

Optikai megoldások a jövő mobil hálózataiban

HTE

Vételtechnikai és Kábeltelevíziós Szakosztály, Médiaklub, Távközlési Szakosztály

Gerhátné Dr. Udvary Eszter | 2020. Február 12. | Budapest

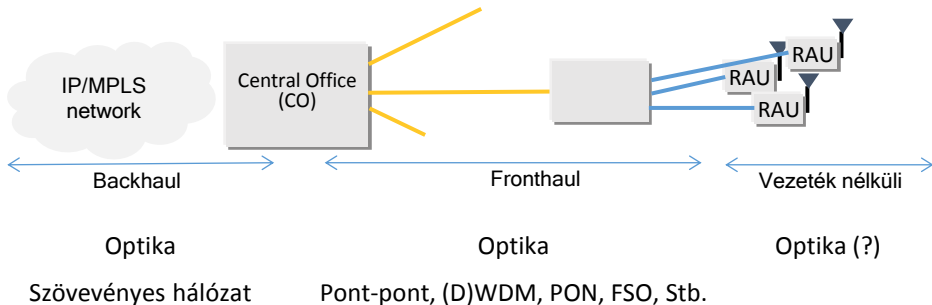
Szélessávú Hírközlés És Villamosságtan Tanszék



- Bevezetés / motiváció
- Optikai távközlés jellemzői
- Radio-over-Fiber (RoF) áttekintés
 - Típusok, tulajdonságok
 - Alkalmazás
- > 60GHz rendszerek
 - Milliméter hullámú jel generálás
 - Modulációs technikák
- Optical Wireless (OWC) áttekintés
 - Típusok, tulajdonságok
 - Alkalmazás, példák
- Összefoglalás

- Bevezetés / motiváció
- Optikai távközlés jellemzői
- Radio-over-Fiber (RoF) áttekintés
 - Típusok, tulajdonságok
 - Alkalmazás
- $\approx 60\text{GHz}$ rendszerek
 - Milliméter hullámú jel generálás
 - Modulációs technikák
- Optical Wireless (OWC) áttekintés
 - Típusok, tulajdonságok
 - Alkalmazás, példák
- Összefoglalás

- Hol használhatunk optikai módszert a mobil hálózatban?
 - Backhaul
 - Fronthaul
 - Vezeték nélküli szakasz (RF interfész?)



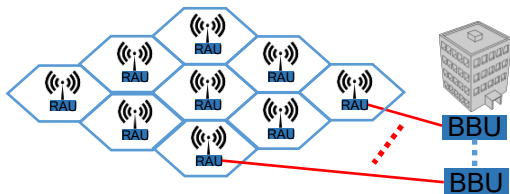
- 5G mobil hálózatok nem csak a vezeték nélküli szegmenst, hanem a hálózati infrastruktúra vezetékes oldalát is befolyásolják
- 5G igények
 - 1000x nagyobb sávszélesség/egységnyi terület
 - 100x több csatlakozó eszköz
 - 10Gbps adatátviteli sebesség a mobil eszközöknél
 - Magas rendelkezésre állás (99.999%)
 - Magas hálózati lefedettség (100%)
 - Rövid válaszidő (latency: max. 1ms end-to-end round trip delay)
 - Energiahatékonyság (90% csökkentése a hálózat energia felhasználásának)

=> cellák ellátása optikai úton

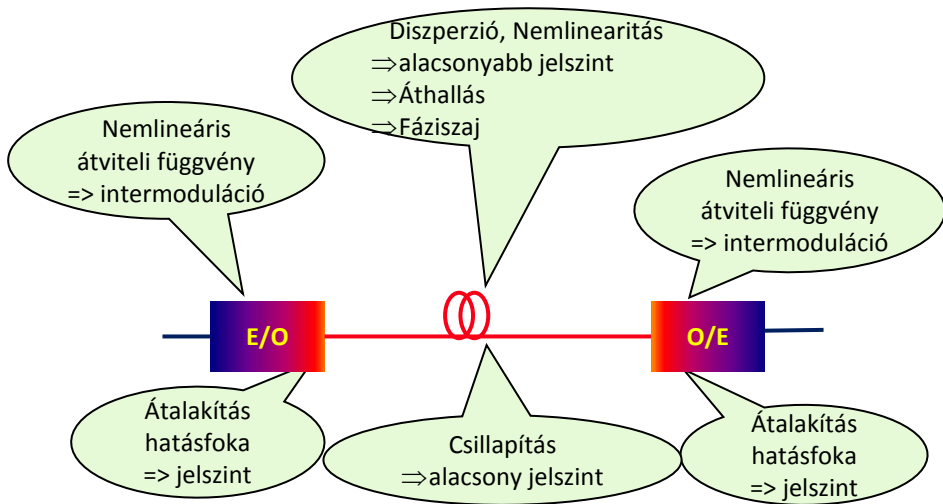
- 6G és tovább?

