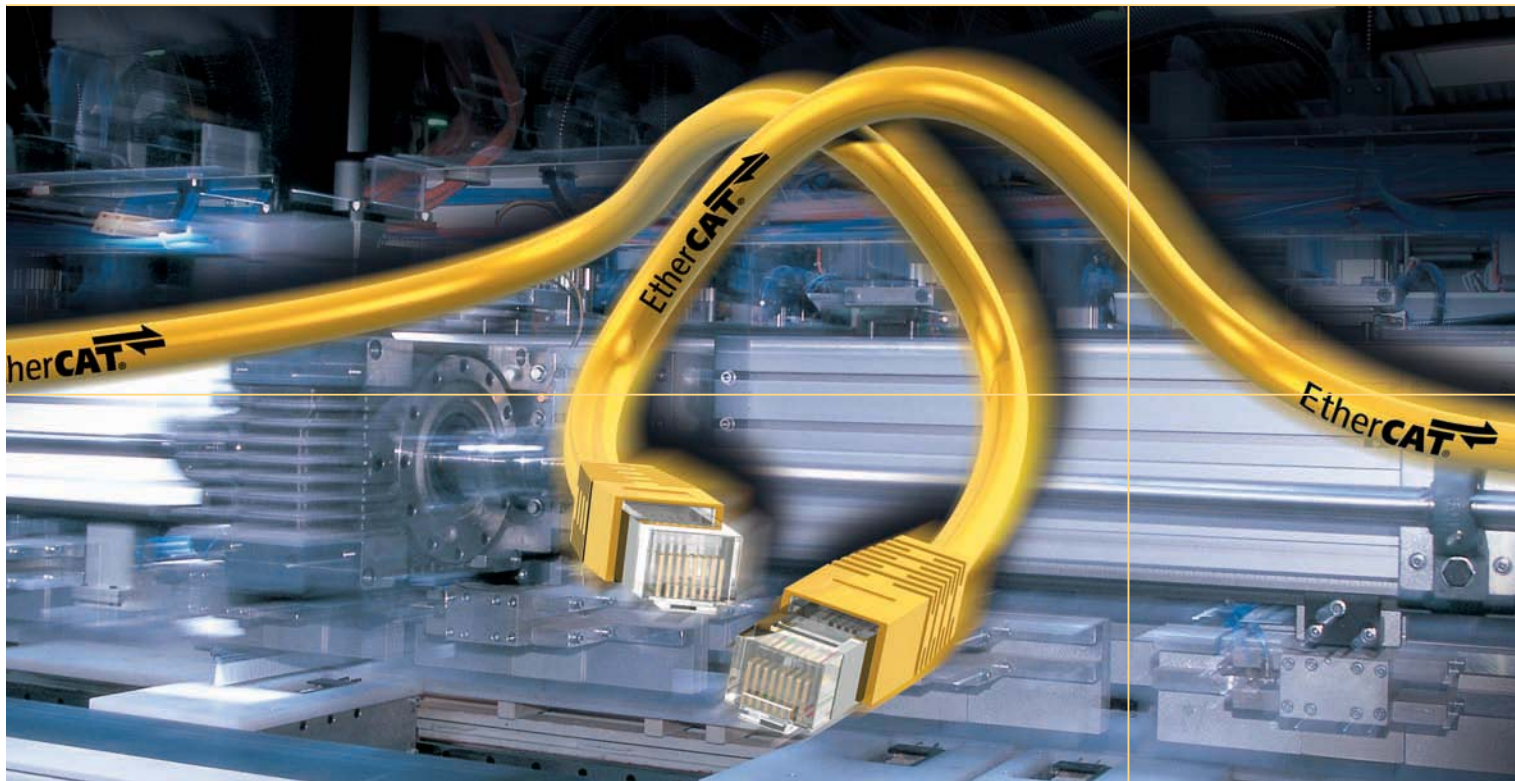


# 工业以太网现场总线

# EtherCAT®



# ■ 目录

2 EtherCAT 技术协会



3. EtherCAT 的优越性



4. 用户和厂商感言



6. EtherCAT 技术协会



8. EtherCAT 技术介绍及发展概貌



18. EtherCAT 的实施

| 主站

| 从站



22. 一致性与互操作性



24. EtherCAT 的功能性安全 — Safety over EtherCAT



26. 为何厂商和用户选择 EtherCAT?



28. 联系方式



## ■ EtherCAT的优越性

EtherCAT 技术协会 3

### ■ 更快的通讯速度

- | 是当今速度最快、同步特性最为卓越的通讯系统
- | 网络性能与拓扑结构无关
- | 无需任何底层子系统
- | 满足当今和未来的技术需求

### ■ 良好的性价比

- | 系统价格与现场总线相当，甚至低于现场总线的成本
- | 无需专用主站卡，仅需主板集成的 MAC 口或价格低廉的标准网卡
- | 高度集成的从站控制器降低接口成本
- | 无需专用的有源基础组件

### ■ 轻松实施EtherCAT技术

- | 实时通讯协议在硬件中进行处理
- |  $\mu\text{C}$  性能由设备应用需求决定——与总线协议无关
- | 无需  $\mu\text{C}$  即可实现简单的 I/O 从站
- | 可直接购买通用从站接口模块
- | 可直接购买从站评估板和主从站堆栈

### ■ 更为易用

- | 无需手动设置地址
- | 无需配置交换机
- | 自动实现功能配置
- | 精确定位诊断

### ■ 灵活的拓扑结构

- | 支持所有拓扑结构：线型、树型、星型和环型
- | 节点、交换机、集线器无级联限制
- | 每个网段最多可容纳 65535 个从站
- | 可实现冗余、热连接和热交换

### ■ 多种机制

- | 支持主站/从站、从站/从站和主站/主站之间的通讯
- | 用于传输过程数据和参数数据的周期与非周期服务
- | 适合集中式与分布式控制体系
- | 可用于设备控制、机器人、嵌入式系统、楼宇自动化、运输系统等

### ■ 真正的工业以太网

- | 采用标准的以太网帧
- | 全面支持因特网技术
- | 可实现 HTTP、FTP、TCP/IP，而不影响实时性能
- | 垂直集成，简单方便

### ■ 以太网融合安全功能

- | 同一网络可融合功能性安全和标准自动化应用
- | 遵循国际安全标准 IEC61508 协议
- | 适合用于实现安全 I/O 和安全驱动
- | 可通过网关和现场总线系统路由

### ■ 技术完全开放

- | 技术全面开放
- | 由全球最大的工业以太网协会负责技术支持
- | EtherCAT 是 IEC、ISO 和 SEMI 规范
- | 支持与现有常用的设备行规

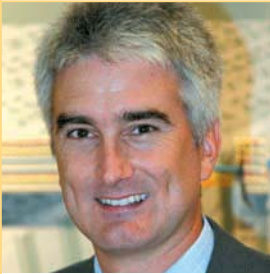
### ■ 经受实践考验

- | 2003 年以来，已应用于各项目中
- | 广泛应用于各行业
- | 可在多种类型的控制器和操作系统上实施
- | 丰富的产品类型



## ■ 用户和厂商感言

4 EtherCAT 技术协会



### ■ 德国倍福技术市场总监，EtherCAT 技术协会主席，Martin Rostan 先生：

“ETG 强劲的增长势头反映了人们对 EtherCAT 技术的浓厚兴趣。制造商和用户都已认识到 EtherCAT 所具有的众多益处，包括前沿的性能、灵活的网络拓扑结构、简易的配置、低廉的成本等。虽然成员数量是衡量一个技术协会成功与否的重要标准，但这并不是决定性的标准。技术能够被认知，并由此而推进产品开发和应用才是更加重要的。从这种意义上来说，EtherCAT 已取得了巨大成功。”



### ■ 美国应用材料公司控制部门工程部主任，Dmitry Dzilno 先生：

“我们实施 EtherCAT 并为此感到兴奋，该通讯技术可以通过一个以太网口同时连接现场总线扫描卡，数字运动放大器和高速 I/O，而原来这些需要多个 PCI 插槽才能实现。引入 EtherCAT 技术并不意味着要立刻放弃其它已经建立的现场总线系统，而是可以实现平稳过渡，尤其适用于苛求较高的运动控制的应用场合。”



### ■ Schuler SMG 公司控制系统部经理，ETG 董事会理事，Erich Hutflesz 先生：

“EtherCAT 使舒勒目前所有的应用都实现了快速驱动和液压控制。我们采用 EtherCAT 的另外一个关键原因是，由于 EtherCAT 性能优越，我们可以余出足够的力量解决今后复杂的控制任务，而不会出现反应速度方面的问题。除了技术的功能特性之外，自动化设备用户还非常重视设备组件的全面性和多样性。”

ETG 成立之后，短期之内便吸引了众多会员，并且已经有很多会员公司推出了相关产品。这些迹象均表明，EtherCAT 这项年轻的技术已获得巨大成功。归根结底，用户接受 EtherCAT 系统的主要因素是，EtherCAT 系统在配置和诊断方面的易用性和有效性。”



### ■ 日立产机系统股份公司，产品营销工程中心驱动系统部总经理，Kenichi Karigane 先生：

“EtherCAT 技术同样被日本市场广泛接受：主流的工业机械制造商都在将 EtherCAT 引入他们的机器。越来越多的基于 EtherCAT 的设备供应于市场势必带来潜在的 EtherCAT 应用案例的增长。相对于其他运动控制通讯技术，EtherCAT 因其高速性，良好的性价比及开放性成为我们最着力发展的运动控制系统的通讯协议，因此我们日立公司立刻发布了基于 EtherCAT 的直流伺服驱动系统，并继续扩充 EtherCAT 产品的阵容。”



### ■ ANCA Pty 公司总经理，Pat Boland 先生：

“ANCA 采用 EtherCAT 作为我们 CNC 设备的现场总线通讯标准主要基于三个原因。一是 EtherCAT 提供了丰富的有效带宽资源，这拓宽了我们的设计师自由设计的空间，增强了产品的可预见性和更长的生命周期。第二，EtherCAT 技术为我们提供了两种物理层的选择，可以连接低成本，坚固的电器连接和广泛选择的硬件组件。其次，这两种物理层使我们可以从更广的范围中选择成本更低、电气连接更坚固、可广泛采用的各种的硬件部件。”



