

# 基于低压电力网络高速载波的通信网络的组建

杨少杰,张保会,陈坚

(西安交通大学电气工程学院,陕西 西安 710049)

**摘要:** 高速电力通信技术的突破使基于电力线的宽带信息网络的组建成为可能。在使用 Adaptive Networks 公司电力线载波调制解调器 AN1000 的基础上,使用 Win32 操作系统的通信 API,开发串口通信协议,在低压电力网络中建立稳定运行的局域网,实现多台主机之间的数据传输。

**关键词:** 电力网高速载波; 串口通信; 通信网

**中图分类号:** TN915 **文献标识码:** B **文章编号:** 1005-4397(2003)05-0037-04

## 1 引言

21 世纪是信息爆炸的时代,信息不仅在数量上发生巨大的变化,其范畴和表现形式也有很大的扩展,从原来的语音、文字或图像的单一形式发展到多种形式的结合。计算机网络的出现和迅速发展更加促使这一转变的形成。现在人们不仅对信息本身要求准确、多样,而且对信息的获取要求快速和方便,这也是网络技术迅速发展的动力。但是,要使计算机网络接入千家万户面临一个很大的困难,就是布线和维护的高昂费用。对这个问题一个比较理想的解决方案是使用电力线网络作为信息传播的媒体。电力网是现有的分布最广的有线网络,利用它来进行信息传输不仅能降低费用,而且可以避免在某些地区难以架线或埋光纤的困难。

要实现利用电力网络构成高速通信网,有三个方面的问题需要研究。一是电力网络的传输特性;二是信号的编码、调制与解调技术;三是信息的交换,即通信网络的组网问题。根据低压电力网络的具体结构和信息的来源,组建的通信网最好与电力网具有相近的形式。本文仅对利用低压电力网进行高速载波通信的组网进行了尝试,取得了预期效果。

## 2 通信网硬件构成

### 2.1 网络接入方式

国际标准化组织定义了三种局域网标准,分别是 CSMA/CD (IEEE 802.3)、令牌总线 (IEEE 802.4)、令牌环 (IEEE 802.5)。这三种标准采用了大致相同的技术并且性能大致相似,但对于不同的应用场合各有优劣之处。CSMA/CD 是目前使用最广泛的网络,具有巨大的安装量和丰富的运行经验,协议简单,在轻载荷时延迟为 0;缺点是因为冲突域的存在

发送时延具有不确定性,在重载荷时会严重影响吞吐量。令牌总线比 CSMA/CD 拥有更多的确定性,可处理短帧,支持优先级;缺点是协议极其复杂,轻载荷时延迟很大。令牌环使用点到点的连接,也具有优先级,在重载荷时吞吐量和效率极佳;缺点是需要一个集中式监控站,以确保在个别站点发生故障时环网能够继续运行,集中管理使系统的稳定性降低。

电力线网络就其物理结构来说是总线型网络,所以组成通信网时采用总线网的协议规约最为方便。组网时采用了令牌总线的接入方式,主要有以下几点优势:

1) 在电力线上,没有充分的可靠性来区分噪声和信号,这使得载波检测变得十分困难。采用令牌总线接入方式,任一时刻网络上只有一个令牌,只有拥有令牌的节点才可以占有信道,避免了令牌的丢失和数据包之间的干扰。

2) 由于电力线上各个节点的特性各不相同,对于同一信号检测的结果也不同。如采用载波检测,就会产生某一节点在传输数据时,其它节点检测到线路空闲而启动传输,造成数据包的破坏或丢失。采用令牌接入,只有拥有令牌的节点才可以传输数据,其它节点无权在该期间进行传输。

3) 在 CSMA/CD 中,每个倾听节点听到所有传输的总和,每个传输节点传输的信息又会由于电网的特殊特性而变形。因此每个倾听节点听到的传输之和不是简单加和,而是每个节点的传输经不同变形而成的带有畸变的叠加和。这种情况下冲突检测变得很困难。而采用令牌接入,这些问题可以通过令牌持有者作为任何不确定情况的仲裁者而得到解决。

4) 通过电力网络组成信息网,接入网络的终端不仅有计算机,还有智能电器和其它许多类型的终

端。其中一些信息流量很小,因此不必给所有终端分配相同的接入优先级。CSMA/CD 不支持优先级的设置,每个节点都可随时收发信息,浪费了网络带宽。令牌总线网支持优先级的设置,从而可以充分地利用电力线信道的带宽,达到较高的通信效率。

