

蓝牙抗干扰技术及 2.4GHz 无线网络频率共存分析

杨光松¹, 石江宏¹, 孙建民²

(1. 厦门大学电子信息研究所, 厦门 361005; 2. 贵州省无线电监测站, 贵阳 550001)

摘 要: 介绍了工作于 2.4GHz 的几种无线网络技术的特点, 对其性能作了比较, 并从噪声系数指标及抗同频干扰等方面分析了蓝牙的抗干扰性能, 同时讨论了 2.4GHz 频段无线电设备的共存机制。

关键词: 蓝牙; 频率共存; 干扰; 无线网

中图分类号: TN973.3; TN925.93 文献标识码: A 文章编号: 1009-2552(2003)09-0008-03

Anti-jamming technology of the Bluetooth and analysis for the mechanism of coexistence in the wireless network in 2.4GHz frequency band

YANG Guang-song¹, SHI Jiang-hong¹, SUN Jian-min²

(1. Xiamen Electronic Information Institute, Xiamen University, Xiamen 361005, China;

2. Guizhou Radio Monitoring station, Guiyang 550001, China)

Abstract: The characteristics of several wireless network of 2.4GHz frequency band are introduced and the performance is compared. The anti-jamming performance of the Bluetooth is analyzed from the coefficient of the noise and the anti-jamming performance at same frequency, and the mechanism of coexistence of wireless equipments which work at 2.4GHz frequency band is discussed.

Key words: bluetooth; frequency coexistence; interference; wireless network

0 引言

2001 年 8 月 29 日, 信息产业部发布了《关于短距离微功率无线电设备使用 2400MHz 频段有关问题的通知》, 参照有关国际标准, 根据我国的实际情况, 规定 2400~2483.5MHz 频段可以供短距离微功率无线电连接设备使用。这为蓝牙、HomeRF 等无线连接技术在中国的应用提供了必要的条件。随着 2.4GHz 频段使用的无线设备的增多, 电磁环境将日趋复杂, 各种类型设备间有可能发生干扰, 因此, 为提高频率利用率, 避免发生有害干扰, 应对其相互干扰问题加以分析。

1 几种无线网络连接标准的比较

无线网络按覆盖范围的不同可分为广域网 WAN(wide area network)、无线局域网 WLAN(wireless

local area network)、个人区域网 PAN(personal area network), 无线网络连接技术有以下几种:

蓝牙技术: 工作在 2.4GHz(2.40~2.48GHz) ISM 频段的短距离无线技术, 它能组成小型无线个人区域网, 在办公室和建筑物中代替有线电缆, 低功耗、低成本及灵活组网的特点使它有着广泛的应用前景。它面向网络中各项数据和语音设备, 通过无线方式把它们连接成一个个的微微网(Piconet), 各微微网间也可以连接, 而且还可构成分布式网络, 从而快速、方便地实现各类设备之间的通信。蓝牙有 79 个频道, 频道间隔均为 1MHz。采用时分全双式方式,

收稿日期: 2003-03-03

作者简介: 杨光松(1968-), 男, 厦门大学电子信息研究所, 在读博士研究生, 研究方向为无线网络、分集技术等。

发射功率为 100mW(20dBm), 2. 5mW(4dBm), 1mW(0dBm) 三种。通信距离为 10 到 100 米。蓝牙采用 BT 值为 0. 5, 调制指数为 0. 28~ 0. 35 的 GFSK 恒包络调制方式。

HomeRF(home radio frequency) 标准: 是设计用于家庭和小型商业无线局域网的开放性工业标准, 利用它可以在个人电脑和电子设备间实现无线数字通信。它价格便宜, 不需要接入点硬件, 容易安装配置。速率快。采用跳频频率为每秒 50 次, 抗干扰能力和安全性不如蓝牙, 带宽比蓝牙宽。

IEEE 802. 11b(WLAN): 工作在用于学校、商业等办公区域的无线连接技术, 采用 DSSS(直接序列扩频) 的方式, 固定在 17MHz 的信道内, 价格贵, 性能好, 速率快, 但易受干扰。

红外(IR) 技术: 是采用 IrDA 标准, 使用 850nm 红外光进行设备间数据传输的短距离接入技术, 有距离和角度的限制, 不受其它无线电频率的干扰, 通常用于 PC 及外围设备的连接。

几种技术的比较如表 1 所示。

表 1 几种无线连接技术的比较

无线连接技术	蓝牙	HomeRF	802. 11b	IrDA
传输介质	无线	无线	无线	红外光
最大速率	1Mb/s	10Mb/s	11Mb/s	4Mb/s
范围(m)	10m	50m	100m	1m
扩频方式	FHSS	FHSS	DSSS	
抗干扰性	中	中	低	高
功耗	低	高	高	低

