

基于前景理论的物流配送干扰管理模型研究^①

丁秋雷¹, 胡祥培², 姜洋³

(1. 东北财经大学工商管理学院, 大连 116025; 2. 大连理工大学系统工程研究所, 大连 116023;
3. 大连理工大学机械工程学院, 大连 116023)

摘要: 针对干扰事件导致物流配送难以顺利实施这一难题, 运用干扰管理思想, 通过结合行为科学中对人的行为感知的研究方法, 与运筹学中定量的研究手段, 从客户、物流配送运营商、配送业务员三个方面度量物流配送系统的扰动, 提出基于前景理论的扰动度量方法, 构建字典序的多目标干扰管理模型, 并采用改进的蚁群算法进行求解。实例结果表明: 本文方法比全局重调度方法和局部重调度方法更实用——能够均衡各方的利益, 得到的调整方案对系统的扰动更小。

关键词: 管理工程; 物流配送; 干扰管理; 前景理论; 多目标优化

中图分类号: C93; TP18 **文献标识码:** A **文章编号:** 1007-9807(2014)11-0001-09

0 引言

电子商务, 尤其是新兴电子商务下的物流配送系统, 由于其服务对象具有位置相关性、时间敏感性、访问的随时随地性等特点, 使得物流配送系统具有很强的复杂性、连锁性、动态性等, 容易受到众多干扰事件的影响, 如送货地址的更改、客户时间窗或需求量的变化等, 导致事先制定好的计划受到影响, 甚至变得不可行。这就需要快速实时地生成新的调整方案, 使得整个系统受到的扰动最小。因此, 如何有效地处理干扰事件, 已成为物流配送系统亟待解决的问题。

干扰管理^[1]正是一种致力于实时处理这类问题的方法论, 是近年来国际上管理科学、运筹学和系统工程等领域备受关注的新的研究方向。干扰管理需要针对各种实际问题和扰动的性质, 建立相应的优化模型和有效的求解算法, 通过对初始方案进行局部优化调整, 实时生成使系统扰动最小的调整方案。这个调整方案不是针对扰动发

生后的状态完全彻底地重新进行建模和优化, 而是以此状态为基础, 通过对初始方案进行局部优化调整, 快速生成使系统扰动最小的调整方案。

干扰管理自提出以来, 已成功应用到航空^[2]、机器调度^[3]、供应链^[4]、项目管理^[5]等多个领域。在物流配送的干扰管理研究上, Potvin等^[6]以快递公司为研究对象, 针对收集任务过程中经常遇到的延迟问题, 构建了以车辆行驶时间、客户延迟服务时间及返回中心库房延迟时间加权总和最小的目标函数; Huisman等^[7]针对旅行时间延迟问题, 采用按车场对客户进行分配的方法, 将多车场问题转化为单车场问题, 在T时刻遇到扰动产生延迟后, 将该问题分段解决, 其目标函数包括三部分: 车辆使用数、客户服务时间延迟数的百分比及延迟费用; Zeimpekis等^[8]提出处理城市物流配送中干扰问题的管理系统框架, 其核心是决策支持模块, 当干扰事件发生后, 对车辆路线进行重新安排, 目标函数为延迟费用最小和被服务的客户数量最大; Li等^[9]在干扰事件发生后, 主

① 收稿日期: 2012-08-20; 修订日期: 2012-10-31.

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(71301020; 71272093); 大连市社科院资助项目(2012dlskyb103).

作者简介: 丁秋雷(1980—), 男, 山东汶上人, 博士, 讲师. Email: dingqiulei2016@163.com

要采用后备车辆来解决这类问题;胡祥培等^[10]建立了兼顾物流配送运营商和客户两个主体的时间延迟度量模型;王旭坪等^[11]、胡祥培等^[12]分别研究了带有模糊时间窗和需求量变动的物流配送干扰管理问题;蒋丽等^[13]对运力受扰的物流配送干扰问题进行了较深入研究;Ding等^[14]针对物流配送中的干扰事件,提出了对不同客户采用不同的扰动应对策略.以上学者虽然为解决物流配送干扰问题开辟了新的思路,但是,由于物流配送系统是一个典型的“人—机”系统,包括客户、物流配送运营商、配送业务员等多个主体,现有研究过分重视物力、财力的调整与优化,而忽略人的行为因素,从而导致寻得的最优解往往在实践中并不可行.因此,针对物流配送干扰管理问题这一多目标的、主观与客观相结合的优化难题,如何在考虑人的行为因素的情况下,通过权衡各方利益,形成一个多方满意的调整方案,从而以尽量小的扰动,尽快恢复系统的正常运行,是目前该领域存在的主要难题.

本文针对上述难题,通过结合行为科学中对人的行为感知的研究方法,与运筹学中定量的研究手段,提出基于前景理论的扰动度量方法,构建物流配送干扰管理模型及其求解方法,以期为物流配送干扰管理的决策过程提供支持.

1 扰动的分析

干扰管理的核心是在干扰事件发生后,快速有效地生成使系统扰动最小的调整方案.因此,在建立干扰管理模型前,需要对扰动造成的影响进行分析,从而确定目标函数.由于客户、物流配送运营商以及配送业务员是使物流配送过程能够顺利运行的行为主体,三者的利益是研究的关键.因此,本文首先分析扰动对上述行为主体的影响,确定各主体考虑的首要目标.具体如下:

1) 对于客户:客户是物流配送过程的接收者.扰动发生后,必然会引起连锁反应,影响后续一系列剩余货物的配送任务,使得某些客户可能无法按时收到货物.因此,对于客户来说,能否按时收到货物,是其考虑的首要目标.

