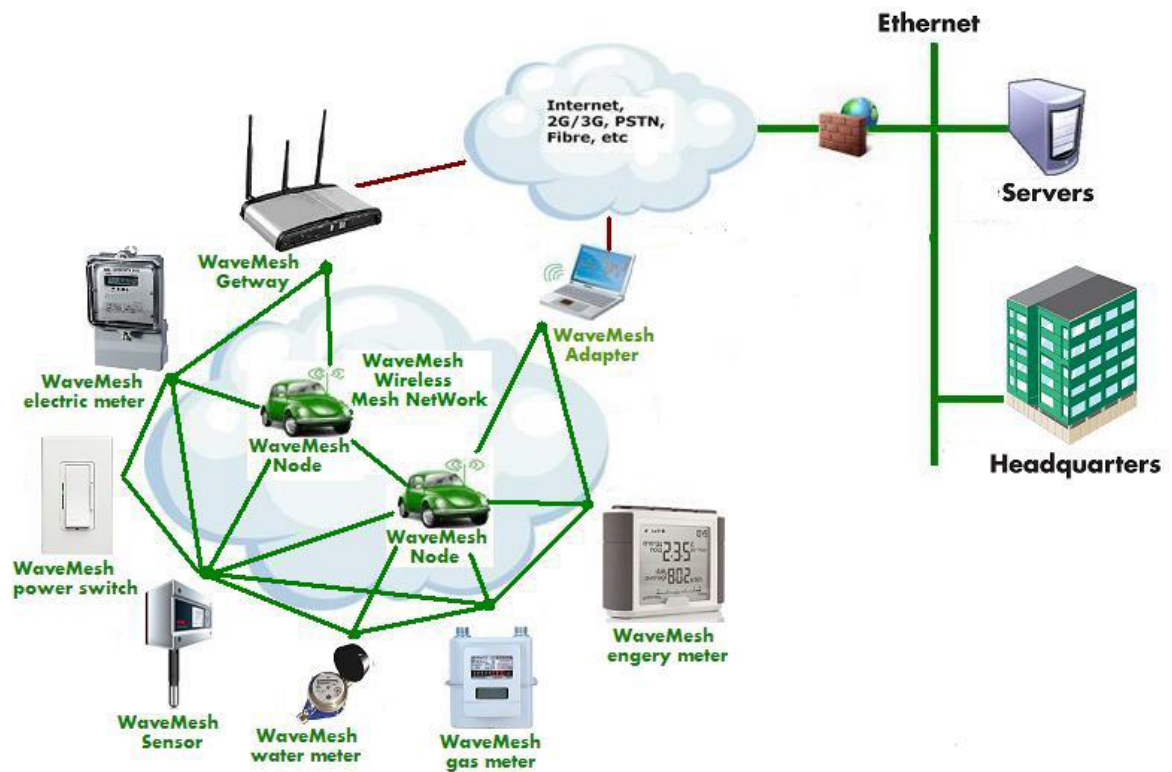


2013-4-6

V1.0

WAVEMESH

移动自组网协议、解决方案和应用



E-mail: zyq112578@vip.sina.com Tel: 18600663592 QQ: 18277267

目录

目录.....	1
摘要.....	3
1. WAVEMESH 协议简介	3
1.1 WAVEMESH 路由协议简介	5
1.2 WAVEMESH 低功耗技术简介	8
1.2.1 异步休眠.....	8
1.2.2 异步唤醒.....	9
1.2.3 同步休眠.....	9
1.2.4 混合休眠.....	10
1.2.5 自主休眠.....	11
2. WAVEMESH 协议族	11
2.1 WAVEMESH AMR 协议	11
2.2 WAVEMESH CSN 协议.....	12
2.3 WAVEMESH BUS 协议.....	12
2.4 WAVEMESH HOME 协议.....	13
2.5 WAVEMESH BUILD 协议	13
2.6 WAVEMESH RTLS 协议.....	13
2.7 WAVEMESH MOB 协议	14
2.8 WAVEMESH ONE 协议	14
2.9 WAVEMESH ITS 协议	15
3. WAVEMESH 解决方案	15
3.1 WAVEMESH 智能电表无线集抄方案	15
3.2 WAVEMESH 低功耗智能水、燃气、热表无线集抄方案	17
3.3 WAVEMESH 低功耗全休眠传感网络方案	19
3.4 WAVEMESH 超低功耗大规模传感网络方案	20
3.5 WAVEMESH 超低功耗无线定位方案	21
3.6 WAVEMESH 分布式智能家居、楼宇方案	22
3.7 WAVEMESH 专业智能楼宇方案	23
3.8 WAVEMESH 智能公交方案.....	24
3.9 WAVEMESH 分布式移动自主通信方案.....	25
4. WAVEMESH 实际应用案例	26

4.1	国家电网智能电表无线抄表.....	26
4.2	国外智能电表无线抄表.....	27
4.3	智能燃气表和水表无线抄表.....	28
4.4	智能热表无线抄表.....	28
4.5	煤矿安全监控、定位网络.....	29
4.6	有毒气体监控报警网络.....	30
4.7	医药行业温湿度监控.....	31
4.8	气象行业传感节点数据采集.....	31
4.9	智能农业传感数据监控、喷灌控制.....	32
4.10	智能家居、楼宇控制.....	32
4.11	无线人员定位、监护系统.....	32
4.12	低空预警网络.....	32
4.13	停车场泊车管理.....	33
4.14	仓储运输管理.....	33
4.15	远距离无线路灯监控.....	34
4.16	智能交通路口控制.....	35
4.17	分布式移动自主通信.....	35
4.18	代替 ZIGBEE 模块.....	35

摘要

本文描述了 WaveMesh 移动自组网协议的特点、路由协议和低功耗的技术，对 WaveMesh 协议族进行了简单介绍；并对 WaveMesh 协议目前能提供的解决方案、实际典型案例进行了简单阐述。本文不涉及 WaveMesh 协议未来的发展方向和潜在可能的应用。

1. WaveMesh 协议简介

无线自主网络被认为是 21 世纪最重要的技术之一，网络中众多传感节点通过无线通信的方式进行相互联系、处理、传递信息。2000 年美国移动计算和网络国际会议上，提出了无线自主网络是下一个世纪面临的发展机遇。2003 年，美国《技术评论》杂志论述未来新兴十大技术时，无线自主网络被列为未来新兴技术之首。2003 年，美国《商业周刊》未来技术专版论述四大新技术时，无线自主网络也列入其中。2007 年 12 月 26 日，在由国务院总理温家宝主持召开的国务院常务会议上审议并原则通过的国家重大专项实施方案中，短距离无线互联和自主网络是一个重要的方向。《国家“十一五”科学技术发展规划》也指出，掌握近短距离无线互联系统与自主网络的关键技术，加大科技成果的商业应用是重要目标之一。

WaveMesh 是针对于低功耗、低成本的无线移动自组网络设计的协议，该协议定义了链路层和网络层，网络拓扑为完全分布式、对等的网状网络。采用私有多径路由协议，能充分利用网络中的冗余路由，数据链路具有优异的自愈性的稳定性。网络不需要初始化节点上电可以立即进行无线通信，支持规模大、拓扑结构变化快的移动网络，是无线移动自组网的理想协议。所有节点都是平等的，都可以休眠。网络性能优异，易于部署，可裁剪性好、自愈性好。协议栈代码尺寸小、容错性高，即使出现供电等硬件故障也会在极短时间内自我恢复。凭借在诸多网络特性上的绝对优势，WaveMesh 协议已经在很多行业中得到应用。

WaveMesh 移动自组网协议诞生于 2007 年，经过很多年的实际应用、经验积累，已经日趋完善成熟，形成了一系列完备的协议族和专业解决方案，目前已经在多个行业中处于领导地位，其特点如下所述：

- **分布式对等网络**
整个网络没有中心节点，每个节点独立维护自己的路由信息，不需要节点之间进行路由绑定。网络中允许有多个集中器/网关设备。相对于集中式自主网络，分布式网络具有健壮性好、组网速度快、网络拓扑变化敏感、网络容量大、成本低廉等明显优势。
- **网络容量大**
协议栈所需资源开销与网络节点个数无关，网络规模没有理论上限，支持几万点的网络。节点地址长度为 1~16 字节，支持 IPV6 协议。
- **255 级路由**

255 级路由深度，能满足几乎所有的应用。不会由于路由深度的增加而牺牲网络的稳定性和准确性，更不会产生路由回路。

- **节点任意移动**

采用私有多径路由协议，可以充分利用无线信号的冗余，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，时时刻刻进行新路由的发现，对网络拓扑结构的变化敏感并对路由进行更新不需要进行洪泛，可以在不同路由之间无缝切换。

- **网络初始化时间为 0**

整个网络完全没有初始化的过程，节点上电后可以立即进行通信，节点可以随时加入、离开网络。该特性使得 WaveMesh 成为理想的低功耗移动无线网络协议。

- **功耗低**

多种休眠模式（同步、异步、混合和自主休眠），并且可以在不同休眠模式之间灵活切换，以满足不同低功耗应用场合。休眠节点之间可以进行双向可靠通信。采用重复发送报文方式安全迅速全网异步唤醒，节点被误唤醒的概率为 0，唤醒延时固定。进行全网数据采集时采用全网集抄代替逐点轮抄，可以在极短的时间内得到全网所有节点的数据，比逐点轮抄方式节省时间、功耗近千倍，适用于低功耗数据采集应用场合。

- **可靠数据传输**

所有数据传输都是按照点对点 5 次握手的方式进行，采用可靠的单播实现广播、多播。采用多次尝试、碰撞避免和拥塞控制机制保证所有的报文都安全可靠抵达目的节点。

- **自适应速率**

节点之间的数据传输可以根据链路质量和传输错误次数协商出最佳的传输速率，在兼顾吞吐量和传输距离的同时获得极佳的网络稳定性。

- **高吞吐量**

空间、时间和频域的三个维度分集的巧妙结合，数据流能在多条路径、多个物理信道并行发送。链路层能够根据网络的密集程度采用智能的碰撞避免算法，将报文碰撞概率降低至最低，经过多级中继之后的吞吐量仍然可以达到物理带宽的极限。可以通过多个网关同时与异构网络之间建立连接，无限制扩大网络出口带宽。

- **抗干扰能力强**

数据传输采用多个无线信道：一个主信道和多个辅助信道。在多个辅助信道之间采用跳频方式进行数据传输。当主信道受到干扰或者冲突时，无线网络可以自动选择新的比较干净的信道作为主信道，整个切换过程速度很快，不需要应用层进行干预。主信道的切换也可以由 AT 指令强制进行。

- **健壮和自愈性好**

多径路由协议可以时刻感知网络的拓扑变化，在尽可能多的路径上平滑切换路由，有效抵抗部分节点故障、外来干扰、拓扑变化。

- **安全性好**

可以有效抵抗虚假、篡改报文攻击，数据传输采用 AES-128 位加密有效防止数据报文被监听的可能。

- **免二次开发**

完备的协议栈，网络维护、路由发现等完全不需要应用层进行任何干预。对模块进行简单配置即可实现开发的工作，不需要用户修改现有协议、进行任何二次编程开发工作，节省大量的开发时间和成本。

- **多种地址机制**

可以采用外设/应用层地址或者模块 MAC 地址进行路由，其中 MAC 地址为 6 字节，外设/应用层地址为 1~16 字节，模块可以自动获得外设/应用层地址，用户不需要考虑外设/应用层地址与模块 MAC 地址之间的转换，更不需要对现有协议做任何修改。

- **可无限扩展**

网络允许同时存在多个网关设备，下行数据报文可以由任意网关发送给网络中的节点；上行数据报文会自动选择距离节点最近的网关发送。通过增加网关的数量可以对网络进行无限制地扩展，**突破 255 级路由的限制**。

- **多个外设**

一个节点模块可以挂载 0 个到多个外设。挂载 0 个外设时，模块作为纯中继节点参与组网；挂载 1 个外设时，模块与外设地址进行绑定；挂载多个外设时，模块可以连接一条 485 总线或者作为一个子网的网关。

- **设备成本低**

协议栈经过精心的设计和优化，其代码尺寸非常小，仅需要 4k~8k 字节的程序空间和几百字节内存空间，可以被移植到非常廉价的 MCU 上。集中器/网关和终端节点模块可以采用相同的硬件设计，大幅降低了系统设备成本。

- **安装简单、免维护**

现场安装不需要任何手工设置。协议充分考虑了无线设备在长期使用中的晶体老化、温度变化带来的频飘问题，节点在数据传输过程中会自动纠正永久频偏向网关/集中器模块对齐，确保网络长期可靠稳定运行，完全免维护。

1.1 WaveMesh 路由协议简介

WaveMesh 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。主要特点有：每个节点维护尽可能多的路由信息；没有路由回路；路由稳定性好、建立速度快；能够维护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，没有额外开销；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；对网络拓扑结构的变化很敏感，路由能够动态迅速达到最优；网络吞吐量高；支持 255 级路由，网络规模大。

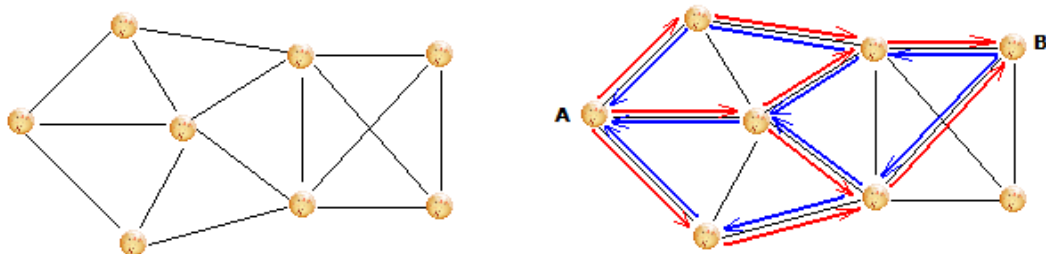
移动自组网 (MANET) 是多个具有路由功能的移动节点组成的多跳网络, 数据的传输需要多个节点的协作才能完成, 因此路由协议是 MANET 中至关重要的一部分。与传统有线网络相比, MANET 有自己的特点, 如分布式控制、动态变化的网络拓扑结构、无线传输带宽和节点能力有限、安全性差、路由生存时间短等。理想的 MANET 路由协议应该具有以下特点:

