

Research of Wireless PROFIBUS System Based on DS-UWB Technology

Jun Wang^{1,2}, Weiru Chen¹, Lijun Zhu¹

¹⁾ Shenyang Institute of Chemical Technology, Shenyang 110142 (E-mail: wj_software@hotmail.com)

²⁾ Shenyang Institute of Automation, Chinese Academy of Science, Shenyang 110016
(E-mail: wangji@sia.cn)

Abstract—Owing to the awful performance of traditional wireless technology in industry environment, UWB is an upcoming wireless technology whose potential at the physical level is analyzed in this paper. We introduce DS-UWB technology to wireless PROFIBUS system and propose topology of secondary architecture and dual frequency based on DS-UWB. The wireless PROFIBUS system is integrated with DS-UWB based on this topology, and medium access control method and device model is designed. It alleviates the congenital problem of wireless communication, such as Real-time and Reliability, on industry environment in part, and increases data transfer velocity. At the same time, it possibly provides some guidance in wireless industry application based on UWB technology.

Keywords—DS-UWB, wireless PROFIBUS, topology, device model

基于 DS-UWB 技术的无线 PROFIBUS 系统的集成研究

王军^{1,2} 陈未如¹ 朱立军¹

¹⁾ 沈阳化工学院 沈阳 110142

²⁾ 中国科学院沈阳自动化研究所 沈阳 110016

摘要 针对传统无线通信技术在恶劣的工业环境性能急剧下降,本文分析了 UWB 这一新型无线技术,将 DS-UWB 技术引入到无线 PROFIBUS 系统中,并提出了基于 DS-UWB 的双频二级拓扑结构。在此体系结构基础上对基于 DS-UWB 技术的无线 PROFIBUS 系统进行了集成,实现了相应的介质存取控制方法和设备模型。该方案在系统级上部分缓解了无线技术在工业环境中实时性和可靠性先天不足的问题,提高了传输速率。同时,对 UWB 技术应用于无线工业网络化控制提供了一定的指导作用。

关键词 DS-UWB, 无线 PROFIBUS, 拓扑结构, 设备模型

1. 引言

现阶段针对基于蓝牙和 IEEE802.11b 等标准的无线现场总线控制系统的研究较多^{[1][2]},但将其真正应用于实际工业控制系统中的成果很少。其原因大致有两点^[3]:第一,蓝牙和 IEEE802.11b 等无线标准较适应于商业领域,对工业环境的适应性较差。尽管对其进行改良与优化的成果较多,但由于本身的性能缺陷,在恶劣的工业环境中始终不能达到要求。第二,现有的无线现场总线控制系统的体系结构一直沿用有线的体系结构思想。一些是直接采用通信介质代替法,还有一些尽管从设备结构上讲,与有线控制系统的设备结构有所不同(如欧盟资助的 R-Fieldbus),但整体的体系结构仍然采用有线的总线式通信模型思想。在

有线的体系结构下,该通信模型极大的限制了无线通信的优势,使得现阶段的研究没有能充分利用无线技术的优势来弥补其在工业环境中实时性和可靠性差等问题。因此,本文系统的研究了 DS-UWB 无线技术的优势和现场总线控制系统 PROFIBUS 的特点,将 DS-UWB 这一新型无线技术引入到了 PROFIBUS 系统中。并进行了具体的基于 DS-UWB 技术的无线 PROFIBUS 系统的集成研究。

2. DS-UWB 方案分析

IEEE 标准中实现 UWB 信号给出了三种方法^[4],一种方法是基于正交频分多路复用技术(OFDM),另外一个是基于直接序列超宽带技术(DS-UWB),第三方法是时分/频分多址

(TD/FDMA)脉冲方法。本文选用了 Xtreme Spectrum 公司的 DS-UWB 方案作为无线工业网络化控制系统的底层通信技术。

DS-CDMA 是一种双频段的方案。之所以使用两个频段,其原因是单脉冲全频段在实现上有困难,使用较窄的频段可以降低实现难度。并且由于分频段实现,可以方便地改变中心频率,以避免需要特别保护的频率(如 GPS 频段)。此外,极宽的信号宽度保持了 UWB 调制独特的优点,具有极高的多径解析度。DS-CDMA 方案的优点概括如下:

