



Wi-Fi HaLow™： 面向 IoT 应用的 Wi-Fi®

2020 年 5 月

摘要

Wi-Fi®是高科技时代最成功的创新之一，可在多种场合提供无线连接。Wi-Fi 承载一半以上的互联网流量，几乎所有类型的移动设备在交付时都内置了 Wi-Fi。在家中和企业中，Wi-Fi 已经取代了很多采用结构化布线的有线局域网（LAN），并为移动服务提供商处理移动网络流量提供了可靠的途径。从标准计算到带宽密集型应用，Wi-Fi 利用其固有优势满足了大多数应用的连接需求。不过，Wi-Fi 还能做更多事情，它已经发展到能够利用 [Wi-Fi HaLow™](#) 满足多种“物联网（IoT）”用例的需求了。

Wi-Fi HaLow 以 Wi-Fi 的成功为基础，在低于 1GHz¹的频段上运行。在这个频段上运行的 Wi-Fi HaLow 提供长距离、低功率连接，以应对富有挑战性的 Wi-Fi 环境，包括那些有墙壁等障碍物的环境。与其他很多 IoT 无线技术相比，Wi-Fi HaLow 不仅毫不逊色，而且表现更好。

IoT 市场非常广泛，涵盖家用电器、恒温器、监控摄像头等单独的设备以及大型工厂传感器网络等。IoT 有自己的一套要求：非常低的功率、较长的连接距离、穿透建筑材料和其他障碍物的能力以及每个接入点（AP）支持较多数量的客户端设备。为了满足这些特定的需求，Wi-Fi Alliance®引入了 Wi-Fi HaLow。Wi-Fi HaLow 基于 IEEE 802.11ah 标准，增强了现有的 Wi-Fi 功能。通过在低于 1GHz 的频段上运行，Wi-Fi HaLow 提供了很多 IoT 应用所需的较长连接距离和节能功能以及最新的安全机制。IEEE 802.11ah 标准定义的单流设备的数据速率为 150Kbps 至 86Mbps 以上，从而使 Wi-Fi HaLow 具备独特的能力，可在各种各样的环境中满足多种 IoT 应用的需求。

除了扩大覆盖范围，Wi-Fi HaLow 还提供确保可靠的传送速率所需的安全性、易用性和调制方法。Wi-Fi HaLow 可比其他 IoT 技术更高效地利用频谱，其原生 IP 支持无需专有网关，就可跨多种用例简化 IoT 应用的数据收集和分析。因为 Wi-Fi HaLow 是第一种在低于 1GHz 频段上运行的 Wi-Fi 技术，所以对 Wi-Fi HaLow 设备而言，不存在向后兼容的要求，对于成本敏感的传感器设备而言，这简化了其集成电路（IC）的实现。

本文讨论了 Wi-Fi HaLow 为何能成为 Wi-Fi 技术组合的一部分，以及其满足 IoT 连接要求的能力。本文还比较了其他可选 IoT 技术与 Wi-Fi HaLow，并概述了在哪些用例中，Wi-Fi HaLow 是最佳连接选择。读者将了解到，Wi-Fi HaLow 是各种 IoT 部署的首选解决方案。

Wi-Fi HaLow 的主要优势

- 长距离：1 千米。
- 在富有挑战性的环境中提供可靠连接；能够穿透墙壁。
- 显著降低电池功耗。
- 简化对互联网和云应用的访问：无需专有集线器或网络。
- 最新的 Wi-Fi 安全保护能力。

Wi-Fi HaLow 的主要功能

- 在低于 1GHz 的频段上运行
- 窄带 OFDM 频道
- 支持从 150Kbps 至 86.7Mbps²的数据速率
- 多种节能模式
- 原生 IP 支持
- Wi-Fi CERTIFIED WPA3™ 和 Wi-Fi CERTIFIED Enhanced Open™安全性

¹ 例如在美国是 902MHz – 928MHz；实际频率值随地域不同而有所不同。

² 在 16MHz 频道和短保护间隔情况下，采用 MCS 9 时，86.7Mbps 是可能的；结果视监管要求和厂商实现方式的不同而有所不同。

Wi-Fi HaLow 将 Wi-Fi 引入低于 1GHz 的频段

Wi-Fi 的安全性和 IP 支持使其成为可信、无处不在和易于使用的平台，Wi-Fi HaLow 就提供这种安全性和 IP 支持，同时满足 IoT 环境的独特需求。

没有任何一种技术可以最佳地满足所有连接情况的要求。目前有多种连接技术可供选择，每一种都有其自身优势：有线连接可以确保快速传送，但是用户必须忍受导线安装成本并牺牲灵活性；其他无线技术可以提供可靠的短距离无线通信，但是信号质量在不到 100 米时就下降了；蜂窝技术提供大范围覆盖，但是部署和运维成本都很高。尽管没有哪种技术能成为适用于所有情况的终极技术，但是 Wi-Fi HaLow 在低于 1GHz 频段提供的功能使 Wi-Fi 能够满足更多连接需求，包括在各种部署情况下的 IoT 用例。

