

山东大学

---

硕士学位论文

---

基于射频网络的抄表系统研究

---

姓名：庞金龄

---

申请学位级别：硕士

---

专业：电力系统及其自动化

---

指导教师：韩晓萍

---

20090430

# 山东大学硕士学位论文

---

## 摘要

一户一表制的推广使供电企业的营业工作量成倍增加，加上直接管理服务业务范围迅速扩大，依靠传统方式已难以完成抄表等营业工作。研制开发一种涵盖各类电力计量客户的全方位实时自动抄表系统是电网商业化运营的迫切需求。近年来，随着现代通讯技术和射频技术的发展，无线通信以其成本低廉、扩展性和可维护性好、受地理条件限制较少、安装施工简便灵活等特点，使用射频技术实现区域无线抄表的条件已成熟，无线射频系统用于配电网抄表，可以实现大数据量的高速传输，保证数据的实时性，对于实现配电网的实时抄表有重要的意义。

本文对无线射频通信方案的可行性和先进性进行了充分论证。首先简单介绍了射频芯片的相关知识和原理，然后根据采集终端的要求，形成微处理芯片、射频芯片、485 接口构成的节点结构，并针对射频芯片通信距离的不足，提出了基于自组网路由技术的无线抄表方案，简单介绍了通信模块的硬件、软件设计，详细介绍了无线抄表路由算法，提出一种满足实际应用的路由算法，并给出了实际应用实例。

实践证明，无线射频抄表系统稳定可靠，达到了预期的效果和设计要求，有利于配电网运行的经济性管理，同时对加强用电管理和提高电网供电质量起到了积极的作用。

**【关键词】** 路由技术；无线射频；无线抄表；Ad Hoc 网络；

## ABSTRACT

With the rapid growth of population and technology, the electric power consumption and number of consumers have increased quickly. In order to serve larger consumers more effectively, it is urgent to develop a new kind of meter reading system which can supply many necessary services, for instance, efficient meter-reading, reliable power monitoring and control. Supplying the capabilities above is a development tendency for utility company to promote service quality and the management efficiency in the future. With rapid growth of mobile communication and radio frequency (RF) technology, wireless communication technology which has advantages such as low cost, high expansibility and maintainability, less limit of physiographic condition, easy installation makes it possible to use radio frequency (RF) technology to design the Wireless ARM-Based Automatic Meter Reading System(WAMRS) which can achieve on-line, high speed data transmission service and satisfy the need of data transmission speed for reading digital meter.

This test argument a lot about feasibility and advantage of the wireless automatic meter reading system based on radio frequency (RF) technology. First the test instructs some kinds of radio frequency chip with their principle and characteristics, then upon data collection terminal request the test uses microprocessor chip and radio frequency chip to construct communication module, and because of the short communication distance of the radio frequency (RF) chip the test adopts automatic routing technology in the wireless automatic meter reading system to communicate with each node. At last, the test simply introduces the hardware and software of the communication module, and explains the automatic routing arithmetic of the wireless automatic meter reading system, then gives an automatic routing arithmetic which satisfies the demand of the real system.

## 山东大学硕士学位论文

---

The practice shows that the automatic meter reading system using short radio frequency (RF) technology is stably and reliably, satisfying the design request. It improves the safety and economical operating level of the distribution network and enhances the energy management and power supply quality.

**【Keyword】** : automatic routing technology; radio frequency (RF) technology; Automatic Meter Reading system ; Ad Hoc network;

## 原创性声明

本人郑重声明：所呈交的学位论文，是本人在导师的指导下，独立进行研究所取得的成果。除文中已经注明引用的内容外，本论文不包含任何其他个人或集体已经发表或撰写过的科研成果。对本文的研究作出重要贡献的个人和集体，均已在文中以明确方式标明。本声明的法律责任由本人承担。

论文作者签名： 庞金龄 日期： 2009.4.30

## 关于学位论文使用授权的声明

本人完全了解山东大学有关保留、使用学位论文的规定，同意学校保留或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；本人授权山东大学可以将本学位论文的全部或部分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论文和汇编本学位论文。

(保密论文在解密后应遵守此规定)

论文作者签名： 庞金龄 导师签名： 李山涛 日期： 2009.4.30

本章主要介绍论文的背景和意义、论文的主要工作、论文得主要结构。

### 1.1 论文的背景和意义

近年来,智能化住宅社区建设在我国发展得很快,从沿海的经济发达地区深圳、广州、上海到北京,以及中国西部城市成都、重庆、贵州、昆明等地均不同程度地建设了智能化示范小区。这些智能化住宅小区的建设和,提高了住户的生活质量,扩大了住户的居住空间,为当地智能化建设起到了示范作用<sup>[1][2]</sup>。建设部出台了一些指导性文件,明文规定21世纪的住宅中应该有自动抄表系统,并且作为是否应用了高科技技术的条件之一,在客观上推动了这个行业的发展。自动抄表在智能化系统之中,是比较能体现“解放生产力”的系统,有的地区甚至将这一功能列为住宅智能化最重要的功能,这一系统还是正在逐步得到行业的承认<sup>[3]</sup>。

目前,我国绝大多数地区抄取电表的数据还是通过人工方式,但是目前人工抄表方式效率低、成本高、质量差,直接影响到我国电力企业的经营效益和社会效益。因此,为了有利于经济长期稳定的发展,提高人民生活质量,构建和谐社会,无线自动抄表系统应运而生。它可以给我们的电力事业带来如下的好处<sup>[4]</sup>:

- ◇ 减少抄表人员,减轻抄表劳动强度,降低抄表工作的成本。
- ◇ 做到准确、可靠、及时的抄读电表,彻底解决了因抄表不同而造成统计困难这一老大难问题。
- ◇ 减少了抄表工作人为的干扰,提高了抄表质量和效率,减少不明损失。
- ◇ 扩充了电能表的计量功能,形成完善的智能化的辅助计量系统,为多费率、多电价的实施创造了条件。
- ◇ 完善了用电的监控手段,对用户的窃电行为(如:电表反接、电表断线、摘电压小勾等)以及表计故障,实现了有效的监测和记录,为营业普查提供了分析依据,使营业普查活动有的放矢。

综上所述,无线抄表技术是具有非常重要的现实意义的,而基于无线射频技术的无线抄表系统又是无线抄表系统中一个比较新而且相当具有实用价值的应,具有成本低廉、扩展性和可维护性好、受地理条件限制较少、安装施工简便、数据通信准确可靠等优点,可以预见,随着无线通讯技术的迅猛发展,全面实现无线抄表将成为必然趋势<sup>[4]</sup>。

## 1.2 配电网中几种常用的通信方式的比较

### 1.2.1 电力线载波

电力线载波 (Power Line Carrier, PLC) 通信是电力系统特有的一种通信方式, 在电力通信中应用最为广泛。

电力线载波通信<sup>[5]</sup>是利用电力线进行信息传送的一种通信方式。根据所采用电力线的电压等级不同, 电力线载波又分为输电线载波 (Transmission Line Carrier, TLC)、配电线载波 (Distribution Line Carrier, DLC) 和低压配电线载波 (Low Voltage Distribution Line Carrier, 又称入户线载波) 三类。对于输电线载波通信, 载波频率一般为 10~300kHz; 对于高、中压配电线载波通信, 载波频率一般为 5~40kHz; 对于低压配电线载波通信, 载波频率一般为 50~150kHz。

电力线载波方式主要优点是利用电力线传输, 布线简单, 节省资源, 并且与电网建设同步<sup>[6][7]</sup>。电力线载波存在着两大致命的弱点: **一个信号衰减大**。由于电力网络的阻抗受负载影响很大, 很难得到一个准确的阻抗数值。信号在电力线路中的衰减强烈的依赖于负荷的变化, 难以估计, 制约着信号的传输距离; **另一个是噪声的干扰**。国内电网复杂, 杂波较多, 严重影响着数据传输的质量, 使数据通讯成功率较低。

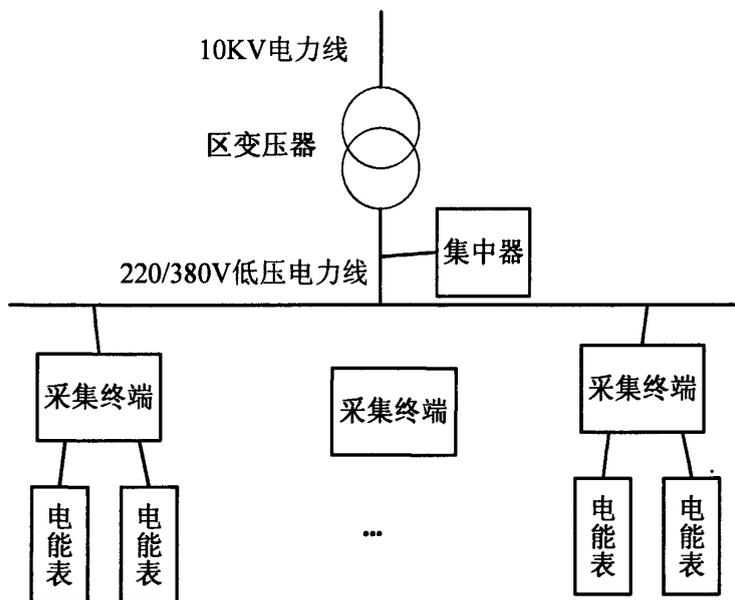


图1.1 电力线载波方式抄表

## 1.2.2 RS485 总线抄表

RS485总线抄表<sup>[9]</sup>：敷设专用网络(一般为双绞线)，采用一对平衡的互连电缆上传输差分的信号，在接收端进行差分信号的信号判决。利用电子技术和传感技术，对传统电表、水表、气表加以改进，使其成为远传表在户外装一套智能采集单元，采集计量表传感器传出的脉冲并进行处理和存储。智能采集单元通过数据总线联网，在数据总线上任何一点皆可以用装有接收卡的计算机直实现自动抄收三表数据。

基于RS485总线的远程抄表系统不仅成本比较低,而且具有数据传输稳定、可靠性高、传送距离较远、速度快、抗干扰能力强等优点,是目前远程抄表中广泛采用的抄表方式,约占所有抄表系统的90%左右。采用的总线结构,传输的介质则是双绞线,容易引起线路的老化,存在短路,断线的危险,如果距离过长或者屏蔽不好,都会造成失真,数据不准。况且小区一旦建成,再去布线的工程量比较大,系统维护和系统检修比较困难。

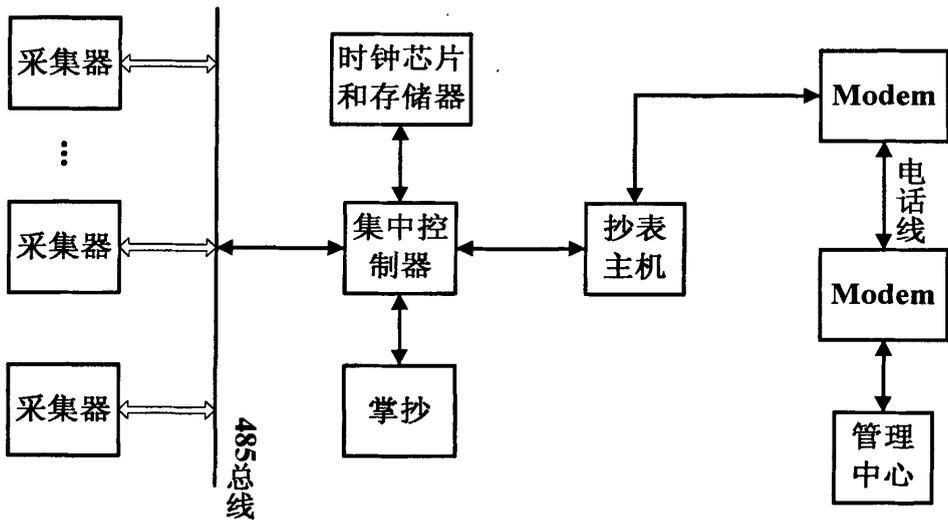


图1.2 RS485总线抄表

## 1.2.3 GPRS 通信

GPRS是一种基于GSM系统的无线分组交换技术<sup>[9]</sup>,提供端到端的,广域的无线IP连接。GPRS网络的技术核心是在GSM网络中传送分组数据业务,它的技术优势主要体现在两个方面,即实现了用户数据与无线网络资源的最佳结合,实现了IP协议的透明传输。

GPRS通讯方式具有瞬时上网、永远在线、快速传输、数据吞吐量大、按量计费等优点<sup>[10]</sup>。与原有的GSM比较GPRS在数据业务的承载和支持上具有非常明显的优势：通过多个GSM时隙的复用支持数据传输的速率更高，理论峰值达171kbit/s；不同的网络用户共享同一组GPRS信道，但只有当某一个用户需要发送或接收数据时才会占用信道资源，这样通过多用户的业务复用，更有效地利用了网络的信道资源，而且GPRS计费方式更加灵活，根据数据流量进行计费，特别适合突发性、频繁的小流量数据传输。GPRS业务一经推出，很快得到了广泛的应用，在多个领域如车辆定位和管理系统，车辆调度系统，路灯照明管理系统，电力的自动抄表和设备监测系统，企业的移动办公等都开发出了别具特色的应用系统。实际应用中，需购买专用GPRS通信模块，成本很高，且通信成功率受时段、物理位置的影响，这是它的主要缺点。

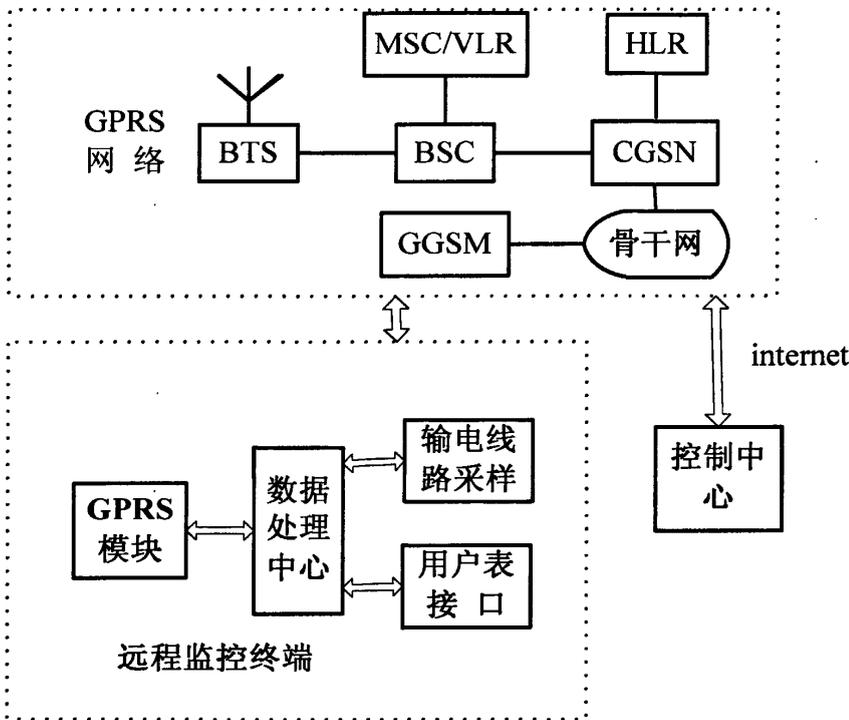


图1.3 GPRS通信方式抄表

## 1.2.4 光纤通信

光纤通信系统是以光为载波，以光纤为传输介质的通信系统。根据传输信号的形式，可以把光纤通信系统分为数字光纤通信系统和模拟光纤通信系统两大类。因为光纤的频带很宽，对传输数字信号十分有利，所以高速率、大容量、长距离的光纤通信系统均为数字光纤通信系统。

## 1) 光纤通信的优点

光纤通信的优点与其他通信方式相比，光纤通信具有以下优点：

由信息理论知道，载波频率越高，通信容量越大。对光纤通信而言，载波为光波，频率很高，可供利用的频带很宽，通信容量大，尤其适合高速宽带信息的传输；由于光纤损耗很低（0.2dB/km 的量级），加上采用中继技术，传输距离大大增加。这对于长途干线通信、海底光缆通信十分有利；光纤抗电磁干扰能力很强，不怕雷击和其他工业设备的电磁干扰，传输可靠性好。光纤系统也没有发生电火花的危险，因此在一些要求防爆的场合使用光纤通信是十分安全的；在运用频带内，光纤对每一频率成分的损耗几乎是一样的，因此在中继站和接收端只需采取简单的均衡措施就可以，设备相对简单。

## 2) 光纤通信的不足

光纤通信仍然存在不足：强度不如金属线，连接比较困难，连接节点造价高，分路与耦合不方便，弯曲半径不宜太小等。光纤通信系统初期投资大，后期维护费用也较高，这是光纤通信在配电系统中不能得到广泛应用的主要原因。随着光纤技术的发展，性能价格比的不断提高，这种情况会逐渐改变。

由于配电网的分支众多，分布复杂，对于配电网上的分支通道，通信速率通常低于 1000bit/s，而且光纤不便于复用，使光纤通信失去了其经济优势，发挥不了极高通信率的优势。因此在配电自动化系统中，光纤通信更适合作为通信主干线。

