

基于“全局道段优化模型”的末端配送作业模式

刘芳,黄康,罗雕

(中国邮政集团有限公司邮政研究中心 技术应用研究中心,北京 100096)

[摘要]指出末端配送普遍采用固定道段的作业组织模式,道段组划依赖管理者的经验,难以适应邮件量、邮件分布及在岗投递员的变化。提出了基于柔性理念的“全局道段优化模型”,以该模型为核心开发了“智能揽投管控平台”,致力于提高揽投网点生产效率,降低成本,验证结果表明该模型可以减少行驶里程和工作时长。

[关键词]末端配送;道段组划;全局道段优化模型;柔性;作业组织模式

[中图分类号]F252.14

[文献标识码]A

[文章编号]1005-152X(2021)03-0065-06

Endpoint Distribution Operation Mode Based on "Global Postal Division Optimization Model"

LIU Fang, HUANG Kang, LUO Diao

(Technology & Application Research Center, China Post Group Co., Ltd. Postal Research Center, Beijing 100096, China)

Abstract: In this paper, we pointed out that in postal delivery, endpoint distribution is generally implemented in fixed divisions, the arrangement of which relies heavily on management experience and has difficulty in coping with the changes in post volume, post distribution or on-the-job delivery personnel. In such light, we proposed the "global division optimization model" based on the concept of flexibility. Next, with the model as the core, we developed the "intelligent parcel collection and delivery platform" to improve the working efficiency of the postal outlets and reduce their costs. At the end, we verified that the model could reduce the driving mileage and working hours of the postal outlets.

Keywords: endpoint distribution; division arrangement; global postal division optimization model; flexible; operation arrangement mode

1 概述

1.1 末端配送现状

随着电子商务的快速发展,中国快递包裹数量急剧增加,根据国家邮政局监测数据显示,2019年全国快递服务企业业务量累计完成635.2亿件,同比增长25.3%^[1]。随之而来的投递“最后一公里”问题也愈加突出,其表现为市场变化与资源配给平衡的冲突,客户体验与服务能力匹配的冲突,作业组织与成本控制的冲突。

从企业运营的角度,快递末端配送模式主要包括:自营、第三方和共同配送。国家标准《物流术语》(GB/T18354-2001)对共同配送的定义是“由多个企业联合起来组织实施的配送活动^[2]。多个企业开展

共同配送,可以有效降低配送成本,其机理是规模增大可以提高效率。末端共同配送是将共同配送的理念运用于城市配送中心到终端客户的配送过程,是共同配送的一个子环节。快递末端配送方式包括:上门投递、包裹柜自提、便利店自提、快递公共服务站(如菜鸟驿站)、无人机投递、投递到车等。

快递企业在运营过程中面临诸多的困境。首先快递行业末端配送成本占整个物流配送成本的比例居高不下,其原因主要包括:配送环节难以做到标准化、作业流程不合理、人车资源与任务不匹配等。其次,普遍存在“招人难”“留人难”的问题,一般招聘到配送人员后,经过简单培训便开始上岗服务,导致配送人员的专业化程度较低、服务意识较差。在固定道段的作业组织模式下,业务量变化导致揽投网点

[收稿日期]2020-12-20

[基金项目]中国邮政集团有限公司科研基金(ZB2019-025-KY)

[作者简介]刘芳(1973-),女,黑龙江哈尔滨人,硕士,高级工程师,研究方向:自然语言处理、运筹学、机器翻译、信息检索、名址匹配、系统架构;罗雕(1992-),通信作者,男,湖北武汉人,硕士,研究方向:组合优化、运筹学。

的投递人员富余或者不足,缺乏人力资源的合理调配手段。客户对收件时间、地点、方式的个性化需求,商品品类多样、规格不同,投递区域的多样性,都增加了投递难度。派件员上门投递时,无人在家导致投递失败,需要二次或多次投递。这些因素也导致了对客户的服务质量无法保证^[3]。

1.2 作业模式分析

末端配送无论采用哪种运营模式,其作业组织的关键都是揽投任务的分配,目前揽投网点普遍采用固定道段的作业组织模式对任务进行分配。道段指的是将网点覆盖范围划分成一些无交集的子区域,固定意味着在较长一段时间内道段组划保持不变。

投递道段组划通常采用的原则包括:每条道段配备一名投递员;保证投递员在规定工期内及时妥投邮件;各个投递道段的劳动量基本平衡^[4]。当遇到较大变化时,例如投递员辞职、投递部覆盖范围变化、增减代投点,则需要对道段做相应的调整。

