

一种 ZigBee 无线传感器网络拓扑发现算法

刘新宇, 李 兵, 黄 珊, 陈 鸣

(解放军理工大学指挥自动化学院, 南京 210007)

摘 要: ZigBee 无线传感器网络(WSN)不同于有线网络, 由于无法直接观察到其网络结构和设备部署情况, 因此不利于对 ZigBee WSN 进行管理和控制。为解决该问题, 提出一种针对 ZigBee WSN 的拓扑发现算法(ZigBeeTopo), 确定网络中的活跃节点以及节点之间的相互关系, 设计 WSN 拓扑管理模块, 实现 ZigBee 网络拓扑的可视化。测试结果表明, 该算法能正确发现多种 WSN 拓扑。

关键词: 无线传感器网络; ZigBee 协议栈; 网络拓扑; 发现算法; 可视化

Topology Discovery Algorithm for ZigBee Wireless Sensor Network

LIU Xin-yu, LI Bing, HUANG Shan, CHEN Ming

(Institute of Command Automation, PLA University of Science and Technology, Nanjing 210007, China)

[Abstract] It can not directly observe the structure of the ZigBee Wireless Sensor Network(WSN) as the wired networks. This problem makes it difficult to manage and control the ZigBee WSN. To solve this problem, a discovering ZigBee wireless sensor network topology algorithm called ZigBeeTopo is proposed to determine active network nodes and their relationship. By designing the wireless sensor networks topology manage module, it can make the ZigBee network topology visible. Test results show that this algorithm can discover variety of wireless sensor network topologies correctly.

[Key words] Wireless Sensor Network(WSN); ZigBee protocol stack; network topology; discovery algorithm; visualization

DOI: 10.3969/j.issn.1000-3428.2012.04.032

1 概述

体积小而价格低的无线传感器的重要性日益增长, 它们要求共享一个平台, 使彼此能够通信并且共享组件以降低成本。IEEE 802.15.4 标准描述了用于个人域网联器件的无线和媒体访问控制协议。这些协议为了在一个专用无线芯片上的硬件的实现而定义。传感器网络界已经开始使用这些协议, 这些芯片广泛应用于无线游戏机控制器, 环境、医疗和建筑监测仪器, 采暖通风传感器等方面^[1-3]。

IEEE 802.15.4 协议希望支持各种各样的应用, 而许多应用是与所用传感器当前的位置有关。例如, 当一个仓库的某个温度传感器发出报警信号时, 希望从可视化界面上直接观察到这是从数百个传感器中的哪个发出的, 它位于哪层楼的哪个位置, 其反映的数值是多少。因此, 本文通过设计并实现一种无线传感器网拓扑发现算法, 自动检测出有关传感器网络拓扑结构方面的情况, 将其用可视化界面表示。

2 ZigBee 无线传感器网络

为了促进 IEEE 802.15.4 技术, 厂商开发了 802.15.4 应用程序接口(Application Programming Interface, API)。该 API 有 2 个用途: (1)为使应用设计者直接使用无线芯片的特性; (2)通过高层库和规格参数使用该 API, 以更方便地提供自己的较高层服务。ZigBee 是后者的重要实例。

2.1 ZigBee 协议栈

ZigBee 技术是通过 ZigBee 协议栈实现的。ZigBee 协议栈采用分层模型并定义相关的协议层(见图 1)。ZigBee 协议栈采用 IEEE 的 802.15.4 标准作为其物理层(Physical Layer, PHY)和媒体接入控制层(Media Access Control, MAC)的标准, ZigBee 联盟在此基础上自行定义网络层和应用层^[4]。每层都通过服务接入点(Service Access Point, SAP)接口为上

一层提供服务, 服务可以分为 2 类: 数据传输服务和管理控制服务。

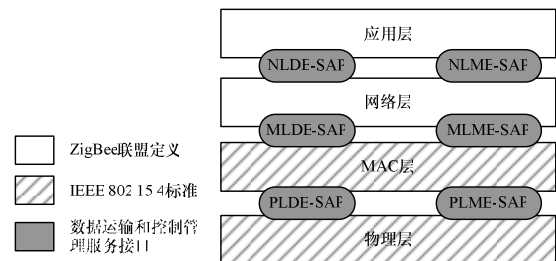


图 1 ZigBee 协议栈

IEEE 802.15.4 物理层定义 2 种物理层标准, 分别工作在不同频段, 即 868 MHz/915 MHz 和 2.4 GHz。IEEE 802.15.4 MAC 层使用载波多路侦听访问/碰撞避免(CSMA/CA)机制控制信道的接入, 它也可以提供信标帧的发送、同步和可靠服务等服务^[5]。