### 1.2.5 无线射频通信

无线射频技术<sup>[11]</sup>采用无线的方式传输数据。该项技术采用射频方式传输电表度数，不论在户外室内均可正确、快速及时进行无线抄表。无线射频抄表系统包括无线多功能电表和手持抄表器。其中无线多功能电表由电表的电能计量模块和无线传输模块集成，在使用上可以完全替代原有传统电表，并直接实现计量数据的无线传输。手持抄表器能实现无线抄表功能，可以完成电表数据的通讯、存储、上传。该项技术的运用是基于两种技术发展的前提下产生的。首先要解决的是无线数据传输模块必须要求集成度高、可靠性强，低电压低功耗、能够在用电池供电的情况下长期工作（6~8年），与控制系统连接简洁明快。第二是要求无线数据传输模块工作于公用频段，不需要申请专用频段。

无线射频方式与其它有线抄表方式相比,具有组网十分灵活、方便、维护简便等特点,并且避免了有线抄表系统布线不方便、施工量大等问题<sup>[12]</sup>。此外,无线射频方式相比电力线载波方式而言,具有无线接入、组网灵活及通讯速度快等特点。

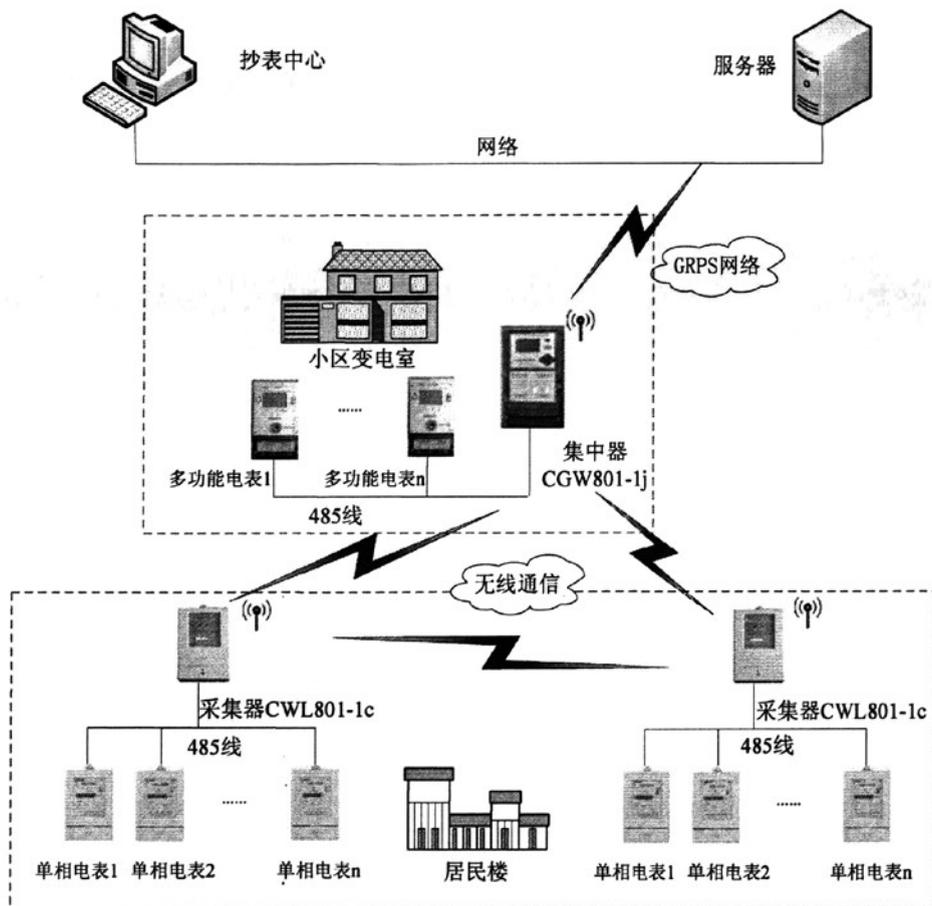


图 1.4 射频抄表方式

## 1.3 本文的主要工作

本文在分析了各种射频芯片的性能特点和无线自组网技术后,提出了一种基于无线射频技术的抄表方案。研究工作包括一下内容:

- ◇ 阐述了抄表的工作原理,选择器件并根据实际要求进行软、硬件设计;
- ◇ 阐述了无线路由技术,并结合实际情况确定路由方案;
- ◇ 现场实验,检验各种环境下无线通信数据传输质量;

### 2.1 系统概述

本系统主是一种以短距离无线通讯技术为主集多种通讯方式相结合、覆盖范围广、使用简单方便、节省人力、远程监控、远程维护等特点的表计采集系统<sup>[13][14]</sup>。系统使用了最新的短距离无线通讯技术、485、GPRS、短信等多种通讯手段进行数据传输。其中短距离无线通讯技术是本系统中数据采集部分重点使用的通讯方式，系统采用自动中继、自动路由等方法构成数据传输网络，实现特定区域的数据传递，再经由数据集中设备通过 GPRS 或宽带等构成更大范围的数据传输网络。目前技术比较先进的无线通讯模块主要由国外厂家生产，设备成本高，极大地增加了实际应用的成本，给系统推广带来巨大困难。在吸取国外先进技术的基础上，自主研发符合实际需要、技术领先无线通讯模块<sup>[15]</sup>。该模块具有较高的接收灵敏度、工作频率宽、低发射功率、适应温湿度范围广、传输距离远等特点。同时为了增强抗干扰能力和衰减能力，模块使用了自动频率补偿和跳频的技术，通过这种技术的使用，无线模块表现出了良好的网络适应能力和抗干扰能力，提高了整个系统的性能。同时系统还使用了频率补偿技术、多频段跳频技术、长字节数据分包机制、网络自适应、自动中继、干扰源处理等多种技术手段提高了系统的稳定性、可靠性、准确性，消除了终端孤岛的存在。

1、集中抄表系统软件能与省公司 MIS 系统进行数据通讯。

2、一个集中器最多可容纳 250 个采集器\*64 块=16000 块居民表，同时最大可容纳 256 块变电站大客户表。

3、低压集中器采用通讯方式为标准 TTL-232 与 RS485，低压采集器采用通信方式为标准 RS485。

### 2.2 系统设计原则和要求

#### 2.1.1 系统设计原则

基于射频技术的抄表系统应具备一般抄表系统的功能和特点，也就是数据的准确性、完整性，系统的可靠性、稳定性和安全性等。除此之外，本文的设计使其具有一些区别于一般系统的更高的要求，所有的设计原则核心如下：

- 保证系统高可靠性、数据的高准确性、完整性和实时性。体现在系统总体设计中，就是避免硬件结构过于复杂，并且应设计自恢复和自检测电路；软件要冗余设计，失败要进行重试；
- 保证系统的易扩展性。体现在系统总体设计中必须整体考虑、统一规划、统一设计，易于实现电网规模扩展和软硬件高级功能扩展；
- 保证系统的安全性。体现在系统总体设计中就是设置采用高级编码方式对数据进行加密处理。

## 2.1.2 系统功能要求

我国计量表具（包括电表、水表、煤气表）的抄录、收费和管理正朝着集中化、自动化、远程化的方向发展，在数据采集问题已得到较好解决后，核心问题是表计数据通讯问题。随着电力系统用户城市内智能化住宅小区现代化管理水平的不断提高，小区用户电表、水表、煤气表等数据的抄录已逐步实现全自动集中抄表，因此一种施工方便、快捷、成本低廉的无线远程全自动抄表系统就应运而生<sup>[16]</sup>。

本系统是电力公司所辖区域的所有电表无线抄收系统，本系统功能要求是：

### 1. 硬件要求：

- 1) 市局所辖区域内采用全无线方式抄收；
- 2) 每个采集器最多连接 64 个电表，由集中器将各采集器抄得的电表数据传送到抄表中心。同时集抄系统软件能与省电力公司的 MIS 系统进行数据通信，上传抄收的数据。
- 3) 抄表中心软件可根据设置的不同，改变抄表方式，可将集中器的数据定时向抄表中心发送，也可以设置为抄表中心主动向集中器要用户电表数据，集中器在接收到抄表指令后，立即向抄表中心发送需要的数据。

### 2. 软件要求：

- a) 查询所辖区域内所有用户用电记录。
- b) 提供集中、分组、实时、点抄、定时（按用户顺序）自动抄表。
- c) 当日、指定日、前日、前某一天(30 天)电量的抄录。

## 2.3 系统总体结构

目前实际应用的自动抄表系统大多采用两级通讯网络连接的三个层面的树状结构方式。这三个层面指：前端采集仪表（简称仪表）、两级网络的交汇节点-集中器（或许包括分站，简称集中器）和系统最终的汇集点-数据处理兼计费管理中心（简称主站）。而这两级通讯网分别是本地抄表网络或者是单位的局部网（下级网络）与远程公共网络（上级网络），典型的远程自动抄表系统如图1.4所示。电力自动抄表系统各组成部分及功能：

### 1) 主站

可设定抄收间隔和抄表周期；实时抄收任意用户电表电量数据；设置集中器的自动抄表周期、抄收间隔、抄读间隔；多级操作权限设置；精确校时，统一系统时间；自诊断，设备或通信异常报警和记录；可冻结指定时间累计电量，计算线损率及即时线损。

### 2) 采集终端

电能量的采集、处理、存储和通信，根据权限设置初始参数、抄表间隔、自动抄表日；下行信道为电力线等，上行信道为公共有线、无线电话、双绞线、无线电及其它（光纤、微波）；系统自诊断，存储器、调制解调器、通信异常记录和报警；接发冻结命令，定时进行电表电能量累计冻结，是整个系统的枢纽。本文着重介绍这一部分。

### 3) 客户终端电表

终端电表配置本文所开发的通信模块，完成数据收发，实现抄表功能。是抄表网络的基本构成部分。

图1.4所示的自动抄表系统中，采集终端和集中器都装有无线射频通信模块，客户侧安装多功能电表，经过采集终端通信模块，通过射频无线通信信道，将数据集中收集到远方的集中抄表中心（主站）。在数据从底层的客户电表到达顶层主站计算机的过程中，无线射频通信模块其中扮演着重要角色，是本文的重点研究对象。

## 2.4 通信模块硬件部分设计

要使前端仪表和集中器实现抄表功能，通信模块至少必须具备以下组件：

- 一片带SPI接口的微处理器

- 一个带有所需外部元件的RF收发器
- 一根天线，可以是PCB上的引线形成的天线或单极天线

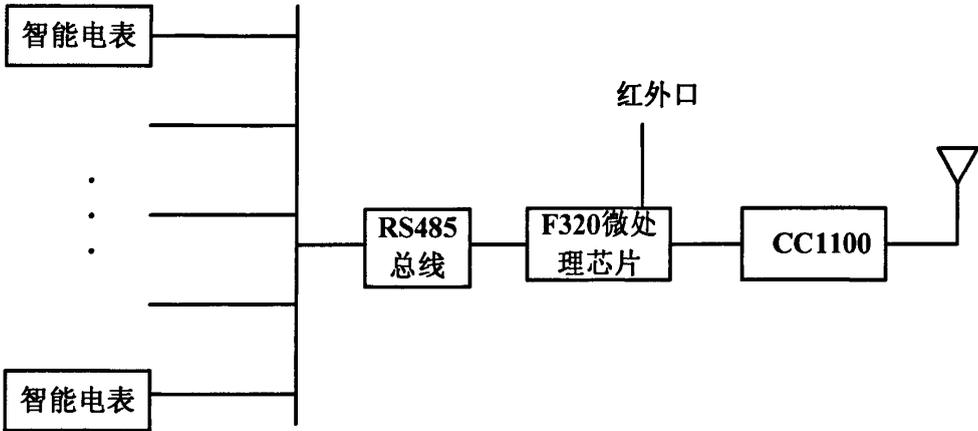


图2.1采集终端通信模块硬件

如图2.1所示，微处理芯片通过SPI总线和一些离散控制信号与射频芯片相连，控制器充当SPI主器件而RF收发器充当从器件。微处理芯片寄存器提高了完全集成的驱动程序，免除了主应用程序管理射频芯片收发数据的任务。该层是网络层和物理层的接口层，来自电表和网络的数据该层处理，完成抄表功能。微处理芯片通过射频芯片与集中器以及其他采集终端进行数据交互，通过内嵌程序实现各种功能。与485接口通信，传输集中器指令，采集电能信息，将数据上传至无线网络。

## 2.4.1 射频芯片选择

### 一 nRF2401 芯片特点及性能

nRF2401<sup>[16][17]</sup>是挪威Nordic公司推出的单片2.4GHz无线收发一体芯片。它将射频、8051Mcu、9通道12位ADC、外围元件、电感和滤波器全部集成到单芯片中，并采用2.4GHz频带和0.18 $\mu$ m工艺，可提供ShockBurst、DuoCeiver、片上CRC以及地址计算编码等功能。nRF2401无线收发一体芯片和蓝牙一样，都工作在2.4GHz自由频段，能够全球无线市场畅通无阻。nRF2401支持多点间通信，最高传输速率超过1Mbit/s。而且比蓝牙具有更高的传输速度。它采用soc方法设计，只需少量外围元件便可组成射频收发电路。与蓝牙不同的是，nRF2401没有复杂的通信协议，它完全对用户透明，同种产品之间可以自由通信。nRF2401的主要特点如下：

(1)是一个具有很高集成度的无线通信芯片，低电压、低功耗采用 0.18 $\mu$ C MOS 工艺。低成本 2.4GHz 真正的收发芯片，整个收发系统包括所有的感应器和滤波器都在集成在一个芯片内，5m~10m 通讯范围。最大值发送电流 15mA，最大接收电流 18mA，电压 1.9V-3.6V，为了减少电流损耗和成本，nRF2401 内嵌多数通信特点。

(2)nRF2401 能同时接收两个通道数据。例如一个无线鼠标、一个无线键盘。这样消除了增加两个分离的 RX 调制。因此成本和空间大小都减少了很多。nRF2401 也能达到 1Mbit/s 的传输速率，它使用芯片上 FIFO 允许微处理器以一个低的速率传输而在 RF 收发时以很高的速率传输数据。这个特征叫做猝发 (shockburst)。它能解决功率消耗大的问题。典型在一个 10k/s 的持续传输中可减少 95% 的功率消耗。

(3)全球开放的 2.4GHz 频段 125 个频道，满足多频及跳频需要。高速率 1Mbps，高于蓝牙，具有高数据吞吐量。极少的外围元件。只需一个晶振和一个电阻。发射功率、工作频率等所有工作参数全部通过软件设置完成。

## 二 CC1020 射频芯片特点及性能

CC1020<sup>[19][20]</sup>是一种理想的超高频单片收发器芯片。主要用于 ISM(工业、科研及医疗)频带和在 426, 429 / 433, 868, 915MHz 频带的 SRD(Short Range Device——近距离设备)中，也可经编程后用于频率为 402MHz~470MHz 和 804MHz~940MHz 的多信道设备。

CC1020 主要的工作参数可通过串行总线接口编程，例如输出功率、频率及 AFC。在接收模式下，CC1020 可看成是一个传统的超外差接收器。RF 输入信号经低噪声放大器(LNA 和 LNA2)放大后，翻转经过积分器(I 和 Q)产生中频 IF 信号。在中频处理阶段，I、Q 信号经混合滤波、放大后经 ADC 转化成数字信号。然后进行自动获取控制、信道滤波、解调和二进制同步化处理，在 DIO 引脚输出数字解调数据，DCLK 引脚获取同步数字时钟数据。RSSI 为数字形式，并可通过串行接口读出。RSSI 还可作为可编程的载波检测指示器。

在发送模式下，合成的 RF 信号直接馈送到功率放大器 PA。射频输出是 FSK 信号，此信号是由馈送到 DIO 引脚的数字比特流通过 FSK 调制产生的。可使用一个高频滤波器来得到高斯频移键控 GFSK。芯片内部的收 / 发开关电路使天线容易接入和匹配。其主要特点有：

1. 微功率发射：最大发射功率为 10mW。
2. 工作频率在 ISM 频段：符合国家无线管理委员会标准，无需申请频点。载频频率 430MHz 也可提供 868/915MHz 载频。
3. 高抗干扰能力和低误码率：基于 FSK 的调制方式，采用高效前向纠错信道编码技术，提高了数据抗突发干扰和随机干扰的能力，在信道误码率为 $10^{-2}$ 时，可得到实际误码率 $10^{-5} \sim 10^{-6}$ 。
4. 传输距离远：在开阔地视距和模块波特率为 2.4Kbs 情况下，天线型号为 TCA07FR（贴片天线，增益 1db），距离地面高度为 2 米，数据可先靠传输距离可达 600m。天线型号为 TQJ-400SII（长度 2 米，增益 7.8db），距离地面高度 2 米，数据传输距离可达 800 米。
5. 大的数据缓冲区：接口波特率可为 2.4/4.8/9.6/19.2Kbit/s，格式为 8N1/801/8E1，可 1 次传 9 输无限长的数据帧，用户编程更灵活。
6. 智能数据控制，用户无需编制多余的程序：即使是半双工通信，用户也无需编制多余的程序，只要从接口收/发数据即可，其它如空中收/发转换，控制等操作，模块能够自动完成。
7. 采用窄带通讯技术：由于采用 CC1020 高级射频数据芯片窄带通讯技术，使得通讯稳定性大大增强，抗干扰性能特别好。

### 三 CC1100 射频芯片特点及性能

CC1100<sup>[20]</sup>是一种低成本真正单片的 UHF 收发器，为低功耗无线应用而设计。电路主要设定为在 315、433、868 和 915MHz 的 ISM（工业，科学和医学）和 SRD（短距离设备）频率波段，也可以容易地设置为 300-348MHz、400-464MHz 和 800-928MHz 的其他频率。RF 收发器集成了一个高度可配置的调制解调器。这个调制解调器支持不同的调制格式，其数据传输率可达 500kbps。通过开启集成在调制解调器上的前向误差校正选项，能使性能得到提升。

