

疫情期间预约挂号在医院排队系统中的应用分析

刘艳, 王悦悦, 吴丹*, 宁飘婷, 李春燕, 王宇博

河南科技大学数学与统计学院, 河南 洛阳
Email: *lywd2964@sina.com

收稿日期: 2021年5月24日; 录用日期: 2021年6月13日; 发布日期: 2021年6月25日

摘要

文章的目的是分析新冠肺炎疫情期间使用预约挂号对医院排队系统的影响。随机抽取疫情期间洛阳一个综合型医院门诊大厅10天的排队数据, 以排队论理论为基础, 计算出用来判断系统优劣的数量指标, 然后与使用预约挂号情况下的数量指标进行对比, 分析预约挂号服务模式的优劣。通过数据的实验证明应用预约挂号之后, 能有效减少排队系统中的队长和病人等候时间, 并能有效地防止院内交叉感染的发生。

关键词

排队系统, 预约挂号, 新冠肺炎

Application Analysis of Appointment Registration in Hospital Queuing System during the Epidemic

Yan Liu, Yueyue Wang, Dan Wu*, Piaoting Ning, Chunyan Li, Yubo Wang

School of Mathematics and Statistics, Henan University of Science and Technology, HAUST, Luoyang Henan
Email: *lywd2964@sina.com

Received: May 24th, 2021; accepted: Jun. 13th, 2021; published: Jun. 25th, 2021

Abstract

The purpose of this article is to analyze the impact of appointment registration on the hospital

*通讯作者。

文章引用: 刘艳, 王悦悦, 吴丹, 宁飘婷, 李春燕, 王宇博. 疫情期间预约挂号在医院排队系统中的应用分析[J]. 应用数学进展, 2021, 10(6): 2240-2248. DOI: 10.12677/aam.2021.106233

queuing system during the novel coronavirus pneumonia epidemic. Randomly extract 10-day queuing data from the outpatient hall of a general hospital in Luoyang during the epidemic period. Based on the queuing theory, the quantitative indicators used to judge the quality of the system are calculated, and then compared with the quantitative indicators in the case of using appointment registration. Analyze the advantages of the appointment registration service model. Data experiments prove that the application of appointment registration can effectively reduce the waiting time of captains and patients in the queuing system, and can effectively prevent the occurrence of cross-infection in the hospital.

Keywords

Queuing System, Appointment Registration, COVID-19

Copyright © 2021 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

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



Open Access

1. 引言

2019年12月新型冠状病毒感染引发的肺炎疫情在中国武汉爆发,随后蔓延至国内其他地区及其他国家。随着疫情发展,网络上各种消息铺天盖地,恐慌情绪开始蔓延,且正值冬季,气温降低,空气干燥,是一些呼吸道传染病、虫媒及自然疫源性传染病的高发季节,医院负担较大,又随着春节的临近,人口流动频繁,结合新冠病毒具有传染性强的特点,给医院带来了前所未有的压力。

新型冠状病毒肺炎(novel coronavirus pneumonia, NCP),简称新冠肺炎,其病原体为新型冠状病毒。WHO已将该疾病正式命名为2019冠状病毒病(corona virus disease 2019, COVID-19)。自从2019年12月12日首例患者入院以来,截止到2020年2月10日,我国累计报告新型冠状病毒肺炎确诊病例52,526例(其中重症病例8030例),累计死亡病例1310例[1]。受疫情的影响,在此期间人们进行居家隔离,非急症患者多选择延期就诊或居家治疗,但有患者因病情必须前往医院就诊,而且由于新型冠状病毒具有传染性强、潜伏期长、人群普遍易感及无症状感染等特征,医院作为特殊时期的重要部门,抗疫的前线,在保证人们能正常就诊以及承担住疫情冲击的情况下,为减少就诊人员在医院发生交叉感染,医院的防控乃重中之重。这时充分利用预约挂号服务模式,病人进行线上预约,在预估好到达医院的时间提前进行预约,这会大大减少医院排队系统中的队列长和看诊人员的等待时间,减少与其他看诊人员交叉感染的风险。医院方面也能预先根据预约数据合理调配医护人员,有利于提升医疗资源的利用率,提高医院医疗质量和工作效率。

