

# Optikai hálózatok alkalmazási lehetőségei antennarendszerek táplálására

KOVÁCS GÁBOR, DR. BERCELI TIBOR

Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Szélessávú Hírközlés és Villamosság-tan Tanszék  
kovacs@mh.t.bme.hu, berceli@mh.t.bme.hu

Reviewed

**Kulcsszavak:** hullámhosszosztás, WDM, Feeder Network

Az optikai hálózatok kutatása manapság újabb érdekes terület, a távoli-antennaelérést biztosító rendszerek (Feeder Network) optikai úton történő megvalósítása felé fordult. Ezen hálózatok fő követelménye az antennák nagy sávzélességű jeleinek továbbítása, melyre az optikai jelátvitel különösen alkalmas. Jelen cikkben a célhoz szükséges optikai hálózatelemek összefoglalása nyomán ezen hálózattípusok főbb jellemzőit, és lehetséges megoldásait tekintjük át.

A távközlés eme speciális területe – vagyis antennarendszerek táplálóláncainak megvalósítása – különösen nagy jelentőséggel bír manapság, amikor a harmadik generációs mobilhálózatok kiépítése előtt állunk. Ezen hálózatok a GSM-ben megszokottnál is kisebb cellaméretet, úgynevezett pikocellákat alkalmaznak a szolgáltatói terület lefedésére. Ennek megfelelően – főleg városi környezetben – igen nagyszámú antenna kihelyezése válik majd szükségessé, melyek sávzélesség igénye is jóval meghaladja a GSM-ben szokványosat. Ennek ellátása új kihívást állít a hálózat tervezők és üzemeltetők elé.

Cikkünk célja bemutatni azon alternatív optikai megoldási lehetőségeket, melyek a hullámhosszosztásos nyalábolás (Wavelength Division Multiplexing – WDM) technológiai alapjaira építve megfelelnek az előbbieken vázolt követelményeknek, és amelyek alkalmasak lehetnek a jövőben mind mobilrendszerek antennáinak táplálására (Feeder Network), mind a vezetékes szolgáltatói hálózatok hozzáférési hálózatának kialakítására, utalva a ma rendelkezésre álló berendezések főbb jellemzőire.

## 1. WDM eszközök áttekintése

Hullámhosszosztásos rendszerekben az optikai összeköttetésekhez általánosan szükséges eszközökön felül (az opto-elektronikus átalakítást végző lézradó és fotodetektor) a következő eszközök állnak rendelkezésünkre.

### 1.1. Optikai szűrők

Hullámhosszosztásos hálózatokról lévén szó szükségünk lehet a különböző hullámhosszú csatornák szétválasztására. Ezt optikai – tipikusan sáváteresztő – szűrőkkel végezzük.

Optikai szűrők esetében a hullámhossz kiválasztás alapja a konstruktív és destruktív fényinterferencia jelensége, mely a Fabry-Perot interferométerek működésének alapját is adják. A szűrő számos vékony, váltako-

zó törésmutatójú dielektromos rétegből áll, mely a törésmutató határokon fellépő reflexió és transzmisszió sajátosságainak következtében interferenciát hoz létre. A szűrő azon hullámhosszakat engedi át, melyek esetében az interferencia konstruktív, más hullámhosszakon reflektál. Hangolható szűrők is készíthetők, ezt leggyakrabban akusztó-optikai módszerrel valósítják meg [1].

Ma a WDM rendszerekben alkalmazott teljes C-sávban hangolható optikai szűrők is megvalósíthatók, és kereskedelmi forgalomban is elérhetők, bár paramétereik, különösen a szűrő sávzélességének javításával további alkalmazásokban való felhasználásukra is lehetőség nyílhat.

### 1.2. Multiplexerek és iránycsatolók

A hullámhosszak szűrésén túl az optikai jelek csatolása, és a különböző csatornák térbeli szétválasztása is feladat. Erre a célra az optikai iránycsatolók és a WDM multiplexerek használhatók. Az előbbieket egy szálon haladó optikai teljesítményt osztja szét több kimenet között, míg az utóbbi ezen felül hullámhossz szerinti szétválasztást is kínál.

Az optikai iránycsatoló olyan száloptikai eszköz, mely három vagy több csatlakozóval rendelkezik, és az alkalmazástól függően egy bemenet jelét osztja szét a kimenetek között, vagy több bemenet jelét kombinálja egy közös kimenetre (esetleg vegyesen). Az eszközök legfontosabb paraméterei a bemenetek, illetve kimenetek száma (lehet 1xN és NxN típusú is), a beiktatott csillapítás, az osztási arány, és a polarizációfüggő veszteség. A működés alapját az adja, hogy optikai hullámvezetőket egymáshoz közel vezetve kölcsönhatás jön létre, s így az egyikben terjedő jel teljesítménye részben átcsatolódik a másik hullámvezetőbe. A csatolási arány a fizikai kialakítás változtatásával tetszőlegesen megválasztható.

