

冉文学 / 著

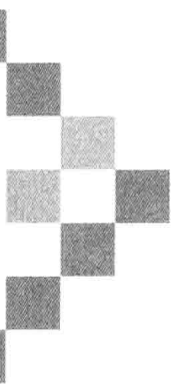
单元物料订单分拣轮询 控制系统研究

Study on Polling Service System about
Unit Material Order-sorting

云南财经大学前沿研究丛书



经济科学出版社
Economic Science Press



单元物料订单分拣轮询 控制系统研究

Study on Polling Service System about
Unit Material Order-sorting

冉文学 / 著



经济科学出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

单元物料订单分拣轮询控制系统研究 / 冉文学著.

—北京: 经济科学出版社, 2015. 3

(云南财经大学前沿研究丛书)

ISBN 978 - 7 - 5141 - 5616 - 4

I. ①单… II. ①冉… III. ①自动分拣机 - 控制系统 - 研究 IV. ①TH691.5

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2015) 第 065022 号

责任编辑: 张 频 杨 梅

责任校对: 王肖楠

责任印制: 李 鹏

单元物料订单分拣轮询控制系统研究

冉文学 著

经济科学出版社出版、发行 新华书店经销

社址: 北京市海淀区阜成路甲 28 号 邮编: 100142

总编部电话: 88191217 发行部电话: 88191540

网址: [www. esp. com. cn](http://www.esp.com.cn)

电子邮件: [esp@ esp. com. cn](mailto:esp@esp.com.cn)

天猫网店: 经济科学出版社旗舰店

网址: [http://jjkxcbs. tmall. com](http://jjkxcbs.tmall.com)

北京季蜂印刷有限公司印装

710 × 1000 16 开 11.5 印张 210000 字

2015 年 4 月第 1 版 2015 年 4 月第 1 次印刷

ISBN 978 - 7 - 5141 - 5616 - 4 定价: 32.00 元

(图书出现印装问题, 本社负责调换。电话: 88191502)

(版权所有 翻印必究)

前 言

在大生产、大市场、大流通、大消费的背景下，我国国民经济多个行业已经呈现出规模经济的特征。但是，传统的“层层批发”的流通体制存在诸多弊端，生产者与消费者之间的信息不畅，在一定程度上影响了经济发展质量。因此，需要建设物流配送中心，进行流通体制的变革，同时满足规模经济发展的需要。

物流配送中心的核心业务是订单分拣，分拣的效率直接影响物流配送中心的效率，分拣作业分拣的速度快，订单就会迅速地生产出来，货物就能更早地送达客户手中，客户的满意度就能提高。规模经济背景下，订单数量的巨大化，形成了高效率订单分拣控制的复杂系统难题。深入研究订单分拣的控制机理，对于开发研制高效率的自动化分拣设备、提高物流配送中心的作业效率、提高物流配送中心对客户需求的响应速度、提高服务水平、降低物流成本具有重要意义。

轮询为系统资源的合理配置提供了非竞争的访问控制机制，有效避免介入对象间的竞争冲突，特别是在高负载情况下，轮询能够使共享资源的利用率得到有效提高。例如在通信与信息领域，为了增强网络控制能力，每个通信终端均有接入信道的机会，达到不同业务数据传输延迟的要求，应用线路共享和资源共享相结合的轮询多址通信系统分析方法，对信息流进行深入的研究，并将研究成果应用到实际问题中，对有线和无线网络系统资源进行有效分配、管理和调度，解决了通信与信息领域内高度关注的许多热点和难点问题。物流是一种实物流，和信息流的性质具有高度的相似性。信息流通过通信线缆进行传输活动，物流则以专门的物流设施为载体，在专门的通道上进行传输运动；信息流微观，物流宏观。物流中的订单分拣问题，实质也是一种设施共享和资源分配问题。本书将单元物料订单分拣系统视为动态分拣系统，用研究信息流的轮询理论方法研究物流中的订单分拣问题，研究订单分拣的轮询控制机理，构建

出多种控制策略的系统数学模型,精确求解相应系统的特性参数,探索对自动化分拣设备开发和控制的新思路。

本书进行了下列几方面的创新性研究工作:

一是研究了配送中心的集成基础、设施及分拣工艺,论述单元物料订单 VC (Virtual Container, VC) 思想及其过程控制指标,划分单元物料订单 VC 队列的到达过程、分拣机的服务过程和分拣机对各个 VC 的分拣转换过程,将门限、完全、限定 ($k=1$) 控制策略引入订单的分拣过程,建立相应的数学分析模型,在相应的约束条件和系统稳定的条件下,精确求解出其一阶系统特性分析(如平均排队队长、平均查询周期)、二阶系统特性分析。

二是基于物流配送的差异化服务,创新地将单元物料订单 VC 队列划分为两级,即一个优先队列和低优先级的多个普通队列,考虑分拣过程的优先服务和公平性服务,创新地提出了优先订单和普通订单分拣策略控制的两级并行轮询服务方式——订单分拣完全—并行门限轮询控制系统和订单分拣双完全并行门限轮询控制系统,并将订单分拣完全并行—限定 ($k=1$) 二级轮询控制系统应用于单元物料的订单分拣服务控制中,要求既确保分拣优先业务的订单顾客得到更优质的服务质量 (Quality of Service, QoS),也充分考虑到普通订单分拣的服务公平性,分别建立了系统状态变量的概率母函数,对优先订单队列和普通订单队列的平均等待队长、平均运行周期和平均等待时延等技术指标进行数学求解,并进行数值计算比较分析。

三是优先轮询控制机理在订单分拣系统集成中的拓展应用问题。研究主动轮询与被动随机的混合访销订单采集系统的设计,研究其结构模式和实现方法;研究基于完全—并行门限轮询控制机制的组合分拣线模型及其系统特性,并与常见的、基于随机控制的组合分拣机进行成本比较;采用双完全并行轮询服务机理控制,研究电子商务线上订单和线下订单的分拣问题;研究配送中心多分拣线的完全—并行限定 ($k=1$) 优先调度轮询控制模型,给出双到达率的优先分拣线的调度控制母函数,求出相应的特性参数,并进行数值计算分析。

第1章 绪论 / 1

- 1.1 研究背景和问题的提出 / 1
 - 1.1.1 研究的背景 / 1
 - 1.1.2 问题的提出 / 3
- 1.2 国内外对订单分拣作业的研究现状 / 8
 - 1.2.1 国外订单分拣作业研究现状 / 8
 - 1.2.2 我国订单分拣的研究现状 / 11
 - 1.2.3 轮询研究方法的发展 / 14
- 1.3 本书的研究结构 / 17
 - 1.3.1 研究的主要工作 / 17
 - 1.3.2 研究的内容安排 / 17
 - 1.3.3 研究的创新点 / 19

第2章 单元物料订单分拣经典轮询控制机理 / 20

- 2.1 引言 / 20
- 2.2 单元物料订单分拣过程 / 23
 - 2.2.1 单元物料订单分拣工艺 / 23
 - 2.2.2 订单 VC 原理 / 23
 - 2.2.3 订单 VC 容量计算 / 26
 - 2.2.4 订单分拣 VC 过程及指标定义 / 27
 - 2.2.5 订单分拣轮询控制系统机理 / 29
 - 2.2.6 条件假设及变量设定 / 31

2.3	订单分拣门限轮询控制系统	/	32
2.3.1	订单分拣门限控制机理	/	32
2.3.2	订单分拣门限轮询控制系统概率母函数	/	34
2.3.3	订单分拣门限轮询控制系统特性参数分析	/	35
2.4	订单分拣完全轮询控制系统	/	40
2.4.1	订单分拣完全控制机理	/	40
2.4.2	订单分拣完全轮询控制系统概率母函数	/	42
2.4.3	订单分拣完全轮询控制系统特性参数分析	/	43
2.5	订单分拣限定 ($k=1$) 轮询控制系统	/	47
2.5.1	订单分拣限定 ($k=1$) 控制机理	/	47
2.5.2	订单分拣限定 ($k=1$) 轮询控制系统概率母函数	/	49
2.5.3	订单分拣限定 ($k=1$) 轮询控制系统特性参数分析	/	49
2.6	订单自动分拣轮询控制系统的性能比较	/	53
2.7	本章小结	/	55
第3章	订单分拣二级并行轮询控制机理	/	56

