

路桥收费系统车型分类 及其运行管理模式

姜沿平

(首都机场高速公路发展公司 北京 100621)

提要 本文针对路桥收费系统如何提高通行费征收率的问题,从首都机场高速公路收费系统的实际情况出发,提出了较实用的车型分类方法和运行管理模式,并从理论上加以分析,对开放式收费系统具有较好的推广价值。

关键词 车型分类 运行管理模式 收费系统

Vehicle Classification & its Operational Management Model for the Toll System of Roads & Bridges

Jiang Yanping

(Management Station of the Capital Airport Freeway, Beijing)

Abstract Based on the actual conditions of the toll system for the Capital Airport Freeway, this paper not only puts forward a practical advanced method for vehical classification and an operational management model, but also analyses them from the theoretical aspect. The purpose is to solve the toll collecting efficiency of roads and bridges. Therefore, it will be of great value to popularize the open toll system.

Key words Classification of vehicles Operational management model
Toll system

0 前言

收费道路及桥梁是通过收取通行费来收回投资、偿还贷款、支付运营养护成本的。降低运营及系统建设成本、提高通行费征收率、防止舞弊漏收行为、提高收费系统的服务水平是收费系统研究的主要命题。本文结合机场高速公路收费系统运行2年来的实践,从系统运营管理的角度,围绕提高通行费征收率防止作弊这一命题,讨论开放式收费系统车型分类及其运行管理模式,并提出一个解决方案。文中结论不仅适用于开放式收费系统,同时也适用于封闭式收费系统及停车场收费系统。

1 收费系统应为运行管理提供依据

提高通行费征收率,除了站点布设合理经济,防止少收、漏收之外,从收费运营管理角度来说,最重要的是防止收费人员贪污作弊行为的发生。因此,需要每条车道详细的交通流

情况及其通行费的准确数据,这是管理人员的核对依据。没有这个依据,管理水平及效果就无从谈起。

那么,如何提供准确可靠的依据呢?首先,应该明确与通行费有关的各种数据及其关系,并找出直接影响通行费收取的主要因素。在此,我们设应收通行费为 A 加以讨论。

1.1 通行费 A 的组成

对于开放式收费系统的某一车道,设其应收通行费为 A ,则:

$$A = \sum_{i=1}^Z A_i N_i$$

式中, i 为第 i 种车型; A_i 为第 i 种车型费率; N_i 为第 i 种车型的车辆通过次数; Z 为车型种类数。

1.2 车型种类数 Z 的确定

根据收费道路交通流的车种确定 Z 值。设共有“ Z ”种车型,则在车型分类上需要设定 $Z-1$ 个分类域值。例如:机场高速公路对车辆分为摩托车、小车、中车、大车 4 种,因此,需要 $4-1=3$ 个分类域值。车型分类越细则收费越趋合理,宜于吸引交通量。但过细的分类不仅增加了对分类设备或收费人员的要求,繁多的费率对于现金支付方式来说也将带来车道处理能力的下降,进而降低车道的通行能力。因此,通常取 Z 为 3 至 5,特别是在人工判型分类时, Z 小于等于 4 为宜。这样可以在核定各收费站费率时留有取整的余地,避免找赎带来的延误,同时也便于人工及机器识别分类以及对分类数据的分析。

1.3 车型费率 A_i 的确定

确定车型费率 A_i 是一个复杂的过程,涉及建设投资、回收期、预测交通量、运营及养护成本以及第 i 种车型通行者受益“金额”等诸多因素。但从运营管理的角度来看,在上述前提下还应尽量考虑以下二点,以提高车道处理速度及通行能力。

(1) 避免过于零散而尽量整化,例如精确到元甚至 5 元即可,而避免出现元、角、分这样的费率。

(2) 各种费率 A_i 为最低费率 A_1 的倍数以便于岗上调节,避免出现找不开零钱而延误。特别是对于道路里程较短的开放式收费系统。

1.4 车辆通过次数 N_i 的判定

当收费系统建成开通后,车型种类 Z 的车型费率 A_i 将首先进行确定,在收费过程, Z 和 A_i 为常数,各种车型的车次数 N_i 是随机变量,因此,通行费 A 随各种车型的车次数 N_i 的改变而改变。

