

# 最小方差自适应的视觉导盲诱导控制方法研究\*

魏彤<sup>†</sup> 龙琛

(北京航空航天大学 仪器科学与光电工程学院, 北京 100191)

**摘要** 准确诱导盲人跟踪给定路径行走是穿戴式导盲系统安全导盲的重要基础和前提.为了实现盲人的安全出行,对盲人的行走动力学模型以及自适应控制算法进行了研究.针对不同使用者在实际行走过程中,心理生理的差异以及与环境的作用,导致自身模型参数发生了变化,要求控制器具有一定的自适应性,提出了一种基于最小方差自校正控制算法的诱导方法,首先运用增广最小二乘法对被控对象的模型参数进行估计,然后在线求解 Diophantine 方程得到控制器的参数,最后根据最小方差控制律求得控制器的输出.仿真结果表明最小方差自校正控制算法在参数辨识完毕后能够很好地跟踪圆轨迹,实验结果表明多名实验者的平均行走轨迹误差范围为(-0.5957m,0.4811m),验证了该方法的准确性和适应性.

**关键词** 导盲仪, 自适应, 最小方差控制, 闭环诱导, 行走动力学模型

DOI: 10.6052/1672-6553-2018-071

## 引言

为了能够解决盲人安全出行问题,世界各国学者一直致力于电子导盲系统的研发工作.穿戴式导盲仪是一种新型导盲装置<sup>[1,2]</sup>,多家科研机构参与该领域的研究并取得重要进展,如南加州大学的头戴式盲人导航系统利用双目摄像头获取环境信息,并通过穿戴的振动马甲对盲人进行行走诱导<sup>[3-5]</sup>,美国麻省理工的穿戴式导盲鞋<sup>[6]</sup>采用 GPS 定位技术和振动交互方式,为盲人提供行走指引诱导信息,但不同使用者对触觉的感知差异较大,适应性较低;荷兰飞利浦公司研发的 VOICE 系统通过摄像机捕获图像并转换成声音,声音的响度随着图像灰度值的变化而变化<sup>[7]</sup>,因此,盲人学习和掌握需要很长时间;西班牙瓦伦西亚理工大学的 CASBlIP 项目<sup>[8]</sup>采用头戴式耳机输出音频信号,为盲人提示障碍物类型和方位而达到避障行走的目的,但此头戴式设备体积较大,没有兼顾盲人穿戴的舒适性.穿戴式导盲系统由视觉检测环节和行走诱导控制环节组成,视觉检测环节探测前方障碍物、盲道、交通标志物等环境位置信息;行走诱导控制环节根据检测得到的信息,由相应算法计算得到控制信号,

诱导盲人跟踪规划的路径行走,实现导盲功能.行走诱导控制环节的性能直接影响导盲效果,是各种电子导盲仪器实现良好导盲效果的关键.

在不同使用者心理、生理、环境因素有所差异的情况下,要求行走诱导控制算法仍然能使盲人跟踪给定轨迹,因此对设计的行走诱导控制算法的准确性和适应性有较高的要求.沈阳师范大学将模糊控制算法和 PID 控制算法结合起来运用到导盲机器人中,克服了常规 PID 在机器人高速行进和转弯稳定性差的缺点,使导盲机器人循迹更加精准<sup>[9]</sup>.东北大学采用模糊控制算法来控制导盲机器人的行走,使导盲机器人更有效地进行避障<sup>[10]</sup>.哈尔滨理工大学运用基于模糊规则的自校正控制舵机技术对导盲小车的方向和速度进行综合控制,加快了模糊 PID 的响应速度<sup>[11]</sup>.西北工业大学在导盲避障系统中采用模糊导盲控制算法,避免了建立复杂环境下的障碍物模型<sup>[12]</sup>.

上述方法都是基于模糊控制的算法,而导盲的环境往往比较复杂多变,从而使得模糊控制的控制规则难以建立.常规算法难以满足适应性的要求,而其他智能算法如 BP 神经网络、遗传算法实时性较差.

针对上述情况,本文提出了一种最小方差自校

2018-05-28 收到第 1 稿,2018-07-19 收到修改稿.