2) 对于物流配送运营商:物流配送运营商是物流配送过程的主导者.扰动发生后,配送车辆的行车路线随之发生变化,此时势必影响配送成本.由于在整个物流配送过程中,配送成本是物流配送运营商关注的核心,因此,在生成调整方案时,应适当兼顾成本因素,尽可能节约配送成本.

3) 对于配送业务员:配送业务员是物流配送过程的执行者.在调整方案下,势必需要更改行车路线,从而对配送业务员的工作情绪造成影响.如果新的行车路线与初始的行车路线具有较大偏差,将有可能导致配送业务员消极怠工.因此,调整方案与初始方案中配送路线的偏差,是配送业务员考虑的首要目标.

本文通过分析上述三个行为主体面对扰动时所关注的目标,对三者的利益进行权衡,从而度量系统的扰动程度,形成使系统扰动最小的调整方案.

2 基于前景理论的扰动度量方法

由第1节可知,由于物流配送系统包含多个主体,是一个典型的“人—机”系统,扰动必然会对人的行为产生影响.因此,现有在完全理性假设条件下的研究成果难以直接用于解决实际的物流配送干扰管理问题.

前景理论^[15]是行为科学中具有重大影响的一种行为决策理论,它以人的有限理性为基础,能够更加真实的描述人在不确定条件下的决策行为.因此,本节以前景理论为基础,提出系统扰动的度量方法.

2.1 价值函数的表示

扰动发生后,由于各主体考虑的目标不同,因此,基于前景理论,对各个目标的价值函数进行表示,其中目标*i*的价值函数 $V^i(x)$ 可表示为

$$V^i(x) = \begin{cases} x^{\alpha^i} & , x \geq 0 \\ -\lambda^i (-x)^{\beta^i} & , x < 0 \end{cases} \quad i = 1; \dots; n \quad (1)$$

其中 α^i 、 β^i 、 λ^i 为参数.

函数的形状如图1所示(O^i 为目标*i*的参照点).

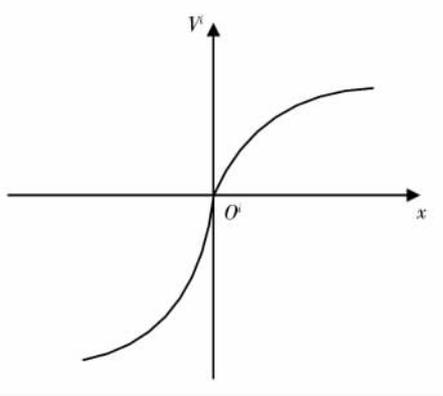


图 1 目标 i 的价值函数

Fig. 1 Value function of the objective i

根据前景理论,在决策选择的开始阶段,需选择一个适当的参照点(价值为 0)。盈利还是亏损是相对于参照点而言的,进而才能判定结果到底是盈利还是亏损。由于人们在决策选择时只注意其差异,如果保持现状就等于没有选择,它本身的价值为 0,因此,本文选择现状作为参照点。

2.2 不满意隶属函数的确定

由于各目标的主体是人,而人又是主观的,对扰动的感知是模糊的,因此,需要对各目标进行模糊化处理。

设 x^i 的不满意隶属函数为 $\mu^i(x^i)$, 当 $\mu^i(R^i) = 1$ 时,基于前景理论,此时人们面临的是亏损,表现出来的是风险追求。根据式(1)可知

$$\begin{aligned} \mu^i(R^i) &= -V^i(-R^i + O^i) \\ &= -[-\lambda^i(-(-R^i + O^i))^{\beta^i}] \\ &= \lambda^i(R^i - O^i)^{\beta^i} \end{aligned} \quad (2)$$

由 $\mu^i(R^i) = 1$ 可知 $R^i = O^i + (1/\lambda^i)^{1/\beta^i}$ 。因此, $\mu^i(x^i)$ 可分为以下三段来表示:

- ① 当 $x^i \geq R^i$ 时, $\mu^i(x^i) = 1$;
- ② 当 $O^i \leq x^i < R^i$ 时,人们面临的是亏损,根据式(1)可知, $\mu^i(x^i) = \lambda^i(x^i - O^i)^{\beta^i}$;
- ③ 当 $0 \leq x^i < O^i$ 时, $\mu^i(x^i) = 0$ 。

综上, x^i 的不满意隶属函数可表示为

$$\mu^i(x^i) = \begin{cases} 1 & , x^i \geq R^i \\ \lambda^i(x^i - O^i)^{\beta^i} & , O^i \leq x^i < R^i \\ 0 & , 0 \leq x^i < O^i \end{cases} \quad (3)$$