N_i 有二个要素:车次数 N 和车型 i ,因此判定 N_i 就是对所有通过该站该车道的车辆进行预定的分类统计。这涉及二个环节即车型分类和计数统计。车型分类是讨论的重点。

2 车辆的分类方法

就收费系统而言,车辆分类方式可分为人工分类与机器分类(自动判型)二种。其中机器分类又分为前判(收费前判别)与后判(收费后判别)。前判为“引导”性,即收费员应按照机器判型确定的费额对车辆进行收费;后判为“监督”性,即收费员操作置于机器监督之下,机器并不干预收费员的现场操作,最终将每辆车的处理结果与机器的判别结果进行对比后送交控制管理人员,作为收费站对每个收费员收费业务管理的依据。

分类所采用的数据类型有:外形几何数据,例如车辆侧面的几何形状投影;机械物理数

据,例如轴数、轴距、轮距;效益数据,例如载重(客)量;标志数据,例如车牌照(颜色)等。这些数据有些易于机器判别,例如:外形几何数据和机械物理数据;有些易于人工判别,例如:车牌照和外形几何数据(当分类较少时);有些既不易于人工也不易于机器判别,例如:载客(重)量。由座位数引起费率的争议,在实际运营中屡见不鲜。

2.1 分类方式的选择

通常根据分类方式(人工与机器、前判与后判)确定分类所采用的数据类型,最后确定其域值。

2.1.1 分类方式的选择

采用人工分类还是机器分类?是自动前判型好还是自动后判型好?这是专家们争议不休的问题,尽可见仁见智,但问题是按什么原则进行选择。

很明显,人工分类而不辅以监督手段,就不能保证管理人员得到准确可靠的依据。因此机器分类必然成为收费系统的发展方向。事实上几乎所有收费道路桥梁无一不在考虑机器分类。但由于我国车型种类繁多,自动分类检测技术还达不到运行的水平。从国内外收费系统成功运行的经验分析,自动车型分类误差应控制在万分之五以内。这决不意味着机器分类行不通,问题在于建立一套适应目前技术设备水平的运行管理模式,并选择合适的数据类型和分类域值加以实现。

首先我们看一下自动前判型的管理模式。以机场高速公路为例,其基本运作程序如图1。

这种运行模式在实际中最突出的问题有2个:

(1) 误差的处理

设自动判型误差为千分之五,且为均匀分布。当出现判别错误且为多判时,过路者将要求修改。此种修改只能由管理人员完成,而管理人员必须了解该车特征,延误了车道的处理速度。

又设多判概率为误差的一半即千分之二点五,则日交通量达设计能力63000辆次/日时,每天将有150余次多判发生。要求每天实时地处理150次这样的情况,显然是不适宜的。

当出现少判时,司机与收费员一般不要求修正,这必将漏收通行费。以每次10元,每天150次计,每天漏收1500元,每年漏收50余万(事实上,出于设计的考虑将车长域值调整为正误差,由此造成通行费流失大约每天3000元,每年100万元)。

(2) 故障的处理

当判型设备发生故障时,收费员立即感知,此时,设备完全失去了作用,由于误差及故障是任何设备也避免不了的,在目前技术水平下,这种自动前判型方式耗费了管理人员大部分时间和精力,由此带来的麻烦只能是勉强维持运行。

