

一种基于电力线的家庭以太网实现方法

摘要：提出了一种将 Ethernet 技术嫁接到电力线上，实现基于电力线的家庭局域网的构思。介绍了实现这种构思的太网——电力线信号中继方案，为家庭网络的实现提供了新的思路和实现手段。

关键词：家庭网络 电力线载波通讯 以太网 PowerPacket

网络变压器 YL18-2050S

随着科技的进步，网络已经开始涉及人们生活的方方面面。将网络延伸到家庭，实现家庭网络化、家用电器的上网和家庭的智能化等，越来越受到国内外众多公司和开发商的关注并已成为网络技术发展、竞争的又一新目标。家庭电器、各种家庭设备和计算机之间互联，实现 Internet 的接入是未来家庭网络的发展势。

1 家庭网络的实现技术

家庭网络的提出已有多多年。目前国际上比较成熟和流行的有几种解决方案都基于不同的物理媒介，实现家庭内部的网络互联，具有各自的特点和不足之处。

- (1) No New Wire: 电话线、电力线。
- (2) New Wires: 以太网、光纤、USB、IEEE1394。
- (3) Wireless: 家庭射频、蓝牙技术、无线以太网 (IEEE802.11)。

电话线和电力线技术，在构建家庭网络中，因安装方便、维护简单、成本低等特点被许多家庭网络设备制造商看好。但是由于电话线、电力线不是专门为信号传输设计的，传输质量无法保证，容量受到其他信号的干扰，带宽有限，网络的安全问题很难保证。

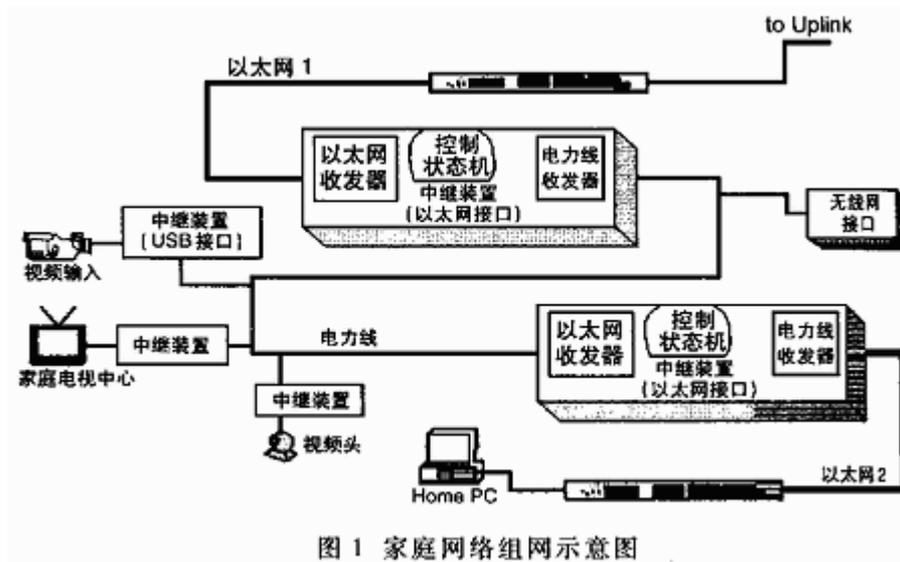


图 1 家庭网络组网示意图

以太网、不纤技术是非常成熟的技术。将它引入到家庭网络中，可以保证信号传输的质量。光纤有很高的带宽，对于实现未来家庭网络的多媒体应用有非常大的潜力。但是一般家庭不会在设计时预先辅助以太网或是光纤，所以必须在构建网络时重新布线，而且对于需要接入家庭网络的设备，必须要安装在铺设好的信号线附近，安装比较复杂。

无线家庭网络也是目前一种比较好的解决方案，它不需要重新架线，但是带宽和成本的比率很低。

为使家庭网络能真正走进普通家庭，必须在考虑通讯质量的同时，兼顾成本。因此，可以考虑将各种解决方案融合，建立基于不同媒介的家庭网络系统。

目前宽带进入家庭有两种接入方式：ADSL 和 Ethernet。而 Ethernet 接入与 ADSL 相比有更好的扩展性、更高的带宽。目前，中国网通公司就是运用此技术提供宽带服务的。家庭中，如何将 Ethernet 最便捷和高效地延伸到各个角落是家庭网络要解决的主要问题。在家庭环境下，将电力线作为近距离高速数据传输的媒介来解决这个问题有很大的优势。首先，它在家庭的分布最广、接入容易。在家庭各个房间都安装有电源插座，可以作为网络的接入点。对于需要接入网络的设备放置没特殊要求，凡是需要电源的网络设备就可以通过它的电源插座接入家庭网络。而实现这些只需要在电源插上接上一个信号的中继装置。其次，成本低、安装方便正是家庭网络所追求的。通过电力线传输信号，不必再铺设额外的通讯线，这点对于刚装修好的家庭尤为重要。最后，它适应多种接口的接入。将接入家庭的 Ethernet 信号。通过特殊的中断装置传送到电力线上，在家庭网络设备端，通过同样的中继装置再将电力线上的信号还原成 Ethernet 信号，或是通过建有其它接口的中继装置（如 USB 接口）将来自电力线的数据从特定接口传给家庭设备（如上网家电），实现家庭设备的互联。此技术中，最为关键的就是不同媒介之间的中继装置。

