# Bluetooth Mesh

## 是什么

BLE mesh 网络被设计用于大规模节点间的互相通信，通过大连接场景下节点间的低数据量数据传输，为楼宇自动化、智能安防、智能城市等更多物联网场景提供解决方案。示例：将仓库中数百上千个头顶灯相互连接，根据活动和个人喜好自动调暗和点亮灯。



图1-1经典蓝牙和BLE蓝牙对比

## ****BLE MESH市场现状****

截至到2019上半年，全球已经在SIG联盟认证的BLE MESH的企业共有73家，认证的产品数量高达461个，该数据包括终端产品和芯片的认证总数，下表罗列出认证企业和其产品认证的数量。

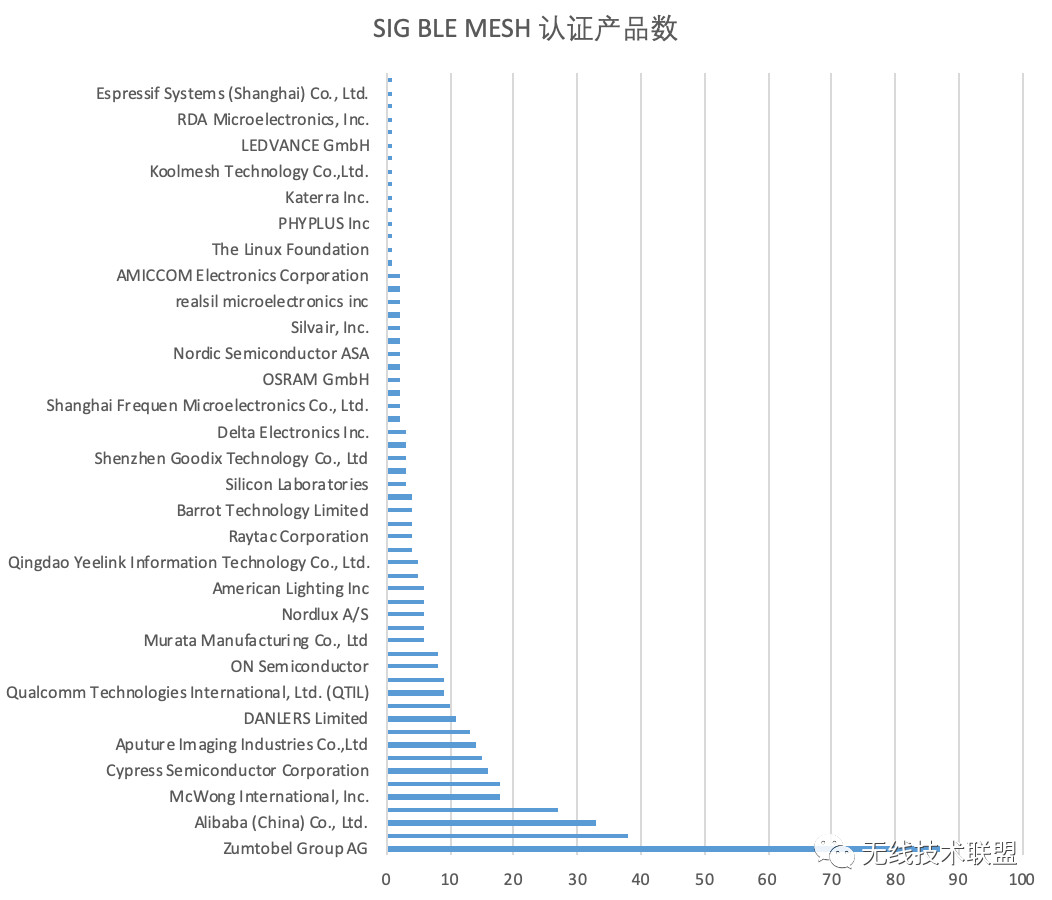


图1-2认证企业和其产品认证的数量

## BLE MESH核心协议

Bluetooth Mesh 1.0不是简单的Bluetooth 5的升级，他是独立与蓝牙协议之外的一套协议，任何旧版（4.0、4.1、4.2、5）低功耗蓝牙芯片产品都可以进行修改升级，仅需进行固件升级即可运行蓝牙网格，前提是flash和ram资源足够。

