

ETC 门架测试方案及对比分析

度纬科技 Application Notes-004-V1.0

<http://www.doewe.com>

一、引言

ETC 门架系统是取消省界收费站、实现电子不停车收费的重要设施，具备对通行车辆进行多路径识别、自动计费等功能，提升高速公路路网运行状态概况感知的全覆盖，因为依托门架数据，可以准确获取到行车时间流量、车速，包括路网整体的运行状况。

这种技术可以为驾驶者和收费站的工作人员提供非常大的便利，实现自动收费，同时还可以节省收费的时间。ETC 门架系统具备通行车辆分段计费、流量调查、视频监控、超速筛查等功能，汽车经过门架之后，门架上安装的监控系统会自动识别汽车，同时实现计费。

随着 ETC 应用的发展，提高 ETC 服务质量、减少故障率成为了突出的问题。使安装在车辆挡风玻璃上的车载电子标签（OBU）与在车道 ETC 门架系统通讯的可靠性尤其重要。其中车载单元（OBU）和路测单元（RSU）的协议一致性是 ETC 系统运行的根本，包括核心物理层指标、可靠性和通信流程完整性（协议一致性）等。对 ETC 门架依据《GB/T 20851-2019》、《JTG 2182-2020》和《JTG 3520-2021》进行测试不仅能够保证相关设备的标准符合性，更能保证门架系统日常使用中的稳定性及可靠性，为 ETC 的应用和发展奠定基础。

二、测试标准概述

本方案主要测试内容为《JTG 2182-2020 公路工程质量检验评定标准 第二册 机电工程》标准中 6.4 ETC 门架系统中表 6.4.2 ETC 门架系统实测项目中的第 20-25 项进行测试

试，包括通信区域、RSU 工作信号强度、RSU 工作频率、RSU 占用带宽、RSU 前导码、RSU 通信流程。具体内容如下图：

20	通信区域	区域应满足车辆通行正确交易的需求	OBU 测试
21	RSU 工作信号强度	不低于 OBU、CPC 卡接收灵敏度，或应满足 ETC 车辆和 CPC 卡车辆通行时的数据交互要求	在 ETC 门架系统通信区域内自动采集 RSU 工作信号，测试 RSU 工作信号强度
22△	RSU 工作频率	信道 1：5.830GHz 信道 2：5.840GHz	在 ETC 门架系统通信区域内自动采集 RSU 工作信号，测试 RSU 工作频率
23△	RSU 占用带宽	≤5MHz	在 ETC 门架系统通信区域内自动采集 RSU 工作信号，测试 RSU 工作信号占用带宽
24	RSU 前导码	16 位“1”加 16 位“0”	在 ETC 门架系统通信区域内自动采集 RSU 工作信号，测试 RSU 工作信号前导码
25△	RSU 通信流程	符合最新规定的 RSU 与 OBU、RSU 与 CPC 卡的 DSRC 通信流程	在 ETC 门架系统通信区域内自动采集 RSU 工作信号，测试 RSU 工作信号通信流程

图1 ETC 门架系统实测项目表（节选图）

具体测试方法主要参照《GB/T 20851-2019 电子收费 专用短程通信》和《JTG 3520-2021 公路机电工程测试规程》

三、ETC 门架测试方案对比

3.1 基于暂停测试路段通行的实时测试方案

3.1.1 方案概述

基于暂停测试路段通行的实时测试方案为目前公路交通行业常用测试方案，此方案首先需要暂停测试路段（约被测车道 ETC 门架前后数十米距离）的车辆通行，并且在测试特定测试项目时，需要调整 RSU 处于对应测试状态，实时使用测试设备进行测试，同时需要进行测试结果记录等工作。

3.1.2 所用设备

此方案一般需要使用手持频谱仪+全向天线。要求两者频率范围至少覆盖 ETC 通信频率，并且需要已知天线相关参数（天线 K 因子、线缆损耗和天线增益）。

3.1.3 测试流程

- 通信区域（OBU 测试）：

- 1) 被测 RSU 设置为连续发射工作信号状态
- 2) 在测试线的车道中轴线位置，保持 OBU 距离水平地面 1.2m 高度处，由车道中轴线位置先后分别向车道两边缘缓慢移动 OBU，查找 RSU 发射信号无法与 OBU 通信的边界点，用卷尺分别测量两侧边界点至车道中轴线的距离并记录。