### ■ Husky 注模系统有限公司控制工程部主任，Chris Choi 先生：

“EtherCAT 在设计时选择采用持久耐用且低成本的 PC 和以太网组件，确保了其技术的低成本性。这使得工程和投资决策偏向于重点使用它。在注塑领域，一个控制循环通常为 ms 级。EtherCAT 降至 100  $\mu$ s 级的控制周期使其成为注塑领域获得高性能的最有效的工业以太网协议。这改善了响应时间并使我们的客户大大受益：我们可以提供超出现有生产力的产品；生产出更高精度和更高质量的注塑零件。我们坚信 EtherCAT 是支持我们产品革新的正确技术。”



■ Beckhoff 自动化有限公司董事总经理，Hans Beckhoff 先生：

“当然，EtherCAT 非常适合基于 PC 的高速控制。主站无需插接卡，并可以通过非常简单的接口安装于现有的以太网控制器上。由于这一原因，EtherCAT 还非常适合中小型控制技术，这为分布式控制应用开辟了新的天地。此外，EtherCAT 也是 Beckhoff 系统架构的骨干通讯网络，所以我们非常高兴这项技术能够在全球取得成功。”



■ 北京航空航天大学教授、数控专家，郇极 教授：

“EtherCAT 具有通信效率高、速度快、数据容量大和使用方便的特点。实际应用证明，EtherCAT 非常适合作为数控机床控制系统与数字伺服装置之间的数字通信接口。在用于具有多轴多通道控制功能的高性能数控系统时，表现出很强的技术优越性。它能简化数控系统硬件结构，便于系统使用、安装和维护。”



■ 哈尔滨工业大学机器人研究所，孔民秀 先生：

“早期的工业机器人伺服控制中，从控制器到驱动器之间采用模拟量进行通讯，虽然没有时延，但是干扰严重，不利于环境复杂的工业现场应用，维护成本较高。因此高速通讯总线在工业机器人应用中应运而生，相比其他总线而言，EtherCAT 在作为能满足机器人伺服层通讯要求的高速通讯总线方面具有诸多优势，首先使其通讯的实施性保证，且这种实时性在随着从站节点数增加后，仍影响很小。这一点对于复杂机器人生产线多传感器信息融合，多机器人协调控制具有实质性意义。第二，其协议具有开放性，支持该协议的主流伺服厂商较多，机器人电气部件选择面较广，同时协议的开放性也为进行主站即机器人控制器的设计提供了便利。第三，其简便的扩展能力为解决复杂系统简单化打造了良好基础，为将专用单元集成复杂系统提供了最直接、最快捷的途径。”



■ 佛山市顺德工业与信息技术研究中心有限公司总经理，中国科学院计算技术研究所副研究员，陈冰冰 博士：

“EtherCAT 技术构思巧妙，在工业现场应用中具有良好的实时性能。它方便实现软 PLC 和软运动控制的集成；方便实现多驱动同步等应用，并且具备极高的同步精度。兼容现有以太网物理层，使得基于 EtherCAT 技术的网络化控制系统具备良好的兼容性、灵活性和可扩展性。从我们公司目前在中国广东的制造业装备整机客户应用情况来看，EtherCAT 技术帮助用户提升了传统装备的性能，减少了传统机械电器连线的数量，提高了装备的可靠性、可维护性。并且帮助客户实现了对机械装备控制系统和软件的版权保护，具有极高的性价比，从而受到客户的广泛青睐。同时，我们正在开发基于 EtherCAT 接口的工业自动化产品。EtherCAT 技术以其简便，易用，灵活，可靠等特点帮助我们在中国的制造业装备市场取得成功。同时也推动了中国制造业转型和升级的步伐。”



■ 昆山华恒焊接股份有限公司总经理，廖健雄 先生：

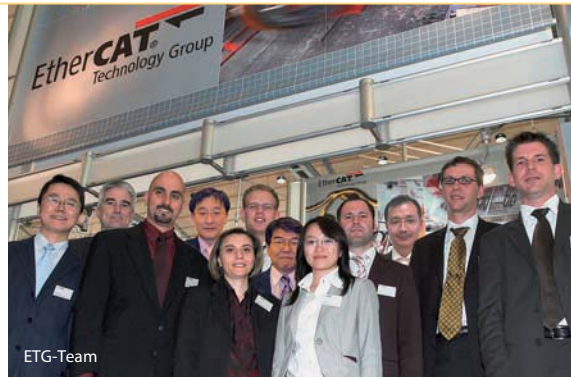
“EtherCAT 高效的通讯速度、卓越的同步特性，为高性能焊接系统的控制奠定了良好的技术平台，再者，它灵活的拓扑结构为高产能的结构件焊接车间的工厂自动化提供了许多解决方案。同时，EtherCAT 的工业以太网特性，使我们亦可通过 TCP/IP 等多种协议将设备的控制系统与上层管理系统对接，完成车间实时数据与上层数据库的交互。因此，我们相信 EtherCAT 将在中国以焊接为核心单元的工厂自动化中崭露头角。”



■ 中冶赛迪电气技术有限公司，研发部研发组主管，绳伟辉 先生：

“EtherCAT 完全能够满足电气传动控制系统中高速实时数据传输的需求。EtherCAT 工业以太网协议特别适用于灵活稳定、经济小巧、性能强悍的基于 PC 控制技术的开放式自动化系统。开放的 EtherCAT 协议，使得我们可以开发自己的 EtherCAT 从站，以适应冶金行业独特的应用环境要求。同时，我们直接采用第三方成熟可靠的 EtherCAT 主站，节省开发时间，并与我们自己开发的从站有很好的 consistency。”

## ■ EtherCAT 技术协会



6 EtherCAT 技术协会



EtherCAT 始终坚定认为，每个人都应有能力、有条件应用 EtherCAT 技术。ETG 为来自不同领域的终端用户、设备制造商和控制技术供应商提供了一个相互沟通交流的论坛，旨在支持和推广 EtherCAT 技术。ETG 广泛覆盖了来自多个工业领域的会员单位，以确保 EtherCAT 能够充分适应各类实际应用。根据他们的反馈，系统合作伙伴可以在各类设备中实现硬件和软件的简单元件集成。

ETG 技术委员会经常举行会晤，不断进行技术回顾，其下设的不同工作组重点讨论设备行规的集成、安全性、接线、标准化或一致性测试以及认证相关的不同主题。

在培训课程和研讨会中，ETG 都可以提供详细的技术信息。通过参加 Plug Fest 测试交流会，厂商可更好地提升其设备的交互操作性，同时获得产品实施的技术支持以及一致性测试及认证过程。ETG 办公室就 EtherCAT 协议技术咨询作出相关回答，提供营销援助，发布产品指南，举行新闻发布会并发表撰文，通过其网站和组织联合展览及展位来推广 EtherCAT 技术。

### EtherCAT 技术协会会员享受的权利

■ ETG 鼓励 EtherCAT 设备供应商的加入以便购买研发工具产品，得到实施方面的技术支持，获得自己的 EtherCAT Vendor ID 和一致性测试工具。EtherCAT 的最终用户也可通过加入 ETG 来展示他们对该项技术及其在工业中的应用的支持。

■ 会员有资格加入工作组，从而影响 EtherCAT 技术规范未来的发展。

■ 在 IEC 和 ISO 等国际标准委员会中，ETG 将努力维护其会员的权利和利益。

■ ETG 会员可以访问仅面向会员开放的 EtherCAT 网页，这些网页提供了尚处于研发阶段的规范、开发者论坛以及最新技术信息等内容。



国际电工委员会（IEC）管理委员会批准了 EtherCAT 技术协会与 IEC 委员会就数字通信的联络，从而 ETG 成为了标准化组织的官方合作伙伴。

以太网方案表示出的日益浓厚的兴趣。



### 国际标准

EtherCAT 规范是一个国际 IEC 和 ISO 标准：EtherCAT 是国际现场总线标准 IEC 61158（用于测量和控制的数字化数据通讯——应用于工业控制系统的现场总线）的组成部分。在 IEC 61784 第 2 部分中明确定义了 EtherCAT 设备类型。该标准中更新的第 3 部分包括了 Safety over EtherCAT 的安全规范，更新的第 5 部分涵盖了 EtherCAT 网络安装相关内容。ISO 15745 则进行了设备方面的描述。

### 会员发展情况

EtherCAT 技术协会创立于 2003 年，一直以来的快速增长使其成为世界上最大的工业以太网组织。ETG 是一个强大的国际组织，拥有全世界超过 1500 家成员公司，并保持强劲的增长态势，其会员公司来自于世界各地。ETG 在欧洲、亚洲和北美的办事处为当地会员公司提供支持和会员服务。当前的会员名单可以在 EtherCAT 的官方网站上查到。

IEC61800-7 是运动控制应用中尤为重要的标准。EtherCAT 被集成入该标准，并成为 SERCOS™ 和 CANopen™ 的驱动行规的标准通讯技术。

### 如何加入 ETG

ETG 的总部提供所有申请入会的必要信息，包括 ETG 的章程和申请表：info@ethercat.org

SEMI（半导体设备和材料国际组织）已经接受 EtherCAT SEMI 标准 E54.20，并认可 EtherCAT 在相关领域的应用。这样，主要的标准组织都回应了工业界对最高速的工

# EtherCAT 技术介绍及概览

本文深入阐述了基于以太网现场总线系统的 EtherCAT 技术。EtherCAT 为现场总线技术领域树立了新的性能标准，具备灵活的网络拓扑结构，系统配置简单，和现场总线系统一样操作直观简便。另外，由于 EtherCAT 的实施成本低廉，因此使系统得以在过去无法应用现场总线网络的应用场合中选用现场总线。

## ■ 引言

现场总线已成为自动化技术的集成组件，通过大量的实践试验和测试，如今已获得广泛应用。正是由于现场总线技术的普及，才使基于 PC 的控制系统得以广泛应用。虽然控制器 CPU 的性能（尤其是 IPC 的性能）发展迅猛，但传统的现场总线系统正日趋成为控制系统性能发展的“瓶颈”。此外，对于现场总线系统来说，整个系统的分层控制结构由几层子系统（通常是几层循环）构成：实际控制任务运算循环，现场总线循环，I/O 系统的本地扩展总线或仅仅是外围设备中本地固件程序循环。正常情况下，整个系统响应时间是控制器周期时间的 3-5 倍，这是一个不令人满意的解决方案。