1. 分布式路由算法: 分布式算法更适用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。

单路径路由协议并不适合 MANET, 有以下原因:

1. 无线网络结点移动性高, 带宽资源有限, 而且连接中断率高, 导致网络分裂机会高。单径路由算法开销太大, 收敛速度慢。
2. 路由需要通过洪泛技术来进行建立, 而当节点移动导致原来路由失效后, 单径路由的维护也需要洪泛, 会占用网络带宽, 当网络中有中等数量甚至大量的路由需要维护时, 频繁的全网洪泛使得按需路由协议的路由控制开销非常大。
3. 单径路由协议没有考虑公平性, 倾向于把重的负载分布到源-目的对的最短路径的节点上, 无法很好地获取和跟踪整个网络的拓扑信息。
4. 单径路由协议数据的发送只利用一条路径, 无法并行或并发地发送数据, 导致网络传输率较低, 延迟增加, 网络负载不平衡, 造成网络拥塞。

MANET 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。采用多径路由协议可以克服上述单径路由协议的不足, 可以充分利用网络资源, 平衡网络负载, 改善通讯性能, 避免网络震荡。

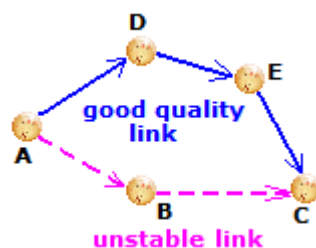


WaveMesh 多径路由示意图

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。路由的建立通过洪泛实现，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（链路状态）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。

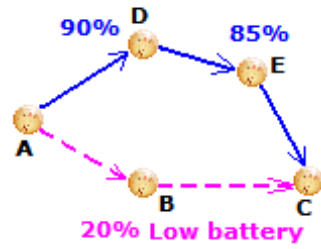
不同于有线的网络，对于 MANET 来说无线信号容易受外界干扰的影响，造成数据链路生存时间短、稳定性差的特点。路由协议必须能够正确选择信号质量好、链路稳定的路径才能保证网络的稳定性、实时性、可靠性和抗干扰能力。WaveMesh 路由协议能够迅速探测多条路由的即时链路质量，能在极短时间内选择出最佳链路质量的路径做路由，并且在必要时可以选择次最近路径作为路由。WaveMesh 链路状态算法路由选择示意图如下所示，A 可以通过 B 中继到 C 既 A-B-C 但该条路径受到干扰为不稳定链路，同时 A 到 C 有另外一条链路质量好的路径 A-D-E-C。选择 A-B-C 这条路径虽然距离更近，但是由于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。



WaveMesh 链路状态算法路由选择示意图

另外对于低功耗 MANET 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。WaveMesh 路由协议采用类 MMBCR 算法，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。



WaveMesh 节点剩余电量路由选择示意图

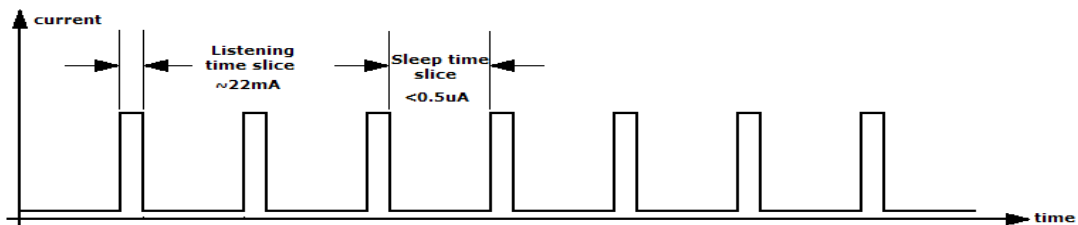
WaveMesh 路由协议是针对 MANET 设计的理想路由协议，具有分布式、健壮、自愈能力强、轻量、多径、无环路、组网规模大、适合移动网络等特点。

1.2 WaveMesh 低功耗技术简介

对于参与数据中继转发的节点设备来说，WaveMesh 协议提供同步、异步以及混合休眠模式。网络中的所有担负中继转发的节点都可以休眠包括网关/集中器和路由节点，休眠节点和不休眠节点可以混合组网。对于不参与数据中继转发的终端节点设备，可以采用更长自主休眠时间，将设备的功耗降低到极限，称之为自主休眠模式。

1.2.1 异步休眠

异步休眠模式下节点在空闲后会按照预设的“休眠时间片”进入低功耗休眠状态。在“休眠时间片”结束时进入“监听时间片”重新打开无线电路监听网络中的无线数据报文。如果节点在“监听时间片”内接收到网络中的有效无线报文会在需要时进入正常工作模式，否则进入下一个“休眠时间片”，依次重复下去。“休眠时间片”和“监听时间片”的长度可以根据实际需要灵活设定。异步休眠待机功耗容易计算：假设无线模块休眠电流为 0.5uA、接收电流为 22mA，睡醒比（休眠时间片/监听时间片）为 1000，则待机平均电流为 $(0.5\mu A \times 1000 + 22\text{mA} \times 1) / 1001 = 22.5\mu A$ 。



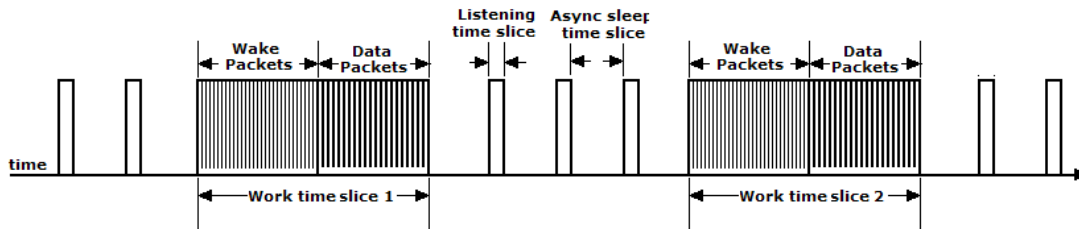
异步休眠功耗示意图

使能异步休眠的节点仍然具有数据中继和路由转发能力，可以进行上下行双向数据通信。异步休眠和异步唤醒由 WaveMesh 协议完全自主控制，在进行上下行的突发数据传输时，可以按

照需要自动唤醒需要进行中继转发的异步休眠节点，不需要应用层协议参与。这样的设计大大简化了应用层的实现复杂度。在没有数据传输时异步休眠节点之间不需要发送任何无线报文，节点处理完全静默状态，保持最低的待机功耗。异步休眠模式具有抗干扰能力强、组网规模大，适合突发数据的场合，可以应用在低功耗无线抄表等场合。

1.2.2 异步唤醒

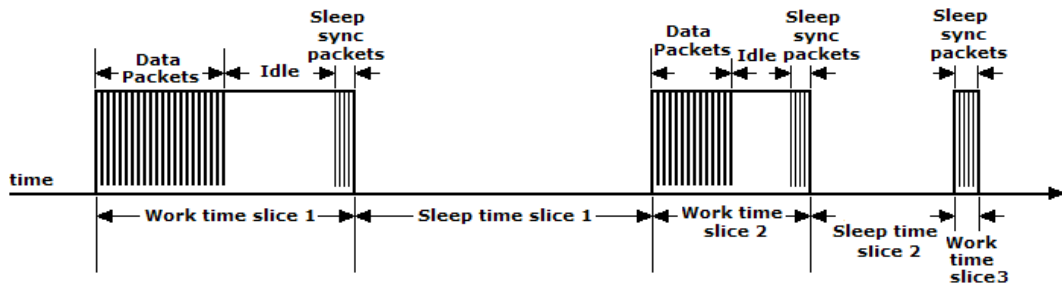
对于异步休眠节点的无线唤醒方法常用的有加长前导和多次发送报文的方式。WaveMesh 无线唤醒方式采用后者，可以进行全网、单径路由唤醒。相对于加长前导的唤醒方式，多次发送报文唤醒方式具有更安全、更可靠、耗时更少的优点，在进行唤醒的同时能够交换路由等信息。但多次发送报文唤醒方式在实现更复杂，需要解决报文碰撞等技术难题。WaveMesh 协议在无线唤醒算法上做了大量的仿真，完美攻克了多次发送报文唤醒方式报文碰撞的问题，在没有干扰的情况下休眠节点能够被唤醒的概率远远大于 100%，能够确保全网唤醒几乎完全没有被漏唤醒的节点。WaveMesh 无线异步唤醒算法最大的特点是全网唤醒速度很快，唤醒延时很短且固定，和网络规模没有关系；另外网络节点密度越大，唤醒速度越快。当数据传输为单播方式时，仅需要唤醒沿途的中继节点，不需进行全网唤醒。上行的唤醒延时要小于下行的唤醒延时：上行平均唤醒延时为异步休眠周期的一半，下行平均唤醒延时为一个异步休眠周期。WaveMesh 协议考虑了相邻节点异步休眠时间片的同步问题，通过设置休眠补偿时间，可以使相邻节点异步休眠时间片尽可能的保持同步，将异步唤醒的延时降至最低。



异步休眠唤醒示意图

1.2.3 同步休眠

同步休眠模式下节点的休眠时间片由同步休眠广播报文保证严格同步，相邻节点之间的时间片误差小于 1ms。同步休眠广播报文由集中器/网关或者指定节点在每个“工作时间片”结束时向全网逐级进行广播。同步休眠广播报文携带本次“休眠时间片”的长度信息。WaveMesh 协议不去假设和预测当前网络的负荷，在网络中没有数据传输时可以立即进入同步休眠而不需要等待某个预定的时间片结束，也不限制数据传输必须在某个时间点结束。同步休眠模式相邻节点间的时间片误差很小，可以在“工作时间片”立即进行数据传输，不需要唤醒过程。同步模式下的时间片的示意图如下所示：



同步休眠示意图

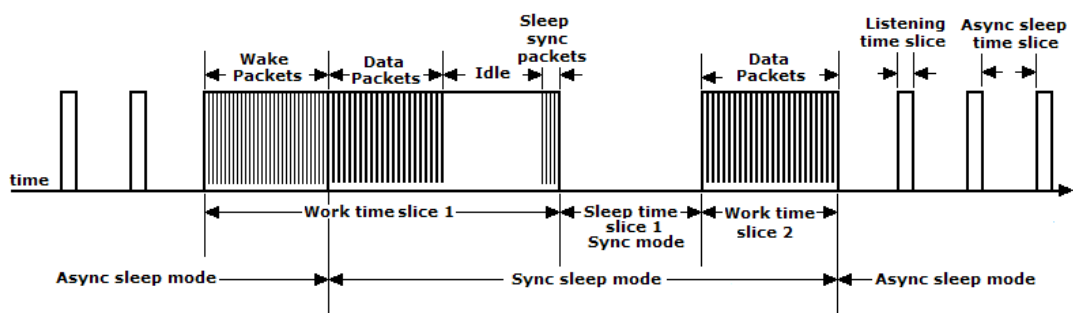
同步休眠的“工作时间片”和“休眠时间片”可以动态变化，由集中器/网关或者指定节点自动控制。在需要进行数据交换时，在每个“工作时间片”开始时立即进行数据报文收发；在数据报文收发过程结束后网关会自动判断网络空闲并下发同步休眠报文标识当前“工作时间片”已经结束立即进入休眠，同步休眠报文中携带接下来“休眠时间片”的长度信息。在没有数据传输时在“工作时间片”开始时刻可以立即发送同步休眠报文，如上图“工作时间片 3”所示。同步休眠模式的需要依靠休眠广播报文完成同步，即使在没有任何数据传输时网络中也会有同步休眠报文的发送。

使能同步休眠的节点可以进行路由中继、数据转发，具有上下行双向数据通信能力。同步休眠模式下时间片的同步、工作时间片的大小由 WaveMesh 协议自动控制，不需要上层协议参与，这样的设计大大简化了应用层的设计复杂度。

相对于异步休眠模式，同步休眠模式的休眠时间片可以更长更灵活，在数据发送比较频繁，周期性数据发送的场合可以获得更低的功耗。不过，同步休眠模式对上下行突发数据传输支持不好，数据传输必须在“工作时间片”内进行，无法提前结束当前的“休眠时间片”。同步休眠模式适用于无线低功耗传感网络等场合。

1.2.4 混合休眠

可以将同步休眠和异步休眠方式相结合，称之为混合休眠模式。异步休眠节点被唤醒后可以根据数据报文头中的标志标识选择切换到同步休眠模式或者保持异步休眠。节点在同步休眠模式的“工作时间片”内没有接收到同步休眠报文会自动切换为异步休眠模式。混合休眠模式时间片的划分如下图所示：



混合休眠示意图

上图中开始工作在异步休眠模式，通过异步休眠唤醒将模块唤醒进入“工作时间片 1”同时指定当前工作时间片采用同步休眠模式，在唤醒过程结束时刻就看成模块以及自动切换为同步休眠模式。在完成数据报文的交换后，由同步休眠报文指示“工作时间片 1”的结束时刻并且指定紧接着同步休眠“休眠时间片 1”的长度。在“休眠时间片 1”结束后立即开始异步休眠“工作时间片 2”，由于该时间片是的起始时刻同步的，可以立即进行数据报文交换而不需要异步唤醒过程。在“工作时间片 2”数据报文的收发结束后，会再次重新切换为异步休眠模式。混合休眠模式可以看作在同步休眠模式和异步休眠模式之间进行灵活切换，其最大的优势是兼顾了同步休眠的低功耗和异步休眠的健壮性，适合各种复杂的数据传输场合。

1.2.5 自主休眠

对于不需要参与路由、数据中继转发的叶子节点/终端设备来说，可以采用更长的休眠时间，称之为自主休眠。自主休眠的节点在需要进行数据传输时才打开射频进行无线数据传输，在数据传输结束时立即关闭射频模块进入休眠。自主休眠的节点仍然可以和网关/集中器进行双向可靠数据传输：上行可以立即发送给具有路由/中继能力的节点进行数据转发，具有极好的实时性；发往终端设备的下行数据会被具有路由/中继能力的节点进行缓存，在终端设备醒来时刻再向其发送。自主休眠的叶子节点/终端设备不需要和某个特定的具有路由/中继能力的节点进行绑定，并且可以在网络中任意移动。叶子节点/终端设备在需要数据传输时会自动即时寻找最佳的中继路由节点进行数据传输。

