

文章编号: 1000-8152(2000)02-0159-06

159-164

模糊优化理论与方法的研究综述*

唐加福 汪定伟

0224

(东北大学信息科学与工程学院系统工程系, 沈阳, 110006)

摘要:系统地回顾和总结了模糊优化理论和方法的研究进展和成果, 包括模糊建模与模糊优化, 模糊优化问题的一般形式与分类, 模糊优化方法的基本框架和主要优化方法, 重点介绍模糊线性规划问题的分类、模型与方法。

关键词:模糊优化; 理论与方法; 综述

文献标识码: A

模糊优化理论

模糊优化方法

线性规划

Fuzzy Optimization Theory and Methodology: A Survey

TANG Jiafu and WANG Dingwei

(Department of Systems Engineering, Northeastern University, Shenyang, 110006, P.R. China)

Abstract: A brief survey on fuzzy optimization theory and methodology in recent advances is presented in this paper. Some main topics in this area are summarized, including fuzzy modelling and fuzzy optimization, general form and classification of fuzzy optimization problems, general framework of fuzzy optimization methodology and some well-known methods, as well as the types of optimal solutions. Particularly the classification, model and methods of fuzzy linear programming problems are focused in this paper. Some perspective viewpoint are pointed out in the last section of the paper.

Key words: fuzzy optimization; theory and methodology; survey

1 概述(Introduction)

多年来,传统的优化技术和方法已经成功地应用于求解一类具有清晰定义结构/行为的系统,有时称为“硬”系统(hard system)。一般地,称此类优化方法为确定型或清晰型优化方法。清晰型优化方法的基础是清晰的数字模型和精确的数学方法。然而,由于社会、生产和经济系统中常常存在多种形式的非确定性信息,如事件发生的随机性、数据的非精确性、语言的含糊性等,这些非确定性信息常来源于多种方式^[1],其中包括测量误差;缺乏足够的历史/统计数据;缺乏足够可用的理论来描述和支持;知识表达的方式;人类的主观性判断或偏好等。这些形式的非确定性可以归类为两种类型^[2],即随机非确定性(stochastic uncertainty)和模糊性(fuzziness)。

随机非确定性的特点是信息的描述是清晰的,但非确定性以频率形式表现出来,这类系统常称为随机(非确定性)系统,常用基于概率理论的随机优化方法求解。

实际上,决策者并不认为通常的概率分布是正确的,对于一些非精确情形,特别是没有清晰界限(sharp)的信息,与人类语言/行为相关的信息,或者由于受人类知识和认识所限而难以表达和清晰定义的信息等,这种非确定性信息统称为模糊性信息。具有模糊性信息的系统称为模糊系统,有时也称软系统(soft system)。这类系统的特点是,系统的行为/结构没有清晰的界定,系统的信息反映了人类的主观属性(subjective nature)和非精确性(imprecision)。基于精确数学理

论的优化方法和基于概率理论的随机优化方法都不能准确地描述这类系统的行为和特性,因而也不能有效地求解这类系统。起源于 50 年代并很快得到发展的模糊集理论(fuzzy set theory)^[2-4]和基于模糊集理论的模糊优化(fuzzy optimization)方法^[3,5-9]提供了处理这类软系统的建模和优化的有效方法和技术。基于模糊集理论的建模和优化方法称为模糊建模和模糊优化方法。

模糊优化理论和方法的研究起源于 70 年代 Bellman 和 Zadeh 提出的模糊决策^[5]的概念和模糊环境下的决策模型。之后许多学者相继研究了模糊线性规划模型^[10,11],模糊多目标规划模型^[12],模糊整数规划模型^[2,3],模糊动态规划模型^[2,3],可能性线性规划模型^[3]和模糊非线性规划模型^[13],并提出了求解这些模型的方法。同时,模糊排序^[2],模糊集运算^[2],灵敏度分析^[14]和对偶理论^[15]以及模糊优化在生产实际中的应用^[16]也成为模糊优化理论和方法的重要研究内容。关于这些研究成果和进展,参见 Kacprzyk J(1987), Luhandjula(1989), Fedrizzi M(1991), Delgado & Verdegay(1994)对模糊优化模型和方法的阶段性综述文章^[7-9,16]。作者认为这些综述性文章只是从不同的角度介绍了模糊优化方面的研究成果与进展,缺乏概括性分析和总结。

