

Primjer analize prelaznih pojava u DSL sistemima

Namir Škaljo, Nermin Goran, Senad Čoko

Sadržaj — Ovaj rad daje pregled jednog primjera analize prelaznih pojava u savremenim DSL sistemima. Prelazna pojava u ovom radu podrazumijeva proces inicijalizacije modema na strani pretplatnika sa modemom na strani DSLAM-a. Inicijalizacija para DMT modema opisana je u pet faza: aktivacija, oslušivanje kanala, trening primopredajnika, analiza kanala i razmjena parametra. Fokus baziran na procesima koji moraju biti završeni da bi par općenitih DMT modema mogao ostvariti konekciju.

Gljučne riječi — digitalna pretplatnička linija, DMT modulacija, DSLAM, kanal, lokalna petlja, transmisija.

I. UVOD

SVE masovnije pružanje širokopojasnih usluga pomoću tehnologije digitalne pretplatničke linije primorava telekomunikacione operatore da povedu računa o parametrima lokalne petlje na način kako nije bilo potrebe u vrijeme dok se preko standardne bakarne parice pružala samo osnovna govorna usluga.

O pružanju širokopojasnih usluga pomoću tehnologije digitalne pretplatničke linije, a posebno o onoj danas najraširenijoj – asimetričnoj, pisalo se dosta u zadnje vrijeme. Često obrađivane teme su, između ostalih, uticaj karakteristika pristupne mreže na ostvarenu brzinu transmisije, elektromagnetna kompatibilnost, šumovi, preslušavanje, kvalitet servisa, bitske greške na transmisiji i slično. Najveći dio takvih tekstova analizirao je stacionarno stanje transmisije, dakle stanje u kome su se modemi na dvije strane komunikacionog kanala pronašli, identificirali i uparili.

Međutim, prije uspostavljanja ciljanog stacionarnog stanja transmisije, modemi na obje strane linije moraju izvršiti koordiniranu proceduru inicijalizacije. Važan početni korak je određivanje granica simbola u primljenom signalu. Modemi također moraju raditi skupa da odrede broj bita koji može biti dodijeljen podkanalima u oba smjera transmisije. Konačno, oni moraju izmijeniti nužne informacije u cilju omogućavanja modulacije i demodulacije nakon što veza (konekcija) bude

uspostavljena.

Inicijalizacija para DMT modema može biti opisana u pet faza: aktivacija, oslušivanje kanala, trening primopredajnika, analiza kanala i razmjena parametra.

II. AKTIVACIJA, OSLUŠKIVANJE KANALA I TRENING PRIMOPREDAJNIKA

Aktivacija DSL primopredajnika je ostvarena korištenjem procedure usklađivanja. Tokom ovog procesa, osnovne mogućnosti su izmijenjene tako da ih procedure specifične inicijalizacije mogu slijediti. Aktivacija se dešava prije nego sto je sinhronizacija ostvarena i znatno prije nego sto modemi saznaju išta o liniji na kojoj rade.

U sljedećim pododjelima se pretpostavlja da su dva modema DMT na jednoj od strana linije završili proces usklađivanja, te moraju izvesti inicijalizacije specifične za DMT.

Nakon sto su dva modema završili proces aktivacije, oni pristupaju fazi oslušivanje kanala. Tokom ove faze, oni mogu izvesti grubo vremensko uspostavljanje u cilju uspostavljanja granice simbola, i mogu izvršiti reduciranje snage predajnika. Prijemnik može također identifikovati podkanal podesan kao ispitni ton.

Reduciranje snage predajnika se zahtjeva u cilju osiguravanja sigurnosti prijemnika modema na drugim kraju linije od zasićenja na veoma kratkim petljama. Dodatno, modem može imati potrebu za back-off snage u cilju prevencije od visokog nivoa preslušavanja na daljem kraju od strane drugih petlja. Snaga je prilagođena koristeći vrijednost slabljenja petlje, koja je računata na osnovu snage na primljenom signalu. Ako je linija duga, primljena snaga će biti niska, a predajnik možda ne bi trebao pristupiti bilo kakvom reduciranju snage.

