

# 泰克蓝牙测试方案

深圳市日图科技有限公司 赵曙光 13322927830 dany@rituchina.com

# 蓝牙在的应用

- ▶ 物联网时代已经到来。到2015年，市场上约有49亿可联网的电子设备，而这个数字将在2020年达到250亿。当您翻阅电子类期刊杂志时，几乎每一本都会有关于物联网技术，概念，以及产品的介绍。人们的生活当中，可联网设备已经无处不在。现在可以和我们交流互动的，不仅仅是来自虚拟互联网的内容，越来越多的实实在在的商品正在开始和我们建立对话。生活在这样一个“智能城市”，可互联的无线设备每天都在提升着人们的生活品质。已知的虚拟互联网，变得越来越可触摸：世界正式进入物联网时代。典型的应用包括：

## 智能城市

- 交通控制
- 智能交通灯
- 智能水电表
- 事故报警

## 家居自动化

- 温度灯光控制
- 节能控制
- 智能电器
- 维护

## 健康医疗

- 远程护理
- 药物追踪
- 接入控制
- 救护车追踪

## 汽车

- 车之间通讯
- 遥控记录
- 替代有线传输
- 娱乐功能

## 智能制造

- 流水线优化
- 实时库存
- 零件追踪
- 安全报警

## 可穿戴

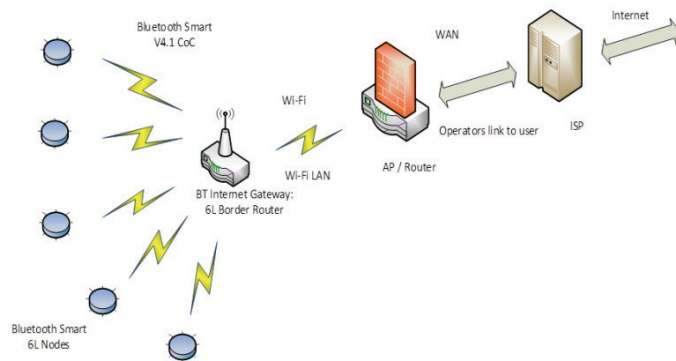
- 娱乐
- 健身
- 智能手表
- 定位

# 蓝牙技术简介

- ▶ 蓝牙(Bluetooth)技术创始于1994年，作为RS232数据线的替代方案。在某种意义上讲，它和Wi-Fi是互补的关系。目前，市场上已有数以十亿蓝牙设备，包括手机、平板电脑、个人电脑、电视，甚至机顶盒以及游戏机，并且这个数字在未来依然会呈增长趋势。蓝牙技术版本繁多，从V1.0,.V1.1,.V1.2,.V2.0,.V2.1,...,一直到最新的V.4.0,.V.4.1,.V.4.2。其中，蓝牙4.0，现在又称智能蓝牙(Bluetooth.Smart)，因其低功耗的特点较老版本降低了90%)，正在成为物联网中一大部分不追求高速传输的应用的首选，也正是因为蓝牙4.0，才使得现在众多可穿戴设备成为了可能。



## 在智能设备中集成蓝牙模块



## 家用设备利用智能蓝牙接入互联网

# 蓝牙分类

- ▶ 蓝牙技术有多种版本，根据当前市场以及未来物联网发展的趋势，我们将把蓝牙分为两类：**经典蓝牙(Classic)**和**低功耗蓝牙(Low.Energy-.LE)**。而经典蓝牙又可分为**基本速率(Basic.Rate-.BR)**和**增强速率(Enhanced.Data.Rate-.EDR)**。经典蓝牙保证了传输数据的速率。适用于例如蓝牙又可分为基本速率(Basic.Rate.需要传输高质量音乐的蓝牙耳机等应用；而低功耗蓝牙则更侧重于简单信息的传递，尽可能的延迟电子设备续航时间，但不适用于大数据的高速传输。
- ▶ 由于物联网市场上低功耗蓝牙/蓝牙4.0应用的火热需求，蓝牙技术联盟(Bluetooth.SIG)将现有装有蓝牙的智能设备提供两种认证商标：蓝牙智能设备(Bluetooth.Smart)和蓝牙智能就绪设备(Bluetooth.Smart.Ready)。刚刚涉及无线领域的物联网设备开发者常常会遇到选择适合蓝牙版本的难题，简单来讲，这完全取决于您的应用。如果您需要设备不仅和带有最新的低功耗蓝牙的设备通信，而且还需要和带有经典蓝牙的设备通信，那智能就绪设备将是更好的选择，反之则是只包括低功耗蓝牙的智能蓝牙设备。下图是蓝牙技术联盟对两种商标的定义：



蓝牙智能就绪设备是连接用户正在使用的数以十亿计蓝牙设备一手机、平板电脑、个人电脑、电视，甚至机顶盒以及游戏机最有效的方式。这些设备可有效地接收传统蓝牙设备和蓝牙智能设备发送的数据并传送至应用程序，从而将数据转换为有用的信息。这些设备都是蓝牙系统的中枢设备。



蓝牙智能设备主要用于收集特定类型的信息，家中的所有窗户都关好了吗？我的血糖是多少，我今天的体重是多少？然后将这些信息发送至蓝牙智能就绪设备。这类设备具有无限的发展潜力，包括心率监测仪、血糖仪、智能手表、门窗安全感应器、汽车遥控钥匙和血压护腕等。

# 蓝牙频段与频道

- ▶ 蓝牙技术属短距离无线通信技术，运行在免执照的2.4.GHz.ISM频段。频率范围从2.400.GHz到2.4835.GHz。经典蓝牙总计79个频道，频段间隔为1MHz，其中包括了频段起始位置2.4000.GHz处2MHz的保护间隔，和频段终止位置2.4835.GHz处3.5MHz的保护间隔。最常用的第二级电子设备的传输功率要求为+4dBm，接收机灵敏度范围到-90dBm。
- ▶ 而低功耗蓝牙(蓝牙4.0)致力于降低功耗和成本，滤波器的设计要求也相对降低，调制系数要求由经典蓝牙的0.28-0.35降低到了0.45-0.55。因此频道间隔增大至2.MHz，总计40个频道。

