

分类存储人工拣选随机服务系统效率研究^①

朱杰,周丽,郭键

(北京物资学院信息学院,北京 101149)

摘要: 可以把订单服从泊松输入、单个拣选人员提供服务的人工拣选作业系统看作 M/G/1 随机服务系统,研究此随机服务系统的效率优化问题. 分析订单到达的物品种类与件数随机特性,建立分类存储返回型与 S 型拣选距离随机模型,分别推导相应的拣选时间分布. 仿真结果表明,两个模型的结果能在误差允许条件下较好地与仿真逼近. 比较 5 种物品订购频率和货位分配情况下的返回型和 S 型拣选方式,得出两种拣选方式各自适用的情况. 研究结论可以为传统矩形配送中心的订单拣选时间、等待时间估计提供参考,可为拣选路径方式选择提供依据.

关键词: 随机服务系统; 人工拣选; 分类存储; 返回型; S 型; M/G/1

中图分类号: F224.34 **文献标识码:** A **文章编号:** 1007-9807(2012)02-0059-13

0 引言

配送中心是从事货物配备和组织对用户的送货,以高水平实现销售或供应的现代流通设施,主要作业流程包括集货、加工、分货、拣选、配货. 其中拣选作业是配送中心作业系统的主要环节,包括自动拣选和人工拣选,人工拣选是最常用的一种,被认为是劳动密集型和成本耗费型作业^[1],时间约占整个配送中心作业的 30%~40%,成本约占 90%^[2]. 若把订单的到达看成拣选作业系统的输入,物品拣选看成系统的服务,则人工拣选过程就是个随机服务系统. 本文的研究目标是提高该随机服务系统的效率.

人工拣选随机服务系统由 3 部分组成: 订单输入过程,是指含有不同物品种类和件数的订单到达的分布规律; 排队规则,是指订单以何种次序接受服务; 服务机构,包括服务台和服务时间,是指同一时刻提供拣选的工作人员数量和完成一个拣选单的拣选时间.

订单的输入过程由配送中心所处的外部需求决定,可以通过选择适当的排队规则、拣选服务台数量、缩小拣选时间来提高系统效率以迎合外部需求. 排队规则有先到先服务、后到先服务等形式,一般情况下,订单拣选服从先到先服务,但所有的配送中心也都有加急订单或优先处理订单,既是优先权服务. 拣选服务台数量根据实际需要可以是单台或多台. 拣选时间是从出发点开始完成订单所有物品拣选回到出发点行走所需时间,拣选时间的 50% 消耗在拣选货物之间的路途行走上^[3],因此是提高拣选服务系统效率的关键点,也是本文的研究重点.

行走时间是直接的拣选成本,但不增加价值. 因此,拣选优化往往以最小行走时间为优化目标. 文献^[4]指出,在人工拣选系统中,行走时间是行走距离(即拣选路径长度)的增函数,因而可以把行走距离作为优化对象. 拣选路径由拣选物品种类、物品存储策略和拣选路径方式 3 个主要因素决定. 拣选物品种类是随机的,由订单到达的随机

① 收稿日期: 2010-05-17; 修订日期: 2011-04-23.

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(70971011); 北京市教委资助项目(SM201110037004); 北京市属高等学校人才强教深化计划资助

项目(PHR201007145; PHR201108311)

作者简介: 朱杰(1960—),男,北京人,硕士,教授. Email: zhujie@bwu.edu.cn

性(订单到达随机队列和订单所含物品种类与件数的随机数量)决定。

物品存储策略是指物品摆放位置方式的选择。实际中存储策略有很多种,包括随机存储、定位存储、分类存储等。随机存储是指每一个货品被指派储存的位置都是随机的,而且可经常改变,即任何物品可以被存放在任何可利用的位置。定位存储是指每一储存货品都有固定储位,货品不能互用储位。为了最小化行走距离,靠近出入口的储位通常存放出入库频率高且占用空间小的货品。分类存储是以物品分类和存储位置分类为前提,按类存放,物品按流转量降序分成 M 类,存储位置按到输入输出点距离升序分成 M 类。文献[5]和[6]认为许多定位存储法需要大量的精确信息对产品进行相关的分类、排序和储位指派,由于产品的分类变化太快而不能建立可靠的统计数据致使这些信息的获取存在很大的困难。文献[7]提出非线性目标函数,决定随机存储策略下拣货系统中巷道的结构安排,以减少平均拣货移动距离。文献[8]同样以最小化平均拣货移动距离为目标,考虑了两个拣货区的情形,但采用的是基于体积-订单指数的定位存储策略。文献[9]通过模拟实验,考虑随机存储和基于体积大小的定位存储策略下,巷道的长度及拣货区域的数量对总拣货时间的影响。Petersen等^[10]的研究指出,在行走距离方面,基于周转率的定位存储优于分类存储,但分类存储比定位存储容易管理。文献[11]描述了几种有效的作业区域规划步骤。文献[12]认为,为了将产品分配到正确的分类区,必须存在相应的空位,随着分类种类的增多,空间的需要也相应增加。因此,分类存储比随机存储需要更多的货架空间,文献[13]也得到同样的结论。文献[14]以货品周转率为基础,将移动距离最小作为目标函数,货架稳定性及货架空间大小作为约束条件,探讨了入库储位优化模型。文献[15]设计了配送中心拣货系统布局算法流程,用以确定各功能区域的相对布局位置,并建立了人工拣货系统中拣货区的布局模型。

关于拣选路径方法的相关研究成果较多。文献[1]中回顾了启发式路径方法,包括S型法、返

回型法、中点法、最大间隔法、组合法等若干算法。各种拣选路径方法在货位指派方式、存储区和拣选密度等条件不同时,表现出不同的性能,其操作性也有较大差异。文献[16]指出,在拣选路径上的通道均含较少的拣选点时,中点法优于S型法,而最大间隔法优于中点法,从使用的角度来看,中点法更简单。文献[17]用实验方式比较了5种启发式方法与传统拣选方法,结论是启发式方法平均优于传统算法;最好的两次实验是组合法和最大间隔法,分别优于传统算法9%和10%。文献[18]利用计算机仿真表明当批次数量比较小的时候,最适合用分类存储策略和中点路径策略;如果批次数量超过40,则比较适合用随机存储策略和S型路径策略。文献[15]等采用S型启发式算法开发最短路径程序,通过计算机仿真分析,证明了应用启发式方法的订单拣选效率优于传统的订单拣选效率。

另外,文献[19]假设订单到达服从泊松分布,拣选路径按照S型启发式算法,对两区域矩形仓库的订单拣选时间进行估计。首先估计拣选时间的一阶、二阶矩,用这些阶矩估计订单的平均拣选时间,从而估计优化的订单分批数量。文献[20]在两个拣货区的仓储系统下提出拣货时间的评估模式,推导出行走时间的一、二阶方差,并在允许订单批量处理情况下求得平均拣选时间。

综上所述,国内外学者大多数研究确定性需求的拣选问题,较少地考虑订单到达的随机性与订单上物品种类的随机性问题,另外,从随机服务系统角度研究人工拣选优化问题的文献很少,因此,本文拟从随机需求角度出发,以人工拣选系统中最为广泛使用的矩形、单巷道配送中心为研究对象,构建分类存储下返回型拣选与S型拣选随机模型,并对两个随机模型进行仿真验证。两个模型可分别用于推导M/G/1型随机服务系统相应的拣选服务时间分布,其中M表示拣选订单服从泊松输入、G表示拣选时间服从一般服务分布(文中分别为返回型拣选路径与S型拣选路径推导出的两种服务时间分布)、1表示单个拣选服务台。在统计平衡状态下,衡量从订单到达到离开系

统的拣选效率指标有如下几项: 1) 平均等待时间: 指从订单到达系统起至刚要被拣选止这段时间的期望值. 2) 平均队长: 指等待拣选的订单数期望值. 3) 平均拣选时间: 指订单被拣选开始到拣选结束时间的期望值.

