

无线技术的共存性在开放的、基于标准的工厂内应用结构体系中

Rajiv Singhal, Cisco Systems

Eric Rotvold, Emerson Process Management

在某些过程工业应用中，人们对于工厂内无线技术的应用还存在一些顾虑，主要是因为担心采用无线方案后，无线电频率会干扰某些重要通讯的可靠性。由艾默生过程管理公司和思科系统公司共同开发的开放的基于标准的无线结构解决了这方面的问题，它采用全网格的网络通讯技术和其它技术，确保在现场网络和工厂网络中的通讯达到极高的可靠性。在实际应用中进行的共存测试证明：这种结构体系对网络可靠性无明显影响。

应用

新建工厂的无线技术应用已逐步在过程工业领域获得认可，与传统的有线方案相比，它的安装成本更低、安装速度更快。无线应用包括监测过程和设备状态、使工厂人员更方便地获得工厂任何地方的信息、可跟踪到远程设备和人员的情况。

然而，还有一些过程工业对采用这项新技术或其它新的解决方案存有疑虑，主要担心多种无线技术互相之间可能存在射频干扰而影响主要通讯的可靠性，例如使用 IEEE 802.11b/g 和 IEEE 802.15.4[1] 协议的无线电。

因为 802.11 和 802.15.4 无线电通讯采用的也是用于工业、科技和医疗的 2.4GHz 波段，业内人士曾提出这样一个问题：这些技术是否能够共存？以往对这些问题的诸多研究主要针对这 2 种无线电通讯方式的静态频道运行。在实际应用中，还没有数据可以证明采用跳频和全网格网络等先进技术的设备是否可以共存。

来自于艾默生过程管理公司和思科系统公司的基于开放的、标准化的无线结构正是采用了这些先进技术为现场网络和工厂网络提供具有高可靠性的通讯。进一步对该结构的多种应用进行测试表明，即使在最严酷的工况中，这些技术也完全可以共存。

在使用一个综合性的无线网络时，还需要考虑网络设计的其它一些方面，如安全和网络管理。本文主要介绍无线电频率的兼容性以及它如何在艾默生/思科的方案中实施。思科和艾默生可提供针对安全和网络管理方面的方案，并将继续致力于测试和发布最佳的过程工业无线网络方案。

笔者作者衷心感谢 *Dust Networks* 公司的 *Kris Pister* 先生为本文提供数据和相关信息。

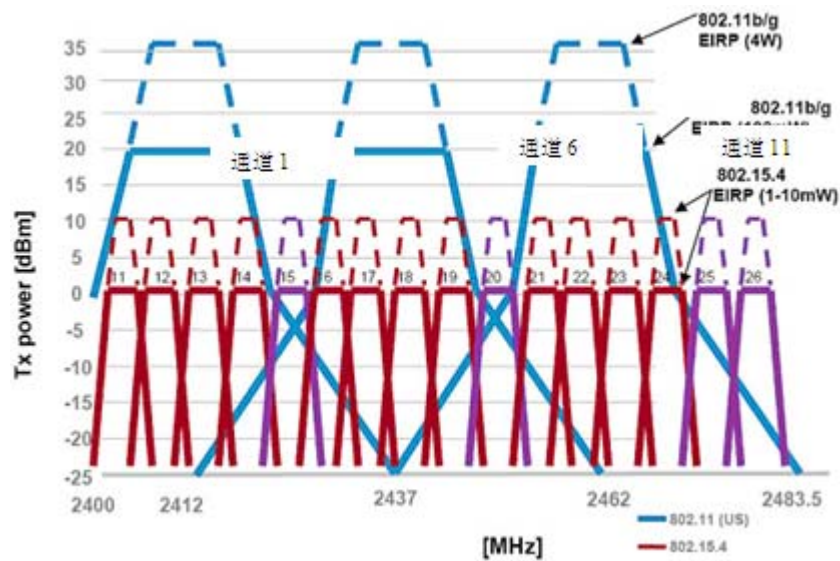
共存性的基本知识

共存的意思就是“一套系统可在共享环境中工作，在此共享环境中，其它系统无论是否使用相同的标准都可以各自工作。”这是根据点到点数据传递成功率来衡量的。

当 2 个以上的传送包具有足够的干扰能量或频率（除非网络本身的设计就是抗干扰的），设备的共存就有问题了。人们处理这种问题的方法包括以下几种：

- 频率多样性--跳频
- 时间多样性—时分多路复用和空频道检测
- 功率多样性—低功率输出($\leq 10\text{dBm}$)
- 空间多样性—网状技术通过多组跳频而不是输出功率来进行网络覆盖。
- 编码多样性—采用先进的直接序列展频技术

