

大型游乐场快速通道优化模型与仿真模拟

陈治佳¹, 王曦², 何苗¹

(1. 哈尔滨工业大学 计算机科学与技术学院, 黑龙江 哈尔滨 150001;

2. 哈尔滨工业大学 航天学院, 黑龙江 哈尔滨 150001)

摘要: 为使游乐设施达到最大使用程度同时减少游客排队时间, 提出一种基于概率的快速排队优化模型, 通过优化影响快速排队系统返回时间的参数和平衡常规队列与快速队列的相互影响来实现快速通道的优化. 合适的概率模型被选用来模拟顾客到达时间和快速通道人流返回时间, 并在此基础上计算返回起始时间. 对返回时段的优化考虑偶然情况和以往统计数据, 并在平衡正常队伍与快速通道队伍相互影响的基础上最终建立优化模型. 计算机模拟结果表明, 优化模型提高了快速通道的效率.

关键词: 快速通道 数学模型 计算机模拟 概率分布 排队等待

中图分类号: O212.1, TP39

文献标识码: A

文章编号: 0367-6234(2005)09-1261-03

Optimized model and simulation for QPS in theme parks

CHEN Zhijia¹, WANG Xi², HE Miao

(1. School of Computer Science and Technology, Harbin Institute of Technology, Harbin 150001, China;

2. School of Astronautics, Harbin Institute of Technology, Harbin 150001, China)

Abstract: To maximize the usage of attractions in the theme parks and the time customer waiting in line, QuickPass System (QPS) is designed to avoid long queue waiting. The model improved the existed QPS by optimizing factors that may affect returning time of QPC and managing all queues in certain ride as a whole, and by studying the waiting time in regular lines and QuickPass lines. Proper Classic Distribution laws are introduced to simulate the arriving time situation of all customers and the special QPC, upon which the approximate beginning time of the returning period is calculated. Modifications about the returning time period are made after considering probability of Bad Chance and the former statistics regularity. Then optimization of the model with proper parameters is achieved by considering the interaction between regular queues and QuickPass lines. Simulation result shows that the optimized model acts better in relocating lines and enhancing the efficiency of QPS.

Key words: QPS, mathematical model; computer simulation; probability distribution; queue waiting

为解决游客太多而导致玩一项游乐需要过长排队的问题, 许多著名的游乐场如迪士尼乐园近年来采用一套叫快速通道 (FastPass) 的系统. 其基本的做法是: 在常规队列旁开设一个快速返回入口, 游客可以根据到达该游乐项目时的排队情况, 选择在常规队列排队或稍后通过快速通道进入. 如果选择快速通道, 游客可以在间隔的这一段时间内到别处游玩或做别的事情, 不仅可以方便

游客, 而且减缓了常规队列的排队长度^[1]. 类似的系统还有英国最大的主题公园 Alton Towers 采用的虚拟队列 (Virtual Queue)^[2,3], 环球主题公园 (Universal) 采用的环球快速 (Universal Express)^[4].

然而, 这些快速通道系统在实施过程中也出现了一些问题: 如高峰客流时游客抱怨快速通道不够快 (甚至比常规排队的时间更长), 常规队伍因为快速通道的加入变得更加冗长, 在分发返回时间上有时后到游客的返回时间却比先到的早等不公平问题.

快速通道的主要机制在于返回时间的确定, 针对目前快速通道系统的普遍问题, 本文采用数学建模^[5]的方法建立模型并借助计算机仿真模拟技术(computer simulation)^[6]为分散客流, 缩减排队时间, 提供一套优化的返回时间确定方案.

1 模型建立

模型假设如下: 游客的到来是时间的随机函数, 并认为在一天中会出现两个高峰, 且在较短的一段时间内服从泊松分布; 选择常规排队或快速通道完全根据游客的情况和当时的排队情况决定; 在统计常规排队的人数时, 正在游乐的人数忽略不计; 不考虑意外情况, 如下大雨、设备故障等.

根据假设, 每天游客的到达有两个高峰, 这时游客的到达将会出现极值的现象. 快速通道的基本思想就是把游客到达的这种极值现象消除.

把给游客的返回时间分为两个部分, 返回的起始时刻 T_0 和在 T_0 后的设定有效时间 T_p . T_0 一般根据当时的情况在 2~5 h, 而 T_p 则一般为固定的 1 h.