CC1100 为数据包处理、数据缓冲、突发数据传输、清晰信道评估、连接质量指示和电磁波激发提供广泛的硬件支持。CC1100 的主要操作参数和 64 位传输/接收 FIFO（先进先出堆栈）可通过 SPI 接口控制。在一个典型系统里，CC1100 和一个微控制器及若干被动元件一起使用<sup>[14]</sup>。

#### 1) CC1100 芯片主要特性

体积小 (QLP4×4mm 封装, 20 脚)

频率波段: 300-348MHz、400-464MHz 和 800-928MHz

高灵敏度 (1.2kbps 下-110dBm, 1%数据包误差率)

可编程控制的数据传输率, 可达 500kbps

较低的电流消耗 (RX 中 15.6mA, 2.4kbps, 433MHz)

可编程控制的输出功率, 对所有支持频率可达+10dBm

优秀的接收器选择性和模块化性能

极少的外部元件: 芯片内频率合成器, 不需要外部滤波器或 RF 转换

可编程控制的基带调制解调器

可控的数据包处理硬件

快速频率变动合成器带来的合适的频率跳跃系统

可选的带交错的前向误差校正

单独的 64 字节 RX 和 TX 数据 FIFO

高效的 SPI 接口: 所有的寄存器能用一个“突发”转换器控制

## 2) CC1100 芯片电路描述<sup>[21]</sup>

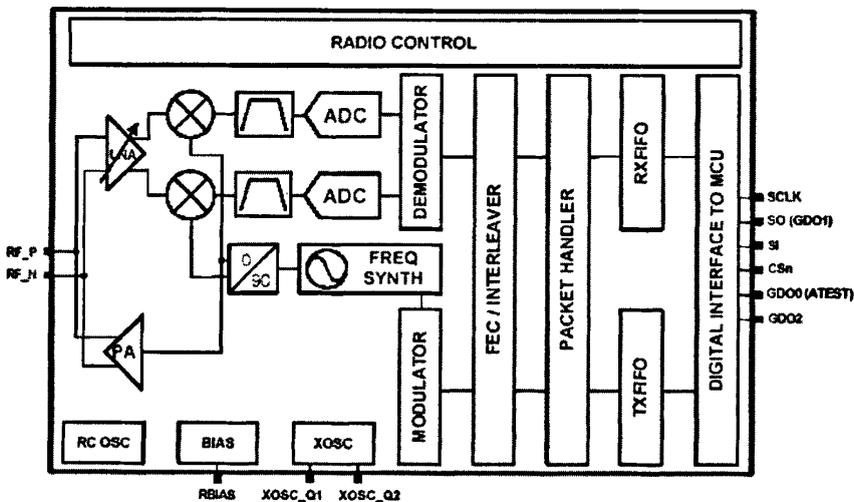


图 2.2CC1100 简化框图

CC1100 用作一个低 IF 接收器。接收的 RF 信号通过低噪声放大器 (LNA) 放大, 再对中间频率 (IF) 求积分来向下转换。在 IF 下, I/Q 信号通过 ADC 被数字化。自动增益控制 (AGC), 细微频率滤波和解调位/数据包同步均数字化地工作。

# 山东大学硕士学位论文

CC1100 的发送器部分基于 RF 频率的直接合成。频率合成器包含一个完整的芯片 LC VCO，和一个对接收模式下的向下转换混频器产生 I 和 Q LO 信号的 90 度相移装置。

一块晶体将连接在 XOSC\_Q1 和 XOSC\_Q2 上。晶体振荡器产生合成器的参考频率，同时为数字部分和 ADC 提供时钟。一个 4 线 SPI 串联接口被用作配置和数据缓冲通路。

综上，在无线抄表网络中，采集终端之间空间距离 200m-1000m，且无线通道内干扰比较多，对芯片传输距离和通信质量要求较高。nRF2401 射频芯片合理通信距离 10m 左右，远远达不到抄表网络无线通信距离的要求。CC1020 射频芯片采用窄带通信技术，使带宽比较窄，芯片受到干扰出现频率偏差时易导致通信失败，引发调频等一系列不必要动作，CC1100 各项性能均满足需要，因此采样该芯片作为射频芯片<sup>[23]</sup>。

## 2.4.2 射频芯片应用电路

射频芯片应用电路配置<sup>[20][21]</sup>如下图：

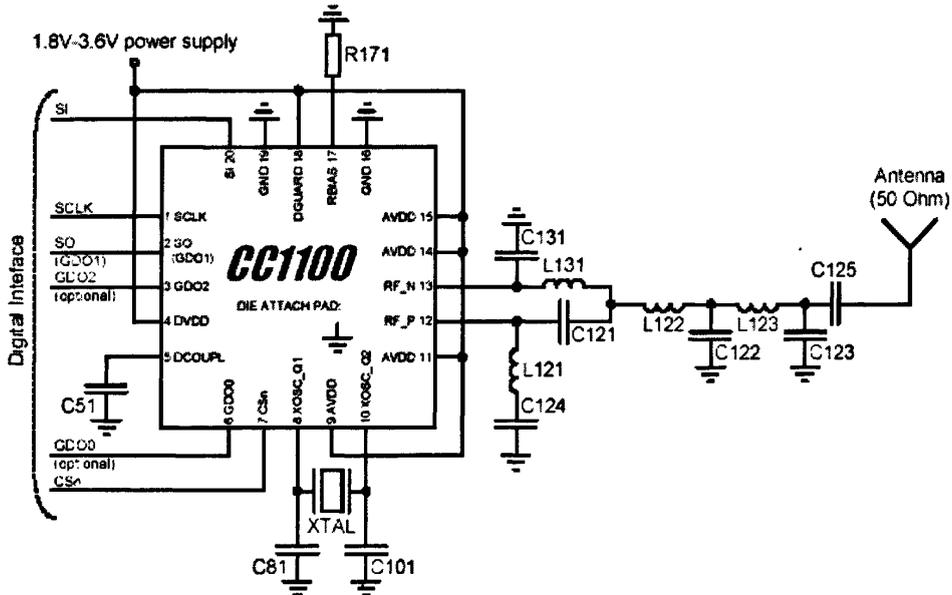


图 2.3 CC1100接口电路

### 1) 数据接口

# 山东大学硕士学位论文

CC1100通过4线SPI兼容接口(SI, SO, SCLK和CSn)配置。这个接口同时用作写和读缓存数据。SPI接口上所有的地址和数据转换被最先在重要的位上处理。在一个典型系统里, CC1100的接口显示为一个微控制器。这个微控制器必须能:

- ◇ 控制CC1100的不同模式
- ◇ 写入缓冲数据
- ◇ 通过4线SPI总线配置接口(SI, SO, SCLK和CSn)读回状态信息。

## 2) 平衡转换器和 RF 匹配

C131, C121, L121和L131形成一个平衡转换器,用以将CC1100上的微分RF端口转换成单端RF信号(C124也用在直流模块上)。同一个合适LC网络一起,平衡转换器元件也将阻抗转换以匹配50欧的天线(或电缆)。

## 3) 晶体振荡器

在26MHz-28MHz频率范围的晶体必须连接在XOSC\_Q1和XOSC\_Q2脚之间。振荡器为在晶体的平行模式操作而设计。另外,晶体负载电容(C81和C101)是必须的。负载电容值由总负载点容量CL决定,由晶体指定。在指定频率下,为使晶体振荡,晶体两端的总负载电容值应该等于CL。

$$C_L = \frac{1}{\frac{1}{C_{81}} + \frac{1}{C_{101}}} + C_{parasitic} \quad (2-1)$$

寄生电容由引脚输入电容和PCB漂移电容所组成。总寄生电容典型值为2.5pF。

表2.1 外部元件总揽

元件	描述
C51	数字部分的片内电压调节器的100nF退耦电容
C81/C101	晶体负载电容
C121/C131	RF平衡转换器/匹配电容
C122/C123	RF滤波/匹配电容
C124	RF平衡转换器DC模块电容
C125	RF LC滤波DC模块电容(只在在天线中有DC通路时需要)
L121/L131	RF平衡转换器/匹配电感

# 山东大学硕士学位论文

L122/ L123	RF LC滤波/匹配电感
R171	内部偏电流参考的56千欧电阻
XTAL	26MHz-27MHz晶体

## 2.5 通信模块软件部分设计<sup>[22]</sup>

### 2.5.1 芯片数据交互

CC1100 通过 4 线 SPI 兼容接口 (SI, SO, SCLK 和 CSn) 配置。这个接口同时用作写和读缓存数据。

SPI 的通信原理很简单，它以主从方式工作，这种模式通常有一个主设备和一个或多个从设备，需要至少 4 根线，事实上 3 根也可以（单向传输时）。也是所有基于 SPI 的设备共有的，它们是 SDI（数据输入），SDO（数据输出），SCK（时钟），CS（片选）。

- (1) SDO - 主设备数据输出，从设备数据输入
- (2) SDI - 主设备数据输入，从设备数据输出
- (3) SCLK - 时钟信号，由主设备产生
- (4) CS - 从设备使能信号，由主设备控制

其中 CS 是控制芯片是否被选中的，也就是说只有片选信号为预先规定的使能信号时（高电位或低电位），对此芯片的操作才有效。这就允许在同一总线上连接多个 SPI 设备成为可能。

接下来就负责通讯的 3 根线了。通讯是通过数据交换完成的，这里先要知道 SPI 是串行通讯协议，也就是说数据是一位一位的传输的。这就是 SCK 时钟线存在的原因，由 SCK 提供时钟脉冲，SDI, SDO 则基于此脉冲完成数据传输。数据输出通过 SDO 线，数据在时钟上升沿或下降沿时改变，在紧接着的下降沿或上升沿被读取。完成一位数据传输，输入也使用同样原理。这样，在至少 8 次时钟信号的改变（上沿和下沿为一次），就可以完成 8 位数据的传输，具体程序见附录 A。

### 2.5.2 数据格式化<sup>[21]</sup>

- (1) 数据率设计

# 山东大学硕士学位论文

传输时数据率被使用，或接收时数据率被期望，由 MDMCFG3.DRATE\_M 和 MDMCFG4.DRATE\_E 配置寄存器控制。数据率由下式算得。如下式所示，控制的数据率由晶体频率决定。

$$R_{DATA} = \frac{(256 + DRATE\_M) \cdot 2^{DRATE\_E}}{2^{28}} \cdot f_{XOSC} \quad (2-2)$$

下面的方法能用来找到对应于给定数据率的合适的值：

$$DRATE\_E = \log_2 \left( \frac{R_{DATA} \cdot 2^{20}}{f_{XOSC}} \right) \quad (2-3)$$

$$DRATE\_M = \frac{R_{DATA} \cdot 2^{28}}{f_{XOSC} \cdot 2^{DRATE\_E}} - 256 \quad (2-4)$$

## (2) 接收信道滤波带宽

为了满足不同信道宽度要求，使接收器信道滤波装置可编程控制。

MDMCFG4.CHANBW\_E 和 MDMCFG4.CHANBW\_M 配置寄存器控制接收器信道滤波带宽。接收器信道滤波带宽与晶体振荡器频率有关。下式给出了寄存器值和信道滤波带宽之间的关系：

$$BW_{channel} = \frac{f_{XOSC}}{8(4 + CHANBW\_M)2^{CHANBW\_E}} \quad (2-5)$$

CC1100 支持 54-63kHz 到 600-700kHz 之间的信道滤波带宽。然而，在 300kHz 之上，灵敏度和模块化性能会稍微降低。

为得到最高性能，信道滤波带宽应该选择为：信号带宽最多占 80% 信道滤波带宽。取决于晶体精确度的信道中心容差也应该从信号带宽中减去。

## (3) 数据包处理和硬件支持

CC1100 提供有为数据包导向的通信协议内置的硬件支持。

在传输模式下，数据包处理器将添加如下元素在存储在 TX FIFO 内的数据包中：

- ① 可控数量的前导字节
- ② 一个二字节同步词汇。能被复制以生成一个 4 字节同步词汇
- ③ 可选地，用 PN9 序列写入数据
- ④ 可选地，前向误差编码和插入数据
- ⑤ 可选地，在数据区域内计算和加入 CRC 求和

在接收模式下，数据包处理支持将对数据包进行解析：

- ① 前导侦测
- ② 同步词汇侦测
- ③ 可选一个字节地址检测
- ④ 可选计算和检测 CRC
- ⑤ 可选地，用 RSSI 值，连接质量指示器和 CRC 状态附 2 个状态字节。

## （4）数据白化

从通信观点来看，无线数据传输的理想情况是随机和直流随意的。在占用的波段之上，这个结果在最光滑的功率分配之内。这也给出了接收一致操作条件（无数据依赖）下的调节回路。

现实中的数据常含有很长序列的 0 和 1。在传输数据之前将其白化，在接收器里进行反白化，可提高性能。使用 CC1100，通过设置 PKTCTRL0.WHITE\_DATA=1，可自动完成这一过程。所有的数据，除前导和同步词汇外，在传输前将同一个 9 位伪随机的随意序（PN9）进行异或运算。在接收端，数据被同一伪随机的随意序列异或。这样，白化被反运算，接收端能得到原始数据。任何操作均建议设置 PKTCTRL0.WHITE\_DATA=1，除与其他系统兼容的需要之外。

## （5）数据包格式化

数据包的格式化能被配置，它包含如下项目：

- 1) 前导
- 2) 同步词汇
- 3) 长度字节或恒定可控的数据包长度
- 4) 可选的地址字节
- 5) 有效载荷
- 6) 可选的 2 字节 CRC

前导形式是一个交互的 0、1 序列（01010101...）。前导的最小长度是可编程控制的。当启用 TX 时，调制器开始传送前导。当前导字节被传送完毕，调制器开始发送同步词汇，然后传送来自 TX FIFO 的可利用的数据。若 TX FIFO 为空，调制器将继续传送前导字节，直到第一个字节被写入 TX FIFO。调制器将随后传送同步词汇和数据字节。

# 山东大学硕士学位论文

前导字节的长度由 MDMCFG1.NU\_PREAMBLE 值控制。

同步词汇是设置于 SYNC1 和 SYNC0 寄存器中的 2 字节值。同步词汇提供传入数据包的字节同步。一个字节同步词汇能通过设置前导形式的 SYNC1 值来仿效。通过使用 MDMCFG2.SYNC\_MODE=3 或 7 亦可能仿效一个 32 位同步词汇。此同步词汇将随后被重复 2 次。

CC1100 支持恒定长度数据包协议和可变长度协议。可变或固定数据包长度模式能支持的长度可达 255 字节。对更长的数据包，必须使用无限数据包长度模式。

恒定数据包长度模式由设置 PKTCTRL0.LENGTH\_CONFIG=0 来选择。理想的数据包长度由 PKTLEN 寄存器设置。数据包长度定义为有效载荷数据，不包括长度字节和可选自动 CRC。

表 2-2 数据包格式

前导字节	同步字节	发送的字节长度	地址字节 (可选)	数据区	CRC 校验
------	------	---------	--------------	-----	--------

## (6) 接收模式下的数据包滤波

CC1100 支持 2 种不同的数据包滤波标准：地址滤波和最大长度滤波。置 PKTCTRL1.ADR\_CHK 大于 0 将开启数据包地址滤波。数包处理机制将数据包种的的地址字节同 ADDR 寄存器中已设定的节点地址及 0x00 广播地址

(PKTCTRL1.ADR\_CHK=10 时)或同时 0x00 和 0xFF 广播地址(PKTCTRL1.ADR\_CHK=11 时)相比较。

如果接收地址同有效地址匹配，则数据包被接收且被写入 RX FIFO。若地址匹配失败，则数据包被丢弃。

可变数据包长度模式下，PKTLEN.PACKET\_LENGTH 寄存器的值用来设置最大允许数据包长度。若接收长度字节值比这个值大，则数据包被丢弃。

## (7) 传输模式下的数据包处理

将被传送的有效载荷必须写入 TX FIFO。当可变数据包长度可得时，第一个待写入的字节必须是长度字节。长度字节的值等于数据包（包括可选地址字节）的有

效载荷。如果固定数据包的长度可得，则第一个写入 TX FIFO 的字节被解释为目的地址，若此功能在接收端可用的话。调制器会先送入控制数目的前导字节。如果 TX FIFO 中的数据可用，调制器会发送 2 字节(或 4 字节)同步词汇，接着是 TX FIFO 中的有效载荷。若 CRC 可用，则计算所有拉入 TX FIFO 中数据的检验合。然后在有效载荷数据末端，这个结果被以 2 个额外字节发送。

若白化可用，则长度字节，有效载荷数据和 2 个 CRC 字节将被白化。这一步在可选 FEC/交错阶段完成。设置 PKTCTRL0.WHITE\_DATA=1，则白化可用。

若 FEC/交错器可用，则长度字节，有效载荷数据和 2 个 CRC 字节将被交错器混杂。在被调制之前，FEC 被编码。

### (8) 接收模式下的数据包处理

在接收模式下，解调器和数据包处理装置将会搜寻有效的前导和同步词汇。找到后，解调器就得到了位和字节同步，然后开始接收第一个有效载荷字节。

若 FEC/交错开启，则 FEC 译码器将开始对第一个有效载荷字节进行译码。交错装置将在任何其他处理数据的过程之前对比特进行反交错运算。

如果白化开启，则这个阶段数据将被反白化。

若可变数据包长度开启，则第一个字节为长度字节。数据包处理装置把这个值作为数据包长度存储，且接收长度字节数目的字节。如果固定数据包长度开启，则数据包处理装置会接收程序控制数目的字节。