\*北京市科技计划项目(Z151100002115022)

<sup>†</sup> 通讯作者 E-mail: weitong@buaa.edu.cn

正行走诱导控制算法,并分别在仿真和实验中验证了该方法的准确性和适应性。

## 1 盲人行走动力学建模和参数辨识

### 1.1 系统数学建模

穿戴式视觉导盲仪根据双目视觉相机检测到的环境信息和 GPS 与 IMU 组合定位得到的相机位置信息规划出一条路径,以盲人双脚连线的中点为参考点,测得盲人的行走路径,当盲人行走路径与所规划路径出现偏差时,控制器会产生相应的控制量使音频输出音量发生变化,盲人在行走的过程中感受到耳机音量的大小或者极性的变化,将产生神经脉冲转向神经中枢,控制自身向左或者向右转向,从而趋于规划的路径,同时盲人在转向过程中会受到地面阻力矩的作用,如图 1 所示。

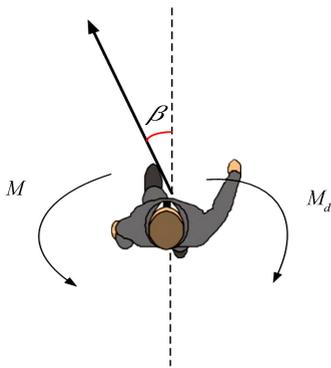


图 1 盲人行走受力分析图

Fig.1 The blind walking force analysis diagram

将盲人视作自我驱动的旋转刚体,因此可以通过数学方法将盲人的运动模型简化为二阶线性模型,用下式来描述:

$$\begin{cases} J\ddot{\beta} = M + M_d \\ M = K_1 \cdot u_c \\ M_d = -K_2 \cdot \dot{\beta} \end{cases} \quad (1)$$

其中,  $J$  表示盲人偏航轴的转动惯量,  $M$  表示盲人转向时施加于自身的动力矩,  $M_d$  表示盲人偏航自由度上的阻尼力矩,  $\beta$  表示盲人行走方向角,  $K_1$  表示盲人转向时施加于自身的动力矩与控制量之间的比例系数,  $K_2$  表示阻尼系数,  $u_c$  表示控制器输出的控制量。

### 1.2 系统模型参数的获取

由式(1)可知被控对象的传递函数为:

$$G(s) = \frac{\beta(s)}{u_c(s)} = \frac{K_1}{Js^2 + K_2s} \quad (2)$$

采用正弦扫频法来获取模型参数<sup>[13]</sup>,输入为正弦信号,输出为盲人行走方向角,输入的控制量越大,音频的输出音量越大,盲人转过的角度越大,当控制量为正时,盲人向左转;当控制量为负时,盲人向右转,给定一个频率由低到高变化的正弦信号,对信号进行采样,根据输入和输出的关系得到传递函数从而对盲人系统模型参数进行估计.实验运用红外传光栅位置检测装置来获取实验者的行走方向角,红外传感光栅每隔 20ms 读取一次实验者的位置坐标,光栅测得现时刻实验者质心的坐标  $(x_n, y_n)$  和上一时刻的实验者质心坐标  $(x_{n-1}, y_{n-1})$ , 通过下式计算得到实验者的行走方向角为:

$$\beta = \text{atan} \frac{y_n - y_{n-1}}{x_n - x_{n-1}} \quad (3)$$

并且以弧度的形式保存在文本中,便可得到输入输出两组数据。

本文采用 MATLAB 系统辨识工具箱拟合出系统的传递函数<sup>[14,15]</sup>.导入实验测得的输入输出数据,经过辨识得到的模型结果如式(4)所示。

$$G(s) = \frac{0.1292}{s^2 + 2.924s} \quad (4)$$

采集输入输出信号,运用 SIMULINK 对所得到的传递函数进行验证,由示波器得到的输出信号如图 2 所示,图 2 中下方虚线表示验证模型的输出信号,实线表示实际采集的输出信号,可知 MATLAB 系统辨识工具箱得到的传递函数模型比较适用。