2 蓝牙抗干扰特性的分析

蓝牙技术成本低, 功耗小, 具有独特的抗干扰机制, 下面对其抗干扰性能加以分析:

(1) 抗噪性能分析

根据文献[1], 在高斯噪声环境下, 系统不受干扰的条件为: 在误码率(BER) 为 0. 1% 的条件下, 输入 C/I_{AWGN} 达到 21dB。

为了保证接收机不受干扰, 接收机接收的信号功率 P_{RX} 必须大于其接收灵敏度 RX_{sens} , 按以下公式计算载波干扰比为:

$$C/I_{AWGN} = RX_{sens} - (N_0 + 10 \log B) - NF$$

$$NF = 10 \log \left(\frac{P_s/P_n}{P_{so}/P_{no}} \right) = G_N - G$$

其中:

NF (dB) 为接收机中射频部分的噪声系数, 它反映了由设备自身产生的噪声所带来的噪声增量

(G_N 为总噪声增益, G 为放大器增益), 其大小与接收机中的射频部分的热噪声有关, 在工程上, 其数字近似等于射频设备的传输损耗与射频放大管的噪声系数之和。

$N_0 + 10 \log B$ (dBm) 为接收机输入加性高斯白噪声功率, 其中 N_0 (dBm/Hz) 为单位接收噪声密度; B (Hz) 为接收机接收信号带宽。

由于蓝牙跳频频道间隔 B 为 1MHz, 于是:

$$N_0 = 10 \log (n_0) = 101 \log (kT) = - 174 \text{ dBm/Hz}$$

$$10 \log (n_0 B) = N_0 + 10 \log B = - 174 + 60 = - 114 \text{ dBm}$$

K 为波尔兹曼常数 $1. 38 \times 10^{-23}$ (J/K), T 为绝对温度取 290K。按文献[1] 中规定接收机的灵敏度 - 70dBm, 接收机的噪声系数最大可以达到:

$$NF = - 70 + 114 - 21 = 23 \text{ dB}$$

这个噪声系数指标说明蓝牙在抗噪声上有优良特性。

(2) 抗同频干扰性能

根据文献[1], 蓝牙的标准为在误码率(BER) 为 0. 1% 条件下, 蓝牙同频干扰保护比 $C/I_{co-channel}$ 必须大于 11dB。邻频干扰保护比 C/I_{1MHz} 大于 0dB, C/I_{2MHz} 大于 - 30dB, $C/I_{\geq 3MHz}$ 大于 - 40dB。如果不满足上述条件, 系统的误码率就会高于 0. 1%。

PAN 的工作范围有限, 电波的传输特性相对较为简单, 不象其它无线设备那样需要考虑太多的地形和地物等因素的影响, 电波的传输衰减主要取决于传输距离, 其传输损耗计算公式如下^[2]:

$$\begin{cases} L_{path} = 20 \log \left(\frac{4\pi R}{\lambda} \right) \approx 40 + 20 \log (R) \\ R \leq 8. 5m \\ L_{path} = 36 \log \left(\frac{4\pi R}{\lambda} \right) - 46. 7 \approx 25. 3 + 36 \log (R) \\ R \leq 8. 5m \end{cases}$$

考虑到系统的发射功率 P_{TX} 、接收功率 P_{RX} 、发射天线增益 G_{TX} 、接收天线增益 G_{RX} 、接收灵敏度 RX_{sens} , 那么它们之间的关系是:

$$P_{RX} = P_{TX} - L_{path} - L_{fade} + G_{TX} + G_{RX}$$

其中 L_{path} 为传输损耗, L_{fade} 为衰落引起的传输损耗。通常在无障碍的室内电波传播环境下, 该值为 8dB。 P_{RX} 和 P_{TX} 的单位都是 dBm, 而其它参数的单位均为 dB。蓝牙设备工作在 ISM 频段, 天线增益被严格限制, 通常为 0。

现在分析单频点对设备进行的干扰,如果假设主设备 A 和从设备 C 之间的距离为 D_1 , 干扰设备 B 到 C 设备之间的距离为 D_2 , 并假设 D_1 和 D_2 都大于 8.5 米, 计算当 $D_1 = 10$ 米时, 干扰设备对从设备 C 造成干扰的距离。