Tokom faze treninga primopredajnika, postavke automatske regulacije pojačanja (AGC) se setuju na oba prijemnika. Ekvalajzeri u vremenskom domenu prijemnika, provjeravaju poništavače eha, ako su isti uopšte prisutni.

AGC prijemnika mora biti postavljen na pravu vrijednost da obezbjedi najbolji SNR na prijemniku bez zasićenja. AGC može biti na najnižim postavkama na početku procesa inicijalizacije i onda, poslije toga, namješšana na osnovu primljene snage tako da je snaga primljenog signala za određen broj dB ispod maksimalnog dinamičnog opsega analogno-digitalnog konvertera.

Ekvalizeri vremenskog domena prijemnika, koji su korišteni da smanje efektivnu dužinu impulsnog odziva

N. Škaljo, BH Telecom, d.d. Sarajevo, Direkcija Zenica, Masarykova 46, 72000 Zenica, Bosna i Hercegovina (telefon: 387-32-201201; faks: 387-32-201205; e-mail: namir.skalj@tbhtelecom.ba).

N. Goran, BH Telecom, d.d. Sarajevo, Direkcija Travnik, Prnjavor 11, 72270 Travnik, Bosna i Hercegovina (telefon: 387-32-519801; e-mail: ngoran@tbhtelecom.ba).

S. Čoko, BH Telecom, d.d. Sarajevo, Direkcija Sarajevo, Zmaja od Bosne 88, 71000 Sarajevo, Bosna i Hercegovina (telefon: 387-33-656109; e-mail: senad.coko@tbhtelecom.ba).

kanala, moraju također biti provjereni.

Neke verzije modema koriste poništavače eha, ili da preklape spektre za downstream i upstream, ili, u nepreklopljenom ADSL-u, da reduciraju traženu širinu tranzicije između kanala downstreama i upstreama. (U VDSL, koji koristi digitalni dupleksing, korištenje cikličnog sufiksa rezultuje ortogonalnim predajnim i primljenim signalima, pa u teoriji korištenje poništavača eha nije neophodno) Ako je poništavač eha prisutan, on mora biti treniran tokom procesa inicijalizacije. Trening je jednostavniji kada modem na udaljenom kraju ne transmituje, što dopušta modemu na bližoj strani da odredi vrijednost eha shodno transmitovanim signalima. Poslije, eho uzrokovan transmitovanim signalima može biti oduzet od primljenih signala.

III. ANALIZA I IDENTIFIKACIJA KANALA

Tipično, upravljački sistem koji kontroliše modem na strani DSLAM-a linije obezbjeđuje informacije koje diktiraju kolika će biti brzina bita u downstreamu i upstreamu. Željene performanse mogu biti i specifična kombinacija brzine podataka, set odgovarajućih kombinacija brzine podataka, ili jednostavno najbolje brzine koje mogu biti prilagođene u toku zadržavanja zahtijevane margine šuma.

Tokom faze analiziranja kanala, vrijednost pojačanja kanala H_k i variranje šuma na svakom podkanalu je tako da SNR svakog podkanala može biti izračunat. Na osnovu željene konfiguracije koja je diktirana pomoću upravljačkog sistema, modemi određuju koliko će bita biti podržano od strane svakog podkanala.

Da bi odredili vrijednosti FEQ računici i izračunali SNR podkanala, koji su potrebni da se izračuna pravilno dodjeljivanje bita podkanalima, modemi moraju izvršiti identifikaciju kanala. Signal koji je poznat i predajniku i prijemniku je ponavljano transmitovan preko kanala, i prijemnik jednostavno usrednjuje uzorke slijedećih primljenih simbola u cilju utvrđivanja kanalnog pojačanja. Korištenje procesa usrednjavanja pretpostavlja aditivan šum i da ima srednju vrijednost nula. Označavajući sa M broj DMT perioda simbola tokom kojih je vršena procjena kanala, prijemnik određuje prosječni M primljenih simbola u vremenskom domenu, računa DFT prosječnog signala, i dijeli rezultat DFT-om poznatog transmitovanog signala.