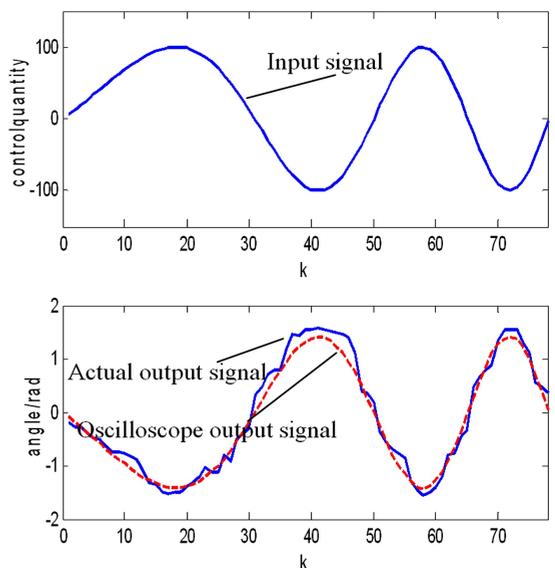


图 2 输入输出信号和验证结果

Fig.2 Input and output signals and verification results

## 2 最小方差自校正控制器的设计

最小方差控制 (Minimum Variance Control, MVC) 具有算法简单, 易于实现, 易于理解等优点, 是其他自校正控制算法实现的基础, 其控制思想是: 对输出量提前  $d$  步进行预报, 然后根据预报值来计算适当的调节作用  $u(k)$ , 通过不断的预报和调节, 从而保持输出量的稳态方差最小<sup>[16]</sup>.

对于模型参数发生变化或模型参数未知的情况, 常规控制器很难较好地进行控制, 因为它们不能够在线实时地调整参数, 而最小方差自校正控制器能够在线实时调整参数, 达到较好的控制效果. 最小方差自校正控制器利用递推增广最小二乘法, 在线实时估计出被控对象的参数, 然后求解 Diophantine 方程估计自身参数, 原理如图 3 所示.

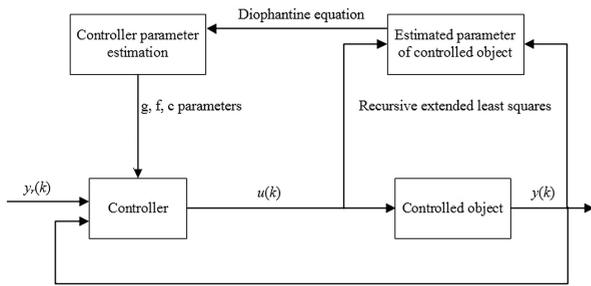


图3 最小方差自校正控制器

Fig.3 Minimum variance self-tuning controller

其中,  $y_r(k)$  为参考输入,  $y(k)$  为实际输出,  $u(k)$  为被控对象的输入.

对于单输入, 单输出的被控对象:

$$A(z^{-1})y(k) = B(z^{-1})u(k-d) + C(z^{-1})\xi(k) \quad (5)$$

其中,  $y(k)$  和  $u(k)$  分别为被控对象的输出和输入,  $\xi(k)$  为白噪声,  $A(z^{-1})$ ,  $B(z^{-1})$ ,  $C(z^{-1})$  为关于后移算子  $z^{-1}$  的多项式,  $d$  为被控对象的时延, 并且  $d \geq 1$ .

多项式  $A(z^{-1})$ ,  $B(z^{-1})$ ,  $C(z^{-1})$  可以表示为:

$$\begin{cases} A(z^{-1}) = 1 + a_1 z^{-1} + \dots + a_{n_A} z^{-n_A} \\ B(z^{-1}) = b_0 + b_1 z^{-1} + \dots + b_{n_B} z^{-n_B} \\ C(z^{-1}) = 1 + c_1 z^{-1} + \dots + c_{n_C} z^{-n_C} \end{cases} \quad (6)$$

其中  $n_A$ ,  $n_B$ ,  $n_C$  分别为多项式  $A(z^{-1})$ ,  $B(z^{-1})$ ,  $C(z^{-1})$  的阶次.

针对被控对象的数学模型式(5), 使得被控对象在第  $(k+d)$  个采样周期时刻的输出  $y(k+d)$  与理想输出  $y^*(k+d)$  的误差的方差极小, 即:

$$\min J$$

$$J = E \{ [y(k+d) - y^*(k+d)]^2 \} \quad (7)$$

其中,  $y^*(k+d)$  为被控对象在第  $(k+d)$  个采样周期时刻的理想输出, 控制目标是使实际输出  $y(k+d)$  跟踪期望输出, 即性能指标式(7)最小. 可以通过第  $(k+d)$  个采样周期时刻的最优预报  $y^*(k+d|k)$ , 使预报误差的方差最小得到最小方差控制, 即:

$$\min J_1$$

$$J_1 = E \{ [y(k+d) - y^*(k+d|k)]^2 \} \quad (8)$$

其中  $y^*(k+d|k)$  表示基于  $k$  时刻对  $k+d$  时刻预测的输出, 引入 Diophantine 方程:

$$\begin{cases} C(z^{-1}) = A(z^{-1})E(z^{-1}) + z^{-d}G(z^{-1}) \\ F(z^{-1}) = B(z^{-1})E(z^{-1}) \end{cases} \quad (9)$$