- Kihívás: nagy kapacitás
 - Megoldás: vezeték nélküli interfész vivőfrekvenciája magasabb
0.6-6 GHz => 24–86 GHz => kis cellaméret (terjedési tulajdonságok miatt)
- Kihívás: nagy kapacitás/terület => kis cellaméret
- Kihívás: fogyasztás => „green” optika minél hosszabb szakaszon
=> kis méret, kis teljesítmény => kis cellaméret

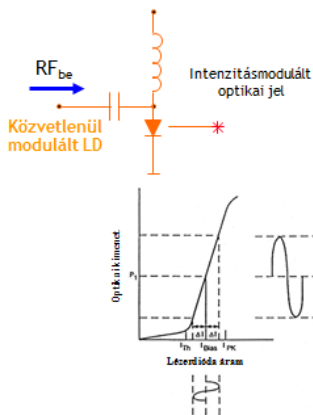
- Kis méretű cellák => sok RAU
 - Olcsó, egyszerű, kis méretű
 - Gyorsan telepíthető
 - Könnyen menedzselhető
 - Könnyen diagnosztizálható



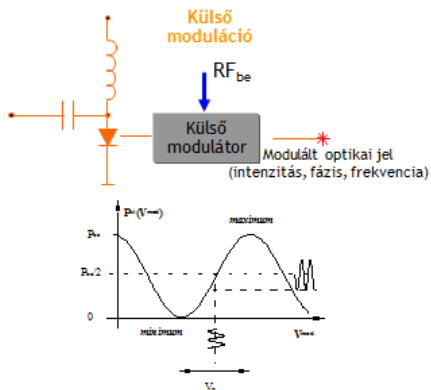
- Bevezetés / motiváció
- Optikai távközlés jellemzői
- Radio-over-Fiber (RoF) áttekintés
 - Típusok, tulajdonságok
 - Alkalmazás
- \approx 60GHz rendszerek
 - Milliméter hullámú jel generálás
 - Modulációs technikák
- Optical Wireless (OWC) áttekintés
 - Típusok, tulajdonságok
 - Alkalmazás, példák
- Összefoglalás



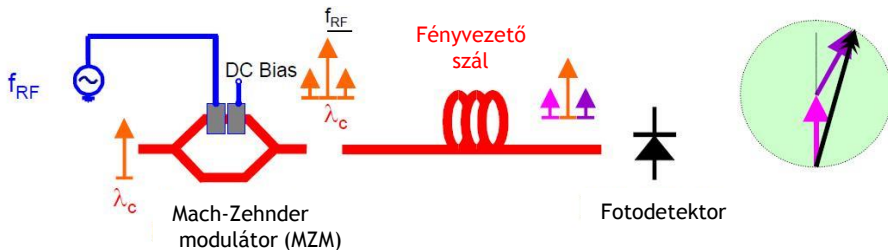
Moduláció



- Egyszerű
- Olcso
- Chirp
- Korlátozott sáv szélesség



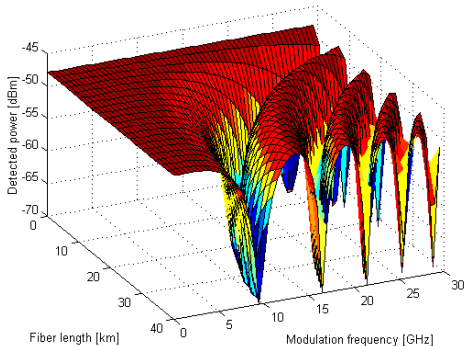
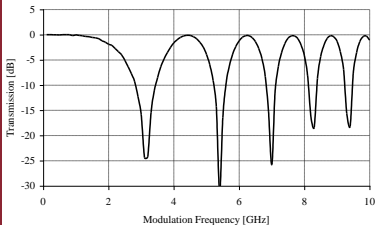
- Nincs chirp probléma
- Nagyobb modulációs sáv szélesség
- Drága
- Nemlineáris karakterisztika



- Különböző komponensek eltérő sebességgel terjednek
 - Módusdiszperzió (MMF)
 - Kromatikus diszperzió
 - Polarizációs mód diszperzió
- A fényjelünk nem monokromatikus (vonalszélesség, chirp, modulációs oldalsáv)
- A két oldalsáv a vevőben nem fázishelyesen találkozik

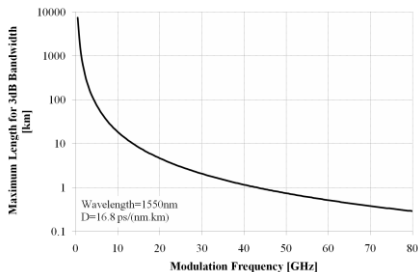
Hatása függ az optikai hullámhossztól, a modulációs frekvenciától és a szálhossztól
Az átviteli karakterisztikában ismétlődő minimumok találhatók

$$H_{\text{link}}(f) = \cos\left(\frac{\lambda^2 \cdot D \cdot \pi \cdot f^2 \cdot L}{c}\right)$$



