

模拟追逐算法

刘伟, 谢月珊

(广东工业大学 应用数学学院, 广东 广州 510006)

摘要: 提出了一种群体智能算法——模拟追逐算法。该算法模拟长跑比赛运动员追逐竞争过程, 设计了追逐算子与探测算子。领先个体执行探测算子操作以便获得更优位置, 落后个体为取得竞争优势, 设定追赶目标, 执行追逐算子操作, 完成跟随超越, 从而实现群体进化寻优。仿真实验表明, 模拟追逐算法有较快的收敛速度和较高的求解精度, 是一种稳定的优化算法。

关键词: 模拟追逐; 智能算法; 探测算子; 追逐算子

中图分类号: TP301.6

文献标志码: A

文章编号: 1007-7162(2016)02-0031-06

A Simulated Pursuit Algorithm

Liu Wei, Xie Yue-shan

(School of Applied Mathematics, Guangdong University of Technology, Guangzhou 510520, China)

Abstract: A new simulated pursuit intelligent swarm algorithm is proposed. In the process of pursuit for athletes simulated in Long-distance Race, a pursuit operator and an exploring operator are presented. In the algorithm, the leader uses an exploring operator to obtain the better position, and the rest of individuals often use a pursuit operator to follow or surpass competitors and the population evolution is realized. The simulation results show that simulated pursuit algorithm is an effective and robust method with better solution accuracy and higher convergence speed.

Key words: simulated pursuit; intelligent algorithm; exploring operator; pursuit operator

受生物的智能行为启发, 一些学者建立数学模型, 模拟其寻优能力提出了多种智能优化算法。遗传算法^[1-4]是模拟自然界的生物选择、杂交、变异的进化过程的全局优化算法; 粒子群算法^[5-7]是模拟鸟群觅食过程的一种有效的全局寻优算法。这类仿生算法不依赖于问题的具体领域, 对问题的种类有很强的鲁棒性, 为复杂系统优化提供了一种通用的求解框架, 被广泛应用到函数优化^[8]、组合优化^[9]、自动控制^[10-11]、生产调度^[12]、图像处理^[13-15]等领域。

在长跑比赛中, 运动员为了获得好的成绩, 需要采用正确的战术策略。如何调整自己的步伐, 是跟跑还是领跑, 冲刺时机选择等等都是比赛获胜的重要因素。长跑比赛实质就是追逐竞赛的过程。领先的运动员按自己的节奏, 不断调整步伐奔向终点; 落后的运动员结合自己的实力, 设定视野范围, 确定追逐目标, 从而调整自己步伐, 跟跑并超越对手。

借鉴追逐竞赛的过程, 本文建立了数学模型并运用于优化问题的求解, 提出了一种新的智能算法——模拟追逐算法。该算法通过追逐算子和探测算子作用, 使个体不断调整步长, 搜索到更优的位置, 从而引导解不断地进化, 最终实现全局寻优。数值实验验证了模拟追逐算法是一种有效的群体优化算法。

1 模拟追逐算法

1.1 基本原理

模拟追逐算法 (Simulated Pursuit Algorithm, SPA) 是模拟运动员长跑比赛的追逐过程行为所具有的智能性, 为优化问题的解决提供了一种全局寻优算法。算法中运动员被称为“个体”或“解”, 问题优化过程就是个体追逐过程。跑在比赛最前列的“个体”(最优个体), 为保持领先的位置, 执行探测

算子,尝试多次调整自己的步伐,计算出相应的新位置,若新位置优于原先位置,则选择较优的新位置替换最优个体位置,否则,最优个体位置保持不变.其他个体(非最优个体)执行追逐算子,首先个体根据战术需要,设定视野范围,确定追逐目标(个体),若追逐目标数 $k > 0$,则根据追逐目标,计算出需要调整的步长,确定新位置,若 $k = 0$,即视野范围内没有追逐目标,则参照最优个体的位置调整步长,计算新位置,直至群体完成设定的进化迭代次数,算法终止.

1.2 控制参数

在模拟追逐算法中,关键参数是预先设定好的,参数设置对算法运行效率有很大的影响,具体包括种群大小 N 、当前迭代次数 T_{Cur} 、最大迭代次数 T_{Max} 、尝试次数 m 、视野范围 r .