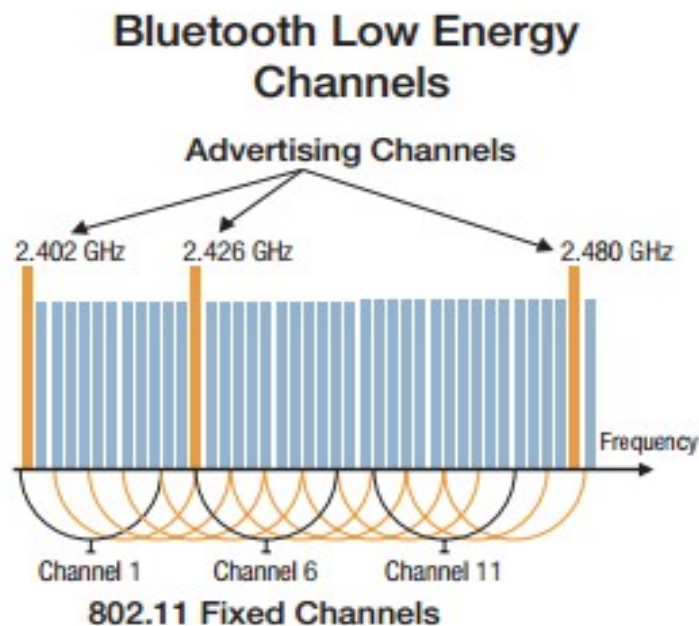
# 经典蓝牙的频道分布

Frequency	CH	Frequency	CH	Frequency	CH	Frequency	CH	Frequency	CH
2.402 GHz	0	2.419 GHz	17	2.436 GHz	34	2.453 GHz	51	2.470 GHz	68
2.403 GHz	1	2.420 GHz	18	2.437 GHz	35	2.454 GHz	52	2.471 GHz	69
2.404 GHz	2	2.421 GHz	19	2.438 GHz	36	2.455 GHz	53	2.472 GHz	70
2.405 GHz	3	2.422 GHz	20	2.439 GHz	37	2.456 GHz	54	2.473 GHz	71
2.406 GHz	4	2.423 GHz	21	2.440 GHz	38	2.457 GHz	55	2.474 GHz	72
2.407 GHz	5	2.424 GHz	22	2.441 GHz	39	2.458 GHz	56	2.475 GHz	73
2.408 GHz	6	2.425 GHz	23	2.442 GHz	40	2.459 GHz	57	2.476 GHz	74
2.409 GHz	7	2.426 GHz	24	2.443 GHz	41	2.460 GHz	58	2.477 GHz	75
2.410 GHz	8	2.427 GHz	25	2.444 GHz	42	2.461 GHz	59	2.478 GHz	76
2.411 GHz	9	2.428 GHz	26	2.445 GHz	43	2.462 GHz	60	2.479 GHz	77
2.412 GHz	10	2.429 GHz	27	2.446 GHz	44	2.463 GHz	61	2.480 GHz	78
2.413 GHz	11	2.430 GHz	28	2.447 GHz	45	2.464 GHz	62		
2.414 GHz	12	2.431 GHz	29	2.448 GHz	46	2.465 GHz	63		
2.415 GHz	13	2.432 GHz	30	2.449 GHz	47	2.466 GHz	64		
2.416 GHz	14	2.433 GHz	31	2.450 GHz	48	2.467 GHz	65		
2.417 GHz	15	2.434 GHz	32	2.451 GHz	49	2.468 GHz	66		
2.418 GHz	16	2.435 GHz	33	2.452 GHz	50	2.469 GHz	67		

Key
Inquiry Channel
Not used as an Inquiry Channel

# 低功耗蓝牙(4.0)的频道分布

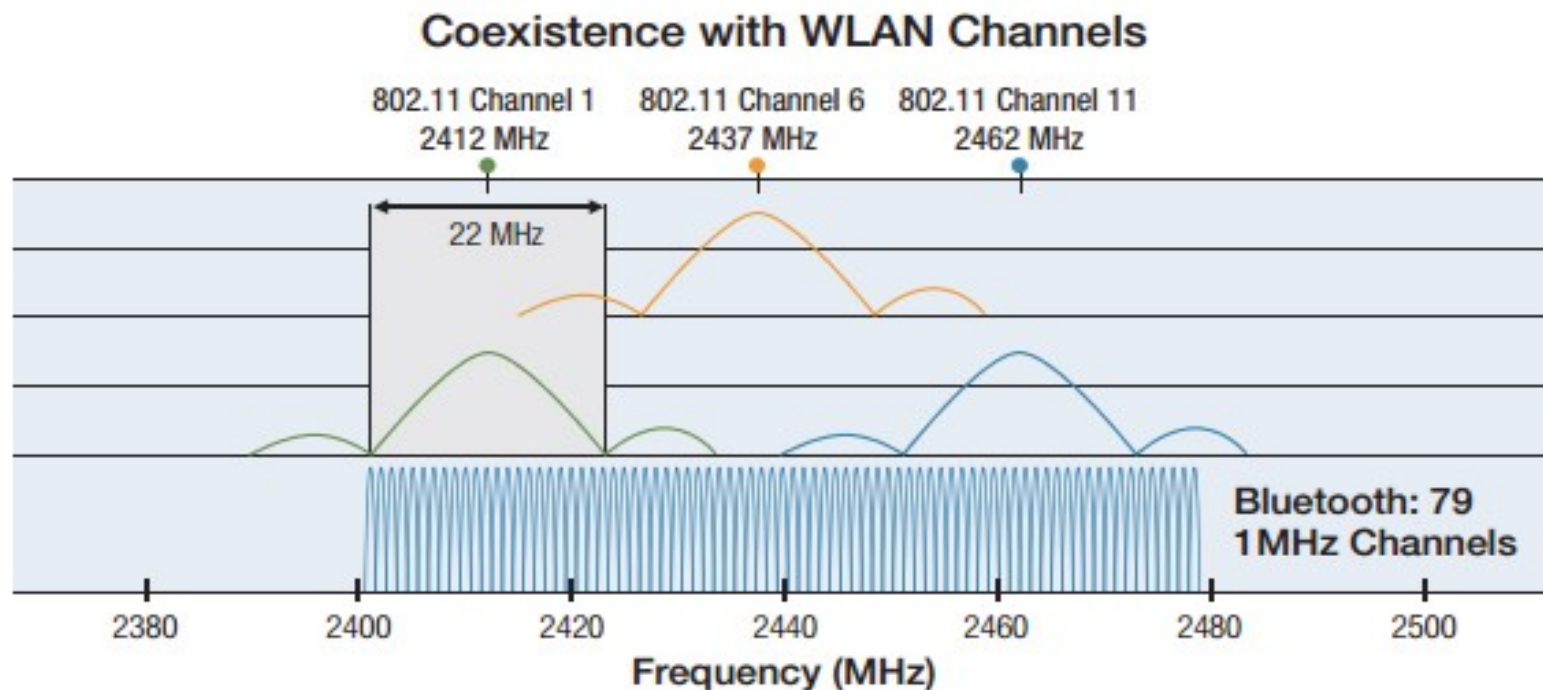


Frequency	CH
2402 MHz	37
2404 MHz	0
2406 MHz	1
2408 MHz	2
2410 MHz	3
2412 MHz	4
2414 MHz	5
2416 MHz	6
2418 MHz	7
2420 MHz	8
2422 MHz	9
2424 MHz	10
2426 MHz	38
2428 MHz	11

Frequency	CH
2430 MHz	12
2432 MHz	13
2434 MHz	14
2436 MHz	15
2438 MHz	16
2440 MHz	17
2442 MHz	18
2444 MHz	19
2446 MHz	20
2448 MHz	21
2450 MHz	22
2452 MHz	23
2454 MHz	24
2456 MHz	25

