

# 细菌觅食优化算法的研究进展

李娜, 雷秀娟

(陕西师范大学 计算机科学学院 陕西 西安 710062)

**摘要:** 细菌觅食优化算法是近年来发展起来的, 基于大肠杆菌觅食行为模型的一种新型智能算法。它具有对初值和参数选择不敏感、鲁棒性强、简单易于实现, 以及并行处理和全局搜索等优点。但其在应用过程中存在精度不够高、收敛速度不够快的缺点。文中首先对细菌觅食优化算法的基本原理及操作流程进行介绍, 并概述了国内外学者在这一领域的研究现状, 接着分析了算法三大主要操作存在的问题, 然后探讨了算法的改进和应用, 最后分析了算法未来的研究方向。

**关键词:** 细菌觅食优化算法; 基本原理; 算法改进

中图分类号: TP301.6

文献标识码: A

文章编号: 1673-629X(2014)08-0039-06

doi: 10.3969/j.issn.1673-629X.2014.08.010

## Research on Bacterial Foraging Optimization Algorithm

LI Na, LEI Xiu-juan

(School of Computer Science, Shaanxi Normal University, Xi'an 710062, China)

**Abstract:** Bacterial Foraging Optimization Algorithm (BFOA) is one of the new intelligent optimization methods that are based on the simulation of the foraging of Escherichia Coli. The advantage of BFO is the insensitivity of parameter choosing, robustness, parallel computing and easily global searching and so on. But during the superficial application the weakness of relatively low accuracy and rate of convergence is discovered. First introduce the basic principle and operation process for the BFOA, and overview the current researches of many domestic and international scholars about BFOA. Then analyze the three major problems existing in the operation algorithm. And then the improvement and application of BFOA are discussed. Finally, the future research direction of the algorithm is analyzed.

**Key words:** bacterial foraging optimization algorithm; basic principle; algorithm improvement

## 0 引言

优化问题已贯穿于社会的各个领域。然而,在实际应用中的优化问题越来越复杂,传统的优化方法已不能解决诸如具有方程数多、变量维数高、非线性强等特点的优化命题。然而基于计算智能的优化方法弥补了传统方法的缺陷,且易于实现。目前,在已被研究的智能优化算法中,在20世纪70年代,由Holland教授及其学生基于达尔文进化论及孟德尔遗传学说提出的遗传算法(Genetic Algorithm, GA)<sup>[1]</sup>是最具有代表性,而且也最为成熟的。随后,在90年代相继涌现了两个经典的智能仿生优化算法: Dorigo等人于1991年提出蚁群优化算法(Ant Colony Optimization, ACO)<sup>[2]</sup>,该算法模拟了蚂蚁寻找路径的行为; Eberhart和Kennedy两人于1995年提出粒子群优化算法(Particle Swarm

Optimization, PSO)<sup>[3]</sup>。2000年Müller等人提出了细菌趋药性算法(Bacterial Chemotaxis, BC)<sup>[4]</sup>。2002年国内的李晓磊博士提出了人工鱼群算法(Artificial Fish School Algorithm, AFSA)<sup>[5]</sup>。Passino等人<sup>[6]</sup>于2002年通过模拟人体内大肠杆菌的觅食行为,提出了一种新型智能优化算法: 细菌觅食优化算法(Bacterial Foraging Optimization, BFO)。

细菌觅食优化算法通过细菌群体之间的竞争与协作实现优化,它是一种基于细菌群体的搜索技术,因而它的搜索性能比遗传算法好,但目前有关BFO的研究仍处于起步阶段,还没有遗传算法成熟。

在群智能算法中,GA、ACO、PSO、AFSA都是基于高等生物作为启发对象,而BFO算法,则是模拟微生物的行为而形成的一种较新的优化方法。简单分析群

收稿日期: 2013-11-13

修回日期: 2014-02-16

网络出版时间: 2014-05-21

基金项目: 国家自然科学基金青年基金(61100164, 61173190); 教育部留学回国人员科研启动基金(教外司留[2012]1707号); 中央高校基本科研业务费专项资金项目(GK201302025); 陕西省2010年自然科学基金基础研究计划青年基金(2010JQ8034)

