

文章编号: 1001-0920(2002)01-0033-04

混合优化策略统一结构的探讨

王 凌, 郑大钟

(清华大学 自动化系, 北京 100084)

摘要: 算法混合已成为提高优化性能和效率的一个重要而有效的途径。围绕 meta-heuristic 算法, 通过对混合优化算法及其结构的归类与综述, 提出了混合优化算法的一种统一结构, 并对其若干问题进行分析探讨, 为混合算法的设计与应用提供一定的指导性原则。

关键词: 混合优化算法; 统一结构; meta-heuristic 算法

中图分类号: O 232

文献标识码: A

Study on unified framework of hybrid optimization strategies

WANG Ling, ZHENG Da-zhong

(Department of Automation, Tsinghua University, Beijing 100084, China)

Abstract: Hybridization of algorithms is an important and effective way to improve optimization performances and efficiency. By classifying and summarizing the structures of hybrid optimization algorithms centered on meta-heuristic algorithms, a unified framework for hybrid algorithms is proposed and some key issues are discussed, which provide certain principled guidelines for the design and application of hybrid algorithms.

Key words: hybrid optimization algorithms; unified framework; meta-heuristic algorithms

1 引 言

meta-heuristic 算法^[1], 如模拟退火、遗传算法、禁忌搜索、进化规划、进化策略、混沌搜索和蚁群系统等^[2-8], 以其高效的优化性能、无需问题特殊信息等优点, 受到各领域广泛的关注和应用, 并成为解决 NP-hard 问题的有力工具^[9, 10]。尽管它们的收敛性在理论上得到了研究^[11-14], 但与实际应用尚存在差距, 当问题的规模和复杂度增加时, 单一算法的优化能力大为削减, 要确定合适的算法参数也是非常困难的^[15, 16]。由于优化算法的多样性, 对具体问题应用何种算法往往取决于研究人员的经验和爱好。探

讨各种算法的适用域是一项庞大而困难的工作, 而基于自然机理提出新的优化算法也并非易事。鉴于这种现状, 算法混合的思想已成为提高算法优化性能的一个重要而有效的途径, 其出发点是使单一算法互相取长补短, 产生更好的优化能力和效率。

近年来, 混合优化算法得到相当多的研究与应用, 应用涉及电路设计、生产调度、神经网络、控制工程、通讯工程、交通运输等领域。混合算法种类繁多, 但缺少统一的结构和指导, 在算法结构、混合方式以及子算法的选择上存在一定的盲目性。本文提出了混合算法的一种统一结构, 并对其若干问题进行分析探讨, 为混合算法的设计与应用提供一定的指

收稿日期: 2000-09-14; 修回日期: 2000-11-16

基金项目: 国家自然科学基金项目(60074012); 国家 973 基础研究项目(G1998020310)

作者简介: 王凌(1972—), 男, 江苏武进人, 博士, 从事智能优化算法的研究; 郑大钟(1935—), 男, 浙江绍兴人, 教授, 博士生导师, 从事 HDS 和调度的研究。

导性原则。

2 混合优化算法的结构分类

近年来学术界提出了类型和名称繁多的混合算法,混合优化算法也成为一些学术会议专门的研讨方向。“No Free Lunch”定理说明,没有一种方法对任何问题都是最有效的,即各方法均有其相应的适用域,而算法的混合正是拓宽其适用域和提高其性能的有效手段。Davis^[3]还指出“hybridize where possible”。目前,混合算法的结构类型主要可归纳为串行、镶嵌、并行和混合结构。

