



优于以太网的高性能运动控制系统

摘要

各种所创建的网络大不相同。高性能运动网络需要严格定时控制的控制体系，以确保多轴同步、实时更新。虽然以太网的性能足以满足采用分布式控制的常规应用，但对于更为苛刻的工况，以太网的速度通常很慢。在这种情况下，需要采用一种快速、同步网络，将一台中央运动处理器连接到多根伺服轴上。SynqNet 是为支持高性能中央控制系统而专门设计的，并具有包括自修复容错操作、便捷查找型组态以及高噪声抗扰度等在内的附加优点。

此外，SynqNet 由多家驱动器卖方提供技术支持，这些卖方可交付各种具有成本竞争力的产品。总之，SynqNet 具有一种独特的性能/价格优势，这就是为何其正在赢得行业领先者和原始设备供应商（OEM）客户快速采用。在选择一种运动网络时，应关注的主要因素是非常简单。运动网络具有客户所需要的性能吗？该运动网络是否可靠、安全？怎样便捷使用该运动网络？以及我能够承受该运动网络的价格吗？本文将概要说明以上四个方面以及技术背景，以帮助读者便于理解数字运动网络。

性能

以太网已经过时了

以太网已成为普遍采用的办公网络平台，似乎以太网还将延续其迈向工业自动化的辉煌之旅。在数字网络的早期阶段，从工业自动化部门观点来看时，带宽不足、决定论和长等待时间，必然导致向市场提供分布式处理解决方案。对于运动系统，其结果是智能伺服驱动产品，这种产品适用于内插在不规律数据点与很少发生数据点（通过网络传输）之间。对于高性能、多轴应用，上述方法一般是无法满足要求的。此类应用需要一种不同的控制模型，而模型中的相关处理应采用中央控制方式。直到最近， $\pm 10\text{ V}$ 模拟量转矩接口已经成为用于中央运动控制的行业标准，但新型连网解决方案预示将带来有价值的变化。

SynqNet 是第一种具有商业价值的 100 Base T（IEEE 802.3 标准）网络，该网络具有中央控制模型的所有性能优点，并具有更强的性能、容错、可靠性以及故障诊断功能。SynqNet 是由加利福尼亚州为基地的运动控制专家 Motion Engineering 公司开发的，并已经被安川电机（Yaskawa）公司、Advanced Motion Controls 公司、Danaher Motion 公司、松下（Panasonic）公司、Glentek 公司、Sanyo Denki 公司以及 Trust Automation 公司等领先驱动器公司迅速采用。



