

智慧工厂信息采集节点组网能力测试平台设计

霍永强, 林鑫岑, 王胜雷, 何威

(华信咨询设计研究院有限公司, 杭州 310014)

摘要: 为了检验智慧工厂信息采集节点的上线率、组网耗时、轮询耗时、中继深度和组网稳定性等组网能力指标, 为工业信息采集节点的研发、测试提供参考依据, 设计了一种组网能力测试平台; 该平台采用电磁兼容性良好的铝制组网单元作为信息采集节点从节点的测试载体, 可为从节点提供工作电压和信号耦合通信渠道; 采用“高频+低频+高频”组合电源滤波器, 能够有效滤除 120 KHz~40 MHz 干扰信号, 可为测试平台提供相对纯净的测试环境, 保障测试平台的稳定性和测试数据可靠性; 试验结果证明: 建设的测试平台性能稳定、功能齐全, 可为电力线通信产品的组网能力测试提供有力的数据参考。

关键词: 智慧工厂; 信息采集; 组网能力; 测试平台

Design of Intelligent Factory Information Collection Node Networking Capability Test Platform

Huo Yongqiang, Lin Xincen, Wang Shenglei, He Wei

(Huaxin Consulting Co., Ltd, Hangzhou 310014, China)

Abstract: In order to test the network capability indexes of intelligent factory information acquisition nodes, such as on-line rate, networking time-consuming, polling time-consuming, relay depth and networking stability, a networking capability test platform is designed to provide a reference for the research and development of industrial information acquisition nodes. The aluminum network unit with good electromagnetic compatibility is used as the test carrier of the slave node of the information acquisition node, which can provide the slave node with working voltage and signal coupling communication channel. The combination power filter of “high frequency + low frequency + high frequency” can effectively filter out 120 KHz ~ 40 MHz interference signal, and can provide a relatively pure test environment for the test platform, ensure the stability of the test platform and test data reliability. The test results show that the test platform has stable performance and complete functions, which can provide a powerful data reference for the networking capability test of power line communication products.

Keywords: smart factory; information collection; networking capability; testing platform

0 引言

近年来, 随着“中国制造 2025”、“互联网+”等重大战略的实施, 信息化和工业化正在深度融合, 这极大地提升了工业生产设备的自动化、智能化水平^[1]。目前, 我国制造业正处在由大变强的关键时期, 只有充分发挥“工业云”的新引擎优势^[2-3], 才能在新的一轮数字化生产变革中脱颖而出。

工业云基于“互联网+协同制造”的理念, 结合云计算、物联网与大数据等先进技术, 充分发挥云计算在生产要素配置中的优化与集成作用, 全面整合地区范围内的产业配套需求与能力, 高效整合地区工业领域的高、中、低端产业要素, 并共享优质资源, 打造数据化、网格化、智能化、协同化的开放平台, 构建结构合理、智能配套的工

业体系与产业生态^[4]。

智慧工厂是在数字化工厂的基础上, 利用物联网技术、设备监控技术、绿色智能手段等构建的高效节能的、绿色环保的、环境舒适的人性化工厂。在工业云顶层架构中, 对智慧工厂海量工控数据的采集、汇聚、存储和计算组成了工业云的物理基础数据层, 智慧工厂海量工控数据的精度、准确度、广度和实时性都会影响工业云的计算分析结果和精细化管理策略^[5]。要使我国制造工业快速地向“工业 4.0”靠拢以实现智能化生产^[6], 就必须为智慧工厂构建一张实时高速、稳定可靠、方便快捷、低成本并且集监测、预警、管理于一体的通信基础网络。

传统的工控现场设备已经不能满足实际的生产需求, 而基于宽带电力线载波 (Broadband Power line communication, BPLC) 的通信网络设备突破了传统通信方式维护困难、可靠性差、成本高等缺陷。它以 1~30 MHz 作为信号工作频段, 可以有效规避大功率工业生产产生的热噪声。它构造简单, 可以实现即插即用, 在智能电网、智慧城市、智慧交通等领域已有广泛应用。因此, 在智慧工厂应用场景, 设计、研发基于 BPLC 的智慧工厂信息采集节点, 以其为网络末梢, 构建智慧工厂本地局域网络。

