

Technical White Paper

在楼宇自动化领域利用单线对以太网



Navaneeth Kumar

Systems Manager

本文已在 [Electronic Design](#) 中发表，并已授权在此处发布。

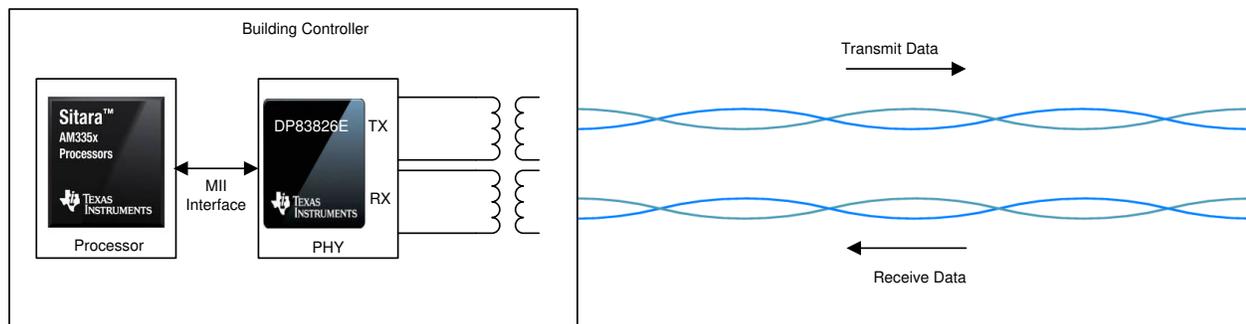
以太网已成为主流通信协议，处于楼宇自动化控制金字塔的顶端。最近，电气和电子工程师协会 (IEEE) 定义了一项新的以太网标准 [IEEE 802.3.cg](#)，通过单对平衡导体实现 10 Mb/s 的运行速度以及相关的电力输送。单线对电缆可同时支持数据传输和电力输送，所以采用该标准可显著节约成本，并且在楼宇自动化应用中更易于安装。

边缘设备正在努力实现以太网功能。楼宇自动化领域当前使用多种通信网络，例如暖通空调 (HVAC) 应用使用 Modbus，访问控制使用 BACnet，照明使用 LonWorks，消防安全使用以太网。这种网络碎片化需要使用网关来执行协议转换，以在楼宇自动化控制金字塔的顶部统一合并网络。最终用户必须相应地管理复杂的系统。

各种通信网络存在的原因包括需要更长的通信距离、多点连接、供电方案和支持独特的协议。单线对以太网 (SPE) 可以满足上述的许多需求。在边缘设备中实现以太网功能可以带来诸多好处，例如直接访问控制系统、状态更新、预测性维护、硬件标准化以及跨各种系统的互操作性。

SPE 概述

标准以太网使用采用独立电缆的单工通信方式来传输和接收数据，如 [用于实现 10/100 Mbps 数据速率的标准以太网接口](#) 所示。



用于实现 10/100 Mbps 数据速率的标准以太网接口

SPE 大致分为三类：

- IEEE 802.3.cg (10Mbps)
- IEEE 802.3.bw (100Mbps)
- IEEE 802.3.bp (1,000Mbps)

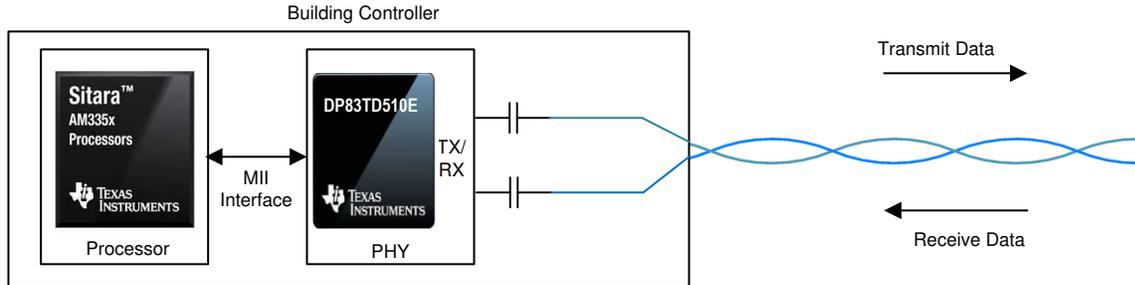
IEEE 802.3cg 还有两个分类：

- 长电缆和短电缆长度，通过单对平衡的屏蔽或非屏蔽线传输数据。10BASE-T1L：IEEE 802.3 物理层规格，适用于通过单对平衡导体实现 10 Mb/s 以太网局域网，电缆传输距离至少为 1000m (使用 18 AWG 导线进行点对点连接，可实现长距离传输)。
- 10BASE-T1S：IEEE 802.3 物理层规格，适用于通过单对平衡导体实现 10 Mb/s 以太网局域网，电缆传输距离至少为 15m (使用 24 - 26 AWG 导线进行多点连接，可实现短距离传输)。