其中  $E(z^{-1})$ ,  $G(z^{-1})$ ,  $F(z^{-1})$  为 Hurwitz 多项式, 且:

$$\begin{cases} E(z^{-1}) = 1 + e_1 z^{-1} + \dots + e_{n_e} z^{-n_e} \\ G(z^{-1}) = g_0 + g_1 z^{-1} + \dots + g_{n_g} z^{-n_g} \\ F(z^{-1}) = f_0 + f_1 z^{-1} + \dots + f_{n_f} z^{-n_f} \end{cases} \quad (10)$$

其中  $n_e$ ,  $n_g$ ,  $n_f$  分别为多项式  $E(z^{-1})$ ,  $G(z^{-1})$ ,  $F(z^{-1})$  的阶次, 把式(5)两端同时乘上  $F(z^{-1})$ :

$$\begin{aligned} C(z^{-1})\xi(k+d)F(z^{-1}) + F(z^{-1})B(z^{-1})u(k) \\ = A(z^{-1})F(z^{-1})y(k+d) \end{aligned} \quad (11)$$

由式(9)和式(11)可知:

$$\begin{aligned} y(k+d) = \frac{G(z^{-1})y(k) + F(z^{-1})B(z^{-1})u(k)}{C(z^{-1})} + \\ F(z^{-1})\xi(k+d) \end{aligned} \quad (12)$$

把式(12)代入到式(8)中可得:

$$\begin{aligned} J_1 = E \{ [ \frac{G(z^{-1})y(k) + F(z^{-1})B(z^{-1})u(k)}{C(z^{-1})} + \\ F(z^{-1})\xi(k+d) - y^*(k+d|k) ]^2 \} \quad (13) \end{aligned}$$

式(13)右边第一项和第二项互不相关, 所以, 可以写成以下形式:

$$\begin{aligned} J_1 = E \{ [ \frac{G(z^{-1})y(k) + F(z^{-1})B(z^{-1})u(k)}{C(z^{-1})} - \\ y^*(k+d|k) ]^2 \} + E \{ [ F(z^{-1})\xi(k+d) ]^2 \} \quad (14) \end{aligned}$$

要使性能指标式(8)达到最小值, 只有当式(14)右边第一项为零, 即当预报值取:

$$y^*(k+d|k) = \frac{G(z^{-1})y(k) + F(z^{-1})B(z^{-1})u(k)}{C(z^{-1})} \quad (15)$$

要求最小方差控制  $u(k)$ , 令最优预报  $y^*(k+d|k)$  等于期望输出  $y^*(k+d)$ , 从而求出的  $u(k)$  可以使

$y(k+d) - y^*(k+d|k)$  的方差最小,又可以使  $y(k+d) - y^*(k+d)$  的方差最小.由式(15)可得:

$$F(z^{-1})u(k) = C(z^{-1})y^*(k+d) - G(z^{-1})y(k) \tag{16}$$

其中,  $G(z^{-1})$  为反馈项,  $F(z^{-1})$  为控制项,  $C(z^{-1})y^*(k+d)$  为输入项,  $y^*(k+d)$  为期望输出.由最小方差控制律可得到控制器的输出为:

$$u(k) = \frac{1}{f_0} \left[ - \sum_{i=1}^{n_f} f_i u(k-i) + y^*(k+d) + \sum_{i=1}^{n_c} c_i y^*(k+d-i) - \sum_{i=0}^{n_g} g_i y(k-i) \right] \tag{17}$$

为避免出现除零现象,应该事先确定  $f_0$  的符号和下界,通常设定  $f_0$  的下限为 0.1.

### 3 仿真验证

准确跟踪给定路径是实现安全导盲的前提和基础,为了验证最小方差自校正控制算法能够在盲人模型参数发生变化时仍能够准确跟踪给定轨迹,在 MATLAB 软件平台下进行仿真实验,在式(4)的基础上,分别检验盲人转向时自身的动力矩与控制量之间的比例系数  $K_1$  和阻尼系数  $K_2$  发生变化时,常规 PID 与最小方差自校正控制器跟踪期望圆轨迹的效果.考虑  $K_1, K_2$  增加或减少一半的情况,仿真时设置比例系数  $K_1 = 0.1292 + b_1$ ,  $b_1$  为在区间  $(-0.0646, 0.0646)$  均匀分布的随机数,设置阻尼系数  $K_2 = 2.924 + b_2$ ,  $b_2$  为在区间  $(-1.462, 1.462)$  均匀分布的随机数.控制周期设置为 0.2s.

