delta 20} > V_{\Delta 2} = V_{\Delta 19} > V_{\Delta 3} \\ &= V_{\Delta 18} > V_{\Delta 4} = V_{\Delta 17} > V_{\Delta 5} = V_{\Delta 16} > V_{\Delta 6} \\ &= V_{\Delta 15} > V_{\Delta 7} = V_{\Delta 14} > V_{\Delta 8} = V_{\Delta 13} > V_{\Delta 9} \\ &= V_{\Delta 12} > V_{\Delta 10} = V_{\Delta 11} = 0 \end{aligned}$$

从以上结论可以得出, 若 V_{Δ} 选取过小, 则偏转幅度低不足以纠正小车运动方向; 若 V_{Δ} 选取过大, 则偏转幅度高容易趋使小车冲出导引磁条上方。因此, 适当的选取 V_{Δ} 的大小及过渡直接决定了小车运行的平稳性。本研究是利用 CP1H 型 PLC 里 CIO 区 210 和 211 通道输出模拟量电压分别间接控制左右两侧电机转速, 因此, V_{Δ} 的大小就取决于 CIO 区 210 和 211 通道里的数字量差值, 如何寻找到最合适的数字量值填入 CIO 区 210 和 211 通道,

需要通过大量的实际测试。履带式小车以 0.1 m/s 速度运行时 210、211 通道数字量值如表 1 所示, $V_{\Delta_1} \sim V_{\Delta_{10}}$ 所对应的数字量差值依次为 2 160、1 920、1 680、1 440、1 200、960、720、480、240、0。

2) 地标识别。地标传感器是地标识别系统的关键设备,它具有对 N、S 极磁场的检测功能。

地标传感器可用于指示站点、定位单株作物、检测弯道进出口 S 极性磁条以控制背景布电机的升降,如图 4 所示。定义 N 极(蓝色)地标磁条为‘0’, S 极(黄色)地标磁条为‘1’。当地标磁条连续排列时,不同的排列组合顺序就可以构成不同的地标信息值。例如,粘贴的地标磁条从前至后依次为蓝、蓝、蓝、黄,当小车经过该地标磁条上方时,检测到的地标组合所对应的数值就是‘0001’。所以 4 位地标组合能构成 0~16 的数,除去 0,则有 15 组连续地标可以使用,也即有 15 个连续地标可以用作站点(如图 4A),当地标传感器经过某站点时,远程端界面红色警示灯亮起指明小车到达该处。当地标磁条为单个时,将 N 极性地标磁条粘贴在植株前方,可实现对单个植株的定位(如图 4B)。将 S 极性地标磁条粘贴在弯道的入口处,当传感器检测到 S 极性地标时,PLC 控制电机升起背景布(如图 4C)。由于知道弯道周长和小车速度可算得出弯道时的时间,利用定时器计时,时间到后在出弯道口控制电机放下背景布。经过实际测试,知道小车直线行走时最大偏差为 ± 3.5 cm,而地标磁条被铺设于小车前进方向左侧,宽度为 5 cm,足够保证地标传感器可检测到地标磁条。



A: 站点指示 Site Instructions; B: 定位指示 Position indicating; C: 背景布控制 Background cloth control.

图 4 地标传感器功能示意图

Fig.4 Schematic diagram of landmark sensor function

地标传感器 N、S 极点分别连接到欧姆龙 PLC 1.05、1.06 输入点,当地标传感器 N、S 极点响应时,PLC 输入点 1.05、1.06 被触发,但是无法确定地标传感器响应的是连续地标信号还是单个地标信号。

