

ZigBee 家庭自动化网络的测量与传感节点的设计与实现^①

吕君可

(浙江师范大学 行知学院, 金华 321004)

摘要: ZigBee 的家庭自动化 (HA) 网络是智能家居系统发展的一个方向. 在对 HA 应用子集中的测量与传感簇的工作特性和属性报告机制进行详细分析后, 给出了一种基于 Z-Stack 的符合 HA 规范的测量与传感类终端节点的设计方案. 该方案, 硬件结构采用模块化设计, 配以不同的传感器模块实现不同类型物理量的测量. 软件上, 以 Z-Stack 协议栈为基础, 通过建立新的 ZCL 应用来实现节点功能, 并利用属性报告机制实现测量与传感的属性的传送. 最后, 以一光传感器节点设备为实例, 进行了方案的验证. 实践验证表明, 该设计方案切实可行, 适用于 HA 网络的测量与传感节点设备的设计.

关键词: ZigBee; 家庭自动化; 测量与传感; Z-Stack;

Design and Implementation of Measurement and Sensing Node of ZigBee Home Automation Network

LV Jun-Ke

(Xingzhi College, Zhejiang Normal University, Jinhua 321004, China)

Abstract: ZigBee Home Automation (HA) network is a direction in the development of intelligent home system. After the detailed analysis about the characteristics of Measurement and Sensing clusters and the attribute report mechanism of ZigBee HA profile, this paper presents a design proposal concerning measurement and sensing terminal nodes based on Z-Stack protocol stack. In this proposal, the hardware mechanics of measurement and sensing nodes adopt modular form design, and meanwhile the measurement of different physical types is realized by means of different sensor modules. Based on Z-Stack protocol stack, the software achieves the terminal node function by creating a new ZCL application, with the realization of the transmission of the attribute value of measurement and sensing cluster by using of the attribute report mechanism. Finally, the proposal is confirmed by a light sensor device. The empirical study indicates that this design proposal is feasible and applicable to the measurement and sensing terminal nodes of ZigBee HA network.

Key words: ZigBee; home automation; measurement and sensing; Z-Stack

ZigBee 技术是近几年发展起来的一种短距离无线通信技术, 它具有功耗低、成本低、延时短、网络容量大的特点, 被认为是最有可能应用在工业监控、无线传感器网络、家庭自动化等领域的无线技术^[1]. ZigBee 联盟为各种应用制定了若干应用子集, 其中家

庭自动化 (HA) 应用子集是第一个制定发布的公共应用子集. 在 HA 应用子集中, ZigBee 联盟定义了一系列的设备, 其中的测量与传感设备是非常重要的设备. Z-Stack 协议栈是符合 ZigBee 规范的开源软件平台, 应用 Z-Stack 来构建符合 HA 规范的测量与传感类

^① 基金项目: 浙江省教育厅基金(Y201016516)

收稿时间: 2012-08-16; 收到修改稿时间: 2012-10-10

节点设备是非常有效的。

1 测量与传感簇分析

HA 应用子集目前定义的设备主要有五大类：普通设备、灯光设备、智能窗帘设备、暖通空调设备、安防设备等。在各类设备中，都有与测量与传感簇相关的设备。在 ZigBee 中，簇是相关属性和命令的一个集合，用于描述一种应用。不同设备之间通过某一相同的簇来实现某个应用的功能。HA 应用子集中有数十个簇，其中包括了各种属性的测量与传感的簇，主要有：光照度测量、照度感应、温度测量、压力测量、流量测量、相对湿度测量、存在感应等几个簇^[2]。对应这些簇的设备为光传感器、温度传感器、压力传感器、流量传感器等，这些设备与其他设备通过上述对应的簇来实现相应的应用功能。

在簇中，ZigBee 是用客户端/服务器模式来进行定义的。客户端是用于描述簇的输出端，通过发送命令对服务器上的属性进行处理。服务器是用于描述簇的输入端，是存储属性的一端^[3]。服务器对客户端发送来的命令进行响应，主动报告属性的值。显然，上述测量与传感相关设备是作为服务器，而配置工具或控制器、收集器是作为客户端设备。服务器与客户端设备典型使用方法如图 1 所示。