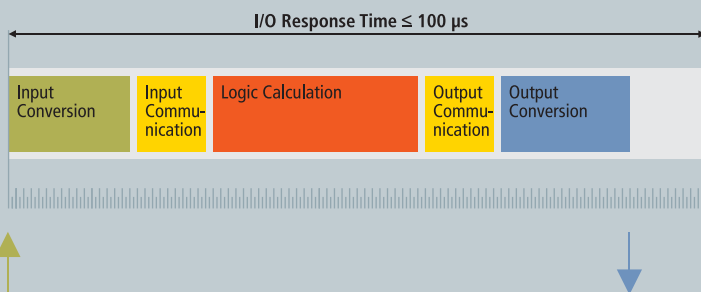
在现场总线系统之上的层面（即网络控制器）中，以太网往往在某种程度上代表着技术发展的水平。该方面目前较新的技术是以太网在伺服驱动或 I/O 级的应用，即过去普遍采用现场总线系统的这些领域。这些应用类型要求系统具备良好的实时能力、适应小数据量通讯，并且价格

经济。EtherCAT 可以满足这些需求，并且还可以在 I/O 级实现因特网技术。EtherCAT 控制器可以根据需求更新输入和/或输出数据。I/O 响应时间包括从物理层信号输入到物理层输出响应的所有硬件相关的延迟（IPC，EtherCAT 总线循环和 I/O 系统）。EtherCAT 可以使 PLC 层的响应时间  $\leq 100\mu\text{s}$ ，而这样的性能直到现在仅在伺服驱动器上用数字信号处理器（DSP）实现，见图1。

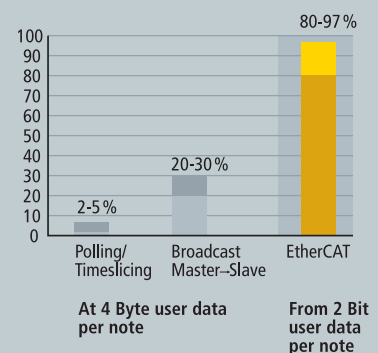
## ■ 以太网及其实时性能

目前，有许多方案力求实现以太网的实时能力。例如，CSMA/CD 介质存取过程方案，即禁止高层协议访问过程，而由时间片或轮循方式所取代的一种解决方案；另一种解决方案则是通过专用交换机精确控制时间的方式来分配数据包的传输。这些方案虽然可以在某种程度上快速准确地将数据包传送给所连接的以太网节点，但是，输出或驱动控制器重定向所需要的时间以及读取输入数据所需要的时间都要受制于具体的实现方式。

■ 图1：超短循环时间，I/O 响应时间 $<100\mu\text{s}$



■ 图2：带宽利用率的比较



如果将单个以太网帧用于每一个设备的数据传输，那么，理论上讲，其有效数据利用率非常低。例如，最短的以太网帧为 84 字节（包括内部的包间隔 IPG）。如果一个驱动器周期性地发送 4 字节的实际值和状态信息，并相应地同时接收 4 字节的命令值和控制字信息，那么，即便是总线负荷为 100%（即：无限小的驱动响应时间）时，其可用数据率也只能达到  $4/84=4.8\%$ 。如果按照  $10\mu\text{s}$  的平均响应时间估计，则有效数据利用率将下降到 1.9%。对于向每个设备都发送一个以太网帧（或每个设备都返回一个以太网帧）的实时以太网方案而言，都存在这些限制，不管以太网帧内部使用什么协议。

### ■ EtherCAT运行原理

EtherCAT 技术突破了其他以太网解决方案固有的局限性：一方面，无需像其它方案那样接收以太网数据包，将其解码，之后再将过程数据复制到各个设备。EtherCAT 从站设备在报文经过其节点时读取带有相应寻址信息的数据；同样，输入数据也是在报文经过时插入至报文中（参见图 3）。整个过程中，报文只有几纳秒的时间延迟。

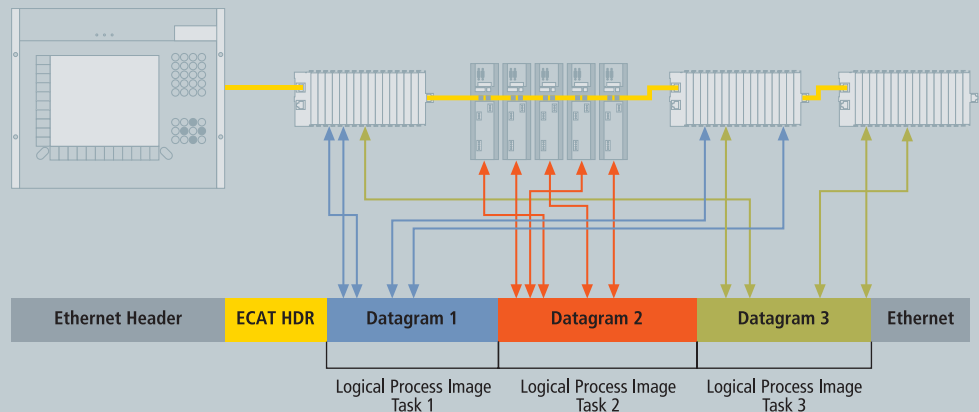
由主站发出的帧被传输并经过所有从站，直到网段（或分支）的最后一个从站。当最后一个设备检测到其开放端口时，便将帧返回给主站。

另一方面，由于发送和接收的以太网帧压缩了大量的

设备数据，所以可用数据率可达 90% 以上。100 Mb/s TX 的全双工特性完全得以利用，因此，有效数据率可以达到  $>100\text{ Mb/s}$  ( $>2 \times 100\text{ Mb/s}$  的 90%) (参见表 2)。

EtherCAT 主站采用标准的以太网介质存取控制器（MAC），而无需额外的通讯处理器。因此，任何集成了以太网接口的设备控制器都可以实现 EtherCAT 主站，而与操作系统或应用环境无关。EtherCAT 从站采用 EtherCAT 从站控制器（EtherCAT Slave Controller, ESC）来高速动态地（on-the-fly）处理数据。网络的性能并不取决于从站使用的微处理器性能，因为所有的通讯都是在 ESC 硬件中完成的。过程数据接口（process data interface, PDI）为从站应用层提供了一个双口随机存储器（Dual-Port-RAM, DPRAM）来实现数据交换。

图 3：过程数据插入报文中



## ■ 协议

EtherCAT 仅采用符合 IEEE802.3 的以太网标准帧，无任何压缩。因此，EtherCAT 以太网帧可以通过任何以太网控制器（主站）发送，并可以使用标准工具（如：如网络监听器）。

EtherCAT 设备协议是用于过程数据的优化协议，可以直接由以太网帧传送。凭借特殊的以太类型，EtherCAT 帧可包括几个 EtherCAT 报文，每个报文都服务于一块逻辑过程映像区的特定内存区域（最大可达 4GB 字节）。对于小型的 I/O 设备，EtherCAT 从站控制器还支持按位的映射。一个输入设备几位的数据可以独立地插入到逻辑地址区的任何位置。例如，发送一个 EtherCAT 报文要求读取或写入某个过程映像区，则输入端子模块将在数据区的相应位置插入其数据。这个过程由 ESC 中的现场总线存储管理单元（Fieldbus Memory Management Unit, FMMU）完成。因此，数据顺序不依赖于网络中以太网端子的物理顺序，可任意编址。从站之间的广播、多播和通讯均得以实现。若需要实现最大化性能，并且需要将 EtherCAT 组件作为同一子网控制器进行操作时，则可直接传送以太网帧。

然而，EtherCAT 不仅限于单个子网的应用。EtherCAT UDP 将 EtherCAT 协议封装为 UDP/IP 数据报文（参见图 4），这就意味着，任何以太网协议堆栈的控制均可编址到 EtherCAT 系统之中，甚至通讯还可以通过路由器跨接到其它子网中。显然，在这种变体结构中，系统性能取决于控制的实时特性和以太网协议的实施。UDP 数据报文仅在

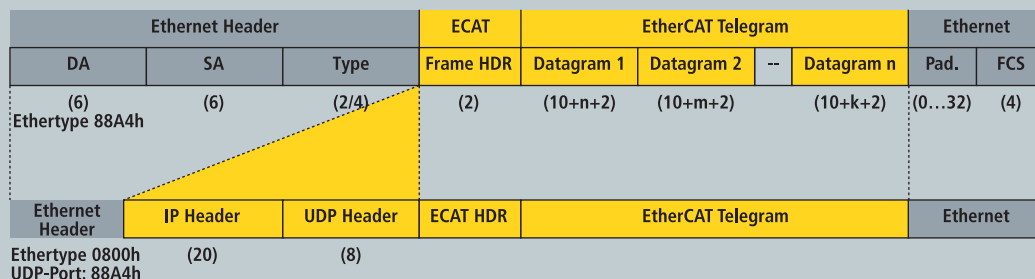
第一个站完成解包，所以 EtherCAT 网络自身的响应时间基本不受影响，一旦进入到 EtherCAT 子网段中，UDP 协议就不再被传输了。

访问设备的本地内存时（如，为了配置设备），可通过设备在网段中的位置寻址设备，也可通过分配的固定地址寻址设备。这意味着：无需在每个设备上手动地址配置。

位置寻址用于网络启动时。主站可以通过厂商 ID，产品编码等信息识别网段中的每个设备，并读取设备端口的链路状态。因此，所有设备的完整信息和拓扑结构相关的信息都可以被读取，还可以将这些信息与期望的配置相比较。此外，主站为所有设备分配一个固定地址。随后使用该固定地址来可靠地寻址设备，甚至在一个或多个设备未连接时（如，热插拔设备组）导致同一个设备在网段中的位置可能不同。除了遵循主/从站协议的数据交换外，EtherCAT 也适用于控制器间（主/主站）的通讯。查询或读取过程数据交换以及用于参数化，诊断和远程控制的一系列服务涵盖了范围广泛的各种服务需求。该设备的数据接口协议与自动化协议是相同的。

从站到从站的通讯则有两种机制以供选择。一种机制是，上游设备和下游设备可以在同一周期内实现通讯，速度非常快。由于这种方法与拓扑结构高度相关，因此适用于由设备架构设计所决定的从站到从站的通讯，如打印或包装应用等。而对于自由配置的从站到从站的通讯，则可以采用第二种机制——数据通过主站进行中继。这种机制

