

主流实时以太网技术的比较

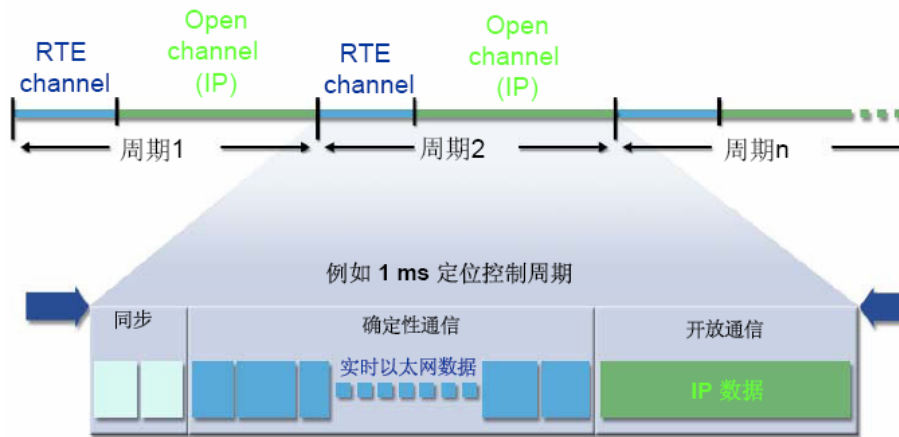
一、各个实时以太网技术概要 summary of different RT-Ethernet technologies

当前，工业实时以太网技术蓬勃发展，正在取代传统的现场总线技术(Profibus, CAN, Interbus, Fieldbus, DeviceNet, Modbus)，市场上出现了众多实时通信技术，本文对其进行了比较，这些实时以太网均建立在 uS 级的循环周期上，而不列入 ModBus TCP/IP、Ethernet TCP/IP 这些 mS 级的通信技术，并且也不将非主流的以太网技术列入，纯粹在实时以太网这个领域里进行比较（这里的实时以太网遵循 INONA 所提出的实时分类级别）。

需要申明的是，本文仅提供一个全景式的概览，而非倾向性的描述，旨在客观公正的对各种技术的特点进行分析，以作为互相交流，不作为选择网络技术的参考依据。

1.1 ProfiNet IRT

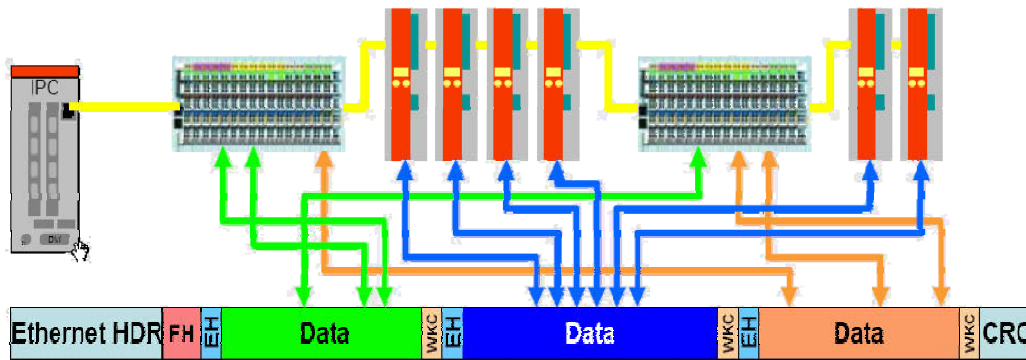
ProfiNet 提供了三个不同的版本，按照其实现和对应用的实时性支持能力为 ProfiNet/Cba, ProfiNet RT, ProfiNet IRT, 其中 ProfiNet/Cba 是建立在 Soft IP 基础上，采用交换机连接方式，由于交换机所带来的时间延迟，因此，无法支持较快的同步速度，ProfiNet 并不具备很高的实时性，而 RT 也无法满足高速运动控制的需求，而 ProfiNet IRT 则是设计为更快速的运动控制应用，因此，采用了专用的芯片来实现，这使得其速度得到了大幅度的提高，可以达到 100 个伺服 100uS 的数据刷新能力，系统抖动为 1uS。



