

智能算法求解效果评价的物元模型

罗景峰

(东北大学 资源与土木工程学院, 辽宁 沈阳 110004)

摘 要: 如何评价算法的求解效果是应用智能算法求解各类工程优化问题的关键. 为此, 结合物元分析理论, 建立了一种智能算法求解效果评价的物元模型. 该模型将智能算法求解效果视为事物, 算法性能评价指标视为特征, 算法性能评价指标值视为量值, 并以定量数值表示算法求解效果属于某等级的程度大小, 从而实现对智能算法求解效果的评价. 实例计算结果验证了所建立评价模型是可行和有效的, 为科学地选择合适的智能算法去求解优化问题提供了一条崭新的思路.

关键词: 物元分析; 智能算法; 性能评价指标; 效果评价

中图分类号: TP301.6

文献标识码: A

文章编号: 1000—7180(2011)04—0018—03

Matter Element Model for Evaluating Solution Effect of Intelligent Algorithm

LUO Jing-feng

(School of Resources & Civil Engineering, Northeastern University, Shenyang 110004, China)

Abstract: How to evaluate the solution effect of the intelligent algorithm is the key for solving all kinds of engineering optimization problems using of intelligent algorithm, therefore combined with matter element analysis theory, an intelligent algorithm for evaluation of effects of matter element model is founded. This model can show solution effect of the intelligent algorithm as things, algorithm performance evaluation index as a feature, algorithm performance evaluation index value as value of feature, and quantitatively show the degree of pavement condition belonging to one grade, in order to achieve the evaluation of solution effect of intelligent algorithm. The results verify the effectiveness of examples to establish a new evaluation model is feasible and effective, for scientifically selecting the appropriate intelligent algorithm to solve the optimization problem provides a new way of thinking.

Key words: Matter Element Analysis; intelligent algorithm ; performance evaluation index; effect evaluation

1 引言

智能算法^[1]作为人工智能领域中的新兴势力, 蓬勃发展. 各种智能算法相继诞生, 如遗传算法、模拟退火算法、捕食搜索算法、群智能算法等等. 随着智能算法理论的不完善和应用领域的不断拓展, 如何评价智能算法在求解优化问题时是否有效显得尤为重要. 到目前为止, 应用某一智能算法求解优化问题时, 为验证算法的有效性, 常见的做法是与已有文献中的结果进行比较, 从而得到验证. 物元分析^[2]理论是我国学者蔡文教授创立的一门介于数学和实

验科学之间的新学科. 物元分析研究对象是现实世界中的矛盾问题. 物元分析理论简单易懂, 方法易行, 将其与智能算法有机结合构造新型智能算法已有文献论述^[3-6]. 但将物元分析理论应用于评价智能算法求解效果尚未见到相关报道. 本文提出一种新的研究思路: 即根据求解优化问题时, 智能算法所表现出的相关性能特征, 并结合物元分析理论, 来判断所采用的智能算法是否适合于求解该类优化问题.

2 物元分析理论

物元分析将事物用事物 N 、特征 C 、量值 V 等 3

个要素进行描述,即以有序三元组 $R = \{N, C, V\}$ 作为描述事物的基本元,简称物元. 物元分析理论通过确定物元,建立经典域、节域的物元矩阵,用关联函数进行分析和评价.

设 N_0 是 N 的一个子集, $N_0 \subset N$, 对 $n \in N$, 试判断 n 是否属于 N_0 , 并计算 $n \in N_0$ 的程度.

(1) 确定经典域和节域

经典域:

$$R_0 = (N_0, C, V_0)$$

$$= \begin{bmatrix} N & C_1 & V_{01} \\ & C_2 & V_{02} \\ & \vdots & \vdots \\ & C_m & V_{0m} \end{bmatrix}$$

$$= \begin{bmatrix} N & C_1 & \langle a_{01}, b_{01} \rangle \\ & C_2 & \langle a_{02}, b_{02} \rangle \\ & \vdots & \vdots \\ & C_m & \langle a_{0m}, b_{0m} \rangle \end{bmatrix} \quad (1)$$

式中, $C_1, C_2, \dots, C_m$ 为 N_0 的 m 个不同特征, $V_{01}, V_{02}, \dots, V_{0m}$ 分别为 N_0 关于 $C_1, C_2, \dots, C_m$ 的取值范围, 即经典域, 并且有 $V_{0i} = \langle a_{0i}, b_{0i} \rangle (i = 1, 2, \dots, m)$.

