

# 面向工业IoT的无线传感器网络

Joy Weiss、Ross Yu, 凌力尔特公司

低功率处理器、智能无线网络和低功率传感器以及“大数据”分析的出现导致人们对工业物联网兴趣大增。简言之, 这些技术相结合使得能够将大量传感器放置到任何地方: 不仅是通信和电力基础设施存在的地方, 也可以是任何有宝贵信息需要收集的地方, 这些信息关乎“物体”的行为方式、在哪里或者是什么。给诸如机器、泵、管道、火车车厢等“物体”配备传感器的做法在工业界并不是什么新鲜事。从炼油厂到生产线, 在各种工业环境中, 定制传感器及网络已经大量存在。过去, 这类运行技术系统作为单独的网络运行, 保持很高的网络可靠性和安全性标准, 用消费类技术根本无法满足这样高的要求。按照这些高标准过滤可用的技术, 最终剩下的是最适合关键业务型工业物联网应用的技术。尤其是, 这些传感器的联网方式决定了传感器是否可以安全、能否具成本效益以部署在工业应用所处的典型严酷环境中。本文探讨一些使工业无线传感器网络(WSN)与众不同的关键要求。

## 可靠性与安全性最重要

对消费类应用而言, 成本常常是最重要的系统属性, 与此不同, 工业应用一般将可靠性和安全性放在最重要的位置。根据OnWorld对全球工业WSN用户进行的调查, 可靠性和安全性是他们提到的两个最重要的问题。一个公司的盈利能力、工人生产商品的质量和效率以及工人的人身安全常常取决于这些网络。这就是可靠性和安全性对工业无线传感器网络而言必不可少的原因。

一种提高网络可靠性的通用原则是用冗余方法, 在有冗余的情况下, 针对

可能出现问题的失效机制使系统能够在没有数据损失的前提下得到恢复。在无线传感器网络中, 有两种基本的机会利用冗余。第一种是空间冗余概念, 即每个无线节点都可以与至少两个其他节点通信, 而且路由机制允许数据转发给两个节点中的任意一个, 但仍然能够到达预期的最终目的地。在网状网络中, 每个节点都可以与两个或更多个相邻节点通信, 恰当构成的网状网络与点对点网络相比, 可靠性更高, 因为在这样的网状网络中, 如果第一条通路不可用, 就自动在另一条通路上发送数据。第二种冗余可以利用RF频谱中的多个可用通道实现。通道跳频概念指的是, 成对节点每次传送数据时可以使用不同的通道, 因此任何给定通道在不断变化的严酷RF环境中暂时出现问题都不会影响数据传送, 严酷的RF环境是工业应用所处的典型环境。在IEEE 802.15.4 2.4GHz标准中, 有15个扩展频谱通道可用于跳频, 从而使通道跳频系统有了比非跳频(单通道)系统大得多的弹性。

有几种无线网状网络标准同时采用了空间冗余和通道冗余这两种技术, 这些标准称为时隙通道跳频(TSCH), 其中包括IEC62591(WirelessHART)和即将出台的ETSI TS13733标准。这些网状网络标准运用了全球可用的无牌照2.4GHz频谱中的无线频率, 是以凌力尔特Dust Networks部所做工作为基础演变而来, 2002年从SmartMesh产品开始, Dust Networks率先将TSCH协议应用到低功率、资源受限的设备上。

尽管在严酷的RF环境中, TSCH是实现数据可靠性必不可少的基本构件, 但是要实现多年连续、无故障运行, 网状网络的建立和维护方式也很



传感器无处不在。由收集的能量连续供电的低功率无线传感器节点, 例如这个来自ABB可收集热量之无线温度传感器, 可以放置在最佳位置, 以获得更多工业环境数据

关键。工业无线网络常常必须运行很多年, 而且将终生面对多种不同的RF挑战和数据传送要求。因此, 实现与有线网络一样可靠性所需的最后一个要素是智能网络管理软件, 这类软件动态优化网络拓扑, 连续监视链路质量, 以在存在干扰和RF环境变化的情况下, 最大限度提高吞吐量。

安全性是工业无线传感器网络的另一个关键属性。在WSN中实现安全性的主要目标是:

**保密性:** 在网络中传送的数据除了预期接收者, 不能被其他任何人读取。

**完整性:** 任何接收到的信息都得到确认, 完全是所发送的信息, 对内容没有任何添加、删减或修改。

**真实性:** 声称来自给定来源的信息实际上确实来自该来源。如果将时间作为验证方法的一部分, 那么真实性还可保护信息免于被录制和回放。

必须纳入WSN以达到上述目标要求的关键安全技术包括: 强大的加密算法(例如AES128)和坚固的密钥及密钥管理、阻止重发攻击的密码级随机数字发生器、针对每条信息的信息完整性校验(MIC), 以及明确地允许或禁止访问特定设备的访问控制列表(ACL)。这些最新无线安全技术可以轻而易举地纳入很多现有WSN中使用的设备, 但是并非所



