

[2022 年 2 月 22 日]



## WAVEMESH LLx 2.x

## 无线移动自组网协议综述

WaveMesh Module Configure Tool

读取/写入模块	模块信息	无线配置
串口号	电压: 唯一ID: 硬件ID:	频段: 484MHz 信道: 16 功率: 20.0dBm
读取 写入	温度: 客户ID: 软件版本:	功能选项
打开/保存配置文件	模块名称:	<input type="checkbox"/> 休眠 <input checked="" type="checkbox"/> 串口 <input type="checkbox"/> 无线升级 <input checked="" type="checkbox"/> 中继 <input type="checkbox"/> 路由 <input type="checkbox"/> 强制休眠
打开 保存	□ MAC地址: 00 00 62 1D A9 E5 网络ID: 00 00 00	ROOT选项
串口协议配置	速率: 115200 帧起始符: 64 源地址偏移量: 255 输出扩展帧头: <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> ROOT <input type="checkbox"/> 唯一 <input type="checkbox"/> 重发
停止位: 1 帧结束符: 13 目的地址偏移量: 255 报文间隔发送: <input type="checkbox"/>	扩展信息选项	<input type="checkbox"/> 添加帧头起始符: 126 起始信息位置偏移量: 255 <input type="checkbox"/> 1. 第一级路由地址 <input type="checkbox"/> 2. 上行信号强度 <input type="checkbox"/> 3. 下行信号强度 <input type="checkbox"/> 4. 综合距离(跳数) <input type="checkbox"/> 5. 电压峰峰值(低、高) <input type="checkbox"/> 6. 模块温度 <input type="checkbox"/> 7. RTC(年月日时分秒)
校验位: 无 长度偏移量: 255 广播通配符: 255 地址不连续: <input type="checkbox"/>	外设参数	<input type="checkbox"/> 外设启动延时(ms): 2 外设响应超时(ms): 2
地址长度: 6 长度修正值: 255 多播通配符: 255 地址小端模式: <input type="checkbox"/>	引脚功能选项	MPO: 射频状态 MP1: 无 <input checked="" type="checkbox"/> MPO休眠拉高 <input checked="" type="checkbox"/> MP1休眠拉高 <input checked="" type="checkbox"/> TX/RX休眠拉高
外设探测:	缓冲区空:	固件授权更新 << 应用
外设唤醒:	发送成功:	更新
握手确认:	缓冲区空:	
固件授权文件:	浏览	

## 目录

WaveMesh LLx 协议简介 .....	3
WaveMesh LLx 无线模块 .....	6
WaveMesh LLx 固件版本 .....	9
WaveMesh LLx 协议典型应用 .....	10
智能家居和楼宇 .....	10
带户内显示的无线抄表 .....	12
非低功耗电表抄表 .....	14
全网低功耗水、燃气、热抄表 .....	16
电、水、燃气、热混合抄表 .....	18
矿业安全监控 .....	21
消防报警 .....	23
WaveMesh LLx 休眠策略 .....	25
异步休眠 .....	25
异步休眠唤醒 .....	26
同步休眠 .....	26
混合休眠 .....	27
自主休眠 .....	28
WaveMesh LLx 全网集抄 .....	29
WaveMesh LLx 报文解析 .....	31
WaveMesh LLx 串口握手 .....	32
WaveMesh LLx 碰撞算法 .....	33
WaveMesh LLx 路由协议 .....	34
常见问题 .....	37
免责声明 .....	39
联系方式 .....	39

## WaveMesh LLx 协议简介

WaveMesh LLx 无线移动自组网协议是在 WaveMesh 2.x 标准协议栈基础之上为低成本、低功耗、移动设备精心优化的极轻量级、分布式无线移动自组网协议，运行在 1K RAM 和 8K Flash 的入门级 8 位 MCU 上，进一步降低模块的软硬件成本。WaveMesh LLx 麻雀虽小其网络能力依然很强大，核心能力和 WaveMesh 2.x 协议基本相当。该协议定义了完备的链路层（MAC）和网络层（NWK）协议规范，但物理层可以采用多种无线信号调制方式，因此可以运行在多种射频芯片上。该协议采用市场通用的高性价比 ISM 频段射频芯片和低成本的通用 MCU，开放硬件设计，鼓励客户自行采购生产模块硬件，其旨在于将无线自组网模块的成本降至最低，降低物联网行业的应用门槛。WaveMesh 协议经过了十多年的发展完善和市场验证，目前已经发展到第二代，相比上一代在功能和性能上有了质的飞跃，可以满足绝大部分物联网的应用需求。WaveMesh LLx 协议又在 WaveMesh 2.x 标准协议的基础之上，经过精简、优化和修改，在某些实现细节上比标准协议更加贴合应用，WaveMesh LLx 无线移动自组网协议的特点有：

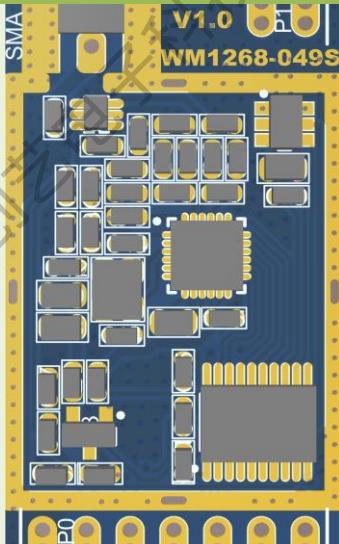
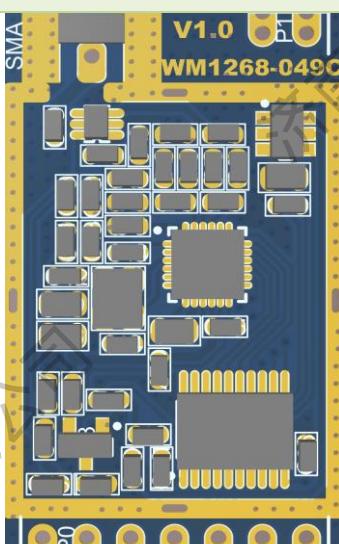
- 分布式网络
  - **没有中心节点**，所有节点都平等，网络扁平不分等级；
  - 所有节点各自计算自己的路由，不需要中心节点掌控全网路由；
- 移动节点
  - 所有节点都可以任意移动，在移动的同时保持数据流连续传输；
- 多种网络拓扑
  - 树形网络（在节点和网关之间建立路由进行双向通信）；
  - 广播网络（任何节点通过广播方式发送给其它所有节点、多个节点或者单一节点）；
- 网络规模大
  - 协议栈资源开销与网络节点数量无关，网络规模没有理论上限；
- 网络覆盖范围大
  - 单一网络可以通过部署多个网关进行无限扩展；
  - 其中每个网关可以管辖最大 **255** 级中继路由的网络范围；
- 可靠数据传输
  - 单播采用 5 次握手方式可靠传输；
  - 可靠广播采用 4 次握手方式点对点可靠传输；
  - 网络不会主动丢弃数据报文，不休眠情况下可以实现 **100%** 可靠传输；
- 协议开销极小
  - 数据传输不需要事先建立路由，网络不需要初始化，上电可立即工作；
  - 网络不需要心跳、信标报文，没有维护开销；
  - 协议握手开销固定而且很小并且和无线传输速率无关，物理带宽有效利用率可达 **90%**；
- 网络健壮
  - **只需要相邻节点能够通信即可**，不强调无线的传输距离，和单跳 LPWAN 窄带低速网络在设计理念上有本质的不同；
  - 路由协议可以动态寻找尽可能多的路由节点，路由的切换不需要额外时间，部分节点的离开对网络剩余部分没有影响；
- 吞吐量大

- 采用私有智能碰撞算法和路由协议，可以在多路径、多信道并行发送数据；
- 网络可以有多个网关，因此网络吞吐量可以远大于无线物理带宽；
- 由于不要求无线传输的距离，可以采用比 LPWAN 窄带低速网络高的多的无线传输速率，从而获得更大的网络吞吐量；
- 网络集抄
  - 采用全网集抄的方式代替逐点轮抄，能够在**数秒钟**之内采集成百上千点的数据（采集时间和数据量、物理带宽有关）；
  - 在非低功耗应用中，全网集抄保证 100%的成功率；
  - 在低功耗应用中，全网集抄会优先确保功耗，单次集抄接近 100%的成功率；
  - 网络集抄相对逐点轮抄具有更高的实时性、更低的功耗、更少的占用无线资源的特点；
- 智能碰撞算法
  - 不依赖于信号强度，没有远近效应，在强干扰下仍然有效；
  - **充分考虑网络拓扑的非均匀分布**，优化网络瓶颈，确保网络最佳吞吐量；
- 精确路由
  - 在节点和网关之间可以建立精确路由；
  - 路由信息会在数据交换的过程中被时时刻刻更新和优化，不需要额外开销；
- 低功耗
  - 支持多种休眠方式：自主休眠、异步休眠、同步休眠和混合休眠等，可以满足绝大部分的低功耗应用；
  - 全新的异步休眠唤醒算法，节点监听时间片可以短至~1ms，按照 2 秒休眠时间片长度计算，节点异步休眠待机电流可以低至 5uA；
  - **分布式网络不需要初始化**，上电可以立即进行数据传输，对比需要长时间建立全网路由的协议，其建网过程消耗的功耗就可以足够 WaveMesh LLx 网络运行很长时间；
  - 采用全网集抄的方式，每次全网数据采集仅需要数秒即可完成。对比逐点轮抄全网数据采集所消耗的功耗是 WaveMesh LLx 网络单次全网集抄的上百倍以上；
  - 采用比 LPWAN 网络更高的无线传输速率，用时更短，功耗更低；
- 安全性
  - 每个节点有不可被篡改的 6 字节客户 ID 和 6 字节全球唯一号 UUID；
  - 每个节点有可以配置的 3 字节网络 ID 和 128 个无线信道编号；
  - 采用物理层比特流动态加密，其密匙采用上述 3 种 ID 和无线信道编码信息的结合，无线信号被破解的概率极低，确保不同客户 ID、不同网络 ID 和不同信道之间的设备完全不能互通；
  - 严格限制不同厂商的设备采用不同的客户 ID，并且客户 ID 不能被修改，因此可以保障不同客户设备之间完全隔离，确保无线数据的安全；
  - 采用 CRC-32 替代上一代的 CRC-16 进行报文校验，极大降低了报文误码率；
- 开发成本低廉
  - 协议栈设计和实现完备，不需要应用层参与，直接向无线模块发送应用层数据报文即可，**无需二次开发**；
  - 仅仅需要配置参数就可以完成开发工作，几分钟内就可以完成；

- 批量生产时可以将参数写入烧写器和固件一起烧入，**不需要逐个配置参数**；
- 生产成本低廉
  - 协议栈仅需要 1k RAM 和 8K Flash 空间，运行在 8 位 MCU 上；
  - 网络中所有的设备采用相同的软硬件设计，大大降低了网关设备的成本；
  - 硬件采用市场上性价比极高的通用射频芯片和入门级 MCU，并且硬件开放给客户自己生产，将硬件成本降至最低；
  - 直接开放协议栈编译好的固件给客户使用，**客户可以自行完成硬件生产、测试、固件烧写**，将生产成本降至最低；

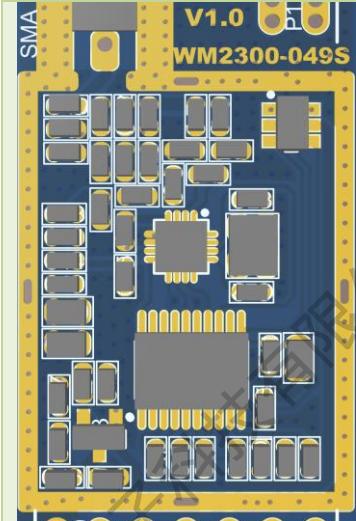
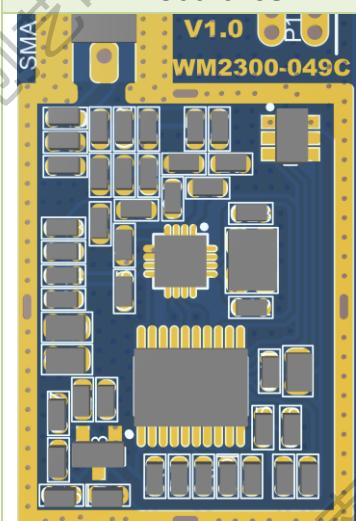
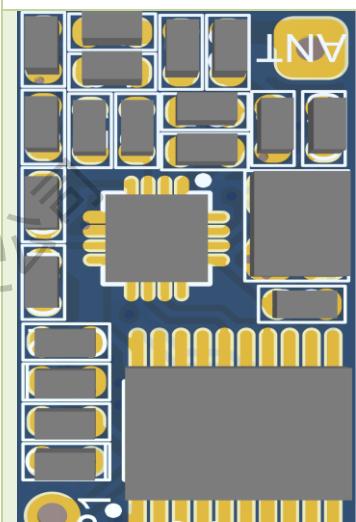
## WaveMesh LLx 无线模块

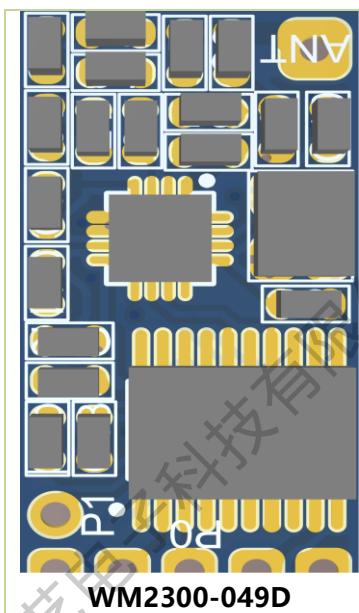
WaveMesh LLx 目前支持 LoRa (LLCC68/SX1268/SX1262) 和 GFSK (CMT2300A) 的无线调制方式，采用 STM8S003F3 或和标准无线模块搭载 WaveMesh 标准协议族的固件，其硬件的尺寸、外观和使用完全一模一样，方便产品更换硬件模块。所有模块采用相同的配置参数结构，使用统一的 AT 指令和同一配置工具进行参数配置，屏蔽硬件上的差异。目前为止 WaveMesh 2.x 协议已经支持的标准硬件模块如下（还在不断增加中）。