本文介绍了 10BASE-T1L 的用例，在 [楼宇自动化系统](#) 中，该类标准可在超过 1,000m 的距离上提供高达 10 Mbps 的数据速率。

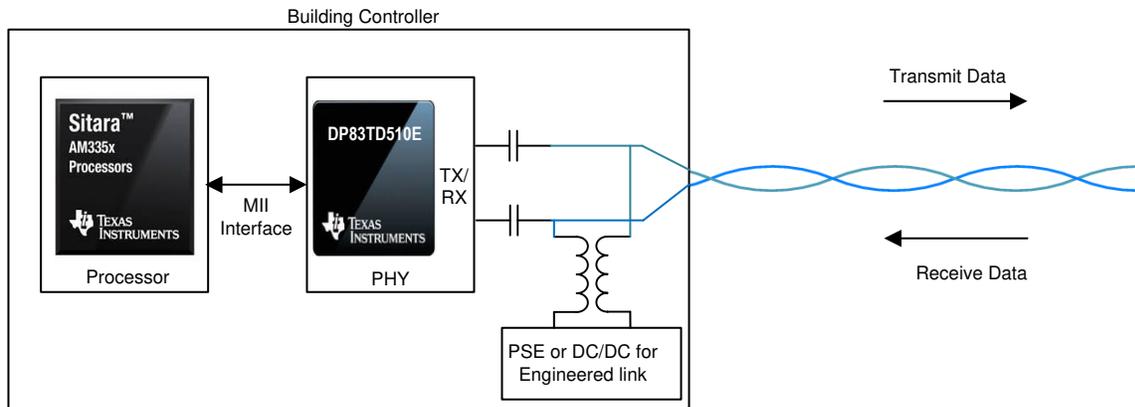
10BASE-T1L 物理层 (PHY) 在单对平衡导体上使用全双工通信方式，每个方向同时具有 10 Mbps 的有效数据速率。10BASE-T1L PHY (如 [DP83TD510E](#)) 使用三级脉冲振幅调制 (PAM3)，在链路段以 7.5 兆波特的速率传输。33 位扰频器可帮助改善电磁兼容性。使用 4B3T 编码 (即 4 个二进制对应 3 个三进制) 对 MII 传输数据 (TXD<3:0>) 进行编码，使传输的 PAM3 符号的运行平均值 (直流基准) 不超出范围。使用管理数据输入/输出界面将 10BASE-T1L PHY 的发送器输出电压设置为 1.0 Vpp 或 2.4 Vpp 差分，有助于在不同电缆上实现更长的通信距离。

如 [使用 DP83TD510E 实现 10Mbps 数据速率的 SPE 接口](#) 所示，SPE 使用回声消除来实现全双工通信，同时使用多级信令和均衡来提高信号质量并通过单线对电缆实现所需的数据速率。处理器和 PHY 之间的接口没有区别；但是，在 PHY 中，介质相关接口的发送和接收部分需要进行上述修改，以启用单线对操作。



使用 DP83TD510E 实现 10 Mbps 数据速率的 SPE 接口

SPE 还支持通过低通滤波器沿着同一根单线对电缆进行数据线供电 (PoDL)，如 [PoDL 示例](#) 所示。



PoDL 示例

下图中的表列出了 IEEE 802.3.cg 标准支持的各种功率等级。可向负载提供的最大功率为 52W，定义为 15 级。IEEE 802.3.bu 涵盖了低于 10 的功率等级。

Table 104–1a—Class power requirements matrix for PSE, PI, and PD for classes 10 through 15

Class	10	11	12	13	14	15
$V_{PSE(max)} (V)$	30	30	30	58	58	58
$V_{PSE_OC(min)} (V)$	20	20	20	50	50	50
$V_{PSE(min)} (V)$	20	20	20	50	50	50
$I_{PI(max)} (mA)$	92	240	632	231	600	1579
$P_{class(min)} (W)$	1.85	4.8	12.63	11.54	30	79
$V_{PD(min)} (V)$	14	14	14	35	35	35
$P_{PD(max)} (W)$	1.23	3.2	8.4	7.7	20	52

