

基于 STM32WB 系列产品开发 Zigbee®智能能源（SE）应用

引言

本应用笔记全面介绍了 Zigbee®智能能源（SE）。提供了一些关于如何在 STM32WB 系列微控制器上构建 Zigbee®智能能源（SE）应用的提示，还涵盖了 sub-GHz 操作和 LBT 等主题。

STM32WB 可支持 2.4 GHz 主要智能能源（SE）功能，例如计量设备。

STM32WB 不一定适于全能源服务接口（ESI）设备，因为此类设备可能会请求过多或不受支持的资源，例如像双射频支持（STM32WB 不支持 sub-GHz 操作）。

本文档部分内容受版权 © 2019-2020 Exegin Technologies Limited. 保护。经许可转载。

1 概述

本文档适用于 STM32WB 系列基于双核 Arm®的微控制器。

注意: Arm 是 Arm Limited (或其子公司) 在美国和/或其他地区的注册商标。

arm

1.1 缩略语与定义

表 1. 缩略语与定义

缩略语	定义
AFA	自适应频率捷变
BEIS	商业能源和工业能源
BOMD	电池驱动的镜像设备
BSI	英国标准协会
CBKE	基于证书的密钥建立
CHTS	通信中心技术规范
CPA	商用产品保证
DRLC	需求响应和负载控制
ESI	能源服务接口
GBCS	英国配套规范
GSME	煤气表
HA	家庭自动化
HAN	家庭区域网络 (HAN)
IHD	家用显示器
LBT	先听后说
MISRA	汽车工业软件可靠性协会
NOC	网路操作中心
PCT	可编程通信恒温器
RIB	住宅倾斜区块
TOU	使用时间
TSCO	信任中心换出
ZSE	Zigbee 智能能源 (SE)

1.2 参考文档

1.2.1 智能能源 (SE) 1.4

- [1] 07-5356-21 《Zigbee 智能能源 (SE) 标准第 1.4 版》
- [2] 07-5384-23 《Zigbee 智能能源 (SE) 测试规范第 1.4 版》
- [3] 07-5390-10 《Zigbee 智能能源 (SE) PICS (预估) 》
- [4] 《Zigbee 智能能源 (SE) 1.4 规范勘误表》
- [5] 《Zigbee 智能能源 (SE) 1.4 测试规范勘误表》

- [6] 《Zigbee 智能能源 (SE) 1.4 PICS 勘误表》
- [7] 17-05022-009 《关于 Zigbee 智能能源 (SE) 标准第 1.1b、1.2b 和 1.4 版的检测机构通知》

1.2.2 智能能源 (SE) 1.1b

通常, 在新版本 Zigbee 规范获得批准之后, 检测机构一旦开放对新版本的认证, 以往版本就会进入 6 个月的废止期。在废止期中, 可以根据任一版本的规范对设备进行认证。

尽管 1.1b 之后的版本已获批准, 但“智能能源 (SE) 第 1.1b”已在北美市场广泛使用, 因此, 在 2017 年 10 月, Zigbee 联盟董事会批准将“智能能源 (SE) 第 1.1b”的设备认证延长 5 年, 将符合“智能能源 (SE)”的新产品和现有产品的认证延长至 2022 年 12 月 8 日。

- [8] 07-5356-18 《智能能源 (SE) 1.1b 标准
- [9] 07-5384-20 《智能能源 (SE) 1.1b 测试规范》
- [10] 07-5390-07 《智能能源 (SE) 1.1b PICS (预估)》

1.2.3 Zigbee PRO R22 - 2017

- [11] 05-3474-22 《Zigbee 规范》
- [12] 07-5035-08 《Zigbee 兼容性平台测试规范》
- [13] 08-0006-07 《2015 层 PICS 和协议栈配置文件 (预估)》
- [14] R22 《勘误表》
- [15] IEEE 802.15.4-2015
- [16] 14-0332-02 《Zigbee IEEE 802.15.4 PHY/MAC 检测计划第 2.0 1.4 版》。

1.2.4 ZCL

正因为 ZSE 1.4 不兼容 Zigbee 3.0, 重要的是要注意 ZSE 有时依赖于 ZCL 4, 即使 ZCL 的后续版本已经获得批准并用于 Zigbee 3.0。

- [17] 07-5123-04 《Zigbee 群集库第 4 版》
- [18] 05-5123-07 《Zigbee 群集库第 7 版》

1.2.5 OTA

用于智能能源 (SE) 的 OTA 与 Zigbee 第 3.0 版略有不同。在对 OTA 用于智能能源 (SE) 应用进行认证时, 使用这些文档代替 Zigbee 3.0 文档。

- [19] 16-05028-001 《ZCL》第 11 章 “OTA”
- [20] 09-5473-09 《OTA 群集测试规范》
- [21] 09-5284-10 《OTA 群集 PICS (预估)》

1.2.6 智能能源 (SE) 与其他 Zigbee® 规范之间的关系

在 Zigbee 的早期阶段, 随着在家居自动化、商业建筑、零售、电信等新的应用领域的使用, 最初的方法是将新应用划分为配置文件, 每个配置文件都具有一个唯一的配置文件 ID。之后, 这种方法被证明并不可靠, 因为许多实际应用都存在跨配置文件的情况。因此, 在开发 Zigbee 3.0 时, 取消了配置文件, 为除智能能源 (SE) 以外的所有配置文件使用家居自动化 (HA) 配置文件 ID 0x0104, 而智能能源 (SE) 则保留了原始配置文件 ID 0x0109。

智能能源 (SE) 有着严格的安全性要求, 特别是要使用 CBKE 中的安装代码和 ECC 证书进行身份验证, 并且使用 ECDSA 签名映像进行 OTA 固件更新, 这是无法合并到 Zigbee 3.0 中的一些主要原因。智能能源 (SE) 的整合正在进行中, 未来智能能源 (SE) 的发布可能会消除剩余的差异。然而, 截至所述的智能能源 (SE) 1.4 和 Zigbee 3.0, 在安全性、OTA 和配置文件 ID 方面仍然存在差异。请参阅以下文档:

- [22] ETSI EN 300-220

2 智能能源 (SE) 概述

智能能源 (SE) 是 Zigbee 的主要应用之一。智能能源 (SE) 有时被称为智能计量, 除了用于电力、燃气和水的计量, 智能能源 (SE) 还具有以下功能:

- 调度和负载控制
- 定价和支付 (包括家用或“内部”支付终端)
- 客户展示单元
- 电动车辆管理
- 太阳能微型发电 (净计量)
- 简单计量之外的许多其他功能

智能能源 (SE) 是公用事业供应商向智能基础设施全局迁移的一部分, 智能电网是其中的关键组成部分。从发电和配电到最终消费者使用, 智能电网具有许多组件。

Zigbee 智能能源 (SE) (ZSE) 仅涉及最终用户家庭或企业内的通信, 该领域被称为家庭局域网 (HAN)。当最终消费者距离很近时, HAN 在物理上重叠。然而, 出于安全原因, 每个 HAN 都是唯一的, 并且 HAN 中的消息都经过安全加密, 使重叠的 HAN 之间无法进行通信。

Zigbee 是一种灵活的网状联网技术。然而, 出于安全原因, 当 Zigbee 用于智能能源 (SE) 部署时, 使用了星形网络拓扑。星形拓扑的中心是 Zigbee 协调器或能源服务接口 (ESI), ESI 在某些司法管辖区被称为通信中心。除了形成网络并充当 Zigbee 信任中心外, ESI 还维护对非 Zigbee 连接 (又称回程网络) 进行维护。该回程网络与网络运营中心 (NOC) 连接, NOC 负责管理与每个客户场所或 HAN 的通信。根据司法管辖区的不同, NOC 可能归属于公用事业公司或第三方。

