

家庭智能宽带局域网络共存性研究

徐勇 吕英华 张洪欣 阳彪

(北京邮电大学通信网络综合技术研究所 北京 100876)

摘要: 家庭宽带局域网是互联网的延伸,也是未来智能家居的信息技术基础。该文提出一种使用超宽带和高速宽带电力线技术构建家庭智能宽带局域网的新方案。然后根据宽带电力线传输特性与辐射特性,从电磁辐射与信号分析两方面研究宽带电力线通信系统与超宽带通信技术的共存性。通过对宽带电力线信号的仿真与现场测试,提出了宽带电力线的辐射计算模型,进一步研究超宽带信号在宽带电力线辐射场中的波形与误码率变化。结果表明在相应的条件下这两种宽带通信技术在室内环境中有着较好的网络共存性,为构建规范的家庭内部智能宽带局域网提供了相应的技术保障。

关键词: 宽带电力线通信; 超宽带通信; 电磁干扰; 共存性

中图分类号: TN915.5

文献标识码: A

文章编号: 1009-5896(2008)09-2233-05

Analysis of the Coexistence of Indoor Broadband Communication Network for Smart House

Xu Yong Lü Ying-hua Zhang Hong-xin Yang Biao

(School of Telecommunication & Network Technology, Beijing University of Posts and Communications, Beijing 100876, China)

Abstract: The indoor broadband LAN (Local Area Network) is the extension of the Internet and is also the technique basement of the smart house in the future. This paper introduces one novel method to make up the indoor broadband network firstly with the BPL (Broadband Power Line) communication and the UWB (Ultra Wide Band) communication techniques, which make kinds of indoor equipments connected into the LAN. Then on the base of the transmission and radiation characters of the BPL, the coexistence of the BPL and the UWB is analyzed on two sides: the electromagnetic radiation and the signal analysis. After simulating the BPL signals and testing the radiation, the calculation model for BPL system is proposed to analyze the performance of the UWB BER (Bit Error Ratio) in the BPL radiation field. The result shows that two broadband communication techniques are suitable for coexistence, which supports a relevant technique basement of the normative indoor broadband LAN for the smart house.

Key words: Broadband Power Line(BPL) communication; Ultra-Wide Band(UWB) communication; Electromagnetic interference; Coexistence

1 引言

随着宽带互联网络迅速发展及普及,一个新的趋势——家庭智能宽带局域网将呈现在人们面前。当互联网络规模化发展后,人们对高速数据通信与宽带多媒体的需求日益增长。因为在越来越多的家庭中,室内各种数码用品,智能家电以及智能控制系统都需要有一个良好的接入和互连局域网平台。该平台的特点是需要传输大量高速的各种数据,保持一定的网络稳定性能以及对家庭内部整体的网络覆盖。

目前一般局域网的构成形式主要包括无线和有선两种方式:无线方面可以采用如 WLAN, 蓝牙, 3G 等;有线方面可以采用 ADSL 和宽带网络。但是采用这些技术在现有的房屋内架设高速宽带局域网,将可能存在以下缺陷:(1)

不能满足高速宽带的数据传输需求,如 WLAN, 3G 和 ADSL 等最大数据传输速度都不超过 10Mbps; (2)虽然有有线宽带网络是理想的大规模数据的传输载体,技术也很成熟,但专用的网络接口限制使用范围以及后期的布线也会妨碍室内美观。

因此想要在宽敞空间内任意地方随时、不间断地享受网络服务,必须采用新的通信技术来构建室内高速宽带局域网。超宽带(Ultra Wide Band, UWB)通信技术与宽带电力线(Broadband Power Line Communication, BPL)通信技术以其自身的技术特性,完全适用于家庭智能宽带局域网的构建。拥有高速、宽带特性的这两项技术均是最近几年发展起来的通信技术,可以从无线与有线两个途径将家庭内部各种设备融合到一个网络中。具体的而言,家庭局域网通过 BPL 以有线方式联入 Internet 网络中,室内的任何一个插座,或者任意一个 UWB 天线都可以作为家庭局域网中的一个