本文根据自己的研究体会,旨在系统地回顾和总结近年来模糊优化理论和方法的研究成果,主要包括模糊建模与模糊优化;模糊优化问题的一般形式与分类;模糊优化方法的

* 基金项目:国家自然科学基金(69684005)和东北大学中青年科学基金共同资助。

收稿日期:1998-09-07; 收修改稿日期:1999-07-05。

基本框架和主要优化方法;模糊线性规划问题的分类、模型与求解方法及最优解的类型。

2 模糊建模与模糊优化(Fuzzy modelling and fuzzy optimization)

模糊建模是指从模糊信息的描述到建立一个适当的数学模型的过程。模糊优化是指模糊模型的求解过程。一般地,对于一个复杂问题,从建立模糊优化模型(模糊建模)到求解模糊优化模型(模糊优化)需要经过以下基本环节:

1) 基于对问题本身的理解,分析问题中存在哪些模糊信息,以及出现的形式(如模糊目标、可行集/约束集或参数)和方式,如非精确的量化形式或者是含糊不清的语言(ambiguous linguistic)等。

2) 模糊信息的描述与表达。采取适当的方式,如隶属函数、可能性分布函数,以线性形式或非线性形式等来描述模糊信息。在这个过程中,应该充分反映决策者的意愿和观点,即主观性(subjective)或偏爱(preference)。

3) 在1),2)的基础上,根据问题的特点和要求,采用适当的数学工具和方法,建立模糊优化模型。

4) 转化为清晰的优化模型。在这个过程中,首先要明确问题是寻求什么形式的最优解,是确定型的最优解、满意解或是模糊解,这要取决于决策者对问题的理解和要求,即对“最优解”的理解。然后基于模糊数学的一些理论和原理如模糊排序理论、扩展原理、模糊集运算等,提出一些新的概念。在此基础上,把模糊优化模型转化为等价的,或者近似的确定型/清晰优化模型。

5) 清晰优化模型的求解。根据等价的或近似的清晰优化模型的特点(线性、非线性;单目标、多目标;连续型、离散型或混合型等),采用或者设计合适的优化算法,如传统的启发式算法、单纯型算法,或者智能化优化方法,如模拟退火(Simulated Annealing, SA)、遗传算法(Genetic Algorithm, GA)、禁忌搜索(Tabu Search, TS)等。

其中环节1)~3)属于模糊建模阶段,4),5)属于模糊优化阶段。一般这两个阶段是相互关联的,没有明显的界限。因此本文虽侧重于模糊优化的研究,但有时也包括模糊信息的描述和表达等研究内容。

3 模糊优化问题的一般形式和分类(General form and classification for fuzzy optimization)

根据Fedrizzi & Kacprzyk(1991)^[8],模糊优化问题可以描述成如下一般形式:

令 $X = \{x\}$ 是可选方案的集合,目标函数 $F: X \rightarrow L(R)$,其中 $L(R)$ 是 R 的一类模糊子集,可行域 $\tilde{C} \subset X$ 是一个模糊子集, $\mu_{\tilde{C}}(x) \in [0,1]$,模糊优化问题可以表述为一般形式(FOP): $F(x, r) \rightarrow \max_{x \in \tilde{C}}$,其中, r 是参数,可以是清晰型,也可以是模糊型。(FOP)表示寻找 x^* 属于 $\tilde{C}$,使得 $F(x, r)$ 具有“尽可能大”的值。

类似于确定型优化问题,一般把模糊优化问题分为两种类型,即模糊极值问题(无约束模糊优化问题)和模糊数学规

划问题(约束模糊优化问题)。

1) 模糊极值问题。

一般形式是: $\max/\min \tilde{Y} = F(\tilde{X}, r)$,其中 $\tilde{X} \in X$ 是模糊子集, F 是一个清晰定义的函数, $\tilde{Y}$ 是 R 的模糊子集。

2) 模糊数学规划问题。

在FOP中, $\tilde{C}$ 是用模糊系统约束或清晰的系统约束来描述, $F(x, r)$ 是清晰定义的目标函数或非清晰定义的目标函数。由于模糊因素在目标/系统约束中出现的形式不同,一般将模糊数学规划问题分为:i)目标和系统约束的参数清晰型;ii)目标/系统约束的参数模糊型。

