

蓝牙技术原理与测试

摘要：

本文前部分详细讲述了蓝牙的射频、基带和协议的关键技术。内容涵盖蓝牙调制方式、数据包的构成、跳频序列、网络拓扑结构、核心协议以及纠错编码机制。后半部分核心为蓝牙规范的 23 个测试项目。作者对此做了系统归类，对每个测试项从测试目的、测试设置、测试方法到测试结果进行阐述。文末还对蓝牙的音频测试和生产线测试做了简单介绍。

1	引言	- 1 -
2	概述	- 1 -
3	蓝牙应用举例	- 1 -
4	蓝牙关键技术	- 2 -
4.1	蓝牙网络拓扑结构	- 2 -
4.1.1	微微网	- 2 -
4.1.2	散射网	- 2 -
4.2	协议体系	- 3 -
4.2.1	物理硬件部分	- 3 -
4.2.2	核心协议	- 4 -
4.2.3	高层协议	- 4 -
4.3	蓝牙调制方式	- 5 -
4.3.1	GFSK	- 5 -
4.3.2	$\pi/4$ -DQPSK 和 8DPSK	- 6 -
4.4	频率范围和信道	- 7 -
4.5	跳频序列和跳频机制	- 7 -
4.5.1	跳频周期	- 7 -
4.5.2	自适应跳频技术	- 7 -
4.6	蓝牙数据包	- 8 -
4.6.1	蓝牙链路 SCO 和 ACL	- 8 -
4.6.2	蓝牙前导接入码	- 9 -
4.6.3	蓝牙数据包结构	- 9 -
4.6.3.1	蓝牙单时隙、多时隙结构	- 9 -
4.6.3.2	V1.2 标准数据包结构	- 10 -
4.6.3.3	EDR 数据包结构	- 11 -
4.7	蓝牙编址	- 12 -
4.7.1	蓝牙地址	- 12 -
4.7.2	从节点地址	- 13 -
4.8	蓝牙状态	- 13 -
4.8.1	蓝牙待命状态	- 14 -
4.8.2	连接状态	- 14 -
4.8.3	蓝牙状态转换	- 15 -
4.9	蓝牙纠错机制	- 16 -
4.10	蓝牙技术特征总结	- 17 -
4.10.1	蓝牙技术的优势	- 17 -
4.10.2	蓝牙的劣势	- 17 -
4.10.3	蓝牙的技术性能参数(V1.2)	- 17 -
5	蓝牙射频测试	- 18 -
5.1	R&S 蓝牙综测仪介绍	- 18 -
5.2	R&S 蓝牙射频解决方案	- 19 -
5.3	蓝牙测试模式	- 20 -
5.4	单台仪表能完成测试的项目概述	- 20 -
5.4.1	V1.2 发射机测试	- 21 -
5.4.1.1	TRM/CA/01/C(输出功率 5.1.3)	- 22 -
5.4.1.2	TRM/CA/03/C(功率控制 5.1.5)	- 24 -
5.4.1.3	TRM/CA/04/C(发射输出频谱-频率范围 5.1.6)	- 25 -

5.4.1.4	TRM/CA/05/C(发射输出频谱- 20dB 带宽 5.1.7)	- 26 -
5.4.1.5	TRM/CA/06/C(发射输出频谱- 临信道功率 5.1.8)	- 27 -
5.4.1.6	TRM/CA/07/C (调制特性 5.1.9)	- 28 -
5.4.1.7	TRM/CA/08/C (初始载波频率容限 5.1.10)	- 29 -
5.4.1.8	TRM/CA/09/C (载波频率漂移 5.1.11)	- 30 -
5.4.2	V2.0 EDR 发射机测试	- 31 -
5.4.2.1	TRM/CA/10/C (EDR 相对发射功率 5.1.12)	- 31 -
5.4.2.2	TRM/CA/11/C (EDR 载波频率稳定性和调制准确度 5.1.13)	- 32 -
5.4.2.3	TRM/CA/12/C (EDR 差分相位编码 5.1.14)	- 34 -
5.4.2.4	TRM/CA/13/C (EDR 带内杂散辐射 5.1.15)	- 35 -
5.4.3	V1.2 接收机测试	- 36 -
5.4.3.1	RCV/CA/01/C (灵敏度 – 单时隙数据包 5.1.16)	- 36 -
5.4.3.2	RCV/CA/02/C (灵敏度 – 多时隙数据包 5.1.17)	- 38 -
5.4.3.3	RCV/CA/06/C (最大输入电平 5.1.21)	- 38 -
5.4.4	V2.0 EDR 接收机测试	- 39 -
5.4.4.1	RCV/CA/07/C (EDR 灵敏度 5.1.22)	- 39 -
5.4.4.2	RCV/CA/08/C (EDR BER 平坦性能 5.1.23)	- 40 -
5.4.4.3	RCV/CA/10/C(EDR 最大输入电平 5.1.25)	- 40 -
5.5	需要加频谱仪或信号源才能完成的项目	- 41 -
5.5.1	V1.2 发射机测试	- 41 -
5.5.1.1	TRM/CA/02/C (功率密度 5.1.4)	- 41 -
5.5.2	V1.2 接收机测试	- 43 -
5.5.2.1	RCV/CA/03/C (C/I 性能 5.1.18)	- 43 -
5.5.2.2	RCV/CA/04/C (阻塞特性 5.1.19)	- 44 -
5.5.2.3	RCV/CA/05/C (互调特性 5.1.20)	- 45 -
5.5.3	V2.0 EDR 接收机测试	- 46 -
5.5.3.1	RCV/CA/09/C (EDR C/I 性能 5.1.24)	- 46 -
6	蓝牙音频测试	- 47 -
6.1	蓝牙耳机测试	- 47 -
7	生产测试程序	- 48 -
7.1	CBTgo 和 CMUgo 介绍	- 48 -
7.2	远端控制程序	- 49 -
8	参考文献	- 53 -

1 引言

蓝牙是一种支持设备短距离通信（一般是10m之内）的低功耗、低成本无线电技术。能在包括移动电话、PDA、无线耳机、笔记本电脑、相关外设等众多设备之间进行无线信息交换。它利用短程无线链路取代专用电缆，不但免去相互之间连接的麻烦，而且便于人们在室内或户外流动操作。具有广泛的应用前景，正受到全球各界的广泛关注。新兴的蓝牙技术已从萌芽期进入了壮大发展期，在无线通信、消费类电子和汽车电子以及工业控制领域得到广泛的应用。

2 概述

“蓝牙”（Bluetooth）原是一位在10世纪统一丹麦的国王，他将当时的瑞典、芬兰与丹麦统一起来。用他的名字来命名这种新的技术标准，含有将四分五裂的局面统一起来的意思。蓝牙技术使用高速跳频（FH，Frequency Hopping）和时分多址（TDMA，Time Division Multiple Access）等先进技术，在近距离内最廉价地将几台数字化设备（各种移动设备、固定通信设备、计算机及其终端设备、各种数字数据系统，如数字照相机、数字摄像机等，甚至各种家用电器、自动化设备）呈网状链接起来。蓝牙技术将是网络中各种外围设备接口的统一桥梁，它消除了设备之间的连线，取而代之以无线连接。

蓝牙是一种短距的无线通讯技术，它的标准是IEEE802.15，工作在2.4GHz 频带，带宽为1Mb/s。电子装置彼此可以透过蓝牙而连接起来，省去了传统的电线。透过芯片上的无线接收器，配有蓝牙技术的电子产品能够在十公尺的距离内彼此相通，传输速度可以达到每秒钟1兆字节。以往红外线接口的传输技术需要电子装置在视线之内的距离，而现在有了蓝牙技术，这样的麻烦也可以免除了。

蓝牙（Bluetooth）是由东芝、爱立信、IBM、Intel和诺基亚于1998年5月共同提出的近距离无线数字通信的技术标准。其目标是实现最高数据传输速度1Mb/s（有效传输速度为721kb/s）、最大传输距离为10米，用户不必经过申请便可利用2.4GHz的ISM（工业、科学、医学）频带，在其上设立79个带宽为1MHz的信道，用每秒钟切换1600次的频率、滚齿方式的频谱扩散技术来实现电波的收发。

3 蓝牙应用举例

- ❖ 蓝牙外设：电脑使用蓝牙鼠标和蓝牙键盘，代替有线鼠标和键盘。蓝牙打印机的应用也很受欢迎。蓝牙耳机的应用改变了人们接电话的方式
- ❖ 文件传输：可跨越不同软件平台传输文件，越来越多手机不仅拥有彩色显示屏，有和弦铃声，更可以自己上网下载铃声、图片和小游戏来玩。
- ❖ 传真服务：如果您拥有一部蓝牙手机，只要您到运营商开通的数据传真服务，并在电脑上安装例如WINFAX的发传真的软件，然后把数据机指定为手机端口就可以在电脑上通过蓝牙无线发传真了。
- ❖ 蓝牙网络：组建硬件、软件和互操作需求的一种无固定的中心站蓝牙网络。PPC与PC在非同步的方式下共享上网。

- ❖ 拨号网络：拨接到调制解调器，以连接到因特网。
- ❖ 语音数据：也就是蓝牙的音频网关的服务，同时蓝牙能提供数据同步、存储功能。蓝牙U盘和USB适配器等就是在数据领域的典型应用。
- ❖ 汽车电子：蓝牙汽车音响、蓝牙后视镜、蓝牙车载导航、蓝牙汽车防盗系统。
- ❖ 工业控制：通过蓝牙网关进行工业仪表的控制。蓝牙串口模块在现场控制中的应用。

4 蓝牙关键技术

4.1 蓝牙网络拓扑结构

4.1.1 微微网

微微网（Piconet）：是由采用蓝牙技术的设备以特定方式组成的网络。微微网的建立是由两台设备（如便携式电脑和蜂窝电话）的连接开始，最多由8台设备构成。所有的蓝牙设备都是对等的，以同样的方式工作。然而，当一个微微网建立时，只有一台为主设备，其他均为从设备，而且在一个微微网存在期间将一直维持这一状况。

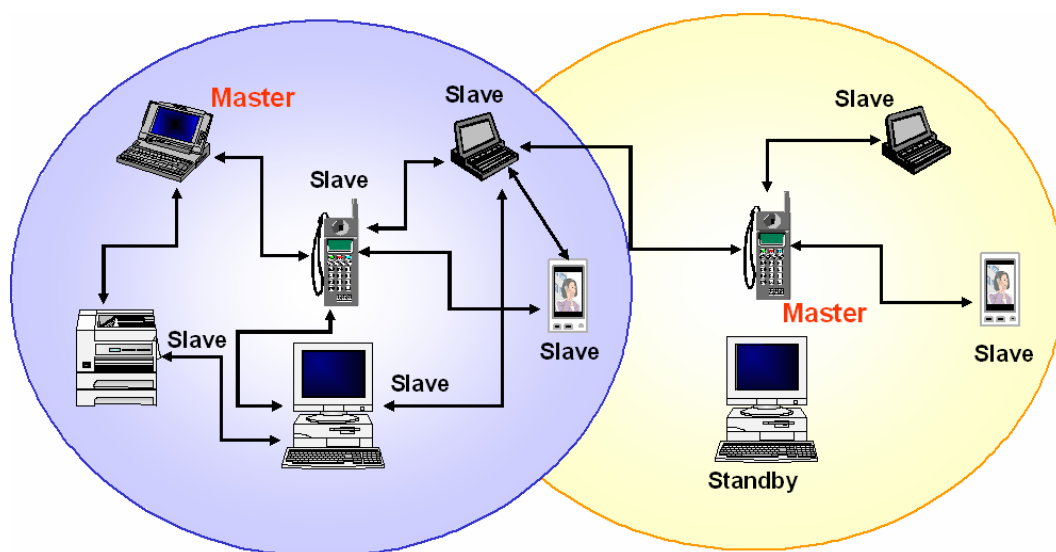


图1. 蓝牙网络拓扑图

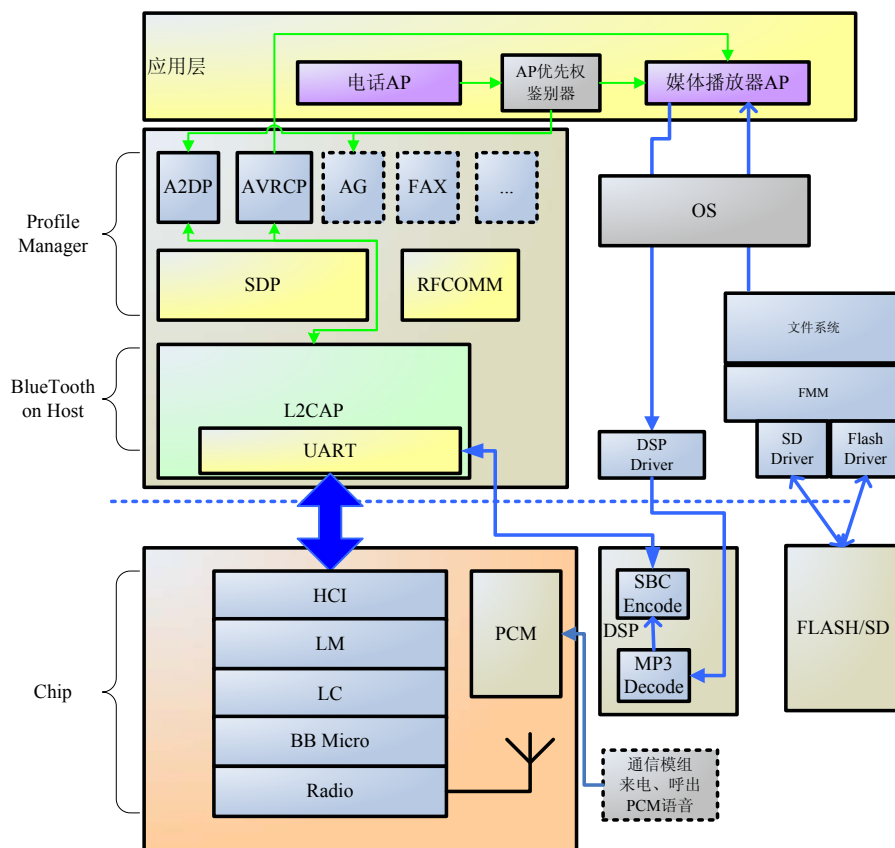
所有的用户都共享同一可以达到的资源（数据速率）。从设备最多只能有 3 个面向同步的（SCO）连接和一个面向异步的（ACL）连接同时进行。

4.1.2 散射网

散射网络（Scatternet）：是由多个独立、非同步的微微网形成的。由多个独立的非同步的微微网组成的。它靠跳频顺序识别每个微微网。同一微微网所有用户都与这个跳频顺序同步。一个分布网络中，在带有 10 个全负载的独立的微微网的情况下，全双工数据速率超过 6Mbit/s。

4.2 协议体系

蓝牙协议体系结构可以分为底层硬件模块、核心协议层、高端应用层 3 大部分。如下图所示：



4.2.1 物理硬件部分

链路管理(LM)、基带(BB)和射频(RF)构成了蓝牙的物理模块。RF通过2.4GHz的ISM频段，实现数据位流的传输，它主要定义了蓝牙收发器应满足的条件。基带扶着跳频和蓝牙数据和信息帧的传输。基带就是蓝牙的物理层，它负责管理物理信道和链路中除了错误纠正、数据处理、调频选择和蓝牙安全之外的所有业务。基带在蓝牙协议栈中位于蓝牙无线电之上，基本上起链路控制和链路管理的作用，比如承载链路连接和功率控制这类链路级路由等。基带还管理异步和同步链路、处理数据包、寻呼、查询接入和查询蓝牙设备等。基带收发器采用时分复用TDD方案（交替发送和接收），因此除了不同的跳频之外（频分），时间都被划分为时隙。在正常的连接模式下，主单元会总是以偶数时隙启动，而从单元则总是从奇数时隙启动（尽管他们可以不考虑时隙的序数而持续传输）。

链路管理负责连接的建立和拆除以及链路的安全和控制，他们为上层软件模块提供了不同的访问入口，但是2个模块接口直接的消息和数据传输必须通过蓝牙主机控制器(HCI)的解析。也就是说HCI就是蓝牙协议中软件和硬件接口的部分。它提供了一个调用下层的基带、链路管理器、状态和控制寄存器等硬件的同一命令接口。

HCI 以上的协议软件实体运行在主机上，而 HCI 一下的功能有蓝牙设备来完成，二者直接通过传输层进行交互。

4.2.2 核心协议

设计协议和协议栈的主要原则是尽可能地利用现有各种高层协议，保证现有协议与蓝牙技术的融合以及各种应用之间的互通性；充分利用兼容蓝牙技术规范的软硬件系统和蓝牙技术规范的开放性，便于开发新的应用。蓝牙标准包括 Core, Profiles 两大部分。Core 是蓝牙的核心，主要定义蓝牙的技术细节；Profiles 部分定义了蓝牙的各种应用中的协议栈组成，并定义了相应的实现协议栈。这样就为全球兼容性打下了基础。

它是蓝牙协议的关键部分。包括基带部分协议和其它低层链路功能的基带/链路控制期协议；用于链路的建立、安全和控制的链路管理器协议 LMP；描述主机控制器接口的 HCI 协议；支持高层协议复用、帧的组装和拆分的逻辑链路控制和分配协议 L2CAP；发现蓝牙设备提供服务的 SDP 协议等。

❖ 连接管理协议（LMP）

连接管理协议（LMP）负责蓝牙各设备间连接的建立。它通过连接的发起、交换、核实，进行身份验证和加密，通过协商确定基带数据分组大小；它还控制无线设备的电源模式和工作周期，以及微微网内设备单元的连接状态。

❖ 逻辑链路控制和适配协议（L2CAP）

逻辑链路控制和适配协议（L2CAP）是基带的上层协议，可以认为它与LMP并行工作，它们的区别在于当业务数据不经过LMP时，L2CAP为上层提供服务。L2CAP向上层提供面向连接的和无连接的数据服务，它采用了多路技术、分割和重组技术、群提取技术。L2CAP允许高层协议以64K字节收发数据分组。虽然基带协议提供了SCO和ACL两种连接类型，但L2CAP只支持ACL

❖ 服务发现协议（SDP）

发现服务在蓝牙技术框架中起到至关重要的作用，它是所有用户模式的基础。使用SDP，可以查询到设备信息和服务类型，从而在蓝牙设备间建立相应的连接。

4.2.3 高层协议

❖ RFCOMM 电缆替代协议

它是一种仿真协议，在蓝牙基带协议上仿真 RS-232 控制和数据信号，为上层协议提供服务。

❖ TCS 电话控制协议

它是面向比特的协议，定义蓝牙设备间建立数据和话音呼叫的控制信令和处理蓝牙 TCS 设备群的移动管理进程；AT-Command 控制命令集是定义在多用户模式下控制移动电话、调制解调器和用于仿真的命令集。