Frequency	CH
2458 MHz	26
2460 MHz	27
2462 MHz	28
2464 MHz	29
2466 MHz	30
2468 MHz	31
2470 MHz	32
2472 MHz	33
2474 MHz	34
2476 MHz	35
2478 MHz	36
2480 MHz	39

# 蓝牙与Wi-Fi的频段共存

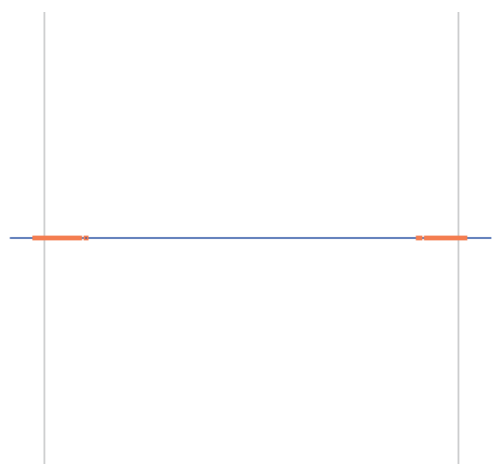


# 蓝牙跳频

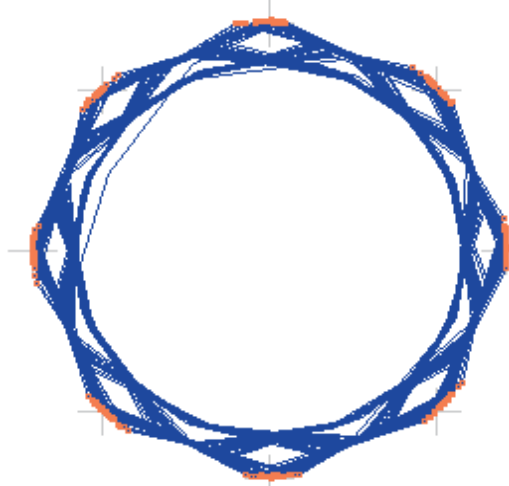
- ▶ 跳频技术是蓝牙标准的特色之一。设计初衷是为了解决在拥挤的ISM频段与其他信号共存的问题。因为蓝牙与Wi-Fi共享同一频段，所以需要频繁改变信号的载频来避免同频段其他信号的互相干扰。也就是说，蓝牙信号的传输只有一个固定频道停留很短暂的时间，一旦发现有其他信号在所在频道对其形成干扰，就会立即跳开至其他没有干扰的频道中重新传输信号。蓝牙跳频的频率为每秒1600次，这也为蓝牙设备的研发和测试带来了新的挑战。这个问题越来越多设备同时装有Wi-Fi和蓝牙的趋势中，尤为明显。
- ▶ 2.4调制方式蓝牙标准中，最基本的调制方式是高斯频率偏移调制(Gaussian.frequency.shift.keying,.GFSK)，顾名思义，GFSK技术类属FSK，当原始数字信号在经过FSK调变送出前，加上一个高斯低通滤波器来限制调变后的信号频谱宽度，以达到通讯上能限制频谱宽度的传输以及功率的消耗的目的。利用高斯滤波器，蓝牙信号的带宽要求被限制在了1.MHz,调制系数在0.28-0.35之间。而对于低功耗蓝牙来讲，由于频道间隔的要求变为2MHz，因此调制系数降低到了0.45-0.55之间，这样就间接的降低了设计的成本和供电的要求。
- ▶ 对于增强速率蓝牙(EDR),为了提高信号传输速率，在调制方式上，从低速率低功耗的GFSK升级成为两种形式的相位偏移调制(PSK)： $\pi/4$ -DQPSK和8DPSK。因此，虽然传输中的符号速率(symbol.rate)仍为1Ms/s,但是由于使用了更高阶的调制方式，利用 $\pi/4$ -DQPS可使数据速率提高到2.Mbps，而利用8DPSK更是可以将数据传输速率提高至3.Mbps，从而达到为蓝牙“增强速率”的目的。

# 蓝牙调制方式

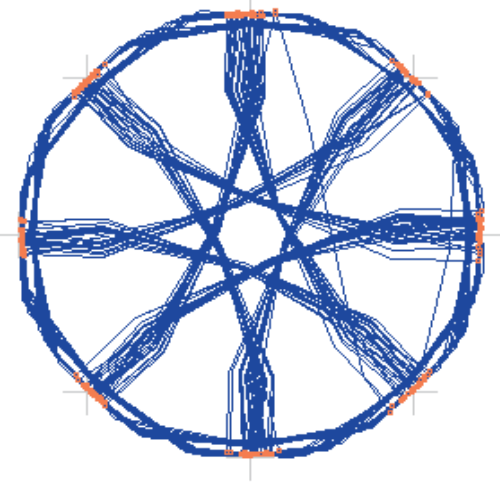
	调制方式	数据速率
基本速率(Basic Rate)	GFSK	1 MB/s
增强速率(Enhanced Data Rate)	$\pi/4$ -DQPSK	2 MB/s
	8DPSK	3 MB/s
低功耗(Low Energy)	GFSK	1 MB/s



GFSK



$\pi/4$ -DQPSK

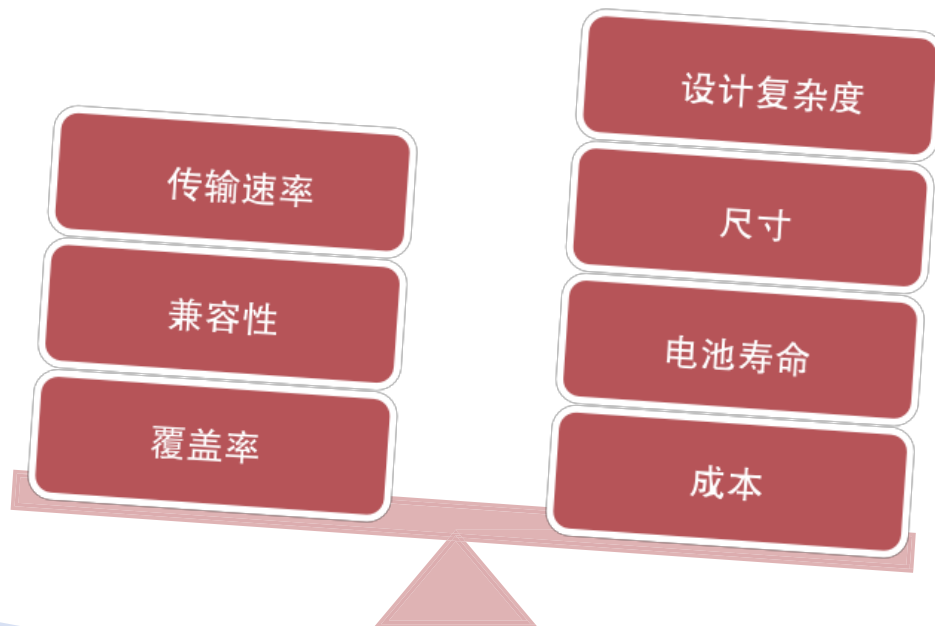


8DPSK

# 选择蓝牙模块的取舍

选择蓝牙模块时，最关键的三个因素为：**速率，范围，和功耗。**

过去的10到20年，科技界通过不断的努力让数据更快的通过无线进行传输，从而使无线通信系统的复用方式，编码方式，调制方式变得越来越复杂，处理运算的成本与功耗也在同时增加。对于蓝牙技术，本身并不是以高速度传输见长，如果您的应用对速率要求很高，建议您考虑例如802.11n.and.802.11ac这类的高速的Wi-Fi协议。很多模块也会同时嵌入蓝牙功能，以扩大您设备兼容性。相反，如果您的应用只在乎连接性，例如健康监控，安全监控等，那么功耗指标可能是您的首选。