高性能控制系统

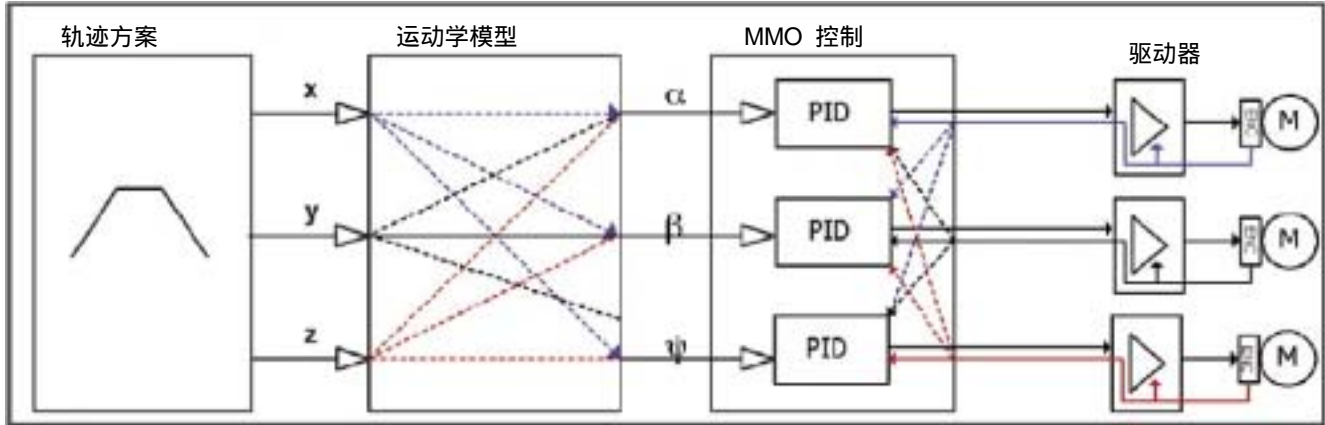


图 1：高性能运动控制的控制结构举例

高性能运动控制系统基于在许多关键技术组件，这些组件可以一种集成方式协同、无缝工作。一套完美的控制系统必须可将理想运动曲线转变成一根或者多根伺服轴的运动中。要达到此种要求，通常需要采用某些形式的运动学模型，将 X Y Z “空间”坐标轴转变成机器坐标轴或“联合”坐标轴。此外，应对任何机械缺陷（例如，非线性或轴交叉联轴节的影响）进行补偿，以优化机器性能。

运动学模型和补偿技术并非全新概念，二者均利用一台中央运动处理器，该处理器将根据可产生多个输出的多个输入，执行快速而精确的矩阵计算。术语“多重输入输出（MIMO）”通常用于描述此种普通等级的控制系统和软件控制模型。

根据机器制造商的专用技术和应用的不同，输入、输出和矩阵计算的精确类型会略有差异。

无论最终软件控制模型如何，总伺服周期时间的最小化都是非常重要的。周期时间越短，则控制系统的控制精度越高，机器机构的性能也越高。对于快速“点到点”移动或精确路径运动，在机器性能中，周期时间是一个主要的因素。

网络等待时间与传输速率限定了机器的性能

现代控制系统可接收从每根轴至每台电机的计算机新目标数据的多重控制信号输入和多重反馈输入（例如实际转矩和速度）。对于有效高性能控制，必须以极短的周期时间和极低的等待时间，同步发送控制信号数据和反馈数据。任何传输时延均表示控制系统中存在一个相位时延，其限制了机器的实际增益和有效响应时间。

	SynqNet	以太网 (IP / TCP / UDP)	固件 (IEEE 1394b)	SERCOS	CAN
最小周期 / 等待时间	< 25 微秒	1 ~ 2 毫秒	125 ~ 250 微秒	250 微秒	1 毫秒

图 2：最小周期时间

周期时间包括反馈数据的采集时间、矩阵计算的执行时间以及新目标数据的传输时间。达到此种要求所需要的关键技术单元，是一种快速同步网络和一种快速处理设备。在配有分散处理电源以及网络设备之间相对慢速连接的分布式控制系统中，无法执行“多重输入输出（MIMO）”控制。

同步网络具有适合更高路径精度的低偏置和低抖动

所有网络（任何真正的数字系统）均依靠基于一个时钟基准、在一定离散时间间隔下的数据采样。当带有独立时钟的独立系统相互连接时（这是一个与网络相关的实例），同时钟频率的固有变差和随机变差可能成为一个挑战。许多工程师均熟悉“晶振”的概念，当两个高频源相邻匹配（而非精确匹配）时，将以不同的频率发生晶振。在一架配有多台引擎的飞机中，此种作为颤动噪声的搏动是可以听得见的。数字控制系统也是一样的，而在一种无冲突网络中，晶振（连术语中的“抖动”）主要是由主节点与从节点之间的本地时钟差所引起的。在一个真实世界网络中，电磁干扰也是造成抖动的原因之一。此种抖动会直接发送到路径运动中，因此，对于精确路径运动，尽量降低抖动是一项基本要求。