1 人工拣选距离随机模型

在拣选人员行走速度为常数和不计从货架上取物品时间的假定下, 服务时间就是在拣选路径上的行走时间, 因而可以用拣选的行走距离代替拣选时间作为研究对象. 以下分别研究分类存储条件下的返回型和 S 型拣选路径模型.

1.1 建立模型的条件

分类存储以物品分类和存储位置分类为前提, 按类存放. 物品按流转量降序分成 M 类; 存储位置按到输入/输出点距离升序分成 M 类; 物品类别对应位置类别存放, 在每类物品中, 每种物品是随机存放的. 返回型拣选路径的行走路线是指, 对于每个含有待拣选物品的货架通道, 从通道一端进入, 到达最远拣选货位后, 返回到通道进入端退出. S 型拣选路径包括每个含有待拣选物品的

通道全长, 行走路线是从通道一端进另一端出, 没有拣选点的通道不包含在内, 从最后一个通道返回存储区的输入/输出点. 图 1 是物品分为常规的 A、B 和 C (流转量快、中等和慢) 3 类, 且常见的分类存储货架布局. 其中, 图 (a) 是返回型路径, 图 (b) 是 S 型路径.

为简化研究问题, 建立模型的条件为:

- 1) 存储空间按货架长度计量, 不考虑货架的高度;
- 2) 拣选操作只计行走到货位的距离, 不计在货架高度上和拿取物品等花费的时间;
- 3) 拣选距离与在通道内的两货架之间的哪一侧无关;
- 4) 拣选单中的物品品种是随机的, 且是相互独立的;
- 5) 每类别中各种物品被拣选的概率是相同的;
- 6) 某通道内, 某类别内的各种物品在该类别范围内的货位在货架长度上服从均匀分布;
- 7) 每种物品在 1 个货位的拣选能够 1 次满足.

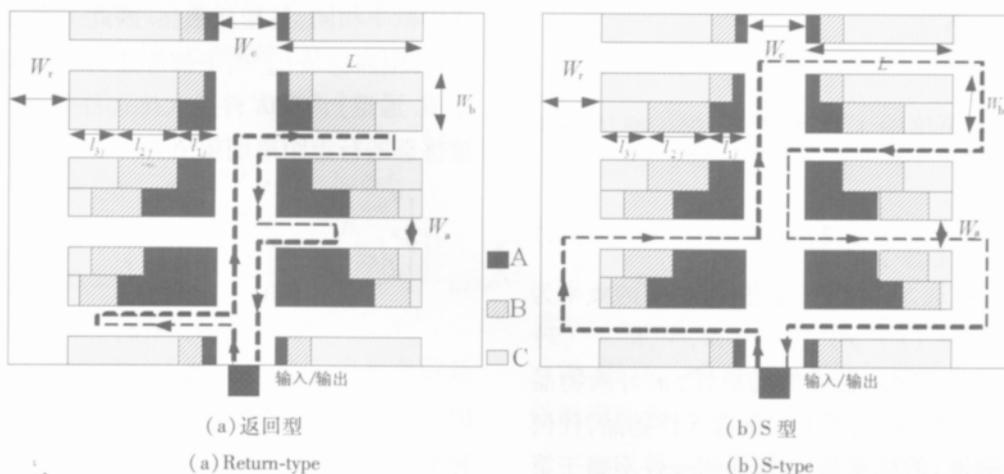


图 1 分类存储拣选路径图

Fig. 1 Sorted storage return-type and S-type picking

图 1 的描述如下:

- 1) 两排货架之间的空间称为通道, 记为 W_a ; 货架宽 W_b ; 两个存储区域之间的空间称为过道, 记为 W_c ; 后部过道宽 W_d ;
- 2) 在通道(货架) j 内存储第 i 类物品的空间

(以长度计), 即物品的货位分布, 记为 $l_{ij} (i = 1, 2, \dots, M; j = 1, 2, \dots, R)$; 货架长度为 L .

另外, 模型中所用符号表示如下.

R : 通道数;

M : 物品类别数;

S : 一次拣选的物品件数(可包括任意种类物品);

$d_{ij}(i = 1, 2, \dots, M; j = 1, 2, \dots, R)$: 在通道 j 中第 i 类物品的期望拣选距离;

$d_j(j = 1, 2, \dots, R)$: 在通道 j 中的期望拣选距离;

$p_i(i = 1, 2, \dots, M)$: 第 i 类物品的订购概率;

$p_{ij}(i = 1, 2, \dots, M; j = 1, 2, \dots, R)$: 在通道 j 内第 i 类物品被拣选的概率.

1.2 返回型拣选路径的随机模型

如图 1(a) 所示,以 ABC 分类存储情况下,若 1 次拣选 S 件物品,采用返回型拣选路径,则路径长度,记为 $D_{\text{return}}^{(ABC)}(S)$,它包含 3 部分距离^[21]: ① 所有被访问通道的期望拣选距离总和; ② 进入每条被访问通道时,需行走的过道距离之和; ③ 由期望最远访问通道产生的往返过道距离 R_{far} .

1.2.1 所有被访问通道内的期望拣选距离

返回型拣选路径取决于哪些通道被访问,以及在被访问的通道内最大拣选物品种类. 由于 i 类物品的拣选概率为 $p_i(i = 1, 2, \dots, M)$,货位分布为 l_{ij} ,则通道 j 内 i 类物品被拣选的概率为

$$p_{ij} = p_i \frac{l_{ij}}{R}, i = 1, 2, \dots, M; j = 1, 2, \dots, R$$

$$\sum_{k=1}^M l_{ik}$$

(1)

因而,1 次拣选 1 件物品,通道 j 被访问的概率为

$$p_j = \sum_{i=1}^M p_{ij}, j = 1, 2, \dots, R$$

(2)

若 1 次拣选 S 件物品,通道 j 被访问的概率为 $p_j^{(S)} = 1 - (1 - p_j)^S, j = 1, 2, \dots, R$ (3)

由于到达订单上物品种类的随机性,被订购物品可能分布于任何通道,若 1 次拣选 S 件物品,任何一件位于通道 j 的概率是 p_j ,即任何一件不属于第 j 通道的概率是 $1 - p_j$,这相当于重复了 S 次伯努利实验,设有 S_j 件位于通道 j ,则 S_j 服从二项分布 $b(S, p_j)$. S_j 件物品在通道 j 内被拣选的概率为

$$p_j^{(S_j)} = C_S^{S_j} (1 - p_j)^{S - S_j} (p_j)^{S_j}, 1 \leq j \leq R$$

(4)

若被访问通道 j 内被拣选物品的最大种类记为 i_{max} ,在通道 j 内有 S_j 件物品被拣选的条件下,物品种类不超过 i_{max} 的拣选概率为

$$p_{i_{\text{max}}|S_j} = \left(\sum_{i=1}^{i_{\text{max}}} p_{i|j} \right)^{S_j},$$

$$1 \leq i_{\text{max}} \leq M; j = 1, 2, \dots, R$$

(5)

其中 $p_{i|j}$ 是当通道 j 被访问时,通道 j 内 i 类物品被拣选的概率.

