

## 摘要

近年来，随着电子技术、信息技术的蓬勃发展与广泛应用，农业温室技术也在向自动化、信息化方向发展。基于无线传感器网络的监测系统可以实现温室无人值守，而且可以进行远程监测的功能。本文从农业生产的实际情况出发，对控制网络与信息网络的融合技术进行了研究，将蔬菜大棚现场控制网络同 Internet 结合起来，提出了基于无线传感器网络的蔬菜大棚远程监控系统。

本文首先分析了无线传感器网络的发展方向，相关技术的国内外发展现状，通过对现在大棚监测系统的所用技术的讨论，提出了一种以无线传感器网络技术为基础，通过 GPRS 网络来实现远程监测蔬菜大棚温湿度的系统。通过对无线远程监测系统的功能需求分析出发，同时运用基于嵌入式编程思想，从数据采集节点、基站和远程服务器几个角度，具体设计和实现了各自的功能模块。

系统从结构上可划分为三个部分：远程监控终端发送模块，服务器端数据接收存储模块和基于 Web 的数据管理模块。提供了从现场数据采集——数据远程传输——网络管理的整套技术解决方案。其中数据采集节点从功能上主要有两大模块，无线通信模块和数据采集模块，因此数据采集节点主要是通过这两个模块设计编程来实现。通信模块主要是通过 ZigBee 进行编程，数据采集模块则是通过 A/D 转换来实现。系统的基站是整个系统的核心，用来对 ZigBee 通信模块进行相应的配置并接收传感器节点的数据，通过 AT 指令初始化 GPRS 通信模块，利用 PPP 协议将基站连接到 GPRS 网络，获得网络运营商动态分配的 IP 地址，并与监控中心终端或服务器建立有效连接。系统数据库是整个网络化数控服务系统的支撑部分，对于大型的服务系统而言，信息数据的保存是很重要的，它将记录系统运行时的所有信息。其中数据库系统可以根据实际需求来建立各种表，目前本系统建立的表包括日志系统表，用户系统表。

本文实现的服务系统人机界面友好，操作简单，通过对远程蔬菜大棚温湿度数据监测的结果检测，本系统能有效的实现对远程蔬菜大棚温湿度进行监测显示，同时也能支持手机用户通过手机获取大棚数据并保证操作的安全性，系统的可扩展性强，为以后的无线远程监测控制的进一步发展打下了很好的基础，有广泛的应用远景和实用价值。

关键词：无线传感器网络；远程监测；网络通信；GPRS

## Abstract

With the development of the technique in electronics and information in recent years, the technique in agricultural greenhouse is using more and more automation and information techniques. The remote monitoring function is carried out in the greenhouse but no people based on wireless sensor network. Therefore this thesis researches on the amalgamation technique between control network and information network. For actual requirement of agricultural research, greenhouse field control network and Internet are connected in the greenhouse remote control system based on Internet.

Firstly ,the wireless sensor network development direction is analyzed, the development of related technologies is discussed, after the discussion of the technique about the Greenhouse monitoring system, the system which is through the GPRS network to realize remote monitoring temperature and humidity of vegetable greenhouse is presented. The system is based on wireless sensor network. Through the needs analysis of the wireless remote monitoring system, at the same time, based on embedded programming, the function modules is designed and realized from the data collection nodes, base stations and remote server.

In structure design, this system consists of three modules: terminal module of data acquisition and sending, database server module of data receiving and storing ,and Web server module of data management. An integrated technical solution of data acquisition-transmission-management is provided. The data acquisition is divided into two major modules, such as wireless communication module and data acquisition module. Therefore the data acquisition node is realized by programming. Communication module is realized through ZigBee programming, data acquisition module is realized through the A/D converter. The system base station is the core of the whole system, it is used to configure the ZigBee communication module of the corresponding sensor node and receive data from sensor node. The GPRS communication module is initialized through AT commands, the base station is

connected to the GPRS network through PPP protocol, dynamic IP address is allocated by the network operators, an effective connection is established by monitoring centers or terminal. System database of the entire network is the support of the service for large-scale system, the store of information of data is very important, it will record all the run-time system information. One of the database system can be set up according to actual demand to a variety of forms. At present , the table including the log system tables ,the user system table is set up.

In this paper, the service system implemented has friendly interface and easy operation, through testing the monitoring result of the remote vegetable greenhouse's temperature and humidity, the system can effectively achieve the temperature and humidity display of the vegetable greenhouse. At the same time it support the function that mobile users can access the greenhouse data through mobile phone, it also ensure the operation security. System scalability is very good, the further development has laid a good foundation for future wireless remote monitor and control. It has a wide range of application and practical value.

**Key words:** Wireless sensor network(WSN); Remote Monitoring;  
Network Communication; GPRS

## 独 创 性 声 明

本人声明，所呈交的论文是本人在导师指导下进行的研究工作及取得的研究成果。尽我所知，除了文中特别加以标注和致谢的地方外，论文中不包含其他人已经发表或撰写过的研究成果，也不包含为获得武汉理工大学或其它教育机构的学位或证书而使用过的材料。与我一同工作的同志对本研究所做的任何贡献均已在论文中作了明确的说明并表示了谢意。

签 名: 鲁进军 日期: 2009.05.07

## 学 位 论 文 使用 授 权 书

本人完全了解武汉理工大学有关保留、使用学位论文的规定，即：学校有权保留并向国家有关部门或机构送交论文的复印件和电子版，允许论文被查阅和借阅。本人授权武汉理工大学可以将本学位论文的全部内容编入有关数据库进行检索，可以采用影印、缩印或其他复制手段保存或汇编本学位论文。同时授权经武汉理工大学认可的国家有关机构或论文数据库使用或收录本学位论文，并向社会公众提供信息服务。

(保密的论文在解密后应遵守此规定)

研究生 (签名): 鲁进军 导师 (签名): 刘红 日期

## 第1章 绪论

### 1.1 本文研究背景及其意义

随着技术的发展，温室环境远程监控技术正向智能、精确化、信息化、节能化等方向发展，以下四个方面将是温室环境远程监控研究的几个重要方向：

#### （1）作物模型的研究以及作物模型与温室智能控制的结合。

作物模型用于描述作物生长发育情况与作物生长环境因素之间的关系，作物模型是实现精准农业的基础，也是实现自动化农业生产的关键技术。作物模型大致可分为机理模型和经验模型，温室控制系统需要建立用环境参数描述的作物模型，并与作物的生长模型相结合，根据作物品种提供相应的控制策略，实现全自动的智能温室。现有的作物模型由于其复杂性和描述方式的不兼容，很难直接与温室控制系统相结合，形成完整的控制策略。目前荷兰和美国、日本等农业发达国家的作物模型的研究已进入实用化阶段<sup>[1,2]</sup>。

#### （2）基于嵌入式系统和工业以太网的温室监控系统

工业以太网具有和 Internet 相兼容的结构和协议，因此通过工业以太网接入 Internet 将节省软硬件的开发，大大提高系统的稳定性并降低维护成本。同时工业以太网的应用要求被控设备具备以太网接口。随着电子技术的发展，嵌入式系统功能越来越强大，不但能实现设备控制和通用网络的功能，而且还能在其内部集成网络服务器功能。嵌入式系统体积小，价格低，安装和使用方便，对环境要求不高，能够满足农业生产的需要。用嵌入式系统取代 PC 机，实现对各种传感器和控制设备的监控，并开发智能化、网络化、无线化的通用控制器是网络控制系统发展的重要研究方向。

#### （3）与 Internet 和移动通信技术相结合的远程监控系统

针对农业对象的多样性、地域广阔、偏僻分散、远离都市社区等特点，把 Internet 和移动通信技术引入到温室远程监控系统，利用 Internet 和移动通信技术来解决温室远程监控系统的“最后一公里”问题将是一种很好的解决方案，这将会在实际应用中有着长远的重要的意义，也是今后控制系统发展的一个重要方向。

#### （4）农业生产的信息化智能化管理

温室在地域上分布分散，设备种类繁多，若实现大量温室的远程集群化管理必然会遇到系统重复设计，数据的存储与访问格式不统一，各温室的监控设备不相同，种植的作物品种不相同等问题。在工业生产和企业管理中，管理信息系统的应用使得企业信息传递的效率大大提高，同时对于数据的保存和管理也更加方便灵活。目前许多发达国家已经将管理信息系统应用到温室管理中来。通过信息化智能化的管理系统可以实现数据存储和访问的统一管理、系统的可伸缩性和温室设备的模块化（如动态调增减温室设备）、控制策略及从产量预测等商业逻辑的集中管理、制定统一的作物生长环境模型的标准接口。这也是控制系统的一个发展方向。

综上所述，信息农业需要解决的问题重点是两个：第一，寻求低成本；第二，互联网接入的方式。随着我国移动通信产业的不断发展，移动通信网络也已基本覆盖全国的大部分人口居住区和人们的活动范围，这为接入互联网提供了新的途径。其中中国移动公司推出的 GPRS 业务，使人们可以方便地通过无线终端连接到 Internet。从而解决了互联网的接入问题。寻求低成本，因为无线传感器网络是低成本、低功耗的网络，因此可以结合无线传感器网络和 GPRS 业务从而实现信息农业。

无线分布式微传感器系统，即无线传感网络，作为一种有效的无线数据获取网络，可以以大量的廉价微型传感器节点方便的配置到人类无法接近，或对人类有害的地区，协作地感知、采集和处理网络覆盖区域中感知对象的信息，并发给观察者，从而极大地扩展了现有网络的功能和人类认识世界的能力。由于它廉价、可动态配置、自组织和良好的可扩展性，无线传感网络被越来越多的关注和应用。在火灾现场、林区、战场、生态监测等多种场合，用来对温度、压力、声波、活动等多种数据进行检测及获取。但是无线传感网络与应用相关的传感器节点分布广，一般为一次性消费，导致无线传感网络的成本问题、生存期问题、数据有效性问题、安全问题等等还在研究、完善和提高阶段。从应用角度对以上问题提出解决的各类协议方法做进一步分析研究，显得非常必要<sup>[3,4]</sup>。

我国自古以来就是世界上的农业大国，但我国的现代化设施农业起步却比较晚，大约在上个世纪的 70 年代。在过去的近四十年里先后从国外引进了许多温室种植技术，但从农业设施、控制技术、管理技术上讲我们的温湿农业和温室园艺还远远落后于荷兰和美国等一些发达国家。国外的温室种植，温室控制管理技术已经相对比较成熟。显然引进国外的先进技术是发展我国设施农业的

一条快捷方式，与此同时我们也要发展适合我国环境资源特点的有我们自主知识产权的温室控制技术。

当前，随着嵌入式系统的全面深入地应用，嵌入式技术已经成为通信和消费类电子的共同发展方向。特别是在通信领域，由于其具有强大的数据处理能力以及各种丰富的通信接口，因此在解决数据处理和数据传输等相关问题时，嵌入式技术已经成为首选的方案。

基于国家科技支撑计划项目（项目编号：2006BAJ01B02）：西部农村环境监测技术的集成与环境监测示范需要进行大批量数据传输以及远程数据传输，因此尝试使用基于 ARM(LPC2138)处理器和 JN5139 传感器节点的嵌入式无线传感器网络传输系统对上述科研项目进行探讨和解决。

本课题的农业监测是监测延安市安塞县侯门沟村蔬菜大棚的棚内温湿度，棚内土壤的湿度，棚外温湿度，由于侯沟门村的大棚群自西向东共有五排，每排约有 15 个大棚，最长的大棚为 120 米，有 2 个，最短的为 50 米，多数大棚为 60 米，因此如果人工进行监测的话，需要大棚主人每天都要长期在棚内通过温度计进行监测，这样十分浪费时间，而且效率不高。

基于无线传感网络的农业监测系统如图 1.1 所示：

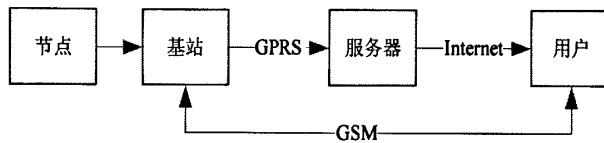


图 1.1 系统的总体框图

## 1.2 相关领域国内外的研究现状

### (1) 国外相关领域研究成果综述

日本四国电力集团开发的“OpenPLANET(简称 OP)”系统是一远程监控系统。该系统主要由监测控制 LAN、信息采集单元、数据记录单元、分散控制器、OP 服务器等组成，该系统可以实现温室的群管理<sup>[5]</sup>。

此外日本的 FieldServer (现场服务器) 系统，是基于嵌入式系统的多传感器数据采集设备，它可以连接多种传感器，同时内部集成微型摄像机，可以同时采集温度、湿度等环境信息及图像视频信息，通过 TCP/IP 协议将数据发送到中心服务器。FieldServer 可以使用电池供电，具有体积小、功能强、耗电少等特点，

便于架设在野外工作。

英国无线系统公司开发的一系列的无线通讯设备，如适合分布广泛的花园温室或储藏室的无线的霜冻和入侵警报系统、便携的无线电视系统、远程无线洒水系统、加热和通风控制等等。

### (2) 国内相关技术发展现状

今年来我国温室面积不断增加，在提高设施装备水平的同时也正向逐步实现自动化的方向迈进。我国目前一些大学、科研院所也开展了温室设施远程控制技术研究，并取得了一系列研究成果。

国家农业信息化工程技术研究中心开发的智能型远程温室环境控制器，可监测温室内空气温湿度、土壤和叶面温度、含水量、光照强度、CO<sub>2</sub>浓度并进行统计分析，通过专家系统和计算机网络，实现对温室灌溉、施肥、农药喷施、通风换气等过程的智慧决策和远程分布式调控。这套设备集数据测量、存储、远程控制和自动报警为一体，它使农业专家在办公室里就能通过网络看到植物生长状况，并进行远程监控。

中国农业大学研制的温室环境监控系统，由主控微机、温室机和室外气象站三大部分组成。主控微机控制机房，可对整个系统进行统一管理。主控微机用于完成各种系统参数的设置，测试数据的记录、查询、打印、控制算法的实现以及控制命令的生成等功能。每一个独立的温室放置一台温室机、内置温/湿度、CO<sub>2</sub>等各种传感器、控制设备以及摄像镜头，可以实时将温室内作物生长状况传输给办公现场，同时可以通过电话线、数字信号传输线及 Internet 等将监测的室内外环境条件和植物生长状况传输到农业专家的计算机屏幕上，以便他们可以根据提供的信息进行生产指导，实现对温室环境的监测控制。

## 1.3 本文主要工作

基于低成本、互联网接入的方式以及低功耗等原因，研究设计了基于 ARM7(LPC2138)处理器的嵌入式多接入网络传输系统。系统将充分利用 ARM7(LPC2138)处理器高性能、低功耗、低成本的优点，实现了运用 ZigBee 协议达到无线传感网络系统的网络传输要求，并为一般的网络数据通信提供了一个经济、完善的嵌入式通用平台。

论文主要讨论并完成了基于 ARM7(LPC2138)处理器的嵌入式多接入网络传输系统的硬件设计和软件设计，重点将放在软件设计上。

首先，从应用背景需求的角度详细阐述了本系统应该具备的功能。

其次，根据功能需求进行系统功能规划，介绍系统中涉及到的关键技术，例如无线传感组网技术，GPRS 技术，数据库等。

再次，从系统的功能角度出发，将系统划分三大模块，分别是数据采集节点，基站，远程主机服务器，按系统需求，设计和实现介绍三大模块。

最后，介绍了系统的实地安装所遇到的问题以及解决办法，并对系统的安全性和实时性做了介绍，对系统的运用提出展望。

## 第2章 基于无线传感器网蔬菜大棚监测系统框架

### 2.1 基于无线传感器网监测系统框架的模型设计和分析

在对无线传感器网络的深入分析和了解，根据调研国内外先进无线传感器网络技术，总结其成功与失败的经验教训的基础上，本着自主开发的原则，无线传感器网络系统的设计即考虑了传感器、微机电系统和网络三大技术，又从实际出发，充分考虑到现有的实际情况，按照整体规划分布实施，为更大规模的集成打好良好的基础。同时根据需求和总体目标，有选择的保留，从而缩短开发周期，降低成本，尽快取得良好的经济效益。

