

物联网：如何选择蓝牙模块

应用指南

您可以了解哪些内容：

集成蓝牙模块的基本流程，典型的蓝牙应用，蓝牙模块的参数选择，以及不同应用中如何选择蓝牙模块。

目录

1. 蓝牙在物联网中的应用.....	3
2. 蓝牙技术简介	5
2.1 蓝牙分类.....	5
2.2 频段与频道.....	6
2.3 跳频.....	7
2.4 调制方式.....	7
3. 集成蓝牙模块的流程	8
4. 如何选择蓝牙模块.....	9
5. 蓝牙模块的测试	12
5.1 调制特性 (Modulation characteristics).....	15
5.2 载波频率偏移和漂移 (Carrier frequency offset and drift).....	16
5.3 带内杂散 (In-band Emissions)	17
5.4 输出功率 (Output Power)	18
5.5 20 dB 带宽 (20 dB Bandwidth)	18
5.6 频率范围 (Frequency Range).....	19
5.7 功率谱密度 (Power Density).....	19
5.8 带外杂散 (Out-of-band Spurious Emission).....	19
5.9 接收机测试	20

1. 蓝牙在物联网中的应用

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：

目前，物联网中的使用比较广泛的通信技术包括 Wi-Fi, 蓝牙, ZigBee, Z-Wave, NFC, 其他移动通信技术，以及一些非标准化的工业 / 科学 / 医疗 (ISM) 频段中简单的类似于 ASK 和 FSK 的调制方法。而对于物联网开发者来说，选择一个适合自己应用的无线技术，需要考虑成本，功耗，传输范围，安全性等诸多因素。这些无线技术中，Wi-Fi，因为家用路由器以及热点的普及，已经成为了物联网市场中，尤其是居家和办公产品中最常用的技术。然而，物联网的无线技术需求呈现出了另外一种趋势，就是产品上市所需时间，这成为了一个新产品能否成功的主要因素之一。高产量，低成本，短研发周期，开始成为创造出“消费者负担得起”的电子设备的重中之重。这点在可穿戴设备的研发当中最为明显。

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

应用指南

蓝牙 (Bluetooth) 技术创始于 1994 年, 作为 RS232 数据线的替代方案。在某种意义上来讲, 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。



图 1: 在智能设备中集成蓝牙模块

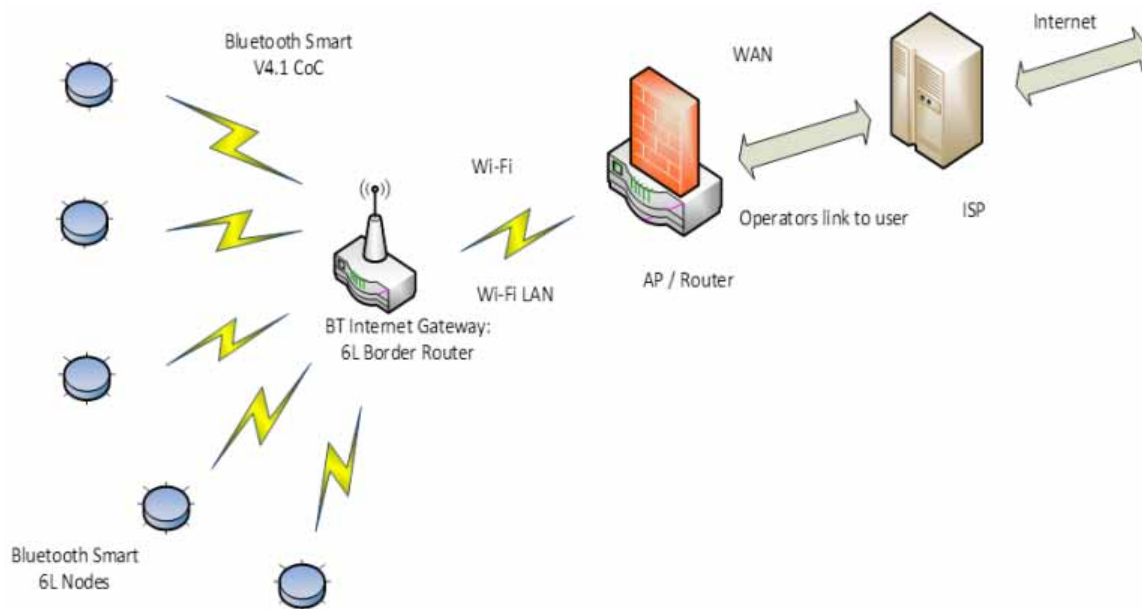


图 2: 家用设备利用智能蓝牙接入互联网

2. 蓝牙技术简介

2.1 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—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。

应用指南

2.2 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 1 MHz，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 3.5

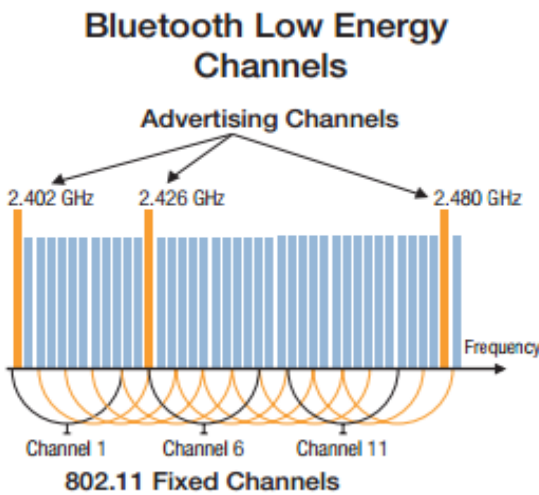
MHz 的保护间隔。最常用的第二级电子设备的传输功率要求为 +4 dBm，接收机灵敏度范围到 -90 dBm。