$i = 1, \dots, n$

函数形状如图 2 曲线所示。因为 R^i 由 β^i 和 λ^i 来决定,而对于不同主体, β^i 和 λ^i 是不同的,因

此 R^i 也是不同的。可通过对各主体进行访问和调查,采用统计分析的方法,确定上述参数。

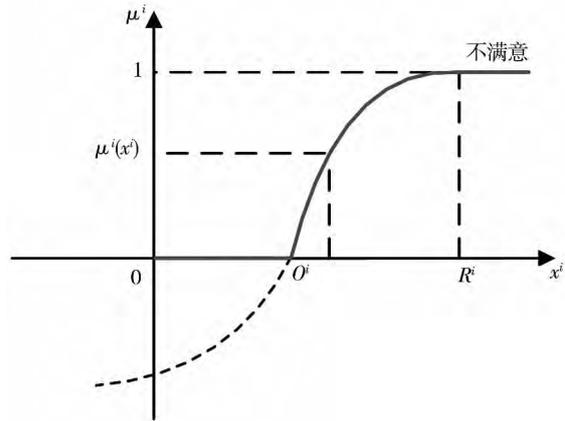


图 2 x^i 的不满意隶属函数

Fig. 2 Unsatisfactory membership function of x^i

2.3 扰动度量函数的构建

根据 2.2 节,对各目标采用不满意隶属度进行度量。目标 i 的不满意度越小,对主体 i 的扰动越小。因此,目标 i 的扰动度量函数为

$$d^i(x^i) = \min \mu^i(x^i) \quad i = 1, \dots, n \quad (4)$$

3 物流配送干扰管理模型研究

本节首先建立物流配送初始方案的数学模型。当系统发生扰动后,在该模型的基础上,构建调整方案的干扰管理模型。

3.1 初始方案的数学模型

3.1.1 问题界定

本文对要研究的物流配送问题描述如下:

- 1) 每辆车从配送中心出发,沿着一条路线把装载的货物配送到指定客户后,返回配送中心;
- 2) 每辆车可以服务多个客户,但每个客户的货物只能由一辆车配送;
- 3) 每辆车所载货物不能超过装载能力,为简化问题,假设所有车辆的装载能力相同;
- 4) 每个客户都有其接受服务的时间窗,即客户对货物到达时间的要求是在某个时间段上。

要求合理安排车辆配送路线和行车时间,使得目标函数最优,即准时到达和成本最低。

3.1.2 参数及变量说明

n : 客户总数量;

V : 客户点集合, $V = \{v_0, v_1, \dots, v_n\}$ v_0 代表配送中心, 其他代表客户点;

K : 车辆总数;

C_{ij} : 车辆从 v_i 到 v_j 的配送成本;

t_{ij} : 车辆从 v_i 到 v_j 的行驶时间;

q_i : v_i 的需求量;

Q : 车辆的装载能力;

$[ET_i, LT_i]$: v_i 的时间窗. 其中 ET_i 是客户要求到货时间段的始点, LT_i 是客户要求到货时间段的终点;

t_i : 车辆到达 v_i 的时间;

w_i : 车辆对 v_i 的服务时间;

$$x_{ijk} = \begin{cases} 1, & \text{车辆 } k \text{ 由 } v_i \text{ 出发后开向 } v_j, \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$y_{ik} = \begin{cases} 1, & v_i \text{ 的任务由车辆 } k \text{ 完成} \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases}$$

3.1.3 数学模型

根据以上描述, 建立物流配送初始方案的数学模型如下

$$\min Z = \sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^n \sum_{k=1}^K C_{ij} x_{ijk} \quad (5)$$

$$\sum_{i=1}^n q_i y_{ik} \leq Q \quad k = 1, \dots, K \quad (6)$$

$$\sum_{k=1}^K y_{0k} = K \quad (7)$$

$$\sum_{k=1}^K y_{ik} = 1 \quad i = 1, \dots, n \quad (8)$$

$$\sum_{i=1}^n x_{i0k} = 1 \quad k = 1, \dots, K \quad (9)$$

$$\sum_{i=0}^n x_{ijk} = y_{jk} \quad j = 1, \dots, n; \quad k = 1, \dots, K \quad (10)$$

$$\sum_{j=0}^n x_{ijk} = y_{ik} \quad i = 1, \dots, n; \quad k = 1, \dots, K \quad (11)$$

$$\sum_{k=1}^K \sum_{i=0}^n x_{ijk} (t_i + w_i + t_{ij}) = t_j \quad j = 1, \dots, n \quad (12)$$

$$t_i \geq ET_i \quad i = 1, \dots, n \quad (13)$$

$$t_i + w_i \leq LT_i \quad i = 1, \dots, n \quad (14)$$

上述模型中, 式(5) 为目标函数, 表示总配送成本最低; 式(6) 为车辆装载的货物总量不大于车辆的装载能力; 式(7) 为每辆车都从配送中心出发; 式(8) 为每个客户只由一辆车配送并且所有客户都得到服务; 式(9) 为车辆对客户服务完毕后, 返回配送中心; 式(10)、(11) 和(12) 表示

变量之间的关系; 式(13) 和(14) 表示满足客户要求的时间窗.

3.2 干扰管理模型的构建

3.2.1 问题假设

在物流配送过程中, 如果发生了扰动, 本文假设如下:

1) 发生干扰事件时各配送车辆所在位置为虚拟的配送中心, 是扰动后配送的起点, 初始配送中心为配送的终点, 即车辆对客户服务完毕后, 返回初始配送中心;

2) 物流配送中心没有多余的配送车辆, 即剩余的任务只能由原配送车辆完成;

3) 客户不满意度只与送货时间相关.

3.2.2 参数及变量说明

m : 未完成配送任务的客户总数量;

V : 客户点集合, $V = \{v_0, v_1, \dots, v_{m+K}\}$ v_0 代表初始配送中心; v_1, \dots, v_m 代表未完成配送任务的客户; v_{m+1}, \dots, v_{m+K} 代表当前配送车辆所在的位置, 即虚拟的配送中心;

μ_i^1 : v_i 对货物到达时间的不满意度;

μ^2 : 物流配送运营商对配送成本的不满意度;

μ^3 : 配送业务员对新路段个数的不满意度;

其他参数及变量与前文相同.

