

基于仿生理理论的几种优化算法综述

李雪梅^{1,2}, 张素琴¹

(1. 清华大学 计算机科学与技术系, 北京 100084; 2. 山西大学 工程学院 信息工程系, 太原 030013)

摘要: 简要介绍了目前比较流行的三种新型仿生优化算法, 即人工鱼群算法、免疫算法和禁忌搜索算法, 就这些算法的特点和异同进行了分析, 并对它们的发展进行了进一步的阐述, 提出了今后的研究方向。

关键词: 优化算法; 人工鱼群算法; 免疫算法; 禁忌搜索算法

中图分类号: TP311 **文献标志码:** A **文章编号:** 1001-3695(2009)06-2032-03

doi:10.3969/j.issn.1001-3695.2009.06.009

Overview of some optimization algorithm based on bionic theory

LI Xue-mei^{1,2}, ZHANG Su-qin¹

(1. Dept. of Computer Science & Technology, Tsinghua University, Beijing 100084, China; 2. Dept. of Information Engineering, College of Engineering, Shanxi University, Taiyuan 030013, China)

Abstract: The article surveyed three new-style bionic optimization algorithms, artificial fish-swarm algorithm, immune algorithm, and tabu search algorithm. Discussed their characteristics, similarities, differences, and development, at last pointed out the direction of researching.

Key words: optimization algorithm; artificial fish-swarm algorithm; immune algorithm; tabu search algorithm

20 世纪 50 年代中期创立了仿生学, 人们从生物进化的机理中受到启发, 提出了许多用于解决复杂优化问题的新方法, 如近年来提出的人工鱼群算法、免疫算法、禁忌搜索算法等, 取得了一系列较好的实验结果。

人工鱼群算法^[1]在对动物群体智能行为研究的基础上提出一种新型仿生优化算法, 根据在一片水域中, 鱼往往能自行或尾随其他鱼找到营养物质多的地方, 因而鱼生存数目最多的地方一般就是本水域中营养物质最多的地方这一特点, 构造人工鱼来模仿鱼群的觅食、聚群及追尾行为, 从而实现寻优。

免疫算法是基于生物免疫系统基本机制, 模仿了人体的免疫系统, 是生物免疫抗体产生记忆学习机理的产物, 这方面的研究是从 20 世纪 80 年代中期的免疫学研究发展而来的。90 年代初, Bersini H 等人^[2]首次使用人工免疫算法来解决优化问题。

禁忌搜索算法最早是由 Glover^[3]提出的, 它是一种局部搜索的扩展, 模拟人类具有记忆功能的寻优特征。该算法通过局部领域搜索机制和相应的禁忌准则来避免重复迂回搜索, 并通过期望准则来释放一些被禁忌的优良个体, 进而保证多样化的有效搜索, 以此来最终实现全局优化。

1 三种算法的基本思想

1.1 人工鱼群算法

鱼群典型的行为描述如下:

a) 觅食行为。一般情况下, 鱼在水中随机地自由游动, 当发现食物时, 则会向食物逐渐增多的方向快速游去。

b) 聚群行为。鱼在游动过程中, 为保证自身的生存和躲避危害, 会自然地聚集成群。鱼聚群时遵守的规则有: 分隔规

则, 尽量避免与邻近伙伴过于拥挤; 对准规则, 尽量与邻近伙伴的平均方向一致; 内聚规则, 尽量朝邻近伙伴中心移动。

c) 追尾行为。当鱼群中的一条或几条鱼发现食物时, 邻近的伙伴会尾随其快速到达食物点。

d) 随机行为。随机选择当前状态以外的另一个状态, 目的就是扩大搜索范围, 有利于跳出局部极值。

e) 约束行为。在寻优过程中, 由于聚群行为、随机行为等操作, 可能出现不是可行解的情况, 这时需要加入相应的约束条件来调整, 使它们由无效状态变为可行解。

f) 公告板。算法中设立一个公告板来记录最优状态。每条人工鱼在行动一次后就将自身当前状态与公告板进行比较, 如优于公告板则用自身状态取代公告板状态。

g) 移动策略。根据所要解决的问题性质, 对人工鱼当前所处的环境进行评价, 从而选择一种合适的行为策略。可以按照进步最快的原则或进步即可的原则来选择, 例如先进行聚群行为, 如果没有进步再进行追尾行为, 如果还没有进步则进行觅食行为, 依然没有进步就进行随机行为。

