

Optimization Analysis of Campus Express Peak Service System Based on Queuing Theory

Nan Gao

Beijing Jiaotong University, Beijing
Email: 1098921537@qq.com

Received: Nov. 15th, 2018; accepted: Nov. 29th, 2018; published: Dec. 6th, 2018

Abstract

In order to solve the problems faced in the campus express peak service system, this paper first uses the knowledge of queuing theory to make the service system reach the steady state as the premise, and minimize the total cost of the system as the goal to construct the optimization model. Secondly, the paper collects data from an express delivery agency around Xueyuan Apartment in Beijing Jiaotong University, and calculates the main indicators. Finally, the optimization results of the campus express peak service system are given by the optimization model, which can provide reference for the decision-making of the campus express peak service system.

Keywords

Campus Express, Queuing Theory, Optimization Research

基于排队论的校园快递高峰服务系统优化研究

高楠

北京交通大学, 北京
Email: 1098921537@qq.com

收稿日期: 2018年11月15日; 录用日期: 2018年11月29日; 发布日期: 2018年12月6日

摘要

为了解决校园快递高峰期服务系统面临的难题,本文首先利用排队论知识,以服务系统达到稳态为前提,系统总成本最小化为目标构建优化模型;其次选取北京交通大学学苑公寓周围某快递代收点进行实地调

研搜集数据, 并计算出主要指标; 最后利用优化模型给出了校园快递高峰期服务系统的优化结果, 从而为校园快递高峰期服务系统决策提供参考。

关键词

校园快递, 排队论, 优化研究

Copyright © 2018 by author and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

21 世纪随着互联网、物流业的快速发展[1], 带动了网购潮流的兴起与热衷。网上购物已被越来越多的消费者接受, 大学生作为一类消费综合性很强, 又是走在潮流前沿的庞大群体, 这种新潮且快捷的购物方式在大学生中很受青睐。大学生成为当代网购的一支主力军, 因而对校园快递网点的多样化需求也越来越多、越来越细。学生的网购频率很高, 特别是像“女王节”、“双十一”、“双十二”这种促销日, 大量的网购使得快递网点货物堆积如山, 这已经是校园快递的常态了, 所以校园快递网点在高峰期提高派件服务效率尤为重要。校园快递高峰期是快递点问题高发的一个时段, “校园快递”在高峰期变成“校园慢递”, 派件现场出现一系列问题, 会影响到客户对其的满意度[2]。在学校, 快递员不会直接将快递送到学生宿舍门口, 而是需要我们去代收点领取。由于快递代收点空间和服务人员有限, 而大学生领取快递的时间又相对集中, 所以势必会出现排队等待的现象。那么对于快递代收点, 究竟设置几位服务人员, 既能不浪费快递代收点成本, 又不会让顾客长时间等待, 此类问题随之出现。本文运用排队论的知识对校园快递高峰期取件问题进行优化, 旨在实现快递网点成本最小化, 提高取件速度和顾客满意度。

2. 校园快递代收点问题描述

2.1. 校园快递代收点基本情况

北京交通大学学苑公寓周围快递代收点主要分布如下: 东门鲜果园水果超市圆通门店的圆通速递和韵达, 学院公寓一号楼地下室一层的中通快递, 学苑公寓四号楼地下室一层邮政快递以及工商银行旁的申通快递。同时京东、天猫、唯品会等电商以电动三轮车派件来完成最后一公里的快递收发工作。这几个快递网点承担着学院所有同学的快递收发任务。运营时间基本上是早八点到晚八点, 一天内会发送两次短信取件通知, 分别是早上十点和下午四点左右。

2.2. 高峰期取件存在的问题

通过本人一段时间的实地观察, 学生到快递网点的取件主要是在 12:00~13:00、16:00~17:00、18:00~19:00 这三个时间段, 其余时间段的取件学生相对较少。本文研究的高峰期指“女生节”, “双十一”等这种促销节日, 并且取件时间集中在以上三个时间段的时期。由于学生的取件时间很集中, 再加上“双十一”等这样的节日一天内需要发放的快递量相当大, 因而快递代收点在高峰期取件服务系统主要面临如下几个方面的问题。

2.2.1. 高峰期取件时间长

学生取件一般都是下课后，时间很集中，高峰期大量学生前来取件势必会出现排队等待的现象，此时也是快递最忙碌的时间段。这样扎堆取快递，不仅使排队时间更长，同时嘈杂的人群使得工作人员需要多次确认编号，服务效率大大降低。另外，由于快递网点每天的快递量很大，货物摆放相对于平时较为散乱，取快件时容易发生错拿、少拿的现象，造成了取件人以及发件人的重复工作。

