

超高频 RFID 标签一致性测试方法研究

娄慧儒, 林强*, 鄢若韞, 罗艳, 刘一漩, 马宁, 李志敏, 王隆
(中国物品编码中心, 北京 100011)

摘要: **目的** 确保物品包装上的超高频射频识别 (Radio Frequency Identification, RFID) 标签一致性关键指标符合相关标准, 解决现有文献对一致性关键指标阐述不全面的问题, 基于 ISO/IEC 18000-63 和 ISO/IEC 18047-63 对一致性关键指标的测试方法展开研究。**方法** 在对现有一致性测试方法进行研究阐述的基础上, 改进了状态跳转和截断响应的测试方法, 提升了测试准确性; 设计了一种时隙计数器测试方法, 该方法通过改变 Q 值和重复发送 QueryRep 命令, 验证时隙计数器在非 0 到 0 的变化过程中, 标签有且仅有一次响应, 从而避免出现多个标签同时应答的现象。**结果** 应用改进及新设计的测试方法对指定标签进行测试, 结果符合标准。**结论** 较为全面地实现了对 RFID 标签的客观验证和有效评估, 对提升 RFID 标签在实际应用中的可靠性具有重要意义。

关键词: 射频识别; 一致性测试; RFID 标签; 测试系统

中图分类号: TB487

文献标志码: A

文章编号: 1001-3563(2025)07-0190-09

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2025.07.023

Conformance Testing Methods for UHF RFID Tags

LOU Huiru, LIN Qiang*, YAN Ruoyun, LUO Yan, LIU Yixuan, MA Ning, LI Zhimin, WANG Long

(Article Numbering Center of China, Beijing 100011, China)

ABSTRACT: To ensure that the key indicators for conformance of the UHF RFID tags on the packaging of items comply with relevant standards and address the issue of incomplete description of key indicators in existing literature, the work aims to study the testing methods of the key indicators for conformance based on ISO/IEC 18000-63 and ISO/IEC 18047-63. Based on the research and explanation of existing conformance testing methods, the testing methods for state transition and truncated response were improved, enhancing the accuracy of testing. A testing method for slot counter was designed, which verified that the slot counter responded only once during the non-zero to zero change process by changing the Q value and repeatedly sending the QueryRep command, thus avoiding the phenomenon of multiple tags responding simultaneously. By the improved testing method, the designated tags were tested and the test results met the standards. This study achieves more comprehensive objective verification and effective evaluation of RFID tags, which is of great significance for improving the reliability of RFID tags in practical applications.

KEY WORDS: radio frequency identification; conformance testing; RFID tags; testing system

随着物联网技术^[1]的快速发展, 数字化和自动化已成为社会各领域的重要发展趋势。超高频射频识别 (Radio Frequency Identification, RFID) 技术作为实现物联网技术应用的关键组成部分, 在社会发展中扮演着至关重要的角色。

由于 RFID 技术具有非接触识别、读写速度快、大批量读取和信息存储容量大等独特优势^[2], 在现今信息时代的诸多领域已经得到广泛的应用。如在零售、物流与供应链管理^[3]及医疗^[4]等领域的相关商品包装或货物包装箱中嵌入 RFID 标签, 实现了对商品、

收稿日期: 2024-10-23

*通信作者

货物和药品等更加便捷高效的快速盘点和追溯。为确保 RFID 标签的研发设计遵循标准规定, 在全球实现统一标识和透明追溯, 在各个行业更好地发挥其作用, 需对物品包装上的 RFID 标签进行一致性测试, 判断 RFID 标签的关键指标是否满足相关标准要求。赵家胤等^[5]针对物流企业对仓储管理的需求, 基于 NI PXIe 平台对标签射频与协议一致性测试进行了分析和验证。张旭等^[6]对电子耳标的一致性测试系统进行了研究, 有效地确保了电子耳标在畜牧业中的正常、可靠使用。王攀藻^[7]提出了一种 RFID 射频一致性仿真分析方法, 能满足酒店业对物联网设备的使用需求。房明^[8]基于高性能微波频谱分析仪, 开发了基于进阶精简指令集机器 (Advanced RISC Machine, ARM) 核心的专用集成电路 (Application Specific Integrated Circuit, ASIC) 芯片的超高频射频识别 (Ultra High Frequency Radio Frequency Identification, UHF RFID) 标签协议一致性测试系统, 兼顾仪器小型化、实用化、可扩展、自动化等需求。朱磊基等^[9]设计并搭建了射频识别标准一致性测试平台系统, 可完成标签频率范围、解调性能、占空比、前导码、链接时间和状态机等指标的符合性测试。吕凌^[10]对工作于 860~960 MHz 频段的 RFID 读写器和标签的协议一致性测试基本参数、指标要求及测试方法进行了解读和测试, 但缺少对链接时间参数、状态跳转、截断响应和时隙计数器的原理分析和测试方法研究, 这些测试指标的理解错误, 容易导致 RFID 标签无法在实际应用中更好地发挥自身功能。及时检测 RFID 标签设计和开发的正确性和完整性, 能有效提升 RFID 标签在实际应用中的准确率, 帮助企业节省人工成本和提高工人工作效率。