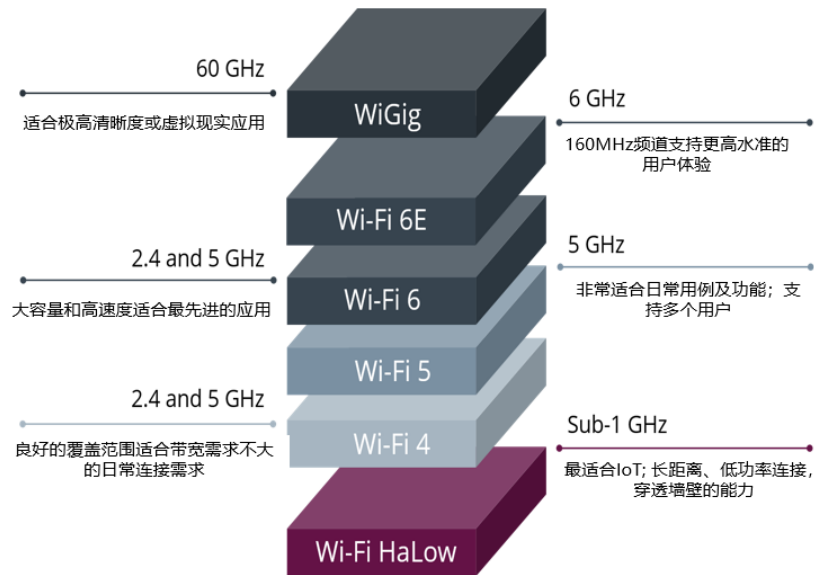


图1: Wi-Fi 跨越多个频段，可应对各种连接挑战。

Wi-Fi 提供满足更多覆盖需求的解决方案

Wi-Fi HaLow 为 Wi-Fi 技术组合增加了非常适合 IoT 环境的长距离、低功率连接能力。在低于 1GHz 频段上运行和窄带频道使 Wi-Fi HaLow 能够到达比其他 Wi-Fi 版本以及很多其他可选 IoT 技术更远的距离，包括更好的穿透墙壁及其他障碍物的能力。Wi-Fi 网络可以设计为，无需备用无线电技术，就可在多个频带上运行 Wi-Fi，而备用无线电技术需要特殊设备或授权蜂窝频段上基于订购的解决方案。这种灵活性使 Wi-Fi 成为满足更多覆盖需求的首要解决方案。

Wi-Fi 网络可以设计为，无需备用无线电技术，就可在多个频带上运行 Wi-Fi。

图 2 给出了一个 Wi-Fi 技术组合如何满足覆盖需求的例子，展示了一个采用 6Mbps 数据速率的 Wi-Fi 样例³。这一速率通常足够运行智能手机应用、基于 Web 的轻量和中量 PC 应用以及压缩视频传送应用。该图显示了特定于住宅环境的 Wi-Fi 网络覆盖范围的扩展情况。Wi-Fi HaLow 的低频和窄带运行允许在距 AP 1 千米的范围内支持较低数据速率的 IoT 连接，具体数值取决于产品运行所在地的监管机构允许的发送功率。这使 Wi-Fi HaLow 不仅能够在住宅环境中、而且能够在农业和工业环境中良好运行。

³ 美国在 900MHz 频段有 26MHz 频谱可用。模拟实验设定条件：最低 QoS 5 Mbps、零售 AP、21 dBm/Tx 链路 Tx 功率，室内至室外 (d^4) 频道模型，该模型基于高通公司进行的测量。（与 IEEE D NLOS 路径损耗模型相比，频道模型的阶数略高。）

数据速率为6Mbps的住宅Wi-Fi覆盖范围样例

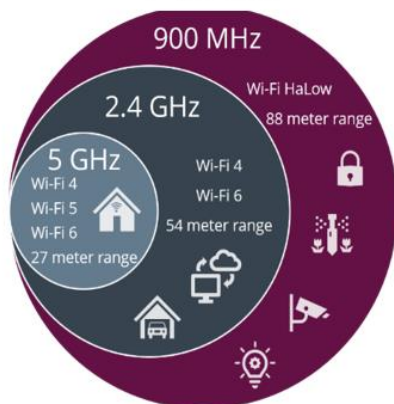


图2：6Mbps Wi-Fi覆盖范围样例，显示了Wi-Fi HaLow是如何显著扩大Wi-Fi覆盖范围的。

Wi-Fi HaLow 满足广泛且独特的 IoT 要求

虽然 IoT 市场涉及智能手表、家用电器、气候控制系统以及面向工业和农业环境的远程传感器等设备和解决方案，但是各种 IoT 应用仍有一些共同的要求，包括技术、无线网络运行以及客户采用要求。