2.2.2. 闲期人力资源浪费

即使是像“双十一”这样促销节日，快递代收点的高峰期也只有三个时段，其余时间取件人数较少。如果这不同时间段服务人数相同，势必会导致闲期人力资源的浪费，忙期服务效率低下的问题。

3. 高峰期服务系统优化模型的建立

排队等候是平常生活里常见的一种情况，如客人排队取快递，去医院排队挂号，超市结账，食堂打饭等。但是由于排队人数是随机的，时间也是随机的，这就可能出现队伍长，等待时间长等问题，造成一定的浪费。而排队论模型就是用来解决这一问题的。排队论中主要的内容有两个，即需求和服务。把有需求的对象称为“客户”，把提供服务的对象称为“服务机构”。因而排队系统有三个基本组成部分：输入过程，排队规则，服务机构[3]。

3.1. 排队论标准的 M/M/C 模型

根据进一步的了解，高峰期校园快递服务系统主要包含以下几个特征：

输入过程：学生一般是单个去取快递，其到达是独立随机的。高峰期取件人数较多，顾客来源是未知的并且取件是相互独立的。故假设学生取件服从泊松分布。

排队规则：排队规则是学生取件接受服务时需要遵循的。通常学生到达快递代收点时，若此时无人取件，可以马上接受服务取走快递。若前面有人排队等待，就会选择更短的排队队列等待服务。故校园快递服务系统属于等待制，并且服从先到先服务原则。

服务机构：服务窗口或服务台。即顾客到达后为你提供服务的快递员工数。快递员工的工作是同时进行的，到达的学生也是单独被服务的。假设每个快递分发员的服务效率无差异，并且快递员工对每位顾客的服务时间服从负指数分布。

通过以上分析结合学苑公寓快递代收点的实际情况，校园快递高峰期派件系统可以看成是 M/M/C/ ∞/∞ /FCFS 模型。

排队论系统中各项指标含义如表 1 [4] [5] [6] [7]。

Table 1. Indicators in the queuing system
表 1. 排队论系统中的各项指标

| 排队系统中的数量指标 | 排队系统中的运行指标 |
|----------------------------|---------------------|
| 顾客的平均到达率 λ | 系统中平均队列长 L_s |
| 服务台的平均服务率 μ | 系统中平均排队长 L_q |
| 系统服务台数 c | 顾客在系统中的平均逗留时间 W_s |
| 服务强度 $\rho = \lambda/c\mu$ | 顾客在系统中的平均等待时间 W_q |
| P_0 系统中没有顾客的概率 | |

各指标公式如下：

1) 服务强度

$$\rho = \frac{\lambda}{cu} \quad (3-1)$$

只有 $\rho = \frac{\lambda}{cu} < 1$ 时排队等待的顾客才不会无限的延长, 排队系统才能达到稳定状态, 因此称它为这个系统的服务强度[8]。

2) 系统中没有顾客的概率

$$P_0 = \frac{1}{\sum_{n=0}^{c-1} \left[\frac{(\lambda/u)^n}{n!} \right] + \left[\frac{(\lambda/u)^c}{c!} \right] \left[\frac{c\mu}{c\mu - \lambda} \right]} \quad (3-2)$$

3) 系统中平均排队长

$$L_q = \frac{(c\rho)^c \rho}{c!(1-\rho)^2} P_0 \quad (3-3)$$

4) 系统中平均队列长

$$L_s = L_q + \frac{\lambda}{u} \quad (3-4)$$

5) 顾客在系统中的平均逗留时间

$$W_s = \frac{L_s}{\lambda} \quad (3-5)$$

6) 顾客在系统中的平均等待时间

$$W_q = \frac{L_q}{\lambda} = \frac{(\lambda/\mu)^c \mu}{(c-1)!(c\mu - \lambda)^2} P_0 \quad (3-6)$$

3.2. 排队论最优化模型

在现实中高峰期必然会出现排队等待的现象, 如果每位到达的顾客都能及时的被服务, 将会导致快递分发人员服务成本的增加。但是服务人员安排过少, 又会使得到达的学生取件等待时间过长, 从而造成学生满意度的下降。一般来说, 排队系统的费用包括以下两个方面, 一个是快递人员的服务费用; 一个是顾客等待的机会损失。两者之和呈一条 U 形曲线, 如图 1 所示[9]。