游客到达游乐场服从以下分布:

$$P_n(t) = \frac{(\lambda t)^n}{n!} e^{-\lambda t}, n = 0, 1, 2, \dots; \lambda > 0; t > 0. \tag{1}$$

其中 λ 是平均每小时到达的人数(在一天两个高峰中到达极值), $P_n(t)$ 是有 n 个人在时间段 t 内到达的概率密度.

引入一个变量 T_m , 表示游客能够承受的等待时间. 如果当前的排队时间超过 T_m , 游客选择进入快速通道; 否则, 选择常规排队. 一般 $T_m \in (0.5 \text{ h}, 1.5 \text{ h})$.

选择快速通道的游客将在 $[T_0, T_0 + T_p]$ 时间内返回, 从概率的角度看, 每个游客在 T_p 时间内的任一个时刻返回的概率应该是相等的, 即为平均分布. 考虑在极短的时间 dt 内, 一个游客返回的概率为 $P(1, dt) = dt/T_p$, 所以这个平均分布的概率密度为

$$f(1, t) = \begin{cases} 1/T_p, & t \in T_p; \\ 0, & \text{其他.} \end{cases}$$

由此, 可以计算出独立同分布的 N 个游客中有 k 人在 T_p 时间范围内的 t 时间段内返回的概率为

$$P(k, t) = C_N^k \left(\frac{t}{T_p}\right)^k \left(1 - \frac{t}{T_p}\right)^{N-k}. \tag{2}$$

2 计算机仿真模拟

把游乐场的开门时刻记为 0 时刻, 对开门后的任一段时间 t 采样, $t(i), (i = 0, 1, 2, \dots)$, 其中

$t(0) = 0, t(i+1) = t(i) + T, T$ 为采样周期, 且与讨论的游乐项目的一次游乐时间相等. 用 $n(i), i = 1, 2, \dots$ 表示在 $t(i-1)$ 到 $t(i)$ 时间内自然到达的游客人数, 用 $q_a(i), i = 1, 2, \dots$ 表示在 $t(i-1)$ 到 $t(i)$ 时间内常规排队增加的人数, 用 $q(i), i = 0, 1, 2, \dots, q(0) = 0$ 表示在 $t(i)$ 时刻常规排队的人数, 用 $W(i), i = 1, 2, \dots$ 表示 $t(i)$ 时刻常规排队需要等待的时间, 用 $r(i), i = 1, 2, \dots$ 表示在 $t(i-1)$ 到 $t(i)$ 时间内返回的游客人数.

2.1 模拟量的确定

由以上的讨论知, $n(i)$ 可以由随机函数产生, 且概率分布服从式(1). $q_a(i)$ 由 T_m 和 $W(i)$ 决定. $q(i)$ 由下式决定:

$$\begin{cases} q(i) = q_a(i), q(i-1) \leq N; \\ q(i) = q(i-1) + q_a(i) - N, \text{其他.} \end{cases} \tag{3}$$

$W(i)$ 可用 $q(i)$ 来表示:

$$W(i) = ([q(i)/N] + 1)T.$$

式中 N 表示该游乐项目一次可供游玩的人数, $[a]$ 表示对 a 向下取整. $r(i)$ 也是由随机函数产生的, 且概率分布服从式(2).

2.2 参数的确定与检验

2.2.1 T_0 的确定

当某游客到达游乐场的时刻在 $t(m)$ 到 $t(m+1)$ 时间内, 在他之前有 $\sum_{i=1}^m n(i)$ 个游客已经到达, 他理应排在他们之后. 但是考虑到一天有两个或以上的游客到达高峰时, 这样做会为下一个时刻的游客进入造成困难, 并未起到分流的作用. 因此应对 T_0 进行预测. 预测方案设计如下:

1) 用过去同期的数据预测. 设前几天的或同期游客的在某段时间 $t(i-1) \sim t(i)$ 到达的平均人数为 $\bar{n}(i)$. 无预测时, 某游客返回时间的起点为 T_0' , 而从他离开到返回这一段时间对应的时间序列为 $t(m) \sim t(m+q)$, 而根据预测这段时间将

到达的人数为 $\sum_{i=m}^{m+q} \bar{n}(i)$. 然而这些人中有的选择常规排队, 有的选择快速通道, 要尽量使常规排队的游客在选择快速通道的游客之前进入. 而选择哪个通道完全由当时的排队情况和游客自身心理决定, 因此无法预计. 给出了一个系数 $\alpha \in (0, 1)$ 来描述这种不确定性, 并体现出一种平均效应, 而这个系数的确定需要考虑多方面的因数.

