

基于 RFID 的不停车收费系统研究

针对提高公路收费道口通行能力,减少公路收费道口车辆阻塞的目的,设计研发了基于 RFID 的不停车收费系统,采用了无线射频识别(RFID)、自动车辆识别(AVI)、自动车型分类(AVCS)、短程通信、逃费抓拍等技术,通过安装在车辆挡风玻璃上的电子标签与在收费站 ETC 车道上的微波天线之间的专用短程通讯,利用计算机联网技术与银行进行后台结算处理,从而达到车辆通过路桥收费站不需停车就能交纳费用的目的。通过乌昌高速公路收费站应用证明:ETC 车道通行能力比普通车道提高 4~6 倍,有效的提高了收费道口通行能力与收费效率。

ETC (ElectrONic Toll Collection) 不停车收费系统是目前世界上最先进的路桥收费方式。通过安装在车辆挡风玻璃上的车载电子标签与在收费站 ETC 车道上的微波天线之间的微波专用短程通讯,利用计算机联网技术与银行进行后台结算处理,从而达到车辆通过路桥收费站不需停车而能交纳路桥费的目的。ETC 是国际上正在努力开发并推广的一种用于公路、大桥和隧道的电子自动收费系统,该技术在外国已有较长的发展历史,美国、欧洲等许多国家和地区的电子收费系统已经局部联网并逐步形成规模效益。我国以 IC 卡、磁卡为介质,采用人工收费方式为主的公路联网收费方式无疑也受到这一潮流的影响。

不停车收费技术特别适于在高速公路或交通繁忙的桥隧环境下采用。在传统采用车道隔离措施下的不停车收费系统通常称为单车道不停车收费系统,在无车道隔离情况下自由交通流下的不停车收费系统通常称为自由流不停车收费系统。实施不停车收费,可以允许车辆高速通过(几十公里以至 100 多公里),故可大大提高公路的通行能力;公路收费走向电子化,可降低收费管理的成本,有利于提高车辆的营运效益;同时也可以大大降低收费口的噪声水平和废气排放。由于通行能力得到大幅度的提高,所以,可以缩小收费站的规模,节约基建费用和管理费用。另外,不停车收费系统对于城市来说,不仅仅是一项先进的收费技术,它还是一种通过经济杠杆进行交通流调节的切实有效的交通管理手段。对于交通繁忙的大桥、隧道,不停车收费系统可以避免月票制度和人工收费的众多弱点,有效提高这些市政设施的资金回收能力。

1 系统设计原理及构成

1.1 系统原理

1) 射频自动识别不停车收费系统不需要专门的收费员进行操作,它利用微波自动识别技术,完全通过设备本身来完成对通行车辆的收费工作[2]。

2) 存储有车型、车号、金额、有效期等信息的射频电子标签卡被安装在汽车前方挡风玻璃内侧的左下角。当持卡车辆进入不停车收费车道时,车辆感应器的“ENteR LOOP”线圈产生来车信号,激发射频自动识别读写器读取该车射频电子标签卡上的信息(车型、车号、剩余金额和有效期等),同时光栅、高度检测器和轴数检测器等车型差别设备,自动检测来车的实际车型。射频自动识别原理如图 1 所示。



图 1 射频自动识别原理

3) 从车载射频电子标签卡读取的信息, 以及车型判别设备所采集到的数据均被送到车道控制计算机内进行分析比较, 如电子卡中所记录的车型与设备所判别的车型一致、卡中车号不在黑名单内、应缴金额小于等于剩余金额、车辆通过时间在卡的有效期限范围内, 则该卡被认为是有效卡; 如前述 4 项比较中, 有一项不符合, 则该卡被认为是无效卡。

4) 如来车所持射频电子标签卡为有效卡, 则通行信号灯由红色变为绿色, 偏叉信号灯呈绿色直行标志, 自动栏杆抬起; 当来车驶离 EXIT LOOP 的检测范围后, 通行信号灯由绿色变为红色, 偏叉信号灯熄灭, 自动栏杆关闭。驶离 EXIT LOOP 的检测范围后, 通行信号灯由绿色变为红色, 偏叉信号灯熄灭, 自动栏杆关闭。

5) 如来车所持射频电子标签卡为无效卡, 则通行信号灯呈红色, 偏叉信号灯呈黄色左转通行标志, 自动栏杆关闭; 当来车左行驶离无卡车辆转向人工收费车道的车辆感应器的“ESC LOOP”线圈的检测范围后, 偏叉信号灯熄灭; 如来车没有转向人工收费道(有些场合不设此转向旁道), 而依然向前行驶, 当其抵达车辆感应器线圈“ENTER LOOP 的”检测范围时, 警铃报警, 将有收费员前来人工收费处理后, 人工放行。

