

基于无线传感器网络的智能浴室设计

熊宇^{①*}^① 北京邮电大学计算机学院, 北京 100876;

*联系人, E-mail: sepxterxy@bupt.edu.cn

收稿日期: 2020-12-28; 接受日期: 2020-12-28

摘要 随着社会经济不断发展, 人民生活水平不断提高, 科学技术日新月异地变化, 智能技术在家居行业的应用呈现多样化、普及化的趋势。本文通过对智能家居中举足轻重的智能洗浴发展和研究现状的分析, 从实用性和可行性出发, 给出一种基于无线传感器网络架构的智能浴室系统设计方案, 该方案综合运用了 ZigBee、WiFi 等无线传输技术, 实现对浴室环境的温湿度采集, 紧急火灾、可燃气体的实时预警监控以及室内照明设备的自动化控制。

关键词 智能家居, ZigBee, WiFi

1 引言

随着国民生活水平和科技水平的不断提高, 物联网技术、无线通信技术得到广泛应用, 为了满足用户对于生活品质的追求, 集合物联网技术和无线通信技术等应用技术的智能家居应运而生。

作为智能家居领域至关重要的一环, 智能浴室发展迅速。在国内的一线城市也已经投入到一定程度的市场应用中, 但由于价格昂贵、兼容性差、没有设立统一的规范和技术标准等诸多原因, 市场反馈不积极, 距离走进大众还有一段不小的距离。

本文通过对智能家居中举足轻重的智能洗浴发展和研究现状的分析, 从实用性和可行性出发, 给出一种基于无线传感器网络架构的智能浴室系统设计方案, 该方案综合运用了 ZigBee、WiFi 等无线传输技术, 实现对浴室环境的温湿度采集, 紧急火灾、可

燃气体的实时预警监控以及室内照明设备的自动化控制。

2 硬件设计

2.1 智能浴室网关的硬件设计

智能浴室网关的主要功能是组建浴室内部网络。

他通过搭载的无线 WiFi 模块和局域网路由器进行连接, 实现网络通讯的功能; 通过串口与 ZigBee 协调器连接, 接收终端节点采集的各类信息; 通过搭建多线程 TCP 服务器对信息进行处理和发送到用户进行反馈。如图 1 为网关硬件设计结构图。

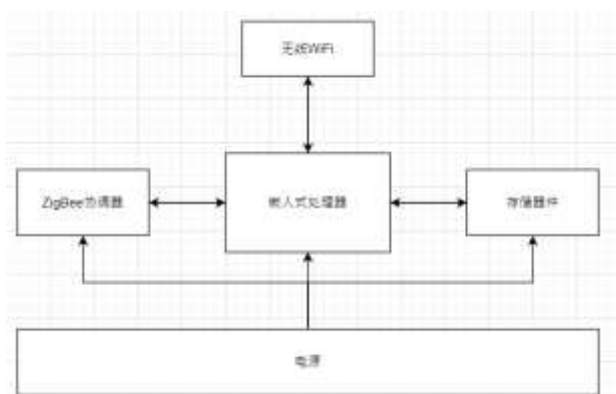


图1 网关硬件设计结构图

从图中可以看出嵌入式处理器作为网关硬件设计结构的核心，他肩负起了对智能浴室系统中终端节点采集信息的数据处理和分析。本文采用 Samsung 公司基于 ARM 公司的 ARM920T 处理器核，采用 FBGA 封装，采用 0.18um 制造工艺的 32 位微控制器 S3C2410。

2.2 ZigBee 终端节点的硬件设计

ZigBee 终端节点是智能浴室系统的功能执行单元，这些终端节点由 ZigBee 子节点和传感器模块或者控制器模块共同组成。其中，传感器模块主要用来实时采集、监测浴室环境的温度、湿度、可燃气体含量等参数，包括温湿度传感器、烟雾传感器等；控制器模块主要用来实现用户发来的控制指令，如开启灯光照明。将传感器模块和控制器模块搭载在 ZigBee 子节点上，共同构成终端节点。如图 2 为 ZigBee 终端节点硬件结构图。

