文章编号:1000-8152(2010)09-1263-06

### 带约束的电罗经航向自适应模型 $H_{\infty}$ 估计算法

夏卫星1,杨晓东2,施闻明1

(1. 海军潜艇学院 训练大队, 山东 青岛 266071; 2. 海军潜艇学院 航海观通系, 山东 青岛 266071)

**摘要**: 舰艇在航行时受到风、浪以及摇摆等外部干扰, 使电罗经航向输出不稳而产生误差. 当舰艇机动时此现象 更为明显, 而且航向输出滞后于舰艇实际航向. 为减小该误差以提高机动后的电罗经指向精度, 本文首先推导出电 罗经主轴的标准运动方程, 并将其作为理想的约束条件. 其次, 采用自适应四参数估计法对电罗经航向数据建立模 型, 并进行有效预测. 最后将H<sub>∞</sub>估计理论与最速跟踪微分器结合在一起, 通过Riccati方程构造出合适的H<sub>∞</sub>误差约 束乘子, 开发出实时的H<sub>∞</sub>约束估计算法. 实测数据与计算结果的对比, 表明该算法能够实现电罗经航向的稳定输 出.

**关键词**: 主轴运动方程; 自适应四参数估计; H<sub>∞</sub>约束估计; 电罗经 **中图分类号**: TP273 **文献标识码**: A

### Constrained H-infinity estimation algorithm for the course-adaptive model of electromagnetic controlled gyrocompass

XIA Wei-xing<sup>1</sup>, YANG Xiao-dong<sup>2</sup>, SHI Wen-ming<sup>1</sup>

Training Brigade, Naval Submarine Academy, Qingdao Shandong 266071, China;
 Department of Navigation and Communication, Naval Submarine Academy, Qingdao Shandong 266071, China)

Abstract: External interferences to the naval vessel in cruise, such as the wind, waves, swing and so on, bring about errors in course-indication of the electromagnetic controlled gyrocompass. These errors become more serious when the ship is in mobile actions. Moreover, the output of the electromagnetic controlled gyrocompass is not only volatile, but also in lag of time to the practical course. To reduce the course-error and improve the output accuracy of the electromagnetic controlled gyrocompass, we first derive the standard motion-equation for the principal axis of the electromagnetic controlled gyrocompass and consider it the ideal constraint. Secondly, we model the recorded field-data and predict it based on the self-adaptive four-parameter estimation method. Thirdly, we combine the H-infinity estimation theory with the steepest-tracking-differentiator to determine an appropriate H-infinity error-estimation multiplier by solving the Riccati equation, and design the constrained H-infinity estimation algorithm. Finally, the comparison of the obtained result with the recorded field-data indicates that this algorithm is capable to provide a stable output.

**Key words:** motion equation of principal axis; self-adaptive four-parameters-estimation; H-infinity constraint estimation; electromagnetic-controlled-gyrocompass

#### 1 引言(Introduction)

电罗经在舰艇机动航行后,由于存在机动误差 以及各种外界干扰冲击的影响,造成电罗经主轴偏 离原平衡位置,且船体本身由于受到外力作用左右 摇摆,以上各种因素最终导致电罗经航向信号输出 不准,且滞后于当前舰艇的实际航向.尽管此类误差 并不影响舰艇航行安全,但是在一定的战术背景条 件下,却对水声等的精确测量造成极大不便,测量误 差增大,无法及时获取目标准确信息.为减小此类误 差影响,解决电罗经输出航向滞后的问题,首先引入

外力作用左右 法广泛应用于各种场合,具有较高的实用性,然而它 航向信号输出 的缺点是需要大量的迭代计算,从而影响算法的效 率和实用性,针对此类缺点,采用傅里叶变换对传统 的战术背景条 的四参数估计法进行改进并令其达到自适应估计的 目的.最后,基于最速跟踪微分理论,利用实测数据 模型和Riccati方程相结合构造合适的误差约束乘子, 采用该约束乘子和主轴标准运动方程对航向模型进

了电罗经主轴在理想情况下的标准运动方程,描述

主轴运动规律.其次,介绍了四参数估计法在电罗经

实测数据的建模中的应用, 文献[1]指出四参数估计

收稿日期: 2009-06-03; 收修改稿日期: 2009-11-24.

行 $H_{\infty}$ 约束估计,为减小电罗经航向误差提供一种有效方法.