3.2.3 扰动的度量函数

1) 客户扰动的度量

根据第 1 节, 对于客户而言, 最关心的是货物的到达时间. 因此, 建立客户 i 的价值函数为

$$V_i^1(x) = \begin{cases} x^{\alpha^1} & , x \geq 0 \\ -\lambda^1 (-x)^{\beta^1} & , x < 0 \end{cases} \quad (15)$$

$i = 1, \dots, n$

其中选择现状, 即没有发生扰动时, 初始方案中客户 i 的到货时间 t_i^0 为参照点, 如果调整方案对客户 i 的到货时间 $t_i > t_i^0$, 意味着客户 i 亏损 ($x < 0$); 反之, 意味着客户 i 盈利 ($x \geq 0$).

根据式(3), 客户 i 对货物到达时间的不满意隶属函数可表示为

$$\mu_i^1(t_i) = \begin{cases} 1 & , t_i \geq R_i^1 \\ \lambda^1 (t_i - t_i^0)^{\beta^1} & , t_i^0 \leq t_i < R_i^1 \\ 0 & , 0 \leq t_i < t_i^0 \end{cases}$$

$i = 1, \dots, n$

(16)

其中 β^1, λ^1 为参数; $R_i^1 = t_i^0 + (1/\lambda^1)^{1/\beta^1}$.

2) 物流配送运营商扰动的度量

根据第 1 节, 对于物流配送运营商而言, 在制定调整方案时最关心的是配送成本. 因此, 建立物流配送运营商的价值函数为

$$V^2(x) = \begin{cases} x^{\alpha^2} & , x \geq 0 \\ -\lambda^2(-x)^{\beta^2} & , x < 0 \end{cases} \quad (17)$$

其中选择现状, 即没有发生扰动时, 初始方案的总配送成本 f^0 为参照点. 如果调整方案的配送成本 $f > f^0$, 意味着物流配送运营商亏损 ($x < 0$); 反之, 意味着物流配送运营商盈利 ($x \geq 0$).

根据式 (3), 物流配送运营商对配送成本的不满意隶属函数可表示为

$$\mu^2(f) = \begin{cases} 1 & , f \geq R^2 \\ \lambda^2(f - f^0)^{\beta^2} & , f^0 \leq f < R^2 \\ 0 & , 0 \leq f < f^0 \end{cases} \quad (18)$$

其中 β^2, λ^2 为参数; $R^2 = f^0 + (1/\lambda^2)^{1/\beta^2}$.

3) 配送业务员扰动的度量

根据第 1 节, 对于配送业务员而言, 最关心的是配送路线的偏差, 即新路段个数. 因此, 建立配送业务员的价值函数为

$$V^3(x) = -\lambda^3(-x)^{\beta^3}, x < 0 \quad (19)$$

其中: 由于初始方案中没有新路段, 因此函数的参照点为 0. 如果调整方案的新路段个数 $g > 0$, 意味着车辆驾驶员亏损 ($x < 0$); 而 g 不可能小于 0, 即车辆驾驶员无法盈利 ($x \geq 0$).

根据式 (3), 车辆驾驶员对新路段个数的不满意隶属函数可表示为

$$\mu^3(g) = \begin{cases} 1 & , g \geq R^3 \\ \lambda^3 g^{\beta^3} & , 0 \leq g < R^3 \end{cases} \quad (20)$$

其中 β^3, λ^3 为参数; $R^3 = (1/\lambda^3)^{1/\beta^3}$.

3.2.4 干扰管理模型

在 3.2.3 节的基础上, 采用字典序多目标规划的方法, 构建物流配送干扰管理模型如下

$$\min Lex = P_1 : \sum_{i=1}^m \mu_i^1(t_i) \quad P_2 : \mu^2(f) \quad P_3 : \mu^3(g) \quad (21)$$

$$P_1 \gg P_2 \gg P_3 \quad (22)$$

$$\sum_{i=1}^m q_i y_{ik} \leq Q \quad k = 1, \dots, K \quad (23)$$

$$\sum_{i=1}^K y_{(m+i)k} = 1 \quad k = 1, \dots, K \quad (24)$$

$$\sum_{i=1}^{m+K} x_{0ik} = 1 \quad k = 1, \dots, K \quad (25)$$

$$\sum_{k=1}^K \sum_{i=1}^{m+K} x_{ijk}(t_i + w_i + t_j) = t_j \quad (26)$$

$$j = 1, \dots, m$$

$$t_i \geq ET_i \quad i = 1, \dots, m \quad (27)$$

$$t_i + w_i \leq LT_i \quad i = 1, \dots, m \quad (28)$$

式 (21) 为目标函数, 表示调整方案与初始方案的偏离最小, 即系统的扰动程度最小. 在本模型中, 客户扰动之和的最小化为第一级目标, 物流配送运营商扰动的最小化为第二级目标, 配送业务员扰动的最小化为第三级目标. 式 (22) 为不同目标的优先级, 决策者可针对实际情况, 调整不同目标的顺序. 式 (23) 为车辆装载的货物总量不大于车辆的装载能力; 式 (24) 为每辆车都从虚拟的配送中心出发; 式 (25) 为车辆对客户服务完毕后, 返回初始配送中心; 式 (26) 表示变量之间的关系; 式 (27) 和 (28) 是满足客户要求的时间窗.