由于目标函数和系统约束的不同形式(线性、非线性;单目标、多目标等)以及模糊因素的描述方式(隶属函数、可能性分布函数;线性、非线性),一般形式的模糊数学规划问题分别可以描述成模糊线性规划(FLP)模型,模糊非线性规划(FNLP)模型(包括模糊0~1规划模型,模糊整数规划模型),可能性线性规划(PLP)模型,模糊多目标规划(FMOP)模型,模糊动态规划(FDP)模型等不同形式。

本文主要侧重于模糊数学规划问题及其优化方法的研究。

4 模糊优化方法的基本框架和主要方法(General scheme and main methods for fuzzy optimization)

Luhandjula(1989)^[9]对各种模糊优化方法做了综述分析,提出了现有的各种优化方法都基于模糊优化的基本框架:

1) 确定可选解集 X 。

2) 构造结果函数 $e(x, \tilde{C}_0, \tilde{C})$,用于表达每个可选解 $x \in X$ 对目标和约束的位置(position)。其中 $\tilde{C}_0, \tilde{C}$ 分别表示模糊目标和约束。

3) 定义由所有可能的结果组成的集合 I 上一个兼容性函数 $K(e(x, \tilde{C}_0, \tilde{C}))$,表示可选解 x 与目标和约束的兼容性程度。

4) 构造一个转换函数(transformation function) T ,即 $T: x \in X \rightarrow TK(x) \in I$,结果原模糊优化问题FOP转变为 $\max_{x \in I} TK(x) = F(x)$ 。

现有的各种模糊优化方法主要表现在定义不同的 X, K 和 T 及最优解类型上。

这个基本框架体现了模糊优化方法的基本思想是把模糊优化问题转化为确定性的优化问题。因而模糊优化方法研究的重点是如何转换,在转换过程中,首先要根据问题的要求,解决对最优解的理解问题,即确定最优解的类型,是确定型解、模糊解,还是满意解;其次是提出一些新的概念,利用模糊集理论的一些原理和概念,根据最优解的类型,设计转换的方法。概括起来,现有的模糊优化方法主要包括以下几种:

1) 对称方法。

① 基于模糊决策的对称方法,即Bellman-Zadeh方法^[5]。

通过引进模糊决策 $\tilde{D}$ 的概念,把模糊约束 $\tilde{C}$ 和模糊目标 $\tilde{G}$ 等同考虑,FOP可以解释为满足模糊约束的同时达到模糊目标,即 $\tilde{D} = \tilde{C} \cap \tilde{G}$,其中 $\cap$ 是交叉算子,用隶属函数的形

式,可以描述为:

$$\mu_{\tilde{D}}(x) = \mu_{\tilde{f}}(x) * \mu_{\tilde{g}}(x), \quad \forall x \in Y.$$

其中“*”是对应 $\cap$ 的算子,模糊决策 $\tilde{D}$ 是问题的最优解。

该方法提供了求解模糊优化问题的基本框架,被视为模糊环境下决策的基本方法。由于选取不同形式的算子,相应地可以得到不同的方法,其中最常见的是取最小运算。基于这种方法,以模糊约束和目标满足程度的各种平衡(balance/trade-off)形式为优化目标,而发展起来多种方法^[2,11,17,18],其最优解的形式因采用的方法不同而不同,包括精确最优解^[18]、模糊决策集^[15]、模糊最优解^[11,19-21]等,其中由 Zimmermann H J (1976)提出的容差法(tolerance approach)^[18]即是基于这种方法中最有影响,也是最实用的一种方法。在这一方法中,提出了最大决策的概念。基于这种思想,Verdegay 通过参数规划技术提出了总体模糊决策集(whole fuzzy decision set)的概念^[17],在这些基于模糊决策的对称方法中,容差法已被成功地应用于解决生产实际问题^[2]。

② 基于非劣关系的对称方法^[9,22]

基本思想是首先构造一个模糊严格偏爱关系(fuzzy strict preference relation),即定义 $e(x, \tilde{C}_0, \tilde{C}) = N(\tilde{x}, x)$, $\forall \tilde{x} \in X$, $\tilde{x} \neq x$,用以表达两个元素优劣关系($\tilde{x}$ 严格优于 x)的程度。然后定义 x 与目标和约束的兼容性程度 $K(e(x, \tilde{C}_0, \tilde{C})) = 1 - \sup_{\tilde{x} \in X} N(\tilde{x}, x) = N^{\text{nd}}(x)$, 其中, $N^{\text{nd}}(x)$ 称为非劣于其它任何元素的程度。最后将原模糊优化问题 FOP 转化为 $\max_{x \in Y} N^{\text{nd}}(x)$, 进而转化为等价的半无穷规划模型^[9],用割平面算法和三阶段算法求解。