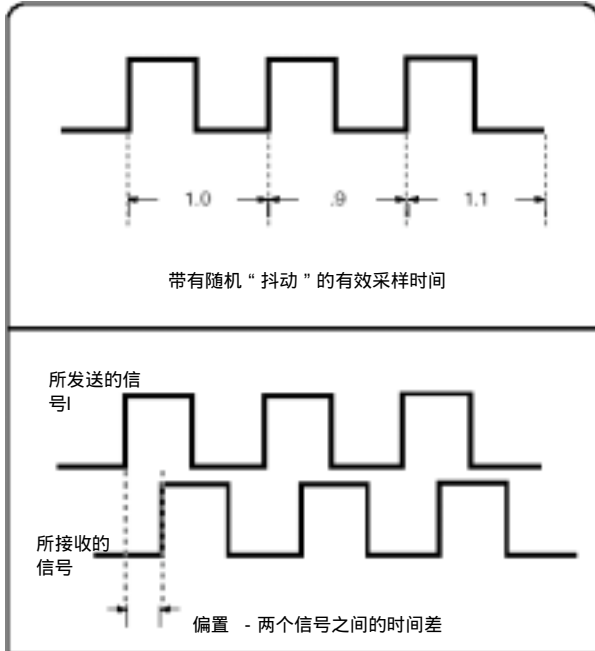


图 3：抖动与偏置

偏置是发送器与接收器之间或网络节点之间的一种恒定数据传输时延。偏置是由电缆（约 1 微秒 / 100 米）的传播时延与内部逻辑电路中的时延所造成的。对于高性能运动控制，偏置是一个相关因素，而网络必须能够测量偏置，并对其进行补偿。

对于一根单独轴，抖动可导致不稳定的控制行为（例如，速度变差或振荡、最终位置错误）。对于多轴系统，其结果将更为严重。

对于一根单独轴，抖动可导致不稳定的控制行为（例如，速度变差或振荡、最终位置错误）。对于多轴系统，其结果将更为严重。

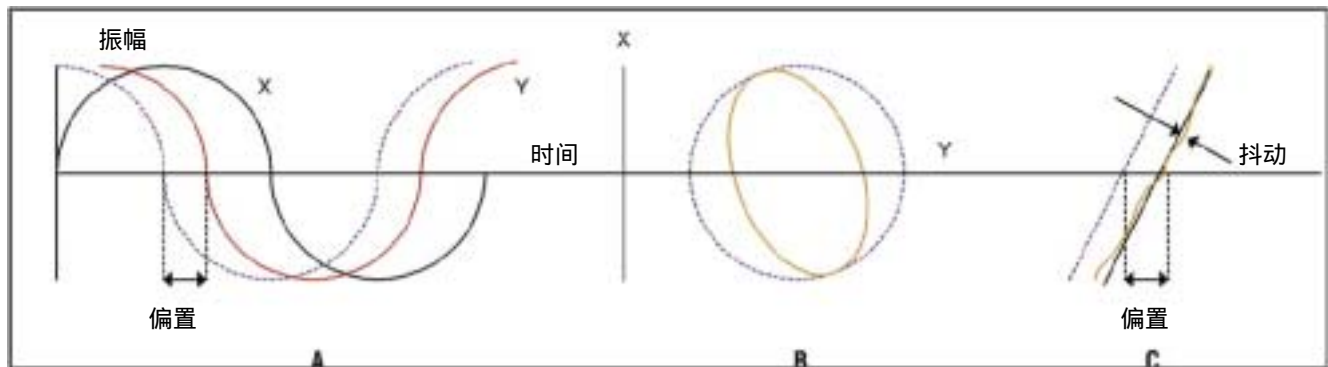


图 4：在一个 2 维圆形内插和直线上所示的抖动与偏置影响

偏置在网络节点之间引入一个恒定相移。因此，协同轴无法接收到一组同步指令值。例如，假定你想要利用两个协同轴执行一次快速圆形内插（例如，材料切割）。在此种情况下，一根轴将接收到一条正弦指令曲线，而第二根轴将接收到一条余弦指令曲线。偏置（恒定相移）将圆形转变成图 4B 所示的一个椭圆。附加抖动也会将一些畸变增加到该形状。

SynqNet 具有远胜于以太网的降低“偏置与抖动”性能

通过使用相位锁定回路技术，使每个从属网络的独立时钟与主网络同步，SynqNet 可将抖动限定到小于 1 微秒。这将使其它非同步网络具有卓越的性能（例如，基于以太网的 TCP / IP 或 IP / UDP，使用时间戳，可将抖动削减到仅为 20 微秒）。以太网协议将引入额外的开销负担，这种开销负担将典型周期时间和等待时间限定到长达 1 毫秒。虽然此种水平的性能可能足以满足许多常规自动化应用，但其不足以满足高性能运动控制系统。