2.1 串行结构

串行结构是一种最简单的结构,如图 1 所示。串行结构的混合算法就是吸收不同算法的优点,用一种算法的搜索结果作为另一种算法的起点依次对问题进行优化,其目的主要是在保证一定优化质量的前提下提高优化效率。例如,王凌^[17]利用 2-OPT 操作得到的解作为 SA 和 GA 的初始解来优化 TSP 问题;Mahfoud 等^[18]用 SA 对进化算法得到的解进行改善;Wong 等^[19]将 SA 和模糊集方法融入 GA 以解决短期调度问题;王凌等^[20]依次利用 BP 和 SA 进行前向神经网络的学习;Blue 等^[21]依次用基于线性规划的下降法和 TS 求解函数的极值点;Reeves^[22]利用 NEH 算法得到的解作为 GA 求解 flowshop 问题的初始解;Chowdhury 等^[23]依次利用梯度下降法和动态隧道法进行函数的全局优化;Choi 等^[24]在求解化工过程中的大规模非线性规划问题时,先用 SA 搜索问题的可行解,再用广义梯度下降法进行局部最优化。设计串行结构的混合算法需要解决的问题主要是确定算法的转换时机。

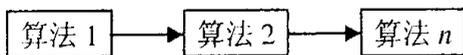


图 1 混合算法的串行结构

2.2 镶嵌结构

混合算法的镶嵌结构如图 2 所示,它表现为一种算法作为另一种算法的优化操作或用作搜索性能的评价器。前者混合的思想主要是鉴于各种算法优

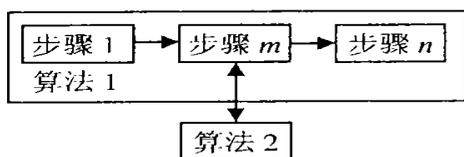


图 2 混合算法的镶嵌结构

化机制的差异,尤其是互补性,进而克服单一算法早熟和陷入局部极小。例如,王凌等^[14, 25~28]将 SA 嵌入 GA 来构造混合算法,解决了加工调度、TSP、神经网络设计、控制器设计等问题,算法通过控制初温来控制算法的初始搜索行为,控制温度的高低来控制算法突跳能力的强弱,控制温度的下降速率来控制突跳能力的下降幅度,控制抽样次数来控制各温度下的搜索能力,这种可控性增强了算法在解空间中的探索能力和效率,增强了克服 GA 早熟收敛的能力。Press 等^[29]将单纯形搜索用于产生 SA 的新状态来进行函数优化。后者混合的目的主要是解决单一算法计算目标值的复杂性,评价器的选取将影响整个优化过程的时间性能。例如 Coit 等^[30]利用 GA 来搜索冗余分配问题的解,神经网络用于估计系统的可靠性;Yen 等^[31]将单纯形搜索嵌入 GA 对 Metabolic 系统进行建模,克服 GA 对模型评价的复杂性;Shi 等^[32]利用筑巢分区法将搜索定位在最有希望的可行子区域上,区域的希望指标则采用 GA 进行评价。设计镶嵌结构的混合算法需要解决的问题主要是子算法与嵌入点的选择。

2.3 并行结构

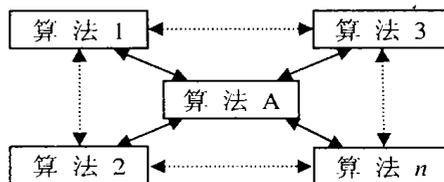


图 3 混合算法的并行结构

混合算法的并行结构如图 3 所示,它包括同步式并行、异步式并行和网络结构。前两种方式中有一个算法作为主过程(算法 A),其它算法作为子过程,子过程间一般不发生通讯。同步方式中主过程与子算法是一种主仆关系,各子算法的搜索过程相对独立,而且可以采纳不同的搜索机制,但与主过程的通讯必须保持同步。异步方式中各子算法通过共享存储器彼此无关地进行优化,与主过程的通讯不受其它子算法的限制,其可靠性有所提高。网络方式中各算法分别在独立的存储器上执行独立的搜索,算法间的通讯是通过网络相互传递的。由于网络式结构纯粹是一种并行实现方式,本文不将其纳入混合算法框架。例如, Huntley 等^[33]鉴于 GA 的内在并行性,将它与局部搜索法构成主仆结构和网络结构。