# 蓝牙模块的测试

## 直接购买蓝牙模块=不需要射频工程师？

对于越来越多的想在自己的产品中集成无线模块的非传统射频厂商来讲，最大的障碍之一，就是就是缺乏射频开发的经验。好在市场上也同时开始出现越来越多的模块生产商，为物联网的无线连接方案提供越来越多的选择。他们是自行研发测试无线模块，是射频领域的专家，当您对射频技术手足无措时，这些厂商将是您求助的首选。

Atmel	EPCOS.	Nordic.Semiconductor	Roving.Networks
B&B.Electronics	Fasttrax	NXP	Silicon.Laboratories
Bluegiga	Freescale	Omron	ST.Micro
CEL	Infineon	Panasonic	Taiyo.Yuden
Connect.One	Intel	Parallax	TDK
CSR	Laird.Technologies	Phoenix.Contact	Texas.Instruments
Cypress.Semiconductor	Lantronix	Powercast	Wi2Wi
Digi.International	Linx.Technologies	Rabbit.Semiconductor	
DLP	Microchip	Redpine.Signals	
EM.Microelectronic	Murata	RFM	

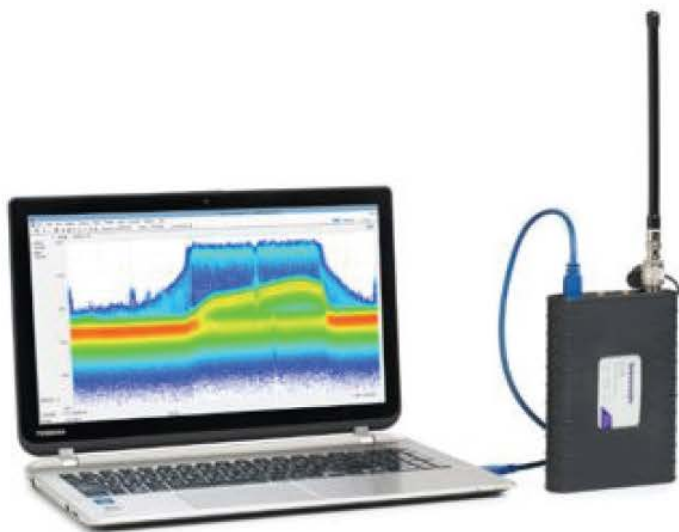
部分射频模块厂商

# 寄希望于模块厂商参与到具体的产品集成工作是不现实的

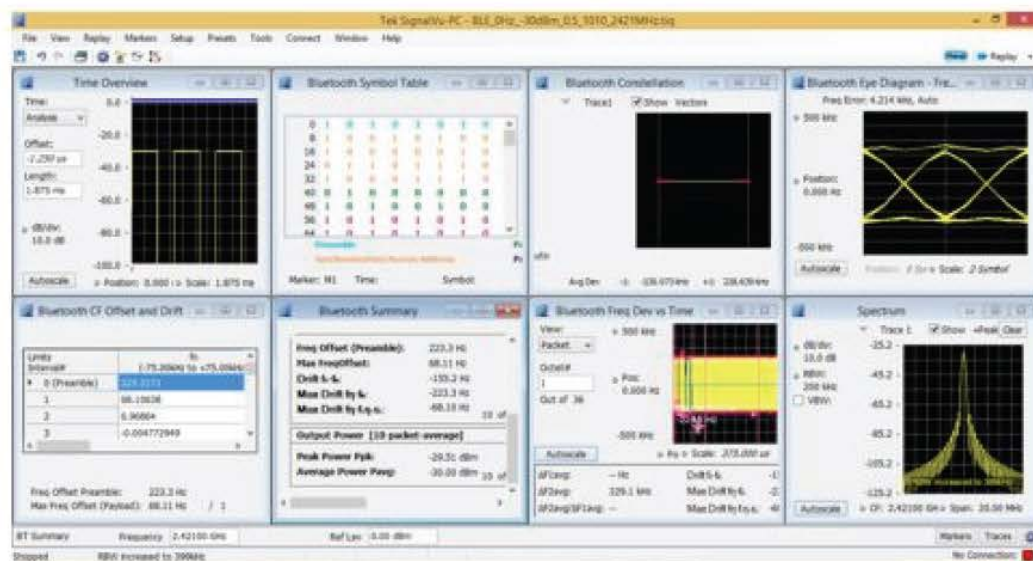
- ▶ 寄希望于模块厂商参与到具体的产品集成工作，帮助工程师解决所有射频设计环节可能出现的问题，是不现实的。物联网设备的无线集成过程，仍需要一名射频专家，才能保证产品顺利的推向市场。这种技术支持，可以依靠雇用一名射频领域的顾问，可以求助于专业的机构，也可以是来自于专业的射频测试设备公司，比如泰克科技。
- ▶ 目前物联网市场中很大一部分蓝牙设备的测试都十分简单，比如只进行一些连接性测试，或者使用蓝牙协议分析仪检测传输质量。协议分析仪虽然是诊断网络连通，检验应用层问题非常高效的工具，但是集成设计过程中，更多的可能遇到的是更复杂的物理层问题，这样频谱分析仪就成为了蓝牙测试当中必不可少的工具。频谱分析仪不但可以满足标准指标的测试，还可以进行认证部门的辐射要求测试，查找来自不同域，不同电路部分的干扰，等等。

▶ 目前市面上频谱分析仪种类繁多，但大多针对于高端测试，价格动辄上百万的价格令很多刚刚涉足物联网的厂商望而却步。而低端的频谱分析仪大多着眼于基础测量市场，简单的频谱和模拟信号分析功能无法满足成喷井状态发展的物联网的数字测试需求。**为了满足传统电器商实现电器智能化的需求，泰克公司提供了全面的物联网测试方案。**泰克公司发布的新款经济型、便携式实时频谱分析仪RSA306，相较于百万等级台式型频谱分析仪，其体积和价位皆可缩减至约十分之一的水准，并提供9k-6.2GHz的宽广频率范围，涵盖了包括Wi-Fi，蓝牙，以及其他几乎所有物联网所需通信标准的分析需求，有助设计人员、现场维护工程师兼顾测试成本和便利性。而泰克公司同时提供了其他测试方案，比如RSA5000中高端频谱分析仪满足高要求蓝牙测试，MDO4000混合域示波器帮助工程师跨越时域和频谱诊断设计中可能出现的问题。