IEEE 802.3.cg 标准支持的功率等级

SPE 的优势

从安装到使用单个通信网络管理整个楼宇，向 SPE 转换具有多项优势。凭借 SPE 的多项优势，可以降低楼宇自动化系统的总拥有成本并提高其投资回报率。例如：

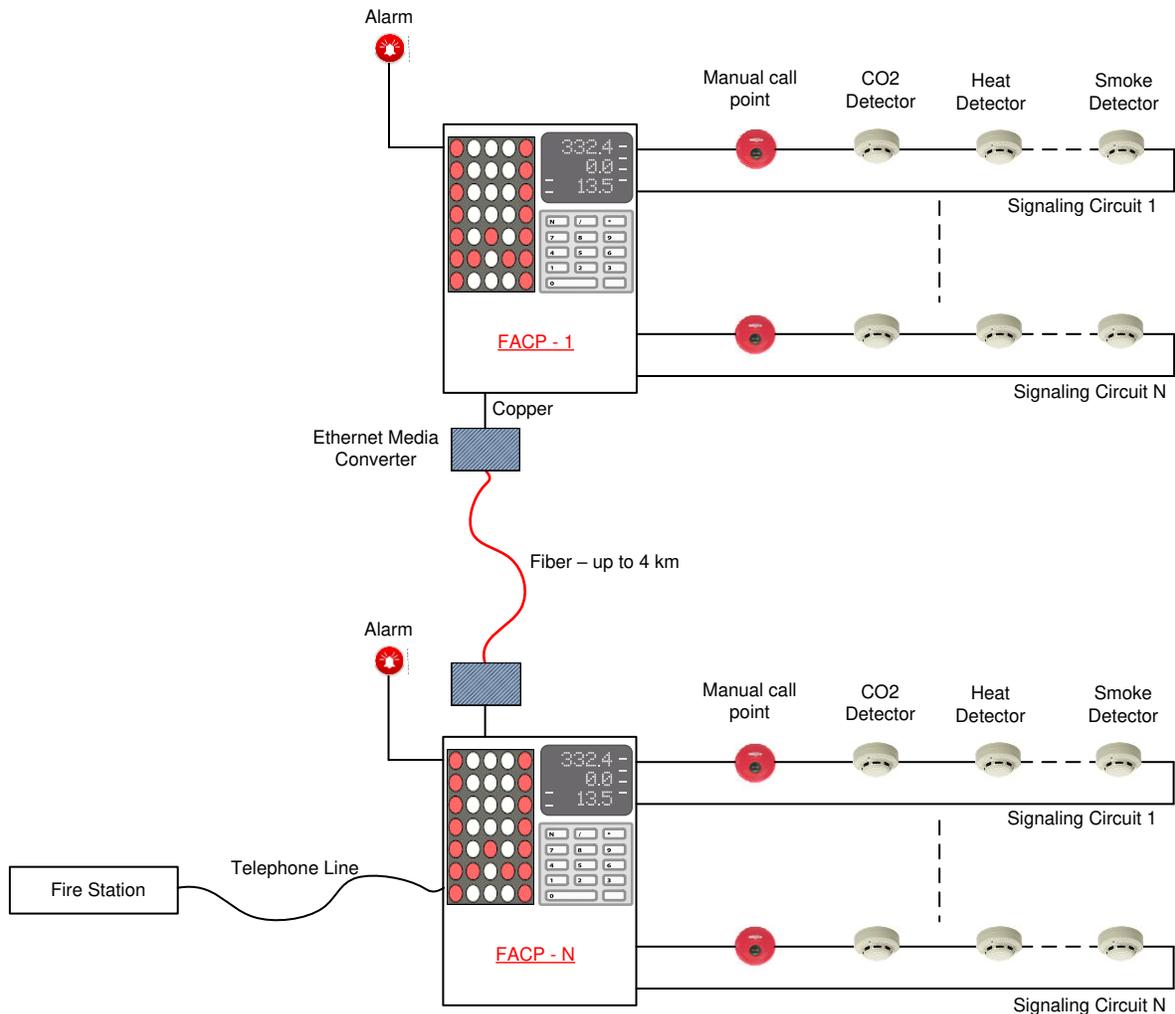
- 在边缘实现以太网连接可以消除对额外网关的需求，这样就仅需要单个通信网络，从而简化系统。
- PoDL 消除了对单独电源线的需求，从而简化楼宇自动化系统中的布线。
- 由于只需一对电线，布线变得更便宜、更轻，从而更容易实现架空布线。
- 安装更快、更容易，从而降低了劳动力成本。
- 与现有现场总线网络相比，更高的带宽为实现预测性维护等功能提供了灵活性。
- 10BASE-T1L 在 10 Mbps 的数据速率下提供 1000m 的通信距离，有助于替代更昂贵的光纤电缆并传输更多数据。

