




无线物联网芯片的测试方案

—— WiFi / BT / ZigBee

Shawn 2017.05.13

物联网技术概述

- ▶ 目前公认的物联网架构分为3层：感知层、传输层和应用层。
- ▶ 感知层，涉及的主要技术包括资源寻址与EPC技术、RFID技术、传感技术、无线传感网技术等。
- ▶ 传输层又可分为**汇聚网**、**接入网**和承载网3部分。汇聚网关键技术主要是短距离通信技术，如Zigbee、蓝牙和UWB等技术。接入网主要采用6LoWPAN、M2M及全IP融合架构实现感知数据从汇聚网到承载网的接入。承载网主要是指各种核心承载网络，如移动通信网络、WAN、三网汇聚、LPWAN等。
- ▶ 应用层关键技术包括中间件技术、对象名称解析服务、嵌入式智能、云计算、物联网业务平台及安全等技术。



目 录

一、常用的射频测试项目内涵

- 1、测试项目的定义
- 2、测试项目的关系

二、流行的无线物联的芯片


- 1、WiFi简介
- 2、BT简介
- 3、Zigbee简介

三、测试方案的选择

- 1、简简单单的选择
- 2、回到传统的选择

RF测试项目分类

分 类	发射模式	接收模式
传输距离	发射功率	接收灵敏度
信号质量	EVM	信噪比, 误码率/误包率
	频率误差	吞吐量
	频谱平坦度	接收最大输入功率
	TX上升下降时间	
	功率密度	
	功率控制	
EMC	ACPR/ACLR, 频谱模板	邻道选择性/抑制
	发射杂散	接收杂散
	占用带宽	同信道干扰
		阻塞性能



目 录

一、常用的射频测试项目内涵

- 1、测试项目的定义
- 2、测试项目的关系

二、流行的无线物联网的芯片

- 1、WiFi简介
- 2、BT简介
- 3、Zigbee简介

三、测试方案的选择

- 1、简简单单的选择
- 2、回到传统的选择



RF测试项目定义


—— 发射功率 Transmitter Power

- ▶ 发射功率表征的是DUT发送无线信号强度的大小，在满足频谱模板、EVM性能的前提下，功率越大，其性能越好。它的重要性在于发射的信号需要经过空间的衰落之后才能到达接收机，越高的发射功率意味着无线覆盖范围越大。

RF测试项目定义

—— 接收灵敏度 Receiver Sensitivity

- 接收灵敏度表征的是DUT能够在不超过一定误码率的情况下识别的最低信号强度，在多数情况下，BER (bit error rate)或者PER (packet error rate)会用来考察灵敏度，在4G时代用Conductive Throughput吞吐量来定义。接收灵敏度越好，其接收到的有用信号就越多，其无线覆盖范围越大。在正常情况下，受电子元件固有噪声的影响，通常认为-123dBm是纯硬件能做到的灵敏度极限值。