1.3 追逐算子

第 i 个个体位置为 X_i ,其适用度值为 $Y_i > 0$ (如最小化问题,本文设定适用度函数为: $Y_i = \text{fitness}(X_i) = M_{\max} - f(X_i)$,其中 $M_{\max}$ 取一个适当相对大的数, $f(X_i)$ 是目标函数值),在视野范围为 r 内,确定 k 个追逐目标,即 $S = \{X_j | \|X_j - X_i\| \leq r, \text{ 且 } Y_j \geq Y_i\}$,其中 X_j 为追逐目标,集合 S 中 X_j 的个体数为追逐目标数 k .

步长 Step 为

$$\text{Step} = G \cdot \sum_{j=1}^k \text{Factor}_j \cdot (X_j - X_i). \tag{1}$$

其中 Factor_j 为追逐因子, $G = G_0 \cdot e^{(-\alpha) \cdot (\frac{T_{Cur}}{T_{Max}})}$ 为追逐系数,其中 G_0, α 为追逐系数的参数.

$$\text{Total}F = \sum_{j=1}^k Y_j. \tag{2}$$

$$\text{Factor}_j = \frac{Y_j}{\text{Total}F}. \tag{3}$$

由式(2)和(3)知,被追逐个体 X_j 的适应度越大, Factor_j 越大,对个体 X_i 位置更新所需的步长贡献率越大. 所以

当 $k > 0$ 时,个体 i 的新位置为

$$X_i^* = X_i + \text{rand}() \cdot \text{Step}. \tag{4}$$

否则 $k = 0$,个体 i 的新位置为

$$X_i^* = X_i + \text{rand}() \cdot \text{Step1}. \tag{5}$$

其中 $\text{step1} = X_b - X_i$,其中 X_b 为最优个体.

1.4 探测算子

探测算子是通过一个随机扰动步长探测出最优个体可能的新位置.尝试次数为 m ,步长生成源 $P > 0$,向量维数为 W . 扰动步长 Step 2 随机生成,其生成的代码(Matlab)为

```
Step2 = 0 * ones(1, W);
q = 1 + fix( rand() * (W) );
for j = 1 : q
    a(j) = fix( 1 + rand() * W );
end
for j = 1 : q
    k = a(j);
    if ( rand(1) < 0.5 )
        Step2(k) = Step2(k) - rand() * P;
    else
        Step2(k) = Step2(k) + rand() * P;
    end
end
```

最优个体的新位置 $X_b^* = X_b + \text{step2}$,尝试重复执行 m 次,得到 m 个新位置,然后选最好的新位置代替原来位置. 注意:步长生成源 P 是一个动态的正数,搜索早期,期望扰动步长较大,有利于开拓进行全局搜索;搜索后期,期望扰动步长较小,有利于精细局部搜索. 本文取 $P = P(1.01 - T_{Cur}/T_{Max})$.

1.5 算法流程

模拟追逐算法步骤:

- (1) 种群初始化与参数设置.
- (2) 适应度计算,最优个体确定.
- (3) 种群个体更新:若个体为最优个体,则执行探测算子;否则执行追逐算子.
- (4) 算法终止条件是否满足,若满足,则算法结束;否则转步骤(2).