# 泰克SignalVu-PC矢量信号分析软件-蓝牙测试



泰克 RSA306 实时频谱分析仪



泰克 SignalVu-PC 矢量信号分析软件 – 蓝牙测试

# 泰克SignalVu-PC的蓝牙分析选件 可以测试分析三种主要蓝牙标准

- ▶ 泰克SignalVu-PC的蓝牙分析选件，根据蓝牙技术联盟(SIG)发布的标准4.1版，帮助您验证设备发射的RF信号是否符合标准规定。选件可以测试分析三种主要蓝牙标准：**基本速率(Basic.Rate.-.BR)**，**增强速率(Enhanced.Data.Rate.-.EDR)**，和**最新的低功耗(Low.Energy.-.LE)**。每种标准的测试包括不同的预设置，例如功率，频率偏移，频谱等等。蓝牙分析选件还根据标准规定，提供了各种指标的通过/失败显示，这样用户不需要全面了解蓝牙标准，便可进行一键测试。

# 根据蓝牙标准，一键式射频验证

## ▶ 根据蓝牙标准，一键式射频验证：

- 支持基本速率(Basic.Rate.-.BR)，增强速率(Enhanced.Data.Rate.-.EDR)，和最新的低功耗(Low.Energy.-.LE)
- 自动检测信号的协议版本
- 一键操作得到通过/失败结果
- 可自定义门限
- 数据包信息:.类型，同步，头文件，.CRC
- 多平台频谱分析仪支持
- 可离线分析

## ▶ 低功耗蓝牙测试/基本速率测试：

- 根据蓝牙物理层协议要求
- 包括所有发射机测试：功率，带内，带外杂散，调制质量，载频偏移
- 一键操作得到通过/失败结果
- 直接测试模式
- 测试包解码

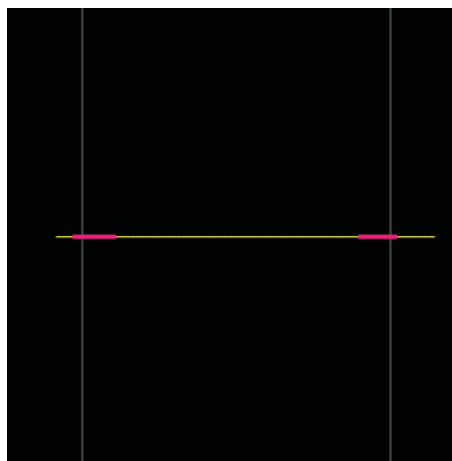
## ▶ 增强速率测试：

- 眼图，星座图，解调符号表，功率测试
- 测试包解码

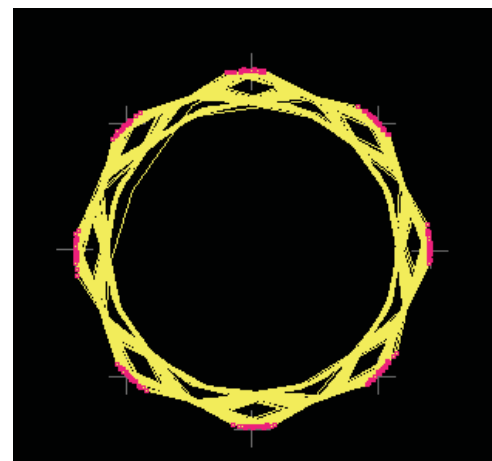


# 调制特性(Modulation characteristics)

- ▶ 调制特性测试可以验证发射信号的调制功能是否正确，大部分蓝牙标准都使用FSK作为调制方式，因此和其他相对复杂的调制类型（QPSK,QAM）观测EVM值不同，**蓝牙标准更侧重于用频率的偏移去考察FSK的调制质量。**
- ▶ 蓝牙标准建议**调制特性测试在固定频率而非跳频的环境进行**。测试蓝牙的调制特性需要发送10101010和11110000两种最极端比特类型的数据，来测试频率偏移的峰值和均值。发射伪随机序列进行测试可以模拟真实数据传输，但是发送特殊的比特类型，例如10101010，为蓝牙的调制特性中的滤波器测试提供了更多的信息，这也可以同时改变了频谱的外观。而11110000在连续传递四个1和四个0之后，信号输出就会达到频率上的最大范围值，这也可以检测高斯滤波功能。这两种特殊的比特类型数据都是标准所要求，并且为故障排查提供了更好的向导。



GFSK

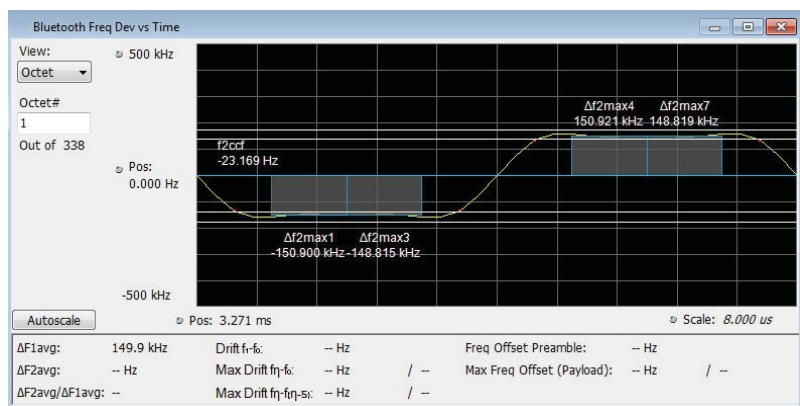


8DPSK

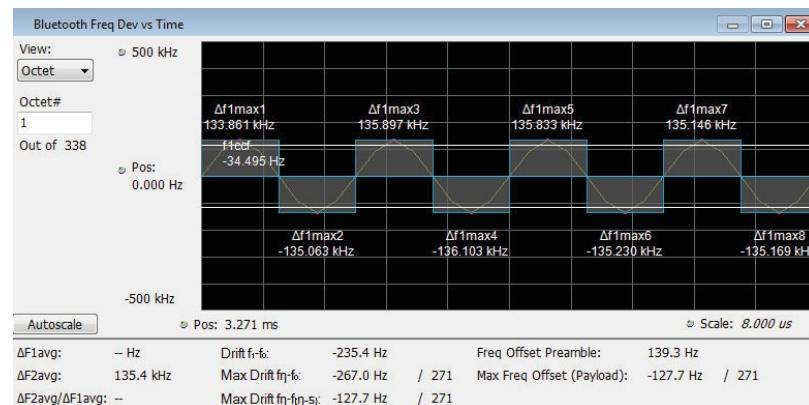
标准速率蓝牙信号的高频率偏移(10101010).测试

# 调制特性(Modulation characteristics)

而对于增强速率(EDR)蓝牙来讲，因为使用了高阶的PSK作为调制方式，所以眼图和星座图则可以更为直观的展现调制情况，而EVM就成为了衡量调制质量的参考。



增强速率(EDR)蓝牙信号的高频率偏移(10101010)测试



增强速率(EDR)蓝牙信号的低频率偏移(11110000)测试

# 载波频率偏移和漂移 (Carrier frequency offset and drift)

- 载波频率偏移和漂移测试是为了验证发射机发射信号的载波频率是否控制在标准所要求的范围内，以保证发射频率的稳定度。这个测试可以在**固定发射频率**，**跳频**，或者是**直接发射模式**下进行，测试所需发射的数据为10101010的比特类型。SignalVu-PC的载波频率偏移和漂移测试最终会显示以下测试结果：

