

Study on Channel Models of the Ultra-wideband
Wireless Communication under the Special Environment of Mines

矿井特殊环境下的 超宽带无线通信信道模型研究

王艳芬 著

中国矿业大学出版社

China University of Mining and Technology Press

矿井特殊环境下的超宽带无线通信 信道模型研究

王艳芬 著

中国矿业大学出版社

内 容 提 要

本书以矿井巷道特殊环境为背景,探讨了超宽带(UWB)无线技术用于煤矿井下通信的可行性,仿真和分析了矿井巷道 UWB 信号的传播特性,并重点研究了矿井环境下的 UWB 路径损耗模型和多径衰落模型。这对于设计出与信道匹配的矿井超宽带无线通信收发信机系统,具有非常重要的意义。

本书研究的主要内容包括:矿井超宽带无线通信脉冲波形,无线信道特性及测量,矿井环境下的 UWB 信号传播特性,矿井超宽带无线信道的路径损耗模型以及多径衰落模型等。

本书自成体系,内容完整,可供高等学校通信与信息系统、信息与信息处理等学科专业的本科高年级学生和研究生以及相关领域的科研人员、工程技术人员参考使用。

图书在版编目(CIP)数据

矿井特殊环境下的超宽带无线通信信道模型研究/

王艳芬著. —徐州:中国矿业大学出版社,2012.2

ISBN 978 - 7 - 5646- 1354 -9

I. ①矿… II. ①王… III. ①矿山通信;无线电通信
—信道模型—研究 IV. ①TD65

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 268820 号

书 名 矿井特殊环境下的超宽带无线通信信道模型研究

著 者 王艳芬

责任编辑 仓小金

出版发行 中国矿业大学出版社有限责任公司

(江苏省徐州市解放南路 邮编 221008)

营销热线 (0516)83885307 83884995

出版服务 (0516)83885767 83884920

网 址 <http://www.cumtp.com> E-mail: cumtpvip@cumtp.com

印 刷 徐州中矿大印发科技有限公司

开 本 787×960 1/16 印张 10.5 字数 200 千字

版次印次 2012 年 2 月第 1 版 2012 年 2 月第 1 次印刷

定 价 28.00 元

(图书出现印装质量问题,本社负责调换)

前 言

煤矿井下特殊环境下的移动通信由于其特殊的电波传播方式和煤矿生产的特殊安全要求,一直以来都是人们关注的热点问题。超宽带(ultra wide band,UWB)是一种利用纳秒级极窄脉冲发送信息的技术。超宽带技术所具有的低功耗、高数据率、抗多径能力强、系统复杂性低等特点,对用于矿井特殊环境下的无线通信有着很大的吸引力。而要进行矿井巷道的超宽带无线通信系统的设计,研究超宽带信号在矿井巷道中的传播特性、建立矿井超宽带无线通信的信道模型,则是非常关键的一步。本书以矿井巷道特殊环境为背景,探讨了超宽带无线技术用于煤矿井下通信的可行性,仿真和分析了矿井巷道 UWB 信号的传播特性,并重点研究了矿井环境下的 UWB 路径损耗模型和多径衰落模型。

本书共包括 6 章。第一章首先论述了本书的写作背景,从煤矿井下移动通信和井下电波传播及信道模型几个方面对相关文献进行了较为全面的综述,介绍了超宽带通信技术的概念、特点及发展,阐述了超宽带技术用于煤矿井下的可行性,从而引出课题的研究意义,指出了要解决的问题及研究方法,最后给出了本书的主要研究内容。

第二章探讨了超宽带无线技术用于煤矿井下通信时,窄脉冲波形的确定、系统方案的选择及其应用的场合等问题。针对典型的无载波 2PAM UWB 系统,仿真分析了不同条件下数据速率与传输距离的关系,以此对一阶和五阶高斯脉冲波形进行了特性分析,研究给出了适合矿井环境下的超宽带无线通信的脉冲波形。

第三章主要介绍了无线信道的传播机制基本概念以及井下巷道中无线电波传播的特性;分析了移动无线电波环境中的多径传播以及

多径引起的衰落和时延特性,给出了井下多径传播的特点。介绍了常用的几种对建立矿井 UWB 信道模型有借鉴作用的超宽带室内信道模型,分析了模型的特点。

通常无线通信信号的传播模型分为大尺度传播模型和小尺度传播模型。大尺度传播模型常简称路径损耗模型,而小尺度传播模型简称衰落模型或多径模型。路径损耗模型描述的是大的发射—接收距离的信号强度变化,常用来估计发射机的无线覆盖范围。多径模型用于描述短距离或短时间内接收信号强度的快速变化。