收稿日期: 2018-09-28; 修回日期: 2018-11-05。

基金项目: 陕西省基础科学研究计划项目(2016JQ5106)。

作者简介: 霍永强(1975-), 男, 山西运城人, 学士, 工程师, 主要从事政企行业信息化设计、信息系统评测等方向的研究。

通讯作者: 何威(1988-), 男, 湖北广水人, 硕士, 主要从事通信设计、政企行业信息化设计与信息系统评测等方向的研究。

信息采集节点在智慧工厂工作时, 其通信性能会受到工厂车间内生产设备热噪声、老化线缆线路衰减等方面的影响。生产设备热噪声会干扰 BPLC 信号单位子载波的信号电平, 增大其通信失败率。再者, 工厂生产车间内大量生产设备的开启、状态调整、关停, 都会造成电力线等效输入阻抗的随机跳变, 无法与信号发生装置实现阻抗匹配, 从而造成信号的“多径衰落”。为了模拟智慧工厂生产车间内信息采集节点的分布结构、组网拓扑、中继路由和线路衰减情况, 测试信息采集节点的通信组网能力, 形成一套测试体系和检验标准, 本文搭建了一套智慧工厂信息采集节点组网能力测试平台, 可以评测信息采集节点的上线率、组网耗时、轮询耗时、中继深度和组网稳定性。通过在测试平台里更改信息采集节点之间的连接结构, 如星形、树形、环形等排列组合模式, 来达到信息采集节点试挂预演的目的。

1 组网能力测试平台模型

根据智慧工厂信息采集节点组网能力测试指标, 搭建的测试平台如图 1 所示。

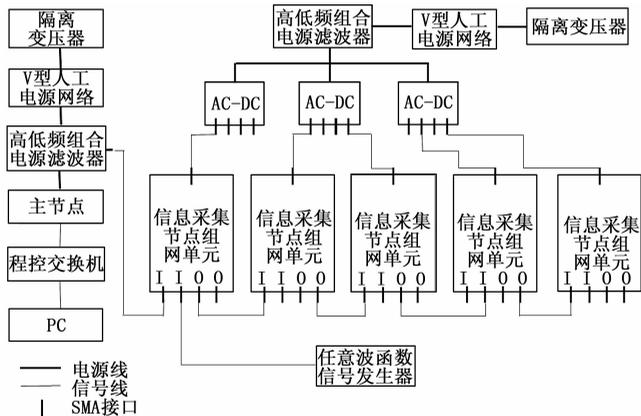


图 1 组网能力测试平台

智慧工厂信息采集节点的主节点作为智慧工厂本地域网络的中心网关, 具备组建、管理网络等功能, 它能够快速地处理从节点返回的信息, 实现电力线通信协议 DL/T645—2007 与 TCP/IP 协议报文的相互转换^[7], 以获得实时的工控数据并进行存储, 这些工控数据包括智慧工厂本地域网络内工业生产设备的拓扑结构关系表、网络地址和物理地址对照表等信息。从节点分散在智慧工厂生产现场的各个环节, 负责采集现场设备数据、监测现场环境和完成智能控制, 为工业生产的安全、高效提供保障。图 1 中, 隔离变压器可以阻绝低压配电网中的谐波因子和电力热噪声。V 型人工电源网络提供稳定的 50 Ω 输出阻抗^[8]。主节点通过以太网接口经程控交换机与现场管理 PC 连接完成海量数据的交互。程控交换机能够满足多个主节点同时工作, 以模拟智慧工厂内存在多个生产车间的场景。AC—DC 直流稳压电源的 4 个 12V 输出端口可以连接 4 个信息采集节点组网单元。每个组网单元均包含四行四列共 16 个从

节点测试插座和 1 个程控衰减器, 且具有两个输入端口 Input 和两个输出端口 Output, 用以模拟单车间信息采集节点的局部分布情况, 如图 2 所示。

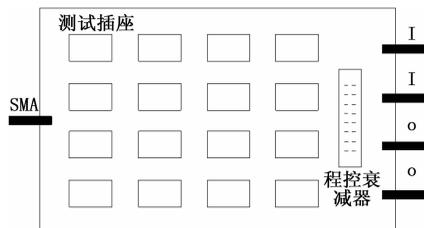


图 2 信息采集节点组网单元结构示意图

测试插座为从节点提供 12V 供电和 BPLC 信号耦合通信渠道且具有唯一的物理地址。每 2 个相邻的测试插座之间的线路衰减均为 5 dB。Input 端口可接收上一级组网单元的 BPLC 载波信号, 也可纳入任意波函数信号发生器产生的噪声。程控衰减器也可以产生 0/10/20/30/40 dB5 个档位的衰减, 用以模拟工业用电环境中信号在低压电力电缆中的传输衰减。组网单元由铝制外壳包装, 可有效屏蔽外界的射频信号干扰, 具有良好的电磁兼容特性。