作者简介: 李娜(1988-),女,硕士研究生,研究方向为智能优化算法; 雷秀娟,博士,教授,硕士生导师,CCF会员,ACM会员,研究方向为智能计算与智能优化、生物信息计算等。

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/61.1450.TP.20140524.2145.006.html>

智能算法: GA 容易出现早熟收敛现象,陷入局部最优解,且算法后期收敛速度较慢;ACO 参数设置复杂,初始参数的设置对算法的收敛性影响较大,易陷入局部最优解;PSO 的局部搜索能力较差,参数的设置会很大程度上影响算法的搜索性能;AFSA 算法在搜索初期收敛速度较快,但后期较慢,且搜索精度不高。针对群智能算法各自存在的缺点,学者们对这些算法取长补短,从而不同程度地改进了各种优化算法的性能。其中,细菌觅食优化算法的提出就为现有智能优化算法的改进提供了新的思路,同时 BFOA 与其他算法融合,在实际应用中也得到了较好的效果,且效果优于混合前单独的算法。

## 1 BFO 算法的基本原理与流程

BFO 算法是一种全局随机搜索的算法,其具有简单、收敛速度快,并且在优化过程中无需优化对象的梯度信息的特点。BFO 模拟细菌群体的过程包括趋向、复制、迁徙三个步骤。其算法的流程如图 1 所示。

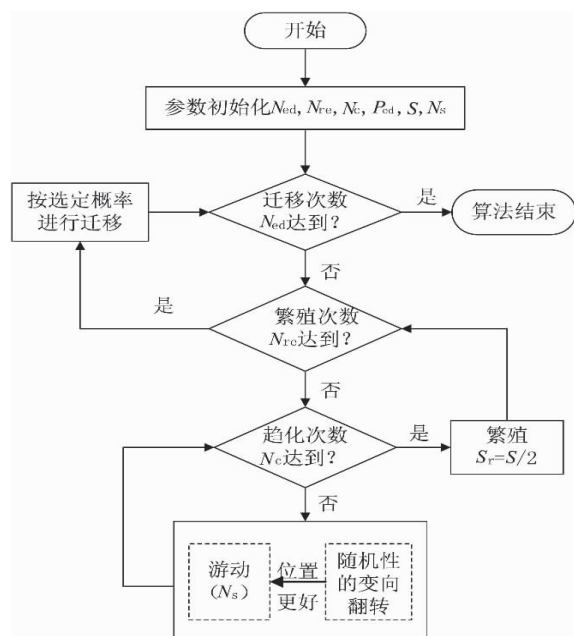


图 1 细菌觅食优化算法流程图

### (1) 趋向性操作。

细菌向有利于自身环境的区域移动称为趋向运动,其中,一次趋向性操作包括翻转运动和游动运动。细菌向任意方向移动单位步长称为翻转运动;细菌沿着上一步的运动方向移动单位步长称为游动运动。第  $i$  个细菌进行翻转运动时根据式(1)更新位置。

$$P^i(j+1, k, l) = P^i(j, k, l) + C(i) \varphi(i) \quad (1)$$

其中,  $P^i(j, k, l)$  表示第  $i$  个细菌的第  $j$  次趋向操作、第  $k$  次复制操作及第  $l$  次迁徙操作后的位置;  $C(i)$  表示按选定的方向游动的单位步长向量;  $\varphi(i)$  是随机产生的方向向量。

如果在  $P^i(j+1, k, l)$  处的适应度优于  $P^i(j, k, l)$  处,则保持  $\varphi$  不变继续在该方向游动,直至找到适应度最佳的位置或达到设定的趋向性次数;否则产生新的  $\varphi$ , 进行下一次翻转运动。

### (2) 复制操作。

细菌达到设定的趋向性次数时,细菌进行自我复制,产生新的个体。在细菌复制前,对细菌种群的适应度进行降序排列,适应度值较大的前一半个体保留下来,进行一分为二的分裂复制,适应度值小的后一半个体被淘汰掉。这样便完成了一次复制操作,并保证了细菌种群大小不变。复制后的细菌保留母细菌原有的特性。

### (3) 迁徙操作。

在实际环境中,由于细菌会受到自身趋氧性、趋光性、趋热性、趋磁性等特性的影响,细菌生活的局部区域有可能会由于光照条件的改变、水的冲刷、食物的消耗、温度的提高和地磁场的变化等因素而逐渐变化,这就可能会致使细菌群体迁移到一个新的环境开始生存。

