

Das perfekte Heim-Netzwerk gibt es schon: HD-Video-Übertragung über das Stromnetz

Von (Ashish Garg und Uzma Hussain Barlaskar, Cypress Semiconductor)

Die Vernetzung des Haushalts könnte zur nächsten großen technischen Herausforderung im Consumer-Bereich werden. Private Nutzer von Musik-, Video- und anderen Multimedia-Inhalten haben zunehmend den Wunsch, diesen Content zwischen verschiedenen Geräten (PCs, Spielkonsolen, Hi-Fi-Anlagen, Media Servern usw.) zu übertragen und benötigen hierzu ein breitbandfähiges Netzwerk mit garantierter Dienstqualität (Quality of Service – QoS).

Drahtlose Heim-Netzwerke (meist auf Wi-Fi-Basis) sind für diese Aufgabe ungeeignet. Wi-Fi bietet sich eher für die gemeinsame Nutzung von Internet-Zugängen durch verschiedene Computer an, denn der Datenverkehr ist hier nicht besonders stark und nur durch kurze Spitzen gekennzeichnet. Hochauflösende Videos (kurz HD für ‚High Definition‘) sind dagegen für den ungetrübten Genuss des Nutzers auf mehr Bandbreite und vorhersagbare QoS angewiesen. Damit aber kann nur die leitungsgebundene Übertragung aufwarten.

Bild 1. Gegenüberstellung verschiedener Optionen für Heim-Netzwerke

Technik	Datenraten	Vorteile	Nachteile	Standards/Konsortien
Ethernet over Powerline	200 MBit/s (max) 120 MBit/s (realistic)*	überall verfügbar. Keine neuen Leitungen erforderlich	subjektiv empfundene Unsicherheit, ob die Technik funktioniert	UPA, HD-PLC, HomePlug
Ethernet (über Cat 5 Kabel)	100 MBit/s (max) 50 MBit/s (realistisch)*	Einfache Installation	Verkabelung erforderlich	IEEE
Nächste Generation WiFi IEEE 802.11n	100 MBit/s (max) 15-30 MBit/s (realistisch)*	Keine Verkabelung erforderlich	Interferenz durch benachbarte Netzwerke	IEEE
Ethernet over Coax	270 MBit/s (max) 135 MBit/s (realistisch)*	Kaum Interferenz durch benachbarte Netzwerke	Verkabelung erforderlich für Häuser ohne Koax-Infrastruktur	MoCA, TVnet
Ethernet over Phone Line	140 MBit/s (max) 80-100 MBit/s (realistisch)*	Keine Interferenz durch benachbarte Netzwerke	Verkabelung erforderlich für Häuser ohne Telefonleitungs-Infrastruktur	HomePNA

*Quelle: Heavy Reading Report, „Multimedia Whole-Home Networking: Solving the IPTV Distribution Dilemma“ Mai 2006

Was spricht für Ethernet-over-Powerline?

Wie Bild 1 zeigt, stehen dem Anwender mehrere Optionen zum Aufbau eines Heim-Netzwerks zur Verfügung. Ethernet-over-Powerline (EoP), also die Ethernet-Vernetzung über das Stromnetz, kristallisiert sich dabei verglichen mit den übrigen Vernetzungs-Technologien als sinnvollste Alternative heraus. Dies hat mehrere Gründe:

- Netzkabel gibt es überall. Durch die Powerline-Technik wird jede Netzsteckdose im Haus des Anwenders zu einem potenziellen Netzwerkzugang.
- EoP-Produkte sind Plug-and-Play-Geräte, die ohne Neuverkabelung auskommen.
- Powerline-Produkte unterstützen heutzutage Datenraten bis zu 200 MBit/s und bieten mehrere QoS-Stufen, was sie für das Streamen von Videos in HD- und SD-Qualität (Standard Definition) geeignet macht.
- Powerline-Netzwerke schützen den Content auf zweierlei Weise. Ein böswilliger Anwender müsste sich zunächst Zugang zu den Netzsteckdosen im Haus verschaffen und zusätzlich die EoP-eigene Verschlüsselung knacken.
- Die TDMA-Technik (Time Division Multiple Access) der EoP-Netzwerke garantiert, dass ausreichend Bandbreite für Video-Übertragungen zur Verfügung steht.