接下来的一节说明了如何实现 SPE，进而为各种楼宇自动化应用带来相关的优势。

消防安全应用

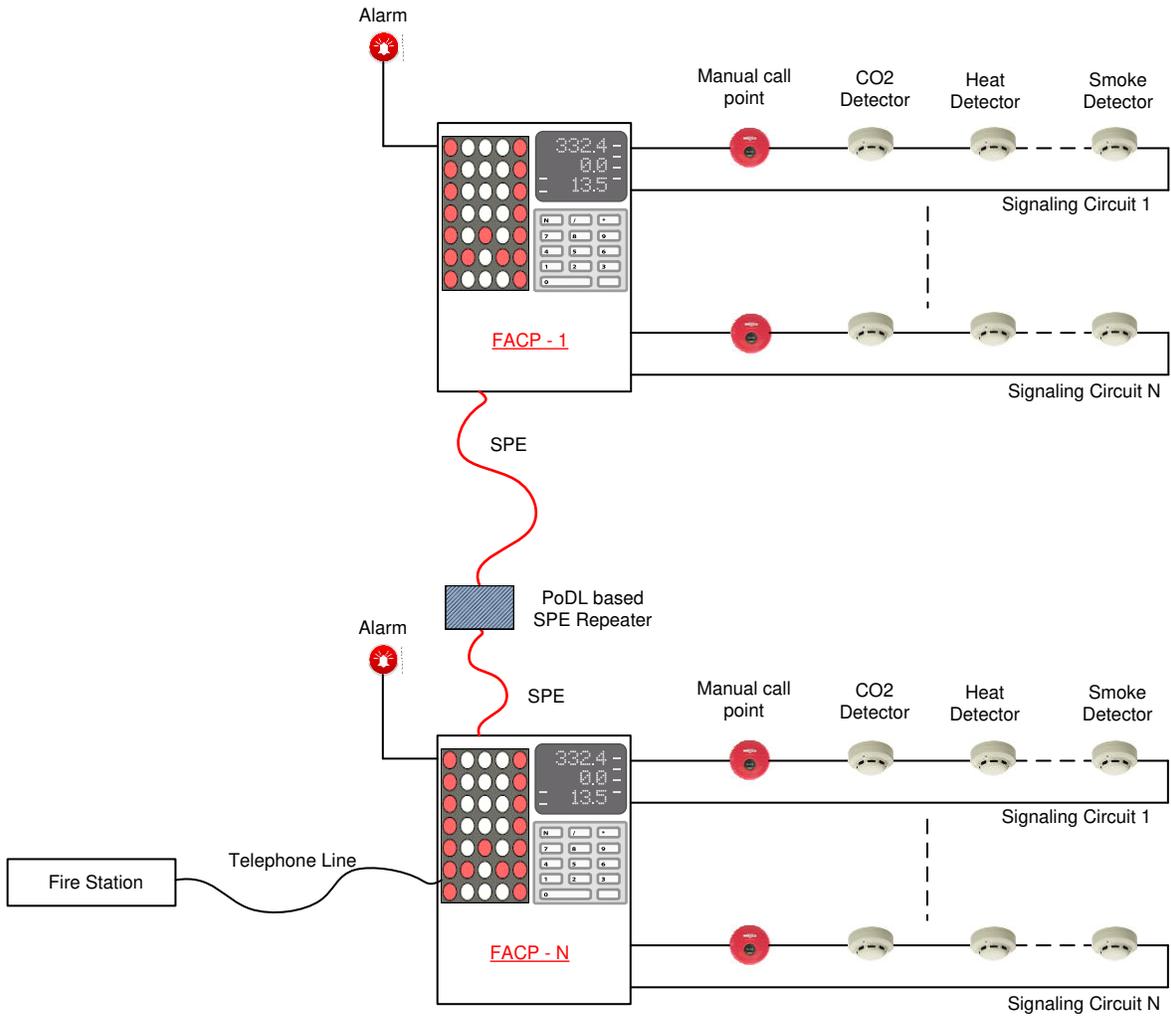
火警控制面板 (FACP) 连接到各种热量、烟雾和气体探测器。这些传感器在信令环路中连接在一起，在发生事故时发出警报，而 FACP 可以通过电话网络与消防站进行通信。FACP 通常支持多个信令环路，以便于拆分成不同的区域或楼层，从而易于识别。