目前, 市面上的 RFID 标签最常用的频段有低频 (125、135 kHz)、高频 (13.56 MHz) 和超高频 (860~960 MHz) 3 个频段。其中, 超高频射频识别技术在物流和供应链领域的应用尤为突出。为确保物品包装上的超高频 RFID 标签的一致性关键指标符合相关标准, 并解决现有一致性测试方法研究相关文献对关键指标阐述不全面的问题, 本研究通过对一致性关键指标原理进行深度分析, 参照 ISO/IEC 18000-63^[11]和 ISO/IEC 18047-63^[12]规范, 对超高频射频识别标签 (简称“RFID 标签”) 一致性测试方法进行了重点研究, 旨在为该领域的测试人员提供参考。

1 RFID 标签测试系统组成

RFID 标签一致性测试系统由软件和硬件 2 部分组成, 硬件包括 RFID 测试仪、天线、衰减器、环形器等, RFID 测试系统软件包括自动化测试软件、一致性分析软件, RFID 一致性测试系统组成如图 1 所示。

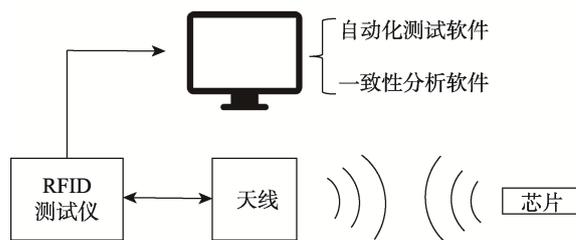


图 1 RFID 标签一致性测试系统组成示意图
Fig.1 Schematic diagram for composition of FRID tag conformance testing system

被测标签: 由标签芯片和标签天线 2 部分封装形成, 芯片内部含有硅芯片、模拟电路、电源电路、振荡器、调制器和存储器等。标签天线是协助芯片发挥作用的重要器件, 早期的标签天线由蚀刻铜的工艺制成, 目前主流的标签天线使用铝工艺制得。

RFID 测试仪: 用来实现 RFID 标签的一致性测试。依照超高频标准中规定的物理层和协议层检测项目、检测参数和检测方法进行物理层参数和协议层参数的检测。其主要优势有: 精度高、快速且易于使用、可实现用户自定义测试序列的 GUI 和 API 函数, 支持 EPC、ISO 等测试标准。

天线: 用于发射和接收射频信号, 以实现读写器和标签之间的通信连接。天线通过 SMA 接口、同轴电缆与读写器相连, 为发挥最佳性能, 需根据具体应用场景合理设计频率特性、方向图和极化特性等。

自动化测试软件: 自动化测试软件可完成测试过程中的数据采集、数据处理及数据传输工作, 将测试结果保存到本地用于分析显示, 最终生成测试报告。自动化测试软件在提高测试工作准确性的同时, 极大地提升了测试效率。

一致性分析软件: 一致性分析软件通过 GUI 控制界面完成与用户的交互, 用户可通过 GUI 界面完成对标签信号的分析以及在应用程序菜单中设置命令顺序和详细的命令设置。例如, 如果接收到的标签响应信号质量很差, 那么在分析链路时间、链路频率或占空比的测量时可能会失败, 此时即可通过在一致性分析软件中调整发射功率、参考电平等参数, 提高信号质量。

2 RFID 标签一致性测试指标原理分析

超高频 RFID 标签一致性测试方法研究符合 ISO/IEC 18000-63 (EPCglobal UHF Class1 Gen2^[13]) 协议和 2023 年发布的测试规范 ISO/IEC 18047-63 (EPCglobal UHF Class1 Gen2^[14])。一致性关键指标有频率范围、解调能力、占空比、前导码、链接频率容限和偏差、链接时间 T_1 、链接时间 T_2 、链接时间 T_3 、状态跳转、截断响应、时隙计数器等。各测试指标的参数设置见表 1。

表 1 测试参数设置
Tab.1 Setting of test parameters

测试项	载波频率/MHz	调制类型	调制深度	D_R	M	e_{TR}	$T_{ari}/\mu s$	$W_p/\mu s$	$C_{RT}/\mu s$	$C_{TR}/\mu s$
频率范围	860/910/960	DSB-ASK	90%	8	1	0	25	$0.5T_{ari}$	62.5	100
解调能力	860/960	可调(DSB-ASK/ SSB-ASK/PR-ASK)	90%	8	1	0	可变	可变	$2.5T_{ari}$	$2.5C_{RT}$
占空比	860/960	DSB-ASK	90%	64/3	1&2&4&8	0	可变	$0.5T_{ari}$	$3T_{ari}$	可变
前导码	860/960	DSB-ASK	90%	8	1&2&4&8	0&1	25	$0.5T_{ari}$	75	100
链接频率容限 和偏差	860/960	DSB-ASK	90%	64/3&8	1&2&4&8	0	可变	$0.5T_{ari}$	$3T_{ari}$	可变
链接时间 T_1	860/960	DSB-ASK	90%	64/3&8	1&2&4&8	0	可变	$0.5T_{ari}$	$3T_{ari}$	可变
链接时间 T_2	860/960	DSB-ASK	90%	64/3&8	1&2&4&8	0	可变	$0.5T_{ari}$	$3T_{ari}$	可变
链接时间 T_5	860/960	DSB-ASK	90%	64/3&8	1&2&4&8	0	可变	$0.5T_{ari}$	$3T_{ari}$	可变
状态跳转	860/960	DSB-ASK	90%	8	1	0	25	$0.5T_{ari}$	75	100
截断响应	860/960	DSB-ASK	90%	8	1	0	25	$0.5T_{ari}$	75	100
时隙计数器	860/960	DSB-ASK	90%	8	1	0	25	$0.5T_{ari}$	75	100

