

基于遗传算法的贮液缸液位PID控制参数整定

王靓, 宁奎伟, 李明辉

(陕西科技大学, 西安 710021)

摘要: **目的** 在啤酒灌装过程中, 贮液缸内液位的变化会直接影响啤酒的质量和产量, 而对液位控制的准确、稳定与否, 关键在对PID参数的选择。 **方法** 针对在贮液缸液位控制调试过程中PID参数选择的盲目性等问题, 采用遗传算法对PID参数进行整定, 并与临界比例度法整定的结果进行比较。 **结果** 经过遗传算法整定的PID参数, 其输出响应曲线上升最短时间为3.98 s, 超调量最小可达1.9%, 调整最短时间为2.23 s。经过比例度法整定的PID参数, 其输出响应曲线上升最短时间为1.92 s, 超调量最小达23.7%, 调整最短时间为11.62 s。 **结论** 采用遗传算法整定的PID控制参数总体效果较好, 其输出响应曲线上升时间为3.98 s, 超调量最小可达4.2%, 调整最短时间为2.23 s, 满足控制要求。

关键词: 贮液缸; 液位控制; PID参数整定; 仿真

中图分类号: TP273 文献标识码: A 文章编号: 1001-3563(2014)23-0089-05

Tuning of PID Control Parameter for Liquid Level of Liquid Storage Cylinder Based on Genetic Algorithm

WANG Jing, NING Kui-wei, LI Ming-hui

(Shaanxi University of Science and Technology, Xi'an 710021, China)

ABSTRACT: Objective In the beer filling process, changes of tank position will directly affect the quality and yield of beer. The key for the accuracy and stability of level control lies in the choice of PID parameters. **Methods** Targeting at the blindness problem of parameter selection for PID during the debugging process of the liquid storage tank liquid level, genetic algorithm was used for tuning the parameters of PID and the results were compared with the tuning results of the critical ratio method. **Results** The results showed that after tuning the PID parameters by the genetic algorithm, for the output response curve, the shortest rise time was 3.98 s, the minimum overshoot was 1.9%, and the shortest time of adjustment is 2.23 s. However, after tuning the PID parameters by the critical ratio method, the rise in the shortest time is 1.92 s, the minimum overshoot is 23.7%, and the shortest adjustment time was 3.98 s. **Conclusion** The overall result of the PID control parameter tuning based on genetic algorithm was better. For the output response curve, the shortest rise time was 3.98 s, the minimum overshoot was 4.2%, and the shortest adjustment time was 2.23 s, which met the control requirements.

KEY WORDS: liquid storage cylinder; liquid level control; PID parameter tuning; simulation

在工业生产过程当中, 液位控制是一类常见的控制问题, 液位控制的准确、稳定与否直接影响生产效率和产品质量, 这在啤酒灌装机贮液缸内液位控制表现的尤为突出, 在啤酒灌装过程中, 液位控制十分关

键。灌装机贮液缸内存在等压的气相区和液相区, 贮液缸内液位的浮动会直接影响生产效率, 以致影响啤酒的质量和产量^[1]。故灌装机贮液缸内液位的自动控制是灌装过程中重要的组成部分, 也是一项关键技术。

收稿日期: 2014-09-15

基金项目: 咸阳市重点项目(2013k13-02)

作者简介: 王靓(1979—), 女, 陕西勉县人, 硕士, 陕西科技大学讲师, 主要从事机械设计与制造工作。

目前,由于PID控制具有使用方便、适应性强和控制结构简单等优点,所以在大多数具有液位控制的场合普遍采用PID控制,此时,PID参数的整定尤为重要。在工业生产中,PID参数的取值直接影响控制效果的好坏,但是传统PID参数的取值全凭技术人员的经验,这种方法耗时耗力,且控制效果不理想。针对这种情况,文中采用遗传算法对啤酒灌装机贮液缸液位PID控制参数进行整定,通过对啤酒灌装机贮液缸建立数学模型和Matlab仿真获得一组最优的PID参数,省时省力。