算法流程图如图 1 所示

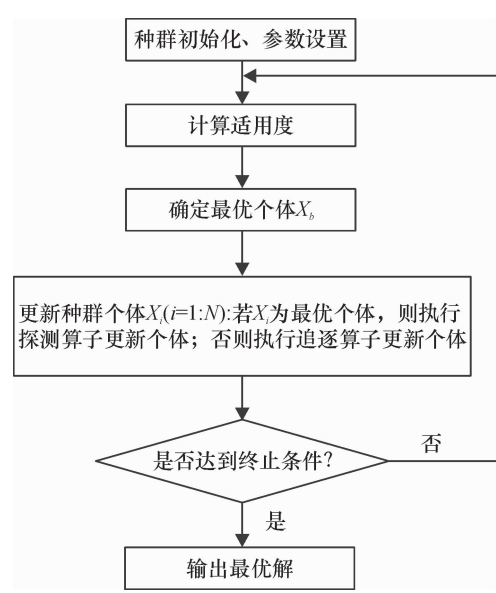


图1 模拟追逐算法流程图
Fig.1 Flow chart of SPA

2 仿真实验及结果分析

2.1 追逐算子性能分析

为分析追逐算子的功能,对个体为 100,向量维数为 5 的种群,视野范围取不同值,执行追逐算子测试.图 2 为随机选择编号为 10,40,90 的个体的 50 次迭代的进化曲线,图 3 为视野范围 r 分别为 0.000 1、0.01、0.1、1 时,种群最优个体的进化曲线.结果表明:种群中的个体在迭代过程中不断进化,并具有跳出局部最优解的能力;同时追逐算子对解的搜索精度与收敛速度的影响与视野范围大小有关,视野

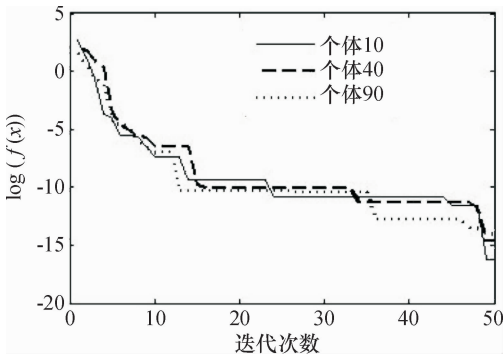


图 2 不同个体的进化曲线

Fig.2 Convergence curve of three individuals

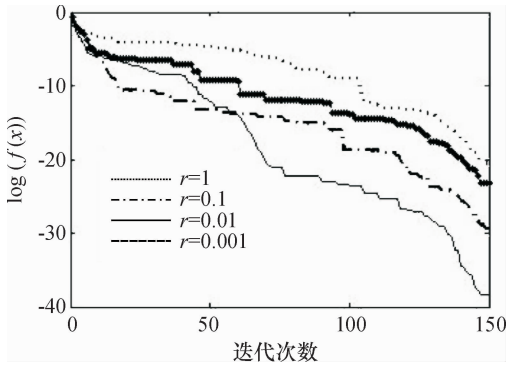


图 3 不同视野范围最优个体的进化曲线

Fig.3 Convergence curve of best individual

范围为 0.01 时算子搜索效果最佳;视野范围的设置与优化问题有关.

2.2 实验结果与算法分析

为了检验模拟追逐算法的优化性能,本文选择文献[4]的自适应遗传算法(记为 GA),文献[7]中的带粒子释放和速度限制的粒子群算法(记为 PSO)与模拟追逐算法比较,通过 6 个标准的测试函数(如表 1 所示)测试 3 种算法的性能,数值实验在 Matlab 中完成.每个测试函数在相同条件下独立运行 20 次,记录最好结果、平均结果,算法成功率.

表 1 测试函数
Tab.1 Test function

函数	表达式	区间	最优值	目标精度
f_1	$f(x) = \sum_{j=1}^5 x_j^2$	$[-1.5, 1.5]$	0	10^{-29}
f_2	$f(x) = \sum_{j=1}^4 [100(x_{j+1} - x_j^2)^2 + (x_j - 1)^2]$	$[-2, 2]$	0	10^{-1}
f_3	$f(x) = \sum_{i=1}^5 [x_i^2 - 10\cos(2\pi x_i) + 10]$	$[-15, 15]$	0	$10^{-\infty}$
f_4	$f(x) = \sum_{i=1}^4 (x_i^2 + x_{i+1}^2)^{0.25} [\sin^2(50(x_i^2 + x_{i+1}^2)^{0.1}) + 1]$	$[-4, 4]$	0	10^{-27}
f_5	$f(x) = \frac{1}{4\,000} \sum_{i=1}^5 x_i^2 - \prod_{i=1}^5 \cos(\frac{x_i}{\sqrt{i}}) + 1$	$[-4, 4]$	0	$10^{-\infty}$
f_6	$f(x) = -20\exp[-0.2\sqrt{\frac{1}{5}\sum_{i=1}^5 x_i^2}] - \exp[\frac{1}{5}\sum_{i=1}^5 \cos(2\pi x_i)] + 20 + e$	$[-4, 4]$	0	10^{-14}