### 2 主轴标准运动方程(Standard motion equation of principal axis)

假设舰艇转向前电罗经主轴方位偏移、高度角 偏移均为0°.0,即主轴方位、高度角无偏差.舰艇在 转向时电磁摆受到向心加速度的北向分量影响,导 致电罗经主轴偏离真北而产生主轴方位变化,转向 结束后,主轴以阻尼振荡的形式向新的平衡位置进 动.舰艇转向时的北向航速可表示为<sup>[2]</sup>:

$$v_{\rm N} = v \cdot \cos(K_0 \pm w_{\rm h} t),\tag{1}$$

式中: v为舰船航速, K<sub>0</sub>为舰艇初始航向(正北为0, 顺时针旋转角度即为航向值), w<sub>h</sub>为舰艇转向角频率(正号表示右转向, 负号表示左转向), 为叙述简便, 在转向时将其视为定值, t为转向持续时间.

舰艇转向时,罗经运动方程式为<sup>[2]</sup>:

$$\begin{cases} H(\dot{\theta} - w_1 \alpha) = -K_z(\theta - \dot{v}_N/g), \\ H\dot{\alpha} = -K_y(\theta - \dot{v}_N/g). \end{cases}$$
(2)

式中:  $w_1$ 为地球自转角速度的水平分量, H为电罗 经陀螺球的动量矩,  $K_z$ 为电罗经的水平传递系数,  $K_y$ 为电罗经方位传递系数,  $\alpha$ 为电罗经主轴偏离真 北线的方位角,  $\theta$ 为电罗经主轴相对于地平面的高度 角, g为重力加速度值.

在方程组(2)中消去θ, θ, 可得如下二阶系统:

$$\ddot{\alpha} + (K_z/H)\dot{\alpha} + (K_y w_1/H)\alpha = -(K_y/Hg)v w_h^2 \cos(K_0 \pm w_h t), \qquad (3)$$

(4)

式(3)的全解可写为(w<sub>d</sub>为罗经阻尼振荡角频率):

$$\alpha_J(t) = e^{-\frac{K_z t}{2H}} (C_1 \cos w_d t + C_2 \sin w_d t) + A \cos(K_0 \pm w_h t) + B \sin(K_0 \pm w_h t),$$

式中:

$$A = \frac{-(K_{\rm y}/Hg)vw_{\rm h}^{2}(K_{\rm z}w_{\rm 1}/H - w_{\rm h}^{2})}{(K_{\rm y}w_{\rm 1}/H - w_{\rm h}^{2})^{2} + ((K_{\rm z}/H)w_{\rm h})^{2}},$$

$$B = \frac{-(K_{\rm y}K_{\rm z}/H^{2}g)vw_{\rm h}^{3}}{(K_{\rm y}w_{\rm 1}/H - w_{\rm h}^{2})^{2} + ((K_{\rm z}/H)w_{\rm h})^{2}},$$

$$C_{1} = -(A\cos K_{0} + B\sin K_{0}),$$

$$C_{2} = (1/w_{\rm d})[(Aw_{\rm h} - (K_{\rm z}/2H)B)\sin K_{0} - (Bw_{\rm h} + (K_{\rm z}/2H)A)\cos K_{0}] - (K_{\rm y}/Hg)(w_{\rm h}v\sin K_{0}/w_{\rm d}).$$

式(4)即为在无外部扰动情况下,舰艇转向机动 过程中随转向时间变化的主轴方位偏移角,令转向 结束后方位偏移角为 $\alpha_J$ ,即为主轴偏离子午面的角度,因此,转向结束后主轴将以阻尼振荡的形式向子 午面进动:

$$\alpha(t) = (\alpha_0 / \sqrt{1 - \xi^2}) e^{-\xi w_0 t} \sin(w_d t + \varphi), \quad (5)$$

式中:  $\xi$ 为阻尼比,  $\varphi \xi = 0.7, w_0$ 为电罗经无阻尼振 荡角频率,  $\alpha_0$ 为初始方位偏移角,

$$\varphi = \arctan(\sqrt{1 - \xi^2/\xi}).$$

将式(4)和式(5)相结合,即令 $\alpha_0 = \alpha_J$ ,即可获得 电罗经主轴在舰艇转向机动后向子午面进动的标准 方程.

