

# 利用内部信息的农用自动引导行走车的研究(第4报)

## 适应农业环境的控制系统

于海业 马成林 并河清 村主胜彦  
(吉林工业大学) (日本 京都大学)

**提 要** 研究的行走控制系统由软、硬两部分组成,通过建立系统的控制模型,开发了利用非线性理论进行线性变换的直线行走控制方法和利用预测控制进行曲线行走控制的方法,通过实验确定了控制系统的参数;改造设计了行走车的行走与操向部分。实现了计算机的行走控制。

**关键词** 自动引导行走车 预测控制 系统模型

Study on Agricultural Automatic Guided  
Vehicle Using Inner Sensors (Part 4)

### Control System Fitting for Agricultural Environment of Vehicle

Yu Hai-ye Ma Cheng-lin Namikawa Kiyoshi Suguri Masahiko  
(Jilin University of Technology, Changchun) (Kyoto University, Japan)

**Abstract** The control system of an agricultural automatic guided vehicle was introduced. It was composed of two parts (software and hardware). The control models were built. The straight line control method was developed based on the linear transformation by using nonlinear theory. The curve control method was obtained by using forecasting control. The control parameters of the system were determined through experiments, and the computer controlling was realized.

**Key words** Automatic guided vehicle Forecasting control System model

自动引导行走的目的是使行走车沿目标路径行走,以完成相应的作业。由第3报所述的位置检测系统计算出行走车目前所在的位置,之后由控制系统控制车辆的行走。因此,本研究的控制系统具有如下的作用: 控制行走车的行走、停止、前进、后退; 控制行走车的操舵,以改变行走车的行进方向。

## 1 行走车的行走及操向装置

我们使用的行走车是由液压驱动式拖拉机改造的。经过改造后的驱动及操向液压图如图1所示。即在驱动部分加入了一个电磁式方向控制阀。在操向部分,使用了一个伺服阀来控制一油缸,又由油缸来驱动前轮实现拖拉机的操向控制。

收稿日期: 1997-04-04

于海业,副教授,长春市人民大街142号 吉林工业大学农机工程学院,130025

1) 行走、停止、前进后退的控制 在拖拉机的驱动部分, 由计算机控制电磁方向控制阀的不同方向位置的接通来实现。行走速度由流量调节阀事先调节好。

2) 操向控制 由计算机向伺服阀的驱动电路发出指令电压, 由伺服阀驱动油缸来驱动前轮操向并由安装在前轮上的旋转式电位计反馈其操向角, 从而实现行走车的操向控制。

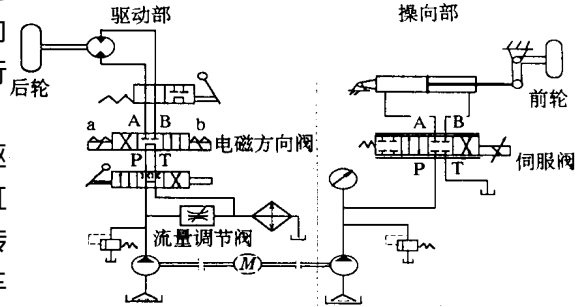


图 1 行走车的液压图

控制系统主要由以下几部分组成: 拖拉机的行走驱动, 操向系统; 控制电路; 接口电路; 计算机及软件系统。

## 2 控制系统

### 2.1 操向系统的控制

本研究的行走车在行走控制时速度是固定的, 主要是操向的控制。

1) 系统框图 如图 2 所示。

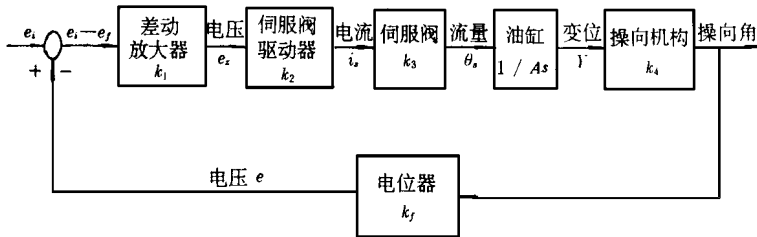


图 2 操向系统的系统框图

2) 传递函数

由框图及自动控制理论可知操向系统的传递函数为:

$$G(s) = \frac{Q(s)}{e_1(s)} = \frac{k_1 k_2 k_3 k_4}{A s + k_1 k_2 k_3 k_4 k_f}$$

其中各参数由系统及实验确定为:

$$k_1 = 2.0 \text{ V}/(\text{?}); k_2 k_3 = 18.92 \text{ cm}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{V}; k_4 = 5.463 (\text{?}/\text{cm});$$

$$k_f = 0.063 \text{ V}/(\text{?}); A = 4.91 \text{ cm}^2;$$

因此, 传递函数变为

$$G(s) = \frac{R}{1 + T s} = \frac{15.873}{1 + 0.377 s}$$

其中  $R = \frac{1}{k_f}; T = \frac{A}{k_1 k_2 k_3 k_4 k_f};$

3) 系统的动态特性

进行了系统的阶跃响应及频率响应的实验。阶跃响应的目标值为 30°。由实验可知, 理论计算值与实验值是非常接近的, 过渡响应时间大约是 1.0~1.2 s。由此可见, 传递函数是

