

2.4GHz 无线技术标准及 ZigBee 抗干扰性能

李 蛟¹ 杨仁锬² 肖峻¹

(1 电子科技大学光电信息学院 成都 610054)

(2 成都四威电子股份有限公司 成都 610091)

摘 要 介绍了 ZigBee 和其他几种工作于 2.4GHz ISM 频段的短距离无线通信技术标准, Wi-Fi、蓝牙和无线 USB, 对 ZigBee 本身的抗干扰性能以及与其他无线技术的共存进行了分析, 讨论了如何保证 ZigBee 避免干扰和改善其共存性能。

关键词 ZigBee Wi-Fi 干扰 共存

1 引言

为了实现工业、家庭和楼宇的自动化控制, 将人类从有线的环境中解放出来, 以取代线缆为目标, 用于无线个人区域网 (WPAN, Wireless Personal Area Network) 范围的短距离无线通信技术标准得到了迅速的发展, 典型技术标准有蓝牙 (Bluetooth)、ZigBee、无线 USB (WirelessUSB)、无线局域网 Wi-Fi (IEEE 802.11b/g) 等。在人们享受方便快捷的时候, 这些技术的电磁兼容问题日益凸现。由于这些技术均选择了 2.4GHz (2.4 ~ 2.483GHz) ISM 频段, 再加上无绳电话和微波炉等干扰源, 就使得该频段日益拥挤, 各种信号带宽见图 1。

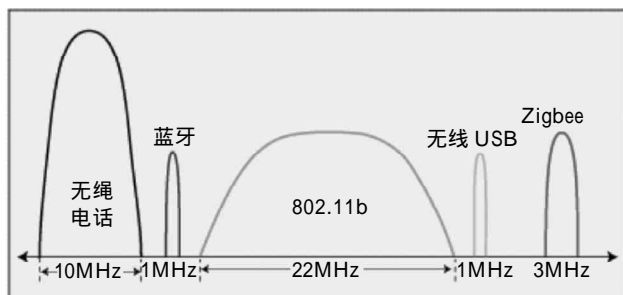


图 1 工作于 2.4GHz ISM 频段无线系统的信号比较

2.4GHz 频段日益受到重视, 原因主要有三: 首先它是一个全球性的频段, 开发的产品具有全球通用性; 其次, 它整体的频宽胜于其他 ISM 频段, 这就提高了整体数据传输速率, 允许系统共存; 第三就是尺寸, 2.4GHz 无线电和天线的体积相当小, 产品体积也更小。虽然每一种技术标准都进行了必要的设计来减小干扰的影响, 但是为了能让各种设备正常运行, 对他们之间的干扰、共存分析显然是非常重要的。

2 2.4GHz 频段的无线技术标准简介

2.1 ZigBee/IEEE 802.15.4

ZigBee 技术是一项新兴的短距离无线通信技术, 主要面向的应用领域是低速率无线个人区域网 (LR-WPAN, Low Rate Wireless Personal Area Network), 典型特征是近距离、低功耗、低成本、低传输速率, 主要适用于自动控制以及远程控制领域, 目的是为了满足不同小型廉价设备的无线联网和控制, 典型的如无线传感器网络, 其详细特性见表 1。

2.4GHz 频段是全球通用频段, 868MHz 和 915MHz 则是用于美国和欧洲的 ISM 频段, 这两个频段的引入避

表1 IEEE 802.15.4 特性

主要工作频段	两个物理层 (PHY)	低频段 (BPSK 调制)	868MHz	1 个信道 - 20kbit / s
		高频段 (O - QPSK 调制)	915MHz	10 个信道 - 40kbit / s
			2.4GHz	16 个信道 - 250kbit / s
信道接入方式	CSMA - CA			
工作距离	>100m (室外空旷地)			
地址分配	8bit 短地址或 64bit IEEE 地址			

免了 2.4GHz 附近各种无线通信设备的相互干扰。

和标准 / 认证过程。

2.2 Wi-Fi / IEEE 802.11b

几种 2.4GHz 频段技术标准的比较如表 2 所示。

Wi-Fi 即无线局域网, 工作在 2.4GHz 频段, 用于学校、商业等办公区域的无线连接技术, 传输速率可达 11Mbit/s, 工作距离 100m, 采用直接序列扩频(DSSS) 的方式。采用 Wi-Fi 的主要推动因素是数据吞吐量, Wi-Fi 一般用来将计算机与本地局域网相连或直接与互联网相连。