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。

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

图 4: 经典蓝牙的频道分布



Frequency	CH	Frequency	CH	Frequency	CH
2402 MHz	37	2430 MHz	12	2458 MHz	26
2404 MHz	0	2432 MHz	13	2460 MHz	27
2406 MHz	1	2434 MHz	14	2462 MHz	28
2408 MHz	2	2436 MHz	15	2464 MHz	29
2410 MHz	3	2438 MHz	16	2466 MHz	30
2412 MHz	4	2440 MHz	17	2468 MHz	31
2414 MHz	5	2442 MHz	18	2470 MHz	32
2416 MHz	6	2444 MHz	19	2472 MHz	33
2418 MHz	7	2446 MHz	20	2474 MHz	34
2420 MHz	8	2448 MHz	21	2476 MHz	35
2422 MHz	9	2450 MHz	22	2478 MHz	36
2424 MHz	10	2452 MHz	23	2480 MHz	39
2426 MHz	38	2454 MHz	24		
2428 MHz	11	2456 MHz	25		

图 5: 低功耗蓝牙 (4.0) 的频道分布

2.3 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，蓝牙信号的传输只在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。这个问题在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

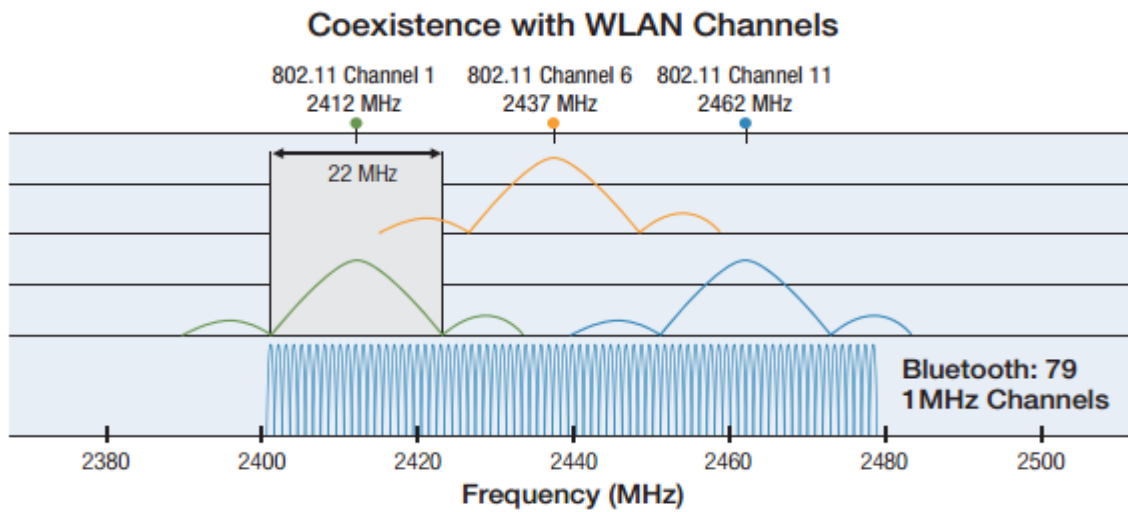


图 6: 蓝牙与 Wi-Fi 的频段共存

	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

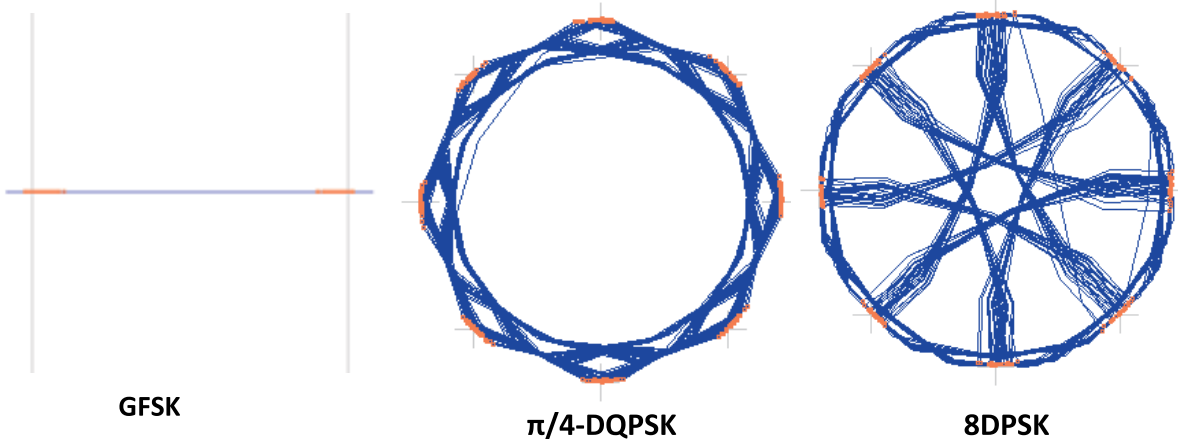


图 7: 蓝牙与 Wi-Fi 的频段共存

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。

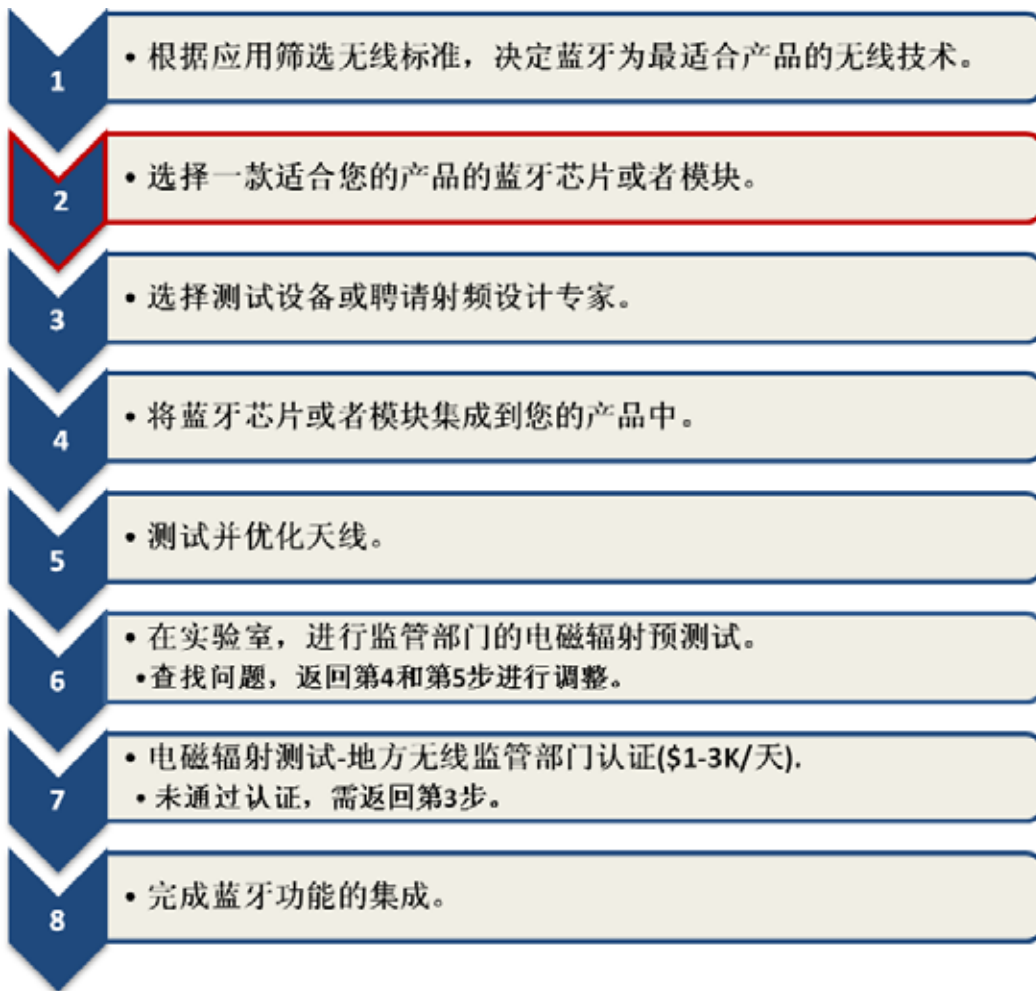