本书分别在第四章和第六章重点研究了矿井特殊环境下的 UWB 路径损耗模型和多径衰落模型。

第四章首先根据巷道波导的模式理论研究和分析了矿井巷道电波传播衰减特性,包括模式传播损耗、矿井粗糙壁引入的散射损耗、倾斜损耗以及天线的耦合损耗等。分析了矿井巷道路径损耗预测的混合模型特点,将它应用在矿井超宽带信道路径损耗预测的建模中,并结合 UWB 矿井实测环境进行了仿真,指出了混合模型存在的问题。进一步研究了波导传输的多模式理论,确定了波模次数选取的原则,对实际矿井巷道进行了场强预测,仿真和分析了矩形巷道的多波模传输衰减现象和特点。此外,不同于上面的波模理论方法,还着重研究了基于镜像理论的射线反射模型。结合超宽带信道的频率依赖特点,对适用窄带信道的射线反射模型进行了修正,建立了矿井 UWB 路径损耗预测的镜像法反射模型,并对实际 UWB 测量矿井环境进行了传播损耗预测。

在研究多径衰落模型之前,第五章首先建立了矿井反射预测模型,仿真和分析了矿井巷道 UWB 信号的传播特性,观察了 UWB 脉冲波形宽度变化对系统的时间分辨率的影响以及多径信号包络的叠加情况。随后研究了 UWB 信道的频率色散特性,从脉冲信号的幅度谱和相位谱两个方面研究了脉冲波形失真情况。此外,比较细致地研究了矿井粗糙度对传播特性的影响。采用生成的随机粗糙面函数模仿矿井的粗糙壁,将井下巷道看做具有频

率色散的有耗传输线,采用阻抗级联法进行,即将巷道壁粗糙的影响模拟为具有损耗的阻抗的级联,从多个角度研究了粗糙度对传播特性的影响。

第六章较为详尽地研究了矿井超宽带无线信道的多径衰落模型。分别研究了确定性反射模型、半确定统计模型、频域 AR 模型和频率依赖性信道模型。第一,在建立井下 UWB 信道镜像法反射模型的基础上,结合实际的 UWB 井下测试环境利用 Matlab/Simulink 工具进行了可视化仿真,并进行了模型的修正,综合考虑了阴影衰落、粗糙损耗等因素对模型的影响,建立了井下 UWB 复合衰落信道。第二,根据实际测试环境并结合 IEEE 802.15.3a 室内模型,构建了一种视距(LOS)双簇半确定统计模型,研究了 UWB 信道的统计特性以及频带宽窄(频率高低)对 RMS 时延扩展的影响以及系统分辨率对路径强度分布的影响。第三,从频域角度研究了更为简单实用的信道建模方法即频域自回归 AR 建模方法,分别对超宽带室内和矿井环境进行了建模和仿真。特别是在没有信道任何信息的情况下,将射线反射模型与 AR 方法相结合,提出并构建了 UWB 矿井多径信道的预测型 AR 模型。第四,研究了频率依赖性矿井 UWB 信道模型。分析了频率依赖性 UWB 信道模型的建立过程,提出并采用矩阵束方法提取信道参数进行信道重现。结合实际的井下频率依赖性 UWB 信道,利用矩阵束算法进行了信道重现。在此基础上,建立了考虑频率依赖性(主要考虑的是绕射)的矿井 UWB 信道模型并进行了仿真分析。

实际上,煤矿井下这种特殊环境下的无线通信信道建模问题是一个比较复杂的课题,一般来说需要大量的测试数据,但由于 UWB 信道测试仪器非常昂贵,而且煤矿井下测试环境非常复杂,测试条件要求很高,所以目前还没有看到国内井下特殊环境下 UWB 信道的测试报导,国外也只有几篇文献报导。因此本书是采用理论分析和仿真实验相结合的方法进行的研究,意在拓宽在没有信道测试数据的情况下进行信道建模的思路和方法。

本书在写作时参考和引用了国内外大量文献资料,作者已尽可能在参考文献中列出,在此谨向这些专家学者表示诚挚的感谢。若有引用的资料由于作者疏忽没有标注其出处,在此深表歉意。