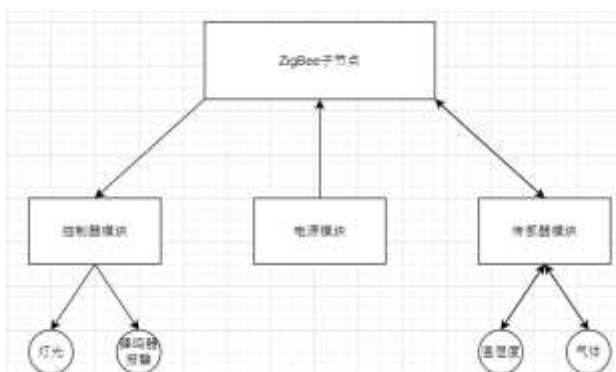


图2 ZigBee 终端节点硬件设计结构图

3 软件设计

3.1 服务端和客户端通信软件设计

网关作为终端节点设备和用户之间通信的桥梁，在初始化完成后，会创建一个服务端，负责客户端与网关连接接口来进行通信；同时网关还会负责智能浴室内部各设备间无线网络维稳的工作。

服务端与客户端进行通信的过程为：首先调用 Socket() 创建 TCP 协议服务器套接字，再使用 Bind() 完成 IP 地址和端口号的绑定，然后通过 Listen() 函数来监听由客户端用户发来的连接请求。在监听过程中，若是收到有客户端用户发来的请求时，通过 Accept() 进行接收。每当与客户端用户成功建立连接后，通过创建一个新的线程的方式来响应客户端用户的请求，用来实现多个客户端用户同时连接服务端进行数据通信。如图 3 为服务端与客户端通信流程图。

