

校门开放方式对于通行效率的影响探究

摘要

这里阐述摘要的部分。

关键字： 排队论 通行方式 元胞自动机

一、模型建立与求解

1.1 单通道确定性模型

1.1.1 模型建立

将校门前的道路网格化，假设行人占据一个网格、自行车占据两个网格。根据假设，自行车在通过校门的时候会下车推行，从而行人和自行车在门前的前进速度可以认为相同，设为 $1m/s$ 。对排队人群进行离散模拟，在每个模拟时间段内，如果行人或自行车前方空格没有被占用，则前进一格。根据这样的模拟规则，将一个网格的长度设为 $1m$ 。

考虑单通行道的情况，模型可视化展示在图1.1.1中。其中：

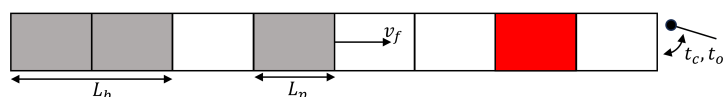


图 1.1.1 单通道模型可视化，其中灰色块表示网格被占用，红色块表示该通行者会刷卡失败（或没有校园卡），图中最右部分为校门

- L_p, L_b 分别表示行人和自行车占用的网格长度
- v_f 表示行人和自行车的前进速度
- t_o, t_c 分别表示校门的开关时间，考虑实际情况，认为 $t_c = t_o$
- t_g, t_p （图中未标注）分别为刷卡时间和通过时间，在确定性模型中两者视为定值

人和自行车均在道路最左边生成，道路有最大长度，当道路最左侧已经被占用时，不再生成。认为人的生成过程是一个泊松过程，对于高人流量和低人流量的时间段泊松过程的参数取值不同。

刷卡进校过程的拆分及两种开门方式的不同展示在图1.1.2中。在刷卡进校时，对

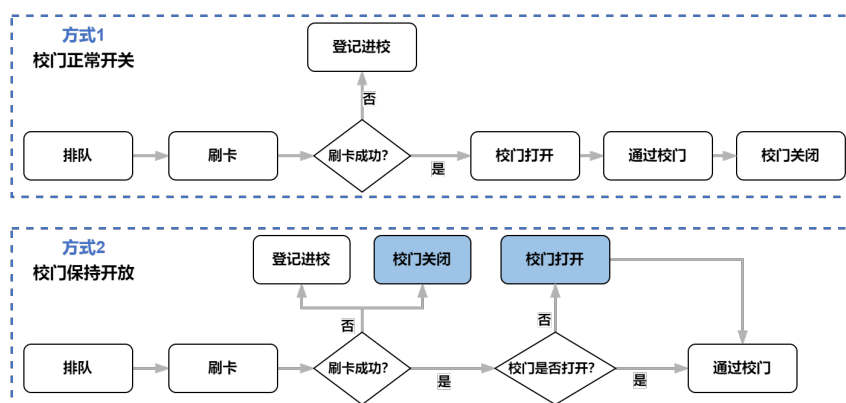


图 1.1.2 刷卡进校过程及两种校门开关方式的异同

于两种方法做相应的时间消耗分析：

- 门保持开放：
 - 如果刷卡成功，直接通过校门，需要的时间即为通过校门的时间加上刷卡识别的时间 $t_p + t_g$ 。
 - 如果刷卡失败，需要等待门关闭。根据实际生活经验，刷卡失败后，需要离开当前队伍，然后登记入校。离开队伍的过程会有时间的消耗，设为 t_{penal} ，从而刷卡失败消耗的时间为刷卡时间、等待门关闭的时间和离开队伍的时间加和 $t_g + t_c + t_{penal}$ 。
- 门正常开关：
 - 如果刷卡成功，等待门开放后通过校门，下一个在队伍中的人等待门关闭后继续刷卡通过。从而一个人需要的时间为 $t_g + t_o + t_p + t_c$ 。
 - 如果刷卡失败，需要离开队伍。门正常开关时，不用等待门关闭，从而所需时间为 $t_g + t_{penal}$ 。

1.1.2 数值模拟

模拟的时间步长 t^* 取为 $0.5s$ ，根据实际生活经验，约定开门的时间 $t_o = t^*$ 、行人的刷卡时间 $t_g = t^*$ 、通过时间 $t_p = t^*$ 、门关上的时间 $t_c = t_o = t^*$ 。如果刷卡失败，耽误的时间 $t_{penal} = 2t^*$ 。根据模型分析：

- 门保持开放：
 - 刷卡成功：耗时 $t_p + t_g = 2t^*$ 。
 - 刷卡失败：耗时 $t_g + t_c + t_{penal} = 4t^*$ 。
- 门正常开关：
 - 刷卡成功：耗时 $t_g + t_o + t_p + t_c = 4t^*$ 。
 - 刷卡失败：耗时 $t_g + t_{penal} = 3t^*$ 。

1.2 单通道随机性模型

在确定性模型中，刷卡时间和通行时间（之后统称为服务时间）认为是常数，在实际情况中，服务时间往往会因为客户对象的不同而发生变化¹。选择利用负指数分布刻画这种服务时间的不确定性，从而更好地刻画队伍的运动情况。

1.3 多通道模型

实际情况中，往往有多条入校通道。相较于单通道，多通道的引入，使得行人和自行车在条件允许时，可以选择更换通道，从而更快地通过校门。

¹例如，由于老年人的刷卡时间和通过时间相较年轻人明显较长，所以老年人的服务时间将会明显长于年轻人。

参考文献

- [1] 刘延柱. 关于摩擦碰撞的 Kane 难题[J/OL]. 力学与实践, 2012, 34(1):91-94. <https://lxsj.cstam.org.cn/cn/article/doi/10.6052/1000-0879-20120118>.
- [2] COHEN C, DARBOIS-TEXIER B, DUPEUX G, et al. The aerodynamic wall[J/OL]. Proceedings of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences, 2014, 470(2161):20130497. <https://royalsocietypublishing.org/doi/abs/10.1098/rspa.2013.0497>.
- [3] 刘延柱. 再论 Kane 难题[J/OL]. 力学与实践, 2013, 35(3):77-79. <https://lxsj.cstam.org.cn/cn/article/doi/10.6052/1000-0879-12-170>.