细菌完成了固定周期内的复制操作后,以概率  $P_{ed}$  进行迁徙操作。如果某个细菌满足迁徙发生的概率,则该细菌个体死亡,同时在解空间的任意位置将重新生成一个新的个体,这就相当于把原来的个体移到了一个新的位置,并保持其他细菌的位置不变。迁徙操作随机生成新的细菌个体更接近全局最优解,从而增加了细菌跳出局部最优解的可能性。

## 2 研究现状

迄今为止,有关 BFO 算法的研究主要集中在四个方面:算法在理论方面的研究;对原始算法的改进;算法与其他智能算法的融合;算法在各个应用领域的研究。

### (1) 算法在理论方面的研究。

Liu 等于 2002 年对算法的稳定性进行了初步的探讨;他们在 2003 年又改进了细菌群体中各细菌个体之间的相互作用机制,并初步分析了在限定群体大小时 BFO 算法的收敛性<sup>[7]</sup>。之后 Biswas A 等人致力于对 BFO 算法的理论研究;2008 年他们对算法的趋向性操作进行了初步的理论分析<sup>[8]</sup>;在此基础上,接着探讨了复制操作对算法的稳定性和收敛性的影响<sup>[9-10]</sup>;2009 年,他们又分析了对趋向操作采用自适应机制步长时算法收敛性和稳定性的变化情况<sup>[11]</sup>。在这些理论分析中,都只是考虑了仅有两个细菌个体的一维连续空间中解的情况,并没有考虑在多维空间中由多个细菌个体所组成的菌群的情形。同年,他们对细菌觅食优化算法的理论基础、数学建模及重要的应用进行了系

统的阐述<sup>[12]</sup>,给出了复制操作的动态分析过程,描述了BFOA许多重要的应用。

#### (2) 算法在操作方面的调整。

Mishra<sup>[13]</sup>于2005年提出了模糊细菌觅食算法(Fuzzy Bacterial Foraging, FBF),该算法是基于最小代价函数通过TS模糊模型的推理机制选择最优步长;随后Datta等人按照自适应增量调制的原理,提出了一种具有自适应趋向性步长的BFO算法(Adaptive Bacteria Foraging Algorithm, ABFA)<sup>[14]</sup>,此方法改善了算法的收敛速度及结果的精确性。由于FBF算法的性能与隶属函数和模糊规则的参数选取相关,并且目前还没有一个系统的方法能对一个给定的问题确定其参数,故该算法不适用于用来优化各种复杂的问题。针对于此,2007年Mishra和Bhende提出了一种改进的BFO,并应用于有源滤波器PI参数控制的优化上;Li等人提出了种群变化的BFO算法<sup>[15]</sup>;Treaty等对适应度函数进行了改进,提出了改进型的BFO算法<sup>[16]</sup>;吴春国等人<sup>[17-18]</sup>对趋向性操作进行了改进,提出了分别基于个体信息、基于群体信息的两种搜索策略,并用其求解车间调度问题。

Chen等人分析了步长参数对BFO算法搜索能力的影响,于2008年提出了自适应趋向性步长<sup>[19]</sup>。他们在文中指出:若在算法中增大趋向性操作的步长,则算法的全局探索能力将会增强;而若减小步长,算法的局部开采能力会增强;采用自适应搜索策略显著提高了原算法的性能。2009年他们又提出协同细菌觅食算法<sup>[20-21]</sup>,并同标准BFO算法、PSO算法及GA算法进行了比较,结果表明协同细菌觅食算法的效果较优。2009年Majhi等人<sup>[22]</sup>用BFO和ABFO通过最小化均方误差对基于模型的自适应线性组合的连接权重进行优化,并与GA、PSO进行比较,结果表明新模型的计算效率、准确性、收敛速度均有所提高。曹天问、雷秀娟<sup>[23-24]</sup>针对标准BFO算法操作存在的不足进行改进,而后将算法在函数优化问题上做了仿真实验,实验结果表明改进后的算法收敛速度更快且搜索性能更强。

