

文章编号 1000-5013(2005)04-0424-04

Agent 的多目标优化分布式智能算法

金 福 江

(华侨大学信息科学与工程学院, 福建 泉州 362021)

摘要 根据多目标优化的理论,将传统多目标优化的方法与 Agent 技术相结合,提出一种基于 Agent 技术的多目标优化分布式智能算法.在该算法中,每个智能体由目标函数、协调算法和通信模块组成.由智能体组成多目标优化的多智能体系统,通过每个 Agent 的独立优化和 Agent 之间的通信和协调,实现多目标优化.文中用实例验证算法的有效性.

关键词 多目标优化,智能体,多智能体系统,协调

中图分类号 TP 18; O 224

文献标识码 A

多目标优化传统数值方法^[1,2],具有计算方法简单、计算精度高等优点,但一般只能得到一个有效解,且容易产生极端解等.由于遗传算法的隐含并行和全局搜索等特性,遗传算法很自然地应用到多目标优化中^[3-6].多目标遗传算法的特点是应用遗传算法的隐含并行和全局搜索的特性,同时对多个目标函数进行优化计算,可以得到分布比较均匀的有效解集.但它存在算法计算量大,所得到的解不稳定,求解的精度较低等不足之处.本文在以上多目标优化研究的基础上,提出的分布式智能多目标算法.首先建立每个目标函数智能体,它在完成各个子目标函数优化的同时,将自己的优化结果发送给其他智能体.同时,接收其他智能体的优化结果,通过协调算法完成对整个多目标问题的整体优化.分布式智能多目标算法具有多目标遗传算法的隐含并行和全局搜索的特性,且具有多目标优化数值算法的高精度、速度快等优点.

1 分布式多目标优化算法概述

Agent 是近年来计算机科学领域中的一个重要概念,已被广泛应用于 AI、分布式计算等计算机科学领域.关于 Agent 的定义,目前还没有一个统一的概念定义.最经典和广为接受的是 Wooldridge 等人所提出的“弱定义”和“强定义”^[7].一般来说,Agent 可以看作驻留和流动在环境中的一个实体,可以在特定环境下感知环境,解释“感知”到的反映环境及其自身和其他实体状态.能自主地运行以代表其设计者或使用者实现一系列目标的软件或软件、硬件合一的实体.有多个 Agent 构成的相互作用、相互关联的系统可称为多 Agent 系统(MAS).Agent 的主要属性有自主性、协同性、学习性^[8],一般由其属性对 Agent 进行分类.例如,协同 Agent、反应 Agent、移动 Agent、界面 Agent、信息 Agent 等.协调 Agent 强调其自主性和协调属性;反应 Agent 针对当前所在环境作出反应;信息 Agent 主要负责从分布的信息源处管理、操作和校对信息;界面 Agent 强调其自主性和学习性,由人和计算机通过人机界面组成一个有机的整体.

在本文中,将每个目标函数看成,一个在每个目标函数 Agent i 中包含它的目标函数 $f_i(x)$ 和信息处理函数 $Inf_i(x)$. 当一个变量输入到每个 Agent 后,每个 Agent 以自己的目标函数来进行单目标的数值优化,得到最优值 $f_i^*(x)$,从而构成新的目标函数 $F_i(x) = f_i(x) - f_i^*(x)$. 将计算得到的目标函数值

收稿日期 2005-01-24

作者简介 金福江(1965-),男,副教授,主要从事复杂系统建模与控制的研究. E-mail: fjjm@hqu.edu.cn

基金项目 福建省科技计划重点基金资助项目(2003H056);华侨大学高层次科研启动基金资助项目(2003GCC08)

发送给其他 Agent,同时接收从其他 Agent 发送的目标函数计算数据.通过最小化联合目标函数,由信息处理函数根据收敛条件来控制优化计算的过程.当满足收敛条件时,输出并保存优化结果.

2 分布式多目标优化算法的 Agent 和 MAS

2.1 Agent

在分布式多目标优化算法中,每个目标函数看成一个 Agent $i(i = 1, \dots, n)$.目标函数智能体是由 7 个部分组成,每个部分的功能定义如下.