采用可在硬件中测量系统偏置并对其进行补偿的专用算法，SynqNet 可将偏置限定到 20 微秒。对于任何数目的节点或网络流量条件，抖动与偏置均可得到担保。

协议效率是运动控制的基本要求

SynqNet 采用轻量级第 2 层

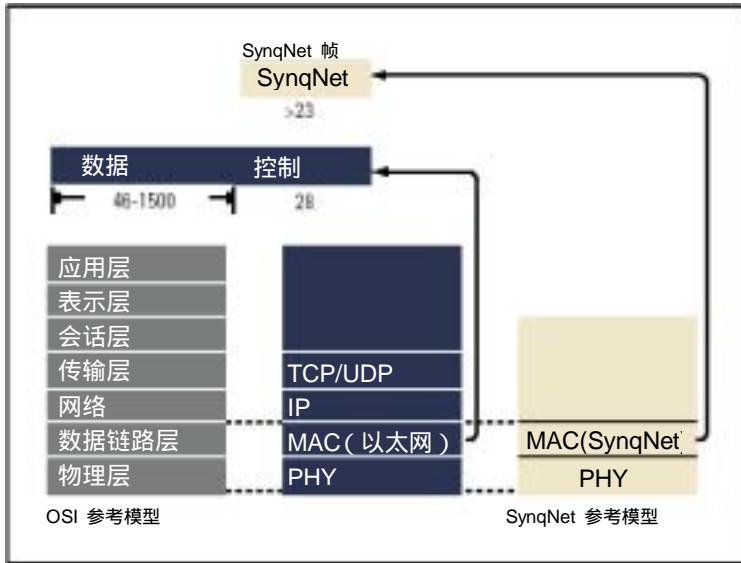


图 5 : OSI、IEEE 802.3 和 SynqNet 参考模型

以太网设计用于传输长数据包。一个符合 IEEE 802.3 标准的数据帧，由 28 个控制位和至少 46 个数据位组成。就一般工业运动应用而言，此种协议是特大型协议。通常，一个节点(设备)的数据需要量是很小的(小于 46 位)。为了降低周期时间和等待时间，Synqnet 已经在第 2 层对数据帧进行了优化。一个数据帧由至少 24 位组成，而不是至少 74 位。这是 SynqNet 胜过以太网的一个主要优点，可提供更快速、更具预测性的性能。

同步全双工通信具有确定性性能

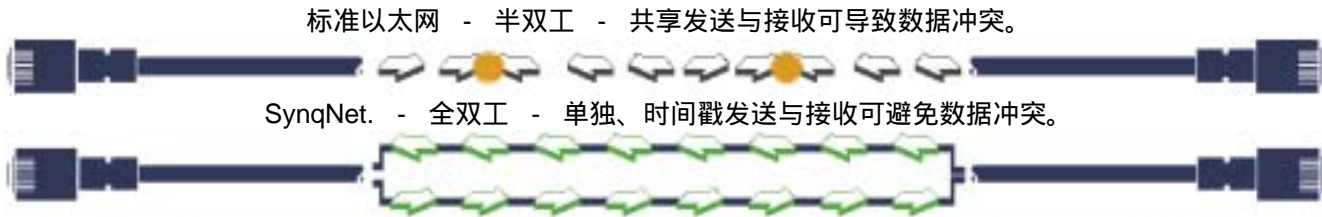


图 6 : 标准以太网与 SynqNet

标准以太网依靠一对单独的导线发送和接收数据。访问该导线是由被称为多访问冲突监听 (MACD) 的明确机制进行管理。正如其名称所描述的一样，网络上的多台设备尝试访问同一根导线。如果两台设备尝试同时进行访问，则将发生一次冲突，该设备停止发送，或“后退”，并在一定随机时间之后尝试重新访问。此种机制是固有非确定性机制，并当网络上的设备数目增加时，冲突时间几乎以指数级增加，并导致性能快速降低。对于办公连网以及常规自动化（其缺少怎样刚好适合最严重运动应用的确定性），需要备选解决方案。

SynqNet 设计用于消除多访问冲突监听 (MACD) 机制。SynqNet 采用一种同步方法（正如其名），以一种规则的预定时间方式，将数据传送到每一台设备中。使用独立的接收与发送导线对（全双工），可避免数据冲突，并可达到 2×100 Mbit 的确定性数据传输速率。其结果是周期时间最短为 25 微秒（4 根轴）。此外，SynqNet 具有一种周期时间最短可达 10 微秒的可组态包结构。

