

遗传算法在扫视眼动系统参数估计中的应用[†]

邵 颀 刘卫芳 刘亚芹 欧阳楷
(首都医科大学生物医学工程系, 北京, 100054)

李忠诚

(北京工业大学应用物理系, 北京, 100022)

李 智

(北京工业大学自动化系, 北京, 100022)

摘 要 简要介绍了扫视眼动系统的数学模型, 并用遗传算法对此模型中的参数进行了估计, 仿真实验结果表明, 遗传算法基本能准确地估计出各参数在正常生理状况下的取值, 初步验证了其是进行扫视眼动系统参数估计的有效方法。

关键词 扫视系统, 参数估计, 遗传算法

分类号 R318.04

1 扫视眼动系统及其数学模型

扫视眼动系统是指当眼球从一个目标快速移到另一个目标(扫视)时, 与此运动过程有关的各个组成部分。扫视的生理过程^[1]为: 当光靶信号(目标)落在视网膜上, 此信号通过视觉通路上行至视觉中枢, 若此光靶信号未落在视网膜中央凹处, 则在意识的作用下形成扫视信号, 下行至眼动核, 支配眼肌的收缩、舒张, 从而引起眼球的扫视运动。

假设眼球是一个刚球体模型, 根据肌肉的一般生理特性和人的眼外肌生理实验, 眼动机构的同胚模型如图1所示。

根据同胚模型, Bahil建立了扫视系统的数学模型^[2]:

$$\begin{aligned}
 F_{AG} - K_{LT} X_2 - B_{AG} \dot{X}_2 &= K_{SE} (X_2 - X_1) \\
 F_{ANT} + K_{LT} X_3 + B_{ANT} \dot{X}_3 &= K_{SE} (X_4 - X_3) \\
 K_{SE} (X_2 - X_1) - K_{SE} (X_1 - X_3) &= \\
 J_p \ddot{\theta} + B_p \dot{\theta} + K_p \theta &
 \end{aligned}$$

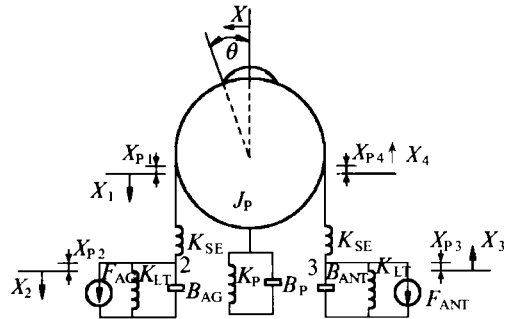
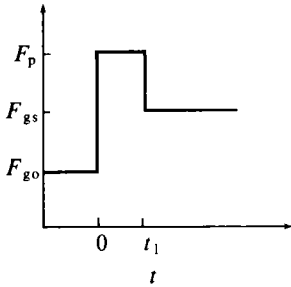


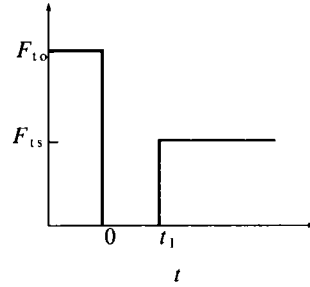
图1 眼球机构的模型

其中 F_{AG} 为主缩肌主动兴奋张力； F_{ANT} 为对抗肌主动兴奋张力； K_{SE} 为眼外肌的串联弹性系数； K_{LT} 为用直线拟合眼外肌长度——张力曲线的斜率。模型中用弹性系数为 K_{LT} 的理想弹簧表示。 J_p 为眼球的转动惯量； K_p 、 B_p 为内外直肌摘除时，作用于眼球的张力和眼球水平转动之间的关系模型用弹簧表示，弹性系数为 K_p ，阻尼系数为 B_p ； B_{AG} 为主缩肌阻尼延迟系数； B_{ANT} 为对抗肌阻尼延迟系数。

假设使眼球做扫视运动的神经信号是一次切换的时间最优控制信号^[3]如图2所示。其中 t_1 为神经控制信号的切换时间； F_{g_0} 为主缩肌主动兴奋张力的初始值； F_p 为主缩肌主动兴奋张力的脉冲幅度； F_{g_s} 为主缩肌主动兴奋张力的阶跃幅度； F_{t_0} 为对抗肌主动兴奋张力的初始值； F_{t_s} 为对抗肌主动兴奋张力的阶跃幅度。