鉴于此,本文提出将预约挂号模式应用在医院排队系统中,研究现场挂号与预约挂号并行下的医院排队系统。随机抽取疫情期间洛阳一个综合型医院门诊大厅10天的排队数据,以排队论理论为基础,计算出用来判断系统优劣的数量指标,然后与使用预约挂号情况下的数量指标进行对比,分析预约挂号服务模式的优点。通过数据的实验证明应用预约挂号之后,能有效减少排队系统中的队长和病人等候时间,并能有效地防止院内交叉感染的发生。

2. 医院排队系统简介

研究一所医院的排队系统,即研究相互独立的患者来到医院,去到适合自己的服务机构,按照排队规则进行排队就诊,等待就诊完毕后离开医院。因此,医院内的排队系统由服务机构、输入过程和排队

规则[2]三个基本结构组成。一个系统运行的效率可由排队长、队长、等待时间、逗留时间、忙期和系统的负荷水平这六个指标体现。

2.1. 医院排队系统的基本构成

2.1.1. 输入过程

输入过程指不同类型的,并且前后两者之间相互独立,互不影响的患者,按照某种规律,或者以任意一种形式到达医院进行就医的过程。此过程是平稳的,患者总体是无尽的,前后两名患者接踵到达医院就诊的时间间隔是随机型,或者是确定型的。

2.1.2. 排队规则

排队规则是指患者抵达医院的某个服务机构后按照确定的步骤进行就诊。规则与队列长短和排队时间有关。于是分为三大类:等待制、损失制以及混合制。

等待制:患者抵达指定服务台后,没有空暇服务台,且没有其它替代方案时,选择依次排队进行就医。病人等候服务时,又有如下几种规则:

① 随机服务;② 先到先服务,此规则在缴费,取药,挂号等服务台适用;③ 后到先服务,此规则在医院电梯,急诊室等服务台适合使用;④ 有优先权的服务,如对于病情比较严重的病人医院将给予优先医治。

损失制:患者抵达后发现没有空暇服务台,不愿意继续等候,自愿选择离开该服务点,此过程结束。但是根据实际情况,医院的资源有限,病人又需要就医,所以损失制很少发生[3]。

混合制:为等待制和损失制的结合体。

对于大多数医院,排队规则基本上都为等待制,急诊患者采用优先级的绿色通道规则。

2.1.3. 服务机构

患者接受服务的地点称作服务台,在医院中缴费处、取药处、手术室、挂号窗口等都是服务台。由数量区分服务台分为多服务台与单服务台,多服务台可以通过串联、并联和混合型的排列方式来进行服务。

2.2. 排队系统的主要指标

判断一个排队系统运行效率的高低,服务质量的优劣,系统结构是否合理以及实施措施是否达到最优往往能够通过以下几个指标反映出来:

① 队长(队列长),指在系统中排队等候服务的顾客数,它的期望值记作 L_q 。

② 队长,指在系统中的顾客数,它的期望值记作 L_s 。

③ 等待时间,是指在系统中顾客排队等待的时间,即为从到达服务台开始到接受服务的这段时间,它的期望值记作 W_q 。

④ 逗留时间:指在系统中顾客的停留时间,等于在系统中顾客被服务时间和等待时间的总和,它的期望值记作 W_s 。

⑤ 忙期:服务机构连续工作的时间长度;

⑥ 系统的负荷水平 ρ ,用以衡量服务台在满足顾客需求和承担服务能力的指标[4]。

一个系统运行的效率,服务质量可以由上述的数量指标体现:系统中的队长 L_s 或队列长 L_q 越大,说明服务率越低,排队越长,这是顾客最厌烦的;在就诊问题上,顾客只关心等待时间 W_q ,等待时间越长,顾客满意度越低。

本文针对疫情期间预约挂号在医院排队系统中的应用展开分析。假设在医院患者的到达形成泊松流,

患者相继到达时间的间隔 T 服从参数为 λ 的负指数分布, 且各服务窗口的服务时间服从参数为 μ 的负指数分布, 即单位时间平均到达的患者数为 λ 且单位时间内平均服务完的患者数为 μ 。

