



Broadband over powerlines

Seminarski rad iz kolegija *Sustavi za praćenje i vođenje procesa*

Ivan Dokmanić

Zagreb, 2006.

Sadržaj

Sažetak.....	1
1 Uvod.....	2
2 Princip rada.....	4
Temeljni princip	4
Tehnički opis	6
3 Problemi, rješenja?.....	8
4 Zaključak.....	10
5 Literatura	11

Sažetak

Broadband pristup internetu je sasvim sigurno prestao biti privilegija znanstvenih ustanova ili povlaštenih pojedinaca. U svijetu u kojem sve veći broj potreba zadovoljavamo na Mreži, u kojem tvrtke zatvaraju fizičke urede i otvaraju virtualne, u kojem iz fotelje možemo poslušati najnoviju pjesmu omiljenog benda, pogledati vremensku prognozu ili kupiti vikendicu na Tajlandu, neophodno je broadband učiniti dostupnim svima. BPL – *Broadband over powerlines* tehnologija ima potencijal omogućiti broadband pristup internetu svakom kućanstvu koje koristi komercijalnu elektroenergetsku mrežu, drugim riječima praktično svakom kućanstvu. U ovom seminaru je dan pregled BPL tehnologije i problema BPL-a s kojima se inženjeri suočavaju u praksi (premošćivanje spojeva između visokonaponske, srednjenaponske i niskonaponske mreže, elektromagnetska kompatibilnost). Navedeni su razlozi zbog kojih euforiji vjerojatno nema mjesta.

1 Uvod

Korištenje elektroenergetske mreže za komunikaciju (*PLC – Powerline communications*) nije novost. Primjene su postojale još 50-ih godina prošloga stoljeća, ali nije smatrana ozbiljnom komunikacijskom tehnologijom zbog male brzine prijenosa, niske funkcionalnosti i visokih troškova razvoja. Ipak, u novije vrijeme, novi modulacijski postupci i općenit tehnološki napredak zahtjevaju ponovnu evaluaciju mogućnosti PLC-a kao tehnologije koja ozbiljno pretendira na masovno tržište.

Povijesno, jedan od prvih primjera komunikacije putem elektroenergetske mreže je metoda *upravljanja valovitošću*. Toj su metodi svojstvene niske frekvencije (100 – 900 Hz), posljedice čega su mala brzina i značajni zahtjevi na prenesenu snagu signala. Sustav je pružao jednosmjernu komunikaciju i jedna od primjena je bila upravljanje uličnom rasvjetom.

Sredinom 80-ih su u Europi i SAD-u izvođeni eksperimenti s višim frekvencijama. Cilj je bio analizirati svojstva elektroenergetske mreže kao medija za prijenos podataka. Korištene su frekvencije od 5 do 500 kHz i mjereni su parametri poput odnosa signala i šuma odnosno atenuacije signala. U kontekstu tih studija, razvijena je i *SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition)* tehnologija [1].

Dvosmjerna komunikacija je razvijena kasnih 80-ih i ranih 90-ih, a današnja se tehnologija od tada razvijene prvenstveno razlikuje u primjeni značajno viših frekvencija i korištenju manjih snaga signala. U drugoj polovici 90-ih mnoge tvrtke počinju eksperimentirati sa većim brzinama prijenosa. Današnja tehnologija omogućuje broadband komunikaciju preko niskonaponske i sredjenaponske mreže i pruža izvanredne tržišne mogućnosti. Napredak u tehnikama obrade signala danas je doveo do brzina koje se mjere desetcima ili stotinama megabita u sekundi, čak i u vrlo lošim uvjetima (energetski vodovi u stambenim četvrtima). Jasno je da time tzv. *last kilometer* BPL postaje itekako realna mogućnost.

Pristup realizaciji BPL-a ovisi o arhitekturi elektroenergetske mreže. U Europi primjerice, više desetaka kućanstava može biti posluživano BPL-om putem jednog niskonaponskog kabela (230 – 400 V). Glavni izazovi vezani uz fizički sloj leže u visokom gušenju kabela (više desetaka dB na nekoliko stotina metara) i višestrukim, vremenski varijantnim refleksijama od priključaka pojedinih kućanstava (ali i od pojedinih utičnica) [2].