一般来说自主休眠的设备满负荷工作电流仅为几个微安，用纽扣电池供电便能够工作几年到几十年，非常适合低功耗人员定位、低功耗传感节点等应用。

2. WaveMesh 协议族

经过很多年的实际应用和经验积累，WaveMesh 协议针对不同的典型行业应用进行了优化，形成了一个协议族，目前协议族中包含的不同协议介绍如下文所述。

2.1 WaveMesh AMR 协议

WaveMesh AMR (Automatically Meter Read) 是针对于无线抄表、传感网络、智能农业、工业控制等行业应用推出的优化版本。协议定义了 2 种节点类型：集中器/网关 (ROOT) 和节点设备 (NODE)。这类应用的主要特点：网络由数量众多的 NODE 和一到多个 ROOT 组成，在任意 NODE 和 ROOT 之间可以进行双向实时数据通信，数据报文可以在 NODE 之间进行多次中继转发并最终到达目的地节点。网络拓扑为以 ROOT 为根的树状结构，对于多 ROOT 的网络树的根为多个。数据流有两个主要方向：上行和下行。由 ROOT 到 NODE 的数据流为下行，反之为上行。下行数据传输方式为单播、多播和广播；上行数据传输方式为单播。

WaveMesh AMR 又分为 PRO, STD 和 BASIC 三个版本以满足不同客户的需要：其中 PRO 和 STD 版本支持休眠，而 BASIC 不支持休眠；另外，PRO 支持下行路由。在下行路由的支持下，PRO 版本会更有效的支持下行单播数据发送，可以做到精确路由转发以便获得更低的节点功耗。STD 和 BASIC 版本对下行单播数据报文发送采用广播的方式，可以在广播的过程中重建路由，对网络拓扑的变化更敏感、网络更健壮。

2.2 WaveMesh CSN 协议

WaveMesh CSN (Cluster Sensor Network) 分簇传感网络是针对大规模超低功耗的移动传感节点的数据采集应用设计的优化版本协议，协议定义了 3 种设备类型：集中器/网关 (ROOT)、中继路由节点 (NODE) 和终端设备 (END DEVICE)。这类应用的主要特点：对 END DEVICE 的功耗要求非常苛刻，电流为几十微安甚至是几个微安，在不更换电池的情况下可以工作几年甚至几十年；在 ROOT 和 END DEVICE 之间实现双向可靠数据通信；NODE 组成网络的骨干，实现对上下行的数据报文的路由、中继和转发；为了减小上行数据传输延时，只允许 NODE 和 ROOT 进行很短暂的异步休眠或者不休眠；END DEVICE 不需要对其它节点的数据报文进行中继转发，可以进行长时间的自主休眠获得极低的功耗。网络拓扑为以 ROOT 为根的树状结构，对于多 ROOT 的网络树的根为多个。数据流有两个主要方向：上行和下行。由 ROOT 到 END DEVICE 的数据流为下行，反之为上行。下行数据传输方式为单播、多播和广播；上行数据传输方式为单播。

相对于全网所有节点都可以休眠的 WaveMesh AMR 网络来说，WaveMesh CSN 网络在牺牲少数骨干 NODE 的功耗的前提下，使得 END DEVICE 的功耗比 WaveMesh AMR 网络中的休眠节点的功耗要低上接近千倍。

2.3 WaveMesh BUS 协议

WaveMesh BUS 协议的设计目标是利用对等无线自组网络代替现 485 等总线的应用，数据可以从任意节点发出，广播到网络中的其它所有节点。将支持 485 接口的 WaveMesh BUS 无线模块直接驳接在原有的 485 总线接口上即可，不需要任何二次开发工作。该网络只有单一类型设备，数据传输采用统一的广播机制，没有上行和下行之分，网关也只是网络中的普通节点。网络拓扑为全连接的网状网络，所有的节点都可以休眠。WaveMesh BUS 协议最大的特点是支持**可靠**的广播：

1. 数据传输仅在两个建立连接的节点之间，不存在一点同时发送给多点的情况，也就是说基于单播的方式实现可靠广播；
2. 节点以主动的方式去获得广播报文，数据传输采用 4 次握手机制，其传输过程为单播，确保每个节点都可以可靠接收到广播报文；
3. 采用私有的碰撞避免算法，广播效率高、速率快。

WaveMesh BUS 协议可以轻松点对点、点对多点的星型无线网络（无线透明传输协议模块）进行升级，大幅提高网络的健壮性、覆盖范围和数据传输的可靠性，并且降低开发成本。

2.4 WaveMesh HOME 协议

WaveMesh HOME 是针对没有中心节点智能家居、智能楼宇等行业应用的优化协议版本。这类应用的主要特点：网络中有多个移动且功耗受限的控制设备如控制器、遥控器和网关；网络中有数量众多的受控设备；网络必须有保证有绝对的安全性和易用性。多个控制设备可以随时向网络中的受控设备发送控制命令，受控设备状态变化要同时上报给多个控制设备。秉承分布式组网的设计理念，WaveMesh HOME 网络中的所有设备都是平等的，没有中心节点，控制设备可以任意移动并且随时休眠，网络不需要进行初始化。网络拓扑为以控制设备为根的多棵树的重叠结构，并且根节点位置不固定。可以双向进行数据通信：控制设备发送给受控设备的数据流向称为下行；受控设备发送给控制设备的数据流向称为上行。下行数据传输方式为单播、多播和广播；上行数据传输方式为单播、多播和广播。

WaveMesh HOME 协议不仅仅能实现多个移动点对网络其它节点的控制，其设计理念是打造一个安全可靠、覆盖到任何一个角落的无线自组数据传输网络，可以承载更多的应用。比如，遥控器之间语音对讲、通过遥控器拨打电话，甚至实现互联网接入等。

WaveMesh HOME 协议连续两个下行命令之间需要有一定的时间间隔才能确保前一条命令不会被后一条命令所掩盖或者产生顺序颠倒，下行报文的处理时间可以达到秒级。

2.5 WaveMesh BUILD 协议

WaveMesh BUILD 是针对超大规模网络的智能楼宇等应用设计的专业版本，可以对网络中的任意节点进行精准安全控制。该网络在分布式移动自组网的基础之上增加了一个数据服务中心，实现对所有节点设备的认证、授权和控制等服务。移动控制设备如遥控器不能直接对网络中的受控节点发送命令，需要将命令发送给数据服务中心，经过数据服务中心的认证和授权后，再将控制命令下达给受控节点。网络拓扑为全连接的网状网络，数据服务中心和所有受控节点之间会建立精确路由。节点设备发送给数据服务中心的数据流向称为上行，反之为下行。下行数据传输方式为单播、多播和广播；上行数据传输方式为单播。

WaveMesh BUILD 协议可以向网络中连续发送下行命令，下行命令的处理时间为实际数据报文的发送时间可以达到毫秒级。相对 WaveMesh HOME 协议，WaveMesh BUILD 协议的下行数据吞吐量提高了近千倍。

2.6 WaveMesh RTLS 协议

WaveMesh RTLS 是针对大规模人员定位、仓储物流等应用推出实时定位协议，定位基于 RSSI 算法。由固定位置的无线节点构成网络的骨干，移动节点的位置通过到达多个固定节点的无线

信号强度矢量进行计算。该解决方案的特点：实时性高，定位速度快，移动节点仅需要发送一条报文就可以完成定位(1 ~ 5ms)；网络覆盖范围大，可以通过安放多个网关突破 255 级路由深度的限制；网络规模大，对移动节点和固定节点的数量没有理论限制，支持几十万点的庞大网络；定位精度高，如果一个移动节点无线信号覆盖范围内有 3 个以上的固定节点，就能够精确地计算出该移动节点的位置；移动节点的功耗极低，满负荷工作电流只有几微安，用纽扣电池能工作十年以上。网络拓扑为以网关/集中器为根的多根节点的树状结构。移动节点可以与网关/集中器实现双向通信，不仅仅是定位网络：上行数据报文可以由固定节点立即发送给网关，实时性好；下行数据报文可以被固定节点所缓存，在移动节点醒来时再对其发送。

2.7 WaveMesh MOB 协议

WaveMesh MOB 是针对应急通信、单兵战时通信等应用推出的优化协议，可以在任意两点之间建立路由链路进行点对点的数据通信，也可以进行群组或者广播通信。这类应用的主要特点：所有的节点都可以任意移动，任意两节点、多个节点之间可以进行双向和集群数据通信，网络中的所有节点是完全对等的。网络拓扑为全连接的网状网络，每个节点都会需要在需要时建立并维护到任意节点的路由。相对于点对多点有中心节点的星型网络，如公共移动通信网络基站+手机，WaveMesh MOB 网络中的数据报文可以根据需要在移动节点之间进行自动路由和数据转发，提高了网络的覆盖范围和健壮性，同时降低了移动节点的发射功率使得通信有更好的保密性。

2.8 WaveMesh ONE 协议

WaveMesh ONE 协议的目标是将不同版本的 WaveMesh 协议功能集成到一起，使得其能够有更好的通用性，覆盖更多的应用。WaveMesh ONE 协议仅定义一种设备类型，通过对协议的参数进行设置实现不同的行为模式，能解决更为复杂的实际应用。WaveMesh ONE 协议目前包括 WaveMesh AMR、WaveMesh CSN、WaveMesh BUS、WaveMesh HOME 和 WaveMesh RTLS 协议的功能，以后可能会将 WaveMesh BUILD 和 WaveMesh MOB 协议也会集成进来。

通用版本 WaveMesh ONE 协议在配置上比其它专用版本协议要复杂，协议栈的体积也会更大，因此设备成本会高一些，不适合初级用户。对于比较复杂的应用，往往需要将不同的专业版本协议的功能集成到一张网络中，选择单一专用版本协议不能很好的满足要求，这种情况下推荐选择 WaveMesh ONE 版本协议。另外，WaveMesh ONE 版本协议需要兼顾不同的应用场景的需求，在某些性能指标上可能不如其它专用版本协议。因此简单来说，在能使用专用版本协议的场景尽可能采用专用版本。

2.9 WaveMesh ITS 协议

WaveMesh ITS (Intelligent Transportation System) 是针对智能公交设计的分布式超大规模自组网络协议。网络的骨干由智能无线站牌组成，无线站牌分布在每个公交车站。这些无线站牌之间可以自动进行网络组建，在每条公交路线的上行和下行路线上的所有站点以及调度室之间建立带冗余路由的健壮数据链路。对于相邻车站之间的距离较远的情况，可能会超出无线信号的覆盖范围，这时网络会自动选择介于两车站之间的其它可能的无线站牌进行路由。采用 WaveMesh 特有的多径路由协议，充分利用无线网络的冗余在源节点和目的节点之间建立尽可能多的路由，并且路由可以自动旁路失效的无线站牌节点，因此整个网络会非常健壮。整个 WaveMesh 公交网络没有中心节点，也不需要网络进行全网初始化，部分网络瘫痪基本不会对剩余的网络产生影响。

3. WaveMesh 解决方案

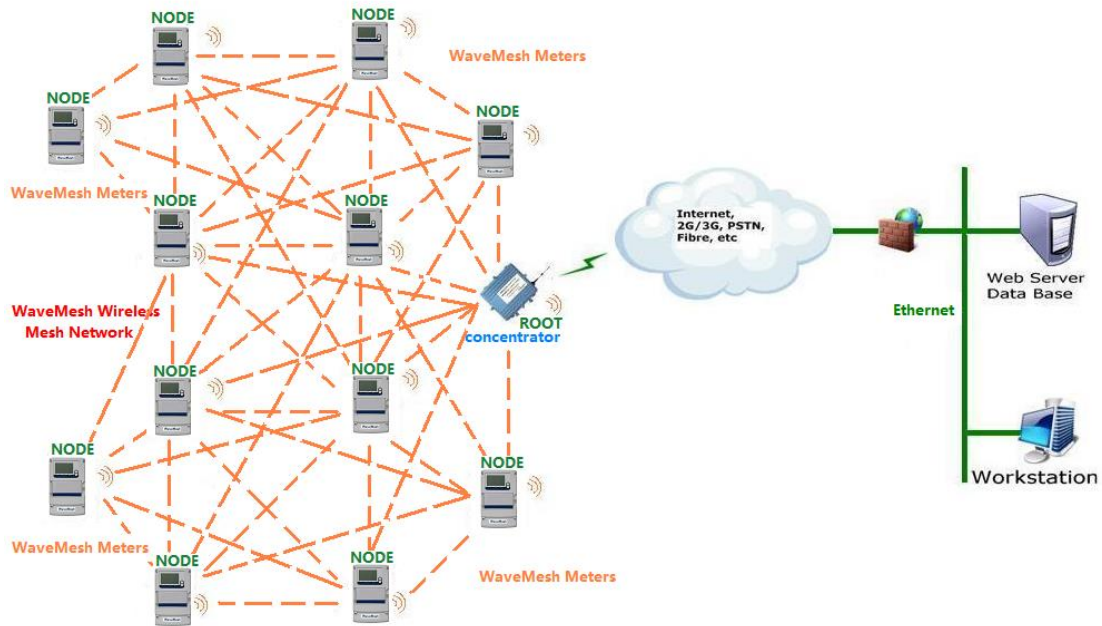
选择内嵌 WaveMesh 协议的无线自组网模块或者是 WaveMesh 协议的产品，可以迅速组建专业的无线自组网络解决方案，不要求用户有无线通信、自组网协议等专业知识。现阶段成熟的 WaveMesh 解决方案如下文所述。

3.1 WaveMesh 智能电表无线集抄方案

由于电表取电很容易，可以对微功率无线模块提供几十毫安的持续电流，因此电表集抄应用对无线模块的功耗要求不高，一般情况下不需要无线模块进行休眠。智能电表远程集抄组网应用的特点和要求有：