BLE MESH核心协议向蓝牙协议兼容的特点在于，蓝牙MESH网络并不是蓝牙BLE协议栈中不可或缺的一部分，而是一个由七个层组成的单独的新实体，其中的某些节点可以和蓝牙协议进行数据交互。

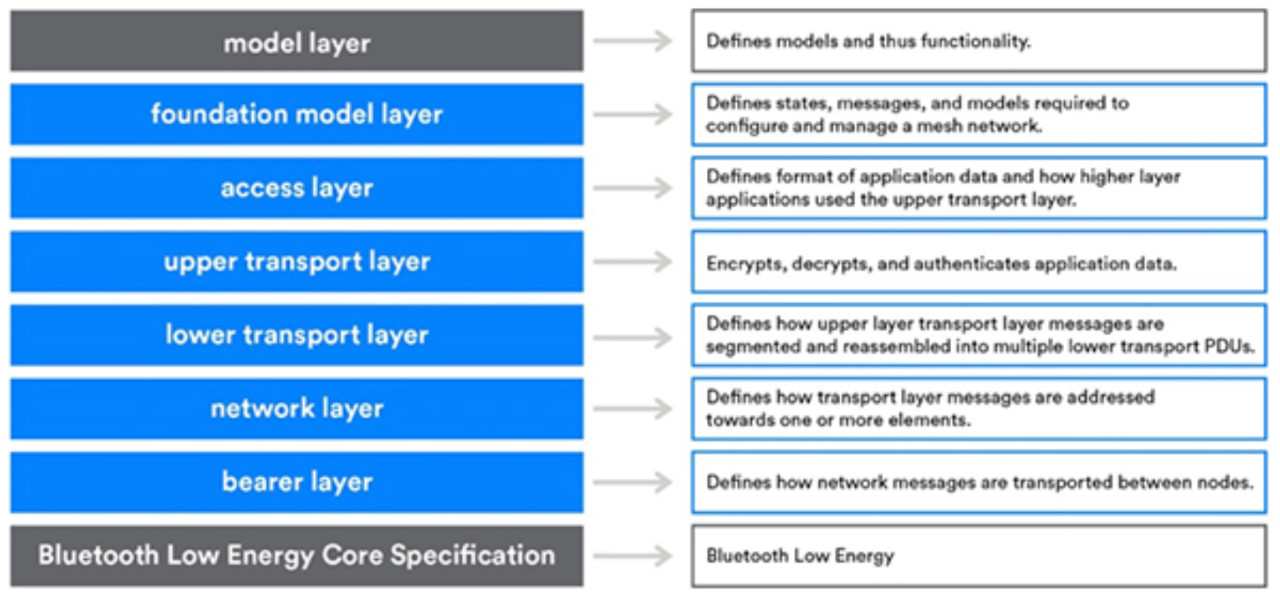


图1-3蓝牙网格堆栈图

当蓝牙MESH节点收到消息时，它将消息从底层蓝牙低功耗协议中获取的数据传递给承载层，蓝牙数据再通过承载层再传递到网络层。网络层应用各种检查来决定是将消息传递到传输层还是将其丢弃。

蓝牙MESH规范定义了一个全新的核心协议，该核心协议的部分层与蓝牙低功耗核心协议层共享一些概念，但两者不完全兼容。这与Zigbee和Thread等技术有些不同，Zigbee和Thread从一开始就被设计为MESH网络，其底层规范基于802.15.4，但并未考虑其他主流协议的兼容性（近两年Zigbee在顶层考虑使用dotdot以兼容其他网络协议，达到互联互通，详见

<https://zigbeealliance.org/solution/dotdot/>）。

## 蓝牙网状节点

蓝牙网格使用四种类型的网络节点：

### 中继节点（Relay Nodes ）

中继节点通过网络层接收和转发数据包。缺点：它们必须始终保持警报状态，这会大大增加功耗。这对于诸如智能照明之类的主电源供电的应用程序是有利的，但是对于被并入网络中的交换机之类的非主电源供电的节点则是一个问题。