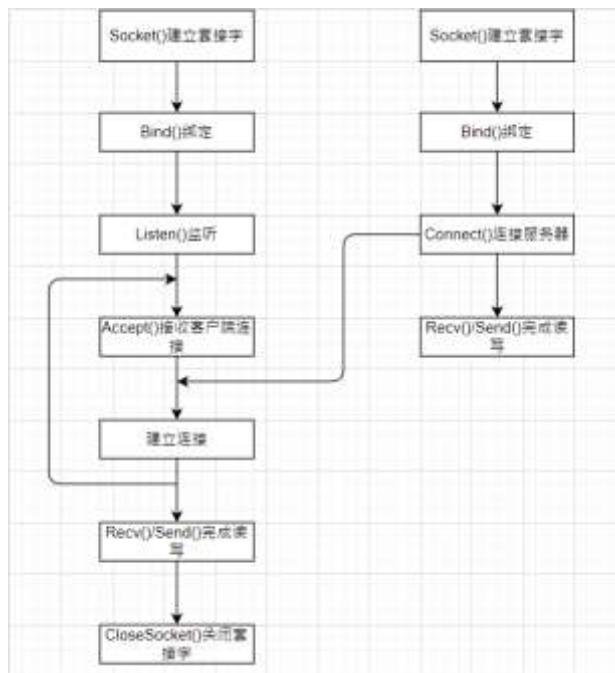


图3 服务端与客户端通信流程图

3.2 数据信息包软件设计

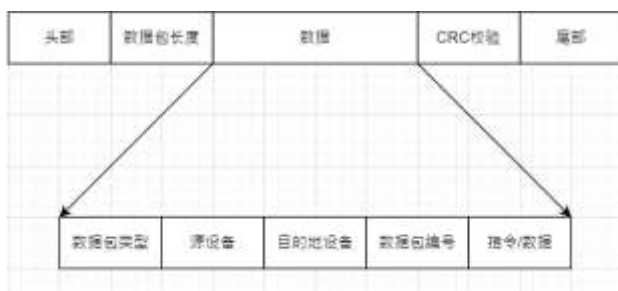


图4 数据包结构图

3.3 温湿度传感器软件设计

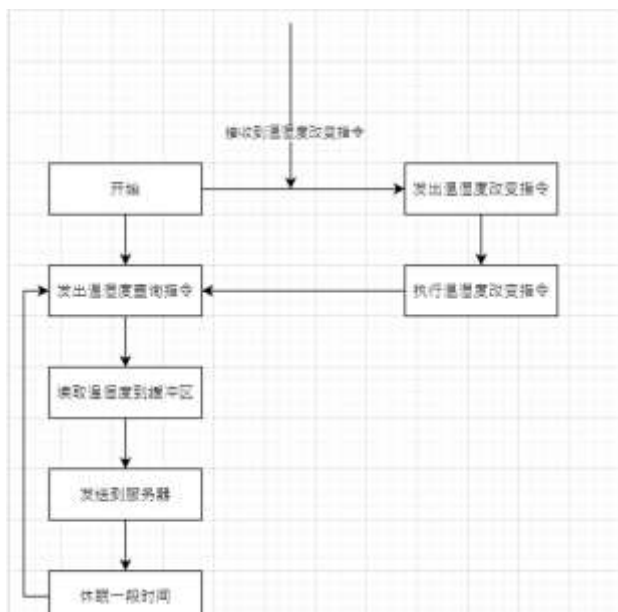


图5 温湿度传感器工作流程图

3.4 可燃气体传感器软件设计

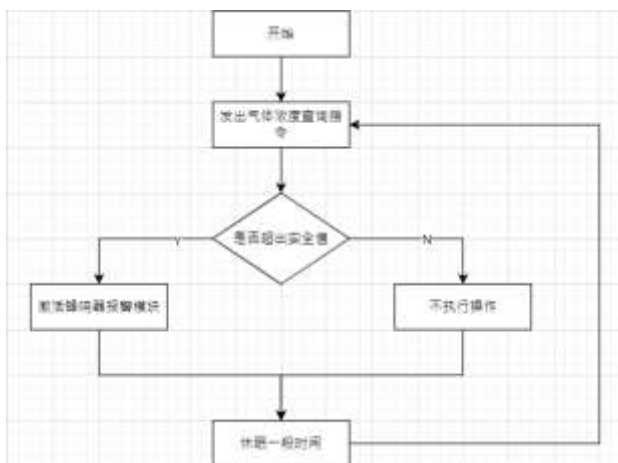


图6 可燃气体传感器工作流程图

3.5 灯光照明控制器软件设计

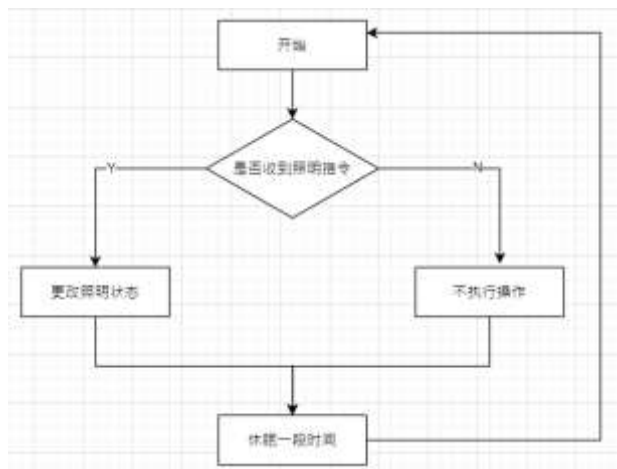


图7 灯光照明控制器工作流程图

3.6 蜂鸣器报警控制器软件设计

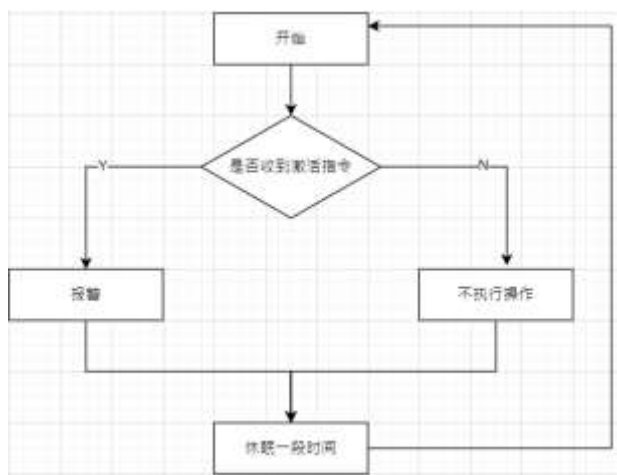


图8 蜂鸣器报警控制器工作流程图

3.7 手机客户端软件设计

目前智能手机已经普及，手机 APP 的使用也覆盖了智能浴室的绝大多数受众，因此本文中的手机客户端软件基于 Android 开发。

该客户端主要的功能模块及其功能包括：温度查询及调节，湿度查询及调节，调节照明。

4 网络架构设计

4.1 ZigBee 网络

ZigBee 网络采用基于 Z-Stark 协议的星型网络，

由 ZigBee 协调器和搭载了传感器模块和控制器模块的 ZigBee 子节点共同组建。ZigBee 协调器通过串口与网关连接，网关作为桥梁，将用户的控制指令通过串口发送给 ZigBee 协调器，协调器收到指令后在 ZigBee 无线网络中广播式转发，由 ZigBee 子节点进行应答，子节点通过其搭载的控制器模块和传感器模块就可以实现环境参数的采集和相关控制行为的产生。

4.2 通信网络

网关通过串口获取到终端节点的数据信息，网关上搭载的处理器对信息进行处理，然后借助搭建的多线程 TCP 服务器将处理后的信息发送到通过 WiFi 与网关形成连接的用户手机客户端，此为通信的向上反馈。