❖ 与 Internet 相关的高层协议

它定义了与 Internet 相关的 PPP、UDP、TCP/IP 协议及无线应用协议 WAP。两个蓝牙设备必须具有相同的协议组成才能进行相互的通信。

❖ 无线应用协议（WAP）

无线应用协议是由无线应用协议论坛制定的，它融合了各种广域无线网络技术，其目的是将互联网内容和电话债券的业务传送到数字蜂窝电话和其它无线终端上。选用WAP，可以充分利用为无线应用环境（WAE）开发的高层应用软件。

❖ 点对点协议（PPP）

在蓝牙技术中，PPP位于RFCOMM上层，完成点对点的连接。

❖ 对象交换协议（OBEX）

IrOBEX(简称为OBEX)是由红外数据协会（IrDA）制定的会话层协议，它采用简单的和自发的方式交换目标。OBEX是一种类似于HTTP的协议，这假设传输层是可靠的，采用客户机/服务器模式，独立于传输机制和传输应用程序接口（API）。电子名片交换格式（vCard）、电子日历及日程交换格式（vCal）都是开放性规范，它们都没有定义传输机制，而只是定义了数据传输模式。SIG采用vCard/vCal规范，是为了进一步促进个人信息交换。

❖ TCP/UDP/IP

TCP/UDP/IP协议是由IETF制定的，广泛应用于互联网通信的协议，在蓝牙设备中使用这些协议是为了与互联网相连接的设备进行通信。

。

4.3 蓝牙调制方式

4.3.1 GFSK

蓝牙使用称为 0.5BT 高斯频移键（GFSK）的数字频率调制技术实现彼此间的通信。也就是说把载波上移 157kHz 代表“1”，下移 157kHz 代表“0”，速率为 100 万符号(或比特)/秒，然后用“0.5”将数据滤波器的-3dB 带宽设定在 500kHz，这样可以限制射频占用的频谱。

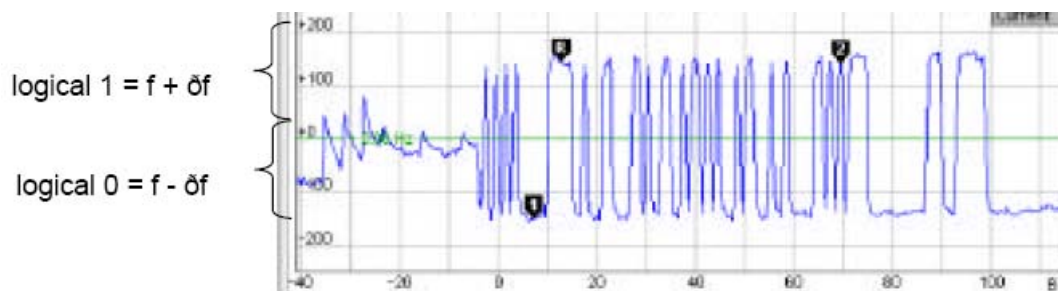


图3. GFSK 调制示意图

此图的横坐标表示的是时间信息，也可以说是数据比特信息，我们可以很清楚的看到前导接入码、数据包头和数据载荷部分。纵轴表示的是载波偏离的程度，当数据比特为 1 是表示偏差 157Hz,为 0 时表示式负的 157Hz.

4.3.2 $\pi/4$ -DQPSK 和 8DPSK

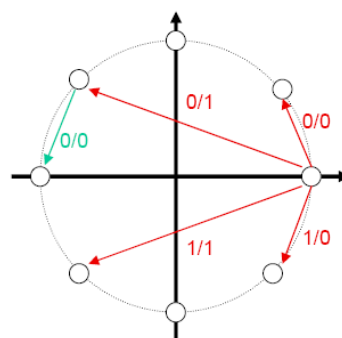
EDR 模式下的一个重要的特点就是数据内的调制方式改变了。接入码（access code）和分组头（packet header）通过 BR 模式的 1Mbps 的 GFSK 调制方式来传输，而后面的同步序列、净荷以及尾序列通过 EDR 模式的 PSK 调制方式来传输。

2Mbps 的 PSK 调制传输是采用 $\pi/4$ 循环差分相位编码的四进制键控方式。每个码元代表 2 比特信息。

◆ Modulation schemes

— $\pi/4$ -DQPSK

b_{2k-1}	b_{2k}	ϕ_k
0	0	$\pi/4$
0	1	$3\pi/4$
1	1	$-3\pi/4$
1	0	$-\pi/4$



— 8DPSK

b_{3k-2}	b_{3k-1}	b_{3k}	ϕ_k
0	0	0	0
0	0	1	$\pi/4$
0	1	1	$\pi/2$
0	1	0	$3\pi/4$
1	1	0	π
1	1	1	$-3\pi/4$
1	0	1	$-\pi/2$
1	0	0	$-\pi/4$

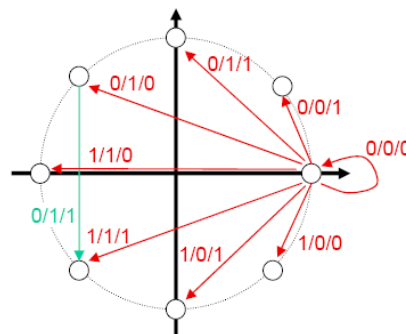


图4. $\pi/4$ -DQPSK 和 8DPSK 星座图

3Mbps 的 PSK 调制传输是采用循环差分相位编码的八进制键控方式 (8DPSK)。每个码元代表 3 比特信息。对于 $\pi/4$ -DQPSK 和 8DPSK 调制方式，支持 EDR 的蓝牙设备不具有强制性要求。只有在条件允许和环境比较好的环境下使用。

调制方式应该采用平方根形式的升余弦脉冲以便于产生等效的载有信息的低通信号 $v(t)$ 。发射机的输出是一个带通信号。

4.4 频率范围和信道

蓝牙系统工作在2.45 GHz的不要授权的工业、医疗免费ISM频段，所以它必须和其他无线通信标准共用频段，比如WLAN。不同的国家使用不同的频带，在北美和欧洲使用79个间隔为1MHz的频道，载频为 $2402 + k\text{MHz}$ ($k = 0, 1, \dots, 78$); 日本、法国、西班牙使用23个间隔为1MHz的频道，载频分别 $2473 + k\text{MHz}$, $2454 + k\text{MHz}$, $2449 + k\text{MHz}$ ($k = 0, 1, \dots, 22$)。信道由在79个或者23个RF信道中跳变的PN跳变序列识别。

4.5 跳频序列和跳频机制

2.4 GHz的ISM频段中还有802.11b, HomeRF及微波炉、无绳电话等电子设备，为了与这些设备兼容，以及有效利用频谱、防止通信设备之间相互干扰，蓝牙采用了自适应跳频AFH (Adaptive Frequency Hopping)，先听后说LBT (Listen Before Talk)、功率控制等一系列独特的措施克服干扰，避免冲突。

4.5.1 跳频周期

每个微微网的跳变序列是唯一的，由主设备的Bluetooth设备地址决定。跳变序列的相位由主设备的时钟决定。在微微网中，所有单元都在时间上和跳频上与信道同步。信道分为时隙，每个时隙长 $625\mu\text{s}$ 。每个时隙相应地有一个跳频频率，通常跳频速率为1600跳/秒。时隙数根据微微网中主设备的Bluetooth时钟决定。时隙数从0到227-1，周期为2⁸。系统使用TDD方案来使主设备和从设备交替传送，主设备只在偶数时隙开始传送信息，从设备只在奇数时隙开始传送，信息包的开始对应于时隙的开始。

4.5.2 自适应跳频技术

自适应跳频技术是建立在自动信道质量分析基础上的一种频率自适应和功率自适应控制相结合的技术。他能使跳频通信过程自动避开被干扰的跳频频点，并以最小的发射功率、最低的被截获概率，达到在无干扰的跳频信道上长时间保持优质通信的目的。所谓频率自适应控制是在跳频通信过程中，拒绝使用那些曾经用过但是传输不成功的跳频频率集中的频点，即实时去除跳频频率集中被干扰的频点，使跳频通信在无干扰的可使用的频点上进行，从而大大提高跳频通信中接收信号的质量。

蓝牙 AFH 的步骤

由设备识别、信道分类、分类信息交换、自适应跳频4部分组成。如图所示。

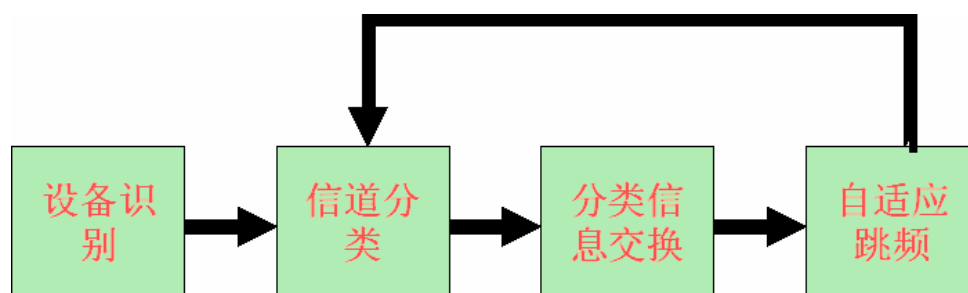


图5. 蓝牙 AFH 的步骤图

❖ 设备识别

当一个从设备接入微微网时，在进行通信之前，首先由链路管理协议（LMP）交换信息，以确定通信双方的设备是否支持AFH模式。LMP信息中包含了二者通信应使用的最小信道数。主机按LMP协议先询问从设备是否支持AFH，当从设备回答后，再进行AFH通信。

❖ 信道分类

根据某一准则，按传输质量对信道进行分类。按LMP的格式形成一个分类表，在主设备和从设备之间交换信息后，以此分类表为依据进行自适应跳频。分类方法采用时分的形式，以保证抗瞬间的干扰。按信道的质量，把信道分成“好”信道与“坏”信道。可以用以下方法对信道的质量进行评估：首先接收设备对包损率PLRs（Packet Loss Ratios）、有效载荷的CRC，HEC，FEC误差等参数进行测量。在测量PLR时，如果PLR超过了系统定义的门限，则宣布此信道为坏信道。从设备测量CRC时，也会自动检测此包的有效载荷的CRC，如果校验码正确，则说明接收正确的包，否则宣布包丢失。

❖ 信道信息交换

通过LMP命令通知网络中的成员，交换AFH的消息。主设备通过分类，把信道分为好信道、坏信道、未用信道，然后把信道分类情况通知从设备。同时，从设备把自己的情况通知主设备。主从设备之间建立联系，确定哪些信道可用，哪些不可用，为下一步自适应频率的产生做准备

❖ 执行AFH

先进行跳频编辑，以选择合适的跳频频率。由于微微网中经常有新的通信建立或撤消，信道在不断变化，所以必须进行信道维护，周期性地重新对信道进行估计，及时发现不能用的信道。当微微网中工作设备较少时，还能自动调整功率，节省能量。

4.6 蓝牙数据包

4.6.1 蓝牙链路 SCO 和 ACL

蓝牙基带可以处理两种类型的链路：SCO（同步连接）和 ACL（异步无连接）链路。SCO 链路是微微网中单一主单元和单一从单元之间的一种点对点对称的链路。主单元采用按照规定间隔预留时隙（电路交换类型）的方式可以维护 SCO 链路。SCO 链路携带语音信息。主单元可以支持多达三条并发 SCO 链路，而从单元

则可以支持两条或者三条 SCO 链路。SCO 数据包永不重传。SCO 数据包用于 64 kB/s 语音传输。

ACL 链路是微微网内主单元和全部从单元之间点对多点链路。在没有为 SCO 链路预留时隙的情况下，主单元可以对任意从单元在每时隙的基础上建立 ACL 链路，其中也包括了从单元已经使用某条 SCO 链路的情况（分组交换类型）。只能存在一条 ACL 链路。对大多数 ACL 数据包来说都可以应用数据包重传。

4.6.2 蓝牙前导接入码

微微网信道内的数据都是通过数据包传输的。通常的数据包格式如下所示

接入码 [72bits]	包头 [54bits]	数据载荷 [0-2745bits]
--------------	-------------	-------------------

图6. 蓝牙数据包结构

接入码（Access code）用于时序同步、偏移补偿、寻呼和查询。接入码分为三类：信道接入码 CAC（Channel Access Code）、设备接入码 DAC（Device Access Code）和查询接入码 IAC（Inquiry Access Code）。信道接入码标识微微网（对微微网唯一），而 DAC 则用于寻呼及其响应。IAC 用于查询。数据包报头包含了数据包确认、乱序数据包重排的数据包编号、流控、从单元地址和报头错误检查等信息。数据包的数据部分（payload）可以包含语音字段、数据字段或者两者皆有。数据包可以占据一个以上的时隙（多时隙数据包），而且可以在下一个时隙中持续传输。数据部分还可以携带一个 16 位长的 CRC 码用于数据错误检测和错误纠正。SCO 数据包则不包括 CRC。

4.6.3 蓝牙数据包结构

4.6.3.1 蓝牙单时隙、多时隙结构

为了实现在同一信道里的主、从通信，蓝牙定义了时分双工(TDD)的工作模式。工作情况下蓝牙跳频频率为 1600 跳/秒，这也说明了在每个跳频点上停留的时间为 625us,这 625us 就被定义为蓝牙的一个时隙，在实际工作中可以分为单、多时隙。工作时隙的选择根据当前的数据流量以及工作状态下的无线环境。

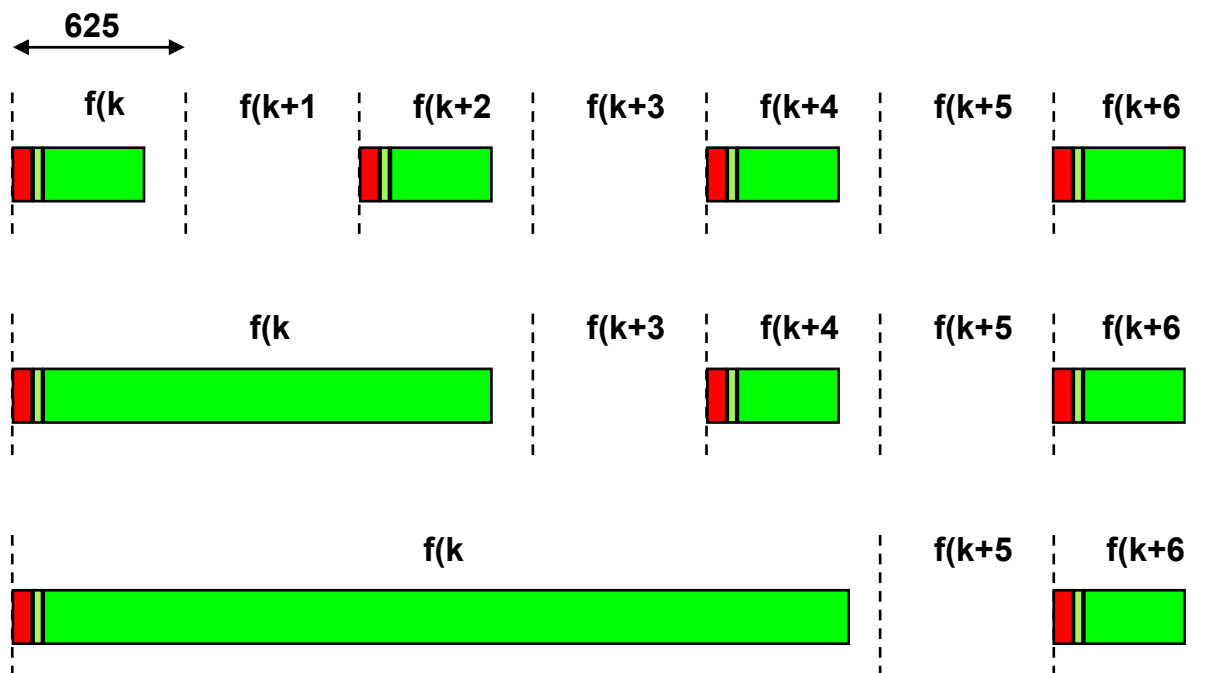


图7. 蓝牙时隙结构图

4.6.3.2 V1.2 标准数据包结构

有 5 种普通类型数据包、4 种 SCO 数据包和 7 种 ACL 数据包。其简要说明请见下表。

类型	名称	说明
Common	ID	携带设备接入码（DAC）或者查询接入码（IAC）。占据一个时隙。
Common	NULL	NULL 数据包没有数据，用于获得链路信息和流控。占据一个时隙，无确认。
Common	POLL	无数据和确认。主单元用它检查从单元是否启动。占据一个时隙。
Common	FHS	表明蓝牙设备地址和发送方时钟的特殊控制数据包。用于寻呼主单元响应、查询响应和跳频同步。占据一个时隙。2/3 FEC 编码。
Common	DM1	支持任何链路中的控制消息。还可以携带规则用户数据，占据一个时隙。
SCO	HV1	携带 10 个信息字节。通常用作语音传输。1/3 FEC 编码。占据一个时隙。
SCO	HV2	携带 20 个消息字节。通常用作语音传输。2/3 FEC 编码。占据一个时隙。
SCO	HV3	携带 30 个信息字节。通常用作语音传输。无 FEC 编码。占据一个时隙。
SCO	DV	数据-语音组合数据包。语音字段没有 FEC 保护。数据字段采用 2/3 FEC 编码。语音字段从不重传，数据字段可以重传。
ACL	DM1	携带 18 个消息字节。2/3 FEC 编码。占据一个时隙。
ACL	DH1	携带 28 个信息字节。无 FEC 编码。占据一个时隙。

ACL	DM3	携带 123 个信息字节。2/3 FEC 编码。占据 3 个时隙。
ACL	DH3	携带 185 个信息字节。无 FEC 编码。占据 3 个时隙。
ACL	DM5	携带 226 个信息字节。2/3 FEC 编码。占据 5 个时隙。
ACL	DH5	携带 341 个信息字节。无 FEC 编码。占据 5 个时隙。
ACL	AUX1	携带 30 个信息字节。类似 DH1 但没有 CRC 代码。占据 1 个时隙。