- 通信区域（场强测试）：

- 1) 被测 RSU 设置为连续发射载波信号状态，无法设置发射载波信号时，可设置为连续发射工作信号状态
- 2) 在测试线的车道中轴线位置，保持测试天线距离水平地面 1.2m 高度处，由车道中轴线位置先后分别向车道两边缘缓慢移动测试天线，测量 RSU 发射信号场强，查找场强降低至规定最小值（113dB μ V/m）的边界点，用卷尺分别测量两侧边界点至车道中轴线的距离并记录。

- RSU 工作信号强度：

- 1) 根据测试要求，将测试天线放置于 RSU 通信区域内的测试位置，开始测试。
- 2) 调整频谱分析仪功率幅度标尺至合适值，测量范围应覆盖被测信号。
- 3) 设置扫频宽度为 5MHz，测试信道功率，读取测试值并记录。

注意：测试时应确保读取通信区域内最大信道功率。被测 RSU 可采用工作信号作为被测信号。

- RSU 工作频率：

- 1) 将测试天线放置于 RSU 通信区域内的测试位置，开始测试。

- 2) 设置扫频宽度为 5MHz，读取信号主纵模峰值处频率值并记录。

注意：被测 RSU 最好采用发射持续载波信号状态，条件不允许时也可采用工作信号作为被测信号。

- RSU 占用带宽：

- 1) 将测试天线放置于 RSU 通信区域内的测试位置，开始测试。

- 2) 设置扫频宽度为 30MHz，测量功率比例为 99%，读取占用带宽结果数值。

注意：被测 RSU 采用发射持续工作信号状态。

- RSU 前导码：

- 1) 将测试天线放置于 RSU 通信区域内的测试位置，开始测试。

- 2) 设置扫频宽度为 0，切换为时域模式，观察信号包络，判断前导码。

注意：被测 RSU 采用发射持续工作信号状态。

- RSU 通信流程：

- 1) 将测试天线放置于 RSU 通信区域内的测试位置，开始测试。

- 2) 设置频谱分析仪为记录模式，扫频宽度应大于 5MHz，使用解调模式输出解调后的编码信号，开始测试。

- 3) 将正常交易的车载单元（OBU）放入通信区域的测试位置和 RSU 进行交互。

- 4) 将存储的编码信号解码为信息源码并记录输出结果。

注意：以输出的信息源码是否符合电子收费专用短程通信应用层服务原语的数据结

构作为测试结果。应用层服务原语包括 BST、GetSecure.request、TransferChannel.request、SetMMI.request、Event_Report 等。

3.1.4 测试方案弊端

- 测试过程复杂，对测试人员要求较高；
- 长时间占用车道，存在堵塞交通风险；
- 信息源码解读难度大，测试人员识别服务原语极其困难。

3.2 基于分析录制 IQ 文件的便捷测试方案

3.2.1 方案概述

录制 IQ 文件的便捷测试方案是一种基于对频谱仪或射频记录仪录制的 IQ 文件进行处理分析和解析的便捷测试方案，该方案最大程度上提高了 ETC 门架测试的效率，极大的简化了测试的复杂程度，并且降低了暂停车道可能导致堵塞的风险。

3.2.2 所用设备

此方案所需设备有两种组合：

- 1) 频谱仪（支持 IQ 录制功能，带宽至少 5MHz，录制时间不小于 15s）+全向天线+ETC 交易过程分析软件 ProEye
- 2) 射频记录仪+全向天线+ETC 交易过程分析软件 ProEye