BPL omogućuje [3]:

- Brz i siguran pristup internetu
- Telefoniju putem interneta koja je sigurna i visoke kvalitete
- Udaljeni nadzor i upravljanje *internet enabled* kućanskim aparatima poput hladnjaka, sustava za grijanje, dimnih i požarnih alarma
- Višeparametarske sustave za sigurnosni nadzor
- Usluge brige o zdravlju
- Očitavanje brojila putem interneta, dakle kvalitetnu i preciznu naplatu energenata

Osim toga,

- Omogućuje spajanje PC-a, telefona i ostalih uređaja na internet jednostavnim priključivanjem na napajanje
- Drastično smanjuje broj žica koje koristimo za povezivanje uređaja

S druge strane, važno je ne smetnuti s uma brojne izvještaje o smetnjama u RF području izazvanim BPL-om. Upravo su interferencije sa postojećim komunikacijama najveća mana BPL-a i razlog zbog kojeg je upitna njegova masovna komercijalna upotrebljivost.

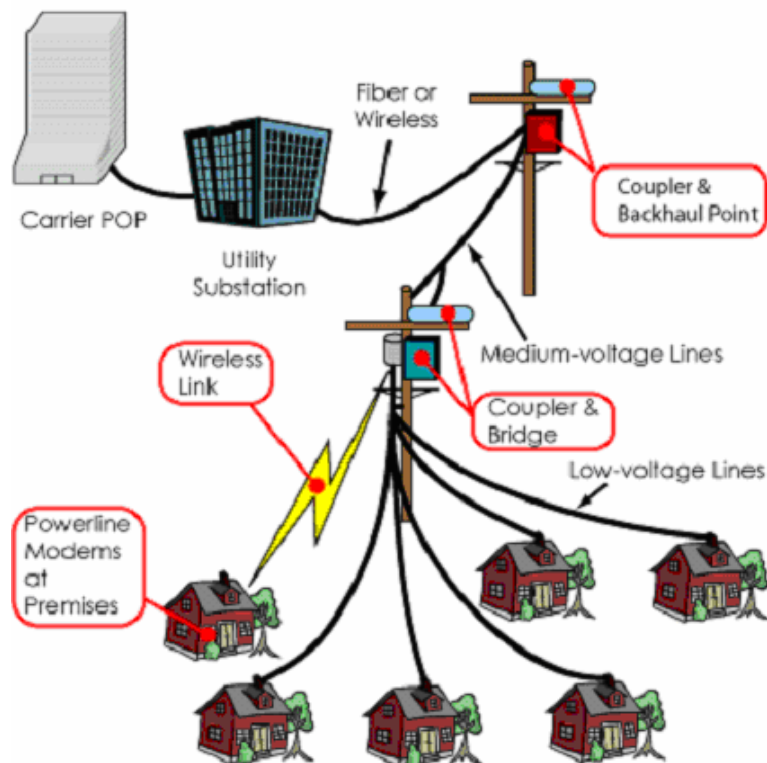
2 Princip rada

Temeljni princip

Kasnih 80-ih je primjećeno da fiksna telefonija koristi samo mali dio raspoloživog spektra (spektra signala koji možemo prenositi telefonskom paricom). To je dovelo do razvoja DSL-a odnosno većih brzina prijenosa klasičnom telefonskom paricom uz korištenje šireg spektra.

Frekvencija mrežnog napona je 50 (60) Hz. Time je praktično cijelo frekvencijsko područje energetskog vodiča ostavljeno slobodno, pa je razumna ideja da, kao i kod telefonske parice, vodič iskoristimo za druge namjene – prijenos podataka korištenjem slobodnih frekvencija.

Prijenos podataka energetskim vodovima značajno narušava kvalitetu signala, posebno ako se radi o visokonaponskim vodovima. Izuzetno visoki naponi i velike udaljenosti signal snažno zašumljuju i atenuiraju.



Slika 1. Arhitektura BPL sustava.

U realnoj mreži bi stoga bilo potrebno na neki način zaobići visokonaponske vodove. To se postiže korištenjem optičkih kabela za prijenos podataka. Korištenje optike često ne zahtjeva dodatna ulaganja, budući da je velik broj svjetskih kompanija za distribuciju električne energije duž visokonaponskih vodova povukao i optičke kabele. Ipak, i na srednje i niskonaponskim vodovima postoji problem atenuacije zbog čega je nužno korištenje *repeatera*.