节域:

$$R_p = (N, C, V_p)$$

$$= \begin{bmatrix} N & C_1 & V_{p1} \\ & C_2 & V_{p2} \\ & \vdots & \vdots \\ & C_m & V_{pm} \end{bmatrix}$$

$$= \begin{bmatrix} N & C_1 & \langle a_{p1}, b_{p1} \rangle \\ & C_2 & \langle a_{p2}, b_{p2} \rangle \\ & \vdots & \vdots \\ & C_m & \langle a_{pm}, b_{pm} \rangle \end{bmatrix} \quad (2)$$

式中, $V_{p1}, V_{p2}, \dots, V_{pm}$ 分别为 N 关于 $C_1, C_2, \dots, C_m$ 的取值范围, 即 N 的节域, 并且有 $V_{pi} = \langle a_{pi}, b_{pi} \rangle$, 显然, $V_{0i} \in V_{pi} (i = 1, 2, \dots, m)$.

(2) 确定待评物元

对待评价事物 N_E , 把测量或计算得到的结果用下列物元表示:

$$R_p = (N_E, C, V_E) = \begin{bmatrix} N_E & C_1 & v_{E1} \\ & C_2 & v_{E2} \\ & \vdots & \vdots \\ & C_m & v_{Em} \end{bmatrix} \quad (3)$$

式中, $v_{E1}, v_{E2}, \dots, v_{Em}$ 分别为待评价事物 N_E 关于 $C_1, C_2, \dots, C_m$ 的实测值或计算值.

(3) 根据距的定义确定关联函数值

距的计算公式:

$$\rho(v_E, V_{0i}) = \left| v_E - \frac{a_{0i} + b_{0i}}{2} \right| - \frac{b_{0i} - a_{0i}}{2} \quad (4)$$

$$\rho(v_E, V_{pi}) = \left| v_E - \frac{a_{pi} + b_{pi}}{2} \right| - \frac{b_{pi} - a_{pi}}{2} \quad (5)$$

关联函数计算公式:

$$K(v_E) = \frac{\rho(v_E, V_{0i})}{\rho(v_E, V_{pi}) - \rho(v_E, V_{0i})} \quad (6)$$

(4) 确定权重系数

确定各个特征的权重系数 $w_i (i = 1, 2, \dots, m)$,

且满足 $\sum_{i=1}^m w_i = 1$.

(5) 计算关联度

$$K(n) = \sum_{i=1}^m w_i K(v_E) \quad (7)$$

$K(n)$ 表示 $n \in N_0$ 的程度.

(6) 评判原则

$$\text{若 } K_j = \max_{j \in \{1, 2, \dots, l\}} K_j(N_E) \quad (8)$$

则评定 N_E 属于等级 j .

3 智能算法求解效果评价的物元模型

3.1 智能算法性能评价指标

本文选取全局收敛概率、标准方差绝对值和 CPU 平均执行时间作为衡量智能算法求解效果的性能评价指标.

(1) 全局收敛概率: 即算法找到全局最优解的可能性程度, 体现了算法的全局收敛性能, 它是评价一个算法性能优劣的主要指标. 其值越大, 收敛性能越好, 反之, 收敛性能越差. 一般地, 其值在 0.0 和 1.0 之间. 本文中, 将其记作 gp , $gp = \text{收敛次数} / \text{运行总次数}$.

(2) 标准方差绝对值: 用于评判算法所求得解的质量好坏, 体现算法的鲁棒性强弱. 其值越小, 算法越稳定, 鲁棒性越强; 反之, 算法越不稳定, 鲁棒性越弱. 本文中, 将其记作 $|s|$, $|s| = |(f^* - \sum_{i=1}^N f_i/N) / f^*|$, 其中, N 为算法运行总次数, f^* 为目标函数最优值, $\sum_{i=1}^N f_i/N$ 为 N 次运行的目标函数均值.

(3) CPU 平均执行时间: 体现了算法的执行效率, 其值大小与所求解问题规模直接相关. 在同一问题规模内, 其值越小, 算法执行效率越高; 反之, 算法执行效率越低. 本文中, 将其记作 $\bar{t}$, $\bar{t} = \sum_{i=1}^N t_i/N$, 其中, t_i 为算法每次运行所花费的 CPU 执行时间.

基于以上分析,为利用物元分析理论评价智能算法求解效果情况,三种性能评价指标权重系数按 AHP^[7] 确定. 首先,据经验建立相应判断矩阵 $A = [1, 7, 9; 1/7, 1, 3; 1/9, 1/3, 1]$,再求得判断矩阵 A 的特征向量 $AW = (0.776, 0.155, 0.069)$ 以及特征值 $\lambda = 3.083$. 经一致性检验,判断矩阵 A 满足一致性要求,因此,三种性能评价指标权重向量为 $W = (0.776, 0.155, 0.069)$.