针对:模型参数未发生变化,常规 PID 算法进行控制;模型参数发生变化,常规 PID 算法进行控制;模型参数发生变化,最小方差自校正算法进行控制三种情况对盲人进行运动控制仿真,给定一条直径为 5m 的期望圆轨迹,并以  $(\mu - 3\sigma, \mu + 3\sigma)$  的分布范围作为行走轨迹误差的范围.

仿真结果表明:在模型参数未发生变化时,常规 PID 算法的轨迹误差均值  $\mu = -0.029m$ ,标准差  $\sigma = 0.087m$ ,行走轨迹误差范围为  $(-0.029m, 0.232m)$ ,可见,常规 PID 算法在参数未发生变化的情况下,能够很好地控制盲人跟踪期望轨迹;但当模型参数发生变化时,常规 PID 算法的轨迹误差均值  $\mu = -0.008m$ ,标准差  $\sigma = 0.143m$ ,行走轨迹误差范围为  $(-0.437m, 0.421m)$ ,标准差和行走轨迹误差范围较模型参数未发生变化时有所增加;而最小方

差自校正控制算法在模型参数发生变化时的轨迹误差均值  $\mu = 0.004m$ ,标准差  $\sigma = 0.095m$ ,行走轨迹误差范围为  $(-0.281m, 0.289m)$ ,标准差和行走轨迹误差范围均小于常规 PID 算法,仍能使盲人很好地跟踪期望轨迹.综上,在模型参数不断变化的情况下,最小方差自校正控制算法的路径跟踪准确性高于常规 PID 算法,误差带宽度更小,适应性更强.仿真结果如图 4、图 5 和图 6 所示.

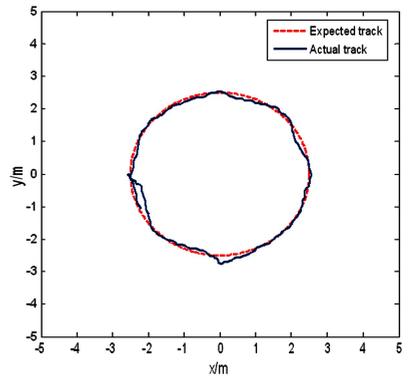


图4 模型参数不变时的常规 PID 控制

Fig.4 Normal PID control when model parameters are unchanged

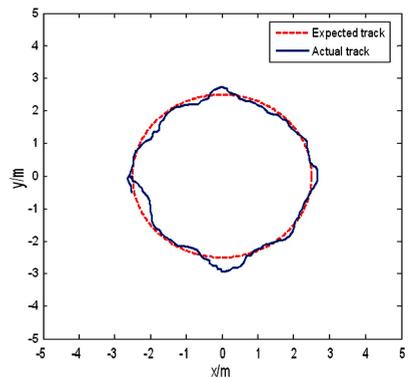


图5 模型参数变化时的常规 PID 控制

Fig.5 Normal PID control when model parameters are changed

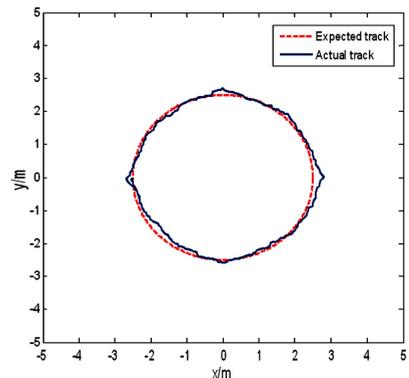


图6 模型参数变化时的最小方差自校正控制

Fig.6 Minimum variance self-tuning control when model parameters are changed

## 4 实验验证

该实验的目标是为了测定行走诱导控制算法的适应性和准确性,如果实验者相对于给定路径的轨迹偏差在 $\pm 1\text{m}$ 之内的安全范围,即符合准确性要求;若不同实验者的实验效果都能满足准确性要求,则算法具有适应性。