Optikai iránycsatoló segítségével WDM multiplexer is létrehozható, egyszerűen a kimeneti (vagy bemeneti) ágakba optikai szűrőket helyezve el.

Ennél célratörőbb megoldás az AWG (Arrayed Waveguide Grating) használata. A hullámhossz-szűrést ez

az eszköz a bemenő jel több ágba való szétbontásával, és megfelelő fáziskülönbséggel való összegzésével oldja meg. A szétbontást és összegzést szabadterei optikai módszerrel oldják meg, mely egyszerűsége lehetővé teszi, hogy a különböző hullámhosszú jelek végül eltérő kimeneti ágba kerüljenek [2], így létrejön tehát a hullámhossz szerinti és a térbeli szétválasztás is.

**1.3. Optikai Add-Drop multiplexerek**

Speciális jelkezelési feladat, amikor egy több hullámhosszat tartalmazó nyalábolt jelből kell leválasztanunk (leágaztatnunk) egy adott hullámhosszú csatornát. Ennek megvalósítására szolgálnak az optikai add-drop multiplexerek (OADM), melyeket előszeretettel alkalmaznak WDM rendszerekben. Ezek elsősorban a WDM multiplexerek felhasználásával, illetve kialakításának elvén működnek.

**2. Hálózati megfontolások**

Ebben a bekezdésben a vizsgálandó hálózattípus főbb követelményeit tekintjük át. Olyan megoldásokat tekintünk ide tartozónak, mely egy központi, nagybonyolultságú egységet köt össze több távoli egységgel (például antenna, vagy más hálózati hozzáférési egység).

Cél, hogy ezek a távoli egységek minél egyszerűbbek legyenek, és minden lehetséges intelligenciát és jelfeldolgozást a központi állomásba összpontosítsunk. Ezt több tényező motiválja. Egyrészt a műveletigényes jelfeldolgozási feladatokat egy helyen megvalósítva lehetőség van a redundancia csökkentésére, másrészt a távoli egységeket olcsóbbá teszi, ha azok csak egyszerű, robusztus áramköröket tartalmaznak. Hasonlóan fontos szempont a tápáramellátás igény csökkentése, mely megkönnyíti az egység elhelyezését is.

Ennek megfelelően hálózatainkban feltételezzük, hogy az elektronikus jelfeldolgozást a központi egység

végzi. A távoli egységnek az optikai összeköttetésen átvitt jelen a már semmilyen műveletet nem kell végeznie, az azt közvetlenül kisugározza, míg a vett jelet közvetlenül rámodulálja az optikai vivőre, és annak alapsávba keverését és demodulálását teljes egészében a központi egység végzi. Ez tehát azt jelenti, hogy a mobil rendszer vivőfrekvenciájának sávjába eső jelet kell átvinnünk, ami elektronikus tartományú átvitel esetén erősen korlátozott lenne, optikai átvitel esetén viszont ennek a megoldásnak nincs elvi akadálya.

A megoldás további előnyei közé tartozik a távoli egység egyszerűsége és az optikai réteg teljes transzparenciája, vagyis hogy az az átvitt elektromos jel frekvenciakiosztásától, modulációjától teljesen függetlenül képes működni.

Amint azt az 1. ábra is mutatja, többféle topológia is elképzelhető, melyeket vastag vonallal jelöltünk. Ezek megvalósítása különböző megfontolások szerint történhet, mely megoldásokat a következőkben tekintjük át és hasonlítjuk össze. A szaggatott vonal a központi állomásokat összekötő gerinchálózatot jelöli.