EoP-Grundlagen

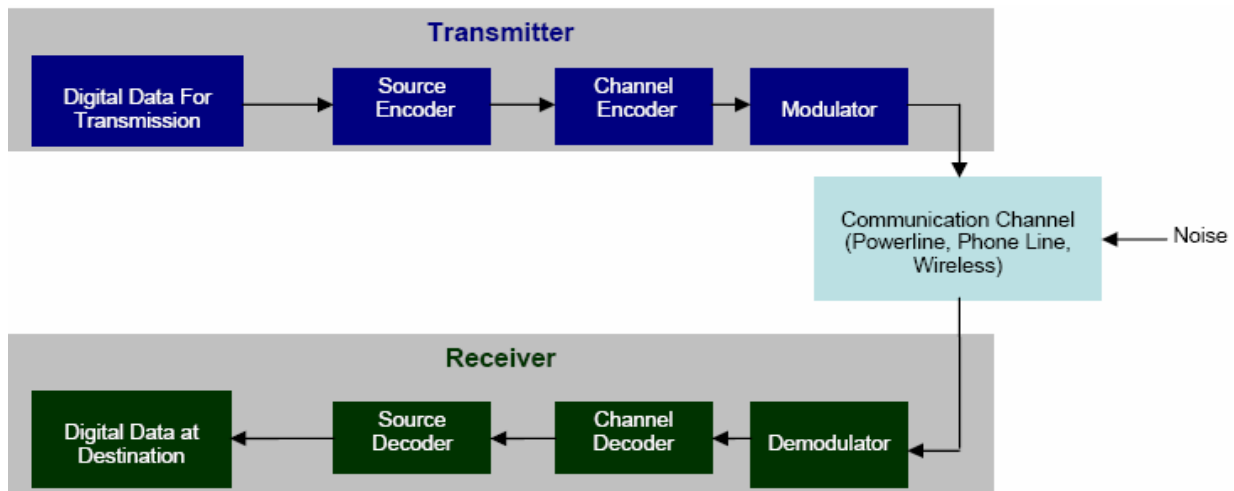
In EoP-Systemen werden die Kupferleitungen, die zur Stromversorgung in die einzelnen Räume eines Hauses verlegt sind, auch zur Übertragung digitaler Daten verwendet. In der Regel wird der Wechselspannung dazu eine modulierte Trägerfrequenz überlagert.

Neu ist diese Technik durchaus nicht, werden Stromkabel doch bereits seit Mitte der 1970er Jahre als Datenkommunikations-Medium genutzt. Bis Ende der 1990er Jahre aber unterstützte die EoP-Technik lediglich geringe Bitraten, die nur die Übermittlung von Steuersignalen zuließen (Fernwirktechnik).

Neue Algorithmen, mit denen der Einfluss der Störungen auf den Stromkabeln überwunden werden kann, haben die Stromleitungen mittlerweile zu einer realistischen Alternative für die Übertragung digitaler Inhalte mit hoher Bandbreite gemacht. Zeitgleich ist die Prozessorleistung so billig geworden, dass sich diese rechenintensiven Algorithmen auf einem einzigen Chip implementieren lassen, der durch seinen günstigen Preis auch für den Massenmarkt erschwinglich ist.