然后，数据包处理装置随意地检查地址，地址匹配时才继续进行接收。若自动 CRC 检查开启，则数据包处理装置计算 CRC，并将它同附加 CRC 检验和相匹配。在有效载荷末端，数据包处理装置将随意写入 2 个包含 CRC 状态，连接质量指示和 RSSI 值的额外数据包状态字节。

### 2.5.3 数据收发<sup>[26]</sup>

#### 1) 接收过程

在接收模式下，解调器和数据包处理装置将会搜寻有效的前导和同步词汇。找到后，解调器就得到了位和字节同步，然后开始接收第一个有效载荷字节。

若 FEC/交错开启，则 FEC 译码器将开始对第一个有效载荷字节进行译码。交错装置将在任何其他处理数据的过程之前对比特进行反交错运算。如果数据白化开启，则这个阶段数据将被反白化。

# 山东大学硕士学位论文

按照本文规定的数据包格式，第一个字节为长度字节。数据包处理装置把这个值作为数据包长度存储，且接收长度字节数目的字节。如果固定数据包长度开启，则数据包处理装置会接收程序控制数目的字节。

然后，数据包处理装置随意地检查地址，地址匹配时才继续进行接收。若自动 CRC 检查开启，则数据包处理装置计算 CRC，并将它同附加 CRC 检验和相匹配。在有效载荷末端，数据包处理装置将随意写入 2 个包含 CRC 状态，连接质量指示和 RSSI 值的额外数据包状态字节。通过 SPI 口发送到 MCU 的存储区，在通过 UART 串口发送到上层。简化流程图 2.4 如下所示

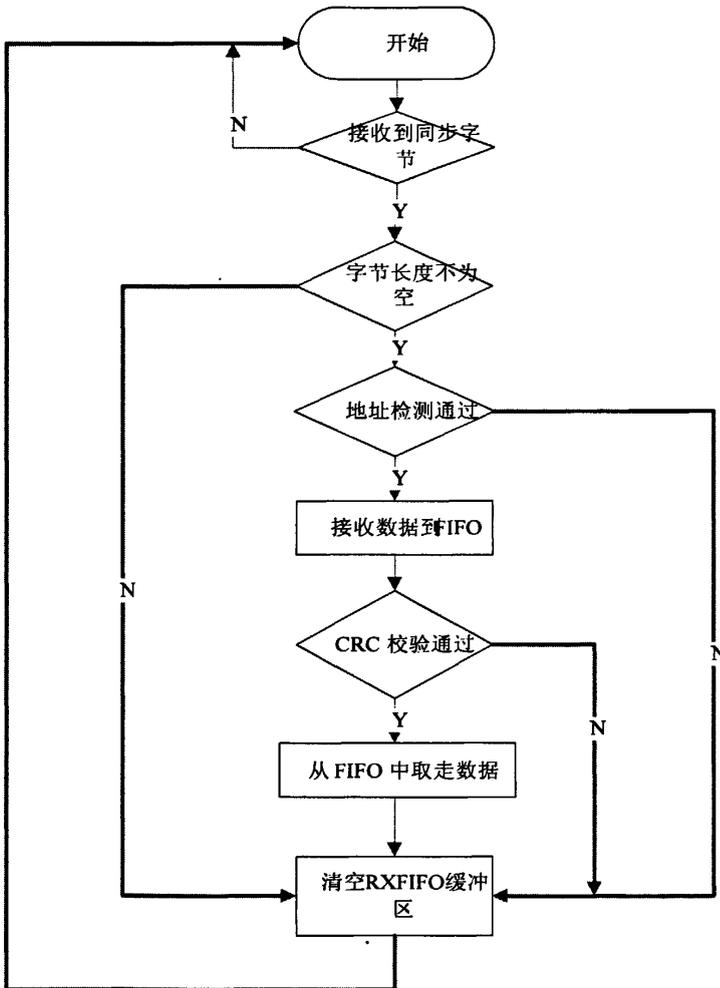


图 2.4 接受简化流程图

当无线模块 CC1100 接收到数据后，先进行地址检测，若与地址寄存器中的值相同，才进行接收，否则丢掉此帧（要启动此功能要把 PKTCTRL1 进行配置）。接

收完后在进行 CRC 校验，如果不正确就放弃此帧，并清空 CC1100 的接收缓冲区。正确的话就通过 SPI 口发送到 MCU 的存储区，在通过 UART 发送到上层。

## 2) 发送过程

将被传送的有效载荷必须写入 TX FIFO。当可变数据包长度可得时，第一个待写入的字节必须是长度字节。长度字节的值等于数据包（包括可选地址字节）的有效载荷。如果固定数据包的长度可得，则第一个写入 TX FIFO 的字节被解释为目的地址，若此功能在接收端可用的话。调制器会先送入控制数目的前导字节。如果 TX FIFO 中的数据可用，调制器会发送 2 字节（或 4 字节）同步词汇，接着是 TX FIFO 中的有效载荷。若 CRC 可用，则计算所有拉入 TX FIFO 中数据的检验合。然后在有效载荷数据末端，这个结果被以 2 个额外字节发送。

若白化可用，则长度字节，有效载荷数据和 2 个 CRC 字节将被白化。这一步在可选 FEC/交错阶段完成。设置 PKTCTRL0.WHITE\_DATA=1，则白化可用。

若 FEC/交错器可用，则长度字节，有效载荷数据和 2 个 CRC 字节将被交错器混杂。在被调制之前，FEC 被编码。

当上层有数据要发送时，通过 UART 口发送到 MCU 的存储区，MCU 在通过 SPI 口发送到 CC1100 的发送缓冲区 TXFIFO。在发送过程中 CC1100 会自动加上前导字节、同步字、CRC 校验。简化流程图如 2.5。

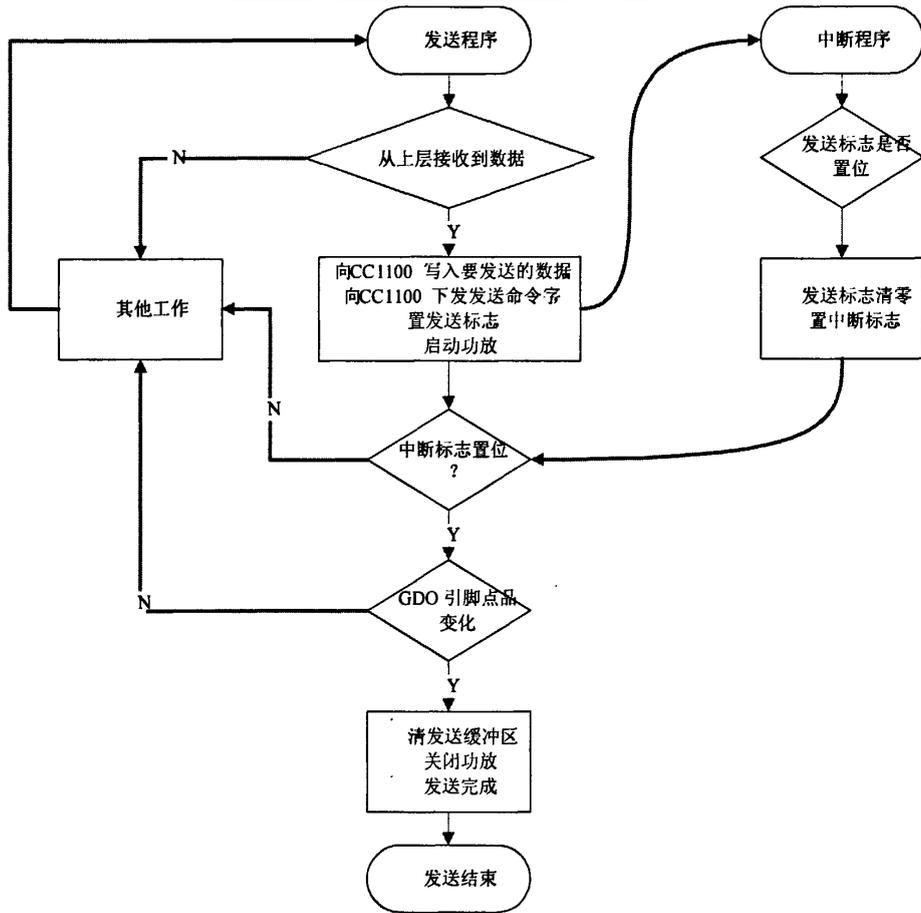


图 2.5 发送流程图

## 第三章 无线抄表路由技术

### 3.1 无线射频技术不足及解决方案

根据国家法律法规的规定和电子器件性能的限制，射频芯片的功率较小，覆盖区域有限，有效通信距离在 100—1000m 之间<sup>[25]</sup>。根据实际情况，我们可以得到一种采集终端和集中器的典型拓扑分布图。

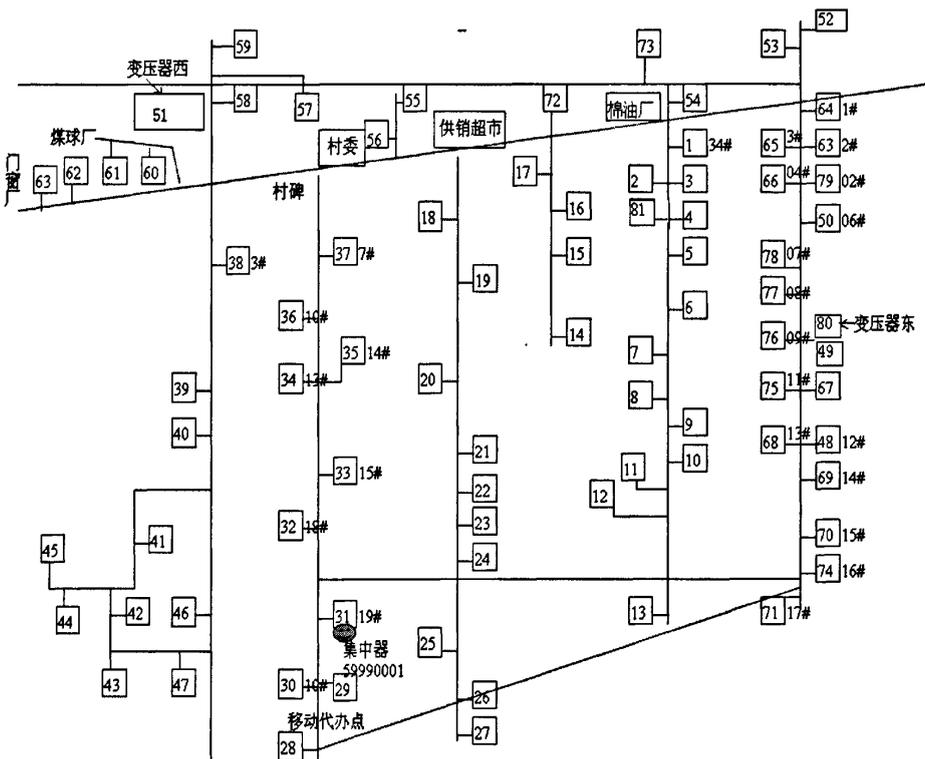


图3.1 单集中器抄表网络拓扑分布

图中，一些节点之间物理距离远大于有效通信距离，受到节点通信覆盖区域的限制，一些节点之间不能直接进行数据通信，集中器同样不可能覆盖所有采集终端，因此必须引入一种技术使节点之间最终能相互通信，这就是中继技术。早期中继实现是通过添加中继器来完成，这不但增加了成本，而且降低了网络健壮性，引发了各种问题<sup>[26]</sup>。本文根据无线路由技术<sup>[27]</sup>改进了采集终端的功能，为每个采集终端增加路由中继功能，使其即可作为基本功能节点，还可作为中继器转发数据。这种路

由技术<sup>[28][27]</sup>的应用一举解决了射频通信有效距离带来的各种问题,极大促进了无线抄表技术的发展。

## 3.2 路由

路由是指把信息从源穿过网络传递到目的地的行为,在路径上,至少遇到一个中间节点,路由包含两个基本的动作:确定最佳路径和通过网络传输信息,即选路和传输数据。传输数据相对来说比较简单,而选择路径很复杂。路由与桥接不同,与交换也不一样,它们的主要区别在于桥接和交换发生在OSI参考模型的第二层(数据链路层),而路由发生在第三层(网络层),这一区别使二者在传递数据的过程中使用不同的信息,从而以不同的方式来完成其任务<sup>[29]</sup>。

### 3.2.1 路由算法及协议概述<sup>[30][31]</sup>

路由算法可以理解为了实现路由功能而设计的计算方法,它是网络层软件的核心部分,负责确定所收到分组应传送的外出路线。路由算法可以根据多个特性来加以区分。首先,算法设计者的特定目标影响了该路由算法的操作;其次,存在着多种路由算法,每种算法对网络和路由器资源的影响都不同;最后,路由算法使用多种度量机制(metric),影响到最佳路径的计算。

路由算法有多种分类方式,包括:链路状态与距离矢量、平面与分级、单路径与多路径、主机智能与路由器智能、静态与动态等。路由算法的设计目标主要有收敛迅速、健壮稳定、简单低耗、优化、灵活等。

路由协议(Routing Protocol)是实现路由算法的协议,是路由器之间实现路由信息共享的一种机制,它允许路由器之间相互交换路由信息和维护各自的路由表。路由协议负责收集关于网络当前状态的数据并寻找最优传输路径,根据这些数据,路由器就可以创建和维护路由表以便用于以后的数据分组转发。如RIP(Routing Information Protocol)路由协议和OSPF(Open Shortest Path First)就是Internet中最主要的两个路由协议。路由算法是路由协议的核心,路由协议是路由算法的具体实现。

无线抄表网络对路由算法及协议设计的要求除了传统的设计目标外,根据其网络特性对路由算法及协议的设计提出了新的要求和挑战,主要有:

(1) 适应动态拓扑。无线抄表网络的拓扑结构是动态的, 随时处于变化之中, 这对路由算法和协议的收敛造成了很大困难, 要求路由算法和协议必须对拓扑的变化具有快速反应能力, 在计算路由时能够迅速收敛, 避免出现目的节点不可达的情况。传统的路由算法如 DVA 和 LSA 等因为难以收敛而变得不再适用, 有待改进。

(2) 提供无环路由。无论在有线网络还是无线网络, 提供无环路由是对路由算法和协议的一项基本要求。但在移动 Ad Hoc 网络中, 由于拓扑结构动态变化会导致大量已有路由信息在短时间内作废, 从而更容易产生路由环路, 因此, 在移动 Ad Hoc 网络中提供无环路由就显得尤为重要而且更难做到。

(3) 节约终端资源。无线移动终端使用可耗尽能源, CPU 性能、内存大小、外部存储容量等都低于固定的有线终端, 因此, 在无线抄表网络中必须节约终端资源。有线网络中一味增加计算的复杂度来换取路由算法和协议性能的做法, 在无线网络中不再适用。

到目前为止, 针对自组网的特点研究人员已经提出了一些路由协议。这些移动自组网的路由协议, 可以根据不同的分类原则, 从多个角度加以分类:

(1) 表驱动型路由(Table Dirven)、按需驱动型路由(On Demand-dirven)和混和型路由(hybrid)

(2) 平面型路由(flat)和层次型路由(hierarchical)

(3) 单路径型路由(single-path)和多路径型路由(multi-path)

(4) GPS 辅助型路由(GPS assisted)和非 GPS 辅助(non-GPS assisted)型路由

这些策略的侧重点各有不同, 在具体的路由协议设计过程中, 可以采用单一策略, 也可以同时采用多种策略, 如按需 GPS 辅助型多路径路由协议等。在以上这几种自组网路由协议分类中, 表驱动型路由、按需驱动型路由和混和型路由的分类方式是当前使用的最为普遍的, 本文也使用这种分类方式来分析和讨论现有的各种移动自组网路由协议。

### 3.2.2 表驱动型路由协议<sup>[34][35]</sup>

表驱动路由协议又被称为先应式路由协议, 它是一种基于路由表的路由协议。在表驱动路由协议中, 每个节点必须维护一个或多个路由表来记录路由信息。节点间通过周期性的交换路由信息来不断更新自身的路由表, 以便能够及时的反映

网络拓扑结构的变化。表驱动路由协议的最大优点在于，当节点有路由请求时，所需的路由信息能够被立刻获得。它的主要缺点在于，在自组网网络环境中，由于网络的拓扑结构不断变化，路由更新将带来巨大的网络开销。下面将对一些重要的表驱动路由协议进行分析和比较。

### 1) DSDV<sup>[35][36]</sup>

DSDV(Destination-Sequenced Distance-Vector)是一个基于经典Bellman-Ford 算法的表驱动路由协议。其主要特点是采用序列号机制来避免可能产生的路由环路。

DSDV通过给每个路由设定序列号来区分新旧路由，并防止路由环路。它在每个移动节点在本地保留一张路由表，其中包括所有有效目的节点的下一跳地址、路由跳数、目的节点路由序列号等信息，目的节点路由序列号用于区分有效和过期的路由信息以避免环路的产生。