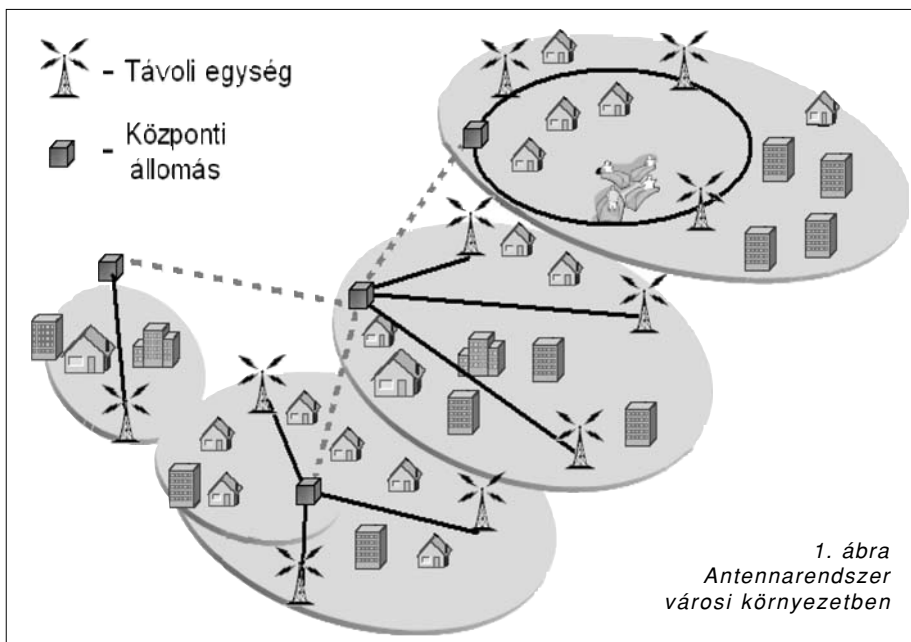
**3. Lehetséges topológiák**

A megoldás lényegét a legegyszerűbb eset tárgyalásával mutatjuk be. Ebben az esetben a központi állomáshoz mindössze egy távoli egység csatlakozik, és a két közötti full-duplex, transzparens optikai kommunikációt kívánjuk megoldani. Az elrendezés blokkvázlata a 2. ábrán látható.

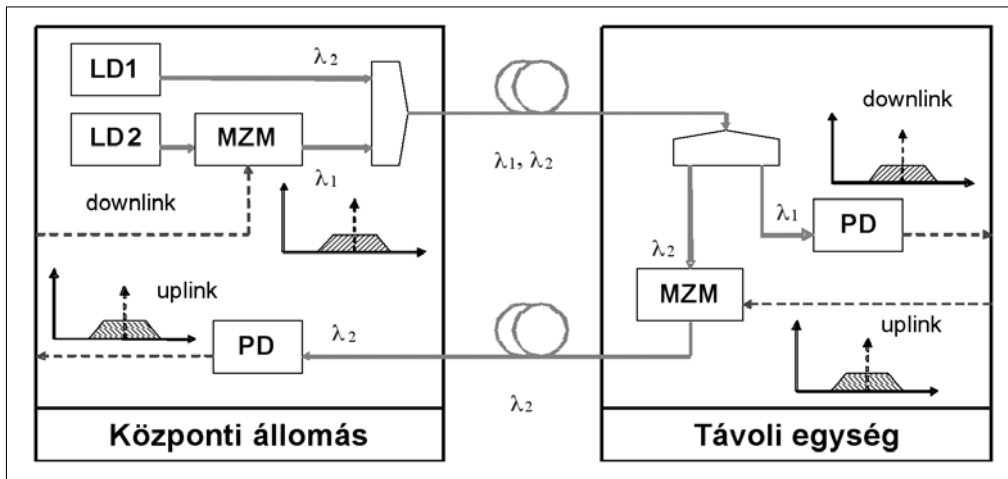
A full-duplex összeköttetést két optikai szálon, két hullámhossz felhasználásával oldjuk meg. A központi egységben az információs jelet egy Mach-Zender modulátorral (MZM) a  $\lambda_1$  hullámhosszra moduláljuk, melyet a  $\lambda_2$  hullámhosszú modulálatlan jellel kombinálva bocsátunk a fényvezető szálra. A  $\lambda_2$  hullámhosszú forrás hagyományosan a távoli egységben helyezkedne el,

de lévén, hogy a fizikai távolság a központi- és a távoli egység között a gyakorlatban nem túl nagy, így csillapítási szempontból ez az összevonás nem probléma. Előnye viszont, hogy ezzel egyszerűsödik a távoli egység, csökken a tápellátás igénye és a bonyolultsága is. Az ily módon történő módosítás további előnyeit a csillag topológia alkalmazásakor tudjuk még inkább kihasználni.