安全性与可靠性

“自修复”容错操作提高了安全性和可用性。

SynqNet 可以链形拓扑或环形拓扑进行组态。环形拓扑具有配线方便、容许 SynqNet 系统内电路断路的特点。

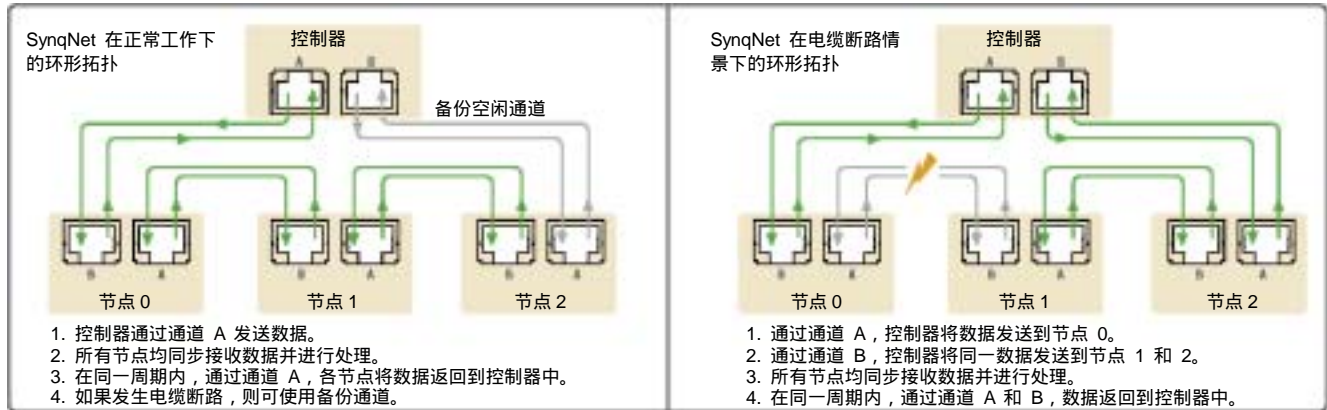


图 7：环形拓扑与自修复容错操作

“自修复”容错系指在发生实际电缆断路、连接松弛或任何一个节点或多个节点的整体故障之后，仍能够正常工作的能力。例如，如果五个节点中的两个发生故障，则 SynqNet 仍然能够控制其余三个节点，标记相关应用程序，然后执行备用运动参数。一个闭环可确保始终存在一个冗余数据通道，以便通过整个环路发送数据。SynqNet 使用此冗余通道作为一个次级数据通道。

如果一个配线段发生故障，则 SynqNet 硬件将在两个伺服周期内重新进行数据通道选路，而网络连接保持可使用（图 7）。同时，应用程序将被告知相关事件和事件位置，以便机器以一种适合特定工况的方式进行响应。例如，可对一台机器进行编程，以结束一个移动顺序，否则，该移动顺序可导致独立（或连锁）机器轴发生危险碰撞（或可造成重大损失的碰撞）。

此外，每个节点均配有各自的看门狗定时器，这样即便是主机或整个网络发生故障，每个节点均可以一种可预测的安全方式做出反应，以便以平稳、可控的方式进行关机。为了预测可能的网络故障，在每一个节点上，SynqNet 均配备有传输错误计数器。错误计数的任何异常提高，均可用于向应用软件发出报警，并在酿成重大故障之前，查找到的问题。SynqNet 使用 100 BaseT CRC 错误校验。

SynqNet 是具有此种水平安全性和可靠性的唯一商用网络。在所有数字网络中，容错是非常重要的，特别是在高价值应用和医疗应用中，冗余设计对成本节省和（或）安全性至关重要。

SynqNet（100 BaseT）的电气隔离具有实实在在的可靠性

SynqNet 和固件（IEEE 1394）网络在设计上均可与大量节点相适应。当各节点分布在一台机器或工厂的周围时，这些节点通常被定位到不同的接地地域上，该接地地域可引入接地噪声和环流。在上述接地之间，IEEE 1394 电缆配有一个直流连接，并可导致一个接地环路，而接地电流会对 IEEE 1394 网络的可靠性造成负面影响。这种影响包括数据信号降级和来自电缆的过大电磁干扰（EMI），其可转变成错误的、可能有危险的运动性能或系统关机。如果接地电流足够高，则可能造成系统组件损坏，以及引起人员电击危险。