人工鱼群算法的基本步骤如下:

a) 产生初始鱼群。设置初始公告板最优人工鱼状态记录为空, 在搜索域内随机产生 N 个人工鱼个体, 组成初始群体。

b) 公告板赋初值。分别计算各人工鱼状态的食物浓度, 选择最大食物浓度的人工鱼个体状态记录到公告板内。

c) 行为选择。各人工鱼分别模拟聚群和追尾行为, 缺省为觅食行为, 然后选择最优的作为实际执行行为。

d) 公告板。各人工鱼每行动一次, 则与公告板记录进行比较, 若优于公告板记录, 则以当前最优的记录替换公告板记录。

e) 条件判断。判断公告板最优人工鱼状态连续不变化或

收稿日期: 2008-09-17 修回日期: 2008-11-17

作者简介: 李雪梅(1962-), 女, 山西太原人, 副教授, 清华大学访问学者, CCF 高级会员, 主要研究方向为数据库、数据挖掘(gmiao@163.com); 张素琴(1945-), 女, 教授, 主要研究方向为程序设计语言设计与实现、编译优化等。

变化极少的迭代次数是否已达到预设的连续不变化的最大值,若是执行下一步;否则执行g)。

f)随机行为。随机选择当前公告板状态以外的另一个状态,形成新的鱼群,然后执行d)。

g)终止条件判断。判断是否满足终止条件,若不能满足终止条件,则转向c),进行下一步鱼群优化过程;若满足终止条件继续以下步骤。

h)算法结束。当前公告板中的记录即为问题的最佳解,输出公告板记录,算法终止。

1.2 免疫算法

为了掌握和充分利用免疫系统的强大防御能力,基础医学对免疫系统的各种优良特性和机理进行了深入细致的研究并取得了重大成果。生物免疫系统是一个具有防御能力的高效信息处理系统,已经得到人们的普遍认可。研究表明,当病菌侵入时,免疫系统首先要识别这一抗原,才能产生对应的抗体消灭它。面对大量不同种类的抗原,免疫系统必须先识别再消灭,这就是免疫系统识别多样性的特性。免疫算法正是基于这种生物免疫系统的基本机制开发形成,它模仿了免疫系统中抗体与抗原识别、结合及抗体产生的过程,并利用免疫系统的多样性和记忆机理抽象得到。在用免疫算法求解优化问题时,满足约束条件的最优解即是抗原;候选解即是抗体,用亲和力来描述抗体与抗原间的匹配程度。其基本步骤如下:

a)定义抗原。输入问题的目标函数和约束条件,作为免疫算法的抗原。

b)产生初始抗体群体。将抗体的群体定义为问题的解,抗体与抗原之间的亲和力对应问题解的评估,即亲和力越高,说明解越好。

c)计算亲和力。计算抗体与抗原之间的亲和力,将与抗原最高有亲和力的抗体作为记忆细胞保留在记忆细胞库中,以替换亲和力较低的抗体。

d)克隆选择。与抗原有较大亲和力的抗体优先得到繁殖,抑制浓度过高的抗体(避免局部最佳解),淘汰低亲和力的抗体。为了获得多样性(追求最佳解),抗体在克隆时经历变异。在克隆选择中,抗体促进和克隆删除对应优化解的促进与非优化解的删除等。

e)评估新的抗体群体。若不能满足终止条件,则转向c),重新开始;否则,当前的抗体群体即为问题的最佳解。

在使用免疫算法解决问题时,一般各步骤有对应形式。抗原对应要解决问题数据输入,如目标、约束;抗体对应问题解,如优化问题的最优解;亲和力对应解的评估、结合强度的评估;克隆选择对应优化解促进、非优化解的删除等;新抗体产生对应优化解的出现等。对应内容因解决问题对象不同而内容各异。