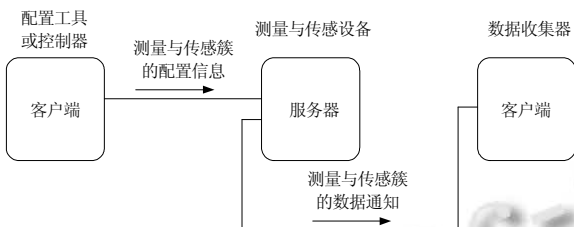


图 1 服务器/客户端典型使用方法

配置工具或控制器对测量与传感设备进行属性的设置，测量与传感设备通过发送属性报告的方式产生通知信息，将属性信息发送给收集器。收集器在接收到数据后，会作相应的执行动作。客户端与服务器之间的属性配置和属性报告操作都是在相同簇条件下才能进行。

根据 ZIGBEE HOME AUTOMATION PUBLIC APPLICATION PROFILE 文件和 ZIGBEE CLUSTER LIBRARY SPECIFICATION^[4]文件可知，测量与传感类的各个簇分别具有不同的属性，包含的属性数量也

不一样，但这类设备都以服务器/客户端模式与其他设备实现相应的应用功能。在客户端与服务器上，各个簇都没有特别指定的接收命令和产生命令，并且，都必须支持 ZigBee 的属性报告机制。利用属性报告机制，客户端向服务器发送配置报告命令（Configure Reporting Command），命令包括最小报告间隔、最大报告间隔和可报告的改变量等属性设置；服务器根据客户端的配置报告命令要求周期性或非周期性地发送报告属性命令（Report Attribute Command），以此方式来传递测量或传感的结果。基于以上分析，测量与传感类设备在设计时，具有非常大的相似性。

2 测量与传感节点设计

2.1 硬件设计

测量与传感终端节点是无线传感器网络功能的具体执行单元，它为数据采集提供硬件支持。由于终端节点工作条件的不确定性和电池供电的特点，在节点设计时，必须考虑低功耗、微型化、模块化^[5]、低成本、标准化等要求。TI 公司的 CC2530 是支持 IEEE 802.15.4、ZigBee 和 RF4CE 应用的一个真正的片上系统。它含有性能优良的 RF 收发器，工业标准的增强型 8051 MCU, 8KB RAM, 最大闪存可达 256KB, 以及丰富的外设功能。CC2530 具有不同的运行模式，且运行模式之间的转换时间短，尤其适应超低功耗要求的系统。因此，CC2530 能够以非常低的总材料成本建立功能强大的终端节点^[6]。

本方案终端节点采用模块化结构，以 CC2530 为核心，由 MCU+RF 模块、传感器模块、基板电路等组成。MUC+RF 模块由 CC2530 芯片、外部晶振电路和天线等组成，通过两组双列直插针座与基板电路连接。基板电路主要由按键、LED、电源电路、接口电路、P 口外接接口等组成。其中，按键、LED 用于对终端节点的操作与指示；接口电路用于 MCU 与外围设备进行通讯；P 口外接接口引出 CC2530 的各 P 口引脚，用于与传感器模块的输入连接，实现信号采集输入。传感器模块与基板也是通过插针与插针座连接，其电路要依据不同测量对象进行设计。

硬件系统采用模块化形式来设计，可搭配不同的传感器模块，灵活方便地实现不同类型物理量的测量或传感。同时，也为单节点的多类型测量与传感的实现提供了基础。

2.2 软件设计

软件是实现终端节点功能的一个重要环节。基于通用性和便于开发的考虑,终端节点软件设计时,移植 TI 公司的 Z-Stack 协议栈^[7]。Z-Stack 完全支持 IEEE 802.15.4 标准,符合 ZigBee 2007 规范,支持智能电源和家庭自动化应用子集,是 CC2530 片上系统的 ZigBee 良好的解决方案。

在 Z-Stack 中,通过创建用户的 ZCL (ZigBee Cluster Library) 应用来实现终端节点的功能。不论是哪一种测量与传感簇的设备,要建立一个新的 ZCL 应用,都可以通过下面四个主要工作来实现:

(1) 定义 zcl_MS.h 文件

在此头文件里定义一个新应用,定义应用的端点(endpoint)值以及应用中相关事件的值。

```
#define MS_ENDPOINT 2
#define REPORT_ATTRIBUTE_EVT 0x0001
```