从系统的整体功能出发，系统可以分为三个部分，即数据采集部分，数据转发部分（基站），远程主机（提供用户数据查询）。因此可以提出系统的整体模型如图 2.1 所示：

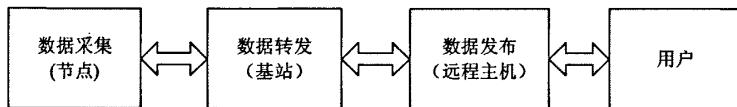


图 2.1 系统整体模型图

在实现数据采集节点时，将会应用 ZigBee 协议，ZigBee 是一种新兴的近距离、低复杂度、低功耗、低数据速率、低成本的无线网络技术，它是一种介于无线标记技术和蓝牙之间的技术提案，主要用于近距离无线连接。它是依据 802.15.4 标准，在数千个微小的传感器之间相互协调实现通信，这些传感器只需要很少的能量，以接力的方式通过无线电波将数据从一个传感器传到另外一个传感器，所以它们的通信效率非常高。一般而言，随着通信距离的增大，设备的复杂度、功耗以及系统成本都在增加、相对于现有的各种无线通信技术，ZigBee 技术的低数据速率和通信范围较小的特点，也决定了 ZigBee 技术适合承载数据流量较小的业务。所以 ZigBee 联盟预测的主要应用领域包括工业控制、消费性电子设备、汽车自动化、农业自动化和医用设备控制等<sup>[6]</sup>。

数据采集模块设计，其软件流程图如下图 2.2 所示

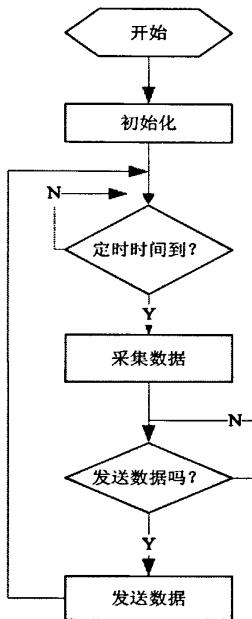


图 2.2 数据采集流程图

数据采集节点是定时采集数据，默认设置是 3 分钟，用户可以通过基站向节点发送设置控制指令设置数据采集时间间隔。

在实现基站的功能时会用到 PPP (Point-to-Point Protocol) 协议，现在全世界使用得最多的数据链路层协议是点对点协议 PPP。用户接入因特网的一般方法有两种。一种是用户使用拨号电话线接入因特网，另一种是使用专线接入（这通常是用户人数较多的单位）。不管用哪一种方法，在传送数据时都需要有数据链路层协议<sup>[7]</sup>。

在实现远程主机时会用到数据库技术，基于 WEB 的网络数据库系统由一个 WEB 浏览器作为用户界面、一个数据库服务器用作信息存储和一个连接两者的 WEB 服务器组成。WEB 和数据库这两种技术，各自有其优点。WEB 具有用户界面的定义非常简单，关于定义数据的说明型语言非常完美，允许巨大传输量的传输协议非常健壮等优点。而数据库的优点是它具有清晰定义的数据模型，存储和获取数据的健壮的方法，发展用户界面和应用程序逻辑的软件工具，强大的授权和安全机制，以及控制事务和维持数据完整性的有效途径等。基于 WEB 的数据库系统结构，如图 2.3 所示。

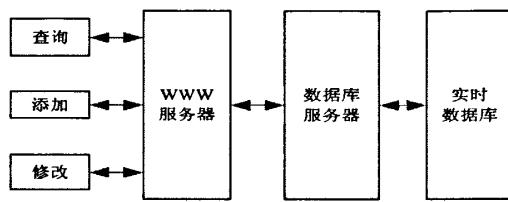


图 2.3 基于 WEB 的网络数据库系统结构

用户值需要通过安装在客户端的浏览器发送信息到 WWW 服务器，服务器接收传递的参数后调用数据库服务器中的相应数据库，获得的信息以文本、图像、表、图像或者多媒体对象的形式在 WEB 页上显示。同样，用户也可以对网络数据库进行添加、修改和删除操作。

在使用数据库时，上位机的软机流程图如图 2.4 所示

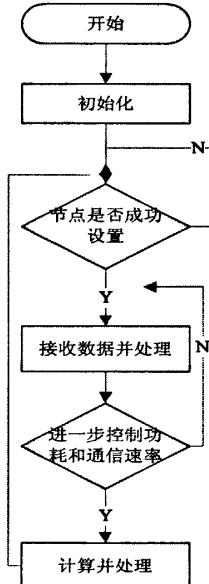


图 2.4 上位机软件流程图

PC 机软件实现的功能包括初始化节点的波特率并传送至每个节点，接收节点传输的数据，通过处理子程序显示并存储在上位机中，控制节点的功耗和通信速率等，实时动态地监测环境情况。

## 2.2 无线传感器网络农业监测系统的总体框架

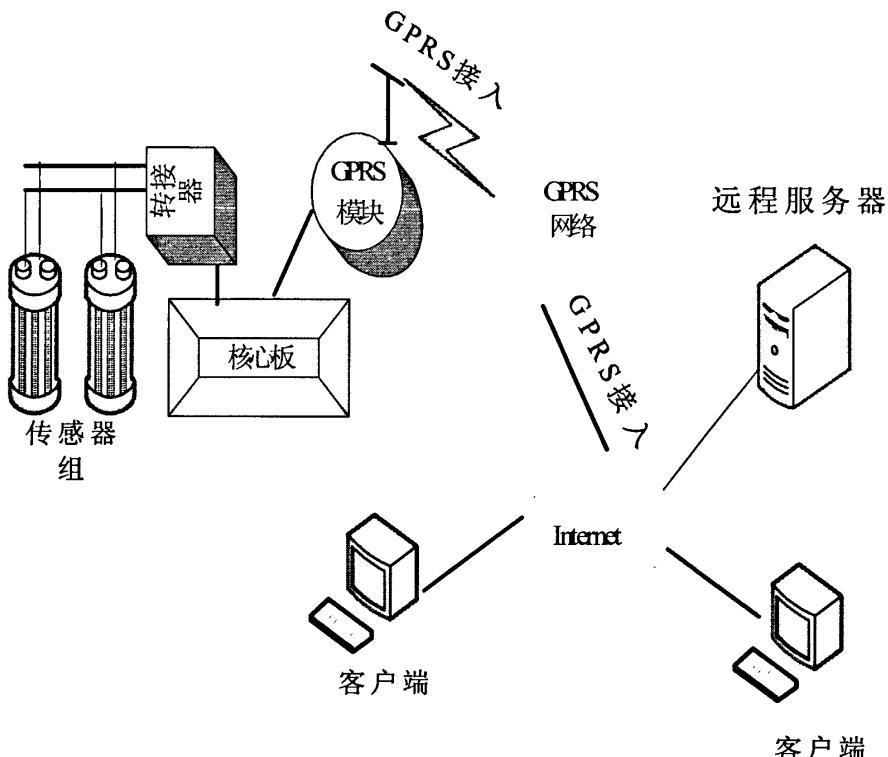


图 2.5 无线传感器网络农业监测系统的总体框架图

本系统的设计是基于无线传感器网络的农业监测系统研究基础上的进一步探索和研究，本着以无线传感器网络的农业监测系统为发展方向，通过 GSM 通信模块、GPRS 通信模块来实现远程大棚监测系统的控制、管理和操作。服务系统既要考虑到同时与多个客户端即远程用户的通信，并执行远程用户发送过来的命令，同时还要考虑到与主节点之间的通信，并对各个节点的状态进行监控并反馈给操作用户端，在通信过程中，还要考虑到用户的合法性、操作的安全性等等。基于无线传感器网络的农业监测系统的总体框架图如图 2.5 所示。

(1) 远程客户端。远程客户端在本系统中采用的是基于 C/S 模式的实现方式，在客户端，操作用户首先需要获得服务器端的安全认证后才可以操作，然后操作用户可以查询节点的状态，在操作过程中，用户可以在客户端查看节点收集的数据(大棚内外的温湿度，土壤的湿度)。管理员也可以在客户端对操作用户进行远程管理等等，当然随着研究的进一步深入，客户端最终会向 B/S 模式发展。

(2) 无线传感器网络节点。无线传感器节点主要是收集数据，并将数据发送到基站。在本课题中，无线传感器主要收集大棚内外的温湿度，土壤的湿度信息。然后等待主节点的查询信息。当接收到主节点的查询信息时，传感器节点就将自己收集的数据发送给主节点。主节点然后将信息通过 RS232 发送给基站(ARM7)。

(3) 核心板（基站）。基站的主要作用是接收传感器主节点发送过来的信息，然后将信息通过不同的方式发布。本课题中主要通过以下三种方式发布（1）通过 GPRS 通信模块以 WEB 形式发布。客户端通过 Internet 浏览。（2）通过 GSM 通信模块以短信方式发布，客户端以手机短信方式接收。（3）通过 LCD 显示屏显示。在大棚的现场环境中，为了方便大棚主人在现场能查询信息，在大棚现场的基站上通过连接 LCD 显示屏显示大棚内外的温湿度，土壤湿度的信息。核心板在整个系统中起着中继站的作用。

无线传感器网络监测系统的最终目的是要将监测得到的数据发布给用户端。这样我们在设计系统基站端时采取了分层的模型思想。基站的分层，如图 2.6 所示：

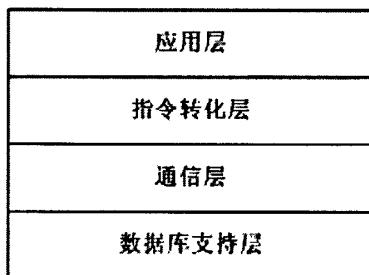


图 2.6 无线传感器网络监测系统基站端功能分层图

基站分层模型是按逻辑组合功能来分层的，上一层是建立在下一层的基础上，较高层向较低层提供服务请求，而较低层为较高层提供服务。最上面一层是应用层，主要是处理一些客户的命令需求，包括安全认证、信息采集、用户管理、日志管理等。

## 第3章 基于无线传感器网络监测系统的设计和实现

基于无线传感器网络的蔬菜大棚系统可以采用无人值守，因此节省人力提高效率，同时通过手机短信和互联网方式提供监测数据，并且可以设定预警值，超过该预警值可自动通过手机短信报警。传统方法通常采用485或CAN等现场总线的方式将各个分散工作的节点连接构成整个监测网络，无线传感网克服了传统方法施工麻烦，成本高而且受地理条件限制少。

系统在进行设计时必须考虑以下几个因素：第一，系统的稳定性、安全性和可靠性；第二，系统操作的实时相应能力；第三，用户界面的友好性，使用方便。

所以在系统设计时，围绕上述要求，从以下三个方面加以实现，即远程客户端、网络化基站端、后台数据库系统。其中，远程客户端实现远程控制和管理以及信息状态查看等；基站端接收客户端的请求同时与传感器节点进行通信；数据库系统完成操作平台与数据库的连接，实现用户信息、日志信息、查询等功能。

### 3.1 开发环境

#### (1) 硬件环境：

- 1) 远程客户端：PC机
- 2) 网络化基站端：LPC 2138核心板
- 3) 传感器网络节点：JN5139节点板

#### (2) 软件环境：

- 1) 操作系统：Microsoft Windows XP Professional  
Microsoft Windows Server 2003
- 2) 开发工具软件：Microsoft Visual Studio 2003、SQL Server 2000

## 3.2 系统数据采集节点的设计和实现

### 3.2.1 IEEE 802.15.4 和 ZigBee 介绍

IEEE 无线个人区域网（PAN）工作组的 IEEE802.15.4 技术标准是 ZigBee 技术的基础。802.15.4 标准旨在为低能耗的简单设备提供有效覆盖范围在 10 米左右的低速连接，可广泛用于交互玩具、库存跟踪监测等消费与商业应用领域。传感器网络是其主要市场对象。

IEEE802.15.4 满足国际标准组织（ISO）开放系统互连（OSI）参考模式。它定义了单一的 MAC 层和多样的物理层，在表 2—1 中概括了 802.15.4 的一些特点。

表 3—1 IEEE 802.15.4 协议架构

ZigBee Profiles	
网络应用层	
数据链路层	
IEEE802.15.4 LLC	802.2LLC
IEEE802.15.4MAC	
868/915 PHY	2400 PHY

IEEE802.15.4 的 MAC 层能支持多种 LLC 标准，通过 SSCS (service-Specific Convergence Sublayer, 业务相关的会聚子层) 协议承载 IEEE802.2 类型的 LLC 标准，同时允许其他 LLC 标准直接使用 IEEE802.15.4 的 MAC 层服务，IEEE802.15.4 的 LLC 层和 MAC 层主要功能如下：

- (1) LLC 子层的主要功能：传输可靠性保障和控制数据包的分段与重组
- (2) IEEE802.15.4 的 MAC 协议主要功能：设备间无线链路的建立、维护和结束确认模式的帧传送与接收数据包的顺序传输、信道接入控制、帧校验、预留时隙管理、广播信息管理。

IEEE802.15.4 定义了两个物理层标准，分别是 2.4GHz 物理层和 868/915MHz 物理层。它们都基于 DSSS (Direct Sequence Spread Spectrum, 直接序列扩频)，使用相同的物理层数据包格式，区别在于工作频率、调制技术、扩频码片长度和传输速率。2.4GHz 波段为全球统一的无需申请的 ISM 频段，有助于 ZigBee 设备的推广和生产成本的降低。2.4GHz 的物理层通过采用高阶调制技术能够提

供 250kb/s 的传输速率，有助于获得更高的吞吐量、更小的通信时延和更短的工作周期，从而更加省电。868MHz 是欧洲的 ISM 频段，915MHz 是美国的 ISM 频段，这两个频段的引入避免了 2.4GHz 附近各种无线通信设备的相互干扰。868MHz 的传输速率为 20kb/s，916MHz 是 40kb/s。这两个频段上无线信号传播损耗较小，因此可以降低对接收机灵敏度的要求，获得较远的有效通信距离，从而可以用较少的设备覆盖给定的区域[7-9]。下表（如表 3—2）概括了 802.15.4 的一些特点

表 3—2 802.15.4 特点

复杂程度	比现有标注低	通信时延	$\geq 15\text{ms}$
目的	只支持数据通信	功 耗	约 45us
频段，数据率及信数	868MHz 20kbps 1 915MHz 40kbps 10 2.4GHz 250kbps 16	MAC 的控制方式	星型网络，对等网络
每个网络支持节数	65536	寻址方式	64bit IEEE 地址，8bit 网络地址
连接层结构	开放式	温度	-40C 至 85C
传输范围	室内：10m 速率 250kbps;+0dbmTX 室外：30m—75m 速率 40kbps;300m 速率，20kbps	应用	传感器，玩具，控制领域....