目前 Profinet 已经开始大量使用，而 ProfiNet IRT 尚未正式得到大量使用。

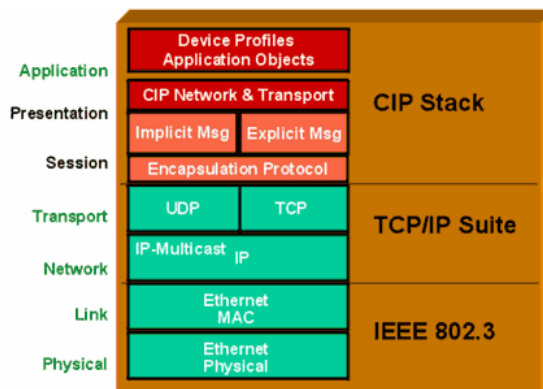
1.2 Ethernet POWERLINK

采用轮询方式，由主站 MN 和 CN 构成，系统由 SoC 开始启动等时同步传输，由主站为每个 CN 分配固定时间槽，通过这一机制来实现实时数据交换，同时也通过多路复用和节点序列方式来优化网络的效率，支持标准的 Ethernet 报文，应用层采用 CANopen, Ethernet POWERLINK 无需专用的芯片，并且可运行在多种 OS 上。



1.5 Ethernet/IP CIP

采用消费者与生产者模式运行整个过程。



Ethernet/IP CIP 基于原有的 Rockwell AB 的 DeviceNet, ControlNet 的控制和信息协议，采用了在 OSI 的会话层和表示层的修改，作为一种软件形式的协议，它显然具有较高的数据通过率，适应于大块的数据通信，因此，更适合作为网关和交换设备的应用，其实时性却受到一定的限制，但是，它完全兼容标准以太网，因此，具有很好的到工厂与企业的 IT 层互联的能力。

二、主要特点比较

下表对主要的实时以太网技术的关键参数进行了比较，罗列如下：

比较项	Ethernet POWERLINK	ProfiNet IRT	SERCOSIII	EtherCAT	Ethernet/IP CIP
抖动	<<1uS	1uS	<1uS	<<1uS	<1uS
循环周期	100uS(Max)	1ms	25us	100uS	100uS
传输距离	100m	100m	40m	100m	100m
直接交叉通信	Yes		Yes		
介质	双绞线/M12/光纤	双绞线	光纤	双绞线/M12	光纤
历史	2001.11	IRT 尚未发布	2007	2007	CIP Sync 尚未发布
是否需特殊硬件	无特殊硬件需求	Yes/ASIC	FPGA Or ASIC	Yes:从站 ASIC	ASIC
是否需要 RTOS	No	Yes	Yes	Yes	No
开放性	开源技术	需授权	需授权	需授权	需授权
原始技术	CANopen	ProfiBus	SERCOS	CANopen	DeviceNet

				SERCOS	ControlNet
硬件实现	简单	复杂	复杂	简单	简单
软件实现	简单	简单	复杂	复杂	复杂
始创公司	B&R	SIEMENS	Rexroth	Beckhoff	Rockwell AB
推广组织	EPG	PNO	IGS	ETG	ODVA
节点安装数	大于 600,000	Unvaliable	未知	未知	Unvaliable
拓扑结构	任意拓扑	受限	受限（环形）	受限（环形）	任意拓扑
同步方式	IEEE1588 时钟同步	IEEE1588 时钟同步		分布时钟	IEEE1588 时钟同步
网络编程	简单	复杂	复杂	复杂	简单
网络关注	I/O,运动控制,Safety	现场总线 运动控制	运动控制	I/O 运动控制,Safety	I/O,运动控制, Safety
动态配置	可以	可以	否	否	可以

三、各以太网技术发展历史

实时通信技术的历史渊源将为我们展示各种技术的起源，每项技术都有其继承性，因此，带有其原有的烙印：

3.1.第一个实时以太网-Ethernet Powerlink,在 2001 年 11 月，该技术即投入使用，由 B&R 开发，作为 OEM 业界领先的控制技术提供商，B&R 将其所具有的灵活架构设计、开放性和持续的创新理念融入其中，因此，Powerlink 技术便具有了其灵活拓扑结构、功能强大而易用使用、具有未来的可持续发展能力。



3.2.SERCOSIII 起始于 Bosch Rexroth 的 SERCOS,SERCOS 在 1996 年即推出的一种适用于 CNC 和机器人领域的现场总线，该公司传统在 CNC 和 Robotics 等应用上，因此，其设计基于 CNC 应用的设备描述文件，更为侧重运动控制，在初始的 SERCOS 设计里其拓扑仅支持环形网络，并且只用于传输伺服数据，而不用于传输高速 I/O 数据，这使得在其应用中通常采用两个不同的总线来处理数据通信，用 I/O 总线如 Profibus,Interbus 做逻辑信号传输，而 SERCOS 则处理伺服间数据，并且第一代的 SERCOS 并不支持双绞线的连接，而采用了光纤传输，速度为 12Mbps 最大，为了克服 SERCOS 这种现场总线的局限性，Bosch Rexroth 开发了基于以太网技术的 SERCOSIII，并在 2007 年发布。