6) 射频电子标签卡的销售和费用结算均在收费中心(即购卡中心)进行[3]。为适应不同用户的需要, 一般发行两种电子卡, 一种是预付费电子标签卡, 一种是信用式电子标签卡。

7) 预付费电子标签卡, 顾名思义是必须先付费后通行的电子卡, 该卡的发行面向整个社会。用户仅需直接到购卡中心购买存有一定金额的电子卡, 即可使用不停车收费车道。

在每次使用时, 系统将自动从电子卡中扣除该车的应缴金额。该电子卡可以重复使用, 当卡中剩余金额很少或没有时, 用户可以到购卡中心重新存入一定的金额到电子卡中, 以保证其继续有效。

8) 信用式电子标签卡, 是一种允许用户先通行后付款的电子卡, 该卡的发行对象主要是一些由银行信用卡为结算手段的用户, 或企业形象很好的国家机关和企事业单位, 费用结算采用银行托收的方式。系统原理及流程如图 2 所示。

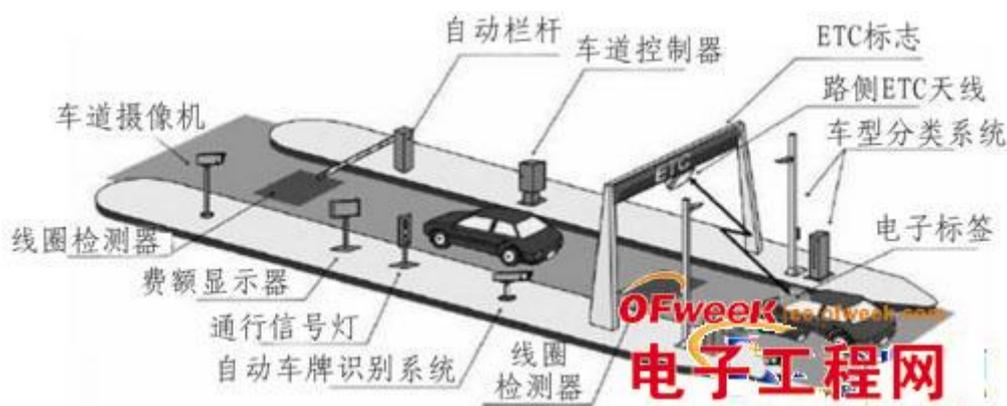


图 2 系统原理及流程

1.2 RFID 防碰撞算法

RFID 防碰撞算法对于提高车辆跟踪可靠性是关键技术, 本系统采用的为行链路多标签冲突检测算法[4], 此算法仅需在电子标签中配置 1 个 8 位寄存器、1 个 1 位“0”、“1”随机数产生器和 2 个 4 位加减 1 计数器以及少量选择电路就能实现多达 1 048 576 个标签的仲裁。仿真表明本算法产生的碰撞概率明显小于二进制数算法, 同时通过寄存器高位的灵活设置, 还能有效解决低标签密度时空传率高的问题, 从而进一步降低了碰撞概率。算法步骤:

1) 被动方标签中设计一个 4+4 位的寄存器(Re1)和 1 个“0”、“1”随机数产生器(RGI), 随机数产生器产生两组随机数, 分别加载到寄存器高位和低 4 位。其中高位加载的位数 M 可以动态设为 1、2、3 或 4。

2) 主动方读写器向所有处在等待态的标签发送初始化命令。标签因此进入仲裁态, 用 RGI 产生 4 比特随机数, 加载到 Re1 高 4 位 R7 R4, 低 4 位 R3 R0 全部清零。

3) 读写器等待一定时间后发送允许回传命令。

4) Re1 为全零的标签向读写器回传标签 ID。

5) 如果当前只有一个标签回传 ID, 读写器正确读取该 ID, 则发送确认命令, 附加命令参数“低位减 1”。回传了 ID 的标签接收到该命令后, 进入确认态, 其他高 4 位为零的标签 Re1 低 4 位减 1, 回到步骤 4) 重复操作。

6) 如果当前有多个标签回传 ID, 读写器通过 CRC 校验或码长校验, 检测到错误的 ID 号, 则发送确认命令, 附加命令参数“寄存器加 1”。接收到读写器这个命令后, 所有在仲裁态且 Re1 为全零的标签由 RGI 产生 1 比特随机数和寄存器上的数相加后重新载入到寄存器中; 其他仲裁态且 Re1 高 4 位为零而低 4 位不为零的标签 Re1 加 1, 回到步骤 4) 重复操作。

7) 如果当前没有标签回传 ID, 读写器等待一定时间后发送确认命令, 附加命令参数“低位减 1”。所有在仲裁态且高 4 位为零的标签 Re1 低 4 位减 1, 回到步骤 4) 重复操作。