采用实验室自行研制的行走诱导控制平台及样机进行试验.如图7所示,实验者头戴黑色眼罩模仿盲视环境,配戴蓝牙耳机,当控制量为负时,右耳机发出声音,实验者向右转;当控制量为正时,左耳机发出声音,实验者向左转.耳机的音量正比于控制信号的大小,即控制信号越大,则耳机音量越高,实验者转向角度越大.行走轨迹传感设备为红外传感光栅位置检测装置,红外传感光栅实时采集实验者的位置,输送到中控设备,中控设备进行实时的处理计算,并无线发送控制信号至蓝牙耳机。

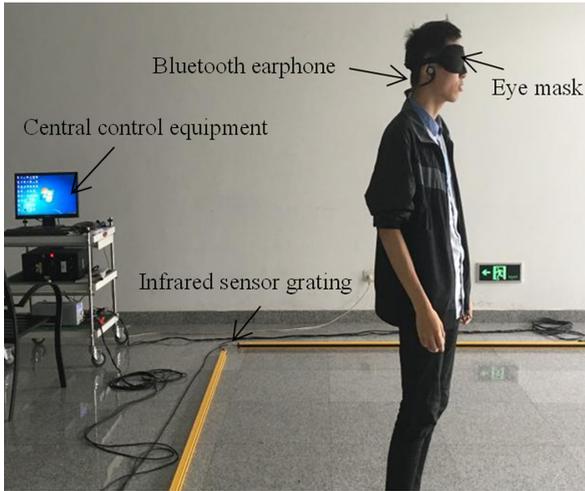


图7 实验者穿戴整机设备

Fig.7 The experimenter wears the whole machine

性别和年龄阶段不同的人的行走动力学模型差异较大,实验选取了3名实验者(青年女性,青年男性和中年男性)进行测试,分别在常规PID控制和最小方差自校正控制下进行实验,实验结果如表1和表2所示,三名实验者在最小方差自校正控制算法下的行走轨迹误差均小于常规PID控制,能够更好地跟踪期望轨迹,走完一圈用时较短,其行走轨迹误差曲线图如图8所示。

表1 常规PID算法轨迹偏差

Table 1 Trajectory deviation of normal PID algorithm

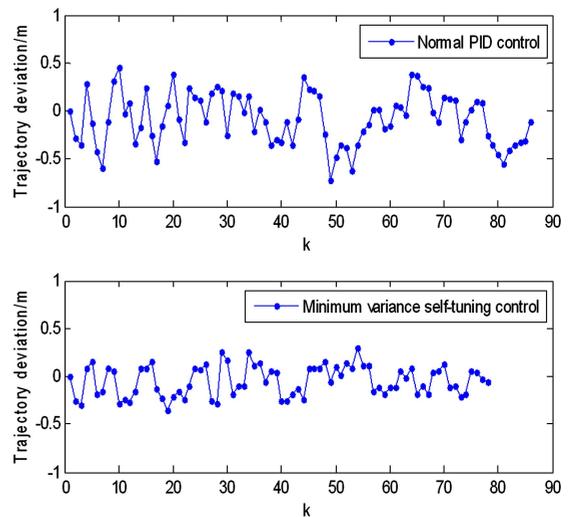
Parameters	Exper1	Exper2	Exper3
$\mu/(\text{m})$	-0.139	-0.047	-0.058
$\sigma/(\text{m})$	0.230	0.479	0.200
$(\mu-3\sigma,$ $\mu+3\sigma)$	(-0.829, 0.551)	(-1.484, 1.390)	(-0.658, 0.542)

表2 最小方差自校正控制算法轨迹偏差

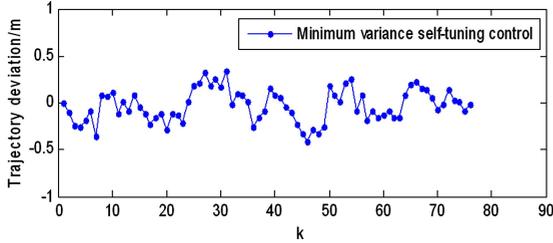
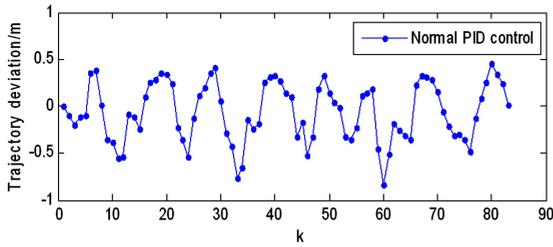
Table 2 Trajectory deviation of minimum variance self-tuning control algorithm