从表 2 可知,为了获得更好的优化效果,视野范围 r 取值与优化问题相关;对于 6 个测试函数,无论是单峰函数还是多峰函数,SPA 测试的最优值、平均最优值均优于 GA 与 PSO,说明新算法有很好的求解精度,特别是对于函数 f_3 与 f_5 ,SPA 均求解出理论最优值;对于 6 个测试函数分别设置其目标精度,除 f_2 外,其余 5 个优化问题求解成功率均为 100%,说

明 SPA 优化求解有很好的稳定性.

从图 4 ~ 图 9 可知,SPA 比 GA,PSO 有更快的收敛速度,并且有跳出陷入局部最优解的能力;在相同精度下,算法 SPA 比算法 GA,PSO 需要的迭代次数更少;图 8 中,对于 f_5 ,虽然 PSO 与 SPA 算法均收敛于最优值,但算法 SPA 只需要 62 次迭代,而 PSO 需要 128 次迭代.

表 2 计算结果
Tab.2 Computational results

函数	算法	参数取值				平均最优值	最好值	成功率/%
		G_0	α	r	m			
f_1	GA					$7.459\ 5\times10^{-5}$	$4.021\ 5\times10^{-6}$	0
	PSO	100	10	0.05	5	$5.170\ 6\times10^{-22}$	$6.329\ 2\times10^{-26}$	0
	SPA					$1.242\ 2\times10^{-29}$	$8.473\ 0\times10^{-31}$	100
f_2	GA					3.934 0	3.714 3	0
	PSO	120	20	0.005	16	2.789 1	2.645 7	0
	SPA					0.972 1	0.895 1	62.5
f_3	GA					0.406 0	0.344 3	0
	PSO	50	20	0.25	16	0.165 8	$8.880\ 0\times10^{-15}$	50
	SPA					0	0	100
f_4	GA					1.193 0	0.515 1	0
	PSO	50	10	0.25	5	0.080 9	$3.950\ 9\times10^{-6}$	0
	SPA					$1.309\ 3\times10^{-28}$	$2.710\ 6\times10^{-31}$	100
f_5	GA					0.001 2	$0.394\ 0\times10^{-4}$	0
	PSO	50	20	0.25	20	0	0	100
	SPA					0	0	100
f_6	GA					0.436 8	0.100 3	0
	PSO	50	80	0.5	20	$9.107\ 3\times10^{-11}$	$7.611\ 7\times10^{-13}$	0
	SPA					$8.501\ 1\times10^{-15}$	$4.440\ 0\times10^{-15}$	100