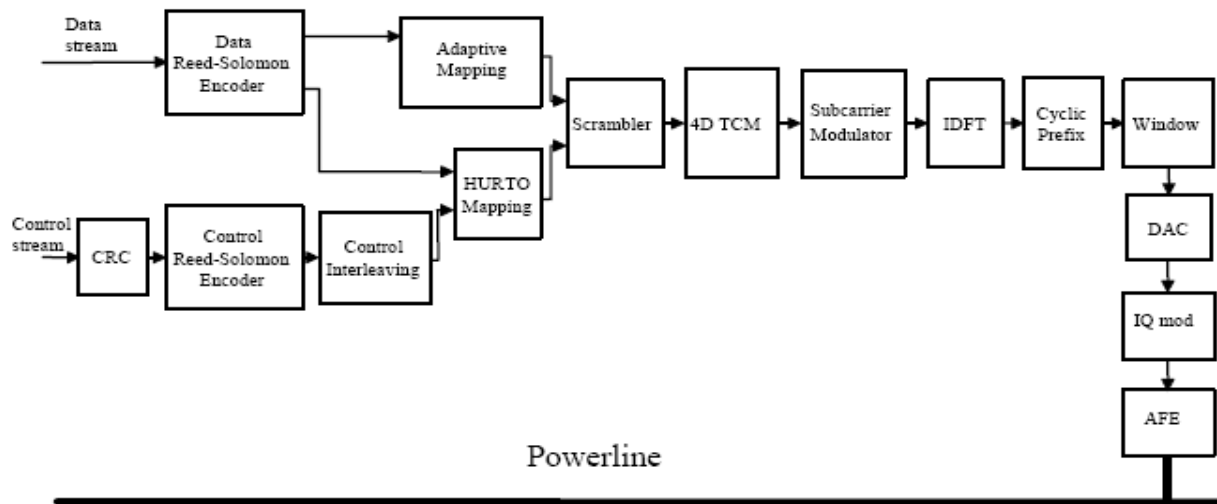
Ausgangspunkt eines EoP-Systems ist ein Sender, der die von einem PC oder einem anderen an das Netzwerk angeschlossenen Gerät ausgegebenen digitalen Daten in ein analoges Signal verwandelt und dieses analoge Signal der Netzspannung überlagert. Der Empfänger extrahiert das Datensignal wieder und wandelt es in digitale Informationen für das jeweils angeschlossene Gerät um (Bild 2).

Bild 2. Allgemeines Blockschaftbild eines digitalen Kommunikationssystems



Eine von der Universal Powerline Association (UPA) entwickelte EoP-Version, nämlich die so genannte DHS-Spezifikation (Digital Home Standard), ist für gemanagte und nicht gemanagte Powerline-Netzwerke im privaten Bereich konzipiert. Sie basiert auf einer Master-Slave-Steuerungsarchitektur und ist hinsichtlich der Datenübertragung nach dem Peer-to-Peer-Prinzip organisiert (Bild 3).

Bild 3. Blockschaftbild des Physical Layer (PHY) des DHS



Technische Probleme bei der Powerline-Kommunikation

Ebenso wie bei jeder anderen Powerline-Kommunikationstechnik mit hohen Übertragungsraten müssen auch bei DHS mehrere gravierende, ins Auge fallende Herausforderungen bewältigt werden. Nur ein paar Beispiele:

Spannungsspitzen: Das häufigste Missverständnis im Bereich der EoP-Technik lautet, dass die Leistungsfähigkeit dieses Netzwerks mit der Qualität der elektrischen Stromversorgung zusammenhänge, weil schließlich die Netzleitung als Kommunikationsmedium benutzt wird. Es darf jedoch nicht vergessen werden, dass die PHY-Schicht des DHS im Frequenzbereich von 2 bis 32 MHz arbeitet, während die Frequenz des Netzstroms 50 oder 60 Hz beträgt. Die Nutzung des Spektrums von 2 bis 32 MHz bietet die Gewähr dafür, dass die digitalen Signale weniger empfindlich gegenüber Spannungsspitzen und -schwankungen im Bereich von 50/60 Hz sind.

