

高速运动场景射频识别性能测试的方法

上海聚星仪器有限公司

摘要：介绍了高速运动场景下射频识别信号传输时变特性的挑战，介绍了射频识别标签对这样时变场强响应性能的测试方法。这些方法免除了原始运动模拟的不可靠性和复杂性。同时也给出了仪器解决方案实例。

1 前言

射频识别(RFID)作为物联网感知设备，被广泛应用于物流、交通、电子支付、安全鉴别等领域。其中很多应用需要在高速运动中对标签进行读写，例如ETC电子收费系统、电子车牌、列车电子标签。这些系统都需要贴装射频识别标签的车辆、列车在运动中和读写器应答。读写器-标签系统对速度适应范围越大，对交通影响越小，使用越方便，应用价值越大。

然而在高速运动中，RFID读写器和标签之间的通信信道在动态变化，导致标签接收到的单个指令信号就带有这种变化产生的信号畸变。如何评估标签在高速运动情况下的响应能力，是标签性能评估的重要内容。

有实验室采用实物模拟的方法，架起一个直线导轨，把标签放在导轨上的小车里，快速拉动小车，模拟快速移动的场景。这个方法比较简单，但是显然不能模拟全速运行车辆的速度，也难以控制周边物体对射频反射

产生的不可控因素。

本文根据ISO 18046-3等相关国际标准和作者在通信测量的经验介绍了两种较先进的测试方法。

2 最大场强变化率测试

这个方法在ISO 18046-3标准里面8.9和8.10章节描述，测试的基本设想是，标签和读写器距离变化的时候空气中的传输损耗也发生变化。也就是说，距离缩短信号加强，距离拉远信号减弱。那么标签相对读写器运动速度就决定了信号强度的变化率。

用自由空间射频传输场强公式计算：

$$E = \frac{\sqrt{P * G_{Tx}}}{R} * 5.477 \tag{1}$$

式中： P 是发射功率，单位为W； G 是发生天线增益； R 是发生天线到标签距离，单位为m。

假设 R 以速度 V 变化，则：

$$dE = -\sqrt{P * G_{Tx}} * 5.477 R^{-2} V dt \tag{2}$$

假设发射功率2 W，天线增益为6 dBi，当标签-读写器距离5 m，在相对速度150 km/h的时候，功率变化率达到-25.76 V/m/s。变化率是负数，表示远离的运动导致场强下降，接近运动使场强升高。

根据公式计算，在距离2 m、5 m、10 m，相对速度10 km/h、50 km/h、100 km/h、150 km/h、250 km/h、500 km/h的场强变化率如表1所示。

表1 场强变化率和距离速度的对应关系

距离/m	场强(V/m)	10 km/h	50 km/h	100 km/h	150 km/h	250 km/h	500 km/h
		场强变化率(V/(m * s))					
2	7.73	-10.73	-53.66	-107.32	-160.99	-268.31	-536.62
5	3.09	-1.72	-8.59	-17.17	-25.76	-42.93	-85.86
10	1.55	-0.43	-2.15	-4.29	-6.44	-10.73	-21.46

更简单的评估是直接计算不同距离的场强。根据表2和表3所示，车辆在250 km/h速度下只要43 ms就可以从

5 m接近到2 m，期间场强从3 V/m增强到了7.7 V/m。

表2 发射功率2 W天线增益6 dBi条件下
距离和场强关系

距离/m	1	2	5	10	20	50
场强(V/m)	15.45	7.73	3.09	1.55	0.77	0.31

表3 速度km/h和m/s对照

速度 (km/h)	10	50	100	150	250	500
速度 (m/s)	2.8	13.9	27.8	41.7	69.4	138.9

对于目前常用的EPC UHF C1G2 (等同于ISO18000-6C) 标准, 识读应答时间典型在3 ms以内。根据表1和表2推算, 当标签-读写器距离2 m, 速度250 km/h接近时, 场强变化在10%左右。然而, 这是时间最短的应答之一。随着指令周期长度增加, 标签对速度的适应性就容易变差。当识别系统需要安全鉴权或将收费或路径信息写入标签时, 应答时间会显著增加, 这种效应会更显著。