在少数情况下, Zigbee 智能能源 (SE) 规范假设存在回程网络。回程网络通信协议由外部监管机构指定, 不在 Zigbee 规范的范围之内。不同的司法管辖区使用的回程网络之间通常差异显著, 为此, 必须特别注意预期部署区域的监管环境。

公用事业公司由地区政府监管, 继而使政府机构负责对公用事业公司部署的智能能源 (SE) 设备进行授权、指定、监管和认证。虽然这些政府机构对开发 Zigbee 智能能源 (SE) 的要求产生了重大影响, 但这些机构并未直接参与智能能源 (SE) 规范的制定。Zigbee 智能能源 (SE) 被设计为全球标准, 独立于任何其他司法管辖区。虽然在某些地方, 政府机构对 Zigbee 智能能源 (SE) 规范的某些方面进行了完善、扩展或限制 (例如英国政府颁布《英国配套规范》(GBCS)), 但 Zigbee 智能能源 (SE) 规范对 HAN 内的无线网络操作进行了具体说明。

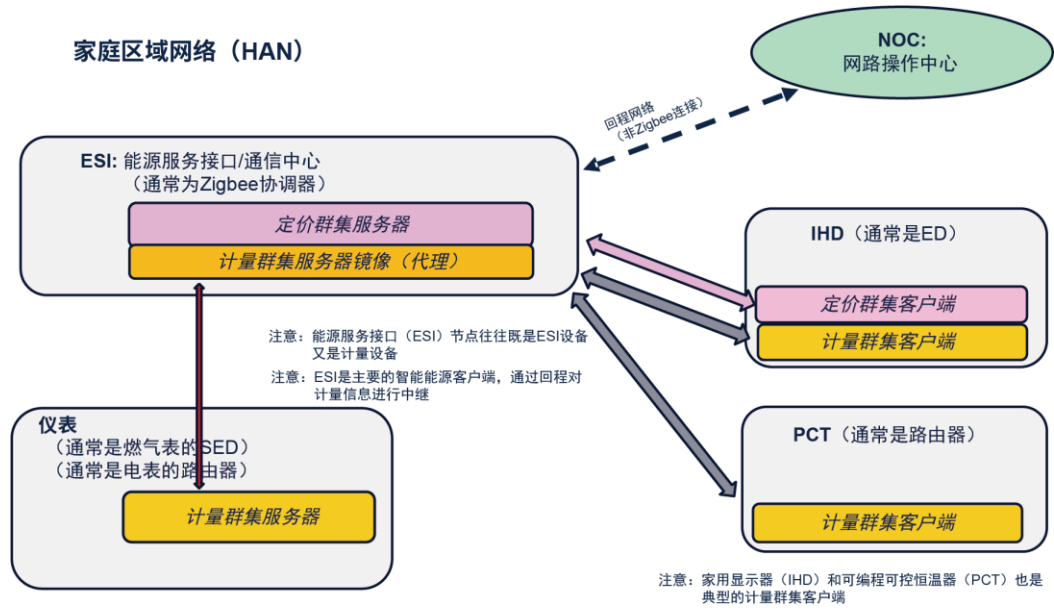
STM32WB Zigbee 解决方案为智能能源 (SE) 应用的构建和在智能能源 (SE) HAN 中运行的认证奠定了主要的基础。某些司法管辖区可能需要额外的非 Zigbee 服务, 在这种情况下, 可能需要额外的地区性规范、服务和认证。这些不在 ZSDK 和本文档的范围之内。

本文档介绍了如何构建可由独立检测机构检测, 并根据 Zigbee 联盟的当前认证级别进行认证的智能能源 (SE) 应用。

注意: STM32WB 尚不支持调度和支付功能, 因为 STM32WB 不支持以下群集:

- 日历
- 设备管理
- 预付费
- 活动

图 1. 家庭区域网络（HAN）



3 智能能源（SE）监管环境

在英国，Ofcom 监管无线传输。在全球范围内，在 2.4 GHz 频段，Zigbee 在 15 个信道上使用 O-QPSK 调制，同时与 WiFi 或 Bluetooth®共享该 ISM 频段。《Zigbee PRO R22 规范》附录 D 的 sub-GHz 频段定义了一种特殊的 GB-868 传输机制，该机制符合欧洲电信标准协会 ETSI 的要求，但与该频段的欧洲公约略有不同，因此该 PHY 的名称为“GB-868”。详情请参阅 R22 [11]附录 D。

另外，商业、能源和工业战略部（BEIS）还监管公用事业公司、DCC 提供的国家回程网络以及公用事业公司在部署智能能源（SE）中使用的设备。

《智能计量设备技术规范：第二版（SMETS-II）》中规定了基线要求，设备必须具有必要的设备特定功能，以符合本文档具体版本中详述的要求。Zigbee 要求只是 SMETS-II 的一个子部分，例如 DLMS/COSEM 消息传递。BEIS 还要求符合《英国配套规范（GBCS）》。还有仅适用于通信中心的另外第三个文档，即《通信中心技术规范（CHTS）》。为英国市场开发的设备必须符合 SMETS-II、GBCS 和针对通信中心的 CHTS。应当注意，这三个规范规定的大多数要求与 Zigbee 接口无关。

GBCS 对 Zigbee 应用的一个重要影响涉及远端消息。远端消息是端到端加密消息（从回传前端系统到接收设备）。它们通过回程网络传输，然后通过 Zigbee 隧道群集传输到接收设备。远端消息可以是 DLMS COSEM、ASN.1 和 Zigbee ZCL（称为 GBZ）消息。这意味着设备可以通过隧道群集，接收给定的消息作为常规 Zigbee ZCL 消息和 GBZ 消息。DLMS COSEM、ASN.1 和 GBZ 消息管理都在 ZSDK Zigbee 接口的范围之外（然而，一旦 GBZ 消息被解密，ZSDK ZCL 群集就会以与使用标准 Zigbee 机制直接接收消息相同的方式，对 GBZ 消息进行处理）。

在英国部署的产品必须由 Zigbee 授权检测机构检测并获得 Zigbee 联盟的认证。经认证的设备必须使用 R22 Zigbee 兼容性平台。其中包括 Zigbee IEEE 802.15.4 PHY MAC 认证，其涵盖了射频收发器和天线以及 R22 协议栈。在 R22 Zigbee 兼容性平台认证之后，设备还必须使用 ZSE 黄金单元通过 ZSE 1.4 认证，这也在 Zigbee 授权检测机构进行。ZSE 1.4 认证由 Certicom 提供的 ECC（椭圆曲线加密法）检测证书。获得认证后，可以从 Certicom 购买“生产 ECC 证书”。部署到现场的每台设备都必须包含生产证书。除了 Zigbee 兼容性平台和 Zigbee SE 1.4 认证，在英国部署的产品必须通过 BSI（英国标准协会）指定的商业产品保证（CPA）评估。CPA 包括 MISRA（汽车行业软件可靠性协会）报告，其中包括该应用。在部署之前，产品可能还必须与 DCC 和/或公用事业公司一起进行互操作性测试。