#### (3) BFO算法与其他算法的融合。

Luh等人<sup>[25]</sup>从细菌进化的角度出发,提出了细菌进化算法(Bacterial Evolutionary Algorithm, BEA)。Biswas等人于2007年将粒子群算法融入BFO算法中,提出了一种混合优化算法,并将该算法应用于多峰函数优化<sup>[26]</sup>;同年,Dasgupta等人提出了一种混合型全局优化算法<sup>[27]</sup>(趋向性差分演化算法, Chemotaxis DE, CDE),该算法将差分进化算法(Differential Evolution, DE)中的交叉操作和变异操作引入到BFO算法中,使算法克服了传统DE和BFOA搜索速度缓慢以及过早收敛的缺点。2010年,姜飞等人<sup>[28]</sup>研究发现:当搜索

范围比较小时,CDE算法易出现早熟的现象。为了克服这一缺点,他们将遗传算法中的变异算子融入CDE算法,提出了CDEM算法,并用于求解混沌系统的控制与同步问题,实验结果表明算法有效且稳定。

Kim等人将GA的交叉、变异算子引入到BFO中,提出了GA-BFO算法<sup>[29]</sup>,并将其应用于函数优化问题。任佳星等人<sup>[30]</sup>为了增加菌群的多样性,在细菌进化的过程中引入交叉和变异算子,但实验结果表明此方法容易导致种群中优秀细菌个体的缺失<sup>[31]</sup>。

Tang<sup>[32]</sup>和Chu<sup>[33]</sup>等人在BFOA算法中引入了PSO算法,分别提出了细菌群算法和快速细菌群算法。随后,Bakwad等人<sup>[34]</sup>将无参数的粒子群算法与BFOA相结合,算法提出两点改进之处:首先算法是在细菌个体所有位置的适应度评价后再更新细菌的位置和方向,取代了原始BFO在每一次趋向性操作后就更新细菌当前的适应度进行更新;其次,细菌通过无参的PSO更新当前的位置,此算法在提高多峰函数的全局优化能力上效果显著。

#### (4) 算法的应用。

细菌觅食优化智能算法作为一种新兴的智能优化算法,目前已被应用于多个领域。电气工程与控制<sup>[35]</sup>,具体如Mishra<sup>[13]</sup>将其用于优化mesh电力网络的有效功率损耗问题;Kim等人<sup>[36]</sup>基于遗传算法的原理设计出混合BFO算法,并将其应用于PID控制器的设计问题;此外,他们还将其用来优化神经网络的权重<sup>[37]</sup>;Chatterjee等人<sup>[38]</sup>将BFO与卡尔曼滤波器结合起来,解决了移动机器人和无人驾驶汽车的同步定位和地图构建问题;陈翰宁等人提出了多种群BFO(MC-BFO)并用其规划RFID网络,且效果优于GA和PSO对RFID网络规划的效果<sup>[39]</sup>;以及应用在模式识别<sup>[40]</sup>、图像处理<sup>[41]</sup>、车辆调度问题<sup>[42]</sup>等方面。Pani-grahi提出了一种多目标细菌优化算法(Multi-objective BFO, MBFO)<sup>[43]</sup>,并用其解决多目标优化问题。

### 3 分析细菌觅食优化算法存在的问题

BFO算法主要包括三层循环,最外层的迁徙操作,中间层的复制操作,最内层的趋向性操作。从目前国内外的研究来看,算法虽具有自身的优势,但与遗传算法相比仍然还不够成熟,并且其时间开销与GA相比也较大。下面对算法三层循环中存在的问题进行分析,为算法的改进奠定一定基础。

趋向性操作存在的问题:首先,在原始BFO算法中,细菌在趋向性阶段中的步长是恒定的,而具有不同能量的细菌采用相同的步长前进,会增加算法的性能开销,不利于算法收敛。其次,在适应度的计算中,定义了细菌可以产生一种自我诱导的物质,当自我诱导

物的浓度满足一定条件时(设定阈值),细菌就会被该区域吸引;而当自我诱导物的浓度大于阈值时,细菌会释放排斥剂来阻止细菌的聚集。细菌通过这种感应机制来进行信息搜索,但由于这样的感应机制仅仅只是针对细菌在某一区域种群的数量,并非针对环境区域食物的浓度进行聚集和排斥,因此这种体现种群多样性的指标还存在不足之处。

