

文章编号: 1001-0920(2004)02-0199-05

## 赛跑的最优速度设计及其应用

高存臣<sup>1</sup>, 张建国<sup>2</sup>, 王延源<sup>3</sup>

(1. 中国海洋大学 数学系, 山东 青岛 266071; 2 烟台师范学院 体育学院,  
山东 烟台 264025; 3 临沂师范学院 数学系, 山东 临沂 276005)

**摘要:** 首先通过对人体 4 个生理参数和风力的分析, 由牛顿第二定律建立了赛跑的最优速度模型与能量消耗模型; 其次利用微分方程的解曲线与最优控制方法, 结合普通极值与泛函极值方法, 给出时间一定情况下的最大距离, 以及赛跑距离一定情况下的最小时间, 并利用最小二乘法对若干生理参数进行拟合估计; 最后以某高校 40 多年男子赛跑成绩为依据进行模型检验, 找出理论值与实际纪录值的相对误差, 从而提高赛跑成绩提供了科学依据

**关键词:** 赛跑; 最大距离; 最小时间; 数学模型; 速度控制

**中图分类号:** TP13 **文献标识码:** A

## Optimum velocity design and its application to race

GAO Cun-chen<sup>1</sup>, ZHANG Jian-guo<sup>2</sup>, WANG Yan-yuan<sup>3</sup>

(1. Department of Mathematics, Ocean University of China, Qingdao 266071, China; 2 Physical College, Yantai Teachers University, Yantai 264025, China; 3 Department of Mathematics, Linyi Teachers College, Linyi 276005, China Correspondent: GAO Cun-chen, E-mail: ccgao@mail.ouc.edu.cn)

**Abstract** An optimum race velocity model and an energy fever model is presented based on the Newton's second law and the analysis of wind-force and the four physiological parameters of human body. The maximum distance under the given time and the minimum time under the given distance are calculated by using the solution curve of the differential equations and the optimal control method, combining with the methods of the general extreme value and functional extreme value. Some physiological parameters are estimated by using the least squares method. The model is tested by taking the man race score in the past 40 years, and the relatively errors of the theoretical values and the real record are presented.

**Key words:** race; maximum distance; minimum time; mathematical model; velocity control

### 1 引言

运用现代数学方法研究体育运动始于 20 世纪 70 年代 Keller<sup>[1]</sup>首先建立了运动员赛跑模型, 将其理论用于运动员中长跑训练, 取得了优异的成绩。同时, 美国计算机专家 Ails 以力学、数学、计算机为工具对铁饼投掷技术进行研究, 提出了新的投掷技术与改进后的训练措施, 使运动员在很短的时间内取得了辉煌成绩。因此, 现代训练技术将有助于运动员

### 快速提高比赛成绩

本文通过对人体的 4 个生理参数(最大冲力  $F$ , 体内外的阻力系数  $\mu$ , 由氧气的新陈代谢作用提供能量的速度  $\zeta$ , 体内储存能量的初始值  $E_0$ ) 和风力  $w$  进行分析, 建立了最优速度的赛跑模型与能量消耗模型。并利用微分方程的积分曲线与最优控制方法, 结合普通极值与泛函极值的 Lagrange 乘法, 分别给出在时间  $T$  和赛跑距离  $D$  一定情况下的最大距

收稿日期: 2003-05-10; 修回日期: 2003-09-05

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(69974032); 山东省自然科学基金资助项目(Q99G06)

作者简介: 高存臣(1956—), 男, 山东莱阳人, 教授, 博士生导师, 从事变结构控制理论与应用、大系统理论与应用等研究; 张建国(1960—), 男, 烟台芝罘人, 讲师, 从事体操方面的研究

离 $D_{MAX}$ 及最小时间 $T_{MN}$ ,利用最小二乘法对若干生理参数进行拟合估计.将烟台师范学院40多年的男子赛跑成绩作为模型检验的依据,找出理论值与实际纪录值的相对误差,从而为提高赛跑成绩提供科学依据