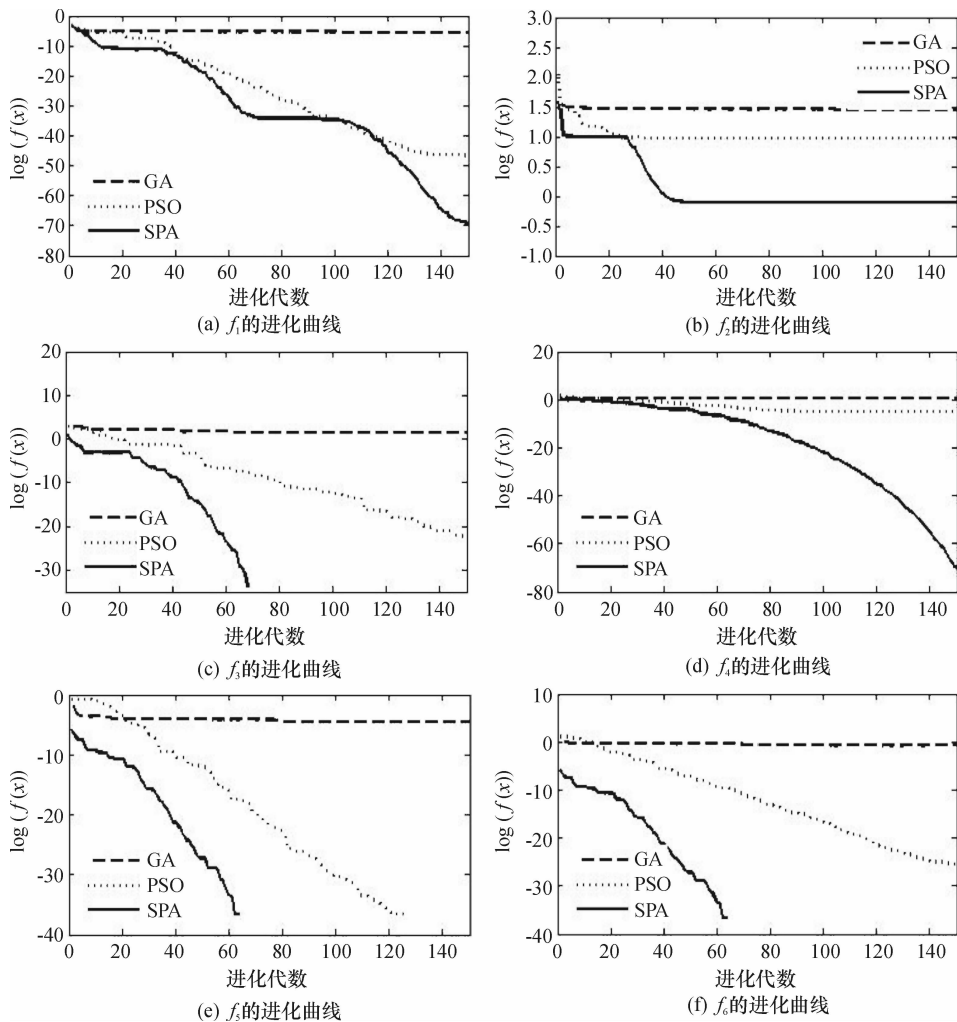


图 4 各函数进化曲线
Fig.4 Convergence curves of all functions

从上实验分析可以看出,与 GA,PSO 比较,SPA 在收敛速度、求解精度、稳定性等方面均显示出其优越性,说明模拟追逐算法是一种有较强寻优能力的群体智能算法。

3 实际应用

案例 (选址问题) 假设要选定一个供应中心的位置,为城市中固定的 m 个用户服务,供应的商品可以是水、电、牛奶或其他货物. 求供应中心的位置,使其到各个用户的距离(之和)最小. 假设现有 10 个用户,位置为 $\{(x_i, y_i) |$

$(2.517\ 8, 3.246\ 3), (-2.984\ 1, 3.307\ 0),$
 $(1.058\ 9, -3.219\ 7), (-1.772\ 0, 0.375\ 1),$
 $(3.660\ 1, 3.719\ 1), (-2.739\ 1, 3.764\ 7),$
 $(3.657\ 3, -0.117\ 0), (2.402\ 2, -2.864\ 9),$
 $(-0.625\ 9, 3.325\ 9), (2.337\ 7, 3.675\ 9)\}.$

解 假设供应中心的位置 $C = (x, y)$, 建立优化问题模型.

$$\min f(x, y) = \sum_{i=1}^{10} \sqrt{(x - x_i)^2 + (y - y_i)^2}.$$

采用 Matlab 给出选址问题的精确最优解为 $(0.877\ 1, 2.117\ 1)$, 最优值为 34.569 3. 为使用模拟追逐算法求解, 设置控制参数: $T_{\max} = 10, N = 10, r = 0.5, m = 5, G_0 = 50, \alpha = 80$. 算法 SPA 计算出最优解与精确解一致, $C^* = (0.877\ 111\ 032\ 786\ 5, 2.117\ 105\ 766\ 708\ 5), f^* = 34.569\ 318\ 766\ 834\ 06$. 算法进化曲线如图 5 所示, 算法所求供应中心位置如图 6 所示.