下图显示的是使用 IEEE802.11b/g (Wi-Fi)和 IEEE 802.15.4 无线电传输中存在的潜在干扰。



如果是重叠频道，室内的 802.11b/g 辐射功率是 802.15.4 的 10 到 100 倍，而在室外将达到 400 倍。

对于非重叠通道，802.11 b/g 的侧斜率会影响 802.15.4 通道，使之落入 802.11 b/g 通道之间的保护频带（上图中紫色区域），但其程度较小。在北美洲，这些通道编号为 15、20、25 和 26；在欧洲，这些通道编号为 15、16、21 和 22。

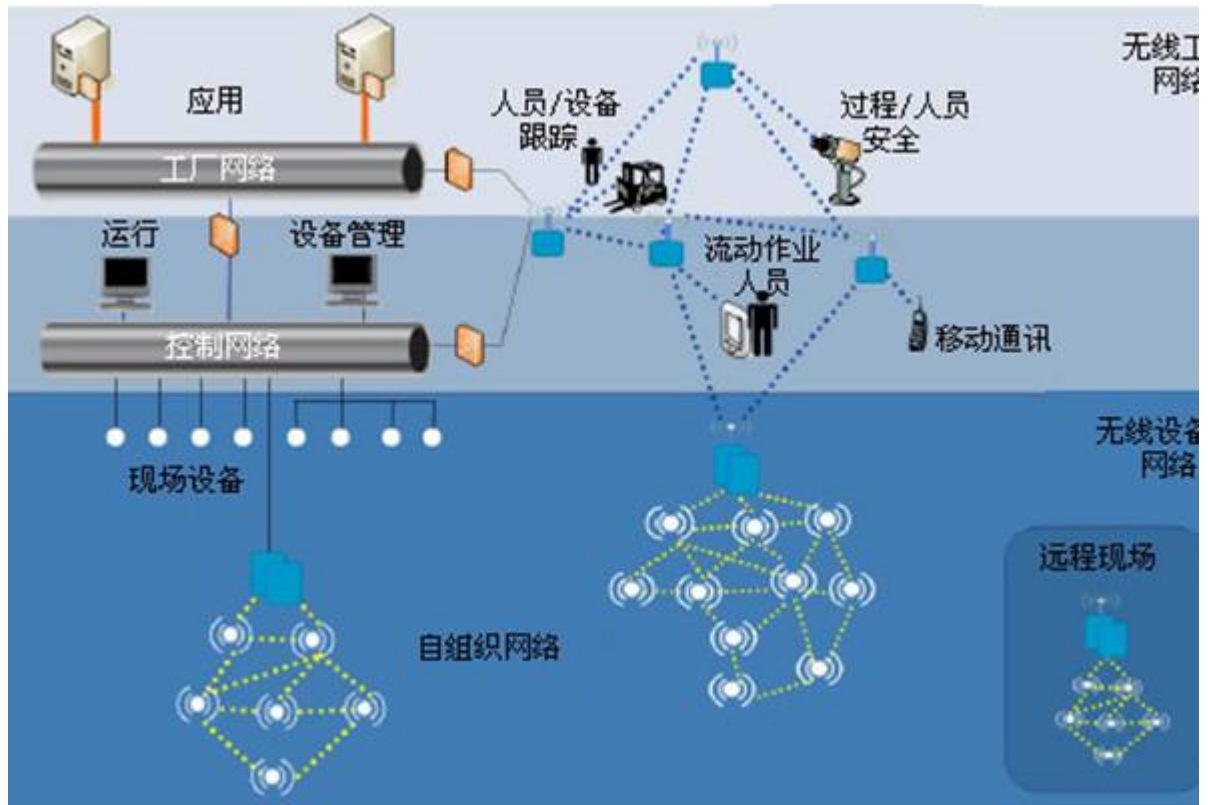
尽管之前在这个领域的研究和测试表明，802.11b/g 对于 802.15.4 是有影响的，但必须声明，所有这些测试中的无线电通讯都没有采用以上提到的技术，我们将这些技术都归到一种叫时间同步网络协议的方式中，通过这种方式可以减少干扰的影响。

