

通过10BASE-T1L连接 实现无缝现场以太网

战略营销经理Maurice O'Brien
和系统应用工程师Volker Goller

10BASE-T1L是在2019年11月7日经过IEEE认证的新以太网物理层标准(IEEE 802.3cg-2019)。这将通过与现场级器件(传感器和执行器)的无缝以太网连接显著提高工厂运营效率,彻底变革过程自动化行业。10BASE-T1L解决了至今为止一直限制在过程自动化中使用现场以太网的挑战。这些挑战包括功率、带宽、布线、距离、数据岛以及本质安全0区(危险区域)应用。通过为棕地升级和新绿地安装解决这些挑战,10BASE-T1L将有助于获得以前无法获取的新见解,如组合过程变量、二次参数、资产健康反馈,并将它们无缝传达至控制层及云端。这些新的见解将通过从现场到云的融合以太网网络,让数据分析、运营见解和生产力提高成为可能。

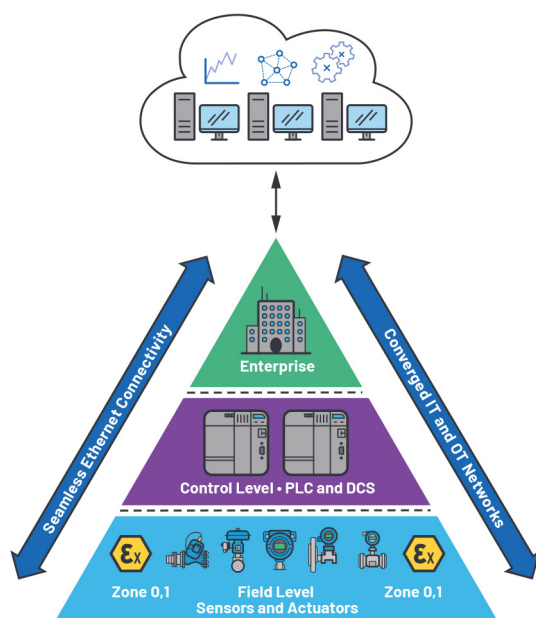


图1. 与过程自动化现场传感器和执行器的无缝以太网连接。

要在过程自动化应用中用以太网替换4 mA至20 mA器件或现场总线通信(FOUNDATION Fieldbus或PROFIBUS® PA),需要通过单条屏蔽双绞线向传感器或执行器同时提供功率和数据。与更复杂的布线相比,单条双绞线布线的优点是成本更低,尺寸更小,安装更方便。在过程自动化应用中,现场级器件之间的距离一直是

限制在100 m内的现有工业以太网物理层技术的巨大挑战。由于过程自动化应用需要长达1 km的距离,并且需要适用于0区(本质安全)应用的低功率且可靠的现场器件,因此过程自动化需要一种实现以太网物理层技术的新方法。而10BASE-T1L就是这个新方法。

10BASE-T1L核心功能是全双工、直流平衡、点对点通信方案,且在7.5 MBd码元速率和4B3T编码下采用PAM 3调制。它支持两个幅度模式:长达1000 m电缆的2.4 V峰峰值和更短距离下的1.0 V峰峰值。1.0 V峰峰值幅度模式是指,这项新的物理层技术也可在防爆系统环境中使用,并符合严格的最大能源限制。它可通过双绞线技术实现较长的传输距离,且在单条双绞线上同时传输功率和数据,属于单对以太网(SPE)介质系列。

10BASE-T1L支持为现场器件传输很高的功率;0区(本质安全)应用中高达500 mW。与此相比,使用4 mA至20 mA器件约为36 mW。在非本质安全应用中,根据所用电缆的不同,功率可高达60 W。由于在网络边缘有更高的功率可用,因此可能具有增强特性和功能的新现场器件,原因在于4 mA至20 mA器件的功率限制和现场总线不再适用。例如,现在通过额外的功率,可以测量更高的性能,增强对数据的边缘处理。这将发掘有关过程变量的宝贵见解,过程变量现在可以通过在现场级器件(现场资产)上运行的Web服务器访问,最终推动过程流和资产管理的改进和优化。

