

# 一种在蔬菜设施内使用的自主行走小车的结构及控制方案

李金宝

中农丰茂植保机械有限公司,天津 300480

**摘要:**为解决蔬菜设施中人工施药所带来的系列问题,设计了可以自主行走的小车,用来搭载施药器械实施无人化蔬菜植保作业。该小车特点为:外形尺寸小,可以在蔬菜设施内部狭窄的路面上完成直行、转弯、倒车等动作;使用直流电机、控制器、光电传感器等器件,实现低成本的自主行走控制方案。将小车自主行走所需动作和控制器指令关联并编制程序,通过样机行走确认,小车可以完成包括直行、原地转弯、轨迹修正在内的各种动作,能够实现设施内的高精度自主行走。

**关键词:**自主行走;原地转弯;无人化

**中图分类号:**S224.3

DOI: 10.3969/j.issn.2097-065X.2024.04.011

## 0 引言

我国蔬菜设施的施药作业使用的药械中 80% 以上是背负式手动喷雾器。由于蔬菜设施内空间密闭,温湿度高,使用手动喷雾器施药会造成作业人员农药吸入和皮肤沉积风险高、作业劳动强度大、蔬菜农药残留等诸多问题。手动喷雾器之外的其他药械,比如自走式喷杆喷雾机、无人飞机等,不仅价格高,而且在蔬菜设施内难以适用<sup>[1-3]</sup>。

本文设计的可在蔬菜设施内自主行走的小车搭载施药器械作业具有以下优点:(1)人药分离作业,彻底消除农药吸入风险。(2)机器替代人工作业,大幅度降低劳动强度及人工成本。(3)相比人工施药,机器施药均匀度更高。

## 1 小车结构方案

### 1.1 转弯方式确定

蔬菜设施内道路狭窄,小车转弯半径受限。由图 1 可知,原地转弯方式下小车转弯半径最小,更能适应蔬菜设施内的道路环境。

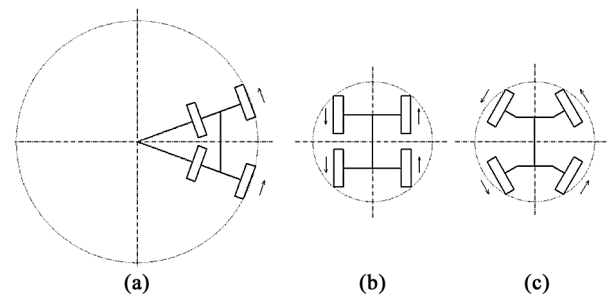


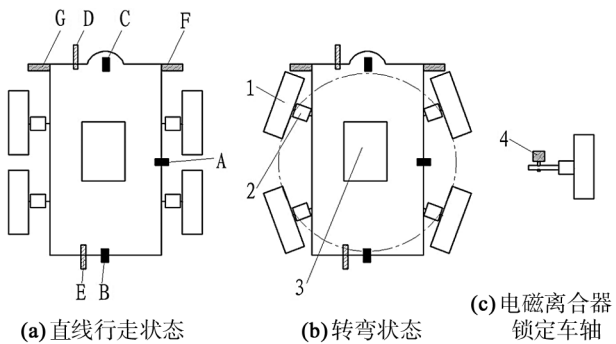
图 1 不同转弯方式下的转弯半径大小示意图  
原地转弯常见的方式主要有以下两种:

(1)车轴相对车身角度不变,左右两侧车轮相向转动。该方式下车轮所受垂直于其侧面的滑动摩擦力较大,转弯时容易破坏路面(图 1 b)。

(2)车轴相对车身改变角度  $\alpha(0^\circ < \alpha < 90^\circ)$ ,相邻 2 个车轮构成“八”字形,车轮按箭头方向转动。该方式下车轮所受的摩擦力与其行进方向基本一致(图 1 c)。蔬菜设施内的道路为松软的土路,方式(2)更能保证小车的动作精度。

### 1.2 结构方案设计

小车的结构设计如图 2 所示,其主要特点是:(1)直流电机与车轮直接连接;(2)车轴可以相对车身改变角度,车身配置的电磁离合器可以锁定车轴。



1. 车轮 2. 直流电机 3. 控制器 4. 电磁离合器

A~C. 光电传感器 D~E. 接近传感器

F~G. 超声波传感器

图 2 整机结构方案示意图

当车轮处于图 2 中位置 a 时,在直流电机的驱动下,小车可以做出前进或后退的动作;当车轮处于图 2 中位置 b 时,左右两侧车轮相向旋转,小车开始原地转弯。如图 2c 所示,小车在直行及转弯时,车轴被电磁离合器锁定;仅当车轮在图 2 中位置 a、b

