

文章编号: 2095-2163(2023)10-0133-04

中图分类号: TN914

文献标志码: A

基于 Profisafe 协议及漏波电缆的无线通讯架构

吴 晗, 闫 娟, 杨慧斌, 徐春波

(上海工程技术大学 机械与汽车工程学院, 上海 201600)

摘要: 针对工业生产场景中常采用硬接线的方式来传输急停信号存在的安全隐患, 本文提出采用基于 Profisafe 通讯协议的分布式自动化网络, 将漏波电缆作为传输的介质, 分析了该电缆的工作原理、衰减特性及各频段下的传输距离, 在两端分别加入安全 PLC, 组成一个无线通讯系统, 并在 TIA PORTAL 中进行设备组态, 以此实现一些急停及复位信号的安全传输。通过实验验证了该系统的可行性, 极大地提升了原有生产线的工作效率及工作的稳定性。

关键词: Profisafe; 漏波电缆; 无线通讯; 安全 PLC

Wireless communication system based on Profisafe protocol and leaky wave cable

WU Han, YAN Juan, YANG Huibin, XU Chunbo

(Shanghai University of Engineering Science, College of Mechanical and Automotive Engineering, Shanghai 201600, China)

[Abstract] For the potential safety problem of hard wired transmission of emergency stop signals in industrial production scenarios, a distributed automation network based on Profisafe communication protocol is proposed to use leaky wave cable as the transmission medium. The working principle, attenuation characteristics and transmission distance in each frequency band of the cable are analyzed. Safety PLCs are added at both ends to form a wireless communication system, and the equipment is configured in TIA PORTAL. In this way, some emergency stops and reset signals can be transmitted safely. Finally, the feasibility of the system is verified through experiments, which greatly improves the working efficiency and stability of the original production line.

[Key words] Profisafe; leaky wave cable; wireless communication; safety PLC

0 引言

在工业控制网络中, 可编程控制器已经成为该领域的核心, 在传统的热处理生产线自动化控制系统中一般采用安全继电器来保证人身和生产线设备的安全, 以此来保证整个系统的稳定性和可靠性。这种模式要采用硬接线的方式来传输急停信号和复位信号, 复杂的线路会增加系统故障的几率, 且在排查时也会带来很大的难度。在文献[1]和文献[2]中作者采用 Profinet 网络协议进行上位机和下位机间的数据传输, 这种模式具有很好的实时性以及很强的普及性, 可实现多种数据的并行传输。但在进行一些急停信号的传输时, 这种协议难以达到预期的安全级别, 而且将急停信号与其他信号一同传输也会增大系统的不稳定性。本文拟采用基于 Profisafe 协议的安全总线和分布式 I/O 对原有的系统进行改造, 在保留原系统程序的前提下增加安全 PLC, 以漏波电缆 (Rcoax)

作为传输介质来实现急停和复位信号的传输。

1 通讯系统架构

原通讯架构采用有线连接的方式, 通过 Profinet I/O 进行数据传输。Profinet 是一种较新的, 基于以太网的工业通信协议, 其使用的物理接口是一个标准的 RJ-45 以太网插口, 以 100 Mbyte/s 速度运行, 电缆长度可达 100 m^[3]。由于其高速运行和小于 1 ms 的响应时间, Profinet 协议是数据高速传输的理想选择^[4]。对于一些关键信号的传输则采用硬接线的方式来保证系统的稳定性。原通讯架构如图 1 所示。

为保证标准通讯信号及急停复位信号都能在无线网络中传输, 本文拟采用无线工业局域网 (Industry Wireless LAN, IWLAN), 该网络支持 Profinet 协议, 同时也支持 Profisafe 标准, 保证原标准通讯数据传输的同时也可以兼顾安全信号的传

作者简介: 吴 晗 (1997-), 男, 硕士研究生, 主要研究方向: 无线电能传输; 闫 娟 (1978-), 女, 硕士, 高级实验师, 硕士生导师, 主要研究方向: 智能控制算法研究、机械自动化。

通讯作者: 闫 娟 Email: abanmanjaddaq@163.com

收稿日期: 2022-09-29

输。为了保证系统的安全性和稳定性,尽可能不改变原硬件电路和程序,在固定端和移动端增加安全 PLC 来传输急停信号,以此来保证系统的可靠性。改造后的通讯架构如图 2 所示。