复制操作存在的问题:首先,在原始 BFO 算法中,适应度的排序是按照细菌进行一次趋向性操作后个体经过的所有位置的平均适应度排序,这种排序不能确保下一代中适应度值最优的细菌个体可以被保留。实际上,由于细菌当前的适应度值是其生命周期中所经历过的最优值,并且细菌所经历的历史适应度值对它无任何意义,所以细菌的适应度值仅和自身当前的位置有关。其次,复制操作通过减少细菌群体的多样性可以加快算法的收敛速度,但却不能从根本上改变菌群的最优解,而且有可能使算法陷入局部最优解。

迁徙操作存在的问题:一方面,如果迁徙操作的次数设置太小,则会使得算法跳出局部最优解的概率降低;反之,迁徙操作执行次数较大时,能扩大算法的搜索区域,从而可以避免算法陷入早熟,但这是以增加算法的复杂度为代价的。另一方面,因为迁徙操作是以一定的概率随机发生的,所以有可能使得接近最优位置或已在最优位置的细菌发生迁徙,称这种情况为“误迁”。迁徙概率越大,误迁的概率就越大,减小迁徙概率能使误迁的概率相应减小,但并不能避免误迁的发生;同时,较小的迁徙概率会使细菌跳出局部最优解的能力减小。故迁徙次数、迁徙概率的设置均会影响算法的整体性能。

#### 4 细菌觅食算法改进建议

参考近年来国内外学者对细菌觅食优化算法的研究,分析算法本身所存在的问题,文中从对算法操作的改进上提出以下几点建议。

##### (1) 趋向性操作的改进。

趋向性操作是算法的核心,其对算法的收敛起着非常重要的影响和作用。在某种程度上,恒定的步长限制了算法的收敛性。依据细菌在觅食过程中获得的能量,赋予细菌自适应调节趋向性操作步长的能力,使得优秀细菌以较大的步长游动,较差的细菌以较小的步长游动,可提高细菌的寻优效率。

现有的改进算法中,已有在趋向性操作中引入遗传算法、人工鱼群算法、粒子群算法,为此可以尝试将蚁群算法与 BFO 算法结合。ACO 算法中蚂蚁通过对路径进行标识,给出较短路径的较大信息素,并以此指导后续的蚂蚁能以更优路径搜索,最终引导其获取最

短路径。根据蚁群算法的信息素概率,赋予最优细菌具备挥发信息素的能力,进而加强细菌对环境的充分利用。

##### (2) 复制操作的改进。

原始 BFO 中,适应度的排序是按照细菌进行一次趋向性操作后个体经过的所有位置的平均适应度排序,这样有可能使得适应度较优的细菌淘汰掉,而且也会降低算法的寻优精度。因此,对复制操作进行改进:按照细菌个体所有位置中的最优适应值排序,这样可以确保在下一代适应度值最优的细菌个体一定能够被保留,进而提高算法收敛速度。

复制操作中用能量高的一半细菌繁殖代替能量低的一半细菌,这会导致种群多样性的下降,为此可以借鉴用于全局优化的浮点数编码的差分进化思想,在趋向性操作后,利用父代个体的差异性来产生子代个体。

##### (3) 迁移操作的改进。

细菌进行迁徙操作有助于陷入局部极值的个体重新选择位置,进而跳出局部极值。不难得知迁徙概率越大,重新选择位置的几率越大,那么细菌跳出局部极值的概率就越大。“误迁”现象可能直接导致最优解遗失,故避免误迁至关重要。在细菌寻优过程中,若迁徙选中的细菌个体是已经搜索到或者十分接近全局最优解的,则个体的迁徙就可能会导致误迁;若能够避免这些个体被选中迁徙,那么就可以避免误迁的发生。对此进行改进,首先,将细菌当前的适应度值从大到小进行排序,然后只对排序靠后的个体进行迁徙,而排在前边的是已经找到全局最优解的个体,不对其迁徙,这样就可以较大程度地避免误迁。

另外,复制操作和迁徙操作均采用了固定参数,这种方法只是一种简化手段,并非是对真实细菌群体的模拟,可以尝试对细菌的能量进行标注,使得能量低的细菌自适应的死亡,而能量高的细菌进行复制。保证优秀个体不被淘汰,同时可以提高算法的效率。