- 1) 使用比较成熟的直扩和码分多址技术;
- 2) 使用 MBOK 编码:每个符号可以代表多个比特,支持高达 1.2Gbit/s 数据速率;
- 3) 使用三进制的 CDMA 码作为多址码,允许 8 个 Piconet 同时运行;
- 4) 低成本、低功耗;
- 5) 可以直接使用现有的 802.15.3 的 MAC 层方案,降低研发周期。

2.1 DS-UWB 方案技术要点

(1) 频段划分

将 3.1~10.6GHz 整个频段划分为两个频段,低频带为 3.1~5.15GHz,高频带为 5.825~10.6GHz。其中选择不同的频段组合方式,可以得到 3 种不同的模式。如果同时使用两个频段,总的速率可望达到 1.2Gbit/s。此外,为了适应不同地区频谱的规定,中心频率和带宽还可以修改。

(2) 采用直扩 CDMA

扩频码提供了 14dB 的增益,有助于抑制窄带干扰。为了获得更好的抗干扰性能,还可以进一步使用可调的陷波滤波器,在每个抑制频率上提供 20~40dB 的保护。

(3) 纠错编码方式可选

可采用卷积码或级联码,主要用于数据速率小于 200Mbit/s 的应用,码率为 1/2,再做 2/3 或者 3/4 的截断;或采用 Reed-solomon 码,主要用于速率高于 200Mbit/s 的高速应用,如 RS(255, 233)。

(4) 接收技术可灵活选择

判决反馈均衡器 (DFE, Decision Feedback Equalizer) 和 Rake 接收这两种技术都能有效提高接收机性能。其中,DFE 可以有效对抗符号间干扰 (ISI),Rake 则可以有效地收集多径信号的能量。

(5) 多址技术

为了支持多个 Piconet 的同时工作,有几种多址方式可以选择:码分多址 (CDMA, Code Division Multiple

Access) 方式,在每个频段中有 4 个可选的 CDMA 码,这样可以产生一些逻辑信道以供选择;频分多址 (FDMA, Frequency Division Multiple Access) 方式,如在两个频段中选择一个进行传输,这样可以减轻远-近干扰;时分多址 (TDMA, Time Division Multiple Access) 方式,在每个 Piconet 中都可以使用 IEEE 802.15.3 的 TDMA 协议。

2.2 系统描述

DS-UWB 方案在每个子频段上使用冲击脉冲信号作为信息载体,有效脉冲频谱占据 1GHz 以上频率空间。其频谱分布如图 1 所示。

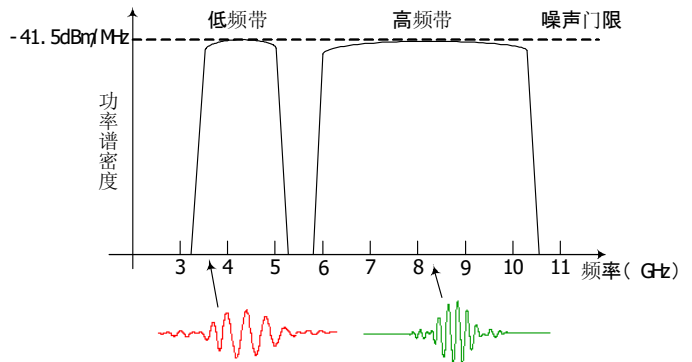


图 1 DS-UWB 双频段示意图

低频段占据 3.1~5.15GHz 的频谱,可以传输的数据速率从 28.5~400Mbit/s。高频段占据 5.825~10.6GHz 的频谱,可以传输的数据速率从 57~800Mbit/s。同时使用两个频段就可以达到 1.2Gbit/s 的高速数据传输。低频段和 高频段的数据传输速率见表 1^[5]。