路由表更新分组在全网内周期性地广播而使路由表保持连贯性。每个节点必须周期性地将本地路由表传送给邻近节点，或者当其路由表发生变化时，也会将其路由信息传给邻近节点。路由表的更新有两种方式：一种方式是全部更新，即拓扑更新消息中将包括整个路由表，主要应用于网络变化较快的情况；另一种是部分更新，更新消息中仅包含变化的路由部分，通常适用于网络变化较慢的情况。

DSDV协议的主要优点是消除了路由环路，加快了收敛速度，同时减少了控制信息的开销。但是它的不足在于它难以适应速度变化快的移动自组网。

### 2) WRP<sup>[37]</sup>

WRP(Wireless Routing Protocol)协议是个基于路由表的路由协议。在WRP协议中，每个节点需要维护距离表、路由表、链路费用表和消息重传列表MRL(Message Retransmission List)。

节点的距离表中包含了每一个目标节点通过该节点到每个相邻节点的距离，同时也包含了下游节点的信息。节点的路由表包含了每个目标节点到该节点的距离值，该节点的前驱节点和后继节点，还包含了一个标记，主要用于识别路由表项是简单路径、环还是无效路由。在表中存储前驱节点和后继节点非常有利于检测环和避免计数到无穷的问题。链路费用表则主要包含到该节点的每个相邻节点的链路成本。消息重传列表MRL包含的信息主要是用于让节点知道它的哪个相邻节点还没有确认它的更新消息，并重传更新消息到该邻节点。

WRP协议从许多方面对距离矢量路由进行了改进。首先，WRP协议没有链路交换，它周期性的交换一个简单的HELLO分组，而不是交换整个路由表。其次，为了提高传输信息更新的可靠性，WRP中的每个节点必须为收到更新分组发送确认信息。如果在一定时间内，节点没有收到正确的确认信息，那么节点必须重传该分组。此外，前驱节点ID信息的记录使WRP协议能够通过循环，计算出从源节点到目的节点的整个路径。

WRP算法的独特之处在于当它每次检测到任何一个邻居节点的链路发生改变时，它会检查所有邻居节点的一致性。以这种方式进行的一致性检查有助于以一种更好的方式消除环路状况同时具有快速的收敛性。因此，WRP协议能够大大改善路由环路问题，加快路由协议的收敛速度，减少无穷计算问题的发生。

### 3.2.3 按需驱动型路由协议<sup>[38]</sup>

与表驱动路由协议不同，按需驱动路由协议不需要周期性地路由更新。当源节点有路由需要时，泛洪一个路由请求分组来构造一个路由。当收到路由请求分组后，目的节点基于某种路由选择算法来选择最好的路由。然后路由应答分组沿着这条选择的路由返回源节点。按需驱动路由的最大优点是它不需要周期性对路由信息进行广播，节省了移动自组网网络中的有限资源。它的缺点是等待路由发现将带来一定的延时。下面将对一些重要的按需驱动路由协议进行分析和比较。

#### 1) AODV<sup>[38][39]</sup>

AODV(On-Demand Distance Vector Routing)协议是一个建立在DSDV上的按需路由协议。在AODV协议中，当中间节点收到一个路由请求分组后，它能够通过反向学习来取得到源节点的路径。目的节点最终收到这个路由请求分组后，可以根据这个路径回复这个路由请求。这样在源节点和目的节点之间就建立起了一条全双工路径。

AODV协议的特点在于它采用逐跳转发分组方式，同时加入了组播路由协议扩展。其主要缺点是不支持单向信道。

AODV协议是一个典型的按需路由协议。它借用了DSR中路由发现和路由维护的基础程序，及DSDV的逐跳路由、顺序编号和路由维护阶段的周期更新机制，以DSDV为基础，结合DSR中的按需路由思想并加以改进。

AODV在每个中间节点隐式保存了路由请求和应答的结果，通过建立基于按需路由来减少路由广播的次数。和DSR相比，AODV的好处在于源路由并不需要包括在每一个数据分组中，这样会使路由协议的开销有所降低。

AODV协议可以实现在移动终端间动态的、自发的路由，使移动终端很快获得通向所需目的的路由，同时又不用维护当前没有使用的路由信息，并且还能很快对断链的拓扑变化做出反应。AODV路由表中每个项都使用了目的序列号。目的序列号是目的节点创建，并在发给发起节点的路由信息中使用的。从而避免了环路的发生，并且很容易编程实现。当源节点需要和目的节点通信时，如果在路由表中已经存在对应的路由时，AODV不会进行任何操作。当源节点需要和新的目的通信时，它就会发起路由发现过程，通过广播RREQ信息来查找相应路由。建立路由表后，在路由中的每个节点都要执行路由维持、管理路由表的任务，在路由表中都需要保持一个相应目的地址的路由表，实现逐跳转发，因此只有源节点知道到目的节点的完整路由，而中间节点都不知道有关的路由信息。为了克服路由建立需要时间相对较长的不足。AODV采取了以下的措施来加以改善：

- 1) 到某个目的节点的路由可以由知道路由的中间节点进行响应
- 2) 链路失效能够被立即报告，这样路由可重新建立。
- 3) 不活跃的路由在一定时间后会被删除。

因此AODV具有简单高效、响应迅速、无环路的特点。

## 2) DSR<sup>[40][41][36]</sup>

DSR(Dynamic Source Routing)是一种基于源路由的按需驱动路由协议，它使用源路由算法而不是按逐跳路由的方法。网络中每一个节点需要维护一个已知路由表，并当发现新的路由时就更新该路由表。每一个数据包的包头都包含该数据包从源节点到目的节点路由所经过的中间节点序列信息，故称为源路由算法。

DSR的优点在于DSR中，节点仅需要维护与之通信的节点的路由，协议开销较小；同时DSR使用路由缓存技术减少了路由发现的开销；此外，一次路由发现过程可能会产生多条到目的点的路由，这也将有助于DSR的路由选择。DSR的缺点在于，由于每个数据包的头部都需要携带路由信息，数据包的额外开销较大；路由请求消息采用泛洪方式，使得相邻节点路由请求消息可能发生传播冲突并可能会产生重复广播；由于缓存路由，过期路由会影响路由选择的准确性。

# 山东大学硕士学位论文

DSR(Dynamic Source Routing)协议是一个基于源路由概念的按需自适应路由协议, DSR的最大特点是使用了源路由机制, 每一个分组的头部都包含整条路由信息。采用缓冲器存放路由信息, 且中间节点不必存储转发分组所需的路由信息, 网络开销较少。DSR协议包括两个过程: 路由发现和路由维护。

当一个节点想要发送数据到目的节点时, 它首先查询路由器看是否有到达目的节点的路由。如果有, 则采用此路由发送数据。如果没有, 源节点就开始启动路由发现程序。发现过程使用洪泛发送“路由请求”分组。收到“路由请求”分组的节点, 若满足:

- 1) 该节点不是目的节点且无所需路径。
- 2) 请求分组头部的源路由序列中不包含该节点。
- 3) 该节点没有接收过同样的路由请求分组。

则节点将自己的地址附加到“路由请求”分组头部的路由序列中, 并将分组转发给所有相邻的节点。若请求分组头部的源路由序列中不包含该节点, 而该节点接收过同样的路由请求分组, 则节点将删除该请求分组, 防止循环处理和出现路由环路。若该节点不是目的节点, 节点自己路由表中记录有到目的节点的路由信息, 节点将发送“路由应答”给源节点, 应答中包含了从源节点到目的节点的路由。源节点获取路由后, 使用源路由进行数据通信。

一旦节点在发送数据时发现需要使用的邻节点断开, DSR发送“路由出错”分组给这些断开路由的节点, 源节点收到分组后, 将失效路由从路由表中删除。沿途转发“路由出错”的节点也从自己的路由表中删除包含该断开链路的所有路由。

除路由错误分组外, 确认分组可以用来验证路由连接的正确运行。路由维护过程中, 源节点监测网络拓扑的变化。若有变化导致源路由中断, 源节点就尝试用缓存中的路由信息; 如果不成功, 就重新启动路由发现过程。为减少路由开销, 节点缓存学习到的或用过的路由信息, 并通过随机收听的方式来获取路由信息。

DSR协议具有以下特性:

- a) 路由开销小, 支持节点睡眠;
- b) 支持中间节点的应答, 能使源节点快速获得路由, 但会引起过时路由问题;
- c) 每个分组都需要携带完整的路由信息, 造成开销很大, 网络可扩展性不强;

## 3.3 智能小区无线抄表网路路由方案

### 3.3.1 路由协议选择

在图所示的抄表网络中，具有其特殊性：一方面，在组网过程中，若普通节点发起路由请求，则网络中所有路由请求的目的地址都相同(即中心节点)，其路由表中路由的目的地址也都是中心节点，且网络中普通节点的地位都是平等的，任何两个普通节点不会主动有数据传输；另一方面，网络建立后，节点的可移动性差，拓扑变化小，网络比较稳定。针对其网络的复杂性低和路由开销小的特点对上述路由协议进行改进，使之更适应抄表网络的应用。智能小区中前端仪表位置固定，不存在由于节点移动引起的路由变化，且通信终端为一个或多个集中器，目的节点确定，可以人为设置路由表，无需通过搜索产生路由表，因此表驱动路由协议比较适合这种情况<sup>[41][42]</sup>。这样做的优点是：

- ◇ 降低了程序复杂性，节省了内存，使程序更具应用价值；
- ◇ 人工选择路径，平衡每个采集终端能量消耗，是终端均工作在正常状态，保护了网络的稳定性；
- ◇ 提高了通信速度，并极大减少了拓扑变化时带来的巨大网络开销；

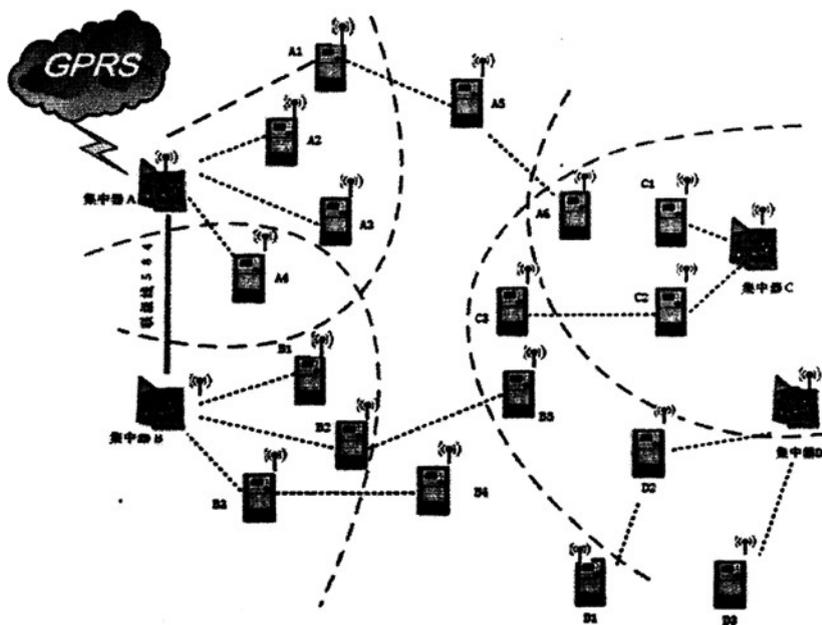


图 3.2 多集中器抄表网络拓扑分布

当节点所设置路由表项无效时，则启动按需路由协议的路由发现，因此智能小区抄表网路路由协议是一种混合协议。

节点的路由表包含了每个目标节点到该节点的距离值，该节点的后继节点，还包含了一个标记，主要用于识别路由表项是简单路径、环还是无效路由<sup>[36][39]</sup>。在表中存储前驱节点和后继节点非常有利于检测环和避免计数到无穷的问题。每个节点要有多条路径通往同一个目的节点，且尽量减少路径交叉节点，维护路由健壮性。每条路径的距离值和其权值(RSSI)作为路径选择的重要标准(RSSI值是对当前信道中信号等级的评估。此值是基于RX链中的当前增益设定和信道中的测得信号等级)。下表为节点C3保存的路由表：

表 3.1 节点路由表

目的节点	下一跳节点	距离值	序列号	路径状态	权值
C	C2	2	C2_114	TURE	13
C	A6	2	A6_87	TURE	10
D	B5	3	B5_32	TURE	8

### 3.3.2 算法描述<sup>[42]</sup>

节点正常工作时，按一定时间间隔进行路由维护，确定路由表中每条路径的状态以及获得路径可靠率，为路径选择提供依据。若路由表中有可选路径，那么程序根据路径权值选择最佳通信路由；当路由表中路径皆不可用或通信过程中路径中断时启动路由发现获得一条或几条路径，同样根据路径权值选择最佳路径。

#### 1) 路由维护

路由维护时，节点根据向路由表项中邻节点周期性的交换一个简单的HELLO分组，而不是交换整个路由表。其次，为了提高传输信息更新的可靠性，每个节点必须为收到更新分组发送确认信息。如果在一定时间内，节点没有收到正确的确认信息，那么节点必须重传该分组。通过交换分组来确定路径的状态，为路由选择提供依据。

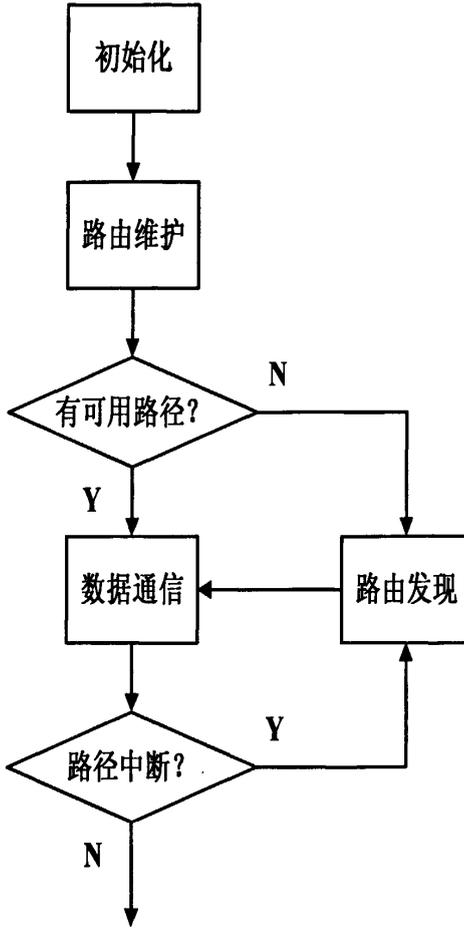


图 3.2 路由流程图

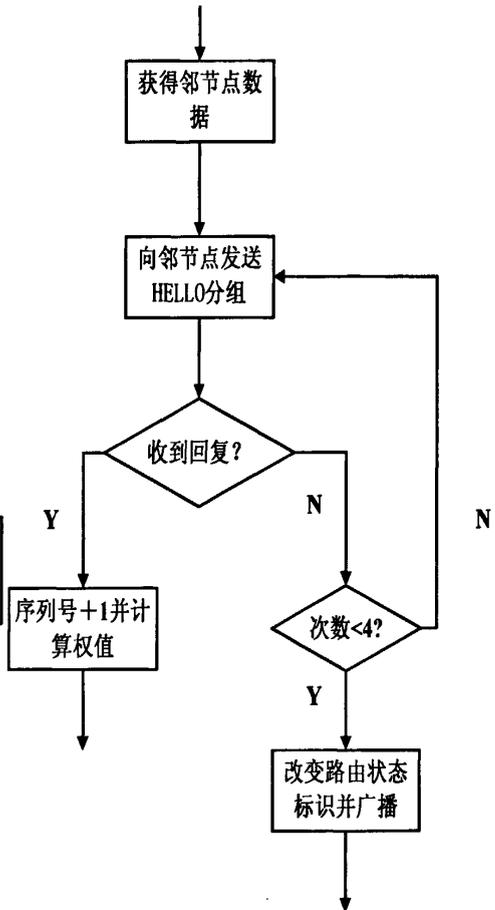


图 3.3 路由维护流程图

当某路径状态改变时，节点广播路径信息，使节点逐层改变路由表中路由状态标识。

## 2) 路由发现

路由发现借鉴 DSR 路由协议发现机制，能迅速可靠找到正确路由。路由维护时，节点路由表中各条路由状态均为 FALSE，那么节点启动路由发现程序，广播路由发现消息。收到广播信息的节点将经过简单判断来决定下一步操作，满足上述条件则节点将自己的地址附加到“路由请求”分组头部的路由序列中，并将分组转发给所有相邻的节点。若请求分组头部的源路由由序列中不包含该节点，而该节点接收过同样的路由请求分组，则节点将删除该请求分组，防止循环处理和出现路由环路。若该节点不是目的节点，节点自己路由表中记录有到目的节点的路由信息，节点将发送