4 2.4 GHz 和 sub-GHz 操作

Zigbee 在 IEEE 802.15.4-2015 [15] PHY/MAC 层上构建，并使用 2.4 GHz ISM 频段中的 O-QPSK PHY ([15] 第 12 章)，并且该频段与其他 Zigbee 应用相同。智能能源 (SE) 确实对 Zigbee 提出了一些特定的要求，如要求安全性并通过 CBKE 提供安全密钥生成机制，但总体而言，2.4 GHz 频段的智能能源 (SE) 操作与其他 Zigbee 应用相似。然而，智能能源 (SE) 有时会部署在 2.4 GHz ISM 频段的 RF 特性不理想的地方。2.4 GHz ISM 频段充满了其他协议，如 WiFi、Bluetooth®、DECT 等，这些协议可能会干扰 ZigBee 智能能源 (SE)。2.4 GHz 信号的传播范围也很短，需要视距，因为信号很容易被信号路径中的物体吸收。在这些不太理想的环境中，Sub-GHz 频段明显具有更好的性能，因此智能能源 (SE) 应用还允许使用 SUN FSK PHY ([15] 第 20 章) 进行 Sub-GHz 操作。欧洲的 Sub-GHz 操作受 ETSI [22] EN 300-220 监管（注：ZSE 1.4 是在英国加入欧盟时开发的），而 Sub-GHz 操作的开发是为了满足 ETSI 规范。

《Zigbee PRO 核心规范》[11] R22 附录 D 定义了用于保持符合 ETSI 要求的 GB-868 PHY 和设施，这些要求包括：占空比检测、自适应功率控制和先听后说信道访问。请注意，R22 附录 D 将操作模式称为“欧洲 Sub-GHz”，存在一定的误导性，因其实际上是为在英国运行而设计的。因此，它通常被称为 GB-868。GB-868 使用的起始频率为 863.25 MHz（从第 28 页信道开始），而欧盟 Sub-GHz 频段从 863.1 MHz（第 28 页信道）开始。GB-868 还限制了第 29 页和第 30 页中的可用信道。

GB-868 实现了“礼让”信道访问机制，特别是 LBT（先听后说）和 AFA（自适应频率控制）。由于使用 LBT+AFA，允许的占空比为每小时 100s（或有效约为 2.7%，而在不使用 LBT+AFA 的情况下则为 0.1%），参见 R22[11]。

这些礼让信道访问机制以及自适应功率控制不适用于 2.4 GHz 操作。

4.1 占空比监测

为了确保 sub-GHz 将其传输占空比限制在监管限值以下，实施了占空比监测。占空比监测通过 MAC 和应用级功能的组合执行。MAC 使用一组跨越 1 小时时间间隔的存储桶对其传输进行监测。存储桶间隔期间的传输会在当前存储桶中累积，直到存储桶间隔结束，此时将开始新的存储桶并丢弃最旧的存储桶。所有存储桶的总和是过去一小时期间的总传输，这可用作 PIB 参数。当达到监管限制时，MAC 暂停传输，直到有足够的存储桶过期。在达到监管限值之前，还有只允许某些传输的更小阈值，这通过表示正常、受限、重要或暂停等模式的 PIB 值，反映在占空比模式中。

4.2 先听后说 (LBT)

2.4 GHz O-QPSK PHY 使用载波侦听多路访问作为信道接入方法。CSMA 要求发射器通过侦听载波并仅在未检测到载波时才进行传输以避免冲突（否则在重试之前会后退一段随机间隔）。CSMA 信道可用性通过寻找载波（例如在所需频率上使用相同调制的信号）确定。使用 LBT（先听后说），潜在发射器监测所需频率上的能量。区别虽小但不容忽视，LBT 更有可能使用不同的调制方案检测到来自源的传输：这是一种有礼的信道访问机制。GB-868 PHY 使用 LBT 而不是 CSMA 来符合 ETSI 法规。

4.3 自适应频率捷变 (AFA)

GBCS 和 SMETS-II 规范是在英国还属于欧盟时制定的，因此属于 CEPT 和 ETSI 法规。为了实现 2.7% 的占空比，需要自适应频率捷变。Zigbee 通过频率捷变功能满足这一要求，参见[11]附录 E，第 2.4.3.3.10 节和 F.2.2。为了支持频率捷变，设备必须能够在多个信道上运行。《Zigbee 智能能源 (SE) 标准版本 1.4》([1]) 的第 5.8.1 节规定了首选的 2.4 GHz 信道 11、14、15、19、20、24 和 25，D.14 规定了第 28、29、30 和 31 页上的 Sub-GHz 信道，并使用 ZbStartupConfigGetProSeDefaults()，用这些 SE 默认信道填充启动配置。

在形成网络之前，执行扫描，定位具有最小干扰可能性的信道。基于这些扫描结果，在首选信道上形成网络（或在双频 ESI 的情况下，分别在 2.4 GHz 和 Sub-GHz 频段上形成一个信道）。然而，条件会随着时间的推移发生变化，并且在信道上出现反复干扰后，网络可能别无选择，只能移动到新信道来避免干扰。这种行为被称为频率捷变或自适应频率捷变，支持应用将其实现为 ZSDK 标准功能。

5 信任中心换出 (TSCO)

智能能源 (SE) 部署往往处于数百万个单独的智能能源 (SE) HAN 网络的范围内。每个单独的网络预计寿命很长，潜在寿命达数十年。由于如此多的设备运行如此长的时间，因此某些网络上的一些个别设备可能会出现問題，并且可能会更换某些设备。大多数设备的更换相对简单，更换的设备只需简单调试，然后以与原始设备在原始配置期间相同的方式添加到网络中。

ESI/通信中心 (例如信任中心) 的更换并非如此简单。信任中心是网络协调器 (具有特殊的短地址 0x0000)，包含网络上所有设备的安装代码和链路密钥 (通过 CBKE 建立)。ESI 的更换与网络上的其他设备不同。因此，需要执行信任中心换出 (TSCO) 流程。

TSCO 允许在不影响网络安全性的情况下更换信任中心。网络密钥永远不会以未加密的方式传输，并且网络密钥和单个链路密钥都不会在相应设备之外使用。

交换 TC 时，将保留扩展 PAN ID 并传输到新的 TC，以便设备找到新的 TC。此外，现有链路密钥经过哈希处理，用作新设备上的预配置链路密钥。原始链路键无法从哈希重建。

6 使用 ZSDK 群集模板构建智能能源 (SE) 应用

智能能源 (SE) 设备使用 ZCL 群集进行交互。实现智能能源 (SE) 设备的大部分工作包括完成这些群集定义的应用特定功能。ZSE [参考文献 1.4] 和 ZCL [参考文献 4] 规范定义了接口和所需的功能。ZSDK 提供模板群集，用于实现通信需求并提供可以构建智能能源 (SE) 应用的模板。

智能能源 (SE) HAN 由多个节点组成。在许多情况下，一个节点由智能能源 (SE) 规范中定义的单个设备类型组成。一个节点也可以支持多种设备类型的功能。能源服务接口 (ESI) 节点往往既是 ESI 设备又是计量设备。其他节点一般为单一设备类型，如家用显示器 (IHD)、可编程通信恒温器 (PCT)、智能家电、预付费终端设备等。

6.1 智能能源 (SE) 设备类型

每个物理智能能源 (SE) 设备由智能能源 (SE) 规范中定义的一种 (或多种) 设备类型组成，包括：

- 能源服务接口 (ESI)
- 计量设备
- 家用显示器 (IHD)
- 可编程通信恒温器 (PCT)
- 负载控制设备
- 智能家电
- 预付费终端 => STM32WB 上不可用
- 物理设备
- 远程通信设备
- 链路 ERL 设备 => STM32WB 上不可用
- 增程器

ESI (能源服务接口) 在网络中有着很特殊的作用。首先，它通常既是协调器又是信任中心。其次，还是连接到回程网络的设备。

在英国市场，Zigbee ESI 是被称为通信中心的设备的一部分。同样，其他设备类型也有英国特定名称，如 ESME, GSME 和 PPMID。这些在《英国配套规范 (GBCS)》中定义，这不在 Zigbee 和本文档的范围之内。