ZigBee 网络层主要有以下功能^[4]: (1)加入和离开网络; (2)路由到目的节点; (3)发现和维持路由; (4)发现一跳邻居的节点; (5)存储邻居节点信息。

2.2 ZigBee 节点类型

一般将加载 ZigBee 协议栈并具有 ZigBee 功能的硬件称为 ZigBee 节点。ZigBee 节点一般分为 3 种类型: ZigBee 协调器, ZigBee 路由器和 ZigBee 终端^[4-5]。一个 ZigBee 网络只能有一个协调器, 可以有多个路由器和终端。协调器负责组

基金项目: 江苏省自然科学基金资助项目(BK2009058)

作者简介: 刘新宇(1984—), 男, 硕士研究生, 主研方向: 无线传感器网络; 李 兵、黄 珊, 副教授; 陈 鸣, 教授、博士生导师

收稿日期: 2011-05-18 **E-mail:** scorpiusliu@gmail.com

建、管理和控制一个 ZigBee 网络并收集信息；路由器能够路由信息和采集信息；终端只能采集信息。ZigBee 协调器和路由器可以与其他类型的节点通信，而 ZigBee 终端只与 ZigBee 协调器或路由器通信，ZigBee 终端之间不能通信。ZigBee 协调器和路由器也称为全功能设备(Full Function Device, FFD)，ZigBee 终端也称为简化功能设备(Reduced Function Device, RFD)^[4-5]。

2.3 ZigBee 节点组网方式

ZigBee 无线传感器网是由多个 ZigBee 节点通过无线信道互联而成，它支持 3 种类型的网络拓扑结构星型、树状和网状(见图 2)^[4-5]。尽管图中的无线链路用线段表示，但事实上附近的节点都在其无线电波覆盖下，能否形成无线链路取决于网络中采用的路由算法。

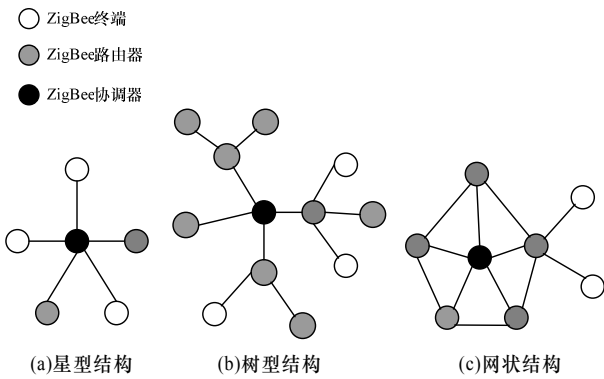


图 2 ZigBee 网络拓扑结构

在星型网络结构中，ZigBee 协调器是整个网络的中心，它负责建立、管理和维护整个网络，所有其他节点都只能通过协调器加入网络，网络中的节点也只能和协调器进行通信。

在树型网络结构中，网络由 ZigBee 协调器初始化并建立，终端节点不仅可以通过协调器加入网络也可以通过路由器节点加入。节点只能和它的子节点或父节点通信，因此在树型网络中一般采用分级路由选择策略，例如 Cluster-Tree 路由算法^[3]。

网状网络结构是最一般的结构，其路由可自动建立和维护。网络中的节点地位平等，均可以与其通信范围内的所有节点直接通信。但由于一个节点在某时刻只能选择一条链路通信，不会形成路由环路，因此可以认为它仍是一种树型结构网络。

3 ZigBee 网络拓扑发现算法

ZigBee 网络不同于有线网络，无法直接观察到整个网络的组网情况和所形成的网络拓扑结构。若希望方便地管理和控制 ZigBee 网络，则必须基于一定的拓扑发现算法用网络测量技术获取 ZigBee 网络的拓扑结构。通过上述 ZigBee 网络的组网过程和组网原理可知，无论是星型、树型或是网状网络，各种 ZigBee 网络都是由协调器初始化并建立的，ZigBee 路由器或终端既可通过协调器加入网络，也可以通过 ZigBee 路由器加入网络。如果 A 节点(路由器或终端)通过 B 节点(协调器或路由器)加入一个 ZigBee 网络，则称 B 节点为 A 节点的父节点，而 A 节点为 B 节点的子节点。按照这种关系，只要获取了 ZigBee 网络节点之间的父子关系，就能够得到其生成树拓扑图。图 3 给出了图 2 网络的生成树拓扑图。该生成树拓扑反映了信息流动的路径，本文提出的拓扑发现算法是在实际无线传感器网中通过获取节点之间的关系信息，从而推断出该生成树拓扑的方法。