## 2 问题叙述与模型建立

提高赛跑成绩的关键是最优速度分配问题. Keller 根据人体的4个生理参数对此建立了简单模型,该模型可确定最优速度,并预报未来的比赛成绩.但由于大多数田赛都是在室外进行的,比赛成绩往往会受风力的影响.目前已有的数学模型<sup>[2-7]</sup>,大都未考虑风力对赛跑的影响.本文在考虑4个生理参数和风力影响的情况下,建立了全新的最优速度模型和能量消耗模型,并将其应用于实际赛跑

### 2.1 模型假设

**假设1** 比赛距离为 $D$ ,运动员所跑时间为 $T$ ,速度为 $v(t)$ ;

**假设2** 比赛时风力 $w$ 与速度 $v$ 成正比,比例系数为 $1/\nu$ ;

**假设3** 赛跑时,体内阻力和体外的空气阻力 $r$ 与速度 $v(t)$ 成正比,比例系数为 $1/\mu$

### 2.2 模型建立

由积分学理论知,比赛距离为

$$D = \int_0^T v(t) dt \quad (1)$$

现在的问题是:当 $D$ 一定时,如何分配 $v(t)$ ,使 $T$ 最小;或当 $T$ 一定时,如何分配 $v(t)$ ,使 $D$ 最大.这两个问题是等价的.为简单起见,本文只研究后者.

速度 $v(t)$ 受运动员的体力和赛跑时阻力的制约,设运动员的冲力为 $f(t)$ .考虑到模型假设2和假设3,由Newton第二定律得 $ma + r + w = f$ ,即

$$\begin{cases} \frac{dv}{dt} + \frac{v}{\mu} + \frac{v}{\nu} = f(t), \\ v(0) = 0 \end{cases} \quad (2)$$

其中: $1/\mu$ 与 $1/\nu$ 分别为适当的阻力系数(这里是对单位质量而言,下同), $a$ 为加速度, $m$ 为运动员的质量.

因为冲力 $f(t)$ (由血液对肌肉的供氧、肌肉的收缩及身体的上下运动等提供)是由运动员自身控制的,所以问题可转化为寻找 $f(t)$ 的最优控制策略,即当 $T$ 一定时, $D$ 达到最大. $f(t)$ 一般受两个因素影响:一是运动员自身所能发挥的最大冲力 $F$ ,有

$$f(t) \leq F; \quad (3)$$

二是单位时间内所需要的能量(即体能的消耗速

度) $f v$ ,其中 $f$ 为运动员的冲力, $v$ 为速度,该能量是由身体提供的等价氧气决定的.

记 $E(t)$ 为身体肌肉内储存的氧气与等价的能量, $\zeta$ 为单位时间内提供的与氧气等价的能量.由于 $\zeta$ 与 $f v$ 之差为 $E(t)$ 的变化率,则有

$$\begin{cases} \frac{dE}{dt} = \zeta - f v, \\ E(0) = E_0 \end{cases} \quad (4)$$

这里 $E_0$ 为体内储存能量的初始值.于是问题可归结为:假设已知4个生理参数 $F, \mu, \zeta, E_0$ 和外界参数 $\nu$ ,求满足式(2)~(4)的 $v(t)$ ,使得当 $T$ 为定值时,由式(1)确定的距离 $D$ 最大.该问题有3个未知函数 $v(t), E(t)$ 和 $f(t)$ ,不能从两个微分方程中解得,所以在模型求解过程中需要作一些假设.

### 3 最优距离与最优时间

根据赛跑的特点,可将上述问题的3个阶段分为4种情形.在赛跑的初段以 $f(t)$ 作为控制量,选定 $f(t)$ ,求其他函数;在赛跑的终段以 $E(t)$ 为控制量;在赛跑的中段可分为顺风与逆风两种情形.下面分别进行讨论.

