

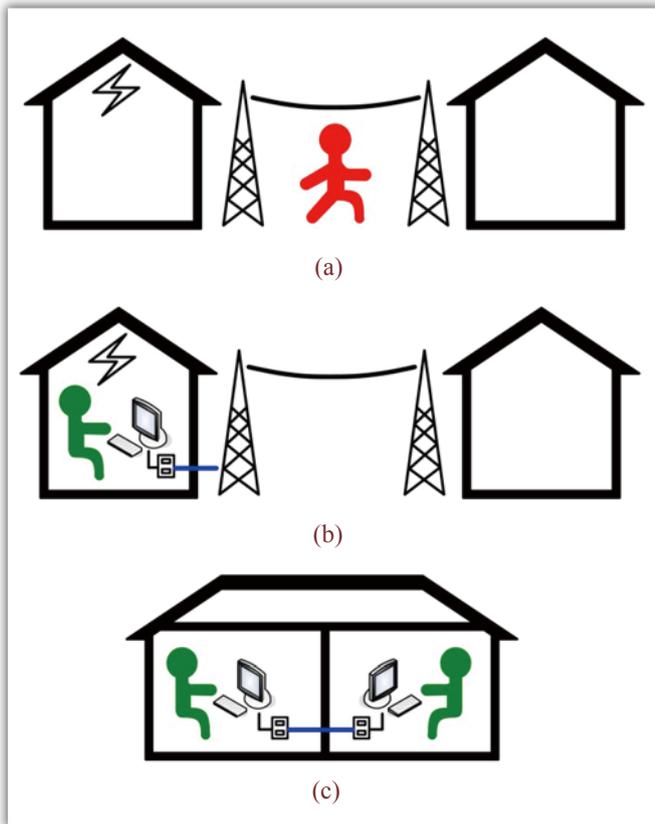
電力線通訊系統

陳中平／臺大電機系教授

謝旻翰／臺大電子所博士班學生

一、簡介

在現代這個屬於電腦的時代中，大量的資訊不斷地透過網際網路在人與人之間互相傳遞。建構網路的方法有許多種，如有線通訊與無線通訊，而以有線通訊中，除了光纖網路以及廣為大眾所使用的乙太網路外，還有一個就是本篇文章將為大家介紹的電力線網路。所謂的電力線網路就是使用既有的電力線作為傳輸通道，藉由電力線來傳送及接收經由數位訊號處理後的資訊及數據，統稱為電力線通訊 (Powerline Communication)。電力線網路為分布最廣泛的線路，使用電力線作為通訊媒介，優點除了無須額外佈線外，而且訊號並不像無線通訊一樣，訊號容易被建築物所阻隔。近年來，電力線通訊被視為建構「數位家庭」(Digital Home) 的關鍵技術之一，藉由妥善地與無線通訊 (Wifi) 結合，達到家庭數位影音通訊以及家電自動化的目的。電力線通訊發展歷史最早可追溯至 1920 年代，但直到 1950 年代才被歐洲電力公司拿來做自動抄表的應用，以及負載控制用，主要原因為歐洲的人力昂貴，電力公司為了減少成本支出，逐漸將記錄電表自動化。此時的電力線通訊由於技術限制，仍為窄頻通訊。直到 2001 年，Northern Telecom 宣布發展電力線通訊系統，並成功將資料傳輸速度提升至 1 Mbps，從此電力線通訊進入寬頻通訊的時代，成為家庭影音通訊的新選擇之一，也被視為解決「最後一哩」的方案之一。近年來，由高通，思科，英特爾，惠普，夏普，松下等公司組成的「家庭插電聯盟」(HomePlug Powerline Alliance)，制定了一系列電力線通訊規格，包含了最初的 HomePlug 1.0 (傳輸速度 80Mbps)，HomePlug AV (傳輸速度 200Mbps)，到最新的可使用多輸入多輸出 (MIMO) 技術的 HomePlug AV2 (傳輸速度可達 1.8 Gbps) 及用於家電控制的 HomePlug Green PHY (傳輸速度 10 Mbps)。