因此,设计 1 个 PLC 控制算法,自动识别地标传感器响应信息的种类。结合 CP1H 型 PLC 编程指令特点,选用 1 个计时器和 1 个计数器完成此算法设计。根据实际地标磁条铺设情况,单个地标磁条的纵向长度不大于 1.5 cm,则 4 个 N、S 极极性地标磁条的组合长度不大于 6 cm,履带式小车正常行驶的最低速度为 0.1 m/s,当履带式小车地标传感器经过连续地标组合时,所用的最大时间为 0.6 s。考虑到履带式小车行驶过程中地面凹凸不平、传感器响应时间慢等因素会影响车速,将地标传感器经过连续地标组合所用的最大时间设置为 2 s。也就是地标传感器在 2 s 内连续响应 4 次,则 PLC 就将此次响应判定为检测到连续地标组合,相反,地标传感器在 2 s 内只响应 1 次,则 PLC 就将此次响应判定为检测到单个地标。

1.4 作物图像采集系统的设计

1) 图像采集设备。图 5 为履带式小车图像采集系统实物图。T 字型支架顶杆两側中部分别悬挂 1 个俯视相机,俯视相机镜头与地面之间的距离为 160 cm。支架中杆左右两侧也分别悬挂 1 个侧视相机,侧视相机与地面之间距离在 50~120 cm 内可调,侧视相机与水平方向的夹角可随作物生长高度不同进行调整。因此,在保证相机能正常采集作物图像情况下,履带式小车与作物行之间的距离有很大的调整空间。支架顶杆两端分别安装黑底的背景布,以消除侧视图像的背景干扰。

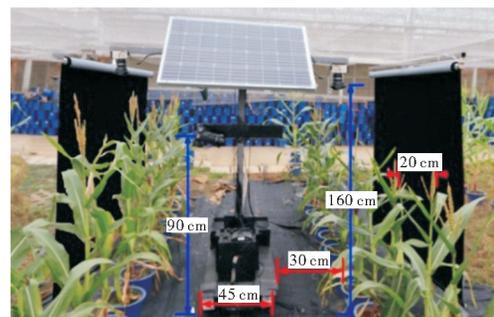


图 5 小车图像采集系统实物图

Fig.5 Image acquisition system based on crawler car for real picture

2) 图像采集控制方法。在田间按需求铺设好导引磁条和地标磁条后,放下背景布,按下启动按钮,履带式小车进入自动循迹状态,同时 4 个相机进入预采集等待。为了更好地从图像中提取作物性状,设计了连续和定点图像采集模式。连续采集模式是通过设定履带式小车速度,利用 PLC 控制图像采集

间隔时间,小车运行中连续采集作物图像,可保证采集到的相邻两张图像具有 60% 以上的重合率。定点采集模式是利用 N 极性地标磁条对单个植株进行定位,当地标传感器检测到 N 极性磁条后,PLC 控制小车停下并向计算机发送图像采集指令,可实现对单个植株的重复性采集。

3) 图像采集界面。在计算机中打开基于 LabVIEW8.6 平台开发的履带式小车图像采集界面(图 6),点击“开始采集图像”按钮,系统进入工作状态。当有图像采集命令时,PLC 就通过串口向计算机发送图像采集指令,相机采集图像并将图像进行显示和储存到相应的文件夹中,采集完成小车继续前进,等待下次采集指令。

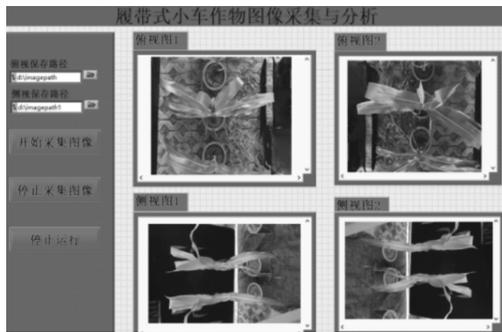


图 6 履带式小车作物图像采集与分析界面

Fig.6 Interface for crop image acquisition and analysis of crawler car

1.5 远程监控设计

在手持端 iPad 上,履带式小车远程监控画面如图 7 所示。图 7 中封闭的轨迹为实际环境中履带式小车循迹部分路线,轨迹两侧为待检测的作物行。图 7 中圆状点为实际环境中履带式小车站点,指明履带式小车所处实际位置。在手持端 iPad 上,点击