CSZ Zigbee 智能能源 (SE) 规范定义了新设备以安装代码 (通常印制于设备本身) 的形式加入智能能源 (SE) 网络的方法。安装代码必须通过回程网络传送到 ESI，在该 ESI 中，安装代码用于在信任中心上创建链路密钥，设备使用该链路密钥加入网络。

6.2 智能能源 (SE) 群集概述

智能能源 (SE) 群集提供 ZCL 指令和属性的基本功能。每次特定实施都以不同的方式使用这些功能，具体取决于实际设备、司法管辖区和公用事业公司。

智能能源 (SE) 设备部署到特定市场前，必须进行调整，以满足特别是以下机构规定的一组特定要求：

- 公用事业公司商业惯例
- 回程网络供应商的基础设施
- 地区和国家政府

例如：

- 一家公用事业公司可以使用住宅倾斜区块定价结构，而其他公用事业公司可以采用使用时间定价。
- 一个监管机构可能要求在某些情况下必须向客户发放紧急信贷。
- Sub-GHz 信道受到地区性限制，某些地区对功率输出和占空比有限制。所有这些要求意味着设备必须面向特定市场。

其中许多要求直接影响应用的设计和业务逻辑。在设计应用时，必须将这些方面纳入考虑之中。某些方面与群集的应用使用有关；例如，某些司法管辖区规定了使用多少日历和使用哪种类型的日历。如非 Zigbee 遗留和通过隧道群集传输的专有消息等方面完全超出了 Zigbee 规范的范围。

ZSDK 提供通用群集模板，这些模板可以为任何设备类型的市场特定应用中的业务逻辑提供支持。下面几节介绍了所需的通用群集模板：属性、函数、回调等群集模板。ZSDK 群集模板被开发为可由 ZigBee 联盟根据 Zigbee 智能能源（SE）规范进行认证。应用开发包括实现特定智能能源（SE）市场中特定设备所需的一组通常丰富的特定业务逻辑。

7 SE 强制性群集和可选群集

《智能能源（SE）规范》[1]依据设备类型，定义了一组要支持的强制性群集和可选群集。大多数 ZCL 群集都需要链路密钥（APS）安全性，以下情况除外：

表 2. 典型 SE 应用上使用的群集

群集	需要链路密钥安全性
基本	无
密钥建立	无
识别	无
报警	无
功率配置	无
时间	有
调试	有
保持活动状态	有
价格	有
需求响应和负载控制	有
计量	有
消息	有
智能能源（SE）隧道（复杂计量）	有

当设备加入智能能源（SE）网络时，通过 CBKE 自动建立与 ESI 的链路密钥。当两个非 ESI 节点（例如 IHD 和计量表）需要使用 ZSE 1.4 中定义的合作伙伴链路密钥机制进行链路密钥通信时。

8 不需要链路密钥安全性的常规群集

8.1 基本群集

基本群集的唯一性在于，它通常在使用 `ZclAddEndpoint()` 创建端点时自动分配，而不是由应用分配。然而，应用有责任进行适当的属性设置。提供了特殊的帮助程序功能对这一过程进行协助。分配完所有端点后，应使用 `ZbZclBasicWriteDirect()` 更新“Basic”的属性，指定端点 `ZB_ENDPOINT_BCAST`。这会更新所有端点上的基本群集属性。

必须按这种方式设置以下属性：

- `ZCL_BASIC_ATTR_APP_VERSION`
- `ZCL_BASIC_ATTR_STACK_VERSION`
- `ZCL_BASIC_ATTR_HARDWARE_VERSION`
- `ZCL_BASIC_ATTR_MFR_NAME`
- `ZCL_BASIC_ATTR_MODEL_NAME`
- `ZCL_BASIC_ATTR_DATE_CODE`
- `ZCL_BASIC_ATTR_POWER_SOURCE`
- `ZCL_BASIC_ATTR_SW_BUILD_ID`

请参阅有关基本群集和 ZSE 规范的文档，了解这些属性应设置的正确值。

8.2 基于证书的密钥建立（CBKE）群集

当启用套件 1、套件 2 或两个套件时，将在启动时自动分配 CBKE 群集，并且在 `ZbStartupT` 的 `ZbStartupCbkeT` 字段中定义了证书。更多信息请参阅第 12 节“智能能源（SE）网络上的设备启动”和 ZSE 1.4 规范。

8.3 识别群集

识别群集是智能能源（SE）设备的可选群集。然而，建议将该群集设置为可用，以便安装程序对各个单元进行验证。其他规范（如 BDB）对识别群集施加了其他功能，例如查找和绑定。智能能源（SE）网络中不使用此类功能，其中该群集的唯一用途是验证是否正在寻址正确的物理单元。

8.4 报警群集

当其他群集（如基本群集、计量群集和预付费群集）支持报警时，需要报警群集。当应用在其中一个群集上实现报警支持时，还必须在与生成报警的群集相同的端点上，创建报警服务器群集。当群集应用需要生成报警时，则使用 `ZbZclClusterSendAlarm()` 帮助程序生成报警。

有关报警和报警代码的定义，请参阅各个群集的文档。如需更多信息，请查看报警群集的文档。ZSDK API 详见应用笔记 AN-029 和 AN-052。

8.5 功率配置

电源配置群集为可选群集。该群集由许多属性组成，客户端可读取这些属性，以确定设备电源的特性，包括主电源或电池参数。

有关更多详细信息，请参阅群集文档。

9 需要链路密钥安全性的常规群集

9.1 时间群集

智能能源（SE）网络中的时钟使用时间群集进行同步，其中 ESI 充当服务器和时钟主控器。依赖于时间的设备可以查询 ESI，并将其时钟与 ESI 同步。设备必须对所有时间群集消息采用 APS 链路密钥安全性，并且仅接受或响应链路密钥安全的请求。

9.2 调试群集

调试群集在规范中列为可选群集，以便能够使用特殊的调试工具对设备进行无线配置。ZSE 规范既没有定义如何做到这一点，也没有将其排除在外。实际上，群集的可用性和使用将取决于司法管辖区，因为许多部署并未使用调试群集。如果可用，调试群集必须只能通过 APS 链路密钥安全的消息进行访问。

9.3 保持活动状态的群集

在使用 CBKE 时，保持活动状态群集由协议栈自动创建。该群集是智能能源（SE）设备检测与信任中心通信中断的机制的一部分。这种通信中断会导致一系列的重试、网络重新加入尝试以及最终尝试加入新的信任中心（TCSO）。应用不应声明保持活动状态群集的实例。然而，确实需要实现设备特定的重新加入序列。有关更多详细信息，请参阅第 12 节“智能能源（SE）网络上的设备启动”。

10 智能能源（SE）群集

本节包含有关以下智能能源（SE）群集的信息：

- 需求响应和负载控制（DRLC）
- 消息传递
- 计量
- 价格
- 隧道

10.1 需求响应负载控制群集

智能电网可能无法满足高峰期的总需求。例如，在热浪期间，对热泵的电力需求可能超出过供应，造成轮流停电。需求响应负载控制（DRLC）群集为公用事业公司提供了一种机制，可减轻负载、更好地管理电网，甚至防止在峰值负载条件下发生故障。

DRLC 假定了一种通过单独的回程网络从前端到 ESI 的带外机制。ESI 上的应用通过向 Zigbee 智能能源（SE）HAN 上的设备发出 DRLC 事件进行响应。ZSE 规范中使用的术语“事件”略有误导性；负载控制事件是 ESI 对智能能源（SE）设备在一段时间内（可能在将来的某个时间点）更改行为的请求。