定义 1 目标函数 Agent

$$\begin{aligned} \langle \text{Agent} \rangle &= \langle \text{Agent1} \rangle \langle \text{Agent2} \rangle \dots \langle \text{Agenti} \rangle \\ \langle \text{Goal} \rangle &= \langle \text{union Goal} \rangle \langle \text{Interior task} \rangle \\ \langle \text{Sensor} \rangle &= \langle \text{enabled condition} \rangle \langle \text{information} \rangle \\ \langle \text{Communication - protocols} \rangle &= \langle \text{Command} \rangle | \langle \text{Require} \rangle | \langle \text{Accept} \rangle | \\ &\langle \text{Rject} \rangle | \langle \text{Inform} \rangle | \langle \text{Cancel} \rangle \\ \langle \text{Communication - contents} \rangle &= \langle \text{sent} \rangle \langle \text{receive} \rangle \langle \text{time} \rangle \langle \text{information} \rangle \\ \langle \text{Cooperative} \rangle &= \langle \text{task - coordination} \rangle \langle \text{conflict - adjust} \rangle \\ \langle \text{Effect} \rangle &= \langle \text{receive} \rangle \langle \text{event dispose-name} \rangle \langle \text{event dispose-describe} \rangle \\ \langle \text{Information dispose} \rangle &= \langle \text{optimal} \rangle \langle \text{communication} \rangle \langle \text{reference} \rangle \\ &\langle \text{knowledgebase} \rangle \end{aligned}$$

在定义 1 中,智能体内部任务 (Interior Task) 是在每个 Agent i 独立完成目标函数 $f_i(x)$ 后,得到最优值 $f_i^*(x)$,并且计算

$$\nabla F_i(x(k)) = \nabla(f_i(x(k)) - f_i^*(x))$$

和 $d_i(x(k))$, $i = 1, \dots, n$. 这里 i 是 Agent 的个数, $k = 1, \dots, m$, k 是优化的步数. 其中, $\nabla F_i(x(k))$ 是 $F_i(x) = f_i(x) - f(x)$ 的梯度,在第 k 次优化计算时,有

$$\begin{aligned} x &= x(k), \\ d_i(x(k)) &= \frac{\nabla F_i(x(k))}{\nabla F_i(x(k))}. \end{aligned}$$

联合目标函数 (Union Goal) 是最小化公共评价函数,即

$$c(x(k)) = \sum_{i=1}^n \nabla F_i(x(k)),$$

并且计算下一步的 $x(k+1) = x(k) + \alpha D(x(k))$. 这里 α 为优化步长,则

$$D_9 x(k) = \sum_{i=1}^n d_i(x(k)).$$

目标函数 Agent 中的信息处理函数 (Information Dispose) 的有如下定义.

定义 2 信息处理函数.

$$\begin{aligned} \langle \text{Information dispose} \rangle &= \langle \text{optimization} \rangle \langle \text{estimate} \rangle \langle \text{communication} \rangle \\ &\langle \text{inference} \rangle \langle \text{knowledgebase} \rangle \\ \langle \text{optimal} \rangle &= \{ \langle \text{single optimization } f_i \rangle \langle \text{calculate } \nabla F_i(x(k)) \rangle \\ &\langle \text{calculate } d_i(x(k)) \rangle \} \\ \langle \text{communication} \rangle &= \langle \text{sent } \nabla F_i(x(k)) \text{ and } d_i(x(k)) \text{ to other agent} \rangle \\ &\langle \text{receive from other agent } \nabla F_i(x(k)) \text{ and } d_i(x(k)) \rangle \\ \langle \text{Inference} \rangle &= \langle \text{representation 1} \rangle \langle \text{representation 2} \rangle \{ \langle \text{rules1} \rangle \langle \text{rules2} \rangle \} \\ \langle \text{Representation1} \rangle &= \{ \langle c(x(k)) = \sum_{i=1}^n \nabla F_i(x(k)) \rangle, \langle \text{method of solution1} \rangle \} \\ \langle \text{Representation2} \rangle &= \{ \langle F_i(x(k)) = f_i(x(k)) - f_i(x^*) \rangle \} \\ \langle \text{rules1} \rangle &= \langle \text{if } c(k+1) - c(k) < \epsilon \text{ then stop to calculate} \rangle \end{aligned}$$

$\langle \text{rules1} \rangle = \langle \text{if } F_i(x(k+1)) - F_i(x(k)) < \text{ then stop to calculate} \rangle$
 $\langle \text{Method of solution} \rangle = \langle \text{min}(c(x(k))) \rangle$
 $\langle \text{Knowledgebase} \rangle = \{ \langle \text{real time database} \rangle \langle \text{history database} \rangle \}$
 $\{ \langle \text{domain} \rangle \langle \text{optiml algorithm} \rangle \langle \text{solution} \rangle \}$
 $\langle \text{Domain} \rangle = \langle \text{data} \rangle = \{ (\text{object}, \text{attributed}, \text{value}) \}$

信息处理函数包括优化、通信、推理、表达式和规则等模块. 信息处理函数的功能是, 使用协调算法完成智能体之间的通信, 完成整体优化.