ZigBee 技术的主要特点包括以下几个部分：

- (1) 数据传输速率低：只有 10k 字节/秒到 250k 字节/秒，专注于低传输应用；
- (2) 功耗低：在低功耗待机模式下，两节普通 5 号干电池可使用 6 个月到 2 年，免去了充电或者频繁更换电池的麻烦，这也是 ZigBee 的支持者所一直引以为豪的独特优势；
- (3) 成本低：因为 ZigBee 数据传输速率低，协议简单，所以大大降低了成本，且 ZigBee 协议免收专利费。
- (4) 网络容量大：每个 ZigBee 网络最多可支持 255 设备，也就是说，每个 ZigBee 设备可以与另外 254 台设备相连接；
- (5) 时延短：通常时延都在 15 毫秒至 30 毫秒之间。
- (6) 安全：ZigBee 提供了数据完整性检查和鉴权功能，加密算法采用

AES-128，同时可以灵活确定其安全属性；

(7) 有效范围小：有效覆盖范围 10—75 米之间，具体依据实际发射功率的大小和各种不同的应用模式而定，基本上能够覆盖普通家庭或办公室环境；

(8) 工作频段灵活：使用的频段分别为 2.4GHz, 868MHz(欧洲)及 915MHz(美国)，均为免执照频段。

完整的 ZigBee 协议套件由高层应用规范、应用会聚层、网络层、数据链路层和物理层组成，网络层以上协议由 ZigBee 联盟制定，IEEE 负责物理层和链路层标准。

应用会聚层将主要负责把不同的应用映射到 ZigBee 网络上，具体而言包括：

- (1) 安全与鉴权；
- (2) 多个业务数据流的会聚；
- (3) 设备发现；
- (4) 业务发现。

网络层将主要考虑采用基于 ad hoc 技术的网络协议，应包含以下功能：

- (1) 通用的网络层功能：拓扑结构的搭建和维护，命名和关联业务，包含了寻址、路由和安全；
- (2) 同 IEEE802.15.4 标准一样，非常省电；
- (3) 有自组织、自维护功能，以最大程度减少消费者的开支和维护成本。

IEEE802 系列标准把数据链路层分成 LLC (Logical Link Control, 逻辑链路控制) 和 MAC (Media Access Control, 媒介介入控制) 两个子层。LLC 子层在 IEEE802.6 标准中定义，为 802 标准系列共用，通过 SSCS (service-specific convergence sublayer, 业务相关的会聚子层) 协议承载 IEEE802.2 类型的 LLC 标准，同时也允许其他 LLC 标准直接使用 IEEE802.15.4 的 MAC 层的服务。

LLC 子层的主要功能包括：

- (1) 传输可靠性保障和控制；
- (2) 数据包的分段与重组；
- (3) 数据包的顺序传输。

IEEE802.15.4 的 MAC 协议包括以下功能：

- (1) 设备间无线链路的建立、维护和结束；
- (2) 确认模式的帧传送与接收；
- (3) 信道接入控制；

- (4) 帧校验;
- (5) 预留时隙管理;
- (6) 广播信息管理。

IEEE802.15.4 定义了两个物理层标准，分别是 2.4GHz 物理层和 868MHz/915MHz 物理层，两个物理层都基于 DSSS (direct sequence spread spectrum, 直接序列扩频)，使用相同的物理层数据包格式，区别在于工作频率、调制技术、扩频码片长度和传输速率。2.4GHz 波段为全球统一的无需申请的 ISM 频段，有助于 ZigBee 设备的推广和生产成本的降低。2.4GHz 的物理层通过采用高阶调制技术能够提供 250kb/s 的传输速率，有助于获得更高的吞吐量、更小的通信时延和更短的工作周期，从而更加省电，868MHz 的传输速率是 20KB/S，915MHz 是 40kb/s，由于这两个频段上无线信号传播损耗较小，因此可以降低对接收机灵敏度的要求，获得较远的有效通信距离，从而可以用较少的设备覆盖给定的区域<sup>[10]</sup>。

相对于常见的无线通信标准，ZigBee 协议套件紧凑而简单，其具体实现的要求很低，以下是 ZigBee 协议套件的需求估计：

- (1) 8 位处理器，如 80c51;
- (2) 全协议套件软件需要 32kbyte 的 ROM;
- (3) 最小协议套件软件大约 4kbyte 的 ROM;
- (4) 网络主节点需要更多的 RAM，以容纳网络内所有节点的设备信息、数据包转发表、设备关联表、与安全有关的密钥存储等。

### 3.2.2 系统数据采集节点需求

数据采集节点是指安装在蔬菜大棚中的终端采集端，其具体要实现的功能有：

- (1) 采集大棚中某处的温湿度数据。
- (2) 接收基站发送的指令，定时发送数据给基站。

根据节点数据采集点的具体功能需求可知数据采集节点的详细功能所下示：

- (1) 自动发送连接基站请求，并与基站保持通讯
- (2) 用 LED 灯显示通讯正常
- (3) 能够实时采集数据
- (4) 能够按照基站发送过来的命令，定时发送数据给基站

### 3.2.3 系统数据采集节点功能及设计流程

由于数据采集节点从功能上主要有两大模块，无线通信模块和数据采集模块，因此数据采集节点在实现上主要是通过这两个模块来设计编程。通信模块主要是通过 ZigBee 进行编程，数据采集模块则是通过 A/D 转换来实现。

#### (1) 通信模块的设计

通信模块主要是节点和基站的通信，数据采集节点功能模块图如图 3.1 所示。

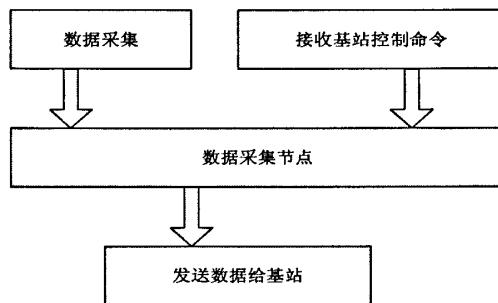


图 3.1 数据采集节点功能模块图

通过终端的传感器，实时测量监控现场的棚内、外温湿度，土壤湿度等常规的农业环境因子，运行在 LPC2138 中嵌入式数据采集发送程序定时的循环读取传感器的值，并对读取到的各类环境因子值进行解码、校验、解析、编码组串，然后存入发送缓冲区中等待发送，同时数据采集发送程序在实时的监测 GPRS 无线通信连接状态，并定时读取发送缓冲区数据，启动数据发送程序，数据发送至实验室监控中心数据库服务器端，终端数据采集发送程序也具有短信发送功能，用户可定制接收启动告知信息、报警信息和定时接收终端传感器采集值信息<sup>[25-27]</sup>。

节点的数据采集设计流程图如图 3.2 所示。

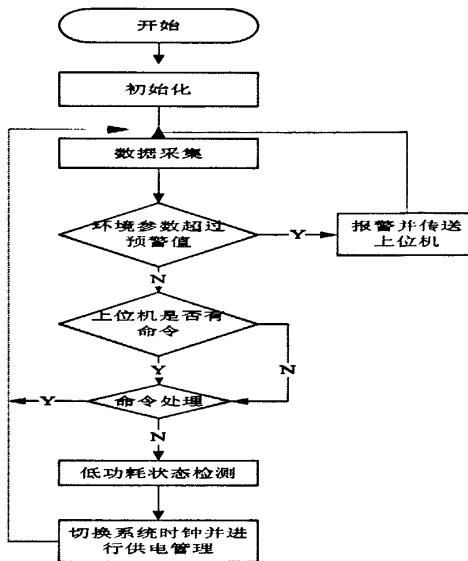


图 3.2 节点程序流程图

节点模块数据采集发送程序运行流程图，如图 3.3 所示。

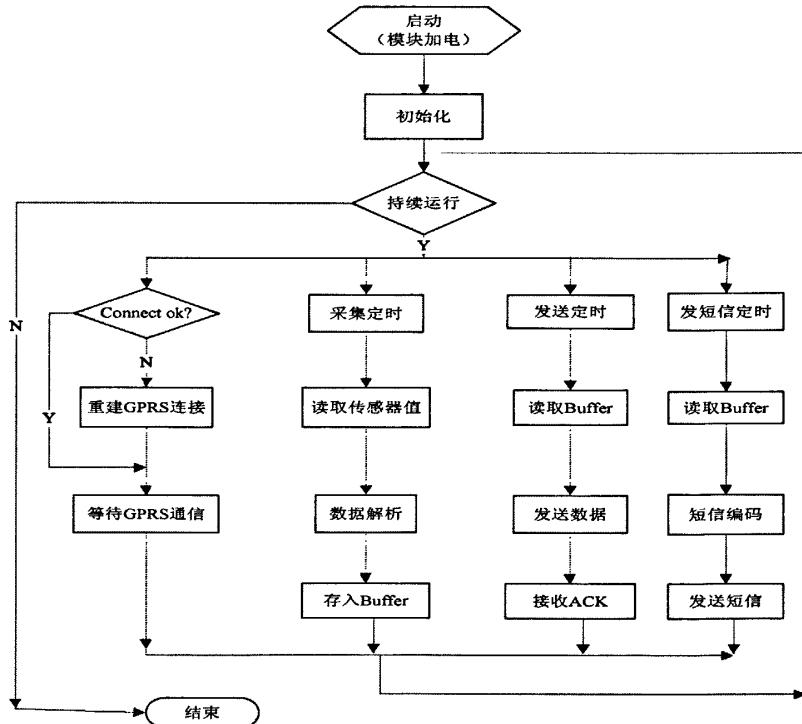


图 3.3 节点模块数据采集发送程序运行流程图

节点的软件设计主要在于采集数据、控制功耗、与上位机通信、显示与报警等。当数据采集节点上电以后，执行初始化过程以后，便开始搜索其无线覆盖范围之内的网络信息，如果存在 PAN，则执行网络加入过程，其流程如图 3.4 所示。节点在搜索网络的时候，其无线覆盖范围之内可能存在多个 PAN，此时一般选择通信信道质量比较高的，但是，也存在节点发出关联请求被协调者拒绝的情形，此时节点只能重新选择其他 PAN 发起关联请求。

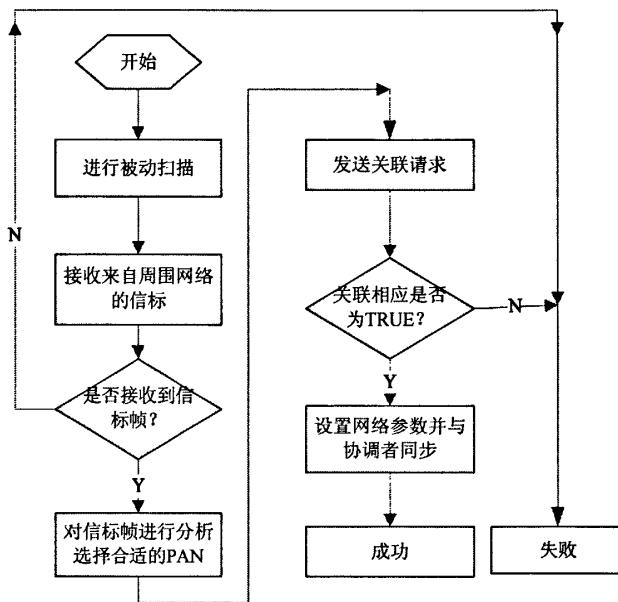


图 3.4 网络节点关联过程

由于本系统中没有考虑多跳网络和路由，只有已经和 PAN 进行关联的设备才能进行网络通信，如果设备没有关联而接受到一个数据传输的请求，则会返回一个 INVALID\_REQUEST 是状态。

### 3.2.4 系统数据采集节点端实现

**系统数据采集节点实现：**通过在 TinyOs 环境下建立工程，调用 ZigBee 协议函数通过系统数据采集节硬件是有收发模块 JN5139 和温湿度传感器组成，传感器是瑞士 STH10，收发模块是 JN5139.STH10 向收发模块发送的数字信号，所以直接连接在 JN5139 的 A/D 端口上。JN5139 有如下资源 16MHz 32-bit RISC CPU；96kB RAM, 192kB ROM；4 个输入端口，12 位 ADC，两个 11 位 DAC, 2 个

比较器，温度传感器；2个应用级定时器/计数器；3个系统定时器；2个串口（一个用于系统在线调试）；一个SPI接口，支持5个片选的；2线串行接口；21个GPIO。

```
typedef enum
{
    APP_STATE_WAITING_FOR_NETWORK,//等待网络时间状态
    APP_STATE_NETWORK_UP,//在网络中状态显示
    APP_STATE_RUNNING//运行状态显示
} teAppState;

typedef struct
{
    teAppState eAppState;
} tsAppData;

PUBLIC void vJenie_CbMain(void)
{
    switch(sAppData.eAppState)
    {
        case APP_STATE_WAITING_FOR_NETWORK:
            /* nothing to do till network is up and running */
            break;

        case APP_STATE_NETWORK_UP:
            /* as we are a coorinator, allow nodes to associate with us */
#ifndef MDEBUG
            vUtils_Debug("enabling association");
#endif
            eJenie_SetPermitJoin(TRUE);
            // mToggleLed(1);
            LED1_ON;
            /* go to the running state */
    }
}
```

```
biscoorready = TRUE;  
vSendCoorSetup();  
JContext_LoadInfor();  
sAppData.eAppState = APP_STATE_RUNNING;  
break;  
  
case APP_STATE_RUNNING:  
/* do all necessary processing here */  
  
break;  
  
default:  
  
vPrintf("!!Unknown state=%d", sAppData.eAppState);  
while(1);  
}  
if(IsRxComDataIn() == TRUE)  
{  
    mToggleLed(1);  
    ProcessPcInterface();  
}  
if(bSaveNewNode == TRUE)  
{  
    bSaveNewNode = FALSE;  
    JContext_StoreInfor();  
}  
}
```

### 3.3 系统基站的设计和实现

#### 3.3.1 PPP 协议及 GPRS 系统网络基本原理

##### (1) PPP 协议的帧格式

PPP 的帧格式和 HDLC 的相似, 如图 3.5 所示。PPP 帧的前 3 个字段和最后两个字段和 HDLC 的格式是一样的。标志字段 F 仍为 0x7E, 地址字段 A 只置为 0xFF 表示所有的站都接收这个帧, 因为 PPP 只用于点对点链路, 地址字段实际上并不起作用, 控制字段 C 通常置为 0x03, 这表示 PPP 帧不使用编号。

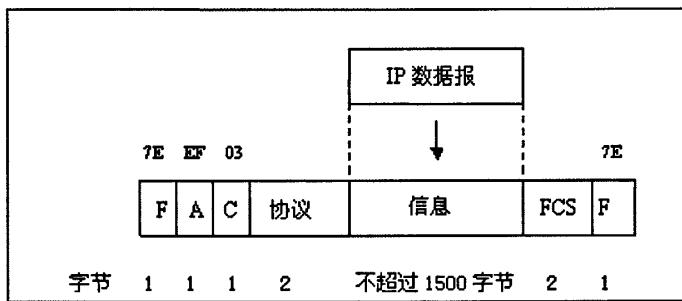


图 3.5 PPP 帧格式

PPP 与 HDLC 不同的是多了一个 2 个字节的协议字段, 当协议字段为 0x0021 时, PPP 帧的信息字段就是 IP 数据报。若为 0xC021, 则信息字段是 PPP 链路控制数据, 而 0x8021 表示这是网络控制数据。在[RFC1700]中定义了 PPP 使用的协议字段的代码。

当信息字段中出现和标志字段一样的比特 (0x7E) 组合时, 就必须采取一些措施使这种如同标志字段一样的比特组合不出现在信息字段中, 当 PPP 用在同步传输链路时, 协议规定采用硬件来完成比特填充 (和 HDLC 的做法一样), 但当 PPP 用在异步传输时, 它就使用一种特殊的字符填充法。具体的做法是将信息字段中出现的每一个 0x7E 字节转变成为 2 字节序列 (0x7D,0x5E) 若信息字段中出现一个 0x7D 的字节, 则将其转变成为 2 字节序列 (0x7D,0x5D)。若信息字段中出现 ASCII 码的控制字符 (即数值小于 0x20 的字符), 则在该字符前面要加入一个 0x7D 字节, 同时将该字符的编码加以改变, 例如 0x03 (在控制字符中是“传输结束” ETX) 就要变为 0x31。这些在 RFC1662 中均有详细的规定。这样做的目的是防止这些表面上的 ASCII 码控制符 (在被传输的数据中当然已不是控制符了) 被错误地解释为控制符。

在 RFC1661 定义的 PPP 不提供使用序号和确认的可靠传输。所谓“可靠传输”是指所传送的帧“无差错”、“不丢失”和“不重复”。要做到这一点，就应当在数据链路层中使用序列和确认机制，例如，像 HDLC 那样。PPP 协议之所以不使用序列号和确认机制是出于以下的考虑：

1) 若使用能够实现可靠的数据链路层协议（如 HDLC），开销就要增大。在数据链路层出现差错的概率不大时，使用比较简单的 PPP 协议较为合理。

2) 在因特网环境下，PPP 的信息字段放入的数据是 IP 数据报，假定我们采用了能实现可靠传输但十分复杂的数据链路层协议，然而当数据帧在路由器中从数据链路层上升到网络层后，仍有可能因网络拥塞而被丢弃（IP 层提供的是“尽最大努力”的交付）。因此，数据链路层的可靠传输并不能够保证网络层的传输也是可靠的。