接入节点。家庭内部智能家电,电话,手机以及计算机等具有网络连接功能的设备联成一体构成无缝网络,方便人们的生活。而且这两项技术的结合在小型办公或者临时室内环境下快速地组建局域网,使用户能够随时、不间断地访问本地网络和 Internet。

虽然这两项技术分别使用有线与无线两种方式传输数据,而且使用的频率差异很大(BPL 使用 1~30MHz 频段,UWB 使用 3.1~10.6GHz 频段),所以从一般情况看两者之间基本不存在相互干扰,但是由试验数据显示,在室内同时使用两种通信技术时,相互之间还是存在一定的干扰。本文首先从分析和总结 BPL 与 UWB 的技术特性入手,以天线辐射计算技术为基础,构建 BPL 辐射模型来研究 BPL 对外辐射信号对 UWB 通信系统的干扰。然后搭建室内局域网试验平台,由具体的试验数据验证其模型的适用性与准确性。最后全面评估这两种技术用于室内智能网络的共存性能。

2 超宽带信号技术

超宽带通信是指具有很高带宽比(射频带宽与其中心频率之比)的无线电技术。美国联邦通信委员会定义 UWB 的具体形式为满足式(1),或者使用总带宽为 500MHz 以上:

$$\frac{f_H - f_L}{f_c} > 20\% \quad (1)$$

其中 f_H , f_L 分别为功率较峰值下降 10dB 时所对应的高端频率和低端频率, f_c 为载波频率或中心频率^[1]。目前 UWB 使用的频段范围为 3.1~10.6GHz, 7GHz 带宽主要依靠脉冲无线电(Impulse Radio, IR)调制技术和多带正交频分复用(Multi-Band Orthogonal Frequency Division Multiple, MB-OFDM)调制技术其实现高速数据传输。本文主要讨论的是采用 MB-OFDM 调制技术的 UWB 设备构建家庭局域网,因为 MB-OFDM 可以规避与其他通信业务冲突的频段,而且 OFDM 所产生的辐射功率较小,但是 OFDM 主要的缺点是设备成本比较高。

在室内无线宽带网络的接入与通信、手持设备间的通信中,UWB 技术的应用要求不一样。主要表现为 UWB 的发射功率限制的不同。美国联邦通信委员会专门规定了室内各种 UWB 设备的等效各向同性辐射功率(Equivalent Isotropic Radiated Power, EIRP),OFDM 信号使用的频段中 EIRP 最大不超过 -41.3dBm/MHz^[2]。从整个 UWB 系统的辐射功率的量级来看,单个 UWB 系统所产生的辐射并不严重,基本上和背景噪声同样大小。但是如果室内如果存在多个 UWB 系统或者其他通信系统,叠加的信号对通信将产生一定辐射影响。

3 宽带电力线技术

高速宽带电力线通信是一项新颖的宽带通信技术。它是在原先高压电网和中、低压配电网中窄带电力线载波通信的基础上发展起来,利用室内电力线(220V)进行宽带数据通

信技术。电力线通信的发展历史最早可追溯到 20 世纪 20 年代。早期的电力线通信的广泛使用主要集中在电力线自动抄表、电网负载控制和供电管理等方面。但是由于线路与信号调制因素,窄带电力线通信产生的电磁辐射严重干扰短波频段的通信,限制了该项技术的广泛使用。不过近几年以来,随着新的数字调制解调芯片技术发展,BPL 在传输数据速度上有了飞跃,使得它向高速宽带方向发展。最新的专用 BPL 调制解调芯片已经达到 224Mbit/s。

目前欧盟将 BPL 作为实现“eEurope”(信息化欧洲)的重要技术手段。美国联邦通信委员会也鼓励启用基于现有设施的 BPL 宽带平台,促进美国宽带业务发展,把美国电力网的巨大潜力利用起来。同样我国也是世界上较早开展 BPL 技术研究和宽带接入应用的国家,拥有世界上最大的实用网络,规模达 8 万多用户^[3]。