间切换时,电磁离合器与车轴分离。

本结构方案在完成转弯动作时,除了 4 个直流电机外,不再需要额外的动力源和推拉机构,构造上大为简化。

## 2 小车控制方案

### 2.1 控制系统结构

用于机械自主行走控制的主要方式有 RTK—GNSS 定位式、空中轨道式、AGV 循迹式、激光导航式等。

RTK—GNSS 定位式主要用于大田农机上,对卫星信号不稳定的设施环境很难适用。空中轨道式容易实现,且动作精准,但需要在蔬菜上方铺设轨道,成本较高,另外,施药器械只能在轨道上对蔬菜进行“淋浴”式施药,农药有效利用率低。AGV 循迹方案可以控制小车沿规定路线实现蔬菜设施内的精准行走,但需要预先在地面铺设信号带,而另一方面,蔬菜设施内路面条件较差,土壤要频繁翻耕,铺设信号带几乎无法实现。激光导航式需要摄像头、LDS 等硬件设备,同时要开发智能芯片、研究定位和规划路径的算法,制造成本高、对环境要求相对苛刻<sup>[4-5]</sup>。

综合以上分析,为适应设施内蔬菜轮作导致道路位置频繁改变的特点,采用控制器和传感器结合的控制方案来实现小车自主行走。

如图 2 所示,控制系统由控制器、直流电机、光电传感器、超声波传感器、接近传感器、电磁离合器等元器件构成。控制方案简述如下:(1)小车运动状态时,车身设置的光电传感器能够检测来自设施墙体或透光膜上的反射光信号,经控制器处理后输出各直流电机“正转”“反转”或“停转”控制信号;通过 4 个直流电机的正转、反转、停转的相互配合,完成小车动作切换。(2)小车前后方安装避障机构,当避障机构触碰到障碍物后,触发接近开关动作并停车报警。(3)超声波传感器时时检测小车和两侧障碍物(蔬菜植株等)的距离差,当差值大于程序设定值时,控制器做出小车行进轨迹发生偏移的判断,此时通过直流电机的动作切换来修正小车运动轨迹。

### 2.2 控制过程

现结合图 3 说明小车在蔬菜设施内实现自主行走的控制过程。

(1)小车通电后,电磁离合器锁定车轴,直流电机驱动 4 个车轮同向旋转,小车向前行驶。

(2)在需要小车动作切换的位置张贴反射贴纸

或白纸。小车前进途中,光电传感器接收到反射光信号后,控制器控制相应直流电机的转向切换(或停转)和电磁离合器的离合切换,使小车完成转弯、倒车、停车动作。

(3)如果小车偏离正确行驶轨迹,超声波传感器会检测到小车与两侧植株的距离差大于程序设定阈值,此时通过 4 个直流电机的连续正反转切换来修正小车运动轨迹。

(4)小车直行至接近道路尽头,会按照上述(2)的方式完成动作切换。此时如果光电传感器未能及时接收到反射光信号,小车便会冲撞到设施墙体或透光膜上。为避免该状况发生,小车上设置的接近开关触发机构会先与设施墙体或透光膜接触,促使小车停车并报警。

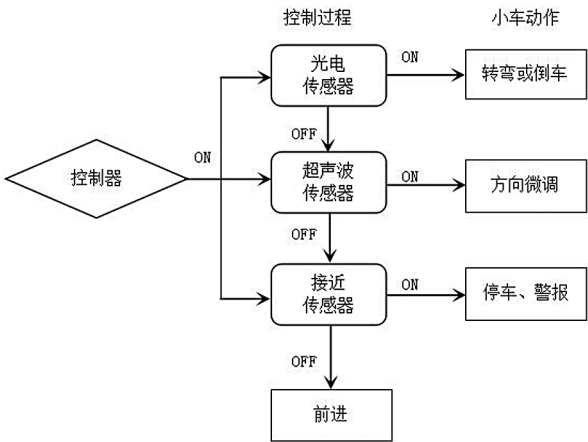


图 3 行走控制方式示意图

## 3 控制器编程准备

程序决定了控制器如何分析传感器信号以及如何对直流电机和电磁离合器下达动作指令,指令的正确性又决定了小车能否沿正确轨迹行走。换言之,描述出小车自主行走的动作,反推出动作背后的指令,才能准确编制出控制器程序。

