

Polarizációs Módus Diszperzió és kompenzáciási lehetőségei WDM hálózatokban

ZSIGMOND SZILÁRD

BME Távközlési és Médiainformatikai Tanszék
zsigmond@tmit.bme.hu

Lektorált

Kulcsszavak: Polarizációs Módus Diszperzió, PMD kompenzáció

Az optikai adatátvitel utóbbi évek történő bitsebességei növekedése miatt újabb fizikai hatások kerültek előtérbe. Ezen fizikai hatások közül az egyik legjelentősebb a Polarizációs Módus Diszperzió (PMD). Míg 2,5 Gbit/s bitsebesség mellett a PMD jelelő hatásokra gyakorolt hatásai elhanyagolhatóak, addig a 10, 40 Gbit/s-nál vagy ennél nagyobb bitsebességeknél, a PMD a fő korlátozó tényezője az optikai adatátvitelnek. E probléma áthidalására a különböző PMD kompenzáló rendszerek lettek kifejlesztve, amelyek alkalmazása elengedhetetlen az említett bitsebességű hálózatok esetében. További megoldási lehetőség, más az NRZ (non return-to-zero) formától eltérő, a PMD hatásaira kevésbé érzékeny modulációs formák alkalmazása.

1. Bevezetés

A közelmúltban megjelent új generációs szolgáltatások sávszélesség igénye igen komoly problémák elé állította a távközlési szolgáltatókat. A megnövekedett bitsebesség kielégítésének egy lehetséges megoldása az egyes WDM csatornák bitsebességének a növelése 2,5-ről 10, majd 40 Gbit/s-ra. A megnövekedett bitsebesség következtében azonban a fény terjedését az optikai szálba olyan újabb fizikai hatások korlátozzák, mit például a polarizációfüggő jelenségek, amelyek az alacsonyabb bitsebességeken, 2,5 Gbit/s-nál elhanyagolhatóak voltak.

A polarizációs hatások a fény elektromágneses hullám mivoltából fakadó jelenségek. Definíció szerint a fény polarizációs vektora az elektromos térerősség vektor. A polarizációs vektor iránya kihatással van a fény terjedésére. Ezen hatások közül a legjelentősebb a Polarizációs Módus Diszperzió (PMD), illetve a Polarizáció Függő Csillapítás (PDL).

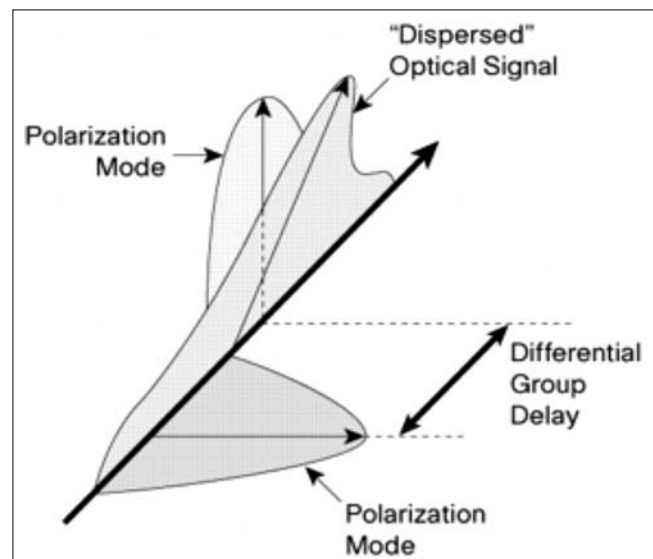
A PMD optikai szálakban történő kialakulása két okra vezethető vissza: az optikai szál gyártási hibáira, illetve környezeti hatásokra. Egy ideális optikai szálban, a szál magjának keresztmetszete tökéletesen kör alakú, ez viszont a gyártási pontatlanságok miatt nem kivitelezhető. Régebbi szálaknál a PMD koefficiens értéke 0,5 ps/√km is elérte. Az újabb szálaknál a gyártási technológia fejlődésének, a pontosabb geometriának köszönhetően a PMD koefficiens értéke kisebb, mint 0,1 ps/√km. A másik ok, a környezeti hatások. Ilyen hatások a hőmérsékletfüggés, vagy a kábel szerelése közben a szálba keletkező mechanikai feszültségek.