■ 图 4: EtherCAT: 采用 IEEE 802.3[3] 定义的标准帧



需要两个周期才能完成，但由于 EtherCAT 的性能非常卓越，因此该过程耗时仍然小于采用其他方法所耗费的时间。

## ■ 拓扑结构

EtherCAT 几乎支持任何拓扑类型，包括线型、树型、星型等(参见图 5)。通过现场总线而得名的总线型或线型拓扑结构也可用于以太网，并且不受限于级联交换机或集线器的数量。

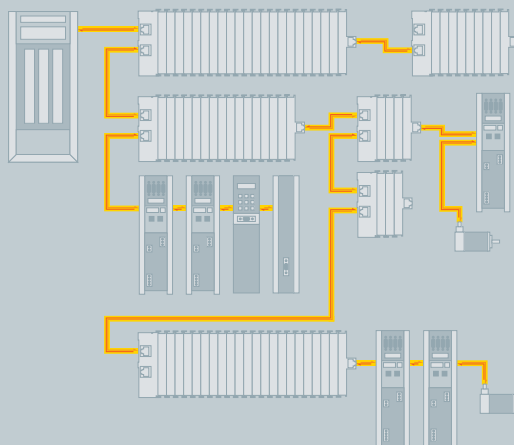
最有效的系统连线方法是对线型、分支或树叉结构进行拓扑组合。因为所需接口在 I/O 模块等很多设备中都已存在，所以无需附加交换机。当然，仍然可以使用传统的、基于以太网的星型拓扑结构。

还可以选择不同的电缆以提升连线的灵活性：灵活、廉价的标准以太网电缆可采用 100BASE-TX 模式传送信号；通过实施可选的 Power over EtherCAT 协议（符合 IEEE802.3af 标准兼容）则可使用同一条线缆连接传感器等设备为其供电。用光纤（100BASE - FX 的光学纤维或塑料）则可以满足有特殊要求的应用系统。还可以通过交换机或介质转换器实现不同以太网连线（如：不同的光纤和铜轴电缆）的完整组合。

快速以太网物理层（100BASE -TX）允许两个设备之间

的最大电缆长度达到 100 米。由于一个网络可连接多达 65,535 个设备，因此，网络的容量几乎没有限制。因而无需子总线。为了满足模块化设备（如，电子端子模块）的要求，在耦合设备中可将物理层从双绞线或光纤转为 LVDS（低压差分信号，见 [ 4,5 ] 中的标准）。一个模块化设备因而可得以低成本扩展。后面从 LVDS 物理层到 100BASE-TX 的转换可如以太网一样随时进行。

■ 图 5: 灵活的拓扑结构：线型，树型或星型拓扑



## ■ 分布时钟

精确同步对于同时动作的分布式过程而言尤为重要。例如，几个伺服轴同时执行协调运动时，便是如此。

最有效的同步方法是精确排列分布时钟（请参阅 IEEE 1588标准 [ 6 ]）。与完全同步通讯中容易出现通讯故障，立即影响同步品质的情况相比，分布排列的时钟对于通讯系统中可能存在的相关故障延迟具有极好的容错性。

采用 EtherCAT，数据交换就完全基于纯硬件机制。由于通讯采用了逻辑环结构（借助于全双工快速以太网的物理层），主站时钟可以简单、精确地确定各个从站时钟传播的延迟偏移，反之亦然。分布时钟均基于该值进行调整，这意味着可以在网络范围内使用非常精确的、小于 1 微秒的、确定性的同步误差时间基（参见图 6）。

这对于运动控制是非常重要的，它通过连续检测到的位置值计算出速度，当采样时间非常短时，即使是位置测量出现一个很小的瞬时抖动，也会导致速度计算出现较大的阶跃变化。通过使用分布时钟，采样不是基于通信抖动，因此速度测量非常精确。比那些基于无抖动通信的测量技术有更高数量级的精度。此外，高分辨率的分布时钟不仅可以用于同步，还可以为数据采集提供精确的本地时间信息。在 EtherCAT 中，引入时间戳数据类型作为一个逻辑延伸，可以为测量值附加高分辨率的系统时间，而以太网所提供的巨大带宽使这成为可能。此功能不仅用于任何测量应用，也用于独立于控制周期的精确反应时间。而跨

工厂等外部同步则可以基于 IEEE 1588 标准。

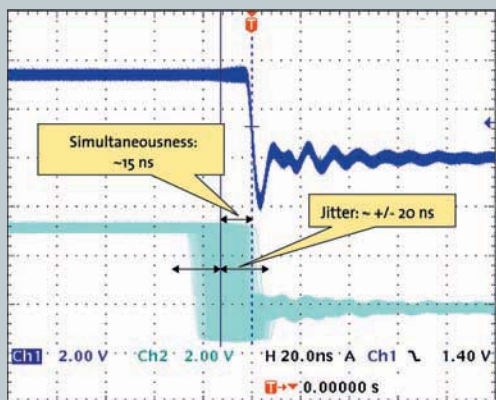
## ■ 性能

EtherCAT 使网络性能达到了一个新境界。由于从站的硬件集成和主站网络控制器的直接内存读写，因此，整个协议的处理过程都在硬件中得以实现，并完全独立于协议堆栈的实时运行系统、CPU 性能或软件的实施。1000 个 I/O 的刷新时间只需 30  $\mu$ s，其中还包括 I/O 周期时间（参见表 1）。单个以太网帧最多可实现 1486 字节过程数据的交换——这几乎相当于 12000 个数字输入和输出，而传送这些数据耗时仅为 150  $\mu$ s。

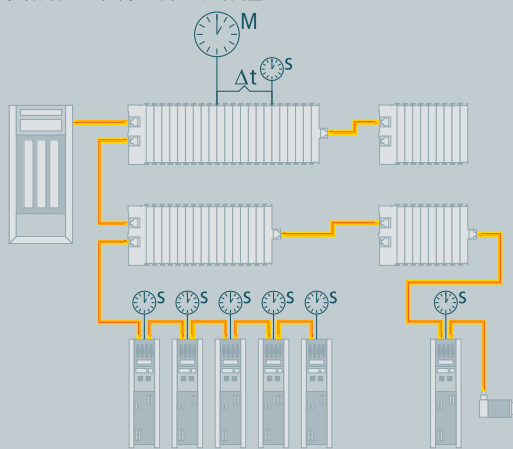
控制 100 个伺服轴的通讯也非常快速：每 100  $\mu$ s 内，网络更新所有轴的相关数据（包括命令值和控制数据），并反馈实际位置及状态。分布时钟技术使各轴的同步偏差远小于 1 微秒。而即使是在这种节奏下，仍有足够的带宽实现异步通讯，如 TCP/IP、下载参数或上载诊断数据。

超高性能的 EtherCAT 技术可以实现传统的现场总线系统无法顾及的控制理念。EtherCAT 使通讯技术和现代工业 PC 所具有的超强计算能力相匹配，总线系统不再是控制理念的瓶颈，分布式 I/O 可能比大多数本地 I/O 接口运行速度更快。EtherCAT 技术原理具有可塑性，并不局限于 100 M bps 的通讯速率，有可能扩展为 1Gbit 的千兆以太网。

■ 图 6: Scope view 显示的相距 300 个节点、线缆长度 120 m 的两个分布式设备的同步性和同时性



■ 图 7: 将每个设备的独立时钟设置为网络时间基



## ■ 诊断

现场总线系统的实际应用经验表明，有效性和调试时间关键取决于诊断能力。只有快速而准确地检测出故障，并明确定位，才能快速排除故障。因此，在 EtherCAT 的研发过程中，特别注重强化其诊断性能。

调试期间，驱动或 I/O 端子等节点的实际配置需要与指定的配置进行一致性检查，拓扑结构也需要与配置相匹配。由于每个端子都内置了拓扑识别功能，因此，这种检查不仅可以在系统启动期间进行，也可以在网络自动读取时进行（配置上载）。

数据传送期间的位错误可以通过评估 CRC 校验码来可靠地检测出——32 位 CRC 多项式的最小汉明距为 4。除断线检测和定位之外，EtherCAT 系统的协议、物理层和拓扑结构还可以对各个传输段分别进行品质监视，对相关错误计数器的自动评估还可以对关键的网络段进行精确定位。此外，对于 EMI 影响、连接器破损或电缆损坏等一些渐变或变化的错误源而言，即便它们尚未超过网络自恢复能力的范围，也可对其进行检测与定位。

## ■ 高可靠性

可选用的电缆冗余可以满足快速增长的系统可靠性需求，它可以保证无需关闭网络即可进行设备更换。增加冗余特性耗费不高，仅需在主站设备端增加一个标准的以太网端口（无需专用网卡或接口）和一根电缆，这将线型拓

扑结构转变为环型拓扑结构（见图 8）。当设备或电缆发生故障时，也仅需一个周期即可完成切换。因此，即使是针对运动控制要求的应用，电缆出现故障时也不会有任何问题。

EtherCAT 使用热备份功能支持主站冗余。一旦出现中断、设备故障等问题，EtherCAT 从站控制器可以立即自动返回以太网帧，所以不会导致整个网络关闭。例如：牵引链应用中就可以特别配置为分支结构，防止电缆断线或立刻使用线缆冗余功能。

## ■ 安全性

不管是使用硬件还是使用专用的安全总线系统，传统观念总是认为，自动化网络应与安全功能相分离。安全协议 Safety over EtherCAT 可在同一网络实现安全相关的通讯和控制通讯。该安全协议基于 EtherCAT 应用层，不影响底层协议，并遵循 IEC 61508 标准认证，满足安全集成级（SIL）3 的要求。数据长度可变，以适应安全 I/O 数据和安全驱动技术的传输需求。安全协议对于通讯介质或传输率没有限制。与其它 EtherCAT 数据一样，安全数据可以通过无安全功能的路由器或网关实现路由。首批获得完全认证的 EtherCAT 安全产品已于 2005 年进入市场。

ETG 还制定了安全驱动设备行规（Safety Drive Profile），为驱动器的安全功能提供一个统一的数据接口，从而简化了设备的设置和组态。

■ 表 1: EtherCAT 性能概览

过程数据	刷新时间
256 个分布式数字量 I/O	11μs=0.01ms
1000 个分布式数字量 I/O	30μs
200 个模拟量 I/O (16 位)	50μs 20 kHz
100 个伺服轴，每轴分别有 8 字节输入和输出数据	100μs
1 个现场总线主站——网关 (1486 字节输入和 1486 字节输出)	150μs