Kada signal stigne na odredište, potrebno ga je na odgovarajući način dovesti u kućanstvo. Postoje dva pristupa: putem žice i bežično. Većina pružatelja BPL usluge se odlučuje za korištenje žice – koristi se poseban modem koji se uključuje u standardnu električnu utičnicu (naravno, signal se prvo prebaci sa srednjenaponskih na niskonaponske vodove). Druga je mogućnost korištenje bežične veze, npr. IEEE 802.11b. Bazna stanica se pri tome postavlja na mjesto spoja srednjenaponske i niskonaponske mreže, pa kućanstva putem standardnih IEEE 802.11b uređaja mogu koristiti mrežu.

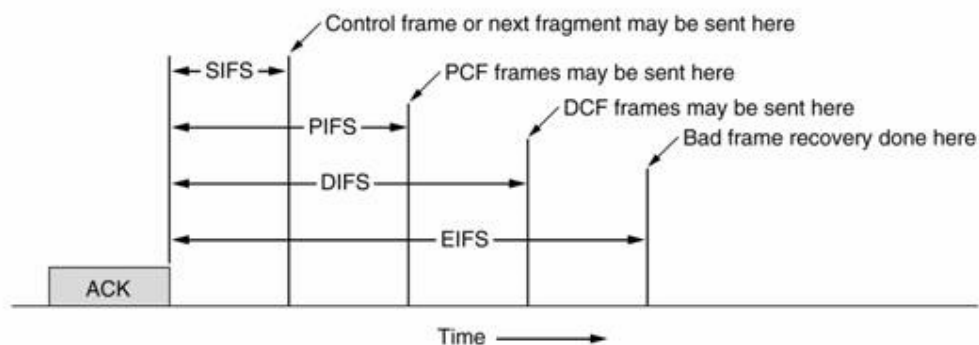
Slika 1 prikazuje tipičnu arhitekturu BPL sustava.

Tehnički opis

Zbog malog broja komercijalno dostupnih BPL rješenja, do sada nije bilo ozbiljnije inicijative za standardizaciju odgovarajućih protokola. Bilo je pokušaja korištenja raznih tehnologija u nastojanju da se pronađe najprikladnija. Valja uočiti da su rješenja koja se koriste kod BPL-a često već korištena u mobilnim komunikacijama budući da se obje tehnologije moraju nositi sa velikom učestalošću pogrešaka – *Bit error rate*, odnosno niskom brzinom prijenosa kao posljedicom.

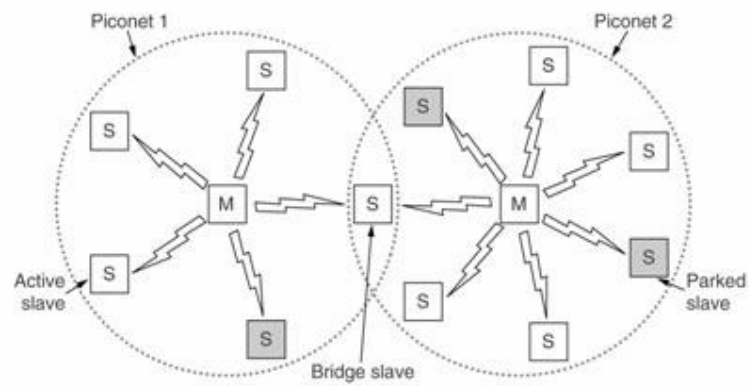
Dva glavna kandidata za implementaciju fizičkog sloja BPL-a su CDMA (*Code Division Multiple Access*), koji se koristi kod nekih sustava mobilne telefonije (i raznih *spread spectrum* varijanti) i OFDM (*Orthogonal Frequency Division Multiplexing*) koji se koristi kod IEEE 802.11a. I jedan i drugi imaju određene povoljne karakteristike, iako studije pokazuju da se sa CDMA postižu znatno veće brzine prijenosa [5]. OFDM je bolji u slučaju komunikacije jako zašumljenim linijama. Upravo je zbog veće otpornosti na pogreške u prijenosu OFDM češće upotrebljavan.

Kod dizajniranja MAC (*Medium Access Control*) podsloja *data link* sloja nužno je zadovoljiti dva zahtjeva: 1) nema ograničenja na udaljenost između čvorova, 2) više čvorova može istovremeno emitirati podatke. Ti uvjeti eliminiraju CSMA/CD (*Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection*) protokol koji se koristi kod Etherneta. Upotrebljiviji je CSMA/CA (*Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance*) protokol koji se koristi kod IEEE 802.11, i upravo se on vrlo često upotrebljava (slika 2).