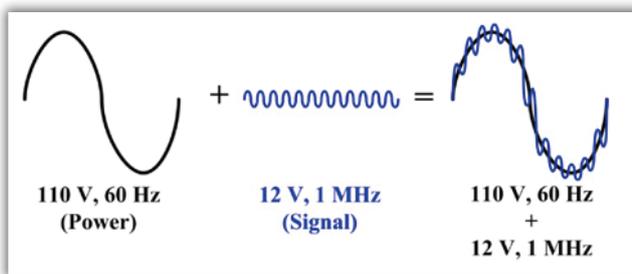


圖一 電力線通訊發展歷程 (a) 早期電力公司人力抄表 (b) 電力公司節省成本使用電力線通訊自動抄表 (c) 建構數位家庭影音

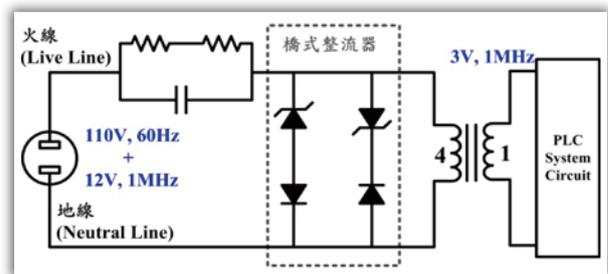
二、基本原理

由於電力線上已具有提供電力的高壓低頻訊號，台灣所提供的為 110V，60Hz 的訊號，而電力線通訊的基本原理為將較高頻的通訊訊號藕荷至電力線中，如圖二所示，透過藕荷器，可將高頻的通訊訊號與低頻電力訊號結合以傳送，反之，在接收端則透過藕荷器分離高頻通訊訊號與低頻的電力訊號。不同於無線通訊，資料通訊頻帶較低頻，波長較長，若直接傳送則需要相當長的天線，因此，通常使用一個高頻訊號作為載波，使用小尺寸的天線即可發射通訊訊號。而在電力線通訊中，反而使用低頻的交流電訊號作為載波，傳送高頻的數位通訊訊號。在接收端為了能夠成功分離高頻與低頻訊號，在藕荷器中，通常還包含一個高通濾波器，用來隔離低頻的大電壓訊號，保護使用者端的通訊晶片不被大電壓擊穿。圖三為一般常見的電力線通訊系統藕荷器，其中包含了一組 1:4 變壓器，橋式整流器，以及由電阻，電容與

變壓器的寄生電感所組成的高通濾波器。在使用者端，由於由半導體所製造的通訊晶片所使用的供應電壓通常非常低，因此僅能提供小振幅的輸出訊號，再透過一個 1:4 的變壓器將通訊訊號放大四倍，並藕荷至電力線中，而在靠近電力線端，大電壓的低頻電力訊號被高通濾波器所阻隔，使得電力訊號並不會藉由變壓器而傳送至使用者端破壞通訊晶片，並造成使用者的危險。另外，為了提供更安全的防護，通常還會加上由二極體所組成的橋式整流器，將電力交流訊號轉換成穩定的直流訊號。



圖二 電力線通訊基本原理



圖三 電力線通訊藕荷器

三、寬頻通訊系統

近年來，為了提供人們娛樂的數位影音資料能夠快速地在人群間傳送，具有高速傳輸的寬頻通訊系統被大量地使用在各種有線及無線通訊系統中，而電力線通訊也不例外。所謂的寬頻通訊系統，簡單的說就是藉由佔據更寬的頻帶範圍，在一定時間內夾帶大量的資訊來傳送，達到高速傳輸的目的，如最新無線通訊 WiFi 802.11ac 的頻寬為 80MHz，及在 2012 年才公布的電力線規格，HomePlug AV2 的頻帶範圍是 2MHz ~ 86MHz。

