通信技术

EtherCAT 组织、通信协议与技术应用

随着网络技术、通信技术、信息技术等的进一步发展，实时以太网技术在工业领域得到了广泛的应用，EtherCAT 一直保持其协议底层的一致性和稳定性，并致力于该技术的开放性和适用范围，不断满足工业现场通信的要求。

文 | 李玉敏，机械工业仪器仪表综合技术经济研究所技术推广中心教授级高工 / 研究员

EtherCAT 技术是由德国倍福(Beckhoff) 公司研发的一种开放架构的实时以太网标准，已被纳入 IEC 61158、IEC 61784 以及 ISO 15745-4 国际标准。EtherCAT 国际组织致力于 EtherCAT 技术的开发、推广和应用，2007 年在国内成立了 ETG 中国代表处，目前中国会员已超过 400 家，其中很多本土公司推出了多种 EtherCAT 产品和系统，以满足国内工业用户实现各种自动化任务的需求，目前已在风电、激光切割、机床、机器人、智能电网、物流系统、超高速包装机、自动化装配线、测试系统及电子设备等方面具有很多成功案例。

全国工业过程测量控制和自动化标准化技术委员会（SAC/TC124）秘书处将 EtherCAT 标准转化制定为中国国家标准，并经中华人民共和国国家标准 2014 年第 22 号公告正式批准为 GB/T 31230.1 ～ .6-2014《工业以太网现场总线 EtherCAT》。2014 年在中国建立了 EtherCAT 一致性测试中心，为国内自动化用户应用与开发 EtherCAT 产品创造了条件。

EtherCAT 技术组织

EtherCAT 技术协会（EtherCAT Technology Group，简称 ETG）是为来自于各种工业领域的主要用户公司和领先的自动化设备制造商提供的平台，旨在共同支持，推广及发展 EtherCAT 技术。

EtherCAT 是开放的技术。ETG 目标是保证每一个对该技术感兴趣的公司都可以实施和应用 EtherCAT。因此为了降低技术的实施和应用门槛，ETG 采取免费的会员入会政策，完全免费的技术支持，培育了更多的国内外公司在 EtherCAT 主站和从站的成功实施和应用。同时，ETG 通过定义功能需求、一致性测试来保证 EtherCAT 实施的兼容性以及认证流程。

EtherCAT 通信协议与技术特点

EtherCAT 以太网现场总线一网到底，协议处理直达 I/O 层；无需任何下层子总线；无网关延迟；单一系统即可涵盖所有设备。

数据刷新时间

百兆全双工以太网，传输速率 2 × 100 Mbit/s；

256 数字量 I/O：11 s；

分布于 100 节点的 1000 开关量 I/O：30 μs；

200 模拟量 I/O（16 bit）：50 μs，采样率 20 kHz；

100 伺服轴（每个 8 Byte IN+OUT）：100 μs；12000 数字量 I/O：350 μs。

数据传输机制 “on the fly”

主站将整个系统中不同设备需要交换的数据通过一个以太网帧传输，在帧的传输过程中，经过寻址的从站时，过程数据被提取或插入。通信完全在硬件中完成，性能最优，可预测。

分布时钟

精准同步（<<1 μs）——通过分布时钟的精确校准实现；例如，在同一个系统中两个独立的设备，间距 300 个节点，线缆长度 120 m：其同步性能为 20 ns，抖动为 15 ns。

工业以太网特性

EtherCAT 采用标准以太网帧：IEEE 802.3；可替换为 UDP/IP（若需要 IP 路由）；保持标准的以太网帧；对 TCP/IP

完全透明且不影响系统的实时性能。

灵活性

拓扑灵活性：支持各种拓扑结构；每个EtherCAT网段可容纳65 535个节点；

物理层灵活性：网线100BASE-TX；光纤100BASE-FX；LVDS；并允许任意数量的物理层改动。

应用简单

- 自动实现拓扑对比；
- 精确定位故障；
- 网络性能与从站实施及拓扑结构无关；
- 无需手动编址：自动进行地址配置；地址可被保留。

成本更低

- 主站——无需专用插卡（辅助处理器）；主板集成的网口即可满足要求；
- 从站——低成本从站控制器，FPGA或ASIC；无需功能强大的微处理器；
- 基础设施：无需交换机/集线器；标准以太网线缆和接头。