注： D_R 、 M 和 e_{TR} 均为 Query 命令中的参数， D_R 为反向链路频率调节系数， M 表示标签所选择的数据编码方式， e_{TR} 表示标签所选择的前导码编码方式； T_{ari} 表示读写器到标签信号的参考时基； W_p 为脉冲宽度； C_{RT} 表示标签到读写器的校准符号； C_{TR} 表示读写器到标签的校准符号；&表示“或”，即编码方式为 FM0 或 Miller2 或 Miller4 或 Miller8。

下面对频率范围、解调能力、占空比、前导码、链接频率容限和偏差、链接时间参数、状态跳转、截断响应、时隙计数器的原理进行详细分析。

2.1 频率范围

频率范围是指被测标签能工作的频率范围，其测试目的是验证被测标签能否在 860~960 MHz 接收读写器发送的射频信号，并与读写器进行通信。

2.2 解调能力

解调是指将射频信号转换为原始基带信号的过程，其测试目的是验证被测标签能否解调读写器发送的不同调制方式的信号，包括 DSB-ASK、SSB-ASK 和 PR-ASK 等 3 种调制类型。

2.3 占空比

占空比是指 1 个信号周期内有效信号的幅度与信号周期的比率，也称为“脉冲宽度调制”，用来衡量 1 个时间段内的模拟信号频率。FM0 占空比指的是被测标签以 FM0 编码发送信号时 00/11 序列的占空比。Miller 占空比指的是被测标签以 Miller 编码发送信号时 0/1 序列的占空比。占空比最小为 45%，最大为 55%，标称值为 50%。

2.4 前导码

前导码指的是采用 FM0 或 Miller 编码方式的被测标签在反向散射信号时，附加在信号前面的一段码字。前导码的主要作用是在数字信号传输过程中，帮助接收端准确识别信号的起始位置，从而保证信号的准确传输。其测试目的是验证读写器解调标签返回信号的前导码是否符合 ISO/IEC 18000-63 的要求。

2.5 链接频率容限和偏差

频率容限指的是实际发射频率偏离中心频率的最大容许偏差。该测试的目的是验证标签在 40~640 kHz 的可变链接频率范围内，标签反向散射信号的频率变化是否在 ISO/IEC 18000-63 定义的容限范围内，并验证标签反向散射过程中的频率偏差是否在 $\pm 2.5\%$ 范围内。

2.6 链接时间 T_1 、 T_2 、 T_5

链接时间 T_1 ：表示从读写器发送命令到标签应答的立即回复时间，适用于询问或读取等耗时较短的操作^[15]。其范围为 $\text{MAX}(C_{RT}, 10T_{pri}) \times (1 - |T_{Fr}|) \pm 2 \mu s$ 。其中， $T_{pri} = 1/BLF = C_{RT}/D_R$ ， C_{RT} 表示读写器到标签的校准符号， T_{pri} 表示反向散射链接脉冲重复间隔， T_{Fr} 表示链接频率容限 (Frequency Tolerance)。

链接时间 T_2 ：表示从标签应答的最后一位结束到读写器发送下一条命令的第一个下降沿处的时间，其范围为 $3T_{pri} \sim 20T_{pri}$ 。

链接时间 T_5 ：表示从读写器发送命令到标签应答的延迟回复时间，适用于写入等需要更改标签内存数据、耗时较长的操作，其范围为 $\text{MAX}(C_{RT}, 10T_{pri}) \times (1 - |T_{Fr}|) - 2 \mu s \sim 20 \text{ ms}$ 。

2.7 状态跳转

1) 准备状态。对于既没有被灭活也没有参与盘点的被激活标签，准备状态可看作是一种“保持状态”。当一个没有被灭活的标签进入射频能量场时，将立即进入准备状态。在收到 Query 命令之前，标签一直保持在准备状态。匹配的标签从随机数生成器中抽取一个值为 $2^0 - 1$ 的数，将这个数值加载到它的时隙计数器中，如果时隙计数器的值为非 0，则跳转到仲裁状

态; 如果时隙计数器的值为 0, 则跳转到应答状态。

2) 仲裁状态。处于仲裁状态的标签在每次收到 QueryRep 命令时会减少其时隙计数器值, 并且当其时隙计数器达到 0000_h 时, 转换到应答状态并反向散射 RN16。返回仲裁状态且时隙计数器值为 0000_h 的标签, 在接收到下一个 QueryRep 命令时会将其时隙计数器从 0000_h 减少到 $7FFF_h$, 并由于它们的时隙计数器值为非 0, 将继续保持在仲裁状态。

3) 应答状态。当处于应答状态的标签在接收到一个具有正确 RN16 的 ACK 命令时, 它将转换到确认状态。如果标签未能在 T_2 (最大值) 时间内接收到有效的 ACK 命令, 或者接收到无效的 ACK 命令、具有错误 RN16 的 ACK 命令时, 标签将返回仲裁状态。

4) 确认状态。已确认的标签可转换到除灭活外的任何状态, 一旦已确认的标签接收到包含正确 RN16 的有效 ACK 命令, 它就会反向散射相应的 PC+UII+CRC 值。如果已确认的标签未能在 T_2 时间内接收到有效的命令, 它将返回仲裁状态。

5) 开放状态。处于确认状态且访问密码非 0 的标签, 当接收到 Req_RN 命令时, 将转换到开放状态, 并反向散射一个新的 RN16。开放状态的标签在接收到不同命令时, 会转换到除确认状态之外的任何状态。