“路由应答”给源节点，应答中包含了从源节点到目的节点的路由。源节点获取路由后，使用源路由进行数据通信。

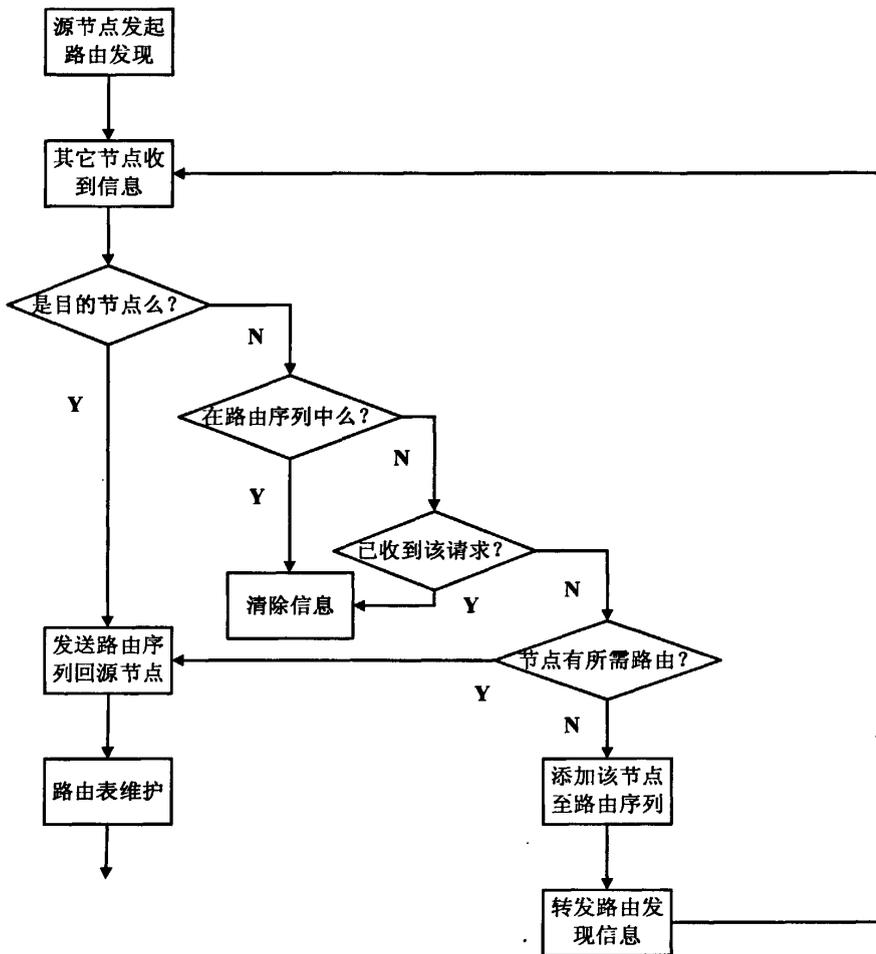


图 3.4 路由发现流程图

### 3.4 无线抄表技术发展趋势

随着网络技术的发展，各种新技术将不断应用于抄表网络，使抄表系统的智能化程度将进一步提高，目前抄表网络的发展趋势之一是自组网。自组网技术的应用将大大提高无线抄表网络的可靠性、健壮性以及可扩展性，极大的满足了未来对抄表技术的要求，目前自组网技术在抄表领域的应用得到了越来越多的关注，它将在未来抄表领域占有重要地位<sup>[43][44]</sup>。

### 3.4.1 移动 Ad Hoc 网络简介<sup>[30][48]</sup>

自组网有许多英文名称, 例如 Ad Hoc Network、Self-organizing Network、Infrastructureless Network、Multi-hop Network 和 Packet Radio Network, 其中最常用的是 Ad Hoc Network。Ad Hoc 的意思是“for this”引申为“for this purpose only”, 即“为某种目的设置的, 特别的”意思, 即 Ad hoc 网络是一种有特殊用途的网络。Ad Hoc 网络是一种没有有线基础设施支持的移动网络, 网络中的节点均由移动主机构成。

Ad Hoc 网络的前身是分组无线网 (Packet Radio Network)。早在 1972 年, 美国 DARPA 就启动了分组无线网项目 PRNET, 研究在战场环境下利用分组无线网进行数据通信。在此之后, DARPA 于 1983 年启动了高残存性自适应网络项目 SURAN (Survivable Adaptive Network), 研究如何将 PRNET 的研究成果加以扩展, 以支持更大规模的网络。1994 年, DARPA 又启动了全球移动信息系统 GIMS (Globe Mobile Information Systems) 项目, 旨在对能够满足军事应用需要的、可快速展开、高抗毁性的移动信息系统进行全面深入的研究。成立于 1991 年 5 月的 IEEE802.11 标准委员会采用了“Ad Hoc 网络”一词来描述这种特殊的自组织对等式多跳移动通信网络, Ad Hoc 网络就此诞生。IETF 也将 Ad Hoc 网络称为 MANET (移动 Ad Hoc 网络)。

自组网是一组带有无线收发信装置的移动节点组成的一个无线移动通信网络, 它不依赖与预设的基础设施而临时组建, 网络中移动的节点利用自身的无线收发设备交换信息, 当相互之间不在彼此的通信范围内时, 可以借助其他中间节点中继来实现多跳通信。中间节点帮助其它节点中继时, 先接收前一个节点发送的分组, 然后向下一个节点转发以实现中继, 所以也成为分组无线网或多跳网。

在拓扑分布图中, 终端 C 与终端 O 无法之间直接通信, 但通过路由协议, 终端 C 的数据可以通过路径 C→G→A→L→O、C→B→Q→S→K→O、C→H→J→N→M→O 等多跳路径多跳到达终端 O, 然后根据通信协议完成通信。这些路径中, 交叉节点较少, 某一条路径中采集终端故障时不影响其它路径的数据传输, 大大增强了网络健壮性, 提高了通信可靠性。

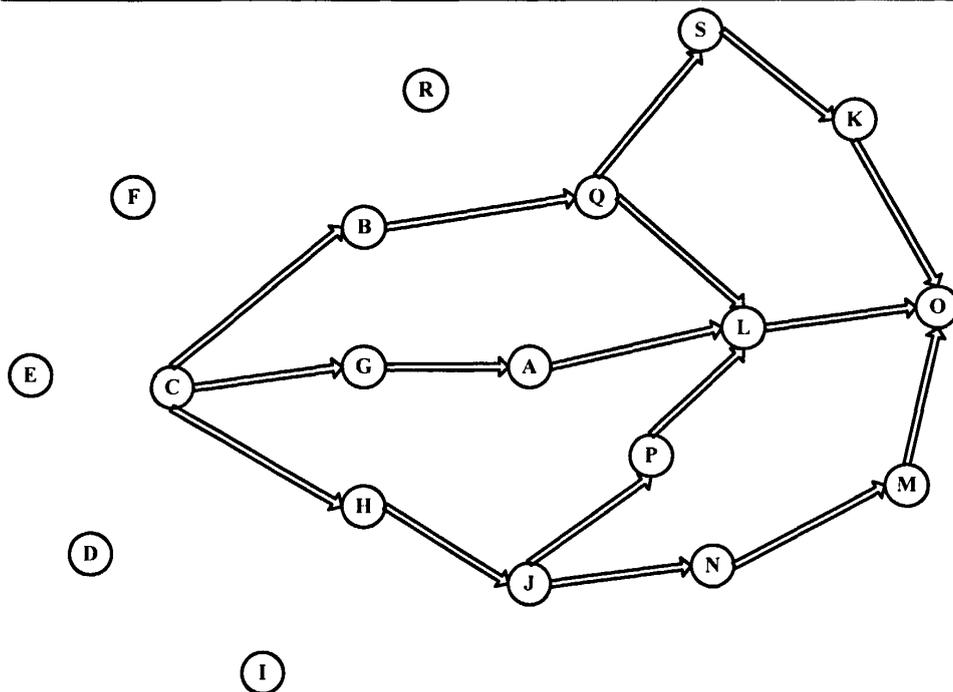


图 3.5 多跳无线自组网

### 3.4.2 Ad Hoc 网络的特点

(1) 多跳 “多跳”的意思为跳数大于1。所谓“跳数”就是指经过的路由器的个数，经过一个路由器就是1跳。由于节点的通信距离有限，移动 Ad Hoc 网络在寻找路由和传输数据的过程中分组通常都要经过多个路由器进行中继才能到达目的地，因此，它是一个多跳的网络，类似于 Internet 而有别于蜂窝网、无线局域网等单跳网络。多跳的特点给工作在同频共享时分复用无线信道的移动 Ad Hoc 网络带来了“隐藏终端”、“暴露终端”、“入侵终端”等问题，对网络性能造成严重影响。

(2) 动态拓扑 动态变化的网络拓扑是移动 Ad Hoc 网络的一个显著特点。由于用户终端的随机移动、无线发信装置发送功率的变化、无线信道间的互相干扰以及地形等综合因素的影响，移动终端间通过无线信道形成的网络拓扑结构随时都有可能发生变化，而且变化的方式和速度都是不可预测的。

(3) 网络的自组性 移动 Ad Hoc 网络是一种具有自组织、自配置、自我管理功能的网络，它可以在任何时间、任何地点不依赖现有网络基础设施，通过节点之间的自我组织，快速、灵活地构建一个移动通信网络。

(4) 分布式控制 移动 Ad Hoc 网络中用户终端的地位平等, 不存在中心控制点, 网络路由协议通常采用分布式控制方式, 因此它比采用集中式控制的网络具有更强的健壮性和抗毁性。

(5) 有限的无线传输带宽 无线信道的物理特性决定了移动 Ad Hoc 网络所能提供的网络带宽相对有线信道要低很多, 即使在技术要求相当高的 IEEE802.1110 标准中, 最高速率也只能达到 54Mbps。

(6) 信道容量不稳定 网络节点竞争同频共享、时分复用无线信道所带来的碰撞、干扰、信号衰减等因素以及“隐藏终端”、“暴露终端”和“入侵终端”的存在, 不仅使节点可得到的有效信息传输带宽远小于传输信道的最大带宽, 而且也导致了无线链路容量的动态变化, 从而造成了信道容量的不稳定。

(7) 单向信道的存在 单向信道是指存在单向链路的信道。由于各个无线终端发射功率的不同以及地形环境的影响, 移动 Ad Hoc 网络中可能产生单向链路, 使相邻两节点只能进行单向通信。单向信道为移动 Ad Hoc 网络带来三个严重影响: 认知单向性、路由单向性和目的节点不可达。

(8) 移动终端的自主性 移动 Ad Hoc 网络中的移动终端具有自主性, 能够运行面向用户的应用程序以提供用户使用网络的人机接口。

(9) 移动终端资源的局限性 移动 Ad Hoc 网络中的移动终端(如笔记本电脑、手持终端等)具有灵巧、轻便、移动性好等优点, 但它们的一些固有特性, 如采用电池一类可耗尽能源提供电源、内存较小、CPU 性能较低等, 影响了网络的寿命和性能。

(10) 可扩展性 移动 Ad Hoc 网络通常只有几个~几千个节点, 网络规模无法跟拥有成千上万节点的 Internet 相比; 而且由于受到多跳属性和网络传输能力等因素影响, 节点数目增加与端到端时延增加、分组传送成功率下降的矛盾很难解决, 这些因素严重影响了移动 Ad Hoc 网络的可扩展性。

(11) 有限的网络安全 移动 Ad Hoc 网络工作在无线共享广播信道, 与有线网络相比, 存在更加严重的安全性问题。在设计网络时, 需要仔细考虑窃听、欺骗和拒绝服务攻击等。

(12) 较短的生存时间 移动 Ad Hoc 网络多用于战场、救灾等特殊场合, 通常是由于某个特定原因而临时构建的, 使用结束后, 网络环境将会自动消失。因此, 相对于固定网络而言, 移动 Ad Hoc 网络的生存时间较短。

在上述特点中，移动 Ad Hoc 网络本质的特点是“多跳+动态拓扑”，这个合二为一的特点能够把移动 Ad Hoc 网络同 Internet、蜂窝网和无线局域网等其它网络明显区分开来。

### 3.4.3 Ad hoc 网络的应用

Ad hoc网络的许多优良特性为它在民用和军事通信领域占据一席之地提供了有利的依据。首先，网络的自组性提供了廉价而且快速部署网络的可能。其次，多跳和中间节点的转发特性可以在不降低网络覆盖范围的条件下减少每个终端的发射范围，从而降低设计天线和相关发射/接收部件的难度，也降低了设备的功耗，从而为移动终端的小型化、低功耗提供了可能。从共享无线信道的角度来看，Ad hoc网络降低了信号冲突的几率，提高了信道利用率。从对使用者的保护来看，高功率的无线电波产生的电磁辐射对用户的身体健康也有影响。另外，网络的鲁棒性、抗毁性满足了某些特定应用需求。它的应用场合可以归纳为以下几类：

1) 军事应用：军事应用是Ad hoc网络技术的主要应用领域。因其特有的无需架设网络设施、可快速展开、抗毁性强等特点，它是数字化战场通信的首选技术，并已经成为战术互联网的核心技术。为了满足信息战和数字化战场的需要，美军研制了大量的无线自组织网络设备，用于单兵、车载、指挥所等不同的场合，并大量装备部队。美军的近期数字电台NTDR和无线互联网控制器等通信装备都使用了Ad hoc网络技术。

2) 传感器网络：传感器网络是Ad hoc网络技术应用的另一大领域。对于很多应用场合来说传感器网络只能使用无线通信技术，并且传感器的发射功率很小。分散的传感器通过Ad hoc网络技术组成一个网络，可以实现传感器之间和与控制中心之间的通信。这种网络具有非常广阔的应用前景。

3) 紧急和突发场合：在发生了地震、水灾、火灾或遭受其它灾难后，固定的通信网络设施都可能无法正常工作。此时Ad hoc网络能够在这些恶劣和特殊的环境下提供通信支持，对抢险和救灾工作具有重要意义。此外当刑警或消防队员紧急执行任务时，可以通过Ad hoc网络来保障通信指挥的顺利进行。

4) 动态场合和分布式系统：通过无线连接远端的设备、传感节点和激励器，Ad hoc网络可以方便地用于分布式控制，特别适合于调度和协调远端设备的工作，

减少分布式控制系统的维护和重配置成本。Ad Hoc无线网络还可以用于在自动高速公路系统（AHS）中协调和控制车辆，对工业处理过程进行远程控制等。

5) 个人通信：个人局域网（PAN）是Ad hoc网络技术的又一应用领域，用于实现PDA、手机、掌上电脑等个人电子通信设备之间的通信，并可以构建虚拟教室和讨论组等崭新的移动对等应用（MP2P）。考虑到电磁波的辐射问题，个人局域网通信设备的无线发射功率应尽量小，这样Ad hoc网络的多跳通信能力将再次展现它的独特优势。

6) 商业应用：组建家庭无线网络、无线数据网络、移动医疗监护系统和无线设备网络，开展移动和可携带计算以及无所不在的通信业务等。

Ad hoc 技术应用与抄表系统有着光明前景。目前的无线抄表体系中，例如 GPRS 模式、本文所采用无线射频模式采集终端是抄表节点，采集终端与电能表之间的联系方式依然是传统联系方式，存在着各种各样的问题，并且集中器要经过移动基站进入公网，然后才到达供电部门，这是传统的抄表体系。应用 Ad hoc 网络技术，把本地抄表网络做成无线局域网，通过接口交换机直接进入公网到达供电部门<sup>[46]</sup>。在无线局域网中，基本节点是电能表，不再存在采集终端和集中器，电能表构成了无线抄表网络，对整个公网而言，它们只是一些特殊的具有简单通信功能的网络节点。

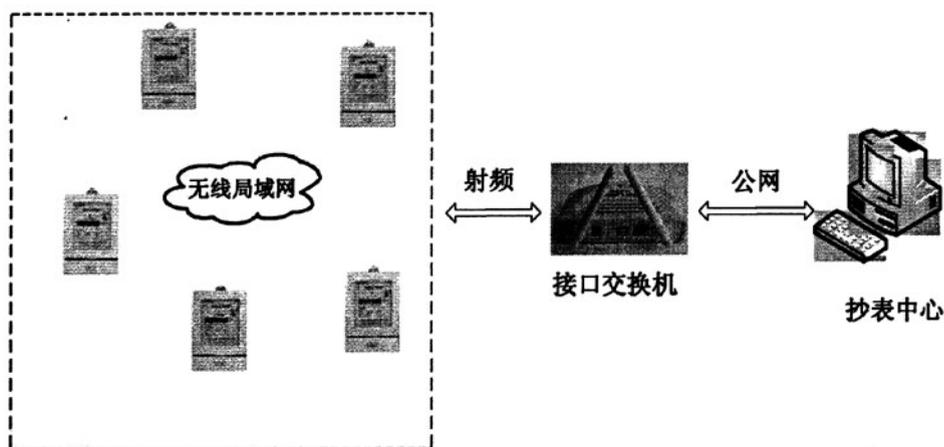


图 3.6 Ad hoc 抄表网络

在该网络中对电能表提出了更高的要求，对其软件、硬件设计有了更高的标准，即能完成正常的抄表任务，并兼顾业务发展需要，更重要的是作为网络节点能实现

正常通信。根据 OSI 体系对电能表进行合理设计和软件编程，能成功与接口交换机通信并进入公网<sup>[47][48]</sup>。该网络有以下特点：

- 1) 大大减少成本投入，只需对电能表进行升级换代，节省了采集终端和集中器的投入；
- 2) 网络结构简单，供电部门通过接口交换机就可直接与电能表进行通信，提高供电服务效率；
- 3) 可扩展性好，以无线局域网为区域抄表单位，可自由更新本区域抄表节点，且不对整个网络构成大的影响；

## 第四章 结论与展望

### 4.1 主要结论

本文所研究的基于短距离无线通信的抄表系统已经在沂水等地区投入运行，系统实施后，达到了预期的目的，效果良好，各种功能都得到了很好的实现和应用。系统能够完成远程抄表的各项功能要求。