要利用包含这些宝贵新见解的丰富数据集,需要更高带宽的通信链路,将跨过程安装的现场器件的数据集传输至工厂级基础设施或云端进行处理。而10BASE-T1L无需耗电大的复杂网关,可跨信息技术(IT)和操作技术(OT)网络使能融合以太网网络。通过此融合网络,可简化安装和器件更换,加快网络调试和配置。最终将加快软件更新,简化根本原因分析和现场级器件维护。

以太网解决方案的优势

通过融合以太网作为过程自动化中跨企业、控制和现场级别的通信方法,不再需要耗电大的复杂网关。这也实现了从极为分散的现场总线基础设施的过渡,该基础设施创建了访问现场

级器件内部数据受限的数据岛。通过移除这些网关，显著降低了这些传统设备的安装成本和复杂性，并消除了其所创建的数据岛。

迄今为止，过程自动化应用一直使用表1中所示的传统通信标准，而新的10BASE-T1L标准克服了它的多个局限性。过程自动化中还存在一个知识库挑战。技术人员和工程师退休后，带走了具有HART®的4 mA至20 mA器件或现场总线通信系统的部署、调试和安装维护方式的详细知识。而大学毕业生对这些传统技术不熟悉，但很熟悉基于以太网的技术，可快速部署基于以太网的网络解决方案。

表1. 具有HART的4 mA至20 mA器件、现场总线和10BASE-T1L的比较情况

比较	具有HART的 4 mA至20 mA	现场总线	10BASE-T1L
数据带宽	1.2 kbps	31.25 kbps	10 Mbps
更高级别的以太网连接	复杂网关	复杂网关	无网关、无缝连接
仪器功率	<40 mW	有限功率	IS: 500 mW 非IS: 高达60 W (取决于电缆)
知识/专业技术	对知识/专业技术的要求减少	对知识/专业技术的要求减少	以太网技术对所有大学毕业生来说都很熟悉

以太网标准可确保采用10BASE-T1L的所有较高协议层的工作方式完全与10BASE-T、100BASE-TX和1000BASE-T相同，因此无需使用复杂的网关。在IEEE 802.3中，为以太网，10BASE-T1L定义了ISO 7层模型中的所有物理层（请参见图2）。这意味着，器件现在可以使用PROFINET®、EtherNet™/IP、HART/IP、OPC UA™或MODBUS®/TCP并支持MQTT等物联网协议，这提供了一种将现场器件连接到云的简单而强大的方式。通过以太网，还可简单地以集中控制的方式将软件更新至终端节点，从而加快网络调试。