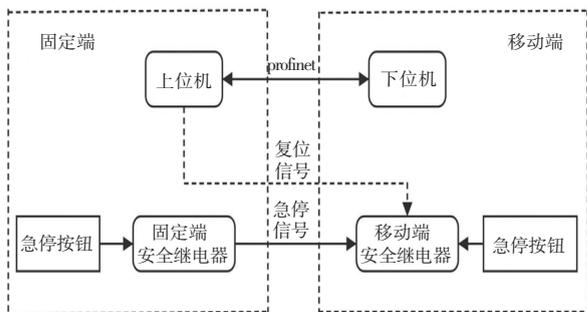


图 1 原通讯架构

Fig. 1 Original communication architecture

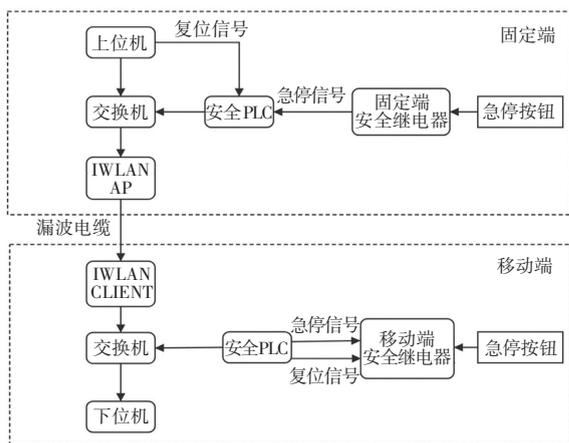


图 2 改造后的通讯架构

Fig. 2 Modified communication architecture

急停通过按下急停按钮实现,安全继电器得到反馈,将急停信号传输至固定端安全 PLC,通过交换机将该信号传输至无线网络接入点(IWLAN AP),再由漏波电缆作为传输介质将信号发送到客户端,移动端的安全 PLC 接收到急停信号,通过 I/O 口通讯输出到移动端的安全继电器上做出急停动作。

2 传输介质——漏波电缆

漏波电缆可以为接入点提供可靠的无线链路,适用于复杂的环境中,可对其进行无线的信号覆盖,在无线通讯中具有高可靠性,也降低了维护和更换的成本。

漏波电缆结构如图 3 所示。电缆的外导体有一个开口,允许无线波穿透和辐射^[5]。在电缆的周围会形成一个电磁场,包裹着内部导体的外部导体,对内和对外都屏蔽了电磁波的传播,在外部导体上开口使得电磁波在固定的空间内传播。

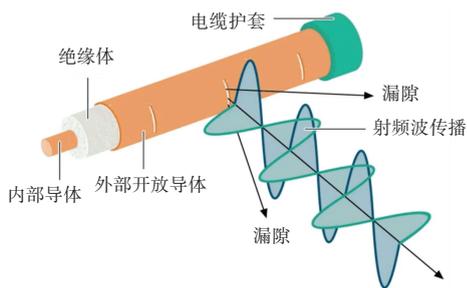


图 3 漏波电缆结构图

Fig. 3 Structure diagram of leaky wave cable

2.1 衰减及增益计算

天线增益是指在一定输入功率下向固定距离发射信号的能力,该参数与天线方向有密切联系。

在无线通讯领域,通常以分贝(dB)为单位来简化一系列传输元件在传输信号时的计算。分贝和比率成对数关系,可用式(1)表示。

$$dB = 10 * \log(\text{ratio}) \quad (1)$$

其中, ratio 为比率。

当一个值减半时,其分贝值也会降低 3dB。在理想情况下,天线从一个中心点向四周均匀地辐射能量,这时的参考变量为各向同性或单极天线发射的功率,在实际的环境中获取到的分贝值即为天线增益,用 dBi 表示。

漏波电缆内的能量传输也会有一定程度的损耗,将该能量损耗定义为纵向衰减,引入一个衰减系数,衰减值 a_{rc} 可由式(2)计算得出。

$$a_{rc} = \alpha_{rc} * l \quad (2)$$

其中, α_{rc} 为衰减系数(单位为 dB/m), l 为电缆总长度(单位为 m)。

一般情况下,衰减系数取决于以下条件:

- (1) 电缆的结构;
- (2) 电缆中电磁波的频率,当频率越高时衰减程度越大;
- (3) 电缆周围的环境。

分析了纵向衰减后还要考虑其他耦合损耗,也就是将环境引起的能量损耗通过计算得到一个近似的结果。在电缆的周围会存在各种物理效应,影响电磁波的传播,难以准确计算的,因此对于周围环境以距离为参考因素做出区分,预设 0.5 m 的半径范围内为近场,这是一般情况下天线能够接收信号的范围。

由于实测点处的信号强度沿连接的馈线电缆波动,在设计时一般以实测值的 50% (C_{50}) 或者 95% (C_{95}) 为基础,而且在近场范围内 C_{50} 与 C_{95} 没有特别差异。只有在涉及安全通信时才采用 C_{95} 进行耦合计算,对于一般通信则采取 C_{50} 为标准^[6]。