3) PPP 协议在帧格式中有帧检校序列 FCS 字段。对每一个收到的帧，PPP 都要使用硬件进行 CRC 检校。若发现有差错，则丢弃该帧（一定不能把有差错的帧交付给上一层）。端到端的差错检测最后由高层协议负责。因此，PPP 协议可保证无差错接收。

在噪声较大的环境下，如无线网络，则应使用有编号的工作方式，这样就可以提供可靠传输服务。

## （2）PPP 协议的工作状态

当用户拨号接入 ISP 时，路由器的调制解调器对拨号做出确认，并建立一条物理连接。这时，PC 机向路由器发送一系列的 LCP 分组（封装成多个 PPP 帧）。这些分组及其响应选择了将要使用的一些 PPP 参数。接着就进行网络层配置，NCP 给新接入的 PC 机分配一个临时的 IP 地址，这样，PC 机就成为因特网上的一个主机了。

当用户通信完毕时，NCP 释放网络层连接，收回原来分配出去的 IP 地址，接着，LCP 释放数据链路层连接。最后释放的是物理层的连接。

上述过程可用图 3.6 的状态图来描述。

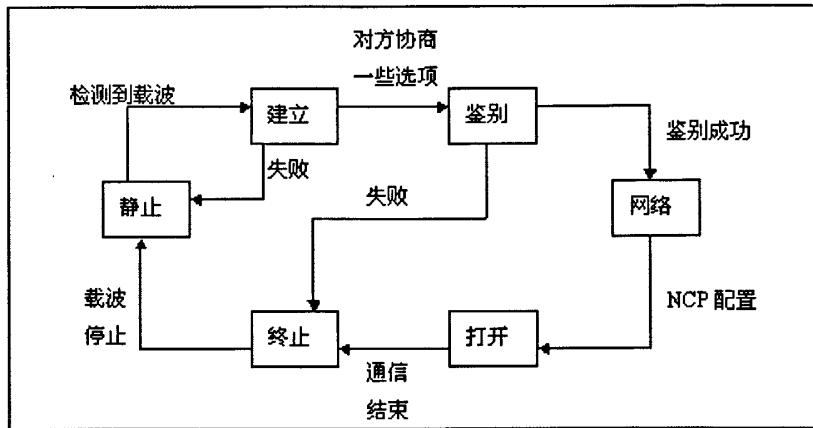


图 3.6 PPP 协议过程状态图

PPP 链路的起始和终止状态永远是下图的“静止状态”，这时并不存在物理层的连接。当检测调制解调器的载波信号，并建立物理层连接后，PPP 就进入链路的“建立状态”，这时 LCP 开始协商一些配置选项，即发送 LCP 配置请求帧 (configure-request)。这是个 PPP 帧，其协议字段置为 LCP，而信息字段包含特定的配置请求。链路的另一端可以发送以下几种响应：

- 1) 配置确认帧 (configure-ack): 所有选项都接受。
- 2) 配置否认帧 (configure-nac): 所有选项都理解但不能接受。
- 3) 配置拒绝帧 (configure-reject): 选项有的无法识别或不能接受，需要协商。

LCP 配置选项包括链路上的最大帧长、所使用的鉴别协议的规约（如果有的话），以及不使用 PPP 帧中的地址和控制字段（因为这两个字段的值是固定的，没有任何信息量，可以跳过去不用）。

协商结束后就进入“鉴别状态”。若通信的双方鉴别身份成功，则进入“网络状态”。这就是 PPP 链路的两端相互交换网络层特定的网络控制分组。如果在 PPP 链路上运行的是 IP 协议，则使用 IP 控制协议 IPCP 来对 PPP 链路的每一端配置 IP 协议模块（如分配 IP 地址）。和 LCP 分组封装成 PPP 帧一样，IPCP 分组也封装成 PPP 帧（其中的协议字段为 0x8201）在 PPP 链路上传送。当网络配置完毕后链路就进入可进行数据通信的“打开状态”。两个 PPP 端点还可以发送回送请求 LCP 分组和回送回答 LCP 分组以检查链路的状态。数据传输结束后，链路的一端发出终止请求 LCP 分组请求终止链路连接，而当收到对方发来的终止确认 LCP 分组后，就转到“终止状态”，当载波停止后回到“静止状态”。

### (3) GPRS 系统网络结构和基本原理

GPRS 网络是在现有 GSM 网络上增加 GGSN(Gate GPRS Supporting Node, GPRS 网关支持节点)和 SGSN(Serving GPRS Support Node GPRS 服务支持节点)来实现，使得用户能够在端到端分组方式下发送和接收数据，同时兼容电路型数据和分组交换数据，属于 2.5G 移动通讯系统。GPRS 因为引入了 SGSN 和 GGSN，其数据支持能力较之 GSM 网络增强很多，在理想情况下，最高数据速率可达 172Kbit/s，因此 GPRS 技术正不断受到青睐，通过 GPRS 网络系统，设备可采用 Internet 的技术标准与服务器交换数据，实现了与国际互联网的连接。GPRS 系统采用无线分组交换技术，提供端到端、广域的无线 IP 连接。通俗地讲，GPRS 是一项高速的数据处理技术，方法是以“分组”的形式将信息分发到客户手上。

网络终端利用 GPRS 通讯模块通过 GPRS 网络实现与 Internet 的连接；GPRS 通讯模块与 GSM 基站通信，但与电路交换式数据呼叫不同的是：GPRS 分组是从基站发送到 SGSN，而不是通过 MSC 连接到语音网络上。SGSN 与 GGSN 进行通信，GGSN 对分组数据进行相应的处理，再发送到目的网络，如因特网或 X.25 网络。来自因特网标识有移动台地址的 IP 包，由 GGSN 接收，再转发到 SGSN，继而传送到移动台上。SGSN 是 GSM 网络结构中的一个节点，它与 MSC 出于网络体系的同一层。SGSN 通过帧中继与 BTS 相连，是 GSM 网络结构与移动台之间的接口。SGSN 的主要作用是记录移动台的当前位置信息，并且在移动台和 GGSN 之间完成移动分组数据的发送和接收。GGSN 通过基于 IP 协议的 GPRS 骨干网连接到 SGSN，是连接 GSM 网络和外部分组交换网（如因特网和局域网）的网关。GGSN 主要是起网关作用，也将 GGSN 称为 GPRS 路由器。GGSN 可以把 GSM 网中的 GPRS 分组数据包进行协议转换，从而可以把这些分组数据包传送到远端的 TCP/IP 或 X2.5 网络。SGSN 和 GGSN 利用 GTP (GPRS 隧道协议) 对 IP 或 X2.5 分组进行封装，实现二者之间的数据传输。

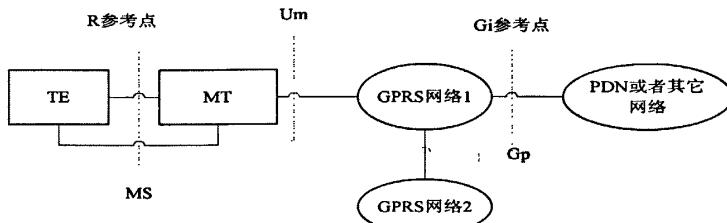


图 3.7 GPRS 总体结构及接入接口和参考点

如图 3.7 所示是 GPRS 总体结构及接入接口和参考点，GGSN 到外部分组网络是通过 Gi 参考点连通的，而其它 GPRS 网络是通过 Gp 接口连通的，另外，从 MS 端到 GPRS 网络有两个接入点，Um 接口用于无线通信接入而 R 参考点用于信息的产生或接收。移动终端 MT（例如手机）通过 Um 接口接入 GPRS PLMN（公共陆地移动网），R 则是 MT 和 TE（如电脑）之间的参考点。这里的 MS 由 TE 和 MT 两部分组成，它们通过 R 参考点组成一个整体，另外，MS 也可单独由一个移动终端（MT）组成<sup>[19-21]</sup>。

对于一个支持 GPRS 的公共陆地移动网络（PLMN），当它运行 GPRS 业务时可能涉及到任何其它网络，这时就产生了网络互通的需求。GPRS 网络通过 Gi 参考点和 Gp 接口实现同其它网络的互通。对于具有 GPRS 业务功能的移动终端，它本身具有 GSM 和 GPRS 业务运营商提供的地址，这样，分组公共数据网的终端利用数据网识别码即可向 GPRS 终端直接发送数据。另外 GPRS 支持与基于 IP 的网络互通，当在 TCP 连接中使用数据报时，GPRS 提供 TCP/IP 报头的压缩功能。由于 GPRS 是 GSM 系统中提供分组业务的一种方式，所以它能广泛应用于 IP 域。其移动终端通过 GSM 网络提供的寻址方案和运营商的具体网间互通协议实现全球网间通信。

#### （4）GPRS 应用中系统组成原理及与有线的区别

使用 RS485 为数据总线组成点对多点的通信系统的示意图，如图 3.8 所示。

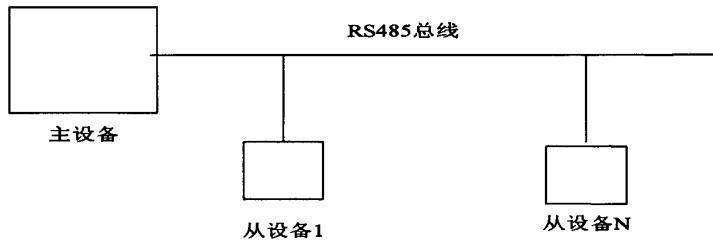


图 3.8 数据总线组成点对多点的通信系统示意图

在上图中的主设备发送数据给从设备时主设备将数据发送到总线上，其它的从设备收到这个数据，从设备判断数据中的地址信息与自己的地址是否相符，如地址相符则处理收到的数据，如不符将收到的数据丢掉。

使用 GPRS 模块组成点对多点的通信系统的示意图，如图 3.9 所示。

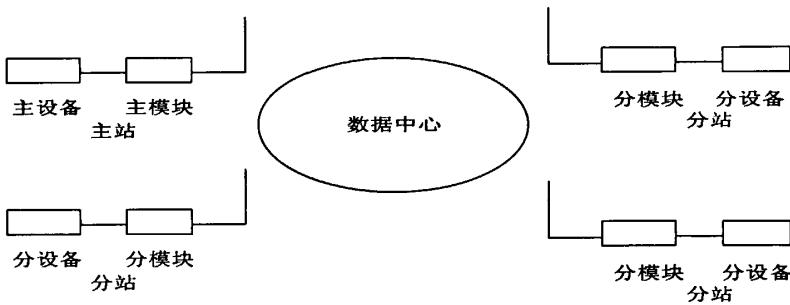


图 3.9 GPRS 模块组成点对多点的通信系统示意图

当主设备发送数据给 GPRS 主模块时 GPRS 模块将信号发送到 GPRS 网络中，主设备必须指明数据的目的地址，只有这样，上图中的网络才能选择数据发送的路由，处理及传送这一组数据。网络将这一组数据传送到目的 GPRS 从模块后，目的 GPRS 模块将这一数据传送给连接的从设备。

两种传送方法的不同在于 RS485 总线在传输的过程中不使用目的地址，是一种广播式的传送方式。GPRS 网络在一开始传输时就要根据数据的目的地址选择传输的路由，对每一次传输来说是一种点对点的传送方式，使用 GPRS 模块组网时必须按照 GPRS 模块的数据格式给出数据传输的目的地址。因此，GPRS 模块的传输格式不可能是透明的。

在 RS485 总线的通信中，为了避免总线上的数据冲突，必需采用问答式的通信方式，而 GPRS 网络可以许多站点同时向一个站点发送数据，在到达目的站点的数据排序是靠网络来完成的。

G200 型 GPRS 模块与上位机间的串口的数据传输格式有两种，一种是格式传输，一种是透明传输。两种方式在不同的应用中互有长短，适应于不同的应用，在点对多点的应用中一般中心模块使用格式传输，而分站模块使用透明传输。如果用户数据流中含有地址信息，中心模块和分站模块均可使用透明传输。

#### (5) GPRS 的技术优势

GPRS 目前是作为现有 GSM 网络系统（2G）向第三代移动通信（3G）演变的过渡技术，属于 2.5G 移动通信技术，但是它在许多方面仍具有显著的优势：

1) 目前 GSM 网络经过多年的建设，网络信号可说是无孔不入，基本不存在盲区，理论上只要有信号的地方，就可以实现 SCAD 监控，可充分利用全国范围的电信网络，具有覆盖面广、接入范围大，系统构建便捷、运行成本较低等特点；

2) 传输速率高, 理论数据传输速率可高达 171Kbps, 应用下一代的改进型 GPRS 技术 (EDGE), 可以提供 384Kbps 带宽的广域数据通信服务和大约 2Mbps 的局域数据通信服务。EDGE (Enhanced Data rate for GSM Evolution) 中文含义是改进数据率 GSM 服务, 是一种采用了 GPRS 信道编码效率的高速移动数据标准, 它提供了一个从 GPRS 到第三代移动通信的过渡性方案, 可以充分满足未来无线多媒体应用的带宽需求;

3) 登陆时间迅速, GPRS 接入等待时间短, 可快捷建立连接, 平均耗时为两秒;

4) 提供实时在线功能, 现在用 GPRS 上网, 用户将处于“永远在线状态”, 这将使访问服务变得非常简单、快速;

5) 按流量计费, 用户只有在发送或接收数据期间才占用资源, 用户可以一直在线, 按照用户接收和发送数据包的数量来收取费用, 没有数据流量的传递时, 用户即使挂在网上也是不收取费用的。GPRS 上述优势特点非常适用于间歇的、突发的、频繁的、小流量的数据传输, 同时对偶有大流量数据传输也能承受。

此外利用 GPRS 实现远程监控的数据通讯通路还具有通信质量可靠、误码率低、建设周期短、安装调试简单方便等特点, 由于 GPRS 所有这些优点, 我们在远程监控系统中选择了 GPRS 远程通信方式。

### 3.3.2 系统基站需求

系统的基站是整个系统的核心, 用来对 ZigBee 通信模块进行相应的配置并接收传感器节点的数据, 通过 AT 指令初始化 GPRS 通信模块, 利用 PPP 协议将基站连接到 GPRS 网络, 获得网络运营商动态分配的 IP 地址, 并与监控中心终端或服务器建立有效连接。为了达到高性能、低功耗的目的, 设计的基站采用 ARM7 为核心的 32 位 RISC 微处理器 LPC2138 作为主控制器, 该处理器集成了 LCD 控制器、NAND 控制器、中断控制、存储控制、UART、SPI、I2C、I2S、GPIO、RTC、TIMER/PWN、ADC 等丰富的外围资源, 通过扩展存储器、串口、JTAG 调试接口等构建硬件平台。其具体实现功能有:

- (1) 连接数据采集节点, 保持与数据采集节点进行通讯。
- (2) 发送控制命令给数据采集节点, 并接收数据节点发送过来的数据。
- (3) 用 LCD 汉字化显示连接的节点个数, 通讯状态以及各个节点的相关

数据。

(4) 连接远程主机，发送数据给远程主机，并可以接收远程主机发送过来的控制命令。

(5) 可以接收客户的手机发送过来的控制命令，并发送数据给客户手机。

(6) 可以在基站上用键盘进行相关设置。

由此可得系统基站的功能需求图，如图 3.10 所示。

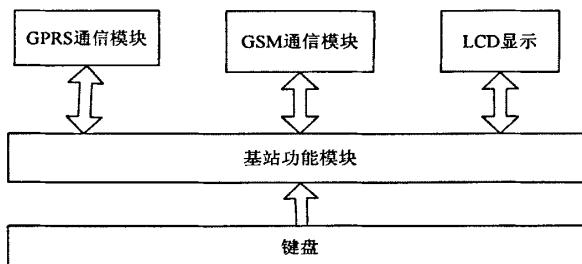


图 3.10 系统基站功能需求图

系统基站端主要是两个通信编程，一个 LCD 显示编程和一个键盘输入编程，其中通信编程，LCD 显示编程和键盘输入编程都是通过单片机的中断来实现的，基站服务系统启动后，将根据指令代码来自动运行。