(2) 设计 zcl_MS_data.c 文件

该文件主要完成相关数据的定义与申明:

①申明该应用所支持的簇的所有属性。如照度测量簇中的属性有:测量值、最小测量值、最大测量值、公差、光传感器类型等属性。

```
uint16 zclIlluminanceMeasurement_MeasuredValue = 0;
```

```
uint16 ILLUMINANCE_MIN_MEASUREDVALUE = 0xffff;
```

```
uint16 ILLUMINANCE_MAX_MEASUREDVALUE = 0xffff;
```

```
uint16 zclIlluminanceMeasurement_Tolerance = 0;
```

```
uint8 zclIlluminanceMeasurement_LightSensorType = MS_ILLUMINANCE_LIGHT_SENSOR_UNKNOWN;
```

②构建属性表 zclMS_Attrs[MS_MAX_ATTRIBUTES]。在属性表中,以 zclAttrRec_t 类型的格式列出该端点所支持的每个属性,其中必须包括测量与传感相关簇的属性。此属性表将在端点的初始化时被注册。

③建立输入、输出簇表。对服务器端来说,测量与传感类的簇只添加到输入簇中,一般不出现在输出簇中。下面语句实现的是将照度测量簇添加到输入簇中:

```
const cId_t zclMS_InClusterList [MAX_INC_LUSTERS] =
{
```

```
ZCL_CLUSTER_ID_MS_ILLUMINANCE_MEASUREMENT //照度测量簇
};
```

④以 SimpleDescriptionFormat_t 类型,定义应用的简单描述符 zclMS_SimpleDesc。在该描述符中,指定应用端点的输入、输出簇列表。

(3) 设计 zcl_MS.c 文件

文件完成应用所需的所有函数。包括:

①添加应用端点要绑定的输入簇,用于测量与传感设备与其他“互补”设备进行绑定时使用。如:绑定照度测量簇为输入簇,则将会与输出簇为照度测量簇的其它设备相绑定。

```
static cId_t bindingInClusters [ZCL_BINDING_GLIST] =
{
ZCL_CLUSTER_ID_MS_ILLUMINANCE_MEASUREMENT
};
```

②以 static zclGeneral_AppCallbacks_t 类型建立通用命令回调表 zclMS_CmdCallbacks,以及相应的命令回调函数。

③创建 void zclMS_Init(byte task_id)函数。

zclMS_Init()函数为该端点注册通用簇库回调函数、注册端点属性列表中的属性、注册基础命令/响应消息事件、注册按键事件等初始化工作。

④建立 uint16 zclMS_event_loop(uint8 task_id, uint16 events)函数。

该函数用于处理应用任务队列中的消息和按键事件,测量和传感终端节点还需额外进行报告属性事件 REPORT_ATTRIBUTE_EVT 的处理。以下代码实现的是对照度测量簇的报告属性事件处理:

```
if ( events & MS_REPORT_ATTRIBUTE_EVT )
{
if ( pMSReportCmd != NULL )
{
zcl_SendReportCmd( MS_ENDPOINT, &zclMS_DstAddr,
ZCL_CLUSTER_ID_MS_ILLUMINANCE_MEASUREMENT, pMSReportCmd, ZCL_FRAME_SERVER_CLIENT_DIR, 1, 0 );
osal_start_timerEx( zclMS_TaskID, REPORT_
```

```

ATTRIBUTE_EVT, ReportMinInterval*1000);
    }
    return (events^MS_REPORT_ATTRIBUTE_EVT);
}

```

⑤分析配置报告命令、发送报告属性命令的实现.

在 Z-Stack 中, 是以消息的方式来处理由客户端发送来的配置报告命令. 当服务器接收到的消息是由客户端发送来的配置报告命令, 则在 zclMS_ProcessIncomingMsg() 函数内调用 zclMS_ProcessInConfigReportCmd()来处理接收到的信息. 程序如下:

```

static void zclMS_ProcessIncomingMsg ( zclIncomingMsg_t *pInMsg)
{
    switch ( pInMsg->zclHdr.commandID )
    {
        #ifdef ZCL_REPORT
        case ZCL_CMD_CONFIG_REPORT: //配置报告命令
            zclMS_ProcessInConfigReportCmd( pInMsg ); //调用分析处理程序
            break;
        #endif
        default:
            break;
    }
    if ( pInMsg->attrCmd )
        osal_mem_free( pInMsg->attrCmd );
}

```

zclMS_ProcessInConfigReportCmd()函数实现解析配置报告命令, 并发送报告属性命令. 其流程如图 2 所示.