对于增强速率蓝牙 (EDR), 为了提高信号传输速率, 在调制方式上, 从低速率低功耗的 GFSK 升级成为两种形式的相位偏移调制 (PSK): $\pi/4$ -DQPSK 和 8DPSK。因此, 虽然传输中的符号速率 (symbol rate) 仍为 1Ms/s, 但是由于使用了更高阶的调制方式, 利用 $\pi/4$ -DQPS 可使数据速率提高到 2 Mbps, 而利用 8DPSK 更是可以将数据传输速率提高至 3 Mbps, 从而达到为蓝牙“增强速率”的目的。

3. 集成蓝牙模块的流程

随着无线技术的发展进入新时代, 传统商品迎来了新的发展趋势, 越来越多的传统电器, 比如咖啡机, 牙刷, 空调等, 开始着眼于将无线功能 (蓝牙或者其他) 加入产品, 从而加入到“智能电器”的行列。这样用户就可以利用手机或者其他移动设备中的应用程序随时随地去控制这些电器。这类智能平台上的应用程序的研发周期一般相对较短, 而终端用户却可因此受益匪浅, 随时随地控制身边可以想到的电器设备变得易如反掌。

为了实现上述电器设备的智能化和无线化, 对于各大传统电器厂商来讲, 学习如何将无线功能植入自己的

如果您希望您的产品拥有蓝牙功能, 那么您需要?



产品，就变成了成功路上必不可少的一步。拿蓝牙举例，将蓝牙功能植入现有产品的方法有很多，其中最常用的一种，就是直接使用完整封装的蓝牙模块。购买蓝牙模块大大简化了整个集成过程，但是其中也将面临很多挑战。首先，我们看一下集成蓝牙模块到现有产品的典型设计流程，以及每一步可能涉及到的问题。

下面我们将重点介绍第二步，如何挑选蓝牙芯片或模块。

4. 如何选择蓝牙模块

蓝牙模块是一种功能型组件，只有在嵌入到适合的系统中才能发挥其所有功能。当为您的产品选择蓝牙模块时，硬件方面和软件方面都需要进行深入的考察。下图是蓝牙模块的简化结构图。

蓝牙模块的硬件由两部分组成：蓝牙芯片和应用处理器。目前市场上，更多的产品是通过从例如 Laird

Technologies, Quatech, 和 Roving Networks 这类模块厂商直接购买带有应用处理器的蓝牙模块，然后直接嵌入到自己的产品中。模块中的应用处理器带有内部或外部闪存，ROM, 和 RAM。模块还提供了不同的 I/O 接口以便服务于不同的应用，包括时钟，串行通信接口，模拟比较器，ADC，DAC，晶振，以及调试接口等等。

蓝牙模块一般还需要特定软件的支持，针对于不同应用，来保证安全性，易于使用者的操作和开发者的管理。模块的软件部分如图所示，通常包括驱动程序，和功能全面的管理和控制程序。

当您在挑选一款蓝牙或其他射频模块时，市场上可能会有超出您想象多的选择和方案。模块厂商或者供应商通常会将模块进行分类，分类的依据可以是传输速率，传输距离，频段，认证与否，包装大小，等等。下面我们针对于搜索中可能出现的参数简单介绍一下如何选择适合您的蓝牙模块。