在通道 j 内仅有 1 件物品被拣选,且其种类不超过 i_{max} 的条件下, i_{max} 类物品被拣选的条件概率为

$$p_{i_{\text{max}}|i_{\text{max}}|j} = \frac{p_{i_{\text{max}}|j}}{\sum_{i=1}^{i_{\text{max}}} p_{i|j}},$$

$$i_{\text{max}} = 1, 2, \dots, M; j = 1, 2, \dots, R$$

(6)

当通道 j 内有 S_j 件物品被拣选,且最大拣选种类是 i_{max} 时,在该通道内 i_{max} 类物品的件数 K 服从二项分布 $b(S_j, p_{i_{\text{max}}|i_{\text{max}}|j})$. 有 K 件在通道 j 内被拣选的概率为

$$p_{i_{\text{max}}|i_{\text{max}}|j}^{(K)} = C_{S_j}^K (1 - p_{i_{\text{max}}|i_{\text{max}}|j})^{S_j - K} (p_{i_{\text{max}}|i_{\text{max}}|j})^K,$$

$$1 \leq i_{\text{max}} \leq M; 0 \leq K \leq S_j; 1 \leq j \leq R$$

(7)

通道 j 内最大种类为 i_{max} 的物品的货位长度记为 $l_{i_{\text{max}}|j}$,由于每类中的每件物品在 $l_{i_{\text{max}}|j}$ 范围内的货位是均匀分布,所以 i_{max} 类中每件物品被拣选的概率相同,且相互独立. 因此 1 次拣选在通道 j 内的距离应是 i_{max} 类中被拣选物品最大距离的期望值. 通道 j 内有 K 件最大拣选种类为 i_{max} 的物品被拣选的行走距离期望值为

$$d_{i_{\text{max}}|j}^{(K)} = \begin{cases} 0, & K = 0 \\ \sum_{l=1}^{i_{\text{max}}} L_{ij} - \frac{1}{K+1} L_{i_{\text{max}}|j}, & K = 1, 2, \dots, S_j \end{cases}$$

$$S_j = 1, 2, \dots, S; j = 1, 2, \dots, R;$$

$$i_{\text{max}} = 1, 2, \dots, M$$

(8)

因此,当 S_j 件物品在通道 j 内被拣选时,拣选物品种类不超过 i_{max} 的期望拣选距离为

$$d_{i_{\text{max}}|j} = E(d_{i_{\text{max}}|j}^{(K)}) = \sum_{K=0}^{S_j} p_{i_{\text{max}}|i_{\text{max}}|j}^{(K)} d_{i_{\text{max}}|j}^{(K)}$$

$$= \sum_{l=1}^{i_{\text{max}}} L_{ij} - (1 - p_{i_{\text{max}}|i_{\text{max}}|j})^{S_j} \sum_{l=1}^{i_{\text{max}}} L_{ij} - \frac{[1 - (1 - p_{i_{\text{max}}|i_{\text{max}}|j})^{S_j+1}] L_{i_{\text{max}}|j}}{(S_j + 1) p_{i_{\text{max}}|i_{\text{max}}|j}} + \frac{L_{i_{\text{max}}|j}}{(1 - p_{i_{\text{max}}|i_{\text{max}}|j})^{S_j}}$$

(9)

由式(5)和(9) 通道 j 内有 S_j 件物品被拣选时的期望距离是

$$\begin{cases} d_j^{(S_j)} = 0, & S_j = 0 \\ d_j^{(S_j)} = E(d_{i_{\max j}}) = \sum_{i_{\max}=1}^M p_{i_{\max} | S_j} d_{i_{\max j}} & (10) \\ 1 \leq S_j \leq S \\ 1 \leq j \leq R \end{cases}$$

联合式(4)和(10), 1 次拣选 S 件物品时, 被访问通道 j 的单程期望拣选距离是

$$d_j(S) = E(d_j^{(S_j)}) = \sum_{S_j=0}^S p_j^{(S_j)} d_j^{(S_j)}, \quad j = 1, 2, \dots, R \quad (11)$$

因此, 所有被访问通道内的总期望拣选距离是 $2 \sum_{j=1}^R d_j(S)$.

1.2.2 访问每条通道需要行走的过道距离

1 次拣选被访问的期望通道数记为 $\bar{J}^{(S)}$, 则

$$\bar{J}^{(S)} = \sum_{j=1}^R p_j^{(S)} \quad (12)$$

而在每个被访问通道需要往返行走过道宽的 $1/2$, 因此, 总的需要行走的过道宽的期望距离为 $W_c \bar{J}^{(S)}$.

1.2.3 由期望最远访问通道产生的过道距离

记 j_{far} 为被访问的最远通道, $p_{j_{\text{far}} | S}$ 为 1 次拣选 S 件物品时 j_{far} 被访问的概率, 则

$$\begin{cases} p_{j_{\text{far}} | S} = (p_{j_{\text{far}}})^S, & j_{\text{far}} = 1 \\ p_{j_{\text{far}} | S} = \left(\sum_{j=1}^{j_{\text{far}}} p_j \right)^S - \left(\sum_{j=1}^{j_{\text{far}}-1} p_j \right)^S, & 2 \leq j_{\text{far}} \leq R \end{cases} \quad (13)$$

$$p_{J|k}^{(b)} = \sum_{A_j^{(b)} \subseteq A^{(b)}} \left\{ \left[\prod_{j_b \in A_j^{(b)}} \left(1 - \left(1 - \frac{p_{j_b}}{p^{(b)}} \right)^k \right) \right] \left[\prod_{j_b \in (A^{(b)} - A_j^{(b)})} \left(1 - \frac{p_{j_b}}{p^{(b)}} \right)^k \right] \right\}, \quad b = 1, 2; 1 \leq J \leq R/2 \quad (18)$$

其中 $A_j^{(b)}$ 是 J 个 b 侧通道集合, 且 $A_j^{(b)} \subseteq A^{(b)}$.

记 $p_{\text{odd} | S}^{(b)}$ 为共拣选 S 种物品时 b 侧有奇数条通道被访问, 则

$$p_{\text{odd} | S}^{(b)} = \sum_{k=1}^S (C_S^k (1 - p^{(b)})^{S-k} (p^{(b)})^k \times \sum_{1 \leq \text{奇数} J \leq \min(\frac{R}{2}, k)} p_{J|k}^{(b)}), \quad b = 1, 2 \quad (19)$$

因此

$$APP_{\text{ABCI S-shape}}^{(S)} = \left(\frac{1}{2} (W_c + W_r) + L \right) \sum_{b=1}^2 p_{\text{odd} | S}^{(b)} \quad (20)$$

期望被访问通道数 $\bar{J}^{(S)}$ 和由期望最远访问通

道产生的往返过道距离 R_{far} 为

$$\begin{aligned} \bar{J}_{\text{far}} &= E(j_{\text{far}}) = \sum_{j_{\text{far}}=1}^R j_{\text{far}} p_{j_{\text{far}} | S} \\ &= R - \sum_{j_{\text{far}}=2}^R \left(\sum_{j=1}^{j_{\text{far}}-1} p_j \right)^S \end{aligned} \quad (14)$$

由期望最远访问通道产生的往返过道距离 R_{far} 为

$$R_{\text{far}} = \bar{J}_{\text{far}} (W_a + W_b) \quad (15)$$

因此, 1 次拣选 S 件物品, 总的拣选路径长度为

$$D_{\text{return}}^{\text{ABC}}(S) = W_c \bar{J}^{(S)} + 2 \sum_{j=1}^R d_j(S) + R_{\text{far}} \quad (16)$$

至此, 式(16)给出了分类存储、返回型拣选路径下的拣选距离随机模型.

