

基于超宽带技术的矿山井下无线定位研究

王秀贞^{1,2}

(1. 枣庄学院 计算机系, 山东 枣庄 277100; 2. 华东师范大学 信息科学技术学院, 上海 200062)

摘要: 矿山井下人员和机车的位置信息在安全生产中十分重要, 为了获取其精确的定位信息, 提出采用超宽带无线技术进行定位。介绍了超宽带技术及其特点, 对其在井下应用的可行性进行了探讨, 提出了一种新的矿山井下基于到达时间差 TDOA 的 UWB 无线精确定位方案, 并对该方案的原理进行了分析。

关键词: 矿井; 超宽带; 无线定位; TDOA

中图分类号: TN925

文献标识码: A

文章编号: 1672-3767(2007)02-0040-03

Study on UWB Technology for Wireless Positioning in Mines Underground

WANG Xiu-zhen^{1, 2}

(1. Dept. of Computer Science, Zaozhuang College, Zaozhuang, Shandong 277100, China;

2. College of Info Science & Technology, East China Normal University, Shanghai 200062, China)

Abstract: The location information of workers and machines in mines underground is very important for safe production. To achieve the precise location information, the use of UWB wireless technology for their positioning in mines underground is proposed. The UWB communication technology is introduced and the feasibility of its practical application in mines underground is proved. A new UWB wireless positioning scheme based on the Time-Difference-of-Arrival (TDOA) positioning technique is proposed and its principle is also analyzed.

Key words: mine; ultra-wideband; wireless positioning; TDOA

由于矿山井下是一个特殊的工作环境, 许多地面上使用的通信设备和技术无法直接应用到矿山井下, 需要一种适于井下工作环境的无线通信技术来完成井下操作人员和机车的定位。超宽带(Ultra Wideband, UWB)技术是近年来兴起的一种无线通信技术, 其特点是在非常宽的带宽内, 发送噪音以下的低功率信号, 具有对信道衰落不敏感、发射信号功率谱密度低、有低截获能力、系统复杂度低、能提供数厘米的定位精度等优点^[1], 是适合矿山井下无线通信和矿井无线定位更好的选择。

1 UWB 技术

超宽带通信技术是一种非传统的、新颖的无线传输技术, 它采用极窄脉冲或极宽的频谱传送信息。发射 UWB 信号最常用的方法是发射时域上很短的

脉冲, 这种传输技术称为脉冲无线电(Impulse Radio, IR)。载波调制技术可分为两大类: 基于直接序列扩频的单带脉冲式 DS-UWB 和基于正交频分复用多带 OFDM-UWB。不管采用那种方式, UWB 的基本特点是采用共享的方式使用极宽的频谱, 提供很高的数据速率^[2]。

无载波脉冲方案是 UWB 传统通信方式, 典型的无载波脉冲位置调制的通信系统如图 1 所示。整个收发信机不含有传统的中频和射频电路, 收发信机和硬件电路成本、功耗、设计复杂度低。由于脉冲多径信号在时间上不重叠, 很容易分离出多径分量以充分利用发射信号的能量, 多径分辨能力强。UWB 能在极低功率消耗情况下同时提供通信和高精度测距和定位能力, 测距定位精度高。