# 3 实测数据建模(Modeling for recorded field data)

以某次海上随舰航行实测电罗经航向数据为例 进行分析,实测条件:转向开始时间08 h 18 min 57 s, 初始航向52°.0.转向结束时间08 h 22 min 08 s,转向 结束航向0°.0,直航向持续时间7 min 25 s,航向曲线 如图1所示.



由图1可知,舰艇转向完毕后直航向航行,由于受 到外部干扰以及舰艇本身的周期性摇摆使得航向指 示值呈现周期性地波动,且滞后于目标航向0°.0.

# **3.1** 改进的四参数估计法(Improved four parameters estimation)

设被采样的正弦信号为:

$$S(t) = A\sin(wt + \theta) + C,$$
 (6)

式中: *A*为信号幅度, *w*为信号频率, *θ*为信号相位, *C*为信号的常值偏移.

对于任意正弦信号的表示均都可通过采用*A*, *w*, θ, *C*4个参数加以实现, 也将这4个参数称为正弦信 号的四参数<sup>[3]</sup>, 对上述四参数进行估计的方法即称 为四参数估计法. 然而该方法的缺点是在未知信号 频率w的情况下需要大量的迭代计算,且参数估计 结果不一定收敛. 文献[4,5]对解决此类问题进行了 详细的描述,指出对于信号频率已知的四参数估计 法是一种闭合的线性过程,运算量小,且绝对收敛. 由于傅里叶变换是将信号由时域转换为频域的一种 分析方法<sup>[6]</sup>,因此考虑采用傅里叶变换获得有用信 号的基波和谐波分量,这样就可以获得信号的大致 频率范围,将其与传统四参数估计法相结合,即可获 得较为准确的信号频率,从而避免传统的四参数估 计法大量的迭代过程,计算简便.

## **3.2** 实测数据自适应建模(Adaptive modeling for recorded field data)

基于傅里叶变换和四参数估计法相结合的自适 应建模步骤如下:

1) 采用小波或 $H_{\infty}$ Kalman滤波方法对直航向实 测数据进行滤波,有效滤除高频干扰.

2) 对滤波后的直航向信号进行傅里叶变换,首 先提取第一周期信号的基波和能量较高的各次谐波 频率信号,如图2所示.





Fig. 2 Frequency signal of liner-course in first cycle

3) 令直航向实测数据模型为 $H_s = f(t)$ ,其中 $H_s$ 为航向,t为时间.由于实测数据具有一定的周期性,在一个周期内连续且能量有限,同时在一个周期内极大值和极小值的数目是有限的,综合上述条件可知,航向模型满足狄利克雷收敛定理<sup>[7]</sup>,因此可将航向模型进行傅里叶展开得:

$$H_s = f(t) = \sum_{i=1}^{n} [A_i \sin(w_i t + \theta_i) + C_i], \quad (7)$$

式中:  $w_i$ 为傅里叶变换确定的信号频率,  $A_i$ ,  $\theta_i$ ,  $C_i$ 为 待估参数, n为整数, 也是频点数, 由图2可知, 航向信 号为低频信号, 忽略谐波信号中能量较低的高频点, 本文选取n = 5.

4) 在频率信号区间大致确定的条件下采用改进

的四参数估计法对模型的第一周期参数进行估计, 结果如表1所示.

表 1 模型参数估计 Table 1 Model parameters estimation

参数i	$A_i$	$w_i$	$ heta_i$	$C_i$
1	-0.4418	0.009615	-0.7538	1.041
2	0.1336	0.0192	0.0241	0
3	0.0028	0.0288	-0.0235	0
4	0.0237	0.0385	-0.0228	0
5	-0.0173	0.0481	0.0003	0

5) 当不断获得新的实测数据时,可分两种情形 讨论:若新的实测数据量未满一个周期,则重复步 骤3),4);若新的实测数据量已满1个周期,则需对新 的周期信号重新进行傅里叶变换,即重复2)~4).这 样就可以对模型参数进行自适应调整更新,获得实 测数据的自适应模型.

### 4 模型约束估计(Model constraint estimation)

由图1可知, 实测直航向曲线滞后于理想的航向 值, 因此采用主轴标准运动方程对上述所建模型进 行约束处理, 而约束乘子λ的选取至关重要, 将会决 定着约束效果的优劣.