1 系统数学模型的建立

啤酒灌装机贮液缸系统结构见图1,电动阀 V_1 控制 Q_1 的大小, V_1 开度随贮液缸液位的变化而变化,同时,液位 H 越高, Q_2 的流速越大^[2]。

根据物料动态平衡关系有:

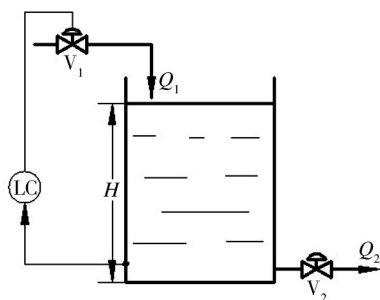


图1 啤酒灌装机贮液缸系统结构

Fig.1 Structure diagram of beer filling machine's liquid storage cylinder system

$$Q_1 - Q_2 = A \frac{dH}{dt} \quad (1)$$

表示增量形式为:

$$\Delta Q_1 - \Delta Q_2 = A \frac{d\Delta H}{dt} \quad (2)$$

式中: A 为水箱底面积。

由流体力学可知,流体在紊流情况下,液位 H 与流量之间为非线性关系。为简化起见,经线性化处理后,可近似认为 ΔQ_2 与 ΔH 成正比,而与电动阀 V_2 的阻力 R_2 成反比,即:

$$\Delta Q_2 = \frac{\Delta H}{R_2} \quad (3)$$

求式(1)~(3)得:

$$R_2 A \frac{d\Delta H}{dt} + \Delta H = R_2 \Delta Q_1 \quad (4)$$

令初始条件下对式(4)进行拉氏变换,得:

$$G(S) = \frac{H(S)}{Q_1(S)} = \frac{R_2}{R_2 AS + 1} = \frac{K}{TS + 1} \quad (5)$$

式中: T 为贮液缸时间常数, $T=R_2 A$; K 为过程的放大倍数,也是阀 V_2 的液阻, $K=R_2$; A 为水箱的底面积; S 为复变量。从式(5)可以看出,液阻 R_2 不但影响过程的时间常数 T ,而且还影响过程的放大系数 K ^[3]。令输入流量 $Q_1(S)=R_0/S$, R_0 为常量,则:

$$H(S) = Q_1(S)G(S) = \frac{R_0 K}{S(TS + 1)} = \frac{R_0 K}{S} - \frac{R_0 K}{S + 1/T} \quad (6)$$

对式(6)取拉氏反变换有:

$$H(t) = R_0 K (1 - e^{-t/T}) \quad (7)$$

当 $t \rightarrow \infty$ 时, $H(\infty) = KR_0$,故有:

$$G(S) = \frac{H(\infty)}{R_0} \quad (8)$$

当 $t=T$ 时,则有:

$$H(T) = R_0 K (1 - e^{-1}) = 0.632 R_0 K = 0.632 H(\infty) \quad (9)$$

式(7)表示一阶惯性环节的输出响应曲线是一单调上升的指数函数,见图2。由式(9)可知,贮液缸的时间常数 T 是稳态值的63.2%,同时,通过坐标原点作此曲线的切线,交稳态值于一点,此点对应的的时间就是贮液缸的时间常数 T ,求得 K 和 T 后,就能求得啤酒灌装机的传递函数^[3]。