BPLC 通信产品的信号电平峰值可以达到 14 dBm, 该电平值即便是经过 80 dB 的衰减器, 仍然可以成功通信^[8]。为了防止来自组网能力测试平台外的 BPLC 设备的信号干扰、隔离低压电力线信道中的背景噪声, 在组网能力测试平台中设计了高低频组合电源滤波器, 该滤波器由“高频+低频+高频”3 个电源滤波器组合而成, 可全方位地滤除 120 KHz~40 MHz 的通信信号。为了验证高低频组合电源滤波器的滤波性能, 按照图 3 搭建了组合滤波性能测试回路。

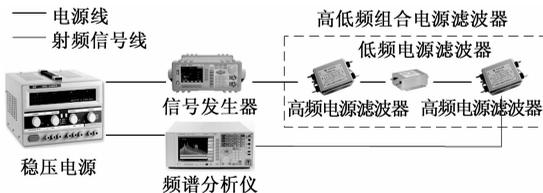


图 3 高低频组合电源滤波器性能测试回路

手动操作调整信号发生器输出工作频段 1~30 MHz、幅值 20 V_{pp} 的标准正弦波扫频信号。经过能量单位换算, 得到该扫频信号的电平值为 23.3 dBm。设置频谱分析仪的接收频带为 0~34.5 MHz, 参考电平 -10 dBm^[8]。然后将接收的标准正弦波扫频信号进行最大化保持, 如图 4 所示。

由图 4 看出, 工作频段为 1~30 MHz 的标准正弦波扫频信号已经被测试回路的底噪所覆盖。从频谱分析仪上读取当前测试回路底噪的电平均值约为 -73 dBm。通过计算可知, 标准正弦波扫频信号被本测试平台的高低频组合电源滤波器至少衰减了 96 dB, 该数值已经超过 BPLC 通信产品接收灵敏度的极限值^[8]。如此, 组网能力测试平台内的 BPLC 信号无法向外分流或逃逸, 只能按照指定的测试线路

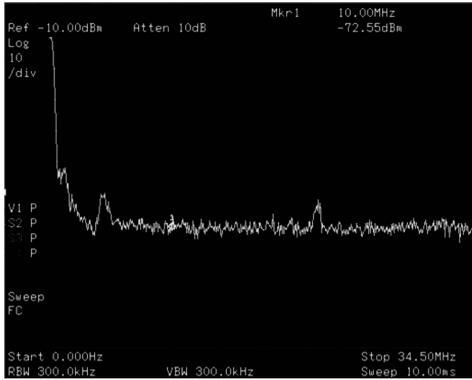


图 4 扫频正弦波信号频谱特性图

传输。

2 工控上位机测试软件

根据 Visual Studio 开发环境的部署与智慧工厂对环境监测、能效管理和安防保护、工业设备管理与控制等功能点的需求,设计的工控上位机测试软件如图 5 所示。

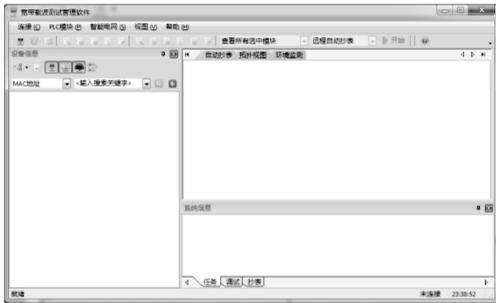


图 5 工控上位机测试软件初始化功能界面

工控上位机与主节点相连。主节点独立且具有唯一的物理地址,从节点分布在智慧工厂生产车间的各个角落,地址各不相同且唯一。在图 5 中,设备信息栏包括设备 MAC 地址、编号、设备类型、描述、TEI、Firmware 版本号和软件版本信息。主界面包括自动抄表、拓扑视图和环境监测三大功能模块。自动抄表功能模块显示采集的智慧工厂水、电、气、热表计的表号、采集时间等信息;拓扑视图功能模块显示当前生产车间内主节点和从节点的组网拓扑机构,可以直观地查看信息采集节点的组网中继深度和级联形式;环境监测功能模块显示智慧工厂生产车间当前的温湿度、LED 控制、电器开关和报警开关等信息。系统信息栏目显示信息采集节点的工作执行情况和耗时时间。