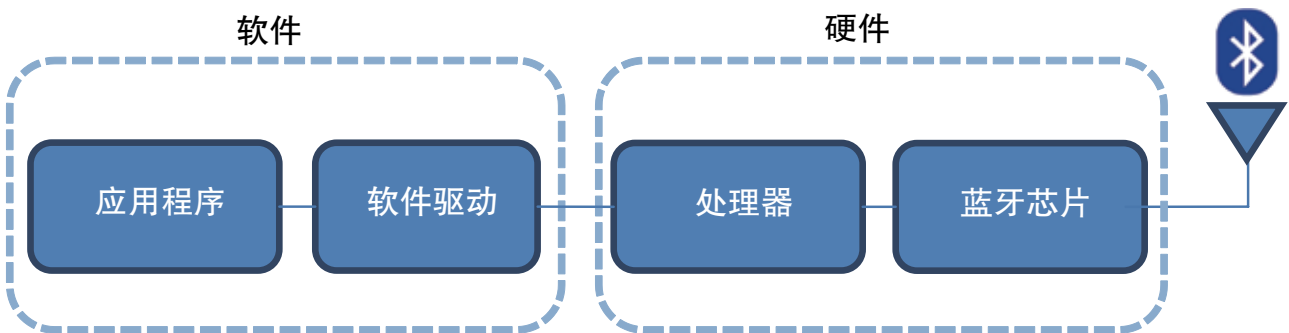


图 8: 典型蓝牙模块的简化框图

考虑因素	描述												
协议 / 标准	<p>蓝牙标准自创始以来有多种版本，目前市场上通用的包括基本速率 (Basic Rate – BR)，增强速率 (Enhanced Data Rate – EDR)，和最新的低功耗 (Low Energy – LE)。</p> <p>每一个无线标准都有长处于短处，无论对蓝牙和其他通信标准进行对比，还是在蓝牙本身的不同版本之间进行对比。每种标准也都有不同的指标要求，选购模块之前，您需要衡量各种利弊，选择最适合您应用的数据传输速率，功耗要求，等等。无线标准不断的更新换代，新的无线标准拥有更先进的技术，更快的速率，更低的能耗，但是相对成熟的标准也有他们自己的优势，那就是更广泛的市场占有率和更好的兼容性。</p> <p>选择蓝牙模块时，除了关注于蓝牙标准本身，还需要考虑一些其他因素，比如说同一个模块是否支持其他标准。因为蓝牙模块运行在 2.4 GHz 频段，这样蓝牙模块很多会同时支持 Wi-Fi，以满足高速传输的要求。</p>												
频段	<p>2.400 GHz 到 2.4835 GHz。经典蓝牙总计 79 个频道，频段间隔为 1MHz。低功耗蓝牙 (蓝牙 4.0) 致力于降低功耗和成本，降低了滤波器设计的要求，频道间隔增大至 2MHz，总计 40 个频道。</p> <p>如果您希望蓝牙和 Wi-Fi 功能二合一，那么则必须考虑 Wi-Fi 的运行频段，802.11b/g/n 运行在与蓝牙相同的 2.4 GHz，但如果需要其他版本的 Wi-Fi，比如 802.11a/h/j/n/ac/p，那么这类模块必须要同时支持 5 GHz 频段，这样也就增加了模块设计的成本。</p>												
传输距离	<p>与其他任何无线技术相同，蓝牙网络的传输距离是有限的。不同版本的距离不同，低功耗蓝牙 (蓝牙 4.0) 的传输距离会更长一些。同一版本不同功率分级可支持的传输距离也不同。蓝牙功率分三级，功率越大，信号可到达的位置也就越远：</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ Class 3: 辐射距离最远 1 米，应用于超短距离传输。 ■ Class 2: 辐射距离最远 10 米，大部分移动设备都属于这一分级。 ■ Class 1: 辐射距离最远 100 米，主要在工业上使用。 <p>真正有效的信号传输距离会根据真实的环境而有偏差，比如传输条件，材料，产品偏差，天线，电池，等等。</p>												
传输输出功率和工作电流 / 电压	<p>高功率意味着更远的到达范围。下表列出了蓝牙对于功率的要求：</p> <table border="1" data-bbox="456 1453 1294 1623"> <thead> <tr> <th>功率分级</th> <th>最大功率 (dBm)</th> <th>功率控制要求</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>20</td> <td>必须</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>4</td> <td>非必须</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>0</td> <td>非必须</td> </tr> </tbody> </table> <p>设备满足了蓝牙标准的要求之外，还需要满足地方政府频谱监管部门对于功率的要求。而蓝牙设备一般是通过电池供电，因此，设备的工作电流 / 电压也将是一个重要的考量因素，直接决定了充电周期和电池寿命。</p>	功率分级	最大功率 (dBm)	功率控制要求	1	20	必须	2	4	非必须	3	0	非必须
功率分级	最大功率 (dBm)	功率控制要求											
1	20	必须											
2	4	非必须											
3	0	非必须											
微处理器 / 微控制器	<p>微处理器 / 微控制器相当于一个射频模块的大脑，起到优化硬件功能，接收无线数据，整合并高速处理信号的作用。选择处理器时，比较重要的衡量包括价格，尺寸，存储能力，功耗，外设拓展性，和运算速度。</p>												

考虑因素	描述														
操作系统 (驱动支持)	Android, iPhone/iPad, Linux, WinCE, or 或者其他嵌入式系统的支持。目前越来越多蓝牙模块允许终端用户使用智能平台, 快速的设置连接蓝牙, 监控管理其应用。如果您需要您的产品拥有这个功能, 那就要考虑操作系统及其驱动的支持。														
传输速率	<table border="1" data-bbox="411 485 1398 696"> <thead> <tr> <th>调制方式</th> <th>数据速率</th> <th>必须</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>基本速率 (Basic Rate)</td> <td>GFSK</td> <td>1 MB/s</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">增强速率 (Enhanced Data Rate)</td> <td>$\pi/4$-DQPSK</td> <td>2 MB/s</td> </tr> <tr> <td>8DPSK</td> <td>3 MB/s</td> </tr> <tr> <td>低功耗 (Low Energy)</td> <td>GFSK</td> <td>1 MB/s</td> </tr> </tbody> </table> <p>低功耗蓝牙理论的传输速率不会达到其本身最大带宽的支持 (1 MHz), 因为低功耗蓝牙的并不是为了保证传输速率而制定的标准, 而是着重于简单信息的传递。如果在相对较高的速率传输数据, 低功耗蓝牙的能耗将增大, 这也就与其设计理念不符。如需要高速的传输, 可以考虑增强速率蓝牙, 或更高速度的 Wi-Fi。当然一切速率的提升, 几乎都是以能耗作为代价的。</p>	调制方式	数据速率	必须	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
调制方式	数据速率	必须													
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													
天线和接口	<p>蓝牙模块的天线大体分为两种, 全向天线和定向天线:</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ 全向天线可以将信号辐射到 360° 范围, 将信号覆盖率达到最大。典型需要全向天线的的应用包括家居和办公环境的网络覆盖。 ■ 定向天线只对特定方向发送信号。典型应用包括点对点的传输。 <p>天线接口可分为芯片固定天线和 支持外接天线的 U.FL 接口。前者是近几年刚刚流行的新技术, 这样可以使整个模块设备的尺寸保持在 8 * 5 * 2.5 mm 左右的超小尺寸。而后者则具有更高的灵活性, 使用与对尺寸没有苛刻要求的应用。</p> <p>另外, 天线是否已通过监管部门认证也是选择天线的重要条件之一。如果模块和天线都已经是被认证, 您的产品在部分国家也可直接免认证。</p>														
正常运行温度	蓝牙模块最常用的工作温度为 -40°C 到 85°C。目前大部分蓝牙模块的设计一般为“保证在非极端气温下作为商业用途使用”。实际上, 即便有些模块标注自己可以在极端气温下工作, 也需要在使用过程中有风扇或者温室等保护装置。														
硬件接口	数据接口最常用的是串行 UART 连接, 安全数字输入输出卡 (SDIO), 串行外设接口 (SPI) 或 USB。SDIO, SPI 和 USB 连接是高速数据传输必不可少的接口。数字接口用来连接设备和处理器。														
其他功能	外观与尺寸, 包装, PCB 设计, 实时时戳, 自动休眠 / 激活, 无线固件升级, 演示板, 用户编程接口, 等等														
认证	<p>一部分模块厂商标榜自己的产品已通过认证测试, 因此一个常见的问题就是: 如果我购买这种认证模块, 那么集成后的产品是否仍需再次进行监管部门的认证测试?</p> <p>简单来说, 答案是肯定的。因为世界上大部分频谱监管部门, 比如欧洲的 ETSI/CE 并没有认证模块豁免规定。也就是说认证测试一定要基于产品, 而不是模块。如果您想了解更多细节, 请参考泰克应用指南 “Spectrum Pre-compliance for Wireless LAN Regulatory Testing”。</p>														