### 3.1 小车动作描述

如图 4 所示,设施内道路分为两种,一种是长度与蔬菜设施等长的主路;一种是蔬菜行间的若干条支路。小车在设施内的行走动作描述如下(传感器位置见图 2):

(1)在位置 0(初始位置)处小车启动,直流电机驱动小车前进。

(2)小车前进到位置 1—1 处,光电传感器 A 检测到反射光信号后小车逆时针转弯;当光电传感器 B 接收到反射光信号时,转弯动作停止。

(3)小车进入第 1 行支路直行并越过位置 1—2,当光电传感器 C 检测到来自其前方的反射光信

号时,小车开始倒车。

(4)小车越过位置 1—3,当光电传感器 B 检测到反射光信号后小车顺时针转弯;当光电传感器 A 接收到反射光信号时,小车转弯动作停止,朝位置 1—4 行进。

(5)小车重复(1)~(4)的动作,顺次进入第 2、3……行支路,直至进入第  $n$  行(最后 1 行)支路。

(6)小车越过第  $n$  行的位置  $n-3$ ,当传感器 A、B 都检测到反射光信号时,小车顺时针转弯;转弯过程中反射光信号消失,当传感器 B 再次检测到反射光信号时,转弯停止。

(7)小车沿主路行驶并越过位置  $n-5$ ,到达位置 0 时,传感器 C 检测到反射光信号,小车停车。

以上(1)~(7)为小车正常工况下的动作,当小车发生异常情况时,将优先执行(8)、(9)的动作。

(8)小车在支路上直行时,超声波传感器 F、G 会检测车身距左右两侧植株的距离,如果距离差超过控制器程序阈值,表明小车移动轨迹发生偏移,此时通过 4 个直流电机的连续正反转切换来调整小车轨迹。

(9)在道路尽头处接近传感器 D 或 E 接收到感应信号,小车立即停车并发出警报。

小车动作(8)的具体内容如图 5 所示。当超声波传感器检测到两侧距离差( $|a-b|$ )大于程序阈值时,小车开始调整运动轨迹:

- ①各车轮沿箭头方向移动,小车顺时针原地转动一个角度  $\alpha$ 。
- ②直流电机驱动小车前进。
- ③小车小幅度前进一段距离后,各车轮沿箭头方向移动,小车逆时针原地转动一个角度  $\alpha$ 。
- ④新的距离差  $|a'-b'|$  仍大于程序阈值时,小车重复①~④的动作,直至回到正确运动轨迹上。

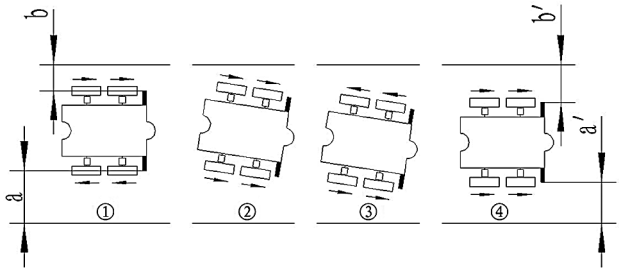


图 5 小车支路行走时方向纠偏示意图

3.2 用控制信号关联小车动作

小车在设施内自主行走动作的背后,是控制系统各元器件动作综合作用的结果。编制程序时,需要将小车的每一个动作与控制系统各元器件的动作进行关联。

表 1 汇总了 3.1 节所述小车动作(1)~(7)与控制系统各元器件动作的关系。

小车动作(8)背后的动作指令可参考动作(1)~(7),本文不再赘述。小车动作(9)代表接近传感器 D 或 E 接收到感应信号,此时控制器停止向直流电机输出 DI 信号,4 个直流电机停转,车身警报装置启动。