固定道段作业组织模式的优点是生产组织与管理相对容易,缺点是当业务量发生变化时,人工调配任务会增加管理成本、降低投递效率,同时也会影响客户服务质量和投递时限。

投递部的道段组划主要依赖人的经验。为了完成道段组划任务,一方面生产组织者要与投递员进行沟通,了解现有道段的业务量、地理特征、上门投递占比等基本情况;另一方面通过实际生产来评估投递员的投递能力。然后经过一段时期的磨合,最终给出道段组划结果。虽然这种道段组划方法能基本满足实际生产需要,但是每次组划周期较长,导致显著增加管理成本、降低生产效率。

1.3 研究现状

如何提升末端投递效率、降低末端投递成本、提供优质的投递服务,成为快递服务企业持续关注的问题。如何以数据为导向,从全局出发,运用运筹学、人工智能、机器学习等理论与技术,实现道段科学组划和揽投任务合理分配,成为学术界和行业关注的焦点。

张慧敏研究了任务均衡下的快递末端配送区域划分及路径优化问题,根据任务均衡、配送分区规

则,将研究问题转化为小区之间的遍历顺序和小区内部客户节点遍历顺序两个子问题^[5]。谷炜提出了一种改进 K-means 聚类算法的物流配送区域划分方法^[6]。王迪首先基于收货点密度设计启发式算法得到配送分区的初始解,之后采用禁忌搜索算法对分区结果进行优化^[7]。

顺丰科技提出了智慧物流地图的解决方案,在客户下单、智能调度、中转分拣、规划运输、末端配送等环节积累了大量数据,沉淀多种物流解决方案,提供货车和骑行场景的高效路径规划服务,为业务赋能。针对收派难点,顺丰科技提出了多维度的解决方案:通过邮件量预测,实现资源需求的预测;利用大数据,实现投递员能力评估、订单难度评估,从而使任务与收派员最佳匹配;智能排班解决了收派业务中业务高峰低谷人力分配不均的实际问题^[8]。

京东物流针对多时效产品、特定区域派送场景、时效优先基础上成本最低的业务需求,解决多种宽度时间窗下准确的派送路径规划推荐,实现了智能路径优化系统。该系统融合了目前业内最领先的分支-切割算法、可变邻域搜索、快速小邻域局部搜索、元启发式算法、分布式并行技术,融入了客户收货习惯、站点地址、订单号、订单时效、客户收货地址经纬度、配送员当前坐标、配送员配送习惯等各项参数,在最大限度保持配送员现有配送节奏的前提下,实现以配送路径最短的形式准确达成包括京准达订单在内的全部订单配送的效果,满足客户更精准的需求^[9]。

菜鸟物流云现已提供“车辆路径规划服务”,该服务将订单信息和可用车辆信息进行智能匹配,结合多种限制因素,给出每辆车的最优订单配送顺序和路径。

2 解决方案

2.1 方案概述

柔性是系统所具有的有效应对环境变化的能力。柔性能力不仅仅是一种被动的应对变化的能力,更是一种主动的适应变化,甚至寻求变化的能力。将柔性理念应用于末端配送作业组织问题,可增强揽投网点的快速响应能力,高效率、低成本地满足顾客的

需求。基于柔性理念和数据驱动的方式,本文提出了动态末端配送作业组织模式的整体设计思路。

首先通过对揽投网点的网络结构设计实现人车资源的共享;其次利用评估揽投网点现有投递生产效率,选址引擎给出最佳的位置选择方案;然后以基于柔性理念的道段作业组织模式进行末端网点的生产运营;最后融合大数据、人工智能、云计算等多种前沿技术实现智慧化的末端揽投生产与管理。

该设计思路包含四个视角:客户视角,即采用多种渠道和手段满足客户多样性需求、提升时效性和服务质量;揽投员视角,即以动态道段的作业组织模式实现任务与资源的合理分配,释放投递效能;管理人员视角,即为管理员提供辅助管理手段,包括揽投监控、资源预报、投递部选址;第三方视角,通过协同方式构建共享的人车资源池,实现末端共同配送。