- 前导码的频率偏移(初始载波频率偏移)
- 数据的最大频谱偏移(以及出现最大偏移位置的数据位置)
- 前导码到前10个比特数据的频率漂移
- 数据和前导码( $f_n - f_0$ )的最大频谱漂移(以及出现最大漂移位置的数据位置)
- 两个10比特间隔50us的数据之间的最大漂移(以及出现最大漂移位置的数据位置)

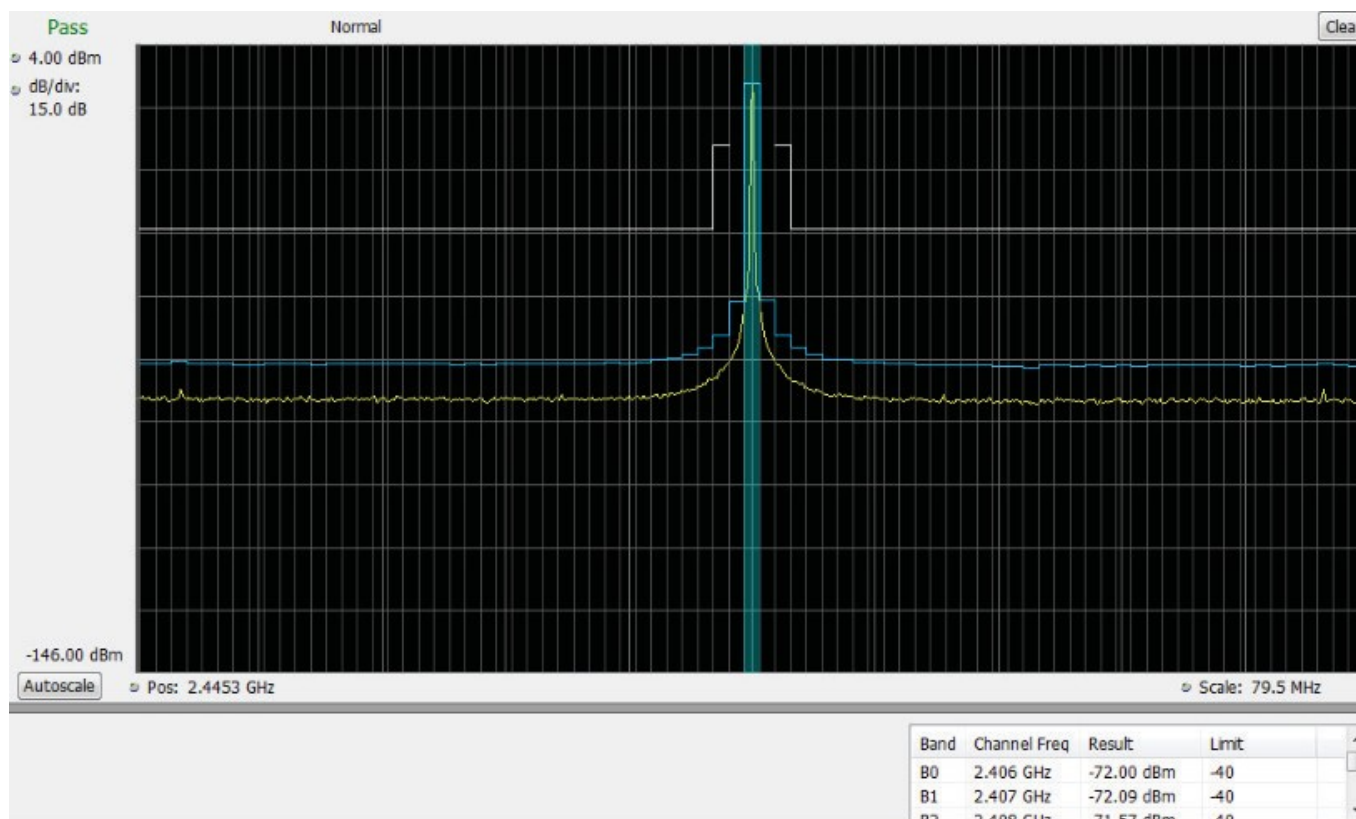
Limits Interval#	$f_n$ (-150.0kHz to +150.0kHz)	$f_n - f_0$ (-40.0kHz to +40.0kHz) $f_1 - f_0$ (-20.0kHz to +20.0kHz)	$f_n - f(n-5)$ (-20.0kHz to +20.0kHz)
Interval#	139.2751		
1	-96.15504	-235.4302	
2	7.167774	-132.1074	
3	-0.01093826	-139.2861	
4	0.01212997	-139.263	
5	-0.003742599	-139.2789	
6	0.007567215	-139.2676	96.16261
7	-0.002672958	-139.2778	-7.170447
8	-0.007925415	-139.2831	0.003012847
9	-0.01031799	-139.2855	-0.02244797
10	0.001925278	-139.2732	0.005667677
11	0.001144409	-139.274	-0.006422806
12	-0.004658398	-139.28	-0.00218544
13	0.001594162	-139.2736	0.009519577
14	-0.001327515	-139.2765	0.006990479
15	0.01260147	-139.2625	0.01067619
16	0.008859253	-139.2663	0.007714843
17	-0.003403854	-139.2785	0.001454544
18	-0.0007839203	-139.2759	-0.002378082
19	0.001569366	-139.2736	0.002896881
20	0.007740402	-139.2674	-0.004861068
21	-0.001542262	-139.2767	-0.01040153
22	0.009552765	-139.2656	0.01295662
23	-0.006316376	-139.2815	-0.005532456
24	-0.001724243	-139.2769	-0.00329361
25	-0.01467628	-139.2898	-0.02241669
26	-0.004405975	-139.2796	-0.002863693
27	0.0005382538	-139.2746	-0.009014511
28	-0.01394348	-139.2891	-0.007627105

Marker: MR Time: 3.133 ms Interval# 0 Value: 139.2  
Freq Offset Preamble: 139.3 Hz Drift  $f_n - f_0$ : -235.4 Hz Max Drift  $f_1 - f_0$ : -127.7 Hz / 271  
Max Freq Offset (Payload): -127.7 Hz / 271 Max Drift  $f_1 - f_0$ : -267.0 Hz / 271

