

Optikai szűrők hatása optikailag átlátszó WDM hálózatok méretére

SZÖDÉNYI ÁKOS

BME, Távközlési és Médiainformatikai Tanszék, Nagysebességű Hálózatok Laboratórium
sa239@hszk.bme.hu

Kulcsszavak: hullámhossz-nyalábolás, átlátszó optikai csatoló multiplexer, optikai szűrők, bithiba-arány

Az optikailag átlátszó hálózatok mérete (csomópontszáma) korlátolva van, hisz az ilyen „szigeteken” áthaladó optikai jelek információtartalma nem romolhat bizonyos bithiba-arány alá, ugyanakkor a jelregenerálás túl lassú és költséges. Három különböző optikai szűrőt alkalmazó optikai ki-becsatoló multiplexert fűztem fel tíz-tíz csomópontot alkotó láncba és az ezeken áthaladó egyforma jelek bithiba-arány romlását hasonlítottam össze szimulációs program segítségével.

Az optikai technológiák nagyon gyorsan fejlődnek hogy kielégítsék a nagy sávzélesség-igényű alkalmazásokat. Így a szolgáltatók rá vannak kényszerítve, hogy a jövőben ezen kihívást jelentő megoldásokat alkalmazzák. Átlátszó „szigetek” – melyekben az optikai jel opto-elektromos átalakítás nélkül terjedhet – telepítése egyszerűbben és költségkímélőbb módon megvalósítható, mint meglévő rendszerek elektromos funkcióit egyre inkább optikai szinten megvalósítani.

Ebben a cikkben egy városi hálózat átlátszó „szigetének” méretére teszek becslést az alkalmazott ki-becsatoló multiplexerek függvényében szimulációs program segítségével. Három féle ki-becsatoló multiplexert vizsgáltam tízet-tíz láncba fűzve. Az optikai jel minőségének meghatározására bithiba-arány becslést használtam, ami meghatározza az átlátszó „sziget” méretét.

Legjobb tudásom szerint eddig ez az első becslés egy átlátszó hálózat méretére az alkalmazott optikai eszközök és a célként kitűzött BER érték függvényében.

A három optikai szűrő-típus

Multiplexer és demultiplexer egyaránt keskenysávú szűrőket alkalmaz, sorba kapcsolva vagy egyéb módon kombinálva, hogy elérjék a kívánt célt. Különleges technikák, melyeket az ilyen szűrésekhez használnak, állhatnak vékonyfilm szűrőkből, fiber Bragg vagy bulk grating-ekből, elvékonyodó szálból, tiszta kristálysűrőkből vagy integrált optikai szűrőkből (Arrayed Waveguide Grating, AWG). Abban a projektben, aminek keretében ez a munka folyt, bulk grating és AWG került beszerzésre, FBG csak szimulálásra.

Diffrakciós rács (mux)

A bulk-optic diffrakciós rács [1] visszaveri a fényt egy bizonyos szögben, mely szög arányos a hullámhosszal és így erősítő és gyengítő interferencia jön létre. A beeső fény minden egyes hullámhossz egy adott szög alatt verődik vissza az optikai rácsvonalakról.

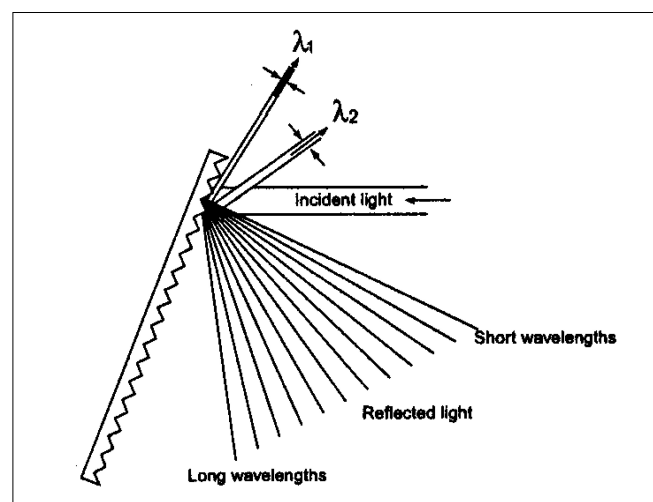
Ezek a visszavert hullámok fázisukban pont egy hullámhossz-osztásnyira fognak különbözni. Ennél a szögnél minden sugár eloszlása összegződni fog, így ez lesz az a szög, ahol az áteresztés maximális lesz erre a hullámhosszra nézve (1. ábra).