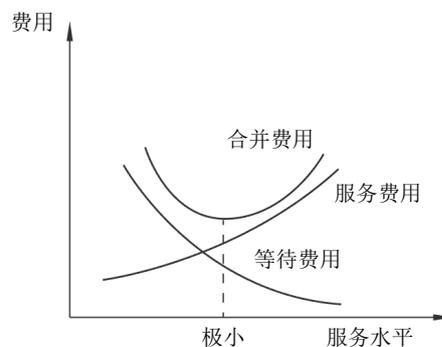


Figure 1. Queuing system costs

图 1. 排队系统费用

由上图可以看出，服务水平越高顾客的等待费用就会越少，但实现这个的前提通常是快递收发人员必须保证一定的数量。为了使快递服务系统达到最小的费用，必须保证两者的总费用最低。从排队静态最优化设计方面进行研究，不仅可以提高快递代收点高峰期的服务效率和质量，同时也可以有效地改善顾客排队时间长的问题。

M/M/C 模型在稳定状态下，单位时间总成本(服务费用与等待费用相加)的目标值为

$$Z = C_s C + C_w L_s \tag{3-7}$$

其中 C 是服务台数， C_s 是每增加一个服务台即快递员数，单位时间快递代收点产生的成本，用快递员单位时间内的收入来衡量； C_w 是到达取件的顾客由于排队等待在系统中损失的时间成本，用大学生的单位时间收入来衡量。由于 C 是唯一可能变动的量，且只能取整数值，所以 $Z(C^*)$ 不是连续变量的函数，我们采用边际分析法进行 C^* 的求解。 $Z(C^*)$ 为最小总费用。

$$\begin{aligned} Z(C^*) &\leq Z(C^* - 1) \\ Z(C^*) &\leq Z(C^* + 1) \end{aligned} \tag{3-8}$$

将式(3-7)中 Z 代入，得

$$\begin{cases} C_s C^* + C_w L(C^*) \leq C_s (C^* - 1) + C_w L(C^* - 1) \\ C_s C^* + C_w L(C^*) \leq C_s (C^* + 1) + C_w L(C^* + 1) \end{cases} \tag{3-9}$$

通过整理可得

$$L(C^*) - L(C^* + 1) \leq \frac{C_s}{C_w} \leq L(C^* - 1) - L(C^*) \tag{3-10}$$

求 $C = 1, 2, 3, \dots$ 时计算 L_s 的值，求 L_s 相邻两个的差。因为 $\frac{C_s}{C_w}$ 已求得，要得到最小的 C^* ，需要观察 $\frac{C_s}{C_w}$ 的值处于哪个与 C 有关的不等式[10]。

4. 算例分析

4.1. 平均达到率

本文通过实地调研的方法对学苑公寓某一快递代收点在 2017 年“双十一”五天以及 2018 年“女王节”五天高峰时间段的顾客到达数量进行了统计分析。如表 2 所示。

Table 2. Number of arrivals during peak hours

表 2. 高峰时间段到达人数

| 时间 日期 | 11月10日 | 11月11日 | 11月12日 | 11月13日 | 11月14日 | 3月7日 | 3月8日 | 3月9日 | 3月10日 | 3月11日 |
|-------------|--------|--------|--------|--------|--------|------|------|------|-------|-------|
| 12:00~13:00 | 140 | 142 | 198 | 184 | 184 | 132 | 147 | 159 | 162 | 155 |
| 16:00~17:00 | 129 | 120 | 154 | 163 | 142 | 136 | 136 | 146 | 148 | 136 |
| 18:00~19:00 | 131 | 127 | 172 | 177 | 153 | 148 | 127 | 150 | 153 | 149 |

(数据资料来源：通过本人调研和整理所得)。

假定学生平均达到率 λ 服从泊松分布，根据极大似然估计法，可以利用调研的平均值，求得泊松分布的参数 λ ，根据公式 $\lambda = \frac{\sum n}{\sum t}$ 可以计算出顾客的平均到达率，得出的值为 $\lambda = \frac{\sum n}{\sum t} = 150$ 人/小时。

1) 平均服务率 μ

本人随机选取了“女王节”高峰期取快件的 200 名学生，记录了快递员为每位学生顾客服务的时间，最长服务时间不超过 9 分钟。如表 3 所示。

Table 3. Service time statistics during peak hours

表 3. 高峰时间段服务时间统计

| 服务时间(分钟) | 1 以下 | 1~3 | 4~6 | 7~9 | 合计 |
|----------|------|-----|-----|-----|-----|
| 频数 | 166 | 27 | 5 | 2 | 200 |