3.2 应用实例

给定智能算法各项指标的等级标准,根据智能算法的实际运行量值来判断智能算法的求解效果,就是一个识别问题,可以利用物元分析方法建立智能算法多指标性能参数的求解效果评定模型.

根据经验,把智能算法求解效果分成优、良、中、一般及差 5 个等级,并结合文献[8]中多智能算法(遗传算法(GA)、模拟退火算法(SAA)、蚁群算法(ACO)以及捕食搜索算法(PSA))求解得到的数据给出各等级标准的数据范围,见表 1.

表 1 智能算法求解效果的分级标准

算法性能 评价指标	分级值				
	效果优	效果良	效果中	效果一般	效果差
gp	≥ 0.9	≥ 0.6	≥ 0.5	≥ 0.2	< 0.2
$ s $	$< 10^{-3}$	$< 10^{-2}$	$< 5 \times 10^{-2}$	$< 10^{-1}$	$\geq 10^{-1}$
t	< 0.1	< 1.0	< 5	< 10	≥ 10

将待评价的智能算法的各项实际指标代入各等级的集合中进行多指标评定. 评定结果按它与某等级集合的关联度大小进行比较,关联度越大,它与某等级集合的符合程度就愈佳. 从而得到智能算法求解效果的评定等级.

据表 1 中的数据,可构造出智能算法求解效果等级的经典域物元:

$$R_1 = \begin{bmatrix} N_1 & gp & < 0.9, 1.0 > \\ & |s| & < 10^{-4}, 10^{-3} > \\ & \bar{t} & < 0.01, 0.1 > \end{bmatrix},$$
$$R_2 = \begin{bmatrix} N_2 & gp & < 0.6, 0.9 > \\ & |s| & < 10^{-3}, 10^{-2} > \\ & \bar{t} & < 0.1, 1 > \end{bmatrix},$$
$$R_3 = \begin{bmatrix} N_3 & gp & < 0.5, 0.6 > \\ & |s| & < 10^{-2}, 5 \times 10^{-2} > \\ & \bar{t} & < 1, 5 > \end{bmatrix},$$
$$R_4 = \begin{bmatrix} N_4 & gp & < 0.2, 0.5 > \\ & |s| & < 5 \times 10^{-2}, 10^{-1} > \\ & \bar{t} & < 5, 10 > \end{bmatrix},$$

$$R_5 = \begin{bmatrix} N_5 & gp & < 0.1, 0.2 > \\ & |s| & < 10^{-1}, 1.0 > \\ & \bar{t} & < 10, 100 > \end{bmatrix}.$$

节域物元:

$$R_p = \begin{bmatrix} \text{效果等级} & gp & < 0.1, 1.0 > \\ & |s| & < 10^{-4}, 1.0 > \\ & \bar{t} & < 0.01, 100 > \end{bmatrix}.$$

对四种智能算法,列出相应待评物元分别为

$$R_{SA} = \begin{bmatrix} SAA & gp & 0.16 \\ & |s| & 0.081\ 5 \\ & \bar{t} & 27.6 \end{bmatrix},$$

$$R_{GA} = \begin{bmatrix} GA & gp & 0.24 \\ & |s| & 0.077\ 8 \\ & \bar{t} & 15.2 \end{bmatrix},$$

$$R_{ACO} = \begin{bmatrix} ACO & gp & 0.44 \\ & |s| & 0.064\ 2 \\ & \bar{t} & 0.2 \end{bmatrix},$$

$$P_{PSA} = \begin{bmatrix} PSA & gp & 0.84 \\ & |s| & 0.024 \\ & \bar{t} & 0.057\ 8 \end{bmatrix}.$$

于是,据式(4)~(7)进行计算,得到各智能算法与效果评价等级关联度分别为

$$K_{SAA} = (-0.829\ 3 \quad -0.789\ 2 \quad -0.733\ 9 \\ -0.291\ 7 \quad 1.644\ 9)$$

$$K_{GA} = (-0.751\ 6 \quad -0.664\ 3 \quad -0.572\ 2 \\ 0.354\ 8 \quad -0.171)$$

$$K_{ACO} = (-0.546\ 9 \quad -0.242\ 7 \quad -0.200\ 3 \\ 0.144 \quad -0.433\ 6)$$

$$K_{PSA} = (0.232\ 2 \quad 0.376 \quad -0.312 \\ -0.676\ 8 \quad -0.74).$$

据式(8)所给评判原则进行评判,得到各智能算法在求解系统可靠性优化问题上的评价等级,如表 2. 由表 2 可知,SA 求解效果差,不予采用;GA、ACO 求解效果一般,应进行改进,以提高算法求解性能;PSA 求解效果良,推荐使用. 综上,在求解系统可靠性优化问题上,限于上述四种智能算法,PSA 最为适合,与文献[8]中结论完全一致.