例如，负载控制事件可以指示可编程恒温器（PCT）调整其设定值（减少加热或冷却）。尽管 DRLC 最初用于恒温器，但已扩展到一系列设备，如热水器、游泳池、电器、商业负载和电动车辆。

“负载控制事件”包含一个“事件控制”字段，用于对开始时间和/或持续时间进行随机化设置，以防发生智能电网中可能有数千台设备同时打开或关闭的情况。

设备并非始终符合“负载控制事件”。事件一般具有自发性，设备可以“选择退出”参与。在某些应用中，占用设备需要“选择加入”事件，公用事业公司可能会针对参与提供激励措施，如降低费率。

设备通过向 ESI 发送“报告事件状态”指令，对“负载控制事件”进行响应。单个“负载控制事件”通常会生成多个报告，每个报告具有不同的状态，如“选择加入”/“选择退出”、事件已开始、事件已完成、事件已取消等。

DRLC 群集中的群集角色可能看起来与正常情况相反。ESI 为 DRLC 服务器，负载控制设备为客户端。客户端支持可写入属性，以便 ESI 分配群组、控制开始时间和持续时间的随机化以及设置设备类别。

10.1.1 ESI 上的 DRLC 服务器群集

在 ESI 上，使用以下方式创建服务器群集：

```
ZbZclDrlcServerAlloc()
```

支持两种回调，一种用于接收来自客户端的异步报表状态指令：

```
void (*report_status)(struct ZbZclClusterT *clusterPtr, struct ZbZclAddrInfoT *srcInfo, struct ZbZclDrlcStatusT *status, void *arg);
```

状态包含客户端返回的“事件报告状态”指令。

第二种服务器回调接收对“获取预定事件”请求的响应：

```
enum ZclStatusCodeT (*get_events)(struct ZbZclClusterT *clusterPtr, struct ZbZclAddrInfoT *srcInfo, struct ZbZclDrlcGetEventsReqT *req, void *arg);
```

ESI 服务器可以使用 ZbZclDrlcServerCommandEventReq()，请求“获取预定事件”。如果客户端上未发生任何事件，则在回调中返回状态 ZCL_STATUS_NOT_FOUND。

服务器还可以使用 ZbZclDrlcServerCommandEventReq()取消单个事件，或使用

ZbZclDrlcServerCommandEventReq()取消所有事件。

受控设备上的 DRLC 客户端群集

在受控负载设备上，使用以下方式创建客户端群集：

```
ZbZclDrlcClientAlloc()
```

由于它们是强制性选项，因此所有客户端属性将会自动创建，并根据规范将其设置为默认值。

DRLC 客户端群集在内部管理从 ESI 接收的事件，使用计时器向应用发出信号，以便根据需要开始和停止事件。为此，客户端群集会生成事件代码为“指令已接收”的“报告事件状态”回调。参见 ZSE 1.4 [1]，图 D-8 和 D-9。

应用不得尝试同时发送这些报告。

客户端群集通过两个回调与应用交互，这两个回调是在群集实例化时，通过 alloc 函数提供给群集的：

```
bool (*start)(void *arg, struct ZbZclDrlcEventT *event)
```

```
void (*stop)(void *arg, struct ZbZclDrlcEventT *event)
```

当应用希望在事件结束时调用停止回调时，开始回调应返回“true”。通常，当开始回调中发生错误时，会返回“false”，向客户端群集指示它不希望事件结束时停止回调。

客户端应用可以决定使用 ZbZclDrlcClientCommandReportStatusReq() 函数，将报告异步发送到 ESI。这通常用于“选择加入”和“选择退出”事件状态报告。由于 DRLC 客户端群集管理事件，因此它还会发出事件取消状态报告。

如果事件在开始回调和停止回调之间被取消，则使用取消事件调用停止回调，使应用采取适当的操作。

在特殊情况下，DRLC 客户端可能会丢失活动事件。例如，这可能在意外电力循环中发生，并通过负载控制设备的持久性重新启动。在这种情况下，在重新启动期间，客户端应使用以下方式请求重新发出事件：

```
ZbZclDrlcClientCommandGetEventsReq()
```

这导致 ESI 重新发出它为该负载控制设备设置的事件。这会重新建立内部表，并导致针对活动负载控制事件调用开始回调。如果负载控制设备在应调用停止回调时处于离线状态，则由于发出 ZbZclDrlcClientCommandGetEventsReq()，无法调用该负载控制设备。因此，应用必须假设初始上电状态，这与完成停止回调后的状态相同。通过这种方式，ESI 和负载控制设备保持同步，即使在极少数情况下由于重新启动而暂时中断通信时，亦是如此。

10.2 消息群集

消息群集提供了一种供 ESI 在智能能源（SE）设备的显示屏上显示简单文本消息的机制，该智能能源（SE）设备通常为 IHD（家用显示器）、PCT（可编程通信恒温器）、智能家电或预付费终端。设备必须具有能够显示短文本消息的显示器。

消息从 ESI 服务器发送到设备客户端（请注意，在某些意义上，这与传统的客户端/服务器角色相反）。消息可能需要确认用户已收到消息（“确认”），并且可能需要简单的“是/否”响应。

在 ESI 上，服务器群集使用 ZbZclMsgServerAlloc() 进行实例化，应用提供回调函数来接收来自客户端的响应。当消息需要密码保护时，ESI 使用 ZbZclMsgServerDisplayMessageReq() 和 ZbZclMsgServerDisplayProtectedMsgReq()，向客户端发送消息。显示消息请求包括消息文本、开始时间和持续时间（以分钟为单位）。消息控制字段指定了重要性、是否需要接收确认以及是否需要是/否响应（增强确认）。规范消息控制包括对 InterPAN 传输的支持。这包含在旧版应用中。InterPAN 消息传递不安全，其使用已过时。

客户端应用使用 ZbZclMsgClientAlloc()，创建客户端群集。收到 display_message 回调后，如果需要接收确认或增强确认，则调用 ZbZclMsgClientConfReq()，将确认消息发送回 ESI。

ESI 可以使用 ZbZclMsgServerCancelMessageReq() 取消特定消息，也可以使用 ZbZclMsgServerCancelAllReq() 取消所有活动消息。

在显示设备与 ESI 的通信暂时中断的情况下，应通过发送 ZbZclMsgClientGetLastReq() 请求来与 ESI 同步，以便重新发送以前发送的任何“显示消息”。客户端也可能仍在显示 ESI 已取消的消息。如果仍在显示消息，则可以使用 ZbZclMsgClientGetMsgCancelReq()，检查是否应清除消息。

ZbZclMsgClientGetLastReq() 和 ZbZclMsgClientGetMsgCancelReq()

10.3 保持活动状态

请参见第 9.3 节“保持活动状态群集”。

10.4 计量群集

计量群集可以说是智能能源 (SE) 应用中的中心群集。电表、燃气表或水表都是支持计量群集的服务器实例，从而向其他智能能源 (SE) 设备披露可能的各种属性。主智能能源 (SE) 客户端为 ESI，它通过回程向前端系统中继计量信息。家用显示器 (IHD) 和可编程可控恒温器 (PCT) 也是典型的计量群集客户端。在许多部署中，ESI 和计量表在物理上是相同的设备，即使它们在操作方面存在逻辑差别。

某些计量表（通常是燃气表或水表）由电池供电并且处于休眠状态，因此并非始终可用。这给需要按需访问计量数据的客户端带来了问题。针对上述情况，通过一种镜像工具，使休眠计量表将其计量数据发送到 ESI 上的计量服务器群集的实例，由其对数据进行镜像，从而使其始终可供网络上的设备使用。