低功率 802.15.4 无线电对于 802.11b/g 的影响应该会降到最低。

无线结构

得益于艾默生在过程自动化工业中的领先技术和思科在网络协议设备方面的领先技术，2 家公司共同开创出一个开放的、基于标准的工厂内无线构架。

对于用户在共存方面的担心，2家公司都非常了解，因而在进行设计的时候，特别为现场级和工厂级的无线网络提供了强劲可靠的通讯能力。



无线现场网络

艾默生的智能无线方案利用自组网络技术的优势采用 IEEE 802.15.4 无线电频率，这符合 WirelessHART 标准。

网络技术提供冗余的通讯路径（路径的多样性），与设备之间直接的有线通讯或通过网关通讯相比，这样可以实现更好的可靠性。任何时候由于网络或环境发生变化而影响到通讯，设备和网关会一起寻找其它路径，以最低的耗电量确保数据的可靠性。

还有一些其它的功能有助于提高通讯可靠性。随机频道跳频实现了频率分集。时分多址（TDMA）可实现时间分集，确保了一个频道同时只允许一台设备发送信号。低电耗设备实现功率分集。直接序列展频技术（DSSS）可实现+8dB 的编码增益或分集。

这些功能不仅避免了无线电频率的干扰，同时也防止了来自于工厂的马达、电灯或其它设备的电子干扰。在诸多过程控制工厂的实际应用中，艾默生的无线设备已经被证实具有以上这些功能，而且数据可靠性

达到 99.9%以上。

无线工厂网络

思科无线网状网络方案基于思科的 Aironet®1500 系列，这是一种户外 Wi-Fi 网络访问接入点，它采用思科正在申请专利的适应无线路径协议（AWPP），该协议正是现行 IEEE 802.11s 标准的基础。思科 Aironet 1500 系列可进行通道优化，并可从射频干扰、终断、跳频中自行恢复，当有新的部件加入网络时还可进行动态再优化。

为了满足地形复杂以及危险工业工况的需求，思科研发出了 Aironet 1520 系列专门应用于这种工厂环境。该系列产品可实现零接触组态，从而使组网更方便、更安全。灵活、高功率，且灵敏的无线电频率，再加上高增益天线，就可根据需求扩大信号覆盖范围。思科 Aironet 1520 由思科无线局域网控制器和思科无线控制系统（WCS）进行监控和管理。

思科 1500 无线接入器采用适应无线路径协议，能够自动进行互相寻址，选择最佳的路径，以最短的响应时间使系统容量最大化。如果其中一个路径信号减弱，那么无线接入点就会判断是否有更好的路径存在，并与这个最佳的节点建立连接路线。

标准的优势

用于现场级网络的 802.15.4 和用于工厂级网络的 802.11 都是采用基于 IEEE 802 标准的技术，它在处理共存问题具有绝对的优势。IEEE 学会联合 802 无线标准工作小组和共存技术专家顾问团（802.19）建立一个可在现行标准（包括正在开发的标准）中共存的框架。

共存性测试

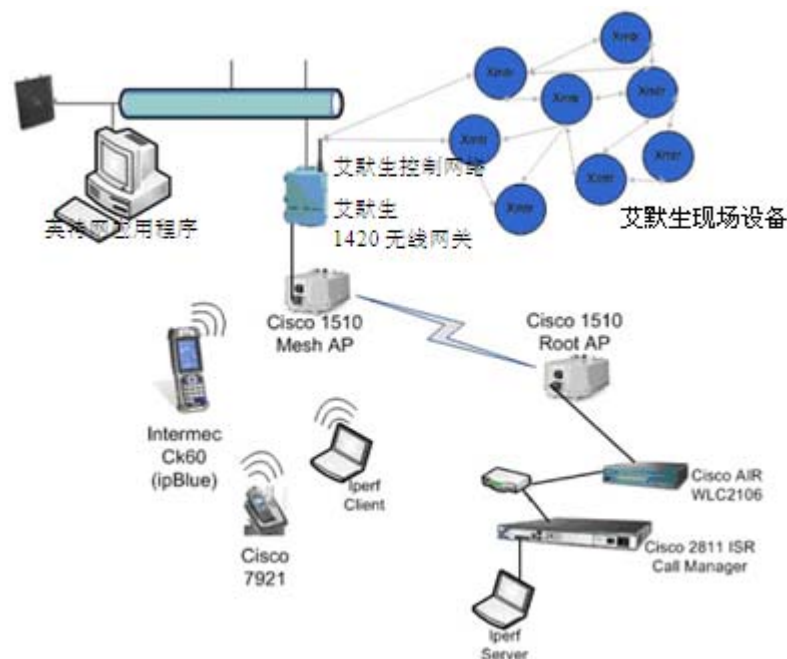
测试的目的是为了对比在同一个工过程工厂中使用思科 IEEE 802.11b/g 工厂级网络和相关应用程序，以及使用由 Dust Networks 公司提供的网状网络和 IEEE 802.15.4 技术的艾默生智能无线现场级网络的实际效果。