(数据资料来源：通过本人调研和整理所得)。

假设快递代收点的平均服务率 μ 服从负指数分布，通过对高峰期 200 名学生取件所需服务时间进行统计分析，可以估算出快递员的平均服务率。

$$\text{服务人员的平均服务时间} = \frac{\sum t}{\sum n} = 0.89 \text{ 分钟/人。}$$

服务人员的平均服务率 $\mu = 1.12 \text{ 人/分钟} = 67 \text{ 人/小时}$ 。

经调查发现该快递代收点在高峰期为学生服务的员工数量为 2 人，其服务强度

$$\rho = \frac{\lambda}{c\mu} = \frac{150}{2 \times 67} = 1.12 > 1, \text{ 此状态下高峰期队列会无限制延长下去，不能使系统到达平衡。}$$

排队等待的顾客越多，顾客就会出现烦躁、焦急的情绪，从而影响到快递网点服务的满意度。针对该快递代收点存在的现象，本文接下来的研究就是要寻找顾客满意度和运营成本两者的最优化，有效解决排队等待的情况。

2) 顾客最大等待时间

顾客最大等待时间 T ，表示一个顾客在排队系统中可接受的最长时间。也就是说顾客取件的等待时间不超过 T ，顾客才会对该快递网点满意。有学者研究表明，当顾客排队等待的时间多于 10 分钟，顾客就会出现烦躁、焦急的情绪[11]。由于“双十一”等高峰期派件及取件人数相比于平时更多，学生排队等待的时间会更长，现设 3 分钟为高峰期学生取件可接受的最长等待时间。

4.2. 相关指标的计算

对排队系统相关运行指标的计算，其前提就是该系统要处于稳定状态，即服务的强度 $\rho = \frac{\lambda}{c\mu} < 1$ ，整个队列才没有形成无限队列。根据 $\lambda = 150$ ， $\mu = 67$ 可计算得： $\rho = \frac{150}{67c} < 1$ ，那么 $c > 2.23$ ，即校园快递网点在高峰期时至少需要三名收发件员工。根据 3.1 中的 6 个公式可计算出表 4 中的各项指标。

Table 4. Open various operating indicators under different windows

表 4. 开放不同窗口下的各项运行指标

| c | ρ | P_0 | L_s | L_q | W_s | W_q |
|-----|--------|--------|----------------------------------|--------|--------|--------|
| 2 | | | $\rho = 1.1194 > 1$ 系统不能达到稳定运行状态 | | | |
| 3 | 0.7463 | 0.0762 | 3.8914 | 1.6526 | 0.0259 | 0.0110 |
| 4 | 0.5597 | 0.1001 | 2.5413 | 0.3025 | 0.0169 | 0.0020 |
| 5 | 0.4478 | 0.1051 | 2.3112 | 0.0724 | 0.0154 | 0.0005 |
| 6 | 0.3731 | 0.1095 | 2.2569 | 0.0181 | 0.0150 | 0.0001 |

从上面的计算结果可以看出, 当 $c \leq 2$ 时, $\rho = \frac{\lambda}{c\mu} > 1$ 这时排队系统不能稳定运行, 队列会无限延长, 因此该快递代收点在高峰期至少应安排 3 个服务人员。当 $c \geq 3$ 时, $\rho < 1$ 且 $W_q < T (T = 0.05 \text{ h})$, 此时排队取件的顾客最大等待的时间是可以满足的[12]。通过上表可以看出, 随着服务人员的增加, 服务强度减弱, 顾客的等待时间和被服务时间都在不断缩短。但是, 随着服务人员的增加快递网点的运营成本也会随之变高。如何使服务系统成本最小以及最大化的满足顾客的需求, 这是本文接下来讨论的重点。

4.3. 基于成本优化的服务窗口数的确定

根据上一节的计算可以得出, 服务人员数量增加, 等待时间就会缩短, 顾客就会越满意。但快递代收点是需要考虑其成本和盈利, 不可能无限制的增加服务人员数量。从前面的计算结果可以看出, 当服务人员有 3、4、5、6 及以上时, 快递服务系统都已达到稳定状态, 顾客排队等待的时间在其最长等待时间范围内。怎样设置服务人员数量, 需要站在代收点和顾客的角度, 对成本进行分析, 达到既使快递点成本最低同时也使顾客满意度最好。

