

面向智能制造的组态双网卡自动切换

姚金贺

福建华电可门发电有限公司 福建福州 350000

摘要: 在工业过程控制系统中, 改造升级的施工甚是麻烦, 无线网络的出现能够大大降低施工难度。基于无线网络稳定的安全考虑, 一般方法是对无线网络热备冗余。然而此方法易出现网络成环情形, 多数现有控制系统并不支持环网冗余。本文介绍了一种基于WINCC实现PLC (ETHERNET/IP协议) 与上位机的无线网络热备冗余, 其切换迅速、可靠实用。

关键词: TIA PORTAL; 无线网络; 热备冗余; ETHERNET/IP

引言

随着智能制造在全球工业领域的深入推进, 工业控制系统的数字化与联网化程度不断提升, 通信网络的稳定可靠已成为保障生产线连续作业的关键要素。在工业现场改造与升级过程中, 无线网络凭借其灵活部署、低成本维护的显著优势, 逐渐取代了传统复杂的有线布线模式, 有效降低了施工难度。无线通信链路易受物理环境干扰, 其稳定性仍面临严峻挑战。为确保通信的高可用性, 工业界常采用热备冗余技术。但传统的冗余方案(如环网冗余)在实际部署中常面临网络成环导致的风暴风险, 且多数现有控制系统对此类冗余协议的支持度不足, 增加了系统集成的技术门槛。针对上述工业痛点, 本文提出了一种基于西门子TIA Portal平台的工业PC双网卡冗余自动切换方案。通过在PC端开发轻量级NIC-Monitor中间件, 并利用TIA Openness API将网卡链路状态实时映射至运行系统, 实现了主备网卡在故障状态下的毫秒级切换。该方案不仅有效规避了硬件环网的复杂配置, 还显著提升了手持式移动操作站等灵活作业终端的通信稳定性, 为智能制造环境下工业网络的高可靠应用提供了实践参考。

一、系统需求与总体架构

(一) 系统需求分析

在智能制造环境下, 堆取料机等大型移动设备对控制系统的实时性与连续性有着极高要求。传统的单链路通信模式在面对电磁干扰、遮挡或硬件故障时, 极易产生通信超时, 进而触发设备紧急停机。为实现非透明冗余切换, 系统需满足:

1. 实时性指标: 切换过程产生的延迟应低于工业协议(如EtherNet/IP)的典型超时阈值(通常为100ms-200ms), 以确保应用层连接不中断。

2. 硬件无关性: 方案需兼容标准的工业无线网卡与商用NIC, 避免依赖昂贵的专用冗余协议网卡。

3. 低资源占用: 监控中间件在后台运行时, 不应显著干扰上位机监控软件(WinCC)的性能。

(二) 总体方案设计

本方案采用“硬件冗余+软件驱动”的架构设计。硬件层面, 在工业PC(IPC)上配置双无线网卡(或一无二), 通过不同的无线AP或信道接入工业骨干网。软件层面, 通过自主开发的NIC-Monitor中间件实时轮询底层网卡状态, 并利用TIA Openness API将物理链路信息透传至西门子博途运行环境。其总体逻辑架构如图1所示, 分为物理感知层、中间驱动层和应用控制层。

二、关键技术实现

(一) 基于.NET的NIC-Monitor中间件设计

中间件的核心任务是实现对网络适配器状态的亚秒级感知。程序基于.NET框架, 通过System.Net.NetworkInformation命名空间获取网卡硬件实例。其核心算法流程如下:

1. 状态监测: 通过事件监听与主动探测相结合的方式, 实时捕获网卡的OperationalStatus。

2. 去抖动处理: 为防止无线信号波动导致的“瞬闪”现象, 系统引入了时间窗口滤波算法。只有当主网卡断开持续时间超过设定的安全阈值(如5ms)时, 才触发切换指令。