每栋楼可以有多个 FACP，具体取决于楼层和传感器的数量。当大型住宅区、办公室、学校或购物中心等设施扩建时，通常需要使用铜线或光纤线通过以太网将相距达 3 至 4km 的楼宇中的 FACP 进行互连。基于 100BASE-TX/10BASE-T 的以太网需要使用多个中继器来桥接这些距离，在这种情况下，为这些中继器供电会是一个挑战。另一种选择是转为使用光纤电缆，这需要在两端使用介质转换器 (铜转光纤)。传统架构 - FACP 之间的光纤连接描述了一个示例系统。



传统架构 - FACP 之间的光纤连接

前面所述的两种选择都会导致在系统上的花费昂贵。SPE 可以在高达 1km 的传输距离上解决这两个难题；对于传输距离更远的系统，用户可以使用通过 PoDL 供电的中继器。PoDL 消除了对外部电源的需求，从而进一步简化系统。在 FACP 之间使用 SPE 的架构描述了一个使用 SPE 的消防安全系统。



在 FACP 之间使用 SPE 的架构

垂直运输应用

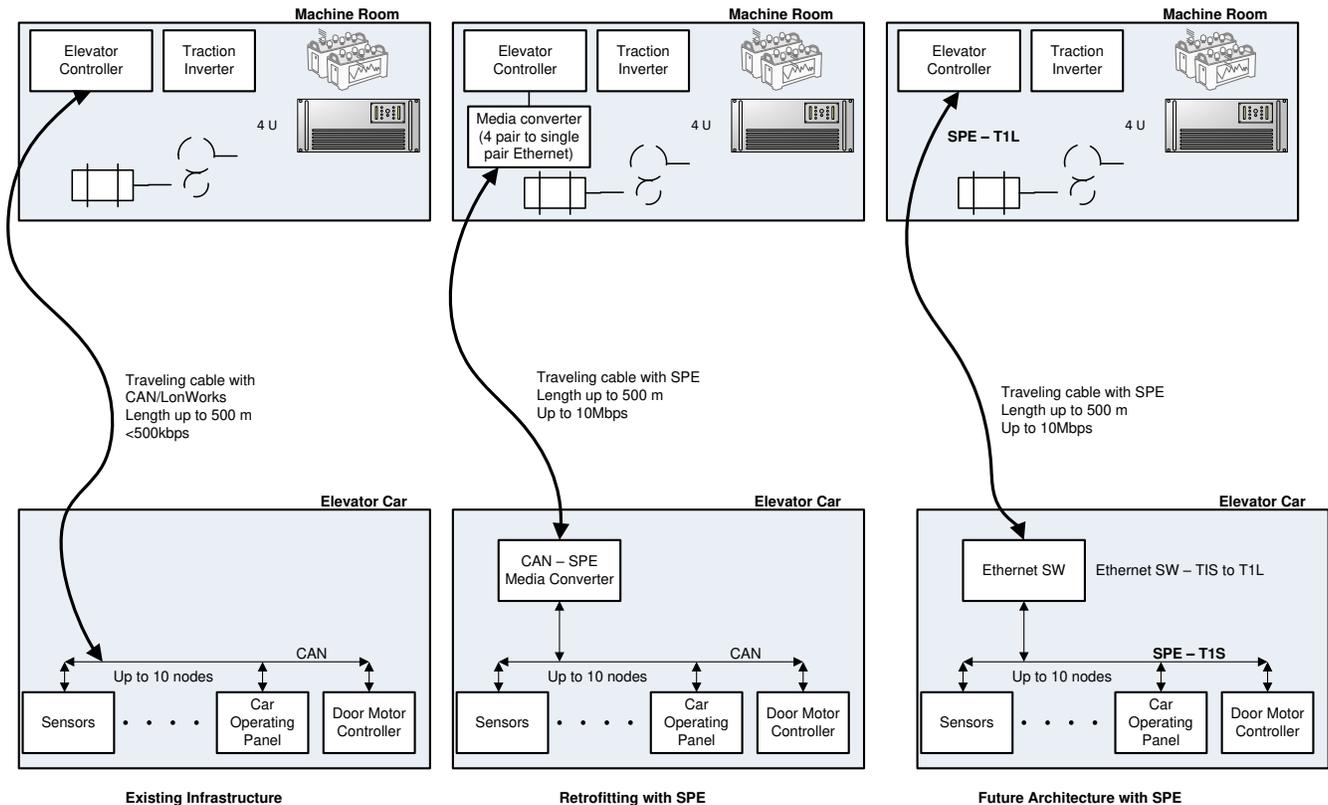
电梯是一种复杂的系统。移动的电梯轿厢和机房控制器之间的主要通信链路是通过移动电缆实现的。该电缆的长度可以为 10 到 500m 或更长，具体取决于楼宇的高度。由于电梯系统的低速度要求以及所需的电缆距离，控制器局域网 (CAN) 和 LonWorks 成为用于电梯系统的常见协议。