限于作者的能力和水平,书中一定存在不妥之处,恳请读者多多批评指正。

著 者

2011年9月

目 录

1 绪论	1
1.1 研究背景	1
1.2 超宽带通信技术概述	2
1.3 煤矿井下移动通信现状	8
1.4 井下电波传播及信道模型研究现状	10
1.5 研究意义	13
1.6 本书要解决的问题及研究方法	14
1.7 本书的主要内容	16
2 矿井超宽带无线通信脉冲波形研究	18
2.1 超宽带通信中的单脉冲波形及频谱	18
2.2 超宽带系统单脉冲波形特性分析	21
2.3 适合矿井通信的超宽带单脉冲波形	26
2.4 本章小结	27
3 无线信道传播特性及信道模型	29
3.1 无线信道的基本概念	29
3.2 井下巷道电波传播特性	32
3.3 超宽带室内信道模型及信道测量	38
3.4 本章小结	44
4 矿井超宽带无线信道的路径损耗模型	45
4.1 矿井巷道电波传播衰减特性	45
4.2 矿井巷道路径损耗混合模型	52
4.3 矿井巷道路径损耗的模式理论模型	57
4.4 矿井巷道路径损耗镜像法反射模型	62

4.5	本章小结·····	71
5	矿井环境下的超宽带信号传播特性·····	73
5.1	矿井巷道 UWB 信号的反射传播特性·····	73
5.2	UWB 信道的频率色散特性·····	77
5.3	矿井巷道粗糙表面对传播特性的影响·····	84
5.4	本章小结·····	95
6	矿井超宽带无线信道的多径衰落模型·····	97
6.1	矿井 UWB 信道复合衰落模型·····	97
6.2	超宽带矿井 LOS 环境半确定统计模型·····	114
6.3	超宽带多径信道的频域 AR 模型·····	121
6.4	频率依赖性 UWB 信道模型·····	131
6.5	本章小结·····	145
	参考文献·····	147

1 绪 论

1.1 研究背景

井下煤炭生产的工作环境非常恶劣,若要建设安全高效矿井,在煤矿这种特殊的工作环境,更需要先进的科学技术。而信息的传输即通信在其中起着至关重要的作用,因为在采矿作业的每一个阶段都离不开通信。每天的日常运作、产品的提取和移动都需要借助通信,从而提高生产力;远程监测和控制操作则是完全依赖通信;在井下发生突发事件时,更是迫切需要通信的帮助^[1]。

目前,井下的有线通信远远不能适应井下大量流动作业人员及其管理上的需要。井筒通信、人车通信、机车通信、工作面通信、运输通信、救灾通信等也只有移动通信才能覆盖这些工作区域。因此,建立矿井移动通信系统更具有重要的作用,它可以让各种井下流动作业人员得到有效的组织、有力增强他们的心理安全因素,提高采掘作业效率、加快运输作业周转、减少生产班组贻误、迅速排除机电故障,对事故可及时预报、报警、避险和组织抢救。所以矿井移动通信系统是矿井生产调度和抢险救灾的重要工具。但在煤矿井下这样一个特殊环境,矿井移动通信系统不同于地面移动通信系统,对它有如下特殊要求^[2]:① 煤矿井下具有甲烷等可燃性气体和煤尘,要求移动通信设备必须是防爆型电气设备;② 煤矿井下空间狭小,且有风门、机车等阻挡体、巷道倾斜、有拐弯和分支、巷道表面粗糙等,传输衰耗大,因此,需要移动通信设备抗衰落能力要强;③ 煤矿井下空间较小,因此,要求移动通信设备的体积不能很大;④ 本质安全型防爆电气设备的最大输出功率为 25 W 左右,因此为将矿井移动通信设备制成本质安全型防爆电气设备,设备的发射功率一般较小;⑤ 煤矿井下空间窄小,机电设备相对集中且功率大,因此,电磁干扰严重,特别是大型机电设备启停、架线电机车电火花等对通信设备干扰大,故应具有较强的抗干扰能力;⑥ 煤矿井下是一个移动的工作环境,随着煤炭的开采、巷道的开拓与掘进,工作场所一直在移动,现有有线调度电话均受到局限,且随着移动通信系统可靠性与通信质量的提高、功能的完善、成本的降低,它将承担着大量的生产调度与救灾通信的任务,需要系统具有较大的信道容量,另外,井下电机车等移动设备的监控和便携式仪器入网也需要信道容量较大的移动通信网。