© A. Hilt, I. Frigyes

Rádiós analógia: Többutas terjedés, multipath fading



Frekvencia	Maximum hossz	Szabvány
2.4 GHz	465 km	IEEE 802.11 b, IEEE 802.11 g, IEEE 802.11 n
5 GHz	75 km	IEEE 802.11 a, IEEE 802.11 n
60 GHz (57-66)	500 m	IEEE 802.11 ad, IEEE 802.15.3, Wireless HD™

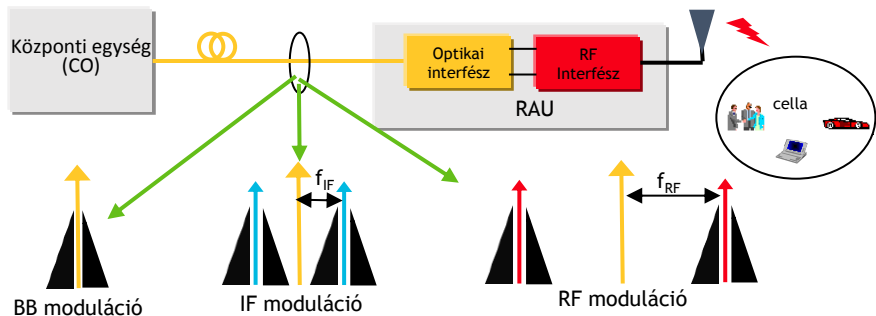
Az adó chirp tovább csökkenti ezt a maximális szálhosszt!

Kompenzáció

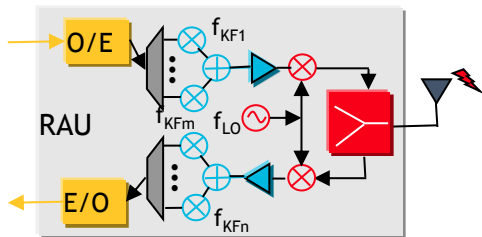
- Diszperzió kompenzáló szál
- Egyoldalsávós optikai moduláció
- Elektromos vagy optikai elő- vagy utótorzítás
- FBG
- optikai spektrum tükrözése az összeköttetés közepén
- optikai szál ön-fázis modulációja
- stb

- Bevezetés / motiváció
- Optikai távközlés jellemzői
- Radio-over-Fiber (RoF) áttekintés
 - Típusok, tulajdonságok
 - Alkalmazás
- \approx 60GHz rendszerek
 - Milliméter hullámú jel generálás
 - Modulációs technikák
- Optical Wireless (OWC) áttekintés
 - Típusok, tulajdonságok
 - Alkalmazás, példák
- Összefoglalás

Radio over Fibre: RoF

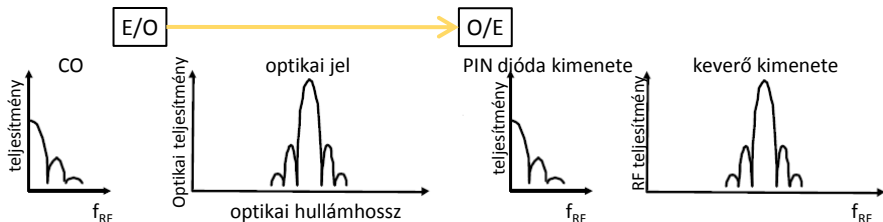


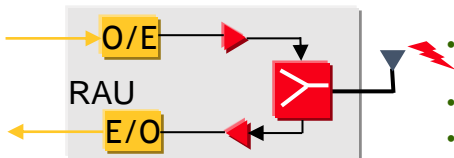
- Radio over Fibre: A transmission technology where the light is modulated by a radio signal and transmitted via an optical fiber link to facilitate wireless access. (Wikipedia)
- Elv alapja: optikai átvitel megőrzi a rádiófrekvenciás jel hullámformáját



Rádiós egység végzi a mikrohullámú vivő előállítását, modulációs forma kialakítást, stb.