主缩肌一次切换时间最优控制信号



对抗肌一次切换时间最优控制信号

图2 扫视运动的神经控制信号

将神经控制信号作为扫视系统的输入信号并求解数学模型，就可得到扫视时眼球运动的角度随时间的变化情况，即 $\theta(t)$ ，其形式为：

$$\theta(t) = (A_0 + A_1 e^{-\alpha_1 t} + A_2 e^{-\alpha_2 t} + B_1 e^{-\beta_1 t} + B_2 e^{-\beta_2 t} + B_3 e^{-\beta_3 t} + B_4 e^{-\beta_4 t}) u(t) + [A_0' + A_1' e^{-\alpha_1(t-t_1)} + A_2' e^{-\alpha_2(t-t_1)} + B_1' e^{-\beta_1(t-t_1)} + B_2' e^{-\beta_2(t-t_1)} + B_3' e^{-\beta_3(t-t_1)} + B_4' e^{-\beta_4(t-t_1)}] u(t-t_1)$$

其中 $\alpha_1 = 1 / \tau_{ac}$ ， τ_{ac} ：由神经控制到肌肉力这个一阶系统的激活时间常数， $\alpha_2 = 1 / \tau_{dc}$ ， τ_{dc} ：由神经控制到肌肉力这个一阶系统的失活时间常数。而 $A_0, A_1, A_2, B_1, B_2, B_3, B_4, A_0', A_1', A_2', B_1', B_2', B_3', B_4', \beta_1, \beta_2, \beta_3, \beta_4$ 均为 $K_{SE}, K_{LT}, J_p, K_p, B_p, B_{AG}, B_{ANT}, F_{g_0}, F_p, F_{g_s}, F_{t_0}, F_{t_s}$ 的复杂函数，因此若能够知道扫视系统的参数 $K_{SE}, K_{LT}, J_p, K_p, B_p, B_{AG}, B_{ANT}, F_{g_0}, F_p, F_{g_s}, F_{t_0}, F_{t_s}, \tau_{ac}, \tau_{dc}, t_1$ 的取值，就能比较容易地求出 $\theta(t)$ 。

2 用遗传算法进行参数估计

参数估计是指根据实际测得的扫视眼动角度曲线，反算出扫视系统的所有参数的取值。若将这些值和各参数的正常生理值进行比较，就可判断扫视系统是否发生病变，是神经系统异常，还是肌肉异常。但是此系统参数比较多(15个)，参数估计就变成一个十分复杂的搜索过程。用一般的搜索方法做估计，难以达到较高的精度。本文采用了遗传算法^[4, 5]进行参数估计，其基本思路为：首先任意设定 N 组参数取值，对每组参数(15个)我们都能较容易地求得对应的眼动角度曲线，记为 $\theta^*(t)$ 。共有 N 条 $\theta^*(t)$ 曲线，分别将其与实际测得的扫视眼动

曲线 $\theta(t)$ 比较,得到 N 个误差(每个误差是指每条 $\theta^*(t)$ 曲线与 $\theta(t)$ 曲线的残差平方和).舍去误差大的那些组参数值,保留误差小的那些组参数值,并将其重组得到新的若干组参数值,又可求得若干条 $\theta^*(t)$ 曲线和若干个与 $\theta(t)$ 比较的误差,这些误差一般会更小.如此迭代操作,直至误差小于某一设定值,那组误差最小的参数值即为我们对产生 $\theta(t)$ 的扫视系统做的参数估计,其所求出的 $\theta^*(t)$ 可最好地接近 $\theta(t)$.

由于扫视眼动角度曲线的临床数据不易取得,为初步判断遗传算法是否适于做扫视系统的参数估计,我们用文献[6]中查到的各参数的生理值做出的眼动角度曲线作为 $\theta(t)$,用遗传算法找出最接近于 $\theta(t)$ 的 $\theta^*(t)$ 所对应的一组参数值,将它们与 $\theta(t)$ 对应的那组参数生理值进行比较,即可知道用遗传算法做参数估计时的精度,从而判断其是否是一种参数估计的有效方法.