## 2.2 通信网络组网种类

本实验系统采用了美国 Adaptive Networks 公司的 AN1000 通信模块,它在 100 ~ 450 kHz 的频段内采用扩频通信,传输速率最高可达 100 kbps。AN1000 采用一些专业的通信技术,如快速同步和自适应均衡,很好地克服了电力信道的恶劣条件,实现了可靠、强健的数据传输。

AN1000 提供了两个版本的 EPROM 固件,可满足不同的网络配置需要。一种是串行流 (Serial Stream) 固件,另一种是常用功能指令 (General Purpose Command Set) 固件。这两种配置下,AN1000 都通过一根电力线组成逻辑网络。常用功能指令固件 (GP10) 提供了完全的灵活性,但是需要自己编写 AN1000 驱动程序。串行流固件 (SS06SWV2) 则是以牺牲灵活性的代价换来了使用的简单性。为了对电力线通信有一个透彻的了解,需要设计各种试验方案进行测试,所以在实验中选用了 GP10 固件。

在运行过程中 AN1000 可有三种运行状态:

1) 主机 (Master): 拥有令牌,负责整个网络的控

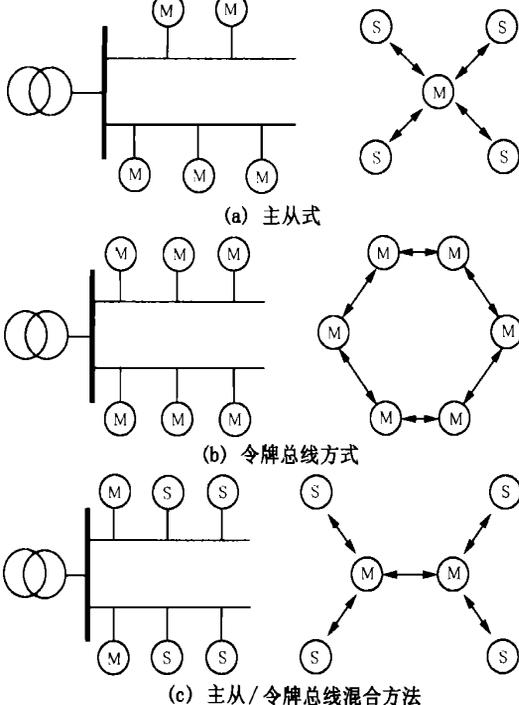


图1 AN1000 组网方式

Fig.1 AN1000 network configurations

制。

2) 非主机 (Non-Master): 可以接收令牌,目前不拥有令牌。

3) 从机 (Slave): 不能接收令牌。处于这种状态的机器只用在被主机轮询 (poll) 时才获得对网络的使用权。

通过编写通信协议可以实现三种不同的组网方式(如图1所示)。

## 2.3 功能指令

AN1000 支持 6 条命令和 13 条状态信息。如表 1 所示:

表1 AN1000 功能指令列表

Tab.1 AN1000 command and status messages		
类别	名称	描述
Commands (计算机 AN1000)	Invitation to Send	邀请目标节点发送数据
	Pass Token	传送令牌给目标节点
	Read Settings	读取本节点设置
	Send Packet	发送数据
	Software Reset	重新初始化
	Write Settings	写入本节点设置
Status Messages (AN1000 计算机)	Babble Detect	发生内部超时错误
	Configuration Error	网络上出现多个令牌
	DST Busy	目标节点忙碌
	Initialization Complete	初始化成功
	Initialization Failure	初始化失败
	Host Interface Error	发送指令有误(分为六种情况)
	No Network Activity	网络上无令牌
	Received Packet	收到数据
	Settings	收到本节点设置
	Token Accepted	收到令牌
	Token Rejected	拒绝令牌
	Transmission Complete	指令执行成功
	Transmission Failure	指令执行失败

## 3 网络通信协议

### 3.1 概述

为了减少协议设计的复杂性,目前大多数网络都按层或级的方式来组织,每一层建立在它的下层之上。不同的网络,其层的数量、各层的名字、内容和功能都不尽相同。但是,在所有的网络中,每一层的目的都是向它的上层提供一定的服务,而把实现的细节对上层加以屏蔽<sup>[1]</sup>。当前比较重要的两个参考模型是 OSI 参考模型和 TCP/IP 参考模型,它们的结构如图 2 所示。

AN1000 系统协议框架采用三层模型,在物理层 (PHY) 和媒体接入子层 (MAC) 之间加入了可靠低层链路协议层,采用严格的前向纠错和带重传的检错,保证了传输的可靠性。它的结构模型如图 3 所示。