鉴于问题的大规模性,分解策略是一种比较有效的次优化手段^[10, 34],有利于利用空间资源克服问题求解的复杂性。所谓分解与综合,就是将原问题分

解为若干小规模子问题,然后用有效方法分别求解各问题的最优解,并用相应的综合策略构成原问题的整体解,基于这种分解策略的优化过程很容易并行化实施。Cesari^[34]以 TSP 为例对这种分解策略的性能进行了概率分析。问题分解与综合以及进程间的通讯问题是设计并行结构的混合算法需解决的主要问题。

3 混合优化算法的统一结构及其分析

基于上述综述与讨论,在此提出混合算法的一种统一结构,如图 4 所示。其中,纵向的串行混合优化过程(SHOP)是算法在进程层次上的处理,由此可构造串行或镶嵌式混合结构;横向的分解和综合过程则是出于并行计算和空间层次上的“Divide and Conquer^[34]”的考虑,由此可构造并行混合结构;最后对整体解的进一步优化是对分解策略的补充,又体现为混合优化的串行结构。显然,若对此结构的各环节采用不同的处理方案,则可设计出不同类型的混合策略。

下面对基于统一结构设计混合算法需解决的主

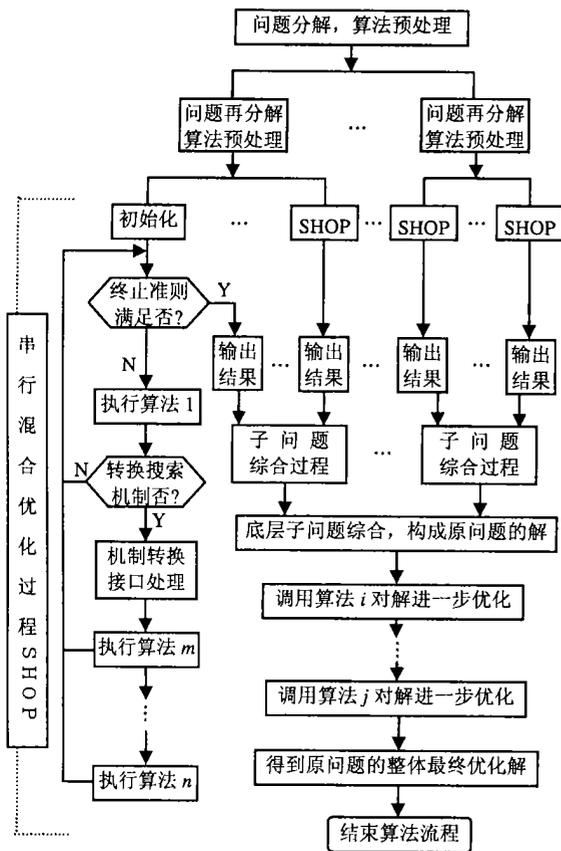


图 4 混合优化算法的统一结构

要问题进行简要探讨。

1) 分解与综合。通常,分解的层次数与问题的规模和所采纳的算法有关。实际求解时要求子问题的规模适合于所采纳的子算法进行高效优化,同时应考虑到各子问题的分布能保证逆向综合时取得较好的优化度。

2) 接口与混合时机。当一种算法稳定后即可切换到下一种算法,然而算法稳定往往意味着搜索过程已陷入局部极小。通常的做法是当一种算法无助于明显改善整个算法的优化性能时,例如优化质量长时间得不到显著提高,则可考虑切换到另一种搜索策略。目前转换时机的设计大多还是“经验主义”,它仍是个 open 问题。至于进程间优化信息、控制参数等数据的通讯问题,原则上属技术层面的问题,应视所用算法、编程技术和计算机类型,为提高优化效率和质量而做出具体的设计。