道段组划是末端配送作业组织的关键问题之一。针对道段组划问题,本文提出了带有投递车装载量、投递员最大工作时长、客户点时间窗等约束的“全局道段优化模型”,以该模型为核心开发了“智能揽投管控平台”系统,研发了排班排线引擎、经纬度学习引擎、线路学习引擎和揽收调度引擎等。末端柔性道段组划的出发点是突破固定的道段作业模式,按照邮件的流量流向来规划任务分配和投递线路,落脚点是合理均衡分配工作任务,从而使得整体效率达到最高。

2.2 场景设计

基于动态的作业组织生产环节包括:投递邮件信息接收、排班排线计算、任务下发、邮件接收及内场处理、扫描分拣下段、扫描装车、投递作业处理、揽收调度、揽投实时监控和作业结束。系统处理流程如图1所示。

邮件实物到达揽投机构前,系统根据提前发送的邮件收寄信息、邮件修正信息、网运系统发送的邮件到达信息、投递历史数据、人员信息、车辆信息等,计算出当天所需作业人员,生成排班计划,预告管理人员,管理人员根据实际情况调整确认,下发任务给揽投员。

投递部是按照生产作业频次进行组织的,通常

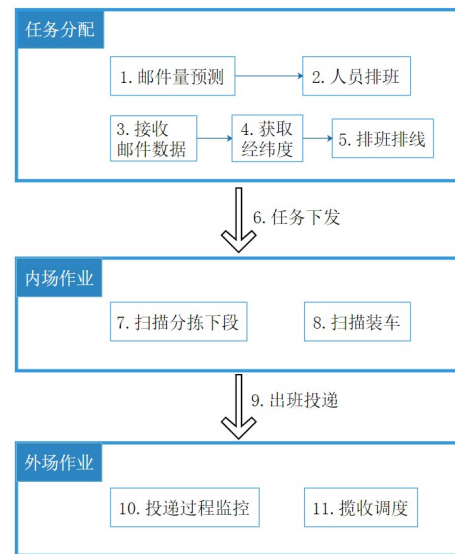


图1 系统处理流程

一天有三个作业频次。当邮件处理中心的邮车将实物送达投递部后,进行邮件交接,开始了第一个作业频次。揽投员进行集中作业,每个人执行邮件扫描,系统提示邮件所在的动态段号。扫描完所有邮件后,正常邮件已经被确定所在的动态段号。

邮件按动态段号归集分堆后,揽投员根据熟练程度,选择下段装车方式。对地址不熟悉的投递员,可扫描邮件,系统提示出邮件投递顺序号,揽投员进行标识,最后按顺序装车。

揽投人员根据APP指示路线出班作业,在到达下一个投递点之前,系统自动发送预告投递信息给收件人,并再次确认投递方式。投递员通过手持终端设备逐件对每个邮件的妥投或者未妥投等信息进行反馈。

揽投员在外场投递作业过程中,产生的收寄订单进行如下处理:本系统接收到寄件信息后,计算出适合的候选揽投员,投递班长会实时看到订单的处理情况,并可对异常情况进行处理。

投递部接收完第二个频次的邮件后,由内勤人员对邮件进行扫描分拣下段。距离投递部较近的投递员返回投递部取件,距离较远的投递员可不返回投递部,由汽车将邮件运送交接点与投递员进行交接,并将收寄的邮件和未投出去的邮件带回投递部。第三个生产频次与第二个生成频次的过程类似。

揽投人员完成全天任务后,将收寄邮件归集到就近的揽投部或营业部,截邮时间前送达的,由趟车运回处理中心,截邮时间后送达的,由揽投部或营业部负责发出众包信息,由社会车辆接单,运送至处理中心。无揽收邮件的揽投员,可上传邮件面单照片,系统内完成邮件平衡合拢,自动反馈邮件信息,结束全天任务,不必返回揽投部。揽投员车辆由第三方公司提供的,不必停放回揽投部。

2.3 “全局道段优化模型”

“动态作业与线路规划”功能的实现依赖于道段组划数学模型,在该数学模型的基础上,根据验证方案,对模型与算法进行了验证,并对模型效果进行分析。

模型描述:给定某个投递频次的待投邮件、邮件的投递时限、投递三轮车、若干名投递员,在不超过最大工作时长、投递车装载量的前提下,分配投递任务及规划投递线路,使得投递员总工作时间、总行驶里程最少。

$$\min Z = \sum_{k=1}^m \sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^n \frac{d_{ij}}{v} x_{ijk} \quad (1)$$

满足:

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n D_i x_{ijk} \leq Q_k, \quad \forall k \in K \quad (2)$$

$$\sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^n \left(\frac{d_{ij}}{v} + f(D_i) + \sum_{i=1}^n (t_{ik} - a_i) \right) x_{ijk} \leq T_k, \quad \forall k \in K \quad (3)$$

$$\sum_{k=1}^m \sum_{j=0}^n x_{ijk} = 1, \quad \forall i \in N \quad (4)$$

$$\sum_{j=1}^n x_{0jk} = 1, \quad \forall k \in K \quad (5)$$

$$\sum_{i=0}^n x_{ihk} = \sum_{j=0}^n x_{hjk}, \quad \forall h = 1, 2, \dots, n, \quad \forall k \in K \quad (6)$$

$$\sum_{i=1}^n x_{i0k} = 1, \quad \forall k \in K \quad (7)$$

$$a_i \leq t_{ik} \leq b_i, \quad \forall i = 1, 2, \dots, n, \quad \forall k \in K \quad (8)$$

$$x_{ijk} \left(t_{ik} + f(D_i) + \frac{d_{ij}}{v} - t_{jk} \right) \leq 0 \quad (9)$$

$$x_{ijk} \in \{0, 1\}, \quad \forall i, j = 0, 1, 2, \dots, n, \quad \forall k \in K \quad (10)$$

上述目标函数约束条件的含义如下:

- 式(1)表示优化目标为总的行驶时间最少;
- 式(2)表示不同车型的装载量约束;
- 式(3)表示每个投递员的工作时长限制;
- 式(4)表示每个投递点只能由某个投递员负责

投递;

式(5)表示所有投递员都从投递部出发;

式(6)表示每位投递员到达每个投递点完成投递任务后离开该投递点;

式(7)表示所有投递员都返回投递部;

式(8)表示投递点时间窗口约束;

式(9)表示路线和时刻表之间的相容性约束;

式(10)表示决策变量的取值范围。

2.4 系统架构与功能

针对上述业务场景及其业务处理流程,研发了“智能揽投管控平台”系统,系统架构如图2所示,该系统实现了6个核心功能。



图2 系统架构图

(1)辅助选址。该功能提升揽投机构整合、调整能力。我们提出了一种基于均匀分割和车辆路径规划的选址算法,该算法根据历史邮件数据的分布,从全局投递效率最优的角度给出了投递部的建议位置。

(2)作业量预测。该功能提高资源配置精确度,利用邮件的收寄信息及全程时限数据,预测投递部未来7天的进口邮件量,并给出建议的人车资源配置。

(3)动态人员分配。该功能实现高效排班,投递部进口邮件量存在较大的波动,在现有生产作业组织模式下,投递部每天出班的人数基本固定,该系统利用未来7天的作业量预测结果来合理地进行人员排班。

(4)动态作业与线路规划。该功能实现柔性作业,在现有的作业组织模式下,道段基本固定,当邮件分布变化时,投递效率不高,该系统根据投递部每

天的进口投递邮件,动态地分配投递任务及规划投递线路,克服了传统固定道段不灵活的缺点。

(5)揽收调度。该功能提高派揽效率,根据所有正在外场作业投递员的实时位置及揽收完成情况,在满足揽收时限的前提下,智能计算出“抢单模式”下的任务分配方案,从而使得揽收响应速度更快、揽收成本更低。

(6)实时监控。该功能实现管理赋能,管理员根据系统的实时监控信息及时干预生产过程,对揽投生产进行质量监控。

2.5 “动态作业与线路规划”功能的验证

(1)验证方案。在验证阶段,项目组与寄递事业部的业务专家共同确定了智能揽投系统的验证方案。在该方案基础上,验证的实施过程如下:首先进行生产写实,即利用终端设备上安装的App采集实际生产的出归班打卡时间、投交点位置以及处理时长,利用安装在投递车上的定位器记录投递员的行驶轨迹和行驶里程;其次排班排线引擎利用采集的数据计算出任务分配以及投递线路;然后按照规划的线路进行实跑并采集数据;最后将实际生产、系统规划和系统规划实跑的结果进行对比。

(2)验证结果。在育新花园营业部、苏家坨营业部和颐和园营业部分别进行了为期一周的验证数据采集。数据采集时间从2020年7月13日至19日(不含17日),使用GPS定位器采集投递员的行驶轨迹数据,使用App打卡功能采集出归班时间及客户点服务时长。GPS定位器采集的数据情况见表1。