A. 訊號調變

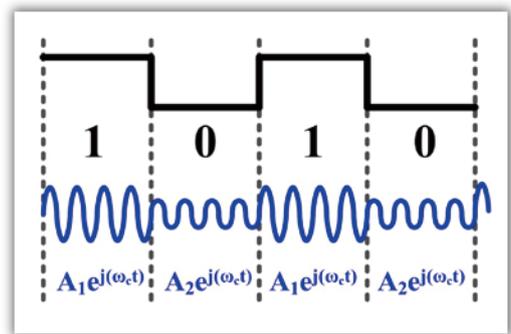
由於在真實世界中，任何頻率的訊號皆為類比訊號，因此，要如何在真實世界中傳送數位訊號成爲一項非常重要的課題。一般來說，通常我們會利用振幅，相位及頻率的不同，來分別代表不同的數位訊號。藉由改變不同的振幅 (ASK)，不同的相位 (PSK)，抑或不同的頻率 (FSK)，來判斷傳送或接收的數位訊號，因此我們可以使用廣義的三角函數將訊號定義為：

$$s(t) = Ae^{j(\omega_c t + \theta)}$$

其中 A 為訊號振幅， ω_c 為訊號的使用頻率， θ 為相位偏移。為了增將頻帶的使用效率，我們通常使用固定頻率，並藉由振幅偏移調變 (ASK) 或相位偏移調變 (PSK) 來傳送數位訊號，由於在這邊介紹的是數位通訊，因此我們講此過程簡稱為數位調變。以下簡單介紹幾種數位調變的方式。

1. 振幅偏移調變 (Amplitude-Shift Keying, ASK)

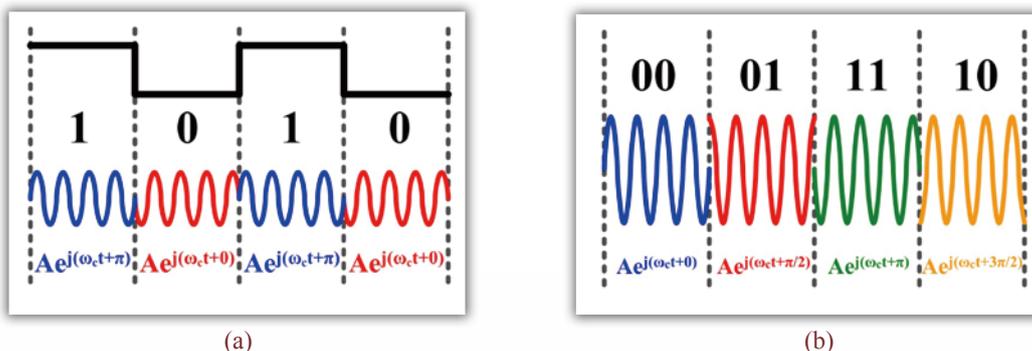
震幅偏移調變在特定傳輸頻率上，保持一定的相位，藉由改變訊號振幅來代表數位資料的「0」與「1」，如圖四所示，使用通訊頻帶為 ω_c ，並保持零度的相位偏移，當傳送資料為「0」時，震幅為 A_2 ，而當傳送資料為「1」時，則放大振幅為 A_1 。為了提高傳輸速度，也可使用多種不同的震幅，來傳送多位元的數位資料，由於使用半導體製造的通訊晶片，通常可提供的訊號非常的小，其因此我們並不常單純使用 ASK 通訊調變。