RF测试项目定义

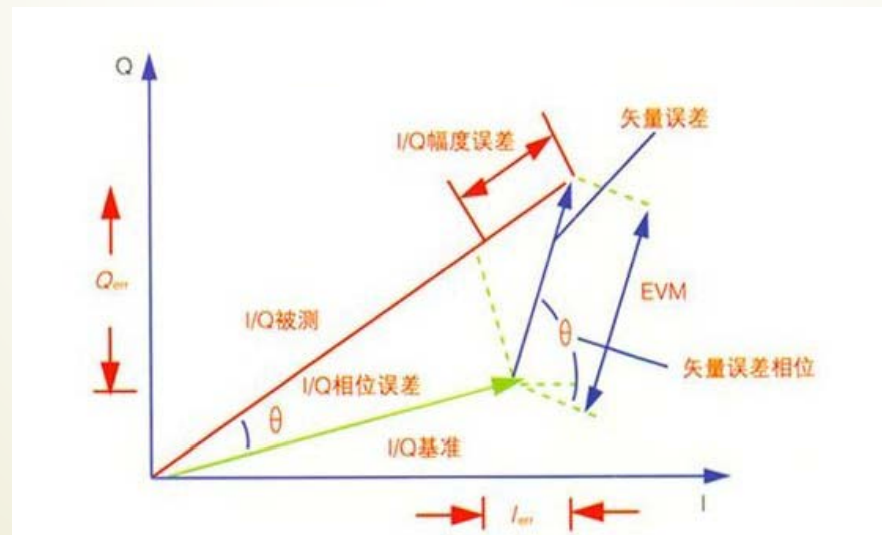
——频率误差 Frequency Error

- ▶ 频率误差表征的是实际测得的发射信号的频率与该信号所处信道对应的标称频率（理论期望的频率）之间的差，单位为ppm。频率误差越小，频率越稳定，通信质量就越好。

RF测试项目定义

—— 矢量误差幅度 EVM

- 它表征的是一个给定时刻理想无误差基准信号与实际发射信号的向量差，这个量度可以有效的表达发射信号的“质量”——实际信号的点距离理想信号越远，误差就越大，EVM的值就越大。



$$\text{EVMdB} = 20 * \log(\text{EVM}\%)$$

RF测试项目定义


——信噪比 SNR

- ▶ 信噪比是度量通信系统通信质量可靠性的一个主要技术指标，S即信号Signal，N即噪声Noise。信噪比，我们一般是讲接收机的解调信噪比（测量灵敏度的时候我们常常会用到它），我们把解调信噪比定义为不超过一定误码率的情况下解调器能够解调的信噪比门限。

RF测试项目定义

——误码率/误包率/吞吐量 BER/PER/Conductive Throughput

- ▶ **误码率**(BER:Bit Error Rate)是衡量数据在规定时间内数据传输精确性的指标。误码率=传输中的误码/所传输的总码数*100%。误码率是最常用的传输质量指标。
- ▶ **误包率**(PER:Packet Error Rate)是衡量数据包在规定时间内传输精确性的指标。误包率=传输中的误包数/所传输的总包数*100%。误包率是衡量数据业务服务质量的重要指标。
- ▶ **吞吐量**是指在没有帧丢失的情况下，设备能够接受并转发的最大数据速率。



RF测试项目定义

——接收最大电平 Receiver Maximum Input Level

- 接收最大输入功率是表征DUT接收性能的另外一个参数，输入信号电平过大，会引起LNA发生阻塞，系统无法正确解调信号，也会引起BER、PER的上升。在接收灵敏度一定的情况下，接收最大电平越高表示产品的动态范围越大。

RF测试项目定义

——邻信道功率比/邻信道泄漏比 ACPR/ACLR

- ▶ ACLR和ACPR，其实是一个东西，都是描述本机对其他设备的干扰。而且它们有个共同点，对干扰信号的功率计算也是以一个信道带宽为计。这种计量方法表明，这一指标的设计目的，是考量发射机泄漏的信号，对相同或相似制式的设备接收机的干扰——干扰信号以同频同带宽的模式落到接收机带内，形成对接收机接收信号的同频干扰。

RF测试项目定义

——邻信道选择性/邻道抑制 ACS/ACR

- ▶ Adjacent(Alternative) Channel Selectivity/Rejection (Suppression)是用来衡量存在相邻信道信号时，接收机在其指定信道频率上接收有用信号的能力。主信号到DUT接收端的功率为灵敏度加上3dB（11b为6dB），邻信道干扰信号功率与主信号功率差值。Adjacent和Alternative的区别，对应 ACLR/ACPR的第一邻道、第二邻道。

RF测试项目定义

——发射频谱模板 Spectrum Mask


- ▶ 测量发射机带内频谱泄漏的时候，看有没有超出模版限值的点。可以说它与ACLR有关系，但是又不相同：ACLR是考虑泄漏到邻近信道中的平均功率，所以它以信道带宽为测量带宽，它体现的是发射机在邻近信道内的“噪声底”；频谱模板反映的是以较小的测量带宽捕捉在邻近频段内的超标点，体现的是“以噪声底为基础的杂散发射”。