1.3 分类存储 S 型拣选路径随机模型

采用 S 型拣选路径, 则路径长度 $D_{\text{S-shape}}^{\text{ABC}}(S)$ 由 3 个因素决定: ① 期望被访问通道数, 记为 $\bar{J}^{(S)}$, 被访问通道的拣选距离就是通道全长加中间和后部过道各一半; ② 由于单侧访问奇数条通道为返回过道而产生的附加距离, 记为 $APP_{\text{ABCI S-shape}}^{(S)}$; ③ 由期望最远访问通道产生的往返过道距离 R_{far} .

记 $p^{(b)}$ ($b = 1, 2$) 为单侧 (奇数或偶数) 通道被访问概率, 则

$$\begin{cases} p^{(1)} = \sum_{1 \leq j_1 \text{ 奇数} \leq R} p_{j_1} \\ p^{(2)} = \sum_{1 \leq j_2 \text{ 偶数} \leq R} p_{j_2} \end{cases} \quad (17)$$

记 $A^{(b)}$ 为 b 侧通道集合, $p_{J|k}^{(b)} = \{k \text{ 条通道被访问} | b \text{ 侧通道有 } k \text{ 种物品被拣选}\}$, 则

道产生的往返过道距离 R_{far} 可由式(12)和(15)获得. 因此, 分类存储 S 型拣选路径下的拣选距离随机模型为

$$\begin{aligned} D_{\text{S-shape}}^{\text{ABC}}(S) &= \left[\frac{1}{2} (W_c + W_r) + L \right] \bar{J}^{(S)} + \\ &R_{\text{far}} + APP_{\text{ABCI S-shape}}^{(S)} \end{aligned} \quad (21)$$

2 实验结果与分析

2.1 模型的近似计算与仿真比较

为了验证分类存储返回型与 S 型拣选距离模

型的效果 需要比较模型近似计算与仿真结果. 若同类物品具有相同订购频率, 在一段时间内由物品实际需求的经验分布可得该订购频率, 近似取

其为常数^[22]. 各类物品的订购频率和存储分配空间, 根据其流转量的快慢存在多种情况. 本文选取5种情况进行讨论, 具体参数见表1.

表1 物流配送中心仓储布局参数表

Table 1 Layout parameter table of logistics distribution center warehouse

类型	l_{ij}	1	2	3	4	5	6	7	8	合计	订购频率(%)	空间分配(%)	
情况	1	A	0.34	0.34	0.34	0.34	0.33	0.33	0.33	0.33	2.68	33.33	33.33
		B	0.33	0.33	0.33	0.33	0.34	0.34	0.33	0.33	2.66	33.33	33.33
		C	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33	0.34	0.34	2.66	33.33	33.33
	2	A	0.63	0.63	0.48	0.48	0.08	0.08	0.01	0.01	2.40	45	30
		B	0.36	0.36	0.48	0.48	0.3	0.3	0.06	0.06	2.40	30	30
		C	0.01	0.01	0.04	0.04	0.62	0.62	0.93	0.93	3.20	25	40
	3	A	0.6	0.6	0.35	0.35	0.04	0.04	0.01	0.01	2.00	60	25
		B	0.38	0.38	0.47	0.47	0.3	0.3	0.05	0.05	2.40	25	30
		C	0.02	0.02	0.18	0.18	0.66	0.66	0.94	0.94	3.60	15	45
	4	A	0.6	0.6	0.18	0.18	0.01	0.01	0.01	0.01	1.60	75	20
		B	0.32	0.32	0.52	0.52	0.31	0.31	0.05	0.05	2.40	20	30
		C	0.08	0.08	0.3	0.3	0.68	0.68	0.94	0.94	4.00	5	50
	5	A	0.61	0.61	0.18	0.18	0.02	0.02	0.01	0.01	1.64	85	15
		B	0.29	0.29	0.48	0.48	0.2	0.2	0.03	0.03	2.00	10	30
		C	0.1	0.1	0.34	0.34	0.78	0.78	0.96	0.96	4.36	5	55

针对图1所示, 选择具有8条通道的物流配送中心的仓储布局, 参照实际数据按比例取值, 货架长约为过道宽、货架宽和通道宽的10倍, 取 $L = 1, W_a = W_b = 0.09, W_c = W_r = 0.11$.

对于仿真试验, 需要确定仿真次数以使得在一定置信度下, 仿真与实际的平均行走距离的相对误差收敛到可接受的较小范围, 参考文献[23] 本文对每份订单进行10 000次仿真, 完全可以满足误差要求. 具体仿真步骤如下.

步骤1 对每份订单的各类物品按照订购频率, 依离散分布随机生成10 000次;

步骤2 依仓储布局参数, 模拟每份订单的各类物品在各条通道货架上的分布;

步骤3 若拣选方式为返回型
对 $j = 1$ 到 R (R 为通道数) // 计算访问每条通道需要行走的过道距离

If 某通道有物品被拣选

Then 累加一次过道宽

End If

End For

For $j = 1$ to R (R 为通道数) // 计算所有被访问通道内的拣选距离

If 某通道有物品被拣选

Then 计算拣选该通道内最大种类物品的最远访问位置需行走距离 d_j

End If

对 d_j 累加

End For

Else (拣选方式为 S 型)

For $j = 1$ to R (R 为通道数) // 计算访问每条通道需要行走的通道、// 中间过道、后部过道距离

If 某通道有物品被拣选

Then 累加一次通道长、中间过道宽一半、后部过道宽一半

End If

End For

If 单侧被访问通道为奇数 // 计算由于单侧

访问奇数条通道,为返回 // 过道而产生的附加距离

Then 添加附加距离

End if

End if

步骤 4 For $j = 1$ to R // 计算由最远访问通道产生的过道距离

If 某通道有物品被拣选

Then $j_{far} \leftarrow j$

End If

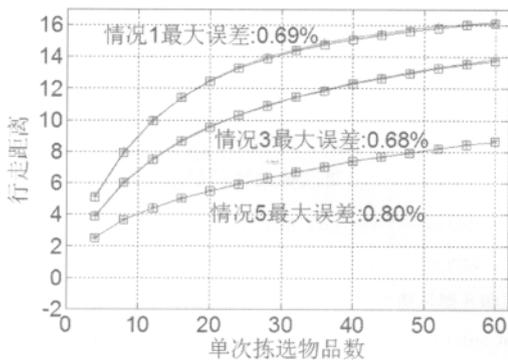
End For

计算从输入/输出点至第 j_{far} 通道的往返过道长度

步骤 5 分别计算由步骤 3、步骤 4 合成的 1 次订单的拣选距离

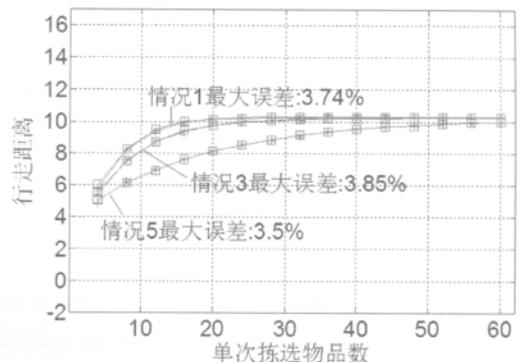
将仿真结果与近似计算结果绘制在同一坐标系内进行比较. 为使图示清晰,本文仅画出情况 1、3、5,如图 2 所示.