Slika 2. Ilustracija izbjegavanja kolizije kod IEEE 802.11 (CSMA/CA) protokola.

Prikladan je i Bluetooth protokol (slika 3), iako (sukladno očekivanjima) CSMA/CA postiže bolje rezultate, budući da su zahtjevi prema kojima je dizajniran bliži zahtjevima BPL-a [6].



Slika 3. Piconet, temeljna ideja Bluetooth protokola.

3 Problemi, rješenja?

Praktične realizacije BPL sustava se suočavaju sa nekoliko značajnih problema: premošćivanje energetskih transformatora, neprilagođenost energetskih vodova prijenosu na visokim frekvencijama (atenuacija, interferencije), sigurnost.

Energetski transformatori su projektirani za transformaciju napona frekvencije 50 (60) Hz. Signali frekvencija od više desetaka megaherca nemaju baš nikakvu šansu da prođu kroz njih – potrebno ih je premostiti. Premošćivanje transformatora može biti skupo, a budući da se energetske mreže razlikuju od države do države, cijena takvog zahvata će varirati. Kućanstva koriste niskonaponsku mrežu, tako da signal nekako mora proći kraj transformatora između srednjenaponske i niskonaponske mreže. U SAD-u jedan transformator napaja 1-10 kućanstava, u Japanu do trideset, dok se u Europi ta brojka može popeti i na više stotina domaćinstava [7]. To bi mogao biti razlog za činjenicu da je BPL komercijalno dobavljen u nekim Europskim državama, dok je u SAD stvar još uvijek u eksperimentalnoj fazi.

Cijena premošćivanja transformatora nije jedini problem. Prijenos podataka energetskim vodovima nailazi na probleme vezane uz upotrebljavanih vodiča, koji nisu predviđeni za takve namjene. Tako se inženjeri suočavaju sa snažnim atenuacijama VF signala i značajnim šumom (budući da se energetski vodovi ponašaju kao sjajne antene). To vodi korištenju raznih algoritama za detekciju i korekciju pogreške. Ipak, jedan se problem nikako ne može riješiti. Budući da nisu oklopljeni, elektroenergetski vodovi se ponašaju kao antene (kako odašiljačke tako i prijemne – recipročnost). BPL radi na frekvencijama na kojima se nalazi kratkovalni radio i niži dio VHF područja. BPL bi tako mogao postojeće servise koji koriste taj frekvencijski pojas učiniti potpuno neupotrebljivima. Radioamateri u cijelom svijetu protestiraju protiv uvođenja BPL-a zbog njegovog *zagađivanja* radio spektra. Upravo je interferencija sa iskorištenim dijelom spektra najčešći uzrok odustajanja od uvođenja BPL-a. Vjerojatno najeklatantniji primjer je udruživanje kanadskog Nortela i britanskog distributera električne energije

United Utilitiessa. 1998. su te dvije kompanije objavile zajednički projekt nazvan *Nor.Web*, cilj kojeg je bio prodaja diljem svijeta sustava za komunikaciju putem energetskih vodova. Iz uprava tih kompanija stizale su izrazito smione izjave. Steve Pusey, CEO *Nor.Web*-a je jednom prilikom rekao

Naša je misija predvoditi svijet. Električne sijalice se nalaze posvuda. Vidimo izvanrednu priliku za ubrzanje pristupa sveprisutnom internetu. Radimo po principu – ako izgradimo cestu, ljudi će već doći.

Iako je sve bilo spremno, tehnologija razvijena i kupci pronađeni, projekt je obustavljen 1999. Ustanovljeno je da su stupovi ulične rasvjete u blizini Manchestera upravo takve visine, da se ponašaju kao izvanredne odašiljačke antene u pojasu 2 – 10 MHz. Interferencijama su pogođeni bili BBC World Service, kontrola leta, radioamateri, pa čak i GCHQ (*Government Communications Headquarters*) – komunikacijska logistika britanske obavještajne službe [8].

U Japanu BPL nije prihvaćen zbog interferencija. Čak i u Njemačkoj gdje mnogo kompanija komercijelno nudi BPL, ustanovljena je značajna količina interferencija (istraživanje na Sveučilištu u Duisburg-Essenu).