3) 子算法选择。通常要求采用的各种子算法与搜索操作在机制和结构上具有互补性,使算法整体表现出高效的全空间探索和局部趋化能力。例如,并行搜索与串行搜索机制相结合,全局遍历性与局部贪婪搜索相混合,大范围迁移与小范围摄动的搜索结构相结合等。

4) 问题的特征分析与问题信息的引入。Fredman 等^[35]通过分析 TSP 的数据结构来指导设计基于有效邻域结构的启发式方法;Kirkpatrick 等^[36]对 TSP 的优化曲面进行分析,表明所有局部极小聚集在整体解空间中称为“Big Valley”的很小一区域内,这样可以设计混合算法,首先搜索“Big Valley”,然后在相应区域内搜索最优解。问题的特征分析对算法的设计或选取具有指导意义,问题信息和规则性搜索的引入对特定问题的求解是非常必要的。

例如大规模 TSP 的求解,鉴于问题整体求解的复杂性,设计算法时可首先利用聚类的方法将问题分解为若干子问题,然后用启发式方法快速得到子问题的近似解,并以其为初始状态利用 GA, SA 和 TS 等方法 and 规则性搜索,在一定的混合方式下进行指导性优化,待各子问题求解完毕,用邻近原则确定问题的整体解,并用局部改进算法对其做进一步加工,以得到问题的最终解。

4 结 语

通过对混合优化算法及其结构的综述,本文在提出混合算法统一结构的同时,对其存在的若干关

键问题做了初步探讨,为混合算法的设计和应用提供一定的指导性原则。需要指出,本文提到的混合方法还很有限,许多问题的解决方案也是原则性的;至于开发实效混合算法并在实际应用中有所突破,尚需进一步研究,这也是我们下一步要做的工作。

参考文献(References):