图8. V1.2 标准蓝牙数据包类型表

4.6.3.3 EDR 数据包结构

EDR 是蓝牙特别兴趣小组(SIG)开发的一种协议，能使蓝牙无线连接的带宽提高到 3Mbps，v2.0+EDR 蓝牙的主要改进，在于它使数据传输速率较传统的蓝牙速率提高了三倍（3Mbps: 1Mbps）。这就意味着无线单元运行的时间只有原来的三分之一，因此功耗也只有原来的三分之一。因此可以实现更快速的连接，并可同时支持多条蓝牙链路，以及实现新的更高带宽的应用，比如音频流。

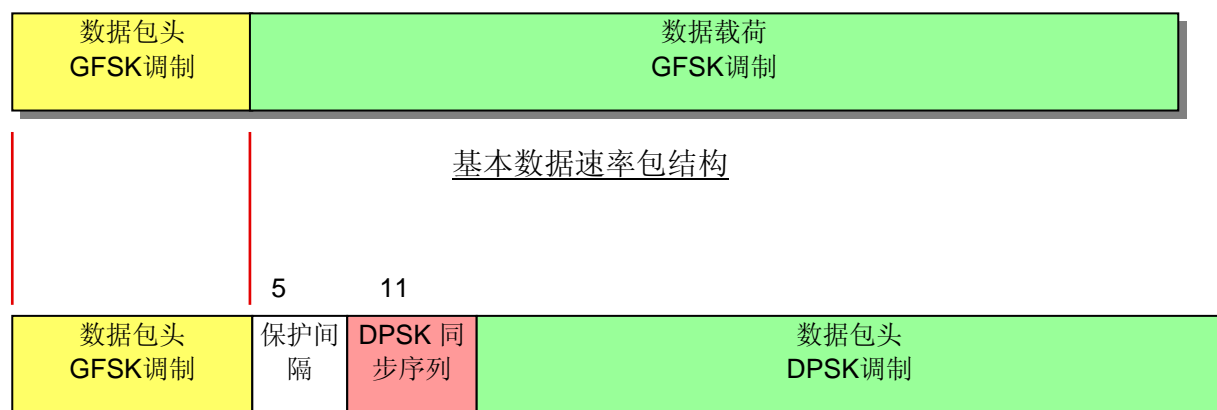


图9. 基本数据包和 EDR 数据包比较图

数据速率得以提高的部分原因在于数据包传输方式的根本改变。

蓝牙 EDR 数据包仍然采用 GFSK 来调制接入码和数据包头，而对有效载荷采用下列两种调制方式之一：一种是强制性的，提供两倍数据速率，并且可以容忍大量的噪音；另外一种选择性的，可以提供三倍的数据速率。

两倍数据速率采用 p/4 差分四相移相键控（p/4-DQPSK）。顾名思义，这种调制方法改变的是载波的相而不是频率的相。“四相”是指每个符号有四个可能的相位，从而允许每个符号有两个比特的数据进行编码。因为符号速率保持不变，所以数据速率增加了两倍。

三倍数据速率采用 8-DPSK。8-DPSK 类似于 p/4-DQPSK，但允许差分移动至八个可能相位中的任何一个。相邻相位之间较小的相差和 $\pm\pi$ 相位跃变的利用，意味着 8-DPSK 更易受到干扰，但它允许每个符号有三个比特的数据进行编码。

Type	Payload Header (bytes)	User Payload (bytes)	FEC	CRC	Symmetric Max. Rate (kb/s)	Asymmetric Max. Rate (kb/s)	
						Forward	Reverse
DM1	1	0-17	2/3	yes	108.8	108.8	108.8
DH1	1	0-27	no	yes	172.8	172.8	172.8
DM3	2	0-121	2/3	yes	258.1	387.2	54.4
DH3	2	0-183	no	yes	390.4	585.6	86.4
DM5	2	0-224	2/3	yes	286.7	477.8	36.3
DH5	2	0-339	no	yes	433.9	723.2	57.6
AUX1	1	0-29	no	no	185.6	185.6	185.6
2-DH1	2	0-54	no	yes	345.6	345.6	345.6
2-DH3	2	0-367	no	yes	782.9	1174.4	172.8
2-DH5	2	0-679	no	yes	869.7	1448.5	115.2
3-DH1	2	0-83	no	yes	531.2	531.2	531.2
3-DH3	2	0-552	no	yes	1177.6	1766.4	235.6
3-DH5	2	0-1021	no	yes	1306.9	2178.1	177.1

图10. 蓝牙EDR数据包结构类型表

4.7 蓝牙编址

4.7.1 蓝牙地址

为了识别众多的蓝牙设备，像对待存储器的存储单元一样，每个蓝牙设备都分配了一个 48 位的地址，简称蓝牙地址（BD_ADDR），48 位蓝牙地址能寻址的蓝牙设备应当有 $2^{48}=256 \text{ T}$ 个（1T=240），但事实上再大的散射网也用不完如此大的蓝牙设备空间。使用中把蓝牙地址分成了三段：低 24 位地址段 LAP；未定义 8 位地址段 NAP；高 16 位地址段 UAP。

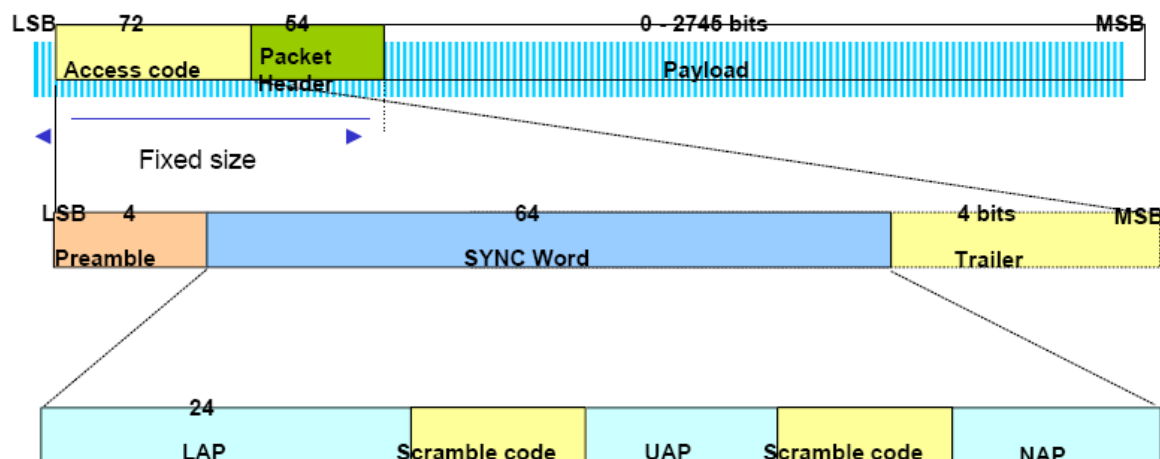


图11. 蓝牙地址分段表

UAP 和 LAP 合在一起形成了蓝牙寻址空间 240。NAP 和 UAP 合在一起形成了 24 位地址，用作生产厂商的唯一标识码，由蓝牙权威部门分配给不同的厂商。LAP 在各厂商内部分配。

4.7.2 从节点地址

蓝牙有 4 种基本类型的设备地址：

BD_ADDR	48 位长的蓝牙设备地址（IEEE802 标准）。该地址划分为 LAP（24 位地址低端部分）、UAP（8 位地址高端部分）和 NAP（16 位无意义地址部分）。
AM_ADDR	3 位长的活动成员地址。所有的 0 信息 AM_ADDR 都用于广播消息。
PM_ADDR	8 位长的成员地址，分配给处于监听状态的从单元使用。
AR_ADDR	访问请求地址（access request address）被监听状态的从单元用来确定访问窗口内从单元—主单元半时隙，通过它发送访问消息。

图12. 主地址和从地址比较表

处于蓝牙微微网中的从节点地址不是唯一的，从节点的状态不同，分配的地址也不同。

❖ 激活状态下

当主节点呼叫一个从节点时，微微网中每一个从节点都有一个 3 位激活地址，记为 AM_ADDR，3 位二进制数有 8 种不同的表示，从 000 到 111，其中从 001 到 111 就是 7 个从节点的激活地址，因此微微网中每一个从节点的激活地址是唯一的，而 000 用于广播消息。激活地址分组位于分组头中。

主节点没有激活地址。利用节点有无激活地址能把主节点和任何一个从节点区别开。激活地址来自于主节点发送的分组头中，连接状态下，激活地址位于 FHS 分组的净荷中；休眠状态下，激活地址位于解除休眠的消息中。

❖ 休眠状态下

通过蓝牙设备地址或休眠成员地址能识别清楚处于休眠状态下的从节点。休眠成员地址也使用 3 位二进制数描述 8 个节点的地址。如果从节点被激活，它在获得一个激活地址的同时，将丢失一个休眠地址。从节点处于休眠状态时就能获得一个休眠成员地址。解除休眠状态的方法是使用它的蓝牙设备地址。

❖ 访问请求地址

从节点除了激活地址、休眠地址外，还有一个访问请求地址。当从节点进入休眠状态时，将分配一个状态请求地址，用来向主节点发送一个状态请求消息，使休眠从节点能够在访问窗口内确定“从→主时隙”。

4.8 蓝牙状态

4.8.1 蓝牙待命状态

蓝牙控制器主要运行在以下两个状态：待命（Standby）和连接（Connection）。微微网内总共有 7 种子状态可用于增加从单元或者实现连接。这些状态是寻呼（page）、寻呼扫描（page scan）、查询（inquiry）、查询扫描（inquiry scan）、主单元响应（master response）、从单元响应（slave response）和查询响应（inquiry response）。

寻呼（Page）	该子状态被主单元用来激活和连接从单元。主单元通过在不同的跳频信道内传送从单元的设备接入码（DAC）来发出寻呼消息。
寻呼扫描（Page scan）	在该子状态下，从单元在一个窗口扫描存活期内侦听自己的设备接入码（DAC）。在该扫描窗口内从单元以单一跳频侦听（源自其寻呼跳频序列）。
从单元响应（Slave response）	从单元在该子状态下响应其主单元的寻呼消息。如果处于寻呼扫描子状态下的从单元和主单元寻呼消息相关即进入该状态。从单元接收到来自主单元的 FHS 数据包之后即进入连接状态。
主单元响应（Master response）	主单元在收到从单元对其寻呼消息的响应之后即进入到该子状态。如果从单元回复主单元则主单元发送 FHS 数据包给从单元，然后主单元进入连接状态。
查询（Inquiry）	查询用于发现相邻蓝牙设备的身份。发现单元收集蓝牙设备地址和所有响应查询消息的单元的时钟。
查询扫描（Inquiry scan）	在该状态下，蓝牙设备侦听来自其他设备的查询。此时扫描设备可以侦听一般查询接入码（GIAC）或者专用查询接入码（DIAC）。
查询响应（Inquiry response）	对查询而言，只有从单元才可以响应而主单元则不能。从单元用 FHS 数据包响应，该数据包包含了从单元的设备接入码、内部时钟和某些其他从单元信息。

图13. 蓝牙待命状态表

4.8.2 连接状态

连接（Connection）状态开始于主单元发送 POLL 数据包，通过这个数据包主单元即可检查从单元是否已经交换到了主单元的时序和跳频信道。从单元即可以任何类型的数据包响应。

连接状态的蓝牙设备可以处于以下 4 种状态之下：激活（Active）、保持（Hold）、休眠（Sniff）和监听（Park）模式。蓝牙技术中一个显著的技术难点就是如何实现这些状态之间的迁移，特别是从监听到活动（或者反之）更是相当有难度。这些模式在以下简要说明：

激活（Active）	该模式下，主单元和从单元通过侦听、发送或者接收数据包而主动参与信道操作。主单元和从单元相互保持同步。
休眠（Sniff）	该模式下，为了获得主单元发送给自己的消息而侦听每个时隙的从单元在指定的时

	隙上嗅探。结果从单元可以在空时隙睡眠而节约功率。
保持 (Hold)	该模式下, 某台设备可以临时不支持 ACL 数据包并进入低功耗睡眠模式, 从而为寻呼、扫描等操作提供可用信道。
监听 (Park)	当某台从单元无需使用微微网信道却又打算维持和信道的同步时, 它可以进入监听模式, 这种模式是一种低功耗模式, 几乎没有任何活动。设备被赋予一个监听成员地址 (Parking Member Address: PM_ADDR) 并失去其活动成员地址 (Active Member Address: AM_ADDR)。

图14. 蓝牙连接状态比较

4.8.3 蓝牙状态转换

蓝牙各种子状态可以相互转换, 在待机模式下, 如果设备有数据传输的需求, 可以有 2 中方式进入连接模式。第一: 如果主设备知道从设备的蓝牙地址, 可以采用直接寻呼的方式进入连接状态。第二: 这个时候主设备不知道从设备的地址, 通过查询来获得从设备的蓝牙地址, 再进行寻呼, 进入连接状态。也可以从连接状态进入各种低功耗模式。但是在进行射频测试中, 我们必须进入蓝牙的测试模式。

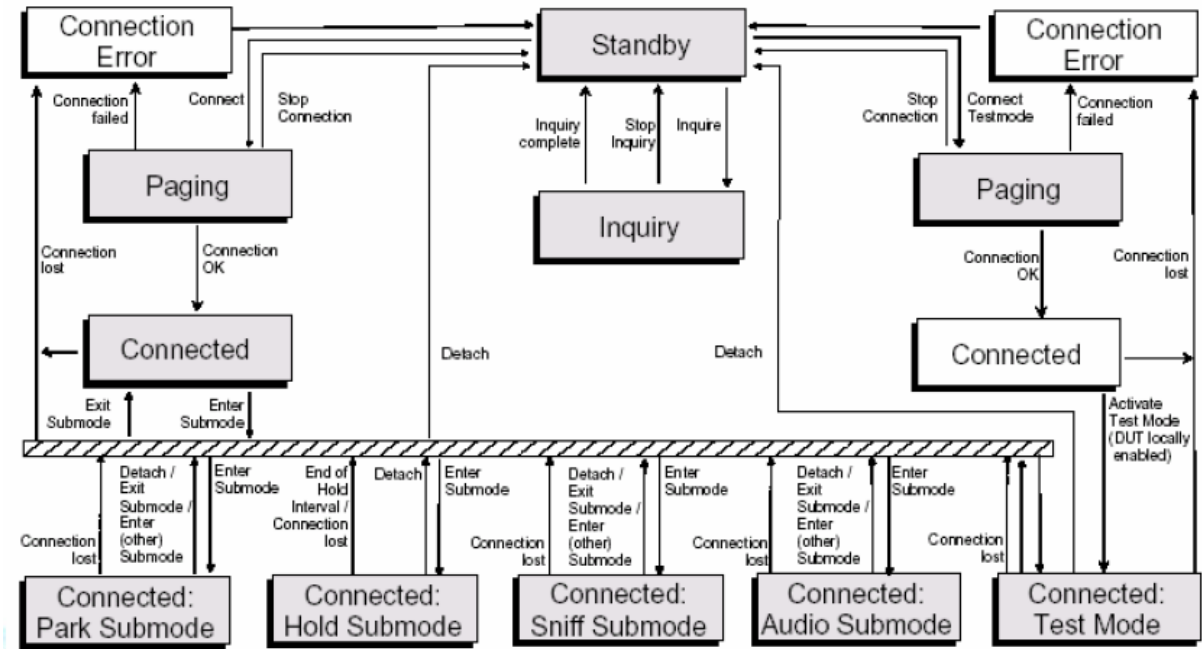


图15. 蓝牙各种状态的转移

在微微网建立之前, 所有设备都处于就绪(STANDBY)状态。在该状态下, 未连接的设备每隔 1.28 秒监听一次消息, 设备一旦被唤醒, 就在预先设定的 32 个跳频频率上监听信息。跳频数目因地区而异, 但 32 个跳频频率为绝大多数国家所采用。

连接进程由主设备初始化。如果一个设备的地址已知, 就采用页信息(Page message)建立连接; 如果地址未知, 就采用紧随页信息的查询信息(Inquiry message)建立连接。查询信息主要用来查询地址未知的设备(如公用打印机、传真机等), 它与页信息类似, 但需要附加一个周期来收集所有的应答。在初始页状态(PAGE state), 主设备在 16 个跳频频率上发送一串相同的页信息给从设备, 如果没有收到应答, 主设备就在另外的 16 个跳频频率上发送页信息。主设

备到从设备的最大时延为两个唤醒周期（2.56 秒），平均时延为半个唤醒周期（0.64 秒）。

在微微网中，无数据传输的设备转入节能工作状态。主设备可将从设备设置为保持方式(HOLD mode)，此时，只有内部定时器工作；从设备也可以要求转入保持方式。设备由保持方式转出后，可以立即恢复数据传输。连接几个微微网或管理低功耗器件（如温度传感器）时，常使用保持方式。监听方式(SNIFF mode)和休眠方式（PARK mode）是另外两种低功耗工作方式。在监听方式下，从设备监听网络的时间间隔增大，其间隔大小视应用情况由编程确定；在休眠方式下，设备放弃了 MAC 地址，仅偶尔监听网络同步信息和检查广播信息。各节能方式依电源效率高低排列为：休眠方式→保持方式→监听方式。

4.9 蓝牙纠错机制

蓝牙系统的纠错机制分为FEC和包重发。FEC支持1 / 3率和2 / 3率FEC码。1 / 3率仅用3bit重复编码，大部分在接收端判决，既可用于数据包头，也可用于 SCO连接的包负载。2 / 3率码使用一种缩短的汉明码，误码捕捉用于解码，它既可用于SCO连接的同步包负载，也可用于ACL连接的异步包负载。使用FEC码，编 / 解码过程变得简单迅速，这对RX和TX间的有限处理时间非常重要。