表1 GPS定位器采集的数据情况

投递部代码	日期	使用设备数量	轨迹点数量
10000344	2020/7/13	15	19 337
10000344	2020/7/14	16	20 134
10000344	2020/7/15	17	19 800
10000344	2020/7/16	17	19 178
10000344	2020/7/18	17	21 065
10000344	2020/7/19	15	21 316

(3)模型效果。针对模型验证的行驶里程和工作时长指标,系统规划结果与实际生产的对比结果见表2、表3,如图3、图4所示,验证结果表明系统规划结果与实际生产的行驶里程和工作时长相比均减

表2 行驶里程对比结果

投递部代码	日期	频次	实际行驶里程/km	规划行驶里程/km	百分比
10000344	2020/7/13	1	125.0	94.0	25%
10000344	2020/7/13	2	110.4	86.7	21%
10000344	2020/7/13	3	86.1	74.6	13%
10000344	2020/7/14	1	128.9	89.4	31%
10000344	2020/7/14	2	118.9	87.9	26%
10000344	2020/7/14	3	89.6	68.4	24%
10000344	2020/7/15	1	121.1	88.4	27%
10000344	2020/7/15	2	107.5	85.1	21%
10000344	2020/7/15	3	85.0	65.9	22%
10000344	2020/7/16	1	111.4	86.7	22%
10000344	2020/7/16	2	110.9	92.7	16%
10000344	2020/7/16	3	99.5	76.5	23%
10000344	2020/7/18	1	134.7	110.9	18%
10000344	2020/7/18	2	110.3	91.6	17%
10000344	2020/7/18	3	84.0	62.5	26%
10000344	2020/7/19	1	141.8	114.8	19%
10000344	2020/7/19	2	125.7	107.6	14%
10000344	2020/7/19	3	111.2	74.2	33%

少10%以上。

①总行驶里程节省13%以上。“全局道段优化模型”充分考虑邮件的空间分布特征,并且为每位投递员规划最优的投递线路,使得总行驶里程节省13%以上。

②总工作时长节省11%以上。

③任务分配更均衡。

④投递员工作时长更均衡。使用离散度(一组数据与其均值的绝对偏差的平均值)来衡量工作长时的均衡性。2020年7月19日一频次实际工作长时的离散度为36.3,规划工作长时的离散度为30.6。

⑤模型适用性强。“全局道段优化模型”对投递部的覆盖范围、投递员数量没有要求,无需历史数据的学习就可以给出规划结果。

⑥排班排线算法框架具备可拓展性。排班排线算法框架易于拓展,算法需调整的参数少,除了可以求解标准的VRP之外,还能够求解VRPPD,MDVRP等变形问题。

在项目验收测试中,实跑测试验证选择了10月23日育新揽投部的一频次进口包裹快递数据。

实跑测试结果见表4,测试结果表明:

①系统规划结果与实际生产相比,总行驶里程

表3 工作时长对比结果

投递部代码	日期	频次	实际工作时长/min	规划工作时长/min	百分比
10000344	2020/7/13	1	2 785	2 122	24%
10000344	2020/7/13	2	1 660	1 294	22%
10000344	2020/7/13	3	1 098	980	11%
10000344	2020/7/14	1	2 930	2 155	26%
10000344	2020/7/14	2	1 838	1 446	21%
10000344	2020/7/14	3	1 074	786	27%
10000344	2020/7/15	1	2 501	2 025	19%
10000344	2020/7/15	2	1 611	1 223	24%
10000344	2020/7/15	3	1 097	884	19%
10000344	2020/7/16	1	2 716	2 177	20%
10000344	2020/7/16	2	2 031	1 593	22%
10000344	2020/7/16	3	1 667	1 129	32%
10000344	2020/7/18	1	3 103	2 422	22%
10000344	2020/7/18	2	1 732	1 314	24%
10000344	2020/7/18	3	1 016	615	39%
10000344	2020/7/19	1	2 909	2 152	26%
10000344	2020/7/19	2	1 829	1 382	24%
10000344	2020/7/19	3	1 309	915	30%