要单纯从技术上解决上述问题不是短时间可以奏

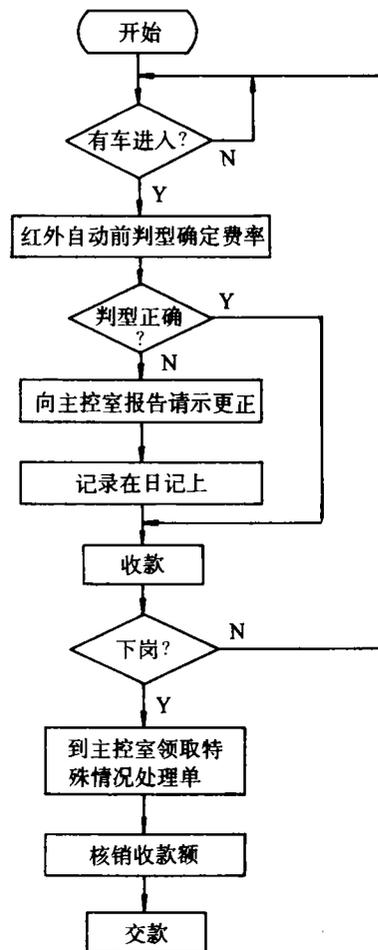


图1

效的。因此,必须从收费系统管理模式及运行规律经验上寻找答案。

在机器判型未能达到足够的准确性、可靠性和稳定性时,在半自动人工收费车道,采取“监督”性机械后判为宜。在机器后判“监督”下,对收费员具有威慑力,对收费站管理人员可提供对比结果,由管理人员判别正常后,对收费员进行指导和控制。由于机器在后,并不干预收费员操作,其运行状态也不向收费员显示,即使有差错或发生故障,收费员也并不一定感知。同时,假定误差为均匀分布,在统计结果上有正负抵消的趋势,因而呈现极高的统计精度,这就同时解决了误差及故障二个问题。

2.1.2 分类数据类型的选择

人工收费车道采用机器“监督”性后判型时一般仍由收费员人工判型以确定费额。因此,在选择分类数据上必须考虑与机器的判型的“兼容”性。只有二者采用同一标准,才能统一并达到机器后判的监督作用。因此应选择既适于人工,又适于机器判别的数据类型。车辆外部几何形状数据基本满足上述要求,可作为考虑的重点。

对于人工判型,根据机场高速公路运行的经验,采用车辆外部形状几何数据类型,人工分类判别误差是非常小的。排除机场高速公路车型较单一的因素,对于分类总数 Z 为3至4来说,人工判别可达到很高的精度。

2.1.3 判别域值的选择

根据统计资料表明,全国车辆种类已达数千种,无论采用何种数值在分布上都很难找到一个波谷,这给定量地确定判型域值带来困难。举例说明就好象仅靠身高、体重两个参数上很难认清一个人,而从体形外表,甚至面貌上肯定能从千百万人之中找到你要找的人。因此,采用车辆几何形状数据,运用“智能模糊”理论进行车辆的分类判别应该是较适合国情的办法。

2.2 采用 CCTV 摄像技术进行车型分类判别

人是靠眼睛将车辆形状传入大脑进行分析判断来识别车型的,同样用摄像机将车辆形状输入电脑进行分析判断已被认同。从仿生学角度出发采用车辆几何形状数据类型,由电脑模仿人脑,由摄像机代替人眼来进行车辆分类,同时进行统计不失为更精确有效地识别车型的方法。

事实上国外已有关于此类研究的报道,如法国在研究用二台摄像机,从不同角度摄取车辆图形信号,送入486档次计算机,分析判断时间在数10毫秒级。国内已有部门接受这种建议并开展这方面的研究,并拟在年内于机场高速公路上试验。

这种自动识别系统还可以很容易地加入“学习功能”。例如对于判别不清的车辆,可请求管理人员人工干预进行裁决,电脑将裁决进行记忆,并可在网络范围内“教会”其它电脑。长此以往,该系统将越用越灵。

在计算机硬件产品性能价格比飞速上升的今天,实现这一设想的关键是软件技术。一旦研制成功,不仅个别车辆的“学习”不成问题,就是全部车型的重新分类也是轻而易举,而不必对硬件设施进行任何改动,其适应性之强恰当地解决了人工收费系统车型判别的关键问题。

2.3 CCTV 判型的实现

在车道车行方向的侧前上方,设置一摄像机。为了能够捕捉车辆的三维几何形状,应使摄像机与车行方向 V 及地平面保持一定的角度 ϕ_1 、 ϕ_2 ,并设置一个启动捕捉图象的标线 W ,如图2、图3所示。

一旦标线 W 被车辆遮挡,摄像机即向电脑送一幅如图4所示的图象。为了将拖挂车作为一辆车处理,应在标线 W 大部分被遮挡时进行图象捕捉。该图象置于 X_0 、 Y_0 与 X_n 、 Y_k 区域内。