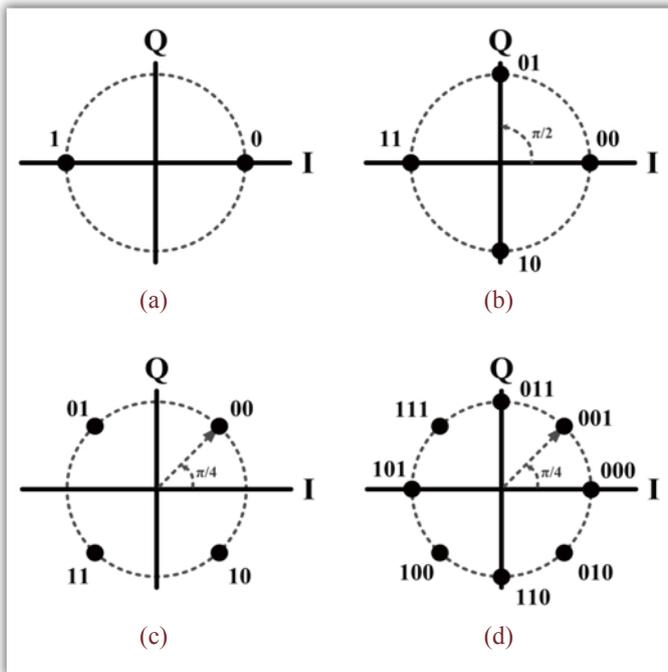
圖四 振幅偏移調變

2. 相位偏移調變 (Phase-Shift Keying, BPSK)

相位偏移調變與震幅偏移調變一樣，都是使用特定頻率，但相位偏移調變卻保持固定的訊號振幅，藉由改變相位來代表數位資料的「0」與「1」，其中最簡單的就是二相相位偏移調變，如圖五 (a) 所示，當傳送「0」時，則維持零度的相位，而當傳送「1」時，則相位轉換至 π 。由於相位偏移調變並不如震幅偏移調變一樣，容易受雜訊所干擾，因此，若要增加傳送的位元數來提升傳輸速度，可藉由增加將為偏移數即可。圖五 (b) 為四相相位偏移調變示意圖，四相相位偏移調變一次可傳送兩個位元資料，當傳送資料「00」時，相位依舊維持零度，當傳送資料「01」時，相位偏移為 $\pi/2$ ，當傳送資料為「11」時，相位偏移為 π ，最後當傳送資料為「10」時，相位偏移則為 $3\pi/2$ 。事實上，為了增加傳送速度，也有人使用八相相位偏移 (8PSK)，甚至是十六相相位偏移調變 (16PSK)。我們可以使用廣義三角函數來表示各種相位偏移調變，如圖六所示，也就是廣為通訊領域所使用的星座圖，使用各種不同的相位移來表示不同的數位資料。



圖五 相位偏移調變 (a) 二相相位偏移調變 (b) 四相相位偏移調變



圖六 相位偏移調變星座圖 (a) BPSK (b) QPSK (c) QPSK (d) 8PSK

3. 正交振幅調變

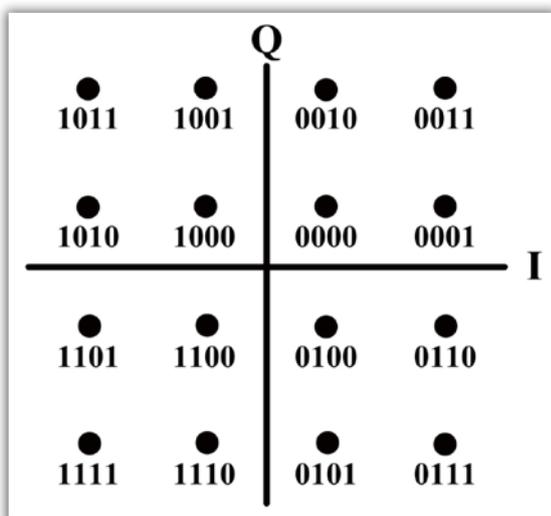
(Quadrature Amplitude Modulation, QAM)