虽然 BPL 技术发展很快,但是它所带来的电磁辐射安全问题也是家庭智能局域网中不可忽视的方面。室内电力线是非屏蔽线。它不是专门为传输高速数据设计的,主要是为输送电能达到损失最小并保证安全可靠的低频(50Hz)电流网络。因此网络本身不具备电信网络的对称性、均匀性和其他的电气特性^[4]。因此室内宽带电力线网络通信对周围空间环境产生一定的电磁辐射。关于 BPL 系统的电磁辐射在欧美地区都有相应的规范^[5]。为了尽量减少影响 1~30MHz 以内的其他无线电业务,在特定的频段采用了功率陷波要求。可利用频段的不连续性决定了 OFDM 调制技术适用于 BPL 系统。从整个频率范围观察,BPL 的对外辐射功率在一定范围内控制在一个非常低的范围,最大不超过 -50dBm。

4 BPL 的辐射场对 UWB 系统干扰

家庭局域网可以通过 UWB 和 BPL 联合组建,实现其高速宽带有线无线一体化的无缝连接。虽然两种传输数据的方式采用两个不同频段的技术,但是在室内空间中还是存在相互干扰的问题。这种干扰主要集中在电力线对外辐射,影响室内空间电磁场分布,从而对 UWB 通信产生一定的干扰。因为在室内环境中,电力线通信信道是没有相应的屏蔽,高频信号通过电感被耦合到电力线上传输。期间高频信号不能避免的在传输过程中损耗,除了热损耗以外,大部分损耗以电磁波形式辐射到室内空间。因此在一定范围内空间电磁场的改变影响了两种通信的共存性,如何评估这种影响以及如何减小这种影响都是家庭智能网络构建过程中需要关注的问题。

4.1 BPL 系统的空间辐射场特性

为了研究宽带电力线通信系统对超宽带系统的干扰,首先需要得到 BPL 对外所产生的空间电磁场。由于电力布线结果复杂,没有一定的规则,所以不能将整个电力线作为一个整体来计算其产生的电磁场。不过可以从分散天线的角度来计算电力线所产生的电磁辐射场:先将整个电力线看成一

个大的无规则的直线天线阵，再将整个电力线分割成 N 个等长的元天线，每个元天线满足一定的辐射条件，在通信时上面分布着不同强度的信号，由此整个电力线被重新构建成为多元天线阵，空间的中的任意一点的电磁场强度是由这 N 个元天线共同作用的结果。因此需要分析在电力线上通信传输的高频信号形式。

4.1.1 BPL 信号传输特性 电力线通信中高频信号衰减比较严重，主要受电缆长度以及信号频率的影响。这种传导性衰减经过特性分析主要是传输线模衰减，因而整个电力线上的衰减可以用传输线模近似表示。由传输线理论，电力线的传输系数 r ：

$$r = \frac{1}{2} \frac{R}{Z_L} + \frac{1}{2} GZ_L + j\omega\sqrt{LC} \quad (2)$$

其中 R, L, G, Z_L 和 C 是电力线的基本电参数。 $\frac{1}{2} \frac{R}{Z_L}$ 是电流趋肤效应的影响， $(1/2)GZ_L$ 是电力线绝缘材料的绝缘损耗。电线的电阻抗主要由趋肤效应所决定，并且与 \sqrt{f} 成正比。电线的电导率 G 主要受介电材料的耗散系数影响，也和频率 f 成比例。传输系数中的实数部分为信号的衰减部分，经过分析可知和频率 f 成一定比例。因此传输系数 r 中衰减系数 α 可以写成：

$$\alpha(f) \approx b_0 + b_1 f^k \quad (3)$$

电力线网内的构成材料都是一种类型， k 可以由试验测得，取值范围比较小在 0.5~0.7 之间。室内电力线局域网主干线上有十几个接入点，将产生的反射信号，但是试验数据显示，接收机附近节点的反射信号对接收端有较大影响，其余节点的反射波在线路中衰减近似为零，各条反射线路上的相位 $e^{j\varphi_{\alpha_i}(f)}$ 保持不变。因此电力线中的传输信号为

$$H(f) = \sum_{i=1}^N a_i e^{-(b_0 + b_1 f^k)l_i - j2\pi f(l_i / v_p)} \quad (4)$$