3 ZigBee 技术抗干扰特性分析

ZigBee 技术的抗干扰特性主要是指抗同频干扰, 即来自共用相同频段的其他技术的干扰。对于同频干扰的抵御能力是极为重要的, 因为它直接影响到设备的性能。ZigBee 在 2.4GHz 频段内具备强抗干扰能力就意味着能够可靠地与 Wi-Fi、蓝牙、WirelessUSB 以及家用的无绳电话和微波炉共存。

2.3 蓝牙 (Bluetooth) / IEEE 802.15.1

一项由蓝牙特别利益小组 (SIG) 制定的用于无线个人区域网 (WPAN) 的标准, 采用跳频扩频 (FHSS) 方式, 支持语音、数据传输。蓝牙可对多达 8 个连接成皮网 (Piconet) 的设备以及多个连接成散射网的皮网提供支持。蓝牙有 79 个信道, 信道间隔均为 1MHz。通信距离为 10 ~ 100 m。

IEEE 802.15.4 标准中提供了很多机制来保证 ZigBee 在 2.4GHz 频段和其他无线技术标准的共存能力。

2.4 无线 USB (WirelessUSB)

WirelessUSB 技术在 3m 距离的最大传输速率达 480Mbit/s, 而性能与现有的 USB2.0 相同。WirelessUSB 规定 10m 的速率为 110Mbit/s, 使用全球通用的 2.4GHz ISM 频段, 通信距离高达 10m, 可连接 8 个设备。WirelessUSB 并非联网解决方案, 因此没有相关成本或功率开销, 支持 USB 的即插即用, 无需驱动程序

3.1 空闲信道评估 (CCA, Clear Channel Assessment)

IEEE 802.15.4 物理层在碰撞避免机制 (CSMA-CA) 中提供 CCA 的能力, 即如果信道被其他设备占用, 允许传输退出而不必考虑采用的通信协议。

3.2 动态信道选择

ZigBee 个人区域网 (PAN) 中的协调器首先要扫描所有的信道, 然后再确认并加入一个合适的 PAN, 而不是自己去创建一个新的 PAN, 这样就减少了同频段 PAN 的数量, 降低了潜在的干扰。如果干扰源出现在重

表2 无线技术标准 (2.4GHz 频段) 的比较

技术标准	ZigBee	Wi-Fi	蓝牙 (Bluetooth)	WirelessUSB
对应 IEEE 标准	802.15.4	802.11b	802.15.1	——
传输速率 (bit/s)	250k (2.4GHz 频段)	11M	1 ~ 2M	480M (符合 USB2.0)
传输范围 (m)	10 ~ 75	100	10	10
扩频方式	DSSS	DSSS	FHSS	DSSS
功耗	很低	高	低	很低
适用领域	低数据速率静态网络、高密度节点、稀少的控制数据传输	数据传输	动态互操作型网络、多路接入点、流媒体 (音频、语音) 的频繁交换	PC 外设、多点对一点、高速数据传输

叠的信道上, 协调器上层的软件要应用信道算法选择一个新的信道。

3.3 信道算法

我们可以对比 IEEE 802.11b 和 IEEE 802.15.4 信道算法, 见图 2 和图 3, 有 4 个 IEEE 802.15.4 信道 ($n=15, 16, 21, 22$) 落在 3 个 IEEE 802.11b 信道的频带间距上, 这些间距上的能量不为零, 但是会比信道内的能量低, 将这些信道作为 IEEE 802.15.4 网络的工作信道可以将系统间干扰降至最小。

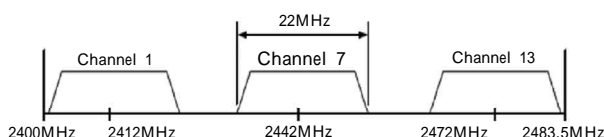


图 2 IEEE 802.11b 信道选择 (欧洲, 非重叠)