IEEE 1394 网络是为至 / 从远程节点的源点和（或）转发器电源而设计的，以便使各节点不必配备各自的网络功能电源。此功能与 IEEE 1394 系统中所需要的高速信号传输速率相结合，使得直流电缆隔离难以实施。

相反，诸如 100 BaseT（IEEE802.3）等行业标准网络系统以及其它网络，采用使用变压器或光电耦合器的直流电缆隔离。由于 SynqNet 基于 100 BaseT，从而避免了 1394 网络中固有的电磁干扰（EMI）问题。

使用便捷

简易性是运动网络经济性的必然要求



网络在概念上简单，是为在各设备之间数据传输而设计的。但是，在真实世界中，传输数据的技术方法、可靠性、安全性以及采用一种及时、同步的方式，就需要许多非常复杂的基础技术。设计完美的网络应使用户避开此种复杂性，使用户专注于系统设计和机器性能。

SynqNet 在设计上让机器制造商放心。利用诸如网络设备自动查找、常规调节和报告方法等技术，使得设置和组态非常简单。

由软件定义互操作性

网络的互操作性常常造成误解和误传。例如，IEEE 1394 标准在网络设备驱动器上位机处定义了一个接口。该标准没有定义针对一项运动控制应用的软件接口，现在还不存在可解决多卖方互操作性问题的 1394 自动化标准。结果，可从多个卖方获得 1394 标准，至今还没有常规软件应用编程接口（API），使得多卖方互操作性无法实现（如果不是不可能）。机器设计人员有效地锁定到一家可提供封闭型 1394 驱动器和控制系统的特定卖方。SERCOS 采用一种不同的方法，并使用许多标准型或强制性元件以及许多专利元件。结果，为了达到真正的互操作性，需要每个连网组件中专利元件的内部知识。

相反，SynqNet 在设计上采用一种适合所有网络设备并来自多个卖方的常规软件应用编程接口（API）。现在，从可提供标准型和定制型运动产品的美国及日本领先供应商处，可获得商用 SynqNet 产品。该应用编程接口可作为一套功能强大的 C / C + + 或 Active X 运动库使用。

功能强大的网络准备工具

SynqNet 工具在设计上与连网运动系统一起工作，该连网系统可含有来自多个卖方的各种组件。实时数据采集、网络组态和管理、机械特性和优化等专用工具适合在 windows 平台上使用，还可通过任何 TCP / IP 接插连接进行使用。

采用固件下载的中央软件组态控制系统

SynqNet 具有查询固件修正和将固件下载到网络中每台设备中的能力。这简化了软件、固件、甚至 FPGA 图像的组态管理过程，并提供了一种执行机器升级包或安装现场中未知组态状态备用组件的高效方法。

远程故障诊断

利用实时节点信息的可用性，可实现预测性维修保养、远程故障诊断以及维修应支持的体系。例如，如果该节点是一个 SynqNet 放大器，则可通过用户应用程序，远程、实时访问温度等参数、故障和报警状态、组态、驱动电机及编码器信息。

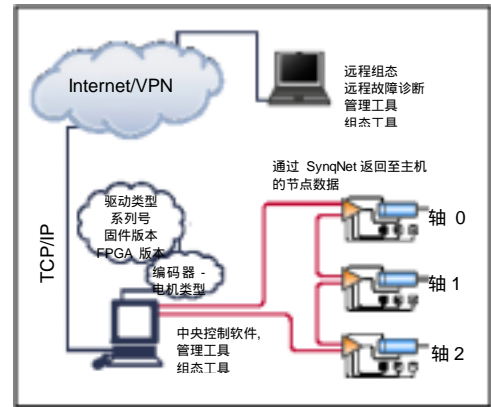


图 8 : 升级容易、远程组态和故障诊断

可用性与灵活性

竞争性组件选型



一套运动系统的主要组件包括运动处理器、驱动器以及输入/输出装置。SynqNet 由数目日益增长的伺服驱动器卖方进行技术支持，该卖方可提供标准型和定制型的单轴和多轴(10 W ~ 10 KW)产品。各种备选组件可提供设计灵活性，并可确保来自世界领先驱动器及电机卖方的竞争性定价。