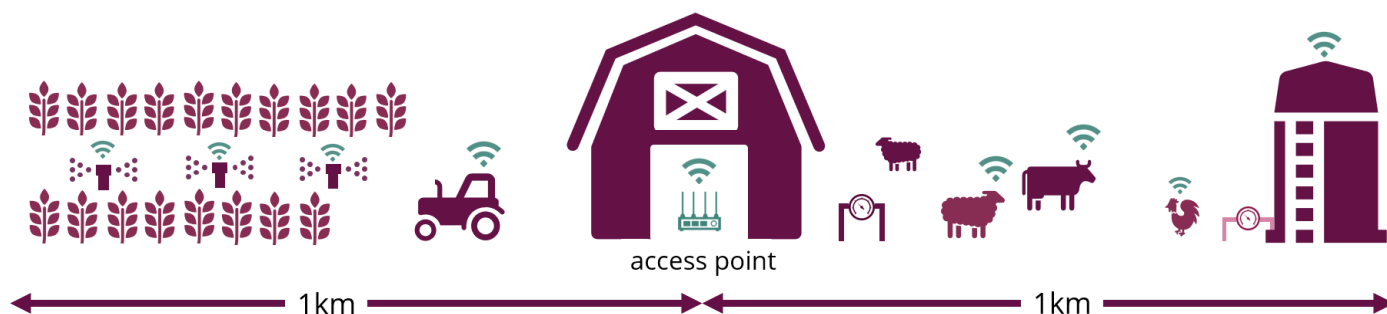


图 3：Wi-Fi HaLow 的连接距离约为 1 千米，这有利于工业和农业环境、物流与交通运输、智慧城市用例等。

技术要求

低功耗

为了支持电池供电设备（包括采用币形电池运行的设备）的使用，无线技术必须提供低功率和高能效选择。Wi-Fi HaLow 运行时采用低于 1GHz 的射频信号，以到达更远的距离，同时消耗比 2.4GHz 或 5GHz 技术低的发送功率。Wi-Fi HaLow 还采用了新的休眠和管理模式，以提供类似于且在有些情况下好于其他 IoT 技术的高能效及电池运行时间。

长距离和可靠性

IoT 网络在各种环境中都要求提供有效距离和可靠性。Wi-Fi HaLow 采用低于 1GHz 的射频频谱和窄带频道，以提供超过 1 千米的连接距离。这样的连接距离长于其他“个人域网（简称 PAN）”和“无线局域网（WLAN）”。此外，Wi-Fi HaLow 穿透建筑材料的能力好于 2.4GHz 射频 IoT 技术。

IP 网络功能

IP 网络功能对于部署有效的 IoT 解决方案是至关重要的。设备和传感器网络可能需要连至云，以执行软件升级和其他 IoT 应用管理功能。与其他 IoT 技术相比，Wi-Fi HaLow 在这方面表现出色。因为 Wi-Fi HaLow 是 Wi-Fi，所以它能够提供具有原生 IP 支持的附加连接，且与采用很多其他技术时一样，无需专有网关。

数据速率

要满足多种 IoT 应用的需求，还需要足够的速率。有些 IoT 设备需要偶尔处理微小数据包的能力，另一些则需要持续监控，因此会使用更多数据。Wi-Fi HaLow 能够提供多种数据速率，从低至 150Kbps 到高达 86.7Mbps⁴，具体数值取决于厂商的实现方式。

安全性与隐私保护

Wi-Fi HaLow 以最新的安全协议为基础，包括 Wi-Fi CERTIFIED WPA3™和 Wi-Fi CERTIFIED Enhanced Open™。这些协议对通过无线电波在 IoT 设备和 AP 之间传送的、有可能是宝贵和机密的数据进行加密。Wi-Fi HaLow 还提供比其他 IoT 技术更高的数据速率，因此有余地为经过云中可信平台的隧道 IP 流量提供额外的安全层。

无线网络运行要求

设备种类

IoT 设备大小形状各异，用途千差万别。通信解决方案应适应不同的设备类型、用途和所期望的吞吐量。Wi-Fi HaLow 是基于标准的，这意味着它支持从低数据速率门锁到高清视频安防摄像头等多种设备的高效共存。与其他 PAN 和“无线广域网 (WAN)”相比，Wi-Fi HaLow 还提供更高的数据速率和网络容量。

成本效益

IoT 网络环境的运行和维护应该具备成本效益。就像其他 Wi-Fi 版本一样，Wi-Fi HaLow 也在非授权频谱上运行，不会增加月租费或购买蜂窝运营商数据计划的负担。它使个人和企业能够在私有、受控的网络中使用自己的基础设施。Wi-Fi HaLow 还降低了设备的硬件成本，因为不采用 Wi-Fi HaLow 就需要多个无线电组件。例如，采用 LoRaWAN 以非常低的数据速率进行长距离连接的设备，可能需要基于其他技术（例如 Wi-Fi）的第二个无线电组件，以提供偶尔需要的固件更新。而仅用 Wi-Fi HaLow 一种连接就可以既提高成本效益、又降低硬件成本。