### 低功耗节点（Low Power Nodes）

低功耗节点采用蓝牙低功耗的标准节电特性（即：长时间处于睡眠状态），因此可以通过电池或能量收集来长期运行。每个LPN都连接到由市电供电的Friend Node，该Friend Node保持唤醒状态并缓存指向LPN的所有消息。当LPN进入接收模式（按照预定的时间表）时，它接受缓存的消息，按照指示进行操作，然后返回节能睡眠模式。

### 4.3 友邻节点（Friend Nodes）

友邻特性收听网络中转发的任何消息，友邻节点会存储这些消息，当低功耗节点唤醒并Polling友邻节点时，将这些消息传送给相关的低功耗节点。由于友邻节点需要为一个或多个低功耗节点存储消息，因此友邻节点会比其他类型的节点多占用存储器。所需的存储器大小取决于需要存放在友邻节点、并在轮询操作中传送给低功耗节点的数据/命令数量。

### 4.4 代理节点（Proxy Nodes）

代理节点是非BLE MESH设备（手机）连接到BLE MESH网络的唯一入口。对于不直接支持蓝牙的Mesh设备，具备代理特性的节点是它们登入Mesh网络的入口。代理特性支持节点在GATT（通用属性）层和广播承载层之间转发消息，而在蓝牙Mesh网络中，消息是通过广播承载层转发。例如，当用户希望使用传统智能手机来控制智能照明网络时，此功能很有用。交互是通过节点和设备的通用属性配置文件（GATT）数据传输实现。

### 4.5 节点例子（Nodes Example）

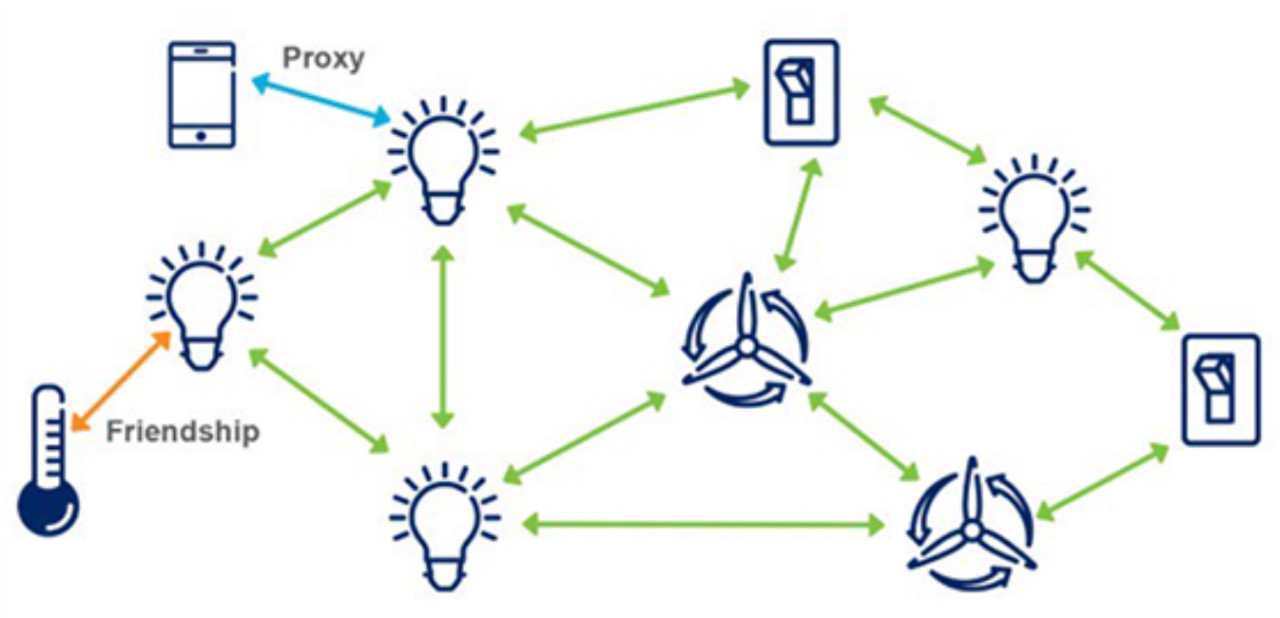


图1-4 网状节点示例图

举个例子，如图所示的温度传感器是电池供电的LPN，设备定期从灯泡友邻节点（最左端长供电的灯泡）接收发送温度消息，温度消息通过灯泡间的传递，最后智能手机通过BLE的GATT层和代理节点的灯泡进行数据传递（左上）。