Störungen auf der Stromleitung: Störungen bzw. Rauschen sind das größte Hindernis, das der Nutzung von Stromleitungen als Kommunikationsmedium im Wege steht. Ein EoP-Produkt muss selbst dann eine hochwertige HD-Video-Übertragung gewährleisten, wenn ein Mixer oder ein Fön eingesteckt und benutzt wird.

Die DHS-Technik löst dieses Problem auf vier Wegen:

Robuste Modulation

Häufige Kanalabschätzung

Adaptives Bit-Loading

Vorwärts-Fehlerkorrektur

1. Robuste Modulation: Die UPA-Technik nutzt die OFDM-Modulation (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) mit 1.536 Trägern und einer unabhängig für jeden Sub-Träger gewählten Modulationsdichte zwischen 2 und 10 Bit.

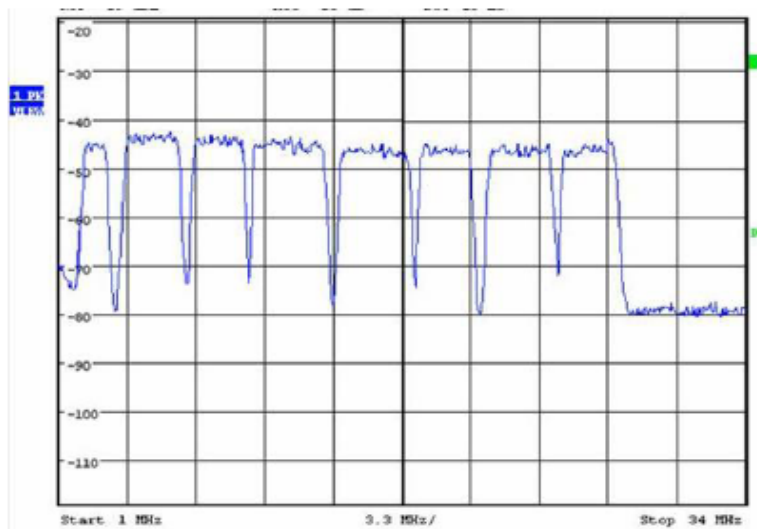
2. Häufige Kanal-Abschätzung: Das Störungsaufkommen auf Stromleitungen weist häufig kurzzeitige Spitzen auf, denn es resultiert größtenteils aus Haushaltsgeräten wie Küchenmaschinen oder Mikrowellenöfen, die nur selten benutzt werden. Die UPA-Version der EoP-Technik nimmt häufige Kanal-Abschätzungen vor und tauscht ‚Trainings-Daten‘ zwischen dem Sender und den angeschlossenen Empfängern aus. Auf diese Weise erhalten die EoP-Geräte Informationen darüber, welche Abschnitte des Powerline-Kanals die intensivsten Störungen verursachen. Nach dieser Detektierung des Störaufkommens sorgen die Sender durch adaptives Bit-Loading dafür, dass das Spektrum der Stromleitung optimal ausgeschöpft wird.

3. **Adaptives Bit-Loading:** Unter adaptivem Bit-Loading versteht man die Echtzeit-Anpassung der Modulationsparameter für jedes Sender/Empfänger-Paar, um die Kanalparameter eines jeden Trägers zu berücksichtigen. Nach Messung des Signal-Rauschabstands für jeden Träger wird die optimale Modulation gewählt mit dem Ziel, eine maximale Übertragungsrate zu erzielen und die angestrebte Bitfehlerrate (Bit Error Rate – BER) einzuhalten. Störungen durch andere angeschlossene Geräte lassen sich dadurch minimieren.

4. Die Vorwärts-Fehlerkorrektur (Forward Error Correction – FEC) überträgt so viele Informationen vom Sender zum Empfänger, dass die gesendeten Daten selbst bei einem störungsbedingtem Datenverlust vom Empfänger regeneriert werden können, ohne dass die Übertragung wiederholt werden muss. In der DHS-Spezifikation der UPA ist die Vorwärts-Fehlerkorrektur mit Hilfe dynamischer Reed-Solomon-Codes implementiert.