A vett jelet egy WDM demultiplexerrel szétválasztva a  $\lambda_1$  hullámhosszú jelet – egy fotodióddal detektálva – továbbítjuk az antenna felé. Mint említettük, az így detektált elektromos jel nem alapsávi jel, így közvetlenül kisugározható, és



1. ábra  
Antennarendszer  
városi környezetben



2. ábra  
Központi állomás  
egyetlen  
távoli egységgel;  
LD – lézerdíóda,  
PD – fotodióda,  
MZM – Mach-Zender  
modulátor

nincs szükség keverésre, vagy más elektromos tartományban végzendő jelkezelésre. Az antennáról érkező jelet ezután rámoduláljuk a  $\lambda_2$  hullámhosszú jelre. Ez, immáron egyedüli hullámhosszként halad a második optikai szálon, a központi egységben detektáljuk, és továbbítjuk elektromos jelfeldolgozásra.

Hasonló megfontolások szerinti csillag topológia összeállításával jutunk a látható elrendezéshez. Ez esetben egy központi állomás több távoli egységet lát el.

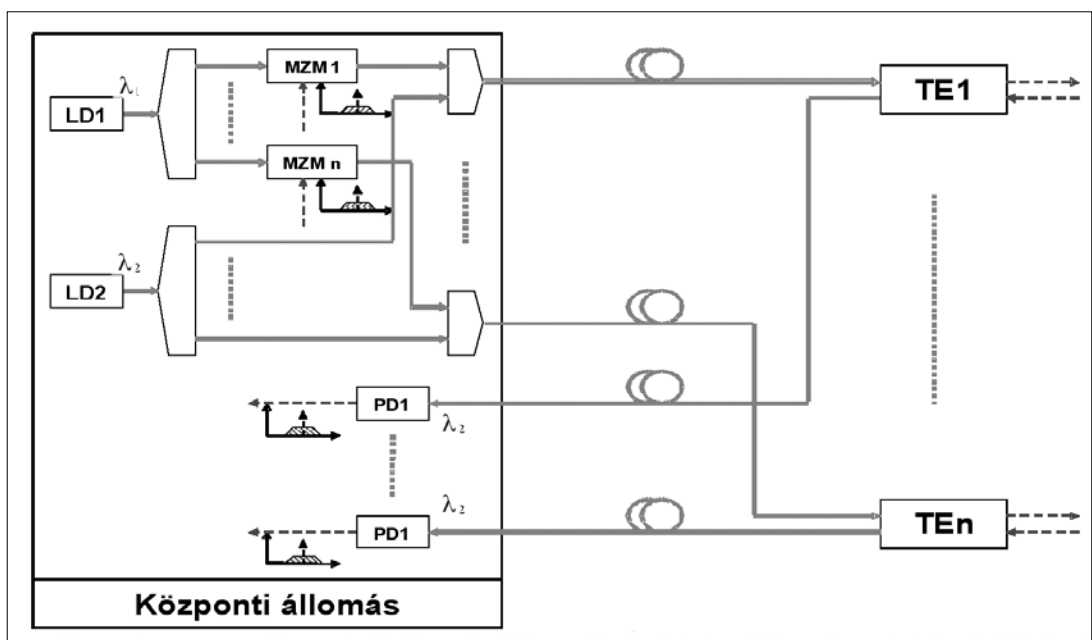
A 3. ábrán egy központi állomáshoz csatlakozó n darab távoli egységet láthatunk. Mint az az ábrából is kiderül, lehetőség van arra, hogy ezt a lézerek számának növelése nélkül tegyük meg, és valamennyi távoli egységgel való uplink és downlink kommunikációt egyetlen lézer pár oldja meg. Az egyes lézerek jelét egyszerű  $1 \times n$ -es iránycsatolóval osztjuk szét a különböző ágak között, és páronként multiplexálva továbbítjuk az egyes távoli egységek felé, a már fentebb bemutatott módon. A távoli egységek felépítése megegyezik a 2. ábrán látható megoldással. E megoldás a ma rendelkezésre álló eszközök alkalmazásával jó eredménnyel megvalósítható, amint azt a végzett méréseink is igazolták.

Gyűrűs topológia kialakítására a már bemutatott optikai add-drop multiplexerekkel nyílik lehetőség. Ez esetben a központi állomásban a gyűrűre csatlakozó távoli egységek számának megfelelő downlink hullámhosszat kell biztosítani, és ugyanez vonatkozik az uplink hullámhosszak számára is.

A 4. ábrán (következő oldalon) látható elrendezés szemlélteti a működést. A központi egységben TX-szel jelöltük az adóegységeket, melyek magukba foglalják a lézert és a modulátort is. Ezek jelét egy multiplexerrel nyalábolva az optikai szálon bocsátjuk. Az optikai szálon tehát mindvégig n darab, különböző hullámhosszú jel halad. Ezek képviselik a downlink csatornákat. Minden egyes távoli egység a neki megfelelő hullámhosszú jelet leválasztja egy OADM alkalmazásával, és a vett jelet az antennán kisugározza, míg az antenna vett jelet egy ugyanezen hullámhosszon működő lézere jelére rámodulálva visszacsatolja a jelfolyamba. Így végül a beérkező jelek mind az egyes egységek uplink információját szállítják.