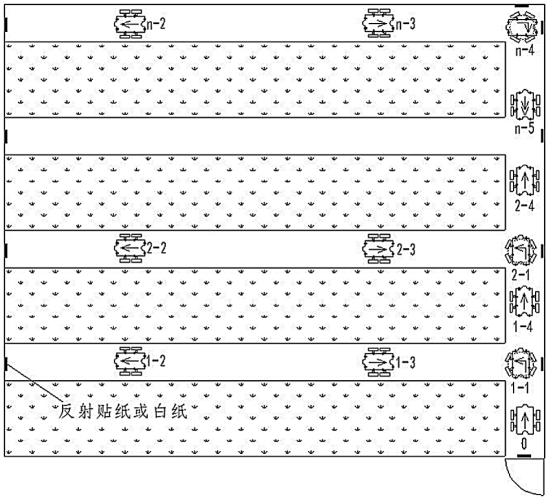


图 4 小车自主行走路线

注:图中左侧为透光膜,右侧为墙体。

表 1 正常工况下的控制系统动作

步骤	光电传感器代号			车轮（直流电机）				电磁离合器	小车动作	程序控制
	A	B	C	FL	RL	FR	RR			
1.0				正转	正转	正转	正转	合	前进	调用功能块1
1.1	1			正转	反转	正转	反转	离	逆时针转弯	
1.2				反转	反转	正转	正转	合		
1.3		1		反转	正转	反转	正转	离		
1.4				正转	正转	正转	正转	合	前进	
1.5			1	反转	反转	反转	反转	合	倒车	
1.6				反转	反转	反转	反转	合	倒车	
1.7		1		正转	反转	正转	反转	离	顺时针转弯	
1.8				正转	正转	反转	反转	合		
1.9	1			反转	正转	反转	正转	离		

续表 1

步骤	光电传感器代号			车轮（直流电机）				电磁离合器	小车动作	程序控制
	A	B	C	FL	RL	FR	RR			
2.0				正转	正转	正转	正转	合	前进	调用功能块1
2.1	1			正转	反转	正转	反转	离	逆时针转弯	
2.2				反转	反转	正转	正转	合		
2.3		1		反转	正转	反转	正转	离		
2.4				正转	正转	正转	正转	合		
2.5			1	反转	反转	反转	反转	合	倒车	
2.6				反转	反转	反转	反转	合	倒车	
2.7		1		正转	反转	正转	反转	离	顺时针转弯	
2.8				正转	正转	反转	反转	合		
2.9	1			反转	正转	反转	正转	离		
.....										
n.0				正转	正转	正转	正转	合	前进	调用功能块2
n.1	1		1	正转	反转	正转	反转	离	逆时针转弯	
n.2				反转	反转	正转	正转	合		
n.3		1		反转	正转	反转	正转	离		
n.4				正转	正转	正转	正转	合		
n.5			1	反转	反转	反转	反转	合	倒车	
n.6				反转	反转	反转	反转	合	倒车	
n.7	1	1		正转	反转	正转	反转	离	逆时针转弯	
n.8				反转	反转	正转	正转	合		
n.9		1		反转	正转	反转	正转	离		
n.10				正转	正转	正转	正转	合		
n.11	1			停转	停转	停转	停转	合	停止	

注：小车前进状态下各直流电机的旋转方向定义为正转，反之视为反转。

4 小车应用

小车最主要的应用是搭载施药器械在蔬菜设施内进行无人化的施药作业，该应用彻底解决了密闭环境下农药对作业人员的健康损害。小车的结构方案及控制方案都采用低成本设计，更贴合我国目前的蔬菜设施经营、农户的实际购买力，具有很好的推广前景。此外，小车还可以搭载不同的作业机具实现作业功能的多样化，例如，蔬菜设施内的施肥、松土、采摘作业等。

5 结语

本文所设计的小车采用简易而朴素的结构及控制方案，通过样机行走确认，在蔬菜设施内能完成原地转弯、运动轨迹修正、直行、驻车等动作，具有较高的行走精度和通行能力。使用该小车进行植保作业，可有效解决背负式喷雾器作业带来的农药吸入风险高、作业劳动强度大、蔬菜农药残留等问题。作为一款深度契合“绿色环保、精确高效”研究理念的

环境友好型植保机械，在一定程度上让蔬菜设施经营农户摆脱了植保作业中长期存在的“不愿干、不能干、干不好”的难题<sup>[6]</sup>。

参考文献：

[1] 郑建秋,郑翔,孙海,等. 设施蔬菜施药中存在的问题及技术改进[J]. 中国蔬菜,2017(5):87-89.

[2] 李海进,王昱潭,杨术明,等. 温室自走式自动喷雾器械的研制[J]. 河南农业科学,2016,45(7):137-142.

[3] 迟明梅,宋坚利,曾爱军,等. 施药条件对施药者体表污染的影响[J]. 农业工程学报,2010(5):276-281.

[4] 毛文菊,刘恒,王小乐,等. 双导航模式果园运输机器人设计与试验[J]. 农业机械学报,2022,53(3):27-39.

[5] 车菲. 激光导航 AGV 在机车系统的应用[J]. 物流技术,2018(6):65-68.

[6] 郑加强,徐幼林. 环境友好型农药喷施机械研究进展与展望[J]. 农业机械学报,2021,52(3):1-16.

作者简介:李金宝,男,1980年生,工程师。研究方向为植保机械。