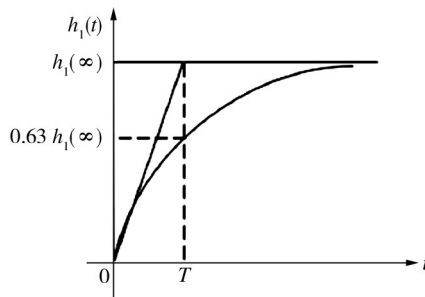


图2 单位阶跃响应曲线

Fig.2 The unit step response curve

用此方法求得啤酒灌装机贮液缸传递函数为:

$$G(S) = \frac{4.756}{160.436S + 1} \quad (10)$$

2 遗传算法在PID参数整定中的应用

2.1 PID控制算法

PID控制是工业中技术最成熟、应用最广泛的一

种控制方法,由比例作用、积分作用、微分作用等叠加而成。啤酒灌装机贮液缸PID控制系统结构见图3^[4]。

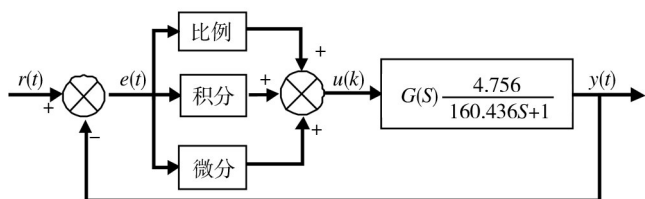


图3 啤酒灌装机贮液缸PID控制系统结构

Fig.3 Structure diagram of PID control system for beer filling machine's liquid storage cylinder

在控制系统中,常用的离散PID表达式为^[5]:

$$u(k) = K_p [e_k + \frac{T}{T_i} \sum_{k=0}^{\infty} e_k + T_d \frac{e_k - e_{k-1}}{T}] \quad (11)$$

或

$$u(k) = K_p e_k + K_i \sum_{k=0}^{\infty} e_k + K_d (e_k - e_{k-1}) \quad (12)$$

式中: k 为采样序号, $k=0,1,2,\dots$; u_k 为第 k 次采样时刻计算机的输出值; e_k 为第 k 次采样时刻输入的偏差值; e_{k-1} 为第 $k-1$ 次采样时刻输入的偏差值; K_i 为积分系数, $K_i=K_p T/T_i$; K_d 微分系数, $K_d=K_p T_d/T$ 。

由式(11)可知,输出 $u(k)$ 是通过调节 K_p, T_i, T_d 大小控制的,最终使输出 $y(t)$ 随输入满足系统要求。故系统能否满足要求,关键在 K_p, T_i, T_d 参数的选择。

2.2 基于遗传算法的PID参数整定

1) 确定参数及约束条件。由式(12)可知,PID控制有 K_p, T_i, T_d 等3个参数,其中 $K_i=K_p T/T_i, K_d=K_p T_d/T$,即寻优参数。根据工程经验, $K_p \in [0, 20], K_i \in [0, 1], K_d \in [0, 1]$ 。

2) 确定编码方式。若采用二进制编码,个体编码串的长度较短时,可能达不到精度要求。个体编码串的长度较长时,虽然能提高编码精度,但会使遗传算法的搜索空间急剧扩大。相反,实数编码精度高、搜索空间大,适合处理复杂的决策变量约束条件^[6-7],所以,最终选取实数编码。

3) 确定目标函数。为获取满意的过渡过程动态特性,采用误差绝对值时间积分性能指标作为参数选择最小目标函数,为防止控制能量过大,在目标函数中加入控制输入的平方项^[8]。参数的最优指标见式(13):

$$J = \sum_{k=0}^{\infty} [e^2(k) - \rho u^2(k)] \quad (13)$$

式中: ρ 为常数, $\rho \in [0, 1]$,取 $\rho=0.5$ 。

4) 确定适应度函数。适应度函数直接影响遗传函数的一些性能,如收敛速度。一般而言,适应度函数和目标函数存在一定的转换关系,且适应度值是非负的^[8-9],故适应度函数为:

$$G(S) = \frac{1}{J} \quad (14)$$

5) 确定遗传算法的运行参数。根据实际情况确定群体大小 M 、遗传代数 G 、交叉概率 P_c 、变异概率 P_m 。在此取 $M=30, G=100, P_c=0.90, P_m$ 为变量, $P_m \in [0.0001, 0.1]$ 。