3.3.Profinet 则建立在 Profibus 基础上，由于其始创公司 SIEMENS 在过程控制领域的强大实力，使得其广泛应用于 DCS 系统、现场仪表层、事件控制等流程工业领域，而 2007 年 Profinet 被推出，但是，是一个基于软实现方案，其刷新时间在 5mS~100mS 等级，因此其实时性并未达到 INONA 所定义的实时以太网级别，而为了解决在运动控制领域的高实时性要求，SIEMENS 计划推出 Profinet IRT，而为了实现这一网络的高实时性，则采用了 ASIC 技术来修改 MAC 层，IRT 尚未得到大量的使用。

3.4.Ethernet/IP, Rockwell AB 作为传统的自动化厂商，并且在过程控制领域具有较强的影响力，其传统的 Devicenet 是一个专业的现场总线，在此基础上的 Ethernet/IP 并未强调极高的实时性-由于传统的过程控制领域对于实时性的要求并非像高速数据采样、运动控制与 CNC 那么高，因此，其 Ethernet/IP 并不具备高实时性，只在 mS 等级的循环周期，为了解决这个问题，RA 在其系统中采用了 SERCOSIII,EtherCAT 接口，但是，未来其仍然聚焦在其自主开发的 Ethernet/IP CIP 技术，而 DeviceNet 在使用方面较之 Profibus 编程和网络配置较为复杂，这也使得其基础上的 Ethernet/IP CIP 面临这样的问题。

3.5.EtherCAT,其始创公司 Beckhoff 是一个以 PC 技术为导向的公司，建立在 Windows 平台上的技术具有良好的操作性设计，但是 Windows 本身不具备高实时性，因此，在 PC 上添加一个实时操作系统来运行实时网络。

四、节点安装现状与未来发展

4.1.当前安装状况：各以太网技术的发展历史说明其技术的成熟度，Powerlink 技术具有最大的市场应用，来自 IMS 的数据显示如下：

By Protocol	2008	2009	2010	2011	2012	2013	CAGR '08-'13
Fieldbus (all versions)	2148.0						
Ethernet TCP/IP	311.9						
Modbus TCP/IP	29.8						
Ethernet/IP	24.8						
PROFINET	25.0						
Ethernet-Powerlink	5.1						
EtherCAT	2.0						
High Speed Ethernet	2.2						
SERCOS III	0.4						
CC-Link IE	0.6						
EPA	0.1						
Others	15.3						
Total New Nodes Connected	417.2	471.4					
% Growth		13.0%					

Source: IMS Research

Mar-09

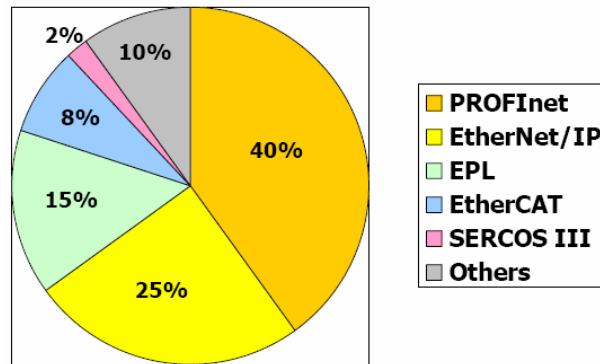
在这份报告中，Ethernet TCP/IP 的标准以太网安装节点数最多，这些通常应用于与上位的管理系统的连接，如 PLC、IPC 与 ERP、MRP 系统的连接，通过标准以太网，由于数据没有严格的实时性要求，因此，普通的以太网即可使用，而 Modbus 基础上升级的 Modbus TCP 借助传统的 Modbus 占据了较大的安装量，但是，这些通常应用于 PC 到 PLC、伺服的程序下载，与 HMI 的连接或者仪表层的接口，因此，其应用也非是实时性较高的领域，而 Ethernet/IP 和 ProfiNet 都是应用于流程工业领域的，其实时性并不是特别高，一般在 5mS~100mS 等级，而真正的实时以太网应用则是 Ethernet POWERLINK, EtherCAT, SERCOSIII, CC-Link IE, 由这一数据统计可以看出，Ethernet POWERLINK 具有最大的节点安装数，这与 Powerlink 技术推出较早有较大的关系，也与 Powerlink 产品在实时性要求较高的数据采样、运动控制应用有关。