1.3 禁忌搜索算法

禁忌搜索算法是一种局部搜索修正算法,模拟人类具有记忆功能的寻优特征。其基本思想是假设给出一个解和一个邻域,首先在这一邻域中找出一个最好的局部解作为ans,令当前最优解ans⁺=ans;然后再在这个当前解的邻域中搜索最好的局部解ans'。但是,这个最好解有可能与前一次的相同。为了避免这种循环现象,设置一个记忆近期操作的禁忌表,如果当前操作是记录在禁忌表中的操作,那么这一操作将被禁止;否则用ans'代替ans。此时ans'点的目标函数值可能劣于ans点的目标函数值,所以禁忌搜索算法可以接受劣解,但是对于那些特别有意义的操作,如改善了目前找到的最优解,可以运

用期望准则进行解禁,以便迅速找到更好的解。

该算法的基本步骤如下:

a)给定算法参数,随机产生初始解x,置禁忌表为空。

b)判断算法终止条件是否满足。若是,则结束并输出优化结果;否则,继续以下步骤。

c)利用当前解x的邻域函数产生其所有(或若干)邻域解,并从中确定若干候选解。

d)对候选解判断藐视准则是否满足。若满足,则用满足藐视准则的最佳状态y替代x成为新的当前解,即x=y,并用与y对应的禁忌对象替换最早进入禁忌表的禁忌对象,同时用y替换最优状态,然后转f);否则,继续以下步骤。

e)判断候选解对应各对象的禁忌属性,选择候选解集中非禁忌对象对应的最佳状态为新的当前解,同时用与之对应的禁忌对象替换最早进入禁忌表的禁忌对象元素。

f)转步骤b)。

2 三种算法的特点与异同

2.1 三种算法的特点

人工鱼群算法主要是利用了鱼的觅食、聚群和追尾行为,从构造单条鱼的底层行为做起,通过鱼群中各个个体的局部寻优从而以全局最优值在群体中突现出来为目的。该算法具有良好的克服局部极值取得全局极值的能力,并且算法中只使用目标函数的函数值,无须其梯度值等特殊信息,对搜索空间具有一定的自适应能力。算法对初值无要求,对各参数的选择也不敏感。但该算法仅仅获取的是系统的满意解域,对于精确解的获取还需要进行适当的改进,所以又有一些改进的算法被研究出来。

免疫算法的主要特点是分布式、自适应学习和采用并行算法。它模仿了人体的免疫系统,即为了有效地提供防御功能,必须具有识别能力,将自己的分子和细胞与抗原区分开,除此之外还需要有记忆功能。根据这些特点,免疫算法是在记忆单元基础上进行,所以能够确保快速收敛于全局最优解;它有计算亲和力的程序,从而保证了算法的多样性;通过促进或抑制抗体的产生,体现了免疫反应的自我调节功能。

禁忌搜索算法的特点是采用了禁忌技术。禁忌就是禁止重复前面的工作,它避免了局部邻域搜索陷入局部最优的主要不足,用一个禁忌表记录下已经到达过的局部最优点,在下次搜索中,就利用禁忌表中的信息不再或有选择地搜索这些点,以跳出局部最优。禁忌搜索算法具有灵活的记忆功能和藐视准则,并且在搜索过程中可以接受劣解,所以具有较强的“爬山”能力,搜索时能够跳出局部最优解,转向解空间的其他区域,从而增强获得更好的全局解的概率。禁忌搜索算法是一种局部搜索能力很强的全局迭代寻优算法。