标准速率蓝牙信号的载波频率偏移和漂移测试结果列表

# 带内杂散(In-band Emissions)

- 带内杂散测试是验证蓝牙发射频段范围内的频谱杂散信号是否位于标准规定的范围内。蓝牙标准建议这个测试在跳频环境下进行，这样可以测试整个2401MHz.to.2481MHz频段中，80个频道每一个1MHz频段的积分功率。测试会计算出相邻信道的积分功率（除去发射中心频率周围的三个通道），并与标准规定的功率限制进行比照。这个测试也与标准速率的射频测试指标中的ACPR对应。



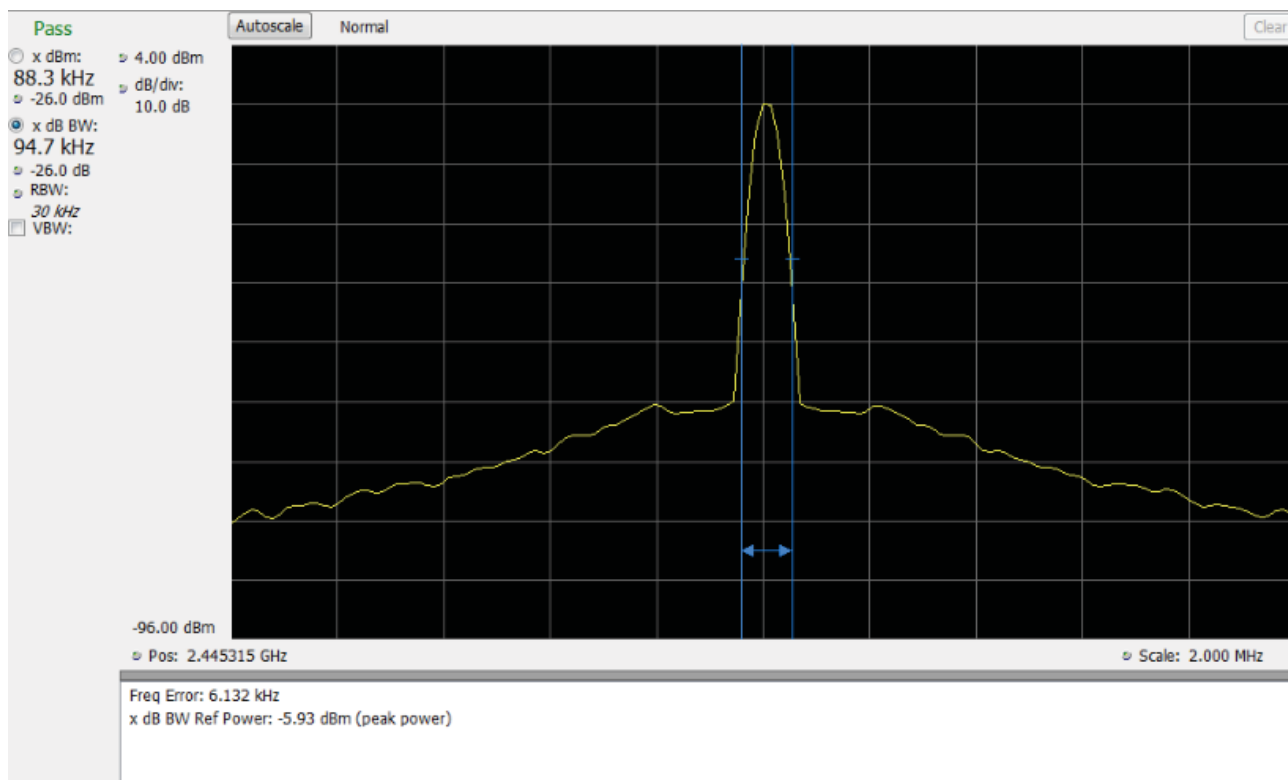
标准速率蓝牙信号的带内杂散测试

# 输出功率(OutputPower)

- ▶ 前文介绍了蓝牙设备分类为三种不同的功率等级，每个功率等级标准都有严格的功率限制要求。
- ▶ 输出功率测试指的是对待测设备的**最大峰值功率和平均功率的测试**。
- ▶ 标准建议发射PRBS信号进行输出功率的测试，并且，测试信号的时长需要包括导码和一个突发(burst)。发射模式建议为固定频率。

# 20dB带宽(20dBBandwidth)

- 20dB带宽测试是为了验证发射信号的辐射频率范围是否满足标准的要求。发射模式建议为**固定频率**。20dB带宽定义为待测设备发射的信号低于峰值20dB处的频率范围。对于基本速率，标准规定20dB带宽不应大于1.0MHz，以防干扰其他邻信道的信号。



# 频率范围(FrequencyRange)

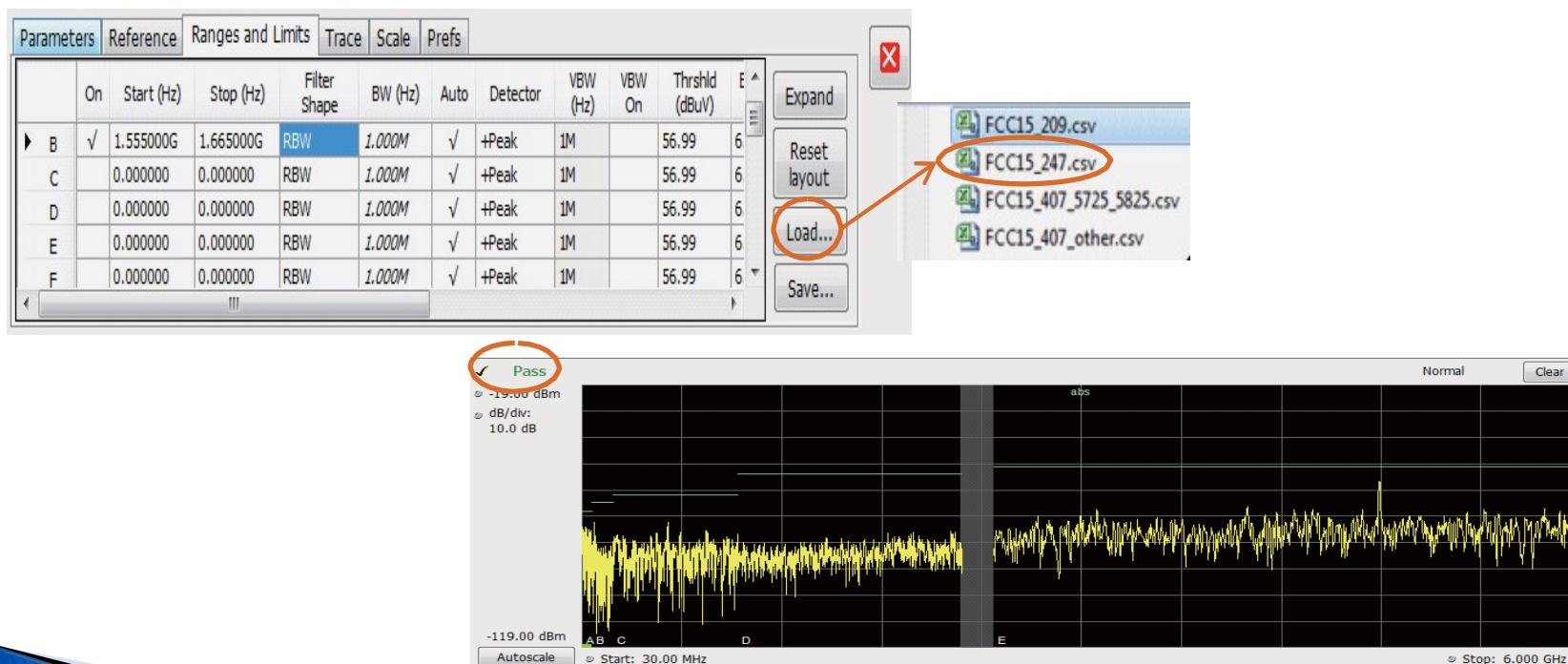
- ▶ 频率范围测试的作用与20dB带宽测试的作用类似，是为了保证频段内所发射信号功率在一定的限制内。测试是在非跳频固定频率下分为两步进行的。
- ▶ 首先需测试蓝牙低频段(2399MHz到2405MHz)的频谱，
- ▶ 然后再测蓝牙高频段(2475.MHz到2485.MHz)的频谱。
- ▶ fL记为低频段当功率低于中心频率峰值功率30dBm的低频处的频率。
- ▶ fH记为高频段当功率低于中心频率峰值功率30dBm的高频处的频率。
- ▶ fH-fL即为频率范围。这个测试是基本速率蓝牙标准要求的测试之一