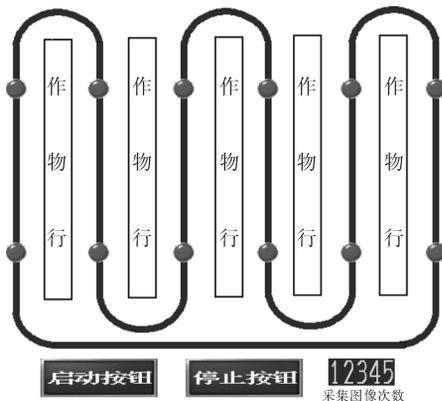


图 7 远程监控画面图

Fig.7 Remote monitoring screen

启动按钮,履带式小车自动开始循迹运动,运行履带式小车图像采集程序可同时采集 2 个作物行图像,无论是定点采集还是连续采集模式,4 个相机都是同时被触发,每触发 1 次就在采集图像次数文本框中记录 1 次,记录次数也等同于单个相机采集张数。

2 结果与分析

为测试所开发的履带式小车图像采集系统的可行性和稳定性,本研究对车载系统进行了实际现场作业,在地表铺设已粘贴磁条的塑料轨道和用于控制背景布升降的 S 极性地标磁条,实验环境如图 5 所示。

2.1 续航能力

太阳能板日发电量 W 、功率 P_s 、日发电时间 t 、储能转化效率 η 满足以下关系式:

$$W = P_s \times t \times \eta \quad (2)$$

实验结果显示, $P_s = 100 \text{ W}$, $t = 4 \text{ h}$, $\eta = 90\%$,由公式 2 可得,太阳能板日发电量 W : $W = 100 \text{ W} \times 4 \text{ h} \times 90\% = 360 \text{ W} \cdot \text{h}$ 。

履带式小车总功率 P 、小车负载电压 U 、小车负载电流 I 满足以下关系式:

$$P = UI \quad (3)$$

经实际测得,小车以 0.1 m/s 速度运行时,负载总电压 $U = 24 \text{ V}$,负载总电流 $I = 8 \text{ A}$,由公式 3 可得,履带式小车总功率 P : $P = 24 \text{ V} \times 8 \text{ A} = 192 \text{ W}$ 。

太阳能板日发电量 W 为 $360 \text{ W} \cdot \text{h}$,小车功率 P 为 192 W 。因此,太阳能板日发电量可以供给履带式小车正常工作 1.9 h 。又经实际测得蓄电池在充满电情况下,可以供给小车持续工作 2 h ,所以履带式小车日续航时间可达 3.9 h 。

2.2 导航精度

履带式小车主要是通过磁导航传感器检测车体中心与磁条空间位置信息,调整两侧驱动轮的速度实现自动导航跟踪功能。本研究通过在路面滴水获得履带式小车在不同速度下的行走轨迹,测试结果如图 8 所示。

试验发现,履带式小车运行速度为 0.1 m/s 时,小车直线运行偏差大约为 $\pm 2 \text{ cm}$,最小转弯半径为 0.5 m ;履带式小车运行速度为 0.2 m/s 时,小车直线运行偏差大约为 $\pm 2.8 \text{ cm}$,最小转弯半径为 0.7 m ;履带式小车运行速度为 0.3 m/s 时,小车直线运行偏差大约为 $\pm 3.5 \text{ cm}$,最小转弯半径为 0.9 m 。通过以上分析可以看出,履带式小车慢速作