4.2 支持厂商

目前 EtherCAT 由超过 1000 个支持厂商，而 POWERLINK 则有超过 800 个支持厂商，在中国 POWERLINK 技术因为其“OpenSource Technology”的原因取得了广泛认可，而 EtherCAT 则由于其先行的市场推广而同样具有众多的开发厂商。SERCOS 则在传统的 CNC 和机器人领域有一定的市场拥护者，ProfiNet 由于 SIEMENS 的强大市场号召力，虽然其推广目前受到 ProfiBus 的使用而未进行大规模的实际推广，但是，依赖于 SIEMENS 本身产品如 S7-1200, S7-300 系列带有 ProfiNet 接口产品的应用而会快速成长。

4.3 未来分析：

根据 ARC 对于未来实时通信的预测，将划分为两大方向，一种是由先天的市场占有而引起的市场发展例如：ProfiNet, Ethernet/IP 其主流支持厂商具有较强的市场地位，因此，这类总线将在广泛市场上占据主导，而 Ethernet Powerlink、SERCOSIII、EtherCAT 则更为偏重于专业市场如智能电网、航空航天、产业机械、医疗等领域各自发挥其专业性。POWERLINK 的开源技术理念将带给该项技术更多的未来市场支持，尤其是在中国，这一举措将赢得更多的公司信任并加入 POWERLINK 阵营。



来自中立机构的预测也显示这几种实时以太网技术的未来市场预测，由此可以看出，ProfiNet 和 Ethernet/IP 将占据较大的份额，而 POWERLINK、EtherCAT、SERCOSIII 同样占据一定的市场份额。

五、性能与功能分析

5.1 “短板理论”-通信速度已经不是系统瓶颈，按照短板理论，系统的速度取决于最短的一块板，而非最长的一块板，举例来说，一个系统由多个自动化组件构成，PLC 的 CPU 处理速度、I/O 自身的延迟、伺服系统的位置环刷新速度，从目前的技术来看，似乎以太网本身的速度基本上能满足各种应用的需求，各个以太网技术基本上都能够达到 100Mbps 的传输、100m 的传输距离需要、小于 1uS 的抖动，对于 I/O 采样而言这个速度是毫无疑问足够的，而对于 CNC 插补计算、机器人的坐标转换而言，目前国内的水平维持在 5mS 左右的应用水平，而欧美的主要厂商如 KUKA、ABB、Staubli 的机器人系统则要求更高的速度处理，小于 100uS，但是，经过分析发现，由于这些传统的机器人系统采用的均是简单的伺服驱动器，不具备速度环自身处理能力，因此，速度环必须放在主站来处理，这使得主站既要处理速度环，也要进行插补计算，并且插补计算发送给各个伺服轴，而伺服轴的速度环位置环又运行在主站上，这使得对于实时性的要求变得非常苛刻，而今天，随着智能伺服技术的发展，速度环与位置环计算完全可以在驱动器上来完成，这也使得原有的对于极高刷新速度的要求降低，这也是为什么这些传统的机器人系统平台开始转向通用平台，而逐渐不再使用原有的专用总线的原因。

评估项	POWERLINK	ProfiNet IRT	SERCOSIII	EtherCAT	Ethernet/IP CIP
传输速率	100Mbps	100Mbps	100Mbps	100Mbps	100Mbps
传输距离	100m	100m	40m	100m	100m
抖动	<<1uS	1uS	1uS	1uS	1uS
循环时间	100uS(Min)	1mS(min)	25uS(min)	125uS(max)	100uS
下一代技术	Gbps/10Gbps	Gbps			Gbps

5.2 确定性与能观系统

对于一些应用，如测试系统，需要挂接外部的输入信号，从中进行数据分析来判断问题的引发与导向，从而判断系统的改善与设计的调整，这样的测试系统往往具有较高，而这一点体现了系统的客观性，由于采用 IEEE1588 分布式时钟系统，每个 Ethernet 的数据包均有时间戳，而这一时间戳可以在现有的以太网测试工具下进行直观的判断，例如 Wireshark 即是这样一款工具。