计量服务器的属性分为以下属性集：

- 读数信息集
- TOU 信息集
- 计量表状态
- 格式
- 历史消耗
- 加载配置文件配置
- 供应限制
- 区块信息（已交付）
- 报警
- 区块信息（已接收）
- 计量表计费属性集
- 电源控制属性集
- 备选历史消耗

属性预期为各种应用提供支持，还提供了大量属性的定义，以便将各种可能的部署方案考虑在内。然而，只有几个强制性属性，其余属性的实现由特定部署要求而定。即使这些属性在 Zigbee 智能能源 (SE) 规范中为可选属性，但它们可能依法包含在外部要求（如地区规范）中。许多可选属性的定义在 ZSDK 模板中处于禁用状态，并且可以根据需要由应用纳入其中。

10.4.1 计量群集属性格式化

强制性属性 `CurrentSummationDelivered`（当前交付总和）为主计量读数值。强制性属性还包括 `MeteringDeviceType`（计量设备类型）（如电、燃气、水和热）、`UnitofMeasure`（测量单位）（kWh、m3、BTU 等）和 `SummationFormatting`（总和格式）。“当前交付总和”直接来自传感器，如要获得实际显示的值，使用 `SummationFormatting` 属性，用小数点左边和右边的位数对数值进行格式化。此外还有两个可选属性，即 `Multiplier`（乘数）和 `Divisor`（除数），二者如果存在且不为零，则用于缩放计量表读数值。服务器具有以下属性：

- `CurrentSummationDelivered`
- `SummationFormatting`
- `Multiplier, Divisor`
- `MeteringDeviceType`
- `UnitsofMeasure`

而且客户端将这些组合在一起以正确解释和显示值。有关格式化样例，请参见[ZSE 1.4]表 D-24。

一般，计量表测量交付的数量。在某些情况下，计量表可以“倒退”；如同太阳能光伏发电在白天发电，并在晚上将电能反馈回电网。在此类情况下，还有“接收的”属性可用于记录交付回电网的能量。

公用事业公司很少按统一费率收费。由于非常复杂，导致需要一个单独的价格群集。它还会影响计量群集的属性。两种常见的方案是住宅倾斜区块（RIB）和使用时间（TOU）。使用 RIB 分配计费周期内的使用区块。为第一个区块（例如特定数量的 kWh）使用量分配最低定价层。如果超出该区块，该区块中的使用量则依次按照更高定价层进行计费。当使用 RIB 定价时，使用以下所有区块相关属性：CurrentBlockPeriodConsumptionDelivered、CurrentBlock、CurrentBlockReceived 等，否则，则不支持。当使用区块定价和层-区块组合定价时，则将每单位消耗添加到“已交付或已接收的区块信息属性集”中的一个特定属性中。

当设置 TOU 定价时，将根据每天分配给每个层的时间来计量消耗。然后，将每单位消耗添加到“TOU 信息属性”集中的层特定属性中。

此外还有更多潜在属性被整理到属性集中，包括计量状态、历史消耗、供应限制、计量计费、供应控制和备选历史消耗。

这些可选属性仅根据前端系统的要求和业务逻辑启用和使用。特定计量包含具有子集的应用特定实现。

10.4.2 计量群集报警

计量群集支持各种潜在报警。可用的报警取决于计量类型（电、气、水、热）。“报警属性”集包含一组报警掩码，其允许报警客户端有选择地启用或禁用特定报警的生成。有关报警代码和报警掩码属性的定义，请参见[参考文件 ZSE 1.4]第 D.3.2.2.9 节。

计量群集服务器应用在检测到报警条件时，会使用来自计量服务器群集的帮助程序函数 ZbZclClusterSendAlarm() 发布报警。这会导致从与计量群集服务器位于同一端点上的报警服务器群集实例生成报警。有关更多详细信息，请参阅[参考文献 ZSDK ZCL API]的报警部分。

10.4.3 计量群集和快速轮询

计量属性通常每 30 秒更新一次。在某些情况下，诸如当用户

主动观看 IHD 屏幕时，希望增加更新频率。Zigbee 提供了“快速轮询”机制来实现这种临时增加。计量应用将 DefaultUpdatePeriod 属性中的正常频率和所支持的最快的快速轮询，广播为 FastPollUpdatePeriod 属性值。

客户端通过向服务器发出 RequestFastPolling 指令，请求快速轮询。请注意，计量群集快速轮询机制与轮询控制群集无关。

10.4.4 计量群集配置文件

每小时或每天的累计使用不够细化，无法理解消耗模式。客户端可以尝试通过执行常规读取来构造该信息，但由于客户端和服务器之间的时间同步以及处理可能的错过的读取，该方法会遇到问题。为了解决这一问题，计量群集引入了配置文件的概念。

使用配置文件，计量表会在固定数量的存储桶中自动累积“已交付消耗”、“已接收消耗”、“已交付被动消耗”和/或“已接收被动消耗”，最高可达“已交付最大周期数”（MaxNumberOfPeriodsDelivered）属性的值。每个存储桶都覆盖一个固定的时间间隔，如 ProfileIntervalPeriod 属性所给出的时间间隔。

计量客户端可以使用 ZbZclMeterClientCommandGetProfileReq() 请求该数据。

在服务器上，当收到这些指令之一时，将调用应用提供的 get_profile 回调。然后，应用收集其在后台累积的数据，并调用 ZbZclMeterServerSendGetProfileRsp()，将配置文件数据返回给客户端。

在客户端上，在调用 ZbZclMeterClientCommandGetProfileReq() 时提供的回调，与“获取配置文件响应”一起调用。

10.4.5 计量群集监测

镜像是位于代理设备上的重复计量群集服务器实例。当实际计量表位于休眠节点且通常无法访问时，会使用镜像。镜像通常驻留在 ESI 上，始终可用于提供计量数据。通过“设备类型”属性，可以将镜像与物理计量区分开来，使用特殊的“镜像”设备类型，并将物理计量与其镜像区分开来。

计量群集使用单向镜像进行镜像。[参考文献 ZSE]第 D.3.4.4 节“镜像”中定义了镜像机制。

能够充当镜像的 ESI 提供镜像发现端点。除了其他群集之外，该端点可能还具有“物理环境” (PhysicalEnvironment) 属性设置为 1 的基本群集实例，以及计量服务器群集的 (可能部分) 实例。需要镜像的休眠计量表会发现 ESI，通过“物理环境”属性确定其具有镜像容量，并向发现端点上的计量服务器群集发送 RequestMirror (“请求镜像”) 指令。然后，ESI 必须使用 ZbZclAddEndpointNoBasic() 创建新的镜像端点，因为该端点上的基本群集实例为镜像设备上基本群集的镜像 (而不是 ESI 的基本群集)。ESI 将新的基本服务器群集和计量服务器群集添加到新的镜像端点，并使用该新端点的端点 ID 对“请求镜像”指令进行响应。

然后，镜像设备上的应用使用属性报告，将其基本服务器群集和计量服务器群集的内容推送到镜像。休眠计量仪会定期唤醒，在唤醒后，会使用属性报告将已更改的计量服务器属性推送到镜像。

10.5 价格群集

10.5.1 ESI 定价服务器

在智能能源 (SE) HAN 中，ESI 是向 HAN 客户端设备提供定价信息的服务器。该群集具有高度可配置性。只有 GetCurrentPrice 和 PriceAcknowledgement 指令为强制性指令，所有其他指令和属性均为可选项。只有一小部分可选指令和属性在实际设备中实现，以根据需要满足部署设备的特定法规和市场需求。所实现的可选指令和属性在一定程度上也由设备上运行的应用的需求驱动。

