**1.Introduction**

1.1 Restatement of the Problem

高速公路收费广场的设计向来是一个难点，车流在进入收费站之前从较少的车道进入较多的收费站通道，然后从较多的收费站通道汇入较少的常规机动车道，这一问题涉及排队、收费效率、成本、事故预防等因素，因此我们从多个方面对“最佳收费广场”进行了求解。

1.2 Background

和美国大部分的不收费公路不同，新泽西州的两条主要高速公路——New Jersey Turnpike和Garden State Parkway都是收费公路。本文中我们讨论的原始收费广场就是在Garden State Parkway上的Asbury Park Toll Plaza，经过我们的调查，这个收费广场共有八个收费通道（不包括收费广场旁边的开放道路收费），其中一个是electronic toll collection，三个是conventional tollbooths，并且剩下四个是exact-change tollbooths。这个收费广场对应的前后主干道都是三条车道，和题目所给的举例完全吻合，因此在本文中，我们**首先假设**有八个收费站和三条主车道，**最后**再与B和L的实际情况对应起来。

1.2.1 Common Solving Technique

1.2.2 Previous Works

1.3 Example

**2.Analysis of the Problem**

2.1 Outline of the Approach

收费广场的改进基本上分为三个方面，一是收费站前的车流排队模式设计，这里我们使用排队论模型对其进行设计，最终得出“一条队伍对应两个收费站”的模式。二是不同收费站的比例问题，我们使用成本-效益曲线结合实际情况分析出了三种收费站比例为2：1：1。三是收费站后的汽车合流问题，我们使用可接受间隙理论模型计算出“9-5-4-3”的合并模式，这一模式能在最短时间内以相对安全的方式将车流合并。

2.2 Basic Assumptions

1. 车辆的规格是同一种，长度相同
2. 高速公路的使用的电费很少，可以忽略不计
3. 本文中只考虑混合式收费站
4. 收费站及周围公路平坦
5. 收费系统在正常工作的情况下不会出现故障
6. 车道数为L，收费站数为B
7. 收费通道始终全部开放
8. 同一类型的收费窗口效率完全一致，始终不变
9. 人工收费窗口只有一个工作人员，不考虑轮班制
10. 开放道路收费（ORT）设置在收费广场以外，与收费广场相邻，由于通过速度太快，在计算吞吐量时我们不考虑ORT的存在，但合并模式中我们考虑了ORT。

2.3 Definition and Key Terms

我们在文中将conventional tollbooths简称为mtc (manual toll collection booths), 将exact-change tollbooths简称为atc (automated toll collection booths), 将electronic toll collection booths简称为etc，将open road tollbooths简称为ort。

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| symbol | meaning | unit |
| p | 收费广场总车流量 | veh/h |
| I | 每辆车的车长 | m |
| n1 | MTC数量 |  |
| n2 | ATC数量 |  |
| n3 | ETC数量 |  |
| s1 | MTC效率 | veh/h |
| s2 | ATC效率 | veh/h |
| s3 | ETC效率 | veh/h |
| p0 | 单位时间内到MTC的总车流量 | veh/h |
| pm | 一个MTC窗口的车流量 | veh/h |
| dfree | M/M/2模型中收费站系统空闲的概率 |  |
| ρ | 服务强度(系统中至少有一个顾客的概率) |  |
| ρ2 | 排队系统为M/M/1时的服务强度 |  |
| ρ3 | 排队系统为M/M/2时的服务强度 |  |
| L1 | 排队系统为M/M/1时的平均排队长度 | veh |
| L2 | 排队系统为2\*M/M/1时的平均排队长度 | veh |
| L3 | 排队系统为M/M/2时的平均排队长度 | veh |
| T1 | M/M/1模型平均等待时间 | s |
| T2 | 2\*M/M/1模型平均等待时间 | s |
| T3 | M/M/2模型平均等待时间 | s |
| α | 车辆在加速和减速的平均加速度 | m/s2 |
| C | 高速公路上匝道合流能力 | veh/s |
| V11 | 出收费站后第一次并道后主路的交通量 | veh/s |
| V21 | 出收费站后第二次并道后主路的交通量 | veh/s |
| V1f | 出收费站后第一次并道前主路的交通量 | veh/s |
| V2f | 出收费站后第二次并道前主路的交通量 | veh/s |
| V1r | 出收费站后第一次并道前加速车道的交通量 | veh/s |
| V2r | 出收费站后第二次并道前加速车道的交通量 | veh/s |
| β1 | 第一段加速车道长度 | m |
| β2 | 第二段加速车道长度 | m |
| t1c | 第一次并道前加速车道车辆的临界间隙 | s |
| t2c | 第二次并道前加速车道车辆的临界间隙 | s |
| t1f | 第一次并道前主路的随车时距 | s |
| t2f | 第二次并道前主路的随车时距 | s |
| a1 | 根据实际情况统计线性回归方程x变量的系数 |  |
| Qm | 主道车流量 | Veh/h |
| λ | 来车强度 | Veh/h |
| q | 汽车从启动到停在到收费窗口前的时间 | s |