A PMD létrejöttének oka az, hogy a fény optikai szálban való terjedési sebessége függ a fény polarizációs irányától (1. ábra). Ideális esetben, ha tökéletes kör keresztmetszetű szálra feltételezünk és a környezeti hatásoktól eltekintünk, a polarizációs vektor két ortogonális felbontása azonos sebességgel halad. Az adó által kibocsátott optikai jel, polarizációs irányától füg-

getlenül, mindig felbontható két ortogonális irányra, melyek ezek után egymástól függetlenül, azonos sebességgel haladnak. Tehát ebben az ideális esetben polarizációs diszperzió nem lép fel. Valóságos optikai szálakban az előzőekben említett okok miatt a két ortogonális irány sebessége különbözni fog, ezáltal a szálba csatolt optikai jel szétválék két polarizációs irányra. A hibák véletlenszerűen előfordulása miatt a jel szétválása a „bolyongás, (random walking)” néven ismert sztochasztikus folyamattal írható le [1].

Ennek következtében létezik egy átlagos polarizációfüggő impulzusszétválási idő, amely az optikai szál hosszának négyzetgyökével arányos. Levonhatjuk a következtetést, hogy a PMD nem más, mint a fényvezető szálban terjedő fényhullámok módusai közötti időeltérés. A két módus között időeltolódás egy hullámhosszra vonatkoztatott az időeltolódás nagyságát fejezi ki a DGD (Differential Group Delay). A PMD a DGD átlaga az összes hullámhosszra vonatkoztatva. Értéke

1. ábra A PMD hatása az optikai szálakban terjedő jelekre



nagymértékben függ az alkalmazott bitsebességtől, modulációs formától, az optikai szál hosszától illetve az alkalmazott optikai szál PMD koefficiensétől.

A PMD akkor válik kritikussá, ha a fényvezető szál-on terjedő két polarizációs módus közötti időeltérés, $\Delta\tau_{PMD}$, nagyobb, mint az átvitt jel bitidejének egytizede. Egy L hosszúságú, D_{PMD} fajlagos diszperziójú optikai szakaszon a PMD $\Delta\tau_{PMD} = D_{PMD} \sqrt{L}$ időértékkel tolja el egymáshoz képest a terjedési módusokat. A standard optikai szálaknál $D_{PMD} = 0.4 \text{ ps} / \sqrt{\text{km}}$ az átlagos érték. 10 Gbit/s sebességű átvitel esetén, a bitidő egy tizede 10 ps, ebből a fenti megkötés alkalmazásával a maximálisan áthidalható távolságra 625 km adódik.

Bitsebesség [G/s]	PMD koefficiens [ps/km ^{1/2}]			
	1	0.5	0.25	0.1
2.5	2690	10606	40111	18144
10	168	661	2500	11309
40	10	40	149	676
80	2	8	32	144
160	0	1	3	11

1. táblázat
Áthidalható maximális távolság km-ben a bitsebesség és a PMD koefficiens függvényében

Az 1. táblázatban az áthidalható maximális távolságot tüntettük fel a bitsebesség és a PMD koefficiens függvényében. Jól látható, hogy bitsebesség növelésével nagymértékben változik az áthidalható maximális távolság. A példában szereplő optikai szál esetén, 40 Gbit/s sebességnél azonban már csak $625/16 = 39 \text{ km}$ ez a távolság, ezért ekkor már a PMD kompenzálására van szükség.

2. PMD modellezése

A PMD egy sztochasztikus valószínűségi folyamat, ennek köszönhető, hogy PMD hatásai is egy véletlen ingadozást mutatnak. Annak érdekében, hogy megfelelő kompenzálási technikákat tudjunk választani, meg kell értenünk a PMD jellemzőit.

2.1. Főtengely (PSP) modell

A PSP (Principal States of Polarization) modell azon alapszik, hogy az egymódusú optikai szálaknak léteznek egymásra merőleges főpolarizációs irányai. Ezek az irányok a következő tulajdonságokkal rendelkeznek. Ha egy jel polarizációs iránya egybeesik az optikai szál egyik főtengely irányával, akkor a jel szál-on való áthaladása során a jel alakja nem változik. A főtengelyek további tulajdonsága az, hogy a szál végén a jel polarizációs iránya meg fog egyezni a szál kimeneti főpolarizációs irányával. Abban az esetben, ha a bemenő jel polarizációs iránya nem esik egybe egyik főpolarizációs irányval sem, akkor a jel szétválik két egymásra merőleges polarizációs irányú jelre. A terjedési sebesség polarizációfüggése miatt a két polarizációs irány eltérő idő alatt fog áthaladni az optikai szál-on. A PSP modellt al-

kalmazva a PMD az (1) képletben bevezetett vektorral jellemezhető, ahol a PMD vektor egy háromdimenziós vektor, nagysága $\Delta\tau$, ami megegyezik a polarizációs irányok közötti időeltolódással, a DGD-vel, iránya pedig \vec{p} , amely egy egységvektor a PSP vektorok által kifeszített Stokes-térben:

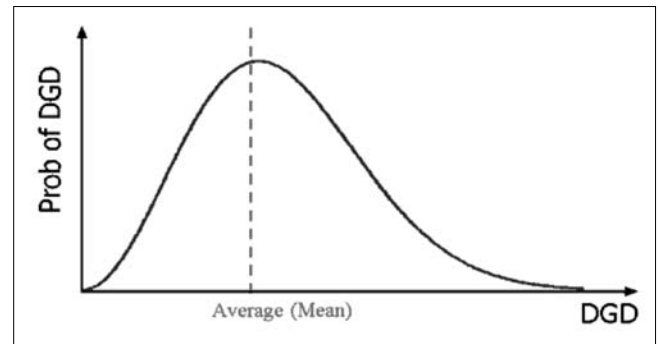
$$\vec{\tau} = \Delta\tau * \vec{p} \tag{1}$$

Ezek alapján bármilyen polarizációs irányú jel kifejezhető a két PSP lineáris kombinációjaként.

2.2. PMD statisztikája

A PSP modellből kiindulva lehetőség nyílik a PMD statisztikus viselkedésére következtetni. A DGD valószínűségi sűrűségfüggvénye időtartományban Maxwell eloszlást követi (2. ábra).

2. ábra DGD valószínűségi sűrűségfüggvénye



2.3. PMD frekvenciafüggése

Fontos kérdés a PMD frekvenciafüggése. A PMD vektort $\vec{\tau}(\omega)$ Taylor-sorba fejthetjük hullámhossz szerint – (2) képlet –, ahol $\vec{\tau}_0$ az elsőrendű PMD-t jelenti, míg az egyes deriváltak a magasabb rendű PMD-et jelentik:

$$\vec{\tau}(\omega) = \vec{\tau}_0 + \vec{\tau}'_0 (\omega - \omega_0) + \frac{1}{2} \vec{\tau}''_0 (\omega - \omega_0)^2 + \dots \tag{2}$$

A másodrendű PMD (3) képlet szerint alakul az (1) felhasználásával:

$$\vec{\tau}'_0(\omega) = \frac{d\vec{\tau}(\omega)}{d\omega} = \frac{d\Delta\tau}{d\omega} \vec{p} + \Delta\tau \frac{d\vec{p}}{d\omega} = \Delta\tau_\omega \vec{p} + \Delta\vec{p}_\omega \tag{3}$$

A (4) képletnek fizikai értelme az, hogy a másodrendű PMD két tag összegeként fogható fel. Az első tag a polarizációfüggő kromatikus diszperzió (PCD), a második tag a PSP-k elfordulását a reprezentálja a frekvencia függvényében. A $\Delta\tau_\omega$ a DGD frekvenciafüggését jelenti, míg a $|\vec{p}_\omega|$, a PMD vektor szögelfordulását jelenti. Mértékegységek a PCD esetében ps/nm, illetve ps a PSP-k frekvenciafüggése esetében.

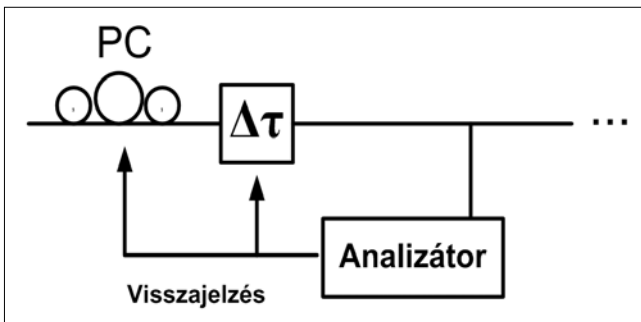
3. PMD hatásának csökkentési lehetőségei

A növekvő bitsebességeknek következtében a PMD egyre inkább az optikai adatátvitel legfontosabb korlátozó tényezőjévé válik. Annak ellenére, hogy egyre jobb

minőségű optikai szálak kerülnek piacra, egyre kisebb PMD koefficiens értékekkel, a 10 Gbit/s sebesség felett a PMD hatását közömbösíteni kell. Erre több módszert is kidolgoztak.