通过调用 ZbZclPriceServerAlloc() 并为强制性 GetCurrentPrice 和 PriceAckfirmment 消息提供回调函数，ESI 对定价服务器实例进行实例化。此外还支持一些更常见的可选指令。这些指令对 Zigbee 来说是可选的，但在某些司法管辖区 (如 GB 市场) 则具有强制性。如果将回调设置为 NULL，则会将其作为不受支持的指令进行处理。为应用提供了特殊的“可选”回调，以增加对不太常见的指令的支持。如果需要，应用必须为这些指令实现自定义处理程序。

因为所有属性均可选，所以 ZbZclPriceServerAlloc() 不会分配任何属性。应用必须分配所需的任何可选群集。属性按属性的功能划分为多个属性集。这些属性集也分为两个存储区。第一存储区主要用于有关已交付消耗的定价，第二存储区复制消耗属性，但用于已接收能源的定价。收到的集仅在需要时使用。每个集和各个属性均可选，取决于市场需求。

使用时，价格层和区块阈值属性通常出现在大型区块中。为了节省空间，向应用提供了帮助程序宏，用于确保生成的属性 ID 的正确性。

ZCL_PRICE_SVR_ATTR_TIERN_LABEL(1)

ZCL_PRICE_SVR_ATTR_TIERN_LABEL(2)

...

定价信息也使用发布机制进行分发。设备需要及时更新绑定到 ESI 定价服务器群集的定价数据，并接收 PublishPrice 等发布指令。当价格发生变化时，ESI 调用 ZbZclPriceServerSendPublishPrice() 等发布指令，将更改发布到绑定的客户端。

定价客户端设备

需要定价信息的设备使用 ZbZclPriceClientAlloc() 对定价客户端群集的实例进行实例化，为发布价格指令提供回调。其余发布指令是可选的，而且应用必须使用通用可选回调实现自己的处理程序。

客户端可以使用 ZbZclPriceClientCommandGetCurrentPriceReq() 向服务器发送 GetCurrentPrice 请求。还支持最常见的可选指令，包括：

- ZbZclPriceClientCommandGetScheduledPricesReq
- ZbZclPriceClientCommandPriceAckReq
- ZbZclPriceClientCommandGetTariffInfoReq

- ZbZclPriceClientCommandGetPriceMatrixReq
- ZbZclPriceClientCommandGetBlockThresholdsReq

10.6 隧道群集

隧道群集也称为智能能源（SE）隧道或复杂计量群集。尽管同时定义了客户端和服务端角色，但隧道采用异步数据传输机制；这意味着任何一方只要有数据要发送，就会执行 TransferData。只要双方就交换的数据类型达成一致，实际数据即为任意的。

该规范定义了一组协议 ID，包括：

- DLMS/COSEM
- IEC
- 61107
- ANSI C12

该规范还允许制造商定义的协议。

服务器应用使用 ZbZclTunnelServerAlloc() 创建隧道群集的实例，并使用 ZbZclTunnelServerAddProto() 为每个支持的协议添加对所支持协议的回调。类似地，客户端应用 ZbZclTunnelClientAlloc() 创建群集的实例，并使用 ZbZclTunnelClientAddProto() 添加协议支持。在这两种情况下，添加协议都包括添加一组回调函数来处理以下操作：

- 请求（针对新隧道会话）
- 输入（接收数据时）
- 关闭（当对端关闭隧道时）
- 错误（当对端发出错误信号时）

隧道群集（客户端和服务端）通过 ZbZclTunnelStateT 指针管理连接。应用不会也不应访问其内容。不透明状态指针在客户端上的 ZbZclTunnelClientConnectReq() 的回调中，或者在向服务器上的 ZbZclTunnelServerAddProto() 提供的请求回调中，提供给应用。应用应保存该状态指针，并在所有后续调用中使用该状态指针，该状态指针可识别特定的隧道会话。

客户端使用 ZbZclTunnelClientSendReq() 发送数据，服务器使用 ZbZclTunnelServerSendto() 发送数据。应用提供回调来处理 ZCL 响应，该 ZCL 响应可包括默认响应或为隧道群集定义的 ZCL 消息之一。

客户端应用可以使用 ZbZclTunnelClientCloseReq() 关闭隧道。ZbZclTunnelClientCloseQuietReq() 函数是 ZSE 认证测试所必需的，但不应在实际应用中使用，因为该函数不会发送所需的关闭消息。

服务器应用可以使用 ZbZclTunnelServerStateFindById() 从隧道 ID 获取状态指针，并在后续的 ZbZclTunnelServerSendto() 请求中使用该指针。服务器还可以使用 ZbZclTunnelServerSendAllMatch()，将数据发送到特定的扩展地址。

重要注意，隧道群集只是提供了一种在客户端和服务端之间来回交换数据的机制。例如，由应用在数据中实现例如协议 DLMS/COSEM（IEC 61107）的具体内容。

服务器在超时时限不活动后任意关闭隧道。该超时时限由 ZCL_TUNNEL_ATTR_TIMEOUT 属性控制，默认为 3600 秒或 1 小时。服务器应用可以使用 ZbZclAttrIntegerWrite() 重置本地属性，而客户端可以使用 ZbZclReadReq() 读取远程服务器属性。

11 伙伴链路密钥

ZSE 1.4 第 5.4.7.4 节定义了合作伙伴链路密钥机制。在合作伙伴链路密钥流程中，TC 对两个合作伙伴进行身份验证，并为其授予建立自己的链路密钥的权限。完成合作伙伴链路密钥流程后，设备则直接使用 CBKE 建立自己的链路密钥。以下是该流程的概述（另见 ZSE 1.4 图 5-6）：

1. 接受建立合作伙伴链路密钥的设备，通过在其 CBKE 群集上接受绑定请求来实现此目的。发起设备将 ZbApsmeBindReq() 发送给请求将 CBKE 群集绑定回自身的潜在合作伙伴。通常，潜在合作伙伴需要“匹配描述符请求”来确定 CBKE 群集的端点。
2. 如果合作伙伴接受绑定（例如，ZbApsmeBindConfT 响应的状态字段为 ZB_STATUS_SUCCESS），则潜在合作伙伴已发出信号，表示它愿意尝试建立合作伙伴链路密钥。
3. 然后，发起设备使用 ZbApsmeRequestKeyReq()，使用密钥类型为 ZB_APS_REQKEY_KEYTYPE_APP_LINK 的潜在合作伙伴的扩展地址，向 TC 发送“请求链路密钥”。然后，TC 对发起设备和潜在合作伙伴两者进行身份验证，特别是 TC 必须知道这两个的 EUI-64，并且不在任何黑名单或证书吊销列表中。
4. a/b 如果潜在的两个合作伙伴都通过了这些检查，则 TC 将向发起设备及其潜在的合作伙伴发送包含唯一链路密钥的“传输密钥”消息。
 尽管合作伙伴理论上可以使用该链路密钥，但其并未使用。相反，合作伙伴使用从 TC 接收的“传输密钥”作为建立合作伙伴链路密钥的权限。“传输密钥”消息中包含的密钥不安全：实际上，该密钥对 TC 而言是已知的。因此，合作伙伴会从“传输密钥”消息中丢弃密钥。
5. 然后，发起设备使用 ZbZclKeWithDevice()，直接与潜在的合作伙伴启动 CBKE。这在合作伙伴之间启动 CBKE 的方式，与加入设备在初始加入期间与 TC 启动 CBKE 的方式相同。

12 智能能源（SE）网络上的设备启动

加入或形成智能能源（SE）网络与其他 Zigbee 网络非常相似。协议栈首先通过调用 ZbInit()进行初始化。

```
ZbInit() returns the a pointer to the stack instance that is used throughout the rest of the
application.
struct ZigBeeT *zb;
zb = ZbInit(ext_addr, &table_sizes, &logging);
if (zb == NULL) { /* failed to initialize */
}
```

