



邮轮港旅客批量到达的随机排队服务系统研究

杨伟佳

(中交第三航务工程勘察设计院有限公司, 上海 200032)

摘要: 基于吴淞口国际邮轮港交通组织设计, 重点分析旅客到达后通关边检采用 $M/M/N$ 和 $N-M/M/1$ 随机排队模型的异同点, 研究了通关排队服务采用两个不同模型的体验差异, 对解决排队旅客与服务机构两方面利益的最优控制问题提出了初步解决方案。

关键词: 邮轮港旅客; 交通组织; 随机排队系统; 边检通关服务

中图分类号: U 695.1⁺1

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2013)10-0263-04

Random queuing system on arrival process of cruise homeport customers

YANG Wei-jia

(CCCC Third Harbor Consultants Co., Ltd., Shanghai 200032, China)

Abstract: Based on the design of the traffic organization on Shanghai Wusongkou cruise homeport, the thesis compares $M/M/N$ and $N-M/M/1$ queuing system models in passenger customs clearance and analyzes the experience of different queuing model. The preliminary optimal control approach of interest between passengers and services agency is proposed.

Key words: passengers of cruise homeport; traffic organization; random queuing system; frontier inspection and customs clearance service

在国际邮轮市场向亚太地区东移发展的背景下, 中国沿海不少城市都加快了邮轮母港(码头)的规划与建设, 目前已有上海、天津、厦门、三亚等国际邮轮码头投入使用。大型邮轮到港后, 批量集中到达通关口岸旅客的排队体验与通关服务的容量构成了一对交通系统矛盾。本文在上海吴淞口国际邮轮港交通组织设计实践的基础上, 针对旅客随机排队服务的最优控制进行了初步研究, 以期建立一个实用的分析方法, 使邮轮港旅客与服务机构两方面利益达到均衡, 确保港内交通的顺畅运行。

1 邮轮港旅客的边检通关服务

邮轮旅客到港的一般交通流线为: 邮轮靠泊→旅客下船→客运大楼边检通关→搭乘交通工具

→入境旅游。

和其它公共交通枢纽如机场、火车站、长途客运站等相比, 邮轮港客流存在一些独有的特性, 主要有以下几个方面:

1) 客流规模大。当今世界邮轮日趋大型化, 其平均载客量达2 500~6 000人, 邮轮到港后形成相当大客流规模。

2) 客流集中且不平衡。邮轮到港后整船旅客需在较短时间内(一般在1~2 h)完成边检通关等一系列手续, 客流量的时间分布是很快上升到峰值并在1~2 h内缓慢下降消散的过程。

以上特点就要求相应邮轮码头必须具备优良的通关条件, 配备较大规模的口岸设施。例如2011年10月建成的上海吴淞口国际邮轮港客运大楼面积达24万 m^2 , 其最大可开设20个通关服务柜

收稿日期: 2013-08-10

作者简介: 杨伟佳(1976—), 男, 高级工程师, 从事路桥、交通工程设计工作。

台（通道），为快速疏导旅客和提供高效通关服务奠定了基础。

2 旅客批量到达的随机排队服务

邮轮港旅客批量到达通关口岸就构成了经典的随机排队服务系统，旅客的到达流可用一个随机点过程来输入，旅客排队时间长短与通关服务设施数量的多少，就构成了随机服务系统中的一对矛盾。

就旅客来说，总希望服务台个数尽可能多些，排队等待时间越短越好，但是增加服务台数量，就意味着服务机构需增加投资。研究一个排队服务系统的好坏，就是看旅客与服务机构两方面的利益是否达到均衡。排队系统中排队长度、排队等待时间等指标，就是随机排队服务系统的主要研究内容。

2.1 输入过程

不同的输入往往可以代表不同类型旅客到达的规律。一般旅客行进随机性较强，可考虑为泊松（Poisson）分布^[1]。

2.2 排队规则

指旅客接受服务的先后次序，它可以分为损失制、等待制和混合制等。邮轮港的旅客通关服务的排队规则均为等待制，即旅客到达时，如果所有服务台均被占用，旅客排队等待服务，先到先服务（FCFS）。

2.3 服务方式

指同一时刻服务台可接纳旅客的数量和为每一旅客服务的时间。服务方式从以下两个方面来描述：

1) 服务台的数量及服务台排列方式。在邮轮港通关服务的排队系统中，因通道有N条，每个通道均开放服务，属于多通道并联服务系统。

2) 旅客的服务时间。一般情况下，对每一个旅客的服务时间是一随机变量，应用较广泛的是负指数分布。

整合前文所述，本文分别运用单路多通道和多路多通道随机排队服务模型，研究邮轮港内排队系统最优设计问题。

3 单路多通道随机排队模型

单路多通道随机排队是指旅客排成一个队列等待多个并联通道服务的情况，队列中最前方旅客可视任何服务台有空闲就到那里接受服务。

当旅客从码头廊道步行进入客运大楼，按照单路多通道随机排队模型的状态，旅客在边检通关前固定区域行进排成一列长队，当前方任意柜台出现空闲时，队列最前方的旅客可以前去自由选择接受服务（图1）。