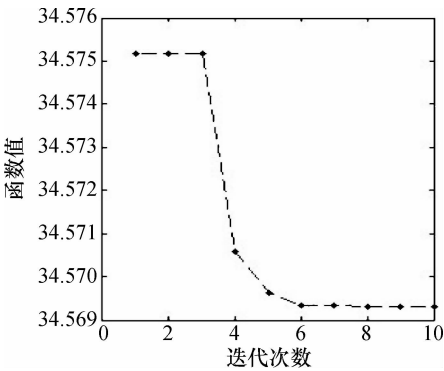


图 5 算法进化曲线
Fig. 5 Convergence curve of SPA

4 结束语

SPA 是一种对人类行为进行智能仿生的优化算法. 融合了试探性开拓与有目的性的追逐相结合的优点, 具有模型简单, 优化性能高的优点. 实验仿真

结果证实了模拟追逐算法的优越性.

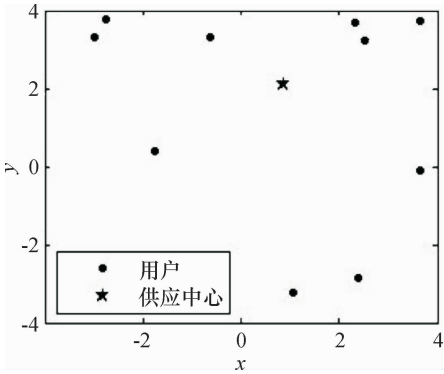


图 6 供应中心位置
Fig. 6 Address of provision center

参考文献:

[1] RUNARSSON T P, YAO X. Stochastic ranking for constrained evolutionary optimization [J]. IEEE Transactions on Evolutionary Computation, 2000, 4(3): 284-294.

[2] DEEP K, THAKUR M. A new mutation operator for real coded genetic algorithms [J]. Applied Mathematics and Computation, 2007, 193: 211-230.

[3] 刘伟, 刘海林. 基于外点法的混合遗传算法求解约束优化问题 [J]. 计算机应用, 2007, 27(1): 238-240

LIU W, LIU H L. A hybrid genetic algorithm based on external point method for constrained optimization [J]. Journal of Computer Applications, 2007, 27(1): 238-240.

[4] 梁旭, 黄明. 现代智能优化混合算法及其应用 [M]. 北京: 电子工业出版社, 2012.

[5] RATNAWEERA A, HALGAMUGE S. Nonlinear inertia variation for dynamic adaption in particle swarm optimization [J]. Computers & Operation Research, 2006, 33(3): 859-971.

[6] 刘伟, 蔡前凤, 刘海林. 基于参数方程处理等式约束优化的粒子群算法 [J]. 计算机工程与设计, 2008, 29(3): 697-699.

LIU W, CAI Q F, LIU H L. A particle swarm optimization algorithm based on parametric equation method to handle equality constraints [J]. Journal of Computer Engineering and Design, 2008, 29(3): 697-699.

[7] 吴正科, 杨青真. 带粒子释放和速度限制的粒子群算法 [J]. 计算机应用研究, 2013, 30(3): 682-684.

WU Z K, YANG Q Z. Particle swarm optimization with particle release and speed limit [J]. Journal of Application Research of Computers, 2013, 30(3): 682-684.

[8] 倪全贵. 粒子群遗传混合算法及其在函数优化上的应用 [D]. 广州: 华南理工大学数学科学学院, 2014.

[9] 马立肖, 王江晴. 遗传算法在组合优化问题中的应用 [J]. 计算机工程与科学, 2005, 27(7): 72-74.