从图 2 可见,采用返回型拣选时,3 种订购频率与货位分配情况下,模型近似计算与仿真实验的两条曲线基本重合,最大误差不超过 1%;采用 S 型拣选时,模型计算与仿真结果也比较理想,最大误差不超过 4%. 这说明,本文建立的两个模型在一定置信度下,可用于估计现实中相应类型的物流配送中心订单拣选时间与距离.



(a) 返回型拣选时行走距离模型计算与仿真结果图

(a) Model and simulation result under return-type picking



(b) S 型拣选时行走距离模型计算与仿真结果图

(b) Model and simulation result under S-type picking

图 2 三种分配与订购类型下物品拣选行走距离模型计算与仿真结果图

Fig. 2 Comparison results of approximation and simulation under three different picking manners

2.2 相同参数下不同拣选方式行走距离比较

由于在相同的系统配置下,对货物拣选方式的改进能成倍地提高系统的作业效率,增加客户满意度、降低配送成本、提高供应链服务水平,因此有必要比较分析不同货位分配与订购类型的返回型和 S 型拣选方式的行走距离,取表 1 中情况 2、3、4、5 绘制成图 3.

从图 3 分析得到以下结论:

1) 不同类别物品的订购频率对拣选方式的效率有影响. 当 A、B、C 3 类物品订购频率为 (45% 30% 25%) 时,拣选件数较小时,返回型拣选行走距离小于 S 型行走距离;随着 A、B、C 3 类物品订购频率比值的增大,临界拣选件数(两条曲线交点处拣选件数)逐渐变大,最后当 A、B、C 3 类物品订购频率为 (85% 10% 5%) 时,返回型拣选行走距离总大于 S 型行走距离;

2) 拣选件数的多少对不同拣选方式的效率有影响. 拣选件数较少时,应采用返回型方式进行拣选,拣选件数较多时,采用 S 型方式拣选. 总体而言,拣选件数越多,采用 S 型拣选越有利,因为当拣选件数很多,几乎每个通道都被访问,当所有通道被访问时,采用返回型拣选比 S 型拣选会多行走近一倍的距离.

随着 A、B、C 3 类物品订购频率比值的增大,临界拣选件数(两条曲线交点处拣选件数)逐渐变大,最后当 A、B、C 3 类物品订购频率为 (85% 10% 5%) 时,返回型拣选行走距离总大于 S 型行走距离;

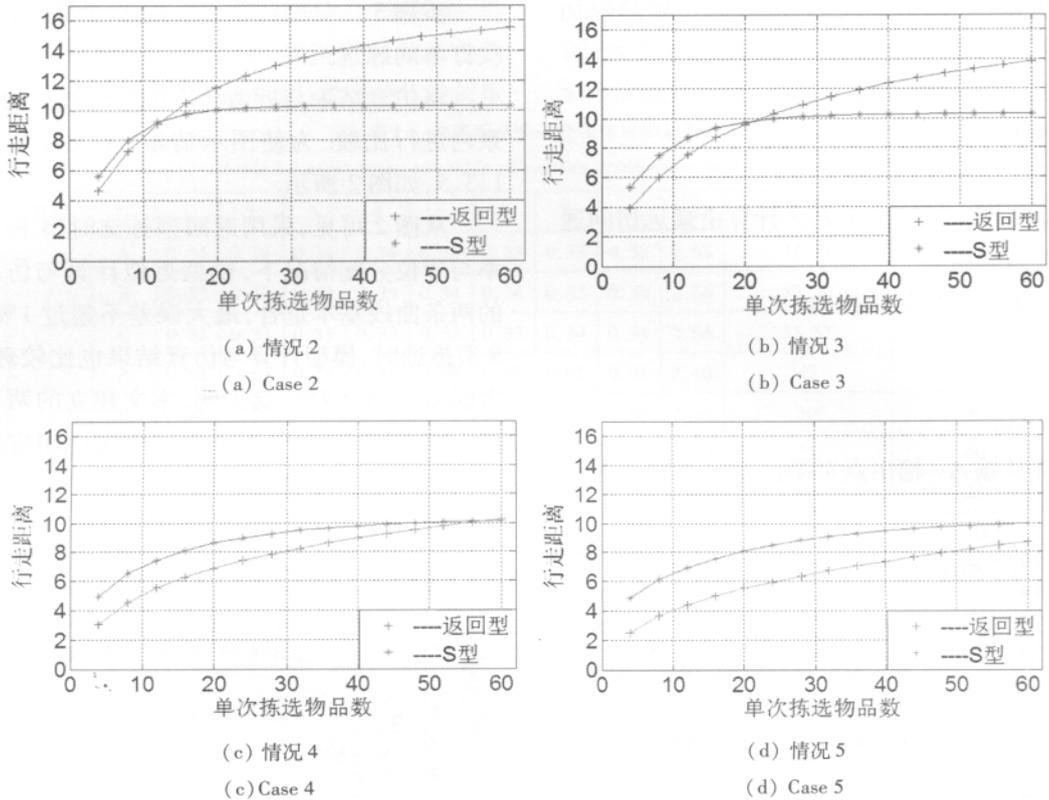


图3 不同货位分配与订购类型下返回型拣选和S型拣选方式的行走距离对比图

Fig.3 Return-type and S-type picking mannerel distance under four different order frequency and storage space distribution proportion cases

3 拣选服务时间分布

拣选时间由拣选距离和速度决定,假设以单位1进行匀速拣选,拣选距离是关于单次拣选物品件数 S 的函数,而单次拣选物品件数 S 是个随机变量.泊松分布常常用来近似单位时间内电话呼叫的次数、车站等车的人数等随机变量的分布,到达订单上的物品数目与泊松流特点相近,这里假设其近似服从泊松分布^[24].

拣选时间 t 是距离 $D(S)$ 的函数,进而也是拣选件数 S 的函数,由式(16)和(21)确定.如果 S 服从泊松分布

$$P(S = k) = \frac{(\lambda_1 S)^k}{k!} e^{-\lambda_1 S}, k = 0, 1, 2, \dots \quad (22)$$

其中常数 $\lambda_1 > 0$,本文取 $\lambda_1 = 20$,其含义为单位时间内的拣选件数.

拣选时间的分布可以由 S 的分布导出,记为

$G(t)$,由于无法导出 $G(t)$ 的明确数学表达式,可绘出其分布函数图形,如图4所示.再通过数值算法得其近似表达式 $G'(t)$.图4a)为返回型拣选模型对应的服务时间概率分布,拟合得到的近似分布函数记为 $G'(t)_{\text{return}}$,图4b)为S型拣选模型对应的服务时间概率分布,拟合得到的近似分布函数记为 $G'(t)_{\text{S-shape}}$.