考虑到操作过程中所承受的应力，电缆在几年内维持可靠性很重要。随着电梯上下移动，电缆需要弯曲，这对于光纤布线来说并不理想，因此大多数电梯电缆都是由铜制成的。考虑到电缆长度，标准以太网不适用，因为它在超过 100m 的距离下无法工作。

现在，SPE 提供 1km 的通信距离和高达 10 Mbps 的通信速度，是下一代电梯设计的理想选择。之所以需要在电梯轿厢和电梯控制器之间实现更高的数据速率，是因为：

- 需要将电梯轿厢内的视频内容流式传输回机房。
- 从机房传输到电梯轿厢的过程中存在广播中继。
- 需要从各种传感器向电梯控制器发送更多数据，以及发送来自轿厢内设备、用于预测性维护的数据。

升级现有电梯与设计具有更高级功能的新电梯同样重要。应对改造挑战的一种方法是在电梯轿厢内安装 CAN 到 SPE 之类的介质转换器，并针对电梯控制器安装 SPE 到标准以太网或 CAN 介质转换器。对于下一代系统，电梯控制器可以包含一个内置的 SPE PHY 10BASE-T1L，并且通过 SPE PHY 10BASE-T1S 连接轿厢内的设备。电梯轿厢还具有内置的 10BASE-T1S 或 10BASE-T1L 以太网交换机，用于将轿厢与电梯控制器相连。可以通过 PoDL 为电梯轿厢内的应急灯和通信系统供电，以确保电力不会中断。

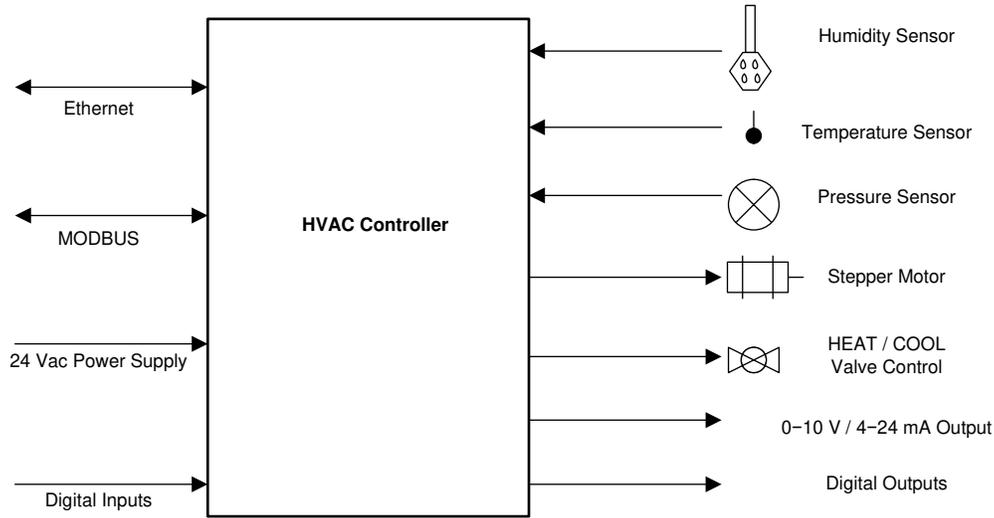


电梯轿厢与机房之间的通信

HVAC 应用

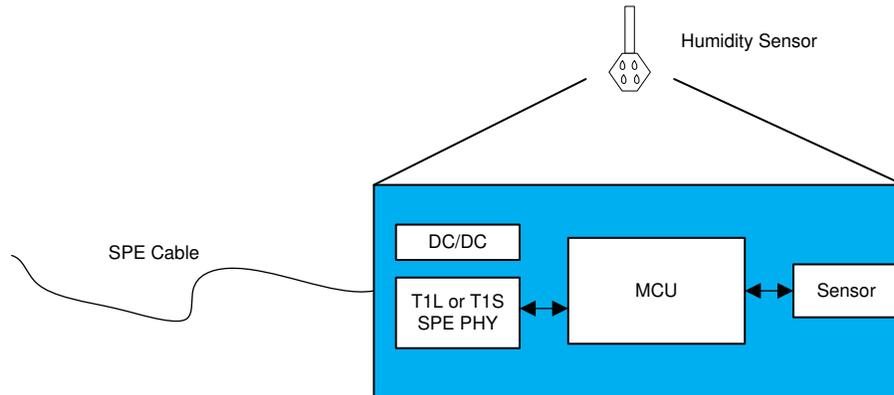
HVAC 控制器正得到统一，以控制屋顶单元、冷水机组控制单元、空气处理单元等。HVAC 控制器使用标准以太网与更高级别的楼宇自动化系统（例如楼宇管理系统）进行连接，并以菊花链方式连接多个 HVAC 控制器。为了在任何 HVAC 控制器断电时保持网络连接，机电继电器将输入和输出端口处的以太网信号短路。