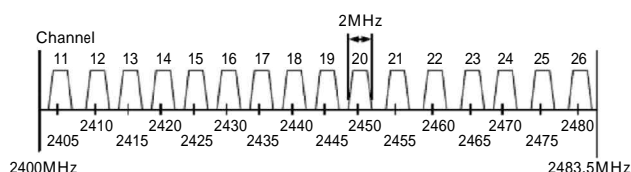


图 3 IEEE 802.15.4 信道选择

在网络初始化或者响应中断时, ZigBee 设备都会先扫描一系列被列入信道表参数中的信道, 以便进行动态信道选择。在有 IEEE 802.11b 网络活跃工作的环境中建立一个 IEEE 802.15.4 网络, 可以按照上述空闲信道来设置信道表参数, 以便加强网络的共存性能。

4 频率共存分析

4.1 ZigBee 与 Wi-Fi 共存

面向自动化控制的 ZigBee 和无线局域网技术 Wi-Fi 将会在很多场合处于共存的状态, 如办公室、家庭、楼宇和车间等, 可以通过建立模型来仿真 IEEE 802.15.4 和 IEEE 802.11b 的共存。

共存性能评估仿真主要基于以下假设:

(1) 接收机接收到的干扰源功率 P_r 计算

$$d = 10^{\frac{(P_t - P_r - 40.2)}{20}} \quad d > 8m$$

$$d = 8 \times 10^{\frac{(P_t - P_r - 58.5)}{20}} \quad d < 8m$$

d : 接收机距离干扰源的距离;

P_t : 发射机发射功率;

P_r : 接收机接收功率。

(2) 接收机灵敏度:

* IEEE 802.11b, 11Mbit/s 传输速率 CCK 调制:

-76dBm;

* IEEE 802.15.4: -85dBm。

(3) 发射功率:

* IEEE 802.11b: 14dBm。

* IEEE 802.15.4: 0dBm。

(4) 接收机带宽:

* IEEE 802.11b: 22MHz。

* IEEE 802.15.4: 2MHz。

(5) 干扰特性

干扰信号均近似为等带宽的加性高斯白噪声 (AWGN, Additive White Gaussian Noise)。

(6) 误码率 (BER) 计算

* IEEE 802.11b, 11Mbit/s 传输速率

$$BER = \frac{128}{255} \times \left(24 \times Q(4 \times SINR)^{\frac{1}{2}} + 16 \times Q(16 \times SINR)^{\frac{1}{2}} + 174 \times Q(8 \times SINR)^{\frac{1}{2}} \dots + 16 \times Q(10 \times SINR)^{\frac{1}{2}} + 24 \times Q(12 \times SINR)^{\frac{1}{2}} + Q(16 \times SINR)^{\frac{1}{2}} \right)$$

* IEEE 802.15.4

$$BER = \frac{8}{15} \times \frac{1}{16} \times \sum_{k=2}^{16} -1^k \left(\frac{16}{k} \right) e^{(20 \times SINR \times (\frac{1}{k} - 1))}$$

见图 4 仿真结果, 反映了 PER (分组差错率) Separation (干扰源与接收机距离) Foffset (频偏) 三者的关系, 可以明显看出: 频偏和距离是两个关键参数, 对于非跳频系统, 较大频偏 (IEEE 802.11b 载波中心频率和 IEEE 802.15.4 载波中心频率的差值) 可以容忍近距离 (小于 2m) 共存, 然而在较小频偏或称作同频干扰情况下, 可容忍距离为几十米; 干扰源距离接收机越远, 共存性能越好。可见, 信道占用检测和动态信道选择对于保证共存性能是非常重要的。

ZigBee 对 Wi-Fi 的干扰相对来说要小得多, 由于

ZigBee信号带宽只有3MHz, 相对于Wi-Fi的22MHz带宽属于窄带干扰源, 通过扩频技术IEEE 802.11b可以充分的抑制干扰信号。还有, ZigBee设备天线的输出功率被限制在0dBm(1mW), 相对于IEEE 802.11b的20dBm(100mW)相差甚远, 不足以构成干扰威胁, 见图5。