5.3 功能分析

5.3.1 直接交叉通信的实现

目前 SERCOSIII、Ethernet POWERLINK 技术均具有直接交叉通信的能力，而这一能力主要体现在从站之间的数据交换，在一个运动控制系统中，可以由此技术来为各个从站之间建立其数学关系，通过两个轴或多个轴之间的直接通信来实现同步关系、补偿关系等，对于运动控制及多个 CPU 的处理而言，这一技术将带来极大的便利。而 EtherCAT 由于采用的是“边传输边处理”方式，而非采用广播形式发布数据，使得它不具备这一能力，同样，采用该机制的 Ethernet/IP CIP 也不具备这一能力。

5.3.2 拓扑结构

由于采用标准的以太网结构，因此，Ethernet/IP CIP 和 Ethernet POWERLINK 技术则可以实现任意的拓扑结构，而 EtherCAT 由于是采

用数据列车的结构，因此，其无法实现灵活的拓扑结构，仅在环形网络中进行数据的传输，这也同时造成了系统的无法动态配置，而必须重新启动网络配置。

5.3.3 对于热插拔的支持能力，各个网络由于本身所需要的设计，因此，需要进行热插拔设计。

5.3.4 冗余支持能力

Ethernet POWERLINK 支持环形冗余设计，这得益于其 HUB 方式的连接，通常 POWERLINK 被设计为双口 HUB，这也使得它能够通过串联方式与最后的电缆回到主节点的方式构成一个环形冗余网络，当网络中的某个节点断裂时，则系统动态配置为线性网络继续保持数据通信，EtherCAT 则具有冗余的支持能力，这也得益于其环形拓扑设计。

5.4 未来的发展

5.4.1 对待任何一项技术，我们同样需要一种更为长远的眼光去看问题，这样我们就可以更为客观的看问题，从而作出判断与选择，采用 ASIC 设计的以太网技术由于 ASIC 本身目前没有一个较为完整的方法来实现高速例如 1Gbps 的网络支持，因此，将无法实现更高速度的开发，若需要开发则将意味着巨大的成本投入，而 POWERLINK 由于采用通用的 MAC 层，因此，可以采用更高速的以太网技术，例如 10G 网络，这将使得 POWERLINK 迈入“万兆以太网”时代。

5.4.2 开放性支持

由于可以支持各种流行的芯片技术，POWERLINK 将在未来能够获得更为经济的技术支持，随着 IT 技术的发展，采用 X86 架构、FPGA 等新技术产品的推出，使得 POWERLINK 始终处于较为有利的方案设计方面的能力。

6.开发与实现

6.1.软件开发的简便性

CANopen 之所以被广为使用，是因为它具有最为简单的设备描述文件，而相对而言，Profibus、SERCOS 总线则具有更为复杂的设备描述和应用层的编程能力，因此，对于 CANopen 支持的 POWERLINK 与 EtherCAT 技术将在开发方面更为简便，应用程序的设计更为快捷，而由于采用复杂的设备描述应用层协议，Profinet、Ethernet/IP CIP 将使得编程变得更加复杂。

6.2.硬件开发

6.2.1 专用芯片-又回到从前吗？

然而，Ethernet 技术之所以得到蓬勃发展的原因就在于传统的现场总线的封闭性，而今天，采用专用芯片的技术将使得实时以太网又回到技术壁垒与利益阵营之中，这使得 Ethernet 发展的初衷无法得到良好的响应，这也使得这些技术必然又面临着新的阻碍。

6.2.2 传统的认为 ASIC 具有更高的性能和快速实现的能力，但是，由于协议本身的应用层软件接口的复杂性，以及通信协议处理与主控制器的标准硬件接口的设计这些因素导致了芯片开发的难度。

6.2.3 Profinet IRT 和 Ethernet/IP CIP 尚未发布其 ASIC，而 SERCOSIII 则提供了多家 FPGA 芯片的支持，如下：



6.2.4 Ethernet POWERLINK 则由 EPSG 组织的成员如 Systec、IXXAT、PORT 等提供了 FPGA Slave 方案，可以基于 ALTERA 和 XILINX 的标准芯片，而非专门的 ASIC 技术，在中国本土，Ethernet POWERLINK 中国用户组织则与本土软件中间服务商共同为开发者提供相应的技术支持服务，以使得能够在开源技术与实现之间建立起一个桥梁，低成本的方式实现高性能以太网技术。

6.2.5 EtherCAT 采用 ASIC 技术

6.3 成本比较分析

6.3.1 芯片价格

目前 EtherCAT 提供的芯片价格为 10 美元~30 美元不等，由于客户采购量的不同价格具有较大的差异，而 FPGA 芯片由于其价格相对竞争厂商较多而产生价格的优势，一般实现 POWERLINK 的 FPGA 芯片价格大约在 5~10 美元之间，具有一定的成本优势。