3.2.3 测试流程简述

- 通信区域（场强测试）：

- 1) 被测 RSU 设置为连续发射载波信号状态, 无法设置发射载波信号时, 可设置为连续发射工作信号状态
 - 2) 在测试线的车道中轴线位置, 保持测试天线距离水平地面 1.2m 高度处, 由车道中轴线位置先后分别向车道两边缘缓慢移动测试天线, 测量 RSU 发射信号场强, 查找场强降低至规定最小值 (113dB μ V/m) 的边界点, 用卷尺分别测量两侧边界点至车道中轴线的距离并记录。
- RSU 工作信号强度/RSU 工作频率/RSU 占用带宽/RSU 前导码/RSU 通信流程:
 - 1) 将可与被测 RSU 正常通信的 OBU 安装在测试车挡风玻璃上; 并将测试天线放置于测试车内挡风玻璃旁, 确保天线可接收到下行信号。
 - 2) 测试车辆正常驶过被测 ETC 门架相应车道, 测试车辆进入 ETC 交易区域前打开频谱仪或射频记录仪的 IQ 记录功能, 待交易完成后停止记录。
 - 3) 打开 **ETC 交易过程分析软件 ProEye**, 导入录制的 IQ 文件, 分析 RSU 工作信号强度、工作频率、占用带宽、前导码及通信流程。

3.2.4 测试方案优势

- 极大地简化测试过程复杂程度, 避免实时测试不慎造成的误差;
- 核心软件一键测试结果, 降低测试人员要求;
- 避免长时间占用车道, 降低堵塞交通风险;
- 精确解析查找信息源码, 解决应用层服务原语极难解析的核心困难。
- 支持数据截图保存, 便于数据存储分析;

四、核心测试软件-ETC 交易过程分析软件 ProEye

4.1 软件概述

ETC 交易过程分析软件 ProEye 是一款分析 ETC 系统通信流程（协议一致性）的专业测试软件。主要是对已录制的包含 ETC 射频交互过程的 IQ 文件进行分析。支持常用的 IQ 文件格式；支持解析射频指标、应用层及设备应用层的关键交互语句和特征数据。射频指标包括信号强度、载波频率、频率容限、调制系数、占用带宽等指标；应用层及设备应用层解析可自动搜索关键交互语句，例如前导码、BST、VST、SetMMI.rs、SetMMI.rq 等信息。以此来判断 ETC 系统的通信流程是否正常。支持提供 C#的 API，供二次开发使用。

