

面向工业物联网的无线传感器网络

Wireless Sensor Network for Industrial IoT

Joy Weiss , Ross Yu

凌力尔特公司

Linear Technology Corporation

摘要: 在发展工业物联网 (IoT) 以及满足相关的工业传感器无线连网需求方面, 已经做了很多。不过, 工业设备及应用的网络需求与家用环境完全不同, 可靠性和安全性是高居工业应用要求的榜首。本文重点讨论特定于工业无线传感器网络的一些关键网络要求。

关键词: 工业物联网 无线传感器网络 可靠性 安全性

Abstract: Many have been done for the development of industrial IoT and to meet the needs of industrial wireless sensor network. However, network of industrial equipment and application with high reliability and security is totally different from that of home environment. This paper mainly focuses on some key network requirements of industrial wireless sensor network.

Key words: Industrial IoT, Wireless sensor network, Reliability, Security

[中图分类号] TN91 [文献标识码] A 文章编号: 1561-0349 (2016) 08-0050-04

1 引言

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 (Operations Technology, 简称 OT) 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, 这些传感器的连网方式决定了传感器是否可以安全、能否具有成本效益, 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。

2 可靠性与安全性位居首位

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 On World 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^[1]。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。在有多余的情况下, 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 IETF 6TiSCH 标准 (见参考 2)。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, 这类软件需要动态优化网络拓扑, 连续监视链路质量, 以便在存在干扰和 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: ① 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; ② 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; ③ 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^[3]。请注意, 安全 WSN 与不安全网关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。

3 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。

4 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个小时或数月, 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。

为了确保灵活和具有经济效益的部署, 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 Smart Mesh 产品一般以远低于 50 μ A 的电流工作, 因此, 可以靠两节 AA 电池运行很多年。如果周围环境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, 如图 1 所示, 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。



图 1 传感器无处不在

5 时间问题

工业监视和控制网络, 是关键业务型的。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 Wireless HART）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对数据排序，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是很有帮助。

6 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：

- ① 用信号强度 (RSSI) 来衡量的无线链路质量；
- ② 端到端数据包传送成功率；
- ③ 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；
- ④ 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。网络管理软件针对无线网络健康状况提供至关重要的可视性，例如来自 Emerson Process Management 公司的 SNAP-ON 实用软件工具，见图 2。



图 2 网络可视性

7 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”的惟一归属地。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 Smart Mesh 网络管理器 (Smart Mesh Network Manager) 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。

8 结论

物联网在很大程度上是一种工业现象，有明确的业务驱动力和引人注目的投资回报。在关键业务型应用中，工业无线传感器网络必须满足很高的智能化和安全性标准，并能够无需导线，可靠运行很多年。现有及新出现的无线网格标准，可以满足这些严格要求，这些标准将成为关键的工业物联网基本构件，有助于工业客户在工业物联网时代实现业务及服务变革。软件分析（例如 IntelliSense.io 公司的

Brains. App 软件）利用来自工业无线传感器网络的数据简化工厂运作、优化产量并提高安全性，见图 3。

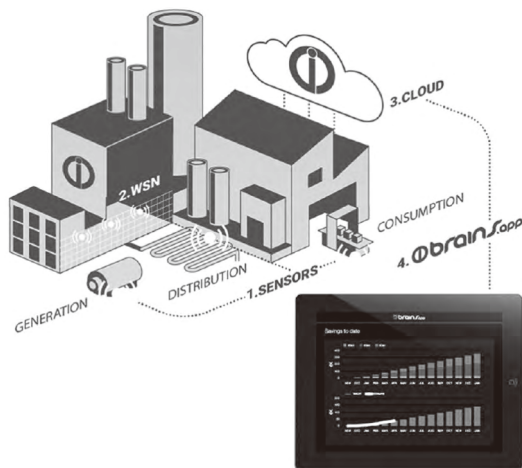


图 3 促进变革

参考文献

- [1] Industrial Wireless Sensor Networks: Trends and Developments
<https://www.isa.org/standards-publications/isa-publications/intech-magazine/2012/october/web>
(下转第 46 页)