3.1	引言	/	56
3.2	订单分拣二级并行轮询控制系统变量定义和工作条件	/	58
3.2.1	变量定义	/	58
3.2.2	工作条件	/	59
3.3	订单分拣完全—并行门限二级轮询控制系统	/	61
3.3.1	完全—并行门限二级轮询服务模型	/	61
3.3.2	完全—并行门限二级轮询控制系统的一阶特性	/	63
3.3.3	完全—并行门限二级轮询控制系统的二阶特性	/	66
3.4	订单分拣双完全并行二级轮询控制系统	/	69
3.4.1	双完全并行二级轮询控制系统模型	/	69
3.4.2	双完全并行二级轮询控制系统的一阶特性	/	72
3.4.3	双完全并行二级轮询控制系统的二阶特性	/	74
3.5	订单分拣完全—并行限定 ($k=1$) 二级轮询控制系统	/	77
3.5.1	完全—并行限定 ($k=1$) 二级轮询控制系统模型	/	77
3.5.2	完全—并行限定 ($k=1$) 二级轮询控制系统 一阶特性	/	79
3.5.3	完全—并行限定 ($k=1$) 二级轮询控制系统		

- 二阶特性 / 81
- 3.6 系统数值分析与验证 / 86
 - 3.6.1 订单分拣完全一并行门限二级轮询控制系统数值分析 / 86
 - 3.6.2 订单分拣双完全并行二级轮询控制系统数值分析 / 94
 - 3.6.3 订单分拣完全一并行限定 ($k=1$) 二级轮询控制系统数值分析 / 102
 - 3.6.4 订单分拣完全并行二级轮询控制系统综合比较 / 110
- 3.7 本章小结 / 116

第4章 并行优先轮询控制机理在订单分拣系统中的拓展应用 / 118

- 4.1 引言 / 118
- 4.2 主动轮询与被动随机的混合访销订单采集系统的设计 / 120
 - 4.2.1 访销背景 / 120
 - 4.2.2 混合访销订单采集系统结构与策略 / 121
 - 4.2.3 混合访销订单采集系统的实现 / 123
- 4.3 单元物料随机和轮询组合自动分拣线的成本差异分析 / 124
 - 4.3.1 一种单元物料组合自动随机分拣线 / 124
 - 4.3.2 单元物料完全一并行门限组合自动轮询分拣线 / 128
 - 4.3.3 两种组合自动分拣线的差异分析 / 131
- 4.4 电子商务订单分拣双完全并行轮询控制 / 135
 - 4.4.1 电子商务订单分拣双完全并行轮询控制系统模型及定义 / 135
 - 4.4.2 电子商务订单分拣双完全并行轮询控制系统运行条件 / 136
 - 4.4.3 电子商务订单分拣双完全并行轮询控制系统母函数 / 137
 - 4.4.4 电子商务订单分拣双完全并行轮询控制系统特性参数 / 138
 - 4.4.5 电子商务订单分拣双完全并行轮询控制系统数值分析 / 139
- 4.5 配送中心多分拣线优先并行调度轮询系统模型 / 141
 - 4.5.1 配送中心多分拣线优先并行调度模型及变量定义 / 141
 - 4.5.2 配送中心多分拣线优先并行调度系统运行条件

及母函数 / 143

4.5.3 配送中心多分拣线优先并行调度系统特性参数 / 146

4.5.4 配送中心多分拣线优先并行调度系统数值分析 / 147

4.6 本章小结 / 150

第5章 总结与展望 / 151

5.1 总结 / 151

5.2 展望 / 153

符号说明 / 154

参考文献 / 160

后记 / 175

1.1 研究背景和问题的提出

1.1.1 研究的背景

随着改革开放的不断深入,我国国民经济对建立现代流通体制呈现出迫切地希望,新型的流通体制以顾客需求为核心,以高效率的现代物流技术为手段,支持开展大产业、大流通、大市场的新型商贸服务业。流通也是生产力,流通活了,产业才会发展。现代物流与产业经济之间,存在辩证统一的关系,现代物流支撑相关产业的科学化规模发展,是相关产业发展的保障性、流通性基础设施平台;而相关产业发展了,现代物流自然从规模经济运营业务中获得丰厚的利润。另外,现代物流的产业化、规模化,决定了其高效率,即现代物流必须具备高技术特征,因为只有高技术的设施,才可能在尽量小的成本下保证规模化经济的正常运营。