RF测试项目定义

——接收/发射杂散 Receiver/Transmitter spurious emissions

- ▶ 杂散辐射是指信号发射时产生的一些有害的、无用的辐射信号，包括谐波辐射、互调产物及变频产物等，它会成为其他频段的干扰信号。杂散在发射频段内，影响发射指标，在接收频段影响接收灵敏度。



目 录

一、常用的射频测试项目内涵

- 1、测试项目的定义
- 2、测试项目的关系

二、流行的无线物联的芯片

- 1、WiFi简介
- 2、BT简介
- 3、Zigbee简介

三、测试方案的选择

- 1、简简单单的选择
- 2、回到传统的选择

RF测试项目关系

——接收灵敏度、信噪比、误码率、误包率

▶ 著名的接收灵敏度公式

$$\text{接收灵敏度: } Sen(\text{dBm}) = -174 + 10\log B + NF + SNR$$

-174dBm/Hz, 自然噪声功率密度, 从热力学推算出来的, 跟温度有关, 最终的噪声功率是用噪声功率密度对带宽积分得来。

▶ 信噪比与误码率的关系

误码率与信噪比的关系是根据概率统计学公式得到的, 与调制模式、解调电路、编码译码等每一信号处理环节有关, 根据不同情况确认相应的解调的信噪比门限。

▶ 误码率与误包率的关系

$$PER = 1 - (1 - BER)^{\text{packet_length}}$$

RF测试项目关系

——EVM相关

- ▶ EVM与IQ增益不匹配、相位噪声、频率误差的关系。I/Q幅度不平衡程度直接影响EVM的好坏，它的影响远大于I/Q相位不平衡造成的影响；相位噪声、频率误差是PLL的重要指标参数，也是导致EVM变差的一个重点考量因素，而相位噪声与频率误差与晶体/晶振自身品质及其外围电路相关较大。
- ▶ EVM与ACPR的关系。EVM表征信号质量的指标，而ACPR可以划归EMC范畴，通常情况下二者存在正相关，不过在设计改版时受不同因素影响，会出现一个变好，而另一个变差的情况。
- ▶ EVM与SNR的关系。SNR是指发射信号的“固有信噪比”。

当信号的SNR较大时（例如 $SNR > 10dB$ ），存在近似关系： $SNR = -20\text{Log}EVM$

RF测试项目关系


——ACPR/ACLR相关

- ▶ ACPR/ACLR与互调关系。我们可以理解为，互调干扰导致频率失真，交调干扰导致幅度失真。邻信道功率为发射泄漏到邻信道中去的噪声部分，ACLR与互调存在直接相关，对于超外差的射频架构，影响最大的是三阶互调， $ACLR_n = IMD3 + C_n$ ，如果DUT设计使用为零中频架构，影响最大的应是二阶互调。

RF测试项目关系

——发射接收杂散相关

- ▶ 发射standby模式下的杂散辐射远低于工作模式下的杂散辐射，与接收模式下杂散辐射一致。
- ▶ 发射杂散主要覆盖ACPR或频谱模板之外的频点，所以生产测试时更多的是用到这个概念用来调试，杂散的辐射和传导都是考虑的重点，而不是直接作为测试项目，这也是我们提到接收模式下的杂散辐射没有提接收杂散响应指标的原因。



目 录

一、常用的射频测试项目内涵

- 1、测试项目的定义
- 2、测试项目的关系

二、流行的无线物联网的芯片

- 1、WiFi简介
- 2、BT简介
- 3、Zigbee简介


三、测试方案的选择

- 1、简简单单的选择
- 2、回到传统的选择


无线物联网芯片

——WiFi/BT/ZigBee

- ▶ 物联网的基础是物物间的互联互通，因此，简单、稳定、可靠的联网能力是物联网发展的最重要的元素之一。在有线和无线两种方式中，由于接入网的设备和物品的广泛分布，以及无线通信技术在组网便捷性方面的优势，无线IoT互联的重要性不言而喻。在众多的无线连接技术中，应用最广泛和普遍的当属WiFi/BT/ZigBee，这三种技术，各有所长，分别适用不同的应用场景，成为物联网无线连接最流行的通信协议，并且目前这三类芯片主流厂商推出的应用于物联网的都以2.4G频段为主。