- [3] 王福兴, 颜士华. 三相五柱式消弧线圈及其在煤矿电网中的应用 [J]. 工矿自动化, 2001, 24 (4): 9-11
- [4] 高正中, 柏奖枝, 辛欣. CAN 总线技术在煤矿电力调度自动化系统中的应用 [J]. 工矿自动化, 2004, 27 (2): 38-39
- [5] 吴文明. 浅析煤矿供电系统运行中的不安全因素 [J]. 山东煤炭科技, 2003, 21 (3): 43-44

(上接第 52 页)

- exclusive-industrial-wireless-sensor-networks/#sthash.cl3G9ze5.dpuf
- [2] 6TiSCH Wireless Industrial Networks: Determinism Meets IPv6: Maria Rita Palattella, Pascal Thubert, Xavier Vilajosana, Thomas Watteyne, Qin Wang, and Thomas Engel.
发表于 IEEE 《Communications Magazine》(第 52 卷, 第 12 期)
- [3] Secure Wireless Sensor Networks Against Attacks, Kristofer Pister and Jonathan Simon,
<http://electronicdesign.com/communications/secure-wireless-sensor-networks-against-attacks>

作者简介

Joy Weiss, 凌力尔特公司 Dust Networks 产品部, 总裁。
Ross Yu, 产品市场经理。

从传统数据中心演变到云数据中心的质变

随着 IT 技术的飞速发展, 企业业务与 IT 的关联日益紧密。对于企业而言, 如何让数据中心变得更加灵活, 同时降低能耗与运营成本, 已经变成了发展过程中面临的重大难题, 在这样的形势下, 云数据中心应运而生。

过去, 用户在选择数据中心方面倾向于“就近原则”, 即贴近运维团队、贴近最终用户。所以, 大多数传统数据中心建设在城市中心、郊区, 而且数据中心建设的规模相对较小。在云时代, 数据以指数级别的方式增长, 用户对于数据中心量的需求越来越大, 那么数据中心的能耗、用水量、占地、热排放等问题也就接踵而至。随着 IT 技术的发展, 特别是云技术的发展使得远程运维得以实现, 贴近运维团队的需求日趋淡化; 广域网络通讯质量也逐渐提高, 无论数据中心建在何地都不会影响最终用户的体验。雷建军表示: “很多人认为云数据中心和传统数据中心好像没有什么本质的区别, 其实这里面蕴含着从量变到质变的过程, 这一过程必然导致我们对数据中心的全新认知和实现方式的转变。”

数据中心的选址很关键, 国家对此提出了相应的规划和指引。雷建军表示, 云巢科技选择在湖南东江湖建设大型数据中心, 华南地区拥有巨大湖水冷源的地址并不多, 再结合良好的电力和网络线路资源、充分的物流便利、低风险的地质条件等综合因素。

“大”、“因地制宜”是云数据中心节能的最佳方式

大部分人对于节能的第一反应是利用各种尖端技术, 固然没错, 但这并不是节能的关键。对于节能雷建军是这样理解的: 一个是“大”、一个是“因地制宜”。怎么理解这两点呢? “因地制宜”, 大家比较容易理解, 不可能说跑到沙漠里生产矿泉水还自称环保节能, 人类的生产总体上不能脱离自然环境的约束。我们提出“technology upon nature”也是基于对这一点的理解。

而“大”的背后隐含着“规模化”和“专业化”。纵观人类的生产史, 可以说“规模化”和“专业化”是节约生产资源、提高生产效率的唯一途径, 同样数据行业也应遵循这一规律。试问一下, 一个小型数据中心能背负得起利用尖端技术的成本吗? 它的外部条件能支持它进行升级改造吗? 为了实现可靠性, 它能负担和消化冗余设备的投资以及高质量运维团队的工资吗? 它能拿出多少可利用的计算和存储资源进行复用? 就算可以, 那也一定是不经济的。经济性正是集约化的一个侧面。