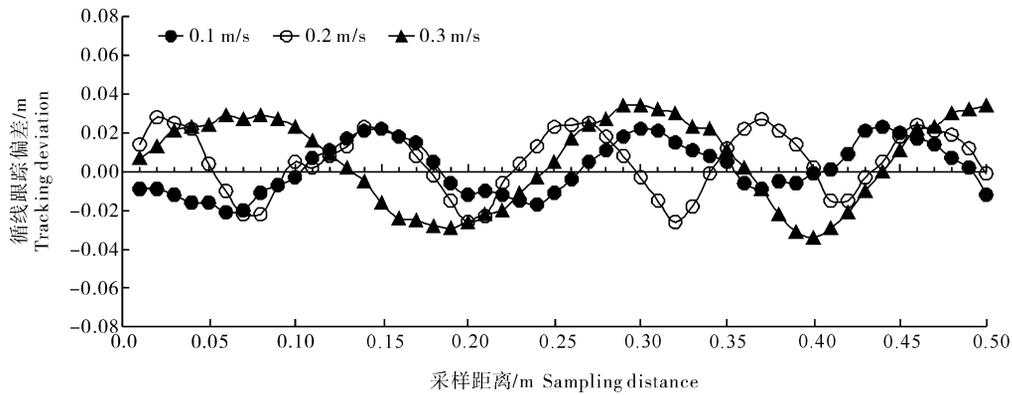


图 8 履带式小车速度响应偏差

Fig.8 Deviation chart for speed response of crawler car

业时的性能优于快速作业,因此,本试验采取 0.1 m/s,可以满足实验需要。

2.3 玉米图像的采集

为了验证系统的可行性,在华中农业大学作物表型中心对系统进行了测试。种植玉米植株 60 盆,从 2018 年 7 月 13 日至 2018 年 9 月 20 日,用该系统采集了玉米幼苗期到抽穗期的侧视图像和俯视图。将相机采集模式设置为连续采集模式,设定履带式小车的行驶速度为 0.1 m/s,连拍间隔时间为 1 s,图像传输时间大约为 1 s,则相机约 2 s 采集 1 次图像,单个相机图像采集效率约为 30 张/min。试验表明,该系统能稳定、可靠采集作物图像。图 9 为某株玉米从幼苗期到抽穗期的生长图像。



A:侧视图 Side view image; B:俯视图 Top view image.

图 9 玉米生长序列图

Fig.9 The sequence of corn plant growth.

3 讨论

本研究设计了一种适用于旱田作物的高通量履带式小车图像采集装置。本研究对象为旱田作物,激光导航和机器视觉导航都易受田间作物影响致

航精度较低,GPS 导航一般采用 RTK-DGPS 系统,成本相对昂贵。综合考虑,本研究采用磁导引方式,导航精度较高,导航磁条可方便移动,成本相对较低。由于旱田田间地形复杂,地面常有很多坑洼、凸起,甚至泥土还没有完全干涸(伴有湿泥),常规的轮式结构无法在田间正常运行。本研究使用的履带式小车采用履带式底盘结构能在田间稳定行走,且利用磁导引传感器引导小车在田间按照预定路径完成循迹任务,同时也可通过远程监测系统查看小车运行轨迹,一定程度上减少人为干预,节约劳动力。履带式小车利用可见光相机采用对称式结构,可同时自动、无损地对 2 个作物行进行图像采集,并将采集到的图像存储到计算机中,这对后续通过图像处理提取作物有用信息和深入挖掘作物生长机制、防御病虫害具有非常重要的意义。

本系统在旱田田间应用具备以下优点:(1)便捷、全自动。本系统只需在小车行走轨迹上铺设好导航磁条、地标磁条。在小车操作面板上闭合电源开关,并点击运行按钮,同时在计算机上打开履带式小车图像采集界面程序窗口,选择图像采集模式后并点击运行按钮,履带式小车即可开始做循迹运动并根据选择的图像采集模式采集作物图像。(2)高效率、低成本。本系统实际成本在 15 000 元左右,其中计算机、数码相机可以重复利用,实际成本预算还有下降空间。当启动小车后,小车开始沿作物行以 0.1~0.3 m/s 速度自动行走,根据小车日续航 3.9 h 计算,履带式小车采用连续采集模式可日采集 14 040 张作物图像,并将相机采集到的作物侧视和俯视图像转存于计算机中,节省相机内存空间。相对于传统的采集方法,使用本系统可极大地提高采