Parameters	Exper1	Exper2	Exper3
$\mu/(\text{m})$	-0.054	-0.057	-0.060
$\sigma/(\text{m})$	0.176	0.172	0.190
$(\mu-3\sigma,$ $\mu+3\sigma)$	(-0.582, 0.474)	(-0.573, 0.459)	(-0.630, 0.510)

3名实验者的行走实验结果表明,在常规PID算法控制下,平均行走轨迹偏差均值 $\mu = -0.081\text{m}$ ,标准差 $\sigma = 0.303\text{m}$ ,范围为 $(-0.990\text{m}, 0.828\text{m})$ ;在最小方差自校正算法控制下,平均行走轨迹偏差均值 $\mu = -0.057\text{m}$ ,标准差 $\sigma = 0.179\text{m}$ ,范围为 $(-0.595\text{m}, 0.481\text{m})$ .从实验结果对比来看,在常规PID控制下,实验者2的行走轨迹偏差超过 $\pm 1\text{m}$ ;在最小方差自校正控制算法控制下,每位实验者的行走轨迹偏差都符合准确性要求,且最小方差自校正控制下的误差均值,标准差均小于常规PID算法,误差带宽度更小,对于不同实验者的适应性效果更好,更能满足安全导盲的准确性和适应性要求。

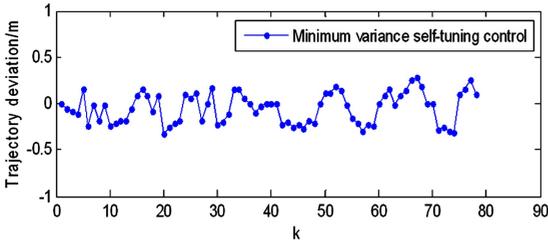
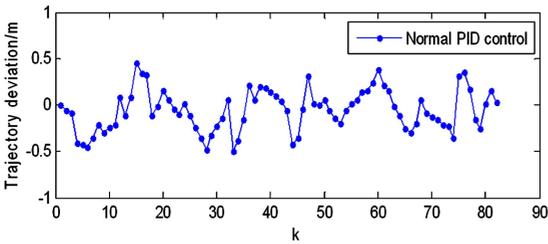


(a) 实验者1在两种控制算法下的行走轨迹误差  
(a) Trajectory deviation of experimenter 1 under two control algorithms



(b) 实验者 2 在两种控制算法下的行走轨迹误差

(b) Trajectory deviation of experimenter 2 under two control algorithms



(c) 实验者 3 在两种控制算法下的行走轨迹误差

(c) Trajectory deviation of experimenter 3 under two control algorithms

图 8 常规 PID 和最小方差自校正控制算法下的行走轨迹误差

Fig.8 Trajectory deviation under normal PID algorithm and minimum variance self-tuning control algorithm

## 5 结论

针对盲人在实际的行走过程中自身模型参数会发生变化的情况下,常规的行走诱导控制算法不能达到良好的控制效果,本文提出了一种基于最小方差自校正控制算法的诱导方法,该算法首先利用增广最小二乘估计被控对象模型参数,然后根据 Diophantine 方程在线解得控制器参数,最后根据最小方差控制律求得控制器的输出,对被控对象进行自适应控制.实验结果证明:最小方差自校正控制算法的圆轨迹行走误差均值为 $-0.0570\text{m}$ ,标准差

为 $0.1077\text{m}$ ,平均行走轨迹误差范围为 $(-0.5957\text{m}, 0.4811\text{m})$ ,均小于常规 PID 算法.在路径跟踪的准确性和对于不同实验者的适应性方面,最小方差自校正控制算法较常规 PID 算法都有所提高,能够满足安全导盲的准确性和适应性要求.