本测试方法就是在射频暗室环境下制造这样的功率迅速变化条件, 测试标签应答性能的方案。

测试通常在暗室中进行, 测试仪和被测标签在标准测试距离上, 先测量灵敏度场强。然后在灵敏度场强之上3~9 dB之间进行功率三角波扫描。标签正常响应的最高三角波变化率就是测量结果。ISO18046称为最大衰落率Max fade rate V/(m·s), 如图1所示。

$$\text{Fade rate } (V/(m \cdot s)) = \frac{\Delta E}{T/2} \quad (3)$$

式中: ΔE 是场强最大-最小差, 单位为V/m, T 是三角波周期, 单位为s。

这个测试需要在RFID系统工作波段的多个频率测量, 然后取其最小值作为标签性能指标。

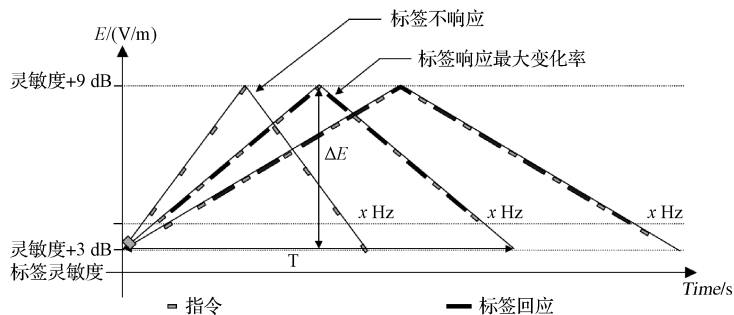


图1 最大场强变化率测试

由于识别、写入指令不一样, 受场强变化影响也不一样, 所以这个测试要在识别和写入2个模式测试, 得到2个测试项的指标。

3 功率传递函数模拟测试

功率变化率测试, 标签在多快场强变化下可以正常应答, 是已知的; 但是并没有说明, 它在多快车速下可以正常工作。原因在于, 标签-读写器天线相对位置夹角、距离和车速同时影响了场强变化率。其中, 由于天线方向图特性和车辆经过阅读器过程中相对夹角的变化, 导致标签接收到的功率变化不是线性的。所以, 有功率传递函数模拟测试方法。

这个方法来源于欧洲高速铁路信标标准。铁路信标是一种特殊的有源射频识别系统。列车车头和车尾各有一个信标阅读器, 当列车通过布设在铁轨中间的信标时, 天线读取信标信号, 从而对列车进行定位。

列车-信标的相对速度可以从0 km/h变化到400多km/h。欧洲标准UNISIG 085子集规定了实验室模拟的步骤。

首先测量在运动经过的标签-阅读器相对轨迹点各个位置上空间传递函数, 以及场强对位移的曲线。在模拟测试的时候, 将此曲线加载到信标信号幅度上, 曲线加载的数据点可以根据测试模拟的列车速度计算。车速快曲线播放就快, 反之就慢。这样通过应答信号模拟器的动态幅度调制, 避免了实物相对运动, 从而可以模拟任何可能的列车速度, 而实际上实验设备没有运动。

如图2所示, 系统测量或计算出不同相对位移位置下阅读器信号到达标签的场强, 测试中根据需要模拟的速度制定位移-时间直线。图中蓝色曲线就是模拟的场强-位移关系, 绿色和红色直线段表示较慢和较快速度的位移-时间对应关系。将场强-位移通过位移-时间映射, 就得到时间-场强曲线, 如图2中右侧2根曲线。这个曲线加载到阅读器发射功率包络, 就模拟了不同速度下标签经过阅读器的信号。这个时间-场强曲线就是一个时变功率传递函数。这个函数加载到RFID测试仪器发射端, 就构成了功率传递函数模拟测试。