两种对称方法的共同特点是把约束和目标视为相同的概念,即处于同等地位。

2) 非对称方法

非对称方法求解具有 $\max_{x \in C} \mu_{\tilde{C}_0}(x)$ 形式的模糊优化问题 FOP^[9];其中 $\mu_{\tilde{C}_0}(x)$ 是 x 相对于目标和约束的清晰定义的兼容性函数。由于对最优解的不同理解,导致不同的方法,主要包括:

① 模糊最大决策方法^[23],定义模糊最大决策(fuzzy maximizing decision) M^{fz} 为一个模糊集,其元素的隶属度反映模糊可行解集的支集与模糊目标集的兼容性程度。模糊最大决策为问题的最优解。

② 基于模糊最大决策的精确最优解^[2],基本思想是最大化模糊最大决策和模糊可行解集的交集,问题的最优解是确定性最优解。

③ 模糊解方法^[2,3],为了反映问题的模糊性,Orlovski (1977)提出了模糊解(fuzzy solution)的概念,并提出了模糊解的两种描述方法,分别通过参数规划技术和多目标规划方法得到所描述的模糊解。模糊解为问题的最优解。

3) Bellman-Zadeh 方法扩展化的方法^[6]

无须转化为清晰的优化模型求解,是一种非迭代求解模糊数学规划问题的简单算法,其最优解是模糊解。

4) 交互式满意解方法

交互式满意解方法^[8,12]是求解模糊多目标规划和模糊线性规划的重要方法。

5) 模糊遗传算法

Buckley(1994)^[25]提出了模糊遗传算法(Fuzzy Genetic Algorithm)近似求解具有 $\max \bar{Y} = F(\bar{X})$ 形式的模糊极值问题,其中 $\bar{X}$ 是 $[0, M]$ 任何一种类型的模糊子集, $M > 0$, F 是一个清晰定义的映射(函数)。

模糊遗传算法的基本思想是:首先定义一个测度函数 $m(\bar{y}) = \theta$;离散化 $\bar{X}$,

$$\bar{X} = (x_0, x_1, x_2, \dots, x_N),$$

$$x_i = \mu_{\bar{X}}(z_i), \quad z_i = i * M/N, \quad i = 0, 1, 2, \dots, N.$$

原模糊优化问题可以描述为如何确定 $x_i, i = 0, 1, 2, \dots, N$,使得 $m(\bar{y}) = \theta \rightarrow \max$, 然后利用遗传算法求解确定型最大值问题。

除此之外,其他的研究方法包括参数优化方法^[17]和对偶方法^[15],此外,在模糊优化理论和方法的研究中,还包括算法的收敛性、稳定性分析和灵敏度分析^[14]。

由于传统的线性规划模型和多目标规划模型的优化方法成熟,便于应用,综上所述的各种模糊优化方法多数局限于或是针对于模糊线性规划模型和多目标规划模型,而对模糊非线性规划问题的描述方法及求解方法的研究则显得不足。

5 模糊线性规划问题的分类,模型与方法(Classification, model and methods for fuzzy linear programming problems)

由于线性规划方法描述简单,又有成熟的软件来优化,因而在对模糊环境中决策问题的描述和求解方法的研究中,许多学者^[11,14,17,18,26]多年来致力于模糊线性规划模型和求解方法的研究。本节简要回顾模糊线性规划问题的分类、模型和基本求解方法。

5.1 模糊线性规划问题的分类与描述(Formulation and classification of fuzzy linear programming problems)

传统的确定型线性规划问题由线性目标函数、线性约束和非负的决策变量来描述,具有如下一般形式:

$$\begin{cases} \max c^T x, \\ \text{s.t. } Ax \leq b, \quad x \geq 0. \end{cases} \quad (1)$$

其中

$$c^T = (c_1, c_2, \dots, c_n), \quad A = (A_{ij})_{m \times n},$$

$$b = (b_1, b_2, \dots, b_m)^T, \quad x = (x_1, x_2, \dots, x_n)^T,$$

分别称为效益/价格系数向量,技术系数矩阵,资源可用向量和决策向量。

模糊环境下线性规划问题的描述将取决于模糊性出现的形式,模糊性出现的形式包括:

1) 目标描述的非精确定义;

2) 模糊关系(模糊等式,模糊不等式)表达的线性系统约束;

3) 具有模糊效益/价格系数 $\tilde{c}_i$ 的目标函数;

4) 具有模糊技术系数 A_{ij} 和模糊资源可用量 $\tilde{b}_i$ 的线性系统约束.