#### 3.1 赛跑初段

赛跑初段是指时间 $t$ 阶段, $0 \leq t \leq T_1$ ( $T_1$ 待定).欲使 $v(t)$ 迅速增加,此时应以最大冲力 $F$ 加速跑,即令 $F = f(t)$ .将其代入式(2),得

$$\begin{cases} \frac{dv}{dt} + \frac{v}{\mu} + \frac{v}{\nu} = F, \\ v(0) = 0 \end{cases} \quad (5)$$

这是一阶线性微分方程的Cauchy问题,其解为

$$v(t) = \frac{F\mu\nu}{\mu + \nu} (1 - e^{-(\frac{1}{\mu} + \frac{1}{\nu})t}), \quad 0 \leq t \leq T_1 \quad (6)$$

将式(6)代入式(4),得

$$\begin{cases} \frac{dE}{dt} = \zeta - \frac{F^2\mu\nu}{\mu + \nu} (1 - e^{-(\frac{1}{\mu} + \frac{1}{\nu})t}), \\ E(0) = E_0, E(t) \geq 0 \end{cases} \quad (7)$$

其解为

$$E(t) = E_0 + (\zeta - \frac{F^2\mu\nu}{\mu + \nu})t + \frac{(F\mu\nu)^2}{(\mu + \nu)^2} (1 - e^{-(\frac{1}{\mu} + \frac{1}{\nu})t}). \quad (8)$$

式中应有 $[\zeta - F^2\mu\nu/(\mu + \nu)] \geq 0$ ,否则当 $t \rightarrow \infty$ 时, $E(t) \rightarrow -\infty$ .而实际中运动员的能量是有限的,显然该结论错误. $E(t)$ 的能量变化如图1所示,图中的 $T_1$ 为方程 $E(t) = 0$ 的解,表示冲刺不得超过的时间.

若 $T \leq T_1$ ,则运动员在赛跑全程均以最大冲力

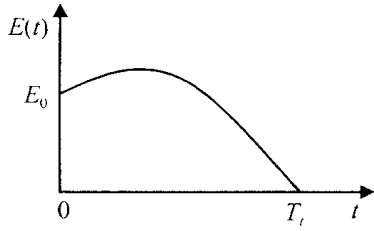


图 1 运动员能量变化

F 赛跑, 它仍符合条件  $E(t) = 0$  此时整个赛跑可看作只有冲刺阶段, 即令  $T_1 = T$ , 则最优速度即为式(6) 中的  $v(t)$ , 从而有

$$E(t) = E_0 + \zeta \left[ \frac{v^2(t)}{2} - \left( \frac{1}{\mu} + \frac{1}{\nu} \right) \int_0^t v^2(t) dt \right] \quad (9)$$

当 4 个生理参数和风力给定后, 可得冲刺距离

$$D_i = F \left( \frac{\mu\nu}{\mu + \nu} \right)^2 \left[ e^{-\left(\frac{1}{\mu} + \frac{1}{\nu}\right)t} + T_i \left( \frac{1}{\mu} + \frac{1}{\nu} \right) - 1 \right] \quad (10)$$

因此当赛程不超过  $D_i$  (即短跑) 时, 其最优策略是用最大冲力跑, 最优速度即为式(6); 当赛程超过  $D_i$  (即中长跑) 时, 则  $t > T_i$ , 但由于冲刺时间只能小于  $T_i$ , 需要确定一个时刻  $T_1$ , 当  $0 < t - T_1 < T_i$  时, 用最大冲力跑

### 3.2 赛跑终段

赛跑终段是指时间  $t$  阶段,  $T_2 \leq t \leq T_i$  ( $T_2$  待定). 该阶段运动员应将体内储存的能量全部耗尽, 以最大速度得到惯性冲刺, 于是可令

$$E(t) = 0, T_2 \leq t \leq T_i \quad (11)$$

将式(2) 代入式(4), 得

$$\begin{cases} \frac{dE}{dt} = \zeta - v \left( \frac{dv}{dt} + \frac{v}{\mu} + \frac{v}{\nu} \right), \\ E(0) = E_0, E(t) = 0 \end{cases} \quad (12)$$