利用高斯函数进行拟合,得

$$G'(t)_{\text{return}} = A_{r1} e^{-\frac{x-B_{r1}}{C_{r1}}} + A_{r2} e^{-\frac{x-B_{r2}}{C_{r2}}} \quad (23)$$

$$G'(t)_{\text{S-shape}} = A_{s1} e^{-\frac{x-B_{s1}}{C_{s1}}} + A_{s2} e^{-\frac{x-B_{s2}}{C_{s2}}} \quad (24)$$

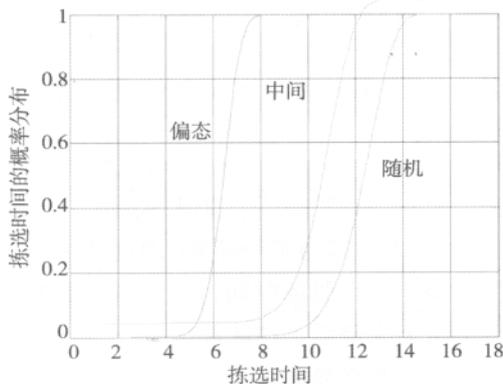
其系数如表2所示.

4 拣选随机服务系统效率指标计算

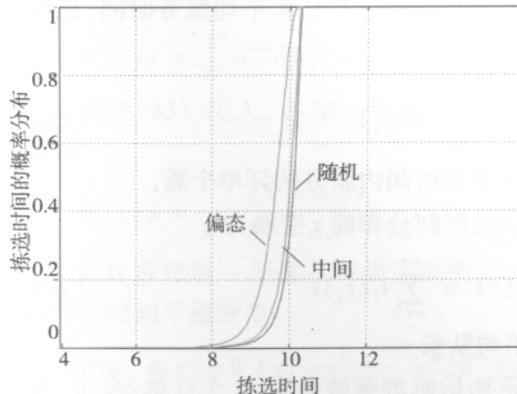
4.1 符号说明

在计算拣选服务系统效率指标之前先对所用符号说明如下:

$N(t)$ 输入队列(系统状态) 即系统中的顾客数(队长);



(a) 分类存储返回型拣选时间分布



(b) 分类存储 S 型拣选时间分布

(a) Picking service time distribution deduced by return-type model (b) Picking service time distribution deduced by S-type model

图 4 拣选(服务)时间的分布函数图

Fig. 4 The distribution function of picking (service) time

表 2 拟合的高斯函数系数表

Table 2 The parameters of fitting Gaussian function

类型 \ 参数		A_{r1}	B_{r1}	C_{r1}	A_{r2}	B_{r2}	C_{r2}	SSE	Adjusted R-square
返 回 型	1	0.064	12.8	0.99	0.055	11.44	1.368	0.087 08	0.990 9
	3	0.056	11.28	1.01	0.054	10.14	1.375	0.149 8	0.984 4
	5	0.061	6.66	0.71	0.043	6.034	0.824 1	0.347	0.963 8
S 型	1	0.057	10.22	0.01	$3.387e + 013$	21.14	1.953	0.017 49	0.998 2
	3	10.4	11.53	0.85	$8.51e + 011$	-246.6	43.66	0.041 54	0.995 7
	5	1.012	10.27	0.70	0	0	0	0.048 53	0.995 2

λ_2 : 订单到达率;

v_k : 第 k 份订单需要的服务时间;

$1/\mu$: 平均服务时间;

μ : 单位时间内服务的订单数目;

ρ : 服务强度, 等于 λ_2/μ ;

q_0 : 初始时刻系统中的订单数目;

q_n : 第 n 份订单被拣选完毕离开系统时的系统队长;

v_n : 当第 n 份订单被拣选期间到达系统的订单数目;

σ^2 : 服务时间分布的方差;

L_q : 统计平衡状态下的平均队长;

w_q : 系统到达订单的等待时间;

π_j : 等待队长的平稳分布.

4.2 订单输入流

订单到达多种多样, 本文研究服从泊松分布

的输入, 订单到达数目 $N(x)$ 的概率分布律为

$$P(N(x) = k) = \frac{(\lambda_2 x)^k}{k!} e^{-\lambda_2 x} \quad k = 0, 1, 2, \dots \quad (25)$$

其中常数 $\lambda_2 > 0$ 为泊松输入的强度, 即到达率(单位时间内订单到达的平均数). x 时间间隔内的订单平均到达数

$$\begin{aligned} E(N(x)) &= \sum_{k=0}^{\infty} k P(N(x) = k) \\ &= \lambda_2 x \sum_{k=1}^{\infty} \frac{(\lambda_2 x)^{k-1}}{(k-1)!} e^{-\lambda_2 x} = \lambda_2 x \end{aligned} \quad (26)$$

4.3 平均服务时间的计算

各拣选单的拣选时间 v_1, v_2, \dots 之间及与输入之间相互独立, 且有相同分布, 是离散时间序列, 记为 $t_k (k = 1, 2, \dots, k_{\max})$, 其概率为

$$P\{v_i \leq x\} = G(x), i = 1, 2, \dots \quad (27)$$

由拣选时间的分布计算平均服务时间,记为 $1/\mu$,有

$$\frac{1}{\mu} = \sum_{k=0}^{k_{\max}} t_k G(t_k) \quad (28)$$

其中 μ 为单位时间内服务的订单个数,记服务时间分布的 z 变换为

$$G^*(z) = \sum_{n=0}^{+\infty} G(t_n) z^{-n} \quad (29)$$

4.4 平均队长

假定初始时刻系统中有 q_0 个订单;令: q_n 为第 n 个订单被拣选完成离开时所留下的队长; v_n 为第 n 个订单被拣选时系统所到达的订单数. 则

$$q_{n+1} = \begin{cases} q_n - 1 + v_{n+1} & q_n > 0 \\ v_{n+1} & q_n = 0 \end{cases}, n = 0, 1, \dots \quad (30)$$

令

$$U(x) = \begin{cases} 1, & x > 0 \\ 0, & x \leq 0 \end{cases} \quad (31)$$

则有

$$q_{n+1} = q_n + U(q_n) + v_{n+1} \quad (32)$$

注意 v_n 来自于到达率为 λ 的最简单流, $\{v_n\}$ 独立同分布

$$\begin{aligned} a_k &= P\{v_n = k\} \\ &= \int_0^{\infty} P\{v_n = k \mid v_n = x\} dG(x) \\ &= \int_0^{\infty} \frac{(\lambda x)^k}{k!} e^{-\lambda x} dG(x) \end{aligned} \quad (33)$$

则

$$E(v_n) = \sum_{k=0}^{\infty} k a_k = \rho \quad (34)$$

其中 $\rho = \lambda_2/\mu$ 是服务强度.