近年来,中国的电子商务快速发展,年交易额成倍递增,连创新高。根据艾瑞咨询最新研究数据显示,2013 年我国 PC 端网购规模接近 16 000 多亿元,同比增速 35.7%,移动端网购整体交易规模达 1 676.4 亿元,同比增幅 165.4%。预测未来网络购物顾客规模将持续增长,图 1-1 是我国电子商务(electronic commerce)的交易规模状况图,其增长态势高于我国 GDP 的增长速度,电子商务的业务具有规模大、品种多、组构订单的商品少、订单数量规模巨大,仅京东商城一家,每天处理的订单量高达数十万个。而根据弗莱斯研究公司(Forrester Research)最新的电子商务报告显示,在过去的 2013 年,全球范围内电子商务营业额也在激增,电子商务化浪潮大步迈进。电子商务正在成为创造新的经济增长点、新的市场、新的就业方式,同时电子商务也亟待需要新

型、高效的订单分拣作业方式，支撑其高速的发展。在电子商务的经济环境中，消费者、客户的需求呈现三个特征——个性化、及时性和低费用。需求个性化促使产品市场的细分，同一产品的需求数量减少，甚至，消费者、客户提出了定制服务需求；及时性要求产品生产商、提供商向消费者、客户提供快速、及时准确的交货服务；而低费用这是指对消费者的服务要好，价格要低，这三个特征已经涉及国民经济发展的方方面面，采用以“订单”为核心的“物流配送”流通机制能够保证“个性化、及时性和低费用”三种经济特征的实现。

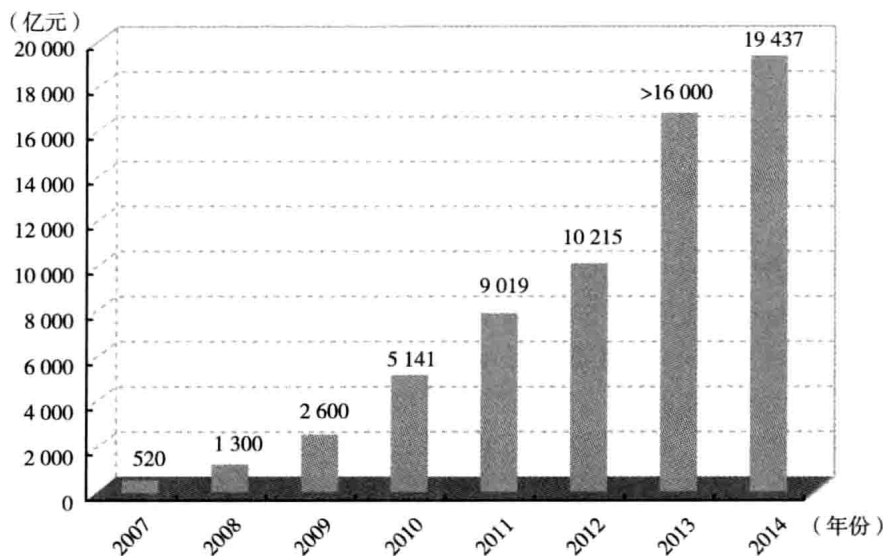


图 1-1 电子商务交易规模趋势

订单 (order-form) 是联系市场与制造商、供应商的纽带，是客观反映消费者、客户需求信息的载体，是现代流通的根本，是制造商、供应商组织生产和组织货源的依据，是供应链上起需求拉动作用的主体，也是科学配置相关社会资源的根本。订单也是配送中心各种生产要素集成的基础，针对每个顾客的具体需求，配送中心须以最快的响应速度完成订单的组配，是物流配送中心的效率所在。订单反映了市场的真实需求，制造商、供应商、服务商根据订单组织生产就不会盲目，减少浪费，有利于社会资源的充分、合理化应用。