由式(11) 可知  $E(t) = 0$ , 故由式(12) 可得 Cauchy 初值问题

$$\begin{cases} v \left( \frac{dv}{dt} + \frac{v}{\mu} + \frac{v}{\nu} \right) = \zeta \\ v|_{t=T_2} = v(T_2). \end{cases} \quad (13)$$

其解为

$$v(t) = \left\{ [v^2(T_2) - \zeta(\mu + \nu)] e^{\frac{2(T_2 - t)}{\mu + \nu}} + \zeta(\mu + \nu) \right\}^{\frac{1}{2}}, T_2 \leq t \leq T_i \quad (14)$$

因此, 只要求出  $v(T_2)$ , 便可知终段的最优速度值

### 3.3 赛跑中段

赛跑中段是指满足  $T_1 \leq t \leq T_2$  的时间  $t$  阶段

由式(1), (6) 和(14) 知, 赛跑全程的距离为

$$D(v(t)) = \int_0^{T_1} F(\mu + \nu) \left( 1 - e^{-\frac{t}{\mu + \nu}} \right) dt + \int_{T_1}^{T_2} v(t) dt + \int_{T_1}^{T_2} \left\{ [v^2(T_2) - \zeta(\mu + \nu)] e^{\frac{2(T_2 - t)}{\mu + \nu}} + \zeta(\mu + \nu) \right\}^{\frac{1}{2}} dt \quad (15)$$

这里  $v(t)$  应满足  $E(T_2) = 0$  由式(12) 解出

$$E(t) = E_0 + \zeta \left[ \frac{v^2(t)}{2} - \left( \frac{1}{\mu} + \frac{1}{\nu} \right) \int_0^t v^2(t) dt \right] \quad (16)$$

令  $t = T_2$ , 在时间区间  $0 \leq t \leq T_1$  内将式(6) 代入式(16), 可得

$$E(T_2) = E_0 + \zeta \left[ \frac{v^2(T_2)}{2} - \left( \frac{1}{\mu} + \frac{1}{\nu} \right) \int_0^{T_1} \frac{F^2 \mu \nu}{\mu + \nu} \left( 1 - e^{-\left(\frac{1}{\mu} + \frac{1}{\nu}\right)t} \right)^2 dt - \left( \frac{1}{\mu} + \frac{1}{\nu} \right) \int_{T_1}^{T_2} v^2(t) dt \right] \quad (17)$$

因此转化为求条件极值问题, 即在条件(17) 下求速度  $v(t)$ , 使泛函(15) 达到极值 现用 Lagrange 乘子法求解: 作 Lagrange 泛函

$$L[v(t)] = D(v(t)) + \frac{\lambda}{2} E(T_2). \quad (18)$$

为计算方便, 将式(18) 右端与  $v(t)$  的无关项略去, 得

$$L[v(t)] = \int_{T_1}^{T_2} \left[ v(t) - \frac{\lambda}{2} \left( \frac{1}{\mu} + \frac{1}{\nu} \right) v^2(t) \right] dt + \int_{T_1}^{T_2} \left\{ [v^2(T_2) - \zeta \left( \frac{1}{\mu} + \frac{1}{\nu} \right)^{-1}] e^{2\left(\frac{1}{\mu} + \frac{1}{\nu}\right)(T_2 - t)} + \zeta \left( \frac{1}{\mu} + \frac{1}{\nu} \right)^{-1} \right\}^{\frac{1}{2}} dt - \frac{\lambda}{4} v^2(T_2). \quad (19)$$

式(19) 右端第 1 个积分项依赖于  $v(t)$ , 满足 Euler 方程 (即泛函极值的必要条件); 第 2, 3 项只依赖于  $v(T_2)$ , 用普通的微分求极值方法可求得

$$\frac{d}{dv} \left[ v(t) - \frac{\lambda}{2} \left( \frac{1}{\mu} + \frac{1}{\nu} \right) v^2(t) \right] = 0, \quad (20)$$