2) 用当天早些时候的数据预测. 在讨论某游客到达游乐场的时刻在 $t(i)$ 到 $t(i+1)$ 时间内, $n(i), n(i-1), n(i-2), \dots$ 等数据是已知的, 用这些数据建立差分方程来预测:

$$n(i+1) = n(i) + [n(i) - n(i-1)].$$

2.2.2 T_p 的确定

现在一般采用的做法是 $T_p = 1$ h,然而由于时间范围太大,往往容易造成在一个较小的时间范围内,返回的人数太多,导致一些人在返回后的排队时间还是较长.考虑减小 T_p 的值,有可能造成对游客的不方便,但是 0.5 ~ 1 h 的时间范围应该还是比较可行的.

2.2.3 T 的确定

选用的采样周期 T 与所研究的游乐项目的一次游乐时间相等,这样在计算 $q(i)$ 时只需要讨论一种情况,用式(3)就可以得出结果,方便了计算机的处理.同时这样选取也是基于对整个系统分析的稳定性等方面的考虑.

如果采样周期 T 小于游乐项目的一次游乐时间,那么就会出现在游乐项目刚开始时 $q(i)$ 开始增加,直到游乐项目的下一次开始;而在开始的时候有一个下降的过程,从而导致 $q(i)$ 起伏的波动. $q(i)$ 的波动必然带来 $W(i)$ 的波动,而在确定 T_0 的时候很大一定程度上与 $W(i)$ 有关,从而导致 T_0 的波动,使游客的返回时间不能按序排列,必然带来抱怨.

如果采样周期 T 大于游乐项目的一次游乐时间,由于 T 太大,后来的信息就不能及时地加以处理,导致在计算 T_0 时难免会出现一些偏差,并且在预测等方面的结果也是不理想的.

2.2.4 参数检验原则

1)先到的游客的快速通道返回时间应早于后到的游客;

2)由快速通道进入的游客排队时间应少于常规排队时间;

3)为检验分流的效果,把常规排队的最长排队时间作为一项检验指标.

3 模拟结果分析

按照建立的数学模型,进行了编程模拟.结果如图1所示.其中图1(a)未经处理的结果,图1(b)是优化后的结果.

从图1(a)中可看出,快速排队有一段时间返回人数过多而导致快速排队队伍过长的异常现象.而图2(b)表明,由于采用优化了的 T_0 及 T_p ,快速队伍的长度被控制在非常小的范围内,达到了预计效果.

选取三个(大、中、小)样本对常规队伍和快速通道的等待时间进行比较,结果见表1.可以看出选用优化模型相对一般系统能很好实现快速通道功能,而且模型对不同客流体现了较好的稳定性.