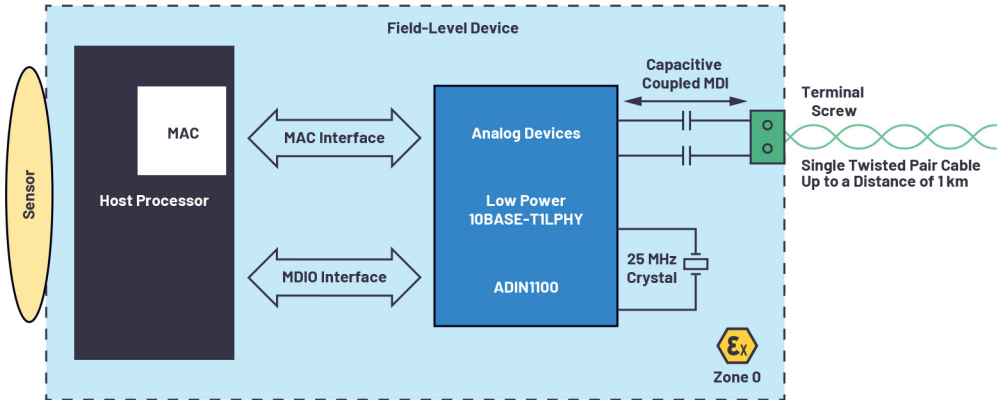
图3. 采用10BASE-T1L PHY的现场级器件连接。

Layer	Type	OSI Model	TCP/IP Model	Authority
7	Data	Application Layer	Application Layer	RFCs, IETF, Industry Organizations, etc.
6	Data	Presentation Layer		
5	Data	Session Layer		
4	Segments	Transport Layer	TCP/UDP	
3	Packets	Network Layer	IP	
2	Frames	Data Link Layer	Ethernet Data Link	IEEE 802.1
1	Bits	Physical Layer	Ethernet 10BASE-T1L	IEEE 802.3

图2. ISO 7层模型中的10BASE-T1L。

要与支持10BASE-T1L的器件通信，需要具有集成介质访问控制(MAC)的主机处理器、无源介质转换器或具有10BASE-T1L端口的交换机。无需其他软件、自定义TCP/IP堆栈和特殊驱动程序（请参见图3）。这就使10BASE-T1L器件具有明显优势：

- ▶ 尽管连接10BASE-T1L需要介质转换器，但只转换物理编码，不转换以太网数据包的内容。从软件和通信协议角度来看，它是透明的。
- ▶ 通过以太网连接，无论传感器在桌面上还是部署在制造工厂，均可在笔记本电脑或手机上配置。例如，目前的温度传感器有一个额外的接口（例如，USB接口），以便能够配置转换器。根据制造商的不同，调整选项超过100个。这些参数目前无法通过4 mA至20 mA器件访问。HART允许访问，但通常太昂贵。因此，如果在桌面安装过程中出错，4 mA至20 mA传感器将需要在现场安装后重新配置。通过10BASE-T1L连接的传感器可通过网络访问，并可随时随地远程更新。
- ▶ 4 mA至20 mA器件仅可传输一个过程值。通过以太网，不仅能够直接访问过程值，而且能够直接访问所有器件参数，如资产管理、生命周期管理、预测性维护、配置和参数化。



- 传感器变得越来越复杂，软件也更有可能更新。现在，通过快速以太网连接，可在现实时间段内随时随地做到这一点。
- 访问高级以太网网络诊断工具简化根本原因分析。

过程自动化布线和网络部署

在过程自动化中，不像在机器制造或工厂自动化中，这些传感器和执行器（流量、电平、压力和温度）不靠近控制器。传感器和I/O之间的距离为200 m并不少见，而在那里到场开关之间的距离可长达1000 m。过程自动化使用A型现场总线电缆，因为它目前已经用于PROFIBUS PA和Foundation Fieldbus安装。

10BASE-T1L标准不定义特定传输介质（电缆）；而定义通道模型（回波损耗和插入损耗要求）。10BASE-T1L通道模型很适合现场总线A型电缆，因此一些已安装的4 mA至20 mA电缆可与10BASE-T1L一起重用，从而为过程自动化安装的棕地升级创造巨大的机会。

由于10BASE-T1L允许信号幅度电压在长达约200 m的线路上降低到1 V，因此10BASE-T1L可用于防爆系统环境中，并符合高达500 mW功率的危险区域的严格最大能源限制。

由于与4 mA至20 mA相比功率显著增加（500 mW相比~36 mW），如今因4 mA至20 mA的有限功率而需要外部电源的4线器件，现可被支持10BASE-T1L的2线器件替代，2线器件无需外部电源，因此提高了新器件安装的灵活性。

图4显示过程工业的建议网络拓扑，称为干线和支线网络拓扑。干线电缆可长达1 km，其PHY峰峰值幅度为2.4 V，位于1区、2分区。支线电缆可长达200 m，其PHY峰峰值幅度为1.0 V，位于0区、1分区。电源开关位于控制级，提供以太网交换机功能，并向电缆供电（通过数据线）。场开关位于危险区域的现场级，由电缆供电。场开关提供将支线电缆上的现场级器件连接到干线电缆的以太网交换机功能，并向现场级器件供电。在一条干线电缆上连接多个场开关，可让更多的现场级器件连接到网络。