本文的安排是:

第一部分, 介绍了本文章的研究背景。

第二部分, 是医院排队系统的简介, 先介绍排队系统的组成和特征, 然后由负指数分布性质求出排队模型各项指标。

第三部分, 分析了医院排队系统的模型与预约挂号模型, 在没有使用预约挂号的情况下, 到达医院的泊松流只有现场挂号流, 单位时间平均到达和离去的患者数分别为 λ 和 μ , 远程预约挂号不需要等待, 我们将服务台分为两部分, 一部分专门负责现场挂号的患者, 另一部分专门负责预约挂号的患者。在使用预约挂号之后, 到达医院的人流可以分为预约挂号流和现场挂号流, 单位时间平均到达的患者数分别为 λ_1 和 λ_2 , 其中 $\lambda = \lambda_1 + \lambda_2$, 输出流的参数分别为 μ_1 和 μ_2 , 其中 $\mu_1 + \mu_2 = \mu$ 。分别分析两种情况下的排队模型。

第四部分, 通过举例, 使用具体数据分析疫情期间使用预约挂号之后排队系统中的各项指标的变化情况, 并从中分析了其对排队系统的影响。

第五部分, 对文章进行总结, 分析模型的优势与不足, 并给出相应的改进建议。

3. 预约挂号下的排队系统模型

将医院里所有现场挂号的人视为一个队列, 提前预约挂号的人视为另一个队列, 两条队列均对队长没有限制。在没有使用预约挂号的情况下, 到达医院的泊松流只有现场挂号流, 单位时间平均到达和离去的患者数分别为 λ 和 μ , 在使用预约挂号后, 到达医院的人流为预约挂号流和现场挂号流的合流, 单位时间平均到达的患者数分别为 λ_1 和 λ_2 , 其中 $\lambda = \lambda_1 + \lambda_2$, 输出流的参数分别为 μ_1 和 μ_2 , 其中 $\mu = \mu_1 + \mu_2$ 。

3.1. 只有现场挂号的排队系统(模型一)

3.1.1. 医院门诊大厅的排队系统流程

在只有现场挂号时, 医院门诊大厅的排队流程如图 1。

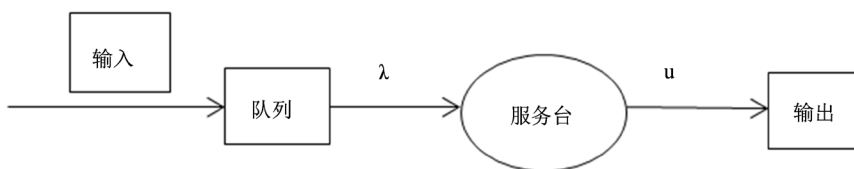


Figure 1. Queuing system flow of hospital outpatient Hall (Only on-site registration)

图 1. 医院门诊大厅的排队系统流程(只有现场挂号时)

3.1.2. 排队系统模型

在疫情期间, 不使用预约挂号模式的情况下, 可将医院门诊大厅排队模型视为标准的 $M/M/1/\infty/\infty$ 排队系统, 即:

- ① 顾客源是不断的, 顾客单个到达, 且相互独立;
- ② 将所有服务台视为一个整体, 各顾客的服务时间相互独立, 服务机构的平均服务率记为 μ ;
- ③ 服务系统的平均利用率, 即服务强度 $\rho = \frac{\lambda}{\mu}$, 现假设 $\rho = \frac{\lambda}{\mu} < 1$ (否则队列将排至无限远)。

在系统达到稳定状态时, 状态转移率如图 2。

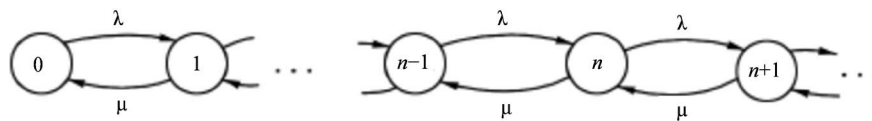


Figure 2. State transition diagram
图 2. 状态转移图

则由图可知:

$$\begin{cases} -\lambda P_0 + \mu P_1 = 0 \\ \lambda P_{n-1} + \mu P_{n+1} - (\lambda + \mu) P_n = 0 \quad n \geq 1 \end{cases}$$