模块名称	物理参数	特点
 WM1268-049S	射频芯片: LLCC68/SX1268(2) 微处理器: STM8L051F3 ISM 频段: 433/470~510MHz 无线速率: 62K/31K/16K/8K/4K /2K/1Kbps@LoRa 串口速率: 2400~115200bps 发射功率: 1~22dBm 发射电流: ~112mA@22dBm 接收电流: ~9.2mA 休眠电流: ~1.1uA/~1.6uA (RTC) 工作电压: 1.8 - 3.7V/~5V (LDO) 无损电压: -0.3 - 3.9V (无保护时) 工作温度: -40 - 85°C (取决晶振) 存储温度: -55 - 125°C 无线唤醒: LoRa CAD 数据报文: FIFO 模式 模块尺寸: 33mm x 20mm 传输距离: ~700m - ~5km	采用第二代 LoRa 调制芯片和 ST 入门级低功耗 8 位 MCU，硬件 BOM 成本低，硬件开放设计，客户可以自行生产硬件进一步降低成本。 采用 WaveMesh LLx 2.x 分布式移动自组网协议支持树型和广播网络拓扑结构；采用私有碰撞避免和路由算法，物理带宽有效利用率达 90%以上，最大 255 级路由深度，仅需要相邻节点互通即可组网， <b>网络规模没有理论上限</b> ； 无需网络建立过程，模块上电可立即进行数据传输；支持 <b>异步、同步、自主休眠</b> 方式，满足各种低功耗应用场景；可在极短时间内唤醒全网进行可靠集抄，非常适合低功耗数据采集； 物理层采用 CRC-32 校验，5 次握手，可靠加密传输，抗干扰能力强、可靠性高。数据传输可以由任意节点随时发起。支持 8 种无线调制速率，兼顾对吞吐量和传输距离不同要求的应用。满足路灯控制、智能楼宇、无线抄表、 <b>矿业安全</b> 等应用。可与 WM1268-049C 兼容。
 WM1268-049C	射频芯片: LLCC68/SX1268(2) 微处理器: STM8S003F3 ISM 频段: 433/470~510MHz 无线速率: 62K/31K/16K/8K/4K /2K/1Kbps@LoRa 串口速率: 2400~115200bps 发射功率: 1~22dBm 发射电流: ~112mA@22dBm 接收电流: ~9.2mA 休眠电流: ~5.4uA/~10.9uA (RTC) 工作电压: 1.8 - 3.7V/~5V (LDO) 无损电压: -0.3 - 3.9V (无保护时) 工作温度: -40 - 85°C (取决晶振) 存储温度: -55 - 125°C 无线唤醒: LoRa CAD 数据报文: FIFO 模式 模块尺寸: 33mm x 20mm 传输距离: ~700m - ~5km	采用第二代 LoRa 调制芯片和 ST 入门级工业级 8 位 MCU，硬件 BOM 成本极低，硬件开放设计，客户可以自行生产硬件进一步降低成本。 采用 WaveMesh LLx 2.x 分布式移动自组网协议支持树型和广播网络拓扑结构；采用私有碰撞避免和路由算法，物理带宽有效利用率达 90%以上，最大 255 级路由深度，仅需要相邻节点互通即可组网， <b>网络规模没有理论上限</b> ； 无需网络建立过程，模块上电可立即进行数据传输；支持 <b>异步、同步、自主休眠</b> 方式，满足各种低功耗应用场景；可在极短时间内唤醒全网进行可靠集抄，非常适合低功耗数据采集； 物理层采用 CRC-32 校验，5 次握手，可靠加密传输，抗干扰能力强、可靠性高。数据传输可以由任意节点随时发起。支持 8 种无线调制速率，兼顾对吞吐量和传输距离不同要求的应用。满足路灯控制、智能楼宇、无线抄表、 <b>矿业安全</b> 等应用。可与 WM1268-049S 兼容。

## WAVEMESH LLx 2.X

## 无线移动自组网协议综述

 <p><b>WM2300-049S</b></p>	<p>射频芯片: CMT2300A 微处理器: STM8L051F3 ISM 频段: 433/470~510MHz 无线速率: 100Kbps@GFSK 串口速率: 2400~115200bps 发射功率: -1~20dBm 发射电流: ~77mA@20dBm 接收电流: ~12.9mA 休眠电流: ~0.5uA/~1.0uA (RTC) 工作电压: 1.8 - 3.6V/~5V (LDO) 无损电压: -0.3 - 3.9V (无保护时) 工作温度: -40 - 85°C (取决晶振) 存储温度: -50 - 125°C 无线唤醒: GFSK 数据帧 数据报文: Direct 模式 模块尺寸: 33mm x 20mm 传输距离: ~700m - ~1km</p>	<p>采用华普微射频芯片和 ST 入门级低功耗 8 位 MCU, 硬件 BOM 成本极低, 硬件开放设计, 客户可以自行生产硬件进一步降低成本。采用 WaveMesh LLx 2.x 分布式移动自组网协议支持树型和广播网络拓扑结构; 采用私有碰撞避免和路由算法, 物理带宽有效利用率可达 90% 以上, 最大 255 级路由深度, 仅需要相邻节点互通即可组网, 网络规模没有理论上限; 无需网络建立过程, 模块上电可立即进行数据传输; 支持异步、同步、自主休眠方式, 满足各种低功耗应用场景; 可在极短时间内唤醒全网进行可靠集抄, 非常适合低功耗数据采集; 物理层采用 CRC-32 校验, 5 次握手, 可靠加密传输, 抗干扰能力强、可靠性高。数据传输可以由任意节点随时发起。休眠电流和发射电流低。满足路灯控制、智能楼宇、无线抄表、矿业安全等应用。可与 WM2300-049C 兼容, 与 WM2300-049T 和 WM2300-049D 互通。</p>
 <p><b>WM2300-049C</b></p>	<p>射频芯片: CMT2300A 微处理器: STM8S003F3 ISM 频段: 433/470~510MHz 无线速率: 100Kbps@GFSK 串口速率: 2400~115200bps 发射功率: -1~20dBm 发射电流: ~77mA@20dBm 接收电流: ~12.9mA 休眠电流: ~4.8uA/~10.3uA (RTC) 工作电压: 1.8 - 3.6V/~5V (LDO) 无损电压: -0.3 - 3.9V (无保护时) 工作温度: -40 - 85°C (取决晶振) 存储温度: -50 - 125°C 无线唤醒: GFSK 数据帧 数据报文: Direct 模式 模块尺寸: 33mm x 20mm 传输距离: ~700m - ~1km</p>	<p>采用华普微射频芯片和 ST 入门级工业级 8 位 MCU, 硬件 BOM 成本极低, 硬件开放设计, 客户可以自行生产硬件进一步降低成本。采用 WaveMesh LLx 2.x 分布式移动自组网协议支持树型和广播网络拓扑结构; 采用私有碰撞避免和路由算法, 物理带宽有效利用率可达 90% 以上, 最大 255 级路由深度, 仅需要相邻节点互通即可组网, 网络规模没有理论上限; 无需网络建立过程, 模块上电可立即进行数据传输; 支持异步、同步、自主休眠方式, 满足各种低功耗应用场景; 可在极短时间内唤醒全网进行可靠集抄, 非常适合低功耗数据采集; 物理层采用 CRC-32 校验, 5 次握手, 可靠加密传输, 抗干扰能力强、可靠性高。数据传输可以由任意节点随时发起。发射电流低, 性价比极高。满足路灯控制、智能楼宇、无线抄表、矿业安全等应用。与 WM2300-049S 兼容, 与 WM2300-049T 和 WM2300-049D 互通。</p>
 <p><b>WM2300-049T</b></p>	<p>射频芯片: CMT2300A 微处理器: STM8L051F3 ISM 频段: 433/470~510MHz 无线速率: 100Kbps@GFSK 串口速率: 2400~115200bps 发射功率: -1~20dBm 发射电流: ~77mA@20dBm 接收电流: ~12.9mA 休眠电流: ~0.5uA/~1.0uA (RTC) 工作电压: 1.8 - 3.6V 无损电压: -0.3 - 3.9V (无保护时) 工作温度: -40 - 85°C (取决晶振) 存储温度: -50 - 125°C 无线唤醒: GFSK 数据帧 数据报文: Direct 模式 模块尺寸: 20mm x 10mm 传输距离: ~700m - ~1km 为 WM2300-049S 小型化模块, 与之共用相同固件, 具有相同功能。</p>	<p>采用华普微射频芯片和 ST 入门级低功耗 8 位 MCU, 硬件 BOM 成本极低, 硬件开放设计, 客户可以自行生产硬件进一步降低成本。采用 WaveMesh LLx 2.x 分布式移动自组网协议支持树型和广播网络拓扑结构; 采用私有碰撞避免和路由算法, 物理带宽有效利用率可达 90% 以上, 最大 255 级路由深度, 仅需要相邻节点互通即可组网, 网络规模没有理论上限; 无需网络建立过程, 模块上电可立即进行数据传输; 支持异步、同步、自主休眠方式, 满足各种低功耗应用场景; 可在极短时间内唤醒全网进行可靠集抄, 非常适合低功耗数据采集; 物理层采用 CRC-32 校验, 5 次握手, 可靠加密传输, 抗干扰能力强、可靠性高。数据传输可以由任意节点随时发起。休眠电流和发射电流低, 模块尺寸小。满足路灯控制、智能楼宇、无线抄表、矿业安全等应用。可与 WM2300-049D 兼容, 与 WM2300-049S 和 WM2300-049C 互通。</p>



射频芯片: CMT2300A  
 微处理器: STM8S003F3  
 ISM 频段: 433/470~510MHz  
 无线速率: 100Kbps@GFSK  
 串口速率: 2400~115200bps  
 发射功率: -1~20dBm  
 发射电流: ~77mA@20dBm  
 接收电流: ~12.9mA  
 休眠电流: ~4.8uA/~10.3uA (RTC)  
 工作电压: 1.8 - 3.6V  
 无损电压: -0.3 - 3.9V (无保护时)  
 工作温度: -40 - 85°C (取决晶振)  
 存储温度: -50 - 125°C  
 无线唤醒: GFSK 数据帧  
 数据报文: Direct 模式  
 模块尺寸: 20mm x 10mm  
 传输距离: ~700m - ~1km  
 为 WM2300-049C 小型化模块，与其共用相同固件，具有相同功能。

采用华普微射频芯片和 ST 入门级低功耗 8 位 MCU，硬件 BOM 成本极低，硬件开放设计，客户可以自行生产硬件进一步降低成本。采用 WaveMesh LLx 2.x 分布式移动自组网协议支持树型和广播网络拓扑结构；采用私有碰撞避免和路由算法，物理带宽有效利用率可达 90% 以上，最大 255 级路由深度，仅需要相邻节点互通即可组网，**网络规模没有理论上限**；无需网络建立过程，模块上电可立即进行数据传输；支持**异步、同步、自主休眠**方式，满足各种低功耗应用场景；可在极短时间内唤醒全网进行可靠集抄，非常适合低功耗数据采集；物理层采用 CRC-32 校验，5 次握手，可靠加密传输，抗干扰能力强、可靠性高。数据传输可以由任意节点随时发起。休眠电流和发射电流低，模块尺寸小。满足路灯控制、智能楼宇、无线抄表、**矿业安全**等应用。可与 WM2300-049D 兼容，与 WM2300-049S 和 WM2300-049C 互通。

参数	WM1268-049S	WM1268-49C	WM2300-049S	WM2300-049C	WM2300-049T	WM2300-049D
射频芯片	LLCC68 (LoRa)	LLCC68 (LoRa)	CMT2300A (GFSK)	CMT2300A (GFSK)	CMT2300A (GFSK)	CMT2300A (GFSK)
MCU 芯片	STM8L051F3	STM8S003F3	STM8L051F3	STM8S003F3	STM8L051F3	STM8S003F3
无线速率	62K-2Kbps 可配置	62K-2Kbps 可配置	100Kbps 固定	100Kbps 固定	100Kbps 固定	100Kbps 固定
最大发射功率	22dBm	22dBm	20dBm	20dBm	20dBm	20dBm
无线频段	400~510MHz	400~510MHz	400~510MHz	400~510MHz	400~510MHz	400~510MHz
无线唤醒方式	LoRa CAD	LoRa CAD	GFSK 唤醒码字	GFSK 唤醒码字	GFSK 唤醒码字	GFSK 唤醒码字
休眠电流	1.1~1.6uA	5.4~11uA	0.5~1uA	4.5~10uA	0.5~1uA	4.5~10uA
接收电流	9.2mA	9.2mA	12.9mA	12.9mA	12.9mA	12.9mA
最大发射电流	112mA	112mA	77mA	77mA	77mA	77mA
最大报文长度	236 字节	236 字节	240 字节	240 字节	240 字节	240 字节
模块尺寸	33x20mm	33x20mm	33x20mm	33x20mm	20x10mm	20x10mm
硬件成本	*****	*****	****	**	***	*
传输距离	****	*****	***	****	*	**
抗干扰能力	****	*****	***	****	*	**
功耗	**	***	*	**	*	**

WaveMesh LLx 模块参数对比表

## WaveMesh LLx 固件版本

WaveMesh LLx 固件为了进一步降低客户的模块使用成本，根据对休眠能力的支持分为 LLA、LLB、LLC 和 LLD 四个版本固件。对于相同 RF 芯片（目前 SX1268/LLCC68 和 CMT2300A）的不同模块硬件，不同的 LLx 版本固件之间可以完全互通。比如，LLA/B/C/D 固件 WM2300-049C/D/S/T 模块，不同固件版本和不同模块硬件之间都可以互通。应用中非低功耗的设备可以用 LLA 固件版本的模块，低功耗的设备可以用 LLB/C/D 的固件，这样可以进一步降低客户成本。为了方便对不同版本协议进行选择，WaveMesh LLx 无线移动自组网协议栈 4 个不同固件版本之间功能对比如下表所示：