表 1 数据传输速率

	带宽	码片速率	编码长度	符号速率
低频段	1.368GHz	1.368GHz (± 3MHz)	24 码片/符号	58 兆符号/秒
高频段	2.736GHz	2.736GHz (± 3MHz)	24 码片/符号	114 兆符号/秒

3. 基于 DS-UWB 无线技术的 PROFIBUS 系统的拓扑结构

根据上一小节分析的 Xtreme Spectrum 公司 DS-UWB 方案的优势,并结合工业网络化控制系统的特点,本文放弃了传统有线现场总线的平面拓扑结构,而借鉴 Ad-hoc 网络组网思想并结合 UWB 特点,提出了双频二级拓扑结构组网,如图 2 所示。

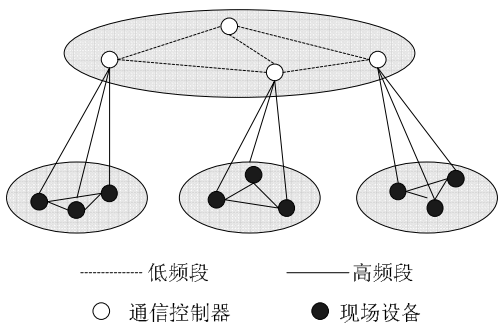


图2 双频二级拓扑结构

安置在工厂中的工业控制系统的现场设备之间经常会出现金属障碍物和噪声等干扰，如设备之间可能有作业机器人、运输车、机械臂等经过，使得无线通信在工厂中同一层面上通信效果较差。因此，利用 DS-UWB 支持两个独立的频带，设计了二级结构，将通信控制器分布在现场设备的上层。布置在工厂上方，有效利用了无线技术特有的多空间路径的优势，在不增加额外成本的情况下，通过建立空间层次结构形成了冗余路径，来缓解工厂中恶劣环境给无线通信造成的可靠性问题。我们选用低频段做为上层通信控制器之间的工作频段，因为在低频段传输距离较远十分适合通信控制器之间通信，尽管数据速率较低但也比现有的绝大多数现场总线标准速率快，足以满足现阶段工业网络化控制系统的需求。使用高频段做为下层现场设备之间的工作频段，由于现场设备节点比通信控制器数量多而密集，而高频段范围比低频段广很多，空间容量大，可以较好的满足下层现场设备之间的通信要求。

利用低端频带为 3.1 GHz~4.85GHz，高端频带为 6.2GHz~9.7GHz。每个频带上最多可支持 6 个微微网信道等特点，使用 DS-UWB 技术使设备间的通信和通信控制器之间的通信分别使用独立频段，减少了冲突几率，有效利用了空间容量使其并行工作，又部分缓解了无线通信在工业环境实时性达不到要求的问题。即在同一微微网中现场设备之间通过高端频带可直接进行通信，不同微微网之间通过通信控制器进行通行。通信控制器使用低端频带使得上下两级并行通信干扰较小。同时，当同一微微网中现场设备之间通信信道出现干扰时，也可通过所属通信控制器转发。尽管这使得通信控制器本身成本增加，由于通信控制器在整个网络化控制系统中是少量的，这个系统成本不会大幅增加。下面本文将重点研究并给出在该拓扑结构下的基于 DS-UWB 技术的无线 PROFIBUS 系统集成方案。

4. 基于 DS-UWB 技术的无线 PROFIBUS 系统集成方案

PROFIBUS 可分为三个子系统:PROFIBUS-FMS (Field Message Specification)侧重于车间或一条流水线上的整

体控制，提供完整的应用层功能，定义了统一的报文格式，指令等。PROFIBUS-DP (Distributed Peripheral)，着重于某一组对象的实时控制，可以说是优化并简化了的 PROF 工 BUS 系统。PROFIBUS-PA (Process Automation)主要面向化工、易爆场合，定义了不同于前两者的数据传输速率，具有本质安全的物理层。FMS、DP、PA 三者之间关系及其和 DS-UWB 集成的协议图 3 如下所示：