- MA L X, WANG J Q. Application of genetic algorithms in solving the optimal combination problem[J]. Computer Engineering and Science, 2005, 27(7):72-74.
- [10] 杨智民,王旭,庄显义. 遗传算法在自动控制领域中的应用综述[J]. 信息与控制, 2000,29(4):329-339.
- YANG Z M, WANG X, ZHUANG X Y. Survey of genetic algorithm's application in field of automatic control[J]. Information and Control, 2000,29(4):329-339.
- [11] 张雅妮. 基于粒子群算法模糊控制自动舵的研究与仿真[D]. 哈尔滨:哈尔滨工程大学自动化学院,2010.
- [12] 黄胜忠. 遗传算法在企业车间调度中的应用[J]. 微计算机信息, 2008, 7(3):266-267.
- HUANG S Z. Application of genetic algorithm in the enterprise shop scheduling [J]. Microcomputer Information, 2008, 7(3):266-267.
- [13] 朱峰,宋余庆,金华,等. 改良遗传算法在图像多阈值分割中的应用[J]. 江苏大学学报(自然科学版),2003,24(6):66-69.
- ZHU F, SONG Y Q, JIN H, et al. Improved genetic algorithm for multi-level threshold image segmentation [J]. Journal of Jiangsu University (Natural Science Edition), 2003, 24(6):66-69.
- [14] 乔军. 遗传算法在图像处理中的应用[J]. 中国农业大学学报, 1998, 3(4):80-82.
- QIAO J. Application of genetic algorithm for image proceeding [J]. Journal of China Agricultural University, 1998, 3(4):80-82.
- [15] 宣兆新,陆金桂,石云,等. 基于改进的遗传算法的图像恢复[J]. 计算机应用与软件, 2010, 27(3):252-254.
- XUAN Z X, LU J G, SHI Y, et al. Image restoration based on improved genetic algorithm[J]. Computer Applications and Software, 2010, 27(3):252-254.
-
- (上接第18页)
- [6] 易又庆,蒋利龙. 浅议测量实践教学改革[J]. 广东工业大学学报(社会科学版), 2004, 3(B06):178-179.
- YI Y Q, JIANG L L. The Reform Measures to Survey Practical Teaching [J]. Journal of Guangdong University of Technology (Social Science Edition), 2004, 3(B06):178-179.
- [7] 张伟富,刘文谷. 水准仪*i*角检验方法及其精度分析[J]. 重庆建筑大学学报, 2003, 25(5):47-51.
- ZHANG W F, LIU W G. Testing methods for level's "*i*" angle and their accuracy analysis[J]. Journal of Chongqing Jianzhu University, 2003, 25(5):47-51.
- [8] 王欣. 数字水准仪*i*角检校方法对比研究[J]. 科技创新导报, 2010(13):15-15.
- WANG X. Comparative research on calibration methods of digital level's "*i*" angle[J]. Science and Technology Innovation Herald, 2010(13):15-15.
- [9] GB/T 12898-2009, 国家三、四等水准测量规范[S]. 北京:中国标准出版社, 2009.
- [10] 罗官德,任道胜,陈如丽. 数字水准仪*i*角检校方法探讨[J]. 测绘信息与工程, 2002, 27(4):45-46.
- LUO G D, REN D S, CHEN R L. Calibration method of the trunnion axis error in digital level[J]. Journal of Geomatics, 2002, 27(4):45-46.
- [11] 顾若冰. 电子水准仪*i*角检验校正方法比较研究[J]. 矿山测量, 2008(4):15-16.
- GU R B. Comparative research of calibration methods of digital level's "*i*" angle [J]. Mine Survey, 2008(4):15-16.
- [12] 张占阳,许明元,何庆龙. DINI12型数字水准仪规范性检验若干问题探讨[J]. 测绘科学, 2014, 39(B06):195-197.
- ZHANG Z Y, XU M Y, HE Q L. Discussion on problems in standardized inspection of DINI12-type digital level [J]. Science of Surveying and Mapping, 2014, 39(B06):195-197.
- [13] 袁涛. 徕卡水准仪*i*角的检验与调校[J]. 铁道勘测与设计, 2009(4):21-22.
- YUAN T. Test and calibration of Leica level's "*i*" angle [J]. Railway Survey and Design, 2009(4):21-22.
- [14] 罗官德,黄智,闵学鹏,等. 水准仪*i*角室内检定方法探讨[J]. 中国计量, 2008(7):106-108.
- LUO G D, HUANG Z, MIN X P, et al. Discussion on the indoor calibration methods of level's "*i*" angle [J]. China Metrology, 2008(7):106-108.
- [15] 胡夏生. DS3水准仪*i*角误差检校的简易方法[J]. 中国计量, 2005(2):63-64.
- HU X S. Simple methods for calibration of DS3 level's "*i*" angle error [J]. China Metrology, 2005(2):63-64.