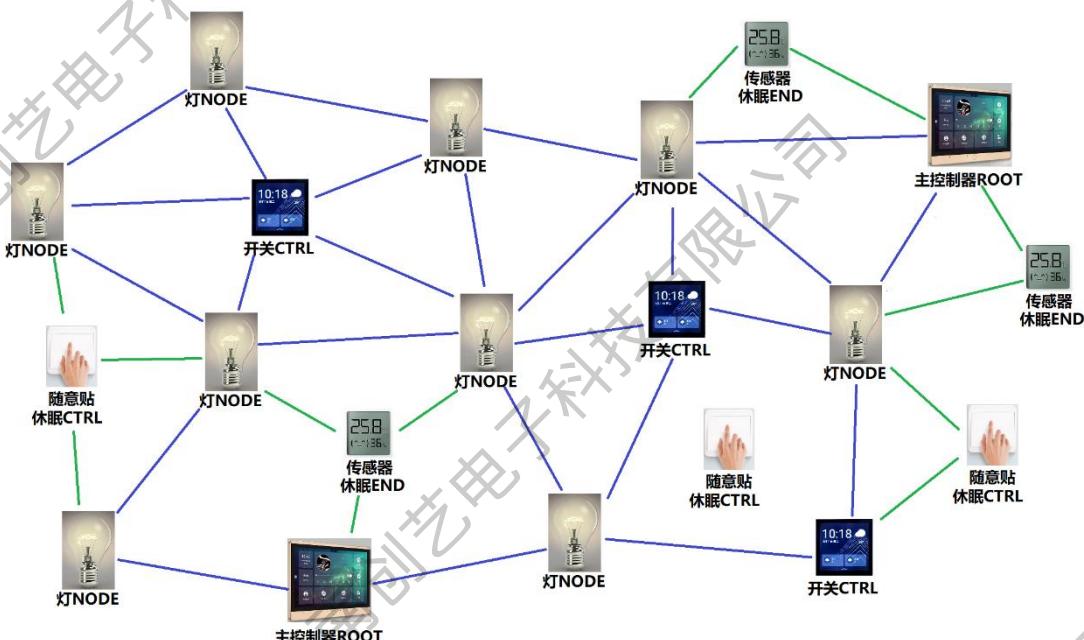
功能	LLA	LLB	LLC	LLD
网络拓扑	树形、网状	树形、网状	树形、网状	树形、网状
碰撞处理	支持	支持	支持	支持
报文解析	支持	支持	支持	支持
串口握手	支持	支持	支持	支持
自主休眠	不支持	支持	支持	支持
异步休眠	不支持	不支持	支持	支持
无线唤醒	不支持	不支持	支持	支持
同步休眠	不支持	不支持	不支持	支持
全网集抄	支持	支持	支持	支持
自动集抄	支持	支持	支持	支持
被动休眠	不支持	不支持	不支持	不支持
强制休眠	不支持	不支持	不支持	不支持
下行路由	不支持	不支持	不支持	不支持
上行路由	支持	支持	支持	支持
可靠广播	支持	支持	支持	支持
路由深度	255	255	255	255
参数修改	本地串口	本地串口	本地串口	本地串口
固件升级	不支持	不支持	不支持	不支持
发射测试	AT 指令	AT 指令	AT 指令	AT 指令
接收测试	配置参数	配置参数	配置参数	配置参数
休眠测试	配置参数	配置参数	配置参数	配置参数
网络测试	报文环回	报文环回	报文环回	报文环回
网络信息	固定帧头	固定帧头	固定帧头	固定帧头
带宽测试	支持	支持	支持	支持
多包测试	支持	支持	支持	支持
报文长度	236-240 字节	236-240 字节	236-240 字节	236-240 字节

WaveMesh LLx 固件功能对比表

## WaveMesh LLx 协议典型应用

WaveMesh LLx 协议网络拓扑结构是树形网络和广播网络，其中最基本的树形网络由节点 (NODEs) 和网关 (ROOTs) 等设备组成。NODEs 可以和 ROOTs 之间进行双向数据通信，NODEs 之间可以进行数据中继转发和路由但是不能直接通信，ROOTs 之间可以进行广播通信。NODEs 和 ROOTs 均可以进行休眠，支持自主休眠、异步休眠、同步休眠、混合休眠。不使能中继功能的 NODEs 退化成终端 (ENDs)，不使能中继能力的 ROOTs 退化成控制器 (CTRLs)。网络中所有模块均采用完全相同的硬件和固件，模块采用不同网络行为可以通过配置模块的参数实现。为了更好理解网络中各种设备类型，下面举例介绍典型的几种应用：

### 智能家居和楼宇



智能家居网络拓扑示意图

如上图所示网络中设备种类众多，有控制器：主控制器、面板开关、随意贴等；受控器有：灯、插座开关、面板开关等；以及各种传感器：红外、光敏、雷达、温湿度等。其中有些特殊设备不仅接收控制命令而且会发送控制命令如面板开关等，需要能够直接控制别的灯、开关设备，还需要接收来自主机和别的开关设备的控制命令。为了确保网络可靠性和提高网络的规模，满足智能楼宇成千上万点网络规模的需要，不同的设备之间需要进行路由、中继转发数据报文。看似复杂的网络实现可以采用单一模块硬件和单一固件实现，如采用 WaveMesh-LLB 固件的 WM2300-49D 模块：

- A. 灯、插座开关、非低功耗传感器等设备模块固件采用不使能休眠的 NODEs，可以接收来自控制器发送的命令并上报当前的状态，同时可以中继转发网络中的其它数据报文。其主要参数配置如右图所示。

功能选项		
<input type="checkbox"/> 休眠	<input checked="" type="checkbox"/> 串口	<input type="checkbox"/> 无线升级
<input checked="" type="checkbox"/> 中继	<input type="checkbox"/> 路由	<input type="checkbox"/> 强制休眠
ROOT 选项		
<input type="checkbox"/> ROOT	<input type="checkbox"/> 唯一	<input type="checkbox"/> 重发

- B. 主控制器（网关）设备模块固件采用不使能休眠的 ROOTs，可以收集全网所有设备上报的状态信息，同时向全网中的设备发送控制命令。其主要参数配置如右图所示。

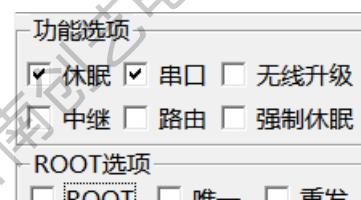
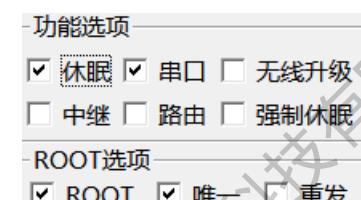
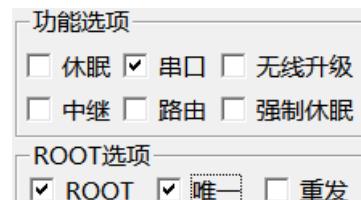
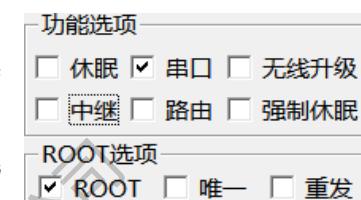
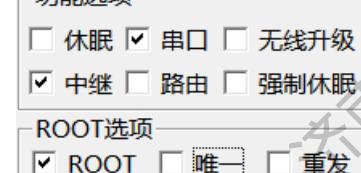
如果需要 ROOTs 同时接收别的控制器的命令，其主要配置参数右图所示。这里“唯一”并非其字面含义，为是否接收其它 ROOTs 和 CTRls 控制命令的开关。

- C. 非低功耗的面板开关、非低功耗直接联动传感器（雷达）等设备固件采用不使能休眠的 CTRls，这些设备可以直接发送控制命令给受控设备并接收反馈信息，而无需 ROOTs 等设备中转。与 ROOTs 不同的是 CTRls 不会收集和消耗上报给主机或者云设备的数据报文。其主要参数配置如右图所示。

值得注意的是，上面参数允许 CTRls 接收来自其他控制设备如主控制器和其它面板开关等设备发送的命令报文，这样可以实现多个面板开关、主控控制器、传感器之间的联动。如果不希望与别的控制器进行连读可以使能“唯一”选项，如右图所示。

- D. 用电池供电低功耗控制器-随意贴、低功耗直接联动传感器（门磁、红外）等设备采用使能休眠的 CTRls，这设备平时处于一直休眠或者间歇休眠状态，在触发时可以立即发送直接控制命令给受控设备并接收反馈信息，中间无需 ROOTs 等设备中转与干涉。其主要参数配置在非低功耗 CTRls 参数基础之上使能休眠即可。

- E. 用电池供电的低功耗非联动传感器（温湿度、光敏等）可以按照设定的阈值或者时间间隔定时突发上报主控制器传感器数据，在无数据传输时会处于低功耗休眠状态。为了进一步降低功耗，可以不使能这些设备的中继转发能力，在收发完仅仅自己的数据后立即休眠。模块固件采用使能休眠的 ENDs，其主要参数配置如右图所示。



对于休眠的 ENDs 和 CTRLs 均可以设置自主休眠时间片长度，在时间片结束模块会自动醒来探测外设和网络数据报文。如果设置自主休眠时间片长度为 0，则模块不会主动醒来，只能由外部 IO 引脚唤醒。

<b>功能选项</b>	<b>休眠和定位参数</b>
<input checked="" type="checkbox"/> 休眠 <input checked="" type="checkbox"/> 串口 <input type="checkbox"/> 无线升级 <input type="checkbox"/> 中继 <input type="checkbox"/> 路由 <input type="checkbox"/> 强制休眠	自主休眠(ms): 60817 异步休眠(ms): 0 同步休眠(ms): 0 终端握手门限: 0x00 ▾
<b>ROOT选项</b> <input type="checkbox"/> ROOT <input type="checkbox"/> 唯一 <input type="checkbox"/> 重发	

由于是完全分布式的网络，网络中的任何设备包括主控制器都是可选的，不是网络的必要组成部分。比如，仅有面板开关（CTRLs）和灯（NODEs）组成的网络依然可以流畅运行。仅有灯（NODEs）和主控制器（ROOTs）组成的网络也可以顺利运转。网络中包括主控制器（ROOTs）在内的所有设备都不是唯一的。比如，网络中可以有多个主控制器这样可以提高大网络的出口带宽可以使网络规模无限制扩展（每个主控制器可以管辖多至 255 跳的网络，只要相邻主控制器之间不超过 255 跳的距离，网络规模可以限制扩大，主控制器的数量没有限制，甚至可以组建城域网），组建成千上万点的智能楼宇网络。上述的例子中仅仅使用到了自主休眠，没有涉及异步休眠和同步休眠，可以采用更多功能的 LLC 和 LLD 固件在应用中可以实现更多的低功耗场景。

### 人员、物品定位



人员、物品定位网络拓扑示意图

在智能家居、智能楼宇、智能灯控等应用的非低功耗设备组网的网络基础上，可以轻松实现人员、物品定位。在没有红外、雷达传感器的情况下实现人来灯亮，人走灯灭。除了定位功能之外，还可以实时获取人员诸如心跳、血压、计步等生命体征等信息，同时广播、组播或者对特定人下发会议、通知等消息。方便对员工、学生、服刑人员进行定位、考勤以及工作评估等。也可以应用在游戏等场景。

WaveMesh LLx 人员定位实现思路是智能楼宇、智能灯控等应用中灯、面板开关等大量的固定点作为位置参考，并且作为网络的传输骨干节点。人员（移动点）作为电池供电低功耗的终端节点，**通过设定其发射功率以及和固定节点之间的握手信号强度，可以限定移动点和固定节点的通信距离。**这样可以实现移动点只能与最近一个或者几个固定点进行通信。移动点会按照一定的时间间隔（秒级）上报第一级路由（固定点）和上下行信号强度等信息。位置服务器通过简单计算便可以得到移动点的位置信息和行动轨迹。仅依靠第一级路由得到的定位精度就可以达到正负固定点间距的一半，加上信号强度信息和多固定点相对位置信息可以实现移动点的非常精确定位（米级以下），实现比固定点间距小一个以上数量级的精度。

该室内定位的特点：

1. 成本低：移动点、固定点、网关采用统一 WaveMesh LLx 硬件和固件模块就可以实现；固定点不需要安装特殊天线阵列、也不需要节点之间的精确授时；不需要修改现有智能楼宇、智能灯控等应用网络，定位只是这些应用的一个附属功能；
2. 定位算法可靠：不依赖传输时间和无线入射角度，对无线反射、衍射不敏感，没有复杂的计算过程；
3. 移动点数量多：WaveMesh LLx 的网络可以根据吞吐量的需要部署很多个网关模块，网络可以无限扩展，可以支持数量众多的移动节点；
4. 定位的频率高：移动点仅需要上报一个普通报文即可以实现定位，可以按照秒级频率上报，定位速度快，频率高；
5. 定位精度和固定点间距有关：在办公楼和家居一般都会按照一定数量的灯、开面板关、插座等固定点，这些点的间距一般都在米级。WaveMesh LLx 无线定位方案的精度可以达到比固定点间距小一个数量级的精度，完全能够满足室内人员和物品定位的需求。

最简单定位网络由 3 种设备组成：固定点、移动点和网关。网络实现可以采用单一模块硬件和单一固件实现，如采用 WaveMesh-LLB 固件的 WM2300-49T 模块：

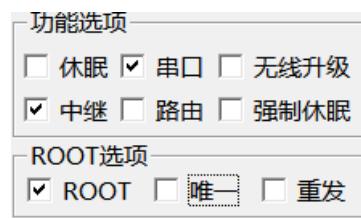
- A. 固定点如灯、插座、开关、非低功耗传感器等设备模块固件采用不使能休眠的 NODEs，可以接收来网关下行数据报文，同时可以中继转发网络中的移动点和其它固定点的数据报文。其主要参数配置如右图所示。