#### 5 结束语

文中首先介绍了 BFO 算法的工作原理,总结了国内外相关学者对算法的研究过程,并理论分析了算法三大主要操作各自存在的问题,最后提出了改进建议。算法在未来应在以下几个方面作进一步研究:

(1) 算法参数的调整。目前的进化算法大部分都是依靠以往的实践经验或者是多次试验获得较佳参数,并没有形成能确定算法最优参数的通用方法,又因为算法的参数会直接影响算法的性能和效率,所以对算法参数的研究和改进具有重要的意义。

(2) BFO 算法的研究起步较晚,现阶段有关算法的理论研究与证明比较少,因而接下来的一项重要工

作就是完善算法的理论基础,并对算法的优化性能及收敛性进行评估。

(3) 智能优化算法间的融合可以提高各自的性能,未来还有许多新的智能算法可以融入到细菌觅食优化算法中,以更好地发挥算法各自的优势。

(4) 目前在国内外的研究中,BFO算法较多地被应用于电气工程与控制、车间调度问题、滤波器问题、模式识别等方面,故扩大算法的应用领域具有一定的实际意义。

#### 参考文献:

- [1] Holland J H. Adaptation in natural and artificial system[M]. Ann Arbor: The University of Michigan Press, 1975.
- [2] Colomi A, Dorigo M, Maniezzo V. Distributed optimization by ant colonies[C]//Proceedings of European conference on artificial life. Paris, France: Elsevier Publishing, 1991: 134 - 142.
- [3] Eberhart R C, Kennedy J. A new optimizer using particle swarm theory[C]//Proc of on 6th international symposium on Bmicro machine and human science. Nagoya: IEEE, 1995: 39 - 43.
- [4] Müller S, Marchelo J, Airaghi S, et al. Optimization based on bacterial chemotaxis[J]. IEEE Trans on Evolutionary Computation, 2002, 6(1): 16 - 29.
- [5] 李晓磊. 一种新型的智能优化方法 - 人工鱼群算法[D]. 杭州: 浙江大学, 2003.
- [6] Passino K M. Biomimicry of bacterial foraging for distributed optimization and control[J]. IEEE Control System, 2002, 22(3): 52 - 67.
- [7] Liu Yang, Passino K M, Polycarpou M M. Stability analysis of m - dimensional asynchronous swarms with a fixed communication topology[J]. IEEE Trans on Automatic Control, 2003, 48(1): 76 - 95.
- [8] Dasgupta S, Das S, Abraham A, et al. Adaptive computational chemotaxis in bacterial foraging optimization: an analysis[J]. IEEE Trans on Evolutionary Computation, 2009, 13(4): 919 - 941.
- [9] Abraham A, Biswas A, Dasgupta S, et al. Analysis of reproduction operator in bacterial foraging optimization algorithm[C]//Proc of IEEE congress on evolutionary computation. Hong Kong: IEEE, 2008: 1476 - 1483.
- [10] Biswas A, Das S, Abraham A, et al. Stability analysis of the reproduction operator in bacterial foraging optimization[J]. Theoretical Computer Science, 2010, 411(21): 2127 - 2139.
- [11] Das S, Dasgupta S, Biswas A, et al. On stability of the chemotactic dynamics in bacterial foraging optimization algorithm[J]. IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics - Part A: Systems and Humans, 2009, 39(3): 670 - 679.
- [12] Das S, Biswas A, Dasgupta S, et al. Bacterial foraging optimization algorithm: theoretical foundations, analysis, and applications[J]. Foundations of Computational Intelligence, 2009, 3: 23 - 55.
- [13] Mishra S. A hybrid least square - fuzzy bacteria foraging strategy for harmonic estimation[J]. IEEE Transactions on Evolutionary Computation, 2005, 9(1): 61 - 73.
- [14] Datta T, Mishra I S, Mangaraj B B, et al. Improved adaptive bacteria foraging algorithm in optimization of antenna array for faster convergence[J]. Progress in Electromagnetics Research C, 2008, 1: 143 - 157.
- [15] Li M S, Tang W J, Tang W H, et al. Bacteria foraging algorithm with varying population for optimal power flow[C]//Proc of applications of evolutionary computing. [s. l.]: [s. n.], 2007: 32 - 41.
- [16] Treaty M, Mishra S. Bacteria foraging - based solution to optimize both real power loss and voltage stability limit[J]. IEEE Transactions on Power Systems, 2007, 22(1): 240 - 248.
- [17] Wu C, Zhang N, Jiang J, et al. Improved bacterial foraging algorithms and their applications to job shop scheduling problems[J]. Lecture Notes in Computer Science, 2007, 4431: 562 - 569.
- [18] 梁艳春, 吴春国, 时小虎, 等. 群智能优化算法理论与应用[M]. 北京: 科学出版社, 2009.
- [19] Chen Nanning, Zhu Yunlong, Hu Kunyuan. Self - adaptation in bacterial foraging optimization algorithm[C]//Proceedings of the 3rd international conference on intelligent system and knowledge engineering. Xiamen: IEEE, 2008: 1026 - 1031.
- [20] Chen Hanning, Zhu Yunlong, Hu Kunyuan. Cooperative bacterial foraging optimization[J]. Discrete Dynamics in Nature and Society, 2009, 2009: 815247.
- [21] Shao Yichuan, Chen Hanning. A novel cooperative bacterial foraging algorithm[C]//Proceedings of 2009 4th international conference on bio - inspired computing. Beijing: IEEE, 2009: 1 - 4.
- [22] Majhi R, Panda G, Sahoo G. Efficient prediction of stock market indices using Adaptive Bacterial Foraging Optimization (ABFO) and BFO based techniques[J]. Expert Systems with Applications, 2009, 36(6): 10097 - 10104.
- [23] 曹天问, 雷秀娟. 改进 BFO 算法在函数优化问题上的应用[J]. 计算机工程与应用, 2013, 49(13): 175 - 179.
- [24] 雷秀娟. 群智能优化算法及其应用[M]. 北京: 科学出版社, 2012.
- [25] Luh G C, Lee S W. A bacterial evolutionary algorithm for the job shop scheduling problem[J]. Journal of the Chinese Institute of Industrial Engineers, 2006, 23(3): 185 - 191.
- [26] Biswas A, Dasgupta S, Das S, et al. Synergy of PSO and bacterial foraging optimization - a comparative study on numerical benchmarks[J]. Innovations in Hybrid Intelligent Systems, 2007, 44: 255 - 263.
- [27] Dasgupta A, Dasgupta S, Das S, et al. A synergy of differential evolution and bacterial foraging optimization for global optimization[J]. Neural Network World, 2007, 17(6): 607 - 626.
- [28] 姜飞, 刘三阳, 张建科, 等. 混沌系统控制与同步的细菌