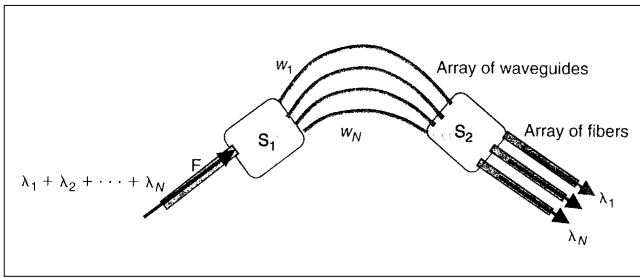
Diffrakciós ráccsal megvalósított mux és demux tervezésének lényege a bemenet és a kimenet pozícionálása a megfelelő hullámhosszak kiválasztásához. Jóllehet elég bonyolult gyártani őket, és elég drágák is, az ilyen eszközök beiktatási csillapítása lényegében független a hullámhossz-csatornák számától, ami ezt a technológiát a legígéretesebbé teszi sok hullámhossz csatornás rendszerekben. Mindenesetre kritikus hangsúlyt kell fektetni a polarizációra.

Arrayed Waveguide Grating (tömbös hullámvezető rács)

AWG-knek [2,3] több nevük is van: phased-array grating (PHASAR) és waveguide grating router-ként (WGR) is ismertek. Az előbb tárgyalt bulk diffrakciós ráccsal szemben AWG-k óriási előnye, hogy hullámhossz függetlenek (véges hullámhossz tartományon), és ezért periodikusak. Egy AWG feladata hasonló a multiplexer/demultiplexerhez, mivel szét tud választani,

1. ábra Bulk diffrakciós rács





2. ábra Arrayed Waveguide Grating (AWG)

és össze tud nyalábolni különböző hullámhosszakot, melyek egy egymódusú szálabban terjednek. Csak a megvalósítási módszer különbözik.

AWG működése interferometrián alapszik. A felépítése a 2. ábrán látható. A bejövő fény a több különböző hullámhosszú fény sugarat csatol az első rendezőbe (S_1), mely egy hullámvezetőkből álló tömbhöz van optikailag csatolva. Ahány hullámhossz van a bejövő szálabban, annyi hullámvezető van kivezetve S_1 -ből. Ezen hullámvezetők hossza különbözik, tehát az optikai úthossz sem egyezik, így hullámhossz-függő szögeltolás jön létre ezen hullámvezető tömb végén a második rendezőben (S_2).

Itt a különböző optikai úthosszat megtett fénynyalábok egymással csatolásba kerülve úgy interferálódnak, hogy minden hullámhossz intenzitás-eloszlása éppen egyetlen kimenetnél lesz maximális. Feltéve, hogy minden kilépő hullámfrontnak meg kell egyezzen a szöge (modulo 2π), két szomszédos optikai útnak meg kell, hogy egyezzen a beeső hullámfronttól a kilépő hullámfrontig tartó optikai úthossz-különbsége. Ez a különbség egyenlő egy egész számmal, mely meg van szorozva a hullámhosszal.

AWG-eket optikai útvonalválasztókként is használnak ha nem csak egy bemenő porttal rendelkeznek. Vegyük például egy 2×2 -es AWG-t két bemeneti és két kimeneti porttal. Tegyük fel, hogy mindkét porton kettő egyező hullámhossz érkezik: az A porton: λ_{1A} és λ_{2A} illetve a B porton: λ_{1B} és λ_{2B} ahol $\lambda_{1A} = \lambda_{1B}$ és $\lambda_{2A} = \lambda_{2B}$ természetesen más információ tartalommal. Ilyenkor az AWG kicseréli a hullámhosszakot úgy, hogy az egyik kimeneten lesz: λ_{1A} és λ_{2B} a másikon pedig: λ_{1B} és λ_{2A} . Eközben a két azonos hullámhossz nem keveredik! Ezek az útvonalválasztók ígéretes jelöltek a jövő átlátzó hálózataiban. Mostanában például felhasználták egy speciális hálózati topológia szabadalmi igényhez is, mely az Egyesült Államok szabadalmi hivatalánál van jelenleg, a Berlieni Egyetem adta be, és Ringostar a neve.