Signal ubačen u kanal može biti periodično ili ciklično prefiksiran. Za lakše objašnjavanje, ovdje je pretpostavljeno da je ulazni signal periodičan. Period signala mora biti veći ili jednak ograničenoj dužini v nepoznatog impulsnog odziva kanala. $M+1$ simbola treniranog signala su umetnuti u kanal. Prvi primljeni signal „čisti“ kanal i odbačen je od prijemnika. Zadnji M signali su onda utvrđeni:

$$\bar{y} = \frac{1}{M} \sum_{m=1}^M y_m \quad (1)$$

gdje su sa y označeni vektori koji sadrže uzorke simbola u vremenskom domenu, m je simbol indexa. Označavajući diskretnu transformaciju (DFT) y -a sa \mathbf{Y} i indeksirajući

podkanale sa k , vrijednost frekventnog odziva kanala može biti pisan kao

$$\hat{H}_k = \sum_{m=1}^M \frac{Y_{m,k}}{X_{m,k}} \quad (2)$$

gdje je $X_{m,k}$ konstelacijska tačka transmitovana na podkanalu k , tokom perioda vježbanja simbola m .

Kao što se očekuje, po pretpostavkom da je srednja vrijednost snage šuma nula, tačnost provjere kanala se poboljšava porastom M .

IV. IDENTIFIKACIJA ŠUMA

Identifikacija suma je slična identifikaciji kanala. Slijedeći kompletiranje vrijednosti pojačanja kanala, vrijednost promjene šuma može biti određena iz sekvence simbola postignutih oduzimanjem poznatog transmitovanog signala i vrijednosti pojačanja kanala od primljenog signala. Označavajući preostali (grešku) signal na k -ti podkanal slijedeći oduzimanje produkta kanala i ulaznog signala kao E_k , cilj je da se odredi vrijednost promjene nekoliko primjera

$$E_{m,k} = Y_{m,k} - X_{m,k} \hat{H}_k \quad (3)$$

gdje je m index simbola. Promjena vrijednosti šuma na k -tom podkanalu je određena kao

$$\hat{\sigma}_k^2 = \frac{1}{M} \sum_{m=1}^M |E_{m,k}|^2 \quad (4)$$

Ako pretpostavimo da je šum stacionaran, značenje (4) je procjena promjene vrijednosti

$$\text{var}\{\hat{\sigma}_k^2\} = E\{\hat{\sigma}_k^4\} - E\{\hat{\sigma}_k^2\}^2 \quad (5)$$

gdje je σ_k^2 stvarna promjena vrijednosti šuma na k -tom podkanalu, dok je $E\{\cdot\}$ očekivana vrijednost.

Ukoliko pretpostavimo da je šum Gausov, može se pokazati da vrijedi:

$$\text{var}\{\hat{\sigma}_k^2\} = \frac{2}{M} \sigma_k^4 \quad (6)$$

Kvadratni korijen (6) predstavlja procjenu viška šuma. Da bi osigurali da višak šuma nije veći od 0,1 dB na tri standardne devijacije od sredine (poznato pravilo tri sigme), M mora biti najmanje 269. Da ne bi imali više od 0.1 dB viška šuma pri 4σ , broj simbola koji mora biti usrednjen pri procjeni šuma je 478.

V. DODJELJIVANJE BITA I RAZMJENA PARAMETARA

Ključni korak u procesu inicijalizacije modema sa višestrukim nosiocima je određivanje tzv. distribucije bita, to jest, koliko bita bi se trebalo dodijeliti svakom podkanalu. Čitava knjiga bi mogla biti napisana da opiše algoritme različitih dodjeljivanja bita koji su bili izmišljeni godinama. Ovdje je fokus na dodjeljivanju bita unutar nametnutih ograničenja u DSL modemima.