Egyik lehetséges megoldás az NRZ (non return-to-zero) modulációs formától eltérő más modulációs formák alkalmazása. Az utóbbi években intenzív kutatási eredményeinek köszönhetően, különböző modulációs formákat vizsgáltak. A diszperziós hatásokkal szemben az RZ (return-to-zero) kódolás sokkal ellenállóbb, mint az NRZ modulációk. Az RZ modulációs formák mellett más modulációs formákat is meg kell említeni, mint például a csörpölt RZ (CRZ), klasszikus szolitonok, vagy a diszperzió-szabályzott szolitonok (DMS), amelyek a PMD hatásaival szemben ellenállóbbak. A megfelelő modulációs forma megválasztása mellett, igen jelentős eredményeket lehet elérni hibajavító kódolások alkalmazásával is.

Az előbb említett eljárások mellett különböző PMD kompenzáló rendszereket is kidolgoztak. Ezek vagy az optikai tartományban, vagy az optikai vevőben, elektronikus eszközökkel fejtik ki jelalak korrigáló szerepüket. Továbbiakban a PMD kompenzálási technikák ismertetésével foglalkozunk.



3. ábra Az optikai PMD kompenzáló rendszer blokkisméjája

3.1. Optikai PMD kompenzáló rendszerek

Az optikai tartományban működő diszperzió kompenzáló rendszerek az optikai szálban terjedő fényhullám útjába olyan eszközöket iktatnak be, amelyekkel befolyásolni lehet a fényhullám módusainak terjedését. Ezek mind dinamikus működésűek, követik a PMD időbeni változásait, ugyanis az aktuális PMD nagymértékben fluktuálhat a hőmérséklet, illetve más fizikai paraméterek. Tipikus felépítésük a 3. ábrán látható.

Az optikai jel egy polarizációirány szabályzó (PC) után egy változtatható késleltetésű szálon halad át. A jel folyamatos ellenőrzése mellett egy folyamatos visszacsatolás valósítható meg a PMD értéke és a kompenzáló, polarizációirány szabályzó, vagy a változtatható késleltetésű szál ($\Delta\tau$) között.

3.1.1. Optikai PMD kompenzáló rendszerek csoportosítása visszacsatolás alapján

A szabályzó jel generálása PMD mérések alapján történik. Több mérési módszer is ismeretes, az egyik legrégebbi technika a vett jel teljesítményének mérése a várt optikai jel spektrumában. A szabályzójel arányos a PSP-k irányába szétoszlott jel teljesítményének arányával. A kompenzálás azon alapszik, hogy a PMD jel-teljesítménybeli csökkenést okoz. Ha az analízator oldalán maximalizáljuk a vett optikai jel teljesítményét, akkor minimalizáljuk a PMD hatását [2]. A probléma ezzel a PMD kompenzáló technikával, hogy az alkalmazott eszközök, fotódetektor, sávszűrő bitsebesség függő.

Egy másik PMD monitorozási módszer az optikai jel polarizációs szögének mérése. A PMD az optikai jel polarizációs szögének csökkenését váltja ki, tehát ha maximalizáljuk a polarizációs szöget, minimalizálhatjuk a PMD-t [3].

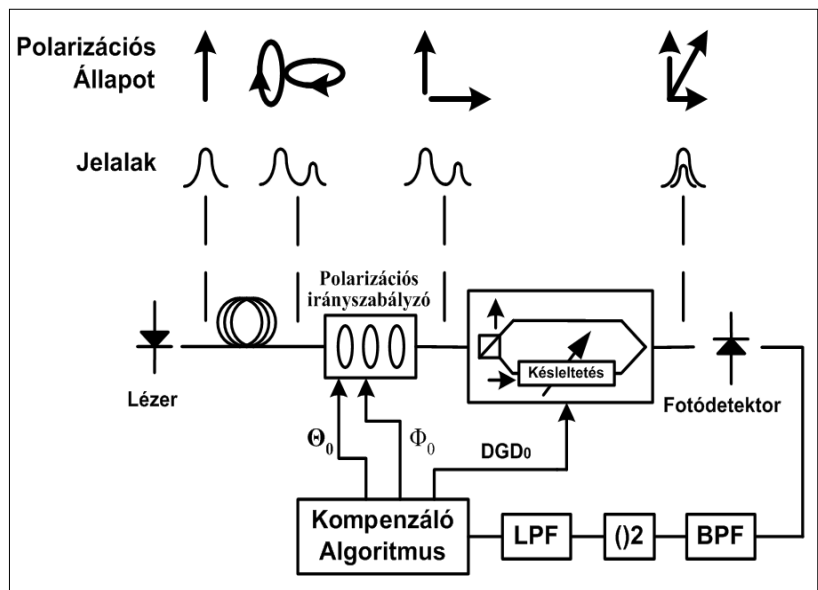
A jelközi átlapolódás mértékének vizsgálatával is lehet szabályzó jelet generálni. Az analízator oldalán vizsgálva a vett jel szemábrájának zártsága arányos a PMD-vel, ezért a szemábrából nyert jel alkalmas a kompenzálás szabályzására [4].