2.3 临界比例度法介绍

临界比例度法是只在比例作用下,即积分时间为无穷大,微分时间为0,在系统中,有次序地改变PID控制器的比例度,直至出现一个临界振荡。此时的比例度叫临界比例度 δ_k ,振荡周期为临界振荡周期 T_k ^[10-11]。然后按表1的经验公式就可求得PID控制器的各参数。

表1 临界比例度法经验公式

Tab.1 The empirical formula of the critical ratio method

调节作用	比例度 δ_k	积分时间 T/min	微分时间 T_d/min
比例	2		
比例积分	2.2	$0.85T_k$	
比例微分	1.8		$0.1T_k$
比例积分微分	1.7	$0.5T_k$	$0.125T_k$

3 遗传算法参数整定的仿真

文中采用Matlab进行仿真,啤酒灌装机贮液缸的数学模型为:

$$G(S) = \frac{4.756}{160.436S + 1} \quad (15)$$

为了更好地说明遗传算法的优点,文中将遗传算法对PID参数整定的效果和临界比例法对PID参数整定的效果进行比较,此系统的输出为单位阶跃响应,具体如下所述。

由临界比例法获得的临界振荡曲线见图4^[12],在此过程中,可获得 $\delta_k=0.0118, T_k=3.8\text{ s}$ 。

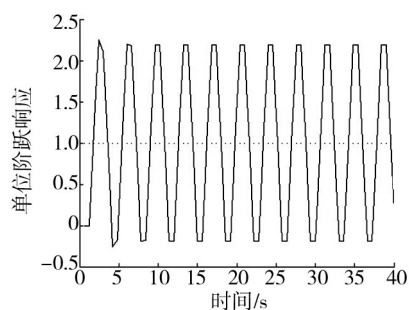


图4 临界振荡曲线

Fig.4 Critical oscillation curve

1) 比例 P 调节。对于临界比例度法,由表1可知,在只进行比例调节时, $K_p=1/(2\delta_k)=42.37$,遗传算法进行的PID参数整定,得到的 $K_p=19.52$,进行仿真,获得两者的输出曲线见图5—6^[13]。

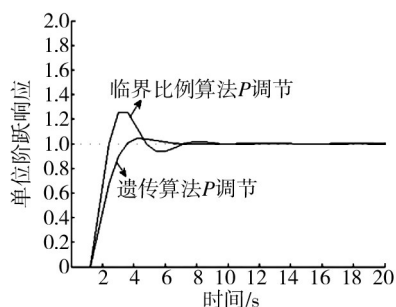
图5 比例 P 调节对比

Fig.5 The comparison chart of the proportional adjustment

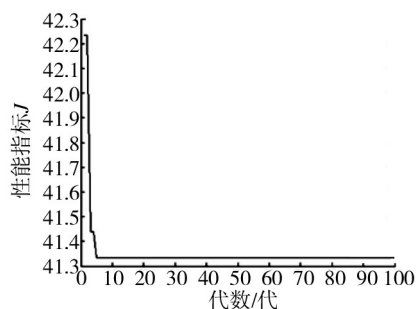


图6 遗传算法比例调节目标函数优化曲线

Fig.6 The optimization goal function curve of proportional adjustment based on the genetic algorithm

2) 比例、积分调节。对于临界比例度法,由表1可知,在只进行比例调节时, $K_p=1/(2.2\delta_k)=38.61$, $T_i=0.85T_k=3.23$ s。遗传算法进行的PID参数整定,得到的 $K_p=17.62$, $T_i=11.86$ s进行仿真,获得两者的输出曲线见图7—8。