- [1] 王凌,郑大钟. Meta-heuristic 算法研究进展[J]. 控制与决策(Control and Decision), 2000, 15(3): 257-262.
- [2] Kirkpatrick S, Gelatt C D, Vecchi M P. Optimization by simulated annealing[J]. Science, 1983, 220: 671-680.
- [3] Davis L. Handbook of genetic algorithm[M]. New York: Van Nostrand Reinhold, 1991.
- [4] Glover F. Tabu search: Part I[J]. ORSA J on Computing, 1989, 1(3): 190-206.
- [5] Fogel D B. Applying evolutionary programming to selected traveling salesman problems[J]. Cyb and Syst, 1993, 24(1): 27-36.
- [6] Fogel D B. An introduction to simulated evolutionary optimization[J]. IEEE Trans NN, 1994, 5(1): 3-14.
- [7] Zhou C S, Chen T L. Chaotic annealing for optimization[J]. Phys Rev E, 1997, 55(3): 2580-2587.
- [8] Dorigo M, Gambardella L M. Ant colony system: A cooperative learning approach to the traveling salesman problem[J]. IEEE Trans on Evol Comp, 1997, 1(1): 53-66.
- [9] 王凌,郑大钟. TSP 问题次优化求解方法的比较[J]. 控制与决策(Control and Decision), 1998, 13(1): 79-83.
- [10] 王凌,郑大钟. TSP 及其基于 Hopfield 神经网络优化的研究[J]. 控制与决策(Control and Decision), 1999, 14(6): 669-674.
- [11] Mitra D, Romeo F, Vincentelli A S. Convergence and finite-time behavior of simulated annealing[J]. Adv Appl Prob, 1986, 18(3): 747-771.
- [12] Rudolph G. Convergence properties of canonical genetic algorithms[J]. IEEE Trans NN, 1994, 5(1): 96-101.
- [13] Faigle U, Kern W. Some convergence results for probabilistic tabu search[J]. ORSA J on Comp, 1992, 4(1): 32-37.
- [14] 王凌,郑大钟. 一类 GASA 混合策略及其收敛性研究[J]. 控制与决策(Control and Decision), 1998, 13(6): 699-672.
- [15] Park M, Kim Y. A systematic procedure for setting parameters in simulated annealing algorithms[J]. Comp Opns Res, 1998, 25(3): 207-217.
- [16] Grefenstette J J. Optimization of control parameters for genetic algorithms[J]. IEEE Trans SMC, 1986, 16(1): 122-128.
- [17] 王凌. 混合优化策略和神经网络中若干问题的研究[D]. 北京: 清华大学自动化系, 1999.
- [18] Mahfoud S W, Goldberg D E. Parallel recombinative simulated annealing: A genetic algorithm[J]. Parallel Comp, 1995, 21(1): 1-28.
- [19] Wong K P, Wong Y W. Combined genetic algorithm/simulated annealing/fuzzy set approach to short-term generation scheduling with take-or-pay fuel contract[J]. IEEE Trans Pow Syst, 1996, 11(1): 128-136.
- [20] 王凌,郑大钟. 前向网络的两种混合学习策略[J]. 清华大学学报(J of Tsinghua Univ), 1998, 38(9): 95-97.
- [21] Blue J, Bennett K. Hybrid extreme point tabu search[J]. Euro J of Oper Res, 1998, 106(2/3): 676-688.
- [22] Reeves C R. A genetic algorithm for flowshop sequencing[J]. Comp Opns Res, 1995, 22(1): 5-13.
- [23] Roy Chowdhury P, Singh Y P, Chansarkar R A. Hybridization of gradient decent algorithms with dynamic tunneling methods for global optimization[J]. IEEE Trans SMC, 2000, 30(3): 384-390.
- [24] Choi S H, Ko J W, Manousiouthakis V. A stochastic approach to global optimization of chemical processes[J]. Comp Chem Eng, 1999, 23(9): 1351-1356.
- [25] 王凌,郑大钟. 径向基函数网络结构的混合优化策略[J]. 清华大学学报(J of Tsinghua Univ), 1999, 39(7): 50-53.
- [26] Wang L, Zheng D Z. Global derivative-free training for feed-forward neural networks[A]. The 3rd Asian Control Conf[C]. Shanghai, 2000. 1570-1575.
- [27] 郑学哲,王凌,金国藩,等. 实现 ICF 均匀照明的二元光学器件的混合优化设计[J]. 中国激光 A (Chinese of Laser A), 1998, 25(3): 265-269.
- [28] Wang L, Zheng D Z. An effective optimization strategy for job-shop scheduling problems[J]. Comp & Oper Res, 2001, 28(6): 585-596.
- [29] Press W H, Teukolsky S A. Simulated annealing optimization over continuous spaces[J]. Comp in Phy, 1991, 5(4): 426-429.
- [30] Coit D W, Smith A E. Solving the redundancy allocation problem using a combined neural network/genetic algorithm approach[J]. Comp Opns Res, 1996, 23(6): 515-526.
- [31] Yen J, Liao J C, Bogju L, et al. A hybrid approach to modeling metabolic systems using a genetic algorithm and simplex method[J]. IEEE Trans SMC, 1998, 28(2): 173-191.

(下转第 40 页)

这里的周期性并非指价格涨落区间的周期变化。对于分形时间序列,前面观测值会对后面观测值产生影响。周期性指的是某个观测值对后面值产生影响的最大时间长度。上证综合指数的相关统计周期为 120 个交易日,对 6 股 $\ln(R/S) - N$ 和 V 统计量的分析,各股周期较为接近,基本上在 105 个交易日左右。即这些股票现在的价格会对以后 105 个交易日左右时间内的价格产生影响,而这之后的股票价格与现在的价格是相互独立的。