HVAC 控制器具有多个模拟、数字或现场总线接口，用于通信或控制可测量温度、湿度和压力等参数的多个传感器（请参阅 [HVAC 控制器接口](#)）。传感器可以是采用环路电源的模拟输出，或支持采用单独电源的 0 至 10 V/4 至 20 mA 输出。HVAC 控制器还可以通过通信接口或模拟接头连接到风门、风扇和步进电机驱动器等执行器。在控制器与传感器和执行器之间实现 SPE 连接可简化安装，只需两根电线即可访问边缘设备。



HVAC 控制器接口

基于 SPE 的检测说明了一个使用湿度传感器的示例实现，其中 I2C 接口连接到具有内置介质访问控制器 (MAC) 的微控制器 (MCU)。SPE PHY (10BASE-T1L 或 10BASE-T1S) 连接到 MCU 的内置 MAC，而具有直流/直流转换器的 PoDL 为整个电路供电。该架构提供了多种优势，包括传感器连接器的标准化、可重复使用的硬件、传感器和硬件诊断和校准。



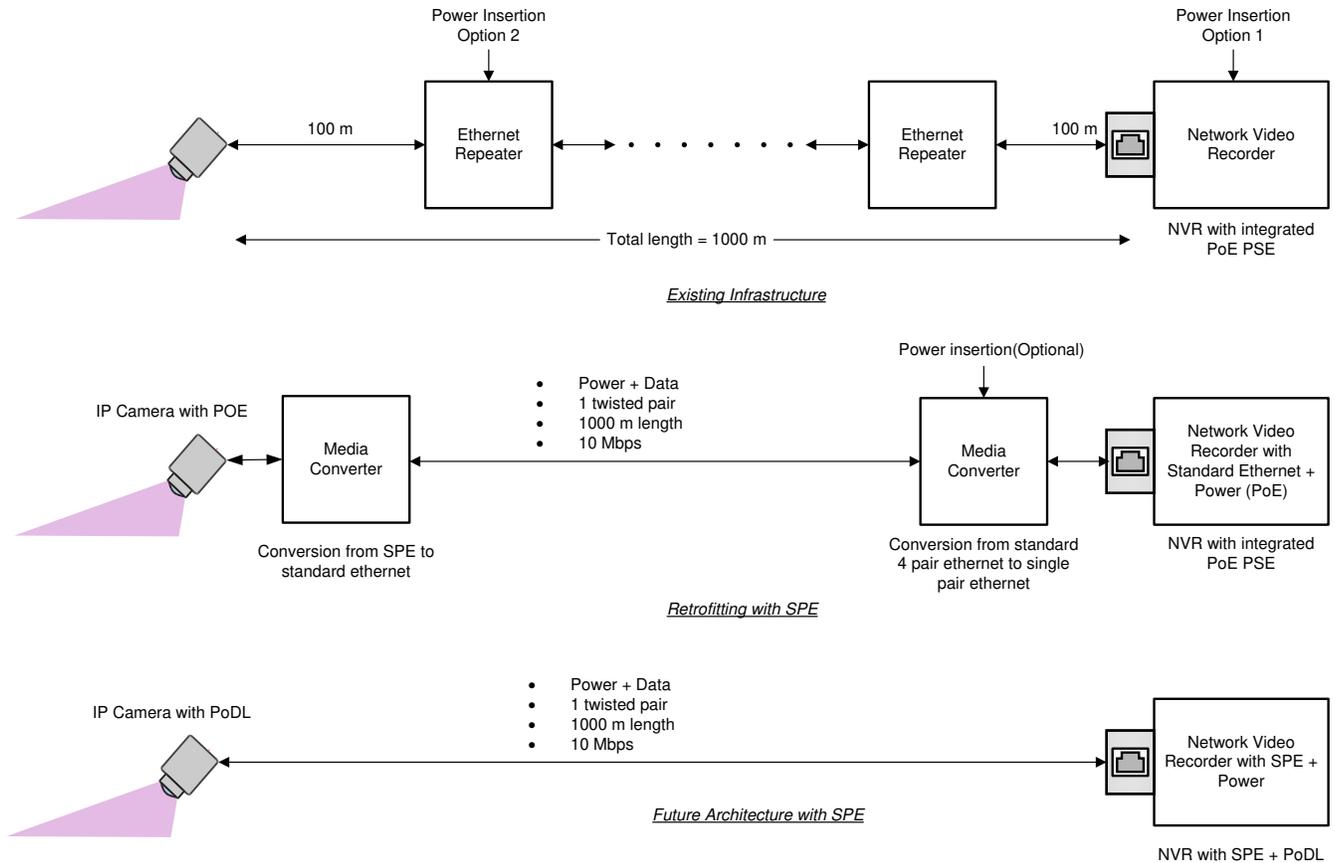
基于 SPE 的感测

在 HVAC 控制器中采用多个 SPE 端口来连接各种传感器和执行器将需要一个应用特定集成电路来实现以太网交换机功能，而这是随时可用的。

视频监控应用

室外互联网协议 (IP) 网络摄像头通常安装在楼宇的周边，确保连续捕获视频，并能在安全遭到破坏时及时发出警报，从而使安保人员有足够的时间做出反应。这些摄像头到网络录像机的距离可能是 1km 或更长，使用标准以太网桥接该距离需要使用中继器或光纤电缆。借助 H.264 和 H.265 等高效编码系统，数据速率要求降至 10 Mbps 以下，即使使用具有 30 fps 速率的 4MP 传感器也是如此，具体信息请参阅 [IP 网络摄像头连接](#)。

未来的 IP 摄像头产品有望支持 SPE，从而更易于安装，网络视频录像机也将提供电源设备端口。8 和 9 级 (48V 稳压电源设备) 或 14 和 15 级 (最大 50V 至 58V) 可支持 IP 摄像头所需的功率等级，该摄像头可能需要高达 52W 的功率才能运行。此功率足以支持大多数摄像头系统，即使是带有内置加热器的摄像头系统也不例外。对于需要升级的建筑物，中间解决方案可使用标准以太网至 SPE 转换器。