思科 – IEEE 802.11b/g	艾默生- IEEE 802.15.4
<p>1. 物理层</p> <ul style="list-style-type: none">o 14 通道，5 MHz 通道间隔，22 MHz 频宽o 最高数据传输速率 54 兆比特每秒	<p>1. 物理层</p> <ul style="list-style-type: none">o 16 通道，5 MHz 通道间隔，2 MHz 频宽o 数据传输速率 250 兆比特每秒
<p>2. 仅有 3 个非重叠通道</p> <ul style="list-style-type: none">o 在北美用 1、6、11o 在欧洲用 1、7、13	<p>2. 使用物理通道</p> <ul style="list-style-type: none">o 允许跳频o 允许通道调整（时分多址）
	<p>3. 艾默生（以及 WirelessHART）采用跳频和通道</p>

<p>3. 无线电功率输出</p> <ul style="list-style-type: none"> o 室内最大功率 100 兆瓦 o 户外网状网络最高达 4 瓦 	<p>调整</p> <ul style="list-style-type: none"> o 使用 15 个通道
--	---

测试经过

测试是在艾默生的工厂内进行的。测试包括 2 台思科的 1510 户外网状式接入器，1 台艾默生 1420 无线网关分别与思科 1510 网状式接入器以及 8 台艾默生智能无线现场仪表相连。此外，还有一些艾默生的 Wi-Fi 接入器摆在测试网络的附近。



我们将网络性能分析工具（Iperf）连到需要测试的接入器，并在 Wi-Fi 网络上进行数据装载。网络电话（VoIP）采用的是思科 7921IP 电话和装有声音软件的 Intermec CK60 移动通讯平台。

网络统计是在 802.15.4 网络上进行监测的，Iperf 网络测试工具则用于检测 802.11b/g 网络的流量。Iperf 用户端通过 802.11g 连接。我们定期监测 Iperf 数据的输出，以判断对 802.11b/g 网络现有的带宽的总体影响。

我们选择了 3 种频道 1、6、11 在 802.11b/g 网络中进行测试。802.15.4 网络中的设备数据更新频率设置在每 15 秒（常规配置）。

在测试期间，从 802.15.4 网关到 802.11 b/g 网络访问点近似于 1 m，从大多数 802.15.4 设备到任何地点为 30 cm 至 1 m。如此可以尽可能地创造最不利的测试环境条件下给定和已知的射频特性。

测试结果

802.11b/g 对 802.15.4 的影响。在整个测试过程中，802.15.4 现场网络的可靠性保持在 100%。仅管 802.11b/g 的干扰引起一小部分的来自于 802.15.4 网络设备信号的损失，但是艾默生的现场网络具有一些功能（例如重新连接和路径多样性）可以抵冲这种损失，使整个数据的可靠性不至于受到太大影响。

802.15.4 对 802.11b/g 的影响。在基线测试期间不存在 802.15.4 通讯量时，802.11 b/g 网络（用 Iperf 进行监视）的吞吐量在 4 MB/s 至 8 MB/s 范围内变化；存在 802.15.4 通讯量时，吞吐量在整个测试期间也在此围内变化。基于测试结果和已知的射频干扰（重叠通道、输出功率），测试 802.11 b/g 网络的数据吞吐量发生的绝大部分变化，很可能是由处于周围环境中、但不属于测试组成部分的其它 802.11 b/g 访问点所引起的。

在进行 IP 上声音测试时，使用带 IP 声音应用程序和 Cisco 7921 电话的 Intermec CK60 便携式计算机。在测试环境条件下，在 802.15.4 通讯量引入测试环境的整个测试过程中，未检测出对音质有任何影响。

无线应用问题

802.11 b/g 对 802.15.4 的影响 — 任何在 802.11 b/g 网络访问点不大于 1 m 范围内的 802.15.4 设备，其路径稳定性影响取决于距离和应用带宽。对数据包出错率的影响为

$$\text{数据包出错率} = \text{BWU} * 20\%$$

式中，BWU 为 802.11 b/g 网络访问点的应用带宽，20%系数为经验数据。

例如，若 802.11 b/g 平均应用带宽为 20%（对于典型 Wi-Fi 网络，这个数字属于较高水平），则单个路径稳定性的影响为 4%。这一数据包出错率水平还不足以大到影响总体 802.15.4 网络的数据可靠性。这是因为网络协议具有内置的自动重试功能，尽管造成使某些数据包遗失，但仍能保持非常高的数据稳定性。而且，路径多样性和通道跳跃功能有助于使这种干扰影响不复存在。