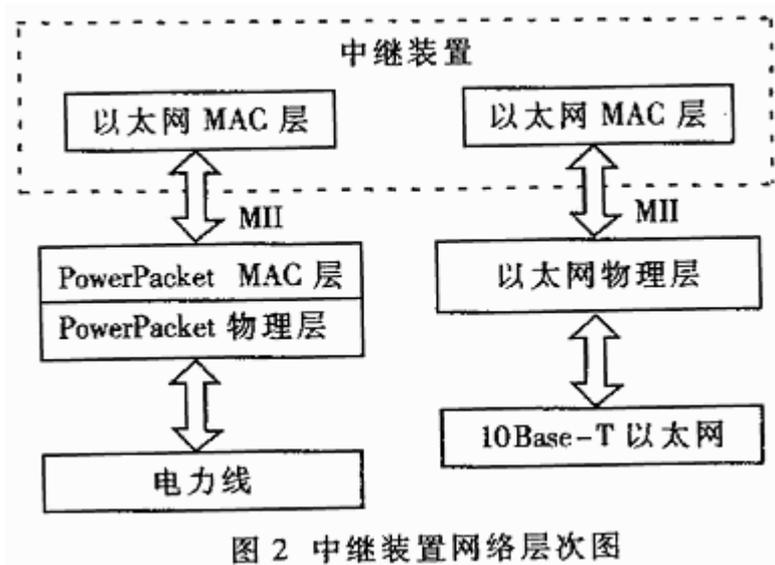
2 网络中继装置的实现

2.1 基于电力线的高速信号传输技术

使用 Intellon 公司的 PowerPacket 技术，可以实现在电力线上的传输带宽达到 14Mbps，而这种技术将来可以在电力线上实现 100Mbps 的传输速率。这为未来家庭网络向多媒体应用方向发展提供了支持。为实现基于电力线的高速信号传输，Intellon 公司采用了其新的专利技术——正交频分多路调制（OFDM）技术。它可以自适应地调整载波频率，避开受干扰严重的频率；多载波同时传输，实现高速的数据传输。Intellon 公司新推出的 INT5130 和 INT1000 就是采用这种技术的专用于低压电力线信号高速传输的芯片。

2.2 实现方案及工作过程

家庭网络组网如图 1 所示。网络接入服务营运商将 10Mbps 以太网接到每个家庭，实现宽带到户即 Ethernet 1 段。中继器实现以太网数据包的检测、缓冲和转发，实现两边所连接的不同段的网络状态的传播。通过中继器可以实现用电力线子网将两个以太网段相连接，在任一网段之间实现数据包的透明传输。当 Ethernet1 上的数据由中继器的以太网端口接收



做出判断，缓冲接收到的数据，再从电力线端口发送出去。同时，以太网端口和电力线端口都符合 CSMA/CD 规范。

中继装置的电力线端有 MAC 控制，但有别于以太网的 MAC。它是一个比以太网 MAC 更低层次的 MAC，如图 2 所示。它将以太网的 MAC 包视为数据包，再对它进行一次封装，将电力线 MAC 的信息封装到新的数据包中，然后在电力线上传输。电力线端口的 INT5130 中内建有 RISC，可以实现以太网数据包的 Bridge 功能，它使用一种源识别交换（source-aware bridging）技术。当一个节点需要发送以太网包，可以确定这个包的目标点是否在电力线上。如果不在本电力线段，而是需要中继装置进行转发，它会以中继器的地址为目标地址进行发送。在中断装置收到这个包后，会自动判断是否需要处理 SA 和 DA。中继器的 INT5130 芯片内部有一个地址列表，提供 BDA（Bridged Destination Address）信息。它把从 MII 口收到的以太网包的 SA 和自己的地址(BA)比较,如果不相同,则说明这个包是从其他节点发送的。在图 1 中可以认为是从 Ethernet1 段上的节点 A 发送的,它的 SA 为 SA1, INT5130 自动将这个 SA1 加入到 BDA 表中然后通过 Channel Estimation Response 数据帧, 将它的地址 BA 和它的 BDA 表发送给电力线上的其他节点。这样其他节点就知道如果要发送 DA=SA1 的包就需要向地址为 BA 的中继装置发送。而在发送前先对这个数据包进行修改, 在保留原来 SA 和 DA 的基础上, 封装进新的 DA=BA、SA=本节点地址。这样在中继装置收到后, 去掉由电力线上发送节点添加的信息, 还原成原来的数据包, 再从以太网端口发送到以太网上去。