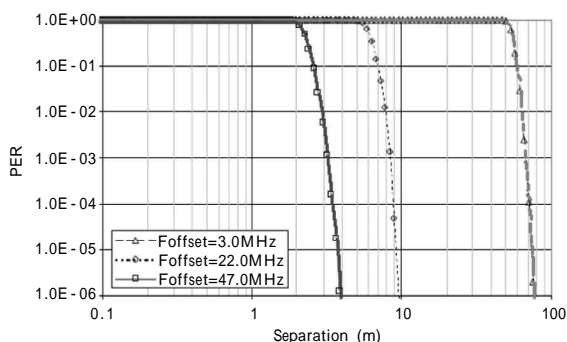


图4 IEEE 802.15.4 接收机, IEEE 802.11b为干扰源

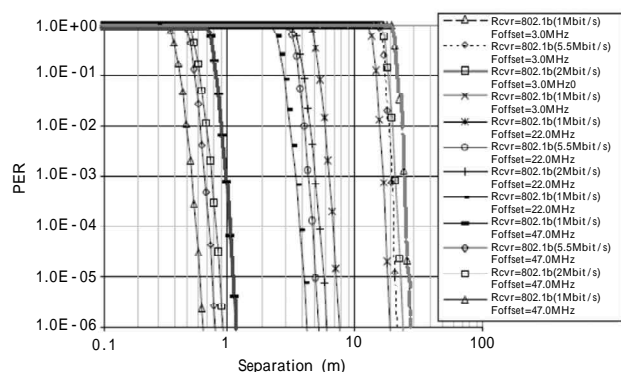


图5 IEEE 802.11b 接收机, IEEE 802.15.4为干扰源

实验证明, 正确选择信道, 增大频偏以及和干扰源保持一定距离, 可以保证ZigBee和Wi-Fi系统的共存。

4.2 ZigBee 与蓝牙共存

蓝牙采用FHSS并将2.4GHz ISM频段划分成79个1MHz的信道, 蓝牙设备以伪随机码方式在这79个信道间每秒钟跳1600次。跳频技术的理论是根据在多组使用2.4GHz频带的系统下, 这些系统仅在部分时间才会发生使用频率冲突, 其他时间则能在彼此相异无干扰的频道中运作。

ZigBee系统是非跳频系统, 所以蓝牙在79次通信中才有1次会和ZigBee的通信频率产生重叠, 且将会迅

速跳至另一个频率。在大多数情况下, 蓝牙不会对ZigBee产生严重威胁, 见图6, 而ZigBee对蓝牙系统的影响可以忽略不计。

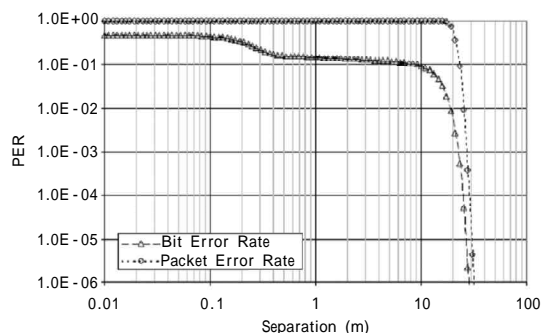


图6 IEEE 802.15.4 接收机, IEEE 802.15.1为干扰源

4.3 ZigBee 与 WirelessUSB 共存

每一个WirelessUSB信道宽1MHz, 将2.4GHz ISM频段分割成为79个1MHz信道, 这与蓝牙类似, 但是WirelessUSB采用了DSSS而不是FHSS。WirelessUSB设备具有频率捷变特性, 它们虽采用“固定”信道, 但如果最初信道的链路质量变得不理想, 则会动态地改变信道, 而ZigBee在严重干扰期间, 不改变信道, 它依靠其低占空比及免冲突算法来减小由于传输冲突所造成的数据丢失。为减少干扰, WirelessUSB至少每50ms检查一次信道的噪声水平, 如果和ZigBee信道重叠, WirelessUSB主设备可以选择一个新信道, 所以WirelessUSB完全可以和ZigBee系统和平共处。

4.4 ZigBee 与其他干扰源共存

除了上述几种无线技术标准工作在2.4GHz ISM频段外, 还有一些其他的干扰源, 比如2.4GHz无绳电话, 微波炉等。

4.4.1 无绳电话 (2.4GHz)

2.4GHz无绳电话不采用标准联网技术, 有些采用DSSS方式, 多数采用FHSS。采用DSSS及其他固定信道算法的无绳电话一般在电话上装有“信道”按键, 使用户能手动改变信道; FHSS电话则没有“信道”按键, 因为它们经常改变信道。大多数2.4GHz无绳电话均采用5~10MHz的信道宽度, 见图1, 所有无绳电话都会