用户通过手机客户端利用 TCP 协议与服务器进行通信，指令信息由网关进行处理，处理后的指令信息通过串口发送给 ZigBee 协调器，再由 ZigBee 协调器通过 ZigBee 无线网络转发给 ZigBee 子节点，ZigBee 子节点通过其搭载的控制器模块和传感器模块就可以实现环境参数的采集和相关控制行为的产生。此为通信的向下传播。

5 网络路由协议设计

5.1 TCP 协议

```
1. struct sockaddr_in my_addr;
2. bzero(&my_addr, sizeof(my_addr));

3. my_addr.sin_family = AF_INET;
4. my_addr.sin_port = htons(port);
5. my_addr.sin_addr.s_addr = htonl(INADDR_ANY);
6.
7. int err_log = bind(sockfd, (struct sockaddr*)&my_addr, sizeof(my_addr));
8. if( err_log != 0)
9. {
10.     perror("binding");
11.     close(sockfd);
12.     exit(-1);
13. }
14.
15. err_log = listen(sockfd, 10);
16. if(err_log != 0)
17. {
```

```
18.     perror("listen");
19.     close(sockfd);
20.     exit(-1);
21. }
22.
23. printf("listen client @port=%d...\n", port);
24.
25. sleep(10); // 延时 10s
26.
27. system("netstat -an | grep 8000"); // 查看连接状态
```