1. 不需要考虑功耗限制，无线设备可以全天候工作；
2. 实时双向数据通信，需要远程缴费充值、拉合闸，分时段调整电价，实时监控线损等；
3. 现场零配置，能够自动划分网络（台区）的边界，自动分配频段资源避免相邻网路冲突；
4. 易于升级维护，将不能正常工作的无线模块拔下插上新模块就能立即正常工作；安装新电表后不需要进行手工配置，上电就能立即加入网络并进行数据传输；
5. 对抄表成功率的要求，日抄通成功率应该接近 100%。

将内嵌 WaveMesh AMR 自组网协议的 NODE 模块与智能电表驳接、ROOT 模块与集中器驳接即可完成 WaveMesh 智能电表无线集抄系统。该方案中智能电表具有路由和数据中继转发的能力，因此网络中不需要进行专门进行数据中继转发的采集器设备。网络的设备构成：电能表 + 集中器，基本组网示意图如下：



WaveMesh 智能电表无线抄表方案示意图

WaveMesh 智能电表无线抄表方案具有的特点有：

1. 高实时性：可以在几秒钟之内完成上千块智能电表的数据集抄，在秒级时间内完成对远程缴费充值、拉合闸的操作；可以实时进行线损、偷漏电的监控，对负载进行精确实时度量；
2. 高成功率：单次全网集抄的成功率在没有外来干扰情况下可以接近或达到 100%，每天可以对网络进行几千次的全网抄读，在没有设备故障的情况下可以确保 100%日抄通成功率；
3. 高可靠性：采用跳频、多径路由、智能碰撞避免、纠错编码、错误重发、自动频偏纠正、自适应速率等机制，能够在最大限度保证数据报文可靠、安全到达目的节点；
4. 安装成本低：模块即插即用，能自动划分台区边界、自动分配频点、安装时不需要对电表或者无线模块做任何人工设置，和普通电表的安装方法相同；
5. 维护成本低：无线模块固件可以有效抵抗电压不稳、电磁干扰、晶体老化等因素，确保长年累月稳定运行，可以做到免维护；另外，模块的更换或新增电表的安装不需要人工干预，维护起来和普通电表没有差异。

另外，对于国外的智能电表集抄系统往往可能要求增加用户室内的用电量显示设备，室内显示设备可以准确即时反映出户外的仪表的数值等信息，采用电池供电对功耗有苛刻的要求。可以将每个室内显示设备与一个 WaveMesh AMR ROOT 模块驳接，整个智能电表无线网络有一半数量的 NODE 节点和一半数量的 ROOT 节点组成，多个 ROOT 节点之间采用协作模式。在室内显示设备需要更新户外仪表的数值时，给所连接 ROOT 模块供电，并向网络中发送指定单点的抄读指令，在得到户外仪表的反馈时可以立即将 ROOT 模块断电。WaveMesh AMR 网络

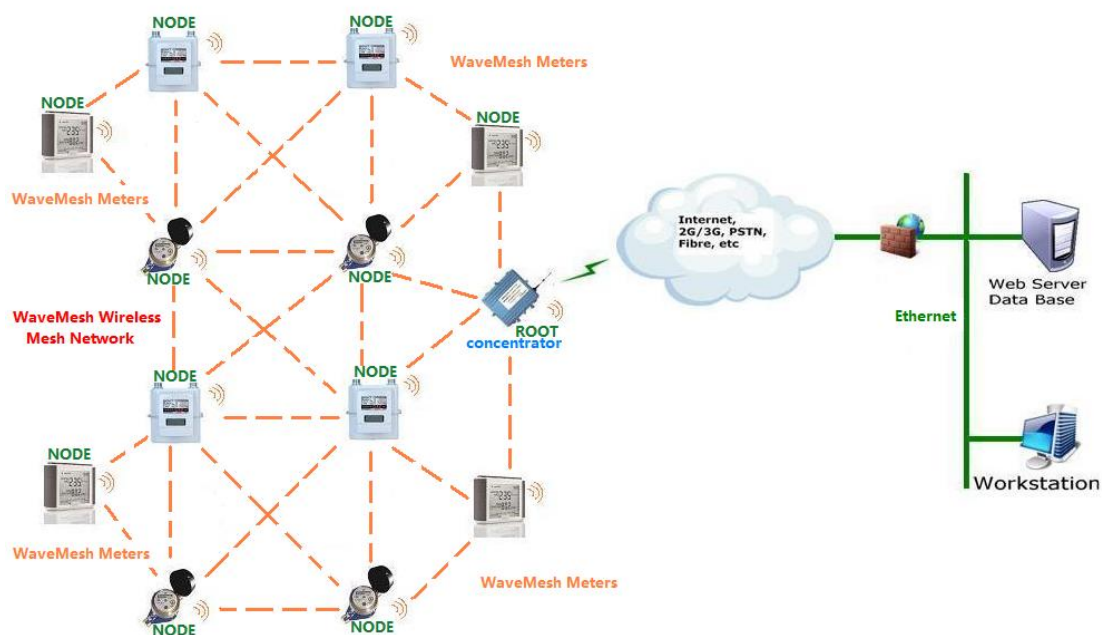
可以保证多 ROOT 模块间的协同工作，不会影响正常的远程数据集抄，不需要电表和集中器设备增加额外的协议。

3.2 WaveMesh 低功耗智能水、燃气、热表无线集抄方案

对于燃气、水和热力表这类不方便接入市电的仪表进行集抄，按照国家标准《住宅远传抄表系统》的要求，在依靠电池的供电的情况下，系统应该能够正常工作 6 年以上。这就对设备功耗提出了非常苛刻的要求，根据目前实际市场上电池的能力和价格，一般需要设备的平均正常工作的电流在 30uA 以内。这类应用的特点有：

1. 网络的规模为数百节点，一般情况下需要每月抄 1-2 次对网络所有仪表进行抄读；
2. 双向数据通信，可以对全部、部分或者特定节点进行控制如远程拉合闸等；仪表在遇到紧急突发情况可以主动上报报警信息；
3. 功耗要求苛刻，在不换电池的情况下需要正常工作 6 年以上；
4. 对系统、安装和运营成本的考虑，网络中最好没有市电供电的设备如采集器等，仅通过电池供电的仪表自身组建网络，实现远程自动抄表的目的。

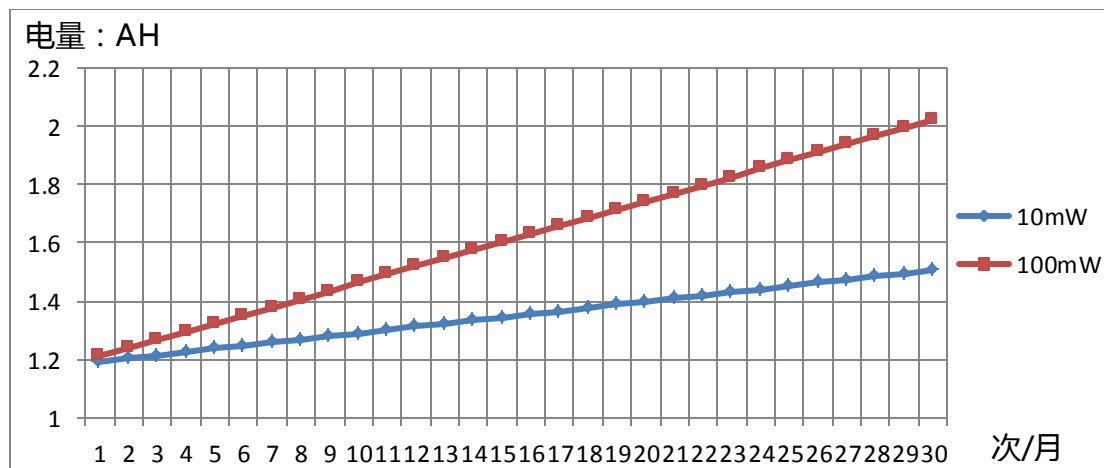
只需要将采用内嵌 WaveMesh AMR NODE 协议的无线自组网模块与仪表相连，开启模块的异步休眠功能即可轻松实现低功耗智能水、燃气、热表无线集抄。该方案中不需要市电供电的路由、中继设备，仅靠仪表自身就能够组建自主网络。可以通过安装固定集中器设备进行远程抄表，也可以通过移动的手持机进行全网集抄。无线仪表和集中器都可以进行休眠，因此全网所有设备都可以采用电池供电。设备在安装时不需要手工配置路由，即装即用，安装和维护过程和传统仪表没有区别。组网示意图如下所示，仅需要仪表和集中器两种设备：



WaveMesh 低功耗无线抄表方案示意图

仪表采用异步休眠模式，可以获得非常小的待机电流 $\sim 20\mu\text{A}$ ，待机时整个网络处于静默状态，不会发送任何数据报文，安全性和抗干扰能力强。所有仪表上电即能工作，不需要网络初始化过程。WaveMesh 异步唤醒技术可以在极短时间内唤醒全网或者指定节点，在任何时刻都可以对全网或者指定仪表进行实时抄表或者控制。在全网数据集抄时，唤醒所带来的延时是固定的和网络规模无关。WaveMesh AMR 网络会根据仪表的剩余电池电量优化路由，自动平衡整个网络的节点的负荷。

采用 10mW 和 100mW 的 WaveMesh AMR 无线模块，发射电流分别为 30mA 和 100mA ，接收电流相同为 22mA ，休眠电流相同为 $0.5\mu\text{A}$ 。假设采用异步休眠睡醒比为 1000 ，可以获得 $22.5\mu\text{A}$ 的待机电流。对于 200 个点的网络低功耗抄表网络来说，WaveMesh 抄表方案抄读到全网所有节点的数据的典型时间为 10 秒 ~ 20 秒。按照最坏情况计算，正常运转 6 年每月全网抄表 1 次到 30 次频率， 10mW 和 100mW 无线模块所需要消耗的电量如下图所示：



WaveMesh 低功耗无线抄表消耗电量 VS 抄表频率曲线

由上图可以看出，在不牺牲无线模块的发射功率（ 100mW ）下对于 200 个节点的网络，每天远程抄读一遍的频率满负荷工作，按照最坏的情况估计，只需要 **2AH** 的电池供电便可以正常工作 6 年。

WaveMesh 低功耗无线抄表方案具有的特点有：

1. 全网所有节点都可以休眠，不需要市电供电的采集器参与组网；
2. 不需要牺牲无线发射功率，采用 100mw 发射功率的模块仍然可以获得极低的功耗；
3. 单次抄表所需功耗极低，实际应用中可以几乎不用考虑抄表的频率；
4. 抄表实时性好，在数秒内完成全网唤醒、路由建立、下行广播、上行集抄的全过程；
5. 实时突发双向数据传输，在任意时刻都可以对全网或指定仪表进行实时抄读和控制；
6. 抗干扰能力极佳，休眠仪表被误唤醒的概率为 0 ，不用担心干扰导致的功耗上升；
7. 数据传输可靠性高；安装和维护简单，不需要人工干预；设备成本和运营成本低；

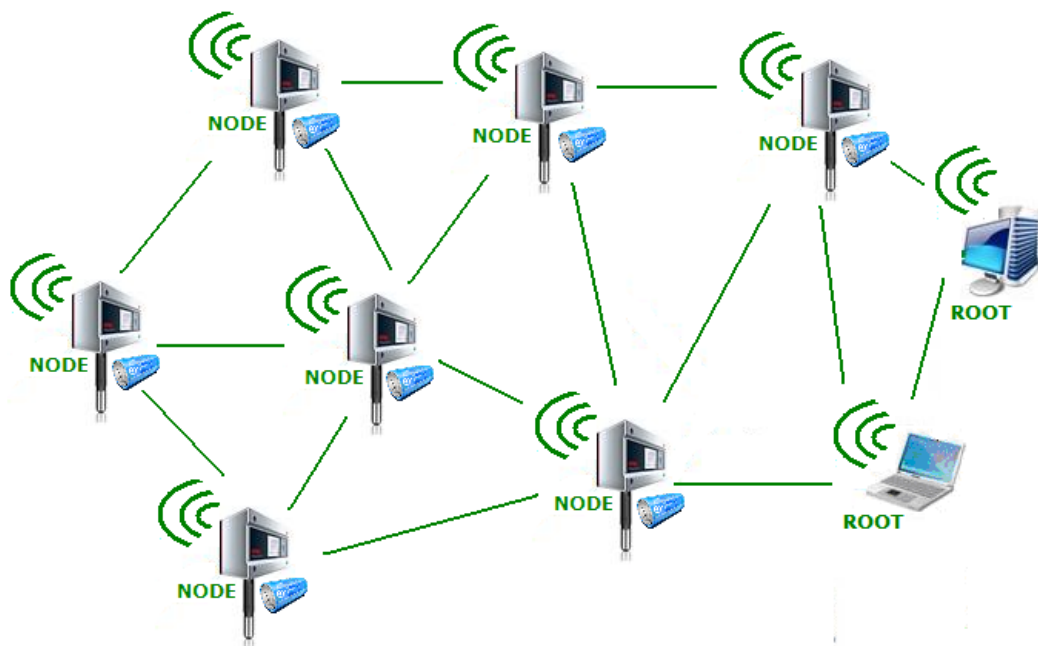
8. 允许手持机和固定集中器同时进行网络控制、数据抄读，将运营风险降为 0。

3.3 WaveMesh 低功耗全休眠传感网络方案

低功耗全休眠传感网络是针对于需要周期性地对网络中所有传感节点的数据进行实时数据采集的应用场景。所有节点依靠电池供电，所有节点都必须休眠，并且网络中没有专门作为路由中继器的设备，如野外作业、煤矿安全等行业。这类应用的需求有：

1. 所有节点都采用电池供电，所有节点都必须休眠，休眠节点需要担任数据中继和转发工作，对节点功耗要求比较苛刻，一般满负荷的工作电流为 1 个毫安以下；
2. 数据采集时间间隔较短而且具有周期性，其周期一般为几十秒钟~几分钟；
3. 数据实时性要求高，需要即时得到全网所有传感节点的数据，特别是监控报警应用；
4. 传感节点可能会具有移动性，网络拓扑结构会不断变化。