### 3.2 串口操作

协议中 MAC 子层主要进行串口流数据的发送

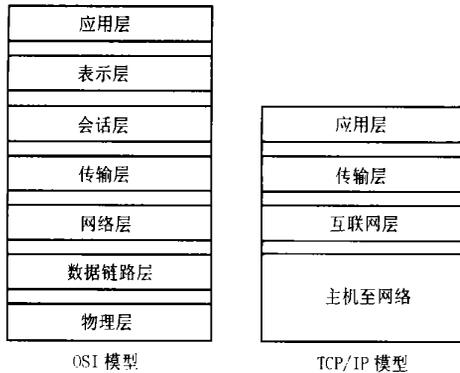


图2 OSI模型和TCP/IP模型的网络体系结构

Fig. 2 Network structure of OSI model and TCP/IP model

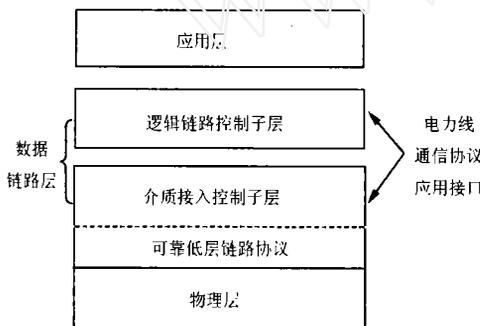


图3 AN1000 电力线通信网络体系结构

Fig. 3 AN1000 electric communication network structure

和接收,与 AN1000 通信模块进行通信。程序设计使用面向对象的方法,编写了两个类 RS232 和 Win32Port 完成 MAC 层的工作<sup>[2]</sup>。RS232 是一个抽象的基类,定义了所有串口函数的调用接口。Win32Port 是 RS232 的派生类,封装了 Win32 下串口通信要用到的 API 函数。

程序执行时,首先进行串口的初始化操作。若串口打开成功则创建两个线程,分别用以串口数据的读和写。数据的读写采用事件驱动的方式,即发送数据或接收数据不是直接调用相应的处理函数,而是将特定事件置为有信号,等待线程检测到事件置位后进行相应的处理。相对而言,发送流程较接收流程简单。发送流程会一直等待,只到有数据发送时才进行处理;接收流程则要一直循环执行,将收到的数据和检测到的串口状态传递到上层。

### 3.3 基本指令的封装

协议编程的基本思想是让不同终端的协议的同层之间进行对话,但这只是终端之间的虚拟通信。实际数据的流向是在发送端由上至下传递,最后传给 AN1000 进入电力线;在接收端由 AN1000 收到数据,向上传递给终端,如图 4 所示。

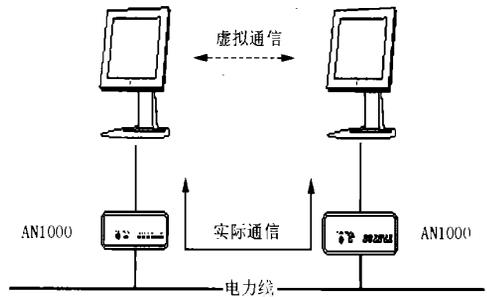


图4 虚拟通信和实际通信

Fig. 4 Virtual communication and actual communication

所以终端写入串口的数据必须符合 AN1000 定义的指令格式才能被正确响应。在程序中设计了 3 个类来进行这项工作。CPacket 是虚拟基类,为数据的存储分配空间,并定义了读取和写入此空间的操作函数。CCommand 和 CMessage 是 CPacket 的派生类,分别处理计算机向 AN1000 发送指令的封装和 AN1000 向计算机返回状态信息的识别。

### 3.4 消息循环的建立

现在协议已经能够通过串口和 AN1000 互相通信,下面需要利用 AN1000 支持的指令建立消息循环,创建一个令牌总线网络。在协议中设计了类 CGP10 来进行命令发送和消息响应。

#### 1) 初始化过程

初次上电或重新启动时,程序向 AN1000 发送指令查询本节点的设置(Read Settings),将返回的消息(Settings)保存在结构体中,其中包括本节点的地址、状态和数据的表示方式。AN1000 会自动检测线路状态,如果发现网络上没有令牌则向终端返回网络空闲(No Network Activity)的状态消息。协议查询本节点的设置,如允许成为主机,就创建一个令牌,以本节点的地址作为目的传递令牌(Pass Token),使本节点成为网络的控制者,否则忽略这个消息。