2.2 三种算法的比较分析

1)相同点

a)三种算法都是随机搜索算法,其搜索过程具有非确定性,都是利用仿生理理论的记忆机制加强局部搜索或抑制早熟收敛,从而使算法快速收敛到全局最优解。例如人工鱼群算法的公告板、免疫算法的记忆细胞库和禁忌搜索算法的禁忌表就是这个作用,所以它们都具有避免陷入局部最优以收敛于全局最优(或次优)的能力。

b)三种算法都是从由多个个体所组成的初始种群起始的种群空间中的迭代过程,其搜索过程的每一步利用了种群中各

个体所提供的信息,这些信息可避免一些不必要搜索的点或区域,提高了搜索效率,在更大程度上避免了陷入局部极值。

c) 三种算法的鲁棒性都较强。由于仿生优化算法不依赖于优化问题本身的严格数学性质和所求解本身的结构特征,在求解不同问题时,只需对基本算法模型稍加修改,便可以应用于其他问题。

d) 三种算法都具有并行性,易于并行实现。仿生优化算法的并行性主要表现在:(a) 仿生计算是内在并行的,即仿生优化算法本身非常适合大规模并行;(b) 演化计算的内涵并行性,这使得仿生计算能以较少的计算获得较大的收益。

e) 三种算法都很容易与多种启发式算法结合,以改善算法的性能。

2) 不同点

人工鱼群优化算法具有良好的克服局部极值、取得全局极值的能力,使用灵活,收敛速度快。但是解决离散优化问题时,该算法具有保持探索与开发平衡的能力较差和算法运行后期搜索盲目性较大等缺点,影响了该算法搜索的质量和效率。

免疫算法虽然能很好地获得全局最优解,并具有较快的收敛速度,但需要用户设置的参数较多,使算法对问题的依赖性较强、泛化能力较差;其智能性也没有其他几种仿生算法高,改进起来较其他仿生算法麻烦一些。

禁忌搜索算法虽然算法结构简单、迭代次数少、到达最优点的效率较高,但它的最大缺陷是对于初始解具有较强的依赖性。一个较好的初始解可使禁忌搜索在解空间中搜索到更好的解,而一个较差的初始解则会降低禁忌搜索的收敛速度,搜索到的解也相对较差;此外,迭代搜索过程是串行的,仅是单一状态的移动,而非并行搜索。

2.3 三种算法的实例

下面通过一个典型的旅行商问题(traveling salesman problem, TSP)对这三个算法的性能作一些简要的阐述。

李晓磊等人^[13]对 TSP 进行求解时得出的结论是人工鱼群算法具有较快的收敛速度,但随着问题规模的扩大其寻优的精度会有所降低。周辉等人^[14]对 TSP 进行求解,得出的结论是免疫算法具有较好的全局搜索能力,是全局收敛的,在解决小规模问题时优势明显。贺一等人^[15]对 TSP 进行求解,得出的结论是禁忌搜索算法的寻优下降过程非常快,在实际工作中若只满足于求出满意解,即亚优解,则该算法将是一个强有力的搜索工具,但它最大的缺点就是上面提到的解的质量与初始解有关,而且当求解大规模 TSP 时运行效率低。

从以上实例运算得出的结论来看,这三种算法在解决 TSP 时得出了比较理想的结果,但也都存在着随着问题规模的扩大而精度下降的问题,很难准确地说出哪种算法更具优势。所以它们虽然在目前的一些应用中已表现出相当好的性能,但其研究都还处于初级阶段,不论理论还是应用都尚未成熟。表 1 给出了这三种算法到目前为止的研究现状。纵观近年来的研究成果,试图使用单一的方法求解 TSP 的研究在减少,而使用多种方法结合,互相取长补短的研究比较多,也必将成为今后研究的主流。

表 1 三种算法目前的研究状况

方法	人工鱼群算法	免疫算法	禁忌搜索算法
理论	只有很少的成果	已有一些成果	已有一些成果
应用与实验	只有很少的成果	已有一些成果	已有一些成果
软件包	无	无	已有一些成果
复杂性	无	无	已有一些成果
收敛性	只有很少的成果	已有一些成果	已有一些成果