# 功率谱密度(PowerDensity)

- ▶ 试是用于验证发射的射频输出功率的最大值是否满足要求。蓝牙技术联盟(SIG)规定任何功率等级的任何调制模式，功率都不能超过每**100kHz, 100mW(20dBm)**。
- ▶ 此外，当设备满足蓝牙标准之后，还需要查看地方政府的频谱管理规定去确保功率谱密度满足要求。比如，欧洲的ETSI要求，功率谱密度不能超过**1MHz, -20dBW(10mW)**。

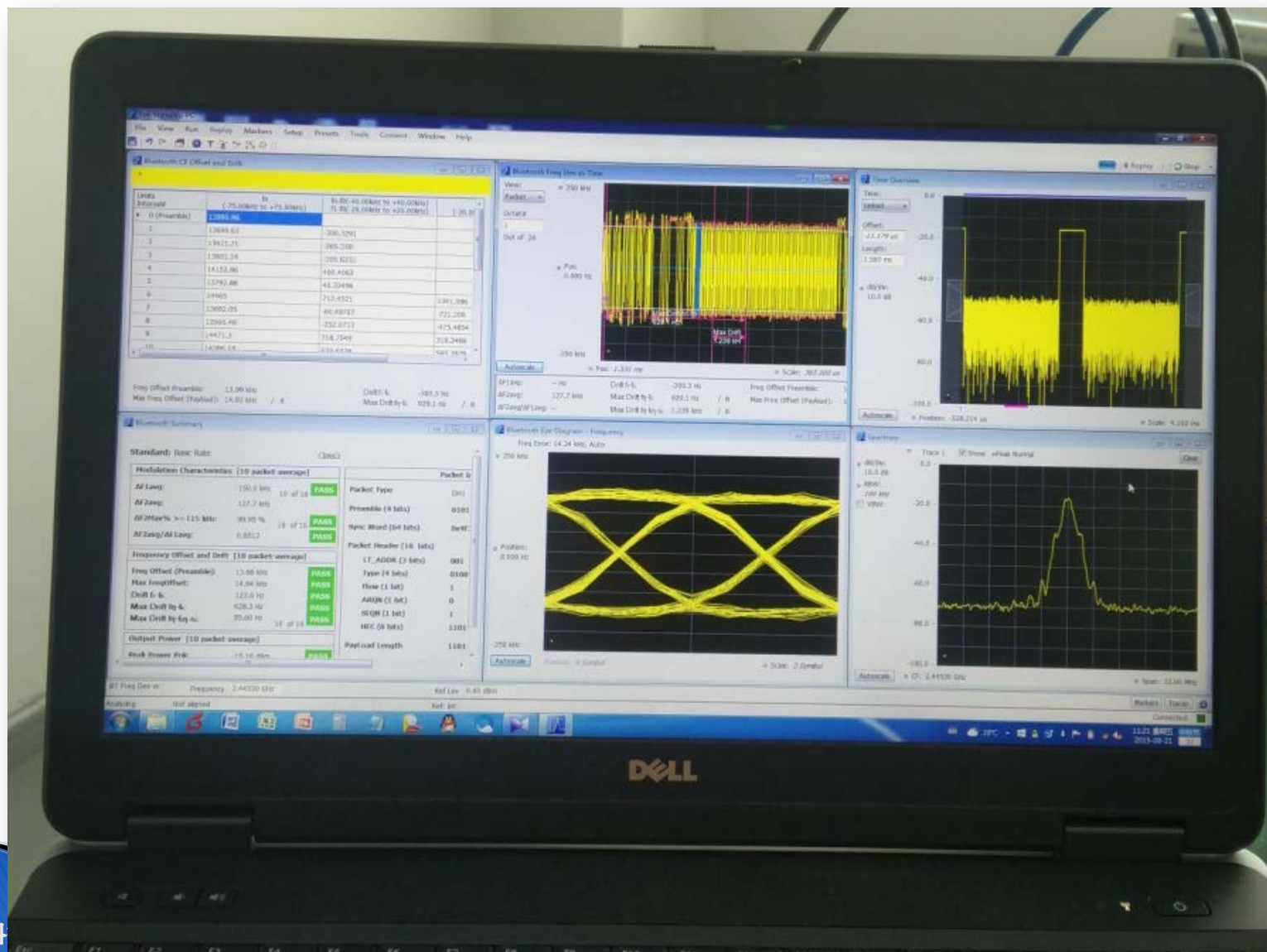
# 带外杂散(Out-of-band Spurious Emission)

- 带外杂散辐射指的是所发射信号由于各种原因(多为硬件设计), 将能量泄露到发射频段以外的频段, 造成对其他信号或设备潜在的干扰。这个概念与EMC电磁辐射测试类似, 只不过这里讲的带外杂散测试是主动辐射体的EMI测试。通常来讲, 带外杂散是由各国家和地区频谱监管部门规定测试的, 蓝牙标准中并未规定带外杂散测试的要求。SignalVu-PC中的Spurious测试功能就是为此类测试量身打造的功能, 并且作为免费功能对所有用户开放。



杂散测试举例.FCC.15.247

# RSA306蓝牙发射性能测试测试演示



# 感谢您的参与！

## 欢迎会后预约测试或演示

联系方式：

深圳市日图科技有限公司

赵曙光

13322927830

dany@rituchina.com