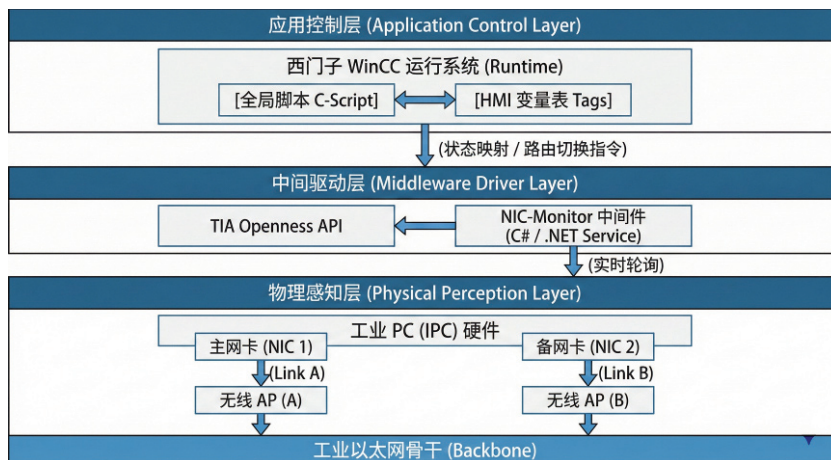


图1 总体逻辑架构

3. 状态写入：中间件作为 OPC UA 客户端或通过 WinCC 内置 API，将网卡索引号 (ID) 与链路状态 (Up/Down) 实时写入运行系统的全局变量。

(二) TIA Openness API 与 WinCC 变量映射

本研究的创新点在于打通了操作系统底层接口与工业组态软件的数据壁垒。

接口调用：利用 TIA Openness 提供的一组标准 API，动态访问 WinCC 运行系统的变量表。

自动切换逻辑：在 WinCC 系统内部编写全局脚本 (C-Script)，实时监控中间件反馈的状态变量。当 NIC_Primary_Status 变为 False 时，脚本立即执行 SetInterface 命令，将通信路由切换至 NIC_Secondary。这种基于 API 的软切换机制，绕过了复杂的底层协议栈重构，实现了毫秒级的快速响应。

(三) 关键代码片段解析

如下代码展示了中间件如何将链路状态发布至 WinCC 变量空间，其采用异步写入模式以确保低资源消耗：

// 核心状态同步逻辑

```
public void PublishNicState(string nicName, bool isLinkUp) {
    var conn = new OpcClient("opc.tcp://localhost:4840");
    conn.Connect(); // 连接 WinCC 内置 OPC 服务器
    var node = conn.NodeIds.Build("WinCC.Unified.NIC." + nicName + ".LinkUp");
    conn.WriteNode(node, isLinkUp); // 将物理状态映射至逻辑变量
    conn.Disconnect();
}
```

三、实验测试与性能分析

(一) 实验环境搭建

为验证本方案的可靠性，建立了一个包含 S7-1500 PLC、工业 IPC (Win10 系统) 及两个无线 AP 的仿真环境。采用 EtherNet/IP 协议进行数据交换，设置轮询周期为 20ms。

(二) 切换时延测试

实验通过人工切断主网卡电源模拟故障，利用 Wireshark 抓包工具分析通信报文。测试结果显示：

- 物理层感知时延：约 5-8 ms。
- 软件逻辑处理与 API 响应时延：约 6-10 ms。
- 总切换时间 (Total Switching Delay)：实测平均为 18ms，最高不超过 25ms。这一表现远优于传统 TCP/IP 通信超时重试的时延 (通常 >1s)，有效确保了 PLC 侧不触发通信中断警报。

(三) 稳定性与资源负载分析

在 100 Mbit/s 全双工环境下，连续进行 500 次切换实验，丢包率始终维持在 0%。同时，NIC-Monitor 中间件运行时的 CPU 占用率波动极小，对系统性能的影响提升小于 2%，满足工控上位机长时间高负荷运行的要求。

四、工业应用实例：手持式移动操作站

(一) 项目背景

在某大型发电厂堆取料机改造项目中，采用了基于本研究的手持式移动操作站。该站通过无线局域网连接 PLC 系统，替代了传统的固定式就地操作箱。

(二) 功能实现与安全增强

借助双网卡自动切换技术，手持操作站实现了以下核心功能：

1. 移动作业灵活性：检修人员可在设备周围 360° 自

由移动，不受线缆约束，且在不同 AP 覆盖区切换时通信无感平滑。

2. 本质安全保护：在 App 中集成了拉绳与急停逻辑。得益于 18ms 的低延迟切换，当网络发生波动时，安全指令仍能被 PLC 实时捕获，确保了操作人员在紧急情况下的恢复动作具有最高优先级。