对于此类应用，可以采用内嵌 WaveMesh AMR 协议的 NODE 模块与传感器驳接，ROOT 模块与集中器/中心点驳接，所有节点都使能休眠。可以采用同步休眠模式或者混合休眠模式达到省电的目的，同步休眠时间片的长度可以设置为实际数据采集的时间间隔。WaveMesh AMR 协议可以保证在极短的时间内完成全网所有传感节点的数据采集工作（200 个节点网络典型时间为 3s~5s），在两次数据采集的间隔时间内所有节点都处于休眠状态，将节点的功耗降至最低。混合休眠模式可以提高网络的健壮性，节点在没有正确收到同步休眠报文时会自动进入异步休眠模式仍然可以获得较低的功耗。另外，可以在网络中安放多个 ROOT 模块，增加网络的出口带宽、缩短数据采集所用时间，进一步减小传感节点的功耗。其网络示意图如下所示：



WaveMesh 低功耗全休眠无线传感网络示意图

WaveMesh 低功耗全休眠传感网络解决方案的功能和特点有：

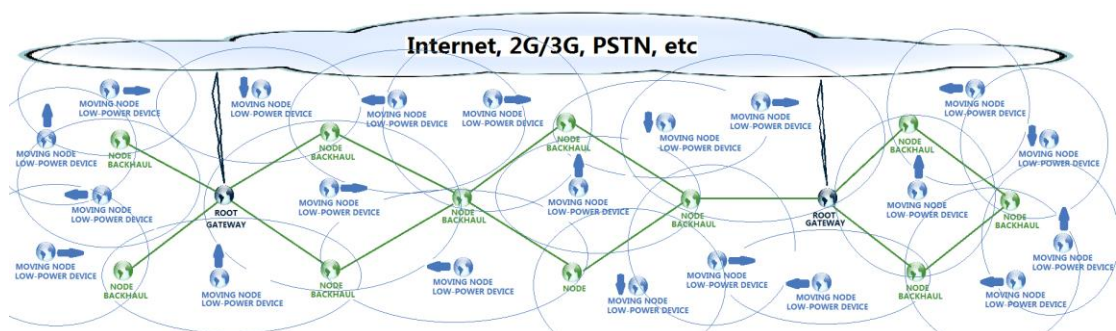
1. 安装、维护和部署成本低：设备节点上电就能工作，不需要任何人工干预，所有节点可以任意移动；网络可以长期可靠稳定运行，不需要对网络做任何的日常维护工作；
2. 功耗低：网络没有初始化过程，协议对整个数据采集过程做了充分的优化，节点的功耗几乎能达到理论的极限，节点的电流低至几十微安到几毫安（和数据采集时间间隔有关）；
3. 健壮稳定的网络：采用多径路由协议，路由在每次数据采集时重新建立，适合拓扑结构快速变化的移动节点组网的应用，路由的建立和维护在不需要占用额外的开销；
4. 可靠性高：包括广播、多播和单播在内的所有的报文都采用 5 次握手方式进行可靠传输，异步唤醒采用重复发送报文的方式，节点被误唤醒的概率几乎为零，在有干扰的情况下也不会导致节点的功耗上升。

3.4 WaveMesh 超低功耗大规模传感网络方案

超低功耗大规模传感网络可以实现超大规模（上万点以上）、超低功耗（电流几个微安）传感节点的数据抄读。与低功耗全休眠感网络不同，超低功耗大规模传感网络中允许有不休眠的路由器、中继器设备作为网络骨干，传感节点不需要参与数据转发和路由中继。传感节点可以获得极低的功耗，一般只有几十甚至几个微安，用纽扣电池供电也能工作 10 年以上。按照相同的数据采集时间间隔，超低功耗大规模传感网络中传感节点的典型功耗是对全休眠传感网络中休眠节点的千分之一。典型的应用场景有冷供应链、医药、医疗、烟草、楼宇各种传感数据采集、监控等。这类应用的需求有：

1. 对传感节点的功耗极为苛刻，平均工作电流为几十个微安甚至几个微安；
2. 网络规模比较大，需要数量众多的传感节点进行数据监控；
3. 传感节点往往具有移动性，如病人的监护；
4. 数据流以上行为主，下行为辅的非对称数据传输。

对于此类应用可以采用 WaveMesh CSN 协议，将 END DEVICE 无线模块与传感设备驳接，ROOT 无线模块与数据采集中心/集中器驳接，NODE 无线模块作为网络的骨干实现上下行数据的转发、中继和路由。其组网示意图如下所示：



WaveMesh 超低功耗大规模无线传感网络示意图

WaveMesh 超低功耗大规模无线传感网络解决方案的特点有：

1. 传感节点的功耗极低，每次数据传输只需要几毫秒，平均工作电流在几个微安以内；
2. 网络中所有节点都可以任意移动，路由动态发现和维护，没有额外开销；
3. 分布式的网络，没有中心节点，不需要网络初始化过程，节点上电后立即能够工作；
4. 支持超大规模的网络，没有节点数量限制，可以安放多个集中器/网关设备将网络无限扩展，可以突破 255 级路由深度的限制；
5. 可以进行双向可靠数据传输，上行具有很好的实时性；
6. 全网自动分发实时时钟信息到所有节点，仅需要极小的开销；
7. 在数据采集的同时可以实现移动节点的定位。

3.5 WaveMesh 超低功耗无线定位方案

对于仓储物流、报警定位等此类的应用需要在一个较大的范围内管理成千上万个移动目标节点，管理中心需要及时了解每个移动点的位置和状态信息。移动节点需要按照较短时间间隔向管理中心报告位置和状态信息；中心节点也可以向每个移动节点发送数据报文，进行双向数据通信。WaveMesh 超低功耗无线定位方案基于 WaveMesh RTLS 协议，定位算法基于无线信号强度。管理中心位置解算服务器根据一个移动点的数据报文到达多个固定点的信号矢量，进行移动点三维坐标的计算，通过对多个时间点的坐标的位移进行滤波和修正，可以得到较为准确的移动点的位置。该方案可以实现大规模人员定位、仓储物流物质管理等应用，移动点也可以作为有源 RFID 来应用。WaveMesh 超低功耗无线定位网络中 END DEVICE 无线模块作为移动定位点；ROOT 无线模块与后台位置解算服务器相连；由 NODE 无线模块作为网络的骨干实现上下行数据的转发、中继和路由。其中 NODE 模块作为网络中的固定参照点，位置坐标固定且已知不能任意移动。这类应用的需求有：

1. 对移动节点的功耗极为苛刻，平均工作电流仅为几个微安；
2. 网络规模比较大，可以容纳成千上万个移动节点；
3. 数据流以上行为主，下行为辅的非对称数据传输，对上行实时性要求较强；
4. 对定位精度要求一般为 1 米左右；

WaveMesh 超低功耗大规模无线定位网络结构和 WaveMesh 超低功耗大规模无线传感网络类似。WaveMesh 超低功耗大规模无线定位方案的特点有：

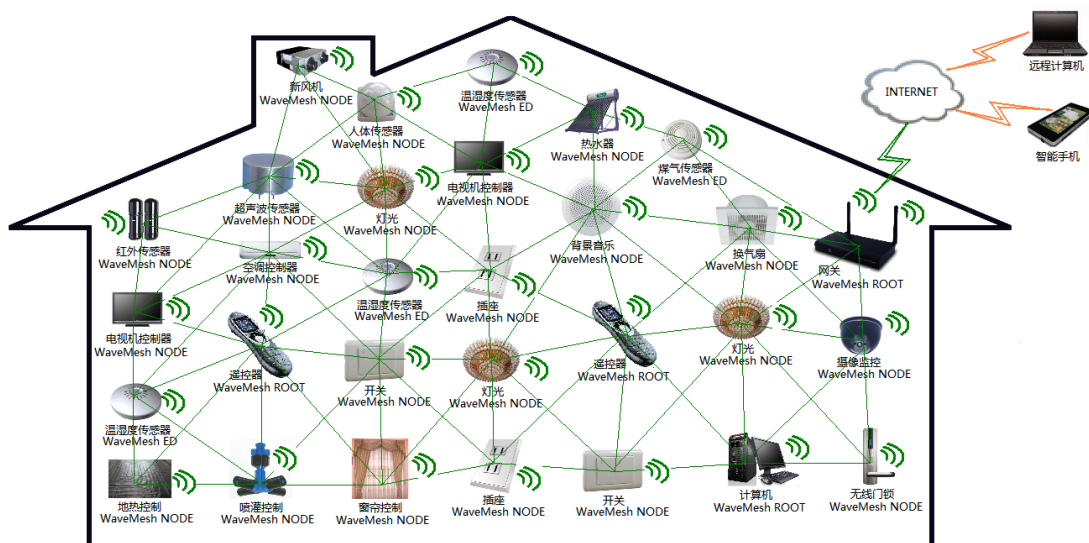
1. 定位时间快、精度高：移动节点可以向多个固定节点**同时**发送报文（不是分别发送多遍），实现一次定位解算的时间为 1~5 毫秒；同一报文同时被多点接收可以有效降低定位误差，通过 3 个以上的固定节点接收到的能量强度就能够精确地计算出移动节点的位置，定位误差在 1 米以内；

2. 移动节点的功耗极低，满负荷工作电流只有几微安，用纽扣电池能工作十年以上，可以作为有源 RFID 使用；
3. 支持超大规模的网络，没有节点数量限制，支持 255 级路由深度；
4. 可以进行双向可靠数据传输，上行具有很好的实时性；
5. 全网自动分发实时时钟信息到所有节点，仅需要极小的开销；
6. 另外，还具有 WaveMesh 协议其它的优点。

3.6 WaveMesh 分布式智能家居、楼宇方案

WaveMesh 分布式智能家居、楼宇解决方案其旨在于提供一种安全、可靠并且及其易用的多点控制多点的无线分布式移动自组网方案，使得完全没有任何无线、网络技术基础的使用者都能够容易安装和使用。该方案在 WaveMesh HOME 协议的基础之上，规定了完备的应用层协议，使得任何采用 WaveMesh 协议的不同厂家的产品之间都可以互联互通。该方案不仅仅可以实现对家、办公环境中的电器、开关、插座、门窗等设备进行精准控制，而且可以作为覆盖家、办公区域的无线网络，可以承载更多的上层应用比如语音、数据业务等。

WaveMesh 分布式智能家居、楼宇解决方案中定义了 3 类设备：控制设备如遥控器和网关等；受控设备如开关、插座、门窗等；传感设备如温湿度、亮度传感器等。其中控制设备可以采用电池供电并且可以在网络中任意移动，有功耗要求；受控设备采用市电供电位置相对固定，不需要考虑功耗问题；传感设备往往采用电池或者光伏电池供电，需要长年累月正常运转，对功耗的要求比较苛刻。控制设备、受控设备和传感设备在 WaveMesh 分布式智能家居、楼宇网络中可以分别作为 WaveMesh ROOT、NODE 和 END DEVICE 无线节点。ROOT 并不是网络的中心节点可以随时休眠和任意移动；END DEVICE 采用自主休眠每隔一段时间间隔上报一次传感器数据可以确保其极低的功耗。其组网示意图如下所示：



WaveMesh 分布式智能家居、楼宇组网示意图

WaveMesh 分布式智能家居、楼宇解决方案的特点有：

1. 实现家庭或者办公环境的无线自组网络，除了实现对电器等设备进行控制之外，还可以承载丰富的上层应用；
2. 网络中没有中心节点：控制器可以有多个，并且任意移动和休眠；可以实现多对一、一对多、多对多的可靠控制；
3. 安全健壮的网络：采用 AES-128 位加密传输、跳频、多径路由、智能碰撞避免、纠错编码、错误重发、自动频偏纠正、自适应速率等机制，能够在最大限度保证数据报文可靠、安全到达目的节点，有效防止伪造报文、篡改攻击等确保无线网络的安全；
4. 安装、改造成本低：智能开关、插座等设备的安装和普通的开关、插座没有不同；采用无线控制不需要对原有供电线路进行改造，节省布线成本；
5. 简单易用：注重用户的体验，提供极为简单的傻瓜化使用方式，对智能设备的设置仅需要轻触一下触摸按键便可以完成，屏蔽了背后复杂的处理过程。
6. 人性化设计：可以对每个智能设备根据自己的喜好起一个好听的名字，没有复杂难记得字符，贴心入微；
7. 超大规模的网络：没有节点数量限制，支持 255 级路由深度，覆盖几乎所有可能的人造建筑，将无线信号覆盖到任何角落；
8. 全无线的网络：所有设备之间通过全无线进行连接，可以极大地减少电线、建材的使用，绿色环保，并且降低了装修的成本。

3.7 WaveMesh 专业智能楼宇方案

WaveMesh 专业智能楼宇方案基于 WaveMesh BUILD 协议，与 WaveMesh 分布式智能家居方案最大的不同是在分布式移动自组网的基础之上增加了一个数据服务中心，实现对所有节点特别是控制器设备的认证、授权等服务，可以对网络中的任意节点进行精准安全控制。控制命令的时间间隔可以达到毫秒级以上，可以在 1 秒钟之内向网络中发送几百上千条控制指令。所有控制命令都按照精确路由的方式准确无误的到达目的节点。WaveMesh 专业智能楼宇方案的网络拓扑结构是以数据服务中心为全连接的网状网络，网络中包括数据服务中心在内的任意两个节点之间都会建立双向精确路由，多径路由充分考虑网络的链路冗余，最大程度减小网络的拥塞。

WaveMesh 专业智能楼宇方案同样中定义了 3 类设备：控制设备、受控设备和传感设备。其中控制设备可以采用电池供电并且可以在网络中任意移动，有功耗要求；受控设备采用市电供电位置相对固定，不需要考虑功耗问题；传感设备往往采用电池或者光伏电池供电，需要长年累月正常运转，对功耗的要求比较苛刻。控制设备、受控设备和传感设备可以分别作为 WaveMesh BUILD 网络中的 ROOT、NODE 和 END DEVICE 无线节点。WaveMesh 专业智能楼宇方案除了具有 WaveMesh 分布式智能家居、楼宇解决方案的特点外，还有以下优势：