- 觅食和差分进化混合算法[J]. 计算物理 2010 27(6):933-939.
- [29] Kim D H ,Abraham A ,Cho J H. A hybrid genetic algorithm and bacterial foraging approach [J]. Information Sciences , 2007 177(18):3918-3937.
- [30] 任佳星,黄晋英. 一种优化的细菌觅食算法用以解决全局最优化问题[J]. 科技信息 2012(2):44-45.
- [31] 周雅兰. 细菌觅食优化算法的研究与应用[J]. 计算机工程与应用 2010 46(20):16-21.
- [32] Tang W J ,Wu Q H ,Saunders J R. A bacterial swarming algorithm for global optimization[C]//Proc of IEEE congress on evolutionary computation. Singapore: IEEE 2007:1207-1212.
- [33] Chu Ying ,Mi Hua ,Liao Huilian ,et al. A fast bacterial swarming algorithm for high - dimensional function optimization [C]//Proc of IEEE congress on evolutionary computation. Hong Kong: IEEE 2008:3135-3140.
- [34] Bakwad K M ,Pattanaik S S ,Sohi B S ,et al. Hybrid bacterial foraging with parameter free PSO[C]//Proc of world congress on nature and biologically inspired computing. Coimbatore: IEEE 2009:1077-1081.
- [35] Mishra S ,Bhende C N. Bacterial foraging technique - based optimized active power filter for load compensation [J]. IEEE Transactions on Power Delivery 2007 22(1):457-465.
- [36] Kim D H ,Cho J H. Adaptive tuning of PID controller for multivariable system using bacterial foraging based optimization [C]//Proc of AWIC 2005. [s. l.]: [s. n. ],2005:231-235.
- [37] Kim D H ,Cho C H. Bacterial foraging based neural network fuzzy learning [C]//Proc of ICAI 2005. [s. l.]: [s. n. ], 2005:2030-2036.
- [38] Chatterjee A ,Matsuo F. Bacteria foraging techniques for solving EKF - based SLAM problems [C]//Proc of international control conference. Glasgow ,UK [s. n. ] 2006.
- [39] Chen Hanning ,Zhu Yunlong ,Hu Kunyuan. Multi - colony bacteria foraging optimization with cell - to - cell communication for RFID network planning [J]. Applied Soft Computing , 2010 10(2):539-547.
- [40] Acharya D P ,Panda G ,Mishra S ,et al. Bacteria foraging based independent component analysis [C]//Proc of international conference on computational intelligence and multimedia applications. Sivakasi: IEEE Press 2007:527-531.
- [41] Dasgupta S ,Biswas A ,Das S ,et al. Automatic circle detection on images with an adaptive bacterial foraging algorithm [C]//Proc of 2008 genetic and evolutionary computation conference. [s. l.]: [s. n. ] 2008:1695-1696.
- [42] 张 娜. 细菌觅食优化算法求解车间调度问题的研究 [D]. 长春: 吉林大学 2007.
- [43] Niu Ben ,Wang Hong ,Wang Jingwen ,et al. Multi - objective bacteria foraging optimization [J]. Advanced Theory and Methodology in Intelligent Computing 2013 116:336-345.