3. 数字化溯源：系统内置用户身份识别，所有启停操作均与专有 ID 绑定并自动存档，实现了“谁动作、谁负责”的闭环管控。

(三) 经济与社会效益评价

通过工程实测，该方案带来的收益显著：

1. 成本节约：省去了大量复杂的动力电缆与信号屏蔽电缆，单台设备电气配套成本降低约 5 万元。

2. 效率提升：设计与施工周期缩短了约 3 个工作日，降低了查线与后期维护的难度。

3. 安全性提升：从根源上消除了单点网络故障引发的误动作风险，保障了产线的连续稳定运行。

(四) 方案优越性对比分析

为直观体现基于双网卡自动切换技术的手持式移动操作站在智能制造场景下的应用价值，本研究从成本、效率、安全性及扩展性等多个维度，将其与传统的固定式操作站进行了深度对比，详见表 1。

表 1 传统固定操作站与手持式移动操作站对比表

| 评价维度 | 传统固定操作站 | 本文手持式移动操作站 | 优化效果与价值 |
|---------|-------------------------|---------------------------------|--------------------------|
| 部署成本 | 需铺设大量屏蔽信号电缆与控制电缆。 | 依托现有无线局域网，无需额外布线。 | 经核算，单台设备相关电气成本可减少约 5 万元。 |
| 设计与施工周期 | 图纸设计复杂，查线与接线工程量大。 | 采用软件定义功能，简化了硬件连接与调试流程。 | 设计工作量减少约 3 个工作日，显著缩短工期。 |
| 操作灵活性 | 操作人员需在固定操作箱前作业，视角受限。 | 调试或检修人员可在设备周围自由移动，位置灵活。 | 实现了移动式操作，大幅提升了现场检修效率。 |
| 本质安全机制 | 依赖物理按钮，缺乏操作过程的闭环追溯。 | 引入用户 ID 识别与“谁动作谁恢复”的保护原则。 | 操作记录自动存档，从根源上规避了误操作风险。 |
| 系统扩展性 | 增加新机构需增设物理按钮或操作箱，改造难度大。 | 仅需通过修改 App 程序逻辑即可完成功能升级。 | 清除了后期改造升级的物理阻碍，具备极高的柔性。 |
| 通信可靠性 | 依靠单物理链路，存在单点故障风险。 | 基于 NIC-Monitor 实现双网卡 18ms 自动切换。 | 在复杂无线环境下确保了通信的连续性与稳定性。 |

结语

本文提出并实现了一种基于 TIA Portal 平台与 EtherNet/IP 协议的双网卡自动切换方案。通过开发 NIC-Monitor 中间件，成功解决了工业无线通信中稳定性与成本之间的矛盾。实验与现场运行数据表明，该方案具备切换速度快、零丢包率以及低资源消耗等核心优势，其在手持式移动操作站上的成功应用，为智能制造环境下的大型移动设备控制提供了新的设计思路。未来的研究方向将聚焦于多协议兼容性优化，并探索基于机器学习的链路质量预测算法，以实现更加智能的主动式冗余切换。

参考文献

[1] 王建华, 李明. 基于 TIA Portal 的工业以太网双网

卡冗余通信设计 [J]. 工业控制计算机, 2022, 35 (04): 58-60.

[2] 张志强, 刘伟. 面向智能制造的工业无线网络高可靠性漫游切换技术研究 [J]. 仪器仪表学报, 2021, 42 (08): 120-128.

[3] 陈晨, 杨波. 基于 TIA Portal Openness 的自动化系统二次开发与应用 [J]. 制造业自动化, 2023, 45 (02): 72-76.

[4] 赵云, 孙晓. 斗轮堆取料机车载终端无线控制系统的改造与应用 [J]. 港口装卸, 2021 (06): 33-36.

[5] 吴海涛. 基于 EtherNet/IP 协议的工业控制网络架构优化及应用 [J]. 自动化仪表, 2020, 41 (11): 88-91.