■ 图 8: 标准从站设备的低成本线缆冗余



## ■ EtherCAT取代PCI

随着 PC 组件急剧向小型化方向发展，工业 PC 的体积日趋取决于插槽的数目。而快速以太网带宽和 EtherCAT 通讯硬件的过程数据长度则为该领域的发展提供了新的可能性——IPC 中的传统接口现在可以转变为 EtherCAT 智能化接口端子（参见图 9）。

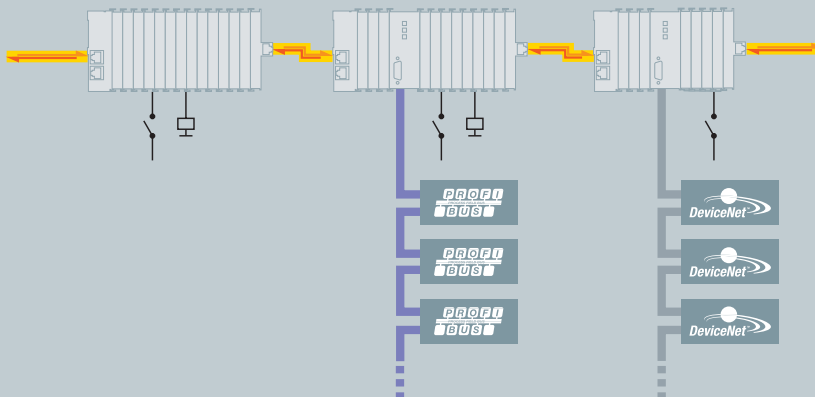
除了可以对分布式 I/O 进行编址，还可以对驱动和控制单元以及现场总线主站、快速串行接口、网关和其它通讯接口等复杂系统进行编址。

即使是其它无协议变异限制的以太网设备，也可以通过分布式交换机端口设备进行连接。由于一个以太网接口足以满足整个外围设备的通讯，因此，这不仅极大地精简了 IPC 主机的体积和外观，而且也降低了 IPC 主机的成本。（参见图 10）

## ■ 设备行规

设备行规描述了设备的应用参数和功能特性，如面向设备类别的状态机等。现场总线技术已经为 I/O 设备、驱动、阀等许多设备类别提供了可靠的设备行规。用户非常熟悉这些框架以及相关的参数和工具，因此，EtherCAT 无需为这些设备类别重新开发设备行规，而是为现有的设备行规提供了简单的接口（参见图 11）。该特性使得用户和设备制造商可以轻松完成从现有的现场总线到 EtherCAT 技术的转换过程。同时，EtherCAT 协议内容是可选择实施的，因此规范保持了其简单特性。设备制造商仅需根据设备应用需求实施协议即可。

■ 图 9：分布式现场总线接口



### ■ 基于EtherCAT的CAN应用协议 (CoE)

CANopen 设备和应用行规广泛用于多种设备类别和应用，如 I/O 组件、驱动、编码器、比例阀、液压控制器，以及用于塑料或纺织行业的应用行规等。EtherCAT 可以提供与CANopen 机制 [ 7 ] 相同的通讯机制，包括对象字典、PDO（过程数据对象）、SDO（服务数据对象），甚至相似的网络管理。因此，在已经实施了 CANopen 的设备中，仅需稍加变动即可轻松实现 EtherCAT，绝大部分的 CANopen 固件都得以重复利用。并且，可以选择性地扩展对象，以便利用 EtherCAT 所提供的巨大带宽资源。

### ■ 遵循 IEC 61800-7-204 的伺服驱动行规（SERCOS）

SERCOS interface™ 被公认为用于高性能实时系统的通讯接口，尤其适用于运动控制的应用场合。用于伺服驱动和通讯技术的 SERCOS 行规属于 IEC61800-7-204 标准的范畴。该伺服驱动行规到 EtherCAT 的映射 (SoE) 在 304 部分 [ 8 ] 定义。用于访问位于驱动中的全部参数以及功能的服务通道基于 EtherCAT 邮箱。在此，关注焦点还是 EtherCAT 与现有协议的兼容性（访问 IDN 的数值、属性、名称、单位等），以及与数据长度限制相关的扩展性。过程数据，即格式为 AT 和 MDT 的 SERCOS 数据，都使用 EtherCAT 设备协议机制进行传送，其映射与 SERCOS 映射相似。并且，EtherCAT 从站的状态机也可以非常容易地映射为 SERCOS 协议状态。

SERCOS 伺服驱动行规广泛应用于 CNC 控制场合。EtherCAT 为其提供了先进的实时以太网技术，使设备行规的优势与 EtherCAT 的优势相结合。分布时钟保证了网络范围的精确同步，并且，可以选择性地传送位置、速度或转矩命令。根据具体的实施方法，还有可能继续使用现有的驱动配置工具。

### ■ EtherCAT 实现以太网 (EoE)

EtherCAT 技术不仅完全兼容以太网，而且在“设计”之初就具备良好的开放性特征——该协议可以在相同的物理层网络中包容其它基于以太网的服务和协议，通常可将其性能损失降到最小。可将任何类型的以太网设备通过交换端口联入 EtherCAT 网段。

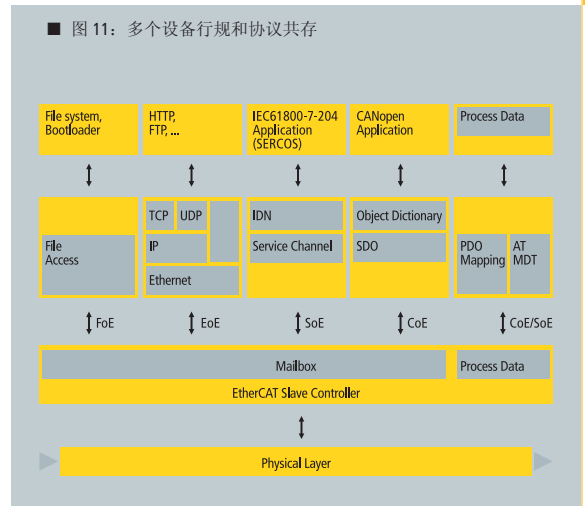
以太网帧通过 EtherCAT 协议中开通的隧道传输，这也正是 VPN、PPPoE (DSL) 等因特网应用所普遍采取的方法。EtherCAT 网络对以太网设备完全透明，其实时特性也不会发生畸变（参见图 12）。

EtherCAT 总站的作用与第 2 层交换机所起的作用一样，可按照编址信息将以太网帧重新定向到相应的设备。因此，诸如集成的网络服务器、电子邮件和 FTP 传送等所有的因特网技术都可以在 EtherCAT 的环境中得以应用。

■ 图 10: EtherCAT 使控制器体积更小



■ 图 11: 多个设备行规和协议共存



## ■ EtherCAT 实现文件读取 (FoE)

这种简单的协议与 TFTP 类似，允许读写设备中的任何数据结构。因此，无论设备是否支持 TCP/IP，都可将标准化固件上传到设备上。

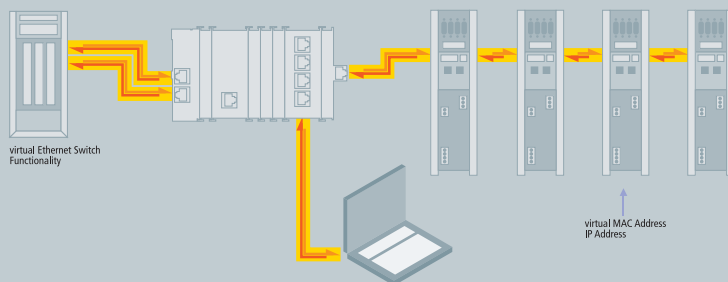
## ■ 基础设施投资

由于 EtherCAT 无需集线器和交换机，因此，可以节省相关的电源、安装费用等设备方面的投资，只需使用标准的以太网电缆和价格低廉的标准以太网接头即可。如果环境条件有特殊要求，则可以依照 IEC 标准，使用增强密封保护等级的接头。

## ■ 参考文献

- [1] EtherCAT Technology Group, <http://www.ethercat.org>
- [2] IEC 61158-3/4/5/6-12, Industrial communication networks – Fieldbus specifications – Part 3-12: Data-link layer service definition – Part 4-12: Data-link layer protocol specification – Part 5-12: Application layer service definition – Part 6-12: Application layer protocol specification – Type 12 elements (EtherCAT)
- [3] IEEE 802.3: Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection (CSMA/CD) Access Method and Physical Layer Specifications.
- [4] IEEE 802.3ae: CSMA/CD Access Method and Physical Layer Specifications: Media Access Control (MAC) Parameters, Physical Layers, and Management Parameters for 10 GB/s Operation.
- [5] ANSI/TIA/EIA-644-A, Electrical Characteristics of Low Voltage Differential Signaling (LVDS) Interface Circuits
- [6] IEEE 1588: IEEE Standard for a Precision Clock Synchronization Protocol for Networked Measurement and Control Systems
- [7] EN 50325-4: Industrial communications subsystem based on ISO 11898 (CAN) for controller-device interfaces. Part 4: CANopen.
- [8] IEC 61800-7-301/304, Adjustable speed electrical power drive systems – Part 7-301: Generic interface and use of profiles for power drive systems – Mapping of profile type 1 to network technologies – Part 7-304: Generic interface and use of profiles for power drive systems – Mapping of profile type 4 to network technologies
- [9] SEMI E54.20: “Standard for Sensor/Actuator Network Communications for EtherCAT” . <http://www.semi.org>
- [10] IEC 61784-2, Industrial communication networks – Profiles – Part 2: Additional fieldbus profiles for real-time networks based on ISO/IEC 8802-3
- [11] IEC 61784-3 Industrial communication networks – Profiles – Part 3: Functional safety fieldbuses
- [12] IEC 61784-5 Industrial communication networks – Profiles – Part 5: Installation of fieldbuses