- B. 网关设备模块固件采用不使能休眠的 ROOTs，可以收集全网所有移动点上报的位置状态信息，同时向全网中的移动点推送消息。其主要参数配置如右图所示。



如果需要网关设备模块 ROOTs 同时接收别的网关设备的消息推送，其主要配置参数如图所示。这里“唯一”并非其字面含义，为是否接收其它 ROOTs 下行报文的开关。



- C. 移动点采用电池供电低功耗使能休眠、不使能中继的ENDs。可以设定自主休眠的间隔时间为非0并且使能“重发”功能。模块会按照这个时间间隔主动上报网关空的数据报文，其第一级路由信息和信号强度在传输中会被 WaveMesh LLx 协议自动添加。这样仅仅依靠 WaveMesh LLx 模块加上电池即可实现最基本的移动点设备。



以 WM2300-49T 模块为例，可以设置其无线发送功率为-1dBm，其发送电流为~18mA、接收电流为 12.9mA、休眠电流为 1.0uA，每次醒来需要交换报文信息。每次定位需要发送 16 字节的数据，加上协议开销，单次数据传输需要消耗 100mAms。按照 5 秒一次的发送频率，工作 1 年需要~175.2mA。基本上纽扣电池可以工作近 1 年。

- D. 比较复杂一点的移动点，可以用外部 MCU 向 WaveMesh LLx 自主休眠模块串口直接发送报文，实现上报其它的状态信息。模块则配置为使能休眠、不使能中继的ENDs。可以将自主休眠的间隔时间为 0，可以关闭休眠时的 RTC 时钟，进一步降低休眠电流。模块收到外设的数据报文后会立即上报，其第一级路由信息和信号强度在传输中会被 WaveMesh LLx 协议自动添加。



### 带户内显示的无线抄表

使用 WaveMesh LLx 固件的无线模块，可以轻松组建大规模的无线抄表系统。网络中仅仅需要安装仪表设备，不需要额外的路由器和中继器之类的设备。由仪表自身实现路由和中继，只需要满足相近节点之间能够进行无线传输即可，对无线传输距离的要求不高。协议自身保证数据传输可靠性，非低功耗抄表理论上单次集抄成功率可以达到实现 100% 的可靠性。在休眠的情况下，会首先保证功耗优先，同时能够保证单次集抄达到接近 100% 的成功率。

另外，网络除了支持供应商的远程无线抄表之外。还能可以支持每家每户在室内安装低功耗的显示设备，可以方便用户不出户读取户内外仪表的当前数值。无线抄表网络中所有的设备均可以采用统一模块硬件和统一固件实现。本文就低功耗、非低功耗以及混合抄表情况做举例说明。

### 非低功耗电表抄表

电表抄表网络中仅有 2-3 种设备类型：户外电表，户内显示器（可选）和户外网关（集中器）组成。户外电表之间组建无线自组网络，可以相互中继路由转发数据报文。成千上万户外电表

与户外网关之间可以进行双向实时数据交换。户内显示器可以就近和户外电表进行直接数据交换，实时显示用电使用情况。户内显示器可以采用电池供电，不参与电表与网关之间的数据转发，只是定时或者被按下键按照需要即时更新仪表读数，在其它时间可以直接断电或者休眠。网络中不需要国网抄表网络中采集器之类的设备，一个台区仅仅需要安装一个集中器即可。所有设备可以采用单一模块硬件和单一固件实现，如采用 WaveMesh-LLA 或者 WaveMesh-LB 固件的 WM1268-49C 模块：



电表抄表网络拓扑示意图

- A. 户外电表设备模块固件采用使能中继但不使能休眠的 NODEs，可以接收来网关发送的命令并上报当前的读数，同时可以中继转发网络中的其它数据报文。其主要参数配置如右图所示。

功能选项		
<input type="checkbox"/> 休眠	<input checked="" type="checkbox"/> 串口	<input type="checkbox"/> 无线升级
<input checked="" type="checkbox"/> 中继	<input type="checkbox"/> 路由	<input type="checkbox"/> 强制休眠
ROOT选项		
<input type="checkbox"/> ROOT	<input type="checkbox"/> 唯一	<input type="checkbox"/> 重发

- B. 户外网关（集中器）设备模块固件采用使能中继但不使能休眠的 ROOTs，可以主动抄读并接收全网仪表的读数。在需要时对特定的仪表进行拉合闸等操作。也可以被动接收仪表主动上报的报文。其主要参数配置如右图所示。

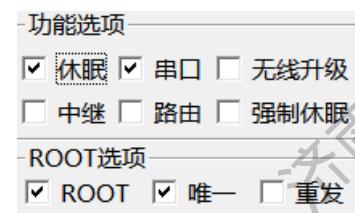
功能选项		
<input type="checkbox"/> 休眠	<input checked="" type="checkbox"/> 串口	<input type="checkbox"/> 无线升级
<input checked="" type="checkbox"/> 中继	<input type="checkbox"/> 路由	<input type="checkbox"/> 强制休眠
ROOT选项		
<input checked="" type="checkbox"/> ROOT	<input checked="" type="checkbox"/> 唯一	<input type="checkbox"/> 重发

如果网络中的户外网关（集中器）设备不知一个，并且集中器之间的也可以进行数据交换，需要取消“唯一”的选项，其主要配置参数右图所示。这里“唯一”并非其字面含义，为是否接收其它 ROOTs 下行报文的开关。

功能选项		
<input type="checkbox"/> 休眠	<input checked="" type="checkbox"/> 串口	<input type="checkbox"/> 无线升级
<input checked="" type="checkbox"/> 中继	<input type="checkbox"/> 路由	<input type="checkbox"/> 强制休眠
ROOT选项		
<input checked="" type="checkbox"/> ROOT	<input type="checkbox"/> 唯一	<input type="checkbox"/> 重发

- C. 户内显示器设备模块固件采用 CTRL (不使能中继的 ROOTs) , 在按下显示器上的刷新按钮一瞬间可以与户外的电表进行数据交换, 也可以设定按照一定的时间间隔自动读取电表读数。其主要参数配置如右图所示。

户内显示器设备模块可以不参与户外电表之间的多跳中继转发网络传输, 对于 LLA 版本的固件模块本身不支持休眠, 不需要通信时可以由外部 MCU 直接切断模块电源即可。对于 LLB 版本的固件自身支持自主休眠功能, 可以通过设定休眠参数自动休眠, 在需要时可以直接向模块串口发送报文更新电表的读数, 在数据传输完毕模块会立即自动休眠。户内显示器设备为网络非必要组成部分, 可以不安装。



### 全网低功耗水、燃气、热抄表

全网低功耗抄表网络中仅有 2-3 种设备类型：电池供电仪表（水、燃气、热），户内显示器（可选）和户外网关（集中器）组成。仪表模块可以异步休眠待机，待机电流小于 10uA。在异步休眠仪表之间组建低功耗无线自组网络，可以相互中继路由转发数据报文，而无需不能休眠的路由器、采集器之类的设备帮助。成千上万户外低功耗仪表与户外网关之间可以进行双向实时数据交换。户内显示器可以就近和户外仪表进行直接数据交换，实时显示用仪表读数等使用情况。户内显示器可以采用电池供电，为可选设备，不参与仪表与网关之间的数据转发，只是定时或者被按下键按照需要即时更新仪表读数，在其它时间可以直接断电或者休眠。网络中所有设备可以采用单一模块硬件和单一固件实现，如采用 WaveMesh-LLC 固件的 WM1268-49S 模块：



水、燃气、热表抄表网络拓扑示意图

- A. 户内外水、燃气、热表设备模块固件采用使能中继、使能异步休眠的 NODEs，可以接收到网关发送的命令并上报当前的读数，同时可以中转发网络中的其它数据报文。这里给出的异步休眠参数为每~2 秒醒来监听一次无线唤醒信号~1ms。以 WM1268-49S 模块为例，其接收电流为 9.2mA 休眠电流为 1.6uA，异步休眠待机电流为~6.2uA。其主要参数配置如上图所示。仪表可以主动上报数据给网关，也在接收到网关的命令被动上报数据给网关。



- B. 户外网关（集中器）设备模块固件采用使能中继的 ROOTs，根据需要可以使能异步休眠。无论是否使能休眠与否需要配置 ROOTs 与 NODEs 相同的异步休眠时间片长度，告知 ROOTs 需要对 NODEs 进行异步唤醒操作。ROOTs 可以主动抄读并接收全网仪表的读数，也可以在需要时对特定的仪表进行拉合闸等操作。其主要参数配置如上图所示。WaveMesh LLx 提供全网集抄的功能，仅仅对网关下达一个集抄命令，网关会快速唤醒全部仪表在极短时间内（典型几秒钟）读取全网所有仪表的数据。集抄时间仅仅与网络节点数量成正比，与路由中继跳数基本无关，因此该方案可以支持比较大的网络规模（典型一个小区几千户一张网）。



- C. 户内显示器设备模块固件采用不使能中继的 CTRLs 类型，根据需要可以使能自主休眠。无论是否使能自主休眠与否需要配置 CTRLs 与 NODEs 相同的异步休眠时间片长度，告知 CTRLs 需要对 NODEs 进行异步唤醒操作。在按下显示器上的刷新按钮一瞬间可以与户外的仪表进行数据交换，也可以设定按照一定的时间间隔自动读取仪表读数。其主要参数配置如右图所示。



该例子中户内显示器设备模块为非必选设备，不参与户外仪表和网关之间的多跳中继转发网络传输，在不需要通信时可以由外部 MCU 直接切断模块电源即可，也可以使能模块的自身功能。在需要时可以直接向模块串口发送报文读取户外仪表读数，在数据传输完毕模块会立即自动休眠。户内显示器设备为网络非必要组成部分，可以不安装。

以 WM1268-49S 模块为例，其发射电流为 112mA，接收电流 9.2mA，休眠电流为 1.6uA。单模块物理层无线速率为 62Kbps，有效传输带宽为 30Kbps。1000 个仪表网络，1 个网关而且仅有 1 个 ROOT 模块，每次仪表上报 100 字节数据。异步休眠时间片为~2 秒，休眠唤醒需要~2.8 秒，静默休眠超时为~5 秒。假设节点模块在数据传输期间有 30% 时间发送，70% 时间接收。综上，完成一次全网抄表需要消耗 0.42mAH，按照每天全网抄读一次的频率，工作 10 年需要消耗 1.54AH 电量。加上异步休眠待机电流 6.2uA，10 年需要消耗 0.54AH。这样采用 2.1AH 的理论电池容量，按照每天都抄读 1 次的频率，可以让 WM1268-49S 无线模块工作 10 年。

如果网络采用多个 ROOT 模块，可以成倍提高网络吞吐量，进一步降低无线模块功耗。以 2 个 ROOTs 模块为例，单模块物理层无线速率为 62Kbps，2 个 ROOTs 的有效传输带宽为 50Kbps，其它参数不变。完成一次全网抄表需要消耗 0.3mA，按照每天全网抄读一次的频率，工作 10 年需要消耗 1.1AH 电量。加上异步休眠待机电流 6.2uA，10 年需要消耗 0.54AH。这样采用 1.7AH 的理论电池容量，按照每天都抄读 1 次的频率，可以让 WM1268-49S 无线模块工作 10 年。

该抄表方案与 NB-IOT 等其它 LPWAN 抄表方式最大的优势是，下行响应时间短，最快 0~2s 之内就能响应。多跳之后的响应时间跟跳数成正比，可以简单按照每增加 1 跳增加 1/2 休眠唤醒时间（1 秒）计算。

另外，如果户内显示器设备模块在市电供电的情况下可以担任网络的骨干，中继转发来自低功耗仪表的数据和网关进行数据交换。这个情况类似于低功耗仪表和非低功耗仪表的混合抄表情况，请参见下一节内容。

### 电、水、燃气、热混合抄表

部分低功耗仪表和（水、气、热表）部分非低功耗仪表（电表）的混合抄表网络，也就是国网公司所谓的四表集抄网络。这种网络可以利用非低功耗仪表担任网络骨干（NODEs），组建多跳无线自组网络，相互中继路由转发数据报文。低功耗仪表则作为叶子节点（ENDs）存在，只需要就近与网络骨干节点（电表）进行自己的数据交换，不需要中继转发别的节点的数据，可以获得极低的功耗。



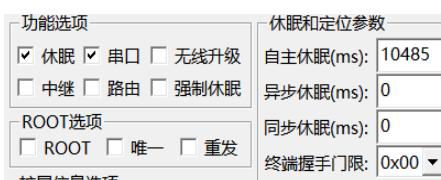
电、水、燃气、热混合抄表网络拓扑示意图

混合抄表网络中仅有 3-4 种设备类型：电池供电仪表 ENDs（水、燃气、热表），常供电仪表 NODEs（电表），户内显示器 CTRLs（可选）和户外网关 ROOTs（集中器）组成。由常供电仪表模块担任网络的骨干，负责网络路由、中继转发数据报文。由于不休眠模块之间进行可靠数据传输，不会主动丢弃数据，可以保证网络 100% 可靠性。休眠仪表模块采用自主休眠待机，按照一定的时间间隔查询和收发属于自己的上下行数据报文，平均电流甚至低至 2uA 以下（取决于下行响应时间或者上行上报频率）。在常供电仪表的帮助下，休眠仪表与户外网关之间可以进行双向可靠数据交换，理论上可以实现 100% 的可靠性。户内显示器可以就近和户外仪表进行直接数据交换，实时显示用仪表读数等使用情况。户内显示器可以采用电池供电，为可选设备，不参与仪表与网关之间的数据转发，只是定时或者被按下键按照需要即时更新仪表读数，在其它时间可以直接断电或者休眠。网络中所有设备可以采用单一模块硬件和单一固件实现，如采用 WaveMesh-LLB 固件的 WM2300-49S 模块：

- A. 不休眠仪表（电表）设备模块固件采用使能中继但不使能休眠的 NODEs，作为多跳抄表网络的骨干可以接收到网关发送的命令并上报当前的读数，同时可以中继转发网络中的其它仪表数据报文。不休眠节点之间的上下行数据传输由协议保证 100% 可靠传输。其主要参数配置如右图所示。