4 干扰管理模型的求解方法研究

由于干扰管理模型以初始方案的数学模型为基础, 该数学模型是 NP-hard 的, 因此干扰管理模型也是 NP-hard 的, 求解起来非常困难. 而物流配送实时性很强, 在这种背景下, 由于蚁群算法具有正反馈、分布式计算以及贪婪的启发式搜索等特点, 为有效地求解上述问题提供了可能. 但是, 该算法仍然存在着容易陷入局部优化、搜索速度较慢等缺陷, 因此本文提出改进的蚁群算法——混合蚁群算法 (hybrid ant colony optimization, HACO) 对干扰管理模型进行求解.

在 HACO 中, 采用信息素调整策略、最优个体交叉及变异策略来防止陷入局部优化, 改善搜索结果; 采用目标节点选择策略、集成其他算法策略来减少计算量, 提高搜索速度.

4.1 信息素调整策略

1) 在蚁群算法中, 蚁群运动的路径总是趋近于信息量最强的路径, 但是可能使离最优解相差很远的路径上的信息得到不应有的增强, 阻碍以后的蚂蚁发现更好的全局最优解, 因此信息量最强的路径不一定能反映出最优的路径. 为了提高

蚁群算法的全局搜索能力,本文采用确定性选择和随机性选择相结合的策略,当搜索陷入停滞时,对路径上的信息量进行动态调整,缩小最好和最差路径上信息量的差距,并适当加大随机选择的概率,以利于对解空间更完全地搜索。

2) 由于信息素的更新作用,每条边的信息量可能在某次搜索后出现极大值或极小值的现象,极大值将导致早熟,极小值则不利于全局搜索,因此本文吸收了最值蚂蚁算法^[16]的思想,将信息素水平限制在最大值和最小值之间,同时在搜索前,将所有边的信息素水平设为最大值,从而使蚂蚁在搜索初期具有更大的搜索范围。另外,当各边信息素水平相差很大时,将各边信息素水平与信息素的最大值进行加权平均,从而使信息素差异相对减少,有利于产生新的搜索路线。

3) 当问题规模较大时,由于信息素挥发系数 $1 - \rho$ 的存在,那些从未被搜索到的边的信息量会逐渐减小到接近于 0,降低了算法的全局搜索能力,而且当 $1 - \rho$ 过小时,边的信息量增大会使以前搜索过的解被选择的可能性增大,影响到算法的全局搜索能力;增大 $1 - \rho$ 虽然可以提高算法的全局搜索能力,但又会使算法的搜索速度降低。本文采用自适应改变 ρ 的值以解决上述问题^[17]。

4.2 最优个体交叉及变异策略

由于遗传算法的交叉和变异操作,可增加种群的多样性,防止算法早熟。因此,当蚁群算法倾向于局部最优时,引入最优个体交叉及变异策略,可有效扩大搜索空间,避免得到局部最优解。

1) 交叉策略

当搜索陷入停滞时,将最优个体和次优个体的编码进行交叉操作,假设两组编码分别为 A_1 和 A_2 ,交叉规则如下:

● 随机生成交叉段的长度和交叉段起始位置。假设 $A_1: B_1 | B_2 | B_3$, $A_2: C_1 | C_2 | C_3$, B_2 和 C_2 分别为 A_1 和 A_2 的交叉段;

● 将 C_2 插入到 A_1 中,位于 B_2 前面,这样形成新的编码 $A_3: B_1 | C_2 | B_2 | B_3$;

● 在 A_3 中,删除 B_1, B_2, B_3 中与 C_2 重复的编码,从而形成新的交叉编码 A_3 ;

● 同样的方法用在 A_2 上,生成新的编码 A_4 ;

● 比较 A_1, A_2, A_3, A_4 的结果,选出最优编码。

2) 变异策略

当算法倾向于局部收敛时,对最优个体进行变异,即在这个局部最优路径上取任意一段或几段,让信息素大幅度减少,甚至减为最小值。于是下次不得不跳出此路径,而去寻找另外可能的更好路径,实验表明变异有助于摆脱局部最优值。

4.3 目标节点选择策略

在一个较复杂的地图上,在一条遍历所有节点的最短路径中,节点 i 在选择下一个节点 j 时, j 不可能是离 i 较远的那些节点。而在蚁群算法中,当蚂蚁选择下一个节点时,需要计算所有未走过节点的转移概率,耗费较长的计算时间。

根据上述分析,蚂蚁对下一个节点的选择仅局限于离当前节点较近的部分节点,只对这些节点计算转移概率即可,这样能大幅度提高算法的搜索速度。因此本文引入目标节点选择策略,其原理是分别以 n 个节点为起点,根据该节点与其他 $n - 1$ 个节点的距离,建立 n 个距离由短到长的排序表,选择其中前若干个建立该节点的候选节点列表,蚂蚁对下一个节点的选择只在该列表中产生。

4.4 集成其他算法策略

蚁群算法易与传统启发式算法相结合的特点,决定其具有很强的耦合性,因此将节约法、交换法两种简洁高效的优化算法集成到蚁群算法中,可大幅度提高算法的求解速度。

5 算例验证及结果分析

随着现代科技的发展和社会的进步,物流配送系统中人的移动性越来越强,导致在配送过程中,货物的配送地址频繁地发生变化,这在服装鞋帽箱包类、IT 产品类、小家电类等快件的配送上,表现得尤为突出。因此,本文以配送地址变化这类干扰事件为例进行建模。