由图 3 可见，星型网络和树型网络的拓扑结构与其生成树拓扑图相同，而网状网络的生成树拓扑图反映了该网络节点之间的父子关系结构，尽管它不是完整的网络拓扑图，但反映出了该网络的核心结构。因此，通过监测拓扑生成树，能够观察到网络中各个节点的状态，从而能够方便地管理和控制整个网络。下文中的 ZigBee 网络拓扑结构就是 ZigBee 网络生成树拓扑。

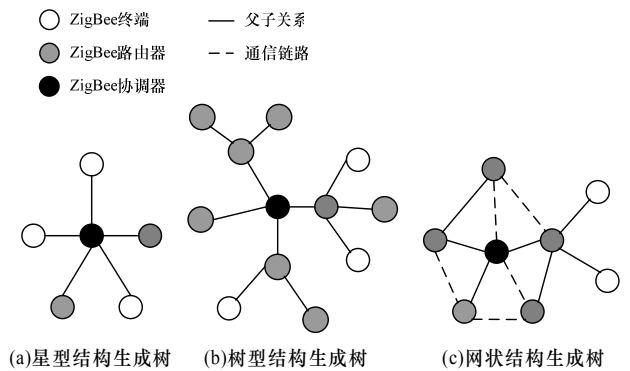


图 3 ZigBee 网络生成树拓扑

为得到 ZigBee 网络的拓扑结构，首先需要知道该网络中的节点信息，即网络中有哪些活跃节点及其基本信息，其次需要知道网络中这些节点的相互关系。因此，本文设计的 ZigBee 网络发现拓扑算法的基本思路是：设法从 ZigBee 协调器获得网络中所有活跃节点的基本信息并将其放入到一个名为 Nodes 的数组中；然后遍历 Nodes 数组中的每个元素，向 ZigBee 网络发送命令询问每个存储节点的父节点地址，得到父地址后，遍历数组找到节点地址与父地址相同的元素，并将父节点在数组中的索引值填写到该节点的“父节点在数组中的索引”字段中；得到 ZigBee 网络中的所有节点以及父子关系后，通过可视化技术画出数组 Nodes 信息，从而得到 ZigBee 网络拓扑图。

Nodes 数组定义如下：

struct Nodes //数组中元素结构

```
{
    Nodetype; //节点类型
    NodeAddress; //节点物理地址
    FatherAddress; //父节点物理地址
    FatherIndex; //父节点在数组中的索引
    NodePosition; //节点在画图时的位置
};
```

ZigBee 网络拓扑发现算法(ZigBeeTopo)的伪代码如下：

```
//定义节点数组
Nodes[n];
//获得网络中所有节点的基本信息并将其放入到 Nodes 数组中，
//计算节点在画布的位置并在画布上画出节点
GetAllNodes(Nodes)
{
    For i=1 to n do
        Nodes[i].Nodetype=GetNodeType(); //节点类型
        Nodes[i].NodeAddress=GetNodeAddress(); //节点地址
        Nodes[i].NodePosition=根据画布大小和节点的索引计算节点在画布中的位置;
        Draw(Nodes[i]); //在画布上画节点
    End For
}
```

```

//判断节点间的父子关系,并在父子节点间画线
NodesRelation(Nodes)
{
  For i=1 to n do
    //获得父节点地址
    Nodes[i].FatherAddress=GetNodeFatherAdd(Nodes[i]);
    //判断数组中哪个节点是自己的父节点
    For j=1 to n do
      If Nodes[j].NodeAddress=Nodes[i].FatherAddress;
        //得到父节点在数组中的索引
        Nodes[i].FatherIndex=j;
        //在每个节点和它的父节点之间画一条线表示父子关系
        DrawLine(Nodes[i].NodePosition,Nodes[j].NodePosition);
      End If
    End For
  End For
}

```

对 ZigBeeTopo 算法时间复杂性评估如下: GetAllNodes (Nodes) 只有一个从 $1 \sim n$ 的循环, 时间复杂度为 n , NodesRelation(Nodes) 函数中有 n 个从 $1 \sim n$ 的循环, 时间复杂度为 n^2 , 因此, ZigBeeTopo 算法的时间复杂度为 n^2 。

4 ZigBeeTopo 算法的实现及测试

实验中使用一种实际的 ZigBee 无线传感器网络(Wireless Sensor Network, WSN)系统, 其核心芯片是 CC2430。该芯片是 TI 公司生产的嵌入式 ZigBee 应用的片上系统, 内置的 ZigBee 协议栈实现代码是 TI 公司推出的 Z-Stack^[6]。Z-Stack 提供了一组 API 函数, 开发人员可以通过 API 控制和管理 ZigBee 网络节点。利用该系统搭建的 ZigBee 网络实验环境如图 4 所示, 使用 RS232 串行线将 ZigBee 协调器与服务器连接, 服务器上运行用 C#开发的无线传感器网络拓扑管理模块。该模块能通过串口命令管理控制 ZigBee 无线传感器网络。该拓扑管理模块的核心是 ZigBeeTopo 算法的实现和应用。