- B. 休眠仪表（水、气、热表）设备模块固件采用不使能中继但使能自主休眠的 ENDs，可以在瞬间与就近与不休眠仪表交换上下行数据报文，由不休眠仪表代替休眠仪表进行转发其发属于自己的数据报文。根据应用的响应时间和功耗的需求，ENDs 可以按照一定自主时间间隔与 NODEs 主动交换数据信息。自主时间间隔（休眠仪表的响应时间）可以设定的范围是 1 秒~4.5 分钟。按照 WM2300-49S 模块为例，其发送电流为 70mA、接收电流为 12.9mA、休眠电流为 1.0uA，每次醒来需要交换报文信息，在没有报文需要传输的情况下需要发送~0.88ms 接收需要~1.04ms，可以计算得到 ENDs 的自主休眠待机电流为 ~76uA（休眠时间片 1 秒），~16uA（休眠时间片 5 秒），~1.3uA（休眠时间片 4.5 分钟）。自主时间间隔参数仅仅决定下行响应时间（由网关发起传输），上行数据传输（由仪表主动发起传输）不需要等待可以立刻进行。其主要参数配置如右图所示。



- C. 户外网关（集中器）设备模块固件采用使能中继但不使能休眠的 ROOTs，可以主动抄读并接收全网仪表的读数。在需要时对特定的仪表进行拉合闸等操作。也可以被动接收仪表主动上报的报文。不需要设置其主要参数配置如右图所示。



如果网络中的户外网关（集中器）设备不知一个，并且集中器之间的也可以进行数据交换，需要取消“唯一”的选项，其主要配置参数如图所示。这里“唯一”并非其字面含义，为是否接收其它 ROOTs 下行报文的开关。

- D. 户内显示器设备模块固件采用不使能中继的 CTRL，如果户内显示器不使能自主休眠，那么户外的低功耗仪表（水、气、热表）和非低功耗仪表（电表）都可以和户内显示器设备直接就近通信。户内显示器设备为网络非必要组成部分，可以不安装。其主要参数配置如右图所示。



如果户内显示器使能自主休眠或者需要低功耗断电处理，这时跟户外的低功耗仪表（水、气、热表）就会变得有点复杂。有 2 种方式：第一种，户内显示器直接与休眠仪表通信，其每次读取休眠仪表数据需要持续工作一段时间（大于休眠仪表的一个休眠时间片），期间不能休眠，等待休眠仪表发送探测报文时，进行数据交换。第二种，由非低功耗仪表模块中转，户内显示器不直接与休眠仪表通信。这种方式要求非低功耗仪表（电表）在转发休眠仪表数据报文时（水、气、热表）实时记录其最新的读数和状态，在接收到户内显示器的查询命令时需要将记录的休眠仪表数据发送给户内显示器。第二种方式需要非低功耗仪表模块理解并解析休眠仪表的数据报文，需要定制模块固件。因此，推荐采用第一种方式。

对比全网低功耗抄表和混合抄表的方案：全网低功耗抄表需要低功耗设备担任路由中继，采用异步休眠和异步唤醒，推荐全网唤醒集抄方式，单次集抄成功率取决于单次无线唤醒的成功率，无线环境比较好的情况下接近但无法保证 100%；混合抄表可以只利用非低功耗设备担任路由中继，休眠节点作为叶子节点采用自主休眠，需要主动定期醒来探测上行报文和发送上行报文，由于没有无线唤醒过程，**混合休眠可以保证单次集抄 100% 的成功率**。混合抄表休眠节点每次醒来需要跟非低功耗节点双向握手一次（询问网络下行报文）。而全网低功耗抄表中休眠节点醒来仅仅监听下网络中的特殊信号，所需时间比较短。因此，混合抄表休眠节点需要设置较大的自主休眠时间片才能与全网低功耗抄表中异步休眠的节点待机功耗相当。

混合抄表最大的优势是没有休眠唤醒过程和数据中继转发职责，每次抄读的数据传输时间为毫秒级，相比主动探测下行报文消耗的功耗，抄表的实际功耗可以忽略不计，**无线模块消耗的功耗基本和抄表次数无关**。按照 WM2300-49S 模块为例，其发送电流为 70mA、接收电流为 12.9mA、休眠电流为 1.0uA，每次醒来需要交换报文信息，在没有报文需要传输的情况下需要发送~0.88ms 接收需要~1.04ms，自主休眠时间片 5 秒，待机电流为 ~16uA，10 年待机需要消耗 1.4AH 电量。每次抄表需要发送 100 字节的数据，加上协议开销单次数据传输需要消耗 0.000212mAH。按照 10 年的仪表使用寿命，每天读表 1 次 10 年读表需要消耗 0.7738mAH；每天读表 100 次 10 年读表需要消耗 77.38mAH，每天读表 1000 次 10 年读表需要消耗需要 773.8mAH。这样 **2AH 的电池容量，仪表按照 5 秒钟的主动休眠时间片（2.5 秒平均响应时间），可以满足 10 年抄表每天抄读近千次，差不多 1 分钟读一次**。

混合抄表另一个优势是仪表的响应时间基本不随中继路由级数的增加有太大的变化，这是因为逐级报文转发时间很短都是毫秒级。仪表的响应延时基本等于主动休眠时间片长度的一半（理想状态）。另外，WaveMesh LLx 协议确保功耗优先的原则，在无线环境不好的情况下会带来延时的增加，但是不会影响功耗和成功率。混合抄表对无线的抗干扰能力和传输距离的要求比全网低功耗抄表要低，因此可以采用硬件成本更低的 GFSK 无线模块如 WM2300-49S。

### 矿业安全监控

矿业安全监测系统主要用于实时监测采空区充填后充填体对顶板下沉的控制效果，实时采样填充体的位移传感器、压力传感器、应力传感器以及可燃气体、有毒气体的数据。可以及早的发现管路堵塞故障或预警管道破坏的危险，以便采取措施避免事故的发生。采空区一般多为狭长的隧道，在隧道内按照 50~100 米的间隔安装应力、位移、压力传感器，实际应用中单张网络容纳的传感器数量为 100~200 点，对应网络的拓扑结构为长度 5~10 公里的线状网络。按照 3-10 分钟的时间间隔实时采集全网的传感器的数据，并且数据采集的时间间隔可以随时调整。

该应用对网络的要求有：

- A. 所有的传感器设备均由电池供电，所有的节点必须能够休眠将功耗降至最低；
- B. 休眠节点需要具备数据中继路由的能力，网络支持上百跳的中继级数；
- C. 网络需要能够在几秒种的时间内采集到全网节点的传感数据，以保证实时性；
- D. 单次数据采集需要保证成功率在 99% 的以上的可靠性；
- E. 需要保证网络在恶劣的环境下长期可靠运行，免维护，如极冷、极热、外界电磁干扰、个别设备故障等。

2009 年基于 WaveMesh 1.x 自组网协议的无线煤矿监测系统获得国家煤安认证，开辟了煤矿监测系统由有线向无线转变的新纪元。目前，已经有几百万台内置 WaveMesh 无线自组网模块监控设备日夜坚守在煤矿等矿业。WaveMesh LLx 作为新一代 WaveMesh 2.x 协议的演进版本，结合实际行业应用特点，在实现细节上做了不少优化和贴合。特别是同步休眠策略将 WaveMesh 1.x 和 2.x 的传输和授时 2 步合并成 1 步进行，进一步降低模块功耗和系统抗干扰能力。

WaveMesh LLx 矿业安全监测基于 WaveMesh 协议优异的路由和防碰撞算法，可以满足隧道内几十跳甚至更多级路由的需要，能够在典型值数秒钟内采集全网所有传感器的数据，保证数据实时性和可靠性。在数据传输间歇时间，全网所有节点采用同步休眠方式，不用监听网络更不用发送数据报文，将全网的功耗降低至最低。WaveMesh 协议只需要相邻节点之间能够通信立刻，将无线的传输距离要求降低最低，可以采用更高的无线速率和更低的发射功率，同时极大的提高了网络的抗干扰能力。WaveMesh LLx 网络模块之间可以采用同异步休眠结合的混合休眠方式，在同步时钟失效时可以进入异步待机方式，保证低功耗和抗干扰能力。所有模块包括分站（ROOT 模块）和传感器（NODE 模块）都不需要外部 MCU 进行维护，网络上电自动运行，可靠性非常高。另外，WaveMesh 协议的路由协议可以根据剩余电量自动平衡所有节点

的功耗，极大提高整个网络的可靠工作时间。网络中所有设备可以采用单一模块硬件和单一固件实现，如采用 WaveMesh-LD 固件的 WM1268-49S 模块：



矿业安全监控网络拓扑示意图

- A. 各种电池供电传感器模块固件采用使能中继、使能异步休眠的 NODEs，可以接收来分站 ROOTs 发送的数据采集命令和同步休眠时间信息，上报当前未上报的数据历史数据，同时可以中继转发网络中的其它节点的数据报文。这里给出的异步休眠参数为每~114ms 醒来监听一次无线唤醒信号~1ms。以 WM1268-49S 模块为例，其接收电流为 9.2mA 休眠电流为 1.6uA，异步待机电流为~81uA，这样待机 1 年仅需要消耗 0.7Ah 功耗。其主要参数配置如上图所示。这里的异步待机电流为网络异常无法正常与分站 ROOTs 进行同步通信时的电流。

功能选项		休眠和定位参数	
<input checked="" type="checkbox"/> 休眠	<input checked="" type="checkbox"/> 串口	<input type="checkbox"/> 无线升级	自主休眠(ms): 0
<input checked="" type="checkbox"/> 中继	<input type="checkbox"/> 路由	<input type="checkbox"/> 强制休眠	异步休眠(ms): 114
ROOT选项		同步休眠(ms): 0	
<input type="checkbox"/> ROOT	<input type="checkbox"/> 唯一	<input type="checkbox"/> 重发	终端握手门限: 0x00

- B. 分站设备模块固件采用使能中继、使能重发、使能同步休眠的 ROOTs，可以主动按照设定的时间片实时采集全网传感器的数据。可以在需要时对特定的传感器进行参数设置。其主要参数配置如右图所示。例子中给出的同步休眠间隔为~5 分钟，也就意味着每次全网数据采集之后全网同步休眠 5 再进行下一次数据采集。

功能选项		休眠和定位参数	
<input checked="" type="checkbox"/> 休眠	<input checked="" type="checkbox"/> 串口	<input type="checkbox"/> 无线升级	自主休眠(ms): 0
<input checked="" type="checkbox"/> 中继	<input type="checkbox"/> 路由	<input type="checkbox"/> 强制休眠	异步休眠(ms): 114
ROOT选项		同步休眠(ms): 301989	
<input checked="" type="checkbox"/> ROOT	<input checked="" type="checkbox"/> 唯一	<input type="checkbox"/> 重发	终端握手门限: 0x00

以 WM1268-49S LoRa 模块为例，其接收电流为 9.2mA，发射电流为 112mA，休眠电流为 1.6uA。分站采用 1 个 ROOT 模块，无线速率为 60kbps，协议有效吞吐量为 30kbps，全网

200 个传感器，每个传感器上报 50 字节的数据。这样每次数据采集需要网络所有节点协同持续工作 2.7 秒，需要 140ms 的无线唤醒，~2.3 秒静默超时。假设节点模块在数据传输期间有 30% 时间发送，70% 时间接收。这样整个 5 分钟数据采集过程需要消耗功耗为 0.043mAh（包含休眠功耗）。工作按照 5 分钟同步休眠时间间隔计算，4.5Ah 的电池理论上可以满足 1 年数据采集的需要。

如果分站采用 2 个 ROOTs 模块，无线速率为 60kbps，协议有效吞吐量为 50kbps，其它参数不变，每次数据采集需要网络所有节点协同持续工作 1.62 秒，整个 5 分钟数据采集过程需要消耗功耗为 0.03mAh（包含休眠功耗）。工作按照 5 分钟同步休眠时间间隔计算，3.2Ah 的电池理论上可以满足 1 年数据采集的需要。

而对于更便宜的硬件成本的 WM1268-49C LoRa 模块，其休眠电流为 11uA，其它参数与 WM1268-49S 基本一致。对于休眠电流的增加仅仅一年带来 0.08Ah 的功耗增加，这个对于 4.5Ah 和 3.2Ah 总功耗基本是微乎其微的。

对于传输速率更快的 WM2300-49S/T GFSK 模块，其发送电流为 70mA、接收电流为 12.9mA、休眠电流为 1.0uA。分站采用 1 个 ROOT 模块，无线速率为 100kbps，协议有效吞吐量为 70kbps，全网 200 个传感器，每个传感器上报 50 字节的数据。这样每次数据采集需要网络所有节点协同持续工作 1.15 秒，需要 140ms 的无线唤醒，~0.82 秒静默超时。假设节点模块在数据传输期间有 30% 时间发送，70% 时间接收。这样整个 5 分钟数据采集过程需要消耗功耗为 0.016mAh（包含休眠功耗）。工作按照 5 分钟同步休眠时间间隔计算，1.7Ah 的电池理论上可以满足 1 年数据采集的需要。

而对于更便宜的硬件成本的 WM2300-49C/D GFSK 模块，其休眠电流为 11uA，其它参数与 WM2300-49S/T 基本一致。对于休眠电流的增加仅仅一年带来 0.08Ah 的功耗增加，这个对于 1.7Ah 总功耗也基本是微乎其微的。