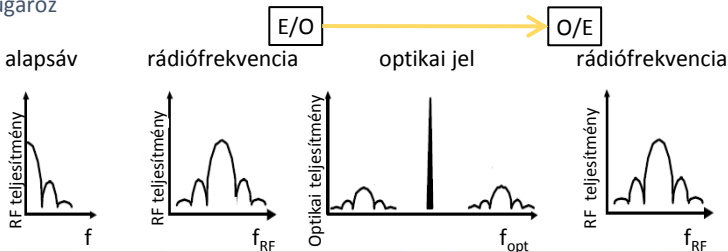
- Olcsó, kis sebességű O/E és E/O átalakítók
- Elhanyagolható diszperziós hatások
- Jelentős hardware
- Air-interface függő RAU struktúra
- drága nagy pontosságú, mmw helyi oszillátor (LO) szükséges minden bázisállomásba
 - => LO távolról
 - => olcsó MMIC alapú LO fejlesztések
- Többfelhasználós hozzáférés esetén bonyolódik a RAU struktúrája

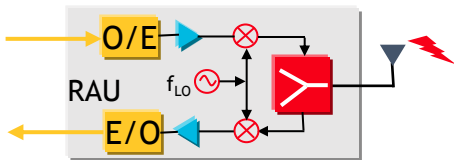




- Egyszerű és olcsó rádiós egység (nincs szükség keverésre)
- Egyszerűen központosítható csatorna és menedzsment
- Többsávú működés lehetséges
- Air-interface független RAU
- Nagysebességű, drága optikai adó és vevő
- Kromatikus diszperzió torzító hatása

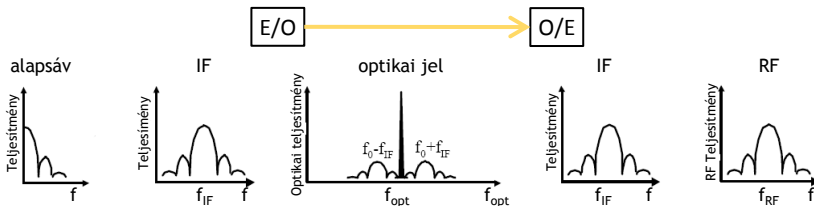
Az RF frekvenciára felkevert jel előállítására a központi állomáson, rádiós egység csak erősít és kisugároz

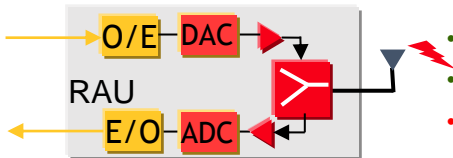




- Kromatikus diszperzió hatása kicsi (max. 1-2GHz esetén)
- Olcsó O/E és E/O átalakítók
- Egyszerű központosítható csatorna vezérlés / menedzsment
- Air-interface független RAU
- **mmW lokál oszcillátor szükséges minden RAU-ban**

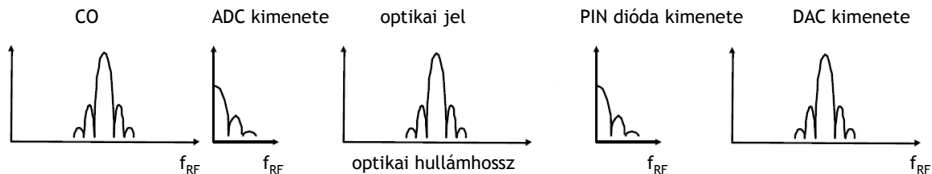
A komplett jel előállítás a központi állomáson, RF frekvencia helyett egy közép-frekvenciára felkeverve





- Digitális
- Alacsonyabb energia felhasználás
- Szabványosított (CPRI)
- **Nagyon magas adatsebesség**
 - Nagy sebességű A/D és D/A konverterek
 - Nagysebességű, drága optikai adó és vevő
 - Kromatikus diszperzió torzító hatása
- Nagy késleltetés
- Szinkron és dzsitter problémák

Digitalizált RF jel továbbítása a digitális optikai összeköttetésen (mintavételezett RF)



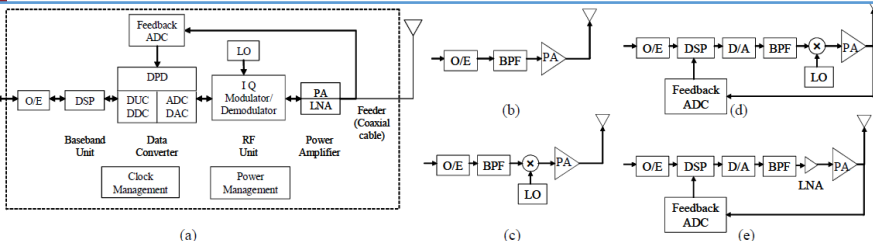


Fig. 1. (a) Base station architecture for baseband-over-fiber transmission scheme; (b) Base station architectures of RF-over-fiber, (c) IF-over-fiber, (d) Digital IF-over-fiber, and (e) Digital RF-over-fiber.