## **4.1** 约束乘子选取(Selection of constraint coefficient)

考虑将航向模型 $H_s = f(t)$ 写为以下离散形式:

$$H_{s,k+1} = H_{s,k} + \dot{H}_s(t)\Delta t,$$
 (8)

式中 $\Delta t$ 为采样时间间隔,  $k = 0, 1, 2, \cdots$ .

将公式(8)改写为常见的状态方程和观测方程:

$$\begin{cases} H_{s,k+1} = A_k H_{s,k} + B_k W_k, \\ Z_{k+1} = C_k H_{s,k+1} + V_{k+1}. \end{cases}$$
(9)

式中:  $H_{s,k}$ 为状态向量,  $W_k$ 为过程噪声向量,  $Z_k$ 为 观测向量,  $V_k$ 为观测噪声,  $A_k$ 为状态转移矩阵, 令 $A_k = 1, B_k$ 为噪声输入矩阵, 令 $B_k = 1, C_k$ 为 观测矩阵, 令 $C_k = 1$ .

定义初始状态误差方差为:

$$P_0 = \mathbf{E} \left\{ [\alpha_0 - H_{s,0}] [\alpha_0 - H_{s,0}]^{\mathrm{T}} \right\}, \qquad (10)$$

在此,本文对系统的过程噪声和观测噪声的自然 属性不作任何假设.

定义估计误差( $\hat{Z}_k$ 为观测值的估计):

$$e_k = \alpha_k - \hat{Z}_k \,. \tag{11}$$

设 $T_k(F_f)$ 表示将 $\{\alpha_0 - H_{s,0}, W_k, V_k\}$ 映射至估 计误差 $\{e_k\}$ 的传递函数,则估计问题可以叙述如 下<sup>[8]</sup>: 给定正数 $\gamma > 0$ , 寻找H<sub>∞</sub>次优估计 $\hat{Z}_k$ , 使得  $\|T_k (F_f)\|_{\infty} < \gamma$ , 即

$$\inf_{F_f} \sup_{X_{0,}W,V} \frac{\|e_k\|_2^2}{\|\alpha_0 - H_{s,0}\|_{P_0^{-1}}^2 + \|W_k\|_2^2 + \|V_k\|_2^2} < \gamma^2.$$
(12)

对于给定的 $\gamma > 0$ ,如果[ $A_k, B_k$ ]是满秩的,则满 足条件|| $T_k$  ( $F_f$ )||<sub>∞</sub> <  $\gamma$ 的估计值存在,当且仅当对 所有的k,有如下充分必要条件:

$$P_{k}^{\mathrm{T}} + C_{k}^{\mathrm{T}}C_{k} - \gamma^{-2}L_{k}^{\mathrm{T}}L_{k} > 0, \qquad (13)$$

式中P<sub>k</sub>满足如下Riccati方程:

$$P_{k+1} = A_k P_k A_k^{\rm T} + B_k B_k^{\rm T} - A_k P_k [C_k^{\rm T} \ L_k^{\rm T}] R_{e,k}^{-1} \begin{bmatrix} C_K \\ L_k \end{bmatrix} P_k A_k^{\rm T}, \quad (14)$$

其中

$$R_{e,k} = \begin{bmatrix} I & 0\\ 0 & -\gamma^2 I \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} C_k\\ L_k \end{bmatrix} P_k [C_k^{\mathrm{T}} \ L_k^{\mathrm{T}}],$$

 $P_k$ 为状态误差方差,  $L_k=1$ .

则约束乘子λ<sub>k</sub>可写为如下形式:

$$\lambda_{k+1} = P_{k+1} C_{k+1}^{\mathrm{T}} [I + C_{k+1} \ P_{k+1} C_{k+1}^{\mathrm{T}}]^{-1}.$$
(15)

约束乘子可以离线算出,存储代用,它与实测数 据无关<sup>[9,10]</sup>.

#### 4.2 跟踪微分器(Tracking-differentiator)

最速跟踪微分过程使得给定的反馈约束所能适 应的对象参数范围大为扩大,即鲁棒性更强<sup>[11]</sup>.

跟踪微分器的一般离散形式为[12~14]:

$$\begin{cases} x_{1,k+1} = x_{1,k} + hx_{2,k}, \\ x_{2,k+1} = x_{2,k} + hu. \end{cases}$$
(16)

式中: x<sub>1</sub>, x<sub>2</sub>, 均为状态向量, h为连续系统离散化的积分步长, u为控制输入函数.