订单分拣成本为物流配送中心总成本的主要组成部分，约占物流配送中心总成本的 60% 以上，而且，订单分拣时间差不多占配送中心作业总时间的一半，为 30%~40%，订单分拣作业是物流配送中心的一项核心业务。订单分拣

(order-sorting)是指在物流配送中心中,依托各种销售手段获取顾客需求信息,如访销、传真、电话、上门营销、电子商务等,订单的信息汇总到物流配送中心的信息系统中,根据信息要求组织相关人员、设施、资源,进行快速、高效的订单组配作业,为消费者提供及时周到的服务。所以,在规模经济背景下,要完成订单的高效生产,必须依托先进的组配订单的订单分拣系统。

订单分拣系统以顾客的需求订单为基础,能够高效完成订单组配作业,是现代流通体制内主要的生产设施。为了满足时代发展的需要,学术界和物流设备厂商,都投入了巨大的人力、物力、财力进行研究、开发。所以,研究订单分拣高效、快捷的控制机理,开发先进高效的分拣设施,对提高配送中心服务水平、促进物流成本的合理化具有重要意义。

1.1.2 问题的提出

配送(distribution)指在经济合理区域范围内,根据客户要求的订单,对物品进行有针对性的加工、包装、拣选、组配等作业,并按时、按量、按质、送达指定地点、交给指定的人的物流活动。自动化物流配送中心是现代物流的标志,是配货和送货的有机结合,是物流功能要素高效组合的一种形式,是商流、信息流与物流的有机统一,能够实现物流服务的高水平。

图1-2是物流配送中心的功能分区图,图中箭头指示表示可能的物流流向。物流配送中心功能主要包括进货(采购、集货、收货验货、入库)、仓储(普通货物仓储、特殊商品仓储)、装卸搬运、流通加工、分拣配货、

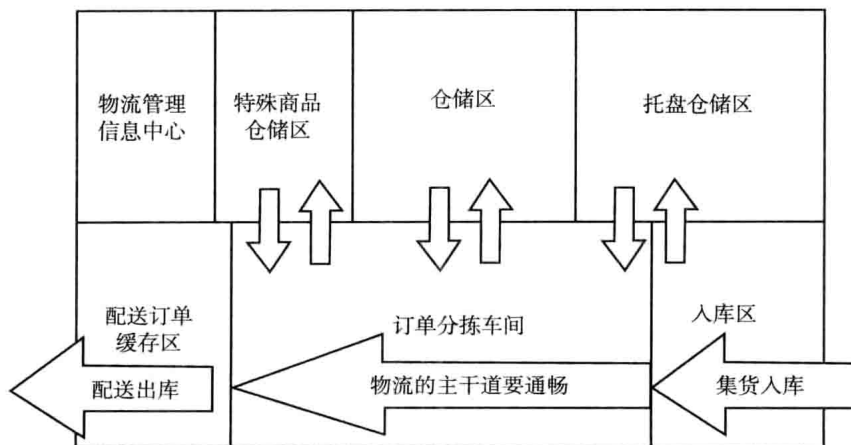


图1-2 物流配送中心功能分区

配送、信息服务等功能模块，这些功能模块由统一的管理信息中心集成、管理和调度，还需要考虑与社会供应链的对接，考虑物流主干道的通畅（冉文学，2004）。

从组配订单的单元物料角度去研究物流配送中心的生产业务，可以直观地看出订单作业主要存在于仓库和分拣车间。

仓库的功能主要是仓储，以大批量少批次从入库区接受货物进行入库仓储，以小批量多批次的方式向订单分拣车间进行补货出库，这个补货作业也是储存区的订单分拣出库作业，该区中通常以托盘或件作为组配订单的单元物料。而对于调拨性的区域物流配送中心，仓库能够以仓储单元来完成调拨订单的组配。仓库中的货物存储量大，周转速度较慢，仓库的作业设施包括堆垛机、叉车、输送机、机器人等，因为这时的单元物料较大，虽然出入库流量也很大，但运行速度较慢。仓库研究的关键是储位分配问题（Storage Location Assignment Problem, SLAP），储位分配是配送中心规划建设战略、战术的决策性问题，对物流配送中心的建设成本和运作成本有重大的影响。