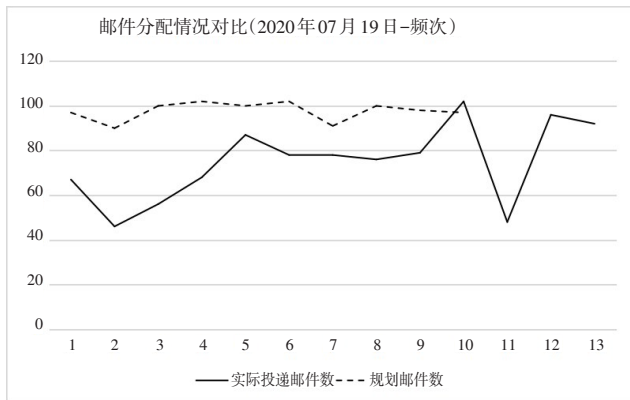


图3 邮件分配情况对比

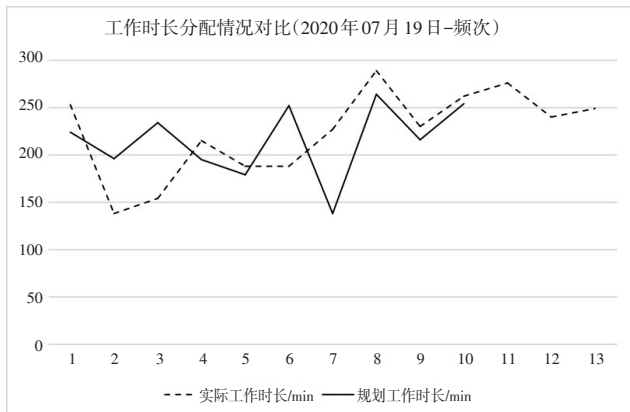


图4 工作时长对比

和总工作时长均节省10%以上,平均工作时长节省5%。

②系统规划的实跑结果与实际生产相比,总行驶里程和总工作时长均节省10%以上,平均工作时长节省10%。

表4 实跑测试对比结果

	实际生产	系统规划		系统规划的实跑	
		道段数量	17	11%	17
道段数量	19	17	11%	17	11%
总工作时长(min)	4 072	3 446	15%	3 281	19%
总行驶里程(km)	189	157	17%	164	13%
平均工作时长(min)	214	203	5%	193	10%

3 结论

基于流量流向的“全局道段优化模型”可以优化人车资源分配,与现有固定道段的投递作业模式相比,有如下几个方面的优化提升:

(1)当投递业务量发生较大变化时,实现人车资源与投递任务相匹配,从而提升整体生产效率。

(2)在投递业务量高峰期,让没有投递经验的人快速进入内场分拣角色、投递角色,提升投递能力。

(3)在投递业务量减少的情况下,通过排班排线规划引擎实现了投递任务合理分配,释放出部分投递员,使得他们有更多时间去开展揽收业务。

(4)对于新成立的网点,排班排线引擎无需磨合期即可给出合理的道段组划方案。

(5)基于“抢单模式”的智能揽收调度引擎使得揽收响应速度更快、成本更低。

4 研究展望

采用基于动态的末端配送作业模式,不但需要有准确且较完备的收寄信息、稳定的全程时限,还需要有准确且较完备的投递作业数据、地理信息、多维度的客户以及揽投员数据,因此我们将在设计动态作业组织的数据构建方案基础上,进一步扩展“全局道段优化模型”开展智能接力投递系统的研究。

[参考文献]

[1] 国家邮政局,2019年邮政行业发展统计公报[R].2020.
 [2] 张晶晶,姜天.电子商务共同配送研究综述[J].中国市场,2013(34):87-90.
 [3] 丁国良.物流“最后一公里”浅析[J].科技视界,2013(33):292-293.

(下转第84页)