取上述离散系统的最速控制综合函数为 $u = fhan(x_1, x_2, r, h)$ . 其算法如下: 记

$$fsg(x,d) = (sgn(x+d) - sgn(x-d))/2,$$

则
$$u = \text{fhan}(x_1, x_2, r, h)$$
最速控制函数<sup>[15,16]</sup>表示为:

$$\begin{cases} d = rh^2, \ a_0 = hx_2, \ y = x_1 + a_0, \\ a_1 = \sqrt{d(d+8|y|)}, \\ a_2 = a_0 + \operatorname{sgn} y(a_1 - d)/2, \\ a = (a_0 + y)\operatorname{fsg}(y, d) + a_2(1 - \operatorname{fsg}(y, d)), \\ \operatorname{fhan} = -r(a/d)\operatorname{fsg}(a, d) - r\operatorname{sgn} a(1 - \operatorname{fsg}(a, d)). \end{cases}$$
(17)

式中r为时间常数T的倒数, h为连续系统离散化

时的积分步长.

## **4.3** $H_{\infty}$ 约束估计( $H_{\infty}$ constraint estimation) 将公式(16)改写为以下形式:

$$\begin{cases} x_{1,k+1} = x_{1,k} + hx_{2,k} + \lambda_k \cdot [\alpha_k - A_k x_{1,k}], \\ x_{2,k+1} = x_{2,k} + h \text{fhan}[x_{1,k} - H_{s,k}, x_{2,k}, r, h]. \end{cases}$$
(18)

式中: $\lambda$ 为3.1所提及的H<sub>∞</sub>约束乘子, $\alpha$ 为理想的主轴标准值, $A_k$ 为状态转移矩阵.

由上可知, x<sub>2</sub>不断跟踪航向模型的微分信号, 因此, 式(18)中第(1)式实际上就是模型离散化的过程, 它与公式(8)等价, 上述估计过程是一个不断"预测-修正"的过程, 利用预测值A<sub>k</sub>·x<sub>1,k</sub>和理想值α<sub>k</sub>的误 差作为"新息", 一旦观测到新的数据, 就可以随时 算得新的估计值. 同时, λ约束乘子的大小可以根据 过程噪声变化实施在线调整, 减弱噪声对估计值的 影响. 具体约束计算流程如图3, 4所示.











以上所述算法均为同时进行, 互不相关, 同时 图3还可以事先离线解算约束乘子, 存储待用.

图1中数据的舰艇运动参数及舰用电罗经参数: 舰艇航速v = 12节,转向角度52°,转向角速度约为0.22°/s,陀螺动量矩

 $H = 1.7885 \,\mathrm{kg} \cdot \mathrm{m}^2/\mathrm{s},$ 

方位传递系数

 $K_{\rm v} = 2.1862 \times 10^{-2} \,{\rm N} \cdot {\rm m/rad},$ 

水平传递系数

$$K_{\rm z} = 1.0858 \times 10^{-3} \,{\rm N} \cdot {\rm m/rad}$$

重力加速度 $g = 10 \text{ m/s}^2$ , 纬度 $\Phi = 32^\circ \text{ N}$ , 首先求得 电罗经主轴标准运动方程, 然后离线求解约束乘子  $\lambda$ , 基于上述的H<sub>∞</sub>约束估计算法, 利用MATLAB<sup>[17]</sup> 软件进行计算, 结果如图5和图6所示.





Fig. 6 Result of  ${\rm H}_\infty$  Constraint estimation

由图6中H<sub>∞</sub>约束估计曲线可知,采用电罗经主 轴标准运动方程作为约束的方法是适用的,具有 较好的约束效果和较强的鲁棒性,约束后的航向误 差(与目标航向0°.0比较)较约束前航向误差降低了 约一个数量级,基本满足电罗经的高精度导航要求, 可以实现水声器材等其他观通设备高效率使用.

#### 5 结束语(Conclusion)

本文基于电罗经主轴标准运动方程, 描述了在 无一切外部干扰的理想情况下的电罗经航向变化 规律, 采用该标准值作约束, 通过求解Riccati方程, 得到H<sub>∞</sub>约束乘子, 基于最速跟踪微分理论, 设计 了H<sub>∞</sub>约束估计算法, 进而对实测数据进行处理, 实 测数据验证结果表明, 该方法是有效的, 使得舰艇转 向机动后的航向误差降低了约一个数量级, 满足高 精度的电罗经导航要求.