5.1 数据传输协议

以选择重传协议作为参考。

```
1. static void send_data_frame(unsigned char fk, unsigned char frame_nr, unsigned char frame_expected, unsigned char buffer[NR_BUFS][PKT_LEN])
2. // 发送数据帧，或 ack，或 nak
3. struct FRAME s;
4.
5. s.kind = fk;
6. s.seq = frame_nr;
7. s.ack = (frame_expected + MAX_SEQ) % (MAX_SEQ + 1);
8.
9. if(fk==FRAME_DATA)
10. {
11.     memcpy(s.data, buffer[frame_nr % NR_BUFS], PKT_LEN); // 复制分组到帧内
12.     dbg_frame("Send DATA %d %d, ID %d\n", s.seq, s.ack, *(short *)s.data);
13.     put_frame((unsigned char *)&s, 3 + PKT_LEN); // 加入校验和
14.     start_timer(frame_nr%NR_BUFS, DATA_TIMER); // 启动定时器
15. }
16. else if(fk == FRAME_NAK)
17. {
18.     no_nak=0;
19.     // 下一次不再发送 nak
20.     put_frame((unsigned char *)&s, 3);
21. }
22. else if(fk == FRAME_ACK)
23. {
24.     dbg_frame("Send ACK %d\n", s.ack);
25.     put_frame((unsigned char *)&s, 3);
26. }
27. phl_ready = 0;
28. stop_ack_timer();
29. // 没有必要启动 ack 定时器
```

6 相关应用支撑技术设计

6.1 无线组网技术分析

(1) WiFi 无线技术

Wi-Fi(Wireless Fidelity)技术是在 IEEE802.11 的基础上发展的无线通信协议,它定义了物理层和 MAC 层,并且以 TCP/IP 协议作为网络层的协议。WiFi 技术拥有 IEEE802.11a、IEEE802.11b、IEEE802.11g、IEEE802.11ac、IEEE802.11n 等多种版本的协议,目前使用的协议标准主要是 IEEE802.11a 和 IEEE802.11b 协议标准,IEEE802.11a 协议标准工作在 5.0GHZ 频段上,最高传输速率达到 54Mbps。

IEEE802.11b 协议工作在 2.4GHZ 频段上,最大的传输速率可达到 11Mbps,通信半径达到 100 米左右。支持点对多点的通信方式,可以采用中间节点进行协调的方式传输数据,当周围有干扰时可以通过带宽的调节,保障数据通信的稳定性和可靠性。该技术具有灵活的组网方式,数据传输速率快,覆盖范围比较广等优点,其缺点是协议栈的开发较为复杂,还有就是该技术功耗比较高。WiFi 技术支持 TKIP 加密模式和 AES 加密模式,能够达到在网络完全方面要求,使得 WiFi 技术广泛的应用在日常生活当中。

(2) Bluetooth 无线技术

蓝牙技术(Bluetooth)最早于 1999 年由索尼爱立信、IBM、英特尔等其它业内巨头企业共同创立的,并制定了相应的蓝牙技术标准和规范。蓝牙传输是一种比较常见的无线短距离传输技术,主要是通过跳频和短包技术实现一对一或者一对多通信,它的工作频率在 ISM(2.4GHz)频段上,其最大的传输速率能够达到 1Mbps。可以应用在多种设备之间进行数据传输,方便简化了移动设备之间的通信,在实际的应用场合蓝牙技术是比较常见的,如在手机、掌上电脑、车载设备以及其他的数码产品中的应用。由于它的简单、快捷、速率快等特点,得到大量用户的支持和使用。在智能家居行业中,采用蓝牙技术进行通讯的不是很常见,由于该技术的通讯距离短,通常在 10 米以内,组网灵活性差,网络比较复杂,无法实现中继等劣势,导致蓝牙技术在推广过程中受到很大的限制。

(3) ZigBee 无线技术

ZigBee 技术是基于 IEEE802.15.4 标准的低功耗局域网络协议,具有近距离、低复杂度、低功耗、

低速率及低成本等优点。ZigBee 技术拥有 2.4GHz、915 MHz 和 868MHz 三个工作频段,在每个频段上的最高传输速率分别为 250kbit/s、40kbit/s 和 20kbit/s。数据的传输距离范围在 75 米左右,开用者通过提高 ZigBee 模块的功率方式,可以提高一定限度通信的距离。由于 ZigBee 技术采用的组网方式简单能够自我管理,而且 ZigBee 网络功耗低,支持的网络节点数目多,可以通过路由节点对网络传输的范围进行扩展,提高 ZigBee 无线网络的深度,构建一个信号稳点的无线局域网络,ZigBee 技术很适合应用于组建对数据传输速率要求不高的无线网络。