有WSN产品和协议都纳入了所有安全技术。请注意，安全WSN与不安全网间的连接是另一个脆弱点，在系统设计中必须考虑端到端的安全性。

## 工业物联网不是由无线专家安装

成熟行业大多在传统产品基础上增加工业物联网产品和服务，这些行业的客户之部署环境既有老设备又有新设备。工业WSN中的智能性必须体现在使工业物联网产品具备易用性，使现有现场工作人员能够无缝过渡到新的工业物联网产品。网络应该快速地自助形成，这样安装人员就可以留给站点一个稳定运行的网络；当连接较弱或无连接时，通过自我修复避免服务中断；当服务确实中断时，进行自助报告和诊断；一般部署完成后，仅需要很少的或者不需要维护，从而避免现场维护导致的高成本。对很多应用而言，其成功部分取决于能否在难以到达或非常危险的地区部署，因此，物联网设备必须靠电池运行，一般要运行超过5年时间。

另外，既然最终用户广泛采用的工业物联网常常涵盖整个公司范围，那么系统就应该可用于全球部署，而且需要实现多站点标准化。幸运的是，理解并满足这种要求的国际性行业无线标准已经就位，其中包括IEEE 802.15.4e TSCH。

## 传感器无处不在

就工业物联网应用而言，准确放置传感器或控制点是至关重要的。无线技术的承诺是无需连线即可通信，但是如果需要每隔几小时或数月通过插入电源插座或再充电来给无线节点供电，那么部署成本会令人望而却步，而且这么做也不切实际。例如，给旋转设备加上传感器以监视设备的工作状况，不可能使用有线连接，但是通过监视运行中的设备而获得的信息使客户能够预期地维护关键设备，从而避免不希望出现和花费

不菲的宕机。

为了确保灵活和具经济效益的部署，工业WSN中的每个节点都应该能够靠电池运行至少5年时间，这样就为用户提供了达到极致的灵活性，扩大工业物联网应用的覆盖范围。作为工业TSCH WSN的一个例子，凌力尔特的SmartMesh产品一般以远低于50 $\mu$ A的电流工作，因此可以靠两节AA电池运行很多年。如果周围有丰富的可收集能源，那么无线节点还可以靠能量收集连续运行。

## 时间问题

工业监视和控制网络是关键型业务。这种网络巩固了影响商品生产基本成本的系统，其数据及时性是至关重要的。过去10年来，确定性TSCH WSN系统已经过多种监视和控制应用的现场考验。这类时隙系统(例如WirelessHART)其数据传送是盖上时间戳和有时间限制的。在这类网络中，自动为需要更多数据发送机会的节点配置更多时隙，而且通过在网络中的相继通路上配置多个时隙，可以在这种网络中实现低延迟传送。这种数据传送协调能力还极大地提高了频繁、密集的数据传送网络的部署能力。如果没有一个时间表，洪水般无序涌入的无线流量会使非TSCH无线网络崩溃。

此外，TSCH网络中的每个数据包都含有准确的时间戳信息，指示该数据包的发送时间，而且每个节点都可获得全网统一时间，以在需要时跨WSN节点协调控制信号。由于提供了时间戳数据，即使数据未按顺序接收也能正确地数据排序，在面对必须协调来自多个传感器信息的工业应用中，时间戳数据在诊断确切原因和影响时很有帮助。

## 网络运行的可视性是关键

工业网络要求连续运行很多年，然而无

论一个网络多么坚固，仍然有可能发生问题。即使网络在安装时运行良好，但是在其运行寿命期内，网络质量还是可能受到各种环境因素的影响。针对这类问题提前发出适当的警报对任何工业网络而言都很重要，而能够快速诊断并解决问题也是高质量服务的关键。谈到提供网络管理指标的可视性，并非对所有无线传感器网络都要一视同仁。不过，至少工业无线网络的管理系统应该针对以下方面提供可视性：

- 用信号强度(RSSI)来衡量的无线链路质量
- 端到端数据包传送成功率
- 网络质量，突出显示没有足够备用路径的节点以保持网络可靠性
- 节点状态和电池寿命(在适用的情况下)

在采用智能网络的最佳工业应用部署中，修复这类问题的方法是，自动在替换路径上重新发送数据，同时连续更新网络拓扑，以最大限度地提高连接性。

## 智能“物体”应该拥有智能网络

人们对提高“物体”智能化程度相当关注，但是在工业物联网应用中，这并非“智能化”的唯一归属地。工业物联网网络应该既利用智能化终端节点，又利用企业IT和运行技术部门必须提供的最佳网络 and 安全管理功能。网络应该是高度可配置以满足特定应用需求。例如要满足延长电池寿命的低功率要求，就应该具备自助获知网络可用功率的能力并采用智能化路由，以最大限度优化整个网络的功耗。此外，网络应该自动地适应RF环境变化，出现这种变化时，能够动态改变拓扑可以更有利。凌力尔特的SmartMesh网络管理器不仅实现网络安全、管理和路由优化，而且允许用户在需要时通过空中重新设定节点，以提供一条功能升级途径，适应客户未来的需求变化。 EET