3 结束语

上面就模拟自然现象和人类思维的三种仿生随机优化算法进行了论述,这三种算法存在着共性和差异,但它们都能很好地解决以往传统的数学方法很难解决的智能优化问题,目前已成为一个研究解决实际问题的热点。但这三种算法各有其优缺点,往往只用一种算法来解决问题有一定的局限性,所以现在又有很多算法是将仿生算法的两种或两种以上综合起来应用到实际工作中去,已经有一些国内外学者作了一些有益的尝试,并收到了很好的效果。总之,仿生优化算法的研究还处于初步发展研究阶段,但随着对其研究的深入以及与其他智能方法相结合,必将成为智能优化、智能控制、模式识别、数据挖掘和计算机安全等领域研究应用的有力工具。

参考文献:

[1] 李晓磊,邵之江,钱积新.一种基于动物自治体的寻优模式:鱼群算法[J].系统工程理论与实践,2002,22(11):32-38.

[2] BERSINI H, VARELA F. Hints for adaptive problem solving leaned from immune network [M]. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag, 1991:343-354.

[3] GLOVER F. Tabu search: part I [J]. ORSA Journal on Computing, 1989, 1(3):190-206.

[4] GLOVER F. Tabu search: part II [J]. ORSA Journal on Computing, 1990, 2(1):4-32.

[5] 李涛. 计算机免疫学[M]. 北京:电子工业出版社,2004.

[6] 肖人彬,曹鹏彬,刘勇. 工程免疫计算[M]. 北京:科学出版社,2007.

[7] 李茂军,罗安,童调生. 人工免疫算法及其应用研究[J]. 控制理论与应用,2004,21(2):153-157.

[8] HOFMEYER S A, FORREST S. Immunity by design: an artificial immune system[C]//Proc of GECCO'99. San Francisco: Morgan Kaufmann Publishers, 1999:1289-1296.

[9] 莫宏伟. 人工免疫系统原理与应用[M]. 哈尔滨:哈尔滨工业大学出版社,2002.

[10] CHELOUAH R, SIARRY P. Tabu search applied to global optimization [J]. European Journal of Operational Research, 2000, 123(2):256-270.

[11] FRANZE F, SPECIALE N. A tabu-search-based algorithm for continuous multimodal problems [J]. International Journal for Numerical Methods in Engineering, 2001, 50(3):665-680.

[12] 孙艳丰,戴春荣. 几种随机搜索算法的比较研究[J]. 系统工程与电子技术,1998,20(2):43-47.

[13] 李晓磊,路飞,田国会,等. 组合优化问题的人工鱼群算法应用[J]. 山东大学学报,2004,34(5):64-67.

[14] 周辉,李岭,胡佳庆,等. 旅行商问题的免疫算法[J]. 长沙电力学院学报:自然科学版,2003,18(2):16-20.

[15] 贺一,刘光远. 禁忌搜索算法求解旅行商问题研究[J]. 西南师范大学学报,2002,27(3):341-345.

[16] GAMBOA D, REGO C, GLOVER F. Data structures and ejection chains for solving large-scale traveling salesman problems [J]. European Journal of Operational Research, 2005, 160(1):154-171.

[17] 刘于江,喻泽峰. 一种求解旅行商问题的禁忌搜索算法[J]. 江西理工大学学报,2006,27(4):38-40.

[18] ALISANTOSO D, KHOO L P, JIANG P Y. An immune algorithm approach to the scheduling of a flexible PCB flow shop [J]. Advanced Manufacturing Technology, 2003, 22(11-12):819-827.

[19] WANG Dong-dong, ZHOU Yong-quan, CAO Dun-qian. Artificial fish-school algorithm for solving nonlinear equations [J]. Journal of Information & Computational Science, 2007, 4(1):255-264.

[20] 计明军. 若干随机性全局优化算法的研究[D]. 大连:大连理工大学研究生院,2004.