由概率性质可知 $\sum_{n=0}^{\infty} P_n = 1$, 从而求得:

$$\begin{cases} P_0 = 1 - \rho \\ P_n = (1 - \rho) \rho^n, \quad n \geq 1 \end{cases} \quad \rho < 1$$

其为排队系统内有 n 个顾客的概率。

系统的运行指标求得如下:

- ① 排队系统中的平均顾客数(队长的期望值)

$$L_s = \frac{\rho}{1 - \rho} = \frac{\lambda}{\mu - \lambda}$$

- ② 在队列中等待的平均顾客数(队列长的期望值)

$$L_q = \frac{\rho^2}{1 - \rho} = \frac{\rho \lambda}{\mu - \lambda}$$

- ③ 排队系统中顾客逗留时间的期望值

$$W_s = \frac{1}{\mu - \lambda}$$

- ④ 排队系统中顾客等待时间的期望值

$$W_q = \frac{\rho}{\mu - \lambda}$$

3.2. 现场挂号与预约挂号并行的排队系统(模型二)

3.2.1. 预约挂号服务模式及优势

预约挂号大多都通过医疗机构提供的网络系统或电话进行,基本上是不需花费费用的。

从目的方面,预约挂号是为简化患者看病的流程,节约其时间,解决“三长一短”问题而产生的挂号方式,预约挂号也是一种方便病人提前安排就医计划,减少等候问诊时间,降低医疗安全风险,有利于医院提高医疗质量和工作效率,提升管理水平的门诊挂号方式[5]。

从内容方面,门诊预约挂号指病人在到医院看病之前进行预约,并完成挂号手续的挂号方式。具体指病人通过网络系统或电话预约、复诊预约、现场预约等方式,选择看病医院、就诊科室、就诊大夫、就诊专家及就诊时间的挂号形式[5]。

由于新型冠状病毒具有传染性强、潜伏期长、人群普遍易感及无症状感染等特征,且此次新冠肺炎病例症状大多为发热,轻度发热到高热情况不一,有些症状较为轻微,仅表现为咽部不适和乏力,少数

病例表现为腹泻、味觉和嗅觉改变[6]。故在疫情期间,有发热现象的患者需直接前往医院发热门诊按流程就诊,不需排队挂号,有其他症状的患者必须进行预约挂号,避免现场挂号将病情传染给他人。

因此在疫情期间应用预约挂号服务模式的优势有:疑似感染新冠的患者(除发热患者外),进行网上预约挂号,不用集中排队挂号,从而防止了院内交叉感染的发生;预约挂号服务模式在患者非常多的时候可以合理地分流患者,提高医院门诊工作效率,减少医生与患者花费的时间并减小医院压力;门诊预约为病人创造一个良好的就医环境,保持了患者良好的心理状态,减轻患者就医时的焦灼和不安等情绪,有利于患者恢复健康;预约挂号可以提升医疗资源的利用率,不仅提高了医院的社会效益与经济效益,也增强了医院的竞争力[7]。

3.2.2. 院门诊大厅的排队系统流程

现场挂号与预约挂号并行时,医院门诊大厅的排队流程如图3。

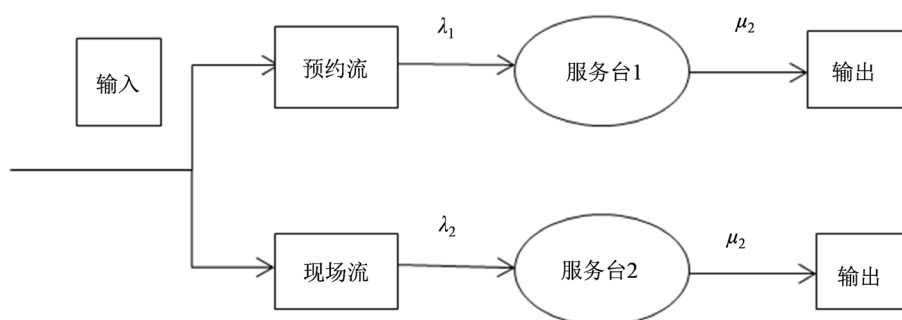


Figure 3. Queuing system flow of hospital outpatient Hall (Concurrent registration and appointment registration)