- [2] CELANO G, CASTAGLIOLA P. Design of a phase II control chart for monitoring the ratio of two normal variables[J]. *Quality and Reliability Engineering International*, 2016, 32(1): 291–308.
- [3] TRAN K P, CASTAGLIOLA P, CELANO G. Monitoring the ratio of two normal variables using EWMA type control charts[J]. *Quality and Reliability Engineering International*, 2016, 32(5): 1 853–1 869.
- [4] TRAN K P, CASTAGLIOLA P, CELANO G. Monitoring the ratio of population means of a bivariate normal distribution using CUSUM type control charts[J]. *Statistical Papers*, 2018, 59(1): 387–413.
- [5] CELANO G, CASTAGLIOLA P. A synthetic control chart for monitoring the ratio of two normal variables[J]. *Quality and Reliability Engineering International*, 2016, 32(2): 681–696.
- [6] NGUYEN T H, NGUYEN H D, TRAN K D, et al. One-Sided Synthetic-RZ control charts: a new method for anomaly detection[C]//2019 6th NAFOSTED Conference on Information and Computer Science (NICS). IEEE, 2019: 262–267.
- [7] TRAN K P, CASTAGLIOLA P, CELANO G. Monitoring the ratio of two normal variables using run rules type control charts[J]. *International Journal of Production Research*, 2016, 54(6): 1 670–1 688.
- [8] DU NGUYEN H, TRAN K P, GOH T N. Variable Sampling Interval Control Charts for Monitoring the Ratio of Two Normal Variables[J]. *Journal of Testing and Evaluation*, 2020, 48(3).
- [9] NGUYEN H D, TRAN K P, HEUCHENNE C. Monitoring the ratio of two normal variables using variable sampling interval exponentially weighted moving average control charts[J]. *Quality and Reliability Engineering International*, 2019, 35(1): 439–460.
- [10] NGUYEN H D, TRAN K P, HEUCHENNE H L. CUSUM control charts with variable sampling interval for monitoring the ratio of two normal variables[J]. *Quality and Reliability Engineering International*, 2020, 36(2): 474–497.
- [11] TRAN K P, CASTAGLIOLA P, CELANO G, et al. Monitoring compositional data using multivariate exponentially weighted moving average scheme[J]. *Quality and Reliability Engineering International*, 2018, 34(3): 391–402.
- [12] TRAN K P, CASTAGLIOLA P, CELANO G. The performance of the Shewhart-RZ control chart in the presence of measurement error[J]. *International Journal of Production Research*, 2016, 54(24): 7 504–7 522.
- [13] NGUYEN H D, TRAN K P. Effect of the measurement errors on two one-sided Shewhart control charts for monitoring the ratio of two normal variables[J]. *Quality and Reliability Engineering International*, 2020, 36(5): 1 731–1 750.
- [14] 王兆军. 关于动态质量控制图的设计理论[J]. *应用概率统计*, 2002(3): 316–333.
- [15] COSTA A F B. X charts with variable sample size[J]. *Journal of Quality Technology*, 1994, 26(3): 155–163.
- [16] TEOH W L, CHONG J K, KHOO M B C, et al. Optimal designs of the variable sample size chart based on median run length and expected median run length[J]. *Quality and Reliability Engineering International*, 2017, 33(1): 121–134.
- [17] CASTAGLIOLA P, CELANO G, FICHERA S, et al. The variable sample size t control chart for monitoring short production runs[J]. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 2013, 66(9–12): 1 353–1 366.
- [18] CASTAGLIOLA P, ACHOURI A, TALEB H, et al. Monitoring the coefficient of variation using a variable sample size control chart[J]. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 2015, 80(9–12): 1 561–1 576.
- [19] YEONG W C, KHOO M B C, LIM S L, et al. A direct procedure for monitoring the coefficient of variation using a variable sample size scheme[J]. *Communications in Statistics-Simulation and Computation*, 2017, 46(6): 4 210–4 225.
- [20] ANNADI H P, KEATS J B, RUNGER G C, et al. An adaptive sample size CUSUM control chart[J]. *The International Journal of Production Research*, 1995, 33(6): 1 605–1 616.
- [21] 薛丽. 具有可变样本容量的非正态 EWMA 控制图[J]. *运筹与管理*, 2016, 25(6): 224–229.

(上接第 70 页)

- [4] 段福贵, 曹乃银. 城市投递道段划分标准的探讨[J]. *邮政研究*, 1993(3): 24–26.
- [5] 张慧敏. 任务均衡下的快递末端配送区域划分及路径优化研究[D]. 北京: 北京交通大学, 2019.
- [6] 谷炜, 张群, 胡瑞. 基于改进 K-means 聚类的物流配送区域划分方法研究[J]. *中国管理信息化*, 2010(24): 60–63.
- [7] 王迪. 配送区域评价标准以及配送分区方法研究与实现[D]. 济南: 山东大学, 2012.
- [8] 第五届京交会快递展区亮点抢“鲜”看[EB/OL]. (2018-05-29). http://zjsx.spb.gov.cn/xydt_3949/201805/t20180529_1575397.html.
- [9] 全国上线智能路径优化系统, 京东物流为小哥配上“最强大脑”[EB/OL]. (2017-10-21). https://www.sohu.com/a/199333837_608776.