集效率,满足 1 天内需采集成百上千株作物的大量实验需求。(3)通用性强、稳定性高。该小车采用履带式底盘大大增加了与地面的接触面积,履带背面有齿纹,在旱田田间行走不易打滑,具有较好的越障能力和牵附着性能,另外底盘采用四轮驱动方式,每个驱动电机都配有减速器,使该小车有较强的动力。另外,磁条的铺设工作简单、容易对路径进行修改,磁导引传感器、磁地标传感器和欧姆龙 PLC 之间都是采用开关量输入输出,信号稳定便捷,不容易受外界干扰。(4)自给自足、节能环保。在履带式小车上安装太阳能电池板,可将太阳能转化为电能储存在蓄电池中,大大延长了履带式小车续航能力。使用太阳能电池板可节约电能,十分环保,应大力推广。

在本次试验中,虽未应用定点采集模式,但履带式小车具备此功能,当需要对作物进行重复性采集时可使用。该履带式小车连续工作了整个夏天,性能相对稳定。在作物遗传改良方面的研究中应用本装置,可以方便快捷、无干预、无损伤地采集农作物的生长图像。当然,本装置还存在不足的地方,如续航能力、图像采集设备的多元化等问题,后期可就此继续改进。

参考文献 References

- [1] AHAMED T, TIAN L, JIANG Y, et al. Tower remote-sensing system for monitoring energy crops, image acquisition and geometric corrections[J]. *Biosystems engineering*, 2012, 112(2): 93-107.
- [2] 殷建军, 张铁民, 可欣荣, 等. 面向田园监测的低成本多光谱图像远程采集节点设计[J]. *农业工程学报*, 2016, 32(13): 118-124. YIN J J, ZHANG T M, KE X R, et al. Design of remote acquisition node for low cost multispectral image oriented to pastoral monitoring[J]. *Transactions of the CSAE*, 2016, 32(13): 118-124(in Chinese with English abstract).
- [3] 吴兰兰, 熊利荣, 彭辉. 基于 RGB 植被指数的大田油菜图像分割定量评价[J]. *华中农业大学学报*, 2019, 38(2): 109-113. WU L L, XIONG L R, PENG H. Quantitative evaluation of in-field rapeseed image segmentation based on RGB vegetation indices[J]. *Journal of Huazhong Agricultural University*, 2019, 38(2): 109-113(in Chinese with English abstract).
- [4] 黄成龙, 张雪海, 吴迪, 等. 基于时间序列的玉米叶片性状动态提取方法研究[J]. *农业机械学报*, 2017, 48(5): 174-178, 198. HUANG C L, ZHANG X H, WU D, et al. Study on dynamic extraction method of maize leaf traits based on time series[J]. *Transactions of the Chinese society for agricultural machinery*, 2017, 48(5): 174-178, 198(in Chinese with English abstract).
- [5] ZHOU J, APPELEGATE C, ALONSO A D, et al. Leaf-GP: an open and automated software application for measuring growth phenotypes for arabidopsis and wheat[J]. *Plant methods*, 2017, 13: 117-133.
- [6] JESPER S, THOMAS R, SVEND C. Development of a mobile multispectral imaging platform for precise field phenotyping[J]. *Agronomy*, 2014, 4(3): 322-336.
- [7] TORRES-SANCHEZ J, PENA J M, DE CASTRO A I, et al. Multi-temporal mapping of the vegetation fraction in early-season wheat fields using images from UAV[J]. *Computers and electronics in agriculture*, 2014, 103: 104-113.
- [8] 梁万杰, 曹宏鑫. 基于 3G 和 ARM 嵌入式系统的农作物图像信息定时采集系统[J]. *江苏农业科学*, 2017, 45(21): 259-262. LIANG W J, CAO H X. Crop image information timing acquisition system based on 3G and arm embedded system[J]. *Jiangsu agricultural science*, 2017, 45(21): 259-262(in Chinese).
- [9] 胡静涛, 高雷, 白晓平, 等. 农业机械自动导航技术研究进展[J]. *农业工程学报*, 2015, 31(10): 9-18. HU J T, GAO L, BAI X P, et al. Review of research on automatic guidance of agricultural vehicles[J]. *Transactions of the Chinese society of agricultural engineering*, 2015, 31(10): 9-18(in Chinese with English abstract).
- [10] 周俊, 姬长英, 刘成良. 农用轮式移动机器人视觉导航系统[J]. *农业机械学报*, 2005, 36(3): 90-94. ZHOU J, JI C Y, LIU C L. Visual navigation system for agricultural wheeled mobile robot[J]. *Transactions of the Chinese society for agricultural machinery*, 2005, 36(3): 90-94(in Chinese with English abstract).
- [11] 丁幼春, 杨军强, 舒彩霞, 等. 油菜直播机组自动对厢作业控制器设计与试验[J]. *华中农业大学学报*, 2018, 37(1): 101-107. DING Y C, YANG J Q, SHU C X, et al. Design and implementation of the operation controller for rape seeder unit on the row[J]. *Journal of Huazhong Agricultural University*, 2018, 37(1): 101-107(in Chinese with English abstract).
- [12] KESKIN M, SEKERLI Y E, KAHRAMAN S. Performance of two low-cost GPS receivers for ground speed measurement under varying speed conditions[J]. *Precision agriculture*, 2017, 18(2): 264-277.
- [13] 田应仲, 葛华, 来晓江, 等. 磁导航托盘 AGV 自动控制系统的研制[J]. *机械制造*, 2016, 54(628): 12-14. TIAN Y Z, GE H, LAI X J, et al. Development of AGV automatic control system for magnetic navigation pallet[J]. *Mechanical manufacturing*, 2016, 54(628): 12-14(in Chinese).
- [14] 钟海兴, 许伦辉, 郭雅婷. 基于 ROS 的激光导航移动机器人控制系统设计[J]. *自动化与仪表*, 2018, 33(12): 30-33. ZHONG H X, XU L H, GUO Y T. Control system design of laser navigation mobile robot based on ROS[J]. *Automation & instrumentation*, 2018, 33(12): 30-33(in Chinese with English abstract).