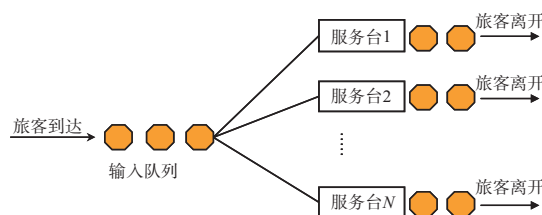


图1 单路多通道随机排队系统

上述这种随机排队系统，一般记作M/M/N/FCFS模型，其意义为旅客到达服从泊松分布，服务时间服从负指数分布，服务台数量有限，多通道排队^[2]。

模型的输入过程中，N(t)为时间[0, t]内到达系统的旅客数服从参数为λ的泊松分布，其基本公式为^[3]：

$$P\{N(t) = n\} = \frac{(\lambda t)^n}{n!} e^{-\lambda t} \quad n = 0, 1, 2, \dots \quad (1)$$

式中：P{N(t)=n}为间隔时间t内到达n位旅客的概率；λ为单位时间的平均旅客达到率。

单个旅客的服务时间服从参数为μ的负指数分布，即单位时间内完成的服务数量为μ，每个旅客的平均服务时间为1/μ，基本公式为^[4]：

$$f(t) = \begin{cases} \mu e^{-\mu t} & t \geq 0 \\ 0 & t < 0 \end{cases} \quad (2)$$

如通关服务通道有N条，比率ρ=λ/(Nμ)称作服务强度或交通强度，则模型的主要指标计算公式如下：

系统中的平均旅客数

$$L_s = L_q + \rho \quad (3)$$

系统平均排队长度

$$L_q = \frac{\rho^{N+1}}{N!N} \frac{P(0)}{(1 - \rho/N)^2} \quad (4)$$

旅客在排队系统中平均消耗时间

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

旅客在队列中平均等待时间

$$W_q = \frac{L_q}{\lambda} \quad (6)$$

式(3)~(6)中, 各项主要参数指标值越小, 说明系统排队旅客越少, 等待时间越少, 服务体验越好。如果 $\rho < 1$, 并且时间充分, 每个状态都按一定的非零概率反复出现, 排队系统将保持稳定状态且能够消散^[5]。也就是说, 当旅客平均到达率小于通关平均服务率时, 排队系统才能达到统计平稳。

4 多路单通道随机排队系统

多路单通道随机排队是指旅客到达边检通关区后, 旅客在每个服务台前排成多个等待队列依次向前接受服务, 一旦进入队列后就不能换队, 就形成 N 个单通道队列(图2)。

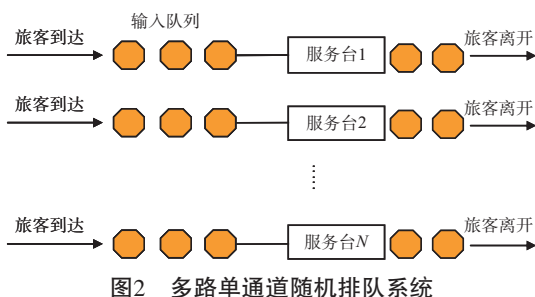


图2 多路单通道随机排队系统

这时排队系统可记作 $N-M/M/1/FCFS$ 。其意义为旅客到达服从泊松分布, 服务时间服从负指数分布, 服务台数量有限, 多路单通道排队。

在 $N-M/M/1/FCFS$ 模型下, 相当于把到达旅客平均到达率按服务台的个数 N , 平均分配给各个服务台, 由单通道排队模型 $M/M/1/FCFS$ 的分析公式

确定各个指标值。

$M/M/1/FCFS$ 模型的输入分布和旅客服务时间分布与 $M/M/N/FCFS$ 模型相同。其它主要指标计算公式如下:

系统中的平均旅客数

$$L_s = \frac{\lambda}{\mu - \lambda} \quad (7)$$

系统平均排队长度

$$L_q = \frac{\lambda^2}{\mu(\mu - \lambda)} \quad (8)$$

旅客在排队系统中平均消耗时间

$$W_s = \frac{1}{\mu - \lambda} \quad (9)$$

旅客在队列中平均等待时间

$$W_q = \frac{\lambda}{\mu(\mu - \lambda)} \quad (10)$$

5 旅客随机排队系统的案例

5.1 计算案例

以上海吴淞口国际邮轮港的实际通关设施能力和客运量为计算的假定条件:

- 1) 系统中共有20个通关服务台提供服务, 多服务台并联。
- 2) 旅客到达间隔服从参数为 λ 的泊松分布; 各服务台服务时间独立服从参数为 μ 的负指数分布, 单个旅客服务时间为45 s。
- 3) 旅客的到达是一种非损失流, 旅客得到服务规则为先到先服务。

按照前文的两种 $M/M/N/FCFS$ 排队系统模型公式, 可以计算出批量旅客到达通关口岸时的排队系统各指标, 以此分析吴淞口邮轮港的通关设施的能力和服务水平, 结果见表1。

表1 口岸通关排队系统参数

客流到达率/ (人·h ⁻¹)	模型	平均排队长度 L_q /个	队列中平均旅客数 L_s /个	排队平均等待时间 W_q /s	排队平均消耗时间 W_s /s	服务强度
1 500	$M/M/N/FCFS$	10.51	29.26	25.22	70.22	0.94
	$N-M/M/1/FCFS$	281.3	300.0	675.0	720.0	0.94
1 400	$M/M/N/FCFS$	1.59	19.09	4.09	49.09	0.88
	$N-M/M/1/FCFS$	122.5	140.0	315.0	360.0	0.88

5.2 排队系统分析

根据表1的计算结果分析, 在相同的客流条件

下, $M/M/N/FCFS$ 排队系统明显优于 $N-M/M/1/FCFS$ 排队系统, 且优势很大。原因在于 $N-M/M/1/FCFS$

排队系统表面上看客流被快速分散了，但实际上旅客排队通道与服务台存在一一对应的束缚，一旦某种随机原因耽误了某服务台时间，就要增加该通道的队长。甚至会出现某个柜台前十分拥挤而其他柜台前却十分空闲，临近柜台排队旅客后来居上情况。并且这种效率降低的趋势会随着服务台数量的增加愈加趋向于显著。

而M/M/N/FCFS排队系统要灵活得多，排在最前方的旅客可以自由选择空闲柜台，弱化了服务台忙闲不均的影响，可以充分发挥整体的服务能力。

因此在设计邮轮港旅客的排队交通组织时，应优先考虑采用M/M/N/FCFS排队系统。

5.3 服务强度分析

对服务强度分析表明，服务强度 <1 时，排队系统稳定，队伍不会变得越来越长，人群不会发生聚集拥挤的情况。

当旅客客流继续增加时，服务强度将会趋向于1，系统将迅速趋向不平衡，排队长度和旅客通关时间将迅速增加，服务质量随之下降。在服务强度=1时，即可以计算得到系统的最大容量，即通关口岸的能力1 600人/h。

当服务强度 >1 时，排队系统发生崩溃，即服务台无法在预定的时间内完成所有旅客的服务。

从一般情况定性分析，在通关服务时，

港口运营服务机构可以考虑将服务强度控制在0.90~0.95，此时旅客与服务机构两方面的利益都可以得到较好的实现，旅客排队队伍和等待时间不会很长，运营商的服务资源也可以得到充分利用。

6 结语

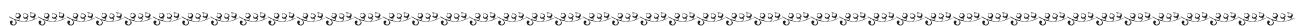
1) 邮轮港旅客批量到达通关口岸的排队状态可以运用随机排队服务模型进行分析。

2) 为加快旅客通关速度和提高港口服务水平，在设计邮轮港旅客排队的交通组织时，应优先考虑采用效率较高的M/M/N/FCFS单路多通道排队系统。

参考文献:

[1] 张兰芳, 王知, 方守恩. 机场航站楼路边交通容量需求分析[J]. 同济大学学报: 自然科学版, 2007(4): 486-490.
 [2] 于志青. 排队论在交通工程中的应用研究[J]. 中州大学学报, 2005(22): 118-119.
 [3] 张生瑞. 交通流理论与方法[M]. 北京: 中国铁道出版社, 2010.
 [4] 龚光鲁, 钱敏平. 应用随即机过程[M]. 北京: 清华大学出版社, 2004. 版. 2007.
 [5] 高金华, 李洁. 爱尔兰排队模型在旅客候机楼中的应用[J]. 中国民航大学学报, 2007(2): 48-51.

(本文编辑 武亚庆)



(上接第258页)

参考文献:

[1] 张子才. 石堆取料机的自动堆取作业研究和应用[D]. 上海: 上海交通大学, 2008.
 [2] 包起帆. 港口散货全自动装卸设备的研究与开发[J]. 起重运输机械, 2009(5): 1-8.
 [3] 贺俊吉, 史立. 散货自动装船检测系统[J]. 光电工程,

2009, 36(6): 52-56.
 [4] 李巧丽. 基于点云数据的塑像三维建模[D]. 上海: 同济大学, 2009.
 [5] 郑德华. 三维激光扫描数据处理的理论与方法[D]. 上海: 同济大学, 2005.

(本文编辑 郭雪珍)