### 3.3.3 系统基站部分功能及设计流程

系统设计流程图如图 3.11 所示。

程序开始首先打开用来和 GPRS 无线模块通信的串口，然后分六步向串口发送 AT 指令并等待 GPRS 无线模块的相应，每步向串口发送 AT 指令之后通过延时等待 GPRS 无线模块的相应，然后根据响应再决定程序流向<sup>[29-31]</sup>。

第一步发送的 AT 指令查询 GPRS 无线模块是否工作正常，如果工作正常，返回“OK”；

第二步发送的 AT 指令对移动网络通信参数进行设置，使之能与无线模块进行 GPRS 通信；

第三步发送的 AT 指令设置通信方式为 CMNET，通信协议为 IP 协议；

第四步发送的 AT 指令是与移动 GPRS 无线网络建立连接；

第五步发送的 AT 指令是设置与 GPRS 无线网络的连接模式；

第六步发送的 AT 指令是向 Internet 上指定 IP 地址的计算机的指定端口发出 TCP 连接请求。

从第一到第六步，当操作成功时，均返回“OK”。其中从第六步真正进入开始连接数据库服务器，这一步需要等待的时间相对比较长，所以延时等待时间也比较长。如果连接都成功，程序通知主程序 GPRS 连接建立成功，主程序方可利用新建立的连接与 Internet 上的计算机（数据库服务器）进行通信。

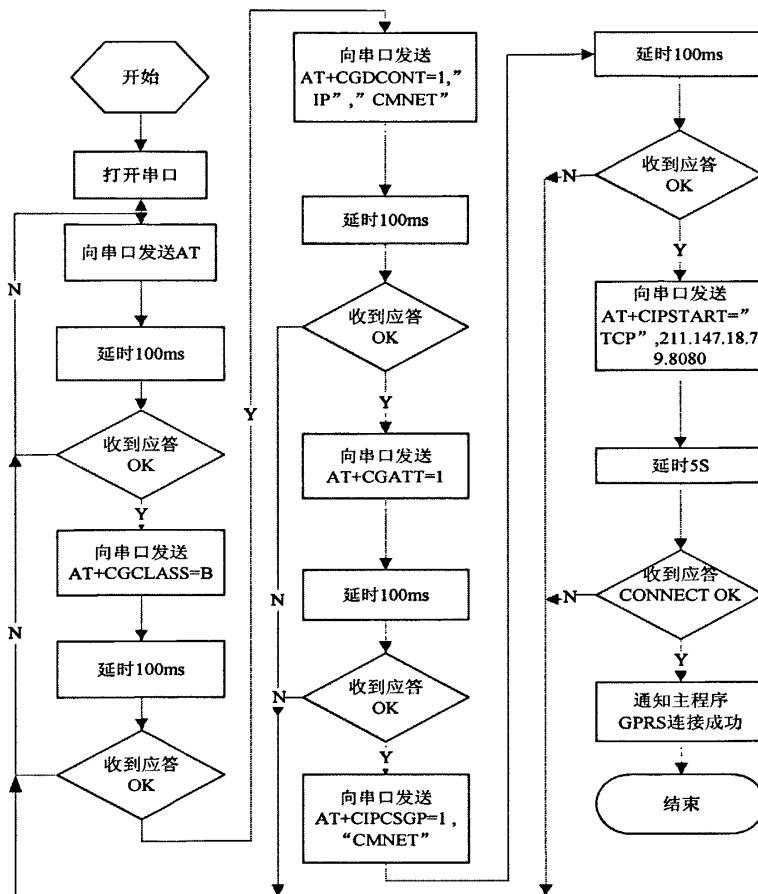


图 3.11 GPRS 无线模块与数据接收软件建立 TCP 连接程序流程图

监控计算机与数据库服务器建立 TCP 连接后发送数据并关闭连接的过程如图 3.12 所示。其中要发送的数据放在 DataString 字符串中。监控计算机利用 GPRS 无线模块发送数据分两步实现，第一步向串口发送要发送数据字符串的长度，并发送回车符号，如果发送成功，收到应答符号“>”；第二步向串口发送数据字符串的内容。如果发送成功，则收到应答“SEND OK”；在数据发送成功之后向

串口发送“AT+CIPSHUT”和回车关闭 GPRS 连接如果关闭成功，返回“SHUT OK”。

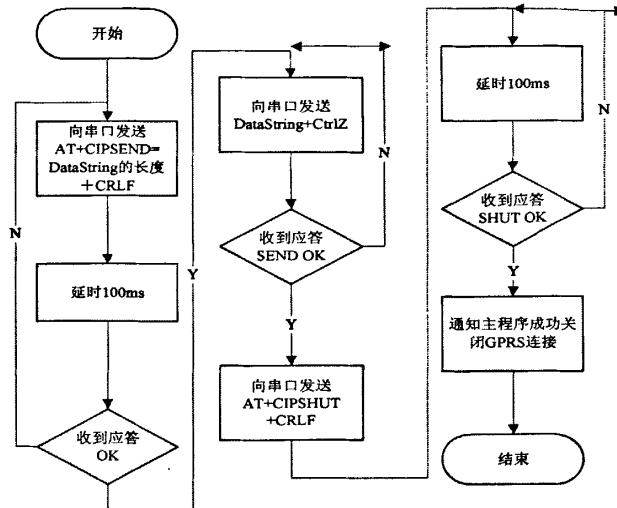


图 3.12 与 GPRS 网络建立连接后发送数据和关闭连接过程的流程图

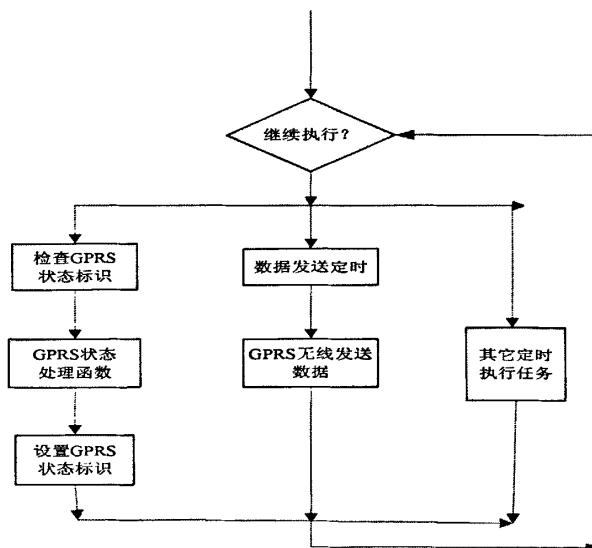


图 3.13 GPRS 状态维护子程序执行流程图

在程序中通过设立该独立的无线循环任务，实时检测到 GPRS 终端的通信状态，并做出相应处理，以实现实时维持 GPRS 在线状态并保持准备发送或等

待接收状态，而非是数据发送失败后才重新连接或成功发送前检测网络连接状态，如图 3.13 所示。实践证明，根据多个监控终端定时传回数据的统计，数据定时传送成功率维持在 95% 以上。

### 3.3.4 系统基站部分功能实现

(1) 在实现基站和上位机(远程主机)通信前，首先介绍一下基站和上位机通信中可能用到的术语。

**上位机：**无线模块的作用是传输数据，使数据正确的在各种应用设备间传递，与模块通过串口相连的各种应用设备叫上位机。

**信息：**信息是指 GPRS 模块与上位机通信的内容，信息是数据和响应的总称。

**数据：**上位机通过串口，发送给 GPRS 模块，通过 GPRS 模块的无线发送及 GPRS 网络传输传给另一个 GPRS 模块的信息叫数据，有上位机通过串口发送给 GPRS 模块的数据叫发送数据，由 GPRS 模块收到数据后传送给上位机的数据叫接收数据。数据的起始点是上位机，目的点是另一上位机。

**响应：**GPRS 模块传送给上位机报送模块内的一些状态的信息叫响应。响应的起始点是 GPRS 模块，则目的点则是与之相连的上位机。

(2) 基站和上位机是有格式传输的，其传输的格式如下：

a. 在格式传输下，无论是数据还是响应都用下面的格式来表示：

D7H	控制字节	参数
-----	------	----

无论是响应还是数据，都有一个包头 D7H，接着就是一个控制字节，本模式规定：传输数据时控制字节为 01H，其余为响应传输。上位机就是靠数据包的第二个字节来识别你发送给它的信息是响应还是接收的数据。

b. 传输数据的格式

传输数据时控制字节为 01H，格式如下式表示：

D7H	01H	站点编号(2字节)	数据长度(1字节)	数据
-----	-----	-----------	-----------	----

**目的站点编号：**2 字节长度，当数据为发送数据时为数据的目的地址，当数据为接收数据时为数据的源地址。这里指的地址编号不是分台的 GPRS 的 SIM 卡号，而是各个站点的顺序编号。如共有 10 个分站一个总站的系统可将总站的地址编成 00H00H，1 号站编成 00H01H,2 号站编成 00H02H...10 号站编成 00H0AH。

**数据长度：**所要传输的数据长度，1 字节长度，本模块规定每次传输的数据

长度在 1—240 个之间，若长度不在这个区间内本次传输失败，模块不发送数据，例如：要传输 196 个字节的数据数据长度应为 C4H。

例如：主站（站点号 00H00H）要发送 01H02H03H04H05H06H 六个字节数据给 3 号站，其发送的数据格式如下：

D7H	01H	00H03H	06H	01H02H03H04H05H06H	1
-----	-----	--------	-----	--------------------	---

3 号站收到的数据为

D7H	01H	00H00H	06H	01H02H03H04H05H06H	1
-----	-----	--------	-----	--------------------	---

### c. 响应类型及格式

传输响应时的格式如下：

D7H	控制字节	参数
-----	------	----

传输响应的控制字节占一个字节，根据响应的内容不同而不同，有的响应有参数有的响应无参数，下面就有些响应的作用如表 3-3：

表 3-3 控制字功能说明

控制字节	参数	方向	功能
FDH	1 字节	模块→上位机	模块已工作，参数表示模块的工作状态，参数为 03H 时表示串口与上位机通信正常，参数为 02H 时表示模块内的自检完成，参数为 01H 时表示模块已经连接到 GPRS 网络上，上电初始化完成后也返回此响应码
FAH	无	模块→上位机	数据已经成功发送，由于网络原因，发送相同的数据量所需要的时间也是不一样的，即延迟时间不是不相同的，所以发送数据时，要等到数据发送的回应码（D7HFAH 或 D7HFCH）后再发送下一次数据
FCH	无	模块→上位机	数据发送失败，需要重新发送
FFH	1 字节	模块→上位机	如果模块不在 GPRS 网络中用户传送数据会返回此信息

基站用 LCD 显示数据采集节点发送过来的数据，其窗口定义如下：

```
typedef struct _ArmWin{
    struct _ArmWin *pfather;           //父窗口指针;
    const ArmWinBase *pbasedata;      //窗口基本数据指针
    void    * pdata1;                 //窗口专用动态资源指针
    uint8   wintype;                  //窗口的风格,取值参考窗口风格常
量定义
```

```

// DeleteFunction Delete;           //窗口的释放函数指针
// HandleEventFunction phandleevent; //窗口的事件处理函数指针
}ARMWIN

//对话框窗口结构体定义开始
typedef ARMWIN CDialogWin;          //对话框窗口结构体定义

int main (void)
{
    // add user source code
    CDialogWin * pMainDlg; //定义对话框窗口
    SysInit(); //系统初始化
    // SetKeyBoardLed(LED1,true);
    // TestColor();
    pMainDlg = NewCDialogWin(&mainDlgB,NULL);
    ArmWinDoModle(pMainDlg);
    ARMSendEvent(pMainDlg,EVENT_CLOSEWIN,0);
    // pMainDlg->Delete(pMainDlg);
    // SetKeyBoardLed(LED1,false);
    return 0;
}

```

利用 GPRS 进行数据传输，远程 GPRS 终端需要与数据接收存储服务器端，也即上位机建立网络连接。由于 GPRS 终端获取的是一个动态的移动内部子网 IP，而移动的网关又没有提供相应的映射服务，因此不管采用哪种网络拓扑，想满足随时随地的数据互传必须始终保持网络连接，也即数据接收存储服务存在。为了确保数据的实时传输，GPRS 终端必须能够自动监测网络连接的状况，如果网络连接断开，则能够自动发起连接。如果长时间不进行数据传输，移动的 GGSN 服务器会认定此 TCP 链路占用信道，会自动将其断开，表面上看起来连接还存在，但已经断掉，是比较常见的所谓“假拨号”现象。所以对 GPRS 终端，也即本系统的远程监控终端数据采集发送程序的设计必须实现维持在线功能和掉线自动重拨功能<sup>[35-37]</sup>。

如何实现维持在线功能和断线自动重拨功能，也就是如何实现尽量实时的检测到 GPRS 终端从网络上掉线的问题。

由于 GPRS 网络本身的原因，GPRS 终端不可避免的会发生意外从 GPRS 网络上掉线的情况，为了保证 GPRS 终端与上位机的正常通信，GPRS 终端必须知道何时从 GPRS 网络上掉线。本文在实现 GPRS 通信的程序设计中，根据 GPRS 通信从 GPRS Modem 初始化到 PPP 连接关闭过程中所有可能出现不同的状态或操作过程中分别设立相应标识；程序中单独设立一个无限循环执行的任务，该任务每次执行时将执行以下三步：判断当前 GPRS 状态标识；调用 GPRS 处理函数，它会根据相应的状态做出相应的处理；然后重新设置状态标识。

## 3.4 系统远程主机数据库服务系统的设计和实现

### 3.4.1 网络数据库介绍

WWW (World Wide Web) 建立以来，Web 就与数据库有着及其紧密的关系。可以说，整个 Internet 就是一个大的数据库。随着计算机网络技术的发展，WWW 已成为 Internet 上最受欢迎、最为流行的、采用超文本、超媒体范式进行信息存储与传递的工具。但由于在 Web 服务器中，信息以文本或图像文件的形式进行存储，所以，单纯的 WWW 查询速度很慢、检索机制很弱，尤其是基于内容和基于结构的检索。将 Web 技术与数据库技术有机结合，利用 Internet 中的 WWW 超文本、超链接功能查询数据库，使 Internet 同时具有超文本功能和数据库功能，跟上信息系统发展的趋势<sup>[22]</sup>。

WEB 应用程序包含若干个 WEB 页面，是同远程用户交互的人机界面。它由运行在 WEB 服务器下的若干个程序组成。用户通过 WEB 浏览器访问相应站点时，WEB 应用程序在服务器端运行，并对用户的操作做出响应。

这部分包括如下功能：

- (1) 用户管理：用户注册、身份验证、权限管理等；
- (2) 大棚控制配置：包括可控大棚的注册、用户对大棚监控权限等；
- (3) 数据操作：按照各种条件进行大棚环境信息的查询；

TCP/IP 协议（Transmission Control Protocol/Internet Protocol）叫做传输控制/网际协议，又叫网络通讯协议，这个协议是 Internet 国际互联网络的基础。

TCP/IP 是网络中使用的基本的通讯协议。虽然从名字上看 TCP/IP 包括两个

协议，传输控制协议（TCP）和网际协议(IP)，但 TCP/IP 实际上是一组协议，它包括上百个各种功能的协议，如远程登陆、文件传输和电子邮件等，而 TCP 协议和 IP 协议是保证数据完整传输的两个基本的重要协议。TCP/IP 是用于计算机通信的一组协议，我们通常称它为 TCP/IP 协议族。它是 70 年代中期美国国防部为其 ARPANET 广域网开发的网络体系结构和协议标准，以它为基础组建的 Internet 是目前国际上规模最大的计算机网络，正因为 Internet 的广泛使用，使得 TCP/IP 成了事实上的标志。

之所以说 TCP/IP 是一个协议族，是因为 TCP/IP 协议包括 TCP(Transmission Control Protocol) 传输控制协议、IP (Internet Protocol) 网际协议、UDP (User Datagram Protocol) 用户数据报协议、ICMP(Internet Control Message Protocol) 互联网控制信息协议、SMTP (Simple Mail Transfer Protocol) 简单邮件传输协议、SNMP (Simple Network Manage Protocol) 简单网络管理协议、FTP(File Transfer Protocol) 文件传输协议等，这些协议一起称为 TCP/IP 协议<sup>[23,24]</sup>。