其中 a_i 为信号的强度， N 表示线路中的信号数目， l_i 为线路的长度， v_p 为信号传播的群速度。此信号传输模型计算得到各种特性与试验测量结果之间的对比，两者基本一致^[6]，因此在 BPL 的线路上传输的信号可以用式(4)表示。这个信号传输形式描述了典型的电力线信道频率响应曲线。其精确性取决于反射路径的数目 N ， N 被考虑的越多，模型的精确性都会得到提高。

4.1.2 电力线网络结构 在电力线上的信号衰减模型的基础上可以得到整个电力线网络的数据信号分布。图 1 是一个典型的室内电力线传输结构：

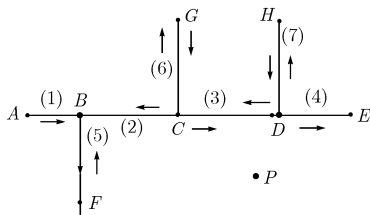


图 1 多节点电力线的多径信号传输模型

整个网络包括了 1 条主干线路和 3 条支路，它们的长度 L_1, L_2, L_3, L_4 分别为 12m, 4m, 3m 和 3m。设定 A 和 E 的接入阻抗是匹配的，中间节点 B, C, D ，接入点 F, G, H 都是对信号产生反射的节点，其反射系数为 r_{ij} ，传输系数为 t_{ij} 其中 $i=1,2,\dots,7$ 。

4.1.3 BPL 电磁辐射的计算 空间中任意一点的辐射均可认为是这 N 个元天线共同作用的结果。每段天线基本性能一致，但是激发电流是随延伸距离增加而衰减。各个元天线的辐射场迭加即可求和得到整段电力线对外辐射强度。在迭加的时候，一般需要考虑各个小天线辐射的空间方位和时间相位上的关系^[7]。

设 I_0 为输入信号的强度，由式(4)可知，电力线上任意点的信号强度衰减系数为 $e^{-(b_0 + b_1 f^k)l_i - j2\pi f(l_i / v_p)}$ 。待测点 P 距离电力线主支路最近距离为 1m。电力线被分割后，其中任意一个元天线的中心位置距离 P 点为 rm ，产生的电磁场为^[8]

$$\left. \begin{aligned} E_r &= j\eta \frac{I\Delta l}{2\pi r} \left[\frac{1}{jkr} + \frac{1}{(jkr)^2} \right] e^{-jkr} \cos\theta \\ E_\theta &= j\eta \frac{kI\Delta l}{4\pi r} \left[1 + \frac{1}{jkr} + \frac{1}{(jkr)^2} \right] e^{-jkr} \sin\theta \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

其中 $\eta = \eta_0 = 120\pi$ ， Δl 为元天线的长度， λ 为信号的工作波长， k 是高频信号产生的电磁波在空间媒质中传播的相位常数， θ 为元天线轴与待测点径向之间的夹角。因此电力线在空间待测点处产生的总的辐射场为

$$E_0 = \sum_i^N \sqrt{E_{r_i}^2 + E_{\theta_i}^2} \quad (6)$$

在得到待测点的电场分布后，可以进一步得到该点的辐射功率。利用 MATALAB 对电力线辐射场强度进行计算，计算结果如图 2 所示。在计算中，在电力线上注入两个不同功率的 OFDM 信号 1w 和 10mw。由计算结果可以看到，当注入功率为 10mw 的时候，在 1m 处的辐射强度正好达到 50dB μ v，而注入功率增大到 1W 时，对外辐射功率已经超过了 FCC 的辐射强度的限定。

4.2 BPL 对外电磁辐射的测量

在室内环境下对 BPL 系统对外的辐射进行现场测试，采用由多天线阵列，频谱分析仪和计算机组成的测试系统。所得到的结果为 BPL 系统 1m 处通信时的辐射场功率分布，如图 3 所示。在电力线上注入的 OFDM 信号功率为 10mw，与仿真计算的值保持一致。比较图 2 和图 3，信号辐射场主要集中在 11~22MHz 范围内，仿真计算的结果和测试结果基本符合，无论是从峰值还是频率范围。因此应用天线模型计算 BPL 系统的空间辐射场是可行和适用的。