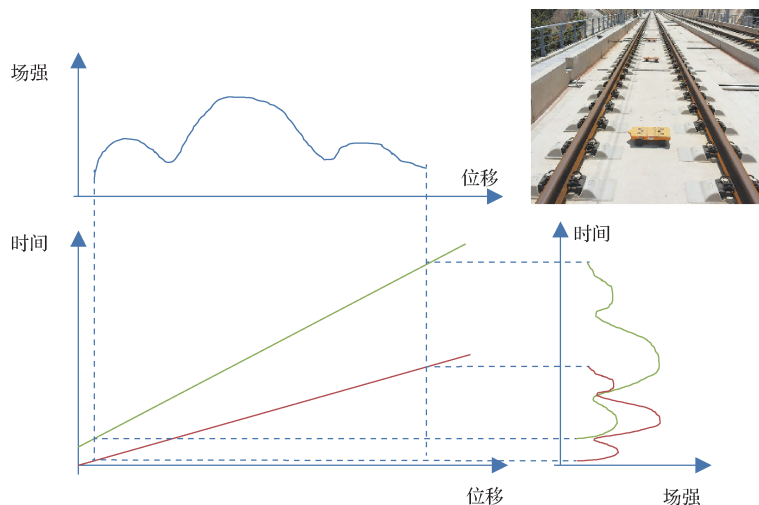


图2 铁路信标动态信号测试原理

用这种方法，可以通过软件设置模拟任何可能的甚至不可能的相对速度场景。

测试可以设定各种相对速度，在不同载波频率和应答指令下，测试正常识别或写入的最大相对速度。

4 测试系统实现

配合上述方法的测试系统除了常见射频仪器要求以外，还必需具备信令交互、协议和性能测试、高速时变模拟功能。如图3所示，背景是一套聚星仪器的RFID性能测试系统。仪器系统采用软件无线电架构，在底层FPGA上面实现了协议状态机、信令编码解码、信令调制解调，和信号包络调理。这些模块受上位机协议测量分析模块控制，并且将信令和波形汇报给上位机测量分析模块。所以不论ISO还是UNISIG的波形包络都可以加载到信号上面，实现高速时变信号模拟。

聚星仪器的RFID测试仪基于高精度射频仪器平台构成，完全满足国家和国际可溯源计量要求，避免了采用传统仪器配合自制仿真器进行测试的方式，

在测试项目的覆盖程度和性能精度上都能够达到更好的水准。同时，软件无线电构架也为测试系统提供了良好的扩展能力，可以快速适应RFID国际标准以及国家、地方、行业标准的变化。基于FPGA的基带平台具有卓越的实

时性能和可扩展性，以满足不断演进的RFID协议，灵活的射频层提供了高频、超高频以及微波频率接口。

系统中聚星仪器还提供了射频暗箱，给标签-天线应答提供了不受干扰的模拟自由空间的条件。

5 结论

高速运动场景下RFID标签性能的测试，可以通过模拟运动时变信道情况实现。ISO标准和UNISIG标准分别针对800/900 MHz超高频标签和铁路信标给予了测试方法。这些方法都使得可以不用运动部件而模拟实际标签接收到信号的动态过程，从而评估标签在高速场景下的性能。

聚星仪器的RFID测试仪提供了数字基带的包络加载调理功能，使得这些测试能够精确实施。



图3 测试系统原理示意

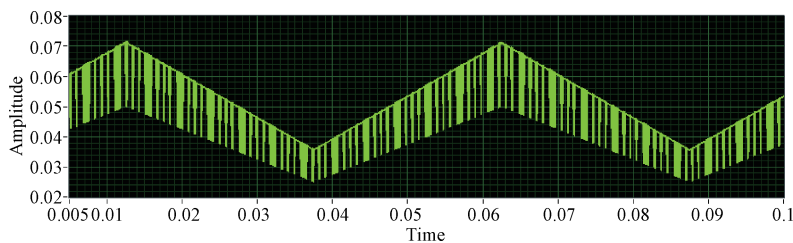


图4 三角波包络的测试信号