6) 安全状态。处于确认状态且访问密码为 0 的标签, 当接收到请求 Req_RN 命令时, 会转换为安全状态, 反向散射一个新的 RN16。当接收到包含正确访问密码的 Access 命令之后, 处于开放状态的标签转换为安全状态。根据接收到的命令, 处于安全状态的标签可转换到除确认外的任何状态。

7) 灭活状态。处于开放状态或安全状态的标签在收到具有正确的非 0 灭活密码和句柄的 Kill 命令时进入灭活状态。一旦进入灭活状态, 此标签将不再被读写器清点到, 被灭活的标签在任何情况下都将保持灭活状态。灭活操作是不可逆转的。

2.8 截断响应

截断响应 (Truncate) 也是一致性测试中的一个非常重要的指标, 在许多实际场景中, 可应用此功能实现更加有针对性的盘点任务。例如: 为在多种产品中了解某一种商品的存货量, 可应用截断响应实现对某一种商品的盘点, 判断是否需要补货, 从而提高盘点的速度和准确度。

截断响应验证的是标签反向散射回的被截断数据是否正确, 即截断响应会将标签的反向散射应答截断到与 Mask 匹配值之后的 UII 位, 返回数据时, 会在被截断数据前加上 5 个前导 0 (00000_b)。即标签返回的数据为: 5 个前导 0 (00000_b)、Mask 之后的 UII 部分和重新计算得到的 PacketCRC。如果 Mask 在 UII 的最后一位结束, 截断标签将反向散射 00000_b , 然后是 PacketCRC。如果截断位置理解出现错误, 标签则无法实现对某一种商品的盘点功能。

2.9 时隙计数器

时隙计数器可用来调节标签响应 Query、QueryAdjust 或 QueryRep 命令的概率。在接收到 Query 或 QueryAdjust 后, 标签会从随机数生成器中预加载一个处于 $0 \sim 2^Q - 1$ 的值到其时隙计数器中, Q 为 $(0, 15)$ 范围内的整数。处于仲裁状态的标签在每次接收到 QueryRep 命令时递减其时隙计数器值, 在时隙计数器值达到 0000_h 时, 转换到应答状态并反向散射 RN16。时隙计数器值为 0000_h 的标签在收到下一个 QueryRep 命令时, 会将其时隙计数器值从 0000_h 递减到 $7FFF_h$, 即时隙计数器翻转。在时隙计数器翻转后, 时隙计数器会从 $7FFF_h$ 开始再次向下计数, 此时 Q 为非 0, 标签会保持在仲裁状态, 从而有效阻止后续的标签应答, 直到标签接收到新的随机值加载到其时隙计数器中。

3 RFID 标签一致性测试方法研究

3.1 频率范围

1) 按表 1 设置测试参数。

2) 发送 Query 命令, 如果在 100 ms 内检测到标签响应, 返回 RN16, 则说明该标签测试通过; 否则, 就是失败。

3.2 解调能力

1) 按表 1 设置测试参数。

2) 发送 Query 命令, 改变调制方式, 分别设置为 DSB-ASK、SSB-ASK 和 PR-ASK, 观察标签是否有 RN16 返回, 有响应则说明测试通过。Query 命令参数详见表 1。

3.3 占空比

1) 按表 1 设置测试参数。

2) 测量 2 种占空比, 一种是被测标签以 FM0 编码的情况下, 发送 Inventory (Query; ACK, 以下相同) 指令序列, 标签返回 PC+UII+CRC16, 测量 00 和 11 序列的占空比。另一种是被测标签以 Miller 编码的情况下, 发送 Inventory 指令序列, 标签返回 PC+UII+CRC16, 测量 0 和 1 序列的占空比。

3) 记录测试结果。若测得 00 或 11 序列的占空比为 $(50 \pm 5)\%$, 则为 FM0 标签编码 ($M=1$) 通过条件; 对于 Miller 编码 ($M=2, 4, 8$), 当 0 或 1 的占空比为 $(50 \pm 5)\%$ 时, 则为 Miller 编码 ($M=2, 4, 8$) 通过条件。

3.4 前导码

1) 按表 1 设置测试参数。

2) 需要测量 2 种前导码, 一种是被测标签以 FM0 编码的情况下, 发送 Query 命令, 标签返回 RN16, 记录并验证前导码。另一种是被测标签以 Miller 编码的

情况下,发送 Query 命令,标签返回 RN16,记录并验证前导码。

3) 记录测试结果。

3.5 链接频率容限和偏差

1) 按表 1 设置测试参数。

2) 发送 Query 命令,捕获解调后的标签反向散射 PC+UII+CRC16 的时间变化。

3) 记录测试结果。从每个符号的解调跟踪数据中测量标签链接频率,并确定最小值和最大值。如果标签链接频率符合 ISO/IEC 18000-63 定义的容限范围,且标签反向散射过程中链接频率的偏差在 $\pm 2.5\%$ 范围内,则该测试指标通过。

3.6 链接时间 T_1

1) 按表 1 设置测试参数。

2) 读写器发送 Query 命令后,测量从读写器发送命令的最后一位的最后一个上升沿到标签应答的第一个上升沿的时间,即为链接时间 T_1 。

3) 记录测试结果。

3.7 链接时间 T_2

1) 按表 1 设置测试参数。

2) 读写器发送 Query 命令、ACK 命令后,测量从标签应答 RN16 的最后一位结束到读写器发送 ACK 命令的第一个下降沿处的时间。

3) 记录测试结果。

3.8 链接时间 T_5

1) 按表 1 设置测试参数。

2) 测量从读写器发送 Write 或 Lock 等命令的最后一位的最后一个上升沿到标签应答的第一个上升沿的时间,操作成功时标签返回 0+Handle+CRC16,操作失败时标签返回 1+error code+Handle+CRC16。