从协议分层模型方面来讲，TCP/IP 由四个层次组成：链路层、网络层、传输层、应用层。其分层模型结构如图 3.14 所示。

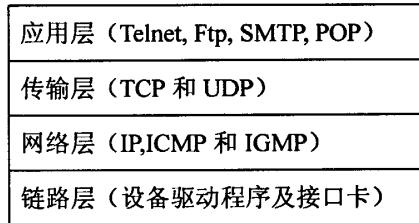


图 3.14 TCP/IP 协议簇分层模型结构

链路层，即网络接口层，是 TCP/IP 软件的最低层，负责接收 IP 数据报并通过网络发送之，或者从网络上接收物理帧，抽出 IP 数据报，交给 IP 层。

网络层，负责相邻计算机之间的通信。其功能包括三方面：(1) 处理来自传输层的分组发送请求，收到请求后，将分组装入 IP 数据报，填充报头，选择去往宿机的路径，然后将数据报发往适当的网络接口。(2) 处理输入数据报：首先检查其合法性，然后进行寻径。假如该数据报已到达信宿机，则去掉报头，将剩下部分交给适当的传输协议；假如该数据报尚未到达信宿，则转发该数据报。(3) 处理路径、流控、拥塞等问题。

传输层，提供应用程序间的通信。其功能包括格式化信息流和提供可靠传输，为实现后者，传输层协议规定接收端必须发送确认，并且假如分组丢失，

必须重新发送。

应用层，向用户提供一组常用的应用程序，比如电子邮件、文件传输访问、远程登陆等。远程登陆使用 TELNET 协议提供在网络其它主机上注册的接口。TELNET 回话提供了基于字符的虚拟终端。文件传输访问 FTP 是 FTP 协议来提供网络内机器间的文件拷贝功能。

### 3.4.2 系统数据库需求

系统数据库是整个网络化数控服务系统的支撑部分，对于大型的服务系统而言，信息数据的保存是很重要的，它将记录系统运行时的所有信息。其中数据库系统可以根据实际需求来建立各种表，目前本系统建立的表包括日志系统表，用户系统表。需求图如图 3.15 所示。

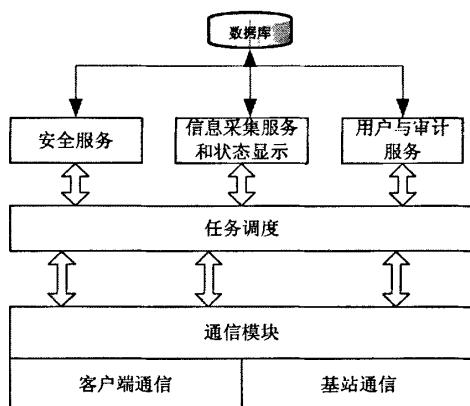


图 3.15 远程主机需求图

系统的远程主机数据库服务系统是数据处理的核心部分，其功能主要分为两部分：前台功能和后台功能。

前台主要功能：

- (1) 登陆：用户等级分为三等，权限最高的为管理员，可以对一切数据进行操作。其次是会员，登陆以后可以对数据进行下载，最后的是游客，可以进入系统查看数据，但是不能下载。（默认登陆为游客）
- (2) 数据显示：采用数据表格(DataTable1)分页显示数据库中的数据，并以倒叙的方式显示出来。
- (3) 实时数据显示：页面每 1 分钟（这个时间管理员可以通过 Web.config 文

件更改)刷新一次，并在另一个数据表中(DataTable2)中显示数据库中的最新数据。

(4) 查询:有个接连下拉，站点下拉和节点下拉。当站点下拉的选择改变时，节点下拉中的数据会因为站点下拉中选择的值改变而重新访问数据得到对应站点中包含的节点，再显示在节点下拉中，用户可以通过需要选择站点和对应的节点，再根据开始时间和结束时间查询用户想要查看的数据。(即：用户可以通过选择站点和节点查找数据库中某一时间段的所有数据)<sup>[38-40]</sup>。

后台主要功能是管理员用于站点和节点还有用户信息的增、删、查、改操作。此后台程序也是在 Web 中实现的，用户输入管理员账号并选择登陆管理员系统后系统将登陆此后台管理系统。管理员对系统的操作将不受地理限制。

### 3.4.3 系统远程主机部分功能及设计流程

服务器端数据接收存储软件实现对远程终端传回的数据串的接收、处理，并存入相应的数据库表中。该软件设计包括数据库的设计和数据接收存储程序的开发。

#### 数据接收存储程序设计与实现

服务器端数据接收存储程序，是运行在实验室监控中心 SQL Server2003 数据库服务器上的服务器程序，该程序负责侦听指定端口，并识别、接收终端采集发送模块的 TCP Socket 连接请求，对 Socket 连接进行以下处理：

- (1) 过滤掉非法连接；
- (2) 解析远程终端传回的数据串；
- (3) 进行数据串校验，丢弃非法格式数据包；
- (4) 对新的终端连接，则先在服务器中注册终端名，然后创建新的数据库和数据表，并存入解析数据；
- (5) 对以注册终端的连接，则直接将已解析数据存入相应数据库表。

该数据接收存储程序采用 Visual Studio.NET2003 工具和 C# 语言，使用 winsock 网络编程而设计开发的服务器程序。本服务器端程序的数据接收存储处理的执行流程如图 3.16 所示。

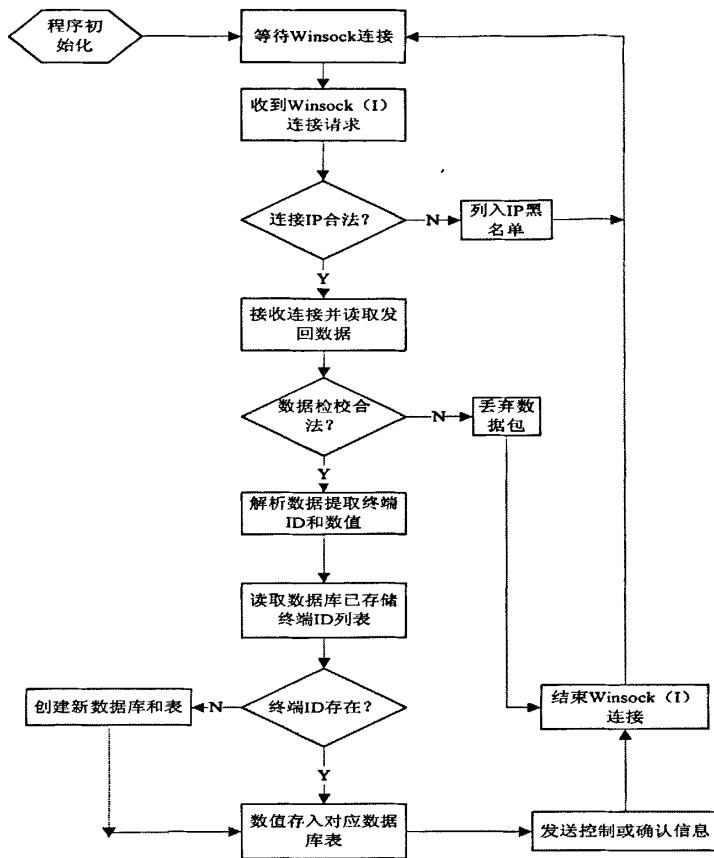


图 3.16 服务器端数据处理程序执行流程图

### 3.4.4 系统远程主机部分功能实现

系统远程主机端通信模块的实现：Socket 接口是网络编程的 API。最早的 Socket 接口是 Berkeley 接口，在 Unix 操作系统中实现。Winsock 也是一个基于 Socket 模型的 API，在 Microsoft Windows 操作系统类中使用。它在 Berkeley 接口函数的基础上，还增加了基于消息驱动机制的 Windows 扩展函数。Socket 是网络通信过程中端点的抽象表示。Socket 在实现中以句柄的形式被创建，包含了进行网络通信必须的五种信息：连接使用的协议。本机主机的 IP 地址，本地进程的协议端口，远程主机的 IP 地址，远地进程的协议端口。

要使用 socket，首先必须创建一个 socket；然后，按要求配置 socket，通过 socket 接收和发送数据，最后，程序关闭此 socket。一个完整的客户端/服务器端模式

的基于 socket 的网络服务器程序执行流程如图 3.17 所示。

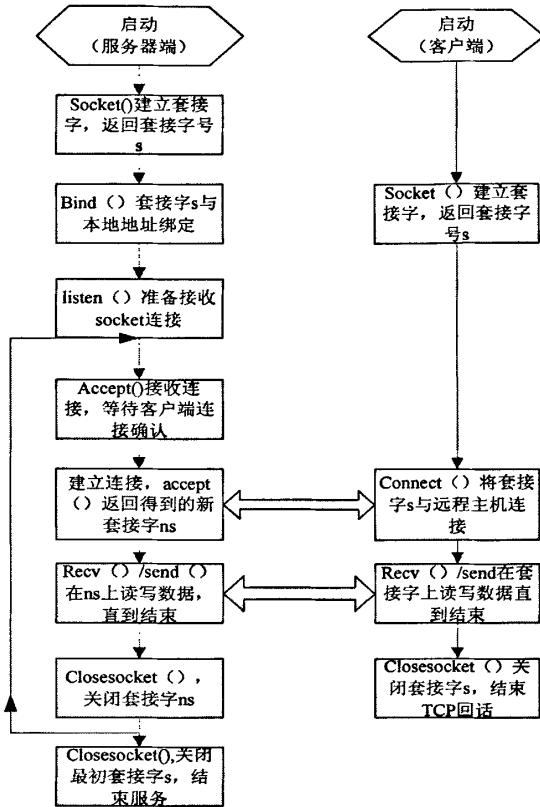


图 3.17 socket 客户机/服务器程序执行流程图

使用 socket 网络编程的程序设计具体实现步骤如下：

(1) 为了创建 socket，使用 socket 函数得到一个 socket 句柄。当一个 socket 被创建时，Winsock 将为一个内部结构分配内存，在此结构中保存此 socket 的信息，到此，socket 连接使用的协议已经确定。

```
socket_handle = socket(protocol_family, socket_type, protocol);
```

其中：protocol\_family 指定 socket 使用的协议，取值 PF\_INET，表示 Internet(TCP/IP) 协议族；Socket\_type 指 socket 面向连接或者使用数据报；第三个参数表示使用 TCP 或者 UDP 协议。

(2) 创建了 socket 之后，配置 socket。

对于面向连接的客户，Winsock 自动保存本地 IP 地址和选择协议端口，但是必须使用 connect 函数配置远地 IP 地址和远地协议端口：

```
Result = connect(socket_handle, remote_socket_address, address_length);
```

Remote\_socket\_address 是一个指向特定 socket 结构的指针，该地址结构为 socket 保存了地址簇、协议端口、网络主机地址。

(3) 面向连接的服务器则使用 bind 指定本地信息，使用 listen 和 accept 获取远地信息。

使用数据报的客户或者服务器使用 bind 给 socket 指定本地信息，在发送或者接收数据时指定远地信息。bind 给 socket 指定一个本地 IP 地址和协议端口，如下：

```
result=bind(socket_handle,local_socket_address,address_length);
```

参数类型同 connect，函数 listen 监听 bind 指定的端口，如果有远地客户请求连接，使用 accept 接收请求，创建一个新的 socket，并保存信息。

```
Socket_new=accept(socket_listen,socket_address,address_length);
```

(4) 在 socket 配置好之后，使用 socket 发送或者接收数据。

面向连接（TCP）的 socket 使用 send 发送数据，recv 接收数据，使用数据报（UDP）的 socket 使用 sendto 发送数据，recvfrom 接收数据。

在 Windows 中，socket 通信有两种工作方式：查询方式和事件驱动方式，查询方式占用大量的 CPU 时间，效率较低，故本系统采用事件驱动方式。当应用程序采用事件驱动方式时应创建独立的线程以监视有关的 socket 通信设备，当设备上发生指定事件时，就发送消息，通知响应函数进行处理。本软件采用多线程技术，建立一个辅助监视线程来侦听 SOCKET 中是否有数据，并创建动态链接库 DLL 来实现数据的接收和发送的通信功能<sup>[41]</sup>。

在本系统中，远程监控终端通过 GPRS 无线移动通信网络与监控中心数据接收存储服务器端建立连接后，当远程监控终端的数据到达监控中心数据库服务器时，将触发 Winsock 控件的 DataArrival 事件，在该事件中 Winsock 将通过 GetData 方法接收所有到达的数据。解析数据报并保存到一个字符串数组中，然后判断两个包是否完整，如不完整则通知发送端重发；提取本数据报的源地址、数据长度、数据区的数据和 CRC 值，计算数据区数据的 CRC 值并比较是否与接收到的 CRC 相等，如果不相等则丢弃本次数据包，通知发送端重发。当所有数据包都处理完毕后退出 DataArrival 事件中断处理程序，存储至指定数据库；定时等待下一次事件的到来。监控中心服务器端程序以此完成对远程监控端数据的接收、处理和存储。

## 第4章 系统的测试和现场安装

### 4.1 测试环境

(1) 硬件环境:

- 1) 远程客户端: 多 PC 机, 手机
- 2) 网络化控制服务器端: 基站 (LPC2138)
- 3) 数据获取端: 传感器节点

(2) 软件环境:

- 1) 操作系统: Microsoft Windows XP Professional  
Microsoft Windows Server 2003
- 2) 调试环境: Microsoft Visual Studio 2003、SQL Server 2000
- 3) 数据库: MS SQL Server

### 4.2 通信和远程控制测试

基站与多个传感器节点通过点对点的形式进行通信, 基站是 LPC2138 微处理器, 基站与主传感器节点通过 RS232 进行连接, 因此可以先测试主节点和从节点之间的通信。将主节点通过串口线与 PC 机进行连接, 然后通过串口调试助手显示主节点发送或接收的数据。这样就可以测试主节点和从节点直接的通信是否正常。调试完主节点和从节点之间的通信后, 把主节点和 LPC2138 通过 RS232 串口连接, 同时将 LPC2138 串口连接 PC 机进行仿真测试。这样 LPC2138 就可以作为上位机进行测试。

测试手机和基站之间的通信, 可以用手机发送短信给基站下面内容分别代表不同的意义。

- 发短信中科 G 至\*\*\*\*\* (手机号) 可获得实时数据
  - 发短信中科 ST 至\*\*\*\*\* (手机号) 绑定接收数据手机
  - 发短信中科 SS 至\*\*\*\*\* (手机号) 设置发送数据时间间隔
  - 发短信中科至\*\*\*\*\* (手机号) 取消当前绑定手机
- 通过基站返回给手机的信息可以验证功能是否正常。

### 4.3 系统的现场测试和安装

基于无线传感器网络的大棚监测系统是科技部支撑的项目，在陕西省延安市安塞县侯沟门村试点安装。一共去了两次进行现场实地测试安装。第一次去现场安装测试的时候，虽然在实验室经过长时间测试，系统工作也比较稳定，但由于准备工作不足，没有考虑到安塞的实际情况，比如那里黄土对电磁波的吸附导致信号在传输过程中衰减比较多，还没有考虑大棚的实际高度以及结构，导致在安装节点的时候天线没有足够长，这也导致信号在传输过程中受到阻碍。

在第二次去现场安装的时候，吸取上次教训，首先对系统进行改进，将基站的发射模块换成高功率模块，同时在园区内进行远距离测试，还对天线进行改装，增加天线延长线。在安装的时候，第一个节点选了最远的大棚，并且很快测试调通了，可是在安装第二个节点的时候，安装距离近了，但是基站就是不能检测到节点。经过不断的试验和分析，原来是附近的高压塔对高频信号有影响。在安装的过程中，还通过不断的试验和分析找到一些影响节点正常运行的因素，比如天线的高度以及接入的传感器。

### 4.4 系统性能分析

#### 4.4.1 系统的实时性问题

实时是指信号的输入、运算和输出都要在一定的时间内完成，并根据生产过程变化及时进行处理。而实时系统指在事件或数据产生时，能够在规定的时间内给予相应，以足够的速度处理，及时地将处理结果送往目标地的一种处理系统。实时与快速并非是相同的含义，不论网络的传输速度如何，只要在规定的响应时间内产生响应动作，则称系统具有实时性。而实时网络是指网络中数据传输的时间是确定的，即是可以预测的，也就是说，实时网络中的数据传输是具有时限的<sup>[42-44]</sup>。