另外，在新节点加入MESH网络前，必须进行入网配置，用于保证该新设备可访问网络中所有节点，是一个受信任的设备。进入网络后，MESH网络为新节点分配地址，以及设备类型和设备密钥。设置后，设备密钥用于建立安全通道以配置新节点使用，理论上蓝牙MESH网络可以支持多达32,000个节点。

## ****5. 蓝牙MESH架构****

### 5.1 MESH 组网

在组网方式上，规范中采用了一种管理式洪泛方法（managed-flood）完成 BLE mesh 网络组网（说人话：病毒传播方式）。该方法的思想来源于剑桥大学的 CSR 研发团队提出的 CSR Mesh 组网方法，利用广播信道发送消息，其他节点可以接收并转发这些消息，只要有足够密度的设备能够侦听或是转发消息，网络中的任何设备都可以随时发送消息。

举个例子，我们可以把单个房间所有的灯定义为一个组地址。蓝牙mesh规范定义了四个固定组地址：**“所有代理节点”，“所有好友节点”，“所有中继节点”和“所有节点”**以专门针对节点类型。（LPN不具备转发消息功能，因为他要保持低功耗，就是这么高冷）。

**泛洪网状mesh架构**和**组地址的选择**增强了蓝牙MESH网络对于智能家居应用支持。例如，MESH网络中的Gateway设备收到“ ON” 命令，可以通过MESH网络快速把该指令广播到整个网络，每个网络中的节点设备都接收该命令并据此采取行动，目标组中的灯可以几乎立即点亮。

蓝牙MESH有一个和传统蓝牙不一致的地方，所有的mesh数据只会在37，38，39三广播信道传输，这种数据传输策略有好有坏，好的地方是效率高，信道传输策略简单；缺点是减少了网络带宽，增加了拥塞风险。

### 5.2 MESH 组网优化

考虑到洪泛方法的局限性，使用网络消息缓存与生存时间方法实现对洪泛的管理，这也是 managed-flood 的由来。

网络消息缓存方法：将接收到的消息添加到高速缓存列表，当节点接收到消息后，根据高速缓存列表进行比对检查，自动忽略已存在的消息，防止重复转发，对于未收到过的消息，将其添加到缓存中以便将来可以忽略它。为防止该列表过长，能够缓存的消息数量将根据节点情况进行调整。

生存时间方法：为每个消息设置生存时间（TTL），该值用于限制消息的中继转发次数，每次转发后都将生存时间都将减 1，目前规范中将中继转发次数限制为最多 126 次。

此外，为了进一步优化网络性能，规范中额外采用了两项优化机制：心跳消息（Heartbeats）与友谊（Friendship）。

心跳消息由 BLE mesh 网络中的节点定期发送，向网络中的其他节点表示其仍处于活动状态，同时可以完成其他所需信息的对外扩散。友谊则是让低功耗节点（Low Power Node）与朋友节点（Friend Node）建立友谊，朋友节点向关联的低功耗节点提供消息存储和转发服务，使低功耗节点可以大幅度减少监听网络的时间，极大地降低功耗，以高能效方式进行操作。

## **6. BLE MESH模型**

MESH MODEL的概念类似蓝牙的profile概念，该模型规定一个公共信息结构体，内部可以包含一个或者多个服务（MODEL的概念是用于定义终端设备）。

模型包含节点特定的行为或服务，并定义了一组状态以及对这些状态起作用的消息。标准模型涵盖了典型的使用场景，例如设备配置，传感器读数和照明控制。 开发者还可以创建自定义模型。