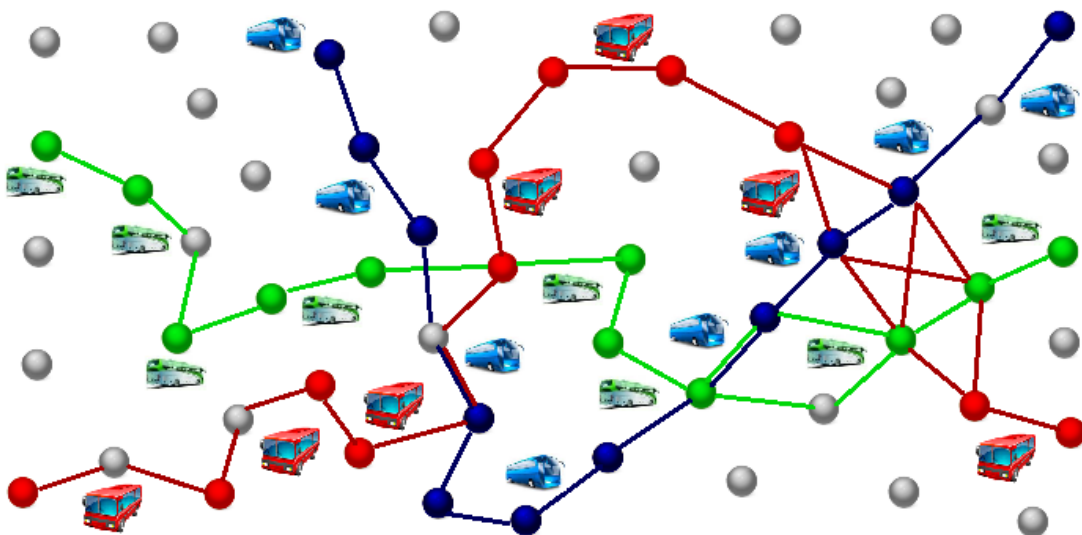
1. 实时双向大数据量数据传输：网络中任意两个节点之间都会建立双向精确路由，上下行数据传输均采用单播方式，在 1 秒钟内可以在上下行数据链路发送几百上千条数据报文；
2. 极为安全的无线网络：通过数据服务中心对网络中的节点进行认证、授权，无线数据传输采用 AES-128 位动态密码加密；

3.8 WaveMesh 智能公交方案

WaveMesh ITS 作为超大规模无线网状网络协议可以将一个城市的所有的公交车站利用微功率无线模块组成一张独立的城域网，可以在不需要卫星定位技术和无线公网接入的支持下实现公交智能化。在地震、战争等特殊时期这张分布式的公交城域网还可以作为保密通信等特殊用途。WaveMesh 智能公交方案独立网络安全、健壮；设备成本低廉；维护简单；运行几乎零成本。该方案可以提供以下功能：

1. 运营调度：在公交调度室内实时显示每条路线上的公交车辆的问题和行车情况；
2. 实时到站预报：让等车的乘客在任意车站站台及时了解最近的公交车所在的位置；
3. 车辆定位：以可以通过智能站牌对移动的车辆进行实时定位，不依赖于卫星定位系统；
4. 即时信息服务：智能站牌可用于发布各类公共信息；
5. 站台广告服务：通过 WaveMesh 公交城域网对沿街的车站广告牌内容进行自动更新；
6. 广阔的应用空间：WaveMesh 公交城域网可以作为独立的信息传输的平台，其设计充分考虑了将来可能的升级应用。

WaveMesh 公交网络的示意图如下所示：



WaveMesh 公交网络示意图

该图中的每一个圆点代表一个公交车站牌，用红、绿、蓝三种颜色代表三条公交线路，灰色的圆点代表其他路线的站台。WaveMesh 公交网会自动建立每条路线的从起始调度室（始发站）

到结束调度室（末尾站）之间的无线通信链路，在相邻的车站之间会智能利用尽可能多的冗余站点进行路由，以提高链路的稳定性。公交车在行驶时，车载设备会自动向途径的车站报告车上的信息，站台也会向车辆发送即时的路况和天气预报等信息。在车站收到车辆上报的数据信息后，会根据信号强度计算出车辆的位置信息，并向下一车站进行发送。下一车站在收到该数据信息后，会继续向发转发，直到到达最后一站或者调度室。进行信息转发的站点就会知道车辆的具体位置、速度等信息，通过车站智能站牌可以显示路线中即将要到站的车辆位置和预计到达车站的时间。在调度室内很容易监控线路上所有车辆的行车信息，交通状况等等，并且可以通过 WaveMesh 公交网向车辆发送即时的调度命令等信息。

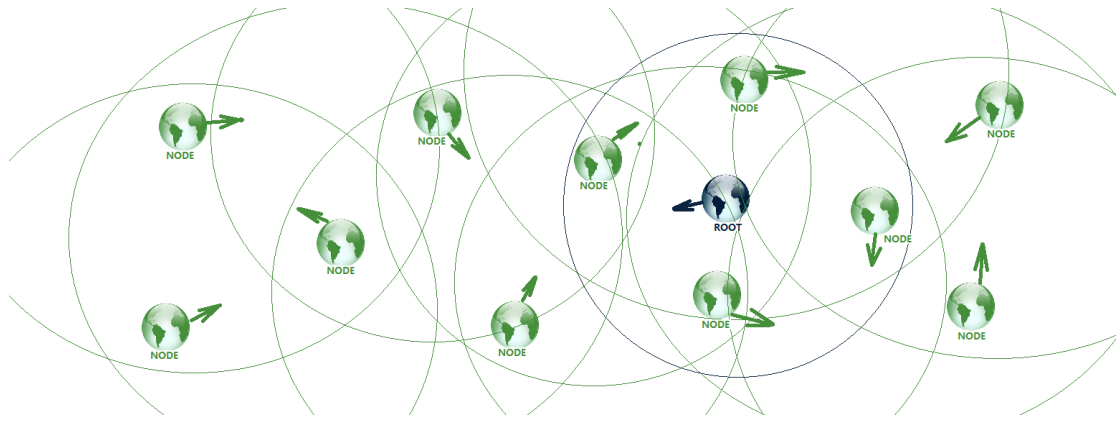
WaveMesh 无线智能公交网方案的优势有：

1. 设备成本低廉：设备成本仅为相对采用 GPS/3G 的智能公交方案的三分之一或更低；
2. 部署简单：自动进行路由的建立和维护，因此不需要对智能站牌、车载无线模块进行复杂的手工设置，不需要对路由和网络进行人工定期维护；
3. 精确到站预报：智能公交站牌和调度室可以准确即时获得线路上所有的公交车的位置。
4. 没有运营成本：WaveMesh 智能公交网络投入使用后不需要任何运营成本；
5. 网络可以任意扩展：分布式自组网络具有优异的可裁剪性，公交线路可以随意扩充。

3.9 WaveMesh 分布式移动自主通信方案

WaveMesh 分布式移动自主通信网络针对于其应用场景包括团队野外作业、救灾、车队、战时网络、应急网络等设计的解决方案。网络中的所有节点都可以按照各个方向随意移动，需要在任意两节点、多个节点之间实现双向和集群数据通信。该应用对网络路由的自愈性和数据链路的健壮性有很高的要求；另外，还要求网络有尽可能大的覆盖范围，要求网络有很高的路由中继深度。此类应用对无线自组网协议提出了很高的要求，经过多年的潜心研究，在攻克很多技术难题之后，得到了近乎完美的 WaveMesh MOB 协议，这也是 WaveMesh 协议最早的设计初衷。

WaveMesh 协议本身就是针对移动自组网所设计的，是完全分布式的网络，采用私有多径路由协议。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 协议能够支持 255 级路由深度，使得网络有极大的覆盖范围。其组网示意图如下所示：



WaveMesh 分布式移动自主通信网络

WaveMesh 分布式移动自主通信方案的特点有：

1. 链路稳定：WaveMesh 协议能够在网络拓扑结构不断变化、节点快速移动的网络中，在任意两点、多点直接建立和维护稳定的数据链路；
2. 协议开销小：无线资源对于无线移动自组网来说是极为宝贵的资源，由于节点间的相对位置不断变化，需要尽可能减小路由维护的开销、尽可能压缩数据报文头，把有限的无线资源用于有用的数据传输。WaveMesh 协议设计上一直把减小协议开销放在首位，精心设计了路由协议、碰撞算法、报文的数据帧头等，解决了很多看似几乎不可能实现的问题，将协议的开销降到最低；
3. 吞吐量高：WaveMesh 协议能够充分利用路由冗余，在多条路径同时发送数据，即使经过多级中继转发后，数据链路也能保持最佳的吞吐量；
4. 无需等待：没有网络初始化时间，真正即时网络，设备上电后就能工作；
5. 网络健壮：路由实时动态自动建立和维护，不需要人工干预，采用多种有效抵抗外来的无线干扰；
6. 网络规模大：WaveMesh MOB 支持 255 级路由深度，成千上万点节点的网络规模；
7. 应用灵活：支持点对点、多点群组间的实时数据传输业务。

4. WaveMesh 实际应用案例

WaveMesh 协议凭借在网络规模、吞吐量、功耗、移动组网、配置灵活、开发难度低和设备成本低等诸多明显优势，已经服务于国内外的不同行业，并且在某些应用领域处于领导者的位置。下面对现有的实际典型应用进行了简单阐述。

4.1 国家电网智能电表无线抄表

国家电网在 1997 和 2007 年推出了智能电表与无线、载波模块本地通信 645 规约；在 2009 年推出了集中器与无线、载波模块本地 376.2 等规约；并在 2013 年初对上述规约进行了补充

说明。国家电网在规约中明确说明了无线模块的尺寸、引脚定义以及通信协议。国家电网规定的协议有个最大的特点是协议不对称，无线抄表网络必须完成 645 规约和 376.2 规约的转换。另外，国家电网智能电表集抄诉求能够自动判断台区的边界、自动选择频点、现场零配置。

针对国家电网的无线抄表的要求，在 WaveMesh AMR 智能电表集抄方案的基础之上增加了对 645 和 376.2 协议的支持。在集中器侧，采用 WaveMesh ROOT 无线模块与国网集中器设备驳接，两者之间采用 376.2 协议进行通信；在智能电表侧，采用 WaveMesh NODE 无线模块与电表设备驳接，双方采用 645 协议进行通信。对于 WaveMesh 模块无线空口，下行数据帧采用 645 帧结构，上行数据帧采用 376.2 帧结构。

WaveMesh 国家电网智能电表集抄方案有以下优势：

1. 标准化协议接口：WaveMesh ROOT 无线模块与国网集中器之间不需要私有扩展协议；
2. 自动台区边界：WaveMesh ROOT 无线模块上电后可以从国网集中器获得所管辖台区中所有电表的地址列表，只有在列表中的电表才可以得到授权加入网络；
3. 自动频点选择：WaveMesh ROOT 无线模块会自动选择比较干净的无线信道，在检测到与相邻台区频点冲突或者频点污染后会自动避让；
4. 真正零配置：WaveMesh NODE 无线模块在上电后会自动搜索所在的台区自动加入网络，当台区的频点发生变化后，会自动进行频点的切换；
5. 免维护：WaveMesh 协议可以保证无线网络长年累月正常工作，完全不需要人工干预；
6. 设备成本低廉：WaveMesh ROOT 无线模块并不是网络的中心节点，不需要去计算和维护整网的路由信息，仅需要 16K 程序空间（包括电表地址列表存储空间）、几百字节内存既可，而集中式的解决方案中心节点模块需要硬件资源是 WaveMesh 协议的十倍以上；
7. 抄表时间短、成功率高：只需要数秒钟就可以完成上千点网络规模的电表的集抄，每天可以对网络进行几千次的抄读，抄表成功率几乎就是 100%；抄表时间短的意义在于可以对用电情况进行实时的监控，是构建智能电网的基石。

4.2 国外智能电表无线抄表

对于欧洲等国家的智能电表的集抄除了频段要求与国网的的不同之外，最大的不同之处在要求增加用户室内的用电量显示设备，室内显示设备可以准确即时反映出户外的仪表的数值等信息，设备基本采用电池供电，对功耗有苛刻的要求。对于室内显示设备 WaveMesh 协议提供的解决方式是：室内显示设备作为网络中的 ROOT 节点，智能电表作为 NODE 节点，集中器/远程抄读器作为 ROOT 节点。整个无线网络有一半以上数量 ROOT 节点、剩下的 NODE 节点，多 ROOT 节点之间采用协作模式。

室内显示设备作为网络中的 ROOT 模块平时可以被下电不需要消耗任何功耗，在需要更新户外仪表的数值时再上电。鉴于 WaveMesh 网络零初始化的优势，在 ROOT 模块上电后可以立即

向网络发送户外电表的抄读指令，在得到户外仪表的反馈时可以立即将 ROOT 模块断电。由 WaveMesh 协议自动保证网络中多 ROOT 间的协同工作，室内显示的功能对远程仪表抄读功能没有任何影响，更不需要电表、集中器设备和模块之间有额外的附加协议。

WaveMesh 国外电网智能电表集抄方案有以下优势：

1. 完美解决室内显示问题：室内显示设备作为网络的一个节点和户外的仪表之间可以进行多跳数据传输没有距离限制，降低了施工难度；室内显示设备的功耗极低，无线模块每次更新数据仅需要工作几到几十毫秒，其它时间可以完全下电；
2. 开发成本低，通用性好：对现有电表和集中器不需做任何协议修改，WaveMesh 模块经过简单配置就可以支持任何可能的应用层数据帧结构，不需要开发工作；
3. 设备成本低廉：分布式协议栈体积小，对硬件资源的要求不高。

4.3 智能燃气表和水表无线抄表

受天然气和水价格浮动的因素等影响，预付费方式已经不能满足智能燃气表和水表现有的需要，这些行业近些年对远程抄表的需求很迫切。不过，到目前为止智能燃气表和水表行业还没有出台远程抄表的行业协议标准。WaveMesh 低功耗无线抄表方案在功耗、实时性、抄表成功率、可靠性等诸多指标上有压倒性的优势，比如 WaveMesh 方案无线集抄功耗为其它厂家方案的 1/100 ~ 1/1000。具体的性能指标请参见前面的章节，这里不在赘述。另外 WaveMesh 方案还具有开发、维护成本低、组网灵活等特点。目前已经在多家大型仪表企业经过多年的实际现场测试，目前处于批量商用阶段。