网络集成

简单的网络集成是运行简化 IoT 环境的关键。Wi-Fi HaLow 易于与现有网络基础设施集成，因为无需协议转换盒或网关。Wi-Fi HaLow 可以增加已经采用拥挤的 2.4GHz 频谱的环境中，而不会增加射频 (RF) 干扰。通过 Wi-Fi HaLow 纳入 IoT 的最简单方式是，购买支持 Wi-Fi HaLow 的 AP。Wi-Fi HaLow 信号可以到达更远的地方，在很多情况下，无需其他 2.4GHz 技术所需的昂贵的网格和转发器。

设备容量

在农场、工厂等生产环境中，大型传感器和调节器网络会监控环境条件并控制机器系统，以获得所需的结果。重要的是，所采用的 IoT 通信解决方案能够支持每个 AP 连接数百或数千个设备。Wi-Fi HaLow 支持更多的客户端设备：每个“服务集识别符 (SSID)”支持多达 8191 个设备。Wi-Fi HaLow 改进了“介质访问控制 (MAC)”，增加了将设备类型划分为服务类别的功能，从而扩大了所需服务可用的数据容量。

⁴ 在 16MHz 频道和短保护间隔情况下，采用 MCS 9 时，86.7Mbps 是可能的；结果视监管要求及厂商实现方式的不同而有所不同。

与客户采用相关的要求

简便、安全的安装

确保 IoT 设备和环境的安全是一项艰巨的任务，每种可用 IoT 技术都有自己的安全保障方法。Wi-Fi HaLow 采用 WPA3™和 Wi-Fi Enhanced Open™，这是为最新一代 Wi-Fi 开发的最高级别的安全技术。安装和设备入网还可以运用 [Wi-Fi CERTIFIED Easy Connect™](#)⁵，该技术支持快速、安全的 IoT 设备入网。原生 IP 连接使 IoT 生态系统中的公司能够更有效地实现简便、安全的安装。

互操作性

在 IoT 环境中，重要的是，来自不同厂商的各种类型的设备应具备互操作性。Wi-Fi HaLow 继承了 Wi-Fi 确保多厂商互操作性的传统。这项传统加上 Wi-Fi HaLow 是基于标准的技术这一事实意味着，Wi-Fi HaLow 拥有在 Wi-Fi HaLow 设备之间实现无缝互操作的巨大潜力。Wi-Fi HaLow 还能够简便地与 2.4GHz、5GHz 和未来的 6GHz Wi-Fi 无线电组件一起纳入多频段 AP，而不会产生干扰。Wi-Fi HaLow 支持与云服务及其他连网设备的无缝连接。

下表总结了 Wi-Fi HaLow 是如何满足常见 IoT 连接要求的。

IoT 要求	Wi-Fi HaLow 优势
技术	
低功耗	<ul style="list-style-type: none">能效 (比特/焦耳) 比其他低功率 LAN/WAN 技术高电池运行多年支持币形电池供电
长距离和可靠性	<ul style="list-style-type: none">低于 1GHz 的窄带信号比 2.4GHz 信号传送距离长、耗能少与 2.4GHz Wi-Fi 相比，有最低 10dB 的链路预算优势⁶超过 1 千米的距离适合放大量更高的连接
IP 网络能力	<ul style="list-style-type: none">基于 IEEE 802.11ah 国际标准原生 IP 支持；无需转换网关高数据吞吐量支持“用户数据报协议 (UDP)”、“传送控制协议/互联网协议 (TCP/IP) 和基于 IP 的发现协议
数据速率	<ul style="list-style-type: none">支持 150Kbps 至 86.7Mbps⁷
安全性与隐私保护	<ul style="list-style-type: none">需要 WPA3™需要 Wi-Fi Enhanced Open™支持 Wi-Fi Easy Connect™
无线网络运行	
设备种类	<ul style="list-style-type: none">基于标准的功能支持多种使用模式高效共存支持多种设备、数据速率、功率和距离数据速率和网络容量显著高于竞争性 WAN/PAN 技术

⁵ 目前，Wi-Fi Easy Connect™ 不包括针对 Wi-Fi HaLow 设备的测试。

⁶ 链路预算：信号从发送器到接收器经受的所有功率增益和损耗

⁷ 在 16MHz 频道和短保护间隔情况下，采用 MCS 9 时，86.7Mbps 是可能的；结果视监管要求及厂商实现方式的不同而有所不同。

成本效益	<ul style="list-style-type: none"> 在非授权频谱上运行；无月租费 支持私有、受控网络 支持无线固件升级 无需复杂的网格或转发器，简化了基础设施
网络集成	<ul style="list-style-type: none"> 原生 IP 网络，包括“互联网协议版本 6 (IPv6)” 无需网关或转换盒，不干扰之前已经存在的网络 易于集成到 Wi-Fi 网络的 AP 中
设备容量	<ul style="list-style-type: none"> 每 SSID 支持 8191 个设备
客户采用	
简便、安全的安装	<ul style="list-style-type: none"> 支持 Wi-Fi Easy Connect 原生 IP 支持简化了多个云 IoT 生态系统的连接
多厂商互操作性	<ul style="list-style-type: none"> 在 IP 层实现与 2.4GHz 和 5GHz Wi-Fi 设备无缝互操作的潜力很大 以基于 IEEE 802.11ah 开放标准的技术为基础