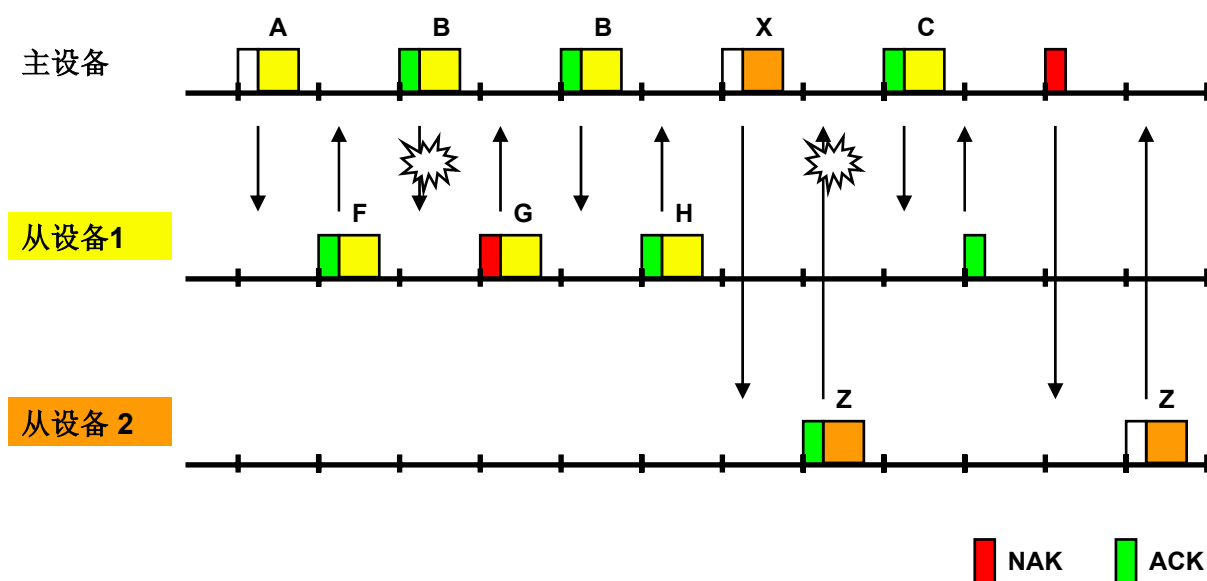


图16. ACL 中 ARQ 机制

在ACL连接中，可用ARQ结构。在这种结构中，若接收方没有响应，则发端将包重发。如上图所示，数据包从设备1没有接收到，所有从设备1给主设备发送NACK信号，在TX时隙上主设备重新发送数据B。从设备2的情况有所不同，它是接收到了主设备发送的数据包Z，所以回送ACK，但是主设备没有接收到ACK，所以主设备无法判断从设备2是否已经收到数据Z，因此在下一个TX时隙，主设备重发数据Z。

每一负载包含有一CRC，用来检测误码。ARQ结构分为：停止等待ARQ、向后N个ARQ、重复选择 ARQ和混合结构。为了减少复杂性，使开销和无效重发为最小，蓝牙执行快ARQ结构：发送端在TX时隙重发包，在RX时隙提示包接收情况。若加

入2/3率FEC码，将得到I类混合ARQ结构的结果。ACK/NACK信息加载在返回包的包头里，在RX/TX的结构交换时间里，判定接收包是否正确。在返回包的包头里，生成ACK/NACK域，同时，接收包包头的ACK/NACK域可表明前面的负载是否正确接收，决定是否需要重发或发送下一个包。由于处理时间短，当包接收时，解码选择在空闲时间进行，并要简化FEC编码结构，以加快处理速度。快速ARQ结构与停止等待ARQ结构相似，但时延最小，实际上没有由ARQ结构引起的附加时延。该结构比向后N个ARQ更有效，并与重复选择ARQ效率相同，但由于只有失效的包被重发，可减少开销。在快速ARQ结构中，仅有1bit序列号就够了（为了滤除在ACK/NACK域中的错误而正确接收两次数据包）。

4.10 蓝牙技术特征总结

4.10.1 蓝牙技术的优势

- ❖ 支持语音和数据传输；
- ❖ 采用无线电技术，传输范围大，可穿透不同物质以及在物质间扩散；
- ❖ 采用跳频展频技术，抗干扰性强，不易窃听；
- ❖ 使用在各国都不受限制的频谱；
- ❖ 功耗低；成本低。

4.10.2 蓝牙的劣势

- ❖ 传输速度慢。具有EDR功能有所改善。
- ❖ 安全性不高。

4.10.3 蓝牙的技术性能参数(V1.2)

- ❖ 有效传输距离为10cm~10m，增加发射功率可达到100米，甚至更远。
- ❖ 收发器工作频率为2.45GHz。
- ❖ 覆盖范围是相隔1MHz的79个通道（从2.402GHz到2.480GHz）。
- ❖ 数据传输技术使用短封包，跳频展频技术，1600次/秒，防止偷听和避免干扰；
- ❖ 每次传送一个封包，封包的大小从126~287bit；
- ❖ 封包的内容可以是包含数据或者语音等不同服务的资料。
- ❖ 数据传输带宽为同步连接可达到每个方向32.6Kbps，接近于10倍典型的56kb/s Modem的模拟连接速率。
- ❖ 异步连接允许一个方向的数据传输速率达到721kb/s，用于上载或下载，这时相反方向的速率是57.6kb/s；
- ❖ 数据传输通道为留出3条并发的同步语音通道，每条带宽64kb/s；语音与数据也可以混合在一个通道内，提供一个64kb/s同步语音连接和一个异步数据连接。
- ❖ 网络连接使用加密技术，同时采用口令验证连接设备，可同时与其他7个以内的设备构成蓝牙微网（Piconet），1个蓝牙设备可以同时加入8个不同的微网，每个微网分别有1Mb/s的传输频宽，当2个以上的设备共享一个

Channel 时，就可以构成一个蓝牙微网，并由其中的一个装置主导传输量，当设备尚未加入蓝牙微网时，它先进入待机状态。

5 蓝牙射频测试

5.1 R&S 蓝牙综测仪介绍

罗德与施瓦茨公司是蓝牙发展的推动者，在标准的指定以及射频器件的研发领域具有业界领先地位。该公司提供了以下 3 款仪器用于蓝牙射频和音频的测试。其中 CBT 是业界最早支持蓝牙 V2.0 + EDR 功能的仪器。



图17. 罗德与施瓦茨蓝牙综测仪介绍

蓝牙综测仪 CBT 配置：

R&S CBT 具有显示屏，4 HU

R&S CBT 没有显示屏，19"，2 HU

选件 B55 EDR 硬件选件：

选件 U55 EDR 硬件升级选件：

选件 K55 EDR 蓝牙软件选件：

5.2 R&S 蓝牙射频解决方案

发射机	测试仪表
TRM/CA/01/C(输出功率 5.1.3)	CBT
TRM/CA/02/C (功率密度 5.1.4)	CBT+ FSQ, FSP, FSL
TRM/CA/03/C(功率控制 5.1.5)	CBT
TRM/CA/04/C(发射输出频谱 - 频率范围 5.1.6)	CBT
TRM/CA/05/C(发射输出频谱- 20dB 带宽 5.1.7)	CBT
TRM/CA/06/C(发射输出频谱- 临信道功率 5.1.8)	CBT
TRM/CA/07/C (调制特性 5.1.9)	CBT
TRM/CA/08/C (初始载波频率容限 5.1.10)	CBT
TRM/CA/09/C (载波频率漂移 5.1.11)	CBT
TRM/CA/10/C (EDR 相对发射功率 5.1.12)	CBT
TRM/CA/11/C (EDR 载波频率稳定性和调制准确度 5.1.13)	CBT
TRM/CA/12/C (EDR 差分相位编码 5.1.14)	CBT
TRM/CA/13/C (EDR 带内杂散辐射 5.1.15)	CBT
接收机	测试仪表
RCV/CA/01/C (灵敏度 - 单时隙数据包 5.1.16)	CBT
RCV/CA/02/C (灵敏度 - 多时隙数据包 5.1.17)	CBT
RCV/CA/03/C (C/I 性能 5.1.18)	CBT+ SMU, SMJ
RCV/CA/04/C (阻塞特性 5.1.19)	CBT+ SMR SMU, SMJ
RCV/CA/05/C (互调特性 5.1.20)	CBT+ SMU+SMR
RCV/CA/06/C (最大输入电平 5.1.21)	CBT
RCV/CA/07/C (EDR 灵敏度 5.1.22)	CBT
RCV/CA/08/C (EDR BER 平坦性能 5.1.23)	CBT
RCV/CA/09/C (EDR C/I 性能 5.1.24)	CBT+ SMU, SMJ
RCV/CA/10/C(EDR 最大输入电平 5.1.25)	CBT

CBT 的优势:

1. CBT 在研发和生产时很灵活

- 1.1. CBT 能够组合发射机测试和功率控制测试项目,
- 1.2. CBT 能够在定义多少和那些信道被测试时更加灵活,
- 1.3. 研发中 CBT 具有灵活配置用户测试项目的能力。

2. 图形显示和功耗比较。

- 2.1. CBT 根据蓝牙测试规范能把被测件切换到等待—\保持—或休眠模式以便减少功率消耗。
- 2.2. CBT 具有大的图形显示界面, 能实时显示功率时间比, 调制时间比, 和频谱等测试项目。研发中 CBT 具有灵活配置用户测试项目的能力。

3. CBT 是现行市场上速度最快的蓝牙综合测试仪

- 3.1. CBT 采用高性能的 DSP 处理器允许许多进程并行测试，
- 3.2. CBT 具有灵活的远端控制，保证在任何测试项目中的快速性。
- 3.3. CBT 在 EDR 的发射机测试项目中，速度优势更加明显。

5.3 蓝牙测试模式

进行蓝牙测试时，综测仪当作主设备，蓝牙被测件为从设备。但是一定要注意在进行射频测试的时候，要求被测件必须进入测试模式。如不进入测试模式，将不能进行数据的交互，许多功能不能进行测试。激活被测件的方式有 2 种。

第一：采用综测仪发控制命令的方式，通过射频通道传到手机，手机解码后激活测试模式，但这必须要手机支持这种方式。测试仪发送 LMP 指令，激活 EUT 进入测试模式，并对测试仪与 EUT 之间的蓝牙链路的一些参数进行配置。如测试方式是环回还是发送方式，是否需要跳频，分组是单时隙分组还是多时隙分组，分组的净荷是 PN9，还是 00001111、01010101。测试模式是一个特殊的状态，出于安全的考虑，EUT 必须首先设为“Enalle”状态，然后才能空中激活进入测试模式。

第二：这个也是现在比较流行和普遍的采用的方式，采用本地计算机通过串口或其他接口发命令激活被测件，有些被测件只要手动输入几个字符也可以激活。

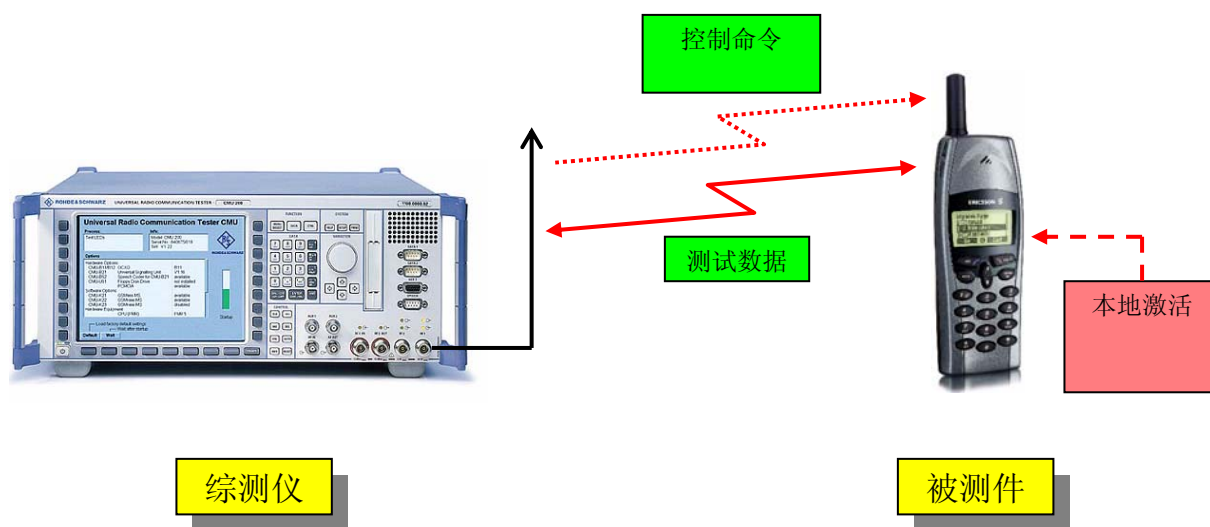


图18. 单台仪表的射频测试连接图

5.4 单台仪表能完成测试的项目概述

蓝牙射频测试项目根据标准RF.TS/2.0.E.4。有些测试项目单台仪表能够完成，有些需要信号源和频谱仪等外加设备才能完成。下表为单台仪表能够完成的所有测试项目。

蓝牙规范.V1.2 项目(发射机)
TRM/CA/01/C(输出功率)
TRM/CA/03/C(功率控制)
TRM/CA/04/C(发射输出频谱 - 频率范围)
TRM/CA/05/C(发射输出频谱- 20dB 带宽)
TRM/CA/06/C(发射输出频谱- 临信道功率)
TRM/CA/07/C (调制特性)
TRM/CA/08/C (初始载波频率容限)
TRM/CA/09/C (载波频率漂移)
蓝牙规范.V1.2 项目(接收机)
RCV/CA/01/C (灵敏度 – 单时隙数据包)
RCV/CA/02/C (灵敏度 – 多时隙数据包)
RCV/CA/06/C (最大输入电平)
蓝牙规范. V2.0 + EDR 项目(发射机)
TRM/CA/10/C (EDR 相对发射功率)
TRM/CA/11/C (EDR 载波频率稳定度和调制准确度)
TRM/CA/12/C (EDR 差分相位编码)
TRM/CA/13/C (EDR 带内杂散辐射) 或叫“门限临信道功率”
蓝牙规范. V2.0 + EDR 项目(接收机)
RCV/CA/07/C (EDR 灵敏度)
RCV/CA/08/C (EDR BER 平坦性能)
RCV/CA/10/C (EDR 最大输入电平)

图19. 单台仪表测试项目表

5.4.1 V1.2 发射机测试

这部分声明要求的功率电平是指在设备的天线连接器处测得的。如果没有天线连接器，就假设天线的增益为 0dBi 。天线连接处的阻抗为 50ohm. 由于在测量时对辐射精确度要求的准确性极难得到保证，因此，采用全等效的天线连接器来代替整个天线系统。如果在测试中天线实际增益大于 0dBi ，则可利用 ETSI 300328 和 FCC 的第 15 节对其校正。

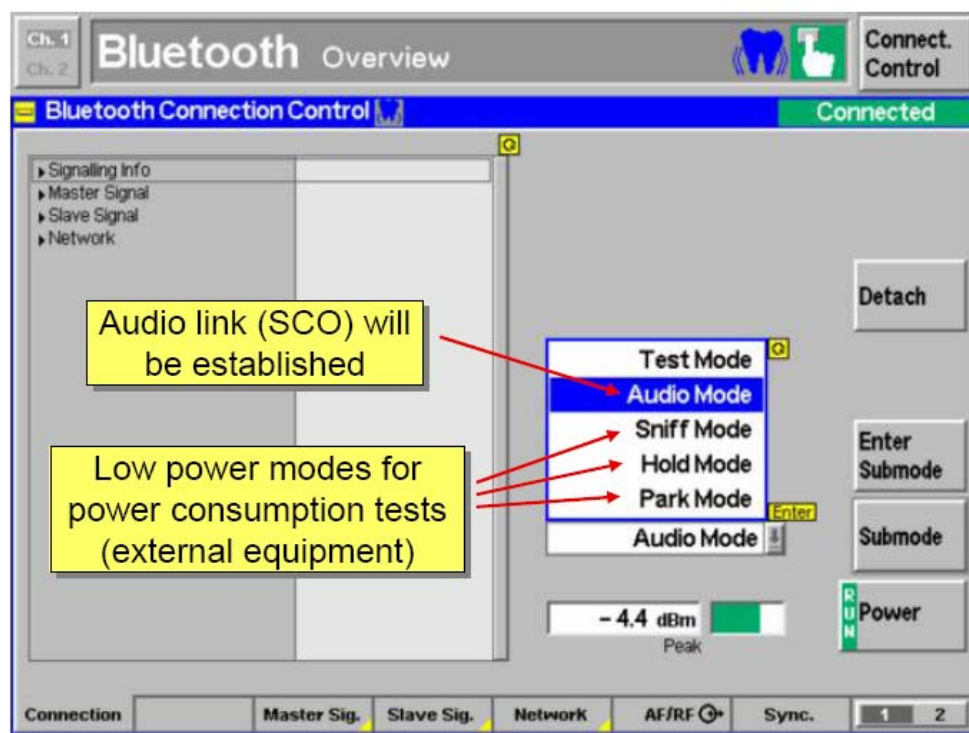


图20. 蓝牙测试各种模式介绍

5.4.1.1 TRM/CA/01/C(输出功率 5.1.3)

❖ 蓝牙规范定义的 3 种功率等级

功率级别	最大输出功率	正常输出功率	最小输出功率	功率控制
1	100mW (20dBm)	N/A	1mW (0dBm)	$P_{min} < +4 \text{ dBm}$ 到 P_{max}
2	2.5 mW(4dBm)	1 mW(0dBm)	0.25 mW (- 6dBm)	P_{min} 到 P_{max}
3	1mW(0dBm)	N/A	N/A	P_{min} 到 P_{max}

图21. 3 种功率等级

上述最小输出功率是相对于最大功率所言，且最低功率限制为 $P_{min} < -30 \text{ dBm}$ 也仅是一个建议，可以根据实际应用的需要而定。

❖ 综测仪设置

测试仪对初始状态设置如下：

链路为跳频

EUT 置为环回（Loop back）或发射机（TX）模式。

测试仪发射净荷为 PN9

分组类型为所支持的最大长度的分组，EUT 对测试仪发出的分组解码。并使用相同的分组类型以其最大输出功率将净荷回送给测试仪。

测试仪在低、中、高三个频点，对整个突发范围内测量峰值功率和平均功率。

❖ 手动测试频谱分析仪设置

- 中心频率: 射频支持的最低信道
- 跨度: 0 MHz
- 分辨率带宽: 3 MHz
- 视频带宽: 3 MHz
- 检波器: 峰值
- 模式: 最大值保持
- 扫描时间: 由所选的数据包时间决定
- 触发: 外触发

以上设置在后面的设置种如无特别提示保持不变。

❖ 测试结果要求

规范要求峰值功率和平均功率各小于 23dBm 和 20dBm, 并且满足以下要求: 如果 EUT 的功率等级为 1, 平均功率> 0dBm; 如果 EUT 的功率等级为 2, -6dBm<平均功率<4dBm; 如果 EUT 的功率等级为 3, 平均功率<0dBm。