由于物流配送干扰管理问题尚未有标准的测试数据集,因此,算例验证包括两部分:第一部分采用测试题库对算法进行测试;第二部分首先设计了一个具体算例,以配送成本最低为目标,得到初始方案。之后将此方案作为物流配送干扰管理问题的背景,运用本文方法进行求解。通过与全局重调度方法、局部重调度方法的结果进行对比,验证本文方法的有效性。

5.1 算法验证

1) 实验结果

本节采用典型的测试题库——Benchmark Problems^[18] 对算法进行测试. 在该题库所列的

六类例题中,每一类随机选取两个问题组成测试数据集,采用传统蚁群算法(ACO)、改进蚁群算法^[19,20]、改进遗传算法^[21]、改进禁忌搜索算法^[22]和 HACO 算法进行求解,结果如表 1 所示.

表 1 HACO 和其他算法的实验结果

Table 1 Comparison between HACO and other heuristics

例题	ACO		IACS-SA ^[19]		MACS-IH ^[20]		GenSAT ^[21]		SATabu ^[22]		HACO	
	车辆	距离	车辆	距离	车辆	距离	车辆	距离	车辆	距离	车辆	距离
R1 - 01	19	1 702	19	1 671	19	1 651	18	1 677	19	1 655	18	1 611
R1 - 11	13	1 187	11	1 112	10	1 097	10	1 151	12	1 091	12	1 090
C1 - 05	10	879	10	829	10	829	10	829	10	829	10	829
C1 - 07	10	860	10	829	10	829	10	829	10	829	10	831
RC1 - 01	14	1 789	15	1 653	14	1 697	14	1 669	14	1 678	14	1 634
RC1 - 03	12	1 256	11	1 285	11	1 262	13	1 207	12	1 196	11	1 133
R2 - 02	6	1 242	4	1 102	3	1 192	4	1 176	6	1 078	6	1 130
R2 - 05	5	1 168	3	1 033	3	994	3	1 128	5	1 049	4	1 037
C2 - 01	3	643	3	592	3	592	3	591	3	592	3	592
C2 - 06	4	685	3	588	3	588	3	588	4	654	3	589
RC2 - 05	5	1 517	4	1 344	4	1 298	4	1 389	6	1 426	4	1 346
RC2 - 08	4	915	3	848	3	829	3	919	5	943	3	839

2) 对比分析

根据表 1 的实验结果,在求解上述 12 个例题中,HACO 得到的结果 100% 优于 ACO 得到的结果,92% 优于或接近于改进蚁群算法——IACS-SA 得到的结果,75% 优于或接近于改进蚁群算法——MACS-IH 得到的结果,100% 优于或接近于改进遗传算法——GenSAT 得到的结果,92% 优于或接近于改进禁忌搜索算法——SATabu 得到的结果.

分析结果表明,和上述已有的算法相比,

HACO 在求解 NP-hard 问题时是非常有竞争力的. 由于 HACO 中的参数选择凭多次试验而定,没有理论依据,因此求出的解不是算法所能取得的最好解. 将算法中各参数设置成最优,其最终解还有进一步改进的余地.

5.2 干扰管理模型验证

1) 算例设计

某配送中心向周围 23 个客户配送货物,为计算方便,假设客户的信息无量纲,如表 2 所示. 其中客户 0 为配送中心,设装卸货时间不计,即服务时间为 0.

表 2 - 1 客户信息

Table 2 - 1 Customer information

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
(X, Y)	(0.7 0.7)	(1.0 0.7)	(0.9 0.9)	(1.2 0.9)	(0.9 0.7)	(1.0 1.1)	(0.1 0.8)	(0.7 0.9)	(0.9 0.5)	(1.1 0.5)	(1.3 0.6)	(0.3 0.4)
$[ET_i, LT_i]$	[0 3.5]	[1 2]	[0.5 1.5]	[0.5 1.5]	[0.5 2]	[0.5 1.5]	[1 2.5]	[1.5 2.5]	[1.5 3]	[0.5 1.5]	[0.5 2.5]	[0.5 3]

表 2 - 2 客户信息

Table 2 - 2 Customer information

	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
(X, Y)	(0.3 0.7)	(0.4 0.9)	(0.5 0.9)	(0.9 1.1)	(0.5 0.4)	(1.0 0.6)	(0.2 0.8)	(0.4 0.5)	(0.5 0.4)	(0.6 0.7)	(0.1 1.0)	(0.2 1.1)
$[ET_i, LT_i]$	[0 1.5]	[0.5 2.5]	[0.5 3]	[0.5 1.5]	[0 2]	[1.5 2.5]	[0 1]	[0 1.5]	[0.5 2.5]	[0 2]	[1 3]	[1.5 3]

根据上述条件,得出初始方案的配送路线如下. 路线 1: 0 → 15 → 5 → 3 → 9 → 10 → 1 → 17 →

8 → 0; 路线 2: 0 → 19 → 16 → 20 → 11 → 12 → 6 → 22 → 23 → 13 → 14 → 7 → 0; 路线 3: 0 → 18 →

21 → 2 → 4 → 0. 此时总配送成本为 6, 目标函数最优.

2) 实验结果

当 $t = 0.3$ 时, 客户 11 的配送地址由 (0.3,

0.4) 变为 (0.4, 0.8). 根据 Kahneman 等^[15], 取 $\beta = 0.88, \lambda = 2.25$. 分别采用本文方法、全局重调度方法和局部重调度方法进行求解, 结果如表 3 所示.