6.3.2 License 费用

由于采用 ASIC 技术的 IP Core 需要一定的授权，这带来了巨大的费用支出，并且，这些代码无法修改，而通用的芯片技术则可以带来更为便捷的扩展和代码修改能力，从而满足客户的个性化需求。

Ethernet POWERLINK 则无需 License 费用。

6.4 潜在风险

ASIC 由于属于私有技术，掌握在某个公司而造成了潜在的投资风险，这些风险包括：

6.4.1 供货风险-在产品供应紧张情况下，尤其是 2010 年整个自动化行业出现的大面积芯片断货情况，这具有一定的不确定性。

6.4.2 技术垄断-技术是否按照客户的意愿发展并非可控，在未来，随着需求的变化，个性化的需求逐渐变大的情况下，技术向哪个方向发展将无法得到确定。

6.4.3 政治壁垒造成潜在的供货，例如：由于战争与技术封锁造成的潜在风险。

七、实时以太网的开放性分析

开放性不仅仅是互联性设计，也包括了对开放的以太网标准的支持、源代码的开放性、标准硬件实现、标准操作系统平台的支持能力方面来进行评估。

7.1 是否支持标准以太网？

是否支持标准以太网的关键在于：

7.1.1.与管理层的互联能力-在未来实现“管控一体化“设计时的连接能力；

7.1.2.是否支持标准以太网同时也是影响其设备未来的生命力的关键，因为-为了突破技术壁垒而采用开放性更好的标准以太网是各种技术出现的初衷，是否支持标准以太网也意味着是否支持未来。

Powerlink 提供针对标准以太网的支持能力，ProfiNet& Profinet RT 采用软实现的方法可支持标准以太网，而 SERCOSIII 修改了 MAC,虽然物理介质是 RJ45,但是其已非标准以太网技术，而 EtherCAT 的主站支持标准以太网，而从站则不支持以太网技术，Ethernet/IP CIP 仅仅是在会话层和表示层的添加，因此，在物理上仍然支持标准以太网技术。

7.2 是否能够提供开源代码？

除了 POWERLINK 技术外，其它的实时以太网均不提供开放的源代码，而 EtherCAT 则需要购买无限 License,支付约 20 万人民币的费用，ProfiNet 则不提供源代码的支持能力，SERCOSIII 提供可供下载的 IP-Core。

开源技术具有旺盛的生命力，已经在广泛采用 OpenSource 的 IT 行业得到验证。

7.3 是否可采用开放的芯片来实现？

7.3.1 最优性价比

开放的芯片-即市面上可以获取的芯片能够保证开发者获得最高性价比-IT 技术与市场的事实早已验证这一点，采用 ALTERA 或 XILINX 提供的最新款的芯片往往是在性能上得到很大升级而又成本低廉的，ASIC 则需要巨大的量支持，但其量仍然会小于通用芯片本身，因此，在成本上开放的芯片具有更高的性价比。

7.3.2 符合未来发展潮流

是否能够跟随以太网持续发展的潮流，将影响各项技术的未来发展，若无法提供足够的开放性支持，则将终究为历史所淘汰，而那些紧随历史潮流的技术将获得巨大的生命力。

7.3.3 可选择范围

开放的标准芯片使得厂商具有更大的灵活空间来选择可用的芯片与技术，而不会受制于某个公司的独家技术来限制，这是非常重要的一点，尤其是在军工、航天航空、核电等领域，关系到国家技术的战略安全时更为突出。

POWERLINK 为开放芯片支持的实现，可根据需要提供各种开发的平台支持，SERCOSIII 也支持 FPGA 实现，但是其不支持其它的实现方式，因为其需要保证运动控制的高实时性需求，而 Ethernet/IP CIP 则由于其具有的开放性可以支持各种架构的硬件平台—Intel X86、ARM、FPGA 的开发。

7.4 是否广泛的支持各种工业操作系统？

EtherCAT 发源于 Beckhoff 的 PC 控制技术理念，其支持 Windows XP & CE，而 POWERLINK 则支持 Windows XP Embedded, Windows CE Embedded 以及 RT-Linux 这一开源技术，并且同时也支持 VxWorks、uC/OSII RTOS 这些工业自动化、航空航天领域使用的实时操作系统，并且也支持无操作系统的自动化组件开发。