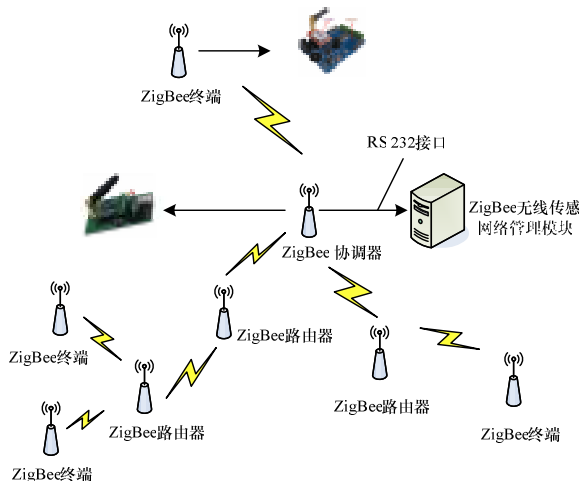


图4 ZigBee 网络实验环境

实验环境包括了 1 个 ZigBee 协调器、3 个 ZigBee 路由器和 4 个 ZigBee 终端。由于 ZigBee 网络的节点信息存储在

ZigBee 协调器的相邻表中, 因此可以通过在协调器中调用 Z-Stack 中提供的 API 函数 UartOutNetDis() 得到网络中所有节点的信息。为确定网络的拓扑结构, 需要知道网络中各个节点之间的父子关系, 可以通过在网络节点中调用 Z-Stack 中的 API 函数 NLME_GetCoordShortAddr() 得到父节点的物理地址, 从而得到这些节点之间的父子关系。

根据上述操作, 通过使用上述的 ZigBeeTopo 算法设计了无线传感器网络拓扑管理模块, 实现了 ZigBee 网络拓扑的可视化。图 5 显示该拓扑管理模块自动绘制的拓扑图, 它与图 4 所示的网络实验环境完全相同, 证明了本文算法的正确性。

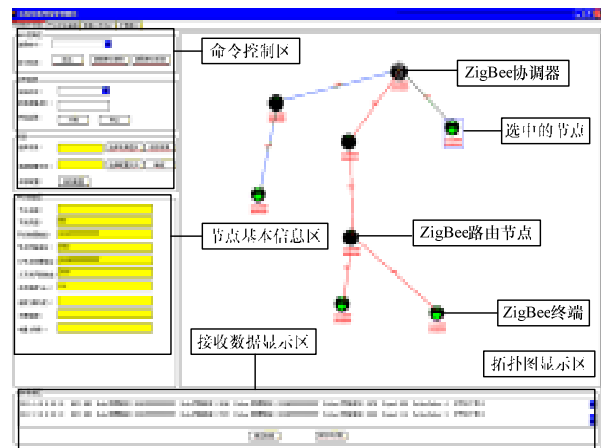


图5 拓扑管理模块显示的网络拓扑

5 结束语

ZigBee 无线传感器网络廉价、耗能低、易部署等特点使其具有广泛的应用前景。为方便管理和控制 ZigBee 无线传感器网络, 需要用可视化方法显示网络拓扑, 而显示无线网络拓扑的关键是发现网络拓扑。本文提出的 ZigBeeTopo 算法可确定网络活跃节点及其相互关系。实验结果表明, 该算法能够正确发现多种无线传感器网络拓扑。今后将研究开发具有更多功能的无线传感器网络管理系统。

参考文献

- [1] Akyildiz I, Su Weilian, Sankarasubramaniam E. A Survey on Sensor Networks[J]. IEEE Communications Magazine, 2002, 40(8): 102-114.
- [2] 李建中, 李金宝, 石胜飞. 传感器网络及其数据管理的概念、问题与进展[J]. 软件学报, 2003, 14(10): 1717-1727.
- [3] 李莎, 刘三阳, 冯海林. 基于网格的无线传感器网络节能路由算法[J]. 计算机工程, 2011, 37(9): 144-146.
- [4] ZigBee Alliance, Inc.. ZigBee Specification 2007[EB/OL]. (2008-05-26). <http://ishare.iask.sina.com.cn/f/18207470.html>.
- [5] IEEE. IEEE Std 802.15.4-2006 Wireless Medium Access Control and Physical Layer Specifications for Low-rate Wireless Personal Area Networks[S]. 2006.
- [6] 李文仲, 段朝玉. ZigBee 无线网络技术入门与实践[M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2007.

编辑 陆燕菲