#### 参考文献(References):

2005.)

- 梁志国,张大治,孙璟宇,等.四参数正弦波曲线拟合的快速算法[J].理论与实践,2006,26(1):4-7.
   (LIANG Zhiguo, ZHANG Dazhi, SUN Jingyu, et al. A fast arithmetic method of four parameter sine wave curve fit[J]. *Theory and Practice*, 2006, 26(1):4-7.)
- [2] 许江宁, 边少锋, 殷立吴. 陀螺原理[M]. 北京: 国防工业出版社, 2005.
   (XU Jiangning, BIAN Shaofeng, YIN Lihao. Gyroscope Principle[M]. Beijing: Publishing House of National Defence Industy,
- [3] BERTOCCO M, NARDUZZI C. Sine-fit versus discrete fourier transform based algorithm in SNR testing of waveform digitizers[J]. *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, 1997, 46(2): 445 – 448
- [4] MILES N WERNICK, G MICHAEL MORRIS. Effect of spatial coherence on knife-edge measurements of detector modulation transfer function[J]. *Oplical Engineering*, 1991, 30(9): 1394 – 1398.
- [5] YIH-CHYUN JENQ, PHILIP B CROSAY. Sinewave parameter estimation algorithm with application to waveform digitizer effective bits measurement[J]. *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, 1988, 37(4): 529 – 532.
- [6] ABLERT BOGGESS, FRANCIS J NARCCWICH. First Course in Wavelets with Fourier Analysis[M]. Beijing: Publishing House of Electronics Industy : 2004. 01: 85 – 88.
- [7] 同济大学数学教研室. 高等数学下册[M]. 第四版. 北京: 高等教 育出版社, 1996.
  (Mathematics Staff Room of Tongji University. *Altitude Mathematics*[M]. 4ed. Beijing: Publishing House of Higher Education, 1996.)
- [8] 付梦印,邓志红,张继伟. Kalman滤波理论及其在导航系统中的应用[M].北京:科学出版社,2003.
  (FU Mengyin, DENG Zhihong, ZHANG Jiwei. *Kalman Filter Applicated in Navigation Systems*[M]. Beijing: Publishing House of Science, 2003.)
- [9] 王正明, 易东云. 测量数据建模与参数估计[M]. 长沙: 国防科技 大学出版社. 1996.
   (WANG Zhengming, YI Dongyun. *Modeling for Recorded Data and Parameters Estimation*[M]. Changsha: Publishing House of Defense
  - Parameters Estimation[M]. Changsha: Publishing House of Defense Science University, 1996.)
- [10] 朱海, 莫军. 水下导航信息融合技术[M]. 北京: 国防工业出版社, 2002.

(ZHU Hai, MO Jun. *Navigation Information Fusion Technology*[M]. Beijing: Publishing House of National Defence Industy, 2002.)

- [11] 韩京清. 自抗扰控制技术——估计补偿不确定因素的控制技术[M]. 北京: 国防工业出版社. 2008. 09: 19 20.
  (HAN Jingqing. Active Disturbance Rejection Control Technique the Technique for Estimating and Compensating the Uncertainties[M]. Beijing: Publishing House of National Defence Industy, 2008.)
- [12] 黄焕袍, 万辉, 韩京清. 安排过渡过程是提高闭环系统"鲁棒 性、适应性和稳定性"的一种有效方法[J]. 控制理论与应用, 2001, 18(增): 89 – 94.
  (HUANG Huanpao, WAN Hui, HAN Jingqing. Arranging the transient process is an effective method improved the "robustness, adaptability and stability" of closed – loop system[J]. *Control Theory & Applications*, 2001, 18(增): 89 – 94.)
- [13] 韩京清. 从PID技术到"自抗扰控制"技术[J]. 控制工程, 2002, 9(3): 13 18.
  (HAN Jingqin. From PID technique to active disturbances rejection control technique[J]. *Control Engineering of China*, 2002, 9(3): 13 18.)
- [14] 张荣,韩京清. 用模型补偿自抗扰控制器进行参数辨识[J]. 控制理 论与应用, 2000, 17(1): 79 – 81.
  (ZHANG Rong, HAN Jingqin. Parameter identification by model compensation auto disturbance rejection controller[J]. *Control The*ory & Applications, 2000, 17(1): 79 – 81.)
- [15] 刘翔,李东海,姜学智,等.自抗扰控制器在高阶系统中应用的仿 真[J].清华大学学报(自然科学版),2001,41(6):95-99.