根据 3.2, 快递点排队系统服务台费用优化的模型整理后如下:

$$L(C^*) - L(C^* + 1) \leq \frac{C_s}{C_w} \leq L(C^* - 1) - L(C^*)$$

因为 $\frac{C_s}{C_w}$ 可以根据调查得到, 要确定最优的 C^* , 就要看 $\frac{C_s}{C_w}$ 落在哪个与 c 有关的不等式中, 同时计算此时的总费用 $Z = C_s C + C_w L_s$ 是否最小。通过实地访谈, 得到了校园快递代收点服务人员单位时间的工资, 令 $C_s = 15$ 元/小时。根据《就业蓝皮书: 2017 年中国大学生就业报告》报告指出近两年北京大学生平均月收入为 4376 元, $C_w = 21$ 元/小时, 则 $C_s/C_w = 0.7143$ 。

Table 5. Number of service personnel based on cost optimization and total cost
表 5. 基于成本优化的服务人员数和总费用

| 服务人员 c | L_s | $L(C^*) - L(C^* + 1) \leq \frac{C_s}{C_w} \leq L(C^* - 1) - L(C^*)$ | $Z = C_s C + C_w L_s$ |
|----------|--------|---|-----------------------|
| 3 | 3.8914 | 1.350~∞ | 135.7194 |
| 4 | 2.5413 | 0.2301~1.3501 | 125.3673 |
| 5 | 2.3112 | 0.0543~0.2301 | 138.5352 |
| 6 | 2.2569 | ~0.0543 | 155.3949 |

通过表 5 可以看出 $\frac{C_s}{C_w} = 0.7143$ 落在了 (0.2301~1.3501) 内, 即高峰期最优的服务人员是 4 名, 此时服务系统的总费用最小, 达到了顾客和快递点的双赢。

5. 结论

本文通过对学苑公寓某快递代收点高峰期的实地调研, 对相关数据进行收集、整理和计算, 确定了运筹学中排队论的各项指标。其次通过计算分析得到了排队系统稳定状态下的最小服务人数, 此时顾客在排队等待时间小于顾客最大等待时间。最后, 在满足系统达到稳态的前提下, 将系统的整体成本最小化为目标构建优化模型, 从而得到了最优的服务台数和最小的总成本。通过对快递高峰期服务系统的优

化, 实现了快递代收点既能满足顾客的需要又使服务成本最小。

参考文献

- [1] 孙水波, 韩淑英. 现代信息技术在物流管理中的应用[J]. 物流科技, 2008(10): 44-48.
- [2] 刘珍, 慕艳平. 爆仓时代校园物流如何应对[J]. 中国电子商务, 2013(5): 29-30.
- [3] 梁剑, 程文明, 张亚. 铁路集装箱中心站大门系统优化设计[J]. 中国铁路, 2008(12): 6-8.
- [4] 周薇, 罗荣桂, 田磊. 排队论在计算机存储系统性能中的应用和分析[J]. 微计算机信息, 2006, 22(21): 271-272.
- [5] 吴耀华, 王胜力, 王常香. 排队论在物流规划中的应用[J]. 物流科技, 2004(5): 53-58.
- [6] Li, C.-P. and Neely, M.J. (2014) Solving Convex Optimization with Side Constraints in a Multi-Class Queue by Adaptive *cμ* Rule. *Queueing Systems*, 77, 331-372. <https://doi.org/10.1007/s11134-013-9377-3>
- [7] Danaher, A.R. (2000) Transit Capacity and Quality of Service Manual. Transportation Research Board, Washington DC.
- [8] 胡运权. 运筹学基础及应用[M]. 第5版. 北京: 高等教育出版社, 2008: 312-313.
- [9] 马超群, 兰秋军, 周忠宝. 运筹学[M]. 长沙: 湖南大学出版社, 2010: 251-252.
- [10] 韩伯棠. 管理运筹学[M]. 第3版. 北京: 高等教育出版社, 2010: 384-385.
- [11] 古贞, 单晓曦, 邹亚清, 等. 大学校园设立快递超市的可行性分析研究——以南京高校为例[J]. 物流工程与管理, 2014, 36(5): 206-207.
- [12] de Lange, R., Samoilovich, I. and van der Rhee, B. (2013) Virtual Queuing at Airport Security Lanes. *European Journal of Operational Research*, 225, 153-165. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2012.09.025>

知网检索的两种方式:

1. 打开知网页面 <http://kns.cnki.net/kns/brief/result.aspx?dbPrefix=WWJD>
下拉列表框选择: [ISSN], 输入期刊 ISSN: 2167-664X, 即可查询
2. 打开知网首页 <http://cnki.net/>
左侧“国际文献总库”进入, 输入文章标题, 即可查询

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>
期刊邮箱: mse@hanspub.org