

# 自动引导车辆转向系统的辨识建模\*

王志中 王荣本 张友坤 李 兵  
(吉林工业大学)

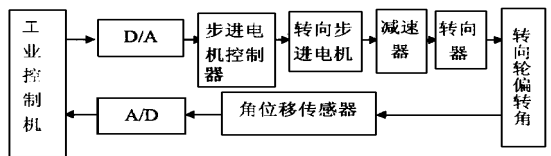
**摘 要** 自动引导车辆转向系统的建模是建立系统最优控制器的主要前提,而传统的理论分析建模方法,存在着繁琐、难以实现等一系列问题。该文通过对自行研制的模型车转向系统实际输入输出数据的分析,提出采用广义最小二乘辨识方法来建立转向系统模型。理论分析与实验验证表明,这是对现代复杂工业对象建立相对准确的数学模型的一种行之有效的方法。

**关键词** 自动引导车辆 系统辨识 广义最小二乘法

多年来,我们一直从事图像识别式自动引导车辆系统(Automatically Guided Vehicle System,简称AGVS)的研究,设计并制造了一辆AGVS模型车,开展了一系列理论研究与实验验证工作<sup>[1]</sup>。在AGVS的研究中,一个非常重要的前提就是正确建立转向系统的数学模型,基于此模型构造相应的控制模型。但由于对象的复杂性,单纯的理论分析建模方法,需要确定系统的许多特性参数,选取这些参数十分繁琐,在某些环境下也无法实现。另外,为降低系统模型的复杂性,要经过许多的假设与简化,所获得的系统数学模型往往不能真实表征系统的动态特征,从而难以满足对系统的最优控制设计。

从控制的观点来研究系统模型,希望能够找到一个阶次较低但又能比较真实反映系统运动规律的数学模型,即只要求该模型能在预定意义上真实反映系统动态特征,达到相对准确,用以设计相应的控制器并达到相应的控制性能。

随着系统辨识理论与方法的发展,应用系统辨识的方法,通过实验研究来确定系统的数学模型,是一种能满足上述要求的行之有效的途径。



## 1 辨识实验系统设计

图 1 AGVS 转向系统框图

Fig 1 Flow chart of the Steering system of A G V S

如图 1 所示,实验系统以工业控制机为中心进行测量与控制,其主要过程为:工业控制机通过 A/D 接口卡上的 D/A 芯片,发出电压至步进电机控制器,步进电机控制器将电压转换为与之线性对应的脉冲,使步进电机按所发脉冲步进,经减速器与转向器,实现转向轮的偏转。通过角位移传感器,再实现转角与电压的线性关系转换,再将电压信号通过 A/D 接口卡上的 A/D 芯片转换成数字信号读入工控机。

理论上讲,转向轮转角与输入脉冲数是一一映射的。但实际上,由于减速器与转向器所引入的随机噪声,使得当输入脉冲数相同时,转向轮转角也各不相同,故必须将系统噪声考虑到

收稿日期: 1999-01-14

\* 吉林省科委基金资助项目(9711208062),原机械部教育司基金资助项目(9711201124)

王志中,工程师,长春市人民大街 142 号 吉林工业大学汽车学院,130025



系统的数学模型中。

## 2 模型类与结构选择

模型类与结构选择包括模型验前类与结构的假定和模型结构参数的确定这两部分, 由于模型车转向系统与传统车辆转向系统差别较大, 缺少可比性, 对其动态特性了解甚少, 为对转向系统特性进行初步分析, 首先对转向系统进行下述阶跃输入下的过程响应试验。

在转向轮居中状态下, 通过 D/A 芯片输出一阶跃电压控制信号, 使转向轮偏转, 在转向轮偏转过程中, 按 0.01 s 采样时间间隔测量转向轮偏转角。原始实验数据如图 2a 所示。