Wi-Fi HaLow 不仅满足 IoT 要求，而且提供了全套在不那么拥挤的、低于 1GHz 频段上运行的 IoT 功能。Wi-Fi HaLow 可连接功耗需求非常低的、由币形电池供电的设备。其连接距离可远于 1 千米，能够提供更大的 Wi-Fi 覆盖范围和更好的穿透建筑材料的能力。因为 Wi-Fi HaLow 是对 Wi-Fi 技术组合的扩充，所以它无需专有集线器或网关，就可支持简化、安全地访问互联网和云服务。

Wi-Fi HaLow 相比于其他 IoT 技术的优势

Wi-Fi HaLow 能够以多种方式扩展，以适合不同的环境，可以提供更大的覆盖范围、更长的电池寿命、原生 IP 支持和更大的数据吞吐量（从 150Kbps 到 80Mbps 以上）。实际上，Wi-Fi HaLow 技术提供的 IoT 技术能力（参见图 4）超越了其他解决方案。采用 Wi-Fi HaLow 使网络所有者能够通过一个灵活的、得到国际认可的标准，满足各种各样的市场需求。

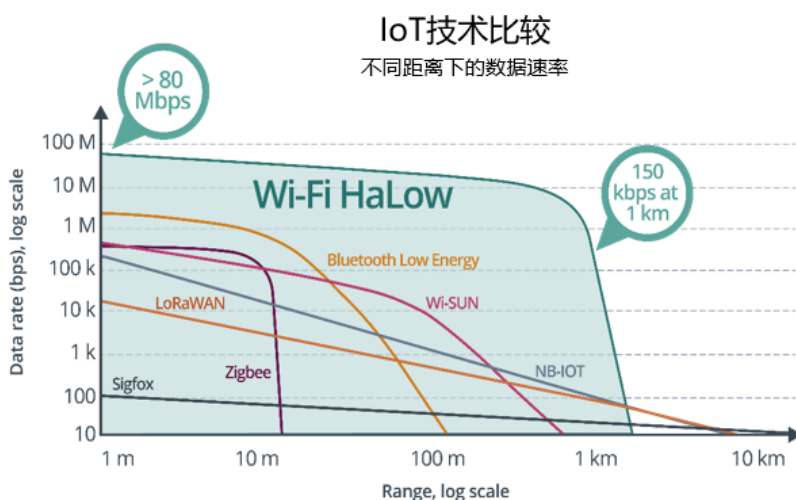


图4: 基于公开信息的估算表明，与其他IoT技术相比，Wi-Fi HaLow在更长的连接距离上允许更高的数据速率。参见下面的IoT技术比较一览表。

Wi-Fi HaLow 提供了一种开放的行业标准技术，可满足 IoT 需求，包括速度、功率、距离、密度、穿透能力和安全性需求。因此，与其他技术相比，Wi-Fi HaLow 适合更广泛的 IoT 应用。其他技术，包括蓝牙低功耗、Zigbee、Z-Wave、

LoRaWAN、Sigfox、“窄带 IoT (NB-IoT)”、“长期演进 M1 类 (LTE-M)”以及其他专有无线技术，都是只突出了某些属性，例如距离或电池寿命。而 Wi-Fi HaLow 则代表了一种更加全面的 IoT 方法，它能够支持更多种 IoT 应用。其他无线 PAN 和 WAN 解决方案需要额外增加复杂性、延迟和成本，才能实现 Wi-Fi 这样的简便性和能力。

距离、数据速率和电池寿命

在低于 1GHz 的频段上以窄频道运行，使 Wi-Fi HaLow 的连接距离显著长于其他几种技术。Wi-Fi HaLow 能够运行覆盖范围超过 1 千米的低数据速率农业传感器网络，同时能够在较短距离上支持高数据速率 IoT 用例，例如室外视频监控摄像头或仓库机器人，所有这一切都在同一个网络上。Wi-Fi HaLow 还提供低功率和节能模式，以便 Wi-Fi 传感器的电池充电一次就可运行数年，例如智能门锁和杂货店中的电子货架标签。

拓扑、部署和运行成本

Wi-Fi HaLow 显著改进了 Wi-Fi 网络通常使用的简单星形网络架构。Wi-Fi HaLow 是基于标准的技术，在非授权频谱上运行，因此，当设备与 AP 的距离在 1 千米以内时，为 IoT 选择 Wi-Fi HaLow 技术可以降低应用部署成本。对于需要互联网接入的设备集群，Wi-Fi HaLow 是汇聚其流量的最佳选择，汇聚后的流量可以通过宽带或移动服务提供商的接口传送到互联网。