应用指南

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，例如健康监测，安全监控等，那么功耗指标可能是您的首选。

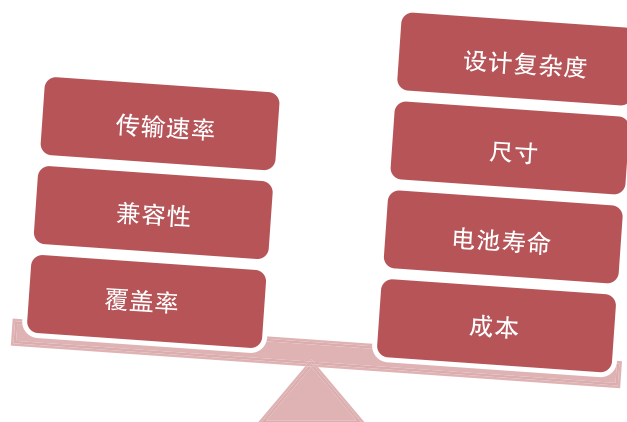


图 9: 选择蓝牙模块的取舍

5. 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。

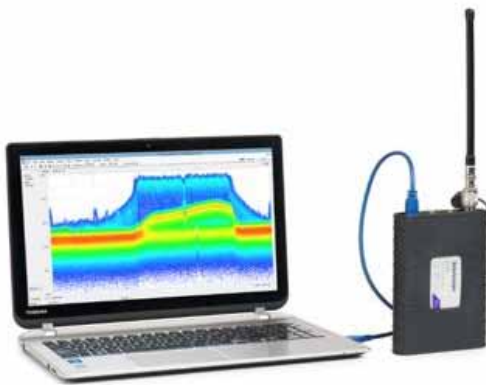
部分射频模块厂商

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	

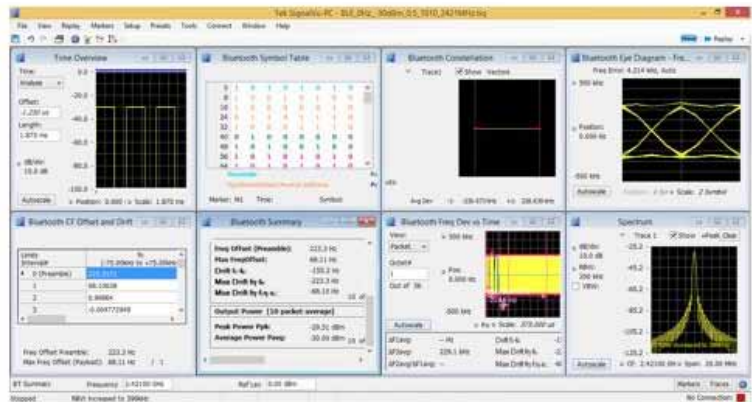
然而，寄希望于模块厂商参与到具体的产品集成工作，帮助工程师解决所有射频设计环节可能出现的问题，是不现实的。物联网设备的无线集成过程，仍需要一名射频专家，才能保证产品顺利的推向市场。这种技术支持，可以依靠雇用一名射频领域的顾问，可以求助于专业的机构，也可以是来自于专业的射频测试设备公司，比如泰克科技。

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 RSA306 实时频谱分析仪



泰克 SignalVu-PC 矢量信号分析软件 - 蓝牙测试



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

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，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。

所需测试简介：

泰克 SignalVu-PC 的蓝牙分析选件包含多种不同测试，以下我们将对各种蓝牙所需测试进行基本的介绍。用户可以通过这个章节简单了解蓝牙测试的内容，以便日后可根据自己的需求选择必要的测试，更有效的验证自己的设备是否达标。