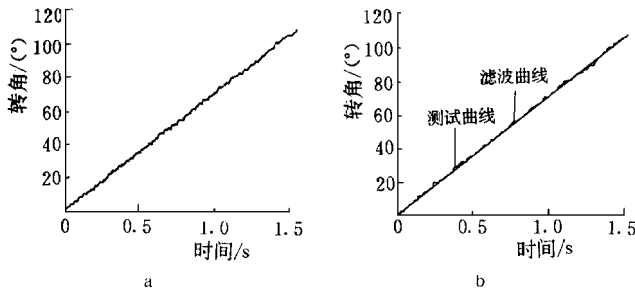


图 2 转向轮偏转角阶跃响应曲线

Fig. 2 Step response curve of steering angle of steering wheel

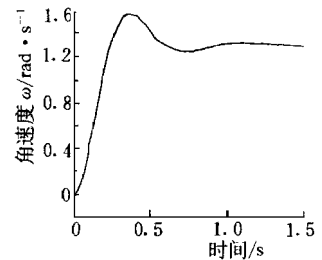


图 3 转向轮角速度阶跃响应曲线

Fig. 3 Step response curve of angular velocity of steering wheel

为了减少系统中的噪声干扰, 对测试数据应进行必要的前处理, 以排除可能存在的高频成分对测量结果分析的影响, 因此需要一个低通数字滤波器, 在实验中我们采用三阶 Butterworth 数字滤波器进行数字滤波。图 2b 为滤波处理后的转角角位移阶跃响应曲线。

在图 2b 中可以观察到, 转向轮转角在很短时间内即进入稳态过程, 因此难以反映转向系统动态特性, 为此, 将测试数据按下式进行转换处理

$$\omega(k) = \pi \frac{\alpha[(k+1)T] - \alpha(kT)}{180T} \quad (1)$$

式中  $\omega$ ——转向轮偏转角速度, rad/s;  $\alpha$ ——转向轮偏转角, (°);  $T$ ——采样周期, s;  $k$ ——转角采样序号。

转换后的转向轮阶跃输入作用下的角速度响应曲线如图 3 所示。

根据试验曲线, 可以粗略估计出在阶跃输入作用下, 转向轮角速度响应的调整时间约为 0.6 s, 上升时间约为 0.4 s, 延迟时间约为 0.2 s, 最大超调量约为 25%, 系统至少应为二阶模型系统, 故我们先设定系统模型为三阶 ARMAX 模型。

## 3 模型参数估计与验证

### 3.1 辨识输入信号选择

如果模型结构选择正确, 辨识的精度将直接通过 Fisher 信息矩阵依赖于输入信号。虽然选用白噪声作为辨识输入信号可以保证获得较好的辨识效果, 但白噪声在工程中不易实现。在工程上, 一般选用最长线性移位寄存器序列(简称 M 序列)作为辨识输入信号, 它有近似白噪声的性质, 可保证有好的辨识精度。实验中我们采用 4 级 M 序列输入信号, 故  $N_p = 15$ ,  $\Delta t$  为移位脉冲周期, 选  $\Delta t = 0.2$  s, 则信号周期  $T = 3$  s。此信号实际的物理意义为给转向步进电机电源控制器输入电压信号, 它在计算机内由 D/A 芯片产生。

### 3.2 转向系统辨识与分析

对于传统最小二乘辨识方法, 如果系统的数学模型为<sup>[2]</sup>

$$A(z^{-1})z(k) = B(z^{-1})u(k) + e(k) \quad (2)$$

其中

$$A(z^{-1}) = 1 + a_1z^{-1} + \dots + a_naz^{-na}$$

$$B(z^{-1}) = b_0 + b_1z^{-1} + \dots + b_nbz^{-na}$$

可将模型(2)写成最小二乘格式

$$z(k) = h^T(k)\theta + e(k) \quad (3)$$

式中

$$\begin{cases} h = [-z(k-1), \dots, -z(k-na), u(k), u(k-1), \dots, u(k-nb)]^T \\ \theta = [a_1, a_2, \dots, a_{na}, b_0, b_1, b_2, \dots, b_{nb}]^T \end{cases} \quad (4)$$