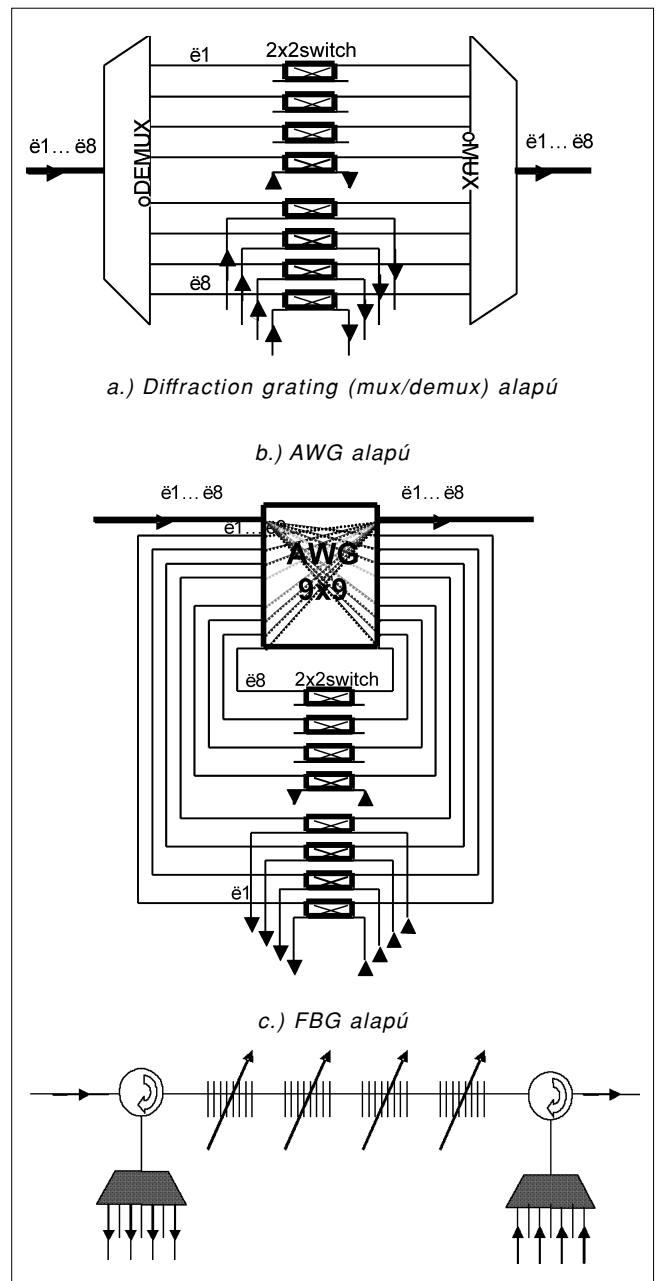
Fiber Bragg Grating (FBG)

Ezek az eszközök olyan szűrők, amelyek az összes hullámhossz csatornát átengedik, kivéve egyet, amelyre tervezték őket, ezt visszaverik. FBG-k lehetnek hangolhatók vagy nem hangolhatóak. A nevével ellentétben ezek nem rácsok. Azért hívják őket mégis rácsnak, mert ahogy a fény áthalad rajtuk, úgy érzi, mintha egy rácson haladna keresztül, és ezért úgy is viselkedik.

Hogy ez az eszköz visszaverjen egy adott hullámhossz sávot, periodikus törésmutató változást hoznak létre a szálabban. Ez az, amire a fény úgy reagál, mintha egy rácson menne át. Ennek létrehozására két technológia is rendelkezésre áll.

Az egyik a gyakrabban alkalmazott UV technológia. A Germánium adalékolt magot megvilágítják egy mintán keresztül, ami interferenciát hoz létre és egyben meg is változtatja periodikusan a szálab törésmutatóját. Ez a minta szoros kapcsolatban van a visszaverésre kiválasztott hullámhosszal. Minél hosszabb egy FBG, annál keskenyebb, meredekebb a visszavert hullámhossz-sáv. Ennek az az ára, hogy az eszköz hosszával nő a beiktatási csillapítása. Különböző FBG-eket egymás után téve egynél több hullámhossz-csatornát is kiválaszthatunk. Optikai cirkulátorral való összekapcsolá-

3. ábra OADM-ek felépítése



a.) Diffraction grating (mux/demux) alapú

b.) AWG alapú

c.) FBG alapú

sa lehetővé teszi, hogy WDM szálból egy hullámhosszat kicsatolhassunk. Egy másik alkalmazása ennek az összekapcsolásnak kromatikus diszperzió kompenzáció. Ezeket a speciális FBG-et chirped FBG-knek hívjuk.