2.2 MAS 设计

由多个目标函数智能体组成多目标优化多智能体系统(图1), 通过智能体之间的相互通信和协调, 最终完成多目标优化.

2.3 协调推理算法

在本文中, 各个智能体通过协调推理算法完成多目标优化任务. 协调推理算法的如下步骤 7 个. (1) $k=0$, 从可行域中得到初始变量 $x(0)$; 确定允许误差 ϵ 和 δ ($\epsilon > 0, \delta > 0$). (2) 每个目标函数智能体用梯度算法完成了各自目标函数的最优化, 得到最优的结果 x_i^* 和 f_i^* . (3) 每个目标函数智能体从可行域中可得到一个值 $x(k)$, 计算出 $\nabla F_i(x(k))$ 和 $d_i(x(k))$; 然后发送 $\nabla F_i(x(k))$ 和 $d_i(x(k))$ 到其他 Agent; 从其他 Agents 接收 $\nabla F_i(x(k))$ 和 $d_i(x(k))$. (4) 每个智能体计算

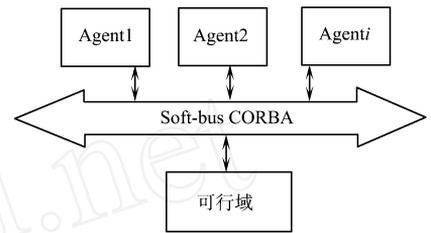


图1 多目标优化多智能体系统

$$c(x(k)) = \sum_{i=1}^n \nabla F_i(x(k))$$

和 $D(x(k))$, 如果 $c(x(k)) < \epsilon$, 则停止计算; 否则, 到下一步. (5) 通过 $\min_0 (F(x(k)) + D(k))$, 则可得到最优步长 k . (6) 如果 $F(x(k+1)) - F(x(k)) < \delta$ 则停止计算, 最优解 x^* 是 $x^* = x(k+1)$; 否则, $k = k+1$, 返回. (7) 应用以上步骤可以得到多目标问题的一个有效解. 通过重复计算, 则可以得到多目标优化问题的有效解集.

3 多智能体系统的实现

CORBA 是达到应用水平的一个对跨平台底层通信结构的说明, 它为异构计算机网络内部的可操作性提供了解决方案^[9]. 我们可以把 CORBA 看成是连接各种对象的“软总线”, 它同样也可以应用和服务在计算机网络中. 在软总线上的任何对象可以使用对象请求, 代理 ORB 进行通信. 同样, Agents 也可以使用 CORBA 完成相互之间的通信. 在 CORBA 中, Agents 用界面定义语言 IDL (Interface Definition Language) 来说明用面向对象程序设计, 如 C++ 和 JAVA. 多个 ORB 之间的通信, 可以使用通用内部 GIOP (ORB General Inter-ORB Protocol). 本文中所有的智能体使用 CORBA 软总线集成, 程序使用 Java 完成.

4 实例分析

考虑下述含有两个目标函数的多目标优化问题, 有

$$V - \min f(x) = [f_1, f_2]^T.$$

其目标为 $1 \leq x_1 \leq 4, 1 \leq x_2 \leq 2, f_1 = \frac{x_1^2}{4}, f_2 = x_1(1 - x_2) + 5$. 应用并列选择法^[4]和本文的分布式多目标优化算法, 求解上述多目标优化问题. 最终 $V - \min f(x) = [f_1, f_2]^T$ 的有效解分布, 如图 2 所示. 从图 2 中可以看出, 与并列选择法相比, 分布式智能算法得到的有效解分布相当均匀. 同时, 由于每个智能体只需进行单一目标函数优化计算, 且评价函数和优化方法都是采用了数值计算方法. 因此, 算法的计算量比多目标遗传算法要小, 运算速度较快. 这是由于把整个多目标优化计算量分配给了各个智能体计算的结果. 多目标优化的分布式智能算法, 是具有真正意义的矢量优化计算.