SynqNet - 构建在具有开放性与成本效益的技术之上
SynqNet 构建在开放性行业标准 silicon 上，这使得原始设备制造商 (OEM) 和驱动器卖方嵌入相关技术更加简单，并更具成本效益。无需使用专用集成电路 (ASIC)。众多供应商均可提供 PHY 和 Dual-PHY。SynqNet 媒体访问控制器 (SQMAC) 需要一台仅中等型号的 FPGA。

图 9：一些标准型与定制型 SynqNet 产品

SynqNet developer 工具适用于驱动器、输入输出装置和运动专用接口。此工具包括参考设计和许可 FPGA 图像。



图10：SynqNet Developers Kit 工具箱

网络比较

	SynqNet.	以太网 (TCP / IP) (UDP)	固件 IEEE 1394 标准	SERCOS	CAN
电磁干扰 (EMI) 抗扰度	高 变压器隔离	高 变压器隔离	低 (双绞线)	高 光纤	中等 / 高 规则 / 光电耦合器
节点间最大距离	100 米	100 米	4.5 米	40 米	总计 40 米!
最小周期/等待时间	< 25 微秒	1 ~ 2 毫秒	125 ~ 250 微秒	250 微秒	1 毫秒
带宽	100 + 100 Mbit/秒<	100 Mbit / 秒	400 Mbit / 秒	16Mbit / 秒	1 Mbit / 秒
下一代	1 + 1 Gbit/秒	1 Gbit / 秒	800 Mbit / 秒	-	-
传送模式	全双工	半双工	半双工	半双工	半双工
最大抖动	< 1 微秒	20 微秒	< 1微秒	1 微秒	1..120 微秒
容错	是	否	否	否	否
是否分叉道图需要交换机/集线器	否	是	否	否	否
最大节点数	254	无限制	63	254	2032

表 1：网络比较

摘要

各种所创建的网络大不相同。高性能运动网络需要严格定时控制的控制体系，以确保多轴同步、实时更新。虽然以太网的性能足以满足采用分布式控制的常规应用，但对于更为苛刻的工况，以太网的速度通常很慢。在此种情况下，需要采用一种快速、同步网络，将一台中央运动处理器连接到多根伺服轴上。

SynqNet 是为支持高性能中央控制系统而专门设计的，并具有包括容错、便捷查找型组态以及高噪声抗扰度在内的附加优点。此外，SynqNet 由多家驱动器卖方提供技术支持，这些卖方可交付各种具有成本竞争力的产品。总之，SynqNet 具有一种独特的性能/价格优势，这就是为何其正在赢得行业领先者和原始设备供应商 (OEM) 客户快速采用。

关于 SynqNet 的更多信息，请登录 www.synqNet.org 或 www.motioneng.com ?



© Motion Engineering 公司保留所有权利，2003 年。
上述信息和技术规格均可发生变动，恕不另行通告。
所有商标均为归各商标持有人所有。
文件编号：SQ0803

Motion Engineering 中心

美国

Motion Engineering 公司总部
Santa Barbara, 加利福尼亚

电话：+1 - 805 - 681 - 3300 传真：+1 - 805 - 681 - 3311

硅谷

Palo Alto, 加利福尼亚

电话：+1 - 408 - 888 - 5345 传真：+1 - 805 - 681 - 3311

Southern California

Mission Viejo, 加利福尼亚

电话：+1 - 949 - 348 - 2737 传真：+1 - 805 - 681 - 3311

波士顿

Acton, MA

电话：+1 - 978 - 264 - 0051 传真：+1 - 978 - 264 - 0057

费城

费城, PA

电话：+1 - 215 - 793 - 4220 传真：+1 - 215 - 793 - 4223

日本

Motion Engineering 公司, KK

东京, 日本

电话：+81 - 3 - 5540 - 6431 传真：+81 - 3 - 5540 - 6432

名古屋

名古屋, 日本

电话：+81 - 532 - 45 - 3511 传真：+81 - 532 - 45 - 5415

英国

Motion Engineering 有限公司

布里斯托尔, 英国

电话：+44 - 117 - 3179 - 333 传真：+44 - 117 - 3179 - 303

德国

Saarbrücken, 德国

电话：+49 681 85 79 96 5 传真：+49 681 85 79 96 6

为快速制造更优机器助一臂之力

www.SynqNet.org
www.motioneng.com
info@motioneng.com