Az optikai csomópontok felépítése

A kísérleti hálózat egy ASON/GMPLS optikai hálózat, melynek átviteli síkja (transport plane) három újrakonfigurálható optikai ki-becsatoló multiplexerből (OADM) áll, vezérlő síkja (control plane) és menedzsment síkja (management plane) pedig lehetővé teszi az intelligens optikai csatorna kiszolgálást.

Egy speciális OADM elrendezés három különböző megvalósítását vizsgálom. Az első bulk grating optikai multiplexert és demultiplexert alkalmaz 2x2-es optikai kapcsolókkal együtt, a második egy AWG-t használ ugyancsak 2x2-es optikai csatlakozókkal, a harmadik pedig négy darab FBG-t (3. ábra). Nyolc darab ITU csatorna van kialakítva [193,0THz(=1553,33nm)-tól 193,7 THz(=1547,715nm)-ig] 100GHz (0,78nm) csatornák közti távolsággal, jóllehet csak maximum 4 csatornát lehet egy-egy csomópontban (OADM) ki-be csatolni. A kísérlet célja továbbá az, hogy felfedezzük milyen mértékben lehet majd ezt a kísérleti hálózatot a jövőben kibővíteni, és/vagy más átlátszó hálózattal összekapcsolni.

Eredmények és értékelés

A szimuláció [4] során ugyan azt az optikai jelet engedjük keresztül tíz mux csomóponton, tíz AWG csomóponton és tíz FBG optikai csomóponton. Mindegyik csomópont előtt egy EDFA elő-erősítőt helyeztünk el, a csomópontok között 35km-es fényvezető szál van. A szimulációs modellekhez, eszközökhöz a paramétereiket a megvásárolt eszközök tesztelési adatlapján lévő a legrosszabb esetben mért értékeket használtuk fel és adtuk be a szimulációs programba.

Legfontosabb összehasonlítás a három technológia között a mi esetünkben a beiktatási csillapítás volt; a mux esetében 4dB, az AWG esetében 10 dB, FBG

esetében 2.8dB hiszen minden egyéb adat megegyezett. Az optikai jelek – mivel nem kerültek kicsatolásra egyetlen hullámhosszon sem, egyetlen csomópontban sem – kétszeres csillapítást szenvedtek, hiszen először demultiplexálni, majd multiplexálni kellett őket. (FBG csomópont esetében ez nem áll fenn.)

A bithiba-arányt a program következő képlet alapján becsüli:

$$BER = \frac{1}{2} \operatorname{erfc} \left(\frac{Q}{\sqrt{2}} \right)$$

ahol

$$\operatorname{erfc}(x) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_x^{+\infty} e^{-t^2} dt$$

és Q a jósági tényező (quality factor) [4].

A 'Q' jósági tényező a digitális jelek szemábra-aperatúrájának (nyitottságának) mértéke, egy olyan kiértékelési metódus, amely normális zajeloszlást feltételez [5] és a következő képlet alapján adható meg:

$$Q = \frac{|\mu_1 - \mu_0|}{\sigma_1 - \sigma_0} \quad [6]$$

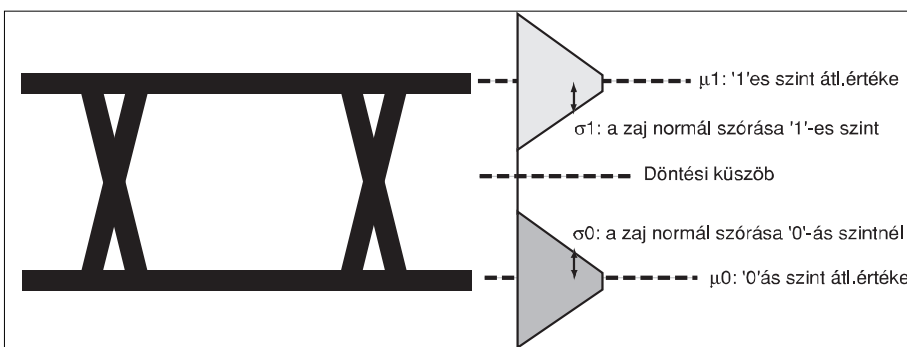
ahol μ_1 : a logikai '1'-es szint, μ_0 : a logikai '0' szint átlagos értéke, és σ_1 illetve σ_0 pedig ugyanígy az '1'-s és a '0'-ás szint normál szórása, ahogyan az a 4. ábrán látszik. A vevődióda döntési küszöb feszültség változtatásával a rendszer érzékenységét vizsgálva tesz becslést a szimulációs program a Q értékre. Ez az úgynevezett „Variable Threshold Method” amely részletesen ismertetve van az ITU-T G.976 (1997) ajánlásban, illetve a [7]-es észak-amerikai szabványban.