上述的煤矿井下移动设备的特殊性对矿井移动通信技术提出了很高要求。超宽带通信是一门新兴无线通信技术,它所具有的低功耗、高数据率、抗多径能力强、系统复杂性低等特点,对进行矿井巷道这种特殊环境下的无线通信有着很

大的吸引力。研究超宽带信号在矿井巷道中的传播特性,建立矿井超宽带信道模型,这对于进行超宽带矿井巷道的无线通信系统设计是非常关键的一步。为此,我们展开了本课题的研究。

1.2 超宽带通信技术概述

1.2.1 超宽带的基本概念

超宽带(ultra wide band, UWB)是一种利用纳秒级极窄脉冲发送信息的技术,其信号相对带宽即信号带宽与中心频率之比大于 20%或绝对带宽超过 500 MHz,从而可能提供很高的数据速率。这种宽频带窄脉冲系统有很强的固有抗多径衰落能力,且由于发射脉冲持续时间远小于脉冲重复周期,使得 UWB 技术在实现高达几十兆比特每秒甚至 1 Gb/s 数据传输的同时有着低功耗的显著优点。

众所周知,一般通信技术是把信号从基带调制到载波上,所谓宽带通信是指具有大的调制带宽或高的数据传输速率。而 UWB 是通过对具有很陡上升和下降时间的时域短脉冲进行直接调制,从而具有 GHz 量级的带宽。根据仙农(Shannon)信道容限公式,要增加信道容量,一是通过增加信号功率的方式,二是通过增大传输带宽来实现,UWB 技术就是通过后者来获得非常高的传输速率。

目前美国联邦通信委员会(FCC)关于超宽带的定义为^[3-4]:

$$\text{相对带宽}(B_r) = \frac{f_H - f_L}{(f_H + f_L)/2} = \frac{f_H - f_L}{f_0} > 20\% \quad (1-1)$$

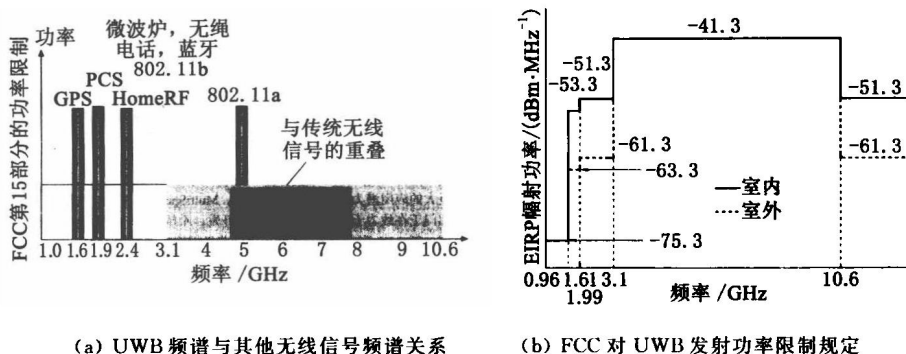
或

$$\text{绝对带宽} > 500 \text{ MHz}$$

式中, f_H 和 f_L 分别为功率较峰值功率下降 10 dB 时对应的高端频率和低端频率。由于超宽带系统经常采用无正弦载波调制的窄脉冲信号承载信息,中心频率 f_0 并非通常意义上的载波频率,而是上、下限频率的均值 $(f_H + f_L)/2$ 。FCC 规定室内 UWB 所使用的频率范围为 3.1~10.6 GHz,如图 1-1(a)所示,与其他无线信号存在同频或邻频干扰问题。为避免这种干扰,发射功率要受到严格的限制,图 1-1(b)为 FCC 公布的超宽带使用频谱和功率限制,发射的功率谱密度低于 -41.3 dBm/MHz。

1.2.2 超宽带无线传输系统

超宽带无线传输技术有两种基本的系统方案:无载波超宽带和载波调制超宽带。无载波超宽带将信息通过脉冲位置调制(PPM)、脉冲幅度调制(PAM)等方式调制到基带窄脉冲序列上,并将此序列直接发送到空中,而无需对载波进行

图 1-1 UWB 使用频谱及 FCC 规定的 UWB 发射功率限制^[5]