3.1.2. Optikai PMD kompenzáló rendszerek csoportosítása a kompenzálás rendje alapján

További fontos kérdés a PMD kompenzálásának rendje. A kompenzálási módszerek közül megkülönböztünk félrendű, elsőrendű és másodrendű PMD kompenzáló rendszereket.

A félrendű kompenzáló rendszerek egy polarizációirány szabályzóból és egy fix késleltető elemből állnak. A beavatkozás a polarizációirány szabályzón keresztül történik úgy, hogy az összeköttetésben a DGD-t minimalizálja. Miután a késleltető elem nem változtatható, a rendszer csak egy fix DGD értéket képes kompenzálni, ezért az irodalomban úgy hivatkoznak rá, mint félrendű diszperzió kompenzáló elem.

4. ábra Optikai elsőrendű PMD kompenzáló modul



Az elsőrendű PMD kompenzáló rendszerek bonyolultabb felépítésűek. Fix helyett változtatható késleltető elemet alkalmazunk, ennek következtében változó DGD értékeket képes kompenzálni ez az eljárás. Az előző oldali, 4. ábrán bemutatott elsőrendű PMD kompenzáló rendszer egy polarizációirány szabályzóból és egy változtatható késleltetésű szálból áll. A beavatkozás a polarizációirány szabályzón és a késleltető szálon keresztül történik. Az optikai jel a szálon áthaladva a PMD miatt jelalak torzulást szenved. A polarizációirány szabályzó feladata, hogy a szálból érkező jel véletlenszerű polarizációs irányát beállítsa a kompenzáló szál PSP irányába. Késleltető szál a megfelelő DGD kompenzálást biztosítja.

A vett optikai jel spektrumának egy adott frekvenciatartományba eső teljesítményével arányos jelet a BPF sávszűrő és egy négyzetes detektor után az LPF aluláteresztő szűrőn kapjuk meg. A kompenzáló algoritmus feladata, hogy létrehozza a Θ_0 és Φ_0 és DGD₀ jeleket. A Θ_0 és Φ_0 a polarizációirány szabályzására használt jelek. Gömbi koordináta rendszert tekintve ezzel a két szöggel adhatjuk meg egy vektor irányát. A DGD₀ jellel a késleltetést szabályozzuk.

3.1.3. Előkompenzáló rendszerek

Az előzőekben ismertetett vevőoldali optikai kompenzálás mellett egy másik lehetséges módszer az előkompenzálási módszer, azaz a beavatkozás az optikai szál előtt, az adóoldalon történik, az analízis pedig az optikai szál végén, a vevőoldalon (5. ábra). A megoldás azon alapul, hogy az adójel polarizációs irányát elforgatják az átvivő optikai szál PSP irányába, ezáltal a PMD hatását kiküszöbölik. Ezt az eljárást PSP módszernek nevezik [5].

3.1.4. Másodrendű PMD kompenzáló rendszerek

Az eddig ismertetett PMD kompenzálási technikák nem foglalkoztak a PMD frekvenciafüggésével. Ennek következtében a több hullámhosszon működő WDM hálózatok PMD kompenzálása csak közelítőleg valósítható meg. A másodrendű PMD kompenzáló rendszerek, a (2) képletben bemutatott PMD sorfejtés alapján, nemcsak az elsőrendű PMD-t, hanem a másodrendű PMD-t is kompenzálni tudják. Egy lehetséges megoldás,

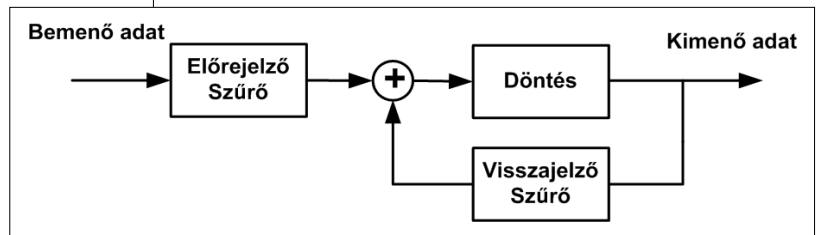
hogy két polarizációirány szabályzót és két nagy kettőtörőjú optikai szálat alkalmaznak egymás után csatolva [6]. A szálak úgy vannak kialakítva, hogy a PSP irányok lineárisan változzanak a frekvencia függvényébe, ezáltal egy széles frekvencia tartományban képesek a PMD-t kompenzálni.