A következő oldalon, az 5. ábrán láthatóak a becsült BER adatok annak függvényében, hogy a jel hány csomóponton haladt már át. Maximum 10 csomópont-ra végeztük a szimulációt. Az ábra határt szab a keresztelhető átlátszó optikai csomópontok számának a becsült BER értékek függvényében mindhárom csomópont-fajtára.

Miután a fény keresztülhaladt tíz csomóponton, az optikai jel minősége (BER) lecsökken 10^{-4} re bulk-grating mux csomópontok esetében, 10^{-6} -ra AWG és 10^{-9} -re FBG nyalábolók esetében. (Az első három csomópont kimenetén a bithiba-arány nem volt mérhető.) Ha az optikai szolgáltatások osztályokba lennének sorolva négy kategória szerint, az 1. táblázat alapján, akkor – tíz csomópontból álló hálózat esetén – az

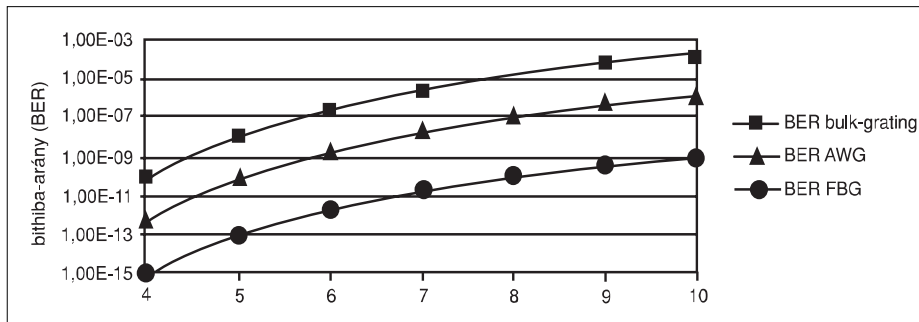
5. ábra alapján, az összes szolgáltatási osztály elérhető lenne, mindhárom csomópont-hálózat esetében a becsült BER értékek alapján még a Premium is, amelyik a legszigorúbb a négy közül.

4. ábra
A Q jósági tényező kiszámításának szemléltetése (balra egy egyszerűsített szemábra látható)

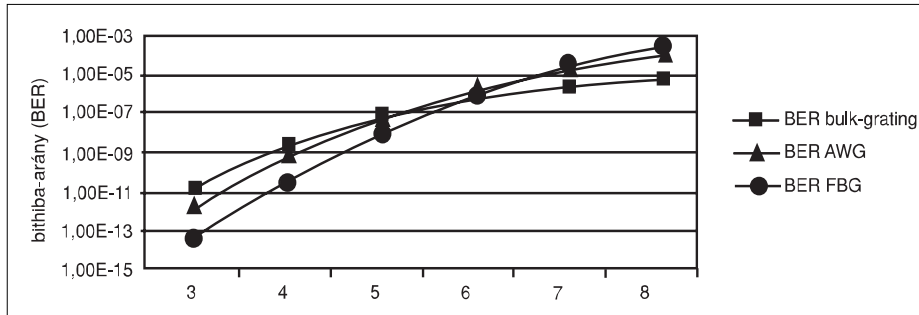


| | Premium | Gold | Silver | Bronze |
|----------------|----------------|----------------|--------|--------|
| Out-of-service | Degraded | Degraded | Fault | Fault |
| | BER= 10^{-4} | BER= 10^{-4} | LOS | LOS |

1. táblázat
Szolgáltatáson kívüli kritériumok különböző szolgáltatási osztályokra [8]



5. ábra Bithiba-arány a csomópontszám függvényében



6. ábra Csomópontszám BER függvényében ha a csatornatávolság 50GHz

Jóllehet más kritérium, mint például az összeköttetés létesítési idő, visszaállítási idő mind beleszámít az optikai szolgáltatások minőségének biztosításába.