Sljedeći problem je sigurnost. Budući da se koristi dijeljeni medij, olakšana je (kao i kod kablenskog broadbanda) upotreba raznih *sniffera*. Stoga, iako europski pružatelji BPL usluga ne moraju previše trošiti na premošćivanje transformatora, činjenica da jedan te isti niskonaponski signal dolazi do više stotina kućanstava baš i ne doprinosi percepciji sigurnosti BPL-a.

Jedino predloženo rješenje za radio interferenciju zasad je ono tvrtke Corridor Systems – korištenje mikrovalnih frekvencija. Koristeći takvu tehnologiju, bilo bi moguće postići brzine i do 216 Mbps. Neki od najžešćih kritičara BPL slažu se da bi se na taj način izbjeglo interferiranje sa radioamaterskim spektrom. S druge strane, korištenje frekvencija od 2 do 20 GHz bi moglo stvoriti nove probleme. Na udaru bi se mogli naći primjerice radio astronomi koji koriste frekvencije od 13 MHz pa sve do 275 GHz, ali i brojne ISM aplikacije.

4 Zaključak

BPL već duže vrijeme nije nikakva novost. U SAD-u i Europi proveden je velik broj eksperimenata koji su trebali pokazati kakva je perspektiva te tehnologije. Glavni argument zagovornika BPL-a je sveprisutnost elektroenergetske mreže, zbog čega bi BPL trebalo biti jednostavno i jeftino plasirati budući da je infrastruktura već osigurana. Potreba za premošćivanjem transformatora i postavljanjem *repeatera* taj argument stavlja pod veliki upitnik.

Brzine prijenosa koje se postižu su znatne, i superiorne su brzinama raznih DSL varijanti, ali treba imati na umu da se uvijek govori o brzini na srednjenaponskom vodu koja je ekvivalent propusnosti cijelog manjeg *trunka*.

Najveći problem predstavlja interferencija. Notorna je činjenica da su elektroenergetski vodovi neoklopljeni i da se ponašaju kao dobre antene, tim više što zbog raznovrsne topologije mreže postoje vodovi velikog broja različitih duljina (Manchester). Koji god frekvencijski pojas odaberemo (dovoljno visoke frekvencije da osigura broadband propusnost), nekom ćemo sigurno smetati. A upotrebljiv eter je vjerojatno puno vrijednija stvar od kontroverzne broadband tehnologije, posebno u svjetlu činjenice da se u telekomunikacijskim krugovima sve više govori o FTTH (*Fiber to the Home*) vezama.

Prema mišljenju autora, BPL ima budućnost eventualno kao tehnologija za povezivanje aparata i multimedije unutar domova (komunikacija EE mrežom manje propusnosti od BPL-a će naći još primjena u industriji i distribuciji energenata). Vezu s Mrežom biti će potrebno ostvariti na drugi način.

5 Literatura

- [1] Power Line Networking Technologies broadband potential, 2003. <http://glasnost.itcarlow.ie/~net4/kirwans/bband.html>
- [2] P.S. Henry, *Interference Characteristics of Broadband Power Line Communication Systems Using Aerial Medium Voltage Wires*, IEEE Communications Magazine, p. 92 – 98, Travanj 2005.
- [3] P.R.S. Pimentel et al., *Revolution in the Distribution (Use of the technology Power Line Communication in the transmission of Data, Voice and Images)*, IEEE/PES Transmission & Distribution Conference & Exposition, p. 314 – 320, Studeni 2004.
- [4] A.J. Wood et al., *BPL's pandora's box interference with licensed radio services [In my view]*, IEEE Power and Energy Magazine, p. 88 – 89, Lipanj 2004.
- [5] W. Schulz et al., *Comparison of CDMA and OFDM for data communications on the medium-voltage power grid*, International Symposium on Power-Line Communications and its Applications, 2000.
- [6] T. Langguth, R. Steffen, M. Zeller, H. Steckenbiller, and R. Knorr, *Performance study of access control in power-line communication*, International Symposium on Power-Line Communications and its Applications, 2000.
- [7] *Broadband powerline communication systems: A background brief*. Australian Communications Authority, Rujan 2003. http://internet.aca.gov.au/acainterwr/radcomm/frequency_planning/spps/0311spp.pdf
- [8] B. Fox, *Power line telecoms: Data over the mains*, Personal Computer World, Ožujak 2004., <http://www.itweek.co.uk/features/1153611>