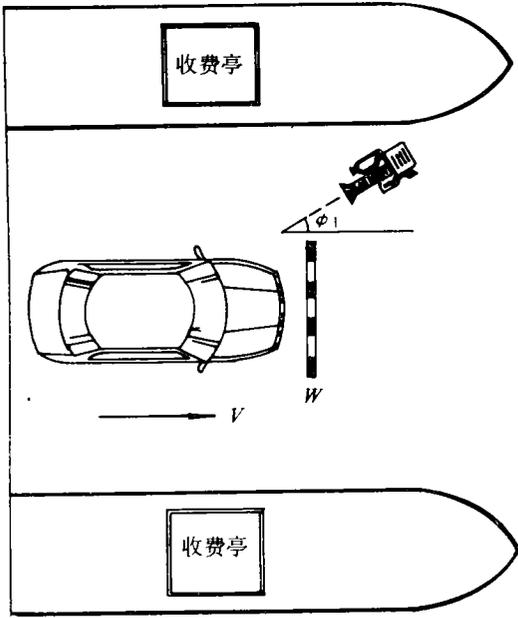


图 2

(或 Y_0) 开始取其对应的 Y (或 X) 值, 如同医学上 CT 断层扫描一样。然后将该组数据与数据库比较, 寻找其最接近的该车模型。

如果需修改判型标准, 只需修改各车辆数据模型的类型即可, 不用改动任何硬件设施。

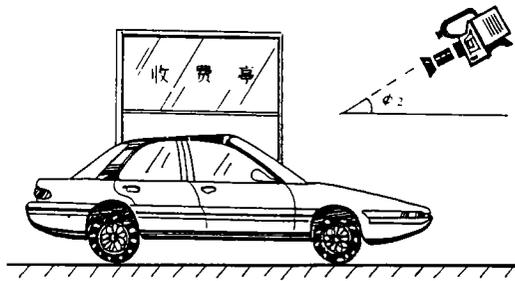


图 3

根据 $X_n - X_0$ 之值将可立即判定是否是最大或最小型车。若非最大、最小型, 则计算机将根据亮度信号的变化按“等高线”原理勾画该车辆的轮廓, 并经“滤波”处理截去反光镜、装载物、天线等影响。然后采用一个适当的采样间隔 ΔX (或 ΔY), 从 X_0

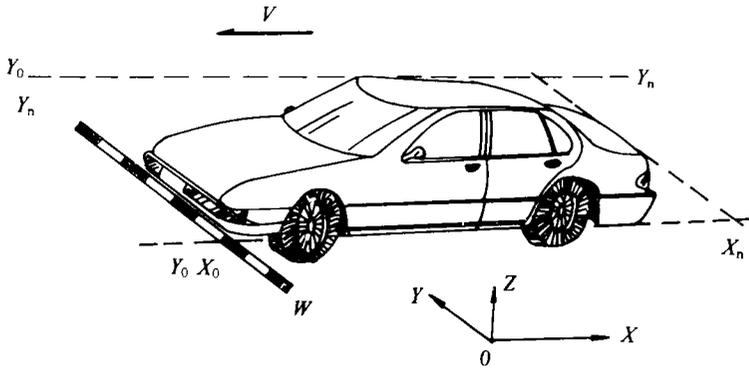


图 4

2.3.1 采样间隔 ΔX 的取值对判别精度及判别时间的影响

由于 Y 是 X 的多值函数, 因此对 $X_i = X_0 + i(\Delta X)$, Y 可能有多个值 Y_{i1}, Y_{i2}, \dots , 即某一车辆外形可用二维表构成, 见表 1。

表 1

X	Y_1	Y_2	Y_3	...	Y_k	i
X_0	Y_{01}	Y_{02}	Y_{03}		Y_{0k}	车辆类型
X_1	Y_{11}	Y_{12}	Y_{13}		Y_{1k}	
...	
X_n	Y_{n1}	Y_{n2}	Y_{n3}	...	Y_{nk}	