干扰信号和有用信号的传播衰减值 L_1 和 L_2 分别为:

$$L_2 = 25.3 + 36 \log(D_2)$$

$$L_1 = 25.3 + 36 \log(D_1)$$

传播衰减之比为:

$$L_2 - L_1 = 36 \log\left(\frac{D_2}{D_1}\right)$$

如果假设干扰设备发射功率和接收设备的发射功率相同, 用 P_T 表示, 当 $P_T = 0\text{dBm}$ 时, 那么接收机收到的信号功率和干扰功率分别为:

$$S = P_{T1} - L_1$$

$$I = P_{T2} - L_2$$

那么信干比为:

$$S/I = 36 \log\left(\frac{D_2}{D_1}\right)$$

如果同频干扰保护比取 11dB 代入上式, 可以得到

$$D_2/D_1 = 10^{\frac{11}{36}} \approx 2$$

假设备 A 使用全向天线, 覆盖范围在一个半径为 10 米的区域内, 那么干扰设备在 10 米到 20 米范围内有可能对微网设备形成干扰。

但是, 如果 P_T 增至 20dBm (ISM 所规定的发射功率上限), 那么要对 A 设备周围 10 米范围内的微网设备形成干扰的最大干扰距离计算如下:

$$S = P_{T1} - L_1 = 0 - (25.3 + 36 \log(D_1))$$

$$I = P_{T2} - L_2 = 20 - (25.3 + 36 \log(D_2))$$

$$S/I = -20 + 36 \log\left(\frac{D_2}{D_1}\right)$$

$$D_2/D_1 = 10^{\frac{20+S/I}{36}} \approx 7$$

也就是说干扰设备只要距离微网主设备 60 米, 就可以对微网设备进行干扰。

为了减轻这种干扰, 蓝牙设备在保证系统可用性方面采取了一些措施, 如采用了跳频、纠错编码、ARQ 机制、CRC 算法、HEC 算法等。所以这种单频点干扰对通信不会产生太大影响, 只会增加不断重传的包, 网络吞吐量略有减低。要想通过单一频率干扰来实现对整个微网干扰是行不通的, 除非采用宽频带、大功率阻塞式干扰。

3 频率共存分析

由于 2.4G 开放的 ISM 频段中由于存在众多的无线设备, 这就使设备的工作环境相当复杂, 因此, 提高设备的抗干扰能力, 增强无线网络的系统抗毁性和网络的可用性, 是一个非常重要的问题。提高抗干扰能力可以通过干扰抑制和干扰躲避来实现, 干扰抑制方法通常指的是直接序列扩频 (DS-Direct Secquency), 干扰躲避方法包括跳时 (TH-Time Hoping)、跳频 (FH-Frequency Hopping)。

蓝牙、HomeRF 采用的是跳频干扰躲避策略, 跳频技术是把一个宽频带分成若干个频率间隔 (频隙), 发射机在某一特定的时间间隔中, 由一个伪随机序列控制在某个频隙发送信号。接收机的本振与输入信号的频率按照同一频率同步的跳变, 经过变频后得到解跳后的中频信号, 该中频信号经过解调后就可以恢复原始信息。采用跳频技术, 不但可以躲避部分干扰, 而且采用窄带滤波很容易做到 50dB 带外频率衰减, 从而抑制带外干扰。由于蓝牙采用每秒 1600 次的跳频, 而 HomeRF 采用每秒 50 次的跳频, 所以 HomeRF 的抗干扰能力不如蓝牙。

802.11b 采用 DSSS 扩频技术, 将信号噪声功率分摊到一个更宽的频率范围内, 引起单位带宽内信号功率的降低, 这会导致单位带宽内信噪比下降, 在有限带宽内扩频增益将受到限制, 相对较低的干扰就会对其产生破坏作用, 而且也不大容易解决远近效应问题。DSSS 选用几个固定的频点, 所以蓝牙及 HomeRF 的跳频频率很容易与之重叠, 阻止其信息包的发送, 对之构成干扰, 当三种标准共存时, 要考虑其相互干扰。

此外, 在 2.4GHz 工科医频段使用的干扰源还有家用电器、无绳电话、医疗设备等。例如, 微波炉在工作时, 发射的扫频频谱很宽 (约几十 MHz), 而且扫频频率高, 这样的宽频干扰也会对蓝牙等扩频系统造成影响, 使网络中的传输速率下降甚至阻塞, 因此这些设备的干扰也不容忽视。

蓝牙 SIG (special interesting group) 和 IEEE 802.15.2 的 Coexistence Task Group 都在关注 2.4GHz ISM 频段共存问题, 并且建立了相互干扰模型, 提出了共存机制。这些工作将有利于无线频率的有效利用和蓝牙等无线网络新技术的推广。

比如, 蓝牙还采用了一系列独特的措施, 如 AFH (adaptive frequency), LBT (listen before talk), 功率控制等技术来克服干扰, 避免冲突。自适应跳频 (AFH) 是蓝牙技术中采用的预防频率冲突 (下转第 12 页)