据此,将模糊线性规划问题 FLP 分为以下两类^[27]:

I) 清晰系数型,包括:

i) 模糊资源型 (FLP1)——模糊关系 ($\leq$) 定义的线性系统约束.

ii) 模糊目标-资源型 (FLP2)——非精确定义的目标和模糊关系 ($\leq$) 定义的线性系统约束.

II) 模糊系数型,包括:

i) 模糊资源可用量型 (FLP3)——资源可用量是模糊数;

ii) 模糊效益/价格系数型 (FLP4)——目标函数中效益/价格系数是模糊数;

iii) 模糊技术系数和资源可用型 (FLP5)——技术系数和资源可用量都是模糊数;

iv) 系数全模糊型 (FLP6)——效益/价格系数,技术系数和资源可用量都是模糊数.

以上类型模糊线性规划问题的描述参见[27].

5.2 基本模型与方法(Basic models and fundamental methods)

模糊线性规划问题的基本模型主要分为两类,即对称模型和非对称模型.本节将给出求解如上类型的模糊线性规划问题 FLP1~FLP6 的基本模型和方法,侧重于模糊数的描述、最优解的定义和表达.

1) FLP1 的 Verdegay 非对称模型^[28].

假定第 i 个约束有最大容差 $p_i, i = 1, 2, \dots, m$. 第 i 个资源约束 $(Ax)_i \leq \tilde{b}_i$ 用隶属函数 $\mu_i(x)$ 可以描述为:

$$\mu_i(x) = \begin{cases} 1, & (Ax)_i \leq b_i \\ 1 - \frac{(Ax)_i - b_i}{p_i}, & b_i \leq (Ax)_i \leq b_i + p_i \\ 0, & (Ax)_i > b_i + p_i \end{cases} \quad (2)$$

定义 α -截集: $X_\alpha = \{x \mid x \in \mathbb{R}^n, \mu_i(x) \geq \alpha, i = 1, 2, \dots, m, x \geq 0\}$.

对于 $\alpha \in [0, 1]$, 考虑确定型参数 LP 问题: $\max_{x \in X_\alpha} z = c^T x$.

令其最优解为 x_α^* , 定义

$$\tilde{S}^* = \{(x_\alpha^*, \alpha) \mid \alpha \in [0, 1]\}, \quad (3)$$

$\tilde{S}^*$ 称为模糊最优解集,即为 FLP1 的最优解.

2) Zimmermann 的对称模型和容差法^[18]求解 FLP2.

在 FLP2 中,目标 $\max c^T x$ 是非精确定义的,即模糊目标.用决策者对目标的满意度 $\mu_0(x)$ 来表达模糊目标.类似地,用模糊约束的隶属函数 $\mu_i(x)$ 来描述决策者对利用系统资源的满意度. $\mu_i(x)$ 如(2)定义, $\mu_0(x)$ 如下定义:

$$\mu_0(x) = \begin{cases} 1, & z \geq z_0 \\ 1 - \frac{z_0 - z}{p_0}, & z_0 - p_0 \leq z \leq z_0 \\ 0, & z_0 - p_0 > z \end{cases} \quad (4)$$

根据 Bellman-Zadeh 的思想,定义模糊决策 $\tilde{D}$ 为:

$$\tilde{D} = \{(x, \mu_{\tilde{D}}(x)) \mid x \in (\mathbb{R}^n)^+, \mu_{\tilde{D}}(x) = \min\{\mu_0(x), \mu_i(x), i = 1, 2, \dots, m\}\}. \quad (5)$$

模型的最优解 x^* 是由 $x^* = \arg \max \mu_{\tilde{D}}(x)$ 定义的最大决策. x^* 是唯一的精确最优解.

容差法是一个很成功的模糊优化方法.但该方法的缺点是,要求事先确定目标的希望值 (aspiration level) z_0 和容差项 (tolerance) p_0 . 但一般情况下,决策者很难事先确定这两个参数. Werner 的对称模型^[24]弥补了这一缺点.