5.1 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。

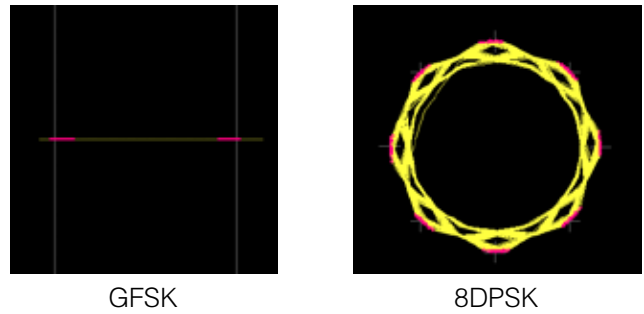


图 10: 标准速率蓝牙信号的高频率偏移 (10101010) 测试

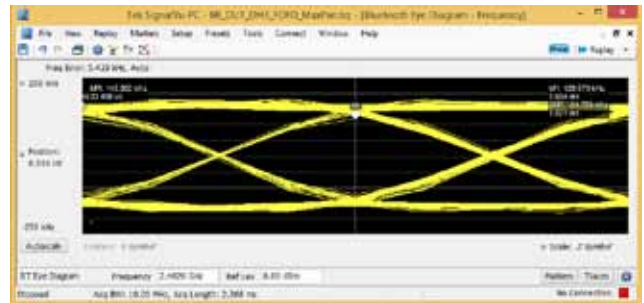


图 11: 标准速率蓝牙信号的低频率偏移 (11110000) 测试

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。

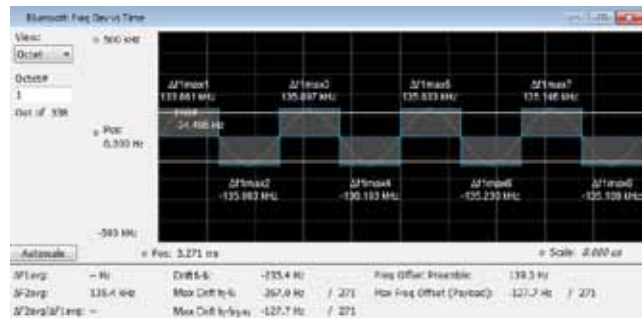


图 12: 标准速率蓝牙信号的高频率偏移 (10101010) 测试

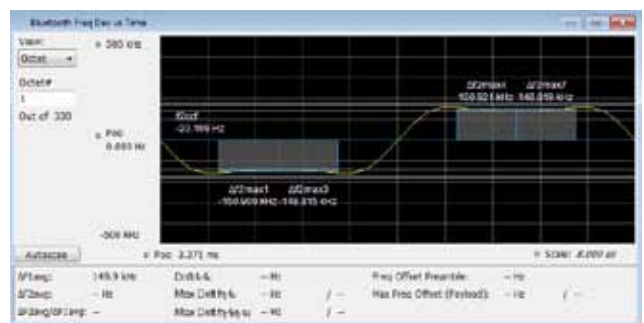


图 13: 标准速率蓝牙信号的低频率偏移 (11110000) 测试

应用指南

5.2 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 (fn-f0) 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#	fn (-150.0kHz to +150.0kHz)	fn-f0(-40.00kHz to +40.00kHz) f1-f0(-20.00kHz to +20.00kHz)	fn-f(n-5) (-20.00kHz to +20.00kHz)
0 Preamble	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	-0.004858398	-139.28	-0.00218544
13	0.001594162	-139.2736	0.009519577
14	-0.001327515	-139.2765	0.008990479
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	-0.002378062
19	0.001569366	-139.2736	0.002896881
20	0.007740492	-139.2674	-0.004861068
21	-0.001542282	-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	-139.2896	-0.02241669
26	-0.004405975	-139.2796	-0.002863693
27	0.0005382538	-139.2746	-0.009014511
28	-0.01394346	-139.2891	-0.007627105

Marker: MR Time: 3.133 ms Interval# 0 Value: 139.2

Freq Offset Preamble: 139.3 Hz Drift fn-f0: -235.4 Hz Max Drift fn-f(n-5): -127.7 Hz / 271
 Max Freq Offset (Payload): -127.7 Hz / 271 Max Drift fn-f1: -267.0 Hz / 271

图 14: 标准速率蓝牙信号的载波频率偏移和漂移测试结果列表

5.3 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 2401

MHz to 2481 MHz 频段中，80 个频道每一个 1 MHz 频段的积分功率。测试会计算出相邻信道的积分功率（出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。

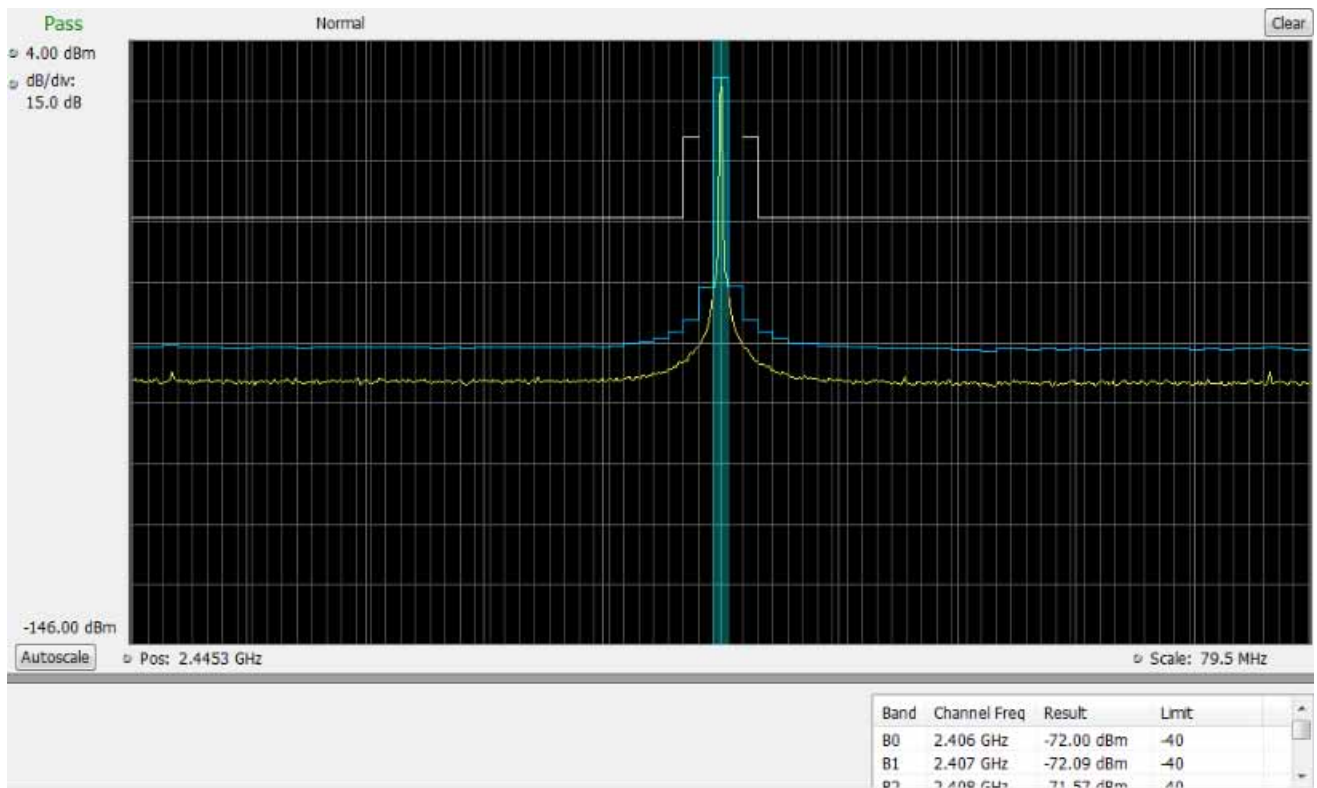


图 15: 标准速率蓝牙信号的带内杂散测试

5.4 输出功率 (Output Power)