當使用通訊頻率固定時，其實我們不只能單一改變振幅或相位，事實上，我們也可同時改變這兩個變數，對於這種同時改變振幅與相位的調變方式，我們稱為正交振幅調變。由於可同時改變振幅與相位，代表在星座圖上的點數增加了，並且點與點之間可維持一定的距離，使訊號在傳送過程中，即使受到了雜訊的干擾，其相位或振幅的偏移，並不容易使接收端造成誤判的結果。圖七為 16-QAM 的星座圖範例，可發現在 16-QAM 的調變方式中，一次可傳送四個位元，將較於 BPSK 一次只能傳送一個位元來說，速度便提升了四倍。而在電力線通訊系統 HomePlug AV2 中，最高可支援 4096-QAM 的調變方式，

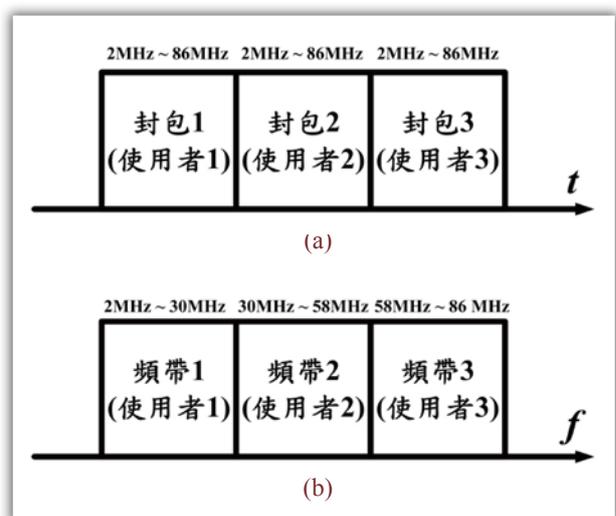
也就是在某特定傳輸頻率下，可加載的資訊量高達 12 位元。由於在一個通訊系統中，通常會使用一個頻帶來傳輸資訊，而非單一頻率，如 HomePlug AV2 的通訊頻帶為 2MHz~86MHz，其中可使用的通訊頻率高於 3000 個，因此可推測，使用 4096-QAM 的調變方式，在每一個封包中，可傳輸的資訊量將高達 36000 位元。

B. 多工

由於同一種通訊系統中的使用者通常很多，該如何將資源分享給每一個使用者成為了一個非常重要的課題。由許多使用者共享一個通訊系統的方式可分為「分時多工」與「分頻多工」。分時多工如圖八 (a) 所示，在每次的封包傳送時，只會有一個特定的使用者占據整個通訊頻帶，其他使用者則處於閒置的狀態中，就使用者的觀點來看，閒置的時間會讓使用者感覺系統壞了而有不好的觀感，因此目



圖七 16-QAM 正交振幅調變星座圖



圖八 (a) 分時多工 (b) 分頻多工

前大家則偏向使用另一個多工技巧「分頻多工」，如圖八 (b) 所示，分頻多工則是在一個傳輸封包內，每一位使用者可以分別佔據某一部分通訊頻帶，雖然平均的傳輸速度依舊會變慢，但卻少了閒置的時間。由於近幾年來，「正交多頻分工 (Orthogonal Frequency-Division Multiplexing, OFDM)」技術被證明可提升訊號的穩定度，使訊號較不容易受雜訊所干擾，因此，正交分頻多工被廣泛的使用在各種通訊系統中，而電力線通訊系統便是其中之一。

四、結論

電力線通訊系統發展歷史悠久，近年來，隨著技術的突破，如耦合器，與寬頻通訊系統的發展，各種因素下得以成為建構數位家庭的主流技術之一，隨著各種聯盟規格的制定，電力線通訊不僅在歐洲已被大量使用，美國總統歐巴馬在上任時更指定發展電力線通訊，建構智能電網，達到綠能的目的。相信不久的將來，電力線通訊也能在台灣蓬勃發展。