

自动引导车辆系统的研究(四) 自动引导车辆(AGV)的建模仿真*

周云山^① 王荣本 王志中 张友坤
(吉林工业大学)

提 要 根据车辆动力学建立了引导系统的仿真模型,通过仿真研究了各主要因素对引导性能的影响。提出了相应的控制策略,并通过仿真运算加以证实。

关键词 自动引导车辆 机器视觉系统 系统仿真模型

1 引 言

自动引导车辆作为一门跨世纪新技术学科已为世界各国学者所关注,并对此进行了大量的研究工作^[1,2]。为了开展这一领域的理论和试验研究,我们研制和开发了一用计算机视觉引导的三轮自动引导车辆。根据这一系统的特点,本文主要讨论自动引导车辆的建模仿真以及控制策略。为了实时控制的目的,进一步通过仿真研究各主要因素对路径跟踪性能的影响,在满足工程精度的前提下给出最简单模型结构。

2 引导系统的动力学模型

2.1 车辆转向运动学

因为用于工农业生产的自动引导车辆的行驶速度不高,故轮胎的侧偏角可以忽略不计。在这一假定下,三轮车辆转向的运动学如图1所示。在图示状态,前轮中心的运动速度为:

$$\frac{dx}{dt} = V \cos(\alpha + \beta) \quad (1)$$

$$\frac{dy}{dt} = V \sin(\alpha + \beta) \quad (2)$$

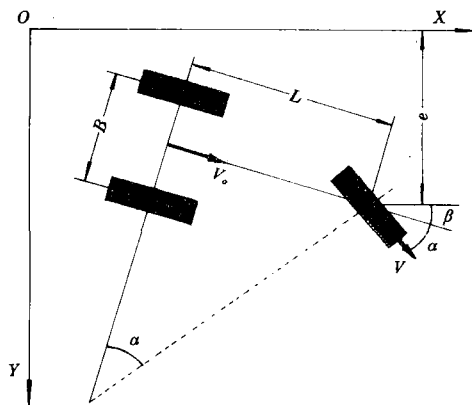


图1 车辆转向运动学

Fig. 1 Vehicle kinematics in steering

收稿日期:1994-10-17

* 吉林省科委基金资助项目

①周云山, 博士生, 副教授, 长春市斯大林大街 吉林工业大学农机工程学院, 130025

式中 $V = V_0 / \cos\alpha$ 为前轮沿前轮对称平面的运动速度; V_0 —车辆实际行驶速度; α —导向轮偏转角; β —车辆纵向对称平面对 x 轴的偏转角(下称方位角)。

由图 1 可导出车辆的回转角速度为:

$$\frac{d\beta}{dt} = \frac{V_0}{L} \operatorname{tg}\alpha \quad (3)$$

式中 L 为轴距。由(1)、(2)、(3)式可见,车辆的运动轨迹完全由前轮的偏转角 α 确定。引导车辆导向系统控制器的设计任务最后归结为:根据机器视觉系统提供的跟踪路径,找到一有效的控制算法确定前轮的偏转角 α 。

2.2 转向驱动机构

偏转前轮的转向驱动机构请参看文献[2]中的总体结构图 1,它选用步进电机作为动力元件,其运动经一对减速齿轮驱动前轮偏转。

无论是导向系统控制器设计,还是进行引导车辆的系统仿真,都离不开转向驱动机构的模型。通过试验测得转向驱动机构对阶跃输入的响应曲线如图 2a,输入信号为步进电机控制电压,输出信号为前轮的偏转角 α 。经差分运算得到速度信号如图 2b。

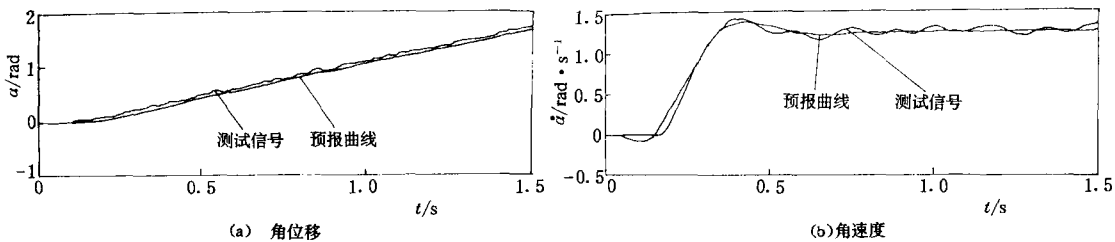


图 2 转向驱动机构的阶跃响应

Fig. 2 Step responses for steering actuator

2.3 模型辨识

为了辨识的目的,对测试信号先进行了必要的预处理。

1)用三阶 Butterworth 滤波器

$$H_f(S) = \frac{1}{1 + 2(S/\omega_c) + 2(S/\omega_c)^2 + (S/\omega_c)^3} \quad (4)$$