表 3 不同方法的求解结果

Table 3 Comparison among different approaches

	本文方法	局部重调度方法	全局重调度方法
客户的扰动	1	2.9	4.1
物流配送运营商的扰动	0.7	0.3	0
配送业务员的扰动	1	1	1

3) 对比分析

根据表 3, 得出主要结论如下:

(1) 从客户的扰动来看, 本文方法得到的结果明显优于其他两种方法得到的结果, 这说明干扰管理模型在降低客户不满意程度上的效果是非常显著的;

(2) 从物流配送运营商的扰动来看, 本文方法得到的结果劣于其他两种方法得到的结果, 但是相差不多, 说明干扰管理模型得到的配送成本在物流配送运营商可以接受的范围之内;

(3) 从配送业务员的扰动来看, 本文方法得到的结果与其他两种方法得到的结果相同, 这说明干扰管理模型在抑制配送路线的偏差上不劣于其他两种方法.

综上所述, 在考虑人的行为因素的情况下, 本文方法以牺牲较小的配送成本, 换来了客户不满意程度大幅度的降低. 因此, 与全局重调度方法和局部重调度方法相比, 本文方法得到的结果更为实用. 另外, 虽然从短期看, 物流配送运营商牺牲了一定成本, 但从长期的战略角度看, 有利于拥有稳定的客户群并吸引更多的新客户, 进而扩大企业的影响力, 促进企业的可持续发展.

参 考 文 献:

- [1] Yu G, Qi X. Disruption management: Framework, Models and Applications [M]. Singapore: World Scientific Publishing, 2004.
- [2] Clausen J, Larsen A, Larsen J, et al. Disruption management in the airline industry—concepts, models and methods [J]. Computers & Operations Research, 2010, 37(5): 809–821.
- [3] 王建军, 刘 锋, 何 平. 带折扣因子的单机干扰管理研究 [J]. 运筹与管理, 2011, 20(5): 39–45.
Wang Jianjun, Liu Feng, He Ping. Disruption management for single machine scheduling with discounted factor [J]. Opera-

6 结 束 语

本文针对物流配送干扰管理问题, 结合运筹学、前景理论、模糊数学等, 在扰动度量方法、干扰管理模型与求解方法上进行了探索性的研究工作, 具体体现在:

1) 提出基于前景理论的扰动度量方法, 为物流配送系统中涉及人的行为感知的扰动度量提供了新工具, 为解决干扰管理领域扰动度量这一关键问题提供了新思路, 有利于丰富干扰管理理论.

2) 采用字典序多目标规划的方法, 构建物流配送干扰管理的多目标优化模型, 并引入目标逐级优化的思想, 为寻找扰动最小的物流配送调整方案提供较为实用的定量分析工具.

3) 提出改进的蚁群算法——混合蚁群算法的基本原理, 为求解干扰管理模型这一 NP-hard 问题提供了新思路, 为寻求科学实用的多目标优化问题的求解方法进行了有益探索.

为了研究的方便, 本文采用 Kahneman 等^[15]给出的 β, λ 值进行算例验证. 因此, 如何确定上述参数的实际值, 从而完善物流配送干扰管理模型, 使其实用性更强, 是下一步研究的重点.