场开关可通过环型拓扑连接以实现冗余。在边缘，对于数据速率以前限制为不到30 kbps的大多数应用，高达10 Mbps是一大进步。由于以太网现在用于在现场连接终端节点器件，IT和OT已成功融合到无缝以太网网络上，从而能够从世界上的任何地方对任何终端节点器件进行IP寻址。

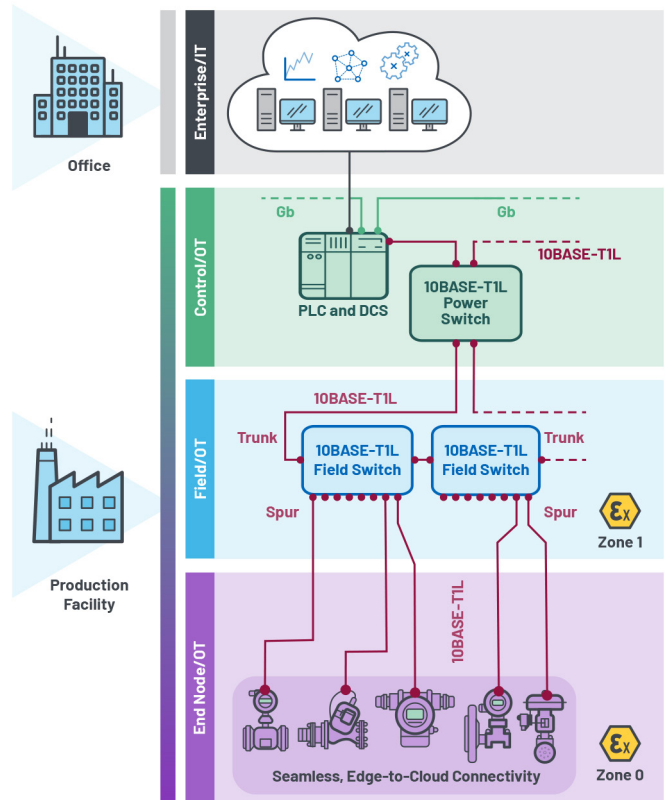


图4. 过程工业的10BASE-T1L网络拓扑。

支持10BASE-T1L的以太网APL

以太网APL（高级物理层）指定向过程工业的传感器和执行器应用以太网通信的详细信息，并将根据IEC发布。它基于10BASE-T1L以太网物理层标准，并指定用于危险场所的実施和防爆方法。领先的过程自动化公司正在PROFIBUS and PROFINET® International (PI)、ODVA, Inc.和FieldComm Group®的管理下合作，使以太网APL能够跨工业以太网协议使用，并加速其部署。

过程自动化：向未来的无缝以太网连接过渡

与HART连接的4 mA至20 mA器件多年来一直成功部署在过程自动化应用中，是久经经验的可靠解决方案，不会在一夜之间消失。目前存在具有支持HART的仪器仪表的大型4 mA至20 mA客户群，并且ADI公司将对软件可配置I/O进行投资，通过允许在任意引脚上访问任意工业I/O功能，且允许在远程I/O应用中在任意时间配置通道，提高这些现有器件的安装灵活性。这意味着可在安装时进行自定义，从而加速产品上市，减少设计资源需求，以及跨项目和客户广泛应用通用产品。ADI公司提供的软件可编程I/O电路示例包括AD74413和AD4110-1。