以图 3.2 所示的网络为例，下表显示了采用本文所述算法时遇到的问题和解决方案：

表 4.1 现场路由实例

情况	通讯可能性	出现问题及解决办法
干扰	终端间相互干扰	1、所有通讯前检查信道是否占用 2、通讯失败自动延时重发 3、通过和集中器或终端实时建立的握手标记来确定是否是自己的报文
极端情况	B呼叫B5，但B5会收到D和C3/D2的数据而B当时不知道，会导致B和B5长时间无法通讯	B5不响应，对B来说就是连不上。启动路由寻找后得到到达C、D的两条路径
终端	A1/A2可直连A，无干扰信号	根据握手标记通讯
	A5中继连A，无干扰	根据握手标记通讯
	C1/C2直连C，有干扰	根据握手标记通讯
	C3/B5/A6中继连，有（多重）干扰	根据权值选择路径

## 山东大学硕士学位论文

集中器C、D 信号相通	C1/C2 同时收到宿主集中器C、陌生集中器D 的信号	<ol style="list-style-type: none"> <li>1、集中器通讯前先向相邻集中器申请信道</li> <li>2、根据权值选择路径</li> <li>3、终端通过报文握手标记(Handshake TAG) 仅处理给自己的报文。</li> </ol>
	C3不能收到集中器C但能收到陌生集中器D信号	<ol style="list-style-type: none"> <li>1、建立通讯握手时需要鉴别是否是宿主集中器呼叫自己，仅响应宿主及中继呼叫</li> <li>2、握手信任后建立握手标记，启动通讯。</li> <li>3、通讯完成后清除握手标记。</li> </ol>
集中器A、B、C信号不通	A4可同时收到宿主集中器A陌生集中器B的信号	根据握手标记通讯
	A6不能收到宿主集中器A但能收到陌生集中器C/D 信号	根据握手标记通讯
集中器中继通讯	B通过A连接主站	

术语说明：

· 信号相通：可以相互收到信号。

· 信号不通：相互不能收到信号。

· 宿主集中器：终端所属的集中器

· 陌生集中器：终端不属于但可以收到信号的集中器。分为同公司、不同公司情况。

在实际应用中也出现了一些问题，一部分是由于无线网络本身的不足造成的。例如，无线通信容易受到各种干扰，通信过程中容易受到各种随机干扰，影响通信的质量。但采用延迟重发或者改变通信路由的方法，一般可以把数据采集上来。

本文的主要结论：

1. 本文采用 CC1100 和 80C51F310 单片机设计的无线通信模块能够满足抄表无线通信的要求。试验测试、现场测试效果良好。其传输距离较远，通信可靠性高，误码率和丢帧率都在要求范围内，能够很好的完成抄表要求。

2. 本套抄表系统所采用的路由协议，实现了不能直接通信的终端之间的转发通信；并且针对此无线通信的特点，对数据进行拆分组数据进行发送、接收，以提高通信的可靠性，减少无线通讯发送过长报文易出现误码及丢包现象。

3. 当终端无法与集中器相通信时，可以按照路由协议进行路由变换，形成新的路由途径进行通信。

### 4.2 后续研究工作的展望

1. 对于无线通信模块可以选用性能更加强大的射频芯片，如 TI 的 CC1110 等。对射频芯片的各项功能做进一步的试验，更进一步认识芯片的功能，编写更加高效的软件程序；对模块的布局，参数等进一步优化，以提升模块的性能；进一步加强组网测试和现场试验，对在实验中可能出现的各种情况进一步分析、解决；找出更好的方案，优化路由算法。

2. Ad hoc 技术应用与抄表网络是必然的趋势，它将大大提高抄表网络的智能程度，提高抄表效率，减少抄表人工成本，有着光明前景<sup>[50]</sup>。

在今后的工作中，对以上分析的几个方面还需要进一步的研究和改进<sup>[49]</sup>，使所设计的无线抄表的终端性能有可能进一步提高，以提高短距离无线技术在自动抄表系统中性能，更好的完成抄表任务。

## 附录

附录 A SPI 程序如下:

```
unsigned char SpiReadWrite(unsigned char dat)
{
    unsigned char i, temp;
    temp = 0;
    ResetTimer(2);
SCK = 0;
    _nop_();
    for (I =0; I <8; I ++ )
    {
        if (ReadTimer(2) > 100)
        {
            return 0;
        }
        If (dat & 0x80)
        {
            MOSI = 1;
        }
        else MOSI = 0;
        dat <<= 1;
        SCK = 1;
        _nop_ ();
        temp <<= 1;
        If (MISO) temp++;
SCK = 0;
        _nop_ ();
        _nop_ ();
    }
}
```

```
    }  
    return temp;  
}
```

## 附录 B 终端射频芯片基础配置

```
typedef struct S_RF_SETTINGS {  
    unsigned char FSCTRL2;  
    unsigned char FSCTRL1; // Frequency synthesizer control.  
    unsigned char FSCTRL0; // Frequency synthesizer control.  
    unsigned char MDMCFG4; // Modem configuration.  
    unsigned char MDMCFG3; // Modem configuration.  
    unsigned char MDMCFG2; // Modem configuration.  
    unsigned char MDMCFG1; // Modem configuration.  
    unsigned char MDMCFG0; // Modem configuration.  
    unsigned char CHANNR; // Channel number.  
    unsigned char DEVIATN; // Modem deviation setting (when FSK modulation is  
enabled).  
    unsigned char FRENDD1; // Front end RX configuration.  
    unsigned char FRENDD0; // Front end RX configuration.  
    unsigned char MCSMO; // Main Radio Control State Machine configuration.  
    unsigned char FOCCFG; // Frequency Offset Compensation Configuration.  
    unsigned char BSCFG; // Bit synchronization Configuration.  
    unsigned char AGCCTRL2; // AGC control.  
    unsigned char AGCCTRL1; // AGC control.  
    unsigned char AGCCTRL0; // AGC control.  
    unsigned char FSCAL3; // Frequency synthesizer calibration.  
    unsigned char FSCAL2; // Frequency synthesizer calibration.  
    unsigned char FSCAL1; // Frequency synthesizer calibration.  
    unsigned char FSCAL0; // Frequency synthesizer calibration.  
    unsigned char FSTEST; // Frequency synthesizer calibration control  
    unsigned char TEST2; // Various test settings.  
    unsigned char TEST1; // Various test settings.  
    unsigned char TEST0; // Various test settings.  
    unsigned char IOCFG2; // GDO2 output pin configuration  
    unsigned char IOCFG0; // GDO0 output pin configuration  
    unsigned char PKTCTRL1; // Packet automation control.  
    unsigned char PKTCTRL0; // Packet automation control.  
    unsigned char ADDR; // Device address.  
    unsigned char PKTLEN; // Packet length.  
} RF_SETTINGS;  
RF_SETTINGS *rfSettings;
```

# 山东大学硕士学位论文

```
/**/*****
```

```
**
```

```
idata RF_SETTINGS rfSettings1[1] = {
```

```
{
```

```
    0x00, //470.000305
```

```
    0x08, // FSCTRL1 Frequency synthesizer control.
```

```
    0x00, // FSCTRL0 Frequency synthesizer control.
```

```
/* 0x13, //0x12, // FREQ2 Frequency control word, high byte. 510
```

```
    0x9D, //0x13, // FREQ1 Frequency control word, middle byte.
```

```
    0x89, //0xB1, // FREQ0 Frequency control word, low byte.*/
```

```
/* 0x12, // FREQ2 Frequency control word, high byte. 470
```

```
    0x13, // FREQ1 Frequency control word, middle byte.
```

```
    0xB1, // FREQ0 Frequency control word, low byte.
```

```
    0x12, // FREQ2 Frequency control word, high byte. 475
```

```
    0x44, // FREQ1 Frequency control word, middle byte.
```

```
    0xec, // FREQ0 Frequency control word, low byte.*/
```

```
/* 0x12, // FREQ2 Frequency control word, high byte. 480
```

```
    0x76, // FREQ1 Frequency control word, middle byte.
```

```
    0x27, // FREQ0 Frequency control word, low byte.*/
```

```
/* 0x12, //490
```

```
    0xD8,
```

```
    0x9D,*/
```

```
/* 0x12, //485ok
```

```
    0xA7,
```

```
    0x62,*/
```

```
/* 0x12, //480ok
```

```
    0x76,
```

```
    0x27,*/
```

```
/* 0x12, //487 ok
```

```
    0xBB,
```

```
    0x13,*/
```

```
/* 0x12, //489 no
```

```
    0x#e,
```

```
    0xc4,*/
```

```
/* 0x12, //488 no
```

```
    0xc4,
```

## 山东大学硕士学位论文

```
0xec, */

/* 0x12, //475
0x44,
0xec, */

0xF5, // MDMCFG4 Modem configuration.
0x83, // MDMCFG3 Modem configuration.
0x13, // MDMCFG2 Modem configuration.
0x22, // MDMCFG1 Modem configuration.
0xF8, // MDMCFG0 Modem configuration.

0x00, // CHANNR Channel number.
0x15, // DEVIATN Modem deviation setting (when FSK modulation is
enabled).
0x56, // FRENDR1 Front end RX configuration.
0x10, // FRENDR0 Front end RX configuration.
0x18, // MCSM0 Main Radio Control State Machine configuration.
0x16, // FOCCFG Frequency Offset Compensation Configuration.
0x6C, // BSCFG Bit synchronization Configuration.
0x03, // AGCCTRL2 AGC control.
0x40, // AGCCTRL1 AGC control.
0x91, // AGCCTRL0 AGC control.

0xA9, // FSCAL3 Frequency synthesizer calibration.
0x2A, // FSCAL2 Frequency synthesizer calibration.
0x00, // FSCAL1 Frequency synthesizer calibration.
0x11, // FSCAL0 Frequency synthesizer calibration.
0x59, // FSTEST Frequency synthesizer calibration.
0x81, // TEST2 Various test settings.
0x35, // TEST1 Various test settings.
0x0B, // TEST0 Various test settings.
0x0B, // IOCFG2 GDO2 output pin configuration.
0x06, // IOCFG0 GDO0 output pin configuration. Refer to SmartRF Studio
User Manual for detailed pseudo register explanation.

0x05, // PKTCTRL1 Packet automation control. //0 和 0x89 是有用地址
0x05, // PKTCTRL0 Packet automation control.
0x89, // ADDR Device address.
0x40 // PKTLEN Packet length.
}
};
```

### 附录 C 射频芯片无线数据收发

## 山东大学硕士学位论文

```
//函数名: void halRfSendPacket(unsigned char *txBuffer, unsigned char size)
//功能描述: CC1100 发送一组数据
//*****
**

void halRfSendPacket(unsigned char *txBuffer, unsigned char size)
{
// LED2 = 0;
  EX0 = 0;
  halSpiWriteReg(CCxxx0_TXFIFO, size + 1); //包括地址 1 个字节
  halSpiWriteReg(CCxxx0_TXFIFO, ADDR_DEVICE);
  halSpiWriteBurstReg(CCxxx0_TXFIFO, txBuffer, size); //写入要发送的数据
  P1_5 = 1;
  count_1 = size * 20;
  halSpiStrobe(CCxxx0_STX); //进入发送模式发送数据
  EX0 = 1;
}
//*****
**
//函数名: unsigned char halRfReceivePacket(unsigned char *rxBuffer, unsigned
char length)
//功能描述: CC1100 接收一组数据, 并放入缓冲区
//*****
**

unsigned char halRfReceivePacket(unsigned char *rxBuffer, unsigned char length)
{
  unsigned char status[2];
  unsigned char packetLength = 0;
  unsigned char s1, s2;
  s1 = halSpiReadStatus(CCxxx0_MARCSTATE);
  LED1 = 0;
  EX0 = 0;

  if ((halSpiReadStatus(CCxxx0_RXBYTES) & BYTES_IN_RXFIFO))
  {
    //如果接的字节数不为 0
    s1 = halSpiReadStatus(CCxxx0_MARCSTATE);
    packetLength = halSpiReadReg(CCxxx0_RXFIFO); //读出第一个字节, 此字
节为数据长度
    Packet_Length = packetLength;
    if (packetLength <= length) //如果所要的有效数据长度
长度小于等于接收到的数据包的长度
    {
      halSpiReadBurstReg(CCxxx0_RXFIFO, rxBuffer, packetLength);
    }
  }
}
```

```

                                                                    //读出所有接收到的数据
halSpiReadBurstReg(CCxxx0_RXFIFO, status, 2);//读出 CRC 校验位
if (status[1] & CRC_OK)
                                                                    //如果校验成功返回接收
成功
{
    halSpiStrobe(CCxxx0_SFRX);          //接收之后刷新缓冲区
    s2 = halSpiReadStatus(CCxxx0_RXBYTES);
    halSpiStrobe(CCxxx0_SIDLE);
    LED1 = 1;
    EXO = 1;
    return 1;
}
else
{
    halSpiStrobe(CCxxx0_SFRX);
    LED1 = 1;
    EXO = 1;
    return 0;
}
}
else
{
    halSpiStrobe(CCxxx0_SFRX);          //清洗接收缓冲区
    LED1 = 1;
    EXO = 1;
    return 0;
}
}
else
{
    halSpiStrobe(CCxxx0_SFRX);
    LED1 = 1;
    EXO = 1;
    return 0;
}
}
}
```

## 参考文献

- [1]. 王艳, 刘素英, 李玉忠, 低压电力载波抄表系统. 继电器 2002 (7) : 49-52
- [2]. 王月志, 刘伯刚. 自动抄表系统. 电测与仪表, 2004 (9) : 48-51
- [3]. 蒋俊峰. 自动抄表技术研究. 电测与仪表, 2003(0) 41-44
- [4]. 常飞, 赵伟. 不断发展的自动抄表技术. 电测与仪表 2004, 5: 3-6
- [5]. 卢文冰, 麻秀范, 李伟东, 王哲. 载波抄表系统通信方案研究. 东北电力学院学报 2006 (6)
- [6]. 侯思祖, 杨丽, 郝建国. 电力线载波自动抄表系统网络结构的研究. 电力科学与工程 2008(10)
- [7]. M Saso, H Ouchida, M Iso, T Naka, Y Shimizu. LV Power Line Carrier Network System for AMR. Metering and Tariffs for Enegy Suuply, 1999. Ninth International Conference on (Conf. Publ. No.462), 25-28 May 1999. Pages:187-191.
- [8]. 王宗阳, 马旭东. 基于 RS 485 总线的远程抄表系统采集终端的设计与实现. 现代电子技术 2007(7)
- [9]. 金福宝, 曹军. 基于 GPRS 网络远程抄表系统的设计. 电测与仪表. 2006(10)
- [10]. 张恺, 乐恺, 和丽. GSM 在自动抄表系统中的应用. 《应用科技》, 2002, 29(1):23-25.
- [11]. 钱建华, 陈柏超. 基于无线通信的自动抄表系统. 电网技术 2004(3)
- [12]. 谢晶, 射频技术在电力抄表系统中的应用. 电气技术与自动化 2003(6)
- [13]. S. W. Lee, C. S. Wu, M. S. Chiou, and K. T. Wu, "Design of an automatic meter reading system," in Proc. 1996 IEEE IECON 22nd International Conference on the Industrial Electronics, Control, and Instrumentation, Vol.1 , pp. 631-636
- [14]. 邓专, 陈维, 王春麟 射频收发芯片 CC1100 及其应用 机械工程与自动化 2007(12)
- [15]. 曹镇. 基于 ZIGBEE 技术的无线传感器系统的研究. 控制理论与控制工程 2005年7月
- [16]. 郑君刚, 吴成东, 韩中华, 杨英翔. 基于nRF2401的智能家居无线网络节点设计术 低压电器 2007(4)

- [17]. RF401 . Spread Spectrum Radio Modems Models RF401, RF411, RF416
- [18]. 文俊峰 乔晓军 张文爱 冯登超 基于CC1020的无线通信模块设计 电子设计应用 2007(1)
- [19]. 李丽 王代华 张志杰 基于射频芯片CC1020的无线数传系统的设计 电子测量技术, 2006, 29(4): 48—51.
- [20]. 王卫国 韦萌 基于CC1100 的无线抄表系统 计算机与数字工程 2009(1)
- [21]. CC1100.pdf. Chipcon Products From Texas Instruments
- [22]. 李文仲, 段朝玉. C8051F 系列单片机与短距离无线数据通信. 北京航空航天大学出版社
- [23]. 宋 鹏, 张 晓林, 李泽程. 几种短距离无线通信技术的比较. 第十三届全国遥测遥控技术年会论文
- [24]. Chipcon. CC1100DataSheet[DB/OL]. [http://www.chipcon.com/files/CC1100\\_data\\_sheet\\_1\\_0.pdf](http://www.chipcon.com/files/CC1100_data_sheet_1_0.pdf), 2005.
- [25]. XIONG Zhaoyin and HUO Shiyong, "Automatic remote meter reading system using blue tooth," Journal of Transducer Technology, vol.23, no. 7, pp. 68-70, 2004,
- [26]. 史美林, 英春. 自组网路由协议综述. 通信学报 第22卷第11期
- [27]. Capkun S, Hamdi M, Hubaux J-P. GPS—Free positioning in mobile M-hoc networks[J]. Cluster Computing, 2002, 5(2): 157-167.
- [28]. 傅民仓, 冯立杰, 李文波. 短距离无线网络通信技术及其应用. 现代电子技术, 2006 .11 总第 226 期
- [29]. 王申涛, 杨浩, 周熙, 刘小丽 移动Ad Hoc网络路由协议研究分析 计算机时代, 2006(3):14-16
- [30]. 郑少仁, 王海涛, 赵志峰, 等. Ad hoc 网络技术[M]. 北京: 人民邮电出版社, 2005.
- [31]. MARTI S, GIULI T J, LAI K, et al. Mitigating routing misbehavior in mobile Ad hoc networks [C]. Boston, Massachusetts: MobiCom 2000, 2000.
- [32]. 祝丽丽 吴蒙 Ad hoc网络路由协议的研究综述 数据通信 2007. 5

- [33]. 杨锦亚, 郭虹, 胡捍英. 自组网路由协议性能比较[J]. 微计算机信息, 2006, 22 (823) :196-198.
- [34]. 向阳, 李腊元, 孙强, 陈年生. Ad Hoc 网络基于蚁群的按需路由算法研究 [J]. 武汉理工大学学报(交通科学与工程版), 2007年, 31(2) : 251
- [35]. Perkins C E and Bhagwat P. Highly Dynamic Destination-Sequenced Distance-Vector Routing (DSDV) for Mobile Computers. Comp. Comm. Rev. Oct. 1994
- [36]. Marwaha S, Chen Khong Tham, Srinivasan D. A novel routing protocol using mobile agents and reactive route discovery for adhoc wireless networks [A]. 10th IEEE International Conference on Networks (ICON' 02) [C]. 311 /02 ( C) 2002 IEEE
- [37]. 孙宝林. 无线移动AdH oc网络的路由技术研究. 武汉科技学院学报, 2003, 16 (4):35-39
- [38]. J. Broch, D. A. Maltz and D. B. Johnson et al. A Performance Comparison of Multi-Hop Wireless Ad Hoc Network Routing Protocols. In Proceedings of the Fourth Annual ACM/IEEE International Conference on Mobile Computing and Networking (MOBICOM' 98), 1998-10, 85-97
- [39]. 姚忠邦, 曹志刚, 樊平毅. 移动ad hoc网络中的混合式多路径路由算法. 清华大学学报(自然科学版), 2004, 44(7) :917-92
- [40]. 苏静. 移动Ad Hoc网中多信道AODV路由协议研究:[硕士学位论文]. 西安:电子科技大学, 2006
- [41]. 程鹏. 移动自组网AODV路由协议实现技术研究:[硕士学位论文]. 西安:西北工业大学, 2006
- [42]. 牛伟, 郭世泽, 吴志军. 无线局域网. 北京:人民邮电出版社, 2003, 1-3
- [43]. 周维. 无线传感网络路由协议设计及仿真:[硕士学位论文]. 武汉:武汉理工大学, 2006
- [44]. Q. Hao and Z. Song, "The status and development of the intelligent automatic meter reading system," China Science and Technology Information, no. 19, pp. 72, Oct 2005.