❖ CBT/CMU200 测试结果

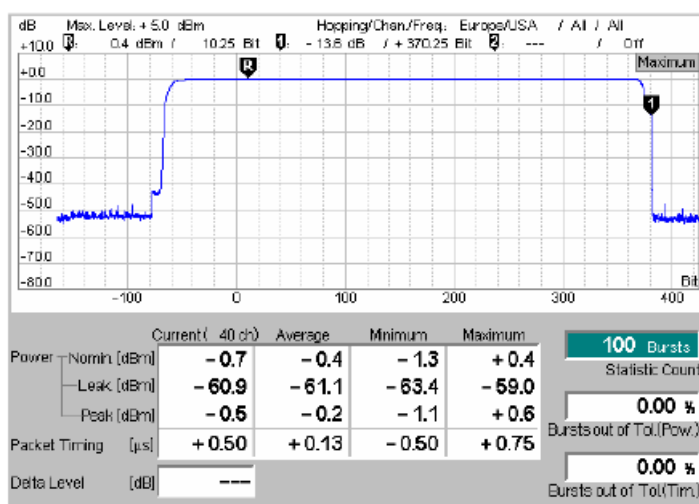


图22. 输出功率测试图

❖ 附加功能: 泄漏功率测试

这个项目规范里面没有做要求, 我们仪表提供这个功能, 以方便研发的用户分析。

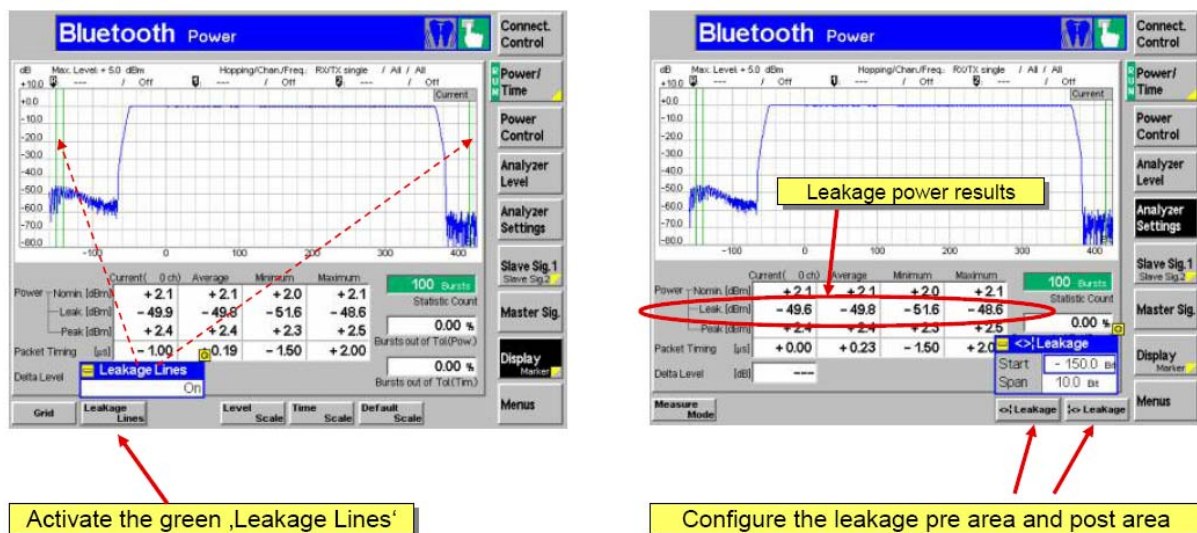


图23. 泄漏功率图

5.4.1.2 TRM/CA/03/C(功率控制 5.1.5)

❖ 规范说明

功率控制用于限制发射功率使之不超过 0dBm，在 0dBm 以下时，发射机功率控制是可选的，主要用于优化功率消耗和整体的干扰电平。功率输出增益控制采用了一种单调序列步进方式，这种步进增益由两种方式组成，一种是高步进增益（每步 8 dB），另一种是低步进增益（每步 2 dB）。一个具有 20dB 的功率级别为 1 的设备必须具有调整其功率到达 4dB 以下的能力。

具有功率控制功能的设备在其工作过程中通过使用链路管理协议（LMP）来获得最佳输出功率。功率控制通过测量接收信号强度指示（RSSI）来实现，如果需要进行功率调整就返回一个报告。在一次连接中，如果接收设备不支持发送功率控制信息，发送端就不能使用功率控制，这时发送端使用功率级别 2 和 3 的规则。

设备的传输功率等级不能超过控制管理实体所设定的最大值。而允许的最大传输功率等级取决于调制的模式

❖ 综测仪设置

测试仪对初始状态设置如下：

链路为非跳频。

EUT 置为环回（Loop back）或发射机（TX）模式。

测试仪发射净荷为 PN9

分组类型 DH1 的分组，EUT 对测试仪发出的分组解码。并使用相同的分组类型以其最大输出功率将净荷回送给测试仪。

测试仪在低、中、高三个频点。

❖ 手动测试频谱分析仪的设置

- 扫描时间: 由所选的数据包时间决定
- 其他设置: 和发射功率一样

❖ 结果要求

- 功率步长要求: $2\text{dB} \leq \text{step size} \leq 8\text{dB}$
- 功率等级为1被测件: $P_{AV} < 4\text{dBm}$

❖ CBT/CMU200 测试结果

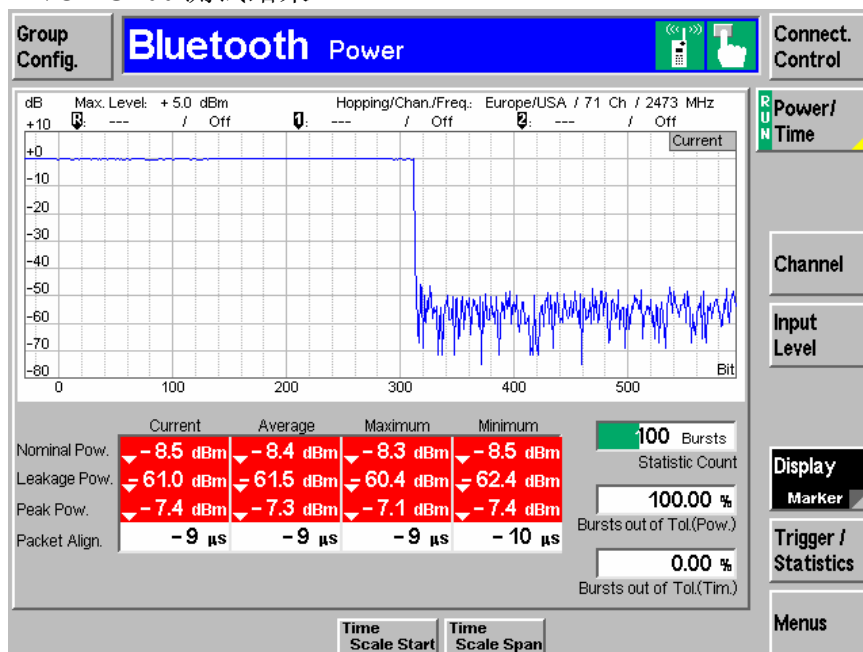


图24. 功率控制测试图

5.4.1.3 TRM/CA/04/C(发射输出频谱 - 频率范围 5.1.6)

❖ 规范说明

此项目目的是检测发射机的发射范围是否在频段范围之内。

规范要求对于低信道扫描频率从2399MHz到2405MHz, 对于高信道扫描频率从2475MHz到2485MHz, 在低信道时, 找出频谱功率密度低于低信道功率-80 dBm/Hz的频点fL, 在高信道时, 找出频谱功率密度低于低信道功率-80 dBm/Hz的频点fH。

❖ 综测仪设置

链路跳频否: 关闭.

EUT 置为环回 (Loop back) 或发射机 (TX) 模式。

测试仪发射净荷: PRBS9

分组类型: DM 或 DH 所支持最大长度分组

是否最大功率: 是

❖ 手动测试频谱分析仪的设置

- 中心频率:射频支持的最低信道
- 跨度: 没要求, 可以设置为10MHz
- 分辨率带宽: 100KHz
- 视频带宽: 300KHz
- 检波器: 峰值
- 模式: 平均
- 扫描时间: 2s
- 触发: 外触发
- 扫描点数: 50

❖ 结果要求

对于 79 信道系统频率范围在: 2.4 GHz – 2.4835 GHz 之间

5.4.1.4 TRM/CA/05/C(发射输出频谱- 20dB 带宽 5.1.7)

❖ 规范说明

此项目目的是检测发射机的发射范围是否在信道范围之内。EUT分别工作在低、中、高三个频点, 回送调制信号为PN9的DH1分组。测试仪扫频找到对应最大功率的频点, 并且找到其左右两侧对应功率下降20dB时的fL和fH, 20dB带宽 $Df = |fH - fL|$

❖ 综测仪设置

链路跳频否: 关闭.

EUT 置为环回 (Loop back) 或发射机 (TX) 模式。

测试仪发射净荷: PRBS9

分组类型: DM 或 DH 所支持最大长度分组

是否最大功率: 是

❖ 手动测试频谱分析仪的设置

- 中心频率:射频支持的最低信道
- 跨度: 2MHz
- 分辨率带宽: 10KHz
- 视频带宽: 30KHz
- 检波器: 峰值
- 模式: 峰值保持
- 扫描时间: $\geq 1s$
- 触发: 外触发
- 扫描点数: 10

❖ 结果要求

$$\Delta f = |f_H - f_L| \leq 1.0 \text{ MHz}$$

❖ CBT/CMU200 测试结果

20 dB 带宽

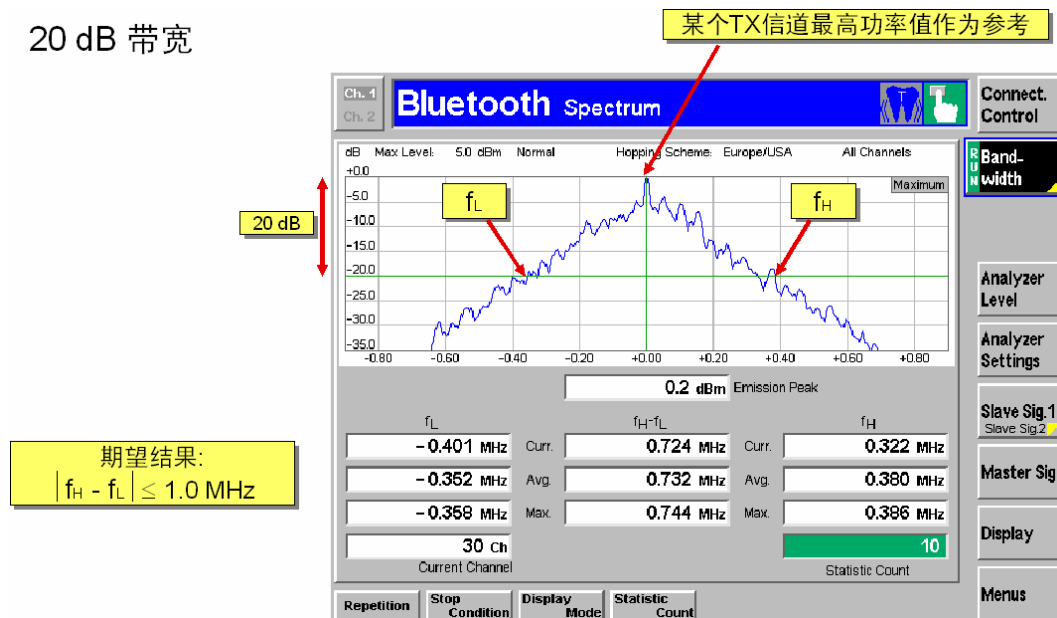


图25. 20dB 带宽测试图

5.4.1.5 TRM/CA/06/C(发射输出频谱- 临信道功率 5.1.8)

❖ 规范说明

EUT 工作频点分别为第 3 信道、第 39 信道和第 75 信道，回送净荷为 PN9 的 DH1 分组。测试仪扫描整个蓝牙频段，测试各个信道的功率。

❖ 综测仪设置

链路跳频否： 关闭.

EUT 置为环回（Loop back）或发射机（TX）模式。

测试仪发射净荷： PRBS9

分组类型： DH1

是否最大功率： 是

❖ 手动测试频谱分析仪的设置

- 中心频率:射频所选信道－450KHz
- 跨度: 0MHz
- 分辨率带宽: 100KHz
- 视频带宽: 300KHz
- 检波器: 平均
- 模式: 峰值保持
- 扫描时间: >=100mS
- 触发: 外触发

- 扫描点数：10

❖ 结果要求

1. 对于相邻第2信道泄漏功率 $P_{Tx}(f) \leq -20 \text{ dBm}$
2. 对于相邻第3信道泄漏功率 $P_{Tx}(f) \leq -40 \text{ dBm}$

❖ CBT/CMU200 测试结果

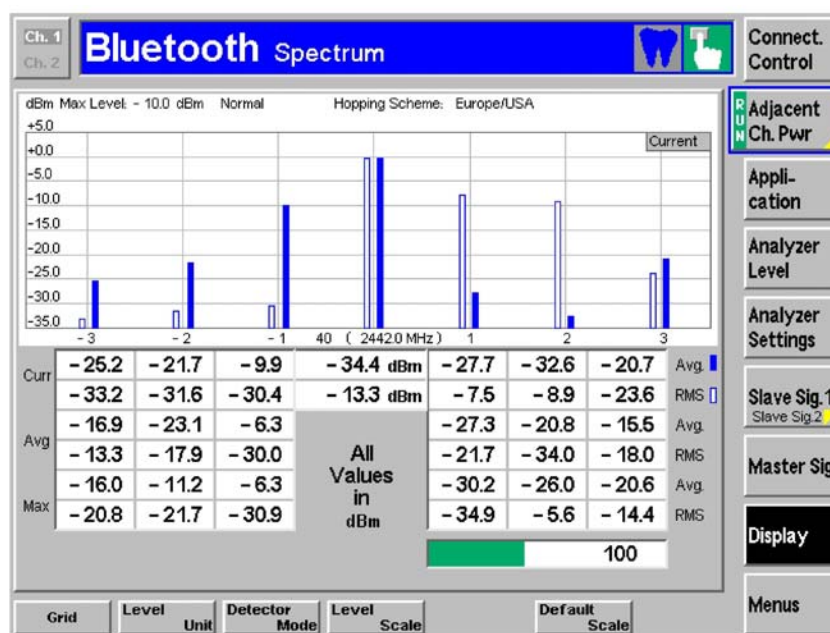


图26. ACP 测试图

5.4.1.6 TRM/CA/07/C (调制特性 5.1.9)

❖ 规范说明

此项目目的是检验调制参数特性。

EUT 分别工作在低、中、高三个频点。测试仪以所支持的最大分组长度发送净荷为 11110000 的分组，并对 EUT 回送的分组计算频率偏移的峰值和均值，分别记为 Df1max 和 Df1avg。测试仪以所支持的最大分组长度发送净荷为 10101010 的分组，并对 EUT 回送的分组计算频率偏移的峰值和均值，分别记为 Df2max 和 Df2avg

❖ 综测仪设置

链路跳频否：关闭。

EUT 置为环回（Loop back）时必须关闭白噪声（whitening）或发射机（TX）模式。

测试仪发射净荷：PRBS9

分组类型：所支持的最大分组

是否最大功率：是

❖ 测试选用滤波器衰减要求

+ - 650 kHz: -3 dB
+ - 1 MHz: -14 dB
+ - 2 MHz: -44 dB

❖ 结果要求

1. $140 \text{ kHz} \leq \Delta f_{1\text{avg}} \leq 175 \text{ kHz}$
2. $\Delta f_{2\text{max}} \geq 115 \text{ kHz}$ 置信度是99.9%
3. $\Delta f_{2\text{avg}} / \Delta f_{1\text{avg}} \geq 0.8$

❖ CBT/CMU200 测试结果

$140 \text{ kHz} \leq \Delta f_{1\text{avg}} \leq 175 \text{ kHz}$
 $\Delta f_{2\text{avg}} / \Delta f_{1\text{avg}} \geq 0.8$
 $\Delta f_{2\text{max}} \geq 115 \text{ kHz}$
置信度是99.9% (CMU检测为100%)

$\Delta f_{1\text{avg}}$ (使用 11110000)
 $\Delta f_{2\text{avg}}$ (使用 10101010)