正确的。频率响应实验输入的正弦曲线的频率为: 0.2, 0.4, 0.6, 0.8, 1.0, 1.2, 1.5, 2.0, 4.0, 6.0 Hz, 共 10 种频率。并进行了操向精度实验, 即由计算机发出目标操向角的指令, 然后测得实际输出的操向角。由结果可知, 具有较高的操向精度。

## 2.2 行走车的控制

行走车的控制主要包括: 直线行走及曲线行走的控制。

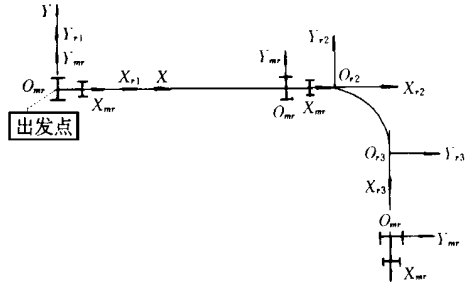


图 3 坐标系的定义

### 2.2.1 坐标系的定义

本控制系统定义三种坐标系, 图 3。

1) 绝对坐标系 ( $X Y Z - O$ ) 该坐标系固定在地面上, 是路径的基准坐标系。环境地图是根据此坐标系来决定各参数而表现的。原点  $O$  行走车出发点的后轮中心点在地面上的投影;  $X$  轴

行走车的前进方向;  $Y$  轴 与  $X$  轴垂直并指向前进方向的左侧;  $Z$  轴 垂直向上;

2) 相对坐标系 ( $X_r Y_r Z_r - O_r$ ) 该坐标系是在目标路径上的一定点移动的坐标系, 单纯直线行走或圆弧行走时, 与绝对坐标系相重合。原点  $O_r$  直线圆弧的连接点(或出发点);  $X_r$  轴 行走车应前进的方向;  $Y_r$  轴 与  $X_r$  轴相垂直, 并指向  $X_r$  轴的左侧;  $Z_r$  轴 垂直向上;

3) 相对移动坐标系 ( $X_{mr} Y_{mr} Z_{mr} - O_{mr}$ ) 该坐标系定义在行走车的后轮轴中心点处, 与行走车一起移动。原点  $O_{mr}$  行走车后轮轴中心点;  $X_{mr}$  行走车的中心对称线并指向前方;  $Y_{mr}$  与  $X_{mr}$  轴垂直并指向行走车的左侧;  $Z_{mr}$  垂直向上;

### 2.2.2 路径追踪控制模型的导出

1) 根据非线性理论的直线追踪控制。

使用符号的说明:

$X_r, Y_r, \theta$ : 车辆在  $X_r Y_r - O_r$  坐标系上的位置、方向角;  $\alpha$ : 操向角;  $L$ : 行走车的轴距;  $U$ : 行走车的行走速度;

假定: 行走速度为低速, 不考虑横向滑移; 车辆简化成两轮模型; 目标路径沿  $X_r$  轴方向行走。如图 4 所示, 在以上的条件下, 直线的路径追踪的目的是使车辆沿目标路径 ( $X_r$  轴) 行走, 即归结到  $Y_r$  和  $\theta$

0。该系统的基本方程为

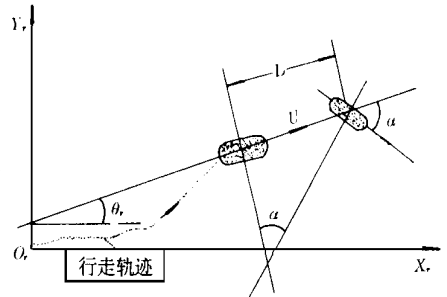


图 4 状态方程的导出

$$\begin{cases} \frac{dX_r}{dt} = U \cos \theta \\ \frac{dY_r}{dt} = U \sin \theta \\ \frac{d\theta}{dt} = \frac{U}{L} \operatorname{tg} \alpha \end{cases} \quad (1)$$

将其变形为

$$\begin{cases} \frac{dY_r}{dX_r} = \operatorname{tg}\alpha \\ \frac{d\theta}{dX_r} = \frac{1}{L \cos^3\theta} \operatorname{tg}\alpha \end{cases} \quad (2)$$

因此,系统的状态方程为:

$$\frac{d}{dX_r} \begin{bmatrix} Y_r \\ \theta \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \operatorname{tg}\theta \\ 0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ 1/L \cos^3\theta \end{bmatrix} \operatorname{tg}\alpha \quad (3)$$

这是非线性方程,它是把  $Y_r, \theta$  对时间  $t$  的微分变成对目标路径方向的位置  $X_r$  的微分。根据非线性理论进行线性化。首先进行坐标变换:

$$\varphi = \begin{bmatrix} \varphi_1 \\ \varphi_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Y_r \\ \operatorname{tg}\theta \end{bmatrix} \quad (4)$$