3) 记录测试结果。

3.9 改进后的状态跳转测试方法

1) 按表 1 设置测试参数。

2) 设置访问密码不为 0,灭活密码不为 0,发送 Query 命令,当时隙计数器为 0,且标签成功返回 RN16 时,说明标签进入应答状态。

3) 发送 ACK 命令,标签成功返回 PC+UII+CRC16 时,说明标签进入确认状态。

4) 发送 Req_RN 命令,标签返回 Handle,说明标签进入开放状态。

5) 发送 LOCK 命令,标签没有响应,验证标签进入开放状态。

6) 连续发送 Req_RN 命令和 Access 命令,标签返回 Handle+CRC16,说明标签进入安全状态。

7) 发送 LOCK 命令,标签返回 0+Handle+CRC16,

验证标签进入安全状态。

8) 连续发送 Req_RN 命令和 Kill 命令 2 次,标签返回 0+Handle+CRC16,说明标签进入灭活状态。

9) 发送 Selec 命令、Query 命令,标签无响应,说明灭活成功。

改进后的状态跳转测试方法分析:本测试方法在原测试方法基础上增加了 2 次锁定操作,用来验证标签是否进入开放状态、安全状态,全面地验证标签在不同状态下的转换,确保标签的状态跳转功能与标准一致,从而提升测试的覆盖面和准确性。另外,在灭活操作后增加了一次清点操作,可以帮助测试人员确认此标签是否成功被灭活,灭活功能是否实现。

3.10 改进后的截断响应

1) 按表 1 设置测试参数。

2) 准备一个 UII 值为 2000 33B2 DDD9 0480 3505 0000 5A25_b 的标签。

3) 操作设备时需将 Select 命令中的 Mask 参数设置为 001_b,Truncate 参数设置为 1_b,然后发送 Select、Query、ACK 命令序列。

4) 记录测试结果,并将返回的截断结果与原 UII 值进行对比,除了 5 个前导 0(00000_b)和 PacketCRC 值之外,如果 Mask 之后的 UII 部分与原 UII 对应位置的数值一致,测试通过。通过此方法,可更直观地判断返回的截断结果中的 CRC-16 是否正确。

改进后的截断响应测试方法分析:在只通过设置 Select 命令中的 Truncate 值实现截断的方法基础上,增加了 Mask 匹配,通过比较 Mask 的值是否与 UII 的前 3 个 bit 匹配进行截断。增加 MASK 匹配,一是可以精确控制截断,允许更精确地定义哪些数据需截断,从而提高测试的准确性;二是减少误判,通过与 UII 的前 3 个 bit 匹配,能更有效地识别和排除不相关的数据,减少误判的机会;三是增强灵活性,这种方法可根据需要调整 Mask 值,适应不同的测试场景和要求,提高测试的灵活性和适用性。

3.11 时隙计数器

1) 按表 1 设置测试参数。

2) 发送 Query 命令, Q 值为非 0, Q 取值为 2;重复发送 QueryRep 命令,验证当时隙计数器值从非 0 到 0 的变化过程中,标签是否有且仅有一次响应。

3) 发送 Query 命令, Q 值为非 0, Q 取值为 3;重复发送 QueryRep 命令,验证当时隙计数器值从非 0 到 0 的变化过程中,标签是否有且仅有一次响应。

4) 记录测试结果。

4 结果与分析

4.1 实验环境

针对某公司的某款标签进行实验。实验场所选择

开阔场或者全电波暗室, 实验设备在基于 NI PXIe 平台开发的射频识别标签符合性测试软件上进行, 且实验场所环境温度控制在(23±3) °C, 湿度为 40%~60%, 将标签样品静置 24 h 进行测试。

4.2 频率范围

频率范围测试结果如图 2 所示, 标签在 100 ms 内有响应, 返回 RN16, 说明该标签测试通过。

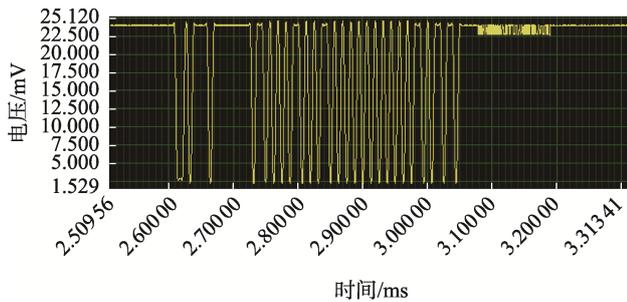


图 2 频率范围测试结果
Fig.2 Test result of frequency range

4.3 解调能力

调制方式分别设置为 DSB-ASK、SSB-ASK 和 PR-ASK 时, 测试结果如图 3~5 所示, 观察到标签均有返回信号 RN16, 说明该标签测试通过。