滤去高频噪声,滤波器在 3dB 时的截止频率 $f_c = 30\text{Hz}$, $\omega_c = 2\pi f$

2)采用时移方法,使输入信号和输出信号在时间上保持同步,消除纯时滞因素。

3)减去信号的初值,使阶跃信号从零点开始。

考虑到输出误差预报法对阶跃信号给出最好的参数估计^[3],为此令模型的结构为:

$$y(t) = \frac{B(Z)}{F(Z)} u(t - n_k) + e(t) \quad (5)$$

经辨识得:二阶模型为最佳阶次,它的传递函数为:

$$G(S) = \frac{(8.91S + 506.3) \times 100}{S^2 + 15.7926S + 195.23} \quad (6)$$

用拟合模型预测阶跃响应与测试结果非常吻合(参看图 2b)。对方程(6)作积分运算,即可得到输入电压信号和前轮转角 α 的传递函数:

$$G_{a1}(S) = \frac{100}{S} \cdot \frac{8.91S + 506.3}{S^2 + 15.7926S + 195.23} \quad (7)$$

由于转向机构角速度瞬态过渡时间很短,它对阶跃信号的响应,即其角位移输出近似为一积分环节。故转向机构的输入与输出(角位移)可用如下传递函数描述:

$$G_{a2}(S) = e^{-\tau s} \cdot \frac{K}{S} \quad (8)$$

经计算,当 $\tau=0.05s$,常数 $K=0.6$ 时,用方程(8)预测转向驱动机构的角位移响应与测试数据一致吻合。

由于用方程(7)和(8)预测转向机构的角位移响应非常接近,在以下的仿真研究中先考虑方程(8)。然后通过仿真研究(7)和(8)用于控制系统两者之间的误差,在满足工程精度要求前提下,选用最简单的模型描述转向机构的特性。

3 控制策略

设图1中 x 轴为车辆跟踪路径,前轮中心到 x 轴的距离定义为偏差 e 。当偏差 e 一定时,车辆的方位角 β 和前轮的偏转角 α 完全可以有不同的值。如果偏差 e 相同,而初始的 β 和 α 不同,在相同控制作用下,车辆有完全不同的运动轨迹。所以当偏差 e 给定以后,仍不能准确确定控制信号的大小。为了保证自动引导车辆能够准确跟踪给定的路径,控制信号应包括:偏差 e 、车辆方位角 β 和前轮偏转角 α 三个方面的信息,或由公式描述为:

$$u = K_a \cdot d + K_\beta \cdot \beta + K_e \cdot e \quad (9)$$

式中 u 为反馈控制信号, K_a 、 K_β 和 K_e 分别为前轮转角、车辆方位角和偏差的反馈系数

车辆的方位角 β 和偏差 e 由计算机视觉系统提供,前轮转角 α 由角位移传感器测定。从控制方面讲,只要系统是可观的,则完全可以根据输入信号和输出信号(偏差)估计出全部状态信息。但对实时控制,为了减少计算,提高运算速度,要求公式(9)中所有变量最好是直接观测的。

4 仿真研究

车辆转向运动方程(1)、(2)、(3)和转向驱动机构传递函数(8)构成引导系统的动态模型:

$$\begin{cases} \frac{dx}{dt} = V \cdot \cos(\alpha + \beta) \\ \frac{dy}{dt} = V \cdot \sin(\alpha + \beta) \\ \frac{d\beta}{dt} = \frac{V_o}{L} \cdot \operatorname{tg}\alpha \\ V = V_o / \cos\alpha \end{cases} \quad (\text{车辆转向运动学}) \quad (a)$$

$$\alpha(S) = e^{-\tau s} \cdot \frac{K}{S} u(S) \quad (\text{转向驱动机构})$$

上述的模型包含一些非线性因素,这给控制器的设计带来一定的困难。考虑到车辆在控制状态,前轮的偏转角和车辆的方位角都很小。这意味: $\sin\alpha = \alpha, \cos\alpha = 1, \sin(\alpha + \beta) = \alpha + \beta, \cos(\alpha + \beta) = 1, \text{tg}\alpha = \alpha$ 都是理想的近似。此外,不考虑模型 a 中转向驱动机构的滞后因子 τ 的影响。

在上述假定下,模型 a 转化为如下的线性模型:

$$\begin{cases} \frac{dx}{dt} = V_o \\ \frac{dy}{dt} = V_o(\alpha + \beta) \quad (\text{车辆转向运动学}) \\ \frac{d\beta}{dt} = \frac{V_o}{L} \cdot \alpha \end{cases} \quad (b)$$

$$\alpha(S) = \frac{K}{S} \cdot u(S) \quad (\text{转向驱动机构})$$

$$u(t) = K_a \cdot \alpha + K_\beta \cdot \beta + K_e \cdot e \quad (\text{控制规律})$$

如果模型 b 中的转向驱动机构采用公式(7)描述,又可得到一个线性化模型,以下称之为模型 c,线性系统的仿真结构框图如图 3 所示。基于模型 b,设计了一最优控制器,相应的一组反馈系数为:

$$[K_a, K_\beta, K_e] = [4.828, 3.767, 4.472] \quad (10)$$

为了比较线性化模型和非线性模型之间的误差,以及转向驱动机构(7)和(8)之间的误差,在相同条件下(即相同的控制器),仿真计算了模型 a、b 和 c 对阶跃扰动的响应。计算结果如图 4 所示。