Za datu željenu vjerovatnoću simbolskih grešaka P_e na svakom podkanalu, izraz za broj bita koji može biti podržan od k -tog podkanala, je

$$b_k = \text{ld} \left(1 + \frac{\text{SNR}_k \cdot \gamma_c}{\Gamma(P_e) \cdot \gamma_m} \right) \quad (7)$$

gdje je SNR_k odnos signal-šum na k -tom podkanalu, γ_c je vrijednost kodnog dobitka usljed upotrijebljenog FEC

kodiranja ili drugih kodova, γ_m je margina suma, i $\Gamma(P_e)$ je konstanta za definisanu vjerovatnoću simbolske greške. Za QAM sa $P_e=10^{-7}$ $\Gamma(P_e)$ je 9.75 dB.

Iz (7) može se vidjeti da za dati P_e , maksimalni broj bita koje podkanal može podržati zavisi od svog SNR-a, kodnog dobitka i margine šuma. Nekodirani SNR na na k -om podkanalu možemo izraziti kao

$$\text{SNR}_k = \frac{\varepsilon_k |H_k|^2}{2\sigma_k^2} \quad (8)$$

gdje je ε_k prosječna ulazna energija signala po dvodimenzionalnom QAM simbolu, $|H_k|^2$ je dobitak na k -tom podkanalu, a σ_k^2 je primljena promjena šuma po dimenziji na k -tom podkanalu.

Varijable preko kojih dizajner modema ima kontrolu su ε_k , γ_c i γ_m . Kodni dobitak je određen kodnom selekcijom i framingom koji dozvoljavaju da samo ulazna energija po podkanalu i margina šuma budu dostupne za podešavanje algoritma dodjeljivanja bita.

Postoje dva osnovna tipa algoritma dodjeljivanja bita: onaj koji maksimizira brzinu podataka R zadržavajući određenu marginu šuma γ_m , i oni koji maksimizuju marginu šuma podržavajući određenu brzinu bita.

U DSL-u, transmitovana spektralna gustina snage (PSD) i ukupna snaga su određeni stanadardom. Za DSL sisteme zasnovane na DMT-u, PSD template i PSD maska su obično određeni. Maska određuje gornji limit na transmitovanom spektru, a template određuje prosječni PSD. Ovdje je fokus na najjednostavnijem algoritmu dodjeljivanja bita koji su prikladni kada je PSD ograničavanje koje odgovara totalnoj dopuštenoj transmitovanoj snazi nametnuto, slično onima koji su mogu biti korišteni u ADSL. Dva granična algoritma su alokacija bita u cilju maksimiziranja brzine transmisije na ciljanoj margini šuma i alokacija bita u cilju maksimiziranja margine šuma na ciljanoj brzini transmisije.

U cilju upotpunjavanja algoritma alokacije bita, prijemnici na oba kraja linije određuju broj bita koje svaki podkanal može podržati. U slučaju finalne faze inicijalizacije, ova informacija i drugi izračunati parametri, kao framing i parametri kodiranja, moraju biti izmijenjeni tako da modemi mogu preći u operacije ustaljenog stanja.

VI. ADAPTACIJA STACIONARNOG STANJA

DSL je potencijalno „always on“ usluga, i sigurno najviše konekcija se može održati u dužim periodima vremena. Zato je neophodno da se osiguraju mehanizmi da se prilagode mijenjanju uslova na kanalu i šuma tokom trajanja konekcije.

Tokom operacije ustaljenog stanja, karakteristike kanala se mogu promijeniti. Generalno, PSD šum je taj koji se mijenja, vjerovatno zato što se drugi DSL sistemi u blizini uključuju i isključuju, ili pak zato zbog mogućih pojava i mijenjanja u radi frekventnom planu. Da bi se održala stabilnost sistema, DMT modemi se moraju adaptirati ovim uslovima mijenjanja.

Nekoliko komponenata DMT modema može biti primjenjeno u cilju prilagođavanja promjenama na kanalu

ili promjenama u šumu. Ove komponente su alokacije bita i FEQ postavke.