调制。载波调制超宽带将基带 UWB 信号调制在正弦载波上进行传输,此时的基带 UWB 信号可以采用正交频分复用 (OFDM) 和直扩一码分多址 (DS-CDMA) 等多种技术。早期的 UWB 系统都采用窄脉冲超宽带的信号形式。这一形式具有系统简单、成本低、功耗低、定位精度高等特点,主要应用在雷达领域,即雷达测距、导航、定位等。典型的无载波脉冲方案 UWB 系统如图 1-2 所示。这种方案中,首先由脉冲重复频率发生器控制脉冲发生器,产生一系列的冲激脉冲,然后在调制器中,用待发送的数据对这一系列的脉冲进行脉冲位置调制 (PPM) 或脉冲振幅调制 (PAM) 并经由射频滤波器将这一系列载有发送信息的脉冲发送出去,无需对载波进行调制。无载波 UWB 通信中,常采用跳时 (TH) 或直接序列扩频的多址方案。如典型的 TH-PPM 信号,可表示为^[6-7]:

$$s^{(k)}(t) = \sum_j w(t - jT_f - c_j^{(k)}T_c - \delta d_{[j/N_s]}^{(k)}) \quad (1-2)$$

其中, $s^{(k)}(t)$ 为第 k 个用户的信号,它是由单周期脉冲 $w(t)$ 组成的脉冲序列; j 是发射脉冲个数, T_f 为脉冲重复时间; $\{c_j^{(k)}\}$ 为第 k 个用户的跳时序列; T_c 为码片时间; $\{d_j^{(k)}\}$ 为第 k 个用户的要发送的数据序列; $[j/N_s]$ 是调制脉冲 j 的系数, $[\cdot]$ 表示取整; N_s 为每个符号包括的脉冲数; δ 为数据符号为 1 时的时间偏移量。

即无载波 UWB 通信是通过跳时 (TH) 扩频实现多址、采用 PPM 或 PAM 方式实现传输信息的。在接收端,天线收集到由多径衰落信道传来的 UWB 信号,经低噪声放大器将信号能量放大后通过匹配滤波或相关接收机处理,再经高增益门限电路恢复原来的信息。相对于超外差接收机而言, UWB 接收机实现相对简单,没有本振、功放、PLL (锁相环)、VCO (压控振荡器)、混频器等,制造成本低。还可以全数字化实现,采用软件无线电技术,可动态调整数据率、功耗等。它只需要一种数字方式产生脉冲,并对脉冲进行调制,而这些电路都可以被

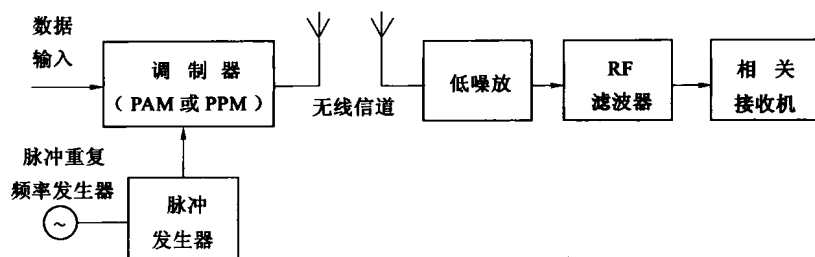


图 1-2 UWB 无线传输系统的基本模型

集成到一个芯片上,大大降低了系统的复杂性。

无线信道是 UWB 无线传输系统的重要组成部分。由于 UWB 系统的频段很宽,其信道特性与窄带系统相比有其特殊之处,不同于一般的无线衰落信道。这也是本书重点要研究的内容。

1.2.3 超宽带通信特点

由于 UWB 信号频带比传统的信号频带宽得多,导致了 UWB 与现有的其他无线通信技术相比,具有很多不同的特点^[8-9]:

① 传输速率高。由于传输带宽达上千兆赫兹,所以即使发射功率很低,也能够达到 100 ~ 500 Mb/s 的信息速率。由仙农信道容量公式 $C = B \log_2 (1 + S/N)$,若 $B = 7.5 \text{ GHz}$,即使信噪比 $S/N(\text{dB}) \leq -10 \text{ dB}$,理论上信道容量 C 可达到 1 Gb/s,所以实际上实现 100 ~ 500 Mb/s 的速率是完全可能的。