(上接第 38 页)

通过以上实例,对网站进行优化后,网站的排名上升了 180 多万名,主流搜索引擎收录量增加了一倍多, PV 从不到 2 000 增加到 4 000 多,给网站带来的效果是很明显的。

#### 4 结束语

通过对网站的关键词、标题、网站内容和结构进行合理调整,使网站更加符合搜索引擎的规则,吸引搜索引擎蜘蛛到网站更顺利地爬取更多的内容,对网站提高流量、提高搜索引擎排名大有益处。

但是,网站优化不仅仅是为了搜索引擎优化,其核心仍然是对用户的优化,也就是说优化的最终目的是为了吸引用户,因此应坚持用户导向而不是搜索引擎导向。需要从网站结构到具体网页标题、网页内容、关键词、域名、链接等方面进行综合考虑,将各种网站优化方法进行有效组合,才能达到良好效果。目前,分词技术比较成熟,如果将分词技术与关键词选择有效结合,对网站优化将起到事半功倍的效果。

参考文献:

[1] 袁津生. 搜索引擎原理与实践[M]. 北京: 北京邮电大学出

版社 2008.

- [2] 张 涛. 针对企业网站的搜索引擎优化策略[J]. 湖北工业大学学报 2009 24(5):61-63.
- [3] Holzner S. Eclipse cookbook [M]. USA: O'Reilly 2004.
- [4] 李晓霞. 搜索引擎优化技术的研究及其应用[D]. 石家庄: 河北科技大学 2012.
- [5] 于升峰. 网络搜索引擎优化技术研究[C]//第二十一届全国计算机信息管理学术研讨会论文集. 北京: 出版者不详, 2008.
- [6] 罗 婷,吕 歆. 现代网站 SEO 的方法与技巧[J]. 信息通信 2011(6):108-108.
- [7] Maddox J. Why search engines and directories[S]. 2005.
- [8] 余国秋. 搜索引擎优化的关键词选择评价研究[D]. 广州: 广东工业大学 2010.
- [9] Seb R. Optimal search engine marketing strategy [J]. International Journal of Electronic Commerce 2005 10(1):9-25.
- [10] 赵春燕. 网站优化深度研究[J]. 信息安全与技术 2012 3(1):61-63.
- [11] 莫云峰. 面向搜索引擎优化的企业网站开发策略研究 [D]. 杭州: 浙江工业大学 2009.
- [12] 焦 丽,路 波. 基于五大因素的搜索引擎优化研究[J]. 中国管理信息化 2009(17):120-122.
- [13] 张 霄. 搜索引擎优化与营销的分析与研究[D]. 北京: 北京邮电大学 2009.