基于订购用户的网络解决方案依靠第三方服务提供商来搭建和管理基础设施。在授权频谱上运行 LTE、LTE-M 和 NB-IoT 的移动网络运营商通常按照连接设备的数量收费，而且可能需要为高数据速率应用购买数据计划。其他一些在非授权频谱上提供连接性的系统提供商，例如提供 LoRaWAN 和 Sigfox 业务的提供商，也对使用其网络基础设施收取经常性费用。在非授权频谱上运行的这些技术是专有网络技术，与 Wi-Fi HaLow 相比，仅提供非常低的数据速率。

Wi-Fi HaLow 的部署成本包括 AP 和客户端设备，还有配置网络所需的 IT 资源。使用客户拥有的网络资源不产生任何经常性费用。Wi-Fi HaLow 可简便地增加到现有基础设施网络中，而不会对其他频率的 Wi-Fi 技术造成负面影响。Wi-Fi HaLow 可以部署到一个专门用于 IoT 的独立 AP 中，或者作为一个全面的 Wi-Fi 解决方案部署到一个多频带 AP 中。

保障无线更新期间的安全性

Wi-Fi HaLow 设备支持 WPA3，以在 AP 和客户端设备之间保护数据的安全，目前，WPA3 是 Wi-Fi 提供的最高安全级别。对于必须预先考虑对现场设备进行长期改进和安全更新的系统设计师而言，Wi-Fi HaLow 的高数据速率可在需要时支持快速无线 (OTA) 固件更新。其他数据速率很低、加密级别也较低的技术，如果不想长时间停机和消耗大量能源，就无法快速安全地提供 OTA 固件更新。有些技术可能需要在现场对每个设备进行大量手动操作，这增加了成本。Wi-Fi HaLow 最大限度减少了 OTA 固件更新所需的停机时间，同时提供多个安全层。

IP 就绪的技术

与其他 Wi-Fi 版本一样，Wi-Fi HaLow 也支持传送包括 UDP 和 TCP 数据包在内的 IPv4/IPv6 数据。支持 Wi-Fi HaLow 的路由器可服务于向或从云服务发送数据的 Wi-Fi HaLow 客户端设备。管理 Wi-Fi HaLow 客户端无需专有网关或集线器控制器。与蓝牙低功耗或 Zigbee 等其他无线技术的非 IP 客户端设备相比，这简化了网络架构。

IoT 技术比较一览

下表概述了目前可用的主要 IoT 技术的高层次特性。能效是用发送和接收 1 个比特所用能量（单位：焦耳）来衡量的，Wi-Fi HaLow 的能效非常高，可实现数年的电池寿命，并在覆盖范围、数据吞吐量等方面提供很多其他优势。

参数	Wi-Fi HaLow	蓝牙低功耗	Z-Wave	Zigbee	Wi-SUN	Sigfox	LoRaWAN	NB-IoT
频率	低于 1GHz	2.4 GHz	低于 1GHz	2.4GHz/低于 1GHz	低于 1GHz	低于 1GHz	低于 1GHz	需授权
数据速率 (bps)	150K-86.7M ⁸	125K – 2M	9.6K - 100K	250K	6.25K – 800K (默认值为 50k)	100 或 600	300 – 27 k 200 – 27K	20K – 127K
距离 (米)	>1K	< 100	< 30	< 20	<1K	<40K	<10K	< 10K
调制方法	BPSK 之上的 OFDM、 QPSK、 16/64/256 QAM	GFSK	GFSK	BPAK/ OQPSK	MR-FSK / MR-OFDM / MR-OQPSK	DBPSK/ GFSK	CSS	QPSK
电池寿命	多年	多年	多年	多年	多年	多年	多年	多年
安全技术	WPA3™	CCMode 下的 128 位 AES	Security 2 (S2)	CCMode 下的 128 位 AES	IEEE 802.1X	会话级安全 技术	CCMode 下的 128 位 AES	3GPP 安 全技术
OTA 固件更新	支持	支持	-	-	-	-	-	-
是否需要订购	否	否	否	否	否	是	是	是
TCP/IP (互联网)	支持	-	-	-	-	-	-	-
网络拓扑	星形/中继	P2P*/网格	网格	网格	网格	星形	星形	星形
开放标准	IEEE 802.11ah	蓝牙 SIG	专有	IEEE 802.15.4	IEEE 802.15.4g	专有	专有	3GPP LTE Cat- NB1/NB2

*点对点

本表中使用的信息均是公开发表的

⁸在 16MHz 频道和短保护间隔情况下，采用 MCS 9 时，86.7Mbps 是可能的；结果视监管要求及厂商实现方式的不同而有所不同。

为比较 Wi-Fi HaLow 与其他 IoT 技术而进行的研究

虽然目前对 Wi-Fi HaLow 网络的实证研究很少，但是确实有一些研究和模拟在可选 IoT 技术的竞争性分析中，包括了 Wi-Fi HaLow。各项研究的主要结果均显示，从覆盖范围到能效和易用性，Wi-Fi HaLow 在多个方面均优于其他技术。