② 功耗低。因为 UWB 通信采用了非常简单的传输方式,即使用间歇的窄脉冲来收发数据,脉冲的时间宽度仅为 1 纳秒至几百分之一秒,可把电路的功耗降低到几十毫瓦以下,这相当于手机与无线局域网的 1/10~1/100。

③ 抗多径衰落能力强。由于 UWB 通信采用持续时间极短且占空比极低的窄脉冲信号,则直达波和多径反射或折射波时间上不易重叠,即多径信号在接收时易于分辨,故抗多径干扰能力很强。另外还可以采用 Rake 接收等方式合并多个路径信号来提高信号输出质量。实验表明,对常规无线电信号多径衰落深达 10~30 dB 的多径环境,对超宽带无线电信号的衰落最多不到 5 dB。

④ 系统结构简单、体积小、成本低、灵活性强。传统的 UWB 技术通常采用无载波传输,无需进行射频调制和解调,不需要上、下变频等,大大降低了系统的复杂性,且 UWB 系统几乎可以做成全数字化,增加了设备的灵活性。

⑤ 对现有窄带通信系统的干扰低。UWB 信号由于占据较宽的频带,只能与现有系统在频谱上重叠,但因 UWB 信号的功率谱非常低,所以对现有系统的干扰很小。如果在室外无线环境中传输,信道条件复杂,另外随着传输距离的增

大,就会要求增大发射功率,这样也会对现有通信系统产生一定的干扰,所以 UWB 通信主要用于室内无线传输。

1.2.4 超宽带无线通信的发展

超宽带无线技术出现于 20 世纪 60 年代,其应用一直仅限于军事、灾害救援搜索等雷达定位及测距方面。1993 年,美国南加州大学的 R. A. Scholtz 在国际军事通信会议上发表论文^[6],论证了采用冲激脉冲进行跳时调制的多址技术,从而开辟了将超宽带作为无线电通信信息载体的新途径。2002 年 2 月 14 日,这项无线技术用于民用通信首次获得了美国联邦通信委员会(FCC)的批准,表明了超宽带技术将为整个无线通信领域带来巨大的变化,因此引起了世界各国的广泛关注。2002 年 5 月召开了关于 UWB 的第 1 次全球会议。2003 年,Motorola 子公司生产出实用的 UWB 收发设备,2004 年 8 月获得 FCC 批准;2004 年 4 月,Intel 展示的 UWB 传输速率高达 480 Mbit/s。2005 年 10 月,中国海尔和 Freescale 半导体合作生产出了全球第 1 台基于超宽带商用产品——数字高清电视。2006 年,基于 MB-OFDM UWB 技术的双频率超宽带收发 CMOS 芯片方案开发成功。其中,Alereon 宣布已研发成功支持 6 GHz 以上频段的 UWB 芯片,这一声明极大地刺激了 UWB 芯片市场。2007 年基于 UWB 技术的产品包括 UWB 天线、UWB 移动终端、UWB 机顶盒以及面向家庭设备的 UWB 设备都陆续上市,而内置 UWB 技术的解决方案将率先应用于打印机、数码相机以及其他需与 PC 进行数据交换的产品中,随后将陆续应用于各类消费电子产品中,满足市场对 UWB 技术的应用需求。据国际权威机构预测,高速 UWB 芯片市场年增长率将超过 400%,2010 年出货量约 3 亿组。

与国外相比,我国关于 UWB 的研发虽然起步较晚,但统计显示:目前至少有包括东南大学、北京邮电大学、中国科学技术大学、清华大学、南京邮电大学、哈尔滨工业大学等在内的 20 多所高校和科研机构正在致力于 UWB 的研究,通过借鉴国外的研究成果和经验,提出适应本国频谱应用的技术方案,已经申请专利几十余项。

我国在 2001 年 9 月初发布的“十五”国家 863 计划通信技术主题研究项目中,首次把“超宽带无线通信关键技术及其共存与兼容技术”作为无线通信共性技术与创新技术的研究内容,鼓励国内学者加强这方面的研发工作。2004 年,国家自然科学基金委员会把“超宽带高速无线接入理论与关键技术”列入国家自然科学基金的重点项目。主要研究内容有:① 超宽带小型化天线及其与收发前端的联合优化设计理论;② 超宽带信号的传播特性,特别是在室内密集多径环境下的传播特性;③ 高性能接收系统的理论与技术;④ 超宽带系统与其他通信系统的频谱共存、兼容技术;⑤ 基于超宽带技术的通信网络协议。东南大学移