将式(32)取平方的数学期望,有

$$\begin{aligned} E(q_{n+1}^2) &= E(q_n^2) + E(U^2(q_n)) + E(v_{n+1}^2) - \\ &\quad 2E(q_n) + 2E(q_n)E(v_{n+1}) - \\ &\quad 2E(U(q_n))E(v_{n+1}) \end{aligned} \quad (35)$$

因为在平稳状态下有 $E(q_{n+1}) = E(q_n)$, 故

$$\begin{aligned} E(U(q_n)) &= E(v_{n+1}) = \rho, \text{ 又因为 } E(q_{n+1}^2) = \\ E(q_n^2), E(U^2(q_n)) &= E(U(q_n)) = E(v_{n+1}) = \rho, \end{aligned}$$

且

$$E(v_{n+1}^2) = \sum_{k=0}^{\infty} k^2 a_k = \lambda^2 \sigma^2 + \rho^2 + \rho$$

其中 σ^2 是服务时间分布 $G(x)$ 的方差,故整理式(35)得

$$L_q = E(q_n) = \rho + \frac{\rho^2 + \lambda^2 \sigma^2}{2(1 - \rho)} \quad (36)$$

式(36)即为平均队长. 由此式可看出,即使不能减小平均服务时间,但也可以通过减小服务时间方差来降低平均队长.

令队长平稳分布 $\{\pi_j\}$ 的母函数为

$$Q(s) = E(s^{q_n}) = \sum_{k=0}^{\infty} s^k P\{q_n = k\}, |s| \leq 1 \quad (37)$$

由母函数性质知

$$Q(s) = E(s^{q_n - U(q_n)}) E(s^{v_{n+1}}) \quad (38)$$

因为

$$\begin{aligned} E(s^{q_n - U(q_n)}) &= \sum_{k=0}^{\infty} s^k P\{q_n - U(q_n) = k\} \\ &= \pi_0 + \sum_{k=0}^{\infty} s^{k-1} \pi_k \\ &= (1 - \rho) + \frac{Q(s) - (1 - \rho)}{s} \end{aligned} \quad (39)$$

$$\begin{aligned} E(s^{v_{n+1}}) &= \sum_{k=0}^{\infty} s^k P\{v_{n+1} = k\} \\ &= \sum_{k=0}^{\infty} \int_0^{\infty} \frac{(\lambda_2 x s)^k}{k!} e^{-\lambda_2 x} dG(x) \\ &= \int_0^{\infty} e^{\lambda_2 x s} e^{-\lambda_2 x} dG(x) \\ &= G^*[\lambda_2(1 - s)] \end{aligned} \quad (40)$$

整理后得

$$Q(s) = \frac{(1 - \rho)(1 - s)G^*(\lambda_2(1 - s))}{G^*(\lambda_2(1 - s)) - s}, \quad 0 \leq s < 1 \quad (41)$$

由 z 变换求出 $G^*(\lambda_2(1 - s))$ 后,可获得 $Q(s)$ 的明确表达式. 因此

$$\pi_j = \frac{1}{j!} \left. \frac{d^j Q(s)}{ds^j} \right|_{s=0}, j = 0, 1, 2, \dots \quad (42)$$

4.5 平均等待时间

在先到先服务的情况下,第 n 个订单离开时

的队长 q_n 应恰好是该订单的等待时间 w_n 与拣选时间 v_n 内到达订单数之和, 而 w_n 与 v_n 独立. 令 $W_q(x)$ 是 w_n 的分布, 则

$$\begin{aligned} E(q_n) &= \sum_{k=0}^{\infty} k P\{q_n = k\} \\ &= \sum_{k=0}^{\infty} k \int_0^{\infty} \int_0^{\infty} \frac{(\lambda_2(x+y))^k}{k!} \times \\ &\quad e^{-\lambda_2(x+y)} dW_q(x) dG(y) \\ &= \int_0^{\infty} \int_0^{\infty} \lambda_2(x+y) dW_q(x) dG(y) \\ &= \lambda E(w_q) + \rho \end{aligned} \quad (43)$$

再利用式(30) 得

$$W_q = E(w_q) = \frac{\rho^2 + \lambda_2^2 \sigma^2}{2\lambda_2(1-\rho)} \quad (44)$$

式(44) 表明, 当平均服务时间不变时, 可用减小服务时间方差来减少平均等待时间.

依照本段开始的方式, 队长的母函数是

$$\begin{aligned} Q(s) &= E(s^{q_n}) \\ &= \sum_{k=0}^{\infty} s^k P\{q_n = k\} \\ &= \sum_{k=0}^{\infty} s^k \int_0^{\infty} \int_0^{\infty} \frac{(\lambda_2(x+y))^k}{k!} \times \\ &\quad e^{-\lambda_2(x+y)} dW_q(x) dG(y) \\ &= \int_0^{\infty} \int_0^{\infty} e^{-\lambda_2(x+y)(1-s)} dW_q(x) dG(y) \\ &= \int_0^{\infty} e^{-\lambda_2(1-s)x} dW_q(x) \int_0^{\infty} e^{-\lambda_2(1-s)y} dG(y) \\ &= W_q^*(\lambda_2(1-s)) G^*(\lambda_2(1-s)) \end{aligned} \quad (45)$$

表 3 拣选随机服务系统效率指标

Table 3 Picking random service system efficiency index

情况 \ 指标	平均服务时间 $1/\mu$	服务强度 ρ	平均队长 L_q	平均等待时间 W_q	
返回型	1	12.356 9	0.988 6	44.102 6	538.925 7
	3	10.862 6	0.869 0	3.779 7	36.383 2
	5	6.478 6	0.518 3	0.798 1	3.497 2
S 型	1	10.058 0	0.804 6	2.461 8	20.714 8
	3	9.974 9	0.797 9	2.374 2	19.703 1
	5	9.627 1	0.770 2	2.060 9	16.134 3

订单输入流是外界因素, 因此为提高拣选随机服务系统效率, 可以通过减小服务时间方差来达到, 而服务时间方差与拣选路径方式和货位存储策略有关, 本文只分析了分类存储返

其中等待时间分布的拉普拉斯 - 斯蒂尔吉斯变换

$$W_q^*(s) = \int_0^{\infty} e^{-sx} dW_q(x), \text{Re}(s) > 0 \quad (46)$$

把式(45) 代入, 并用 s 替换 $\lambda_2(1-s)$, 整理后

$$W_q^*(s) = \frac{(1-\lambda_2)s}{s-\lambda_2+\lambda_2 G^*(s)} \quad (47)$$

经拉普拉斯 - 斯蒂尔吉斯逆变换后, 即可获得等待时间平稳分布

$$P\{w_q \leq x\} = W_q(x) = \frac{1}{2\pi i} \int_{c-i\infty}^{c+i\infty} e^{sx} dW_q^*(s) \quad (48)$$

4.6 拣选随机服务系统效率指标分析

订单需求对拣选随机服务系统有影响, 应该通过统计调查获取市场订单到达的一手资料以获取订单到达强度. 本文为理论探讨, 取物品达到率 $\lambda_1 = 20$, 订单达到率 $\lambda_2 = 0.08$. 计算拣选随机服务系统各项效率指标列于表 3.

表 3 说明货位指派策略对拣选服务效率有很大影响, 采用分类存储返回型时, 随机订购频率(情况 1) 的平均服务时间为 12.36 个单位, 服务强度较高为 0.988 6, 说明拣选人员工作强度较大, 应配备更多拣选人员, 拣选成本也最高; 相比之下, 返回型拣选中偏态存储(情况 5) 效果最好, 平均服务时间为 6.47 个单位, 相应的服务强度较低, 平均队长较短, 平均等待时间小, 说明偏态存储策略优于中等存储或随机存储策略. S 型拣选也得出同样的结论.