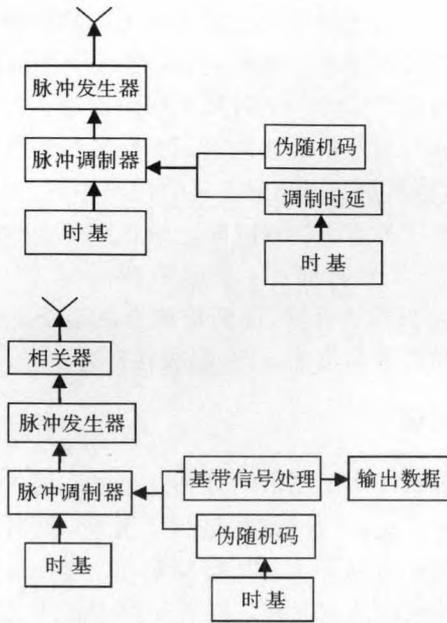


图 1 采用无载波脉冲位置调制典型的 UWB 通信系统的功能框图

Fig. 1 Function diagram of UWB communication system using carrier-free PPM

2 矿井中应用 UWB 的可行性分析

UWB 极宽的频谱和极低的发射功率,使 UWB 系统具有数据速率高、系统相对简单、成本和功耗低等优点,特别是无载波 UWB 通信方式更使系统的成本和功耗进一步降低。UWB 技术的这些特点适用于矿井通信^[3]。在矿山井下,频谱使用有较宽松的限制,对数据速率的要求也不很高,可以利用超宽带信号频带宽的特点来换取传输距离。

采用宽的频带实现高速传送的原理可用香农的信道容量公式来说明。在有噪声产生误码的信道中,信道容量 C 由下式表示:

$$C = B \log_2(1 + P / BN_0) \quad (1)$$

式中, B 为信道带宽, N_0 为高斯白噪声功率谱密度, P 为信号功率。由式(1)知,最大传输容量 C 与信道的带宽 B 成正比,既可以通过增加信号功率 P 的方式来增加信道容量,也可以通过增大传输带宽来实现。

将 UWB 技术应用在井下时,可以不受 FCC 的限制,通过提高发射功率或降低传输速率的方法来增大传输距离。针对无载波 2PAM 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,得到数据速率与传输距离之间的仿真曲线(图

2)。从图 2 看出,当发射功率由 0.3 mW 增加到 3.8 mW 时,在 200 Mbps 下,传输距离可以由 10 m 增加到 33 m;在 20 Mbps,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,可以实现以下两种场合的无线服务。

(1)短距离高速通信。矿山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。

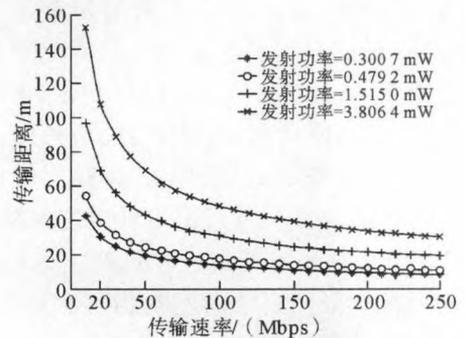


图 2 一阶高斯波形在不同发射功率下传输速率和距离的关系图

Fig. 2 Relation of transmit velocity and distance for first-order Gauss wave under different emission power

(2)远距离低速通信。煤山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,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,可以实现远距离的移动通信功能。在煤矿井下可以不必考虑提高发射功率对其它窄带系统的干扰,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矿山井下安全的要求。

考虑到在矿井巷道中的应用环境,需要确定超宽带信号的必要发射功率、场强空间分布及有效的传播距离,研究包括提供发射功率、传输带宽、传播距离和误码率等有关的统计图表,还要确定满足矿井安全条件下和其它规范允许内的最大发射功率,以发挥超宽带技术的优势。

3 UWB 在矿井中的无线定位

在 UWB 定位系统中,根据需要设定几个定位参考点,以接收待测点发出的高斯脉冲信号,如果能得到脉冲的准确到达时间,就可以精确地测量出脉冲发射源距离接收机的距离。在采用发射脉冲方式

的 UWB 系统中,所使用的脉冲持续时间很短,可以使 UWB 系统具有很高的测距精度。根据测距信息应用定位算法可确定待测点的位置坐标。

3.1 UWB 定位算法

UWB 定位技术中最常用的主要有:信号到达角度测量(AOA)、到达时间定位(TOA)及到达时间差定位(TDOA)等。UWB 通过正确的检测到直达路径信号的 TOA,可以确定节点的位置,但由于信号传播路径复杂多变,包含有许多不确定的因素,在没有视距传播路径的情况下容易造成定位信息缺少或不完整。TDOA 定位技术不需要知道信号到达的绝对时间,对参考节点上是否有精确的定时参考时钟没有要求,这点优于 TOA 定位技术;不需要架设专门的天线,安装费用比 AOA 便宜;另外 TDOA 技术在没有 LOS 信号时,仍可以获得比较高的精度。TDOA 技术是最为流行的一种定位方案^[4-5]。