动通信国家重点实验室毕光国教授领导的超宽带通信课题组,2000年就率先在国内进行了超宽带通信技术研究,承担了“十五”国家863项目:超宽带无线通信关键技术及共存兼容性的研究(前期课题)和超宽带无线通信第二期项目——超宽带无线传输技术与开发,提出了双载波—正交频分复用(DC-OFDM)高速超宽带通信系统方案,并完成实验演示系统验证,于2005年12月通过了国家863通信主题专家组的现场验收。这是国内第一套自主设计研制成功的高速超宽带通信物理层方案,其设计的传输速率可达480 Mb/s,其实验演示系统的传输速率达到110 Mb/s,传输距离超过10 m。该方案可作为我国高速超宽带通信国家标准物理层的一个备选方案,对实现我国超宽带通信的产业化、标准化,具有重要的意义。

2006年4月27日,由中国科学技术大学牵头和清华大学共同承担的国家863计划重大项目“基于脉冲体制的超宽带无线通信关键技术研究及系统演示”,通过国家863计划通信技术主题专家组的验收。该项目是以开发我国自主创新的超宽带无线通信技术为目标,以产业化为方向,重点研究UWB关键技术和射频芯片设计方法,建立基于脉冲体制的UWB高速无线数据传输演示系统,为将来研制实用化超宽带无线通信芯片和建立我国UWB技术体制规范提供技术支持。课题组经过近一年的艰苦努力,实现了脉冲速率为400 Mb/s的超宽带无线传输系统,可以同时传送多路高清晰度电视。据悉,在脉冲超宽带研究领域这是国内公开报道的最高传输速率。

对于未来UWB的应用前景,业界普遍预期比较高,认为UWB技术将成为最具创新能力和应用最广泛的技术之一,将取代目前电脑各设备之间的有线连接。我国的华为公司在UWB技术开发方面投入比较高,在UWB领域申请的专利占了14%,在所有的厂商中排名第三,专利领域主要集中在OFDM技术方面。

超宽带无线通信技术作为未来无线通信系统的关键技术之一,可以广泛应用于无线多媒体局域网/城域网/个域网、无线传感网、雷达定位和成像系统、智能交通系统以及应用于军事、公安、救援、医疗、测量等多个领域。其主要应用包括无线通信、定位等等。从技术上看UWB有比较广阔的发展前景,但是其发展也面临着许多挑战,还有许多技术问题需要研究解决,诸如需要更好地理解UWB传播信道的特点,建立信道模型,解决多径传播等问题;进行高速脉冲收发电路的设计与实现,如高精度的匹配滤波、UWB天线等。UWB应用的逐步推广无疑会大大促进技术的成熟。

但是目前的研究主要集中在地面、室内应用^[9-12],将超宽带无线技术用于煤矿井下无线通信的研究目前还是处于起始阶段^[13-16]。

1.2.5 超宽带通信技术在煤矿井下的应用

UWB 技术在地面应用时,因发射功率受到 FCC 的限制,最大传输距离为 10 m 左右。但将 UWB 技术应用在井下时,基本不存在对其他窄带通信的干扰问题,可以放宽 FCC 的限制,这样通过提高发射功率或降低传输速率可以增大传输距离。图 1-3 是我们针对无载波 2 PAM UWB 通信系统(误码率 $P_e = 10^{-6}$),采用一阶高斯波形(取脉冲宽度为 0.33 ns)作为系统的发射信息载体,改变发射功率,得到的数据速率与传输距离之间的仿真曲线^[14](详见 2.2 节)。可以看到,当发射功率由 0.3 mW 增加到 3.8 mW 时,在 200 Mb/s 下,传输距离可以由 10 m 增加到 33 m;在 20 Mb/s 下,传输距离可以由 32 m 增加到 110 m。根据 UWB 技术的这一特点,将它应用于煤矿井下时,可以实现多种场合的无线接入服务。