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。

5.5 20 dB 带宽 (20 dB Bandwidth)

20 dB 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。20 dB 带宽定义为待测设备发射的信号低于峰值 20 dB 处的频率范围。对于基本速率，标准规定 20 dB 带宽不应大于 1.0 MHz，以防干扰其他邻信道的信号。

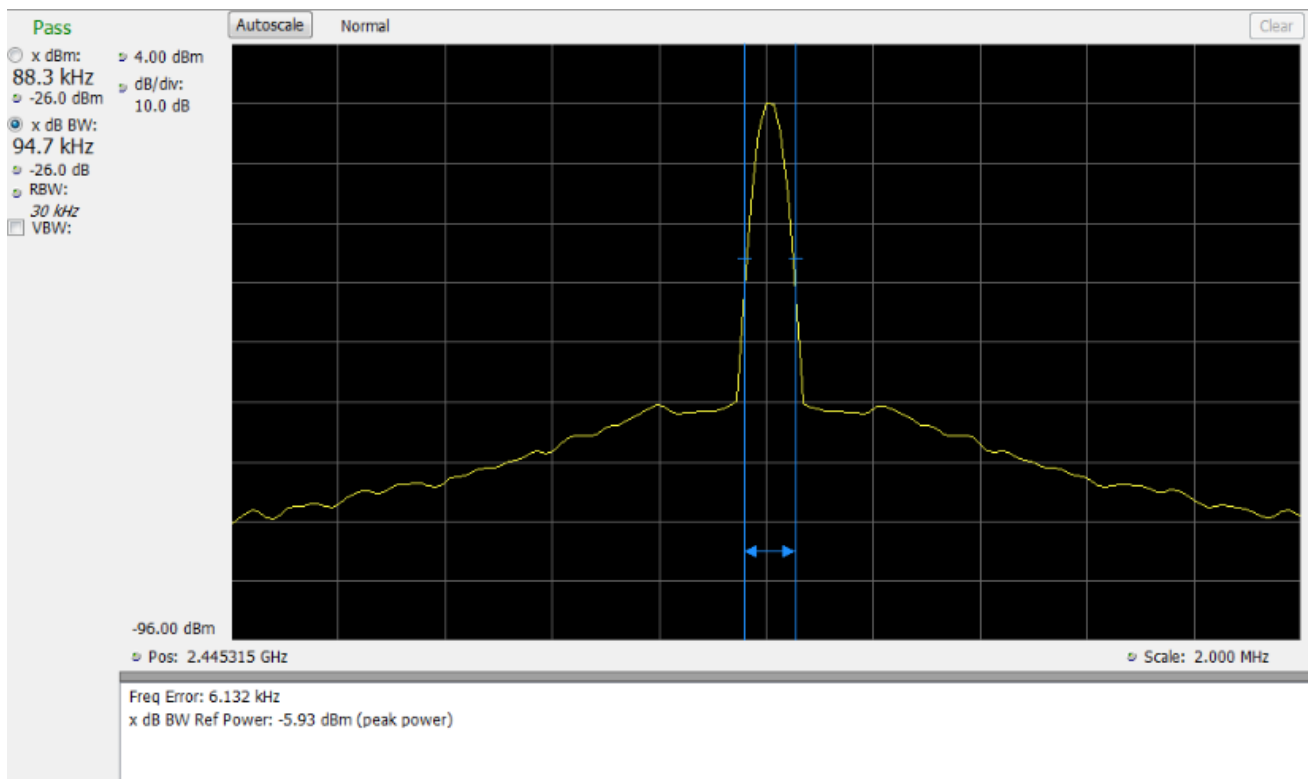


图 16: 标准速率蓝牙信号的带内杂散测试

5.6 频率范围 (Frequency Range)

频率范围测试的作用与 20 dB 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 (2399 MHz 到 2405 MHz) 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 30 dBm 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 30 dBm 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。

5.7 功率谱密度 (Power Density)

功率谱密度测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 100 kHz

100 mW (20 dBm)。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每 MHz -20 dBW (10 mW)。

5.8 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方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。



图 17: 杂散测试举例 FCC 15.247

5.9 接收机测试

蓝牙的接收机测试是确保蓝牙接收设备能正常的接收信号。蓝牙标准对于接收机测试的要求包括：灵敏度测试，阻塞测试等等。通常来讲，接收机测试必须使用高精度的、经过校准的信号发生器。2015年泰克推出的 TSG4100A 系列矢量信号发生器 (Vector Signal Generator)，可以产生高质量的蓝牙信号，适用于蓝牙产品设计、验证测试和生产调测等场合。在该产品面市以前，用户只能要么选择不支持 IoT 调制信号格式的模拟 RF 信号发生器，要么选择非常昂贵的矢量信号发生器 (VSG)。泰克 TSG4100A 系列产品以颠覆性的价格为客户提供了中档次的 RF VSG 性能指标、丰富的矢量信号调制功能，可以广泛应用于包括蓝牙技术在内的 IoT 产业。它支持在 400 MHz~6.0 GHz 的范围内产生矢量调制信号，内置的 IQ 基带发生器可以产生 IoT 行业广泛应用的矢量调制方式：ASK、QPSK、DQPSK、 $\pi/4$ DQPSK、8PSK、FSK、CPM、