在 UWB 中采用基于到达时间差 TDOA 定位,基于距离公式。根据定位的基本物理和几何条件,要定位一个三维坐标,至少 4 个参考节点,建立 4 个方程:

$$\sqrt{(x-x_i)^2+(y-y_i)^2+(z-z_i)^2}=c(t_i-t_0)^2, \quad (2)$$

$i=1,2,3,4$

其中, (x, y, z) 和 (x_i, y_i, z_i) 分别表示需要定位的节点和参考节点位置的坐标; t_0 表示需要定位的节点发送信号的时间,是未知数; t_i 表示参考节点位置的到达时间。利用时间差 $\Delta t = t_i - t_0$, 经过一系列代换,可以减小参考节点和需定位节点坐标之间由于不同步带来的误差,实现 TDOA 算法。

求待测点坐标的问题就转换成解四元二次方程组问题,常用的解析算法是 Fan 请核对应法。可以先解出待测点坐标 (x, y, z) 的值。通常,方程有 2 个解,有意义的解只有 1 个,若所得的解没有物理意义或者超过了可测量的范围,就视其为无效解。为了提高有解的概率,可以设定 5 个参考点,就有 5 个不同的组合,产生 5 组方程组,得到 5 组解,再从中选取最优的解,确定待测点的位置。此外解析算法还有 Chan 算法、Friedlander 算法等^[6-7]。

3.2 矿山井下无线定位方案

矿山井下为了获得工作人员和机车的位置信息,在人员的头戴式安全帽和机车车身中植入 UWB 通信模块,供电由矿灯的充电电池供电。巷道内根据需要设置参考节点,工作人员和机车作为待测点,采用图 1 所示收发信机,每个待测点都分配

唯一的伪随机代码序列。当一个高斯脉冲中的伪随机代码序列被参考点收到时,它将在一个时间相关器内与当前产生的一个对照序列作比较。当收到信号的位移与对照信号相吻合,即出现一个相关高峰信号,容易判断是否收到正确的代码序列,确定接收到的脉冲序列得到接收时间。通过测量至少四个到达参考节点的时间差,求解数学公式(2),利用 TDOA 定位算法计算,得到待测点的坐标。确定操作人员 and 机车的位置信息,解决在矿井安全问题。

4 结束语

在分析 UWB 技术的基础上,对采用 UWB 进行矿井无线定位的可行性进行了分析,提出了一种新的用于矿山井下 UWB 精确定位方案,给出了该方案定位的方法和原理。随着超宽带技术的成熟和发展,精确的超宽带无线定位系统将会得到广泛应用。对于解决煤矿井下定空间无线通信和确保矿井巷道在事故状态时的可靠定位具有深远意义。

参考文献:

- [1] Aiello G R, Rogerson G D. Ultra-wideband wireless systems [J]. IEEE Microwave Magazine, 2003, 4(2): 36-47.
- [2] Fontana R J. Recent system applications of short-pulse ultraVwideband (UWB) technology [J]. IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, 2004, 52(9): 2087-2104.
- [3] 王艳芬, 于洪珍, 张申, 等. 超宽带无线通信技术在煤矿井下的应用探讨[J]. 工矿自动化, 2005(12): 1-4.
- [4] Robert J. Fontana, Steven J. Gunderson. Ultra-Wideband precision asset location system[C]//IEEE Conference on Ultra Wideband Systems and Technologies, Baltimore, 2002, 3: 147-150.
- [5] Kegen Yu, Jean-philippe Montillet, Alberto Rabbachin, et al. UWB Location and tracking for wireless embedded networks [J]. Signal Processing, 2006, 86(9): 2153-2171.
- [6] Savarese C., J. M. Rabaey, J. Beutel. Location in distributed ad-hoc wireless sensor network[C]// IEEE Conference on Acoustics, Process, Speech, and Signal, Florida, 2001, 4: 2037-2040.
- [7] Maria-Gabriella Di Benedetto, Guerino Giancola. Understanding Ultra Wide Band Radio Fundamentals [M]. Beijing: Publishing House of Electronics Industry, 2004: 425-431.