对于  $k = 1, 2, \dots, L$ , 方程(4)构成一个线性方程组, 可写成

$$Z_L = H_L \theta + e_L \quad (5)$$

式中

$$\begin{cases} Z_L = [z(1), z(2), \dots, z(L)]^T \\ H_L = \begin{bmatrix} h^T(1) \\ h^T(2) \\ \vdots \\ h^T(L) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -z(0) & \dots & -z(1-na) & u(1) & \dots & u(1-nb) \\ -z(1) & \dots & -z(2-na) & u(2) & \dots & u(2-nb) \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ -z(L-1) & \dots & -z(L-na) & u(L) & \dots & u(L-nb) \end{bmatrix} \\ e_L = [e(1), e(2), \dots, e(L)]^T \end{cases}$$

对上述问题, 取准则函数为

$$J(\theta) = \sum_{k=1}^L [z(k) - h^T(k)\theta]^2 \quad (6)$$

使  $J(\theta)$  趋于极小可得系统参数的最小二乘估计为

$$\hat{\theta}_s = (H_L^T H_L)^{-1} H_L^T Z_L \quad (7)$$

最小二乘估计只有当系统噪声为独立的白噪声时, 才是无偏、一致、有效的估计。因为我们实验系统的模型为 ARMAX 模型, 噪声是有色噪声, 辨识算法可采用增广最小二乘法, 即将噪声模型考虑进去, 则方程组(4)相应变为

$$\begin{cases} h(k) = [-z(k-1), \dots, -z(k-na), u(k), u(k-1), \dots, u(k-nb), e(k-1), \dots, e(k-nc)]^T \\ \theta = [a_1, a_2, \dots, a_{na}, b_0, b_1, b_2, \dots, b_{nb}, c_1, c_2, \dots, c_{nc}]^T \end{cases}$$

则可将 ARMAX 模型化为最小二乘格式

$$z(k) = h^T(k)\theta + e(k) \quad (8)$$

因数据向量  $h(k)$  中包含着不可测的噪声量  $e(k-1), \dots, e(k-nc)$ , 它可用相应的估计值代替, 则

$$h(k) = [-z(k-1), \dots, -\hat{z}(k-na), u(k), u(k-1), \dots, u(k-nb), \hat{e}(k-1), \dots, \hat{e}(k-nc)]^T$$

其中

$$\begin{cases} k=0, \hat{e}(k)=0; \\ k>0, \hat{e}(k) = z(k) - h^T(k)\hat{\theta}(k-1) \end{cases}$$

这样, 即可得出系统辨识的增广最小二乘递推算法:

$$\begin{cases} \hat{\theta}(k) = \hat{\theta}(k-1) + K(k) [z(k) - h^T(k)\hat{\theta}(k-1)] \\ K(k) = P(k-1)h(k) [h^T(k)P(k-1)h(k) + 1]^{-1} \\ P(k) = [I - K(k)h^T(k)]P(k-1) \\ P(k-1) = [h^T(k-1)h(k-1)]^{-1} \end{cases} \quad (9)$$

前面所讨论的算法,均假设系统阶次已知。而实际上,只是根据系统的阶跃响应,近似估计为三阶,而没有进行验证。故在进行实际辨识之前,需首先确定系统阶次。可分别选取不同阶次的系统,进行试验数据与仿真数据的拟合比较,根据拟合度来确定系统阶次。分别选  $n = 1, 2, \dots, 5$ , 得各拟合度如表 1 所示

表 1 不同阶次时试验数据与仿真数据的拟合度比较

Tab 1 Comparison of fitted degree between the experimental data and simulated data by choosing different order