- tions Research and Management Science ,2011 ,20(5) : 39 – 45. (in Chinese)
- [4]Qi X ,Bard J F ,Yu G. Supply chain coordination with demand disruptions [J]. Omega ,2004 ,32(4) : 301 – 312.
- [5]Zhu Z ,Bard J F ,Yu G. Disruption management for resource-constrained project scheduling [J]. Journal of the Operational Research Society ,2005 ,56(4) : 365 – 381.
- [6]Potvin J Y ,Xu Y ,Benyahia I. Vehicle routing and scheduling with dynamic travel times [J]. Computers & Operations Research ,2006 ,33(4) : 1129 – 1137.
- [7]Huisman D ,Freling R ,Wagelmans A P M. A robust solution approach to the dynamic vehicle scheduling problem [J]. Transportation Science ,2004 ,38(4) : 447 – 458.
- [8]Zempeki V ,Giaglis G M ,Minis I. A dynamic real-time fleet management system for incident handling in city logistics [C]. Vehicular Technology Conference ,VTC 2005-Spring ,2005 ,5: 2900 – 2904.
- [9]Li J Q ,Borenstein D ,Mirchandani P B. A decision support system for the single-depot vehicle rescheduling problem [J]. Computers & Operations Research ,2007 ,34(4) : 1008 – 1032.
- [10]胡祥培 ,于楠 ,丁秋雷. 物流配送车辆的干扰管理序贯决策方法研究 [J]. 管理工程学报 ,2011 ,25(2) : 186 – 190 ,130.
- Hu Xiangpei ,Yu Nan ,Ding Qiulei. Sequential decision methods for disruption management in distribution [J]. Journal of Industrial Engineering/Engineering Management ,2011 ,25(2) : 186 – 190 ,130. (in Chinese)
- [11]王旭坪 ,阮俊虎 ,张凯 ,等. 有模糊时间窗的车辆调度组合干扰管理研究 [J]. 管理科学学报 ,2011 ,14(6) : 2 – 15.
- Wang Xuping ,Ruan Junhu ,Zhang Kai ,et al. Study on combinational disruption management for vehicle routing problem with fuzzy time windows [J]. Journal of Management Sciences in China ,2011 ,14(6) : 2 – 15. (in Chinese)
- [12]胡祥培 ,孙丽君 ,王雅楠. 物流配送系统干扰管理模型研究 [J]. 管理科学学报 ,2011 ,14(1) : 50 – 60.
- Hu Xiangpei ,Sun Lijun ,Wang Yanan. A model for disruption management in urban distribution systems [J]. Journal of Management Sciences in China ,2011 ,14(1) : 50 – 60. (in Chinese)
- [13]蒋丽 ,丁斌 ,臧晓宁. 基于干扰管理的车辆故障救援模型 [J]. 系统工程 ,2010 ,28(6) : 111 – 116.
- Jiang Li ,Ding Bin ,Zang Xiaoning. The model of vehicle breakdown rescue based on disruption management [J]. Systems Engineering ,2010 ,28(6) : 111 – 116. (in Chinese)
- [14]Ding Q ,Hu X ,Wang Y. A model of disruption management for solving delivery delay [C]. Advances in Intelligent Decision Technologies: Proceedings of the Second KES International Symposium IDT ,Baltimore ,USA ,2010 ,227 – 237.
- [15]Kahneman D ,Tversky A. Prospect theory: An analysis of decision under risk [J]. Econometrica ,1979 ,47: 263 – 291.
- [16]Stützle T ,Hoos H. Improvements on the Ant System: Introducing MAX-MIN ant System [M]. in G. D Smith ,N. G ,Steele ,R. A ,editor ,Artificial Neural Networks and Genetic Algorithms ,1998.
- [17]王颖 ,谢剑英. 一种自适应蚁群算法及其仿真研究 [J]. 系统仿真研究 ,2002 ,14(1) : 31 – 33.
- Wang Ying ,Xie Jianying. An adaptive ant colony optimization algorithm and simulation [J]. Journal of System Simulation ,2002 ,14(1) : 31 – 33. (in Chinese)
- [18]Solomon Benchmark Problems [EB/OL]. <http://web.cba.neu.edu/~msolomon/problems.htm>.
- [19]Chen C H ,Ting C J. A hybrid ant colony system for vehicle routing problem with time windows [J]. Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies ,2005 ,6: 2822 – 2836.
- [20]Balseiro S R ,Loiseau I ,Ramonet J. An ant colony algorithm hybridized with insertion heuristics for the time dependent vehicle routing problem with time windows [J]. Computers & Operations Research ,2011 ,38: 954 – 966.
- [21]Thangiah S R ,Osman I H ,Sun T. Hybrid genetic algorithm ,simulated annealing and tabu search methods for vehicle routing problems with time windows [R]. Technical Report UKC/OR94/4 ,Institute of Mathematics & Statistics ,University of Kent ,Canterbury ,UK ,1994.
- [22]Tan K C ,Lee L H ,Ou K. Artificial intelligence heuristics in solving vehicle routing problems with time window constraints [J]. Engineering Applications of Artificial intelligence ,2001 ,14: 825 – 837.

- [17] Gu J X , Goetschalckx M , McGinnis L F. Research on warehouse operation: A comprehensive review [J]. *European Journal of Operational Research* , 2007 , 177(1) : 1 – 21.
- [18] 魏 航. 集装箱码头堆场取箱时间窗优化研究 [J]. *管理科学学报* , 2011 , 14(9) : 21 – 36.
Wei Hang. Optimal pickup time windows allocation at container terminal [J]. *Journal of Management Sciences in China* , 2011 , 14(9) : 21 – 36. (in Chinese)

Optimizing the storage location assignment in a JIT-oriented parts distribution center

NING Lang , ZHANG Hong-bin* , ZHANG Bin

Lingnan College , Sun Yat-Sen University , Guangzhou 510275 , China

Abstract: JIT-oriented parts distribution processes have some particular characteristics , such as abundant SKUs , small batches and dispersed in-out warehouse time. It is very challenging to optimize the storage location assignment in the distribution center. This paper models the storage location assignment problem with time dimension as a special triangle packing problem , and develops a heuristic for solving it. Numerical study with the real case shows that the proposed model and heuristic method are very useful in practice; they can reduce the operating cost and improve the spatial utilization significantly.

Key words: JIT; triangle packing; storage location assignment; vector assignment

(上接第 9 页)

A model of disruption management based on prospect theory in logistic distribution

DING Qiu-lei¹ , HU Xiang-pei² , JIANG Yang³

1. School of Business Administration , Dongbei University of Finance and Economics , Dalian 116025 , China;
2. Institute of Systems Engineering , Dalian University of Technology , Dalian 116023 , China;
3. School of Mechanical Engineering , Dalian University of Technology , Dalian 116023 , China

Abstract: It is difficult to generate a new plan effectively for minimizing the negative impact when disruption occurs in logistic distribution. Based on disruption management , this research aims to improve the science of the decision making of disruption management in logistic distribution by combining the behavioral perception in prospect theory with the quantitative analysis in operations research. At the beginning , the method to measure the deviation based on prospect theory is studied by analyzing the effects of disruption on the customer , logistics enterprise , and delivery worker. Then , the multi-objective model of disruption management based on the Lexicographic Multiple Goal Programming is constructed and an improved ant colony optimization is demonstrated. The computational result of the model proves that , due to the tradeoff between all parties involved in the logistic distribution , our method is more practical than global rescheduling and local rescheduling.

Key words: management engineering; logistic distribution; disruption management; prospect theory; multi-objective optimization