3) Werner 的对称模型^[24]求解 FLP2.

按照 Werner 的思想, z_0 和 p_0 不是由决策者事先确定的,而应该由如下的线性规划问题确定.

$$\begin{aligned} z_0 &= \max c^T x, \\ \text{s.t. } Ax &\leq b + p, \quad x \geq 0, \\ z_0 - p_0 &= \max c^T x, \\ \text{s.t. } Ax &\leq b, \quad x \geq 0. \end{aligned}$$

其中 p 是决策者可接受的容差向量. Werner 对称模型也用于求解 FLP1 问题.

4) Chanas 的对称模型求解 FLP2^[17].

① 给定可接受的容差向量 p , 求解如下参数线性规划问题:

$$\begin{cases} \max z = c^T x, \\ \text{s.t. } Ax \leq b + \theta p, \quad x \geq 0, \quad \theta \in [0, 1]. \end{cases} \quad (6)$$

令 $x^*(\theta)$ 是对应的最优解, $z^*(\theta)$ 是对应的最优目标函数值.

② 选取 $z_0 = z^*(1), p_0 = c^T(x^*(1) - x^*(0))$.

③ 用 $\mu_0(x^*(\theta))$ 来描述目标函数 $z^*(\theta)$, 定义

$$\mu_0(x^*(\theta)) = \begin{cases} 1, & z^*(\theta) \geq z_0 \\ 1 - \frac{z_0 - z^*(\theta)}{p_0}, & z_0 - p_0 < z^*(\theta) \leq z_0 \\ 0, & z^*(\theta) \leq z_0 - p_0 \end{cases} \quad (7)$$

④ 对于非零的基础解,至少存在一个起作用约束,即 $\exists i \in I$, 满足:

$$(Ax)_i = b_i + \theta p_i, \quad i \in I.$$

$$\mu_i(x^*(\theta)) = \min_j \mu_j(x^*(\theta)) = \mu_i(x^*(\theta)) = 1 - \theta. \quad (8)$$

⑤ 确定最大决策

$$\theta^* = \arg \max_{x^*(\theta)} \min\{\mu_0(x^*(\theta)), \mu_i(x^*(\theta))\}.$$

$x^*(\theta^*)$ 为最大决策,即为 FLP2 的唯一精确最优解.

对于不同形式的 FLP3~FLP6,根据模糊系数的类型和特点,构造不同形式的 $\mu_i(x)$ 和 $\mu_0(x)$, FLP3~FLP6 问题均可描述成对称模型和非对称模型,用前面介绍的四种方法求解.非对称模型的模糊最优解集和满意解以及对称模型的精确最优解是对应问题的最优解.

此外,对于非精确型的模糊数, Ramik & Rimanek (1985),

Tanaka et al (1984), Rommelfanger (1989), Lai & Hwang (1992), Dubois (1987) 分别针对梯形数、三角形数、区间数等可能性分布的非精确型模糊数, 提出了求解 FLP3 ~ FLP6 问题的方法, 详见文献[3].

6 模糊非线性规划问题的分类、模型与方法 (Classification, models and methods for fuzzy nonlinear programming problems)

在模糊优化问题的研究方面, 关于模糊非线性规划问题的研究, 包括问题的描述、模型的分类及求解方法的研究则显得相对不足.

就模糊非线性规划问题分类而言, 根据作者的观点, 模糊非线性规划问题的分类应该从非线性和模糊性两个方面来综合考虑.

非线性主要表现在:

- 1) 目标由非线性函数描述;
- 2) 约束条件由非线性函数或关系描述;
- 3) 模糊目标和/或系统约束用非线性隶属函数来描述.

同时, 模糊性主要表现在:

- 1) 目标描述的非精确定义;
- 2) 模糊关系(模糊等式, 模糊不等式)表达的系统约束;
- 3) 具有模糊系数或参数的目标函数;
- 4) 具有模糊系数或参数的系统约束.

类似于一般模糊数学规划问题的分类方法, 从模糊性角度来考虑, 模糊非线性规划问题一般分为:

1) 清晰型系数/参数的模糊非线性规划问题, 这类问题常常通过容差方法描述为对称模型或非对称模型求解.

2) 模糊型系数/参数的模糊非线性规划问题, 这类问题的求解常常较前者复杂. 一般地, 通过对模糊参数的描述, 转化为类一问题或者多目标规划问题, 用多目标规划方法或参数方法求解.