(4) 设计 OSAL_MS.c 文件

该文件完成应用任务的添加.

①在数组 tasksArr[]的最后添加 zclMS_event_loop 函数项. taskArr[]是一个函数指针数组, 操作系统调用 (tasksArr[idx])(inx, events)函数去执行具体的处理函数时, 会根据不同的 idx 值执行数组 tasksArr[]内不同的函数.

②在 osalInitTasks() 函数的最后添加 zclMS_Init(taskID), 调用此初始化函数, 实现任务端点的初始化. 若添加多个应用任务, 需要注意同一端点的

_event_loop 任务与_Init()的添加顺序必须一致, 以保证_event_loop(uint8 task_id, uint16 events)的 task_id 值与_Init(taskID)得到的 taskID 是一致的.

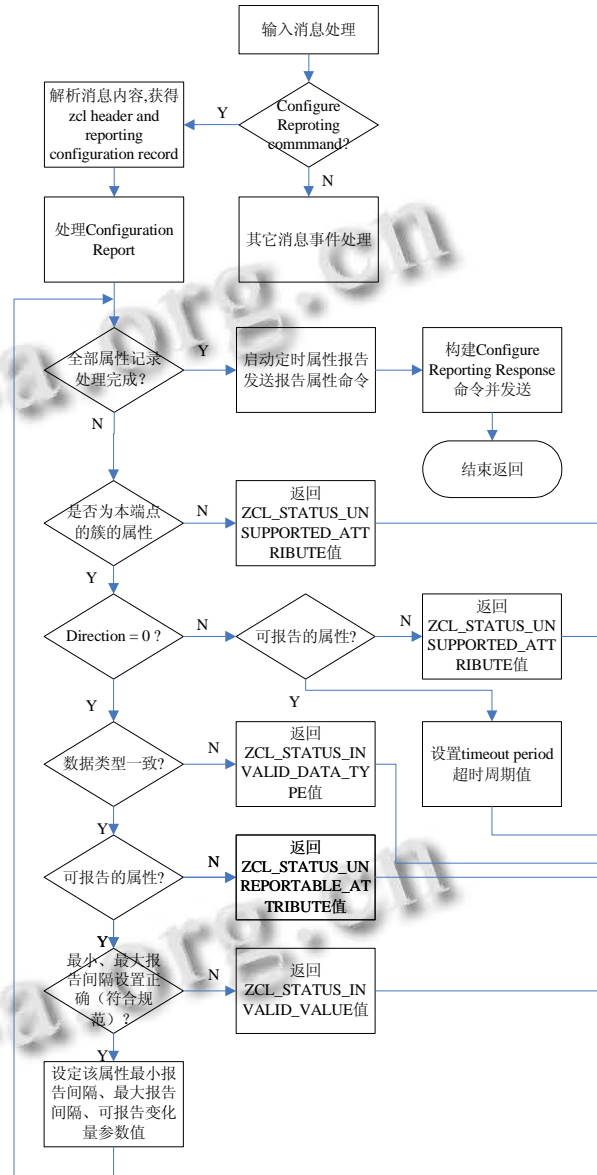


图 2 分析配置报告命令、发送报告属性命令流程图

3 基于Z-Stack的光传感器节点实现

根据实际需求, 按上述方法设计了一个符合 ZigBee 的 HA 规范的用于照度测量的光传感器. 本设计方案在基板电路基础上, 以 CC2530 为核心, 以 BH1620FVC 为测量元件的传感器模块, 模块式结构构成光传感器.