回型和 S 型两种拣选方式, 在后续研究中将会对其他存储策略与拣选方式作对比研究. 此外, 到达订单的分批问题也是配送系统效率优化的关键点, 例如文献[25] 考虑物流配送系统的干

扰管理扰动模型,采用能够融合多种邻域函数的禁忌搜索算法实现模型的求解,这种方法为本文后续研究订单分批时间窗提供了较好的算法参考。

5 结束语

本文以随机服务系统理论为核心,将订单的到达看成系统的输入,物品拣选看成系统的服务,研究 M/G/1 类型人工拣选作业系统的效率优化问题.建立分类存储返回型与 S 型拣选距离随机模型推导对应的一般服务时间分布,假设订单到达服从泊松分布,计算该服务系统在统计平衡状态下的效率指标,包括平均等待时间、平均队长、

平均服务时间和服务强度指标.通过仿真验证两模型近似计算结果的准确性,并就物品订购频率和货位分配策略对两模型进行比较.两模型均能在误差允许条件下较好的与仿真逼近,相对误差均小于 5%.物品订购频率、货位分配策略和不同拣选方式对人工拣选随机服务系统的效率均有影响.当物品订购频率与货位分配呈偏态时,返回型拣选的效率通常低于 S 型拣选.非偏态订购频率下,拣选件数较小时,采用返回型方式拣选效率高;拣选件数较大,采用 S 型拣选效率高.本文研究成果可以为物流配送中心的拣选时间、等待时间的估计提供参考,为配送中心服务优化提出新思路,为人工拣选作业随机服务系统研究的深化和完善奠定基础.

参考文献:

- [1] De Koster R, Le-Duc T, Roodbergen K J. Design and control of warehouse order picking: A literature review [J]. *European Journal of Operational Research*, 2007, 182(2): 481 - 501.
- [2] 张晓川. 物流学: 系统网络和物流链 [M]. 北京: 化学工业出版社, 2005.
Zhang Xiaochuan. Logistics: System Network and Logistics Chain [M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2005. (in Chinese)
- [3] Bartholdi J, Hackman S T. Warehouse & Distribution Science [M]. Atlanta, GA, USA: The Supply Chain and Logistics Institute School of Industrial and Systems Engineering Georgia Institute of Technology, www.warehouse-science.com, 2008. 16.
- [4] Roodbergen K J, De Koster R. Routing order-pickers in a warehouse with a middle aisle [J]. *European Journal of Operational Research*, 2001, 133(1): 32 - 43.
- [5] Caron F, Marehet G, Perego A. Routing policies and COI-based storage policies in picker-to-part systems [J]. *International Journal of Production Research*, 1998, 36(3): 713 - 732.
- [6] De Koster R, Van der Poort E S, Wolters M. Efficient order batching methods in warehouse [J]. *International Journal of Production Research*, 1999, 37(7): 1479 - 1504.
- [7] Roodbergen K J. Layout and Routing Methods for Warehouses [D]. Rotterdam, The Netherlands: Erasmus University, 2001. 37 - 45.
- [8] Caron F, Marchet G, Perego A. Optimal layout in low-level picker-to-part systems [J]. *International Journal of Production Research* 2000, 38(1): 101 - 117.
- [9] Petersen C G. Considerations in order picking zone configuration [J]. *International Journal of Operations & Production Management* 2002, 22(7/8): 793 - 805.
- [10] Petersen C G, Aase G, Heiser D R. Improving order-picking performance through the implementation of class-based storage [J]. *International Journal of Physical and Logistics Management*, 2004, 34(7): 534 - 544.
- [11] Tompkins J A, White J A, Bozer Y A, et al. Facilities Planning [M]. Hoboken, NJ: John Wiley & Sons, 2003. 40 - 60.
- [12] Graves S C, Hausman W H, Schwarz L B. Storage retrieval interleaving in automatic warehousing systems [J]. *Management Science*, 1977, 23(9): 935 - 945.
- [13] Le-Duc T, De Koster R. Travel distance estimation and storage zone optimization in a 2-block class-based storage strategy warehouse [J]. *International Journal of Production Research*, 2005, 43(17): 3561 - 3581.
- [14] 董溪哲. 仓储货位优化模型及算法研究 [D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2006. 23 - 25.

- Dong Xizhe. Warehouse Slotting Optimization Model and Algorithm [D]. Harbin: Harbin Institute of Technology, 2006. 23 – 25. (in Chinese)
- [15]李诗珍. 配送中心拣货作业优化设计与控制研究 [D]. 成都: 西南交通大学, 2008. 15 – 20.
Li Shizhen. Study on Optimal Designing and Control of order Picking in Distribution Center [D]. Chengdu: Southwest Jitao-Tong University, 2008. 15 – 20. (in Chinese)
- [16]Hall R W. Distance approximation for routing manual pickers in a warehouse [J]. IIE Transactions, 1993, 25(4): 77 – 87.
- [17]Petersen C G. An evaluation of order picking routing policies [J]. International Journal of Operations & Production Management, 1997, 17(11): 1098 – 1111.
- [18]Hou W F. A Comparative Study of Different Picking, Routing, and Storage Policies for a Picker-to-part Warehouse [D]. Taipei: National Taiwan University of Science and Technology Repository, 2007. 45 – 50.
- [19]Le-Duc T, De Koster R. Travel time estimation and order batching in a 2-block warehouse [J]. European Journal of Operational Research, 2007, 176 (1): 374 – 388.
- [20]Lin Q N. Travel Time Analysis with COI-based Storage Policies in Low-level Picker-to-part System [D]. Taipei: National Taiwan University of Science and Technology Repository, 2007. 34 – 40.
- [21]Zhou Li, Zhu Jie, Guo Jian. Stochastic model of sorted-storage return-type manual order picking route [J]. Journal of Beijing Institute of Technology, 2010, 19(12): 97 – 102.
- [22]Hausman W H, Schwartz L B, Graves S C. Optimal storage assignment in automatic warehousing systems [J]. Management Science. 1976, 22(6): 629 – 638.
- [23]Law A M, Kelton W D. Simulation Modeling and Analysis [M]. New York: McGraw-Hill College, 2000: 500 – 530.
- [24]Guo J, Zhu J, Zhou L. The analysis of sorted-storage and return-type manual picking efficiency based on poisson input flow [J]. Journal of Computational Information Systems, 2011, 7(4): 1270 – 1277.
- [25]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 – 59.
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 – 59. (in Chinese)

Research on random service system efficiency of sorted storage manual order picking manners

ZHU Jie, ZHOU Li, GUO Jian

School of Information, Beijing Wuzi University, Beijing 101149, China

Abstract: The manual order picking system with order arrival as Poisson flow, and single picking servicer can be considered as M/G/1 random service system. This paper studies the efficiency optimization problem of manual order picking system. We also analyze the stochastic characteristics of arrived orders goods categories and items number. The paper establishes picker route stochastic models under sorted storage return-type and S-type picking for logistics distribution center to deduce corresponding picking time distribution functions. Experiment results show that the two models approximate all approach simulation better under permitted error conditions. Compare the two picking manners with five kinds of goods order frequency and storage assignment, and then get application situations. This paper provides reference for estimation picking time and waiting time of traditional rectangular logistic distribution center, and provides basis for choosing storage strategy.

Key words: random service system; manual picking; sorted storage; return-type; S-type; M/G/1