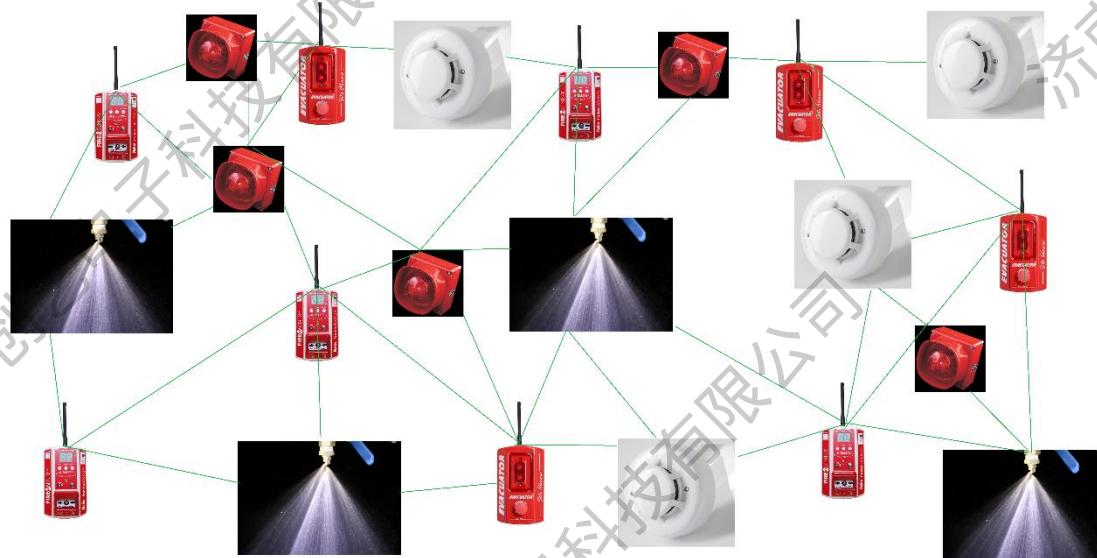
例子中分站 ROOTs 模块采用的同步休眠时间间隔为 5 分钟，也就是网络会 5 分钟进行一次数据传输。但这并不意味着传感的采样间隔也只能是 5 分钟，传感器可以采用更高的采样频率，将数据存储下来，等待下一个 5 分钟数据传输时刻进行发送。如果需要发送的数据报文大于 1 个数据帧的长度，可以分成多包发送。采用多包发送时，为了保证串口的可靠性，需要与模块进行串口握手。

### 消防报警

WaveMesh LLx 固件采用的 MCU 的内存仅有 1KB，NODEs 只有到达 ROOTs 的路由，而 NODEs 之间没有多余的资源建立路由表项。尽管如此，WaveMesh LLx 固件提供底层按照广播的方式建立全连接的 Mesh 网络。结合固件报文解析、地址解析的功能，可以实现点对点、点对多点、以及点对全网的数据传输。该广播网络没有转发跳数的限制，理论上可以无限跳。

该功能可以作为树形网络的一个附属功能如智能家居网络中的开关面板之间直接通信，也可以不依赖树形网络作为一个独立的网络模型存在。

对于一些安防报警应用比如火警，在某个传感器检测到异常紧急情况，需要通知全网报警器联动。对于一些对吞吐量要求不高的应用，比如智能家居、交通灯联动等应用可以采用广播方式的 Mesh 网络实现。下面就火警消防报警为例，介绍下使用 WaveMesh LLx 固件的模块的主要参数配置。



消防报警网络拓扑示意图

网络中所有节点完全对等，任何 2 节点之间、多节点之间、所有节点之间可以直接通信，没有中心节点。传感器可以直接联动消防喷头、喇叭、闪灯报警器。任意节点出现故障剩余网络仍然可以工作，非常健壮。网络中所有设备可以采用单一模块硬件和单一固件实现，如采用 WaveMesh-LLA/C 固件的 WM1268-49S 模块。

网络中所有的设备采用相同的参数配置 - 使能接收广播的 ROOTs（不使能“唯一”选项）。其主要配置参数右图所示。这里“唯一”并非其字面含义，为是否接收其它 ROOTs 广播报文的开关。

功能选项		
<input type="checkbox"/> 休眠	<input checked="" type="checkbox"/> 串口	<input type="checkbox"/> 无线升级
<input checked="" type="checkbox"/> 中继	<input type="checkbox"/> 路由	<input type="checkbox"/> 强制休眠
ROOT选项		
<input checked="" type="checkbox"/> ROOT	<input type="checkbox"/> 唯一	<input type="checkbox"/> 重发

功能选项		
<input checked="" type="checkbox"/> 休眠	<input checked="" type="checkbox"/> 串口	<input type="checkbox"/> 无线升级
<input checked="" type="checkbox"/> 中继	<input type="checkbox"/> 路由	<input type="checkbox"/> 强制休眠
ROOT选项		
<input checked="" type="checkbox"/> ROOT	<input type="checkbox"/> 唯一	<input type="checkbox"/> 重发
休眠和定位参数		
自主休眠(ms):	0	
异步休眠(ms):	1015	
同步休眠(ms):	0	
终端握手门限:	0x00	

允许部分设备或者全部设备采用电池，使能模块异步休眠。不过，休眠会带来一定的响应延时，在应用中需要权衡功耗和实时性。使能异步休眠后其主要配置参数右图所示。例子中异步休眠时间片为~1 秒。

以 WM1268-49S 模块为例，接收电流 9.2mA，休眠电流为 1.6uA，异步休眠时间片为~1 秒，异步醒来需要监听~0.5ms。这样异步休眠待机电流~6.2uA，待机 10 年需要消耗 0.54AH 电

量。每跳需要~1.4 秒的异步唤醒开销，也就是会带来~1.4 秒的响应延时。多跳之后的响应时间跟跳数成正比，可以简单按照每增加 1 跳增加 1 个休眠唤醒时间 (~1.4 秒) 计算。

## WaveMesh LLx 休眠策略

为了满足各种低功耗的应用场景，WaveMesh 协议栈提供了多种休眠策略：异步休眠、同步休眠、自主休眠、混合休眠、被动休眠和强制休眠。本节简单说明各种休眠的工作方式，方便对不同协议版本进行选择。

### 异步休眠

异步休眠模式下节点会在网络空闲后自动按照设定进入“休眠-监听-休眠-监听...”的循环过程，协议栈在休眠时间片结束时会打开射频监听网络中的无线信号，进入监听时间片。如果在监听时间片之内识别出特定的无线唤醒信号则会结束监听过程进入正常工作模式；否则会在监听时间片结束时进入下一个休眠的时间片。休眠时间片和监听时间片的长度可以根据实际需要设定。异步休眠待机过程的电流消耗典型示意图如下所示：

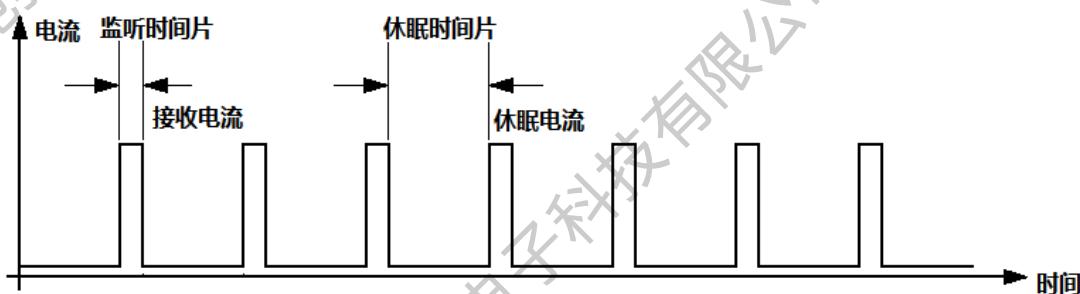


图 1 异步休眠待机电流示意图

以 WM1268-49S 模块为例，接收电流 9.2mA，休眠电流为 1.6uA，异步醒来需要监听~1.0ms (其中上行监听 0.5ms，下行监听 0.5ms)，理论上待机电流为：~10.8uA@1 秒休眠时间片；~6.2uA@2 秒休眠时间片；~4.7uA@3 秒休眠时间片；~3.9uA@4 秒休眠时间片。

以 WM2300-49S 模块为例，接收电流 12.9mA，休眠电流为 1.0uA，异步醒来需要监听~1.28ms，理论上待机电流为：~17.5uA@1 秒休眠时间片；~8.3uA@2 秒休眠时间片；~6.5uA@3 秒休眠时间片；~5.2uA@4 秒休眠时间片。

说明：

1. 所有节点和网关都可以进行异步休眠；
2. 无论是否使能休眠，全网所有节点均需要设置相同的异步休眠时间片参数；
3. 异步休眠节点之间通信，需要在交换正式数据之前进行无线唤醒；
4. 异步休眠待机后节点不需要发送任何报文，全网保持静默；
5. 异步休眠节点和非休眠节点可以进行数据通信，但需要非休眠节点设置相同的异步休眠参数以便能够唤醒异步休眠节点；
6. 异步休眠节点在被串口的数据报文唤醒后会立即结束休眠时间片进行突发数据传输；
7. 监听时间片的长度和无线的速率相关，无线速率越大监听时间片越短，反之越长；

8. 异步休眠数据传输功耗优先级大于可靠性，单次全网数据集抄不保证 100% 可靠性；

### 异步休眠唤醒

对于异步休眠节点的无线唤醒通常采用前导的方式，然而这种唤醒方要求报文的前导长度大于休眠时间片的长度才能基本保证能够唤醒休眠节点。前导唤醒方式的报文耗时很长，被误唤醒的概率很大，在唤醒时基本上没办法进行碰撞避免，没办法区分单播和多播，更没有办法进行休眠网络的集抄。因此 WaveMesh 协议并没有采用简单的前导唤醒方式。

由于 WaveMesh 协议的握手报文非常短并且加上优异的碰撞避免算法，上一代 WaveMesh 协议直接采用握手报文的方式进行唤醒，达到非常理想的唤醒效果。握手报文唤醒不需要报文持续整个休眠时间片，基本没有被误唤醒的可能，可以进行碰撞算法并且容易区分广播报文和单播报文，可以在唤醒过程中交换路由和广播信息，并且达到极高的唤醒成功率。但是握手报文唤醒方式在网络规模比较大的网络会因为持续的数据报文会导致反复唤醒休眠节点，休眠节点的监听时间片长度也会比较长。

在第二代 WaveMesh 协议中对握手报文唤醒方式进行了改进。简化握手报文过多信息，将报文的长度缩短到最短；充分利用不同射频芯片的特点，采用时间精度更高、更智能的碰撞算法。将唤醒过程独立出来，不再和数据交换过程同时进行，避免被反复唤醒的情况。经过改进的唤醒算法保留了第一代握手报文唤醒优点的同时，将唤醒过程所需的时间进行了严格的控制，有着确定的唤醒延时和网络节点密度以及网络的规模无关。第二代协议唤醒方式会优先确保功耗，而第一代协议会优先保证成功率，这是两代休眠唤醒算法的本质区别。由于采用更短的唤醒报文可以使监听时间片进一步缩短至~1ms 以内。对于单播仅需要唤醒下一跳中继节点，对于广播可以进行全网唤醒。异步唤醒和数据交换的过程入下图所示：



图 2 异步休眠唤醒过程示意图

### 同步休眠

同步休眠模式下，网络所有节点的休眠时间片是严格同步的，协议会尽可能将相邻节点之间的时间片误差降至最小，可以实现所有节点同时工作同时休眠。网络中需要指定某个网关负责时间片的同步，通过广播同步休眠报文实现，广播同步休眠报文携带本次同步休眠时间片的长度。因此同步休眠时间片长度不是固定值，可以根据需要进行随时调整。网络中若没有数据传输时可以立即进入下一个休眠时间片而不需要等待当前工作时间片结束。网关会根据静默超时判断工作时间片的结束时刻，因此工作时间片长度也随着网络数据量、节点数量的变化而变化。同步休眠模式下各节点时间片的误差很小，因此在工作时间片内进行数据传输不需要唤醒过程。同步模式下的时间片的使用如下图所示：

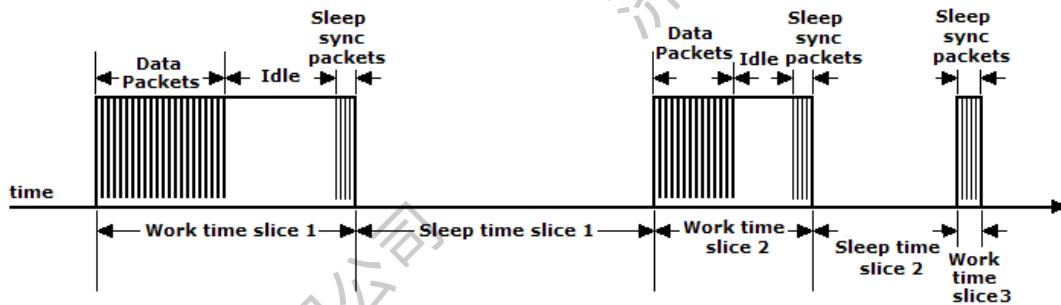


图 3 同步休眠时间片示意图

说明:

1. 为了降低硬件成本和功耗，模块休眠时采用的是 MCU 片内的低速 RC 振荡器，频偏比较大；
2. 协议软件会对低速 RC 振荡器进行校准，使其频偏在可控的范围内；
3. 协议充分考虑了校准后的 RC 振荡器的频偏带来的误差；
4. 综合考虑 MCU 的性能和低速 RC 振荡器的误差，目前允许的最大同步时间片的长度为~17 分钟；
5. 同步休眠参数仅仅需要对负责同步休眠的网关设置即可；
6. 同步休眠时间片无法提前结束，也无法进行突发数据传输；
7. 同步休眠数据传输功耗优先级大于可靠性，单次全网数据集抄不保证 100% 可靠性；

## 混合休眠

单纯采用同步休眠会在节点收到干扰收不到正确的同步休眠报文而无法进入休眠的异常情况，这时节点就处于接收状态，就会产生比较大的功耗。为了增加同步休眠的健壮性，可以搭配异步休眠一起使用，称之为混合休眠模式。在同步时间片结束时刻，节点不会立即进入工作时间片，而是进入异步休眠。因此在下一个工作时间片开始之前需要进行异步休眠唤醒，在唤醒结束时才会进入工作时间片。采用混合休眠的节点在受到干扰接收不到同步休眠报文时，会进入异步休眠模式，这时待机功耗要远低于工作时间片，确保功耗优先的原则。采用混合休眠另一个好处是降低节点对工作片同步的精度要求，因为只要时间片的误差小于一个异步休眠时间片的长度均可以正常工作。混合模式时间片的使用如下图所示：