3) 比例、积分、微分调节。对于临界比例度法,由

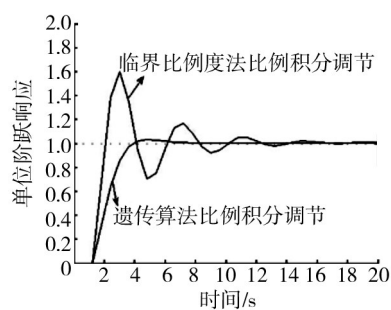


图7 比例、积分调节对比

Fig.7 The comparison chart of the proportional and integral adjustment

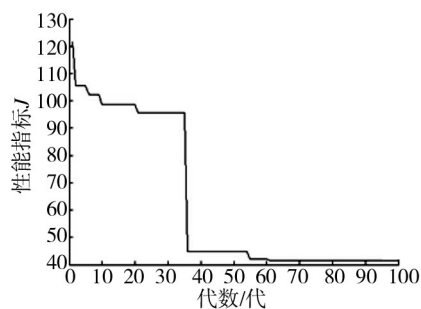


图8 遗传算法比例、积分调节目标函数优化曲线

Fig.8 The optimization goal function curve of proportional and integral adjustment based on the genetic algorithm

表1可知,在只进行比例调节时, $K_p=1/(1.7\delta_k)=49.85$, $T_i=0.5T_k=1.90$ s, $T_d=0.125T_k=0.475$ s。遗传算法进行的PID参数整定,得到的 $K_p=14.62$, $T_i=13.52$ s。 $T_d=2.46$ 进行仿真,获得两者的输出曲线见图9—10。

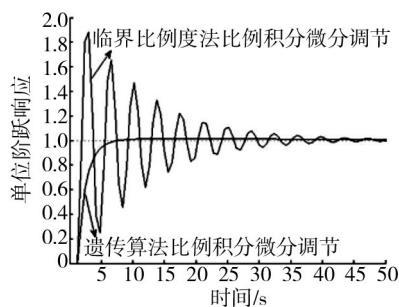


图9 比例、积分、微分调节对比

Fig.9 The comparison chart of the proportional, integral and differential adjustment

4) 单位阶跃响应性能指标比较。由仿真曲线可以获得单位阶跃响应输出曲线的性能指标:上升时间 t_r 、超调量 M_p 、调整时间 t_s ^[14]。具体数据见表2。由表2可以看出,由遗传算法进行的PID参数整定总体效果

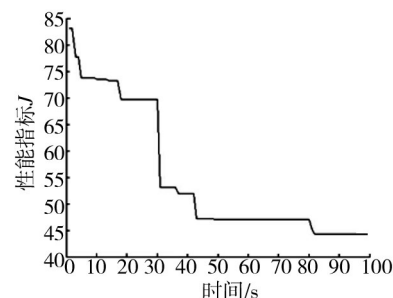


图10 遗传算法比例、积分调节目标函数优化曲线
Fig.10 The comparison chart of the proportional, integral and differential adjustment based on the genetic algorithm

表2 单位阶跃响应输出曲线性能指标
Tab.2 The performance index of the unit step response curve

名称	遗传算法PID 参数整定			临界比例度法PID 参数整定		
	P	P, T_i	P, T_i, T_d	P	P, T_i	P, T_i, T_d
上升时间 t_r/s	3.38	3.98	7.22	2.08	1.98	1.92
超调量 $M_p/\%$	6.8	4.2	1.9	23.7	60.1	87.6
调整时间 t_s/s	6.01	2.23	7.08	11.62	13.96	46.3

好,超调量较小,调整时间较短,输出曲线快速到达稳态,然而,由临界比例法进行PID参数整定的效果相反。对遗传算法进行PID参数整定输出曲线性能指标进行分析,最后得出啤酒灌装机贮液缸的液位控制采用比例积分进行控制。

4 结语

文中对啤酒灌装机贮液缸液位进行了数学模型的建立,采用遗传算法对其进行液位控制的PID参数进行整定,并与临界比例度法整定的结果进行了比较,结果表明遗传算法在PID参数整定方面效率高和实用价值好,避免了PID参数选择的盲目性,对工程人员现场调试帮助巨大,节省调试时间。