■ 图 12: 对所有以太网协议透明



## ■ 小结

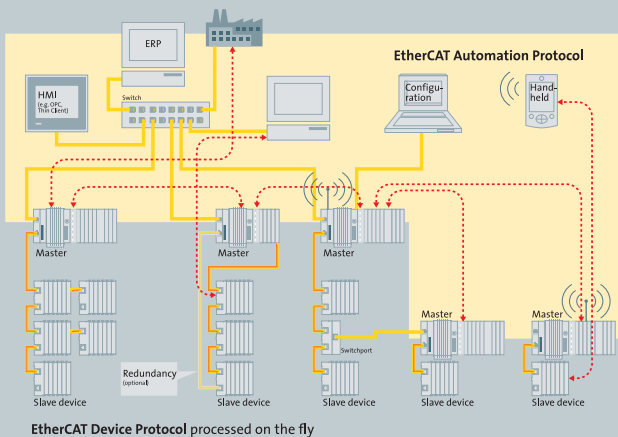
EtherCAT 具有杰出的通讯性能，接线非常简单，并对其它协议开放。传统的现场总线系统已达到了极限，而 EtherCAT 则突破瓶颈并建立了新的技术标准——30  $\mu\text{s}$  内可以更新 1000 个 I/O 数据，可选择双绞线或光纤，并利用以太网和因特网技术实现垂直优化集成。

采用 EtherCAT，可以用简单的线型拓扑结构替代昂贵的星型以太网拓扑结构，无需昂贵的基础组件。EtherCAT 还可以选择传统的交换机连接方式，以集成其它的以太网设备。其它的实时以太网方案需要控制器提供专用接口，而 EtherCAT 主站仅需集成在主板上的以太网端口即可。

EtherCAT 拥有多种机制，支持主站到从站、从站到从站以及主站到主站之间的通讯（参见图 13）。它实现了 Safety over EtherCAT 安全协议。采用可行的技术和经济实用的方法，EtherCAT 使以太网协议直达 I/O 级。EtherCAT 可以完全兼容以太网，将因特网技术嵌入到简单设备中，并最大化地利用以太网所提供的巨大带宽，是一种具有出色的实时性能且成本低廉的网络通讯技术。



■ 图 13: 垂直网络结构



# ■ EtherCAT 的实现层面

## ■ 主站

18

EtherCAT 技术是面向价格低廉的设备而开发的，如 I/O 模块、传感器和嵌入式控制器等。EtherCAT 使用遵循 IEEE802.3 标准的以太网帧。这些帧由主站设备发送，从站设备只是在以太网帧经过的同时高速动态提取和/或插入数据。因此，EtherCAT 使用标准的以太网 MAC，这正是其在主站设备的优势所在。从站设备使用 EtherCAT 从站控制器芯片，并在硬件中直接处理过程数据协议，可提供最佳实时性能，而与从站本地的处理性能或软件质量无关，所以，在此使用专用的芯片是非常合理的。

### ■ EtherCAT 主站

EtherCAT 的单个以太网帧最多传输 1486 字节的分布式过程数据。其它解决方案一般是，主站设备需要在每个网络周期中为每个节点处理、发送和接收帧。而 EtherCAT 系统与此不同之处在于，在通常情况下，每周期仅需要一个或两个帧即可完成与所有节点的全部通讯，因此，EtherCAT 主站不需要专用的通讯处理器。主站功能几乎不会给主机 CPU 带来任何负担，轻松处理这些任务的同时，还可以处理应用程序，因此 EtherCAT 无需使用昂贵的专用有源插接卡，只需使用无源的标准以太网卡或主板集成的以太网 MAC 即可。EtherCAT 主站实施很容易实现，尤其适用于中小规模的控制系统和明确定制的应用场合。

例如，某个 PLC 只有一个过程数据映像，如果它小于 1486 字节，那么使用 PLC 周期时间循环发送一个以太网帧就足够了。因为报文头运行时不会发生变化，所以只需将固定的报文头插入到过程映像中，并将结果传送到以太网控制器即可。

EtherCAT 映射不是在主站产生，而是在从站产生（外围设备在以太网帧经过的同时高速动态地将数据插入相应位置），因此，此时过程映像已经完成排序。该特性进一步减轻了主机 CPU 的负担。可以看到，EtherCAT 主站完全在主机 CPU 中采用软件方式实现，而且比传统的慢速现场总线系统通过有源插接卡实现主站的方式占用更少的处理资源，甚至操作有源卡上的 DPRAM 应用本身也将增加主机的负担。

系统配置工具（通过生产商获取）可以标准的 XML 格式提供包括相应启动顺序在内的网络和设备参数。由于 EtherCAT 采用 IEEE802.3 定义的标准以太网帧，任何商用以太网监视工具均可用于 EtherCAT 通讯。此外，Wireshark 发布的产品中含 EtherCAT 分析器。微软的网络监视器软件也可以加入插件以处理和显示已经记录的 EtherCAT 数据流。

### ■ 主站实施服务

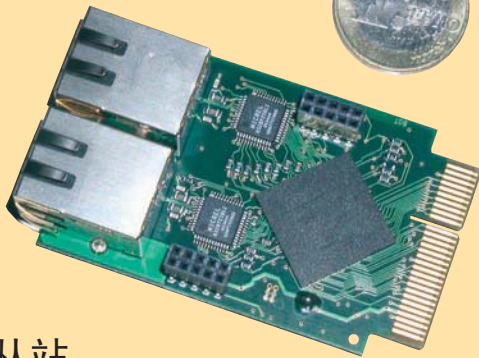
EtherCAT 主站已经广泛地实施于各种实时操作系统，包括，但并不局限于以下系统：eCos, InTime, Proconos OS, Real-Time Java, RT Kernel, RT Linux, RTCX Quadros, RTAI Linux, PikeOS, Linux with RT-Preempt, QNX, VxWin + CeWin, VxWorks, Windows CE, 带 Codesys-SP 的 Windows NT/NTE/2000XPE/Vista, 带 TwinCAT 实时扩展的 Windows XP/XPE, Windows 7 和 XENOMAI Linux。主站堆栈以公开或共享代码项目方式提供提供样本代码和商用软件。实施服务则可通过多家生产商获取多种硬件平台。可登陆 EtherCAT 网站 [1] 的 EtherCAT 产品指南频道，了解快速发展的供应商信息。

### ■ 主站样本代码

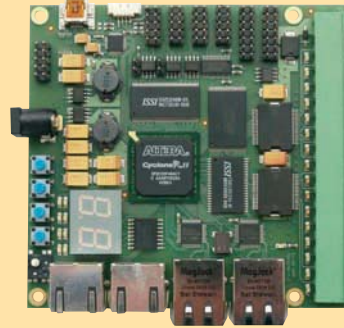
另一种实现 EtherCAT 主站的方式是使用样本代码，花费不高。软件以源代码形式提供，包括所有的 EtherCAT 主



## 从站



FPGA 实现 EtherCAT 接口(IDAM)



从站评估套件 (Altera/EBV)



HiLSCHER公司提供的从站评估套件

### 从站结构

EtherCAT 从站设备中使用成本低廉的 EtherCAT 从站控制器。对 EtherCAT 通讯本身而言，无需微处理器。只需要 I/O 接口的简单设备可以只用 ESC、PHY、电磁隔离和 RJ45 接头实现。从站应用层与过程数据接口（PDI）通过一个 32 位的 I/O 接口连接。该从站没有配置参数，因此无需软件或邮箱协议。EtherCAT 状态机在 ESC 中处理。ESC 的启动信息从 EEPROM 中读入，EEPROM 也支持从站的识别信息。对于配置了主 CPU 的更复杂的从站设备，CPU 通过一个 8 位或 16 位的并行接口或通过一个串行接口（SPI）连接到 ESC。主 CPU 的性能取决于从站的应用——EtherCAT 协议软件自行独立运行。EtherCAT 协议栈管理 EtherCAT 状态机和通讯协议，通讯协议通常意味着 CoE 协议和支持固件下载的 FoE。可有选择地实施 EoE。

### 从站实施服务

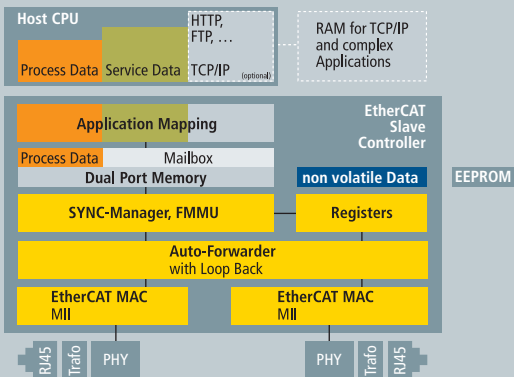
目前，有多家制造商均提供 EtherCAT 从站实施服务，包括硬件实施和软件集成。多种 EtherCAT 从站控制器由相应的评估套件支持。从站评估套件带有各种接口，可轻松访问控制器。采用 EtherCAT 通讯，无需再配备功能强大的通讯处理器。上图所示的评估板带一个 8 位微处理器接口，可选用连接主 CPU。评估套件含相当于协议堆栈的从站样本代码，还包含 EtherCAT 主站软件包。此外，不定期的研发培训也经常举办。



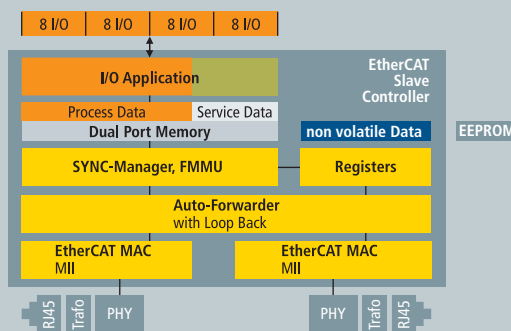
### 如何开始从站实施

《EtherCAT 从站实施指南》从一个很实用的角度阐述了成功实施 EtherCAT 从站需要关注的内容。该指南包含对 EtherCAT 实施工具，workshop 和培训，以及相关文档，协议及所需工具的概览说明。该文件可在 EtherCAT 网站的下载专区获得。

### 从站硬件：带主 CPU 的 EtherCAT 从站控制器



### 从站硬件：EtherCAT I/O 从站控制器





德国倍福公司提供的从站评估套件

### ■ EtherCAT 从站控制器

目前，有多家制造商均提供 EtherCAT 从站控制器。通过价格低廉的 FPGA，也可实现从站控制器的功能，可以购买授权以获取相应的二进制代码。

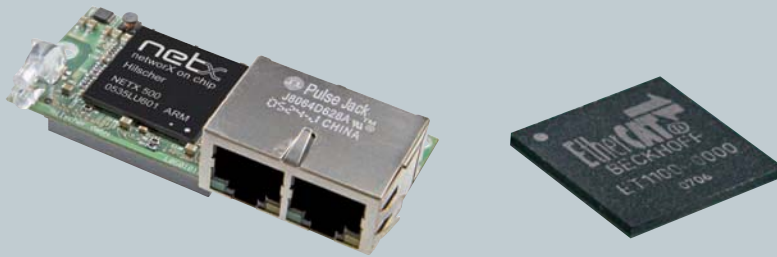
从站控制器通常都有一个内部的 DPRAM，并提供存取这些应用内存的接口范围：

- 串行 SPI（串行外围接口）主要用于数量较小的过程数据设备，如模拟量 I/O 模块、传感器、编码器和简单驱动等。该接口通常使用 8 位控制器，如微型芯片 PIC、DSP、Intel 80C51 等。