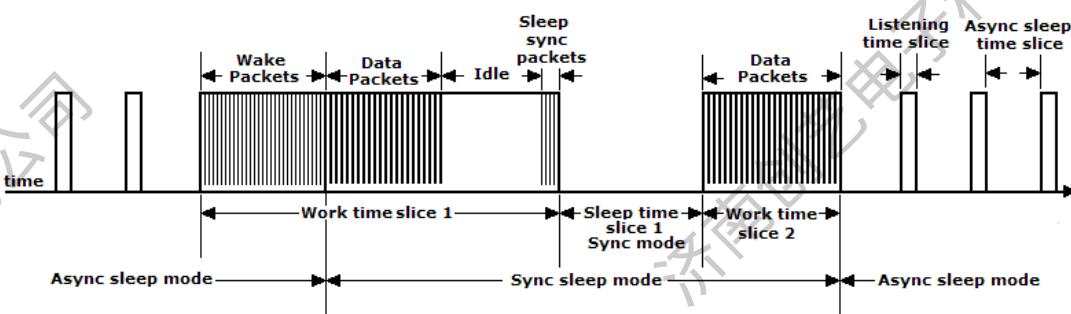


图 4 混合休眠时间片示意图

说明:

1. 异步休眠在混合休眠里起着异常情况处理的作用，仅仅是辅助作用；

- 需要平衡正常工作和异常处理下的功耗平衡，推荐异步休眠时间片长度为 100ms~500ms；

## 自主休眠

对于不需要进行数据中继和路由转发的叶子节点（终端节点），可以仅仅在需要进行收发或者询问属于自己的数据报文时才会打开射频进行数据传输，在数据传输完毕可以立即进入休眠，称之为自主休眠。自主休眠节点可以和不休眠节点之间进行突发数据传输，但自主休眠节点之间无法进行数据交换。自主休眠节点和不休眠节点之间不存在绑定关系，因此自主休眠节点可以在网络中任意移动，甚至脱离网络。自主休眠的节点按照预设的休眠时间片进行休眠，在休眠时间片结束后会主动发送报文询问广播报文，以及探测不休眠节点的存在。因此，不休眠节点无需主动唤醒自主休眠节点。在接收到串口数据报文时，可以立即结束自主休眠时间片，进行突发数据传输。自主休眠时间片的使用如下图所示：

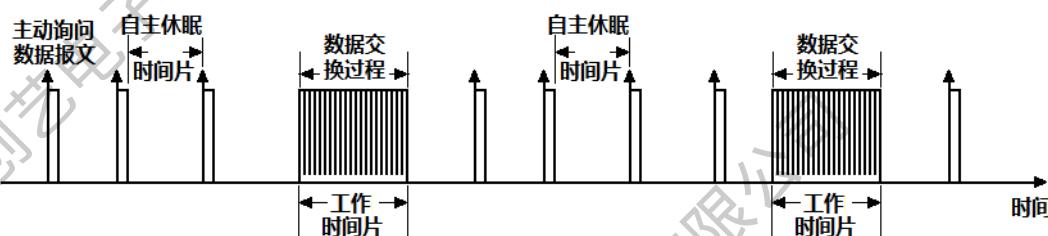


图 5 自主休眠时间片示意图

说明：

- 自主休眠节点没有路由和数据中继转发的能力，网络需要有不休眠的路由/网关节点和自主休眠节点配合才能进行数据传输；
- 不要求自主休眠节点的休眠时间片都相同，可以任意设定；
- 自主休眠节点可以主动醒来探测网络和询问广播报文，其休眠时间片可以设置为 1 秒~4.5 分钟；
- 如果不希望自主休眠节点主动醒来探测网络，可以设置自主休眠时间片为无穷大，这样自主休眠节点只有在收到串口数据报文时才打开射频进行数据传输，没有数据传输时会一直休眠状态；
- 自主休眠节点可以获得最低的待机功耗，节点功耗通常比异步休眠低 1-3 个数量级，可以用于低功耗传感节点、人员定位卡等应用；
- 在允许部署少量不休眠节点做路由的情况下，自主休眠是最佳选择；
- 自主休眠节点在主动醒来探测网络时采用碰撞算法，在遇到网络拥塞或者无线报文错误时，可能会导致此次数据交换失败立刻重新进入休眠时间片，但数据报文不会丢失，并且在休眠时间片结束后会继续尝试；
- 因此只要给足够多的时间，自主休眠单次全网数据集抄保证 100% 可靠性；
- 自主休眠的网络稳定性、抗干扰能力和网络规模都要优于异步休眠网络；

## WaveMesh LLx 全网集抄

无线自组网的大部分应用就是收集网络中海量节点数据，同时伴随着实时性和低功耗的要求，例如无线抄表、传感器采集等应用。如何快速实时获得全网所有节点的数据并且满足功耗的要求，WaveMesh 协议给出的答案就是全网集抄，这也是该协议的精髓。全网数据集抄只需要网关发送一条广播抄读报文，网关在数秒之内即可以获得全部节点的数据。对于不休眠的应用如电表抄表协议可以保证单次集抄 100%的成功率；对于自主休眠低功耗网络协议保证单次集抄 100%成功率；对于同步休眠和异步休眠低功耗网络，本着功耗优先的原则，协议可以提供单次集抄接近 100%成功率。

为什么集抄能在如此短的时间内获得全网数据？我们可以看一下集抄的工作过程：

1. 网关将广播抄读报文以可靠广播的方式发送给其相邻节点或者第一级路由节点（可是很多个）；
2. 第一级路由节点在收到广播抄读报文后会继续中继转发给自己的相邻节点或者第二级路由节点（数量很可能比第一级多很多），同时将广播抄读报文通过串口发送给外设 MCU 以获取返回数据报文；
3. 第二级路由节点在收到广播抄读报文后会继续中继转发给自己的相邻节点或者第三级路由节点（数量很可能比第二级多很多）并且获得外设数据，此时第一级路由节点会将反馈的数据报文陆续发送给网关；
4. 第三级路由节点在收到广播抄读报文后会继续中继转发给自己的相邻节点或者第四级路由节点（数量很可能比第三级多很多）并且获得外设数据，此时第二级路由节点会将反馈的数据报文陆续发送给第一级路由节点，第一级路由节点会陆续中继转发第二级路由节点的数据报文给网关；
5. 依次，第四级、第五级... 直至采集完毕全网数据；

在网关看来，反馈的数据报文会从网络远处的各个节点源源不绝的汇聚过来，理论上单个网关的吞吐量可以达到物理层带宽的 80% 到 90%（实际上需要根据射频芯片的能力，需要计算收发切换时间、校准时间和不同的报文长度，吞吐量可以达到物理层带宽的~70%）。整个网络的数据集抄时间可以根据总的数据量和吞吐量进行简单计算就可以得出。如果网络中有多个网关，可以使网络的吞吐量成倍的增加，这样整个网络的数据集抄时间可以成倍减少。

对全部节点处于异步休眠状态的网络进行全网集抄时，需要逐级唤醒所有节点，其中每级唤醒需要 1-2 倍异步休眠时间片长度。异步唤醒整个网络所需要时间跟网络最大跳数相关，跳数越多其唤醒时间就越久。然而全网异步唤醒过程和全网数据集抄过程可以并行进行，因此全网异步唤醒过程给集抄过程带来的额外时间开销并不多。按照通常情况如果每一级节点数量达到几十个以上，异步唤醒过程会比数据传输过程耗时要短，这样以来异步唤醒过程就不会额外增加时间开销。因此，通常情况下全网异步唤醒过程给整个集抄过程总时间仅仅增加 1-2 倍异步休眠时间片长度。鉴于异步休眠时间片为 0 - 4 秒，因此对于异步休眠的网络集抄用时仍然可以达到秒级。

**说明：**

1. 集抄的过程会自动建立网关到节点的双向路由，因此整个网络不需要事前建立路由，网络上电可以立即工作；
2. 如果节点需要上报的数据量大于协议支持的最大报文长度，则需要将数据打包成多个报文进行发送；
3. 集抄的过程各节点向网关发送的数据报文个数不限，如果需要发送多个报文则需要与无线模块进行串口握手，以确保在网络拥塞的情况下报文不被串口丢弃；
4. 对于成百上千点密度适中的网络来说，每节点均上报一包数据，射频速率采用 100kbps，全网集抄可以在数秒内完成；
5. 对于包含自主休眠的节点网络，全网集抄可以保证 100% 可靠性，但是需要等待 1 到多个自主休眠时间片长度（时间片无限长除外）才能得到全部数据。这是因为休眠节点为了保证功耗优先，在拥塞和碰撞的时候很可能会放弃数据传输立即休眠，但会在休眠时间片结束后再次尝试；

## WaveMesh LLx 报文解析

为了减小应用层开发的工作量甚至免除协议栈二次开发的必要，WaveMesh 协议栈可以直接接受客户的应用层的数据帧，并且协议栈的行为不需要应用层进行干预。在应用层看来，WaveMesh 无线模块按照透明传输的方式收发应用层的数据报文，在使用上和没有协议栈的 UART-RF 透明传输模块基本没有区别。但是，简单的透明传输应用层的数据报文无法保证数据帧的完整性，也无法从数据帧中获得地址信息也就无法进行精确路由。因此，WaveMesh 协议栈设计了非常灵活的应用层数据帧解析功能，该功能可以通过参数灵活配置，基本上可以适配何种数据帧格式。WaveMesh 数据帧解析过程如下所示：



图 6 WaveMesh 数据帧解析

WaveMesh 的数据帧解析参数仅有 4 个参数而且都是可选的：帧起始字符、帧结束字符、长度偏移量、长度修正值。可以解析以下数据帧：

1. 不做任何解析，真正透明传输；
2. 解析按照固定字符开始、固定字符结束的数据帧；
3. 固定长度数据帧；
4. 帧中含有帧长度信息的数据帧；
5. 其中 2 可以和 3、4 项联合检测；

说明：

1. 数据帧解析可以过滤垃圾字节，特别是模块在使用串口休眠唤醒时容易产生垃圾数据；
2. 确认数据帧的完整性，特别是需要确认数据帧的开始位置，这是获取正确地址信息进行路由转发的基石；
3. 数据帧解析和串口握手报文搭配使用，确保串口数据不丢失，是实现网络可靠传输的关键；
4. AT 指令解析模式和应用层数据帧解析模式会同时进行，因此不需要主动切换这两种帧解析模式，但是 AT 指令识别优先于应用层数据帧；

## WaveMesh LLx 串口握手

WaveMesh 协议在不休眠情况下可以保证 100% 数据可靠性。在休眠情况下会因为优先保证功耗，存在极小无线数据报文发送不成功的可能性。但是在无线发送失败的情况下也绝不会丢弃任何数据报文，等待网络恢复或者干扰消除后会继续发送之前未发送的报文。因此 WaveMesh 协议可以被认为是一种可靠传输网络协议。

在连续发送多个报文的应用中仍然会发现无线模块丢包的现象，其实数据包是被无线模块的串口丢弃而不是无线。无线模块的片内的数据缓存数量有限，在无线网络拥塞的情况下，模块缓存中的数据报文还没得及通过无线发送，这时如果向模块串口持续发送新的报文会导致缓冲区满。在模块缓冲区满之后会临时关闭串口，这时再向模块串口发送数据报文就会被丢弃。只有等待数据报文发送成功或者失败之后，才会再次打开模块串口接收新的报文。

与无线模块进行简单的串口握手，就可以保证模块的串口数据报文的可靠性。模块提供参数可以设置 3 个串口握手报文：

1. 串口确认报文：在模块串口接收到完整的数据帧后会立即回会通过串口发送该报文通知外设 MCU 确认串口已经准确收到刚刚的数据帧；
2. 发送成功报文：在模块通过无线发送成功一包单播数据帧后（广播无效），会通过串口发送该报文通知外设 MCU 数据报文被无线成功发送；
3. 缓冲区空报文：在模块串口缓冲区由满到空时，会通过串口发送该报文通知外设 MCU 可以向模块发送新的数据报文；

说明：

1. 串口握手是可选项，在需要连续发送多个数据报文时或者实际应用中会发现丢包现象时需  
要使能该功能；
2. 串口握手各报文内容由客户自己定义，长度最大仅为 15 字节；
3. 串口握手各报文设置后就为固定内容，目前无法回应序列号等其它信息；

## WaveMesh LLx 碰撞算法

WaveMesh 协议底层是分布式异步网络，即使采用同步休眠的节点底层也是个纯异步的网络。并且该协议采用完全扁平化设计，多种类型的设备如路由中继节点和叶子节点会共享相同的物理信道，其数据传输和路由完全依赖碰撞避免算法，因此碰撞避免算法的效率和策略对该协议而且显得异常重要。WaveMesh 碰撞避免算法经过了很多年的改进，无论网络的疏密、节点类型的不同，新一代的算法目前的有效物理层带宽效利用率可以达到 90%以上，基本上已经到达理想极限。

相对于上一代碰撞避免算法做了以下改进：

1. 信道空闲检测不再依赖信号强度，远处节点和近处节点具有几乎相同算法优先级，同时减小了 MCU 的开销，降低了对射频芯片的依赖程度；
2. 对非均匀分布的网络做了优化，对于网络瓶颈上的中继节点会有更高优先级，确保网络最佳吞吐量。以自主休眠网络为例，数量众多的叶子节点需要经过某个路由节点中继转发数据报文，这就要求担任路由的节点要求更高的发送优先级；以抄表应用为例，新的居民楼盖的越来越高，在同一栋楼里的表相对位置比较近、无线信号比较强，而和相邻楼或者单元里的表往往信号比较差，很可能楼和楼之间只有几个边缘节点担任路由和中继，这就要求碰撞避免算法需要感知路由关系，确保担任楼间路由的节点具有更高的发送优先级；
3. 算法能够时时刻刻感应和预测网络吞吐量的变化和同时进行传输的相邻节点数量的变化。以数据集抄为例，汇聚节点输出的数据流吞吐量从集抄的开始到结束几乎没有变化。而集抄的整个过程中，同时想要发送数据的邻居节点数量随着时间的推移在逐步下降，这就要求碰撞避免算法的效率不随着节点的数量变化而变化；