参考文献:

[1] 韩冬梅,李玉成. 啤酒灌装机贮液缸内液位控制[J]. 包装与食品机械,2000,18(4):12—14.
HAN Dong-mei, LI Yu-cheng. The Existing Question in Liquid Control of Storing Tank of Beer Filling Machine[J]. Packaging and Food Machinery, 2000, 18(4): 12—14.
[2] 卢勉军. 液位控制器和PLC在工艺流程中的应用[J]. 包装

工程,2000,21(1):21—23.
LU Mian-jun. The Application of Level Controller and PLC to Technological Process[J]. Packaging Engineering, 2000, 21(1):21—23.
[3] 胡晓玮. 水箱液位控制系统PID研究[J]. 制造业自动化, 2012,34(9):91—93.
HU Xiao-wei. The PID Control System of Water Level[J]. Manufacturing Automation, 2012, 34(9): 91—93.
[4] 杜汉强,张广文. 基于模糊自适应PID控制器的张力控制系统[J]. 包装工程,2008,29(1):90—91.
DU Han-qiang, ZHANG Guang-wen. Tension Control System Based on Fuzzy Self-adaptive PID[J]. Packaging Engineering, 2008, 29(1): 90—91.
[5] 汤中科,景群,张林海. 基于遗传算法的PID整定在液位控制中的应用[J]. 包装工程,2009,30(9):126—128.
TANG Zhong-ke, JING Qun, ZHANG Lin-hai. Application of PID Tuning in Liquid Level Control Based on Genetic Algorithm[J]. Packaging Engineering, 2009, 30(9): 126—128.
[6] 韩瑞峰,张永奎. 一种改进的实数编码遗传算法[J]. 计算机工程与应用,2002,13(9):78—80.
HAN Rui-feng, ZHANG Yong-kui. An Improved Genetic Algorithm Coded with Real Number[J]. Computer Engineering and Application, 2002, 13(9): 78—80.
[7] 李文钊,高敏,刘俊涛. 基于自适应遗传算法的弹药单元包装的优化设计[J]. 包装工程,2008,29(2):67—69.
LI Wen-zhao, GAO Min, LIU Jun-tao. Optimized Design of Ammunition Unit Packaging Based on Self-adaptive Genetic Algorithm[J]. Packaging Engineering, 2008, 29(2): 67—69.
[8] 陈敏,谭思云,黄玉清. 遗传算法在PID参数整定中的应用[J]. 仪表技术,2010(5):49—50.
CHEN Min, TAN Si-yun, HUANG Yu-qing. Application of Genetic Algorithm in the PID Parameter Optimization[J]. Instrument Technology, 2010(5): 49—50.
[9] 黄颖为,李燕培,孙德强. 改进遗传算法在包装件物流调度中应用的研究[J]. 包装工程,2008,29(1):105—107.
HUANG Ying-wei, LI Yan-pei, SUN De-qiang. Study of Improved Genetic Algorithms for Packages Vehicle Routing Problem[J]. Packaging Engineering, 2008, 29(1): 105—107.
[10] 孙跃光,林怀蔚,周华茂,等. 基于临界比例度法整定PID控制器参数的仿真研究[J]. 现代电子技术,2012,35(8):192—194.
SUN Yue-guang, LIN Huai-wei, ZHOU Hua-mao, et al. Simulation Study on Setting of PID Controller Parameters According to Critical Proportioning Method[J]. Modern
(下转第114页)