以前进行的研究和测试表明：在 802.11 b/g 网络访问点 10 cm 范围内的静态通道 802.15.4 设备受到明显的影响，其原因在很大程度上应归于 802.11 b/g 无线电的大功率输出。但在 Emerson Smart Wireless（智能无线）解决方案中并未发现，其原因是这项解决方案使用通道跳跃，以便在干扰周围移动。“黑色列表”重叠通道是这次测试中未使用的一项技术，故设备未使用这些通道，这也是缓解问题的一种方法。

802.15.4 对 802.11 b/g 的影响 — 802.15.4 网络会对 802.11 b/g 网络有影响，这个影响正比于其通道使用性。通道使用性是网络中总带宽应用和通道驻留时间的函数。通道使用性范围从典型网络 0%一直到由线路供电设备组成的大型网络 100%不等。

对于在 802.11 b/g 访问点范围内的每一台设备，对吞吐量的最大可能影响为

$$\text{802.11 b/g 带宽减少} = 25\% * \text{BWU} * 4/15$$

式中，25%系数为经验数据；4/15 为 1 个 802.11 b/g 通道占用的 802.15.4 通道数量。接近 802.15.4

网关的带宽应用可能近似于大型网络的 41%。41%这个系数来自在 10 ms 时间间隔内，可以产生最大尺寸数据包（128 个字节）的 2.4 GHz 802.15.4 网络的数据率。

假设 802.11 b/g 设备接近 802.15.4/WirelessHART 网关，则最不利影响为 $25\% * 41\% * 4/15 = 2.73\%$ ，即减少 20 Mbps（典型吞吐量）至 19.45 Mbps。即使是对时间极其敏感的应用，如 VoIP 通讯，这个减少幅度也可以忽略不计；且测试证明未出现性能下降现象。

此项测试旨在描述在使用 IEEE 802.11b/g 设备和 IEEE 802.15.4 设备中，用户可能遇到的最不利条件。在实际安装中，不大可能这两类网络均大于 40%带宽应用。即使在此项测试的极端条件下，这两类网络也未发现明显影响。由于进入网关的最大通讯量在较低功率水平（功率多样性）上进行，在实际应用中已显示对网络并无影响。

总结

无线技术的飞速发展已消除人们以前对过程运行中使用无线技术存有的任何疑虑。尤其是 Emerson 和 Cisco 的无线结构体系，如通道跳跃和网格网络等，可以减少或防止 802.11 与 802.15.4 技术之间潜在的共存性问题。

这种在实际条件下的结构体系测试证明：即使在极端应用条件下，共存性问题在事实上也是非常小的。从这些发现中可以得出下列结论：过程工业用户可以完全相信这项技术一定能够成功。实际上，可能会有许多充足的理由来开始设计新的无线技术应用。

本文只涉及射频兼容性，但其它问题，如安全性和网络管理等，也是网络设计应予关注的问题。Cisco 和 Emerson 提出一个解决方案的范围，涉及基于各种项目环境的这些问题。Cisco 和 Emerson 还将发表白皮书，介绍工厂环境中无线网络过程工业用户的典型应用范例。若要求其它信息，请访问 www.EmersonProcess.com/SmartWireless，或与 Emerson 或 Cisco 销售代表联系。

参考文献

[1] IEEE 标准 802.15.4-2006，第 15.4 部分：小功率无线人员区域网络（WPAN）的无线载体访问控制（MAC）和物理层（PHY）技术条件

[2] IEEE 标准 802.15.2-2003，第 15.2 部分：无线人员区域网络与其它运行于未许可频带的无线设备之间的共存性

[3] Dust Networks，时间同步化网格协议（TSMP）技术概述，2006 年 6 月 20 日
链接：www.dustnetworks.com/docs/TSMP_Whitepater.pdf

[4] WirelessHART 技术规范

Emerson Process Management 和 Cisco Systems 版权所有

Aironet 为 Cisco Systems, Inc.的商标。Wi-Fi 为 Wi-Fi Alliance 的商标。WirelessHART 为 HART Communications Foundation 的商标。所有其他商标为各自持有人的财产。