TABLE II. Elements and power consumption in each link

Transmission scheme	BBoF	IFoF	RFoF	DIFoF	DRFoF
Power related elements	Baseband unit DUC/DDC ADC/DAC DPD Clock management RF unit Power amplifier Feeder Power supply Cooling	Clock management RF unit Power amplifier Power supply Cooling	Power amplifier Power supply Cooling	ADC/DAC DPD Clock management RF unit Power amplifier Feeder Power supply Cooling	ADC/DAC DPD Clock Management Small signal amplifier Power amplifier Feeder Power supply Cooling
Power consumption	1619 W	1116.5 W	1104 W	704 W	696 W

Source: Yizhuo Yang et al: Comparison of Energy Consumption of Integrated Optical Wireless Access Network, OSA/OFC, 2011.

Paraméterek	Késleltetés
$c = \text{fénysebesség} = 299\,792\,458 \text{ m/s}$	$t(1310\text{nm}, 10\text{km}) = 45.9589\mu\text{s}$ $t(1550\text{nm}, 10\text{km}) = 48.9739\mu\text{s}$ $\approx 49\mu\text{s}$
$t_{\text{örésmutató}@1310\text{nm}} = 1.4676$ $t_{\text{örésmutató}@1550\text{nm}} = 1.4682$	
$\text{Sebesség } (v) = c/n$ $v@1550\text{nm} = 204190476.7743 \text{ m/s}$ $v@1310\text{nm} = 204273956.1188 \text{ m/s}$	
	$t(1550\text{nm}, 30\text{km}) \approx 147\mu\text{s}$ $t(1550\text{nm}, 60\text{km}) \approx 297\mu\text{s}$

Optikai eszköz	Késleltetés
EDFA	$0.25\mu\text{s}$
SOA	10ps
DCU	$\approx +30\%$
OE&EO átalakítás	$\approx 5\mu\text{s}$

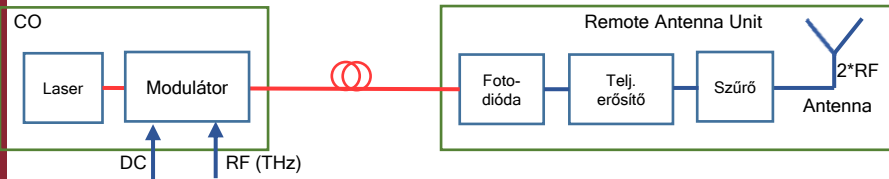
Jelfeldolgozás (FEC)	Késleltetés
RSFEC	$5.7\mu\text{s}$
EFEC	$49\mu\text{s}$
EFEC2	$147\mu\text{s}$

- Bevezetés / motiváció
- Optikai távközlés jellemzői
- Radio-over-Fiber (RoF) áttekintés
 - Típusok, tulajdonságok
 - Alkalmazás
- > 60GHz rendszerek
 - Milliméter hullámú jel generálás
 - Modulációs technikák
- Optical Wireless (OWC) áttekintés
 - Típusok, tulajdonságok
 - Alkalmazás, példák
- Összefoglalás

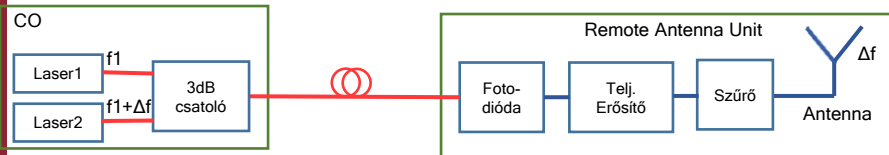
- Intenzitás moduláció / közvetlen vétel (IM/DD)

A MZM előfeszítése a minimum átviteli pontba

=> optikai vivő elnyomás => kétszeres frekvencia

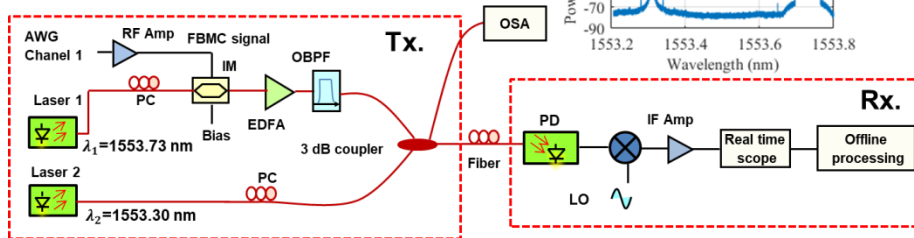


- Két laser => remote heterodyning



Kísérleti elrendezés 1

FBMC @ MMW RoF



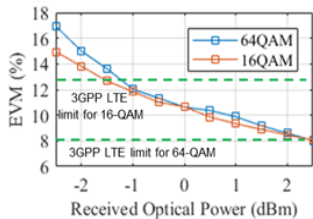
Parameters	Values	Parameters	Values
AWG Vpp	500 mV	LO frequency	41.75 GHz
AWG sampling rate	40 GS/s	LO power	10 dBm
OBPF BW	1 nm	IF frequency	11.75 GHz
Photodiode BW	70 GHz	RTS sampling freq	80 GS/s