由于将电力线作为传输媒介, 因此每个连接到电力线上的网络设备都可以将收到其他设备发出信号。为解决网络的安全问题, INT5130 会将信号加密发送, 在接收端再解密。收发双方有相同的密码钥匙才可以互相通讯。而且, 一个设备可以有多个密码钥匙, 可以通过网络配置这些密码。可以实现同时与不同设备的通讯, 而互不干扰。

有了这些技术。INT5130 可以实现通过家庭电力线以带宽共计方式接入 Internet、Internet 应用、PC 文件和应用共享、打印机共享、网络游戏等。

2.3 中继装置原理与构成

整个中继装置分为三个主要模块：以太网接口模块、电力线接口模块和中央控制模块。以太网接口模块的主要功能是检测以太网段的状态，接收从以太网上传来的数据包并发送从中内控制模块传来的数据。电力线接口功能是检测电力线状态，对于要发送的数据进行加密、调制、放大后发送到电力线上；在接收数据

时将根据收到信号的强度自动调节前端放大的增益，自动适应电力线上的环境变化；然后将经过解调和解密，将还原的数据传给中央控制模块。中央控制模块是实现数据交换控制，控制数据链路状态的中心。

中继装置的组成如图 3 所示。在以太网端，采用一般通用的以太网物理收发器，实现以太网信号的收发。

这里可以考虑采用 DAVIDCOM 的 DM9161+YL18-2050S, 10MB/100MB 自适应收发器及网络变压器，完全兼容 IEEE802.3MII 接口。

在电力线端，采用 Intellon 公司的 INT5130 和 INT1000 套片。它实现电力线上以太网数据帧的传输，内建 PowerPacket 电力线 MAC 和电力线收发器、802.3MII 接口和其他的算法控制模块。

中继装置的中央控制模块由 FPGA 实现。这样既可以便于对将来新接口的兼容升级，也考虑到家庭网络的发展迅速，以太家庭网络对于可扩展性的高要求。将中央控制模块放在 FPGA 中实现，可以实现多种家庭网络通信。如 Ethernet-Power-line-Ethernet; Ethernet-Power-line-USB; Ethernet-Power-line-WirelessNet 等。

FPGA 可以采用 Altera 公司的 ACEX 系列或是 Xilinx 的 SpartanII。这两个系列的 FPGA 容量大、价格低，适合应用在家庭网络产品中。FPGA 中需要实现与两个接口模块交互的控制接口，这可以由两个接口状态机实现。由于外围的接口芯片都采用了 MII 接口，所以必须在 FPGA 中实现 MII 使其与接口芯片实现数据传输和接口控制。中心控制由另一个状态机实现，它接收来自两个接口状态机的输入信号，作出状态判断，然后对相应的接口状态机发送控制信号。它需要实现输入的以太网数据的缓存，然后在判断出是一个有效的以太网帧后，开始向其它端口发送这个数据帧。在发送和接收的同时必须监视接口的状态，如果发生冲突，必须暂停所有的发送，然后开始发送以太网协议中规定的 JAM 帧，实现冲突的传播，保证在网络上同一个时间只有一个发送者拥有网络。为保证网络的自适应性，可以考虑在接收端发生冲突的概率 $P >$ 设定值时，将这个端口暂时封闭。这样可以避免另一端的网络受到影响而冲突频繁。在延迟一定时间后，再将这个端口开启。在设计中还需注意数据包不能在中继装置中造成很大的延时，所以中央控制模块要尽可能快地将数据包发送出去。所以当检测到一个有效的以太网数据帧头，就可以开始发送数据。



图 3 中继装置原理框图

对于可扩展性和兼容性要求不高的场合，可以考虑用专用的 Ethernet repeater 芯片替代 FPGA 实现的中央控制器功能。

基于家庭网络的设备都必须要求具备：安装方便，结构简单、升级性好、安全可靠、成本低廉。本文介绍的这种新型的家庭网络中继设备正是基于这种考虑而设计的。将电力线作为家庭网络信号传输的载体，大大便捷了网络的安装，增加了接入的手段和接入点。采用 PowerPacket 技术还提供了在短距离内实现高速的数据传输，为家庭网络实现多媒体应用提供了可能。在硬件接口上采用了标准的

以太网接口和电力线接口芯片，完全兼容 IEEE 标准和 HomePlug，中央控制完全由 FPGA 实现，既满足成本低廉的要求，又能提供很好的升级和维护性能，可以根据用户的要求和实际情况调制控制模式和新增接口。