获得令牌的主机要将令牌向下一地址传递,如果令牌被接收则记录为下一主节点地址;如果令牌被拒绝,则邀请该节点发送数据(Invitation to Send),若数据发送成功说明该节点接入网络,将它的地址加入从节点地址链表,若失败则说明该节点没有接入网络。然后主机将令牌继续向下一节点传递。

令牌在虚拟环路上循环一周后回到初始化节点,网络的初始化工作全部结束,建立了一个虚拟主节点环路。每台主机拥有下一主节点地址和一个从节点地址链表,地址介于本节点与下一主节点之间。图 5 所示为一个 8 节点的局域网初始化后的网络示意图。

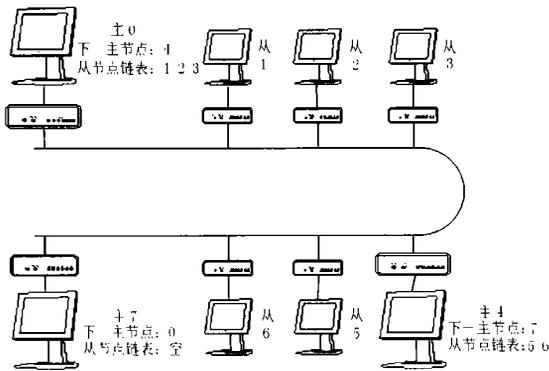


图5 网络示意图

Fig.5 Network sketch map

2) 稳定运行过程

在令牌总线网络中,任一时刻只有拥有令牌的节点才可以发送数据,所以网络稳定运行期间令牌必须循环传递,使每个节点都有机会使用网络。

主机获得令牌后,首先邀请从节点链表中的节点发送数据,然后将令牌传递给下一主节点。在令牌传递的过程中,主、从节点可以随时收发数据,如果当时无权使用网络,则数据会存储在 AN1000 的缓存区中,接收到令牌或被邀请发送时数据就会发送出去。

3) 网络定时初始化

网络运行期间,总会有新的节点加入或运行节点的退出,因此节点需要定期检测网络,在虚拟环路中增加新接入的节点,去除断开的节点。协议中启动了一个定时线程,定时时间可由上层协议传入,节点运行时间达到设定阈值就重新初始化。网络中每个主节点拥有独立的设定阈值,初始化流程也单独进行。

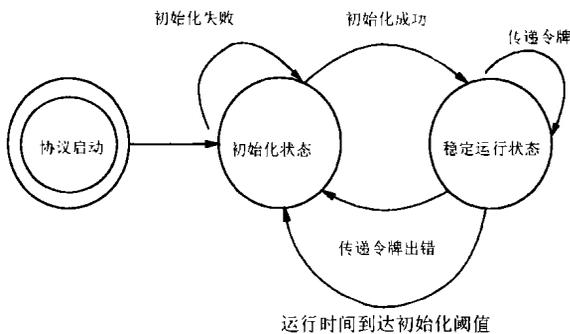


图6 协议状态转换图

Fig.6 Protocol state switch map

总体而言,协议有两个运行状态:初始化状态和稳定运行状态。初始化成功协议就由初始化状态进入稳态运行,进行令牌传递和数据发送。如果运行时间到达预设的初始化阈值或者传递令牌时出错,则协

议回到初始化状态。

4 通信试验及结果

在实验室内的低压电网上,搭建了如图7所示的实验系统。

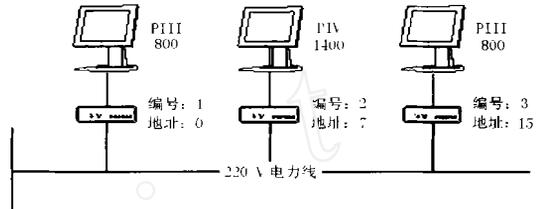


图7 实验系统

Fig.7 Test system

主要进行的实验内容与结果如表2所示。

表2 实验内容与结果

Tab.2 Test content and result

实验编号	节点设置 1号 2号 3号	网络类型	实验类型	实验结果
1	主 从 从	主从式	运行实验	实现实时数据传输
2	主 主 主	令牌总线式	运行实验	实现实时数据传输
3	主 主 从	主从/令牌总线混合式	运行实验	实现实时数据传输
4	主 主 主	令牌总线式	故障实验: 节点3断电退出	网络正常运行