此外，因为EtherCAT是充分开放的技术，市场上有很多家不同类型的产品提供商，从而使得用户具有更好的议价能力，降低成本。

实施轻松

从站的实施：所有实时性相关功能都由ASIC或FPGA实现——ESC硬件中处理实时协议；

主站的实施：可采用主站样本代码（源码）；EtherCAT配置工具；ESI和ENI的XML文件格式。

功能安全

- 为在EtherCAT安全设备间传输安全性过程数据，Safety over EtherCAT（FSoE）定义了一个安全通讯层。该协议是开放技术，基于IEC 61508开发，因此满足安全完整性等级（SIL）3；残留误差概率R（p）$<10^{-9}$；该协议获得独立的TÜV认证。
- 经认证的Safety over EtherCAT产品从2005年开始上市。

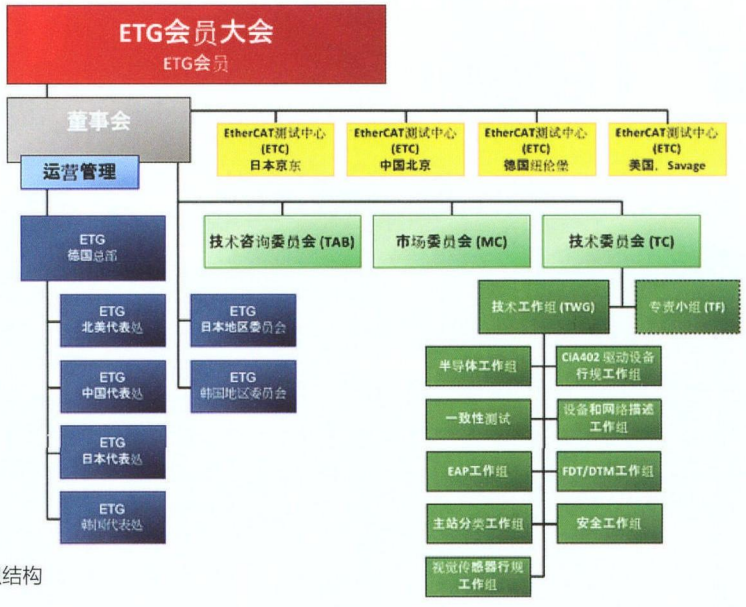

图1 ETG的组织结构

EtherCAT技术应用案例

第一个案例是EtherCAT在A380机翼的测试系统的应用。A380机翼的测试系统采用了倍福公司（Beckhoff）的EtherCAT系统。该测试涵盖了飞机在飞行不同阶段中可产生“额外提升力”的所有相关功能部件，通过对计算机控制的模拟，可以对一些特定的项目进行研究。空客公司高升力系统规模大，系统中的数字/模拟量信号超过500点，其中包括大约100个来自不同控制电路和检测电路的执行信号。所有的I/O数据都通过Beckhoff的EtherCAT端子系统进行处理。

第二个案例是EtherCAT技术在机器人控制器中的应用。在2010年，KUKA公司KR C4机器人控制器采用高速、高确定性的工业以太网EtherCAT作为其KR C4机器人系列控制器的系统总线，采用开放的标准实现顶级的性能。

在机器人控制器中，不同组件（如伺服驱动器、位置变送器）之间的数据传输复杂，必需实施一种能满足更高实时要求的控制任务。内部设备必须进行安全技术和控制设施的数据交换。

与其他实时以太网技术相比，EtherCAT主站无需特殊硬件，仅要求标准的网口及接头，PC即可满足要求。而EtherCAT的传输机制使得以太网的带宽利用率接近100%，因此可以将之前很多在硬件中实现的功能转移到PC软件中实施，提高效率及灵活性，并降低了成本。同时，因为EtherCAT可无缝集成其他现场总线，方便来自不同厂商的不同总线接口的产品集成到EtherCAT主干网中。同时，EtherCAT的安全协议FSoE可以通过EtherCAT或其他协议进行通信。此外，市场上众多的EtherCAT从站设备可满足多种不同的新工业方案。而另一个优势是：从最初发布时至今，EtherCAT标准、协议和ASIC芯片从未改变，从而保持了非常好的稳定性。

2010年采用了EtherCAT的KUKA控制器成功实现了在所有机器人中的应用。除了KR C4机器人控制器外，新的KR AGILUS机器人和LBR iiwa轻型机器人配备的紧凑型控制器也基于EtherCAT技术实现。总之，在KUKA机器人控制器计划中，仍把EtherCAT作为一项基础技术实施。

最后一个案例是沈阳机床对EtherCAT技术的应用。沈阳机床自主研发的i5智能数控平台使用公司自主开发的基于EtherCAT的数控系统，包括主站，高性能伺服驱动器和通用IO操作单元。选择EtherCAT最主要的决定因素是EtherCAT优越的性能、开放性以及广泛的产品选择，由于采用了ETherCAT，i5数控系统提高了竞争力，机床性能提升从而节约了时间，降低了生产的时间和成本，机床使用更为方便、灵活。MM