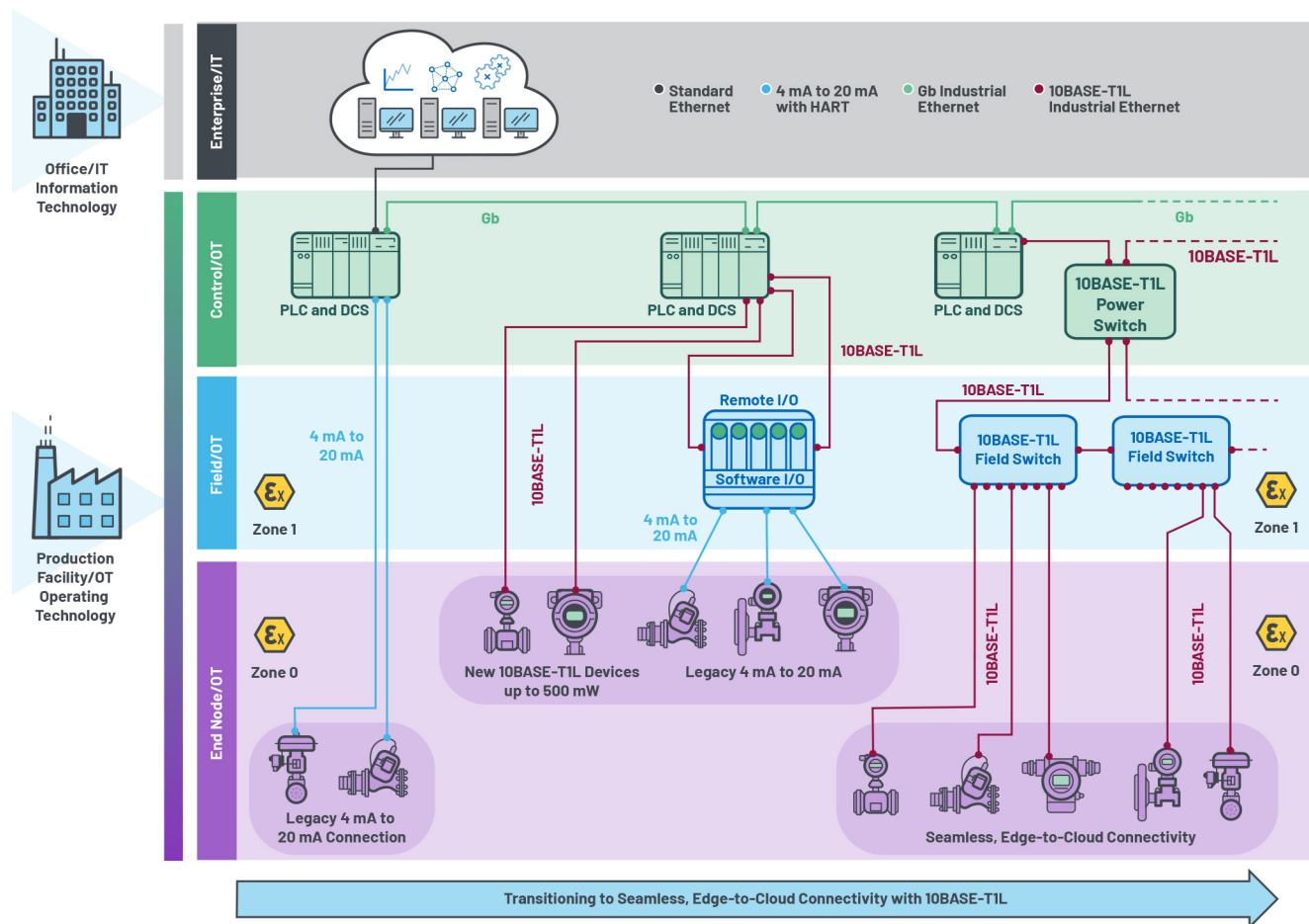


图5. 传统分立布线将逐渐成为所有传感器和执行器的智能以太网网络。

图5显示从传统4 mA至20 mA连接的仪器仪表过渡到棕地以太网，其中支持10BASE-T1L的新仪器仪表将与传统4 mA至20 mA仪器仪表共存。软件可配置I/O将这些传统仪器仪表连接到PLC，在这些传统仪器仪表中，远程I/O为10 Mb以太网上行链路提供聚合点。