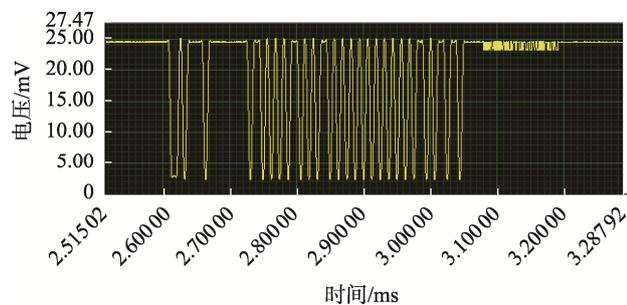


图 3 解调能力测试结果 (DSB-ASK)
Fig.3 Test result of demodulation capability (DSB-ASK)

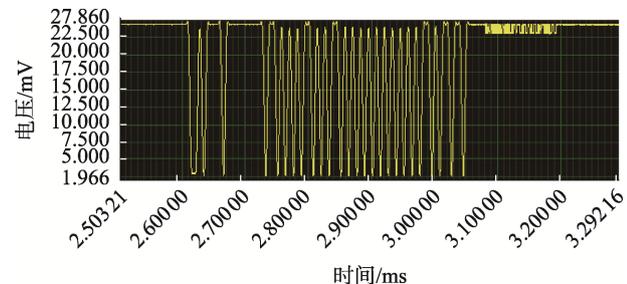


图 4 解调能力测试结果 (SSB-ASK)
Fig.4 Test result of demodulation capability (SSB-ASK)

4.4 占空比

由表 2~3 中的数据可知, 以 FM0 编码的占空比和以 Miller2 编码的占空比均在标准规定的范围(50±5)%。

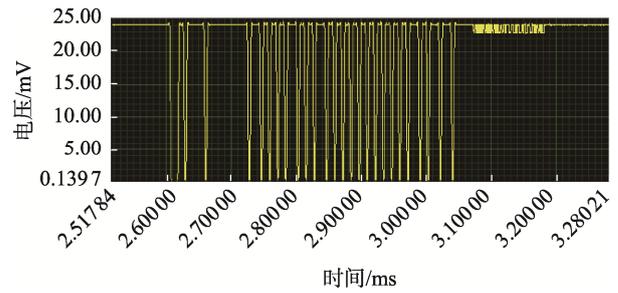


图 5 解调能力测试结果 (PR-ASK)
Fig.5 Test result of demodulation capability (PR-ASK)

表 2 占空比 (FM0) 测试结果

Tab.2 Test result of duty cycle (FM0) %				
测试指标	00 序列	11 序列	最大值	最小值
占空比 (FM0)	50.18	50.01	50.56	49.44

表 3 占空比 (Miller) 测试结果

Tab.3 Test result of duty cycle (Miller) %				
测试指标	0 序列	1 序列	最大值	最小值
占空比 (Miller)	49.99	49.91	50.14	49.61

4.5 前导码

读写器解调标签返回信号的前导码的实验结果如图 6~7 所示, 均符合标准。

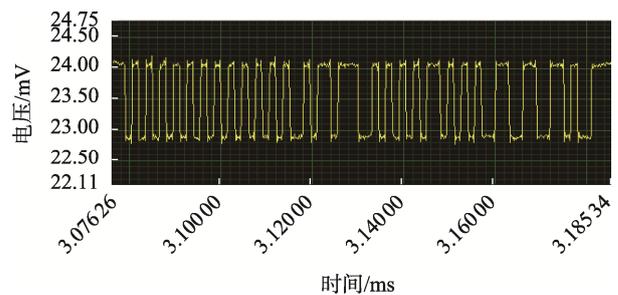


图 6 前导码 (FM0) 实验结果
Fig.6 Test result of preamble (FM0)

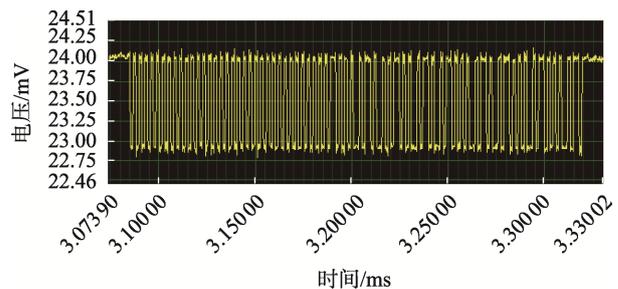


图 7 前导码 (Miller) 实验结果
Fig.7 Test result of preamble (Miller)

4.6 链接频率容限与偏差

根据标准对链接频率值的要求,计算得到链接频率的范围为 38.40~41.60 MHz,由表 4 可知链接频率实测值在标准要求范围内。

表 4 链接频率偏差实测结果
Tab.4 Test result of link frequency tolerance and variation MHz

测试指标	最小值	平均值	最大值
链接频率偏差	39.35	39.56	39.68

4.7 链接时间参数

链接时间 T_1 、 T_2 的测试结果分别如图 8~9 所示;以对标签进行写操作为例,写操作成功时链接时间 T_5 的测试结果如图 10 所示。

由图 8 可知链接时间 T_1 为 33.120 μ s,由图 9 可知链接时间 T_2 为 31.520 μ s,由图 10 可知对标签进行写操作成功时的链接时间 T_5 为 2.755 ms,均在标准要求的限值范围内。