A másodrendű PMD kompenzáló rendszerek alkalmazása jelenleg még vitatott, mert sok esetben a másodrendű PMD kompenzálása nem javítja, hanem ronthatja a jelminőséget. Ez annak tudható be, hogy ha a magasabb rendű PMD-eket elhanyagolhatónak tekintik és csak tisztán a másodrendű PMD hatását kompenzálják, akkor ez önmagában rosszabb eredményhez vezethet, mintha az összes magasabb rendű PMD-t hatásait elhanyagolhatónak tekintenénk [7].

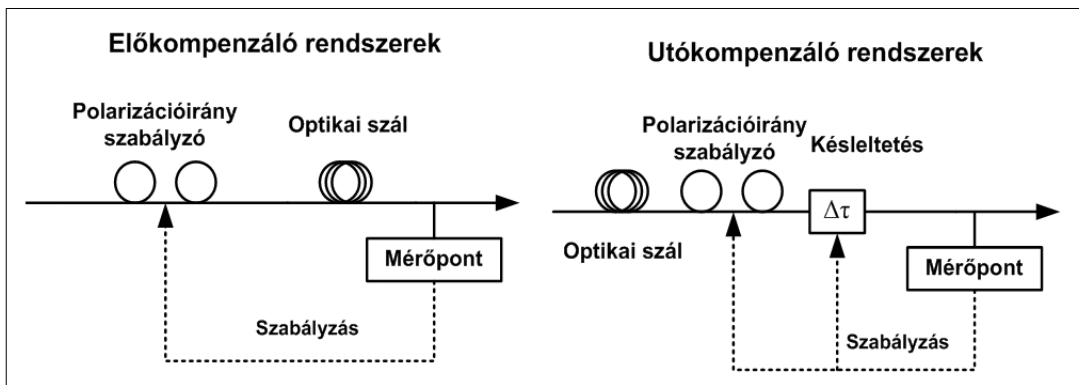
3.2. Elektronikus PMD kompenzáló rendszerek

Az elektronikus PMD kompenzálás lényege, hogy az optikai vevőkben elektronikus szűrők alkalmazásával csökkentik a jelközi átlapolódást (inter-symbol interference, ISI). Természetesen ezek az eljárások függetlenek a digitális jel torzulásainak okaitól, azaz mindegy, hogy a milyen hatás miatt történt, lehet kromatikus diszperzió, PMD vagy bármilyen más hatás következménye is. Kialakításuk szerint lehet előre- vagy visszacsatolt elrendezésű (6. ábra).

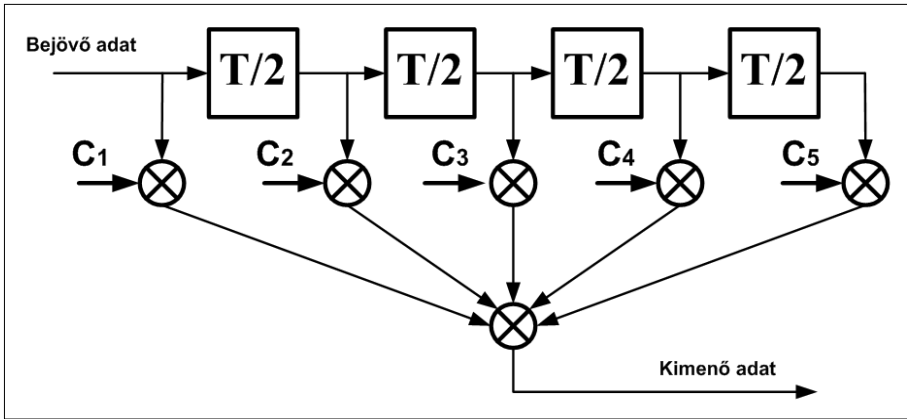
6. ábra Elektronikus PMD kiegyenlítő tömbvázlata



Az ISI csökkentése érdekében alkalmazott digitális szűrők között megkülönböztetünk lineáris, illetve nemlineáris szűrőket. A direkt-detekciós optikai vevőkben a lineáris előre-csatolt szűrőket alkalmaznak. A szűrők adaptív beállításúak, a digitális szűrő súlytényezőinek meghatározására a több, más adatátviteli rendszerekben már jó bevált algoritmus is létezik. A lineáris szűrőként leggyakrabban transzverzális szűrőket alkalmaznak.