3 测试方法

考虑到 BPLC 信号在工业用电环境中传输时,会受到多径衰落以及某些频点的脉冲噪声、热噪声的冲击、覆盖的影响,造成一定程度的信号衰减。为了模拟该部分影响,调节程控衰减网络的初始衰减值为 20 dB,以降低信息采集节点 BPLC 信号的初始电平^[9-11]。待组网能力测试平台内的测试设备上电后,在工控上位机测试软件上观察、记录从

节点的上线率、组网耗时和中继深度。

至上线的信息采集节点稳定组网后,可以调节信息采集节点组网单元内程控衰减器的衰减值来模拟信号的传输衰减或者操作任意波函数信号发生器向信息采集节点组网单元内输入噪声信号以模拟众多工业生产设备启动、关断以及正常运行时产生的干扰信号,进而测试信息采集节点的组网稳定性^[12-15]。随后,启动工控上位机测试软件控制主节点经高低频组合电源滤波器的 SMA 接口向级联的信息采集节点组网单元下发控制命令,统计成功率和轮询耗时。

记录信息采集节点组网单元在不同情形下的测试数据。

4 测试结果分析

在图 1 所示的组网能力测试平台上,根据本文提到的测试方法,选取主节点 1 个、从节点 67 个。待系统的测试环境配置成功后,在 PC 上启动工控上位机测试软件,向主节点下发控制命令,主节点通过将控制命令经电力线通信协议 DL/T645-2007 与 TCP/IP 协议相互转换后,广播发送至 67 个分散在组网能力测试平台上不同组网单元中的从节点。在工控上位机测试软件的 UI 界面得到信息采集结果如图 6 所示。

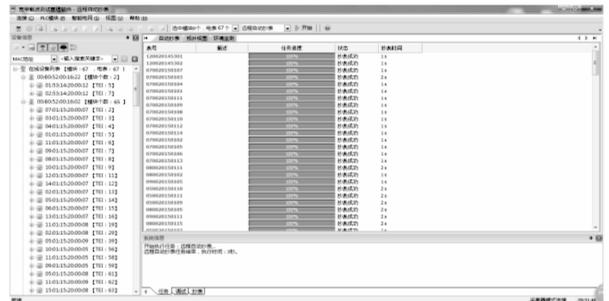


图 6 工控上位机测试软件功能测试图

从图 6 可以看出,工控上位机测试软件轮询采集 67 个从节点的信息仅耗时 3 s,采集成功率 100%。点击图 6 主界面上的“拓扑视图”按钮,呈现出的信息采集节点的组网情况如图 7 所示。

每个主节点的路由表中可以容纳 253 个从节点,为其分配设备端口号 (TEI)。每个从节点均具备信号中继转发功能,最多可以下挂 32 个子节点。在图 7 中,红色条形框为主节点的物理地址,蓝色条形框为起中继器作用的从节点的物理地址,黄色条形框则是普通从节点的物理地址。基于 BPLC 技术的信息采集节点具有组网自遍历和中继转发功能,可自动快速形成坚强的拓扑结构,并且具有路由记忆能力。

从图 7 可以看出,参与测试的 1 个主节点和 67 个从节点最大形成了 5 级树形组网结构的中继深度。第三级和第四级拓扑中的从节点数量较多,是因为信息采集节点组网单元内的从节点相邻并且电气距离值较小,易形成同级组网结构。