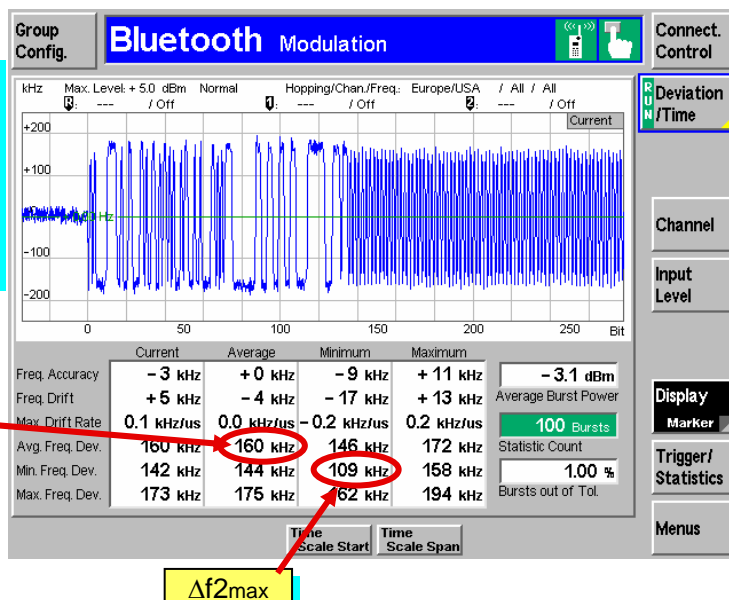


图27. 调制特性测试图

5.4.1.7 TRM/CA/08/C (初始载波频率容限 5.1.10)

❖ 规范说明

本项目测试目的为建议载波频率准确度。

测试仪先将链路置为非跳频，EUT 分别工作在低、中、高三频点，然后测试仪再将链路置为跳频。测试仪根据 4 个前导码计算载波频率 f_0

❖ 综测仪设置

链路跳频否： 打开。

EUT 置为环回 (Loop back) 或发射机 (TX) 模式。

测试仪发射净荷： PRBS9

分组类型： DH1

是否最大功率： 是

❖ 结果要求

$$f_{TX} - 75 \text{ kHz} \leq f_0 \leq f_{TX} + 75 \text{ kHz}.$$

❖ CBT/CMU200 测试结果

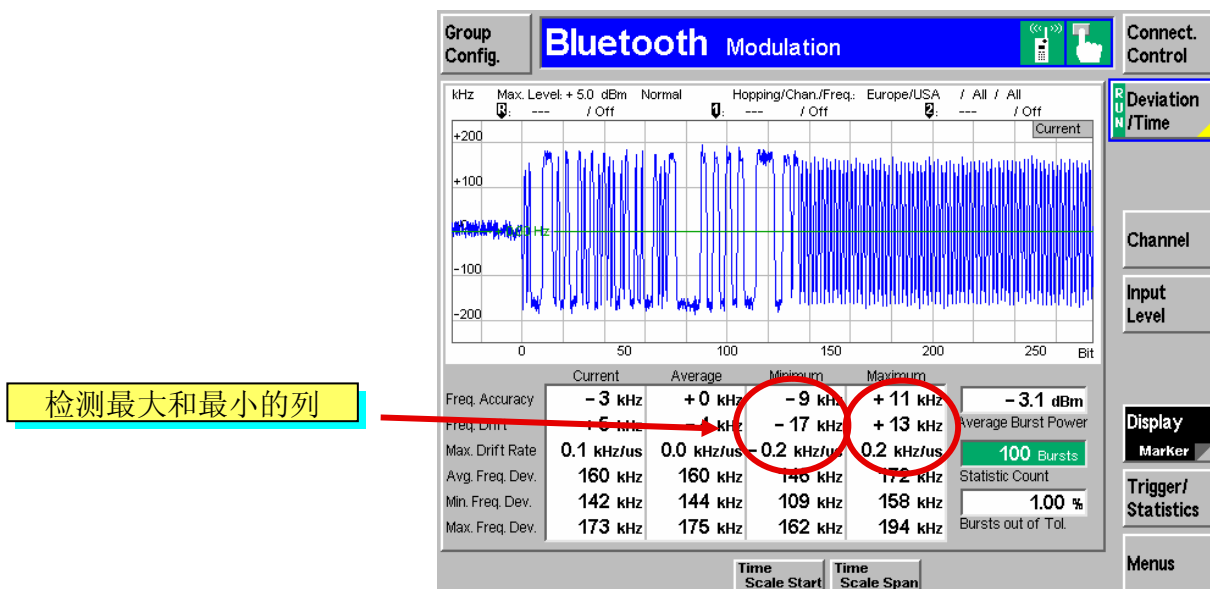


图28. ICFT 测试图

5.4.1.8 TRM/CA/09/C (载波频率漂移 5.1.11)

❖ 规范说明

EUT 分别工作在低、中、高三个频点，回送调制信号为 10101010 的 DH1/DH3/DH5 分组。测试仪先根据 4 个前导码计算载波频率 f_0 ，然后每 10 比特净荷测试一次频率，其与初始载频的差为瞬时频率漂移。最后测试仪将跳频打开，重新测试所有频点下的瞬时频率漂移。瞬时频率漂移之间的差定义为漂移速率。对于 DH1 分组，要求每次的瞬时漂移小于 25kHz，对于 DH3、DH5 分组，要求载波瞬时漂移小于 40kHz。规范还要求载波漂移速率小于 4000Hz/10 μ s。

漂移测量将短的 10 位相邻数据组和跨越脉冲的较长漂移结果结合在一起。如果在发送器设计中用了采样-保持设计，就可能出现这一误差

❖ 综测仪设置

链路跳频否： 关闭。

EUT 置为环回（Loop back）时必须关闭白噪声（whitening）或发射机（TX）模式。

测试仪发射净荷： PRBS9

分组类型： 所支持的最大分组

是否最大功率： 是

❖ 结果要求

Type of Packet	Frequency Drift
One slot packet	±25 kHz
Three slot packet	±40 kHz
Five slot packet	±40 kHz

图29. 载波频率漂移 规范要求

❖ CBT/CMU200 测试结果

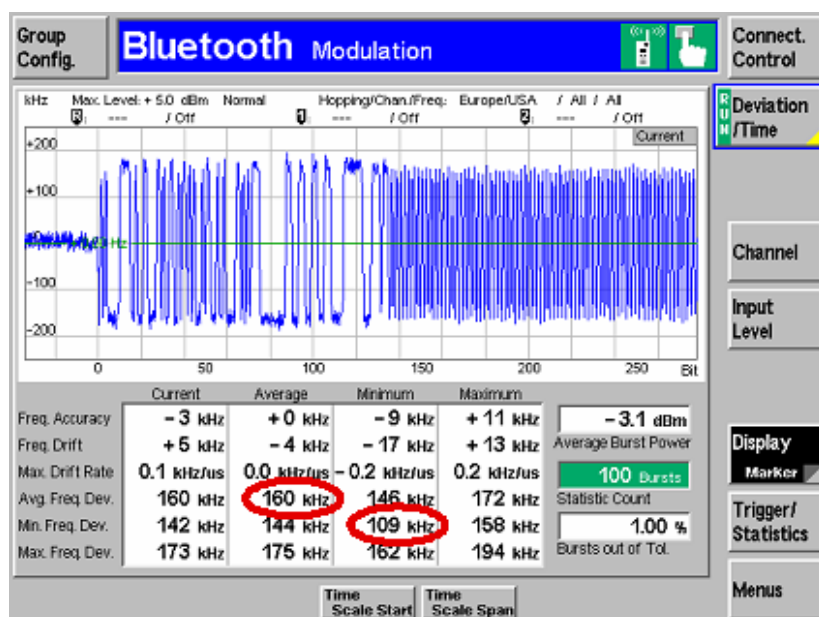


图30. 载波频率漂移测试图

5.4.2 V2.0 EDR 发射机测试

5.4.2.1 TRM/CA/10/C (EDR 相对发射功率 5.1.12)

❖ 规范说明

此项目测试目的是确保在一个数据包中，以 GFSK 调制的部分和以 DPSK 调制的部分之差，在一定范围之内。对增强数据速率类型分组中 GFSK 和 PSK 部分的相关能量要求的定义如下。在接入码（access code）和包头（header）传输过程中的平均功率定义为 PGFSK，而同步序列（synchronization sequence）和负载（payload）传输过程中的平均功率定义为 PDPSK。

❖ 综测仪设置

链路跳频否：关闭。

EUT 置为环回（Loop back）时必须关闭白噪声（whitening）或发射机（TX）模式。

测试仪发射净荷：PRBS9

分组类型：2-DHx 或 2-EVx，如果是 8DPSK 调制则选所支持最大数据包。
是否最大功率：是

❖ 手动测试频谱仪要求：

- 中心频率:射频测试信道
- 跨度: 0MHz
- 分辨率带宽: 3MHz
- 视频带宽: 3MHz
- 检波器: 平均或采用检波
- 模式: 连续测试 (Clear Write)
- 扫描时间: 根据所选的数据包长度
- 触发: 外触发
- 扫描点数: 10

❖ 结果要求

$$(PGFSK - 4dB) < PDPSK < (PGFSK + 1dB)$$

❖ CBT/CMU200 测试结果

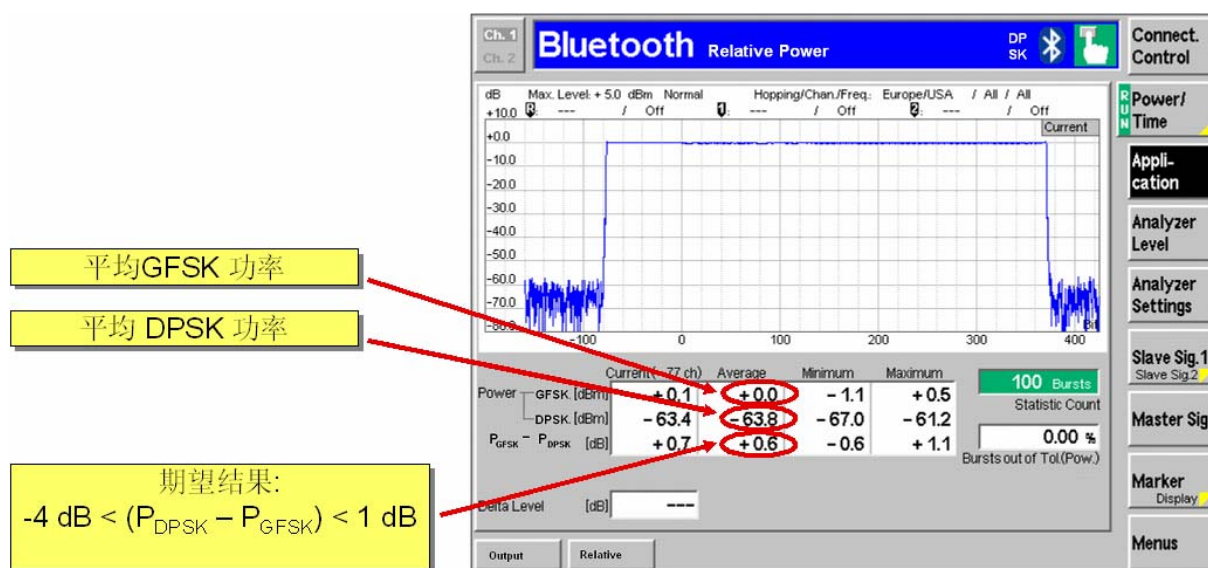


图31. EDR 相对功率测试图

5.4.2.2 TRM/CA/11/C (EDR 载波频率稳定性和调制准确度 5.1.13)

❖ 规范说明

该项目测试目标为，测量载波频率稳定性和调制准确度。对调制准确度的度量是利用差分错误矢量幅度误差（differential error vector magnitude，DEVM）来跟踪载波的偏移。

DEVM 是通过同步序列和分组的有效载荷部分来定义的，但是与 trailer（跟踪）符号无关。对于每种调制方式和每种载波频率，DEVM 方式是由总共超过 200 个非重叠的分组形成，每个分组都有 50 个码字。

所传输的分组应该是各自调制方式中分组所支持的类型中长度最大的。

❖ 综测仪设置

链路跳频否： 关闭.

EUT 置为环回（Loop back）时必须关闭白噪声（whitening）或发射机（TX）模式。

测试仪发射净荷： PRBS9

分组类型： 对 $\pi/4$ -DQPSK 调制选（2-DH1, 2-DH3, 2-DH5, 2-EV3, 2-EV5）中EUT所支持最大的，对于8DPSK调制选（3-DH1, 3-DH3, 3-DH5, 3-EV3, 3-EV5）EUT所支持最大数据包

是否最大功率： 是

❖ 结果要求

1. 载波频率稳定度:

$-75 \text{ kHz} < \omega_i < +75 \text{ kHz}$, 对所有数据包

$-75 \text{ kHz} < (\omega_i + \omega_0) < +75 \text{ kHz}$, 对所有数据块

$-10 \text{ kHz} < \omega_0 < +10 \text{ kHz}$, 对所有数据块

2. RMS DEVM:

$\text{RMS DEVM} < 0.20$, $\pi/4$ -DQPSK 调制数据块

$\text{RMS DEVM} < 0.13$, 8DPSK 调制数据块

3. Peak DEVM:

$\text{DEVM} < 0.35$, $\pi/4$ -DQPSK 调制码元

$\text{DEVM} < 0.25$, 8DPSK 调制码元

4. 99% DEVM:

$\text{DEVM} < 0.30$, 99% $\pi/4$ -DQPSK 调制码元

$\text{DEVM} < 0.20$, 99% 8DPSK 调制码元

❖ CBT/CMU200 测试结果

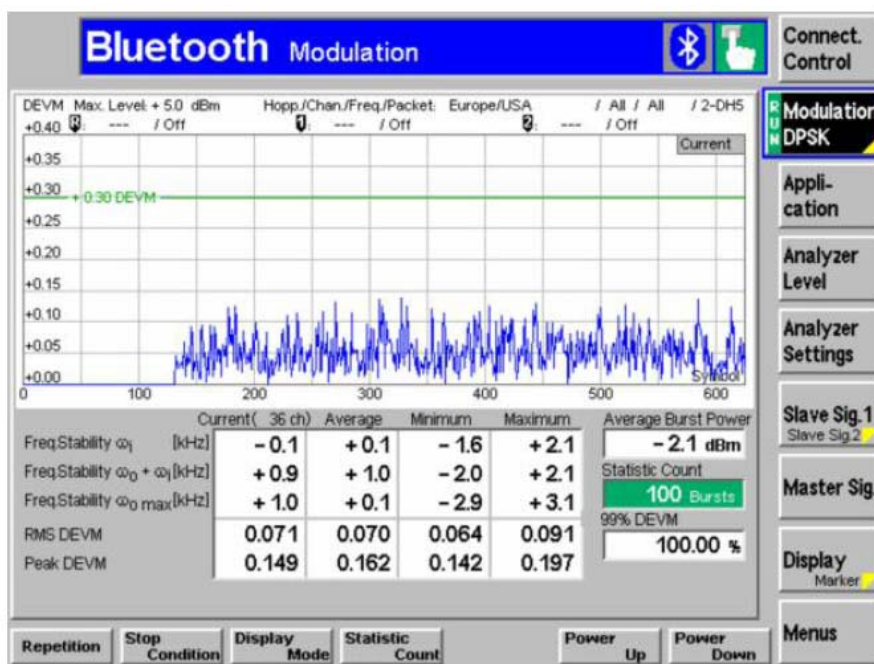


图32. EDR 载波频率稳定性和调制准确度

5.4.2.3 TRM/CA/12/C (EDR 差分相位编码 5.1.14)

❖ 规范说明

本测试是为了检验差分相位编码的准确度。

❖ 综测仪设置

链路跳频否：关闭。

EUT 置为环回 (Loop back) 时必须关闭白噪声 (whitening) 或发射机 (TX) 模式。

测试仪发射净荷：PRBS9

分组类型：对 $\pi/4$ -DQPSK 调制选 (2-DH1或2-EV3,)，对于8DPSK调制选 (3-DH1,或3-EV3,)

是否最大功率：是

❖ 结果要求

99%的数据包错误率为 0

❖ CBT/CMU200 测试结果

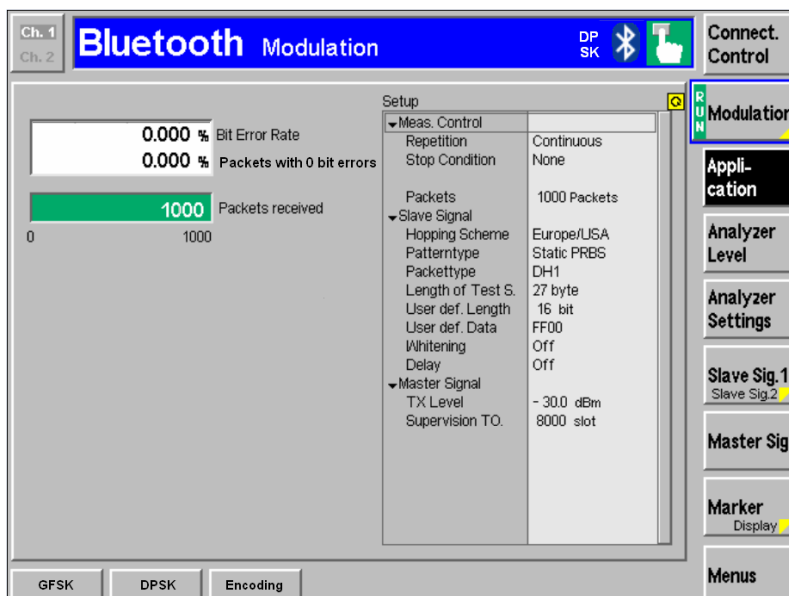


图33. EDR 差分相位编码测试

5.4.2.4 TRM/CA/13/C (EDR 带内杂散辐射 5.1.15)

❖ 规范说明

在 ISM 频带内的传输器传输伪随机信号的时候，它的功率谱密度应该符合下面的要求。所有的功率测量都应该使用有最大上限的 100kHz 带宽。1MHz 到 1.5MHz 载波的功率至少应低于 500kHz 载波的最大功率 26dB。对于相邻的最少为 2MHz 载波的信道功率定义为超过一个 1MHz 信道功率的和，它不能超过第二个相邻信道 -20dBm，不能超过第三个和以后的相邻信道 -40dBm。这些要求在传输信号的开始时刻一直到信号能量的下降沿都应该得到满足。

❖ 综测仪设置

链路跳频否： 关闭。

EUT 置为环回（Loop back）时必须关闭白噪声（whitening）或发射机（TX）模式。

测试仪发射净荷： PRBS9

分组类型： 不作要求

是否最大功率： 是

❖ 结果要求

1. $PTX-26dB(f) < PTX_{ref} -26 dB$ for $|M-N|=1$
2. $PTX(f) < -20 dBm$ for $|M-N|=2$
3. $PTX(f) < -40 dBm$ for $|M-N|>3$.