5. ábra Az elő-, és utókompenzáló rendszer blokkvázlata



7. ábra
TF szűrő blokkvázlata

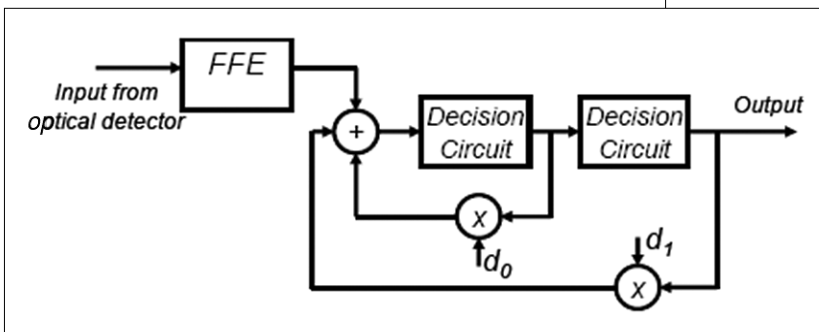
A TF szűrők működése azon alapszik, hogy a jelről egy másolatot készít, majd a lemásolt jelet egy meghatározott ΔT időtartománnyal késlelteti és a kimeneti porton összegzi a jeleket (7. ábra). Az egyes leágazásokhoz tartozó jeleket súlyozza annak érdekében, hogy minimalizálja a vevő oldalon az ISI-t.

A nemlineáris szűrők közül a legismertebbek a döntés-visszacsatolt korrekterok (Decision Feedback Equalizer, DFE) (8. ábra). A nemlineáris szűrők nagy előnye, hogy a jelminőséget képesek javítani még akkor is, ha a detektált jel minősége nagyon rossz, szemben a lineáris szűrőkkel, amelyek csak „nyitott” szemábra esetében alkalmazhatók. A DFE szűrők hátránya viszont az, hogy gyors jelfeldolgozást igényelnek.

Az elektromos kiegyenlítő rendszerek igen hatékonyan bizonyultak a PMD kompenzálásában. A legnagyobb probléma e rendszerek alkalmazásával az, hogy a bitsebesség növelésével, 10 Gbit/s, nehéz megfelelően gyors elektromos késleltető, szűrők készítése, amelyek kielégíti az optikai réteg által támasztott sebességigényeket.

4. Összefoglalás

A cikk áttekintést kíván nyújtani az optikai adatátvitel során fellépő polarizációs módus diszperzióról. Összefoglalja a PMD létrejöttének okait, illetve ismerteti a modellezési lehetőségeit. Továbbiakban összefoglalja a PMD kompenzálási lehetőségeket, mind az optikai-, mind az elektromos rétegben. Részletesen kitér az egyes kompenzálási lehetőségek megvalósíthatóságára, azok tulajdonságaira.



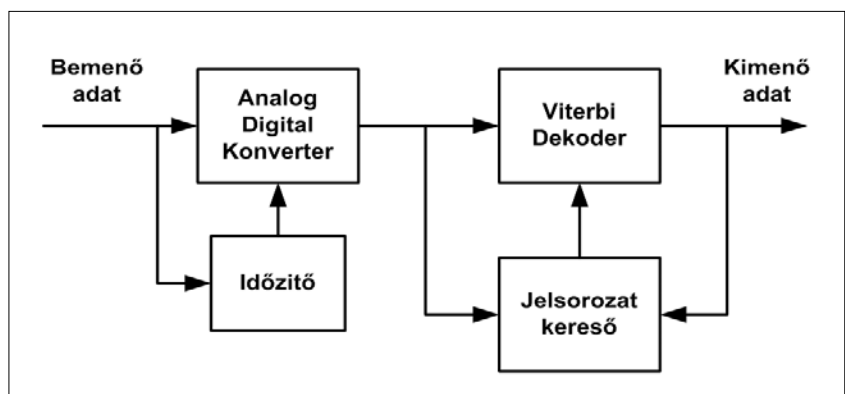
8. ábra
Egy döntés-visszacsatolt korrekter blokkvázlata

A vett jel korrigálásának, az ISI csökkentésének egy másik lehetősége a „legvalószínűbb jelsorozat kereső” (Maximum Likelihood Sequence Estimation, MLSE) eljárások. Az MLSE eljárás azon alapszik, hogy egy összehasonlító elemzést végez a vett jel egy időszellete és az ideális, torzulásoktól mentes jel azonos szelete között (9. ábra). Ez az időszellet több bitidőnyi hosszú is lehet. A döntés azon alapszik, hogy a vett jelsorozat melyik ideális jelsorozattal mutatja a legnagyobb korrelációt. A legvalószínűbb jelsorozat megtalálását lépésenként, legtöbbször a Viterbi algoritmus felhasználásával határozhatjuk meg. Az algoritmus bonyolultsága exponenciálisan növekszik a vizsgált bitek számával.