一般来说，通信网络的实时性主要与以下几个方面有关：

(1) 网络的硬件性能：包括网络的拓扑结构、通信媒体、网络接口的传送速率等，通信媒体的传输速率越高。网络接口的传送速率越快，网络的实时性就越高。

(2) 网络的通信协议：包括媒体的访问控制方式、网络通信协议的层次结

构、传输的可靠性、有无连接控制等等。层次结构简单，系统的实时性就越高。而可靠性与实时性是相互矛盾的。对于无连接、无应答的通信方式要比有连接、有应答的通信方式的实时性要高，但可靠性差。

(3) 网络的信息量：也称为网络的负载，是指网络在一定时间内需要传送信息的多少。网络传送信息量越少，实时性就越高。

在本系统中，所遇到的实时性问题主要体现在两方面：一方面是数据发送时 GPRS 不在通信连接状态而导致发送延时，也即是上面提到的 GPRS 网络的可靠性连接问题；另一方面是提供给基于 Web 远程访问的 Internet 网络性能的不确定性。

针对数据发送时 GPRS 不在通信连接状态而导致发送延时问题，上节所提供的设计解决方案：实时维持 GPRS 在线状态。可以最大限度的避免在数据发送的同时遇到 GPRS 假连接或重连接失败等问题导致的发送延时。

针对 Internet 网络性能的不确定性导致延时的问题，是目前所有基于 Web 远程访问的系统所共同面临的一个技术难点，至今还没有成熟和权威的解决方案，为了提高整个 B/S 结构远程监控系统的实时性，我们可以从下面几个方面做出改进措施：

(1) 在网络结构上，尽量可能增加网络带宽。百兆网、千兆网已在局域网或者城域网中得到广泛应用，并且网络交换技术的应用使网络带宽资源大大增加，为解决实时问题提供了硬件基础。

(2) 在软件设计中，采用优化的技术、合理的算法和程序结构，尽可能地减少软件延时对系统响应延迟的影响。比如对于实时性较强的数据，可以采用数据网关的主动消息机制。Web 数据网关提供主动发送和实时响应两种数据发布方式，结构灵活，连接方便。守候进程侦听约定的端口，当有数据请求来时，守候进程启动子进程接收请求，根据请求类型，提交响应的服务组件提供服务。对于实时响应请求，响应组件提供交互响应处理。对定时发送请求，由发布组件提高主动数据发布服务。

#### 4.4.2 系统的安全性问题

计算机网络安全是指利用网络管理控制和技术措施，保证在一个网络环境里，信息数据的机密性、安全性及可使用性受到保护。它的主要目标是确保网络传输的信息，在到达目的地时没有任何改变、丢失或被非法读取。网络的安

全性问题实际上包括两方面的内容，一是网络系统的安全，二是网络信息的安全，而保护网络的信息安全是最终目的。

从应用程度上看，网络安全指标重要包括以下几个方面：数据保密性，数据在网络传输过程中不被非授权用户或实体非法窃取；数据完整性，就是数据在发送前和到达后是否完全一样；数据真实性，能够正确地识别信息的来源，并且确保正确无误；数据可用性，网络传输的数据可被授权实体访问并按需求使用的特性；网络可靠性，是指系统能够在规定条件和时间内完成规定功能特性；不可否认性，在网络系统的信息交互过程中，确保参与者的真实同一性。

由于安全本身具有相对性，所以网络不能简单地划分为安全的或不安全的。针对不同的安全层次，都须采用不同的安全措施。当然，不管采用什么安全技术，系统都不可能绝对安全的。因此，除了采用各种先进技术外，更要从思想上对系统网络安全给予客观的认识和重视。

在本系统中的设计过程中，主要从以下几方面进行安全性能策略的考虑和安全性设计：

(1) 服务器端的安全性。首先在服务器硬件系统选取上，系统硬件安全性能可以确保系统硬件设备的安全性和可靠性，我们均采用性能比较稳定的企业级服务器，并采用主、从数据库服务器的结构对环境监测数据和用户信息进行实时备份。在服务器分网络访问上，采用了防火墙技术和多层密码验证防护。

(2) 客户端的安全性。本系统的最终目的是面向用户应用。要保证整个系统的安全性与可靠性，客户端的安全防范至关重要。本系统的基于 Web 的数据管理程序将提供用户识别的方式保护数据的用户私有性。

## 第 5 章 总结和展望

### 5.1 全文工作总结

近年来，随着电子技术、信息技术的蓬勃发展与广泛应用，农业温室技术也在向自动化、信息化方向发展。基于无线传感器网络的监测系统可以实现温室无人值守，而且可以进行远程监测的功能。本文从农业生产的实际情况出发，对控制网络与信息网络的融合技术进行了研究，将蔬菜大棚现场控制网络同 Internet 结合起来，提出了基于无线传感器网络的蔬菜大棚远程监控系统。

本文首先分析了无线传感器网络的发展方向，相关技术的国内外发展现状，通过对现在大棚监测系统的所用技术的讨论，提出了一种以无线传感器网络技术为基础，通过 GPRS 网络来实现远程监测蔬菜大棚温湿度的系统。通过对无线远程监测系统的功能需求分析出发，同时运用基于嵌入式编程思想，从数据采集节点、基站和远程服务器几个角度，具体设计和实现了各自的功能模块。

系统从结构上可划分为三个部分：远程监控终端发送模块，服务器端数据接收存储模块和基于 Web 的数据管理模块。提供了从现场数据采集——数据远程传输——网络管理的整套技术解决方案。其中数据采集节点从功能上主要有两大模块，无线通信模块和数据采集模块，因此数据采集节点主要是通过这两个模块设计编程来实现。通信模块主要是通过 ZigBee 进行编程，数据采集模块则是通过 A/D 转换来实现。系统的基站是整个系统的核心，用来对 ZigBee 通信模块进行相应的配置并接收传感器节点的数据，通过 AT 指令初始化 GPRS 通信模块，利用 PPP 协议将基站连接到 GPRS 网络，获得网络运营商动态分配的 IP 地址，并与监控中心终端或服务器建立有效连接。系统数据库是整个网络化数控服务系统的支撑部分，对于大型的服务系统而言，信息数据的保存是很重要的，它将记录系统运行时的所有信息。其中数据库系统可以根据实际需求来建立各种表，目前本系统建立的表包括日志系统表，用户系统表。

本文实现的服务系统人机界面友好，操作简单，通过对远程蔬菜大棚温湿度数据监测的结果检测，本系统能有效的实现对远程蔬菜大棚温湿度进行监测显示，同时也能支持手机用户通过手机获取大棚数据并保证操作的安全性，系

统的可扩展性强，为以后的无线远程监测控制的进一步发展打下了很好的基础，有广泛的应用远景和实用价值。

本课题在国家科技支撑计划项目（项目编号：2006BAJ01B02）：西部农村环境监测技术的集成与环境监测示范的资助下给出了一个基于无线传感器网络的蔬菜大棚监测系统，研究成果见附录 A，所做的主要工作如下：

（1）分析了农业远程监测系统的发展方向，相关技术的国内外发展现状，并从系统整体需求的角度，提出了实现无线远程监控系统功能所需的相关关键技术，并简单介绍了这些技术的特点和实现方法。

（2）通过对不同的远程农业监控系统的实现模式的探讨，提出了一种以无线传感器网络为基础，通过 GPRS 来实现远程监控蔬菜大棚的系统体系框架，并对服务体系框架做了详细的说明。

（3）通过对基于无线传感器网络的远程监控系统的功能需求分析出发，同时运用嵌入式编程思想，从数据采集节点，基站，远程服务器几个角度，具体设计和实现了各自的功能模块。数据采集节点采集数据模块、通信模块，基站显示模块、通信模块。远程服务器的通信模块、状态显示模块、用户管理和日志模块。

最后，在陕西省延安市安塞县的蔬菜大棚进行系统安装实际调试，在北京中科院遥感应用研究所接收数据，调试结果表明该无线传感器网络蔬菜大棚监测系统系统稳定，实现了网络远程监测蔬菜大棚的温湿度的网络服务。

## 5.2 展望

无线传感器网络的农业监测是农业监测项目的进一步探索研究，是农业网络化研究的重要组成部分，是一种新型的农业监控服务模式，它需要研究的内容很多，由于时间的关系，本文对于系统在负载率很高的情况下稳定性的测试，在大量用户操作过程中通信丢包问题以及 C/S 模式向 B/S 模式转化问题没有进一步研究，对于整个以监控为核心的系统来说还有相当多的问题有待进一步探索，这主要体现在以下几个方面：

（1）系统的稳定性和安全性研究，包括系统负载很高的系统稳定，通信的稳定性和丢包，远程操作命令的合法性。

（2）数据库技术研究，包括对数据库的恢复、数据库的并发操作保护、数据库资料的安全保护；

(3) 基于 B/S 的服务模式和远程监控的可视化研究，主要包括服务系统的 B/S 模式化，通过将客户端的操作集成到服务端，客户只需要通过浏览器来操作，另外，由于目前只实现了蔬菜大棚温湿度的状态跟踪显示，客户不能很直观的通过视频看到蔬菜大棚蔬菜生长里面的情况，因此通过服务器将蔬菜大棚里面蔬菜生长情况实时传输给远程客户端是本系统需要进一步要研究的内容。

## 参考文献

- [1] 郑文刚, 赵春江, 王纪华.温室智能控制的研究进展[J].农业网络信息, 2004, (2): 8—11.
- [2] 于海业, 马成林等.远程控制技术在温室环境控制中的应用现状分析[J].农业机械学报, 2003, 34 (6): 160—163.
- [3] N. Wang, N.Q. Zhang, M.H. Wang, Wireless sensors in agriculture and food industry-Rencent development and future perspective, Computers and Electronics in Agriculture, Vol. 50, No.1, pp. 1-14, January 2006.
- [4] V. Lakshmi Narasimhan, Alex A. Arvind, and Ken Bever, Greenhouse Asset Management Using Wireless Sensor-Actor Networks, Proceeding of Int. Conf. on Mobile Ubiquitous Computing, Systems, Services and Technologies, pp:9~14, 2007
- [5] H.Q. Luo, X. Zhang, E. Liu, X.J. Qiao, Y.H. Zhang, “The Design of Wireless Sensor in Greenhouse Environment Measurement”. Sensor World, Vol. 12, No.5, pp. 45-48, 2006.
- [6] 孙利民, 李建中, 陈渝, 朱红松.无线传感器网络.清华大学出版社,2005-5.
- [7] 张盛峰, 朱江, 朱治国.无线传感器网络中的 MAC 协议.IP 技术, 2005—06.
- [8] 孙雨耕, 张静, 孙永进等.无线自组传感器网络[J].传感器技术学报, 2004,(2):331-335.
- [9] 任丰原, 黄海宁, 林闯.无线传感器网络.软件学报,2003,14(7):1282-1291.
- [10] 于海斌,曾鹏,梁铧.智能无线传感器网络系统.第一版,北京:科学出版社.2006年1月.6-8.
- [11] Wang Yang, Huang Liusheng, Wu Junmin, Xu Hongli, Wireless Sensor Networks for Intensive Irrigated Agriculture, Proceeding of Int. Conf. on Consumer Communications and Networking, pp: 197-201, Jan. 2007
- [12] Xuemei Li; Yuyan Deng; Lixing Ding, Study on precision agriculture monitoring framework based on WSN Anti-counterfeiting, Security and Identification, 20-23 Aug. 2008 Page(s):182 - 185
- [13] Cao, Wei; Xu, Ge; Yaprak, Ece; Lockhart, Robert; Yang, Taiqian; Gao, Yanqing; Using Wireless Sensor Networking (WSN) to Manage Micro-Climate in Greenhouse, Mechtronic and Embedded Systems and Applications, 12-15 Oct. 2008 Page(s):636 - 641
- [14] 赵怀林, 王静.控制网络与 Internet 的融合[J]自动化与仪表 2002(4):1-4.
- [15] 郑建彬, 谭韬等.基于以太网的控制网络和信息网络融合的研究[J].工业控制计算机, 2003(7),4-6.
- [16] 韩静.用 Winsock 控件实现点对点通信[J].安徽工业大学学报.21(1):57-59.

- [17] 邓全良. Winsock 网络程序设计[M].北京:中国铁道出版社, 2002, 7.
- [18] 曹洪太, 苏晓峰, 孙忠富, 全乘风, 杜克明, 王迎春基于 WEB 和 RS485 总线的分布式远程环境监控系统的实现[J].中国农学通报.2006(2):392-396.
- [19] 朱伟兴, 毛罕平等.智能温室群集散控制系统设计研究[J].农业工程学报, 1999, 15(4):162-166.
- [20] 郑文波控制网络技术[M].北京清华大学出版社.2001.
- [21] 万加富, 张文斐等编著.网络监控系统原理与应用[M].北京:机械工业出版社, 2003.
- [22] 苏晓峰, 孙忠富, 张百海, 杜克明, 一种基于 Web 的温室远程监控系统方案设计.农业网络信息.2006(1):18-21.
- [23] 张红强自动化温室控制系统的设计与实现:[学位论文].北京:北京理工大学自动控制系,2000.
- [24] 邓全良. Winsock 网络程序设计[M].北京:中国铁道出版社, 2002,7.
- [25] 陶波,丁汉, 熊有伦.基于嵌入式 Internet 的工业控制测控技术[J].2001,20(8):5-9.
- [26] 杜春雷, ARM 体系结构与编程.清华大学出版社, 2003.
- [27] Seong-eun Yoo; Jae-eon Kim; Taehong Kim; Sungjin Ahn; Jongwoo Sung; Daeyoung Kim; A2S: Automated Agriculture System based on WSN, Consumer Electronics,20-23 June 2007 Page(s):1 – 5
- [28] Qiang, Gao; Ming, Chen;Research and Design of Web-Based Wireless Sensor Network Management System for Greenhouse Computer and Electrical Engineering20-22 Dec. 2008 Page(s):657 – 661
- [29] 刘桂红.家庭无线传感器网络的设计与实现.[硕士学位论文].北京: 北京师范大学, 2004.
- [30] 汪祖武.基于 ARM 的嵌入式系统的研究与应用.[硕士学位论文].北京: 北京交通大学, 2004.
- [31] 张馨.基于无线网络的农业环境监测控制平台研究开发[硕士学位论文].湖北: 武汉理工大学,2006.
- [32] H. Liu, Z. Meng and S. Cui, " A Wireless Sensor Network Prototype for Environmental Monitoring in Greenhouses," presented at Wireless Communications, Networking and Mobile Computing 2007 (WiCom 2007), International Conference on 21-25 Sept. 2007 Page(s): 2344 - 2347.
- [33] 杜克明.农业环境无线远程监控系统的研究与实现[硕士学位论文].北京: 中国农业科学院, 2007.
- [34] 曹洪太.基于 Internet 和 GPRS 技术的温室远程监控系统.[硕士学位论文].山东: 曲阜师范大学, 2006.