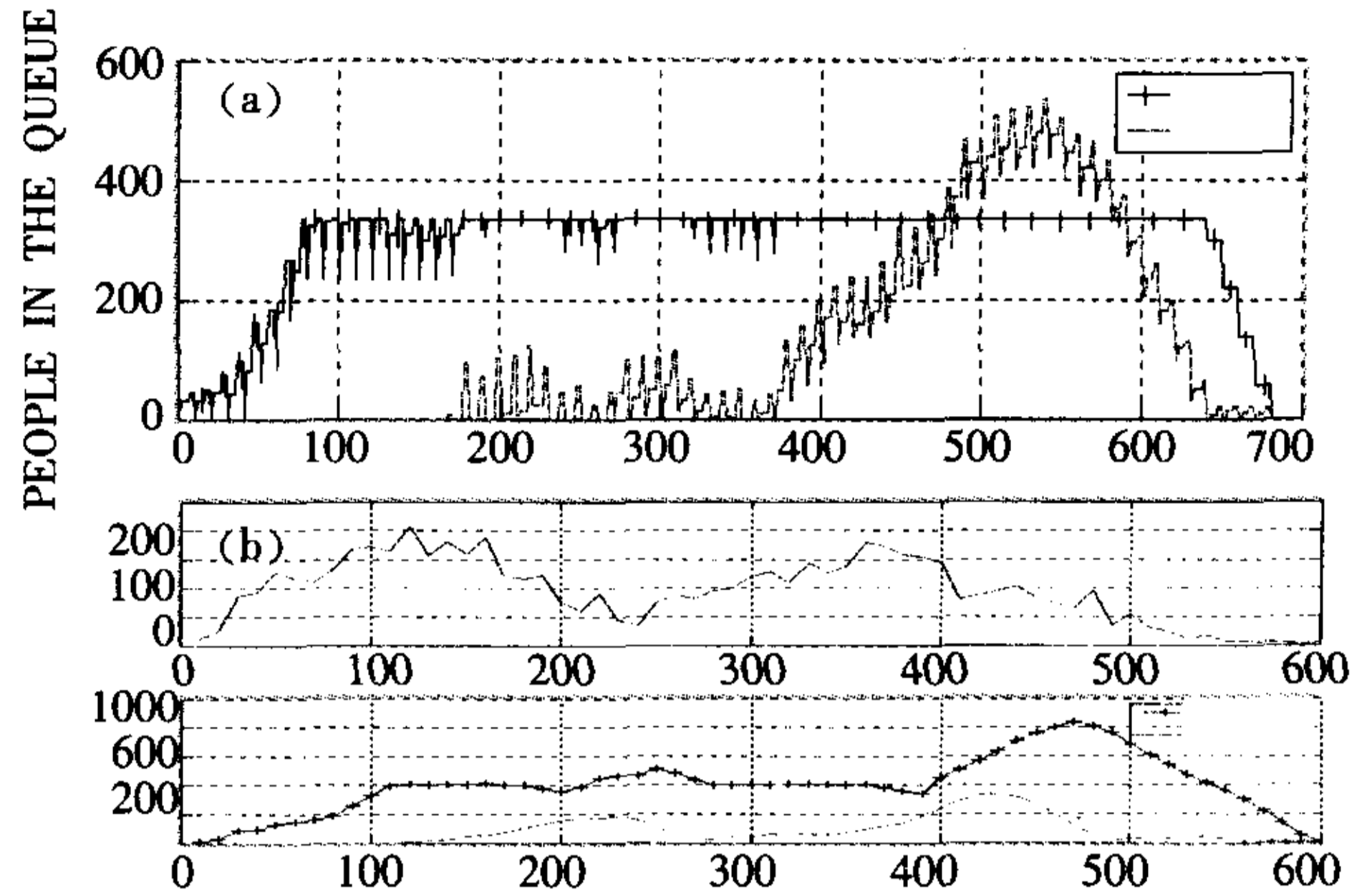


图1 模拟结果

表 1 不同样本测试结果

样本时间比较	平均等待时间/min		最大等待时间/min	
	常规队伍	快速通道	常规队伍	快速通道
小样本	23.5643	4.3621	60	9
正常样本	68.4845	14.6854	140	49
大样本	113.8118	16.6748	250	39

参考文献:

- [1] LEVINE A. How Disney's Fastpass works [EB/OL]. http://themeparks.about.com/cs/disneyparks/a/fastpass_2.htm, 2005.
- [2] KUNNIYUR S, SRIKANT R. Analysis and design of an adaptive virtual queue algorithm for active queue management [J]. IEEE ACM Transactions on Networking, 2004(4): 286 - 299.
- [3] LAKSHMIKANTHA A, BECK C, SRIKANT R. Robustness of Real and Virtual Queue based Active Queue Management Schemes [A]. Proc. American Control Conference [C]. 2003.
- [4] Universal Studios, Universal Express [EB/OL]. http://www.ioacentral.com/park_information/universal_express/universal_express.htm, 2005.
- [5] ARIS R. Mathematical Modeling Techniques [M]. San Francisco: Pitman Advanced Pub, 1979.
- [6] CHANG Chun - Yen. Using computer simulation to manage the crowding problem in parks [J]. Landscape and Urban Planning, 1997, 37: 147 - 161.

(编辑 王小唯)