订单分拣车接受仓库的分拣出库货物，按顾客订单的实际要求量进行拣货、配单、订单缓存作业，货物周转速度快，存储量小，一般每种货物的存储量不会超过一托盘，订单分拣车间中通常以包、件或者更小的包装等作为分拣作业的单元物料。

订单分拣与组配订单的单元物料密切相关。在物流量大的物流配送中心中，单元物料可能是集装箱、车皮、托盘，也可能是件箱；而在规模稍小、作业更精细化、直接最终消费者服务的物流配送中心中，消费者个性化需求具体，其订单最小组配单元可以是件、包或者更小的规范化的计量单位等；在化学、建材等相关产品的生产过程中，可能还涉及以吨、千克（kg）、克（g）、毫克（mg）等计量单位作为单元物料；在布料的流通过程中，还可能是丈、尺、米、厘米、毫米等作为配方单元物料。

客观世界，物料存在的形式千姿百态，为了研究方便，将物料划分为连续物料（continuity materials）和离散单元物料（discrete units of material）两类。

连续物料的订单配单工艺间接控制配单时间，不能直接对物料计数，如散装粮食、散装化肥、灌装水泥、汽油、天然气、自来水等。

离散单元物料具有规范化的包装，可以计数，订单的配单采用单元物料的数量累加进行配单。本书研究的订单分拣，就是离散单元物料的订单分拣。

定义 1-1：单元物料（unit material），即订单最小组配单元，就是订单构成的最小计量单元，由顾客需求决定，它是直接面向顾客的一个订货单位。

订单分拣可以分为人工分拣、自动分拣等作业方式。人工分拣即分拣以人工为主,劳动强度大,作业效率低,容易出错,规模经济下,用人多,分拣成本高昂,而且管理难度大。

近年来,人工分拣系统出现了“人到货”“货到人”两种拣选工艺。“人到货”即货物的存储位置固定,人步行,或乘拣货用车,或者乘载人巷道堆垛机,或用 AGV 等其他设施将人载到货物前,进行人工拣配订单,这是多年来学者们争相研究的热点,集中在研究如何合理布置货物仓储货位、如何优化拣货路径等领域。“货到人”则是人的工作位置相对固定,设置拣货工作台,或者在某一局部区域拣货,货物则使用搬运设施或输送系统高效、自动地输送到拣货工作台或者工作区域,方便进行人工拣配订单。

自动化订单分拣系统是先进生产力发展的体现,也是物流配送中心的必然选择,自动化订单分拣系统中,用技术设施替代人工去组配订单,不再需要人工分拣,具有差错率低、效率高等优势。自动化订单分拣系统是一类高新技术产品,融合机电一体化技术、自动控制技术、计算机软硬件技术、通信技术、检测技术等先进科技技术为一体,近年来,在我国逐步得到推广应用。

订单的自动化分拣作业具有分拣效率高、准确率高、相应工艺的劳动强度降低等特点。虽然,自动化分拣设备一次投资大,但因为折旧时间长,故均摊运行成本也比较低。不同类型分拣机的工作效率和成本不同,其构成分拣系统的性能也不相同,将各种先进的自动化分拣机,合理地组合应用,能够达到规模的订单分拣能力要求。

订单自动化分拣系统的控制技术,是影响其效率的关键组成部分,它以控制的理念、信息的数字传输和处理理论为基础,其目的是科学合理地调度系统的设施,提高其分拣作业效率。根据分拣的要求和应用环境,传统的分拣控制机理有两类:

1. 固定通道位置分拣控制

如图 1-3 所示,分拣商品按固定通道分配控制,单元物料位置分拣源与分拣输出位置通道一一对应,控制原则是单元物料位置分拣源 i 分拣后,无论经过何种环节,总是有固定的分拣输出通道 i 相对应,即订单分拣的目的通道即为分拣输出通道 i 。