表 2 评定结果

算法	SA	GA	ACO	PSA
评价等级	效果差	效果一般	效果一般	效果良

利用Cadence的spectre仿真器进行PSS(周期性稳态分析)和Pnoise(周期性噪声分析)仿真对VCO的环路特性和噪声特性进行分析,其输出的相位噪声如图10所示,在5 MHz频偏处的相位噪声为-105 dBc/Hz.

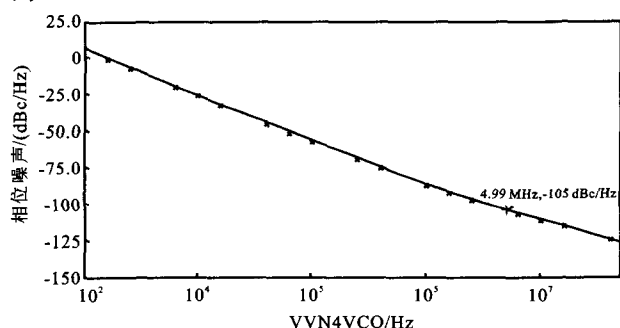


图10 VCO的相位噪声输出曲线

4 结束语

文中设计采用0.18 μm CMOS工艺实现了一种中心频率可调的压控振荡器电路.该电路在电源电压为1.8 V下,输出的频率范围为2.125~3.125 GHz,在5 MHz频偏处的相位噪声为-105 dBc/Hz.本文所研究的压控振荡器电路,可广泛应用于千兆以太网(XAUI)、同步光网络(SONET)、光学载波48(OC-48)和其他需要低抖动收发器的应

用中.

参考文献:

- [1] 毕查德·拉扎维.模拟CMOS集成电路设计[M].西安:西安交通大学出版社,2003:113-131.
- [2] Roland E. Best. 锁相环设计、仿真与应用[M].北京:清华大学出版社,2003.
- [3] Miyazaki T, Hashimoto M, Onodera H. A performance comparison of PLLs for clock generation using ring oscillator VCO and LC oscillator in a digital CMOS process [C]// IEEE Press Piscataway. NJ, USA: IEEE, 2004: 545-546.
- [4] Sun L, Kwasniewski TA, Technols L, et al. A 1.25-GHz 0.35- μm monolithic CMOS PLL based on a multiphaser oscillator [J]. IEEE Journal of Solid-State Circuits, 2001, 36(6): 910-916.
- [5] Razavi B. A study of phase noise in CMOS oscillators [J]. IEEE Journal of Solid-State Circuits, 1996, 31(3): 331-343.

作者简介:

邢立冬 男,(1980-),工程师,博士研究生.研究方向为数模混合集成电路设计及测试.

蒋林 男,(1970-),教授,博士后.研究方向为VLSI系统与计算机辅助设计.

(上接第20页)

4 结束语

(1) 本文将物元分析理论应用于解决智能算法求解效果评价问题上.

(2) 本文提出的智能算法求解效果评价模型不仅可以验证单一智能算法求解问题的有效性,而且还可用于多智能算法求解效果的比较.

(3) 智能算法求解效果的分级标准的量值确定,应根据问题规模的不同而有所不同.智能算法求解效果的分级标准是笔者根据以往运用智能算法的经验而定,如何获得更为准确合理的分级标准有待进一步研究.

参考文献:

- [1] 汪定伟,王俊伟,王洪峰,等.智能优化方法[M].北京:高等教育出版社,2007.
- [2] 蔡文,杨春燕,林伟初.可拓工程方法[M].北京:科学出版社,1997.

版社,1997.

- [3] 刘颖.基于物元的可拓遗传算法[D].大连:大连海事大学,2005.
- [4] 王一冰.可拓蚁群算法[D].大连:大连海事大学,2007.
- [5] 张凯燕,莫云辉,邓召义,等.改进遗传算法的行星齿轮传动多目标模糊物元可靠性优化[J].上海大学学报:自然科学版,2007,13(1):22-27.
- [6] 阴艳超,孙林夫,郭成.基于模糊物元PSO混合优化算法的客户创意挖掘[J].计算机应用研究,2008,25(8): 2309-2311.
- [7] 叶义成,柯丽华,黄德育.系统综合评价技术及其应用[M].北京:冶金工业出版社,2006.
- [8] 罗景峰,许开立.系统可靠性优化的捕食搜索算法[J].东北大学学报:自然科学版,2009,30(S1):255-257.

作者简介:

罗景峰 男,(1975-),博士研究生,CCF会员.研究方向为安全系统工程、系统可靠性、智能优化算法等.