QAM(4 to 256)、8VSB 和 16VSB 等。它还内置丰富的标准脉冲整形滤波器：升余弦、根升余弦、高斯、矩形、三角形等。如需进一步提高灵活性，后面板 BNC I/Q 调制输入支持来自外部来源任意 IQ 矢量调制，RF 调制带宽高达 400MHz。内置 IQ 基带发生器以 125 MHz/s 的采样频率工作，可以存储 16M 的文件。这足以满足用户对产生蓝牙信号进行接收机测试的需求。

TSG4100A 支持手动和自动产生各种制式的蓝牙信号。手动操作的时候，用户可以方便的设置频率、功率等级、调制方式(如 FSK、PSK)、滤波器形态(如高斯滤波器)，直接输出所需的蓝牙信号。需要自动产生蓝牙信号时，比如产线测试、环境试验等情况下，可以将符合蓝牙协议要求的 IQ 波形文件直接发送到 TSG4100A 的内存中，然后调用该 IQ 文件来产生蓝牙信号。下图是利用 TSG4100A 产生 2.4 GHz 的蓝牙低功耗信号，并用 RSA306 解调分析。

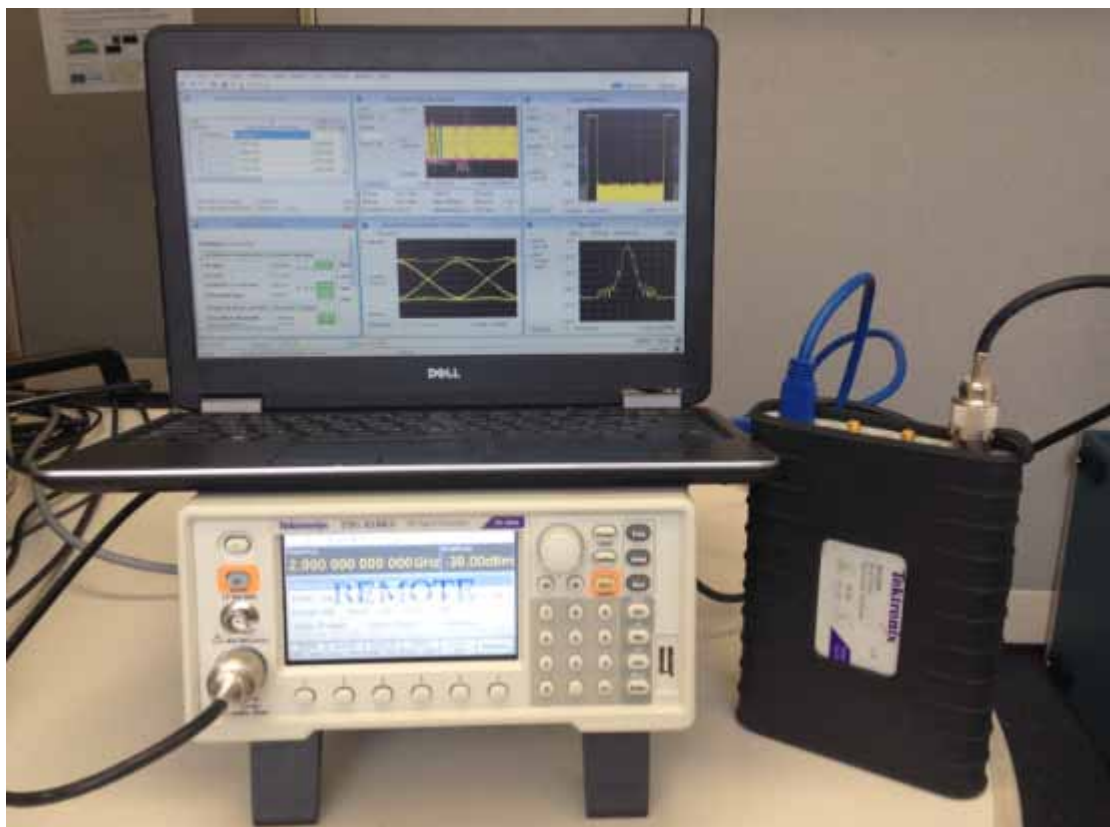


图 18: TSG4100A 矢量信号发生器与 RSA306 实时频谱分析仪的蓝牙低功耗信号收发演示

泰克科技(中国)有限公司
上海市浦东新区川桥路1227号
邮编: 201206
电话: (86 21) 5031 2000
传真: (86 21) 5899 3156

泰克北京办事处
北京市海淀区花园路4号
通恒大厦1楼101室
邮编: 100088
电话: (86 10) 5795 0700
传真: (86 10) 6235 1236

泰克上海办事处
上海市徐汇区宜山路900号
科技大楼C楼7楼
邮编: 200233
电话: (86 21) 3397 0800
传真: (86 21) 6289 7267

泰克深圳办事处
深圳市福田区南园路68号
上步大厦21层G/H/I/J室
邮编: 518031
电话: (86 755) 8246 0909
传真: (86 755) 8246 1539

泰克成都办事处
成都市锦江区三色路38号
博瑞创意成都B座1604
邮编: 610063
电话: (86 28) 6530 4900
传真: (86 28) 8527 0053

泰克西安办事处
西安市二环南路西段88号
老三届世纪星大厦26层C座
邮编: 710065
电话: (86 29) 8723 1794
传真: (86 29) 8721 8549

泰克武汉办事处
武汉市解放大道686号
世贸广场1806室
邮编: 430022
电话: (86 27) 8781 2760/2831

泰克香港办事处
香港九龙尖沙咀弥敦道132号
美丽华大厦808-809室
电话: (852) 2585 6688
传真: (852) 2598 6260

有关信息

泰克公司备有内容丰富的各种应用文章、技术简介和其他资料, 并不断予以充实, 可为从事前沿技术研究的工程师提供帮助。请访问泰克公司网站 cn.tektronix.com



©2015 年泰克公司版权所有, 侵权必究。泰克产品受到已经签发及正在申请的美国专利及外国专利的保护。本文中的信息代替以前出版的材料中的所有信息。本文中的技术数据和价格如有变更, 恕不另行通告。TEKTRONIX 和 TEK 是泰克公司的注册商标。本文中提到的所有商号均为各自公司的服务标志、商标或注册商标。

Tektronix®