双谱估计方法。因为与非参数化法相比基于模型的参数化方法具有估计方差小、分辨率高的优点;且参数化方法能够产生描述目标特征的参数,可直接作为目标特征。

设观测模型序列 $x(n)$ 满足三阶平稳,则可用一个 p 阶 AR 模型来描述:

$$x(n) + \sum_{i=1}^p a_i x(n-i) = w(n) \quad (3)$$

式中, $w(n)$ 是三阶平稳的独立同分布的非高斯过程,均值为零, $E[w^2(n)] = Q$, $E[w^3(n)] = \beta \neq 0$

假定 AR 模型是稳定的,则

$$R_x(-m, -l) + \sum_{i=1}^p a_i R_x(i-m, i-l) =$$

$$\beta \delta(m) \delta(l)$$

式中: $m, l \geq 0$ (4)

上式可用矩阵表示为

$$Ra = b \quad (5)$$

$$R = \begin{bmatrix} R_x(0,0) & R_x(1,1) & \dots & R_x(p,p) \\ R_x(-1,-1) & R_x(0,0) & \dots & R_x(p-1,p-1) \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ R_x(-p,-p) & R_x(-p+1,-p+1) & \dots & R_x(0,0) \end{bmatrix}$$

$$a = [1 \ a_1 \ \dots \ a_p]^T, b = [\beta \ 0 \ \dots \ 0]^T \quad (6)$$

对应(3)式的 $x(n)$ 的双谱为

$$B_x(\omega_1, \omega_2) = \mathcal{H}(\omega_1)H(\omega_2)H^*(\omega_1 + \omega_2)$$

$$\text{其中 } H(\omega) = \left[1 + \sum_{n=1}^p a_n e^{-j\omega n} \right]^{-1}, |\omega| \leq \pi \quad (7)$$

当我们给定一组观测数据 $\{x_0, \dots, x_{N-1}\}$ 时,可以利用三阶递归法(TOR)和约束三阶均值法(CTOM)来估计出矩阵 R ,进而估计出系统 AR 参数 $(\hat{a}_1, \hat{a}_2, \dots, \hat{a}_p)$ 代入(7)式,形成双谱估计

$$B_x(\omega_1, \omega_2) = \mathcal{H}(\omega_1)H(\omega_2)H^*(\omega_1 + \omega_2)$$

$$\text{其中 } H(\omega) = \left[1 + \sum_{n=1}^p \hat{a}_n e^{-j\omega n} \right]^{-1}, |\omega| \leq \pi \quad (8)$$

3 仿真结果分析

用给定的观测数据进行仿真。利用 AR 模型估计目标信号的双谱。信号参数为 $[1, -1.5, 0.8]$, 估计结果为 $[1.0000, -1.4519, 0.7286]$, 仿真信号双谱图形如图 1。

可见参数化双谱在数据较短的情况下,提供了较高分辨率的双谱估计。

双谱还可以对噪声和杂波进行抑制,假定噪声为高斯白噪声,方差 $\delta^2 = 0.09$, 信号取正弦序列。则可以得到信号加噪声的双谱立体图如图 2。

分析结果可以看出,在双谱域信噪比较高,有利

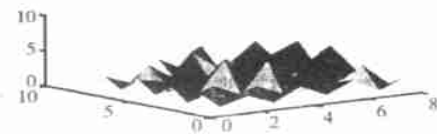


图 1 观测数据信号双谱图形



图 2 信号加噪声的双谱立体图

于信号的检测。

4 结论

综上所述,本文所提出的将双谱估计算法应用于超宽带导引头信号检测与处理系统之中,取得了一定的效果,进一步的工作是对目标雷达观测角的精度改善以及更短的采样周期以缩短调节时间达到算法快速收敛的目的。

参考文献:

- [1] 司锡才, 赵建民. 宽频带反辐射导弹导引头技术基础[M]. 哈尔滨工程大学出版社, 1996.
- [2] 刘福生, 罗鹏飞. 统计信号处理[M]. 国防科技大学出版社, 1999.
- [3] Nikias C L, Raghuvver M. Bispectrum estimation: A digital signal processing framework. Proc. IEEE, 1987, 75(7): 869- 891.

责任编辑:张荣香

(上接第 10 页)的机制,它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。它可对干扰进行检测并分类,编辑跳频算法来使跳频通信过程自动避开被干扰的跳频频点,并把分配变化告知网络中的其它成员,并周期性地维护跳频集,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,长时间保持优质的通信的目的。从而有效地防止频率碰撞,保持微微网中良好的 QOS, 保证系统正常的吞吐量。

参考文献:

- [1] Specification of the bluetooth system v1. 1: Radio Specification, 2001. 3.
- [2] Haartsen J C. Bluetooth voice and data performance in 802. 11 DS WLAN environment, 1999. 5.
- [3] Haartsen J C, Mattisson S. Bluetooth a New Low - Power Radio Interface Providing Short - Range Connectivity. Proceedings of the IEEE, 2000, 88(10): 1651- 1161.
- [4] 庄奕琪. 蓝牙- 梦想与现实[M]. 机械工业出版社, 2002.

责任编辑:张荣香