其解为

$$v \left( \left( \frac{1}{\mu} + \frac{1}{\nu} \right)^{-1} \right) = \frac{1}{\lambda} \left( \frac{1}{\mu} + \frac{1}{\nu} \right)^{-1}, \quad T_1 \leq t \leq T_2 \quad (21)$$

并有

$$\frac{d}{dv(T_2)} \left( \int_{T_1}^{T_2} [v^2(T_2) - \zeta \left( \frac{1}{\mu} + \frac{1}{\nu} \right)^{-1}] e^{2\left(\frac{1}{\mu} + \frac{1}{\nu}\right)(T_2 - t)} + \zeta \left( \frac{1}{\mu} + \frac{1}{\nu} \right)^{-1} \right) = 0$$

$$\zeta \left( \frac{1}{\mu} + \frac{1}{\nu} \right)^{-1} \frac{1}{2} dt - \frac{\lambda}{4} v^2(T_2) = 0, \quad (22)$$

其解为

$$2 \int_{T_2}^{T_1} \left[ (v^2(T_2) - \zeta \left( \frac{1}{\mu} + \frac{1}{\nu} \right)^{-1}) e^{2(\frac{1}{\mu} + \frac{1}{\nu})(T_2 - t)} + \zeta \left( \frac{1}{\mu} + \frac{1}{\nu} \right)^{-1} \right] e^{2(\frac{1}{\mu} + \frac{1}{\nu})(T_2 - t)} dt = \lambda \quad (23)$$

式(21)表明,在中段  $T_1 \leq t \leq T_2$ , 最优速度是与体内外阻力参数  $\mu$ , 风力参数  $\nu$  有关的常数。一般风力不是常数,在顺风时风力参数为负数,而最优速度为常数,所以可减少用力;在逆风时风力参数为正数,应相应加大用力。

### 3.4 参数值 $T_1$ , $T_2$ 和 $\lambda$ 的确定

由于  $v(t)$  在  $t = T_1$  处是连续的,由式(6)和(21)可得

$$\lambda = \frac{1}{v(T_1)} \left( \frac{1}{\mu} + \frac{1}{\nu} \right)^{-1} = \frac{\left( \frac{1}{\mu} + \frac{1}{\nu} \right)^{-1}}{F \left( \left( \frac{1}{\mu} + \frac{1}{\nu} \right)^{-1} (1 - e^{-(\frac{1}{\mu} + \frac{1}{\nu}) T_1}) \right)} = \frac{1}{F(1 - e^{-\beta})}, \beta = \left( \frac{1}{\mu} + \frac{1}{\nu} \right) T_1 \quad (24)$$

将  $v(T_2) = (\mu + \nu)/\lambda$  代入式(23),得

$$\lambda = \frac{\left[ \left( \left( \frac{1}{\mu} + \frac{1}{\nu} \right)^{-2} \lambda^2 - \zeta \left( \frac{1}{\mu} + \frac{1}{\nu} \right)^{-1} \right) e^{2(\frac{1}{\mu} + \frac{1}{\nu})(T_2 - t)} + \zeta \left( \frac{1}{\mu} + \frac{1}{\nu} \right)^{-1} \right] \frac{1}{2} - \left( \frac{1}{\mu} + \frac{1}{\nu} \right)^{-1} \frac{1}{\lambda^2}}{\frac{1}{\lambda^2} \left( \frac{1}{\mu} + \frac{1}{\nu} \right)^{-1}} \quad (25)$$