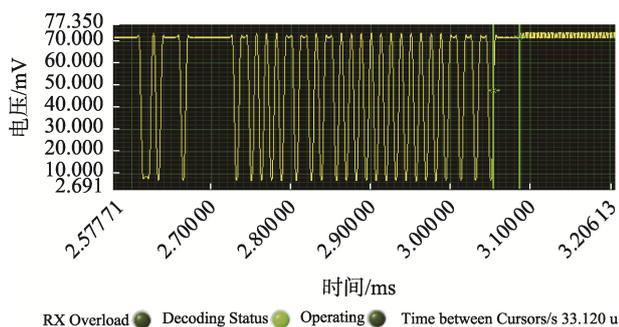


图 8 链接时间 T_1 测试结果
Fig.8 Test result of link time T_1

4.8 状态跳转

测试流程和结果见表 5。当访问密码为非 0 时,标签进入开放状态后,增加一次锁定操作,标签无响应,验证标签真正进入了开放状态;标签进入安全状态后,增加一次锁定操作,标签有响应,返回 0+Handle+CRC16,验证标签真正进入了安全状态。

在灭活操作后增加了一次清点操作,标签无响应,验证了此标签成功灭活,实现了标签的灭活功能。若不增加清点操作,无法说明此标签已成功灭活,从而降低了测试的准确性。

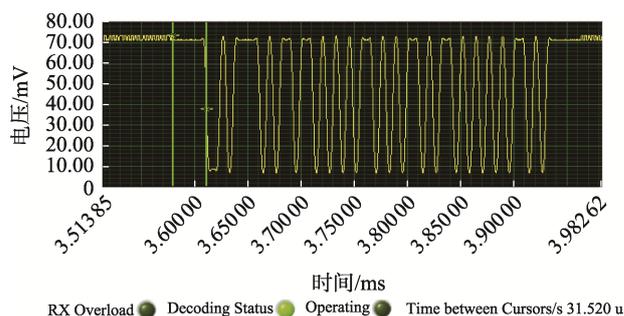


图 9 链接时间 T_2 测试结果
Fig.9 Test result of link time T_2

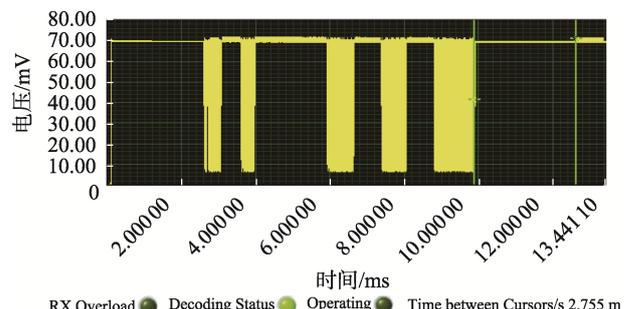


图 10 链接时间 T_5 测试结果
Fig.10 Test result of link time T_5

表 5 状态转换测试流程及结果
Tab.5 Test process and results of state transition

命令	返回结果	状态
Query	RN16=1F52	应答状态
ACK	PC+UII+CRC=3400+2000 33B2 DDD9 0480 3505 0000 5A25	确认状态
Req_RN	Handle=0BF4、CRC16=9191	开放状态
Lock	无响应	确认进入开放状态
Req_RN	Handle=25CA、CRC16=63E5	
Access	Handle=0BF4、CRC16=9191	
Req_RN	Handle=1692、CRC16=E8DE	安全状态
Access	Handle=0BF4、CRC16=9191	
Lock	Header=0、Handle=0BF4、CRC16=B680	确认进入安全状态
Req_RN	Handle=F100、CRC16=C200	
Kill	Handle=0BF4、CRC16=9191	
Req_RN	Handle=EC32、CRC16=A13E	灭活状态
Kill	Header=0、Handle=0BF4、CRC16=B680	
Select	无响应	灭活状态

4.9 截断响应

测试结果见表 6。由表 6 测试结果可知: 当 Truncate=1_b, 且 UII 的前 3 个 bit 与 Mask 不匹配时,

标签返回原 UII 值; 当 Truncate=1_b, 且 UII 的前 3 个 bit 与 Mask 匹配时, 标签返回被截断的 UII 值, 测试结果符合标准要求, 证明了该测试方法的有效性。通过增加 Mask 限制条件, 提升了标签截断位置的准确性。

表 6 截断响应测试结果
Tab.6 Test result of truncated response

参数设置	标签返回的 UII 值
Truncate=1 _b , Mask=000 _b	0011 0100 0000 0000 0010 0000 0000 0000 0011 0011 1011 0010 1101 1101 1101 1001 0000 0100 1000 0000 0011 0101 0000 0101 0000 0000 0000 0101 1010 0010 0101
Truncate=1 _b , Mask=001 _b	00000 0 0000 0000 0000 0011 0011 1011 0010 1101 1101 1101 1001 0000 0100 1000 0000 0011 0101 0000 0101 0000 0000 0000 0000 0000 1000 1101 0100

4.10 时隙计数器

当 Q=2 时, 读写器发送 Query 命令, 标签无响应, 再次发送 QueryRep 命令, 标签有响应, 返回的 RN16 为 2D81; 重复发送 QueryRep 命令, 标签一直无响应。