节点中的模型按元素排列；每个元素都充当具有唯一地址的网格中的虚拟实体。每个传入消息都由元素中的模型处理。

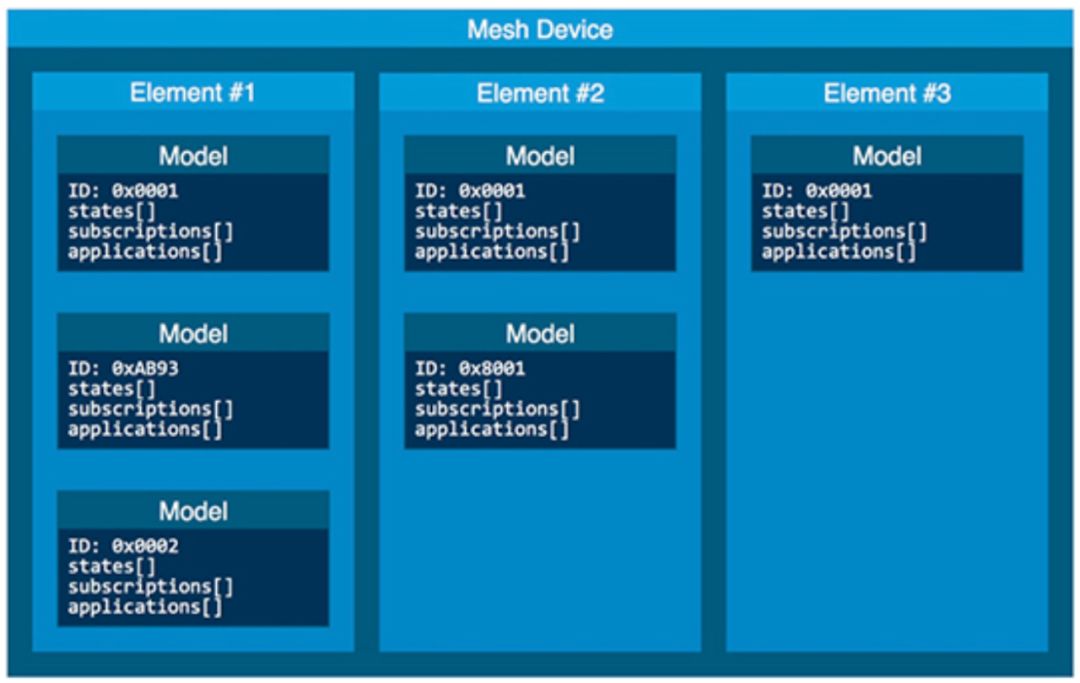


图1-5 MESH DEVICE

不同的模型间通过 “**发布和订阅**”方式相互交谈。发布节点发送一条消息，配置为订阅的节点接收到消息后会进行处理。

在下图中，最左边的灯开关（开关1）指令发布到Kitchen组地址，假设节点Light 1，Light 2和Light 3（灯的顺序从左往右）订阅了Kitchen地址，因此它们会接收处理并根据发布到该地址的消息（例如“ on”和“ off”命令）进行操作。Light 3也预订了饭厅地址，因此可以从Switch 2以及Switch 1进行操作。