4.4 智能热表无线抄表

热能表在中国家用市场不常见，随着节能减排、绿色环保的提倡，之前只是按照房屋的面积粗略计算平均供暖季费用的方式对能源的浪费非常严重，已经不能满足市场的需要。取而代之的是对实际使用的情况做精确的计量，达到多用多付费的目的。对居民来说需要对每个房间分别供暖，进入每户供暖的管道往往有很多条。这就需要对每条管道、每个供暖器释放的热量分别计量，每家需要安装多个热表，而且只能安装在居民的室内。到用户的家中上门抄表会有诸多不便也很不现实，因此只能采用远程无线抄表的方式，但前些年一直受限于技术的原因，低功耗远程热表抄表一直没有商用，是个空白。另外供暖受气温、季节的变化很敏感，一般的地区的供暖季集中在冬季几个月时间内，并且每天的气温都会有变化。相对于燃气和水表，智能热表的集抄有自己不同的特点：

1. 同一个区域内，民用热表的数量、密度要远远高于燃气和水表；
2. 对热表的计量需要精确到最少每天一次，抄表频率远远高于燃气和水表；

3. 热表只能安装在居民的室内，而燃气和水表可以安装在楼道竖井内，因此热表存在被认为蓄意破坏、难以巡检的问题。这就需要在热表在电池电量不足、被破坏等紧急情况下要主动上报异常情况。

如上所述，热表对于远程集抄的要求要大于燃气和水表。目前国内抄表厂商只能推出比较简单、原始的方案：

1. 手持机方式：采用无线手持设备到居民家门口抄表，达到不进门的的目的；该方案需要人工上门，并且对于户型较大的住户手持设备和热表之间遮挡严重，存在抄收不到的问题；
2. 热表+采集器+集中器方式：需要在楼道里安装市电供电的采集器作为网络的骨干，热表每隔一段时间向采集器上报一次读书，由采集器中继转发到集中器。该方案的设备、安装和维护成本非常高昂，如果某采集器不能工作可能会导致网络大面积瘫痪；
3. 每天定时上报：所有的热表每天在固定的时刻一起打开无线一段时间（30 分钟~60 分钟）上报数据，并在其它时间段关闭无线。该方案中热表无线模块功耗仍然较大，仅能达到不休眠功耗的 1/20~1/50。不能进行突发数据传输，业务应用单一。

WaveMesh 低功耗无线抄表方案应用在热表集抄领域在功耗、实时性、抄表成功率、可靠性等诸多指标上表现出了明显优势。按照每天都抄读一次的频率，每年供暖季节为 6 个月，采用 1.5~2AH 的电池可以维持热表正常工作 6~10 年以上。WaveMesh 热表集抄方案的功耗仅为外国先进热表集抄方案的 1/10，该方案支持双向突发数据传输，在任何时刻都可以随时热表进行抄读和控制，可以几秒钟的延时时间内获得热表上报的紧急事件。目前已经仪表厂家多年的实际现场测试，目前处于批量商用阶段。

4.5 煤矿安全监控、定位网络

煤矿的安全生产关系到生命、国家财产安全的大事。需要在矿道、工作面、顶板等位置部署成百上千甚至更多的各种类型传感器设备。对这些传感节点进行准确、实时数据采集是保障煤矿安全生产的基石。矿井内的传感设备安装位置会随着工作面会不断向前推进发生变化，传感器之间采用有线连接会带来难以维护的问题，线缆被割断或者某设备故障很容易造成全网瘫痪。为了保证矿工的生命安全，还需要对井下工作人员进行定位，在事故发生后能够迅速搜救、准确定位人员的具体位置；被困矿工也可以通过无线定位卡发送求救信号。

井下除了环境恶劣、无线信号覆盖范围近等问题之外，面临最大的问题是供电问题。由于在井下在工作面附件架设线缆极其不便也不安全，这就要求所有的传感节点、人员定位卡等设备全部采用电池供电。煤矿安全行业的需要完全符合 WaveMesh 低功耗全休眠传感网络的设计初衷。在该应用中，所有传感器、人员定位卡设备作为 WaveMesh 网络中的可休眠 NODE 节点，把所有的无线设备都有机的结合起来组成一张井下全覆盖的无线网络。所有节点按照同步和异步相结合的混合休眠方式进行工作，可以在极短的时间内（2~5 秒）实现全网所有传感节点、

人员定位卡数据的采集；在两次采样的时间间隔内所有的节点可以全部休眠以确保获得最低的功耗。采样的时间间隔可以随时调整，在遇到突发事件时可以随时取消休眠模式，转变成高可靠性、高吞吐量的健壮救生无线网络，确保井下无线网络数据链路的实时畅通，在最短的黄金时间内营救出矿难人员。

无线节点的功耗跟采样的时间间隔有关，在实际应用中一般为 1~3 分钟。按照每次采集工作 5s（最坏情况），工作电流为 30mA，休眠电流为 0.5uA 计算，时间间隔 1~3 分钟对应的无线节点的功耗为 2.5~0.8mA。理论上采用 10~20AH 电池供电就可以满负荷工作 1 年时间。

WaveMesh 低功耗全休眠传感网络凭借其功耗低、抄读成功率高、免维护、设备成本低、网络健壮等诸多明显优势，完全可以取代有线系统，得到了煤矿安全领域中厂家的青睐，目前处于完全商用阶段。

4.6 有毒气体监控报警网络

煤气已经作为现在人们日常生活中不可缺少的一部分，然而煤气作为一种有毒气体仍然威胁到人们的生命安危。特别是一些城乡结合部等没有实现集中供暖的地区，冬天取暖往往需要每家每户不间断燃烧煤气进行取暖。由于燃烧不干净、通风不便等原因，容易造成煤气浓度的聚集。一氧化碳等气体无色无味，在浓度低时很难被人所感知，一旦吸入过量会导致浑身乏力、晕倒没有力气求救。鉴于现阶段城市化进程的速度有限，很多地区无法短期解决集中供暖的问题，对于有毒气体的监控，显得尤为重要，能够在关键时刻挽救生命。有毒气体监控网络的特点：

1. 网络规模超大：在一些村镇、大型社区往往会居住几万人，覆盖比较大的范围，相当于一个小型的城域网；
2. 设备巡检困难：报警器安装在居民的家中，只能通过远程判断报警器设备是否正常工作；
3. 双向突发数据传输：在正常情况下报警器需要按照一定的时间间隔定时上报状态信息，在危机情况下需要及时上报报警数据；在后台检测到某传感节点有毒气体浓度有上升的趋势时可以向该点发出警示通知，或者在危机情况下向事故点附近的邻居下发求助信息；
4. 高可靠性、高成功率：鉴于实际应用的需要，对无线网络的可靠性和数据传输的成功率有苛刻的要求，必须有冗余设计确保在部分节点甚至是汇聚点出现故障时剩余的网络仍然能够可靠工作。

WaveMesh 无线抄表网络可以支持超大网络规模、255 级路由深度、多个网关设备、高吞吐量、高可靠性和高成功率等特性，使得其成为理想的有毒气体报警网络。网络中可以安装多个网关，节点会自动选择最近的网关上报数据；多个网关之间可以进行冗余备份，在一个网关出现故障后上行数据流会自动切换到别的网关。另外在实际应用中发现居民在外出时经常会将报警器下电，这相当于网络的路由拓扑结构会经常变化，然而 WaveMesh 为移动自组网络设计

的多径路由协议成功地克服了这个问题，在没有孤立节点的情况下数据上报成功率为 100%。目前，已经处于完全商用的阶段，最大实际使用的单一网络规模大于 10000 个点。

4.7 医药行业温湿度监控

医药行业在 2013 年初出台标准，规定全网所有的医药行业的仓库必须安装 24 小时实时温湿度监控系统，系统需要能够实时采集并记录存放药品的仓库中每个角落的温湿度信息，在出现异常情况时会自动上报给权威机构，再由权威机构根据异常情况的记录给医药单位的存储情况给出客观考评。标准要求温湿度传感卡需要每隔 30 秒或者更短时间间隔上报并记录一次温湿度信息。温湿度传感卡在网络不可用时比如运输过程中等也需要记录温湿度信息，等待网络恢复时从断点继续上报为上报的历史记录数据重新，也可以给温湿度传感卡发送命令读取其历史记录数据。另外对温湿度卡的功耗也有苛刻的要求，在不更换电池的情况下需要正常工作 1 年以上的的时间。

对于此类应用在 WaveMesh 超低功耗大规模传感网络方案的基础之上，定义了完备的上层协议，可以实现对传感卡的参数进行无线配置、校准、历史数据的读取等功能。传感卡每次上报传感节点数据仅需要开启无线传输 5ms 或者更短时间，无线传输部分所需的功耗仅占整机功耗的 20%~40%，和无线发射功率以及传感器的功耗有关。按照每 30 秒上报一次的概率，无线传输电路正常工作 1 年仅需要 40mAh~100mAh 的电量（与无线发射功率有关），整机工作 1 年仅需要 200~250mAH 电量即可。采用 1AH 电池供电，传感卡可以持续工作 4~5 年。

WaveMesh 超低功耗大规模传感网络对网络中传感节点数没有限制，传感卡可以在网络中任意移动，在传输过程中也进行记录实时监控数据信息到达无缝监控的目的地。此外，网络架设非常简单，传感卡在网络覆盖范围内可以随意放置。设备成本、维护成本低。目前，相关产品化工作已经完成并通过权威部门验收，处于批量商用阶段。

4.8 气象行业传感节点数据采集

气象预报需要采集海量的户外传感器数据进行分析。由于传感器放置在户外，有些只能依靠太阳能板收集电能并存储到电池中以便在夜间和阴雨天仍然可以维持传感器的正常工作，因此传感器设备的功耗有要求。随着无线组网技术的逐渐成功商用，用无线传输代替有线传输可以节省大量的设备安装架设成本，并且没有线路老化的问题，因此采用无线组网的方式将每个传感节点的信息汇总到后来是近年来的发展趋势。气象行业的应用场景为典型的低功耗传感网络，需要进行上下行双向数据通讯，以上行数据传输为主。

WaveMesh 低功耗全休眠传感网络和超低功耗大规模传感网络解决方案，为气象行业传感节点数据采集的各种可能的应用提供了灵活的选择。WaveMesh 网络的组网能力、数据传输能力以及低功耗技术已经得到相关单位的认可，在多年的长期测试中 WaveMesh 网络也表现出了其网络健壮性和自愈性。目前，处于即将批量商用阶段。

4.9 智能农业传感数据监控、喷灌控制

作为物联网技术应用的一个重要方向，发展智能农业可以增加粮食的产量、节省大量的农村劳动力，对国家的经济和发展有着重要的意义。现阶段物联网技术或者说无线自组网技术在智能农业中的应用主要在于对温室大棚中的温湿度信息进行采集、实现远程对喷灌系统的控制。WaveMesh 协议具有网络规模大、双向可靠通信、功耗低、部署简单、设备成本和维护成本低的特点，并且能够提供两种低功耗传感网络解决方案。在经过对 WaveMesh 网络长期稳定性测试后，迅速得到了智能农业行业中的众多企业的认可，目前已经处于完全商用阶段。

4.10 智能家居、楼宇控制

WaveMesh 分布式智能家居、楼宇解决方案独到的设计理念和优异的网络能力已经被越来越多的电工企业所接受，并且部分已经完成产品化工作。基于 WaveMesh 协议的开关、插座和遥控器等产品已经面市。随着人们生活水平的提高、节能减排的概念深入人心，最求更舒适的生活环境、更环保和智能的办公楼宇已经越来越强烈。WaveMesh 智能开关、插座等产品在实现本地、远程控制的同时可以对负载用电量进行精确度量，可以准确知道所有电器设备的实际实时用电情况。WaveMesh 自组网协议可以将所有的设备自动连接成一张数据传输网络，可以承载丰富的应用，具有无限的增值空间。WaveMesh 智能家居产品具有设备成本低廉、网络健壮安全、人机交互友好、设置简单等独特特点，使其逐渐获得消费者和企业用户的青睐。WaveMesh 智能家居产品目前已经处于完全商用阶段。

4.11 无线人员定位、监护系统

在医院、学校、公司、监狱、军队等机构或者单位需要对病人、学生、员工、犯人和士兵的位置信息、生理指标等进行实时监控。在病人跌倒、血压心跳不正常时监护设备可以及时发出报警信息，使病人可以在第一时间得到救治。随着国家逐步进入老龄化的时代，老人独自在家的情况会越来越多，利用无线自组网可以容易建立智能化的小区，使得老人在家中也能将生理指标实时发送给医护人员。利用 WaveMesh 定位卡可以同时具有有源 RFID、门禁卡的功能，在感应到某人进入某个区域后，可以根据该人的喜好自动调整环境光线、温湿度、背景音乐等。此类应用的场景非常多，不在此一一列举。

WaveMesh 超低功耗无线定位方案在网络覆盖范围、网络容量、功耗、实时性和健壮性等方面优势明显，使得在超大规模区域中进行人员定位和监护成为可能。目前已经通过长时间的使用测试，达到即将批量商用的阶段。

4.12 低空预警网络

雷达很难对低空飞行的物体进行正确的识别，这时就需要在地面广阔的区域安放大量的传感器，一旦传感器发现可疑的特征信号就汇报到后台进行进一步的处理和分析。此类应用的要求有：

1. 超大的网络覆盖范围，以便能够覆盖广阔的区域；
2. 超大的网络容量，网络中的传感器个数可能数以百万计；
3. 实时性好，能够在极短的时间内上报预警信息；
4. 现场安装要简单，现场安装不需要任何人工干预；
5. 数据传输安全可靠；
6. 设备价格低廉，维护费用低。

WaveMesh 网络可以无线扩展的特性使得低空预警网络变得简单、实际。将多个 ROOT 节点作为网络的网关通过有线方式如光纤等与后台服务器进行连接，传感设备作为网络中的 NODE 节点。NODE 节点会自动寻找离自己最近的 ROOT 节点上报数据，理论上只要一个 NODE 节点距离最近的 ROOT 节点小于 255 级路由即可。整张网络可以看出以 ROOT 为簇头的分簇传感网络，网络对簇的个数没有限制、对每簇中的节点的数量也没有限制，因此可以无线扩展。路由由无线传感节点自动维护，在现场安装时完全不需要任何人工干预。需要进行有线连接的 ROOT 节点的数量只占到全网节点总数的 1/1000 ~ 1/10000，数量众多的 NODE 节点可以任意分布，可以省去大量的安装成本。