- 8/16 位微控制器并行接口与带有 DPRAM 接口的传统现场总线控制器接口相对应，尤其适用于数据量较大的复杂设备。通常情况下，微控制器使用的接口包括 Infineon 80C16x、Intel 80x86、Hitachi SH1、ST10、ARM 和 TI TMS320 等系列。

- 32 位并行 I/O 接口不仅可以最多连接 32 位数字输入/输出，而且也适用于简单的传感器或执行器的 32 位数据操作。这类设备无需主机 CPU。

关于 EtherCAT 从站控制器产品的最新信息，请访问 EtherCAT 官方网站。



### ■ EtherCAT 从站控制器芯片概览

Name	ET1100	ET1200	ET18xx	netX 100	netX 500	netX 50
Type	ASIC	ASIC	Configurable IP Core	ASIC	ASIC	ASIC
HW Supplier	Beckhoff	Beckhoff	Altera/Xilinx	Hilscher	Hilscher	Hilscher
Package	BGA128 0,8 mm pitch	QFN48 0,5 mm pitch	FPGA dependent	BGA345 1 mm pitch	BGA345 1 mm pitch	PBGA324 1 mm pitch
Size	10 x 10 mm	7 x 7 mm	FPGA dependent	22 x 22 mm	22 x 22 mm	19 x 19 mm
μC Interface	serial/parallel (8 16bit)*	serial*	serial/parallel (8 16bit) AVALON®/OPB®*	μC bus (internal, 32Bit)	μC bus (internal, 32Bit)	μC bus (internal, 32Bit)
Digital I/O	8-32*	8-16*	8-32*	-	-	-
General Purpose I/O	0-32*	0-12*	0-128*	16	16	32
DPRAM	8 kByte	1 kByte	1...60 kByte* (Mailbox/Process Data)	256/400 Byte (Mailbox/Process Data)	256/400 Byte	6 kByte
SyncManager Entities	8	4	0...8*	4	4	8
FMMU Entities	8	3	0...8*	3	3	8
Distributed Clock Support	yes	yes	yes*	yes	yes	yes
No. of Ports	2-4 (MII/EBUS)*	2-3 (EBUS/max. 1 x MII)*	2 (MII/RMII)	2 (100BaseTX)	2 (100BaseTX)	2 (100BaseTX)
Specials	Routable with standard PCB		Various licence models are available. A wide range of Xilinx and Altera FPGAs is supported.	Multi Protocol Support, Integrated PHYs, Integrated μC (ARM9-200MHz)	Multi Protocol Support, Integrated PHYs, Integrated μC (ARM9-200MHz)	Multi Protocol Support, Integrated PHYs, Integrated μC (ARM9-200MHz)

\*可配置的

# 一致性 与 互操作性

一致性和互操作性是通讯技术能否成功的一个重要因素。EtherCAT技术协会对此非常重视。按照技术规范实施的一致性是其互操作性的先决条件，这意味着不同厂商的设备需要在同一个网络应用下协同运行。

为了实现这两个目的，ETG 最初组织了实用的 Plug Fest 测试交流会。除了原来的互操作性会议，还可以通过一致性测试工具（CTT）实现。为方便产品的官方认证，EtherCAT测试中心也相继成立。

## ■ Plug Fest 测试交流会

Plug Fest 测试交流会，通常为两天，主站从站供应商齐聚一堂，共同进行互操作性测试和改进，分享实施技巧和窍门，并获得 EtherCAT 专家有关技术问题的确认解答。Plug Fest 测试交流会已经确立了务实并有效的手段来实现其产品的互操作性。通常会有 20 或更多的设备供应商携带其超过 50 多种不同产品参加该交流会。ETG 在欧洲，亚洲和北美地区都组织过这样的会议。

## ■ 一致性测试工具

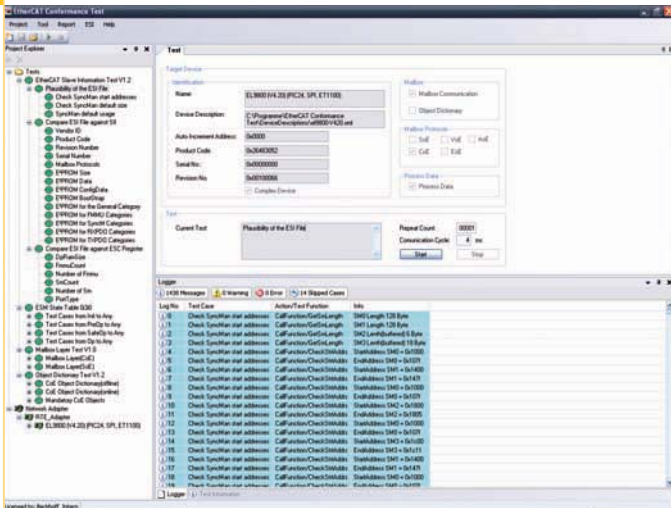
一致性测试工具用于检查 EtherCAT 从站设备是否按照协议实施。除了一个带标准以太网适配器的PC，基于微软 Windows 操作系统的一致性测试工具不需要任何特殊的硬件。通过以太网端口发送和接收 EtherCAT 帧激活测试设备。该工具从 XML 文件读取测试数据，因此测试改进在

不修改测试工具软件本身的情况下即可实现。测试结果和评论显示在测试记录器。该工具还可以检测 EtherCAT 从站信息（ESI）文件。例如，它可以检查 EtherCAT 驱动支持驱动设备行规 CiA402 的一致性：设置是否简便，运行状态是否一致，和是否正确支持循环同步操作模式都是这个测试的一部分。

为了满足一致性的最低要求，设备在首次投放到市场之前必须要通过一致性测试工具中的协议测试。当然，厂商最好能获得一致性测试工具的最新版本，并以此能够独立解决在使用最初版本设备时所产生的问题。这种一致性测试工具是一种软件授权，EtherCAT 设备制造商需要通过购买授权和支付每年的维护费用可以确保该工具能获得长期的维护，支持和更新升级。测试工具的开发和维护由 ETG 一致性工作组来完成。

## ■ 一致性工作组

ETG 技术委员会成立了一致性工作组，并明确规定测试工作的程序，以及巩固和完善测试技术的工作。该工作组的主要目标是在未来能够达到完整测试的覆盖率。一致性测试工作组经常通过网络或者面对面举行会议。



## ■ EtherCAT 技术测试中心

ETG 正式认可了其在德国纽伦堡和日本东京的官方测试中心（ETC）。在欧洲，亚洲和北美等地区测试中心的建立还在进一步的计划中。同时 ETC 不仅进行 EtherCAT 一致性测试，还为 ETG 的会员提供高质量的反馈和技术支持。此外，它还还为互操作性测试提供设备支持。

## ■ EtherCAT 一致性测试

EtherCAT 一致性测试包含了由 ETC 推出的一致性测试项目：一致性测试，互用性测试以及物理层测试。使用一致性测试工具可以确保设备具有高质量的一致性。但是，该一致性是来自于研发实验室，而未经过独立团体验证。EtherCAT 一致性测试由 EtherCAT 测试中心（ETC）运营。供应商若希望获得一个一致性测试证书，则需要通过官方 ETC 的测试。EtherCAT 一致性测试项目如下：

- | EtherCAT 协议（一致性测试）
  - ESI, SII(EEPROM), EtherCAT 状态机, 邮箱通讯及服务
- | 指示灯规范
- | 标志规则
- | CiA402 驱动行规（如果设备支持）
- | 互操作性测试

## ■ 互操作性测试

该测试通过一个由多种 EtherCAT 设备组成的网络实现。EtherCAT 测试中心维护并不断完善该网络。

## ■ 一致性测试合格认证

如果一个设备在 EtherCAT 测试中心通过了官方的一致性测试和互操作性测试，ETG 将授予一致性证书。拥有 EtherCAT 一致性证书的产品是 EtherCAT 通过一致性测试的产品。他们可使用官方的 EtherCAT Conformance Tested 的 LOGO 标识，其产品会被相应地收集到 EtherCAT 产品指南中。我们鼓励 EtherCAT 用户在选择 EtherCAT 产品时考虑供应商是否具有有一致性测试标识。

更多关于一致性测试的信息请查看如下：  
<http://www.ethercat.org/conformance>



# EtherCAT 的安全性

为了实现安全数据通过 EtherCAT 通讯，EtherCAT 技术协会发布了 Safety over EtherCAT 协议。此安全协议符合 IEC 61508 SIL 3 标准，允许在同一通讯系统中传输安全数据和非安全数据，且不会受到传输速度和循环时间的限制。

## ■ 安全现场总线系统

在自动化组件和通讯系统上的智能安全解决方案使安全技术能够集成到机械设计中。

实现这种集成的其中一个关键因素是在同一总线上传输安全相关的数据和标准通讯。EtherCAT 的解决方案是基于 EtherCAT 协议的功能安全协议 (Safety over EtherCAT)。

优势:

- | 控制信息和安全信息使用同一通讯系统;
- | 安全概念无缝集成到机械设计中;
- | 出色的安全功能诊断选项;
- | 灵活的扩展选项;
- | 实时性和确定性方面没有性能限制;
- | 无需使用不同的工具开发标准程序和安全应用程序;
- | 操作简单, 安全功能透明。

## ■ 技术要求

用于传输安全相关信息的总线系统的测试和认证的基本规则由国际标准 IEC 61784-3 指定。Safety over EtherCAT 协议已被标准化为 FSCP12 (功能性安全通讯行规) 的部分。