Másrészről, ha BER határérték egy szigorúbb mondjuk 10^{-9} értékre lenne kitűzve, akkor a szituáció teljesen más erre a három technológiára nézve, hiszen az átlátszó sziget bulk-grating mux esetben négy, AWG esetben öt csomópontból állna, FBG esetben pedig akár tízből is állhat.

Ha csupán 50GHz csatornák közötti távolságot definiálunk, akkor a bithiba-arány becslés egy kicsit rosszabb eredményt ad, különösen FBG esetben. Ez utóbbi annak köszönhető, hogy a közelebb kerülő csatornákon nagyobb az áthallás, mely kevésbé kiküszöbölhető, ha a mux és AWG esettel ellentétben FBG esetben nincs minden csomópontnál optikai szűrés (nem kibe csatolási esetben). Ezen 50GHz csatorna távolság esetén kapott BER értékek az 6. ábrán láthatók.

Összefoglalás

Teljesen-optikai eszközök és rendszerek továbbfejlesztésének egy iránya lehet az, hogy teljesen-optikai és opto-elektromos technológiák együtt, egymás mellett léteznek. Ekkor átlátszó-optikai „szigetek” jöhetnek létre és ezeket 2R/3R regenerátorok kapcsolhatják össze. Egy ASON/GMPLS hálózat szemszögéből [9] ezek az „optikailag átlátszó szigetek” különböző tartományoknak (domain) tekinthetők a kontroll és menedzsment síkon megkönnyítve ezen feladatok elosztását és elvégzését.

Ezen szigetek megfelelő méretezése elsődleges fontosságú lenne a kívánt szolgáltatási szint specifikáció (SLS, Service Level Specification) követelményei-

nek biztosításában (beleértve a BER méréseket is). Ebben a cikkben bemutatásra került hogy az optikai csomópont felépítése befolyással van az optikailag átlátszó hálózat méretére. Továbbá ebben a tárgyalat egyedi hálózat esetében FBG-vel megvalósított OADM megoldások sokkal előnyösebbek akkor, ha az átlátszó sziget méretét szeretnénk megnövelni. Megéri tehát limitálni a méretet nem csupán technikai megfontolásokból, hanem szabályozási kényszerek, együttműködési képesség, költség és nem utolsósorban hálózat-vezérlési és menedzsment szemszögéből.

Köszönetnyilvánítás

A szerző köszönetet mond a Katalán Telekommunikációs Kutató Központ (CTTC) Optikai Laboratóriumának (Barcelona), ahol a munkát az EMPIRICO projekt keretében végezte.

Irodalom

- [1] Ghislain Lévesque, Vance Oliver, „Guide to WDM Technology and Testing” 2000 EXFO Electro-Optical Engineering Inc., Quebec City, Canada, ISBN 1-55342-001-2
- [2] K. A. McGreer, „Arrayed Waveguide Gratings for Wavelength Routing”, IEEE Communications Magazine, Dec.1998, pp.62–68.
- [3] S. V. Kartalopoulos, „Introduction to DWDM Technology” USA, IEEE Press, ISBN 0-7803-5399-4
- [4] VPI photonics™
- [5] ANRITSU CORPORATION, Application Notes: Q Factor Measurement/Eye Diagram Measurement, SDH/SONET Pattern Editing http://www.eu.anritsu.com/files/MP1632_1763_1764_EF1100.pdf
- [6] MSZ EN 61280-2-8 Fibre optic communication subsystem test procedures – Digital systems, Part 2-8: Determination of low BER using Q-factor measurements (IEC 61280-2-8:2003), Magyar Nemzeti Szabvány
- [7] TIA/EIA-526-9: OFSTP-9: Accelerated Measurement Procedure for Determining BER and Q-factor in Optical Transmission Systems Using the Variable Threshold Method
- [8] W. Fawaz et al., IEEE Communications Magazine Volume 42 (2004), pp.36–43.
- [9] G.8080/Y.1304 (11/2001.)