$n$	1	2	3	4	5
拟合度	0.3422	1.1886e-16	6.3938e-17	1.4259e-12	6.8285e-12

从表中可看出,系统的阶次取三阶为最佳。

利用上述算法进行辨识,以 0.01 s 采样周期测取转向轮转角,图 4 为实际测得的在一个完整的输入信号周期内输入信号与转向轮角位移输出信号之间的关系曲线。

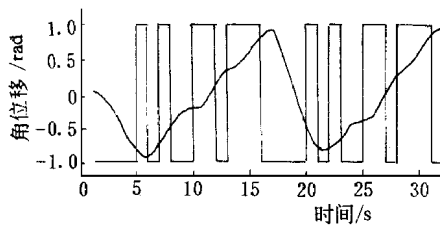


图 4 转向轮角位移响应曲线

Fig. 4 Response curve of angular displacement of steering wheel

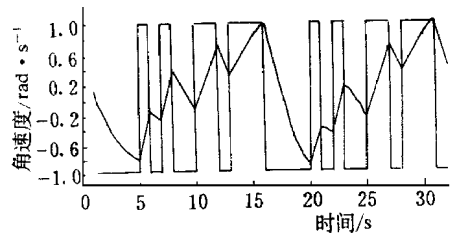


图 5 转向轮角速度响应曲线

Fig. 5 Response curve of angular frequency of steering wheel

在图 4 中,角位移信号已经过三阶 Butterworth 滤波器进行了滤波处理。从测试结果可以看出,转向轮偏转角基本按照输入信号规律变化。

为了更直接反映转向系统的动态特性,在实际进行参数辨识时,依据测取的转向轮角位移输出信号,仍将其转换为转向轮偏转角速度。图 5 表示了经滤波处理后的转向轮偏转角速度与输入信号的关系曲线。

取辨识数据长度  $L = 300$ , 可得如下描述转向系统的差分方程:

$$z(k) = -z(k-1) + 1.9019z(k-2) - 0.9115z(k-3) + 0.0066u(k-2) + 0.0057u(k-3) + e(k) + e(k-1) + 0.0066e(k-2) + 0.8677e(k-3)$$

## 4 结 论

由于现代工业对象的复杂性,采用传统的理论分析建模方法,难以得到系统的精确数学模型,也难以满足对系统的最优控制设计。根据不同的控制环境、控制对象、控制目标,选取相应合理的系统辨识方法,是一种能够很好地解决此问题的方法。本文通过采用系统辨识的广义最小二乘法,得到 AGV S 转向系统的差分方程描述。使用此模型,在实验中较好地解决了 AGV S 的转向系统的建模与控制问题。

## 参 考 文 献

- 1 王荣本 图像识别式自动引导车辆的研究: [博士学位论文] 长春: 吉林工业大学, 1995. 40~ 58
- 2 方崇智, 萧德云. 过程辨识 北京: 清华大学出版社, 1998. 133~ 175
- 3 王荣本, 张友坤, 王志中. 世界自动引导车辆系统(AGV S)的发展. 农业工程学报, 1994, 10(2): 18~ 22
- 4 王荣本, 张友坤, 王志中. 有线图像识别式自动引导车辆系统设计. 农业工程学报, 1994, 10(3): 21~ 26
- 5 王荣本, 张友坤, 王志中. 图像识别AGV S 自动在线专家系统设计. 农业工程学报, 1994, 10(增刊): 15~ 20
- 6 Clarke D W. Generalized-least-squares estimation of the parameters of a dynamic model. IFAC-Symposium on Identification in Automatic Control System, paper 3. 17. 1967. 110~ 121
- 7 A lbnzo Kelly and Anthony Stentz. A nalysis of requirements for high speed rough terrain autonomous mobility. Proceeding of the 1997 IEEE: International Conference on Robotics and Automation, 345~ 357

## Modelling of Steering System of Automatically Guided Vehicle System (AGVS) by the System Identification

Wang Zhizhong Wang Rongben Zhang Youkun Li Bing

(Jilin University of Technology, Changchun, 130025)

**Abstract** Automatically Guided Vehicle System (AGV S) is the key facility in flexible integrated production and material-flow automation of the AGV S working performances. In the study of AGV S, a very important premise is how to establish the mathematical model of steering system, and based on this model to establish the controlling model. Because of the complexity of modern industrial plant, it is very difficult to do so by pure theoretical analysis method. From the viewpoint of control, it is hoped to find a kind of mathematical model, which can not only properly reflect system motion law, but also has a low order. With the development of the system identification theory and method, choosing a proper identification algorithm satisfying the different aims, circumstances, plants, etc will be a kind of good approach for solving the above questions. By analyzing the experimental input and output data, the Generalized Least Square (GLS) algorithm was chosen and the system differential equation was obtained. It was proved that it is a good method to solve the questions on modeling and controlling of complicated industrial plant.

**Key words** automatically guided vehicle system, system identification, generalized least squares algorithm