(LIU Xiang, LI Donghai, JIANG Xuezhi, et al. Simulation study of auto disturbance rejection controller for high-order systems[J]. *Journal of Tsinghua University(Science and Technology)*, 2001, 41(6): 95 – 99.)

- [16] 黄一,张文革. 自抗扰控制器的发展[J]. 控制理论与应用, 2002, 19(4): 485 491.
  (HUANG Yi, ZHANG Wenge. Development of active disturbance rejection controller[J]. *Control Theory & Applications*, 2002, 19(4): 485 491.)
- [17] 张志涌. 精通MATLAB 6.5版[M]. 北京航空航天大学出版社, 2004.
   (ZHANG Zhiyong. MATLAB 6.5[M]. Beijing: Publishing House of

BeiHang University, 2004.)

#### 作者简介:

**夏卫星** (1985—), 男, 硕士研究生, 研究方向为载运工具运用 工程—航行监测与控制, E-mail: 596978805@qq.com;

杨晓东 (1963—), 男, 教授, 博士生导师, 研究方向为载运工具

运用工程——航行监测与控制, E-mail: yangxd@163.com;

**施闻明** (1982—), 男, 博士研究生, 研究方向为载运工具运用 工程—航行监测与控制, E-mail: shiwenming\_2005@126.com.

### 第21届中国过程控制会议在杭州电子科技大学召开

2010年8月7日至8日,由中国自动化学会过程控制专业委员会主办,杭州电子科技大学承办,浙江省自动化学会、《控制工程》编辑部、浙江大学、浙江工业大学、浙江理工大学协办的第21届中国过程控制会议(CPCC2010),在杭州电子科技大学下沙校区科技馆召开.

中国工程院院士、东北大学柴天佑教授担任本届会议程序委员会主席,杭州电子科技大学校长薛安克教授担任本届会议大会组委会主席.中国自动化学会理事长、浙江大学孙优贤院士,浙江省科协党组书记鲁善增,杭州电子科技大学副校长朱泽飞教授,中国自动化学会过程控制专委会主任柴天佑院士等先后在开幕式上致辞.哈尔滨工业大学王子才院士、航天科工集团李伯虎院士、国家自然科学基金委自动化处处长王成红教授、浙江省科协王忠民部长等莅会.来自海内外过程控制领域的320余位专家、代表出席.

本届会议分别举行了大会报告会、分组报告会和大会专题讨论会.孙优贤院士、李伯虎院士、王成红教授,澳大利亚 Newcastle大学教授、IEEE Fellow付敏跃博士,Honeywell自动控制集团公司首席科学家卢祝新博士分别为大会作了题 为"超高速大型工程系统控制理论、关键技术及控制装备"、"复杂系统建模仿真技术中的几个问题"、"控制领域几个新方 向之浅见"、"网络化控制系统:机遇和挑战"、"模型预测区域控制与企业优化"的学术报告.报告从国家重大工程需求、建 模仿真技术、控制技术应用和学科前沿等多角度探讨了控制科学和工程将面临的机遇和挑战.

会议期间,英国Manchester大学和东北大学王宏教授、美国Case Western Reserve大学林威教授、美国南加州大学秦泗 钊教授、新加坡国立大学葛树志教授、澳大利亚Newcastle大学付敏跃教授、香港中文大学孟庆虎教授、加拿大Concordia 大学苏春翌教授、浙江大学苏宏业教授和北京航空航天大学郭雷教授等9位海内外杰出学者,在"过程控制科学与工程进 展"大会专题讨论会上作了主题发言.

本届会议共收到投稿论文554篇,内容涵盖工业过程建模、仿真和辨识、先进控制、故障诊断、自动化装置、预测控制、非线性控制、流程工业优化、生产安全与控制等30余个研究方向.经审稿委员会评审推荐和杂志社组织专家复审,录用发表论文218篇,分别发表在《控制理论与应用》、《化工学报》、《浙江大学学报(工学版)》、《浙江大学学报(英文版)》、《控制工程》、《科技通报》、《江南大学学报》(自然科学版)、《杭州电子科技大学学报》等8本期刊上.

(下转第1286页)