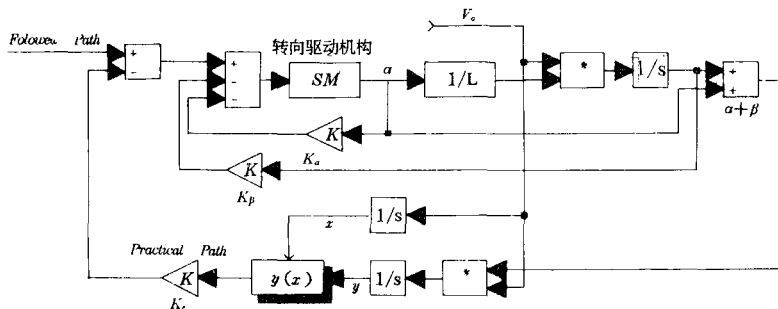


图 3 线性系统仿真结构框图

Fig. 3 Simulation block sketch of linear system

由图可以看出,三个模型的跟踪响应(偏差)非常接近,仅控制信号稍有差异。由此证实:线性化后的模型与原系统之间的误差可以忽略不计;转向驱动机构的瞬态响应对跟踪性能的影响也可以忽略不计。对于实时控制系统,可按线性模型 b 进行控制器设计。

以上是假定车辆的行驶速度 $V_o = 1 \text{ (m} \cdot \text{s}^{-1}\text{)}$ 时的计算结果。因为图 3 所示的系统与车辆的行驶速度有关,故速度对跟踪性能有不可忽视的影响。通过仿真计算三种不同行驶速度对跟踪性能的影响如图 5 所示。当行驶速度大于 $300 \text{ (cm} \cdot \text{s}^{-1}\text{)}$ 时,系统出现了较大的振动。可见,基于某一速度设计的控制器不可能满足车辆行驶速度在大范围内 $[0, V_{\text{max}}]$ 变化的要

求。为了保证所设计的控制器的跟踪性能不随行驶速度的提高而恶化,必须寻求新的控制算法或寻找一新的控制模型,这将在后继研究中介绍。

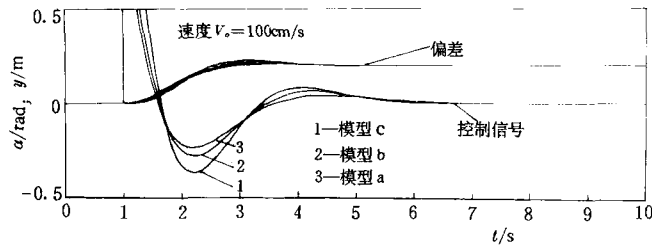


图4 引导系统的阶跃响应

Fig. 4 Step response for guidance system

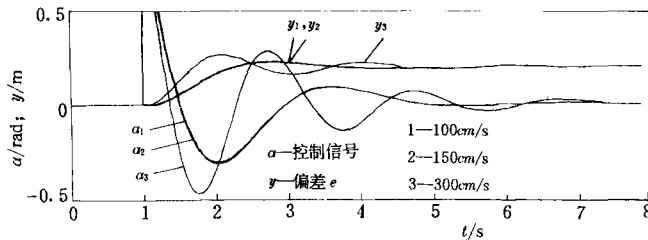


图5 速度对控制性能的影响

Fig. 5 The effect of speed on tracking capability

5 结论

1) 利用系统辨识技术拟合了转向驱动机构的瞬态响应和稳态响应模型。由于瞬态响应较快,它对控制系统跟踪性能的影响不大,故在以后的研究中可用稳态响应〔公式(8)〕描述转向驱动机构的特性。

2) 车辆在控制状态,通常前轮偏转角和车辆方位角都较小,因而可把引导系统的模型(a)线性化,所得到的线性化模型完全可满足跟踪性能的要求。在后继研究中将用线性模型(b)作为参考模型。

3) 车辆的行驶速度是影响跟踪性能的关键因素。通过仿真研究表明,基于某一确定速度设计的控制器不能适应车辆行驶速度在大范围内变化的要求。为此必须探讨新的模型结构或新的控制算法以满足在不同速度时的跟踪性能要求。

参 考 文 献

- 1 A j Hamani. M G Mehrabi. A New Control Strategy for Tracking in Mobile Robots and AGVS. IEEE 1990, 1122~1127
- 2 王荣本, 张友坤, 王志中. 自动引导车辆系统的研究(二)——有线图象识别式自动引导车辆系统设计. 农业工程学报, 1994, 10(3): 21~26
- 3 Ljung L. *System Identification—Theory for the User*. Prentice Hall, Englewood Cliffs, N J 1987

Modelling and Simulation of Automated Guided Vehicle

Zhou Yunshan Wang Rongben Wang Zhizhong Zhang Youkun

(Jilin University of Technology)

Abstract

This paper established a simulation model of guided system based on vehicle dynamics, with the effect of all main factors on guided performance investigated by simulation. The related control strategy was proposed and supported by the results of simulation calculations.

Key words Automated guided vehicle system Machine vision System simulation and modelling