- Filter Bank MultiCarrier
- Alacsony oldalsávok
- Nagy spektrális sűrűség
- minden segédvívó szűrt
- O-QAM
- MIMO megvalósítás nehéz

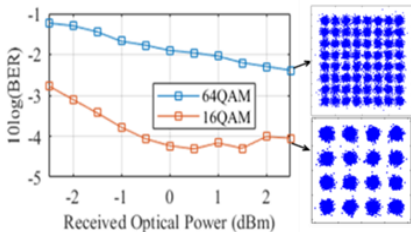
Forrás: Hum Nath Parajuli, Shams Haymen, Luis Guerrero Gonzalez, Eszter Udvarý, Cyril Renaud, John Mitchell "Experimental demonstration of multi-Gbps multi-sub-bands FBMC transmission in mm-wave radio over fiber system". Opt. Express 26, 7306-7312 (2018).

Kísérleti elrendezés 1 - eredmények

FBMC @ MMW RoF



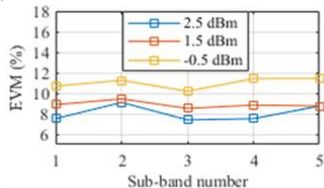
(a)



(b)

Nagy sebességű vezeték nélküli átvitel
8Gbps@53GHz

Teljesíti a szabványos értékeket
-3GPP LTE EVM (16QAM és 64QAM)

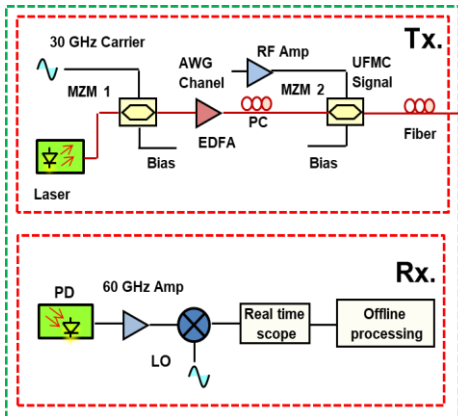


(a)

Forrás: Hum Nath Parajuli, Shams Haymen, Luis Guerrero Gonzalez, Eszter Udvar, Cyril Renaud, John Mitchell "Experimental demonstration of multi-Gbps multi-sub-bands FBMC transmission in mm-wave radio over fiber system". Opt. Express 26, 7306-7312 (2018).

Kísérleti elrendezés 2

OFDM @ MMW RoF



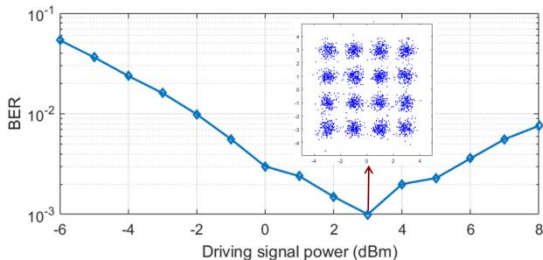
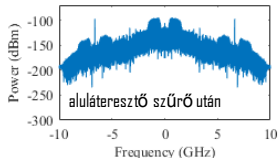
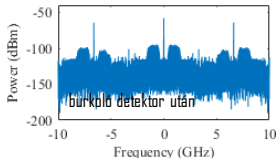
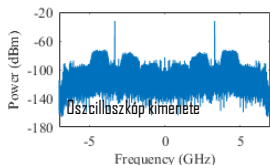
Parameters	Values	Parameters	Values
AWG Vpp	500 mV	LO frequency	63 GHz
AWG sampling rate	12 GS/s	LO power	10 dBm
Photodiode BW	70 GHz	IF frequency	3 GHz
DFB laser wavelength	1551.8 2 nm	RTS sampling freq	20 GS/s

parameters	values
No. of bits	12288
Bit rate	3.2 Gbps
QAM order	16
BW	1.25 GHz
NFFT	1024
No of sub-bands	32

Forrás: Hum Nath Parajuli, Julien Poette, Eszter Udvary, " UF-OFDM Based Radio Over Fiber for 5G Millimeter Wave Small Cell Radio Access Network", CSNDSP conference, July 18-20, 2018, Budapest, Hungary.