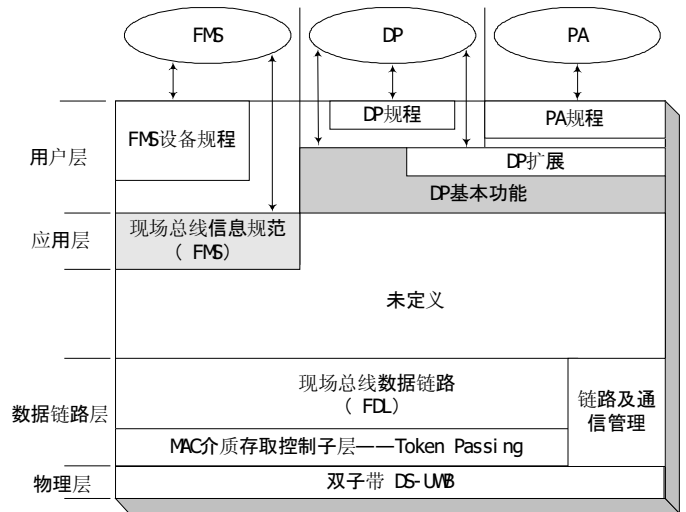


图3 FMS、DP、PA 三者之间关系及其和 DS-UWB 集成

PROFIBUS 采用的介质存取控制 (MAC) 方法是一种混合访问方法。PROFIBUS 组设备之间使用令牌方法，为使 PROFIBUS 从设备之间也能传递信息，从设备由主设备循环查询，该方法基本适合我们提出的双频二级结构的拓扑结构。如图 4 所示，先后使用有线和基于 DS-UWB 的双频二级拓扑结构时，介质存取控制方法不变。

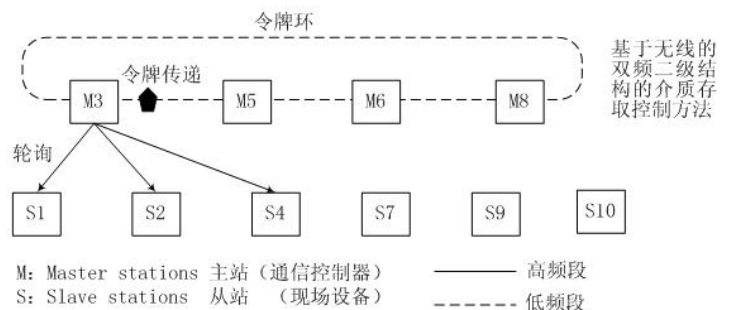
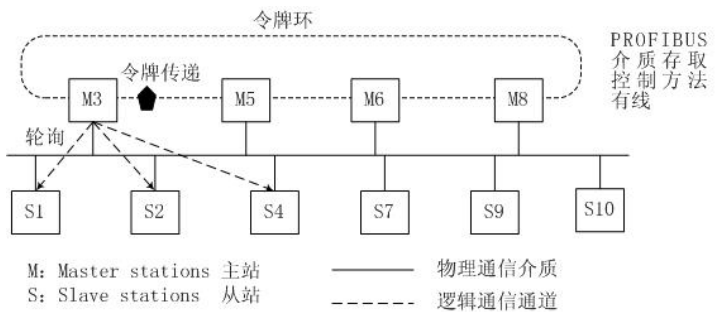


图 4 原有线与基于 DS-UWB 的双频二级结构的介质存取控制方法比较

与 DS-UWB 集成的无线 PROFIBUS 设备模型, 如图 5 所示。其设备模型中应用层功能可分成三大部分, 即 PROFIBUS-DP 的应用部分、多媒体功能及系统管理部分 (SMA)。用来处理设备无线功能的模块共有五个部分, 分别对应图 5 中的站管理部分 (STM)、数据链路层扩展部分 (DLX)、数据通信设备独立子层 (DIS)、数据通信设备 (DCE) 和信道与频带管理部分 (CFM)。