目录



一、常用的射频测试项目内涵

- 1、测试项目的定义
- 2、测试项目的关系

二、流行的无线物联网的芯片

- 1、WiFi简介
- 2、BT简介
- 3、Zigbee简介

三、测试方案的选择

- 1、简简单单的选择
- 2、回到传统的选择

无线物联网芯片

——WiFi简介

- ▶ WiFi 俗称无线宽带,其实就是 IEEE 802.11的别称,是一种短程无线传输技术。目前专为物联应用而推出的802.11ah物理层是IEEE 802.11ac的降频版本。作为802.11n的升级版,802.11ac支持80MHz, 160MHz, 80+80MHz信道带宽,也支持802.11n的20/40MHz信道带宽。802.11ah定义了2MHz, 4MHz, 8MHz, 16MHz信道带宽,刚好是此前标准的1/10。此外,802.11ah还定义了1MHz信道带宽,用于更远距离无线传输。IEEE 802.11ah信道与5GHz频段类似,1GHz以下频谱中,可用频段因国家而异,中国的可用频率范围为755-787MHz。802.11ah保留了802.11n/11ac中的信道绑定方法,即多个相邻信道组成更宽的信道带宽。由此,2MHz信道带宽就是由2个相邻的1MHz信道组成,4MHz就是由相邻的4个信道组成,以此类推。目前主流厂商推出用于物联的芯片多数采用11n (11n+MCU单芯片)。
- ▶ WiFi的突出优势有三:无线电波的覆盖范围广;传输速度快;厂商进入的门槛低,不需网络布线接入。
- ▶ 缺点是:无线通信质量差、数据安全性能比蓝牙差;传输质量也有待改进。

无线物联网芯片

——BT简介


- 蓝牙是一种无线技术标准，可实现固定设备、移动设备和楼宇个人域网之间的短距离数据交换（使用2.4-2.485GHz的ISM波段的UHF无线电波）。蓝牙4.0（称为Bluetooth Smart），包括经典蓝牙、高速蓝牙和蓝牙低功耗协议。高速蓝牙基于Wi-Fi，经典蓝牙则包括旧有蓝牙协议，蓝牙低功耗（也就是早前的Wibree），Wibree和蓝牙ULP的名称被废除，取而代之的是BLE。蓝牙4.2发布于2014年，它为IOT推出了一些关键性能，这一核心版本的优势：实现物联网，支持灵活的互联网连接选项（IPv6/6LoWPAN 或 Bluetooth Smart 网关）；让Bluetooth Smart 更智能、更快速。

类别	最大功率容量		射程范围 (m)	版本	数据率
	(mW)	(dBm)			
1	100	20	~100	1.2	1Mbit/s
2	2.5	4	~10	2.0 + EDR	3 Mbit/s
3	1	0	~1	3.0 + HS	24 Mbit/s
				4	24 Mbit/s

无线物联网芯片

——ZigBee简介

- ▶ ZigBee是基于IEEE802.15.4标准的低功耗局域网协议，其特点是近距离、低复杂度、自组网、低功耗、低数据速率。主要适合用于自动控制 and 远程控制领域，可以嵌入各种设备。工作在2.4GHz(全球流行)、868MHz(欧洲流行)和915MHz(美国流行)3个频段上,分别具有最高250kbit/s、20kbit/s和40kbit/s的传输速率，它的传输距离在10-75m的范围内,但可以继续增加。该产品已广泛应用于物联网产业链中的M2M行业，如智能电网、智能交通、智能家居、金融、移动POS终端、供应链自动化、工业自动化、智能建筑、消防、公共安全、环境保护、气象、数字化医疗、遥感勘测、农业、林业、水务、煤矿、石化等领域。
- ▶ ZigBee联盟推出协议920IP，该标准是全球首个基于互联网通讯协定第6版（IPv6）的无线网格网络（Mesh Networking）解决方案，未来将应用于低耗电量和低成本的家庭能源管理的网格网络及其相关设备中，提升物联网设备的能效和互通性。