❖ CBT/CMU200 测试结果

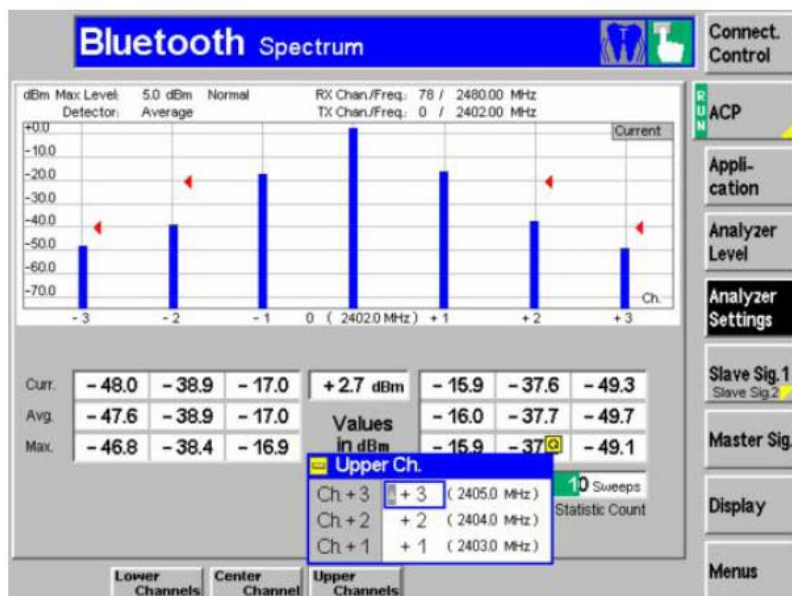


图34. EDR 带内杂散辐射测试图

5.4.3 V1.2 接收机测试

对于收信机测试来说，所有指标的测试都是基于误比特率的统计，并且至少要统计 1600000 个比特。众所周知，在误帧率较大的情况下统计误比特率没有任何意义，因此，为了准确测试收信机的性能，测试仪必须能测试由以下 6 种情况导致的 FER：CRC 误差、不正确的净荷长度、同步字出错、HEC 出错、EUT 给 CBT 回送 NACK 分组、在预期的时隙内没有收到 EUT 发送的分组。

实际灵敏度电平以 0.1% 固有误码率（BER）输入电平形式定义。蓝牙技术中的接收机实际灵敏度电平应是小于等于 -70dBm，以适应蓝牙技术中在发射机特性内容中所提到的发射机设备特性。

5.4.3.1 RCV/CA/01/C (灵敏度 – 单时隙数据包 5.1.16)

❖ 规范说明

检测接收机在非理想环境下，接收最小信号的能力。注意：如果 EUT 支持有扰发射（Dirty Transmitter）见下图，综测仪必须仿真这一环境。EUT 分别工作在低、中、高三个频点，回送调制信号为 PN9 的 DH1 分组。依照蓝牙规范的要求，测试仪控制其输出功率，以使 EUT 的收信功率为 -70dBm。蓝牙规范允许 EUT 发送的射频信号具有 75kHz 的初始误差和 40kHz 的频率漂移，即总共允许有 115kHz 的误差。此外，还要考虑调制、符号定时等引起的误差。假如 EUT 的收信机性能由一个输出“完美”信号的测试仪来测试，其测试结果不足以提供冗余度来适应真正的无线传输环境，用户将得到一个关于收信机质量的错误结果。经验告诉我们，对于有扰测试，蓝牙收信机的灵敏度一般会劣化 4~10dB，具体值与分组长度和蓝牙芯片种类有关。将干扰加入到发送的蓝牙信号中，每 20ms 一组，从第一组依次到第十组，再返回第一组，不断重复。此外，蓝牙基

带信号还受一正弦波调制。测试仪对误码率进行统计，要求误码率 $BER < 0.1\%$ 。此外，如果有条件的话，最好在跳频状态下再重新测试一遍。

❖ 综测仪设置

链路跳频否： 关闭。

EUT 置为环回（Loop back）

测试仪发射净荷： PRBS9

分组类型： DH1

是否最大功率： 是

总测仪发射功率： -70dBm

有扰发射： 由 EUT 决定

Set of Parameters	Carrier Frequency offset	Modulation index	Symbol timing error
1	75 kHz	0.28	- 20 ppm
2	14 kHz	0.30	- 20 ppm
3	- 2 kHz	0.29	+ 20 ppm
4	1 kHz	0.32	+ 20 ppm
5	39 kHz	0.33	+ 20 ppm
6	0 kHz	0.34	- 20 ppm
7	-42 kHz	0.29	- 20 ppm
8	74 kHz	0.31	- 20 ppm
9	-19 kHz	0.28	- 20 ppm
10	-75 kHz	0.35	+ 20 ppm

图35. 规范定义的有扰发射图

❖ 结果要求

$BER \leq 0.1\%$ (最少测试包要求, 1 600 000 bits.)

❖ CBT/CMU200 测试结果

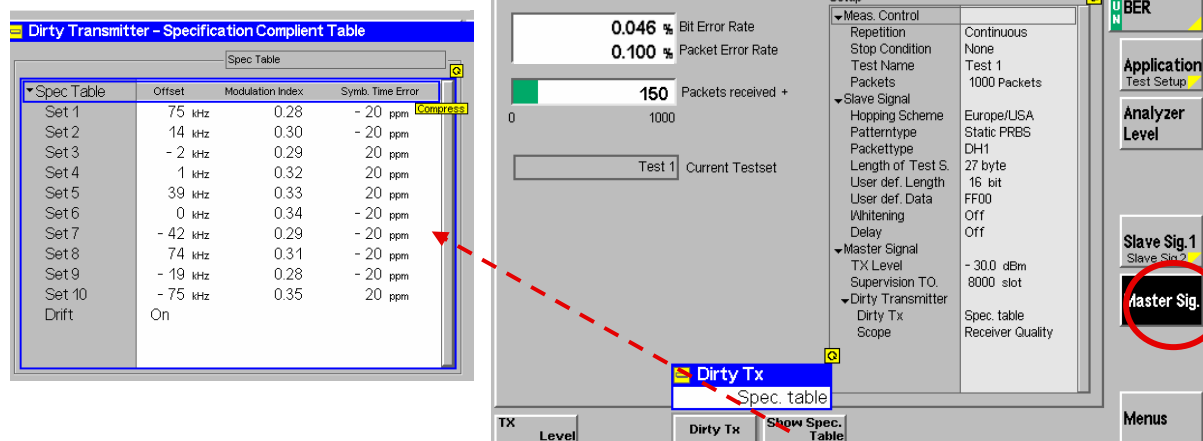


图36. 单时隙误码率测试结果

5.4.3.2 RCV/CA/02/C (灵敏度 – 多时隙数据包 5.1.17)

❖ 规范说明

类似于单时隙灵敏度的测试，不过分组类型为 DH3、DH5。

❖ 综测仪设置

链路跳频否： 关闭.

EUT 置为环回 (Loop back)

测试仪发射净荷： PRBS9

分组类型： DH3或DH5中选择EUT支持最大的

是否最大功率： 是

总测仪发射功率： -70dBm

有扰发射： 由 EUT 决定

❖ 结果要求

$BER \leq 0.1\%$ (最少测试包要求, 1 600 000 bits.)

❖ CBT/CMU200 测试结果

类似于单时隙的测试结果。

5.4.3.3 RCV/CA/06/C (最大输入电平 5.1.21)

❖ 规范说明

该项测试和灵敏度意义不同在于，它测试接收机抵抗大信号的能力，综测仪这个时候要求发送-20dBm 的信号，检测接收机的误码率是多少。

❖ 综测仪设置

链路跳频否： 关闭.

EUT 置为环回 (Loop back)

测试仪发射净荷： PRBS9

分组类型： DH1

是否最大功率： 是

总测仪发射功率： -20dBm

❖ 结果要求

$BER \leq 0.1\%$ (最少测试包要求, 1 600 000 bits.)

❖ CBT/CMU200 测试结果

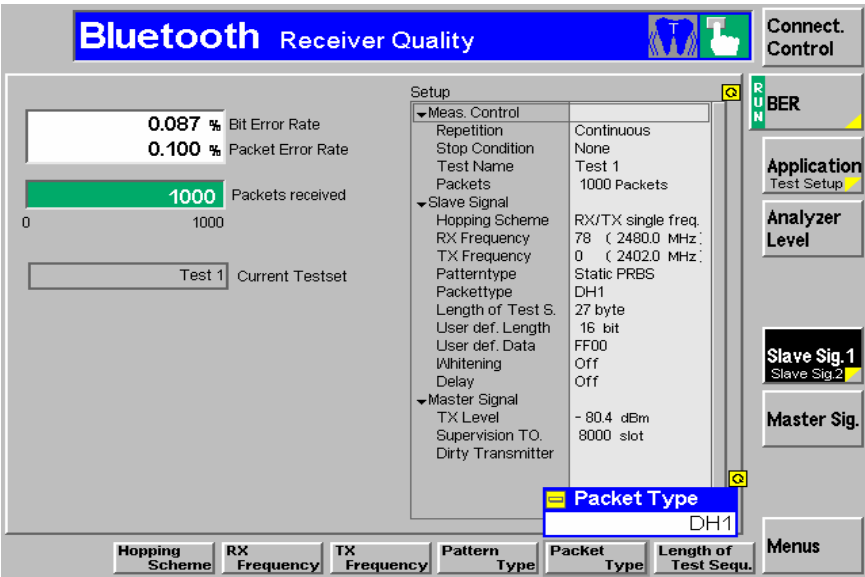


图37. 最大输入电平测试图

5.4.4 V2.0 EDR 接收机测试

5.4.4.1 RCV/CA/07/C (EDR 灵敏度 5.1.22)

- ❖ 规范说明
检测接收机在非理想环境下，BER为10-4的最小接收电平。如果EUT支持Dirty Transmitter，必须仿真这一环境。
- ❖ 综测仪设置
链路跳频否： 关闭。
EUT 置为环回（Loop back）,白噪声打开。
测试仪发射净荷： PRBS9
分组类型： 2-DH5或3-DH5
是否最大功率： 是
总测仪发射功率： -70dBm
有扰发射： 由 EUT 决定

Set of Parameters	Carrier Offset Frequency	Symbol Timing Error
1	0 kHz	0 ppm
2	+65 kHz	+20 ppm
3	-65 kHz	-20 ppm

图38. EDR 环境下的有扰发射

- ❖ 结果要求
BER of 8.000.000 bits ($\leq 7 \cdot 10^{-6}$)
BER of 160.000.000 bits ($\leq 10^{-5}$)
- ❖ CBT/CMU200 测试结果

测试结果图和单时隙灵敏度测试图很相似，故省略。

5.4.4.2 RCV/CA/08/C (EDR BER 平坦性能 5.1.23)

❖ 规范说明

检测接收机在非理想环境下，BER 为 10^{-5} 的最小接收电平。

❖ 综测仪设置

链路跳频否： 关闭。

EUT 置为环回 (Loop back) ,白噪声打开。

测试仪发射净荷： PRBS9

分组类型： 2-DH5或3-DH5

是否最大功率： 是

总测仪发射功率： -60dBm

❖ 结果要求

BER of 8.000.000 bits ($\leq 7 \cdot 10^{-6}$)

BER of 160.000.000 bits ($\leq 10^{-5}$)

❖ CBT/CMU200 测试结果

测试结果图和单时隙灵敏度测试图很相似，故省略

5.4.4.3 RCV/CA/10/C(EDR 最大输入电平 5.1.25)

❖ 规范说明

该项测试和灵敏度意义不同在于，它测试接收机抵抗大信号的能力，综测仪这个时候要求发送-20dBm 的信号，检测接收机的误码率是多少。

❖ 综测仪设置

链路跳频否： 关闭。

EUT 置为环回 (Loop back)

测试仪发射净荷： PRBS9

分组类型： EUT所能支持的最大数据包

是否最大功率： 是

总测仪发射功率： -20dBm

❖ 结果要求

BER $\leq 0.1\%$ (最少测试包要求, 1 600 000 bits.)

❖ CBT/CMU200 测试结果

测试结果和 V1.2 的结果类似。

5.5 需要加频谱仪或信号源才能完成的项目

蓝牙规范.V1.2 项目(发射机)	测试用仪器
TRM/CA/02/C (功率密度)	CBT+ FSQ, FSP, FSL
蓝牙规范.V1.2 项目(接收机)	测试用仪器
RCV/CA/03/C (C/I 性能)	CBT+ SMU, SMJ
RCV/CA/04/C (阻塞特性)	CBT+ SMR (12.75 GHz), SMU, SMJ (6 GHz)
RCV/CA/05/C (互调特性)	CBT+ SMU, SMJ 作为蓝牙干扰 源, SMR 或 SMU 的第二通道 作为连续波干扰源
蓝牙规范. V2.0 + EDR 项目(接收机)	测试用仪器
RCV/CA/09/C (EDR C/I 性能)	CBT+ SMU, SMJ

R&S® SMU200A矢量信号源配置信息:

R&S® SMU200A

R&S® SMU-B102 RF Path A: 100 kHz to 2.2 GHz

R&S® SMU-B103 RF Path A: 100 kHz to 3 GHz

R&S® SMU-B104 RF Path A: 100 kHz to 4 GHz

R&S® SMU-B106 RF Path A: 100 kHz to 6 GHz

R&S® SMU-B202 RF Path B: 100 kHz to 2.2 GHz

R&S® SMU-B203 RF Path B: 100 kHz to 3 GHz

R&S® SMU-B10 基带ARB (64 M samples)

R&S® SMU-B13 基带主模块

5.5.1 V1.2 发射机测试

5.5.1.1 TRM/CA/02/C (功率密度 5.1.4)_

❖ 规范说明

测试仪通过扫频, 在240MHz频带范围内找到对应最大功率的频点, 然后以此频点进行时域扫描(扫描时间为1分钟), 测出最大值。

❖ 测试环境

CBT, FSx (FSU, FSQ, FSP, FSL) 频谱分析仪

耦合器: 2.5 GHz (e.g. Weinschel 1515-1)

注意下图的连接, 如果采用R&S的FSL的话, 必须在输入口前加上衰减器。

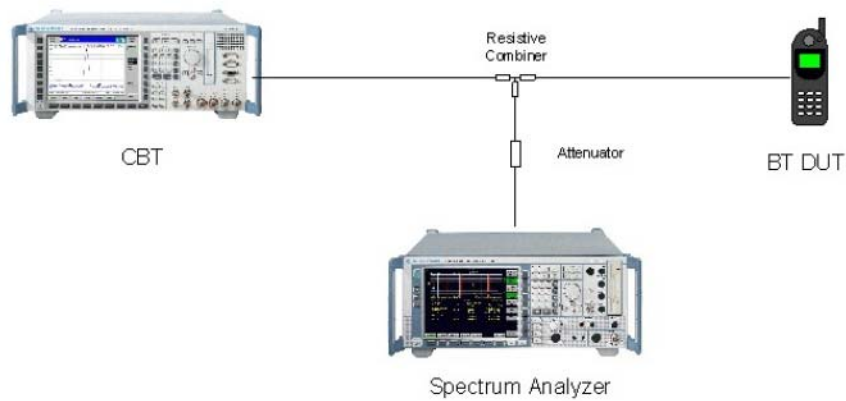


图39. 功率密度测试连接图

❖ 测试设置

射频环回模式或TX模式

跳频

发射机最大功率发射

最长数据分组

发送数据类型: PRBS9

频谱分析仪设置:

- 中心频率: 2441 MHz
- 跨度: 240 MHz
- 分辨率带宽: 100 kHz
- 视频带宽: 100 kHz
- 检波器: 峰值
- 模式: 峰值保持
- 扫描时间: 1 s /100 kHz

❖ 测试结果要求

功率密度<20dBm/100kHz

❖ 测试结果

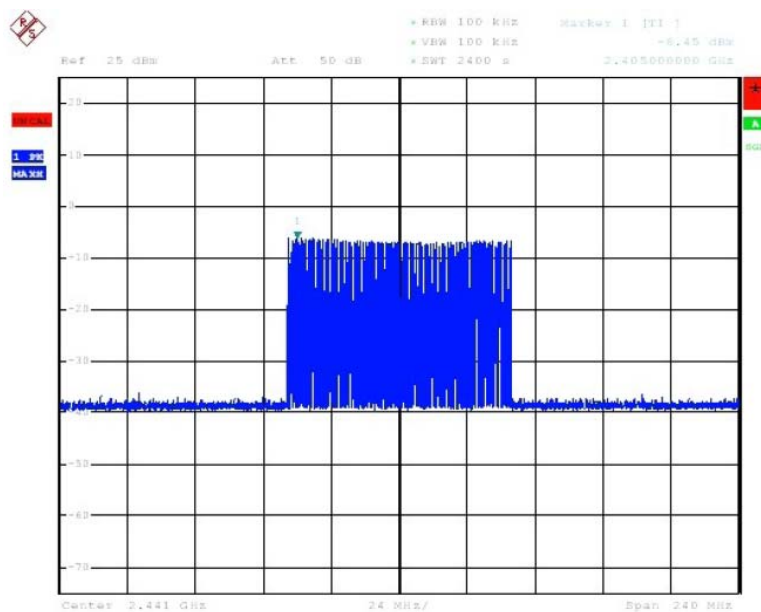


图40. FSQ 测试的功率密度图

5.5.2 V1.2 接收机测试

5.5.2.1 RCV/CA/03/C (C/I 性能 5.1.18)

❖ 规范说明

此测试检测了接收机在有干扰环境下的接收能力。结果以BER的方式来表征。

需要的信号在某信道上以非跳频的方式工作。一干扰信号在此信道加入，可以检测这时的BER。第二步，干扰信号加到蓝牙整个频段上，测试每个信道上的BER。重复测试一次。

❖ 测试环境

CBT 测试仪, SMx (SMU, SMJ, SMATE) 信号源

耦合器: 到2.5 GHz (比如: Weinschel 1515-1)

衰减器: up to 2.5 GHz (比如 Suhner)

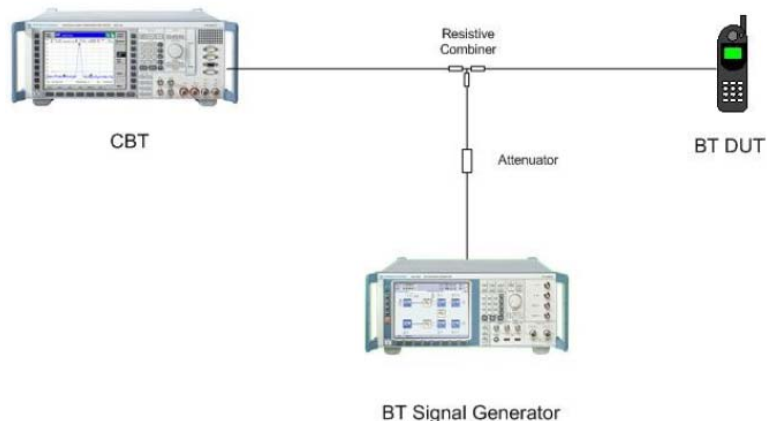


图41. C/I 性能测试环境

❖ 测试设置

环回模式

跳频关闭

测试信道 (3, 39, 75)

TX 最大功率

发送分组: DH1

包类型: PRBS9

干扰: GFSK 调制的 PRBS15, 在蓝牙频段内的所有信道上连续发送

数据包大小: 1,600,000 bit

参考发送电平: -70 dBm

Interferer Frequency	Ratio	Wanted signal level P[dB] > reference sensitivity
Co-Channel interference, C/I co-channel	11 dB	10
Adjacent (1 MHz) interference, C/I 1MHz	0 dB	10
Adjacent (2 MHz) interference, C/I 2MHz	-30 dB	10
Adjacent (≥ 3 MHz) interference, C/I ≥ 3 MHz	-40 dB	3
Image frequency Interference ^{1,2} , C/I Image	-9 dB	3
Adjacent (1 MHz) interference to in-band mirror frequency, C/I Image ± 1 MHz	-20 dB	3

图42. 规范要求的干扰和需要的信号强度

❖ 测试结果要求

BER<0.1%

5.5.2.2 RCV/CA/04/C (阻塞特性 5.1.19)

❖ 规范说明

阻塞特性是指在其它频段存在大的干扰信号时, 接收机接收有用信号的能力。EUT收发频点为2460MHz (58号信道)。测试仪不仅发送净荷为PN9的DH1分组作为有用信号, 而且发送频率为30MHz到12.75GHz之间的连续波干扰信号。