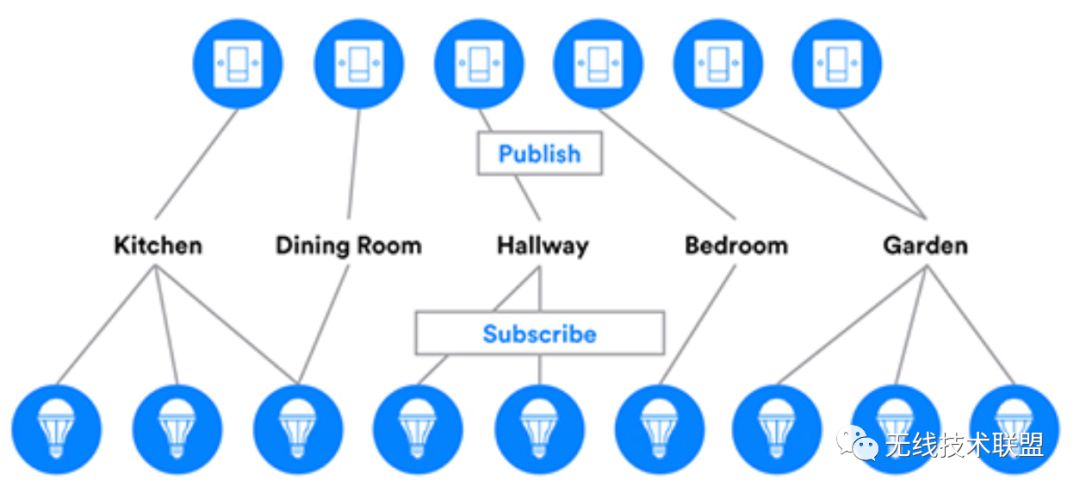


图1-6不同模型间的通信

## 7. 蓝牙MESH配入网流程

下图是一个完整的配网订阅的例子，**该流程是蓝牙MESH配网注册设备的标准流程**，灯泡首先向MESH网络发送信号，告知其正在寻找要加入的网络。配置节点会验证灯泡的信标，并邀请其加入网络。如果身份验证成功，则会为设备提供必要的密钥和地址，以加入网络并为配置做准备。接下来，为灯泡提供“家庭自动化”应用程序密钥。设置“ OnOff服务器”（控制灯泡）的发布状态，最后添加对“灯组”的订阅。