## 山东大学硕士学位论文

---

- [45]. CHEN Yin-kang, LI Xiang-yang and XIAO Jing, "The hardware design of concentrator for wireless intelligent meter reading system," Element and IC, no.1, pp. 37-39, 2005.
- [46]. 方旭明. 移动Ad Hoc网络研究与发展现状. 数据通信, 2003, 9(1):16-66
- [47]. 孙宝林, 李腊元. 多跳无线移动Ad Hoc网络路由协议的研究分析小型微型计算机系统, 2004, 25(10):1737-1741
- [48]. 许毅. 基于IP网络QoS多播路由技术的研究[博士学位论文]. 湖北:武汉理工大学, 2005. 10
- [49]. LC. Zhong, J. Rabsey, C. L. Guo, et al. Data link layer design for wireless sensor networks. Communications for Network-Centric Operations. Creating the Information Force. Washington, 2001
- [50]. 王阳, 唐龙江. 无线自组网通信技术在配电网监测中的应用. 电力系统通信 2008. 12

## 致谢

本文的研究工作自始至终是在导师韩晓萍教授的精心指导和亲切关怀下完成的。导师严谨的治学态度、渊博的知识、扎实的工作作风、高尚的道德情操以及严格的自律意识都使我受益匪浅，这不仅对我的研究生学习生涯，而且必将对我今后的学习和工作产生重大影响。

在此向辛勤培养我的导师致以最衷心的感谢！

课题的研究过程中，山东许继科华公司的孟钊辉、王萌、郭恩磊、张明、王世明等同事和王富斌、韩磊、韩尊占等同学给予我中肯的指导，在论文的写作过程中提出了宝贵的意见和建议，在此一并向他们表示深深的谢意！同时感谢所有关心和帮助过我的老师和同学，感谢他们在各方面给我的真诚帮助。

尤其感谢我的父母与弟弟，他们始终如一的关怀和鼓励使我能够顺利完成学业。

在即将完成学业之际，特别感谢母校山东大学七年来对我的培养！

# 基于射频网络的抄表系统研究

作者：[庞金龄](#)  
 学位授予单位：[山东大学](#)

## 相似文献(10条)

### 1. 学位论文 [蒋瑞兰](#) 低压扩频远程电能集抄系统研究 2006

低压自动抄表系统是目前供电企业在用电管理和电力市场营销领域探讨和试验的前沿课题。目前采用的人工抄表方式已成为严重制约电力营销实现自动化控制的瓶颈。因此,研究和开发具有远程数据收发功能的自动抄表系统具有广阔的应用前景。

本文首先综述了目前国内采用的电力线载波抄表系统,总结出目前国内外采用自动抄表系统存在的不足。在次基础上,针对兰州地区低压电网的特点和用电管理的要求,应用低压电力线扩频载波技术进行设计。硬件选用AD公司单相全电子防窃电电表度表芯片、Intel公司SSCP300网络接口控制器和AT89C51单片机作为主要器件。重点讨论了固态电能表实用电路、电力线扩频SSCP300与AT89C51连接,及对电能表实施收发命令功能。现场测试证明:该系统具有长距离的数据收发功能,已经满足自动抄表系统的总体要求。

### 2. 会议论文 [崔静安, 黄莹](#) 浅谈自动抄表系统在供电企业的使用 2005

随着城乡电网改造的不断深入,居民用户逐渐实现了一户一表用电,供电企业直抄、直管到户,管理的用户数急剧增加,给供电企业抄核收工作带来巨大压力。面对抄表工作量的不断增长,传统人工抄表存在的问题:如抄表不到位,实抄率低和抄表不及时等问题,普遍存在,严重影响了供电企业电费结算和线损统计的准确性,由此引起的问题长期困扰着供电企业。近几年计算机技术、网络技术、无线通信技术等信息技术迅猛发展,新的自动化程度很高且成本低廉的自动抄表系统应运而生,各供电企业为了缓解抄表工作的压力,逐步开展了自动抄表方面的试点工作,仅西安供电局先后试点采用的抄表方式就有GSM—SMS抄表、GPRS抄表、电力线载波抄表、电话抄表、负控抄表等多种方式。通过近几年的试点运行,各种抄表系统确实在一定程度上解决了抄表难的问题,但由于抄表技术处于迅速发展过程中,在试点过程中,由于各种抄表方式在立项或实施时管理部门不统一,大都从各自的需求出发,没有从整体和全局概念的高度进行统一规划和设计,造成各种抄表系统之间的数据不共享,资源浪费严重;而且,系统建成后又缺少应有的运行维护单位和费用,有些系统逐步变为不可用。本文从实际应用出发,结合西安供电公司的试点经验,在总结国内常用抄表方式的特点和适用范围的基础上,从技术和管理两方面对供电企业自动抄表系统实施、使用的方案进行了探讨,以利于各种抄表系统更好的服务于供电企业。

### 3. 学位论文 [隋宗斌](#) 基于ZigBee的远程自动抄表系统设计 2009

一方面,我国电力事业迅速发展,供电企业和用户都迫切需要现代化管理手段的介入,另一方面,计算机技术和通信技术不断成熟和进步。在技术和管理两方面亟待改革的迫切需求下,各种自动抄表技术逐渐发展起来。目前比较流行的自动抄表方式有IC卡预付费方式、电力线载波方式、GPRS蜂窝网络方式等,但是各种方式都存在一定的缺点,而没有大范围的推广。

本文提出一种由ZigBee无线网络和GPRS蜂窝网络混合组网的无线自动抄表系统设计方案,实现了以最低的组网、运行成本安全可靠的抄取用户的用电数据。ZigBee是一种新兴的近距离、低功耗、低速率、低成本的网络技术,适用于通信数据量不大,数据传输速率相对较低,分布范围较小但节点较多,对数据的安全可靠有一定要求,而且成本和功耗都非常低的场合。GPRS是在现有GSM网络基础上叠加的一个专为高速数据通信而设计的新网络。用户使用GPRS实现数据的分组发送和接收,具有实时在线、按流量计费、快捷登录、高速传输、自如切换等优点,能迅速降低服务成本、提高服务质量。

采集终端是自动抄表系统的硬件核心,它是基于MSP430F149单片机的嵌入式数据处理、收发系统,通过CC2430芯片与集中器通信,通过RS-485总线与电能表通信。MSP430F149单片机是德州仪器推出的一款16位超低功耗RISC结构的混合信号处理器,它具有丰富的片内设备和超低的功耗。CC2430芯片是Chipcon公司生产的符合ZigBee技术规范的2.4GHz射频系统单芯片,它只需要很少的外围器件配合就能实现信号收发功能。

本文主要论述了采集终端的设计过程。通过对采集终端的功能分析,首先确定其主要由核心处理器、日历时钟电路、存储器电路、RS-485接口电路、无线通信电路等几部分组成,然后进行各部分电路的器件选型并做出采集终端的原理图和PCB版图。在采集终端的软件设计部分主要介绍了跟电能表和CC2430的通信协议和实现过程。由于MSP430F149单片机不具有IIC总线接口,本文给出了一种软件模拟IIC接口方案,实现跟存储器芯片和时钟日历芯片的通信。

本文还简单介绍了集中器和管理软件的设计过程,最后给出了改进本自动抄表系统的一些方向。

### 4. 会议论文 [张荔鹃](#) 浅谈居民低压电力线载波自动抄表系统的应用 2006

随着电力负荷的急剧增长,“一户一表”和直供到户等营销举措的不断深入,供电企业的电量抄录的工作量急剧膨胀,传统人工抄表方式根本无法适应现代用管理需要。本文通过介绍我局试点居民低压电力线载波自动抄表系统的应用情况,实践证明可适当加大居民低压载波抄表系统的推广力度,来进一步提高用电自动化管理水平。

### 5. 学位论文 [付艳玲](#) 载波数据集中器的开发与设计 2006

在科学技术飞速发展的今天,传统的人工抄录电表的方式已经无法满足时代的需求。随着国家电力系统两网改造工作的逐渐推进,“一户一表,管电到户”政策的贯彻,用电网络急剧膨胀,使得供电企业对用电网络的管理任务日益加剧。如何把庞大且分散的居民用电量及其它数据及时有效而且准确地收集、统计及分析,成为供电企业一个迫切需要解决的问题。如果仅凭抄表工人挨家挨户地抄表,不但会造成工作效率低,而且由人工抄表所带来的漏抄、误抄、估抄,给供电企业带来不可估量的损失。供电企业需要一种投资较少,安装及维护方便,通讯可靠,计量准确的电能表远程集中自动抄表系统。

利用现有的电力线作为通信媒介,实现对用户电表的监控不仅大大节省了资源,而且覆盖范围广,不用重新布线。基于此,本文提出利用电力线载波通信技术,以电力线作为通信信道,来实现集中自动抄表系统的数据采集器,用于采集电表终端的数据,并通过多种途径,传输至管理中心的计算机。

电力线载波通信是指将电力线作为通信信道的一种通信系统,这种通信系统由来已久,但从初期的幅移键控(ASK)调制方式,到后来又出现的扩展频移键控(FSK)、超窄带传输等调制方式,均存在不同程度的缺点,如抗干扰能力差、通信距离近等。基于扩频通讯方式的电力线载波通信技术(SSC),即将传输的数据调制在100K~400KHz频带上,通过电力线传输,其优点是抗干扰能力强,误码率低,可靠性高。随着技术的成熟与推广,基于扩频通讯的电力线载波通信技术将会被越来越广泛的采用。

本文简要介绍了电力线载波通信技术发展概况,讲述了电力载波通信技术的特点,分析研究了电力线载波通信的工作原理和传输特性,提出了一种基于电力线扩频载波通信的远程监控方式。文中还将电力线载波通信技术和智能控制技术融合到远程控制系统的的设计中去,开发了一台基于电力线载波通信技术的载波数据集中器,并通过通信技术、模拟电路、计算机技术和单片机技术重点阐述了电力线载波通信模块的设计,同时在设计过程中使用动态中继功能,较好地解决了电力线载波通讯中干扰强、衰减大等问题。

研究结果表明,我们所设计的基于电力线载波通信技术的载波数据集中器在控制精度、实时性和可靠性方面完全满足设计需求。通过这种远程抄表采集器,使供电部门及时掌握用户用电情况,监测有无窃电行为,并根据需要进行供电控制,从而节省大量的人力物力。

### 6. 会议论文 [张荔鹃](#) 浅谈居民低压电力线载波自动抄表系统的应用 2006

随着电力负荷的急剧增长,“一户一表”和直供到户等营销举措的不断深入,供电企业的电量抄录的工作量急剧膨胀,传统人工抄表方式根本无法适应现代用管理需要。本文通过介绍我局试点居民低压电力线载波自动抄表系统的应用情况,实践证明可适当加大居民低压载波抄表系统的推广力度,来进一步提高用电自动化管理水平。

### 7. 学位论文 [夏增强](#) 基于公用无线通信网络的反窃电抄表系统分析与设计 2008

信息化时代的到来,使得以IT技术为主要特征的智能化建筑成为现代城市的一大特色。其中电能的计量、自动抄收以及收费管理是智能建筑、楼宇

自动化的重要组成部分,如何实现电能准确计量、自动抄收是提升供电企业先进管理模式的关键技术因素。

论文首先对反窃电自动抄表系统的原理进行研究,在对已有产品优缺点深入分析的基础上提出了设计思路,即提高数据采集终端的计量精度,以可靠的无线网络进行数据传输,并通过人性化的系统软件提高工作效率。经过对系统认真的分析和详细的设计,论文重点完成了以下几个方面的工作:

- 1、采用当今先进的电能计量芯片设计智能采集终端,可以对电压、频率、瞬时功率、有功等进行测量、计算和存储,在微处理器的控制下对数据进行处理后向上级系统发送。
  - 2、对于采集终端和集中器间的底层通信网络采用短距离无线通信方式组网,系统维护、故障检修和扩充都更容易。
  - 3、严格按照SMS编码规范对数据进行编码,利用GSM网络的短消息服务传输,采用中断机制代替查询方式,提高通信网络的实时性。
  - 4、终端电表数据存储于供电企业信息管理中心数据库服务器,配有专门系统软件,具有自动抄表、数据处理、信息分析等功能。
- 反窃电自动抄表系统以准确计量、抗干扰能力强、节省大量人力资源、降低线损等优势得到了供电部门及物业管理中心的普遍重视,由于反窃电自动抄表系统目前还很不成熟,市场上出现的产品还存在不少缺点,论文的研究与开发是对该系统产品走向市场的积极探索。

## 8. 会议论文 [黄尊志,周宁 抄表系统不同方案的技术经济分析与论证](#) 2005

随着城乡电网改造工程的深入和用电管理的需要,居民用户和工业用户用电量实现自动抄收、收费实现自动划拨,不仅能够方便广大用户、提高供电企业的服务质量、树立电力企业的良好形象,而且能够实现电力企业的减员增效、降低用电成本,同时对于加强用电管理、防止国家电力资源的大量流失、杜绝贪污腐败现象都具有积极的意义。本文参考国内外供电企业远方自动抄表系统的实践,从泰安电力公司的实际出发,结合作者多年从事用电管理的经验,运用所学知识,对各种方案进行技术与论证,确定泰安电力公司实现远方自动抄表的最佳方案,以期提高泰安电力营销管理工作水平。

## 9. 学位论文 [溱柏林 自动抄表系统中的扩频载波固态电能表研制](#) 2001

低压自动抄表系统是目前供电企业在用电管理和电力营销领域探索和试验的前沿课题。目前使用的电度表因为不具有数据通信功能或通信功能较弱,制约了自动抄表系统的全面推广,所以研究和开发具有数据远程收发功能的电度表具有十分重要的意义和广阔的应用前景。该文首先对于目前国内使用的各类电度表情况及现状进行了综述,总结了目前国内外低压自抄表系统的现状和存在问题。在引基础上,针对白银地区低压电网的特点和用电管理要求,应用低压电力线扩频载波技术进行设计。硬件选用AD公司单相全电子防窃电电度表芯片、Intellon公司SSC P200网络接口控制器和AT89C52单片机作为主要器件。该文重点讨论和设计了具有低压电力线扩频载波功能的固态电度表实用电路,并给出了相应的软件框图。研制的电度表样表经现场测试证明,该表能够准确地计量电能,并具有长距离的数据收发功能,已经达到并满足自动抄表系统的总体要求。

## 10. 会议论文 [崔静安,黄莹 供电企业自动抄表解决方案探讨](#)

本文从实际应用出发,在总结西安供电公司近几年自动抄表的试点经验的基础上,对比和分析国内常用抄表方式的特点和适用范围,考虑未来发展需要,站在全局的高度,从技术和管理上探讨了适合于供电企业的自动抄表系统的解决方案,以利于各种抄表系统更好的服务于供电企业。

本文链接: [http://d.g.wanfangdata.com.cn/Thesis\\_Y1565310.aspx](http://d.g.wanfangdata.com.cn/Thesis_Y1565310.aspx)

下载时间: 2010年5月22日