目 录

一、常用的射频测试项目内涵

- 1、测试项目的定义
- 2、测试项目的关系

二、流行的无线物联的芯片

- 1、WiFi简介
- 2、BT简介
- 3、Zigbee简介

三、测试方案的选择

- 1、简简单单的选择
- 2、回到传统的选择

测试项目的选择

——选择测试项目的考量


- 文章之初介绍射频测试项目时，就将这些项目分成了三类：传输距离相关、信号质量相关、EMC相关。生产测试要选择哪些项目，显而易见是从成本为出发点考量，还要兼顾芯片性能的保证。
 - 1、我们成本压力很大，能少测点项目吗？

好吧，第一二三类项目分别选一个吧，不过测试指标的相关性要做好。
 - 2、我们成本压力真的很大，能再少点项目吗？

好吧，好吧，第二三类项目只选其中一个吧，依据设计和客户的关注点选择。
 - 3、我们成本真的很敏感，即使测试成本占比就很小，能不能再少点？

这个，我们真的是射频芯片吗？再少也要测个频率和功率吧。
 - 4、真的不能再少一点？

不骗你，真的不能了，不是还可以优化测试方法嘛，要不从这方面入手吧。
- 最后要选择哪些项目，还是要考虑制造工艺稳定性、设计余量和应用端关注点，可制造性设计、可封装性设计、可测试性设计全面考虑，后端成本才能得到控制，测试工程师请充分与设计人员沟通把，这才是选择合适测试项目的根本。



目 录

一、常用的射频测试项目内涵

- 1、测试项目的定义
- 2、测试项目的关系

二、流行的无线物联网的芯片

- 1、WiFi简介
- 2、BT简介
- 3、Zigbee简介

三、测试方案的选择

- 1、简简单单的选择
- 2、回到传统的选择

测试方案的选择

——简简单单的选择

- ▶ 收发互测：WiFi/BT/ZigBee都是射频收发芯片，如果设计时考虑过回环测试，那么恭喜你，这个很容易就实现了；如果没有设计时没考虑，有的甚至收发端口共用一个，那么同样恭喜你，不要去纠结了。
- ▶ 板上解决方案：不想选择带射频的ATE（价格有点小贵），在测试板上加个测试收发功能，是不是同样可以解决呢？实际上这个在多年前就有公司实现量产了。先不要高兴，我们选择的方案是否稳定（通用性就先不考虑了），要知道量产的稳定性才是最重要的。目前这三类芯片在物联主流应用上都选择了2.4G频率，有些芯片公司甚至推出二合一、三合一芯片，这逼着我们考虑通用性啊，我们就从前面选择的测试项目来开始评估。

测试方案的选择

——简简单单的选择2

- ▶ 第一类的功率测试，这个最简单，如果只要求测收发功率，检测射频是否正常工作，这个强烈推荐板上做个收发器吧，或者直接贴个同样的产品做测量芯片，测量准确度还是有的。
- ▶ 第二类的性能测试，这个就要看你选择的收发器的性能了，建议直接选一个同类产品做测量芯片，并且自带BER/PER测试，准确度或许不是很够，但如果自家芯片做的不是太差，那么出货的质量还是有所保障的。
- ▶ 第三类的性能测试，这个真的就太麻烦了，至于原因想想就明白，这实际上测得是噪声，而不是主信号，不稳定加不稳定就真的不稳定了。做个correlation会折磨到你怀疑人生。我们还是选择带RF的ATE平台来测试吧。



测试方案的选择

——回到传统的选择

- ▶ 带RF的ATE目前市面上已有很多厂商，并且几个平台在国内也积累了足够的口碑，选择哪一个，建议带着我们的测试项目去逐个咨询，你会有意想不到的收获。