关于模糊非线性规划问题的模型和方法的研究, 从现有的文献来看, Trappey^[13]首先研究了模糊非线性规划(FNLP)问题, 借助于线性隶属函数来描述系统的模糊目标和约束, 该方法以精确最优解为 FNLP 问题的最优解. Ali^[29]提出用微分等式方法求解具有模糊参数的非线性规划问题, 以 α -截集上对应非线性规划问题的 α -最优解为问题的最优解. 作者^[19-21]讨论了基于遗传算法的模糊最优解方法求解具有模糊目标和模糊资源约束的二次规划问题和非线性规划问题. 其基本思想是寻找一个最优解的邻域, 使得邻域中的每一个解都是决策者可以接受的解, 即模糊环境下的最优解. 并提出了交互式方法获得决策者需要的模糊最优解, 供决策者在不同的准则下作出不同的决策. 另外, 作者^[30]还首次研究了具有惩罚因子的模糊非线性规划问题, 并提出了交互式满意解方法和基于 GA 的最大决策方法.

7 总结 (Conclusion)

综上所述, 现有的各种模糊优化理论和方法多数局限于线性规划和多目标规划模型, 同时, 从模糊优化的基本框架和模糊优化阶段两个环节比较, 作者认为基本框架只反映了

模糊优化方法研究中的其中一个内容, 即转化为清晰的优化模型, 而把清晰优化模型的求解作为一个已经解决的研究内容. 事实上, 现有的研究方法确实局限于此, 但作为模糊优化方法这一整体体系和学科来说, 应该包括这方面的研究内容. 因为在由模糊优化问题转变为等价的或近似的确定性优化问题时, 常常伴有非线性、非连续和传统确定性优化方法难以解决的特点. 另外, 现实生产中的许多实际问题常常表现为非线性关系. 因而作者认为研究模糊环境下非线性规划问题的描述和基本智能化的优化方法是模糊优化理论和方法研究的重要内容, 同时, 基于模糊优化方法的应用研究和模糊决策支持系统的研究是一个很有前景的研究领域.

参考文献 (References)

- [1] French S. Uncertainty and imprecision: modelling and analysis [J]. Journal of Operations Research Society, 1995, 46(1): 70 - 79
- [2] Zimmermann H J. Fuzzy Set Theory and Its Applications [M]. 2nd ed. Hingham: Kluwer-Nijhoff, 1985
- [3] Lai Y J and Hwang C L. Fuzzy Mathematical Programming [M]. Berlin: Springer-Verlag, 1992
- [4] Zadeh L A. Fuzzy sets [J]. Information and Control, 1965, 8(3): 338 - 353
- [5] Bellman R E and Zadeh L A. Decision making in a fuzzy environment [J]. Management Science, 1970, 17(B): 141 - 164
- [6] Angelov P. A generalized approach to fuzzy optimization [J]. Int. J. of Intelligent Systems, 1994, 9(3): 261 - 268
- [7] Delgado M, Verdegay J L, et al. Fuzzy Optimization: Recent Advances [M]. Berlin: Physica Verlag, 1994
- [8] Fedrizzi M, Kacprzyk J and Verdegay J L. A survey of optimization and mathematical programming [A]. In: Fedrizzi M and Kacprzyk J, etc Editors. Interactive Fuzzy Optimization [C]. Berlin: Springer-Verlag, 1991, 15 - 28
- [9] Luhndjula M K. Fuzzy optimization: an appraisal [J]. Fuzzy Sets and Systems, 1989, 30(3): 257 - 282
- [10] Ishibuchi H, Yamamoto N, Murata T and Tanaka H. Genetic algorithms and neighborhood search algorithm for fuzzy flowshop scheduling problems [J]. Fuzzy Sets and Systems, 1994, 67(1): 81 - 100
- [11] Wang D. An inexact approach for linear programming with fuzzy objective and resource [J]. Fuzzy Sets and Systems, 1997, 89(1): 61 - 68
- [12] Sakawa M and Yano H. An interactive fuzzy satisficing method for multiobjective nonlinear programming problems with fuzzy parameters [J]. Fuzzy Sets and Systems, 1989, 30(10): 221 - 238
- [13] Trappey J F C, et al. Fuzzy non-linear programming: theory and application in manufacturing [J]. Int. J. of Production Research, 1988, 26(5): 957 - 985
- [14] Hamacher H, Leberling H and Zimmermann H J. Sensitivity analysis in fuzzy linear programming [J]. Fuzzy Sets and Systems, 1978, 1(1): 269 - 281
- [15] Verdegay J L. A dual approach to solve the fuzzy linear programming problems [J]. Fuzzy Sets and Systems, 1984, 14(1): 131 - 141