再将  $v(t) = (\mu + \nu)/\lambda$  代入式(17),得

$$E_0 + \zeta T_2 - \frac{1}{2\lambda^2} \left( \frac{1}{\mu} + \frac{1}{\nu} \right)^{-2} - \frac{1}{\lambda^2} \left( \frac{1}{\mu} + \frac{1}{\nu} \right)^{-1} \times (T_2 - T_1) - F^2 \left( \frac{1}{\mu} + \frac{1}{\nu} \right)^{-1} [T_1 - \frac{3}{2} \left( \frac{1}{\mu} + \frac{1}{\nu} \right)^{-1} + \left( \frac{1}{\mu} + \frac{1}{\nu} \right)^{-1} (2e^{-(\frac{1}{\mu} + \frac{1}{\nu}) T_1} - \frac{1}{2} e^{-2(\frac{1}{\mu} + \frac{1}{\nu}) T_1})] = 0 \quad (26)$$

由式(24)~(26)即可求得参数  $T_1$ ,  $T_2$  和  $\lambda$

最优速度  $v(t)$  如图2所示。但当  $T_2 \leq t \leq T_f$  时,速度下降,这与实际相矛盾。对此可通过汽车运动过程来说明。

汽车比赛的最终阶段是燃料用完后依靠惯性冲刺,赛跑的最优策略也应将人体储存的能量全部用完,这时将出现一较短速度下降的末段。仅从赛跑

所用的时间看,这是最优的。但在实际比赛中,要击败对手获得好名次,还需要其他策略,但这不是该模型所讨论的问题。

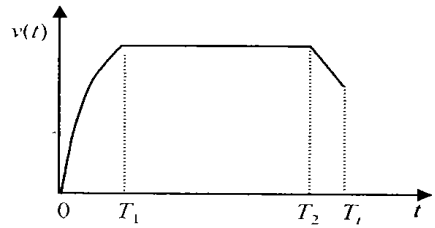


图2 最优速度曲线

## 4 仿真实例

为了确定在建模过程中的4个生理参数  $F$ ,  $\mu$ ,  $\zeta$ ,  $E_0$  和风力参数  $\nu$ , 通过烟台师范学院50~200 m男子纪录拟合由式(1)和(6)得出的理论成绩,利用最小二乘法得到  $F$  和  $\mu + \nu$  的估计值;再通过9个400~10 000 m 中长跑纪录拟合由式(1), (6), (14), (21)和(24)~(26)得出的理论成绩,利用最小二乘法得到  $E_0$  和  $\zeta$  的估计值(设质量  $M = 1$  kg):  $F = 1.12$  (kg·m)/s<sup>2</sup>,  $\zeta = 0.802$  (kg·m)/s,  $E_0 = 2.021$  (kg·m<sup>2</sup>)/s<sup>2</sup>,  $\mu + \nu = 38$  (kg·m<sup>2</sup>)/s<sup>3</sup>.

根据以上数值,由式(8)和(10)计算出  $D_{T_1} = 226$  m。由此分析得出,可将距离不超过226 m的7个赛程(50~200 m)列为大学生男子短跑,即最优速度只有一个阶段。这样,当赛程不超过226 m时,大学生男子运动员应一直以最大冲力跑;当赛程超过226 m时,应以最大冲力跑1~2 s,再以匀速跑绝大部分赛程,最后的1~2 s减速,将体内储存的能量用完。

男子赛跑成绩与理论成绩比较结果如表1所示。由表1可以看出,理论成绩与实际比赛成绩的相对误差很小,说明本文模型是适用、合理的,可以此指导运动员的训练和比赛。

注1 所给模型把运动学与生理学结合起来,用最优控制的方法解决体育运动问题,具有明显的示范作用。当然,该模型还有需要改进之处,如应考虑不同赛程使用不同的生理参数;运动员身体上下运动及赛跑时所产生的废料积累与排放等因素;风力与速度的平方成正比等。

## 5 结论

本文首先运用牛顿第二定律,通过对人体4个生理参数和风力  $w$  的分析,建立了最优速度的赛跑模型和能量消耗模型;然后利用微分方程的解曲线及最优控制方法,结合普通极值与泛函极值的