Ebben az esetben tehát nincs lehetőség összevonas következtében az alkalmazandó lézerek számá-

3. ábra  
Csillag topológia  
központi  
lézertáplálással;  
LD – lézerdíóda,  
PD – fotodióda,  
MZM – Mach-Zender  
modulátor,  
TE – távoli egység



nak csökkentésére. Mindazonáltal mondott elrendezés rendelkezik mindazon előnyös tulajdonságokkal, amivel a gyűrűs elrendezés hagyományosan rendelkezni szokott. Vagyis legegyszerűbb esetben elegendő egyetlen szál felhasználása az egységek összekötésére, azonban a hálózatüzemeltetés biztonságának szempontjait is figyelembe véve, két optikai szál felhasználva „öngyógyító” struktúra is kialakítható [1].

#### 4. Kitekintés

Munkánk során a fent bemutatott elrendezéseket szimulációval és részben mérésekkel vizsgáltuk. A szimulációkhoz a kereskedelmi forgalomban elérhető eszközök jellemző paramétereire támaszkodtunk, és ezekkel alakítottuk ki a modell hálózatainkat.

Vizsgálataink eredményeképp elmondható, hogy a ma kereskedelmi forgalomban is elérhető eszközökkel ezek az összeállítások megvalósíthatók, és megfelelő átvitel érhető el vele. A lézerek teljesítménye eléri a 10 mW-ot, egy MZM beiktatott csillapítása átlagosan 5 dB, egy WDM multiplexer bemenő ill. kimenő portjai számának függvényében 4-8 dB csillapítást jelentenek, az optikai szálak csillapítása 0.2 dB/km. Mindazonáltal az eszközök további egyszerűsítése és költségcsökkenése szükséges ahhoz, hogy ezek a megoldások ténylegesen a gyakorlatba átültethetőek legyenek.

Mindezen felül elmondható, hogy rádiófrekvenciás jelek közvetlen optikai átvitele igen fontos területe a optikai távközlési kutatásoknak. A téma fontosságát mutatja, hogy számos európai forrásból támogatott, több ország részvételével folyó kutatás jelenleg is foglalkozik ezen technológia vizsgálatával. A kutatásoknak két fő irányvonala van. Az elsőbe azok tartoznak, melyek új eszközök fejlesztésére irányulnak, új megoldásokat keresnek a megvalósításhoz, például az optikai jelkezelés minél erőteljesebb bevonását, optikai szűrők alkalmazásával [3].

Más kutatások főleg azt célozzák, hogy ezek a laboratóriumi körülmények között évek óta létező megoldások a gyakorlatba átültethetővé váljanak, és kifejezetten a már létező LAN, WLAN és CATV szabványoknak megfelelő jelek átvitelét megvalósító hálózatok kialakításán dolgoznak [4,5], de ugyancsak fontos terület a hatmadik generációs mobil rendszerekben alkalmazott frekvenciasávokra alkalmas hálózatok átvitelének vizsgálata is.

#### 5. Összegzés

Cikkünkben összefoglaló jelleggel tekintettük át az optikai hálózatok egy speciális alkalmazási területét jelentő feeder network típusú hálózatok fő tulajdonságait. Ezen hálózatok speciális elvárásainak tárgyalását követően külön kitértünk a nem alapsávi átvitel nyújtotta előnyök bemutatására. Ismertettük a szóba jövő topológiai elrendezéseket, és azok főbb sajátosságait.

#### Irodalom

- [1] Ramaswami Sivarajan: „Optical Networks”, Morgan Kaufmann Publisher, San Francisco, 2002.
- [2] Kiege Iizuka: „Elements of Photonics”, Wiley-interscience, New York, 2002.
- [3] “Lightwave Architectures for the processing of Broadband ELectronic”, IST Project, <http://www.cordis.lu/ist/>
- [4] “Gbit/s Access Network using remote Delivery optical Feeder for heterogeneous broadband wireless and wireline nodes (GANDALF)”, IST Project, <http://www.cordis.lu/ist/>
- [5] “Broadband services for everyone over fixed wireless access networks”, IST Project, <http://www.cordis.lu/ist/>

4. ábra Gyűrűs topológia n távoli egységgel (a) és a távoli egység felépítése (b); TX – adóegység, PD – fotodióda, OADM – optikai add-drop multiplexer