Interferenzen mit Funk-Kommunikation: Wie erwähnt, verwendet die breitbandige Powerline-Kommunikation den von 2 bis 32 MHz reichenden Teil des Powerline-Frequenzspektrums. Diese Frequenzen können jedoch auch an Funddienste wie zum Beispiel Amateurfunken lizenziert sein. Die EoP-Technik der UPA sieht deshalb programmierbare Frequenz-„Kerben“ vor, um Frequenzen zu vermeiden, die von staatlicher Seite nicht zur Verwendung freigegeben sind. Die DHS-Technik bedient sich dazu eines als ‚Windowed-OFDM Modulation‘ bezeichneten Verfahrens, mit dem sich Lücken im Frequenzband programmieren lassen, ohne die Leistungsfähigkeit außerhalb dieser Lücken nennenswert zu beeinträchtigen.

Bild 6. Lücken im Spektrum vermeiden Interferenzen mit Funkdiensten



Bandbreitenzuweisung zur Einhaltung der QoS-Vorgaben: Die Übertragung hochauflösender Videos erfordert sehr große Bandbreiten. Hinzu kommt, dass das System die reibungslose Videoübertragung auch unter erschwerten Bedingungen gewährleisten muss, beispielsweise unter dem Einfluss intermittierender Störungen, bei Interferenzen durch benachbarte Powerline-Netzwerke oder in einem Netzwerk, das bereits mit Daten niedriger Priorität gesättigt ist.

Die DHS-Spezifikation setzt auf Traffic-Klassifizierung und ein zentralisiertes Bandbreiten-Management, um diese Bedingungen zu erfüllen. Diese als ‚Advanced Dynamic Time Division MAC‘ (ADTDM) bezeichnete Technik ist für Audio/Video-Distributions-Anwendungen optimiert, in denen hohe Leistungsfähigkeit, strikte Bandbreiten-Reservierung und Traffic-Priorisierung und QoS höchsten Stellenwert haben. Sämtlichen Knoten des Powerline-Netzwerks wird entsprechend der jeweiligen Dienstpriorität der kollisionsfreie Zugriff auf den Übertragungskanal gewährt. Diese Prioritäten können an die Anforderungen verschiedenen Applikationen (z. B. Datenübertragung, VoIP, Video on Demand) angepasst werden.

Die Master/Slave-Architektur des EoP-Systems der UAP ist ferner dadurch gekennzeichnet, dass eines der EoP-Geräte als Master definiert wird, während die übrigen Geräte als Slaves fungieren. Dabei obliegt es dem Master, den anderen EoP-Geräten – d. h. den Slaves – Zeitschlitz für den Zugriff auf den Kanal zuzuweisen. Dies ist die effektivste und zugleich einfachste Möglichkeit, die Vergabe von Bandbreite an die verschiedenen Traffic-Arten im Netz zu gewährleisten.



Content-Sicherheit: Die Spezifikation der UPA sieht die 168-Bit AES-Verschlüsselung vor, damit eine sichere Content-Verteilung gewährleistet ist.

Weitere Optionen für die EoP-Implementierung

Die EoP-Technik wird in verschiedenen Varianten angeboten (z. B. UPA, HD-PLC, HomePlug 1.0, HomePlug 1.0 Turbo und HomePlug AV). Wichtige Auswahlkriterien bei der Entscheidung für eine Powerline-Spezifikation sind:

Leistungsfähigkeit: Für die Distribution von HD-Video-Content im Haus ist eine Datenrate von mindestens 150 MBit/s unerlässlich. UPA, HD-PLC und HomePlug AV kommen auf einen Durchsatz von 200 MBit/s, während die Datenraten älterer Powerline-Techniken wie HomePlug 1.0 und HomePlug 1.0 Turbo lediglich 14 MBit/s bzw. 85 MBit/s betragen.