IP 网络摄像头连接

总结

无论 SPE 是独立的（仅数据）还是与电力一同使用，都为楼宇自动化提供了许多机会。然而，在充分开发生态系统之前，仍然需要介质或协议转换器来升级现有系统，并且存在与重复使用现有电缆（非屏蔽、非绞线、线规）和连接器相关的挑战，这可能不会提供 802.3cg 中定义的最大距离或速度。但这不会带来较大的不利影响，因为在未来利会大于弊。SPE 的电源设备和电力输送器件预计将在未来几年发布；在那之前，将通过精心设计的链路为边缘设备供电。用户还可以期待通过无缝集成支持 SPE 的楼宇自动化产品的问世。

参考文献

- [IEEE 以太网标准](#)

重要声明和免责声明

TI“按原样”提供技术和可靠性数据（包括数据表）、设计资源（包括参考设计）、应用或其他设计建议、网络工具、安全信息和其他资源，不保证没有瑕疵且不做任何明示或暗示的担保，包括但不限于对适销性、某特定用途方面的适用性或不侵犯任何第三方知识产权的暗示担保。

这些资源可供使用 TI 产品进行设计的熟练开发人员使用。您将自行承担以下全部责任：(1) 针对您的应用选择合适的 TI 产品，(2) 设计、验证并测试您的应用，(3) 确保您的应用满足相应标准以及任何其他功能安全、信息安全、监管或其他要求。

这些资源如有变更，恕不另行通知。TI 授权您仅可将这些资源用于研发本资源所述的 TI 产品的应用。严禁对这些资源进行其他复制或展示。您无权使用任何其他 TI 知识产权或任何第三方知识产权。您应全额赔偿因在这些资源的使用中对 TI 及其代表造成的任何索赔、损害、成本、损失和债务，TI 对此概不负责。

TI 提供的产品受 [TI 的销售条款](#) 或 [ti.com](#) 上其他适用条款/TI 产品随附的其他适用条款的约束。TI 提供这些资源并不会扩展或以其他方式更改 TI 针对 TI 产品发布的适用的担保或担保免责声明。

TI 反对并拒绝您可能提出的任何其他或不同的条款。

邮寄地址：Texas Instruments, Post Office Box 655303, Dallas, Texas 75265

Copyright © 2022，德州仪器 (TI) 公司