Köszönetnyilvánítás

Ezt a munkát a CELITC PROMISE projekt és a Magyar Köztársaság Oktatási Minisztériumának GVOP-3.1.1.-2004-05-0050/3.0 kutatási programja támogatta.

9. ábra
MLSE algoritmus működésének blokkvázlata



Irodalom

- [1] Waddy, D.S., Liang Chen, Xiaoyi Bao:
„A dynamical polarization mode dispersion emulator”
Photonics Technology Letters, IEEE Vol.15, Issue 4,
pp.534–536, 2003.
- [2] Takahashi, T., T. Imai, M. Aiki:
„Automatic compensation technique for timewise fluctuating polarization mode dispersion in in-line amplifier systems,” Electronics Letters, 30(4),
pp.348–349, 1994.
- [3] Kikuchi, N.:
„Analysis of signal degree of polarization degradation used as control signal for optical polarization mode dispersion compensation”,
Journal of Lightwave Technology, 19(4),
pp.480–486, 2001.
- [4] Buchali, F., S. Lanne, J.-P. Thiéry,
W. Baumert, H. Bülow:
„Fast eye monitor for 10 Gbit/s and its application for optical PMD compensation”, Proc. OFC’2001,
Los Angeles, CA, paper TuP5, 2001.
- [5] Ono, T., S. Yamazaki, H. Shimizu, K. Emura:
„Polarization control method for suppressing polarization mode dispersion influence in optical transmission systems,”
Journal of Lightwave Technology, 12(5),
pp.891–898, 1994.
- [6] Patscher, J., R. Eckhardt:
„Component for second-order compensation of polarization mode dispersion,”
Electronics Letters, 33(13),
pp.1157–1159, 1997.
- [7] Cornick K., Boroditsky M., Frigo N.J., Brodsky M.:
Dods S.D., Magill P. „Experimental comparison of system penalties due to 1st order and multi-order polarization mode dispersion, Optical Fiber Communications – National Fiber Optic Engineers Conference” (OFC/NFOEC) March 2005, paper OFF6,
Anaheim, USA.

Felhívás cikkek írására a Híradástechnika „Újgenerációs hálózatok” célzámbába

A Híradástechnika **2006. novemberi** célzámbában az Újgenerációs hálózatok (Next Generation Networks, NGN) témakörével kívánunk foglalkozni, amelyhez várunk áttekintő, tutorial jellegű cikkeket. Néhány javasolt tématerület:

- az NGN koncepciója, célkitűzései,
- hálózati architektúrák, referencia modellek, IMS,
- NGN mag- és hozzáférési hálózatok,
- NGN hálózati eszközök, berendezések (softswitchek, média gatewayek, stb.),
- alkalmazási platformok, nyílt szolgáltatási interfészek,
- NGN szolgáltatások,
- NGN hangkommunikáció (SIP, H.323),
- NGN számozás, címzés,
- hálózatmenedzsment,
- NG-OSS,
- biztonság,
- fix/mobil konvergencia,
- migrációs stratégiák,
- szabványosítási helyzetkép,
- szabályozási kérdések.

A beküldött cikkeket világos, érthető stílusban, a tématerülettel nem specialista szinten foglalkozó híradástechnikai szakemberek számára is jól érthető stílusban, magyar nyelven kell megírni.

A cikk hossza kb. 25.000 karakter, az ábrák száma legfeljebb tíz lehet.

A Híradástechnikában megjelenő cikkek formai követelményeiről e számunk 40. oldalán olvashatnak részletes információkat.

Határidők:

Cikkek címe és rövid, max.10 soros összefoglalója:
2006. május 15.

Visszajelzés a cikkjavaslat elfogadásáról:
2006. június 15.

A végleges kézirat beküldése:
2006. szeptember 30.

A cikkjavaslatokat a főszerkesztő címére kérjük elküldeni.

Szabó Csaba Attila
főszerkesztő
szabo@hit.bme.hu