图3. 医院门诊大厅的排队系统流程(现场挂号与预约挂号并行)

3.2.3. 排队系统模型

在疫情期间,使用预约挂号模式的情况下,可将医院门诊大厅排队模型视为 $M/M/2/\infty/\infty$ 排队系统。

预约挂号的就诊时间已提前预约,不需要排队等候,我们将就诊服务台分为两部分,一部分专门负责现场挂号的患者,另一部分专门负责预约挂号的患者。由于预约挂号的患者不需要等待排队,所以队列长和等待时间只是由现场挂号的患者形成。此时排队模型转换成原来单一的现场挂号模型,平均单位时间到达患者数 λ_1 , 单位时间平均离去的患者数不变,为 μ 。在稳态下服务强度 $\rho' = \frac{\lambda_1}{\mu}$, 系统的其他运行指标求得如下:

- ① 排队系统中的平均顾客数(队长的期望值)

$$L_s = \frac{\rho'}{1 - \rho'} = \frac{\lambda_1}{\mu - \lambda_1}$$

- ② 在队列中等待的平均顾客数(队列长的期望值)

$$L_q = \rho' L_s$$

- ③ 排队系统中顾客逗留时间的期望值

$$W_s = \frac{1}{\mu - \lambda_1}$$

- ④ 排队系统中顾客等待时间的期望值

$$W_q = \frac{\rho'}{\mu - \lambda_1}$$

4. 预约挂号下医院排队系统的应用案例

4.1. 构建医院的排队模型

本研究以洛阳市河南科技大学第一附属医院新区医院为研究对象, 该医院预约挂号的使用未被普及, 于是可将到达医院的患者均视为现场挂号。由于医院内的排队叫号系统对挂号人数, 服务时间均有记录, 且该医院每天正常工作时间 8 小时, 于是我们收集了疫情期间 10 天, 共 80 小时的数据。

4.1.1. 只有现场挂号的排队系统(模型一)

80 小时内挂号大厅每小时到达的挂号人数和服务时间的数据, 记录如表 1 和表 2。

Table 1. Distribution of registered customers arriving per hour

表 1. 每小时到达的挂号患者人数分布

到达挂号人数 n	出现次数 f_n
7	2
8	3
11	7
14	7
15	17
18	24
19	8
21	5
22	3
25	2
合计	80

Table 2. Distribution of patients' registration time

表 2. 患者挂号时长分布

服务时间(分) v	出现次数 f_v
1	1
1.5	3
2	5
2.5	9
3	16
3.5	20
4	15
4.5	6
5	4
合计	80

对数据进行分析, 由数据可以直观发现在疫情期间去医院的人数明显较少, 在完全现场挂号情况下, 各项排队指标为:

① 平均每小时到达的患者数, 即到达率 λ :

$$\lambda = \frac{\sum n f_n}{80} = 16.5 \text{ (人/小时)}$$

② 每次挂号的平均时间 t :

$$t = \frac{\sum v f_v}{80} = 3.2875 \text{ (分钟/人)}$$

③ 每小时平均完成的诊治人数, 即服务率 μ :

$$\mu = \frac{60}{3.1875} = 18.3 \text{ (人/小时)}$$

④ 系统的服务强度 ρ :

$$\rho = \frac{\lambda}{\mu} = 0.90$$

⑤ 排队系统个稳态指标:

$$\text{队长: } L_s = \frac{\rho}{1-\rho} = 9 \text{ (人)}$$

$$\text{队列长: } L_q = \frac{\rho^2}{1-\rho} = 8.1 \text{ (人)}$$

$$\text{逗留时间: } W_s = \frac{1}{\mu - \lambda} = 33.3 \text{ (分钟)}$$

$$\text{等待时间: } W_q = \frac{\rho}{\mu - \lambda} = 30.0 \text{ (分钟)}$$

4.1.2. 现场挂号与预约挂号并行的排队系统(模型二)