由于扫视系统的参数比较多,如果直接用遗传算法对15个参数同时作估计,其估计精度不能令人满意.在实验中,我们将这15个参数分为两部分: K_{SE} 、 K_{LT} 、 J_p 、 K_p 、 B_p 、 B_{AG} 、 B_{ANT} 为与肌肉有关的参数(其中 J_p 、 K_p 、 B_p 是关于眼球的参数,一般固定不变), F_{go} 、 F_p 、 F_{gs} 、 F_{ω} 、 F_{ω} 、 F_{ω} 、 τ_{ac} 、 τ_{dc} 、 t_1 为与神经有关的参数(其中 $F_{go} = F_{\omega}$,在估计时可作为一个参数看待).实验过程也分两步:固定神经参数(即与神经有关的参数取生理值),估计肌肉参数;固定肌肉参数(即与肌肉有关的参数取生理值),估计神经参数.这样一方面减少了估计参数的个数,提高了估计精度;另一方面也说明遗传算法对两部分参数均能做估计.

3 仿真实验结果

3.1 各参数的生理值

本实验做了6种扫视角度(5° , 10° , 15° , 20° , 25° , 30°)下的扫视系统的参数估计.

6种扫视角度下各参数的生理值为:为 $K_{SE} = 12.75 \text{ kg/m}$; $K_{LT} = 3.264 \text{ kg/m}$; $K_p = 1.3 \text{ g}/(^\circ)$; $B_p = 60.0 \text{ (g} \cdot \text{ms}^2)/ (^\circ)$; $J_p = 43.0 \text{ (g} \cdot \text{ms}^2)/ (^\circ)$; $\tau_{ac} = 4.0 \text{ ms}$; $\tau_{dc} = 5.0 \text{ ms}$; $F_{go} = 14.288 \text{ g}$; $F_p = 100 \text{ g}$; $F_{\omega} = 14.288 \text{ g}$.以上各参数的生理值在6种扫视角度下均一致,其余各参数的生理值如表1所示.

由各参数的生理值,可求出眼动角度曲线,并将其作为 $\theta(t)$,如图3所示.

表1 眼动参数的生理值

扫视角度	$B_{AG}/$ ($\text{kg} \cdot \text{ms}) \cdot \text{m}^{-1}$	$B_{ANT}/$ ($\text{kg} \cdot \text{ms}) \cdot \text{m}^{-1}$	t_1 / ms	F_{gs} / g	F_{ω} / g
5°	387.0	143.0	10.0	23.72	9.29
10°	347.0	122.0	20.0	33.16	4.29
15°	337.0	122.0	32.0	43.28	0.0
20°	326.0	112.0	50.0	57.70	0.0
25°	316.0	112.0	70.0	72.20	0.0
30°	316.0	112.0	100.0	86.50	0.0

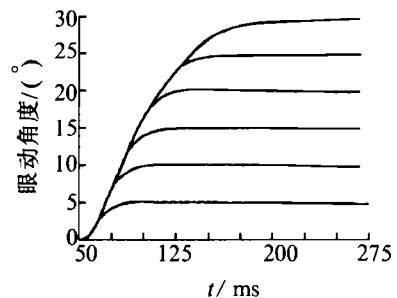


图3 眼动角度曲线

3.2 固定神经参数

用遗传算法估计各种角度下的肌肉参数, 结果如表 2 所示.

3.3 固定肌肉参数

用遗传算法估计各种角度下的神经参数, 结果见表 3 所示.

表2 估计出的肌肉参数

扫视角度	$B_{AG}/(g \cdot s) \cdot m^{-1}$	$B_{ANT}/(g \cdot s) \cdot m^{-1}$	$K_{SE}/kg \cdot m^{-1}$	$K_{LT}/kg \cdot m^{-1}$	误差
5°	384.64	145.00	12.69	3.16	0.000 004
10°	344.70	120.66	12.75	3.11	0.000 015
15°	335.07	121.20	12.71	3.16	0.000 005
20°	324.25	111.17	12.81	3.12	0.000 006
25°	316.98	112.75	12.78	3.30	0.000 012
30°	313.40	110.60	12.74	3.15	0.000 014