然后，通过为协议栈提供位于 ZbStartupT 中的所需配置，使用 ZbStartup()启动协议栈。

```
struct ZbStartupT config;
```

针对智能能源（SE）所需的配置项，提供智能能源（SE）特定的配置帮助程序。

```
ZbStartupConfigGetProSeDefaults(&config)
```

在加入信任中心（TC）期间，使用链路密钥加密包含网络密钥的传输密钥消息。初始 TC 链路密钥是从 48、64、96 和 128 位安装代码导出的，其中附加了 16 位 CRC。CRC 用于检查安装代码是否未更改。例如，安装代码可以印制在设备上并由用户手动输入。在这种情况下，CRC 有助于检测转录错误。R22 [11]第 5.4.8.1.1 节介绍了从安装代码导出链路密钥的流程。

ZbSecInstallCodeCheck()函数验证 CRC，如果正确，则将其转换为 128 位链路密钥，加入设备可将其用作 TC 链路密钥。类似地，TC 可以使用 ZbSecAddDeviceLinkKeyByInstallCode()，在设备尝试加入之前为其添加链路密钥。

用于 CBKE 的安全证书在 ZbStartupT 结构的 cbke 字段中配置。cbke 字段的类型为 ZbStartupCbkeT，在使用 CBKE 时，必须使用套件 1、套件 2 或两种安全证书进行配置。有关智能能源（SE）安全性的更多信息，请参见[1]。

在 ZbStartupCbkeT 结构中，应用必须指定“套件掩码”（是否支持套件 1、套件 2 和两者）。设置其中之一会自动触发 CBKE 群集（和端点，如果需要）的创建，并在成功加入后向 TC 自动启动 CBKE。此外，在 ZbStartupT 结构中，应用可以将 CBKE 群集的位置从默认终端点 240 更改为另一个端点。

ZbStartupCbkeT 结构还控制“保持活动状态”群集的创建。保持活动状态

群集是在使用 CBKE 时，在 CBKE 端点上自动创建的。加入设备应将 tc_keepalive_server_enable 设置为 false，TC 将其设置为 true 并设置 tc_keepalive_base 和 tc_keepalive_jitter。

启动后，客户端在服务器（TC）上读取这些属性，并根据返回的值定期重新读取这些属性。如果该读取多次失败（如 TSCO 流程中所定义的），则会调用应用提供的回调 tsc_callback。

应用必须实现该 TCSO 回调，并遵守[1]第 5.4.2.2.3.4 节中定义的保持活动状态方法和 ZSE 1.4 [1]附录 A.3 “保持活动状态群集”中定义的保持活动状态群集。

然后，应用需要指定应用是加入网络还是在协调器/TC 的情况下形成网络。

```
config.startupControl = ZbStartTypeJoin; /* or ZbStartTypeForm */
```

然后，应用通过以下方式启动网络访问：

```
ZbStartup(zb, &config, startup_callback, &app_config);
```

13 回程网络认证

回程网络完全存在于 Zigbee 接口的范围之外。

虽然使用回程网络很常见，但网络的性质和其周围的监管环境完全取决于司法管辖区。

在强制要求 SMETS-II 和 GBCS 的英国，Smart DCC 已经研制了一种测试工具 GFI（工业用 GIT，请注意，该 GIT 与版本控制系统无关，GIT 实际上表示 GBCS 接口工具）。此工具位于：
<https://www.smartdcc.co.uk/products-services/gfi/>。

Smart DCC 在 ESME、GSME、IHD、PPMID、CAD 和 HCALCS 设备上进行测试。DCC 拥有一个设备测试实验室，测试场景在其中运行。GFI 工具和/或实验室中真实设备的使用程度目前未知。以上链接中拥有更多信息。

除了该正式测试之外，设备制造商还必须提交“商业产品保证（CPA）文件”，该文件是由设备制造商生成并作为批准流程的一部分提交的符合性声明。

有关 CPA 的更多信息，请访问：<https://www.ncsc.gov.uk/information/commercial-product-assurancecpa>

除了 CPA 规定的任何其他考虑事项外，还要求备有 MISRA 合规性证明文件。

版本历史

表 3. 文档版本历史

日期	版本	变更
2021 年 5 月 17 日	1	初始版本。

目录

1	概述	2
1.1	缩略语与定义	2
1.2	参考文档	2
1.2.1	智能能源 (SE) 1.4	2
1.2.2	智能能源 (SE) 1.1b	3
1.2.3	Zigbee PRO R22 - 2017	3
1.2.4	ZCL	3
1.2.5	OTA	3
1.2.6	智能能源 (SE) 与其他 Zigbee®规范之间的关系	3
2	智能能源 (SE) 概述	4
3	智能能源 (SE) 监管环境	6
4	2.4 GHz 和 sub-GHz 操作	7
4.1	占空比监测	7
4.2	先听后说 (LBT)	7
4.3	自适应频率捷变 (AFA)	7
5	信任中心换出 (TSCO)	9
6	使用 ZSDK 群集模板构建智能能源 (SE) 应用	10
6.1	智能能源 (SE) 设备类型	10
6.2	智能能源 (SE) 群集概述	10
7	SE 强制性群集和可选群集	12
8	不需要链路密钥安全性的常规群集	13
8.1	基本群集	13
8.2	基于证书的密钥建立 (CBKE) 群集	13
8.3	识别群集	13
8.4	报警群集	13
8.5	功率配置	13
9	需要链路密钥安全性的常规群集	14
9.1	时间群集	14
9.2	调试群集	14
9.3	保持活动状态的群集	14
10	智能能源 (SE) 群集	15
10.1	需求响应负载控制群集	15

10.1.1	ESI 上的 DRLC 服务器群集.....	15
10.2	消息群集	16
10.3	保持活动状态	17
10.4	计量群集	17
10.4.1	计量群集属性格式化	17
10.4.2	计量群集报警	18
10.4.3	计量群集和快速轮询	18
10.4.4	计量群集配置文件	18
10.4.5	计量群集监测	18
10.5	价格群集	19
10.5.1	ESI 定价服务器	19
10.6	隧道群集	20
11	伙伴链路密钥.....	21
12	智能能源（SE）网络上的设备启动	22
13	回程网络认证.....	23
	版本历史	24
	目录	25
	表格索引	27
	图片目录	28

表格索引

表 1.	缩略语与定义.....	2
表 2.	典型 SE 应用上使用的群集	12
表 3.	文档版本历史	24

图片目录

图 1.	家庭区域网络 (HAN)	5
------	--------------------	---

重要通知 - 请仔细阅读

意法半导体公司及其子公司（“意法半导体”）保留随时对 ST 产品和/或本文档进行变更、更正、增强、修改和改进的权利，恕不另行通知。买方在订货之前应获取关于意法半导体产品的最新信息。意法半导体产品的销售依照订单确认时的相关意法半导体销售条款。

买方自行负责对意法半导体产品的选择和使用，意法半导体概不承担与应用协助或买方产品设计相关的任何责任。

意法半导体不对任何知识产权进行任何明示或默示的授权或许可。

转售的意法半导体产品如有不同于此处提供的信息的规定，将导致意法半导体针对该产品授予的任何保证失效。

ST 和 ST 标志是意法半导体的商标。关于意法半导体商标的其他信息，请访问 www.st.com/trademarks。其他所有产品或服务名称是其各自所有者的财产。本文档中的信息取代本文档所有早期版本中提供的信息。

© 2023 STMicroelectronics - 保留所有权利