5 结论

考虑到电力线信道极其恶劣的传输特性,本实验在组建高速电力通信网时采用了令牌网的接入方式。实验结果表明,这种网络接入方式可以满足在电力线信道中进行快速、稳定信息传输的要求。另外,由于接入网络的终端需要传输的信息量有所不同,为了充分利用网络带宽,可以采用令牌/总线混合方式,将信息流量大的终端设为主节点,通过控制拥有令牌的时间决定接入网络的时间;反之设为从节点,接入网络的时间由邀请的主节点决定。开发的通信系统交换软件实时性强,交换速度快,可以满足局域网内的数据传输要求。为了实现该电力线局域网无缝地接入 Internet,传输的数据帧须遵守 TCP/IP 协议要求的格式,以实现与远端服务器进行正确响应,这是本项目将继续进行的工作。

参考文献:

[1] Andres S. Tanenbaum. Computer Networks (Third Edition) [M]. Prentice Hall International, Inc., 1998.

(下转第 64 页)

不需要规约转换器。即使对于在我国行标 DL/T667-1999<sup>[3]</sup>附录 D、附录 E 定义的基础上,厂家自己扩充的专用范围的信息序号(INF)和功能类型(FUN),目前,也可以直接接入到 CBZ-8000 系统中,不需要规约转换器。

## 6 结论

采用国际标准协议作为变电站自动化系统的站内通信协议,研发实践证明,确实是一个保证其通信开放性的很好的方法。鉴于目前 IEC 61850 标准还未正式颁布,分析变电站自动化系统的通信数据的特点后,采用 IEC60870-5-103(我国行标 DL/T667-1999)和 IEC60870-5-104 两个国际标准,作为站内通信协议是一个能满足各种数据类型的传输和保证通信可靠性的方案,并且103和104(101)协议同属 IEC 60870-5 系列标准的配套标准,具有共享相同的应用数据结构和应用信息元素的定义和编码的优

点,给通信数据的处理带来极大的方便。

## 参考文献:

- [1] IEC 60870-5-103 Transmission protocols- Companion standard for informative interface of protection equipment 1997[S].
- [2] IEC 60870-5-104 Transmission protocols- Network access for IEC 60870-5-101 using standard transport profiles 2000[S].
- [3] 电力行业标准 DL/T 667-1999 idt IEC 60870-5-103:1997 [S].

收稿日期: 2002-12-06;

作者简介:

胡明(1971-),男,硕士研究生,工程师,从事变电站自动化系统的产品研发工作;

柳凤凤(1975-),男,硕士,从事变电站自动化系统的产品研发工作;

廖泽友(1964-),男,博士,高级工程师,从事变电站自动化系统的产品研发工作。

## The experience of using IEC 60870-5-103 and IEC 60870-5-104 transmission protocols in substation automation

HU Ming<sup>1</sup>, ZHOU Quan-lin<sup>2</sup>, LIU Feng-su<sup>1</sup>, LIAO Ze-you<sup>1</sup>

(1. XI Group Corporation, Xuchang 461000, China; 2. Xuchang Institute, Xuchang 461000, China)

**Abstract:** It is presented in this paper analysis of why using standard protocols in substation automation and actuality of substation automation standard protocols. After analyzing the characteristic of IEC 60870-5-103, IEC 60870-5-104 and substation automation communication, it is discussed in this paper that necessary and advantage of using IEC 60870-5-103, IEC 60870-5-104. At last, the experience of using IEC 60870-5-103 and IEC 60870-5-104 transmission protocols in type CBZ8000 substation automation system, is introduced in this paper.

**Key words:** substation automation; transmission protocols; interoperability; ethernet

(上接第 40 页)

[2] Mark Nelson. 串行通信开发指南[M]. 北京:中国水利电力出版社,2000.

收稿日期: 2002-11-19; 修回日期: 2003-02-18

作者简介:

杨少杰(1978-),男,硕士研究生,研究方向为电力线通

信;

张保会(1953-),男,教授,博士生导师,中国电机工程学会高级会员、IEEE 高级会员,主要研究电力系统控制和保护、电力通信;

陈坚(1979-),男,硕士研究生,研究方向为电力线通信。

## The establishment of high-speed carrier communication network based on low voltage electric network

YANG Shao-jie, ZHANG Bao-hui, CHEN Jian

(Xi'an Jiaotong University, Xi'an 710049, China)

**Abstract:** The breakthrough of High Speed Power Line Communication technology makes possible the establishment of Broad Band Information Network using power line. Based on the AN1000, a power line carrier modem of the Adaptive Networks, serial communication protocol is developed over Win32 operation system with Win32 communication API, to establish a robust LAN in the low voltage electric network and realize data transmission among computers.

**Key words:** electric network high-speed carrier; serial communication; communication network