4.2 软件结构框图

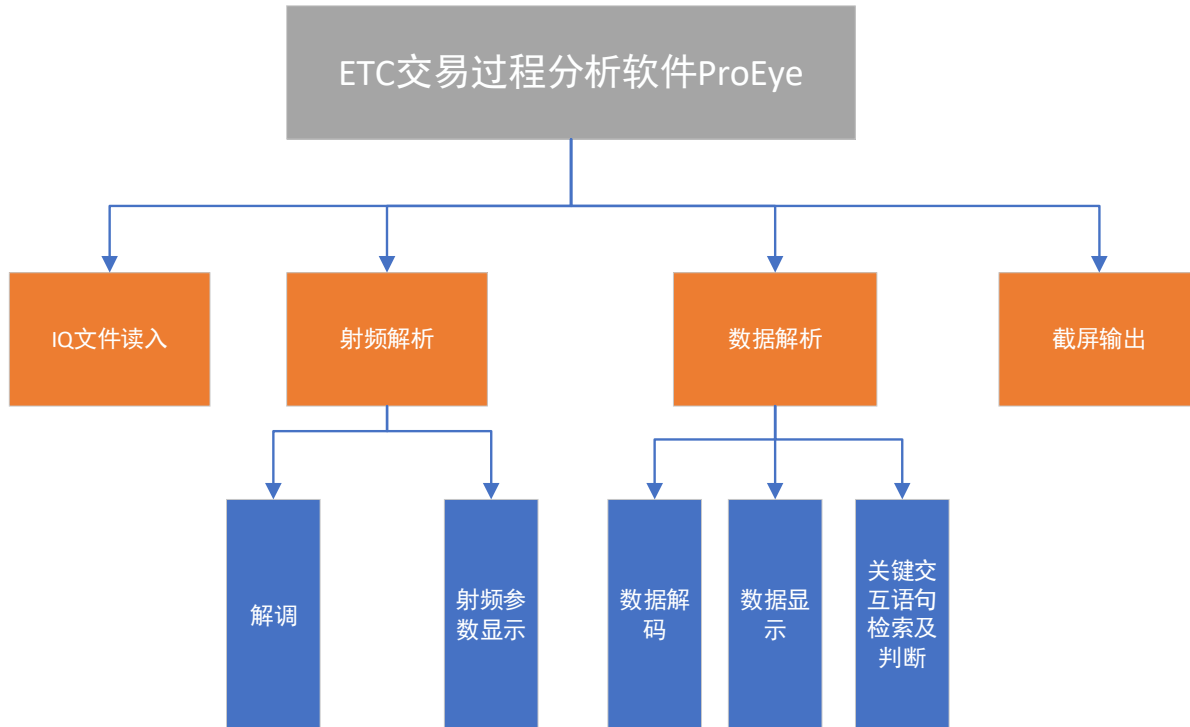


图2 软件结构框图

4.3 软件界面示意图

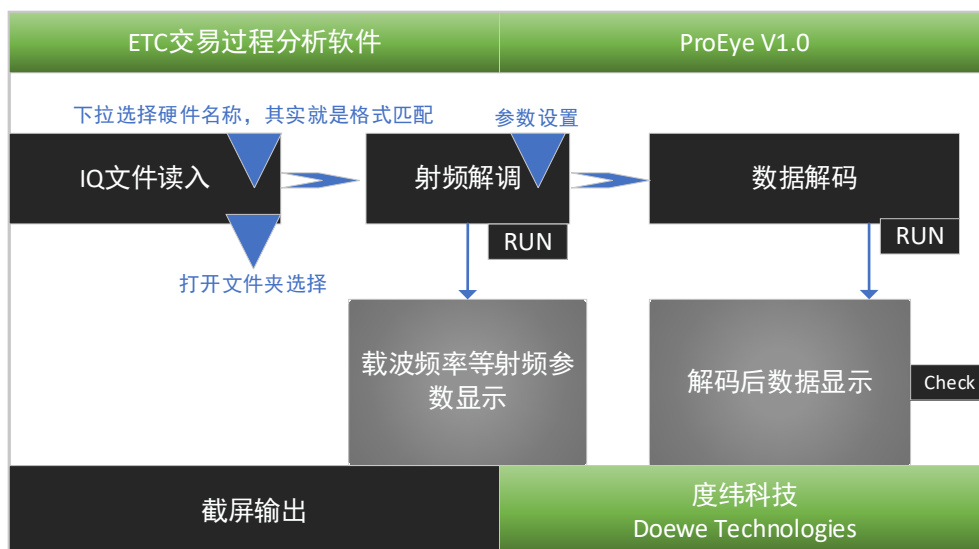


图3 软件主界面示意图

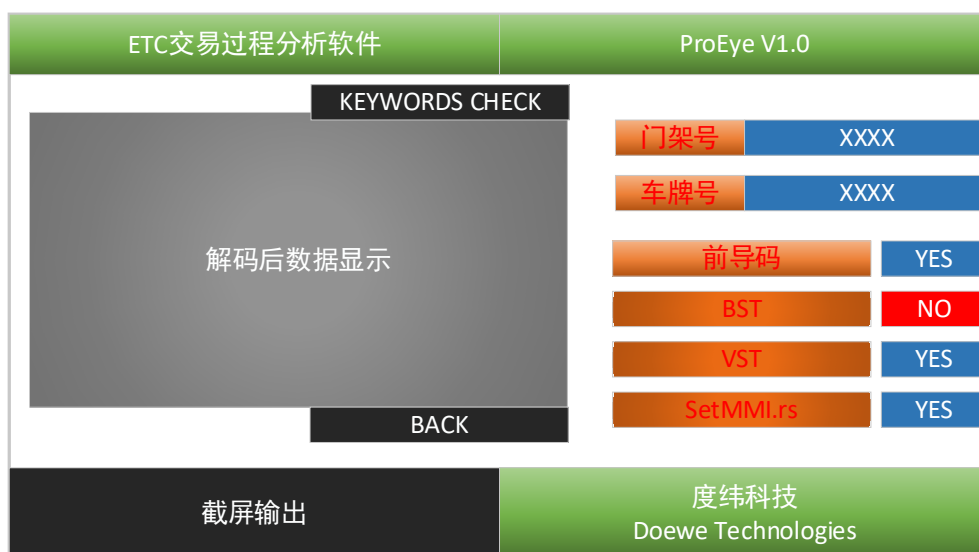


图4 数据解析子界面示意图