因此从辐射功率方面看，BPL 对外的辐射功率应小于一定限值。美国 FCC 规定的 BPL 和 UWB 虽然在不同频段，但是限制的辐射功率都设置在 -43~-50dBm(即 65~58 dB μ v)。再分析图 2 和图 3 的辐射强度，10mw 的注入功率可以保证 BPL 在 1m 范围外的辐射强度低于 FCC 标准，同

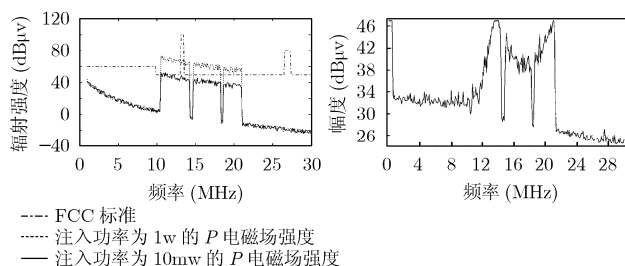


图2 不同的注入功率下(1w/10mw) P点电磁场强度与 FCC 标准的比较

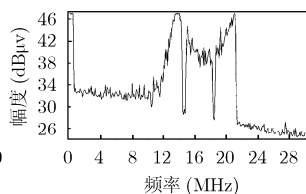


图3 通信时距离线路1m处 P点的辐射场强,范围1~30MHz

时对 UWB 也不会产生相应的频带外干扰。

5 BPL 对 UWB 信号的影响

虽然 BPL 系统产生的辐射场在一定的功率和范围以外不对 UWB 系统产生影响。但是两个系统之间的距离小于限定的保护范围,或者 BPL 的发射功率过大,这时电力线上的高频信号,经过电力线辐射后将 UWB 通信产生一定的影响,最主要的影响就是 UWB 的误码率增加,因此需要从信号干扰方面进行研究^[9]。

5.1 UWB 信号受影响的计算

假设在限定范围内,BPL 辐射出来的信号经过重复多次采样后,将频率落在高频段的信号提取出来,作为 UWB 系统的干扰信号。此干扰信号是作为 UWB 系统中的信道噪声,即 BPL 的辐射降低了 UWB 通信系统传输过程中的信噪比。结合 UWB 的通信仿真平台^[2],可以得到 UWB 信号在 BPL 通信的影响的变化。

图 4 和图 5 显示的是 UWB 信号在被 BPL 干扰前后后的两种情况。图 4 中,UWB 信号在长时间范围内显示出与噪声类似的特性,这正是 UWB 通信中低功率高密度的随机特性。在图 5 中,UWB 信号失去了原先的随机特性,在不同的时间点上信号的功率出现了明显的衰减和增加,这点的变化正是由于 BPL 在近距离情况下干扰所产生的结果。

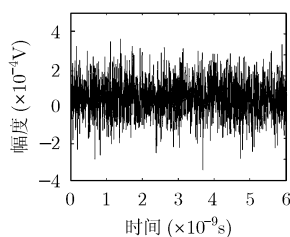


图4 未被干扰的 UWB 接收端信号

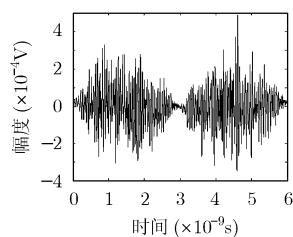


图5 被 BPL 干扰后的 UWB 信号

5.2 UWB 信号受影响的测试

为了验证以上仿真计算的结果,以图 1 所示的电力线网络中测试 UWB 发射与接受系统所受到的影响。在距离电力线网络小于 1m 的位置放置 UWB 接收机,发射机放置在距离接收机 5m 处。在接收机上连上数字示波器用来反馈 UWB

信号受到宽带电力线通信的影响。针对 BPL 通信和断开两种状态,在相同的信噪比条件下,测试 UWB 系统的通信状况。最后通过计算得出 UWB 信号的误码率的改变,结果如图 6 所示。