8) 低 4 位减 1 操作重复 L 次(L 是一个系统参数, 由系统设定, 经验值为 4) 后, 读写器认为所有在仲裁态且寄存器高 4 位为零的标签都已经被正确读取, 则发送确认命令, 附加命令参数“高 4 位减 1”, 回到步骤 4)。

9) 标签接收到附加“高位减 1”参数的确认命令后, 所有 Re1 高 4 位不为零的标签高 4 位减 1, 回到步骤 4 重复操作; 在被要求高位减 1 前已为零的标签则回到等待态。

10) 重复 2M 次高位减 1 操作后, 读写器认为所有在仲裁态的标签都已经被读取, 则仲裁过程停止, 所有还处于仲裁态的标签返回等待态。

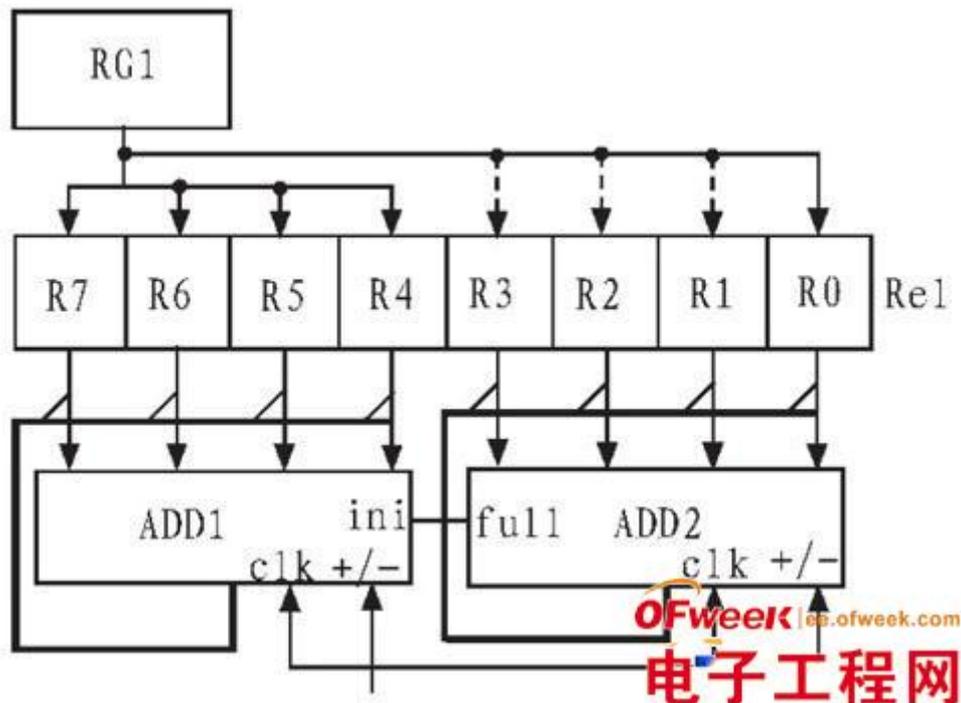


图 3 防撞算法实现电路

算法仿真：仿真结果如图 4 所示，可以看到当标签总数为 20 时，如果把高位寄存器的位数从 4 降到 1，则平均碰撞次数从 5.5 回落到 1.4。而当标签总数为 200 和 2 000 时，高位寄存器位数的改变对平均碰撞次数的影响不大。因此如果在某次仲裁中出现多次空传，读写器可以在下一次仲裁时指示标签改变寄存器高位个数，以此降低空传率，进而可以降低平均碰撞次数。