Kísérleti elrendezés 2 - eredmények

OFDM @ MMW RoF



Universal Filtered OFDM

- Alacsony oldalsávok
- Nagy spektrális sűrűség
- Könnyű megvalósítás
- QAM használható

MZM optimalizálás

- Alacsonyabb teljesítmény
=> kisebb modulációs mélység
- magasabb teljesítmény
=> harmonikus torzítás

3.2Gbps @60GHz

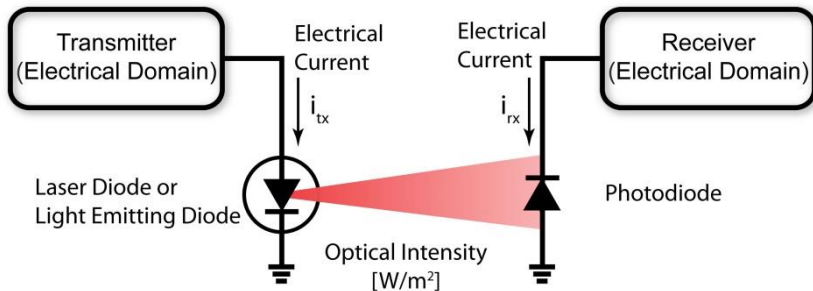
Teljesíti a szabványos FEC határt

Forrás: Hum Nath Parajuli, Julien Poette, Eszter Udvarý, "UF-OFDM Based Radio Over Fiber for 5G Millimeter Wave Small Cell Radio Access Network", CSNDSP conference, July 18-20, 2018, Budapest, Hungary.

- Bevezetés / motiváció
- Optikai távközlés jellemzői
- Radio-over-Fiber (RoF) áttekintés
 - Típusok, tulajdonságok
 - Alkalmazás
- $\approx 60\text{GHz}$ rendszerek
 - Milliméter hullámú jel generálás
 - Modulációs technikák
- Optical Wireless (OWC) áttekintés
 - Típusok, tulajdonságok
 - Alkalmazás, példák
- Összefoglalás

Lehet a vezeték nélküli szakasz is optika?

- Backhaul: optika
- Fronthaul: optika
- Vezeték nélküli szakasz: optika?
 - Optical-Wireless (OWC)
 - Visible Light Communication (VLC)
- OWC előny
 - Nagy sáv szélesség
 - Nem szabályozott spektrum
 - Kis ellátottsági terület => újrafelhasználás
 - Elektromágneses interferencia érzéketlenség



Forrás: Murat Uysal

- A tervezett alkalmazástól függően a meglévő technológiai megoldások mellett hatékony alternatív / kiegészítő / támogató technológia
- Összeköttetés távolsága alapján
 - Ultra-short range (optikai áramkörök)
 - **Short range (WBAN, WPAN)**
 - Medium range (WLAN, VANET)
 - Long range (épületek között)
 - Ultra-long range (műhold)



~mm



m



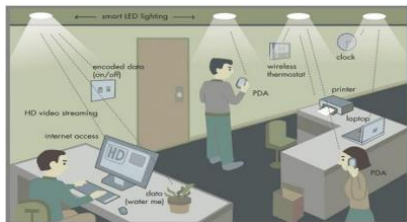
km



>10,000 km

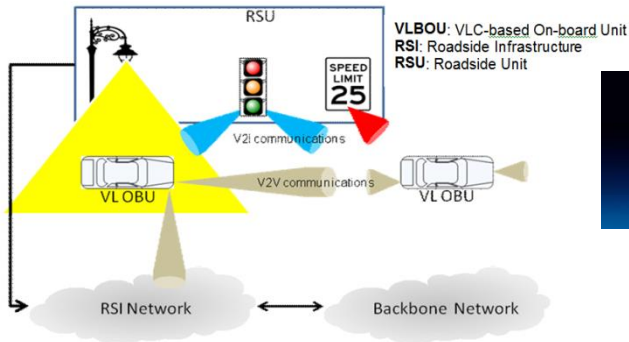
Alkalmazási területek

- Terület szerint
 - Kültéri
 - Beltéri
- Sebesség szerint
 - Kis sebesség
 - Helymeghatározás (ID)
 - Elektronikus fizetés
 - Ajtónyitás (kulcs nélküli ajtó)
 - Járművek közti kommunikáció (VVLC)
 - Víz alatti kommunikáció
 - Nagy sebesség
 - Li-Fi
- Funkció szerint
 - Adatszórás
 - Biztonság (RF kapcsolat nem megengedett)
 - Nagysebességű internet

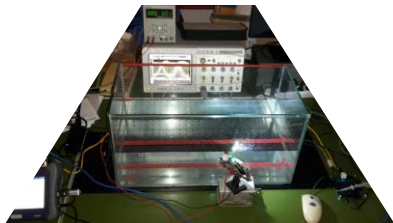


Vehicular ad-hoc networks

- Járművek között
 - Vehicle-to-vehicle communication (V2V)
- Járművek és infrastruktúra között
 - Vehicle-to-infrastructure communication (V2I)



Forrás: Murat Uysal



- Radio-over-Fiber (RoF)
 - Analóg (IF, RF) / Digitalizált / Digitális (BB)
 - Tulajdonságok (teljesítmény, késleltetés, stb.)