当 Q=3 时, 读写器发送 Query 命令, 标签有响应, 返回的 RN16 为 FE18; 重复发送 QueryRep 命令, 标签一直无响应。

通过设置不同的 Q 值, 在 2 次验证时隙计数器值从非 0 到 0 的变化过程中, 标签均有且仅有一次响应, 说明该标签的时隙计数器功能设计符合标准要求。

5 结语

为保证超高频 RFID 标签的一致性测试关键指标符合相关标准, 减少标签功能出现不匹配标准的现象, 本文在对频率范围、解调能力和占空比等测试方法进行研究和阐述的基础上, 通过在状态跳转中增加 3 次验证操作和在截断响应中增加 Mask 匹配, 提升了状态跳转和截断响应的测试准确性; 并设计了一种通过改变 Q 值和重复发送 QueryRep 命令的测试方法, 验证了时隙计数器从非 0 到 0 的变化过程中, 标签有且仅有一次响应, 避免了 RFID 系统中出现多个标签同时应答的现象。通过一致性分析软件对指定标签进行了测试, 测试结果符合标准, 验证了本文所设计测试方法的有效性, 全面地实现了对 RFID 标签的有效评估。文中对一致性测试方法的研究, 可帮助包装企业和标签厂商及时发现所用 RFID 标签的潜在问题, 降低企业成本, 且对 RFID 标签研发、检测和认证等方面的企业具有重要指导作用。

参考文献:

[1] 王保云. 物联网技术研究综述[J]. 电子测量与仪器学报, 2009, 23(12): 1-7.
WANG B Y. Review on Internet of Things[J]. Journal of Electronic Measurement and Instrumentation, 2009,

23(12): 1-7.
[2] 徐喆. RFID 技术在物联网中的应用[J]. 现代工业经济和信
息化, 2023, 13(3): 119-121.
XU Z. RFID Technology in the Internet of Things[J]. Modern Industrial Economy and Informationization, 2023, 13(3): 119-121.
[3] 侯惠静, 刘秀英, 王平坪, 等. RFID 技术在食品智能包装和供应链追溯中的应用研究[J]. 包装工程, 2024, 45(13): 158-165.
HOU H J, LIU X Y, WANG P P, et al. Application of RFID Technology in Food Intelligent Packaging and Supply Chain Traceability[J]. Packaging Engineering, 2024, 45(13): 158-165.
[4] 刘红霞. UHF 频段 RFID 射频一致性自动测试系统的设计与实现[D]. 南京: 南京邮电大学, 2015.
LIU H X. Design and Implementation of UHF RFID RF Conformance Automatic Test System[D]. Nanjing: Nanjing University of Posts and Telecommunications, 2015.
[5] 赵家胤, 张逊, 王开. 面向物流应用的 RFID 标签接口协议的一致性研究[J]. 电子器件, 2019, 42(2): 416-421.
ZHAO J Y, ZHANG X, WANG K. Research on Consistency of RFID Label Interface Protocol for Logistics Application[J]. Chinese Journal of Electron Devices, 2019, 42(2): 416-421.
[6] 张旭, 金闻名, 张晶声, 等. 低频电子耳标协议一致性测试系统研究[J]. 中国兽药杂志, 2020, 54(3): 44-48.
ZHANG X, JIN W M, ZHANG J S, et al. Research on Low Frequency Electronic Ear Tag Protocol Conformance Test System[J]. Chinese Journal of Veterinary Drug, 2020, 54(3): 44-48.
[7] 王攀藻. 星级酒店 RFID 系统射频一致性测试仿真研究[J]. 物联网技术, 2018, 8(9): 107-108.
WANG P Z. Simulation Study on Radio Frequency Conformance Testing of RFID Systems in Star Rated Hotels[J]. Internet of Things Technologies, 2018, 8(9): 107-108.

- [8] 房明. UHF RFID 标签协议一致性测试系统设计[D]. 济南: 山东大学, 2017.
FANG M. The Design of UHF RFID Tag Protocol Conformance Test System[D]. Jinan: Shandong University, 2017.
- [9] 朱磊基, 熊勇, 李强, 等. RFID 标准一致性测试系统研究[J]. 国外电子测量技术, 2015, 34(11): 53-59.
ZHU L J, XIONG Y, LI Q, et al. Research on RFID Standard Conformance Testing System[J]. Foreign Electronic Measurement Technology, 2015, 34(11): 53-59.
- [10] 吕凌. 工作于 860~960 MHz 频段的 RFID 读写器和标签一致性指标测试[J]. 电子质量, 2016(8): 57-62.
LYU L. RFID Interrogator and Tag Conformance Test for 860~960 MHz Frequency[J]. Electronics Quality, 2016(8): 57-62.
- [11] ISO/IEC. Information Technology - Radio Frequency Identification for Item Management - Part 63: Parameters for Air Interface Communications at 860 MHz to 960 MHz Type C: ISO/IEC 18000-63[S]. Geneva, Switzerland: ISO, 2015.
- [12] ISO/IEC. Information Technology - Radio Frequency Identification Device Conformance Test Methods - Part 63: Test Methods for Air Interface Communications at 860 MHz to 960 MHz: ISO/IEC 18047-63[S]. Geneva, Switzerland: ISO/IEC, 2023.
- [13] GS1. EPC™ Radio - Frequency Identity Protocols Generation - 2 UHF RFID Standard Specification for RFID Air Interface Protocol for Communications at 860 MHz ~ 960 MHz, Version 2.1[S]. Brussels, Belgium: GS1, 2018.
- [14] GS1. EPC Compliant Class - 1 Generation - 2 UHF RFID Devices Conformance Requirements, Version 2.0.1[S]. Brussels, Belgium: GS1, 2015.
- [15] 李军, 何婷婷, 陈柯. 超高频 RFID 标准和测试技术演进[J]. 国外电子测量技术, 2015, 34(9): 13-16.
LI J, HE T T, CHEN K. Evolution of Ultra High Frequency RFID Standards and Testing Technologies[J]. Foreign Electronic Measurement Technology, 2015, 34(9): 13-16.