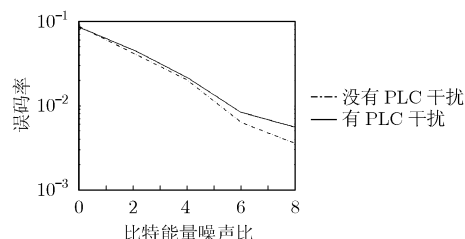


图6 被电力线干扰后的 UWB 信号误码率

从图6中可以看出在相同的信噪比时,BPL 的干扰导致误码率增高。在信噪比较低时,误码率增加不明显,但在信噪比较高时,误码率能增加达50%以上。即随电力线上通信信号的功率增大,电力线辐射场也随着增大,但是在信噪比相同的两种条件下,误码率的明显提高表示出所受到的影响增大。因此在限定范围内,UWB 系统与 BPL 系统之间存在干扰,这项干扰主要集中在 BPL 系统影响 UWB 通信系统上。

6 结束语

本文提出了一种使用超宽带和高速宽带电力线技术构建家庭智能宽带局域网的新方案。在分析这种组网方式的可行性和适用性的基础上,从电磁辐射和信号分析两方面来研究这两种宽带通信技术在家庭内部存在的干扰问题。通过数值仿真计算和现场测试,得到了这两种宽带通信技术在室内条件下相互共存的条件以及规范措施,即控制 BPL 的信号功率,为 BPL 设置相应的隔离范围等。总之这两项宽带通信技术共存性的研究为家庭内部智能宽带局域网的构建奠定了坚实的技术基础。

参考文献

- [1] 王金龙,王呈贵,阚春荣等.无线超宽带(UWB)通信原理与应用.北京:人民邮电出版社,2006:3-4.
Wang J L, Wang C G, and Kan R C. The Principle and Application of UWB Communication, Beijing: Posts and Telecommunications Press, 2006: 3-4.
- [2] Maria-Gabriella and Di Benedetto. Understanding Ultra Wide Band Radio Fundamentals. New Jersey: Prentice Hall Professional Technical Reference, 2004: 158-159.
- [3] 齐淑清.电力线通信(PLC)技术与应用.北京:中国电力出版社,2005:3-7.
Qi S Q. The Power Line Communication and Application. Beijing: China Electric Press, 2005: 3-7.
- [4] 丁道齐.要正视和研究电力线通信技术发展中的关键问题。

- 电力系统通信, 2003, 4: 1-12.
- Ding Dao-qi. Feasibility and commerce foreground of China power line communication technology. *Telecommunications For Electric Power System*, 2003, 4: 1-12.
- [5] Federal Communications Commission (FCC) Home Page. HomePlug AV Specification, version 1.0, 2005,12.
- [6] Manfred Zimmermann and Klaus Dostert. A multipath model for the power line channel. *IEEE Trans. on Communication*. 2002, 50(4): 553-559.
- [7] Kingo Miyoshi and Nobuo Kuwabara. Calculation of radiating magnetic field from indoor AC mains cable using four-port network. Proc. IEEE Inte. Conf., Signal Processing Advances in Wireless Communications (SEMC05), Fukuoka, Japan, Aug. 2005, 3: 1002-1007.
- [8] 康行健. 天线原理与设计. 北京: 国防工业出版社, 1995: 12-15.
- Kang X J. The Principle and Application of Antenna. Beijing: National Defence Industry Press. 1995: 12-15.
- [9] 岳光荣, 葛利嘉. 超宽带无线电抗干扰性能研究. 电子与信息学报, 2002, 24(11): 1544-1550.
- Yue Guang-rong and Ge Li-jia. System Performance Research of Ultra-Wide Bandwidth Radio in Jamming Environment. *Journal of Electronics & Information Technology*, 2002, 24(11): 1544-1550.
- 徐 勇: 男, 1976 年生, 博士生, 研究方向为超宽带通信与干扰、电磁兼容.
- 吕英华: 男, 1944 年生, 教授, 博士生导师, 研究方向为电磁兼容.
- 张洪欣: 男, 1969 年生, 副教授, 博士, 研究方向为无线通信与环境电磁学研究.
- 阳 彪: 男, 1982 年生, 博士生, 研究方向为电磁兼容.