6.2 网络的拓扑结构

(1) 星型结构

星型拓扑结构是用一个节点作为中心节点,其他节点直接与中心节点相连构成的网络。中心节点可以是文件服务器,也可以是连接设备。常见的中心节点为集线器。

星型拓扑结构的网络属于集中控制型网络,整个网络由中心节点执行集中式通行控制管理,各节点间的通信都要通过中心节点。每一个要发送数据的节点都将要发送的数据发送中心节点,再由中心节点负责将数据送到目的地节点。因此,中心节点相当复杂,而各个节点的通信处理负担都很小,只需要满足链路的简单通信要求。

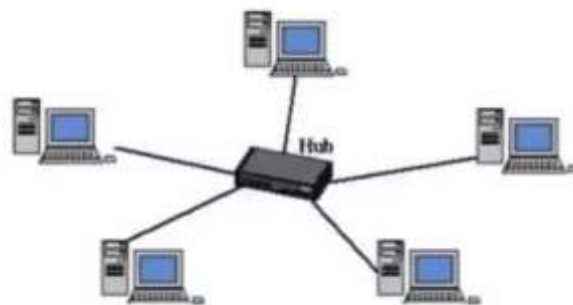


图9 星型网络拓扑结构图

优点:

控制简单。任何一站点只和中央节点相连接,因而介质访问控制方法简单,致使访问协议也十分简单。易于网络监控和管理。

故障诊断和隔离容易。中央节点对连接线路可以逐一隔离进行故障检测和定位,单个连接点的故障只

影响一个设备，不会影响全网。

方便服务。中央节点可以方便地对各个站点提供服务和网络重新配置。

缺点：

需要耗费大量的电缆，安装、维护的工作量也骤增。

中央节点负担重，形成“瓶颈”，一旦发生故障，则全网受影响。

各站点的分布处理能力较低。

(2) 环形结构

环型结构由网络中若干节点通过点到点的链路首尾相连形成一个闭合的环，这种结构使公共传输电缆组成环型连接，数据在环路中沿着一个方向在各个节点间传输，信息从一个节点传到另一个节点。

这种结构的网络形式主要应用于令牌网中，在这种网络结构中各设备是直接通过电缆来串接的，最后形成一个闭环，整个网络发送的信息就是在这个环中传递，通常把这类网络称之为“令牌环网”。

实际上大多数情况下这种拓扑结构的网络不会是所有计算机真的要连接成物理上的环型，一般情况下，环的两端是通过一个阻抗匹配器来实现环的封闭的，因为在实际组网过程中因地理位置的限制不方便真的做到环的两端物理连接。

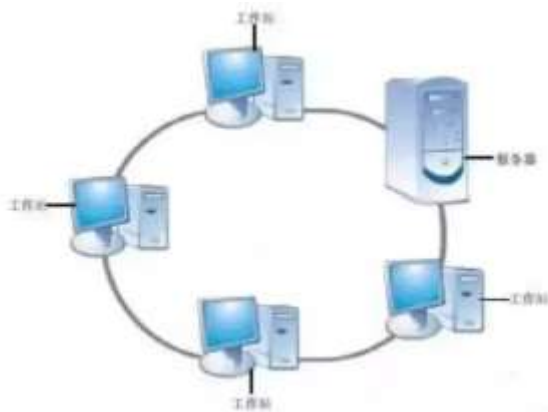


图 10 环形网络拓扑结构图

优点：

实现简单，投资最小。可以从其网络结构示意图中看出，组成这个网络除了各工作站就是传输介质——同轴电缆，以及一些连接器材，没有价格昂贵的节点集中设备，如集线器和交换机。