## 参 考 文 献

- 1 Kálmán V, Baczó C, Livadas M, et al. Wearable technology to help with visual challenges-two case studies. *Studies in Health Technology And Informatics*, 2015, 217 (36): 526~532
- 2 Amjed S. Al, Heba B. Al, Liang H. A smart infrared microcontroller-based blind guidance system. *Active and Passive Electronic Components*, 2013, 10(1155): 98~105
- 3 Pradeep V, Medioni G, Weiland J. Robot vision for the visually impaired // Computer vision and pattern recognition workshops (CVPRW), 2010 IEEE Computer Society Conference on IEEE, 2010: 15~22
- 4 Vivek P, Gerard M, James W. A wearable system for the visually impaired. *International conference of the IEEMBS*, 2010, 8(10): 91~95
- 5 Pradeep V, Lim J. Egomotion estimation using assorted features. *International Journal of Computer Vision*, 2012, 98(2): 202~216
- 6 王冠生. 基于 Haptic 和空间认知的盲人路径诱导服务研究[硕士学位论文]. 乌鲁木齐: 新疆大学, 2013 (Wang G S. Research on blind path guidance service based on haptic and spatial cognition [Master Thesis]. Urumqi: Xinjiang University, 2013 (in Chinese))
- 7 Liu J H, Sun X Y. A survey of vision aids for the blind. In: Proceedings of the 6th World Congress on Intelligent Control and Automation, 2006: 4312~4316
- 8 Dunai L, Lengua I, Tortajada I, et al. Obstacle detectors for visually impaired people. 14th International Conference on Optimization of Electrical and Electronic Equipment OPTIM 2014, 2014, Brasov, Romania
- 9 张志美,程立英,赵以恒等. 基于模糊 PID 控制算法的导盲机器人研究. 沈阳师范大学学报, 2015, 33(1): 81~85 (Zhang Z M, Cheng L Y, Zhao Y H, et al. Research on guide blind robot based on fuzzy PID control algorithm. *Journal of Shenyang Normal University*, 2015, 33(1): 81~85 (in Chinese))
- 10 胡侠,王佳. 基于模糊控制导盲机器人控制方法. 机械设计与制造, 2007(11): 148~150 (Hu X, Wang J.

- Control of blind robot based on fuzzy control. *Mechanical Design and Manufacturing*, 2007(11):148~150 (in Chinese))
- 11 靖固,冯晓雪,张学松. 导盲系统方向与速度综合控制及FPGA实现. 哈尔滨理工大学学报, 2016,21(6):55~61 (Jing G, Feng X X, Zhang X S. The direction and speed control of the guide system and the implementation of FPGA. *Journal of Harbin Institute of Technology*, 2016, 21(6):55~61 (in Chinese))
- 12 王漩,申晓红,闰永胜等. 基于多传感器的导盲避碰系统设计. 声学技术, 2011,30(4):126~129 (Wang X, Shen X H, Yan Y S, et al. Design of guided blind collision avoidance system based on multi-sensor. *Acoustic Technology*, 2011,30(4):126~129 (in Chinese))
- 13 Alegria F C. Precision of harmonic amplitude estimation on jitter corrupted data using sine fitting. *Signal Processing*, 2012,92(3):807~818
- 14 Miroslav J, Lucie O, Jan B. Parameter identification for pilot behavior model using the MATLAB system identification toolbox. International Conference on Military Technologies, 2017,Brno,Czech Republic
- 15 倪博溢,萧德云. MATLAB环境下的系统辨识仿真工具箱. 系统仿真学报, 2006,18(6):1493~1496 (Ni B Y, Xiao D Y. System identification simulation toolbox under MATLAB. *Journal of System Simulation*, 2006,18(6):1493~1496 (in Chinese))
- 16 Sendjaja A Y, Kariwala V. Minimum variance benchmark for performance assessment of decentralized controllers. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 2012, 51(11):4288~4298

## MINIMUM VARIANCE ADAPTIVE CONTROL METHOD FOR BLIND GUIDE\*

Wei Tong<sup>†</sup> Long Chen

(School of Instrument Science and Optoelectronic Engineering, Beijing University of Aeronautics and Astronautics, Beijing 100191, China)

**Abstract** Accurately inducing the blind to track a given path is an important basis and premise of wearable blind guide systems. In order to achieve safe travel for the blind, the walking dynamics model of the blind and an adaptive control algorithm were studied. For different users in the actual walking process, the model parameters change due to psychological and physiological differences and interactions with the environment, and thus an adaptive controller is required. An induction method based on minimum variance self-tuning control algorithm was proposed. Firstly, the parameters of the controlled object were estimated by the extended least squares. Then the Diophantine equation was solved to obtain the controller parameters. Finally, the output of the controller was obtained by the minimum variance control algorithm. The simulation results show that the minimum variance self-tuning control algorithm can track the circular trajectory well after identifying the model parameters, and the average travel-trajectory error range of experimental tests is  $(-0.5957\text{m}, 0.4811\text{m})$ , which verifies the accuracy and adaptability of the proposed method.

**Key words** blind guide instrument, adaptive, minimum variance control, closed loop induction, walking dynamics model