持续使组网能力测试平台带电运行 24 小时,分 6 次记录最大中继深度,如表 1 所示。

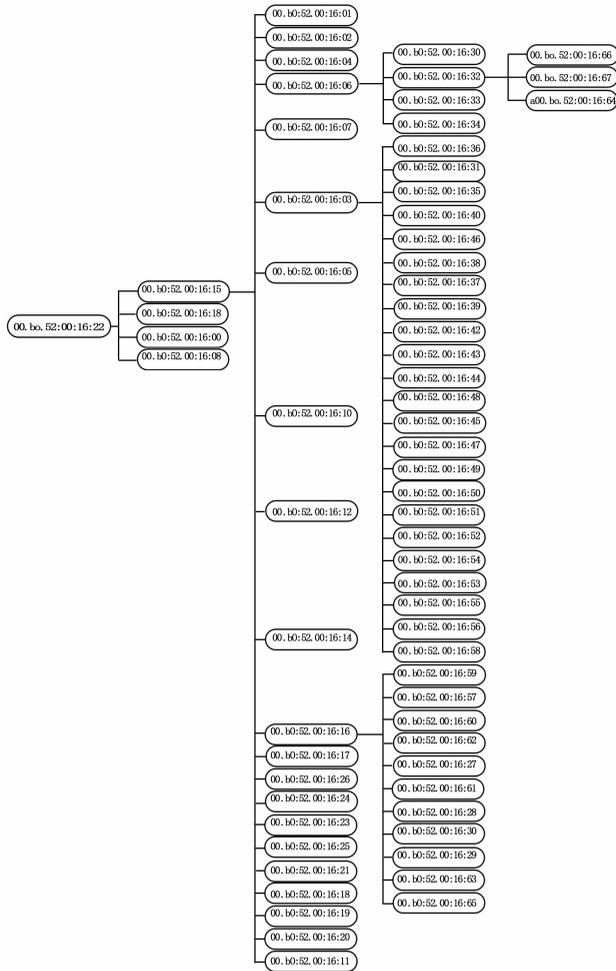


图 7 信息采集节点组网能力测试结果

表 1 组网能力测试平台组网级数记录

序号	时间	最大中继深度	上线率/%	组网结构变化
1	6:00	5	100	否
2	10:00	5	100	否
3	14:00	5	100	否
4	18:00	5	100	否
5	22:00	5	100	否
6	2:00	5	100	否

表 2 扰动情形下信息采集节点组网能力测试指标

序号	扰动因素		信息采集节点组网性能指标				
	程控衰减值/dB	干扰信号电平/dBm	上线率/%	组网耗时/s	中继深度	轮询耗时/s	组网稳定性
1	20	—	100	10	5	3	组网稳定,采集成功率 100%
2	20	-10	100	15	5	3	组网稳定,采集成功率 100%
3	20	-5	100	18	6	7	组网稳定,采集成功率 100%
4	20	3	0	—	—	—	全部掉线,无组网结构
5	30	—	100	12	5	5	组网稳定,采集成功率 100%
6	30	-10	83.60	27	5	10	有 11 个从节点掉线
7	30	-5	53.70	11	3	7	有 31 个从节点掉线
8	30	3	0	—	—	—	全部掉线,无组网结构
9	40	—	71.64	21	3	12	有 19 个从节点掉线
10	40	-10	0	—	—	—	全部掉线,无组网结构

由表 1 可知,在 24 小时的带电运行过程中,1 个主节点和 67 个从节点一直保持着最大 5 级的组网拓扑结构并且它们的上线率一直为 100%,并且它们的组网结构也未发生过变化。这既可以说明组网能力测试平台的测试环境稳定,不会因时间和外界用电环境的变化而产生异动,也可以说明信息采集节点的组网路由算法鲁棒性良好,易于维护。

使用工控上位机测试软件调节信息采集节点组网单元内程控衰减器的衰减量,同时操作任意波函数信号发生器输出不同等级的干扰信号,待系统稳定后对从节点进行信息采集轮询,分别记录信息采集节点的上线率、组网耗时、中继深度、轮询耗时和组网稳定性等测试指标,如表 2 所示。

在表 2 中,对比第 1~第 4 组测试数据可知,当设定程控衰减器的衰减量为 20 dB 时,逐渐增大任意波函数信号发生器输出的干扰信号电平,信息采集节点的组网耗时、中继深度、轮询耗时和组网稳定性都会受到不同程度的影响。当程控衰减量为 20 dB 且干扰信号电平为 -5 dBm 时,信息采集节点组网单元内的大部分从节点已无法通过直接的点对点通信实现信号的交互,某些从节点已充当着中继器的作用实现信号的中继转发,从而加大了组网结构的中继深度,使得轮询耗时也随之加长。而当程控衰减量为 20 dB 且干扰信号电平为 3 dBm 时,被衰减的 BPLC 信号已湮没在高电平的噪声信号中,导致信息采集节点组网单元内的从节点全部掉线,无法形成组网结构。

对比第 1、第 5 与第 9、第 2、第 6 与第 10、第 3 与第 7、第 4 与第 8 组测试数据可知,在同样的干扰信号电平等级的基础上,增大程控衰减量,也会不同程度地影响信息采集节点的上线率、组网耗时、中继深度、轮询耗时和组网稳定性。当程控衰减量为 30 dB 且干扰信号电平为 -10 dBm 时,如此的扰动已影响 11 个从节点掉线,使得上线率降为 83.60%,56 个从节点的组网耗时和轮询耗时也因扰动因素较强而延长。对比第 6 与第 7 组测试数据,随着干扰信号电平的进一步增强,更多的从节点掉线,组网结构的中继深度因从节点的减少而变浅。36 个从节点的组网耗时和轮询耗时也因从节点的减少而降低。