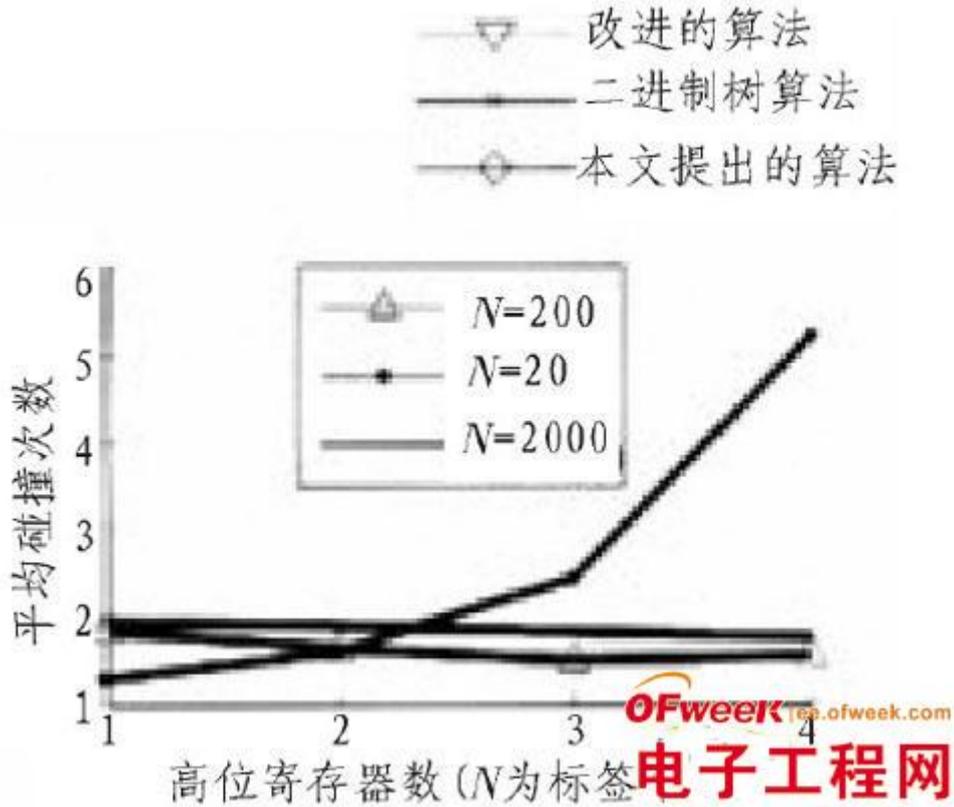


图 4 防撞算法仿真结果

2 系统构成及功能实现

射频自动识别不停车收费系统按其功能可分为自动识别控制子系统[5]、自动判断型子系统、数据采集子系统、车辆检测子系统、闭路电视子系统和信号控制子系统等。

1) 自动识别控制子系统主要由射频自动识别读写器、UHF 射频自动识别卡，微波天线、车道道闸控制机、收费员计算机终端等组成，它是整个不停车收费系统的核心，负责控制不停车收费车道所有设备的运行、收费业务操作的管理以及与收费站计算机的通信和数据交换。

2) 自动判断型子系统主要由光栅、高度检测器、轴数检测器等组成，它通过采集车辆的高度和轴数等参数，经综合分析比较来判别车辆的车型；该子系统至少可以判别 3 种以上车型。自动判断型子系统在有些场合可以由用户选择使用[6]。

3) 数据采集子系统主要由射频天线和射频电子标签卡构成。射频电子标签被安装在汽车挡风玻璃内侧的上方，在电子标签上写有标签编号、车号、车主、车型、应缴金额、剩余金额和有效期等信息；微波天线被安装在收费岛的前端，它通过微波技术从射频电子标签卡上读取有关信息，并同步传送给车道控制主机。

4) 闭路电视子系统主要由车道摄像机和收费站的监视器等组成。车道摄像机被安装在收费岛的前端，主要用于拍摄非法通过的违章车辆。

5) 信号控制子系统主要由通行信号灯、偏叉信号灯和自动栏杆等组成，用于提醒驾驶员正确使用不停车收费车道。

6) 车辆检测子系统主要由 3 组环形线圈组成。第一组环形线圈(ENTER LOOP)被安装在收费岛的入口处，用于激活天线读取电子标签的信息；第二组环形线圈(ESC LOOP)被安装在收费岛的中间出口处，用于控制通行信号灯和偏叉信号灯的状态；第三组环形线圈(EXIT LOOP)被安装在收费岛的出口端，用于统计车流量，并控制自动栏杆、通行信号灯和偏叉信号灯的工作状态。

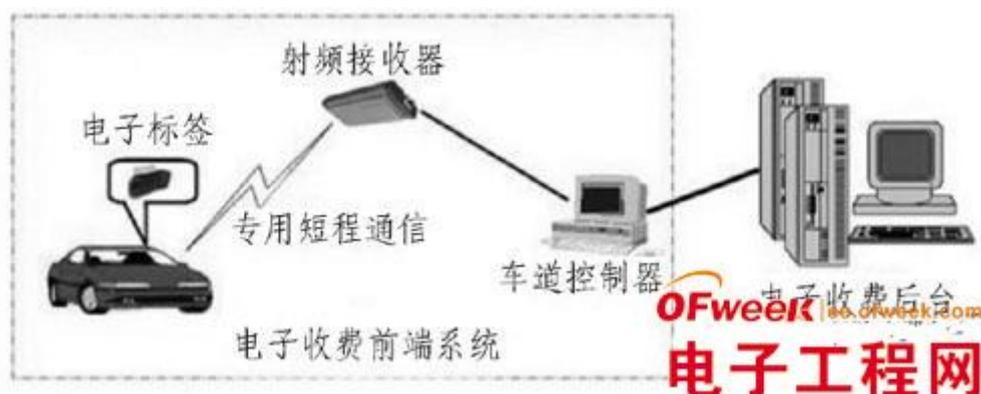


图 5 系统构成

3 结束语

随着我国公路事业的发展和不停车收费系统的开发应用，也会随着增长的交通需求，相信不停车收费系统一定会被国家、被企业、被消费者广泛关注和接受。