表3 估计出的神经参数

扫视角度	F_p/g	t_1/ms	τ_{ac}/ms	τ_{dc}/ms	$F_{go}(F_{to})/g$	F_{gs}/g	F_{ls}/g	误差
5°	99.63	10.01	3.93	5.02	14.07	23.65	9.21	0.000 035
10°	99.97	20.02	4.02	4.94	14.37	32.91	4.05	0.000 036
15°	99.87	32.05	4.05	4.97	14.82	43.31	0.000 49	0.000 026
20°	99.97	50.04	4.03	4.98	14.51	57.75	0.000 075	0.000 011
25°	100.00	69.98	4.00	5.05	14.34	72.27	0.000 25	0.000 017
30°	100.00	99.78	3.95	5.06	13.99	86.68	2.84	0.000 008

将表 2、表 3 与表 1 中的相应参数值比较, 可以看出估计误差很小, 因此遗传算法可获得高精度的参数估计, 它是对扫视眼动系统进行参数估计的有效方法. 但本实验只验证了遗传算法可对各参数的生理值做精确估计, 还需要做进一步的仿真实验, 说明其是否也能对病理状况下各参数的取值做有效估计, 并用正常及异常扫视眼动角度曲线的临床数据作为 $\theta(t)$ 进行参数估计, 以检验此方法在诊断扫视系统疾病时的实用性.

参 考 文 献

- 1 马尔. 视觉计算理论. 汪永久, 姚国正译. 北京: 科学出版社, 1988
- 2 Bahil A T, Latimer J R, Rames B T. The Linear Homeomorphic Model for Human Movement. IEEE Trans Biomed Engng. 1980, 27: 631~639
- 3 罗发龙. 李衍达. 神经网络信号处理. 北京: 电子工业出版社, 1993
- 4 欧阳楷. 眼动系统研究——眼动研究的系统方法. 北京生物医学工程, 1988, (3, 4): 116~121
- 5 John H Holland. 基因算法. 科学, 1992, 171(11): 24~31
- 6 刘卫芳. 眼动扫视系统数学模型的研究及眼动跟踪系统的信号处理: [学位论文]. 北京: 首都医科大学生物医学工程系, 1989

Application of Genetic Algorithm to the Parameter Estimation of Saccade Oculomotor System

Shao Ji Liu Weifang Liu Yaqin Ouyang Kai

(Department of Biomedical Engineering, Capital University of Medical Science, Beijing, 100054)

Li Zhongcheng

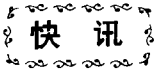
(Department of Applied Physics, Beijing Polytechnic University, Beijing, 100022)

Li zhi

(Department of Automation, Beijing Polytechnic University, Beijing, 100022)

Abstract The mathematical model of the saccade oculomotor system is introduced and the parameters of this model are estimated by genetic algorithm. The result from simulating experiment indicates that genetic algorithm precisely calculates the parameter values in normal physiological condition. It is preliminarily tested and verified thereby that genetic algorithm is an effective method for estimating the parameters of the saccade oculomotor system.

Keywords saccade system, parameter estimation, genetic algorithm



在 $\text{Ag}\{110\}$ 双轴织构基带上 高 J_C YBCO 超导薄膜的外延生长获重要进展

北京工业大学周美玲教授领导的高温超导研究组继去年成功地制备出 $\text{Ag}\{100\}\langle 100\rangle$ 织构基带之后, 经过改变轧制工艺和控制再结晶过程又制备出 $\text{Ag}\{110\}$ 双轴织构基带. 织构基带取向分布函数 $f(g)$ 高于 60. 实验表明, 在 $\text{Ag}\{110\}$ 双轴织构基带上较之 $\text{Ag}\{100\}\langle 001\rangle$ 织构基带易于实现 YBCO 超导薄膜的外延生长.

北京工业大学和中国科学院物理研究所开展协作, 用脉冲激光沉积方法在 $\text{Ag}\{110\}$ 双轴织构基带上获得了外延织构 YBCO 超导薄膜, 用标准四引线法测量超导临界电流密度为 $(2\sim 5)\times 10^5 \text{ A/cm}^2$. 目前只见到日本 TOSHIBA 公司现代研究室在 $\text{Ag}\{110\}$ 双轴织构基带上外延 YBCO 超导膜的成功报道, 他们的临界电流密度为 $1.2\times 10^5 \text{ A/cm}^2$.