PROFIBUS-DP Application (Master or Slave)	Multi media Application (Master or Slave)	System Management Application (SMA)
	TCP/IP Stack	
IP Mapper (IPM)		
PROFIBUS-DPV1	IP Adminssi on Control and Scheduling (ACS)	
DP Mapper (DPM)		
DP/IP Dispat cher (DID)		
DLX	PROFIBUS DDL	Channel & Freque ncy Band Management (CFM)
Data Communi cation Equi pment Independent Sub-Layer (DIS)		
Data Communi cation Equi pment (DCE)		
DS-UWB PHY Layer		

图 5 与 DS-UWB 集成的无线 PROFIBUS 设备模型

数据通信设备 (DCE) 包括了对双子带 DS-UWB 信号的接收和传送功能; 数据通信设备独立子层 (DIS) 实现对数据帧的预处理, 控制无线传输中必须的 PLCP 头及 PROFIBUS 帧控制部分的添加和去除; 数据链路层扩展部分 (DLX) 是 PROFIBUS 的原数据链路层的扩充; 信道与频带管理部分 (CFM) 是进行通信过程中信道和频带的管理, 该部分仅在通信控制器中存在。IPM, ACS, DPM 和 DID 四个模块用于支持由 TCP/IP 承载的多媒体数据流, 使设备能够并行地支持 DP 和 IP 数据流量。DPM 负责给 DP 数据提供 QoS 服务, 且预留一定的带宽给 ACS 来控制来自多媒体应用的 IP 包 (已经过 IPM 和 TCP/IP Stack 的处理)。DID 则提供对数据类型的三种级别的排队调度控制。STM 管理模块提供了对以上各功能块的参数初始化、管理的功能。

4. 小结

RFieldbus (RadioFieldbus) 是在 1999 年至 2004 年期间欧洲科技委员会 IST 计划的支持下研制出的 PROFIBUS 和无线局域网技术结合起来的新系统, 是现阶段针对 PROFIBUS 进行无线通信扩展研究较好的成果之一。该项目使用的无线技术是当时比较流行的 IEEE802.11, 尽管 IEEE802.11a 的理论通信速率最高可达到 54M, 但实际系统

通信速率不超过 2M^[6]。该通信速率不仅不能很好的支持用户定义的关于工业多媒体服务的 QoS, 就连 PROFIBUS-DP 标准中定义的最高速率 12Mbps 也达不到。而本文将 DS-UWB 技术引入到 PROFIBUS 系统中, 将各层协议和相应设备稍加改动, 就可以使其实际通信速率达到要求, 而且该方案在系统级上部分缓解了无线技术在工业环境中实时性和可靠性先天不足的问题。同时, 本文的研究可以为 UWB 技术应用于无线工业网络化控制提供一定的借鉴。

参考文献

- [1] 高路, 王忠峰, 王宏. 现场级无线网络体系结构[J]. 信息与控制, 2003. 32 (6) :568-573.
- [2] 王军, 王宏, 徐皓冬, 周侗. 基于无线的 EPA 通信模型[J]. 辽宁工程技术大学学报 (自然科学版), 2006, 25 (2) :246-249.
- [3] Andreas WilLig, Kirsten Matheus, and Adam Wolisz, Wireless Technology in Industrial Networks[J], PROCEEDINGS OF IEEE, JUNE 2005, vol. 93, no. 6, pp. 1130 - 1151.
- [4] Kazimierz Siwiak, Debra Mckeown. Ultra-Wideband Radio Technology [M] 北京: 电子工业出版社, 2005. 9.
- [5] 葛利嘉, 朱林和袁晓芳等译, Maria-gabriela 等著. 超宽带无线电基础 [M] 北京: 电子工业出版社, 2005. 5.
- [6] 侯维岩, 张海峰, 费敏锐. 现场总线 PROFIBUS 系统的实时性能分析[J]. 电子测量与仪器学报, 2004. 18 (2) :56-60.