A. Premještanje bita

Ostvarena alokacija bita tokom inicijalizacije obezbjeđuje preliminarnu distribuciju bita na podkanalima u downstreamu i upstreamu. Tokom konekcije, prijemnik na svakom kraju linije prati performanse grešaka. Npr., prijemnik može pratiti srednjekvadratnu grešku (MSE- mean-squared error) između primljenih (šumnih) podsimbola i dekodiranih podsimbola. Kada prijemnik otkrije da je SNR na specifičnom kanalu degradiran ispod nekog praga, on pristupa pronalaženju drugog podkanala koji može primiti jedan ili više dodatnih bita. Koristeći kontrolni kanal, lokalni prijemnik onda šalje instrukcije za promjenu alokacije bita na predajniku na daljem kraju, gdje je promjena izvršena u vrijeme poznato prijemniku.

Kada je broj bita na podkanalu promijenjen, snaga na tom kanalu može također biti promijenjena u cilju zadržavanja iste margine šuma i performansi grešaka. Za prostranije konstelacije, podrška dodatnog bita zahtijeva dodatnu snagu od 3 dB. (Da bi dodali bit manjoj konstelaciji, zahtijevano povećanje snage je veće. Npr, približno 4.8 dB dodatne snage se zahtijeva za omogućavanje ekstra bita na podkanalu koji je prethodno podržavao samo jedan bit). Ako je bit bio uklonjen sa podkanala koji je podržavao prostranije konstelacije, snaga može biti reducirana za 3 dB bez mijenjanja margine šuma na tom podkanalu. Zato, mijenjanje bita mora također uključiti mehanizam kojim će se promijeniti snaga dodijeljena podkanalima.

Npr, pretpostavimo da podkanal i , koji podržava 7-bitnu konstelaciju, počinje da se degradira. Lokalni prijemnik otkriva da margina šuma nije željenih 6 dB, nego 4dB. Prijemnik identifikira još jedan podkanal j , koji trenutno podržava samo 5dB i ima marginu šuma 7dB. Kroz dodatni (kontrolni) kanal, lokalni prijemnik kazuje predajniku na daljem kraju da premjesti jedan bit sa podkanala i na podkanal j , zatim reducira snagu na podkanalu i za 1 dB i na kraju poveća snagu na podkanalu j za 2dB.

Pretpostavimo da PSD maska dopusta da snaga na podkanalu j bude uvećana dovoljno, nakon mijenjanja bita, brzina bita sistema je sačuvana, i oba podkanala imaju marginu šuma od 6 dB.

Da bi se olakšala koordinirana promjena u alokaciji bita, modemi na obje strane linije mogu raditi sa sinhronizovanim brojačem. U ADSL, npr, vrijeme je praćeno koristeći brojače superokvira, gdje je superokvir dosljedan skup od 69 DMT simbola (G.992.1). Kada se modemi prebacuju iz inicijalizacije u operacije ustaljenog stanja, oni postavljaju svoje brojače na nulu. Vremena na kojim su izvršena premještanja bita su data u nivoima brojača superokvira.

Protokol premještanja bita u ADSL ima tri koraka. Prvi je transmisija zahtjeva za promjenom bita od modema A, čiji bi prijemnik želio imlementirati promjenu bita. Zahtjev je transmitovan preko upravljačkog kanala.

Sljedeći korak je transmisija potvrde, također preko upravljačkog kanala, sa modema B, čiji ce transmitter morati modificirati njegove alokacije bita u cilju podržavanja zahtjeva. Konačno, modemi A i B sinhronizovano implementiraju mijenjanje kada njihovi brojači dostignu željenu vrijednost. Navedeni protokol važi za proizvoljnu ulogu modema A i B (modem A na strani DSLAM-a, modem B na strani korisnika ili obratno).

U ADSL specificiranom od strane ITU-T preporuci, zahtjev za mijenjanja bita je sastavljen od četiri dvo-bajtna polja. Prvi bajt na svakom paru označava indeks podkanala koji je umiješan u mijenjanje bita, a drugi bajt određuje koja će se akcija izvršiti. Akcija može biti dodavanje ili uklanjanje bita sa podkanala, ili može biti akcija kojom ce se povećati ili smanjiti snaga na tom podkanalu sa 1, 2 ili 3 dB. Može se uvidjeti da tipična poruka zahtjeva za mijenjanje bita može sadržavati modifikaciju u bitima na jednom podkanalu plus promjenu u snazi do drugog podkanala.