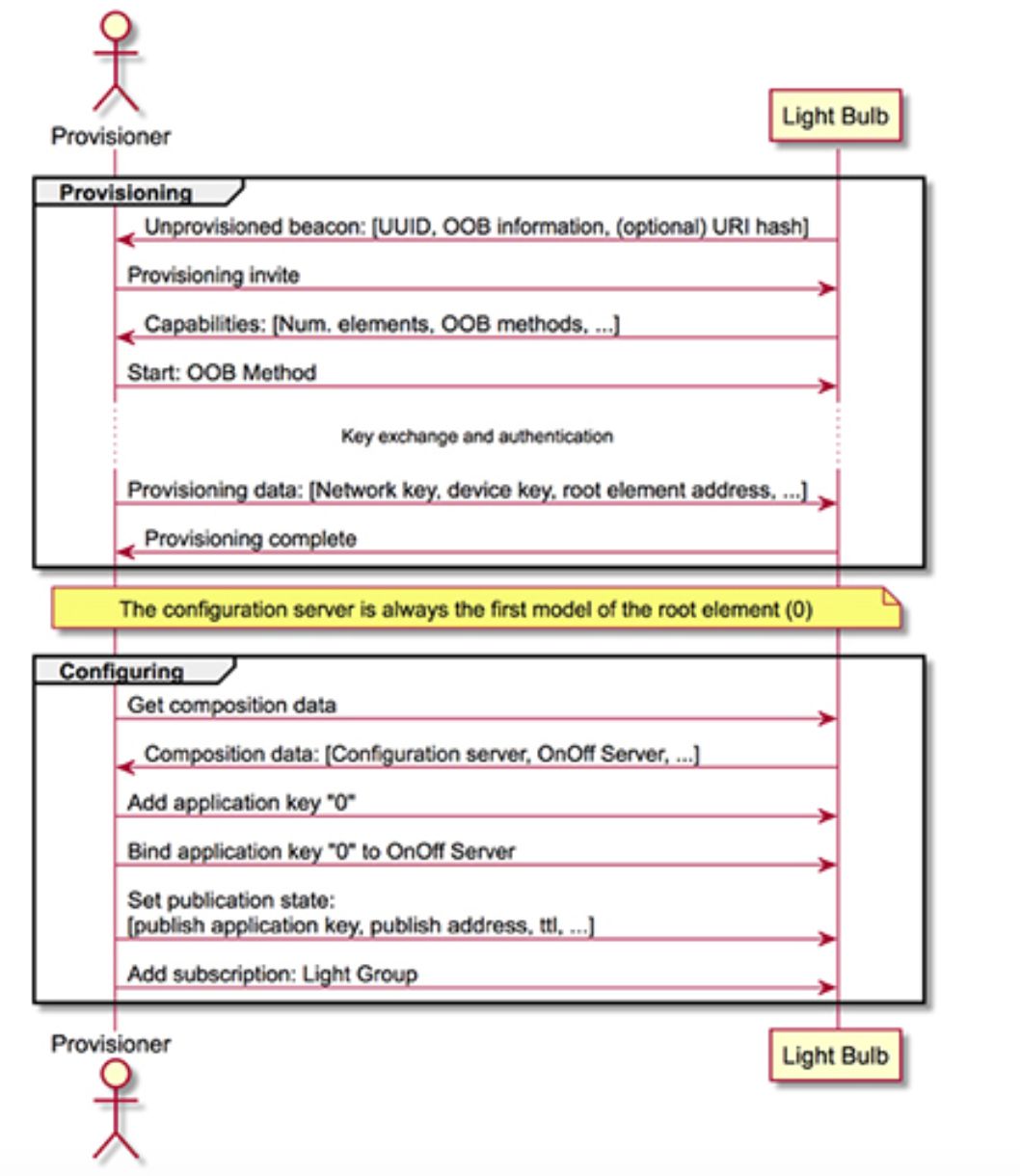


图1-7 蓝牙MESH配入网流程

## 8. 蓝牙MESH应用

### 8.1 应用场景

对SIG认证的产品进行初略统计发现，BLE MESH的应用主要集中在智能家居和灯控场合，灯控占6成，智能家具设备占3成，还有一成属于原厂的芯片认证以及小众市场应用，BLE MESH无疑已经是Zigbee最大的竞争对手。



图1-8 BLE MESH 应用

### 8.2 市场流行蓝牙彩控灯方案

手机蓝牙和彩灯上的蓝牙模块进行配对，实现APP 命令控制彩灯蓝牙，实现不同的功能等。

* 密码设置：可以对单个或者多个灯进行密码设置；
* 亮度设置：可以对单个或者多个灯进行亮度设置；
* 颜色设置：可以对单个或者多个灯进行颜色设置；
* 场景设置：可以对多个灯进行场景设置；
* 定时设置：可以进行定时开关设置。



图1-9市场流行蓝牙Mesh灯控功能应用

## 9. 未来展望

**未来将是一个混合的网络。**

虽然，mesh对于蓝牙来说是一个重要的进步，但是我们还是需要理性看待技术的进步，从目前看来，混合连接也越来越受到重视，爱立信认为，Mesh网络的真正力量可能在于代理协议。更具体地说，这种能力可能来自于多模技术的、支持ble的设备，这些设备作为“毛细管通道”作用于其他连接模式，例如蜂窝网络。最终结果将是一个混合核心网络。这种混合网络将更具有适应性、模块化和可伸缩性，而不是Mesh网络保持离散和隔离。

当然，技术的使用还是由应用决定。一些应用将通过单一的连接模式得到最好的服务，但另一些应用可能从混合连接模式中获益，以提高可靠性、扩展性和实用性。未来，物联网的应用也将是多元与混合的，应用场景将会跨越室内室外、山川海洋、城市与农村，所以我们也需要更加集成的物联网方案。

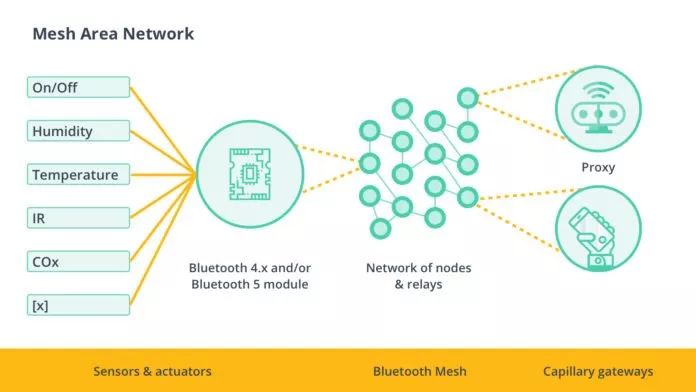


图1-10 Mesh 局域网