Wi-Fi Alliance 对竞争性非授权低功率 WAN、PAN 和 LAN 以及授权 WAN 技术的分析涵盖了各种特性，包括数据速率、连接距离、电池寿命、IP 网络易集成性、安装和运行成本效益以及可扩展性。在这些比较中，除了 WAN 连接距离，Wi-Fi HaLow 在其他所有特性上均表现出色。分析认为，Wi-Fi HaLow 在大多数特性上都强于其他 PAN 网络，且至少是与其他技术可比的。Wi-Fi HaLow 在覆盖范围和电池寿命方面好于在 2.4GHz 上运行的 Wi-Fi。图 5 仅显示了该分析的一个结果；更详细的信息，请查阅 [Wi-Fi HaLow 技术概述](#)。

PAN和LAN IoT技术比较



图5: 与其他可选IoT技术相比, Wi-Fi HaLow满足大部分需求。

[IMEC Research Group 的一项研究](#)比较了几种 IoT 技术的能耗。结果显示，Wi-Fi HaLow 的能效高于其他 IoT 技术。

[Wi-Fi HaLow 技术概述](#)中更详细的信息显示，Wi-Fi HaLow 提供的覆盖范围、数据速率和能效使其堪称首选 IoT 技术。Wi-Fi HaLow 以 Wi-Fi 安全性和易部署性为基础，这使 Wi-Fi HaLow 值得企业、工业和更多行业将其作为主要技术来考虑。

用例

虽然 Wi-Fi HaLow 设备提供的低功率、长距离连接、穿透障碍物的能力以及可靠的数据吞吐率，其他 IoT 技术也能提供，但是 Wi-Fi HaLow 还有更多优势，包括原生 IP 支持、更简便的网络集成和更高的安全性。Wi-Fi HaLow 是一种更全面的解决方案，可满足很多 IoT 需求，家中的个人和现场的农民都可受益。Wi-Fi HaLow 设备无论来自哪个厂商，相互之间都是可互操作的。下面介绍 Wi-Fi HaLow 的主要用例。

工业自动化

从工业自动化系统中的传感器收集的实时信息可用来产生更好的控制决策，以提高过程产量。这些决策可以在边缘计算节点或云中做出。可能需要节点之间基于关键会话的通信，且不能容忍通过繁忙的网格和网关时产生拥塞。对于使用数千个分布在很大范围内的传感器和调节器的工厂或提炼厂而言，Wi-Fi HaLow 能够在安全、低延迟的网络中连接这些设备。与基于 Zigbee 网络的方法相比，Wi-Fi HaLow 是星形架构，可建立更长距离的连接并提供更多的数据速率选择，而 Zigbee 网络则依靠一些必须转发其相邻设备数据的节点。这会增加延迟，并降低这种网络架构中的设备共享的 250Kbps 总体网络吞吐量。系统设计师可以依靠 Wi-Fi HaLow 提供的、先进的 WPA3 安全技术和原生 IPv6 支持来保护所有设备的关键通信，无论是传送至现场控制器，还是通过隧道传送至云中的服务器。



农业

智慧农场运营需要传感器和控制点连接，以在大片土地上照料农作物和牲畜。能够覆盖方圆 1 千米或 1 千米以上区域的单个 Wi-Fi HaLow AP 可支持分布在 775 英亩 (310 公顷以上) 范围内的逾 8000 个设备的互联网接入。依靠电池或太阳能供电的传感器可以在野外放置多年，以测量环境条件以及农作物和牲畜的健康状况。不必为难以触及的传感器或控制器连接电源线或信号线，就可以实现通风、供暖和灌溉的自动化。用 Wi-Fi HaLow 基础设施汇聚很多本地设备的连接，可以节省经常性费用，否则这些费用要用于购买移动运营商或专有网络服务提供商的数据计划上。



住宅与楼宇自动化

在大型办公楼、生产设施、单户和多户住宅等各种建筑物中，环境、安防和安全运行系统可借助 Wi-Fi HaLow，简便地实现连接和自动化。Wi-Fi HaLow 提供了一种低功耗标准解决方案，无需额外使用信号线，即可连接门锁、摄像头以及供暖、通风和空调 (HVAC) 组件，以及支持设备相互连接和将设备连入互联网。低于 1 GHz 的 Wi-Fi HaLow 对墙壁的穿透能力好于 2.4 GHz 技术。智能照明系统可以动态配置，以满足多租户住宅中居住者的需求。访问控制系统可利用 Wi-Fi HaLow 的高数据吞吐量优势，增加对实时视频和生物身份验证方案的支持。Wi-Fi HaLow 传感器的电池寿命很长，可降低基础设施和维护成本。Wi-Fi HaLow 采用最新的 WPA3 安全技术，可确保防止未经授权的系统更改。还可以通过无线更新，将固件更新快速安全地部署到云中的可信平台上。