C_d 为漏波电缆和天线之间在规定距离 (>0.5 m) 内的电缆耦合损耗, 单位为 dB, 可用式 (3) 和式 (4) 表示:

$$C_d = C_{50} + 10 * \log(d/2) \quad (3)$$

$$C_d = C_{95} + 10 * \log(d/2) \quad (4)$$

其中, C_{50} 为距离为 2 m 时耦合损耗的 C_{50} 值; C_{95} 为距离为 2 m 时耦合损耗的 C_{95} 值; d 为电缆和天线间的距离, 单位为 m。

涉及到安全信号的传输, 因此选取 C_{95} 来计算耦合损耗。排除这些衰减后, 天线增益可用式 (5) 表示:

$$P_e = P_0 - a_{rc} - a_{fe} - C_d - a_{ps} + G_{ANT} - \Delta_{Sys} > P_{e \min} \quad (5)$$

其中, P_0 为总发射功率 (单位为 dBm); a_{rc} 为电缆的纵向衰减值; a_{fe} 为馈线的纵向衰减 (由 I WLAN 的技术规范决定); C_d 为耦合损耗; a_{ps} 为功率分配器损耗; G_{ANT} 为天线的增益 (2.4 GHz 为 4 dB, 5 GHz 为 6 dB); Δ_{Sys} 为系统损耗 (根据环境波动, 一般在 10~20 dB 之间); $P_{e \min}$ 为接收器所需的最小功率。

一般情况下, 为保证通讯的质量以及稳定性, 接收器端所需的最小功率要大于 65 dBm, 环境干扰引起的信号损耗以 10 dB 计算^[7]。

由此可推算在 2.4 GHz 及 5 GHz 频段下段长, 见表 1 和表 2。

表 1 2.4 GHz (IEEE 802.11g) 频段下的段长

Tab. 1 Band length in 2.4 GHz (IEEE 802.11g) band

数据速率/Mbps	段长/m
1-24	246
54	234

表 2 5 GHz (IEEE 802.11a) 频段下的段长

Tab. 2 Band length in 5 GHz (IEEE 802.11a) band

数据速率/Mbps	段长/m	
	5.2 GHz	5.8 GHz
1-36	137	126
54	125	112

由表 1 和表 2 可以看出, 在较低的传输速率下可以实现更大的段长度, 在 5 GHz 频段下最大的传输距离几乎降为 2.4 GHz 频段的一半, 因此, 在对于传输距离要求较低且需要较高的传输速率时采用 5 GHz 频段。本文涉及到的热处理生产线长度为 50 m, 属于中距离范围, 选择传输效率更高的 5 GHz 频段来保证信号传输的稳定性。天线在水平方向及垂直方向的辐射特性如图 4 所示, 可以得到天线在水

平方向时, 0° 可达到最大的辐射值; 在垂直方向, $30^\circ \sim 90^\circ$ 时可达到最大辐射值。

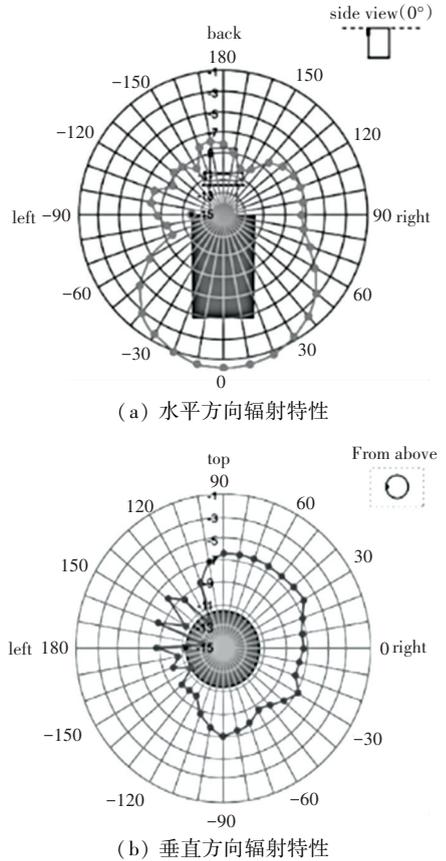


图 4 天线各方向辐射特性

Fig. 4 Radiation characteristics of antenna in all directions

2.2 网络组态

在建立通讯之前, 需进行 IP 地址的分配, 各网络组件的 IP 地址应在同一网段下才可建立连接, 具体的 IP 地址见表 3。

表 3 各网络组件 IP 地址

Tab. 3 IP address of each network component

网络组件	IP 地址
PC	192.168.100.100
上位机	192.168.100.240
下位机	192.168.100.242
AP	192.168.100.241
client	192.168.100.243