有效的  $Y_r, \theta$  的范围为

$$V = \left\{ (Y_r, \theta) \mid Y_r \in R, \theta \in \left(-\frac{\pi}{2}, \frac{\pi}{2}\right) \right\}$$

式中  $R$  是实数空间。将状态  $\varphi$  对  $X_r$  微分:

$$\begin{cases} \frac{d\varphi}{dX_r} = \frac{dY_r}{dX_r} = \operatorname{tg}\theta = \varphi_2 \\ \frac{d\varphi}{dX_r} = \frac{d}{dX_r} \operatorname{tg}\theta = \frac{\partial(\operatorname{tg}\theta)}{\partial k_r} \frac{dX_r}{d\theta} = \frac{1}{L \cos^3\theta} \operatorname{tg}\alpha \end{cases} \quad (5)$$

设  $\alpha = \operatorname{tg}^{-1}(L \cos^3\theta \cdot u)$  (6)

式中  $u$  为新的输入。则

$$\frac{d\varphi}{dX_r} = \frac{1}{L \cos^3\theta} \operatorname{tg}\alpha = \operatorname{tg}\alpha = u$$

因此,状态方程变为

$$\frac{d}{dX_r} \varphi = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \varphi + \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix} u \quad (7)$$

即为线性方程。

设状态反馈  $u = (k_1 k_2) \varphi = k_1 \varphi_1 + k_2 \varphi_2$  (8)

则操向角为  $\alpha = -\operatorname{tg}^{-1}\{(k_1 Y_r + k_2 \operatorname{tg}\theta)L \cos^3\theta\}$  (9)

2) 圆弧路径的追踪控制。圆弧路径的追踪控制

采用预测控制方法,不仅考虑过去及现在的目标值,还同时考虑未来的状况,并使目标值与控制量之间的偏离综合性最小,即在整个控制区间,使某评价函数最小。目标路径是给定的,选择其评价函数为目标路径与追踪路径之间的差最小,即

$$\min \epsilon = |Y_m - Y^*| \quad (10)$$

控制方法如图 5 所示,  $t$  时刻的行走车的后轮中心点的位置  $(X_t, Y_t)$  及方位  $\theta$  可由前述的位置检测系统来计算。根据现在时刻的行走车的行走速度  $U$

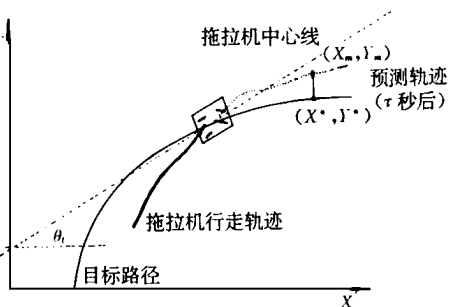


图 5 曲线路径的追踪控制

及角速度  $\dot{\theta}$ , 由下式可预测  $\tau$  秒后的行走车的位置  $(X^*, Y^*)$ 。

$$\begin{cases} X^* = X_t + \int_0^\tau U \cos(\theta + \dot{\theta}t) dt \\ Y^* = Y_t + \int_0^\tau U \sin(\theta + \dot{\theta}t) dt \end{cases} \quad (11)$$

设现在时刻  $t_1$  的操向角为  $\alpha_{t_1}$ , 可能的最大操向角为  $\alpha_{\max}$ , 目标操舵量  $\alpha_0$  的选择范围为

$$|\alpha_{t_1} - \alpha_0| \leq \alpha_{\max}$$

即  $\alpha_{t_1} - \alpha_{\max} \leq \alpha_0 \leq \alpha_{t_1} + \alpha_{\max}$

那么操向角为

$$\alpha = \alpha_{t_1} - \alpha_0 (1 - e^{-\frac{t-t_1}{\tau}}) \quad (12)$$

控制的方法是: 每隔  $t'$  秒, 由式(11)进行  $\tau$  秒后的位置的预测, 由式(10)、(12)决定最佳的操向角  $\alpha$ , 控制前轮的操向, 以实现沿圆弧行走的目的。

### 3 结 论

1) 通过车辆的运动模型建立了行走系统的直线行走控制模型, 并通过非线性理论进行了线性变换, 由此得到了操向角的计算公式(9), 并由实验确定了控制系统的各参数。

2) 圆弧路径的追踪控制采用预测控制方法, 不仅考虑过去及现在的目标值, 还同时考虑未来的状况, 并使目标值与控制量之间的偏离最小, 即在整个控制区间, 使目标路径与追踪路径之间的差这一评价函数最小。该方法同样适用于其它曲线路径的行走控制。

3) 通过对实验用行走车辆的硬件改造以及上述软件的控制方法, 可以实现自动引导行走的计算机控制。

#### 参 考 文 献

- 1 三平满司等 利用非线性理论的车辆的路径跟踪控制和移动计划 日本: 系统控制情报学会论文志, 1993, 6(1): 37~ 47
- 2 高野政晴 移动机器人的机构和移动控制技术 日本机器人学会志, 1987, 5(5): 390
- 3 于海业 农用自动引导行走车(机器人)的研究 [学位论文]: 长春: 吉林工业大学, 1994