Ausgereiftheit: Von den 200-MBit/s-Chipsätzen der UPA wurden inzwischen mehr als eine Million Stück verkauft, seit diese Technik im Jahr 2004 eingeführt wurde. Die Verwendung durch Telekommunikations-Service-Provider in Europa trug dazu bei, diese Technik zu einer tragbaren Lösung zu machen.

HomePlug AV wurde drei Jahre nach der DHS-Technik der UPA eingeführt. Die Bemusterung von 200-MBit/s-Chipsätzen für HomePlug AV hat begonnen, und auch erste Consumer-Produkte auf Basis dieser Technik wurden Anfang 2007 angekündigt.

Über die Auslieferung größerer Stückzahlen von HD-PLC-Lösungen (200 MBit/s) liegen noch keine Zahlen vor.

Fazit

Die Praxistauglichkeit der EoP-Technik ist durch die erfolgreiche massenweise Installation entsprechender Consumer-Produkte in Europa und anderen Regionen belegt. Für den Konsumenten stellt die Powerline-Kommunikation die bei weitem billigste und komfortabelste Möglichkeit der Breitband-Kommunikation mit sämtlichen Räumen eines Hauses dar. Bleibt abzuwarten, welche der konkurrierenden Techniken mit einem Durchsatz von mindestens 150 MBit/s schließlich die dominierende Stellung auf dem Markt erlangen wird.



Cypress Semiconductor
198 Champion Court
San Jose, CA 95134-1709
Phone: 408-943-2600
Fax: 408-943-4730
<http://www.cypress.com>

© Cypress Semiconductor Corporation, 2007. The information contained herein is subject to change without notice. Cypress Semiconductor Corporation assumes no responsibility for the use of any circuitry other than circuitry embodied in a Cypress product. Nor does it convey or imply any license under patent or other rights. Cypress products are not warranted nor intended to be used for medical, life support, life saving, critical control or safety applications, unless pursuant to an express written agreement with Cypress. Furthermore, Cypress does not authorize its products for use as critical components in life-support systems where a malfunction or failure may reasonably be expected to result in significant injury to the user. The inclusion of Cypress products in life-support systems application implies that the manufacturer assumes all risk of such use and in doing so indemnifies Cypress against all charges.

PSoC Designer™, Programmable System-on-Chip™, and PSoC Express™ are trademarks and PSoC® is a registered trademark of Cypress Semiconductor Corp. All other trademarks or registered trademarks referenced herein are property of the respective corporations.

This Source Code (software and/or firmware) is owned by Cypress Semiconductor Corporation (Cypress) and is protected by and subject to worldwide patent protection (United States and foreign), United States copyright laws and international treaty provisions. Cypress hereby grants to licensee a personal, non-exclusive, non-transferable license to copy, use, modify, create derivative works of, and compile the Cypress Source Code and derivative works for the sole purpose of creating custom software and or firmware in support of licensee product to be used only in conjunction with a Cypress integrated circuit as specified in the applicable agreement. Any reproduction, modification, translation, compilation, or representation of this Source Code except as specified above is prohibited without the express written permission of Cypress.

Disclaimer: CYPRESS MAKES NO WARRANTY OF ANY KIND, EXPRESS OR IMPLIED, WITH REGARD TO THIS MATERIAL, INCLUDING, BUT NOT LIMITED TO, THE IMPLIED WARRANTIES OF MERCHANTABILITY AND FITNESS FOR A PARTICULAR PURPOSE. Cypress reserves the right to make changes without further notice to the materials described herein. Cypress does not assume any liability arising out of the application or use of any product or circuit described herein. Cypress does not authorize its products for use as critical components in life-support systems where a malfunction or failure may reasonably be expected to result in significant injury to the user. The inclusion of Cypress' product in a life-support systems application implies that the manufacturer assumes all risk of such use and in doing so indemnifies Cypress against all charges.

Use may be limited by and subject to the applicable Cypress software license agreement.