预约挂号的就诊时间已提前预约, 不需要排队等候, 我们将服务台分为两部分, 一部分专门负责现场挂号的患者, 另一部分专门负责预约挂号的患者。此时医院内的就诊流是现场挂号流和预约挂号流的合流, 参数分别为 $\lambda_1 = 14$, $\lambda_2 = 2.5$, 由于预约挂号的患者不需要现场等待排队, 所以队列长和等待时间只是由现场挂号的患者形成, 故实际的现场服务强度 $\rho' = \frac{\lambda_1}{\mu} = 0.76$, 其他排队系统稳态指标变化如下:

$$\text{队长: } L_s = \frac{\rho'}{1-\rho'} = 3.18 \text{ (人)}$$

$$\text{队列长: } L_q = \frac{\rho'^2}{1-\rho'} = 2.4 \text{ (人)}$$

$$\text{逗留时间: } W_s = \frac{1}{\mu - \lambda_1} = 15 \text{ (分钟)}$$

$$\text{等待时间: } W_q = \frac{\rho'}{\mu - \lambda_1} = 11.4 \text{ (分钟)}$$

从上述两组数据可以看出, 在增加了预约挂号这一途径之后, 排队系统中的队列长 L_q 和等待时间 W_q 明显减小, 排队系统得到了很好的优化, 患者满意度上升, 医院服务效率提高。

若在疫情期间医院充分利用预约挂号模式, 将有效地减小医院排队系统中的排队人数和患者的逗留时间, 从而避免扎堆现象的发生, 可以有效地防止医院内交叉感染, 为医生和患者均提供一个安全、良好的工作与就诊环境。对医院方面而言, 也有效地提高了医疗资源的利用率与门诊工作效率。

5. 结论

本文将医院的排队系统视为简单的 M/M/1 型模型, 实际情况要更复杂, 需要更进一步的分析。由上文模型可以看出, 增加预约挂号对医患双方都有很大的好处, 尤其是在疫情期间, 需尽量避免密切接触的情况下, 疑似患有新冠的患者通过网上预约挂号, 不用集中排队, 可以有效地防止交叉感染, 而且预约挂号与现场挂号并行时, 能有效的减少医院排队系统中的排队人数和等候时间, 提高医院门诊工作效率, 减少医生与患者花费的时间并减小医院压力, 故对医院排队系统的优化利国利民, 势在必行。

项目基金

国家自然科学基金项目(NO 11701150)。

参考文献

- [1] 中华人民共和国卫生健康委员会. 截至 2 月 12 日 24 时新型冠状病毒肺炎疫情最新情况[EB/OL]. <http://www.nhc.gov.cn/yjb/s7860/202002/26fb16805f024382bff1de80c918368f.shtml>, 2020-02-13.
- [2] 刘晓真. 医院门诊排队叫号系统[J]. 硅谷, 2012(3): 25.
- [3] 周义正. 排队论模型在医疗服务系统中的研究[D]: [硕士学位论文]. 武汉: 华中科技大学, 2011.
- [4] 杨凤, 刘迪. 排队论在改进门诊排队管理中的应用[J]. 科技信息, 2010(26): 128-129.
- [5] 易璜. 预约挂号实施现状分析[C]//中华护理学会. 全国门急诊护理学术交流会议、第 14 届全国骨科护理学术交流会议论文汇编: 2012 年卷. 北京, 2012: 269-272.
- [6] 环球网. 北京: 新冠肺炎有哪些症状? [EB/OL]. <https://baijiahao.baidu.com/s?id=1670370907574019871&wfr=spider&for=pc>, 2020-06-24.
- [7] 郭锐, 苗志敏, 董鸣. 国内医院预约挂号的现状和建议[J]. 中华医院管理杂志, 2012(1): 41-43.