- Lett A, 2010, 374(8):1005—1008.
- [9] CAND S E, ROMBERG J, TAO T. Robust Uncertainty Principles: Exact Signal Reconstruction From Highly Incomplete Frequency Information[J]. IEEE Trans Information Theory, 2006, 52(2):489—509.
- [10] HAUPT J, NOWAK R. Signal Reconstruction from Noisy Random Projections[J]. IEEE Trans Information Theory, 2006, 52(9):4036—4048.
- [11] KATKOVNIK V, ASTOLA J. Computational Ghost Imaging: Advanced Compressive Sensing (CS) Technique[J]. SPIE, 2012, 8413:84130N.
- [12] WELSH S S, EDGAR M P, JONATHAN P, et al. Multi-wave-length Compressive Computational Ghost Imaging[J]. SPIE, 2013, 8618:86180I.
- [13] CHEN Jie, GONG Wen-lin, HAN Shen-sheng. Sub-rayleigh Ghost Imaging via Sparsity Constraints Based on a Digital Micro-mirror Device[J]. Phys Lett A, 2013, 377(31):1844—1847.
- [14] KATKOVNIK V, ASTOLA J. Compressive Sensing Computational Ghost Imaging[J]. J Opt Soc Am A, 2012, 29(8):1556—1567.
- [15] WANG Hui, HAN Shen-sheng, KOLOBOV M I. Quantum Limits of Super-resolution of Optical Sparse Objects via Sparsity Constraint[J]. Opt Express, 2012, 20(21):23235—23252.

(上接第93页)

- Electronic Technology, 2012, 35(8):192—194.
- [11] 王素青, 姜维福. 基于 Matlab/Simulink 的 PID 参数整定[J]. 工业控制与应用, 2009, 28(3):24—26.
- WANG Su-qing, JIANG Wei-fu. PID Tuning Based on Matlab/Simulink[J]. Industry Control and Application, 2009, 28(3):24—26.
- [12] 杨梅, 续明进. 基于 MATLAB 的卷筒纸印刷机张力控制系统的建模与仿真[J]. 包装工程, 2011, 32(7):22—25.
- YANG Mei, XU Ming-jin. Modeling and Simulation of Tension Roll Paper Printing Machine Control System Based on MATLAB[J]. Packaging Engineering, 2011, 32(7):22—25.
- [13] 薛定宇. 控制系统计算机辅助设计—MATLAB 语言及应用[M]. 北京:清华大学出版社, 2012.
- XUE Ding-yu. Control System Computer Aided Design—MATLAB Language and Application[M]. Beijing: Tsinghua University Press, 2012.
- [14] 董霞, 陈康宁, 李天石. 机械控制理论基础[M]. 西安:西安交通大学出版社, 2005.
- DONG Xia, CHEN Kang-ning, LI Tian-shi. Mechanical Control Theory[M]. Xi'an: Xi'an Jiaotong University Press, 2005.

(上接第103页)

- [12] 黄剑华, 唐降龙, 刘家锋, 等. 一种基于 Homogeneity 的文本检测新方法[J]. 智能系统学报, 2007, 2(1):69—73.
- HUANG Jian-hua, TANG Xiao-long, LIU Jia-feng, et al. A New Method for Text Detection Based on Homogeneity[J]. CAAI Transactions on Intelligent Systems, 2007, 2(1):69—73.
- [13] CHEN Wen-yen, SONG Yang-qiu, BAI Hong-jie. Parallen Spectral Clustering in Distributed Systems[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2010, 33(3):568—586.
- [14] GRIGORESCU S E, PETKOV N, KRUIZINGA P. Comparison of Texture Features Based on Gabor Filters[J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2002, 11(10):1160—1167.
- [15] WANG Lei, JI Hong-bing, SHI Ya. Face Recognition Using Maximum Local Fisher Discriminant Analysis[C]// IEEE International Conference on Image Processing, 2011:1737—1740.
- [16] ANTONACPOULO S, BRIDSON D, PAPADOPOULOS C, et al. A Realistic Dataset for Performance Evaluation of Document Layout Analysis[C]// IEEE Computer Society, 2009:296—300.