安全协议必须能够识别如下网络错误: 网络瘫痪, 数据重发, 数据交换丢失, 传输延迟, 数据抢先, 伪数据和无

效的信息寻址。一个安全性设备必须通过合适的手段处理这些错误, 如, 它可以依据要求的安全类别检测到错误。

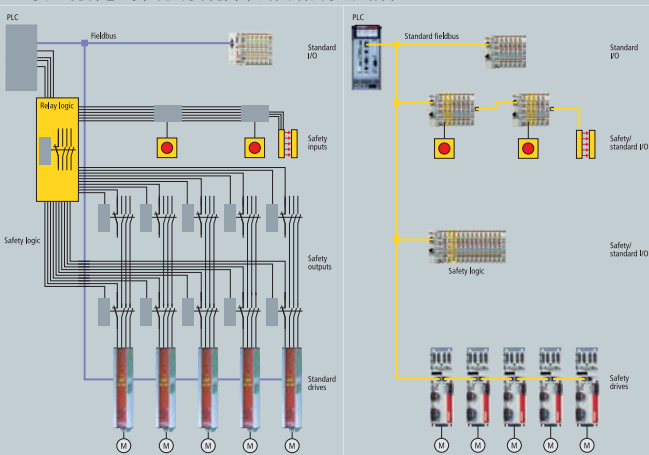
以下特点对于 EtherCAT 协议安全性的实施非常重要:

- | 遵循 IEC 61508 定义的安全完整性级别 SIL3
- | 同一通讯系统中安全和非安全信息
- | 协议独立于传输系统和介质
- | 协议不限制安全过程中数据长度
- | 非常短的数据帧也是可能的
- | 传输速度和循环时间不受限制

EtherCAT 协议的安全性能已经由德国技术检验局 (TÜV) 进行了评估, EtherCAT 的安全设备之间的过程数据传输已经达到了 IEC 61508 所定义的 SIL 3 等级。在设备上实施 Safety over EtherCAT 协议必须满足安全目标的要求。相关产品的特殊要求也必须予以考虑。

任何通讯方式都可使用, 包括现场总线系统, 以太网和其他相似的传输系统, 光纤, 铜轴电缆, 甚至是无线。

## ■ 安全现场总线系统可实现简单而灵活的机器结构



## ■ Safety over EtherCAT 帧结构

### Ethernet telegram



### Safety over EtherCAT frame



## ■ 实施方面

EtherCAT 被用作传输安全和非安全信息的单一通道通信系统。传输介质被视为“黑色通道”，而不在安全考虑中。一个安全数据帧包括安全过程数据，所需的数据备份包括在EtherCAT的过程数据中。在设备的安全应用层分析这个“数据容器”。通信维持单通道。

通过适当的方式，数据帧被设计成这样：使用少至6个字节数据长度的容器足够传输所有错误检测信息，其中一个字节用于安全过程数据。另外，该协议并没有施加任何关于安全过程数据长度的限制。这意味着，使用大量安全过程数据的安全组件也是被支持的。

在设备的 EtherCAT 安全连接启动时，主站和从站都会处理状态机。这里的焦点就是使用简单的结构使实施过程尽可能的简单。状态转换由主站初发起，并由从站确认。

交换安全输入和输出数据时的数据状态是正常运行数据。如果其中一个设备检测到通讯错误，它将进入复位状态，从而重新进行连接。

## ■ 应用案例

一个安全通讯协议的安全功能和功能性只能在产品的实施过程中得到验证。从 2005 年以来带有 EtherCAT 安全

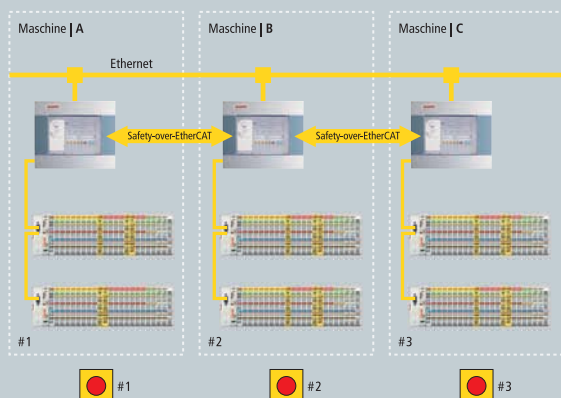
功能的设备已经供应于市场。EtherCAT 因此成为最先支持安全协议的工业以太网通讯系统之一。

应用利用技术优势。例如，可扩展的安全相关的输入和输出组件可以在系统中使用，使用安全或非安全设备，可以按照要求灵活扩展更多的输入或输出。

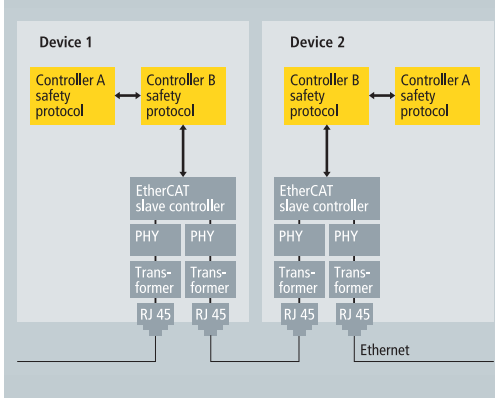
即使是安全逻辑也可以嵌入到网络中。控制 PLC 仍然是标准设备，不带安全扩展。安全逻辑是在网段中的安全设备中处理。这样节省了成本，而且可以改变系统中安全逻辑的规模。只有在 Safety over EtherCAT 主站和相关的安从站设备间的信息才通过标准 PLC 转发。当然，Safety over EtherCAT 同样支持实施传统的安全 PLC 的结构。

利用黑色通道的方式可以实现机器部件的串联。Safety over EtherCAT 帧由过程控制层的标准通讯路由转发。

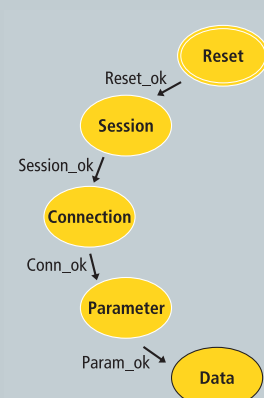
### ■ 黑色通道可实现不同机器部件的级联



### ■ Safety over EtherCAT 设备的硬件结构



### ■ 主/从连接下的简单状态机



## ■ 为何厂商和用户选择 EtherCAT?

26 EtherCAT 技术协会



### ■ 高性能

EtherCAT 是目前带有出色同步性能且速度最快的工业以太网技术。EtherCAT 广泛应用于各种场合，因其极小的循环时间适用于运动控制应用和带有大量 I/O 信号的测量应用场合。采用 EtherCAT 可将控制性能轻松提高 20%，甚至更高。

该性能也将使用户的应用受益：机械设备精确度的提高和产量的增加可以降低生产成本并带来更高的利润空间。EtherCAT 技术完全满足现在和未来工业的通讯需求！

#### 应用举例：

- 机器人控制
- 机床应用
- CNC 功能
- 包装机械
- 注塑机
- 引擎测试平台
- 测量应用
- 超高速金属切割
- 吹塑机
- 半导体+FPD 生产

### ■ 拓扑灵活

机械设备的结构而非总线系统决定其拓扑。因为无需交换机或集线器，网络结构没有限制。EtherCAT 技术对此几乎没有限制，线型、树型、星型或菊花链型拓扑结构都可以实现。自动连接检测使设备部件的热插拔成为可能。设备的连接或断开由总线管理器管理，也可以由从站设备自动实现。若用一条线缆连接 EtherCAT 主站上另一个（标准的）以太网端口，就简单而经济地实现了网络冗余。EtherCAT 同样适用于分布广泛的应用场合：采用同轴电缆最远连接相距 100 米的两个节点；而采用标准光缆可以最远连接相距 2 公里的两个节点。

#### 应用举例：

- 行李输送系统
- 大桥减震系统
- 扬雪控制
- 自动化仓储
- 印刷机械
- 液压/电动冲压机
- 木材加工设备



### ■ 易用性

设备的配置和维护是产品生命周期成本的决定性因素。采用 EtherCAT 可大大简化这些任务。在设备安装好后，可以扫描设备的配置和拓扑结构，并与预期的配置相比较。如果一个设备连接失败或被检测到通讯系统故障，出色的诊断功能可精确定位故障源的位置。EtherCAT 的高性能特性具有决定性：无需进行标准现场总线系统的网络微调。若需要一个设备的更多信息，则可通过循环传输增加相应数据内容，而不受网络带宽的限制。

#### 应用举例：

- 标准 PLC 应用
- 汽车工厂自动化，实现较短的平均维修时间（MTTR）
- 机器内部通讯，带预期硬件配置
- 模块化机器
- 焊接机器
- 封边机

### ■ 低成本

EtherCAT 的成本相当甚至低于了现场总线的水平。采用 EtherCAT，主站无需专用主站卡，一个集成在主板的 MAC 或低成本的标准以太网卡即可满足主站的硬件要求。在从站方面，高集成度的从站控制器保证了接口的经济性。此外，标准的以太网线缆可以用来连接 EtherCAT 主站和从站。EtherCAT 网络系统无需有源基础设施组件，因此也节省了相关的购买、配置和安装、维护成本。

#### 应用举例：

- 嵌入式系统
- 变频器
- 传感器
- 质量流量控制器
- 编码器
- RFID 识别器

■ 联系方式:

ETG 总部

德国纽伦堡Ostend大街196号,  
90482

电话: +49 (911) 5 40 5620

传真: +49 (911) 5 40 5629

电子邮件: [info@ethercat.org](mailto:info@ethercat.org)

ETG 北美代表处

美国德克萨斯州Volente

电话: +1-877-ETHERCAT

传真: +1 (512) 535 1437

电子邮件: [j.stubbs@ethercat.org](mailto:j.stubbs@ethercat.org)

ETG 中国代表处

中国北京

电话: +86 (0) 10 5830 1239

传真: +86 (0) 10 5830 1286

电子邮件: [info@ethercat.org.cn](mailto:info@ethercat.org.cn)

ETG 日本代表处

日本东京

电话: +81 (3) 5825 5333

传真: +81 (3) 5825 8550

电子邮件: [info.jp@ethercat.org](mailto:info.jp@ethercat.org)

ETG 韩国代表处

韩国首尔

电话: +82 (2) 21 07 32 40

传真: +82 (2) 21 07 39 69

电子邮件: [keyyoo@ethercat.org](mailto:keyyoo@ethercat.org)



[www.ethercat.org.cn](http://www.ethercat.org.cn)



EtherCAT®是注册商标、Safety over EtherCAT™是商标。  
本手册中所使用的其它名称可能是商标名称，任何第三方  
为其自身目的而引用，都可能触犯商标所有者的权利。