在 Z-Stack 2.3.0 下, 完成该光传感器设备的软件编程. 利用 CC2530 开发套件构成一个简易 ZigBee 网

络, 协调器对光传感器节点进行属性配置后, 光传感器定期发送属性值报告. 利用 SmartRF? Packet Sniffer 软件进行包的抓取, 结果如图 3 所示:

P.nbr.	Time (us)	Dest. PAN	Dest. Address	Source Address	APS Dest. Endpoint	APS Cluster Id	APS Profile Id	APS Src. Endpoint	FCS
RX 49	+17658295 =17658295	0x5B61	0x0000	0x796F	0x00	0x0400	0x0104	0x02	OK
RX 61	+3750235 =21408530	0x5B61	0x0000	0x796F	0x00	0x0400	0x0104	0x02	OK
RX 74	+3750921 =25159451	0x5B61	0x0000	0x796F	0x00	0x0400	0x0104	0x02	OK
RX 87	+3749492 =28908943	0x5B61	0x0000	0x796F	0x00	0x0400	0x0104	0x02	OK
RX 99	+3750731 =32659674	0x5B61	0x0000	0x796F	0x00	0x0400	0x0104	0x02	OK
RX 111	+3749706 =36409380	0x5B61	0x0000	0x796F	0x00	0x0400	0x0104	0x02	OK

图 3 包信息图

由图 3 可以看出, 在 PAN ID 为 0x5B61 的网络中, 源地址为 0x796F 的光传感器节点的 0x02 端点每隔一定时间间隔, 向目的地址为 0x0000 的协调器的 0x00 端点发送 Profile Id 为 0x0104 (HA 应用子集 ID) 的 Cluster Id 为 0x0400 (照度测量簇 ID) 的属性报告数据. 在接收到属性配置命令后, 光传感器设备节点周期性产生报告属性命令, 发送属性报告给协调器节点.

4 结语

ZigBee 联盟的家庭自动化 (HA) 网络是智能家居

系统发展的一个方向. 文章给出了一种基于 Z-Stack 的符合 HA 规范的测量与传感类终端节点的设计方案, 并以一光传感器节点设备为实例, 进行了方案的验证. 实践表明, 应用 Z-Stack 来构建符合 HA 规范的测量与传感类节点设备是切实可行并且有效的.

参考文献

- 瞿雷, 刘盛德, 胡咸斌. ZigBee 技术及应用. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2007.4-8.
- ZigBee Alliance. ZigBee Home Automation Public Application Profile. <http://www.zigbee.org/Standards/ZigBee Home Automation/Overview.aspx>, 2010, 2-8.
- 钟永锋, 刘永俊. ZigBee 无线传感器网络. 北京: 北京邮电大学出版社, 2011.190.
- ZigBee Alliance. ZIGBEE CLUSTER LIBRARY SPECIFICATION. <http://www.zigbee.org/Standards/Downloads.aspx>, 2008, 5-29.
- 李长庚, 刘威鹏, 胡纯意, 侯铮. 基于 ARM 和 ZigBee 的 WSN 节点设计与实现. 计算机工程, 2010, 36(17): 135-137.
- Texas Instruments Incorporated. A True System-on-Chip Solution for 2.4-GHz IEEE 802.15.4 and ZigBee Applications. <http://www.ti.com.cn/product/cn/cc2530>, 2011-02.
- KuangJunBin. TI Z-Stack 协议栈开发环境和工作流程. http://bbs.ednchina.com/BLOG_ARTICLE_247711.HTM, 2009, 7-31.

(上接第 198 页)

参考文献

- Frontoni E, Zingaretti P. Visual feature group matching for autonomous robot localization. 14th International Conference on Image Analysis and Processing (ICIAP 2007) IEEE.
- 曹福祥, 保铮, 等. 用于 SAR 运动补偿的 DGPS/SINS 组合系统研究. 航空学报, 2001, 22(2), 121-124.
- 苏洁, 周东方, 岳春生. GPS 车辆导航中的实时地图匹配算法. 测绘学报, 2001, 30(3), 252-256.
- 林敏敏, 房建成, 高国江. GPS/SINS 组合导航系统混合修正卡尔曼滤波方法. 中国惯性技术学报, 2003, 11(3): 29-33.
- 杨春钧. 载波相位差分 GPS/惯性组合导航. 南京航空航天大学学报, 2000, 32(1), 25-30.
- 苏惠敏, 周鹏, 等. GPS/INU/MM 车辆定位导航系统研究. 航空学报, 2001, 22(2): 171-174.
- 傅卫平, 秦川, 等. 基于 SIFT 算法的图像目标匹配与定位. 仪器仪表学报, 2011, 32(1): 163-169.
- Lowe DG. Distinctive Image Features from Scale-Invariant Keypoints. International Journal of Computer Vision. 2004, 60(2): 91-110.