将采用10BASE-T1L技术在过程自动化中实现无缝云端连接技术。10BASE-T1L消除了对网关和I/O的需求，并且实现了从现场器件到控制级别最终到云端的以太网连接。解锁现场器件将生成丰富的数据集用于先进数据分析。

10BASE-T1L在过程自动化以外的应用

10BASE-T1L正在楼宇自动化、工厂自动化、能源供应、监控、自来水及污水处理自动化，以及最终在电梯领域产生强大的吸引力。所有这些应用都需要更高的带宽、与传感器的无缝以太网连接（无网关），以及在单条双绞线上同时传输功率和数据。表2比较了10BASE-T1L和目前使用的现有有线技术。应用示例包括楼宇自动化中使用的RS-485和工厂自动化中使用的I/O链路。

10BASE-T1L器件创建可行见解以推动过程优化

在ADI公司的Chronous™工业以太网解决方案系列中添加10BASE-T1L物理层产品后，ADI将实现向现场到云连接的过程自动化安装的过渡，包括食品和饮料、制药、石油和天然气安装设施的危险场所。新的10BASE-T1L物理层收发器将提供物理层接口，从而发挥以太网连接工厂的许多优势。借助10BASE-T1L，以太网数据包从现场级别转移到控制级别，最终到达云端，且无需网关，从而实现工业4.0统一IT/OT网络的目标。由于有更大的功率可用，可使能具有增强特性和功能的新型现场器件。各现场级器件的透明IP可寻址性将极大地简化10BASE-T1L连接仪器仪表的安装、配置和维护。10BASE-T1L将实现新的现场器件、丰富的云计算数据集和高级数据分析。工厂运营效率将通过从其过程中获得可行见解而提高，从而加速未来部署更复杂的过程自动化生产设施。

有关ADI Chronous工业以太网解决方案组合及其如何加速转变为现实世界工业以太网网络的更多信息，请访问analog.com/chronous。

表2. 现有通信标准和10BASE-T1L的比较

协议	包格式	电缆长度	位速率	通过数据线供电	连接器	本质安全应用案例
PROFIBUS PA	UART/PROFIBUS	1200 m	31.25 kbps、总线、半双工	是	M12、端电极螺丝	是
Modbus RTU 和其他 RS-485协议	UART/Modbus	1200 m (高达约 185 kbps, 375 kb时, 300 m, 500 kb时, 200 m)	典型19.2 kbps、总线、半双工	否	DB9、M12	N/A
I/O链路	I/O链路	20 m	最大230.4 kbps、半双工	否	M12	否
4 mA至20 mA	模拟接口	>10 km	-/-	是, 36 mW	螺丝	是
HART	4 mA至20 mA 数字调制	>1500 m	1200 bps、总线、半双工	是, 36 mW	螺丝	是
10BASE-T1L	以太网IEEE 802.3	1000 m (2.4 V), 多达10个接头 (接线盒)	10 Mbit、全双工	是, 最高60 W	端电极螺丝或 IDC连接器, 可选 单对以太网连接器	是
		>200 m (1.0 V) >200 m (1.0 V)		在防爆危险区0 高达500 mW		

作者简介

Maurice O'Brien是ADI公司工业连接部门的战略营销经理。他负责为工业应用提供工业以太网连接解决方案支持的策略。在此之前，Maurice在ADI公司的电源管理应用和营销领域工作了15年。他毕业于爱尔兰利默里克大学，获电子工程学士学位。联系方式: maurice.obrien@analog.com。

Volker E. Goller是ADI公司的一名系统应用工程师。他拥有30多年的丰富经验，广泛涉猎复杂运动控制、嵌入式传感器、时间敏感网络技术等工业应用。作为一名商用软件开发人员，Volker为无线和有线应用开发了各种通信协议和堆栈，同时积极参与领先的行业组织的新通信标准制定。联系方式: volker.goller@analog.com。

在线支持社区

访问ADI在线支持社区，中文技术论坛
与ADI技术专家互动。提出您的棘手设计问题、浏览常见问题解答，或参与讨论。

请访问ez.analog.com/cn