❖ 测试环境

CBT 测试仪, SMx (SMR) 到12.75 GHz信号源

耦合器: 到2.5 GHz (比如: Weinschel 1515-1)

衰减器: 到2.5 GHz (比如 Suhner)

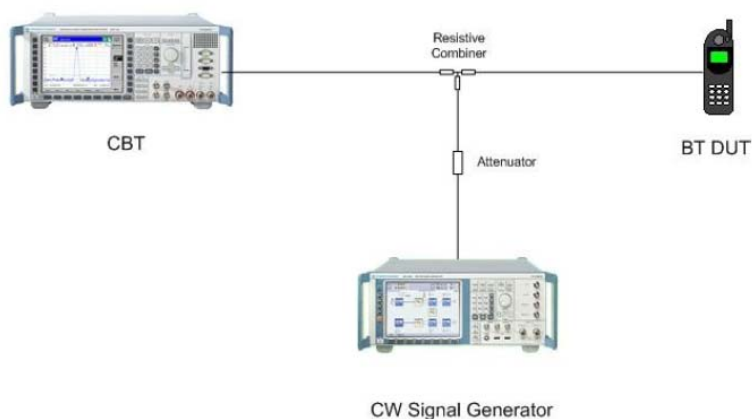


图43. 阻塞特性测试图

❖ 测试设置

环回模式

跳频关闭

测试信道 (58)

TX 最大功率

发送分组: DH1

包类型: PRBS9

需要信号: 比参考信号高3dB

干扰信号: 连续波信号以1MHz为步进, 信号大小如下图所示:

参考发送电平: -70 dBm

Interfering Signal Frequency	Interfering Signal Power Level
30 MHz – 2000 MHz	-10 dBm
2000 – 2400 MHz	-27 dBm
2500 – 3000 MHz	-27 dBm
3000 MHz – 12.75 GHz	-10 dBm

图44. 规范中要求的连续波大小

❖ 测试结果要求

BER<0.1%

5.5.2.3 RCV/CA/05/C (互调特性 5.1.20)

❖ 规范说明

互调特性是指存在两个或多个跟有用信号有特定频率关系（它们的互调产物刚好落在有用信号带内）的干扰信号的情况下的接收能力。

❖ 测试环境

CBT, SMU 或 SMJ + SMR 信号源

2个环形器(比如: Minicircuits ZFSC-2-2500)

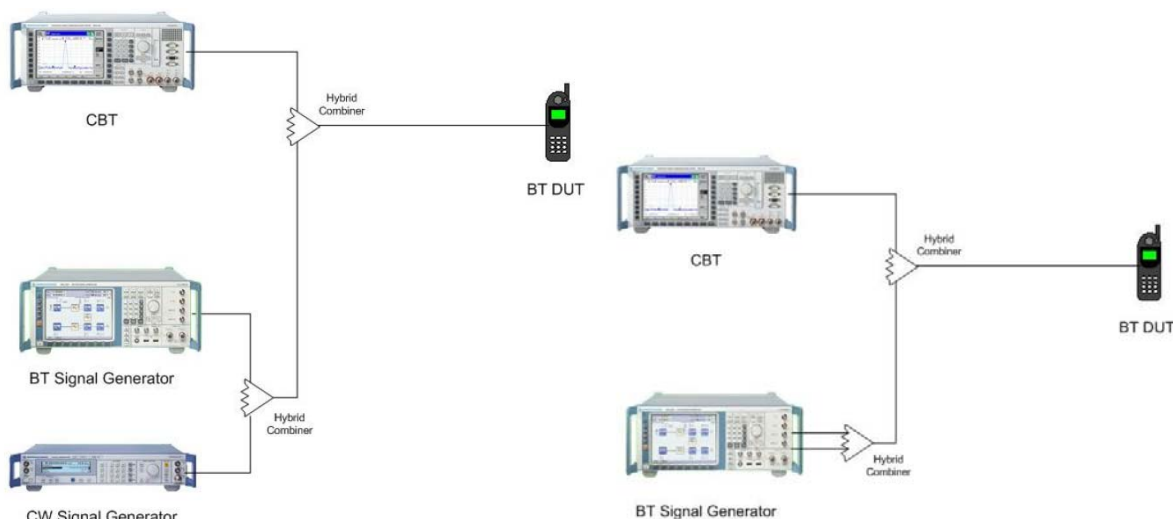


图45. 互调特性测试图

❖ 测试设置

环回模式

跳频关闭

测试信道 (0, 39, 78)

TX 最大功率

发送分组: DH1

包类型: PRBS9

数据包大小: 1,600,000 bit

参考发送电平: -70 dBm

需要信号: 高于参考电平6dB,绝对电平-64dBm

几阶互调: $n = 3, 4, 5$ (厂商决定)

蓝牙干扰信号: GFSK调制的分组数据PRBS15和需要的信号相隔 $\pm 2n$ MHz, 电平大小为-39dBm

连续波干扰: 相隔 $\pm n$ MHz, 电平大小为-39dBm

❖ 测试结果要求

BER<0.1%

5.5.3 V2.0 EDR 接收机测试

5.5.3.1 RCV/CA/09/C (EDR C/I 性能 5.1.24)

❖ 规范说明

定义如 RCV/CA/03/C (C/I 性能 5.1.18)

❖ 测试环境

如RCV/CA/03/C (C/I 性能 5.1.18)

❖ 测试设置

如RCV/CA/03/C (C/I 性能 5.1.18)

但是必须加上白噪音, 干扰信号大小如下图:

Frequency of Interference	2Mbps ($\pi/4$ -DQPSK) C/I ratio	3Mbps (8dpsk) C/I ratio
Co-Channel interference, C/I _{co-channel}	13 dB	21 dB
Adjacent (1 MHz) interference ¹⁾ , C/I _{1MHz}	0 dB	5 dB
Adjacent (2 MHz) interference ¹⁾ , C/I _{2MHz}	-30 dB	-25 dB
Adjacent (≥ 3 MHz) interference ¹⁾ , C/I _{≥ 3MHz}	-40 dB	-33 dB
Image frequency Interference ^{1) 2) 3)} , C/I _{Image}	-7 dB	0 dB
Adjacent (1 MHz) interference to in-band image frequency ^{1) 2) 3)} , C/I _{Image ± 1MHz}	-20 dB	-13 dB

图46. EDR C/I 特性干扰大小

6 蓝牙音频测试

罗德与施瓦茨的蓝牙综测仪不仅可以测试射频也可以测试音频。

6.1 蓝牙耳机测试

现行的蓝牙耳机测试是蓝牙语音测试中最频繁也最常见的。罗德施瓦茨为蓝牙语音测试提供了 2 套方案。

方案一：

采用 CMU200（不需要蓝牙选件）+ 音频分析仪 UPV 或 UPL+B&K 设备。把蓝牙耳机的测试转化为测试手机音频。

B&K 设备如下所示：

Head and torso simulator	B&K 4128C (ear type 3.3)
Acoustic calibrator	B&K 4231
Microphone power supply	B&K 2690A0S2

方案二：

采用蓝牙测试仪 CBT+ 音频分析仪 UPV+B&K 设备。

下图为一单体测试中仅采用 CBT 进行音频测试的用例。

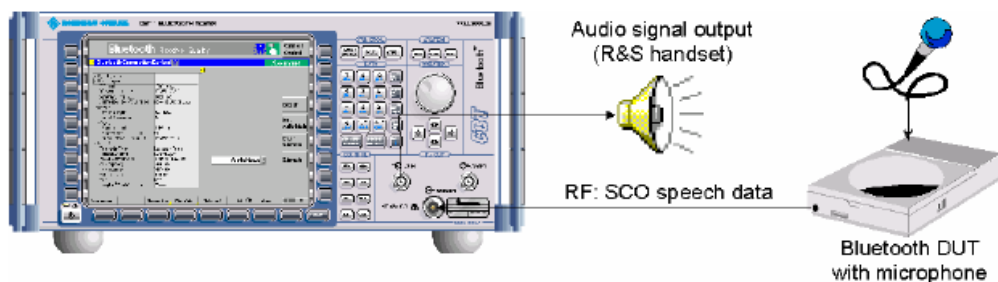


图47. 蓝牙音频测试图

7 生产测试程序

7.1 CBTgo 和 CMUgo 介绍

罗德与施瓦茨的 CMUgo 是一款为无线通用标准而设计的自动测试软件，它可以控制的标准有 GSM, WCDMA, CDMA2000 等。同时它也可以进行蓝牙测试。CBTgo 是一款专门为 CBT 量身定做的远端控制仪器。但笔者也做过这样的试验，用 CBTgo 可以控制 CMU200 的蓝牙测试，反之也可以进行。

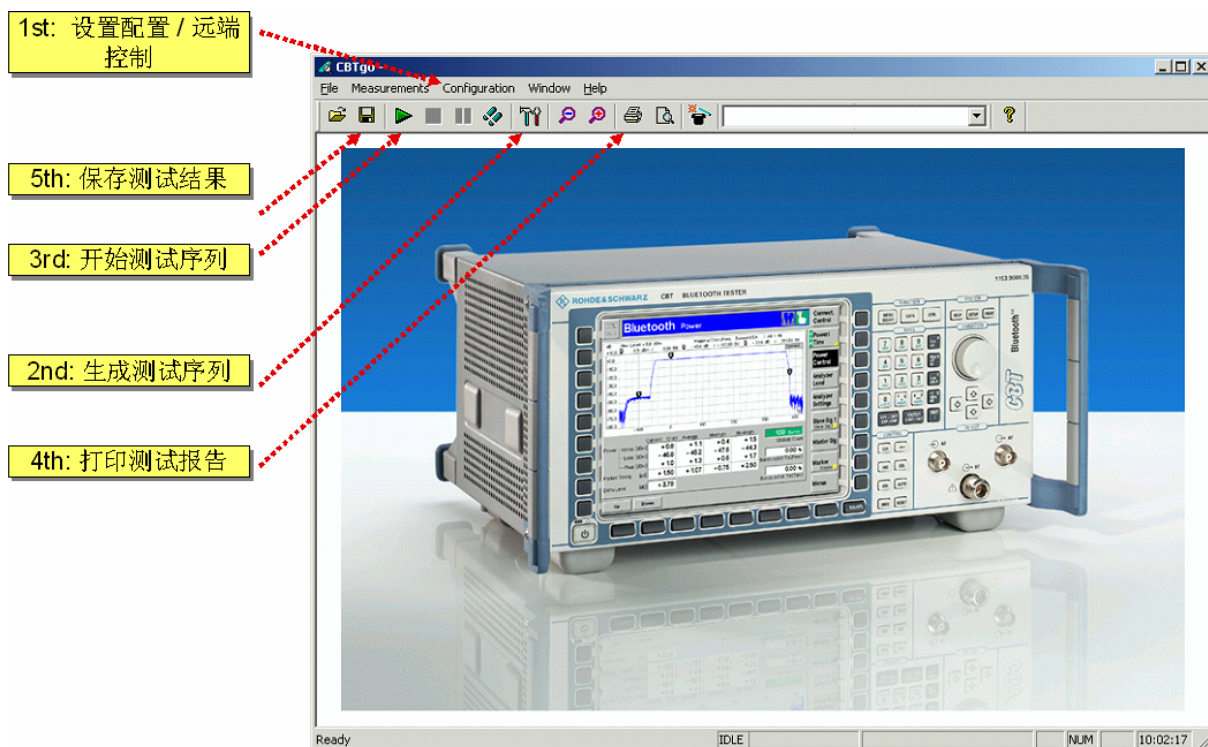


图48. CBTgo 测试界面介绍

下图为用 CBTgo 所跑测试序列的值

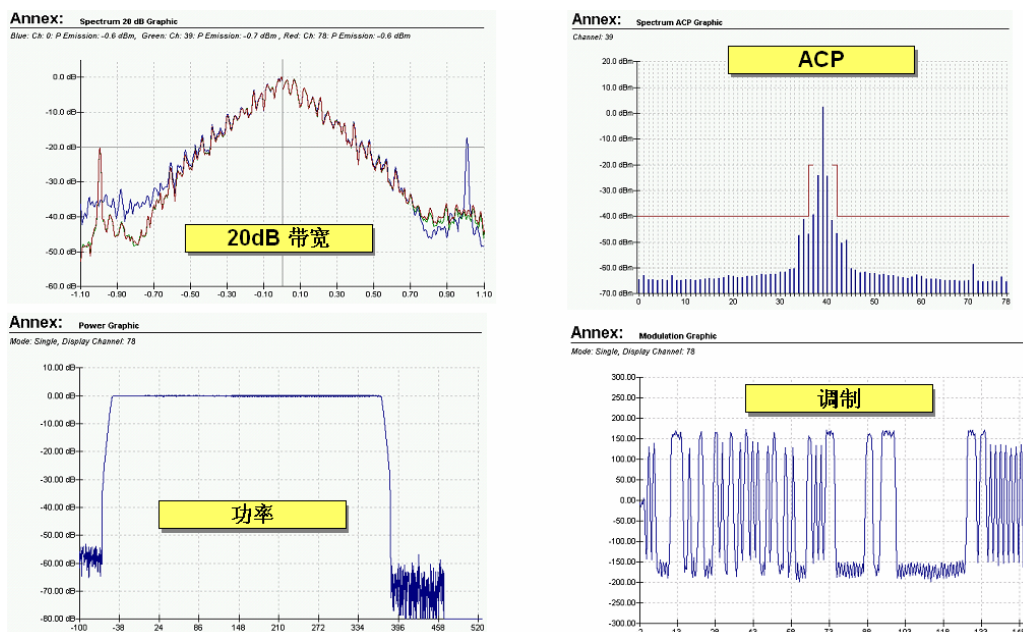


图49. CBTgo 测试结果图

7.2 远端控制程序

生产线测试中最重要的就是速度，罗德施瓦茨的 CBT 能提供业界最快的蓝牙射频测试速度。下面介绍的是测试命令分析：

```
FPRINT -----
FPRINT Paging
FPRINT -----
```

```
CMUBT: CONF:MSIG:PAG:TARG '00025B01783D'
CMUBT: CONF:RXQ:BER:TSET1:DEL OFF
```

```
CMUBT: CONF:MSIG:PAG:PSRM R1
CMUBT: CONF:MSIG:PAG:RSIN ON
```

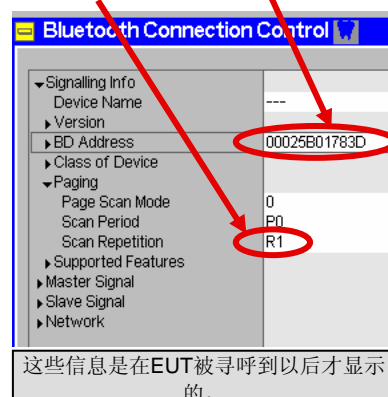
```
CMUBT: PROC:SIGN:ACT TEST
WHILE CMUBT: SIGN:XST? <> TEST
```

BD EUT 蓝牙地址

寻呼设置为连续模式，
正确的设置，能保证最
快的寻呼速度

连接并置EUT进入测试
模式

等待直到EUT进入测试模
式



这些信息是在EUT被寻呼到以后才显示
的。


```
FPRINT -----
FPRINT Transmitter Tests
FPRINT -----
```

```
CMUBT: CONF:POW:MPR:CONT:STAT 10
CMUBT: CONF:POW:MPR:CONT:REP SING,NONE,NONE
CMUBT: CONF:POW:MPR:MMOD ALL
```

10 数据包

```
CMUBT: CONF:SSIG:TMOD:TMTY TXT
CMUBT: CONF:SSIG:TMOD:HSCH RXTX
CMUBT: CONF:SSIG:TMOD:TXT:PTYP DH5
CMUBT: CONF:SSIG:TMOD:TXT:LOTS:DH5P 339
```

DH 5 包 (339 bytes)

```
FPRINT -----
FPRINT TX channel 0
FPRINT -----
```

10101010 数据模式

```
CMUBT: PROC:SSIG:TMOD:TXT:PATT P11;*OPC?
```

信道设为0

```
CMUBT: CONF:SSIG:TMOD:TXT:FREQ 0CH
```

```
CMUBT: INIT:POW:MPR
CMUBT: FETC:POW:MPR?
```

11110000 模式

```
CMUBT: PROC:SSIG:TMOD:TXT:PATT P44;*OPC?
```

```
CMUBT: INIT:POW:MPR
CMUBT: FETC:POW:MPR?
```

POW:MPR可以进行功率和调制测试, 设置为2种模式, 在信道0上, 每种中使用10个 DH5包

```
FPRINT -----
FPRINT Receiver Tests
FPRINT -----

CMUBT: CONF:RXQ:BER:TSET1:LEV -70.0
CMUBT: CONF:RXQ:BER:TSET1:PTYP DH5
CMUBT: CONF:RXQ:BER:TSET1:LOTS:DH5P 339
CMUBT: CONF:RXQ:BER:TSET1:HSCH RXTX
CMUBT: CONF:RXQ:BER:TSET1:PATT SPRS
CMUBT: CONF:RXQ:BER:TSET1:CONT:REP SING,NONE,NONE
CMUBT: CONF:RXQ:BER:TSET1:CONT:STAT 20
CMUBT: CONF:RXQ:BER:TSET T1

FPRINT -----
FPRINT BER Channel 00
FPRINT -----

CMUBT: CONF:RXQ:BER:TSET1:FREQ 0CH,78CH;*OPC?
CMUBT: INIT:RXQ:BER
CMUBT: FETC:RXQ:BER?
```

CBT 功率-70 dBm

DH 5 包 (339 bytes)

PRBS 模式

20 包

信道 0

RXQ:BER 误码率测试

8 参考文献

- (1) Specification of the Bluetooth System, Core System Package, Volume 2, Part A
- (2) Specification of the Bluetooth System, Core System Package, Volume 3, Part D
- (3) ETS 300 328: "Radio Equipment and Systems (RES); Wideband transmission systems; Technical characteristics and test conditions for data transmission equipment operating in the 2,4 GHz ISM band and using spread spectrum modulation techniques"
- (4) FCC Part 15: CFR 47, Part 15 "Radio Frequency Device", Sections 15.205, 15.209, 15.247
- (5) PICS Proforma for Radio (RF)
- (6) R&S Application Notes" Measurement on Bluetooth Products in accordance with the test spec. v2.0 + EDR.
- (7) <http://www.jinoux.com/book/blueagreement/blueagreement2-04.jsp>
- (8) http://industry.ccidnet.com/art/215/20041026/169459_1.html
- (9) R&S: Manual for windows application CBTgo(V1.80), manual of CBT and CMU200