4.13 停车场泊车管理

对于智能化的停车场，在车辆进入停车时被告知哪个区域有适合的停车位，这就省去了寻找停车位的过程，可以大大减少每一台车的泊车时间，为停车场带来了客观的经济效益。如何把每个停车位当前即时的状态反馈到调度室，是实现智能化停车场的关键。采用无线自组网技术可以把该问题迎刃而解：仅需要在每个停车位上安装一个带有无线功能的有无车位感应器，在感应器的状态发生变化时把停车位的最新状态及时通过传感网络上报到调度室的电脑中。为了减小系统成本无线感应器需要采用电池供电，这就对无线传感节点的功耗提出要求。

采用 WaveMesh 超低功耗大规模传感网络方案可以轻松实现停车场的智能化管理。无线传感节点使能自主休眠，可以获得几个微安的平均工作电流，在不需更换电池的情况下理论上可以连续工作很多年。为数不多的中继路由节点可以由市电进行供电，可以确保上行数据的实时性。另外，可以将烟雾报警器等传感设备、收费管理系统纳入该传感网络，实现全智能自动化管理，无需人工干预。

4.14 仓储运输管理

随着无线芯片价格的降低和无线传感网络的发展，有源 RFID 逐渐代替无源 RFID 成为仓储运输管理的首选。相对于无源 RFID，有源 RFID 有识别距离远、稳定性好、读取速度快、更智能的优势。有源 RFID 的不足之处是需要用电池供、成本高的缺点。目前，市面上有源 RFID 较多的方案还是以 RFID 卡和卡读写器之间点对点的无线数据传输方式为主，卡读写器需要通过有线等其它方式与后台服务器相连；虽然卡读写器也是无线设备，但是它们之间并没有通过自身的

无线进行组网。WaveMesh 超低功耗无线定位方案可以使 RFID 卡读写器通过自身无线组成一张超大规模的自主网络，RFID 卡读写器不需要借助有线或者别的方式与后台服务器相连，可以节省大量的安装、设备和维护成本。

如何确定这些数量众多的 RFID 节点所在的位置和状态信息，是仓储运输管理应用的最大诉求。系统中 RFID 节点/物品的数量众多高达数以万计，并且节点可以任意移动；另外有源 RFID 对功耗的要求极为苛刻，采用纽扣电池供电需要工作数十年以上。WaveMesh 超低功耗无线定位系统是仓储运输管理理想的解决方案，具有以下优势：

1. 超大的网络覆盖范围，网络可以无限扩展，以便能够覆盖广阔的区域；
2. 超大的网络容量，对网络中的 RFID 个数没有限制；
3. 定位精度高，采用移动点/RFID 无线信号同时到达多个定位点/卡读写器的强度矢量，可以较为精确的解算出移动点的位置；
4. 实时性好，移动点/RFID 发送的无线信号到达后台服务器的延时为毫秒级；
5. 功耗极低，移动点/RFID 每次无线报文发送仅需要工作几毫秒，平均工作电流只有几微安；
6. 双向数据传输，后台服务器可以通过卡读写器向网络中的任意 RFID 节点发送数据报文；
7. 现场安装要简单，无线卡读写器不需要布线，现场安装不需要任何人工干预；
8. 设备价格低廉，维护费用低。

4.15 远距离无线路灯监控

节能减排、环境保护被越来越多的行业多接受，太阳能路灯的使用变得越来越普及。特别是在偏远、不容易接入电网的地方，太阳能+风能路灯具有架设成本低等优势成为道路照明的几乎唯一选择。相对于传统路灯，太阳能路灯之间没有连接的线缆比较孤立。如何对太阳能路灯进行远距离控制、远程对路灯进行电池、太阳能板的检修成为亟待解决的问题。另外，太阳能路灯采用电池供电需要考虑节电的问题，在检测到即将会有行人、车辆通过时提前打开前方的路灯，待行人、车辆通过后关掉路灯。路灯安装在道路的两侧一字排开，远处的路灯可能距离控制中心会非常远，解决远距离控制问题是路灯控制的关键。无线自组网允许无线数据报文在节点之间多次中继转发，从而提高了无线信号的覆盖范围，使得远距离控制成为可能。

WaveMesh 无线自组网协议支持 255 级路由深度，一张网络可以覆盖半径上百公里的区域，是远距离路灯控制的理想解决方案。通过在每个路灯上加装 WaveMesh 无线模块作为网络中的节点，节点之间可以自动建立路由进行多跳可靠数据传输。无线模块现场安装不需要进行任何人工设置、维护和运营成本极低。WaveMesh 网络的可靠性和健壮性已经得到现场实际应用的验证，目前处于批量商用阶段。

4.16 智能交通路口控制

智慧交通最基本的思想是根据实际车流量的实时信息，对交通灯进行远程智能控制，可以达到提前避免交通拥堵、有效疏通、增加车流量的目的。将每个路口的交通灯纳入交通指挥系统实现进行远程控制，是解决智慧交通的关键。另外，在交通路口需要协调车流量感应器、闯红灯摄像、交通灯等设备有机的配合，协同工作。对智能交通路口设备间的协调可以采用无线组网的方式解决，所有设备作为网络的中的节点，网关通过 3G/4G 模块通过互联网与远程控制中心相连。交通路口无线控制网络的设备数量不多一般为几十个，但对网络的稳定性和实时性要求比较高。 路路口的无线信道容易受到来往车辆、对讲机等无线设备的干扰和阻挡。

WaveMesh 无线自组网络采用独有的私有健壮多径路由协议、跳频通信、碰撞避免、错误重发、自适应速率、多径多信道并行传输等技术大幅提升了网络的健壮性、可靠性和吞吐量。在实际测试中采用 WaveMesh 网络之后对交通路口设备的控制响应时间大幅缩短、报文的丢失率几乎为 0，可以在任何天气状况下长年累月稳定运行。

4.17 分布式移动自主通信

野外作业、救灾、车队、战时、应急、数字集群等应用中需要在移动的节点之间进行点对点、点对多点、多点对多点的通信、语音呼叫等业务。网络中的所有节点都可以按照各个方向随意移动，该应用对路由的自愈性和数据链路的健壮性有很高的要求。WaveMesh 协议本身就是针对移动自组网所设计的，是完全分布式的网络，采用私有多径路由协议。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。

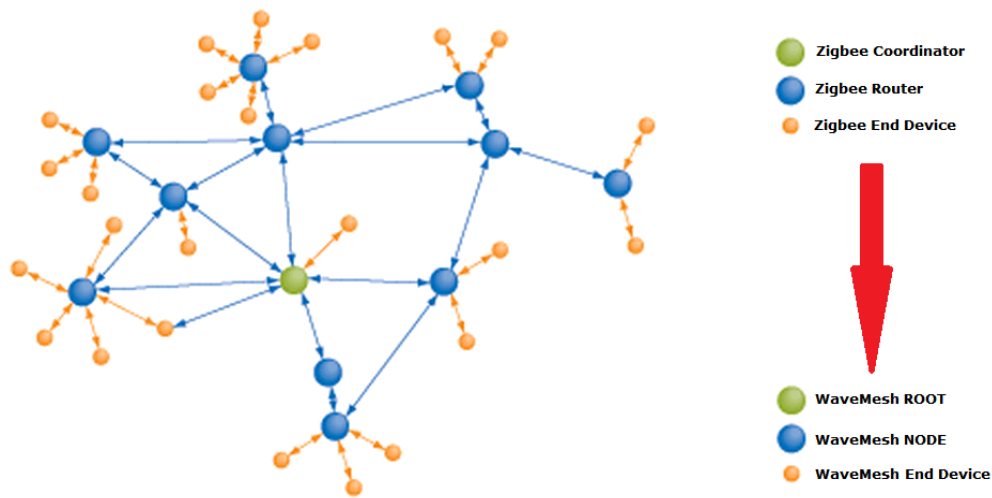
基于 WaveMesh MOB 协议的无线移动自主通信试验网经过测试，表现出了优异的网络的性能：

1. 路由中继深度高、网络覆盖范围广：协议突破了路由级数的限制，支持 255 级动态路由；
2. 路由开销很小：路由的建立和维护在数据报文的收发过程中进行，不需要额外的开销；
3. 路由健壮：在节点的不断移动过程中，路由平滑切换，数据链路稳定可靠；
4. 网络吞吐量高：在任意两个节点之间建立精确路由，在没有交叉的数量链路之间没有资源的竞争；数据报文可以在多条路径、多个信道并行传输；
5. 承载的应用丰富：支持点对点、多点群组间的实时数据传输业务。

4.18 代替 ZigBee 模块

典型的 ZigBee 网络由三种设备组成：协调器(Coordinator)、路由器(Router)和终端设备(End Device)组成。每个网络需要一个协调器用来进行网络初始化，在网络初始化完之后，协调器就转变一个路由器。路由器是网络的骨干，负责路由维护和报文转发。路由器是网络的可选组件，没有路由器的网络就变成点对多点的星型结构。终端设备不参与路由不负责报文转发，终端设备只能跟路由器进行通信，终端设备之间不能直接通信。协调器和路由器不能够休眠；终端设

备可以周期性的休眠，在醒来的时刻向路由器询问是否缓存了属于自己的数据报文，如果有就进行数据收发，没有就继续休眠。其组网示意图如下所示：

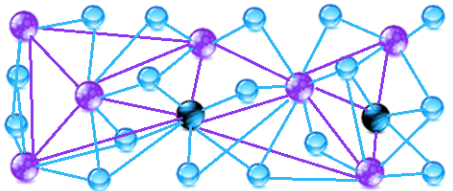



用 WaveMesh 模块代替 Zigbee 模块组网示意图

虽然 WaveMesh 协议和 ZigBee 协议在网络设计理念上有所不同，WaveMesh 是对等的分布式网络而 ZigBee 是分簇的网络结构，但是这并不妨碍用 WaveMesh CSN 无线模块替代 Zigbee 模块在一些领域中的应用：

1. 用 WaveMesh ROOT 模块代替 Zigbee 的协调器模块；
2. 用 WaveMesh NODE 模块代替 Zigbee 的路由器模块；
3. 用 WaveMesh END DEVICE 模块代替 Zigbee 的终端设备。

由于 WaveMesh CSN 协议和 ZigBee 协议在设计理念上是迥然不同的，因此采用这两种协议的低功耗传感网络方案的网络特性差异明显，具体对比见下表所示：

比较项目	WaveMesh CSN 协议	ZigBee 协议
网络拓扑	 <p>采用私有多径路由协议，数据可以在多径路由之间并行传输，终端设备不需要和路由器进行绑定，所有节点可以任意移动</p>	 <p>采用 AODV 路由协议，需要时仅建立一条最优路由，终端设备需要和特定的路由器进行绑定，网络对节点的移动性支持的不好</p>
吞吐量	<p>采用私有的链路层协议，可以在空间、时间和频域的三个维度分集的巧妙结合，数据流能在多个路径、多个物理信道并行发送。可以通过多个网关同时与</p>	<p>链路层采用 802.15.4 协议，终端设备只能和其绑定的路由器进行数据通信，路由器之间仅建立一条最优路由，因此网络中进数据传输路径很少，数据流不</p>

	异构网络之间建立连接，大大增加了网络带宽	能多路径多信道并行传输，不适合大数据量的应用
健壮性	分布式的网络允许节点随时加入、离开，部分节点瘫痪剩余网络仍然正常工作。节点之间数据传输关系是动态建立的，在原来路由仍然能工作时主动发现新的路由，保证在任意时刻都能采用最优的路由；采用多径路由协议，路由的维护开销几乎为 0；并且采用跳频机制，有效克服外来无线干扰	网络的建立由唯一的协调器发起，如果协调器不能正常工作，网络不能再允许新的节点加入；路由在建立之后会一直使用，在原有路由被破坏后才去被动发现新的路由，不能主动发现新的更优路由；路由的重建和维护需要的开销非常大；没有跳频机制对外来的干扰没有有效的防御措施；节点加入、离开需要握手过程，开销很大
网络规模	真正分布式的网络，协议所需的硬件资源与网络规模无关，支持的节点数量没有理论和实际限制，支持 255 级中继路由	协议所需的硬件资源与网络规模有关，理论支持 65536 个节点，但受硬件资源限制实际使用的网络规模基本小于 1000 个节点、10 级路由
功耗	异步通信为主，采用私有碰撞避免协议，不需要定期收发同步报文，在没有数据发送是网络完全静默，没有任何额外开销；终端设备正常工作的典型电流为几个微安	同步通信为主，采用信标报文保证节点之间的同步，在没有数据传输时终端设备也需要定期收发信标报文；终端设备加入和离开需要开销；终端设备正常工作的典型电流为几百个微安
设备成本	WaveMesh CSN 是为低成本设备精心设计的轻量级自组网协议，协议栈体积很小，典型代码段为 ~8k 字节，仅需要几百字节内存；设备成本低	典型的 ZigBee 协议栈的代码段体积为 64K ~ 256K 字节，所需内存为 8K ~ 32K 以上；ZigBee 协议栈体积大概为 WaveMesh CSN 的 10 倍；设备成本高
灵活性	WaveMesh CSN 协议包含了完整的路由建立、网络维护等工作，不需要上层应用参与；通过简单配置可以从上层数据帧中自动解析出任意长度的地址信息，支持任意应用层数据帧格式；不需要用户修改现有的应用层协议、更不需要增加协议适配层，降低系统复杂度和成本	ZigBee 协议规定了网络层的数据帧格式，应用层必须填充 ZigBee 协议的数据帧才能通信；协议指定了两种地址长度 16-bit 和 64-bit，网络中采用 16-bit 地址做路由，应用层需要知道两种地址的对应关系；等等诸多因素需要用户修改现有的应用协议或者增加协议适配层完成协议转换
开发难度	完全不需要用户进行二次开发，直接向 WaveMesh CSN 协议发送应用层的数据报文即可；开发难度几乎为 0，不需要开发成本	需要客户理解 ZigBee 的协议的实现和帧结构等，需要修改现有协议或者增加适配层完成协议转换；开发难度大，开发成本高