传输速度较快：在令牌网中允许有 16Mbps 的传输速度，它比普通的 10Mbps 以太网要快许多。当然

随着以太网的广泛应用和以太网技术的发展，以太网的速度也得到了极大提高，目前普遍都能提供 100Mbps 的网速，远比 16Mbps 要高。

缺点：

兼容性差。这种网络结构一般仅适用于 IEEE 802.5 的令牌网（Token ring network），在这种网络中，“令牌”是在环型连接中依次传递。所用的传输介质一般是同轴电缆。

功能性不高。但也正因为这样，所以这种网络所能实现的功能最为简单，仅能当作一般的文件服务模式。

维护困难：从其网络结构可以看到，整个网络各节点间是直接串联，这样任何一个节点出了故障都会造成整个网络的中断、瘫痪，维护起来非常不便。另一方面因为同轴电缆所采用的是插针式的接触方式，所以非常容易造成接触不良，网络中断。

扩展性能差：也是因为它的环型结构，决定了它的扩展性能远不如星型结构的好，如果要新添加或移动节点，就必须中断整个网络，在环的两端作好连接器才能连接。

(3) 树形结构

树型结构是分级的集中控制式网络，与星型相比，它的通信线路总长度短，成本较低，节点易于扩充，寻找路径比较方便，但除了叶节点及其相连的线路外，任一节点或其相连的线路故障都会使系统受到影响。

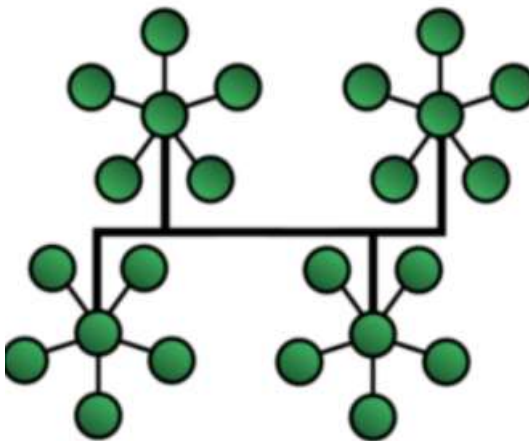


图 11 树形网络拓扑结构图

优点：

易于扩充。树形结构可以延伸出很多分支和子

分支，这些新节点和新分支都能容易地加入网内。

故障隔离较容易。如果某一分支的节点或线路发生故障，很容易将故障分支与整个系统隔离开来。

缺点：

各个节点对根节点的依赖性太大。如果根发生故障，则全网不能正常工作。

(4) 分布式结构

分布式结构的网络是将分布在不同地点的计算机通过线路互连起来的一种网络形式。



图 12 分布式网络拓扑结构图

优点：

由于采用分散控制，即使整个网络中的某个局部出现故障，也不会影响全网的操作，因而具有很高的可靠性。

网中的路径选择最短路径算法，故网上延迟时间少，传输速率高，但控制复杂。

各个节点间均可以直接建立数据链路，信息流程最短。

便于全网范围内的资源共享。

缺点：

连接线路用电缆长，造价高；网络管理软件复杂；报文分组交换、路径选择、流向控制复杂；在一般局域网中不采用这种结构。

致谢 向评审人和对该文有帮助的人士表示谢意。

Smart bathroom design based on wireless sensor network

Yu Xiong^{1*}

¹ *School of Computer Science, Beijing University of Posts and Telecommunications, Beijing 100876;*

** Contact, E-mail:septexy@bupt.edu.cn*

With the continuous development of social economy, people's living standards continue to improve, science and technology are changing rapidly, intelligent technology in the home industry applications show a diversified and popular trend. Based on the analysis of the development and research status of intelligent bath in smart home, this paper gives a smart bathroom system design scheme based on wireless sensor network architecture based on practicality and feasibility, which combines ZigBee, WiFi and other wireless transmission technologies to achieve temperature and humidity collection of bathroom environment, real-time early warning monitoring of emergency fires, flammable gases and automatic control of indoor lighting equipment.

Smaet Home, ZigBee, WiFi