则该种车辆外形数据共有 nk 个, 其中 $n = \frac{X_n - X_0}{\Delta X}$, 而 k 则因不同车型而不同。全部车种 L 则有 L 张这样的表。显然 ΔX 越小 n 越大, 则描述该车形状的数据越细致; “分辨率”越高, 其判型分类精度越高, 判型分类时间越长。

对于开放式系统, 设在不停车收费车道应用, 则要求判别分类处理时间 $T \leq 3600/J$ (s)。

式中 J 为车道小时通行能力, 若 $J=1000$, 则 $T=3.6$ s, 为留有余地, 应取 $T \leq 1$ s。这个时间对于后判来说是足够的, 因为人工收费时单车处理时间一般要求 ≤ 8 s, 但对于人工收费的前判来说, 则显得太忙。

按 $T \leq 1$ s 的要求, 根据选用计算机的运算速度及软件分析判别的算法, 最终选用尽可能小的 ΔX , 以保证判别精度。

2.3.2 摄像机的安装视角对判别精度和判别时间的影响

对于 CCTV 系统来说, 分类判型精度主要受分辨率的影响: 设水平为逐行扫描, 除去帧逆程的有效行数为 X_H , 水平像素数为 H 点, 活动画面像素数为 HX_H 。当车长在水平方向上时有 $n \leq H, k \leq X_H$ 。设最长车型的车长域值为 X_M , 且车长与视窗 X 轴平行, 在视窗 X 方向上占 100% 幅度, 则车长的最大分辨精度为

$$\Delta X = \frac{X_M}{H \sin \phi_1}$$

由上式可见, 在规定的 X_M 及 CCTV 水平像素数 H 下, 为了提高车长分辨精度, 应使 ϕ_1 尽量接近直角。但 ϕ_1 还影响对车宽的判定精度, 因此应在二者之间权衡。

摄像机镜头轴线与车行方向 V 的夹角 ϕ_1 对车长、车宽分辨精度的影响可用下式表示

$$\Delta X + \Delta Y = \frac{X_M}{H \sin \phi_1} + \frac{W_M}{X_H \cos \phi_1}$$

对 ϕ_1 求导并令其等于 0

$$\frac{d(\Delta X + \Delta Y)}{d\phi_1} = \frac{-X_M \cos \phi_1}{H \sin^2 \phi_1} + \frac{W_M \sin \phi_2}{X_H \cos^2 \phi_1} = 0$$

则有

$$\operatorname{tg}^3 \phi_1 = \frac{X_M X_H}{W_M H}$$

当取 $\phi_1 = \arctg \left(\sqrt[3]{\frac{X_M X_H}{W_M H}} \right)$ 时, $(\Delta X + \Delta Y)$ 取极小值可兼顾车长、车宽分辨精度。

若设 $\frac{X_H}{H}$ (有效扫描行数 / 水平像素数) = $\frac{3}{4}$, $\frac{X_M}{W_M}$ (车长 / 车宽) = 2~4, 则 ϕ_1 在 48 度至 55 度之间。

ϕ_2 在实际应用中主要受安装高度影响。在可能时应尽量低一些, 使 ϕ_2 趋近于 0。为了计算车宽, 车高的分辨精度, 取极限情况, 即车宽及车高均在 Y 方向上。

设车宽为 W_M , 车高为 H_M , 则 Y 方向分辨率为

$$\Delta Y_{\min} = \frac{W_M}{\cos \phi_1} + \frac{H_M}{\cos \phi_2}$$

设 $X_M=7$ m, $H=750$, $\phi_1=50^\circ$, 则

$$\Delta X_{\min} = \frac{7 \times 100}{750 \sin 50^\circ} = 1.22 \text{cm}$$

设最小车长为 3.5m, 则 $n = \frac{350}{1.22} = 287$, 即可获得 287 组关于该车形状的数据, 而当车长

为7m时,则有574组数据,这足以用于描述该车形状了。

设 $W_M=3.5\text{m}$, $H_M=4\text{m}$, $\phi_1=\phi_2=50^\circ$, $X_H=500$, 则

$$\Delta Y = \frac{(3.5+4) \times 100}{500 \cos 50^\circ} = 2.4\text{cm}$$

设最小车宽为2m,最小车高为1.2m,其宽度、高度误差分别为1.2%和2%,这一结果是令人满意的。

实际运用中,对于每一个 X, Y 的数据值个数主要取决于车辆宽、高的形状变化,其最多个数 k 预计在10以内。因此数据库中的数据量为 Lnk 个,设 $L=3\ 000$, $n=574$, $k=10$, 则数据量为 $3\ 000 \times 574 \times 10 = 1\ 722$ 万个。计算机的任务就是在1秒钟之内,从3 000张表(每张有574行,每行有10列)中找出与预判车辆一致(或最接近)的那张表,从而确定该车车型。