- [16] Kacprzyk J and Orlovski S A. Fuzzy optimization and mathematical programming: a brief introduction and survey[A]. In: Optimization Models Using Fuzzy Sets and Possibility Theory[C]. Netherland: Reidel D. Publishing Company, 1987, 50 - 72
- [17] Chanas S. Using parametric programming in fuzzy linear programming[J]. Fuzzy Sets and Systems, 1983, 11(3): 243 - 251
- [18] Zimmermann H J. Description and optimization of fuzzy system[J]. Int. J. of General System, 1976, 2(3): 209 - 216
- [19] Tang J, Wang D and Fung R Y K. Model and method based on GA for non-linear programming problems with fuzzy objective and resources[J]. Int. J. of System Science, 1998, 29(8): 907 - 913
- [20] Tang J and Wang D. An interactive approach based on GA for a type of quadratic programming problems with fuzzy objective and resources[J]. Computers & Operations Research, 1997, 24(5): 413 - 422
- [21] 唐加福, 汪定伟. 模糊非线性规划对称模型基于遗传算法的模糊最优解[J]. 控制理论与应用, 1998, 15(5): 525 - 530
- [22] Orlovski S A. On formulation of general fuzzy mathematical problems[J]. Fuzzy Sets and Systems, 1980, 3(1): 311 - 321
- [23] Zimmermann H J. Applications of fuzzy set theory to mathematical programming[J]. Information Science, 1985, 36(1): 29 - 58
- [24] Werners B. An interactive fuzzy programming systems[J]. Fuzzy Sets and Systems, 1987, 23(1): 131 - 147
- [25] Buckley J J and Hayashi Y. Fuzzy genetic algorithm and applications[J]. Fuzzy Sets and Systems, 1994, 61(2): 129 - 136
- [26] Tanaka H and Asia K. Fuzzy solution in fuzzy linear programming[J]. IEEE Trans. on Systems Man and Cybernetics, 1984, 14(2): 325 - 328
- [27] 方述城[美], 汪定伟. 模糊数学与模糊优化[M]. 北京: 科学出版社, 1997
- [28] Verdagay J L. Fuzzy Mathematical Programming[M]. In Gupta M M and Sanchez E Editors. Fuzzy Information and Decision Processes. Amsterdam: North-holland, 1982, 231 - 237
- [29] Ali F M. A differential equation approach to fuzzy non-linear programming problems[J]. Fuzzy Sets and Systems, 1998, 93(1): 57 - 61
- [30] Tang J and Wang D. A non-symmetric model for fuzzy nonlinear programming problems with penalty coefficients[J]. Computers & Operations Research, 1997, 24(8): 717 - 725

本文作者简介

唐加福 1965 年生, 副教授, 1989 年于湖南师范大学获理学学士学位, 1992 年和 1999 年于东北大学获工学硕士和博士学位, 1998 年和 2000 年为香港城市大学高级副研究员, 研究方向是 Fuzzy 优化理论与方法, 智能化优化方法。

汪定伟 1948 年生, 教授, 博士生导师, 1993 年于东北大学获工学博士学位, 1994 年在美国北卡罗纳州立大学做博士后研究工作, 研究方向是: CTMS 中生产存储管理的建模, 优化与控制; Fuzzy 优化理论与方法; 智能化优化方法; 面向全球制造的企业发展战略研究。

书 讯

中国工程院院士薛禹胜教授撰写的学术专著《运动稳定性量化理论——非自治非线性多刚体系统的稳定性分析》已由江苏科学技术出版社正式出版, 内容介绍见本刊 2000 年第 2 期第 280 页书评。

全书定价 55 元整, 另加 5 元邮寄费, 需要者, 请与电力系统自动化杂志社联系, 开户行: 南京工商银行大方巷分理处; 账号: 0211124900130604; 户名: 电力系统自动化杂志社; 联系电话: 025 - 3429900 - 2051; 通信地址: 南京蔡家巷 24 号(南京 323 信箱)杂志社发行部; 邮编: 210003; 联系人: 叶薇君, 邮局汇款或银行转账均可。