- [15] BAKKER T, ASSELT K V, BONTSEMA J, et al. A path following algorithm for mobile robots[J]. *Autonomous robots*, 2010, 29(1): 85-97.
- [16] Z Aidner G, Shapiro A. A novel data fusion algorithm for low-cost localisation and navigation of autonomous vineyard sprayer robots[J]. *Biosystems engineering*, 2016, 146: 133-148.

Automatic crop image acquisition system based on crawler car by magnetic guidance

WANG Kang¹, LIANG Xiuying¹, ZHOU Fengran¹, CHEN Huan¹, YANG Wanneng^{1,2}

1. *College of Engineering, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, China* ;
2. *National Key Laboratory of Crop Genetic Improvement, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, China*

Abstract A high-throughput crawler car image acquisition suitable for dry field crops is designed to realize the growth image of crops automatically and efficiently. The system uses magnetic guidance sensor and magnetic stripe to realize the automatic walking of the car in the field according to the path, adopts crawler car chassis structure to ensure the stable operation of the system in the complex environment of the field. The overlooking and side-view cameras on both sides of the trolley bracket are installed to improve the work efficiency. The system uses wireless communication technology to monitor the operation of small cars remotely and the solar panel is installed at the top of the system to supply electric energy for small cars at run time. The images of maize plants from seedling period to tasseling stage were collected by this system. The results showed that the system was stable and reliable with the absolute error less than 2 cm in approximate straight line at 0.1 m/s speed and the minimum turning radius of 0.5 m. Single camera acquisition efficiency is 30 sheets per minute in continuous acquisition mode which can meet the actual needs. The system will provide a novel method for crop breeders to screen crop traits in the field.

Keywords image acquisition; crop growth monitoring; remote monitoring; magnetic guidance; motion control; crawler car; magnetic guidance; automatic walking

(责任编辑:陆文昌)