2) 证明我国股票价格具有分形结构与持久性

以各股周期长度为分界点计算赫斯特指数 H , 计算结果及各检验系数如表 1。在周期长度内,各股的赫斯特指数 H 均在 0.7 左右,且回归拟合效果较好(R^2 和 F 值均较大),说明 H 是较可靠的。由前面的分析知,当 $H > 0.5$ 时,时间序列具有分形结构和较强的持久性,各观测值之间互不独立,前面的值会对后面的值产生影响,收益率分布是一个有偏的随机过程,故这些个股具有明显的持久性和分形结构。从各股周期长度外的赫斯特指数 H 回归计算结果看,各检验系数均不是很好,但赫斯特指数 H 基本上在 0.5 左右。此时时间序列相关性很小,基本上呈随机游走过程。

3) 用赫斯特指数比用方差度量风险更为合理

传统资本市场理论用方差来度量风险,是建立在价格收益呈随机游走假定基础上的。对于收益不呈随机游走过程的股票而言,方差不能有效地度量实际价格风险,而赫斯特指数 H 则能度量时间序列参差不齐的程度。 H 值越低,系统中的噪声越多;而高 H 值则显示出更少的噪声、更强的持久性和更为清楚的趋势,风险当然也更小^[1]。表 2 是各股票对数收益率标准差与赫斯特指数 H 的比较。用传统的收益率标准差分析风险,结论按风险大小排列,依次是:青岛海尔、青岛国货、青岛啤酒、青岛东方、青

表 2 各个股的标准差与赫斯特指数比较

股票名称	对数收益率		
	均值	标准差	H
青岛啤酒	0.023 84	0.759 8	0.722
青岛海尔	0.021 34	0.808 9	0.707
青岛国货	0.031 06	0.790 2	0.785
青岛东方	0.015 46	0.738 5	0.685
海信电器	0.023 58	0.575 1	0.690
青岛双星	0.031 35	0.616 0	0.746

岛双星、海信电器;而按赫斯特指数 H 排列,依次是:青岛东方、海信电器、青岛海尔、青岛啤酒、青岛双星、青岛国货。后者更为接近实际情况。

4) 分形维决定股票价格的本质影响因素数目

既然已知各个股具有明显的分形结构,便可通过计算其分形维来确定影响价格的本质因素数目。表 3 为各个股的分形维,分形维都在 2 ~ 4 之间,决定这些股票价格走势的本质因素只有 3 ~ 4 个,因此用 3 ~ 4 个状态变量便可描述这些股票的价格走势。

表 3 各股票分形维(关联维数)

股票名称	分形维	股票名称	分形维
青岛啤酒	2.89	青岛东方	3.13
青岛海尔	2.65	海信电器	3.06
青岛国货	2.76	青岛双星	2.87

参考文献(References):

- [1] 埃德加 E 彼得斯. 资本市场的混沌与秩序[M]. 王小东译. 北京: 经济科学出版社, 1999. 10-19.
- [2] 张德贤, 陈中慧. 非线性动态经济学——分支与混沌[M]. 青岛: 青岛海洋大学出版社, 1995. 1-3.
- [3] 理查德 H 戴. 混沌经济学[M]. 上海: 上海译文出版社, 1996. 177-184.
- [4] 仪垂祥. 非线性科学及其在地理学中的应用[M]. 北京: 气象出版社, 1995. 238-243.

(上接第 36 页)

- [32] Shi L, Olafsson S, Chen Q. A new hybrid optimization algorithm[J]. Comp Ind Eng, 1999, 36(2): 409-426.
- [33] Huntley C, Brown D. Parallel genetic algorithms with local search[J]. Comp Opns Res, 1996, 23(6): 559-571.
- [34] Cesari G. Divide and conquer strategies for parallel TSP heuristics[J]. Comp Opns Res, 1996, 23(7): 681-

694.

- [35] Fredman M L, Johnson D S, McGeoch L A, et al. Data structures for traveling salesman[J]. J of Algor, 1995, 18(3): 432-479.
- [36] Kirkpatrick S, Toulouse G. Configuration space analysis of traveling salesman problem[J]. J Phys, 1985, 46(8): 1277-1292.