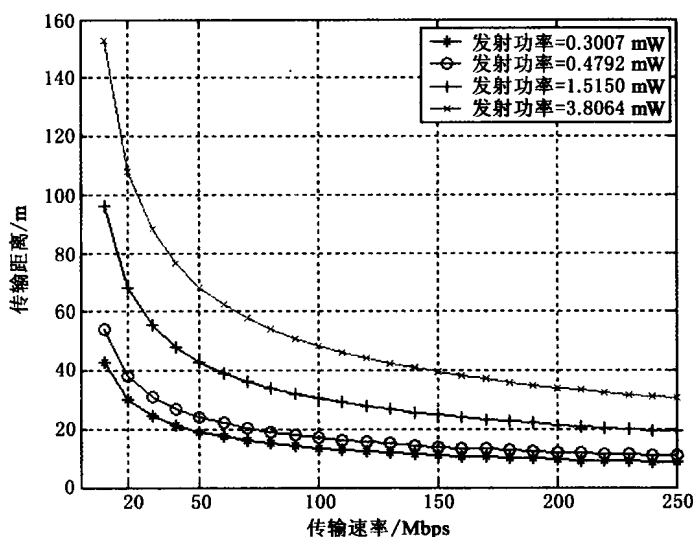


图 1-3 一阶高斯波形在不同发射功率下传输速率和距离的关系曲线

(1) 短距离高速通信

煤矿井下短距离高速数据的传输主要用在井下视频监控信号、机械设备振动故障监测、地音信号、煤与瓦斯突出时的电磁辐射信号等信息的无线接入。这些信号所需的采样频率较高,且主要是对移动设备或移动地点的监测。

例如井下煤层或岩层的离层视频监控,需要将移动或相对固定的视频监控信息经无线接入设备,送进到井下综合传输网络,其接入范围可在几米到几十米之内。若采用系统结构简单、成本低的无载波 UWB 系统,在相同功率和距离条

件下,传输速率比其他无线系统高得多。如蓝牙发射机在 1 mW 平均发射功率时,速率为 1 Mb/s,工作距离为 10 m,这用于高速数据传输(如数字化视频信号)是比较勉强的。而 3 dB 带宽为 5.53 GHz、发射功率为 0.3 mW 的 UWB 发射机,能提供近 200 Mb/s 的数据速率和相同的覆盖范围,而如此小的发射功率对井下环境的移动通信装置来说,可大大延长电池工作时间。

(2) 远距离低速通信

煤矿井下远距离低速数据无线传输一般是指 100 m 以上的无线接入。通常用于井下移动电话、临时地点或设备的工况监测和环境参数监测等。

通过前面的仿真结果可知,UWB 技术与常规无线通信一样,当提高发射功率或降低传输速率时,也可以实现远距离的移动通信功能。如前所述,在煤矿井下可以不必考虑提高发射功率对其他窄带系统的干扰,而且降低传输速率仍可满足井下一般移动通信和数据传输对速率和距离的要求。但要注意发射功率增大时仍应保证设备满足煤矿井下本质安全的要求。

如加拿大矿通公司生产的 Flexcom 煤矿井下漏泄通信系统中使用无线调制解调器将数据接入主传输系统,数据速率为 9 600 b/s 以下,井下的无线接入距离最大为 100 m 左右。而由图 1-3 可知,UWB 系统可在相同通信距离下提供几兆至几十兆比特每秒以上的无线接入速率,性能明显优于现有系统。

超宽带无线技术给我们带来了一种全新的通信理念,将它用于煤矿井下无线通信更是一种新的探索。超宽带技术所具有的低功耗、高数据率、抗多径能力强、系统复杂性低等特点,对于矿井巷道无线通信有着很大的吸引力。

1.3 煤矿井下移动通信现状

从根本上讲,矿井移动通信希望解决的问题是在矿井中作业的任何人员,在任何地点和任何时刻,都能与他们渴望通信的对象保持及时有效的联系。早先,矿井移动通信的主要形式有动力载波通信、中频无线通信、感应通信等,存在设备制造成本高、抗干扰能力差、携带不方便、使用范围局限性大等问题^[17]。长期以来,人们为改善煤矿井下通信的落后现象一直在不断地探索和研究,寻求将地面上先进的通信技术用于煤矿井下。文献[18]首次综合运用多种抗衰落技术,构建了井下 CDMA 移动通信系统网络结构模型,说明了井下 CDMA 通信系统的必要性和可行性。文献[19]阐述了基于 CDMA 技术的矿井无线通信系统的设计与应用情况。

随着电子与通信技术的发展,煤矿井下移动通信技术及系统近几年来也产生了前所未有的变化,已不再远远落后于地面移动通信,而是跟随着地面移动通信技术发展。目前,随着煤矿安全生产的压力越来越大,煤矿井下通信手段必须