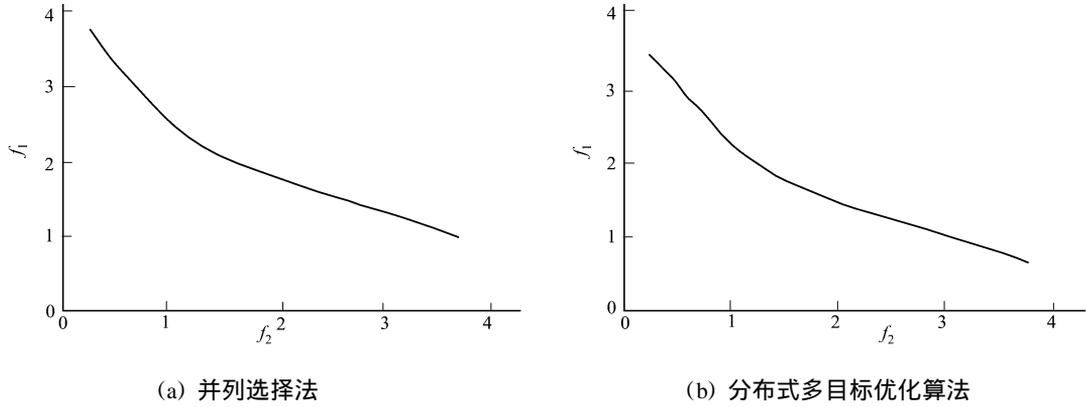


图 2 有效解分布

5 结束语

本文应用多智能体技术,设计了多目标优化的分布式智能算法.从实际应用效果来看,算法具有收敛速度快、优化结果稳定,所得到的有效解分布均匀等优点.文中的多目标优化的分布式智能算法的真正意义,并不在于其最终优化算结果.而是通过实例说明,智能体技术可以应用到多目标优化算法设计中,为解决复杂系统优化和控制问题提供了新思路和方法.

参 考 文 献

- 1 胡毓达. 多目标规划有效性理论[M]. 上海:上海科学技术出版社,1994. 114 ~ 124
- 2 胡毓达. 实用多目标最优化[M]. 上海:上海科学技术出版社,1990. 1 ~ 124
- 3 周 明,孙树栋. 遗传算法原理及应用[M]. 北京:国防出版社,1999. 133 ~ 134
- 4 Schaffer J D. Multiple objective optimization with vector evaluated genetic algorithms[A]. In: Schaffer J D,eds. Proceedings of 1st International Conference on Genetic Algorithms [C]. San Mateo: Morgan Kaufmann Publishers, 1985. 93 ~ 100
- 5 Holland J H, Reitman J S. Cognitive systems based on adaptive algorithms[A]. In: Waterman D A, et al, eds. Pattern Directed Inference Systems[C]. New York: Academic Press, 1978. 313 ~ 329
- 6 Horn J, Nafpliotis N, Goldberg D E. A niched Pareto genetic algorithm for multi-objective optimization [A]. In: Piscataway N J,eds. Proc. of 1st IEEE-ICEC Conference[C]. New York: IEEE,1994. 82 ~ 87
- 7 Wooldridge M, Jennings N R. Agents theories, architectures and languages: A survey[M]. Berlin: Springer-Verlag, 1995. 1 ~ 9
- 8 Jennings N R. Commitments and conventions: The foundation of coordination in multi-Agent system[J]. The Knowledge Engineering Review, 1993, 8(3): 233 ~ 250
- 9 Siegel J. CORBA: Fundamentals and programming[M]. New York: Wiley, 1996. 5 ~ 15

A Distributed Intelligent Algorithm for Multi-Objective Optimization Based on Intelligent Agent

Jin Fujiang

(College of Information Science and Engineering, Huaqiao University, 362021, Quanzhou, China)

Abstract According to the theory of multi-objective optimization and combining the method of conventional multi-objective optimization with the technique of agent, a distributed intelligent algorithm for multi-objective optimization based on the technique of agent is proposed. In this algorithm, each intelligent agent is composed by the function of objection, algorithm of coordination, and communications module. The intelligent agents make up multiple intelligent system for multi-objective optimization, which is realized by independent optimization of each agent as well as the communication and coordination between the agents. The validity of this algorithm is verified by practical examples.

Keywords multi-objective optimization, intelligent agent, multiple intelligent system, coordination