物流与交通运输

货物在从供应商、工厂、仓库到销售点的转移过程中，跨越了很多企业和广域网边界。货物的实时位置和状态可用来改善物流计划和效率。采用 Wi-Fi HaLow 技术的传感器和资产跟踪器提供了全球性物流跟踪行业标准。电池供电的传感器可以运行数年。低于 1GHz 的射频信号可以穿过运输容器，到达仓库或运载工具中的本地 AP。承运服务提供商可以提供移动的、由 WPA3 或 Wi-Fi Enhanced Open 提供安全保障的 Wi-Fi HaLow IPv6 路由器连接，以便每个客户都可以跟踪其运输中的产品。由于其远距离和信号穿透能力，Wi-Fi HaLow 还可以为大型仓库提供出色的网络基础设施。



智慧城市

市政运营可以受益于 Wi-Fi HaLow 的易用性和长距离连接。交通监控器可以增加来自 Wi-Fi HaLow 连接的摄像头的视频输入，而不必敷设新的电缆。交通信号灯可以集中控制，以管理交通流量、应对紧急情况。来自停车场计费器、交通监控器、信息标志牌等数千个设备的数据，可以利用 Wi-Fi HaLow 汇聚到一起，以从中央控制点提供反馈和控制。安装了 Wi-Fi HaLow 网络以后，市政当局可以避免因使用基于蜂窝运营商网络的服务而产生的经常性费用。

Wi-Fi HaLow 还可以用来满足很多其他 IoT 环境的需求，例如零售店和购物中心、酒店和餐馆、采用患者监护设备的医疗机构以及其他任何需要长距离 Wi-Fi 连接的场合。



总结

Wi-Fi HaLow 提供了一种开放的行业标准，可满足众多行业的多种 IoT 应用需求。Wi-Fi HaLow 提供 IoT 系统所需的连接距离、可靠性、可扩展性和高能效，进一步增强了 Wi-Fi 的优势和功能。Wi-Fi HaLow 在低于 1GHz 的射频频谱上运行，采用较窄的频道，因此能够提供多达 100 倍于其他 IoT 技术的覆盖范围。Wi-Fi HaLow 能够穿透建筑材料，从而无需昂贵的网格或转发器，就可确保成功安装住宅和楼宇自动化系统，同时它还能将设备连接到相距 1 千米或更远的 AP 上，而其他 IoT 技术的连接距离仅能达到 10 米。Wi-Fi HaLow 通过多种方法实现了比大多数现有低功耗 WAN 和无线 PAN 技术更高的能效。通过对 MAC 进行新的改进和休眠模式，Wi-Fi HaLow 支持由币形电池供电的设备，可以有效应对不同环境中的传感器网络，它提供更大的容量，每个 SSID 支持多达 8191 个设备。

Wi-Fi HaLow 提供了一种更加全面的无线连接方式。因为它是 Wi-Fi，所以可以更简便地与现有 Wi-Fi 网络集成，支持原生 IP 网络并提供最新的 Wi-Fi 安全保障。高数据吞吐量和低延迟架构使 IoT 设备能够安全地将数据传送到云应用服务器。当需要现场升级时，Wi-Fi HaLow 能够支持高效、安全的无线更新，从而最大限度减少了设备停机时间。实现所有这一切，均无需其他 IoT 系统中常见的、非 Wi-Fi 网络架构使用的专有网关或集线器。

更多有关 Wi-Fi HaLow 的信息，请访问：<https://www.wi-fi.org/discover-wi-fi/wi-fi-halow> 和 [Wi-Fi HaLow 技术概述](#)。

关于 Wi-Fi Alliance®

www.wi-fi.org

Wi-Fi Alliance® 是全球联网的企业共同为您提供 Wi-Fi® 服务。我们的合作论坛成员来自整个 Wi-Fi 生态系统，秉承共同的“随时随地互联万事万物”的企业愿景，同时提供最佳的用户体验。自 2000 年以来，Wi-Fi Alliance 已经认证了超过 50,000 多项产品，带有 Wi-Fi CERTIFIED™ 批准印章的产品均符合互操作性、兼容性和最高的行业标准安全保护措施。如今，在不断扩张的各种应用程序中，Wi-Fi 承载着一半以上的互联网流量。数十亿人每天都依赖于 Wi-Fi，Wi-Fi Alliance 将继续推动它的普及和发展。

Wi-Fi® 和 Wi-Fi Alliance® 是 Wi-Fi 联盟的注册商标。Wi-Fi CERTIFIED™、Wi-Fi CERTIFIED WPA3™、WPA3™、Wi-Fi HaLow™、Wi-Fi CERTIFIED Enhanced Open™、Wi-Fi Enhanced Open™、Wi-Fi CERTIFIED Easy Connect™、Wi-Fi Easy Connect™ 和 Wi-Fi 联盟的标志都是 Wi-Fi 联盟的商标。