采用此种方法,从理论上讲在相同车种数 L 之下,分型种类数 Z 不受限制,也不会影响系统性能。但考虑作为人工判型的后监督,应考虑人工判别时的难度,故 $Z \leq 4$ 为好。

2.4 环境对 CCTV 判型的影响

CCTV 是通过正摄取车辆图象进行识别的,因此,摄入符合要求的清晰图像是其实现的前提。在夜间等环境亮度不够时应辅以照明。此外,在气候极恶劣条件下,例如浓雾等,也将受到影响。但在恶劣天气条件下高速公路一般是关闭的,收费系统自然停止使用。而且随着我国经济建设的发展,电力供应必将大大改善。因此,应该说这些问题不应对 CCTV 判型系统的研究和发展有太大影响。

3 收费系统应为鉴别处理提供证据

后判型在统计上降低了系统的差错率,但不能保证为0。机器误差与人为作弊混在一起,对管理者来说关键在于鉴别,虽然可以从多方面对误差和作弊加以分析判断,但实施处理必须有充分的证据。

收费系统中可作为鉴别的证据要求实时、易于发现识别、具有法律依据。声音和图象完全可以满足以上要求,尤其是图象,不仅可以在前述 CCTV 判型系统中为管理者提供依据,在必要时,也可以从“应收多少”的角度为管理者提供足够的证据。

4 车道后判型的运行管理模式

以机场高速公路为例,从运行管理的角度出发,提出一个较完整的开放式收费运行管理模式供参考。

4.1 总体说明

本方案包括以下几个子系统:

- (1) 车道级 CCTV 监视,后判型监督检测子系统。
- (2) 中心-车道对讲指令/监听子系统。
- (3) 车道至中心计算机网络子系统。
- (4) 车型人工判别显示子系统。
- (5) 票据打印子系统。
- (6) 天棚信号标志子系统。
- (7) 出入口电动/自动栏杆子系统。

(8) 非现金支付不停车收费子系统。

系统应达到平均单车(次)处理 $\leq 8s$ 、通行费征收率 $\geq 99.9\%$ 。

4.2 收费车道自动后判别管理运行模式

综前所述,后判读管理模式的运行特点为“监督”型,因此,自动判别车型设备应设置于收费亭后(沿车行方向)适当的位置,也是车辆行驶规律、速度均匀的区段。为了描述收费车道的业务运行顺序,采用流程图说明一辆车收费处理过程(见图5)。

5 结论

路桥收费系统必须为管理者提供依据,为评价处理提供证据。对于现金支付车道采用人工判型、人工收费、计算机统计、机器后判型监督并提供与人工判型的分析对比报告是较适应的管理模式,其在实现中的技术关键是对车辆的正确分类判别。CCTV判型技术具有明显优势,较适于我国国情,应进行重点研究、开发并推广使用。

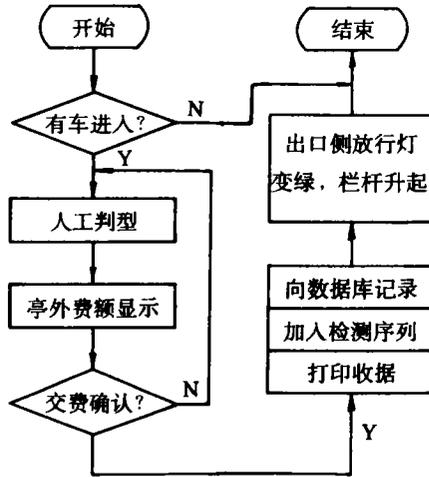


图5