Lagrange 乘子法, 给出  $T$  一定时的  $D_{MAX}$  及  $D$  一定

表 1 男子赛跑纪录与理论成绩比较

赛程 $D/m$	学院纪 录 $T^*/s$	理论成 绩 $T/s$	相对误 差 $\delta/\%$	$T_1/s$	$T^* - T_2/s$
50	6.5	6.47	-0.5		
60	7.6	7.50	-0.13		
80	9.4	9.59	2.02		
100	11.6	11.68	0.7		
150	17.1	17.19	0.52		
200	24.3	24.01	-0.12		
400	55.2	53.90	-2.4	1.68	0.84
800	2:07	2:05.15	-1.46	1.09	1.10
1200	3:09	3:16.1	1.53	0.99	1.21
1500	4:12	4:18.1	1.01	0.89	1.33
2000	6:01	6:05.9	1.3	0.85	1.45
3000	9:50	9:55.7	0.96	0.81	1.62
4000	13:21	13:10.5	-1.3	0.78	1.82
5000	17:00	16:48.1	-4.3	0.79	1.84
10000	38:20	37:52.5	-1.2	0.76	2.18

时的  $T_{MN}$ ; 最后对模型进行检验, 找出了理论成绩与实际比赛成绩的相对误差, 从而为提高赛跑成绩提供了科学的训练依据

参考文献(References):

[1] 陈义华. 数学模型[M]. 重庆: 重庆大学出版社, 1995  
 [2] Rolf Ulrich, Jeff Miller. Tests of race models reaction time in experiments with asynchronous redundant signals[J]. *J of Mathematical Psychology*, 1997, 41(4): 367-381  
 [3] Hans Colonius, Jale Ozyurt, Petra A Aardt. Countermanding saccades with auditory stop signals: Testing the race models[J]. *Vision Research*, 2001, 41(6): 1951-1968  
 [4] 赵静, 但琦. 数学建模与数学实验[M]. 北京: 高等教育出版社, 2000  
 [5] 王德人. 非线性方程组解法与最优化方法[M]. 北京: 人民教育出版社, 1979  
 [6] 姜启源. 数学模型[M]. 北京: 高等教育出版社, 1987  
 [7] 薛家庆. 最优化原理与方法[M]. 北京: 冶金工业出版社, 1983

(上接第 198 页)

7 结 语

本文利用ADRC控制技术对大射电望远镜上馈源舱位姿控制问题进行了仿真研究, 结果表明在外干扰及模型本身不确定的情况下, 利用同一套参数, ADRC控制技术可以实现理想跟踪目标和实际位姿的误差满足所要求的精度, 且响应快, 无超调

参考文献(References):

[1] 苏玉鑫, 段宝岩, 彭勃, 等. 大射电望远镜馈源轨迹跟踪的模糊预测控制[J]. *控制与决策*, 2002, 17(1): 86-88  
 (Su Yu-xin, Duan Bao-yan, Peng Bo, et al. Adaptive fuzzy predictive tracking of the feed for large radio telescope[J]. *Control and Decision*, 2002, 17(1): 86-88 )  
 [2] Charles C Nguyen, Sami S Antrazi, Zhou Zhen-lei. Adaptive control of a Stewart platform-based manipulator[J]. *J of Robotic Systems*, 1993, 10(5): 657-687.

下 期 要 目

有关行为主义人工智能研究综述 .....	徐心和, 等
$\mu$ 分析的线性矩阵不等式方法及其应用 .....	富 饶, 等
异步电机鲁棒控制器及其Backstepping 设计 .....	张春明, 等
一类自适应免疫进化算法.....	左兴权, 等
非线性系统的直接自适应输出反馈监督模糊控制.....	佟绍成, 等
整体解决方案下的集成平台技术研究.....	李建强, 等
正交Multi-Agent 遗传算法及其性能分析.....	薛明志, 等
基于扰动动态补偿的离散滑模变结构控制.....	瞿少成, 等
一个可以准确反映Web 浏览兴趣的度量值 .....	邢东山, 等