说明：

1. 新一代碰撞避免算法根据实际应用场景和资源开销综合设计，要求同时发送数据报文的相邻节点的数量尽可能控制在 250 点以内；
2. 不过在实际使用中基本上不可能所有相邻节点会同时发送数据，因此对相邻节点的数量的限制不是个硬性指标；
3. 对于非常密集的网络，相邻节点数量远远大于 250 的情况下，可以通过降低射频发射功率的方法减小相邻节点数量；
4. 对于生产出厂测试来说，往往节点数量非常多和密集，这就需要按照分批测试和逐个测试的原则，不能上千个节点放在一起测试；
5. 相邻节点的数量和网络节点容量是完全不同的概念，对相邻节点的数量的限制不是对网络节点容量的限制；

## WaveMesh LLx 路由协议

无线移动自组网是多个具有路由功能的移动节点组成的多跳网络，数据的传输需要多个节点的合作才能完成，因此路由协议是网络实现至关重要的一部分。与传统有线网络相比，无线移动自组网有自己的特点，如分布式控制、动态变化的网络拓扑结构、无线传输带宽和节点能力有限、安全性差、路由生存时间短等。

理想的无线移动自组网路由协议应该具有以下特点：

1. 分布式路由算法；分布式算法更适合于无中心的分布式控制网络；
2. 自适应能力强；可适应快速变化的网络拓扑结构；
3. 无环路；无环路是任何路由协议的基本要求，可以避免路由错误和带宽浪费；
4. 路由计算与维护控制开销少；用最小的控制开销做到最完整、最强大的功能是所有路由协议共同努力的目标；
5. 适应于大规模网络；
6. 健壮性、可扩展性好；

无线移动自组网中从任何一个源节点到目的节点的路径通常会有多条，而且节点具有随机移动性，整个网络的拓扑结构经常变化。WaveMesh 协议采用私有按需轻量动态多径路由协议，该协议是针对硬件资源条件苛刻的移动自组网设计的，适用于移动速度快、拓扑结构变化快的无线网络。该路由协议可以最大限度减小路由建立和维护过程的开销，能够在多条路径并行进行数据报文的发送，可以感知网络拓扑结构的变化并对路由进行更新不需要进行洪泛，在不同路由之间无缝切换。

WaveMesh 路由协议特点有：

1. 每个节点维护自己的路由信息，没有中心节点负责全网的路由；
2. 路由不需要事先建立，如果之前没有路由会采用可靠广播的方式发送，在数据报文发送的过程中同时建立路由，没有路由建立延时；
3. 在建立路由之后，在数据通信的同时能够充分利用无线信号的冗余，时时刻刻进行路由的维护和更新，并且没有额外开销；
4. 不论多大的规模，完全没有路由回路，路由稳定性好；
5. 路由选择算法权衡了很多因素如距离矢量、信号能量、链路质量和电池电压等；
6. 支持移动节点，对网络拓扑结构的变化敏感，路由能够动态迅速达到最优；
7. 支持最大 255 级路由，网络规模大；
8. 可以限制最大的路由级数（1-255），从而可以控制数据发送的网络范围；

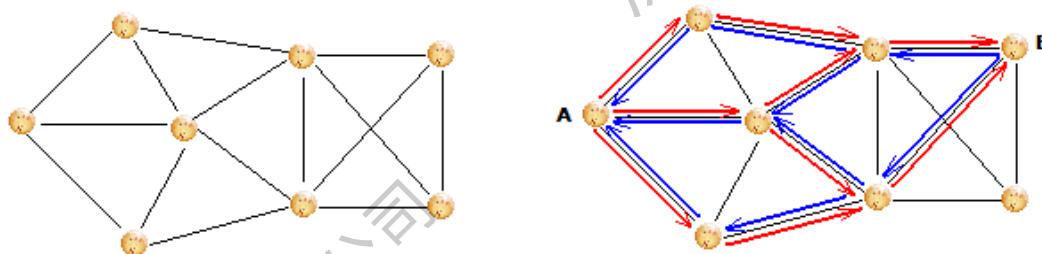


图 7 WaveMesh 多径路由示意图

WaveMesh 多径路由示意图如上所示，网络拓扑结构图如左侧所示，黑线代表节点间的链路。右侧为的 A 和 B 两点建立的数据链路，红线为从 A 到 B 点的路径，蓝线为逆向路径。路由的建立通过可靠广播的方式实现，多条路由间没有闭环回路、允许多条路径相交。每个节点都会选择尽可能多的节点作为自己的下一跳路由，数据报文可以在多条路径之间动态切换，能够并行传输。失效路由检测、新路由发现、网络拓扑结构的变化通过监听相邻节点间的握手报文来感知，不需要进行洪泛也不需要额外的开销。包括源节点在内的所有节点仅需要寻找自己的下一跳中继节点，而不需要确定整条路径，因此该路由协议开销很小，适合拓扑结构快速变化的移动网络，能够迅速发现即时最佳路由，支持 255 级路由的超大规模网络。

WaveMesh 路由协议会综合多种选择算法进行路由的筛选，包括距离矢量、信号质量和节点剩余电量。距离矢量算法根据目的地的远近来决定的路径，每个节点都会维护一张矢量表，表中列出了当前已知的到每个目标的最佳距离。节点可以根据这张矢量表，选择比自己更接近目的地的节点作为转发路由。根据距离矢量算法可以找到两个节点间的最近路径，但不一定是最佳路径。

不同于有线的网络，对于无线移动自组网来说无线信号容易受外界干扰的影响，造成数据链路生存时间短、稳定性差的特点。路由协议必须能够正确选择信号质量好、链路稳定的路径才能保证网络的稳定性、实时性、可靠性和抗干扰能力。WaveMesh 路由协议能够迅速探测多条路由的即时链路质量，能在极短时间内选择出最佳链路质量的路径做路由，并且在必要时可以选择次最近路径作为路由。WaveMesh 链路状态算法路由选择示意图如下所示，A 可以通过 B 中继到 C 既 A-B-C 但该条路径受到干扰为不稳定链路，同时 A 到 C 有另外一条链路质量好的路径 A-D-E-C。选择 A-B-C 这条路径虽然距离更近，但是由于链路不稳定性报文的接收成功率很低，会大大增加报文的重发概率耗费大量时间。而如果选择 A-D-E-C，虽然距离会远一些，但是能保证报文传输的可靠性和实时性。

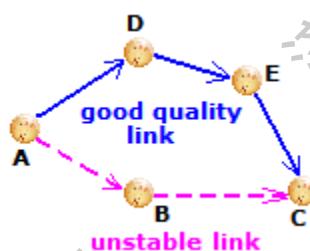


图 8 WaveMesh 链路状态算法路由选择示意图

另外对于低功耗无线移动自组网来说，路由选择需要充分考虑节点电池的电量，应尽可能避开电池电量低的节点进行路由。在距离矢量和信号质量都相同的条件下，WaveMesh 路由协议会自动选择剩余电量相对大的节点做路由。WaveMesh 节点剩余电量路由选择算法示意图如下所示，A 可以通过 B 中继到 C 既 A-B-C 但 B 节点的剩余电量低，同时 A 到 C 有另外一条稍远的路径 A-D-E-C，路径中的节点剩余电量较高。选择 A-B-C 这条路径虽然距离更近，但是会很快耗尽 B 节点的电量。如果选择 A-D-E-C，虽然距离会远一些，但是增加整个网络的使用寿命减小系统的维护费用。

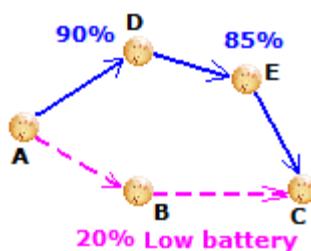


图 9 WaveMesh 节点剩余电量路由选择示意图

## 常见问题

### 不同固件类型是否互通

相同无线芯片，不同 MCU、不同固件类型的之间可以互通。

### 不同射频芯片是否互通

不同无线芯片，即使相同 MCU 和相同不同固件类型之间不能互通。

### 是否支持固件二次开发

不支持。

### 为什么 470MHz~510MHz 频段体验不如 433MHz 频段

随着很多城市陆续开通大功率地面波数字电视信号，其发射频段包含 470MHz~510MHz，会对低功率无线自组网信号造成很大的影响，因此体验会不如 433MHz 频段。推荐首选使用 433MHz 频段。

### 客户 ID 如何指定

客户 ID 为 6 字节，公司客户可以选择喜欢的 ID 编码进行登记，只要别的公司没有使用过即可。

### 固件如何烧写

通过 WaveMesh 专用离线脱机烧写器进行烧写。

### 实际部署网络规模和什么有关

虽然 WaveMesh 网络规模几乎没有理论限制，但是实际中需要根据网络的吞吐量、功耗和实时性要求来设计网络的规模。

### 模块复位或者重新上电为什么会重新收到上一次广播报文

这是 WaveMesh 可靠广播的特点，节点不会因为错过广播的时间点而错过广播报文，在系统设计时需要考虑节点刚上电、复位时接收到的广播报文。

### 模块为什么会收到少量重复报文

WaveMesh 单播采用 5 次握手的方式进行可靠传输，如果第 5 次握手被干扰产生错误就会造成发送端和接收端同时拥有该重复报文。WaveMesh 协议会纪录最近几次通过无线接收到的单播报文的校验值并进行重包过滤，这种方式可以过滤掉绝大部分的单播重包。但是，由于 WaveMesh 路由协议的设计，发送失败的单播报文被发送端再次发送时会采用别的路径发送，这样重包过滤就无法奏效，就造成会收到极少量的单播重复报文。

### 固件烧写数量如何授权

通过授权文件网络发送，不需要快递烧写器硬件实物。

### 为什么硬件需要逐个出厂测试

分布式自组网中某个节点的硬件异常可能会导致周边正常节点甚至整个网络工作不正常。相对集中式自组网，分布式自组网对硬件有更严格的要求，不允许硬件异常的节点参与组网。因此，需要对每个出厂的硬件设备进行逐个出厂测试。

### 硬件测试有什么方式

首先可以烧写测试版本的 WaveMesh-TST 固件，通过 AT 指令可以通过频谱仪、信号源、电源等设备测试无线的发射功率、频偏、接收灵敏度、发射电流、接收电流、休眠电流等指标。还可以在烧写正式版本固件之后，可以通过测试吞吐量的工具，测试无线模块的真实吞吐量，判断无线模块的优劣。

### 现场如何诊断网络

树形网络可以通过修改 ROOT 的参数，使得 NODEs 自动环回响应数据报文（1-255 个环回报文），可以在环回的数据报文头中获得全网所有节点的无线信息：信号强度、电压（部分模块支持）、路由等信息，用来直观了解各节点的工作状况，甚至是全网节点拓扑结构。

### 现场如何远程联调

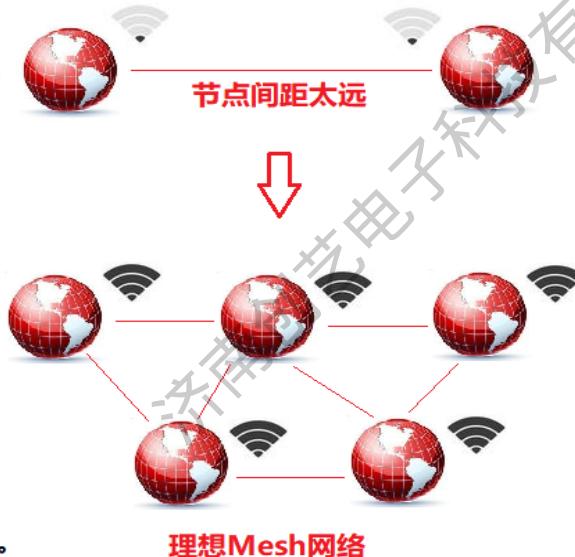
客户反馈问题，修改后的模块固件可以通过互联网远程即时发送，客户通过烧写器远程加载新的固件，进行即刻验证。

### 网络如何部署

WaveMesh LLx 支持 255 级路由，最好不要将相邻节点部署在网络的边界上，而是最好保证相邻节点的信号都比较好的位置。这样即使很多跳的网络，也能有比较高的吞吐量。

#### 路由Mesh网络部署简单科普：

1. Mesh协议不会缩短无线传输距离，反而，通过握手错误重发机制会保证更高的成功率；
2. Mesh协议相对比点对点协议，对射频收发切换要求更高速度，如果比点对点协议测试距离近，很可能是射频开关切换速度不够快；
3. 节点的部署间距，为单跳传输距离  $1/3 \sim 1/2$  为宜，确保相邻节点之间的无线信号可靠，节点部署间距不能为最远传输距离。
4. 在同级路由上，部署2-3个路由点可以保证多跳之后网络带宽不会逐级减小。如果同级路由上只部署1个路由点，则吞吐量会减半。



## 免责声明

1. WaveMesh 协议为私有协议，只能用在免费 ISM 频段中使用，需要符合当地的法律法规。对于非法使用的情况，本协议开发人员免责。
2. WaveMesh 协议编译后的固件均为公开下载的方式，客户需要自行负责烧写的固件类型和版本。对于烧写错误固件版本的情况，本协议开发人员免责。
3. 客户需要充分测试 WaveMesh 固件的功能和性能之后才能做商用，本协议开发人员会积极解决客户发现影响其使用的固件功能性问题。但对于已经商用的固件缺陷问题并且造成的损失，本协议开发人员免责。
4. 本协议开发人员会对客户提供免费基本的远程技术支持和问题解答，如果需要更优质的服务需要付费。
5. 如果需要本协议开发人员去异地（北京市城区之外）现场解决问题的情况，需要客户付费并负责车旅、食宿费用，保证开发人员身安全。

## 联系方式

产品购买及技术支持：18653129665(同微信)

与开发人员技术交流：13366662606 (同微信)