在软件 TIA PORTAL 中配置 IP 地址, 默认子网为 PN/IE_1, 将下位机按相同模式进行配置, 在操作模式选项中勾选为 IO 设备, 将 IO 控制器分配到 main.PROFINET 接口_1。设备的具体配置参数见表 4。

为数据的收发, 需在智能 IO 设备中设置传输区域, 参数见表 5。

表4 设备的配置参数

Tab. 4 Configuration parameters of the device

模块	设备类型	设备名称	IP 地址	子网掩码
1510SP F-1 PN	IO 控制器	main	192.168.100.240	255.255.255.0
1510SP F-1 PN	智能 IO 设备	unloader	192.168.100.242	255.255.255.0

表5 传输区参数

Tab. 5 Transmission area parameters

传输区	类型	IO 控制器中的地址	↔	智能设备中的地址	长度
01_F-CD_m-u	F-CD	Q12...23	→	I12...23	12 字节
02_F-CD_m-u	F-CD	I24...35	←	Q24...35	12 字节

在网络视图将两台 CPU 连接完成设备组态。本文中使用的 CPU 为 F 系列的安全 CPU,需要在程序块中的 Main_Safety_RTG1 [FBI] 进行程序编写,才能够在特定的安全通道进行信号传输,在 Main [OB] 中的数据不会被安全模块读取。

按照传输区 IO 控制器和智能设备地址间的映射

关系编写程序,即 IO 控制器作为指令的发送端,智能设备作为指令的接收端。急停信号的传输可以应用指令功能中 Safety functions 下的 ESTOP1,该指令各管脚所对应的指令见表 6。将 ACK_NEC 置 0 即自动确认,当 E_STOP 从 0 置 1 后, Q 点会自动确认输出不需人为确认,以此来增加系统的自动化程度。

表6 各输入输出点对应指令

Tab. 6 Command corresponding to each input and output point

E_STOP	ACK_NEC	ACK	TIME_DEL	Q	Q_DELAY	ACK_REQ
急停信号输入	自动/人为确认	复位信号	延迟确认	信号输出	延迟输出	复位请求

3 实验验证

在 TIA PORTAL 中将程序转为在线监控,测试通讯是否正常。

在第一次测试时,CPU 指示灯报错,在上位机的诊断缓冲区得到反馈的代码,提示错误信息为指定的 IO 设备发生故障或不存在,需要检查是否存在更多设备故障,并在 IO 系统中确定故障设备的位置。根据上位机中的提示信息,检查故障是偶发现象还是会反复发生。在多次试验后,可以复现该故障,确认为非偶发现象。使用 PC 与两台 CPU 进行通讯测试,可以得到回应,因此排除是由网络引起的故障。再次排查上位机中的组态情况,发现是由于转至在线前没有将 CPU 调至运行的状态,导致无法正常通讯。

排除故障后进行动态测试,将设备沿着漏波电缆铺设方向运行,观测网络组件在运行过程中的工作状态。经试验发现在整个电缆铺设的范围内,设备均可接收和发送信号,在使用上位机发送急停的指令时,另一端也会做出停止运行的反应,测试过程中未出现断网或其他故障。

构,将漏波电缆作为通讯的介质,实现了急停信号的安全无接触传输。经实验组态测试,该系统信号传输稳定,自动化程度高,安装调试方便,降低了后期的维护成本。与传统的有线通讯相比,该系统的控制方式在工业控制及无线通讯领域都拥有广泛的应用前景。

参考文献

- [1] 张芬,蔚腾. 基于 PROFINET IO 的 S7-1200 控制器与 G120 变频器通讯[J]. 微型电脑应用,2022,38(1):70-73.
- [2] 刘双龙,金晓怡,范瑜,等. 基于 TIA 博途的 S7-1500 PLC 与 SEW 变频器 Profinet 通信实现[J]. 国外电子测量技术,2021,40(7):122-127.
- [3] MULAOSMANOVIĆ A M. Communication in industry by using the PROFINET protocol [J]. Vojnotehnički glasnik, 2015, 63(2): 146-160.
- [4] PETROVIĆ I, VINKOVIĆ M. Usage and advantages of Profinet communication protocol for industry[J]. Tehnički glasnik, 2014, 8(1): 92-96.
- [5] 杨德奇. PROFINET 和 SCALANCE W 无线通信在 AGV 小车系统中的应用[J]. 中国仪器仪表,2013,269(S1):69-73.
- [6] 张毅,徐昌庆,万群. 移动网络定位研究进展[J]. 导航定位与授时,2019,6(2):1-11.
- [7] 王洋,周兆永. 无线 AP 信号干扰模型构建及应用[J]. 计算机应用与软件,2020,37(9):320-323.

4 结束语

本文采用基于 Profisafe 通讯协议的无线通讯架