Kroz primanje zahtjeva za mijenjanjem bita, transmitter u modemu B određuje vrijednost brojača superokvira na kojoj ce promjena biti implementirana. Transmitter onda šalje potvrdnu poruku prijemniku modema A. Poruka je podržavanje zahtjeva uz dodavanje vrijednosti brojača superokvira na kojoj ce promjena biti izvršena. Kada brojač superokvira postigne vrijednost sadržanu u potvrđnoj poruci, transmitter u modemu B i prijemnik u modemu A izvršavaju mijenjanje, i transmitter modema B pravi izmjene na snagama podkanala, sto je zahtijevao prijemnik.

B. FEQ adaptacija

FEQ je korišten od strane prijemnika da kompenzira skaliranje i rotaciju konstelacijskih tačaka podkanala shodno dobicima podkanala. Tokom operacije ustaljenog stanja, FEQ taps moraju biti update-rani da kompenziraju za kratke vremenske greške i da dopuste pravilnu detekciju slijedeći mijenjanja bita.

Mehanizam korišten da osvježi FEQ je sličan mehanizmu koji koristi prijemnik da odredi da je mijenjanje bita zahtijevano, prateći greške između tačaka u konstelacijskom dijagramu i dekodiranim tačkama. Pogrešan signal može biti definiran za svaki podkanalal kao razlika između ulaza i izlaza sklopa odluke. Na osnovu ove greške, FEQ račve mogu biti updatirani koristeći standardne adaptacijske algoritme, kao najmanji srednji kvadrat.

VII. ZAKLJUČAK

Rad daje pogled na korake koji su zahtijevani za inicijalizaciju para DMT modema. Pregled je uključivao objašnjenje kako su dobici podkanala i varijacije šuma izračunate, iz kojih su odnosi signal-šum za podkanale izračunavani. Slijedila je detaljna diskusija procesa koji mogu biti korišteni da dodijele bita po podkanalima. Dvije su strategije navedene: alokacije bita kad je obezbjeđena ciljana margina šuma, a bitska brzina maximizirana, i alokacije bita kad je ciljana brzina obezbjeđena i margina šuma maximizirana.

Konačno, također je diskutovana potreba za adaptacijom različitih komponenata modema da zadrže pouzdane i izdržljive performacije tokom transmisije ustaljenog-stanja. Mijenjanje bita, proces micanja bita sa degradiranog podkanala do podkanala sa većom marginom je prezentovano. Također je opisana potreba za adaptacijom ekvalizera u frekventnom domenu da kompenzira vremenske netačnosti i bitske promjene.

LITERATURA

- [1] Robert A. Bartkowiak: „Electric Circuit Analysis“, John Wiley & Sons, 1985,
- [2] J.C.Bic and al.: „Elements of Digital Communication“, John Wiley & Sons, 1991,
- [3] Wyk J.H, Linde LP: „ADSL Capacity in a Network Environment“, Proceedings of the IEEE Africon 2002 Conference, pp 233-238
- [4] K. S. Jacobsen: “Fundamentals of Multi-Carrier Modulation”, Taylor & Francis Group, 2006,
- [5] N. Laskarian, S. Kiaei: „Capacity Optimization for ADSL System“, IEEE Transactions on Communications, 2001

ABSTRACT

This paper is related to an example of DSL system before steady state analysis. Before steady state means, in this paper, process of initialisation of modems on subscriber side and DSLAM side both. The initialisation of DMT modem pair is described in five steps: Activation, Channel discovery, Transceiver training, Channel analysis, and Parameter exchange. The focus is on the processes that need to be completed by a pair of generic DMT modems to establish a connection.

AN EXAMPLE OF DSL SYSTEM BEFORE STEADY STATE ANALYSIS

Namir Škaljo, Nermin Goran, Senad Čoko