- [35] Zhou Yiming; Yang Xianglong; Guo Xishan; Zhou Mingang; Wang Liren; A Design of Greenhouse Monitoring & Control System Based on ZigBee Wireless Sensor Network, Wireless Communications, Networking and Mobile Computing, 21-25 Sept. 2007 Page(s):2563 – 2567
- [36] 黄小波.基于 B/S 模式的远程监控系统的研究与工程应用.[硕士学位论文].江苏: 南京工业大学,2004.
- [37] 蒋伟民, 毕红军.五种主流近距离无线技术比较.科技咨询, 2007, (2): 1—2
- [38] 贾善刚.我国农业信息化与网络化发展概况.计算机与农业, 2002, (4): 4—6
- [39] 廖俊.基于 B/S 模式的远程监控系统的研究及软件实现.[硕士学位论文].西南交通大学, 2006.
- [40] 王振华.基于 Internet 的远程控制技术在温室中的应用.[硕士学位论文].长春: 吉林大学, 2003.
- [41] 于海晨.基于 Internet 的控制系统远程监控方案及实例.计算机自动测量与控制, 2001, 9 (5): 14—16.
- [42] Ahonen, Teemu; Virrankoski, Reino; Elmusrati, Mohammed; Greenhouse Monitoring with Wireless Sensor Network, Mechatronic and Embedded Systems and Applications, 12-15 Oct. 2008 Page(s):403 – 408
- [43] Han, Jiang; Ming, Chen; Research of WSN Routing Strategy for Greenhouse Based on Mobile Agent, Computational Intelligence and Design, Volume 1, 17-18 Oct. 2008 Page(s):413 – 417
- [44] Sensinode (2007). OEM Product catalog. [Online]. Available: nodes on the upper layer. <http://www.sensinode.com/pdfs/sensinode-catalog-20071101.pdf>.
- [45] Greenhouse guide. (Referred 20.04.2008). [Online]. Available: <http://www.littlegreenhouse.com/guide.shtml>.
- [46] M. Mancuso and F. Bustaffa, "A Wireless Sensors Network for at 6t IEEE International Workshop on Factory Communication Systems inTorino, Italy, June 28-30, 2006.
- [47] Martens Greenhouse Research Center Web-page, <http://www.martens.fi> (referred 17.5.2008).
- [48] EGE.8M0o2n.t1e5n.e4gNreotwaonrdkNs., "KuIsnh tearInneatg-aDrra,ft", TrlaEnTsFm,isSseip onteomfpIePrv260P0a7.c[kOentlsinoev]e.r Available: <http://www.ietf.org>.
- [49] Sensinode (2007). NanoStack manual v1.0.1. [Online]. Available:[www.sensinode.com](http://www.sensinode.com).
- [50] Sensirion (2007). SHTlx / SHT7x Humidity & Temperature Sensor [Online].Available:[http://www.sensirion.com/en/pdf/productinformation/Data\\_Sheet\\_humidity\\_sensor\\_SHTlx\\_SHT7x\\_E.pdf](http://www.sensirion.com/en/pdf/productinformation/Data_Sheet_humidity_sensor_SHTlx_SHT7x_E.pdf)

## 致 谢

本文从选题、方案论证，到课题的研究以及论文的撰写都是在导师刘泉教授的精心指导和教诲下完成的，导师给予的学生尽心尽力的指导、热情的帮助和关怀，都鼓励着我完成了本文的工作。在此期间，导师严谨的治学态度、勤恳的工作作风、渊博的知识深深的影响我，将使我终生受益。在此论文完成之际，谨向我的导师刘泉教授致以深深的敬意和由衷的感谢。

在课题的研究过程中，还得到了龙毅宏教授和吴魏副教授以及中科院遥感应用研究所的宫鹏教授、程晓博士和李秀红博士等各位老师在生活上和学习上都给了我热情指导和帮助，他们提出了宝贵的意见和建议，使我受益匪浅，我也从他们那学到了不少知识，得到了不少解决问题的思路，在此向她们表示衷心的感谢。

在硕士的三年学习期间，有幸认识了武汉理工大学信息学院嵌入式系统实验室的所有硕士研究同学，以及湖北数字制造重点实验室 210 室的所有的研究生同学，特别要感谢陈本源博士和张金焕博士在研究过程中提供的无私帮助。在硕士求学期间，感谢各位同学在学习和生活中给予的无私帮助，感谢他们几年来为我平淡生活带来的欢笑与快乐。

在课题的进行过程中还得到了硕士研究生同学的热心帮助，在此也向他们表示深深的谢意！

最后，感谢所有教育过我的老师和始终关心、支持我的人！同时也要感谢我的父母和亲人，他们对我默默的支持和深深的理解，永远激励我奋发图强，在以后的道路上一往无前。

## 攻读学位期间发表的学术论文和参与的项目

### 1.发表的论文

- [1] 刘泉, 鲁进军. Web 技术在嵌入式系统中的应用研究[J]. 武汉理工大学学报(信息与管理工程版), 2008, (6)
- [2] 刘泉, 鲁进军, 吴魏, 苏杭. 数字摄影测量技术在港口集装箱调度中的应用. 电子技术应用, 2008, (11)
- [3] Quan Liu, Jinjun Lu. Application of Digital Photogrammetry Technique in Container Scheduling. CSSE2008 (EI 收录).
- [4] 刘泉, 鲁进军. 基于无线传感器网络的农业监测. 科技论文在线, 2008, (11) .

### 2.参与的项目

- [1] 国家自然科学基金重点项目(项目编号: 50675166): 基于资源的网络数字控制新理论及关键技术研究
- [2] 国家科技支撑计划项目 (项目编号: 2006BAJ01B02): 西部农村环境监测技术的集成与环境监测示范

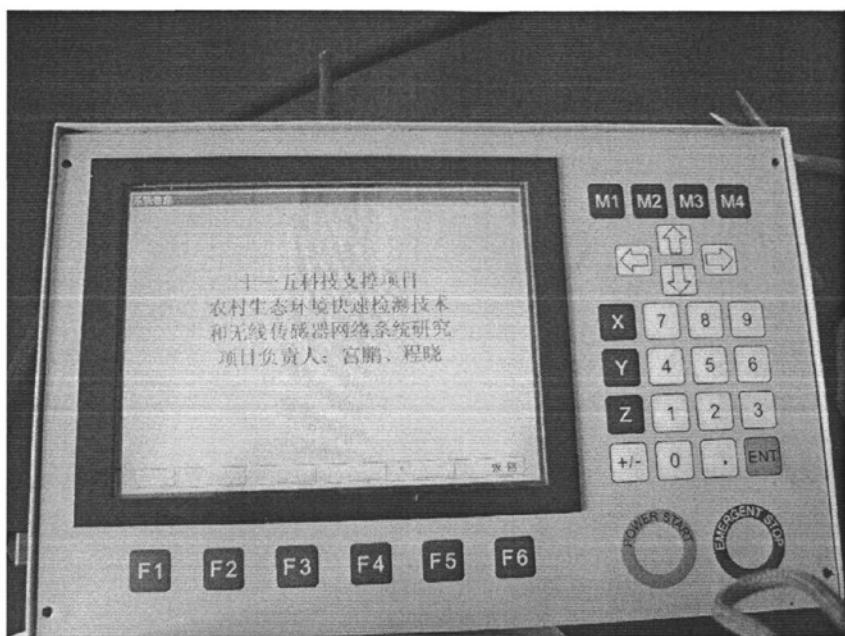
## 附录 A:



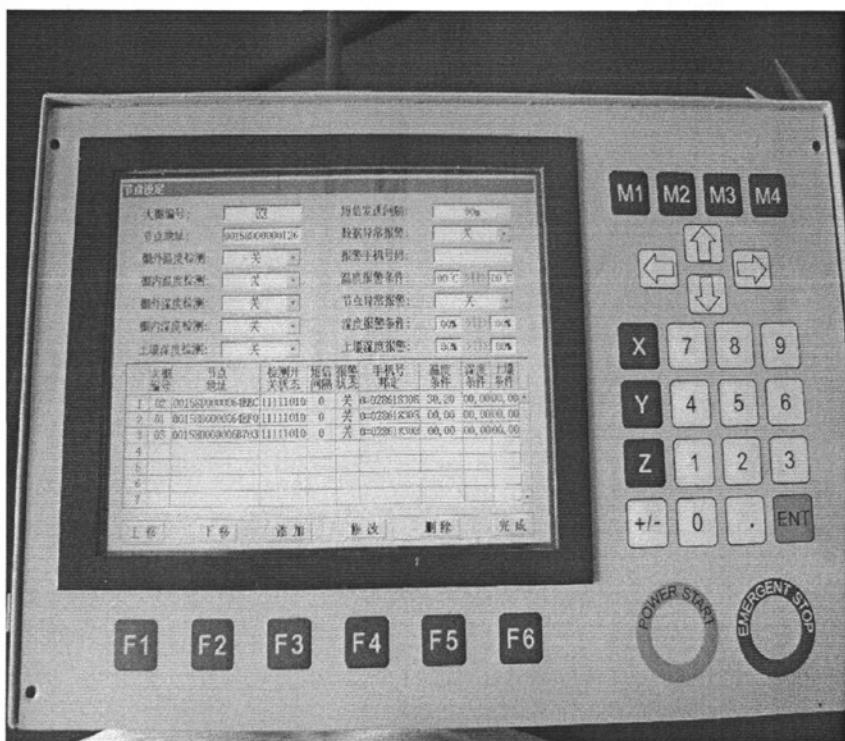
附录图 1 远程服务器网站登陆界面图

十一五科技支撑项目										
农村生态环境快速检测技术与无线传感器网络系统研究										
项目负责人：肖鹏、桂红										
尊敬的访客，您好！ 欢迎您访问 系统介绍 环境最新信息显示: 2008-09-01 10:43 当前数据采集系统的采样周期为: 1 分钟										
时间	实时数据	棚内温度	棚外温度	土壤温度	棚内湿度	棚外湿度	土壤湿度	基地ID	基地名称	
2008-09-01 10:43	84	34	22	13	15	13	14	5	珠海三灶站	
请选择基地: [珠海基地] [珠海香洲站] [直属]										
开始时间	<input type="button" value="1 小时"/> <input type="button" value="0 分"/>									
结束时间	<input type="button" value="1 小时"/> <input type="button" value="0 分"/>									
时间	编号	棚内温度	棚外温度	土壤温度	棚内湿度	棚外湿度	土壤湿度	基地名称	节点名称	
2008-09-01 10:43	84	34	22	13	15	13	14	东莞基地	珠海三灶站	
2008-09-01 10:43	83	35	23	12	16	15	13	东莞基地	珠海南平站	
2008-09-01 10:43	82	37	26	19	18	17	10	东莞基地	珠海香洲站	
2008-09-01 10:43	81	34	22	13	15	13	14	海南基地	珠海三灶站	
2008-09-01 10:43	80	35	23	12	16	15	13	海南基地	珠海南平站	
2008-09-01 10:43	79	37	26	19	18	17	10	海南基地	珠海香洲站	
2008-09-01 10:43	78	35	23	12	16	15	13	澳门基地	珠海南平站	
2008-09-01 10:43	77	37	26	19	18	17	10	澳门基地	珠海香洲站	
2008-09-01 10:43	76	34	22	13	15	13	14	广州基地	珠海三灶站	
2008-09-01 10:43	75	35	23	12	16	15	13	广州基地	珠海南平站	
2008-09-01 10:43	74	37	26	19	18	17	10	广州基地	珠海香洲站	
2008-09-01 10:43	73	35	23	17	15	18	13	珠海基地	珠海三灶站	
2008-09-01 10:43	72	33	25	13	17	13	11	珠海基地	珠海南平站	
2008-09-01 10:43	71	37	26	19	18	17	10	珠海基地	珠海香洲站	
2008-09-01 10:43	70	34	22	13	15	13	14	东莞基地	珠海三灶站	
上一页 下一页										
Version 1.0 Copyrights © 2008 中国科学院遥感应用研究所遥感科学国家重点实验室 邮箱: xueheng@iss.ac.cn 联系电话: 010-64848731										

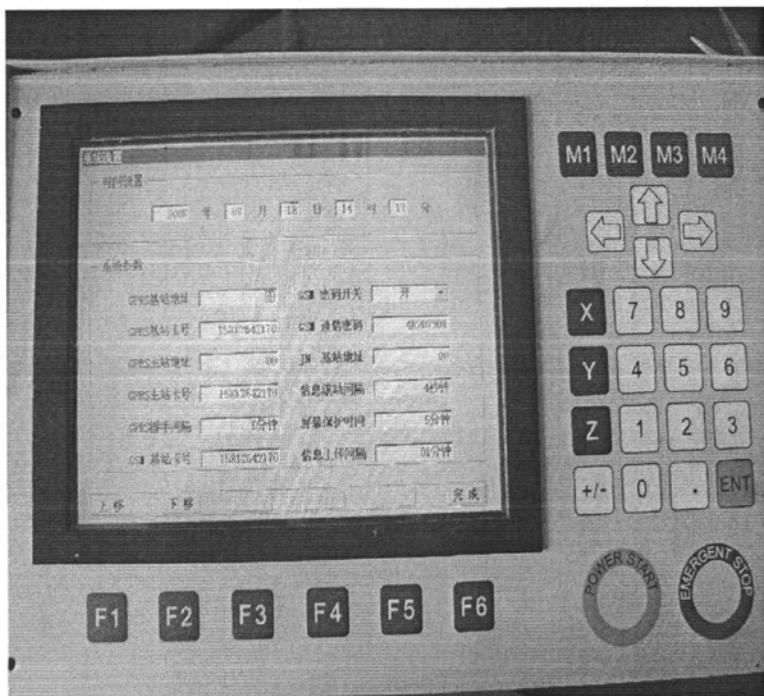
附录图 2 远程服务器数据查询界面图



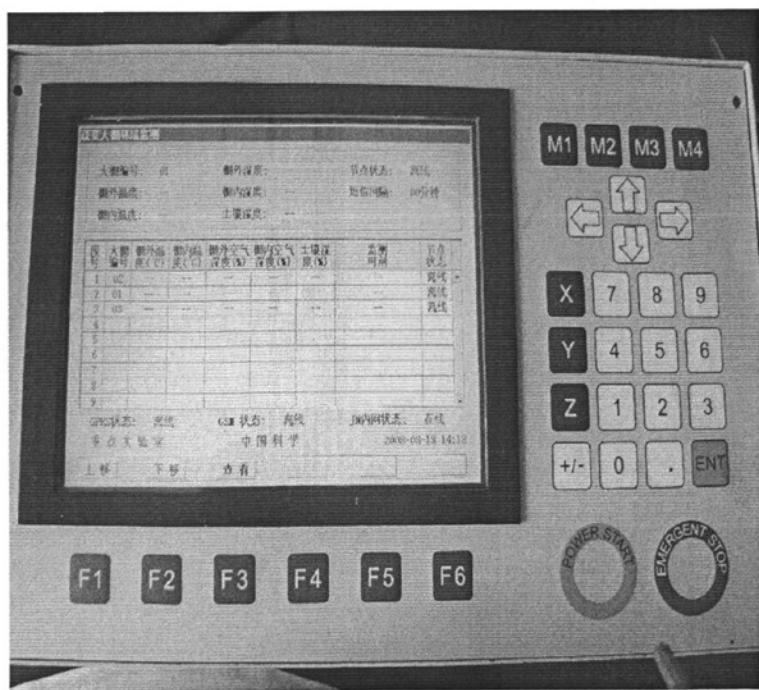
附录图3 基站开机界面图



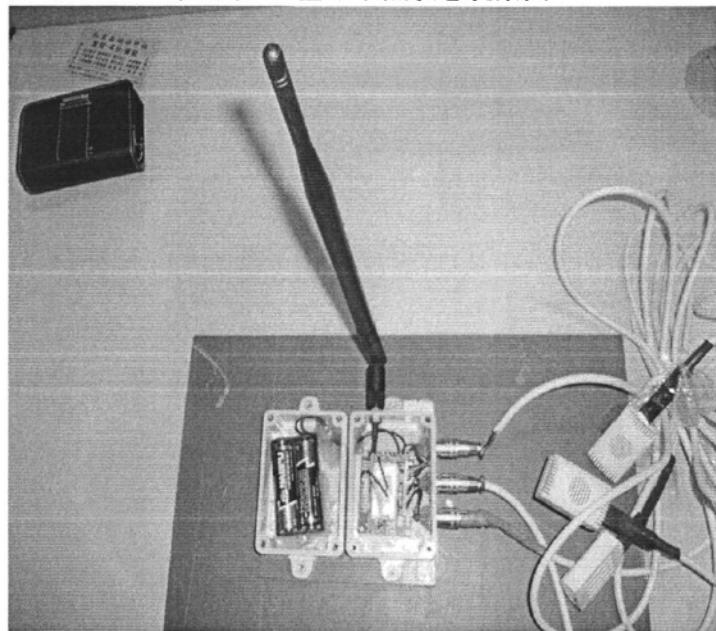
附录图 4 基站设置添加/删减节点图



附录图 5 基站时钟/定时时间设置图



附录图 6 基站节点状态观察图



附录图 7 数据采集节点图