通常单元物料位置分拣源 i 可以为多种物料的组合,分拣输出通道 i 也可以是多个客户的编组。

2. 随机分拣控制

随机分拣控制机理的典型特征是只要分拣输出通道空闲,分拣源的单元物

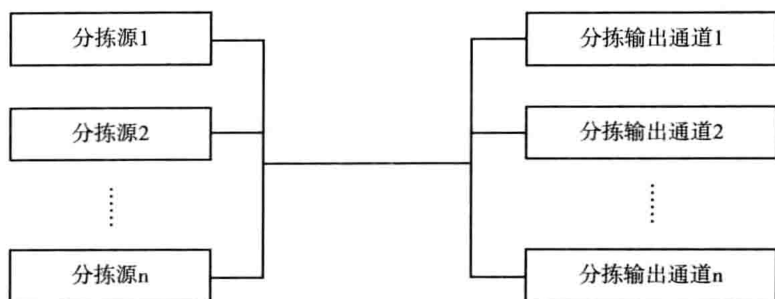


图 1-3 固定通道分拣控制机理

料都可以进入。随机分拣控制可以克服固定分拣控制中的资源浪费问题，但是，当客户或业务量不断增加时，容易造成订单在处理过程中碰撞，使订单的平均等待时延增大，降低分拣系统的能力。目前，我国小规模配送中心，如卷烟物流配送中心，都是采用这种随机分拣控制技术。大型的物流配送中心，则需要想办法解决订单的分拣处理的冲突问题，或者需要研究新的控制机理。这不仅对目前时间段内收割订单的分拣模式，提高其分拣效率有积极作用；而且，随着信息技术的不断发展和订单分拣的实时化，能够更好地响应客户的需求，这就是理想的“即时配送”机制。

在单元物料组配订单的过程中，每天需要分拣的订单量很大，自动化分拣设备的能力有限，这就造成了分拣时的拥堵、排队情况。本书研究将先进的分拣系统理解为动态分拣系统，用经典轮询理论来研究订单分拣组合机理，构建其轮询控制系统数学模型，研究系统的特性参数，探索高效率自动化分拣的控制机理，同时探索对自动化分拣设备的轮询控制新的思路。在通信与信息领域，为了增强网络控制能力，控制每个通信终端均有接入信道的机会，可达到不同业务数据传输延迟的要求，应用线路共享和资源共享相结合的轮询多址通信系统分析方法，来对信息流进行深入的研究，并将其应用到实际问题中，对有线和无线网络系统资源进行有效分配、管理和调度，解决了通信与信息领域内高度关注的若干热点和难点课题。

物流是一种实物流，和信息流的性质具有高度的相似性，物流通过专门的物流设施作载体，进行传输运动；信息流则通过通信线缆进行传输活动；物流宏观，信息流微观。物流中的订单分拣问题，实质是一种设施共享和资源分配问题。本书研究单元物料订单分拣组配控制难题，将订单视为单元物料组成的队列，应用轮询服务理论，将订单分拣的作业抽象为信息传递和信息转化的过程，研究单元物料订单分拣轮询控制机理。

定义 1-2: 单元物料订单分拣轮询控制系统, 即用轮询理论研究单元物料组配顾客订单生产作业系统。

单元物料订单分拣轮询控制系统模型可以描述为: 系统基本模型由一个分拣机和 N 个订单构成, 分拣机依据一定的规则, 按一定的规律对每一个订单进行分拣作业, 直到最后一个订单分拣作业完成后, 再转换到下一个订单, 实现由 N 个订单共享一个或多个资源, 应用时由一个或多个逻辑上的中心分拣机按一定的顺序对各个订单进行轮询, 对有分拣服务需求的订单提供作业资源的有效控制和使用。模型中订单分拣轮询过程拆分为订单的到达过程、分拣机对每个订单的分拣服务过程、订单间的轮询转化过程, 其系统性能通常由以下四个基本要素来决定:

(1) 分拣机每轮询分拣每次的单元物料数量, 一个订单包含了若干个单元物料。这个要素由不同的轮询分拣策略来决定, 本书研究中主要的策略有门限分拣服务、完全分拣服务、限定 $k=1$ 分拣服务三大服务策略。

(2) 订单的单元物料分拣服务规则。分拣服务规则有先到先服务 (First Come First Service, FCFS)、后到先服务 (Last Come First Service, LCFS) 等。本书研究的分拣服务规则为 FCFS。

(3) 分拣机对各个订单的轮询服务规则。这个要素决定了轮询系统的静态特性和动态特性: 对于静态系统, 分拣机轮询各订单的顺序保持不变; 对于动态系统, 分拣机轮询各订单的顺序随时间或控制机制变化。

(4) 订单分拣轮询系统的描述过程: 订单到达过程、分拣服务过程和轮询转换过程三个过程。其中, 订单到达过程用订单的到达率 (arrival rate) 这一随机变量所服从的概率分布来表示, 分拣服务过程由分拣机按相应轮询服务规则对订单进行分拣服务的时间 (service time) 这一随机变量所服从的概率分布来表示; 轮询转换过程由分拣机轮询相邻两个订单提供服务时所需的业务转换时间 (Switchover Time) 这一随机变量所服从的概率分布来表示。

基于以上四个要素, 根据实际需求, 建立相应的单元物料订单分拣轮询系统模型来进行研究与分析。而在研究和分析某一具体的订单分拣轮询系统时, 研究分析单元物料分拣控制系统的特性参数 (Unit-material Order Sorting System Characteristic Parameters, UMOSSCP), 主要有单元物料分拣系统平均排队队长 (Mean Queue Length, MQL)、平均分拣服务时间 (Mean Cyclic Period, MCP)、系统吞吐量 (System Throughput, ST)、平均等待时延 (Mean Waiting Time, MWT) 以及平均响应时间 (Mean Response Time, MRT), 这些特性参数的释义如表 1-1 所述。

表 1-1

UMOSSCP 释义

指标	释 义
MQL	订单分拣中的单元物料平均排队长度
MCP	分拣机相继两次分拣订单的平均循环时间, 即平均分拣服务时间
ST	单位时间内系统分拣服务的订单数
MWT	订单到达直至其开始接受分拣服务的平均等待时延
MRT	平均等待时延加上平均分拣服务时间, 即 $MRT = MCP + MWT$

系统的研究主要研究 MQL、MCP、ST、MWT, 而 MRT 由 MCP 和 MWT 求和而得。

本书研究将订单分拣问题设置为轮询控制系统问题, 采用嵌入式 Markov 链和概率母函数进行建模、并推导求解, 利用计算机进行数值计算分析, 检验理论结果的正确与否, 从而达到按理论与实践相结合的路线进行研究, 探索订单分拣的轮询分拣控制机理。

1.2 国内外对订单分拣作业的研究现状

1.2.1 国外订单分拣作业研究现状

国外物流业相对发达, 对于订单分拣系统的研究也相对较早。过去的几十年中出现了很多研究订单分拣作业的论文。国外许多学者主要在订单设施布置设计, 包括分拣系统的布局设计、产品的分布设计、劳动量的均衡设计、储位分配 (包括随机储位分配、定点储位分配、分类储存) 等多方面进行了大量的研究; 也有学者在订单分拣系统设定的背景下, 还研究了分拣分区、订单分批、分拣路径与顺序、订单组合缓存及分类等方面进行了一系列订单分拣策略的研究, 以保证分拣系统低成本、高效率的运行。

1. 分拣系统设备布置及分拣车间内部布局研究

设施布置问题涉及不同功能区域的位置决策 (收货、分拣、存储、分类、出货等), 通过考虑各区域之间的关系, 要实现的目标就是搬运成本的最小化, 在很多情况下表现为行走距离的线性函数; 分拣车间内部的布局问题, 又称作内部布局设计或通道结构设计问题, 涉及区块数量的确定, 每个分拣区中通道数量、长度和宽度的确定, 目的就是在给定的约束条件和需求情况下, 实