- > 60GHz rendszer (THz – MMW)
 - Rádiófrekvenciás jel generálás
 - Laboratóriumi kísérletek
 - FBMC, két laser – különbségi frekvencia
 - UF-OFDM, MZM speciális munkapont & közvetlen vétel

- Visible Light Communication (VLC)
 - Megoldás ismertetése
 - Tulajdonságok
 - Laboratóriumi kísérletek

Köszönöm a figyelmet!

HTE

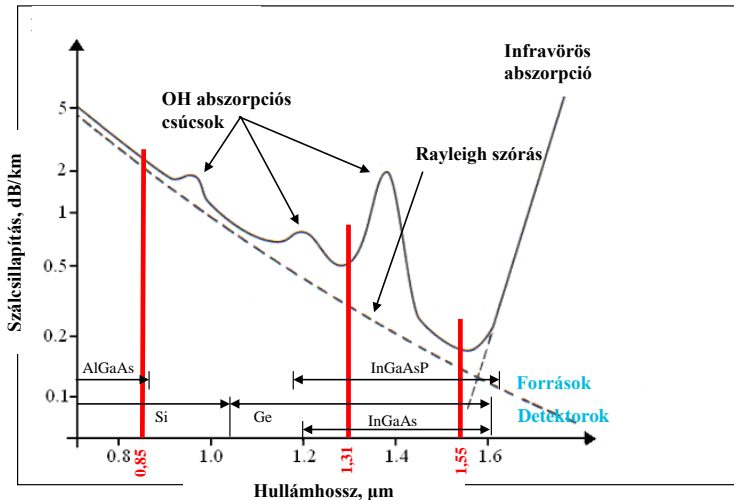
Vételtechnikai és Kábeltelevíziós Szakosztály, Médiaklub, Távközlési Szakosztály

Gerhátné Dr. Udvary Eszter | 2020. Február 12. | Budapest

Szélessávú Hírközlés És Villamosságtan Tanszék

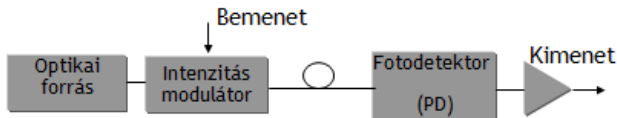


Jellemző csillapítás üveg alapú optikai szálak esetében



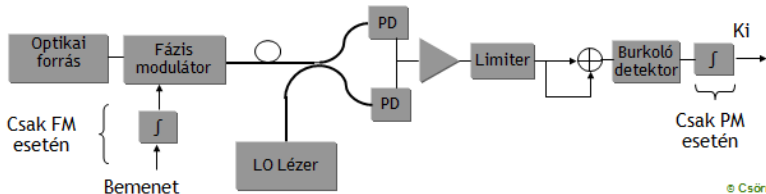
Burkoló demodulátor /DD

- Egyszerű felépítés
- kizárólag intenzitásban modulált jelek vételére alkalmas

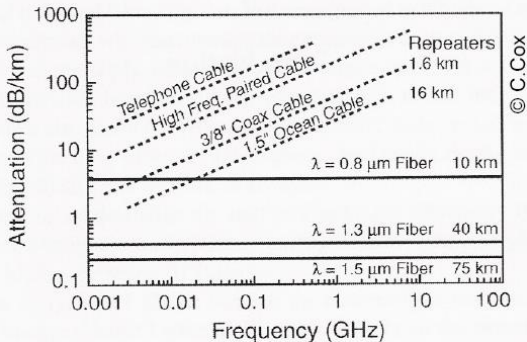


Koherens vétel

- Fázis és frekvencia moduláció visszaállítása is alkalmas
- Jobb minőség
- Bonyolult felépítés



Az optikai átvitel a hagyományos mikrohullámú távközlési médiumok (pl. koaxiális kábel) helyettesítője, mikrohullámú kétkapuként kezelhető, csillapítása, erősítése, zajtényezője definiálható.



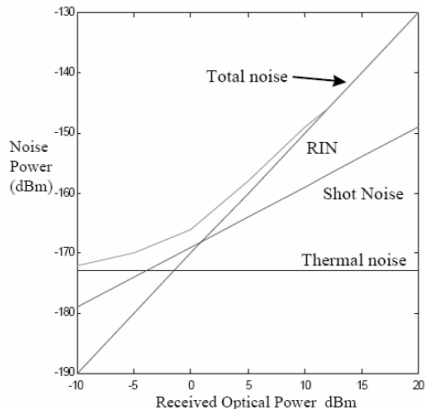
Koaxiális kábel

- Passzív
- Jellemzés
 - Frekvenciamenet
 - Csillapítás

Üvegszál

- Aktív is
- Jellemzés:
 - Frekvenciamenet
 - Csillapítás
 - Nemlinearitás
 - Zaj

A mikrohullámú moduláló jel az optikai tartományban ultra keskeny modulációt hoz létre, ennek értelmében a szál csillapítása konstans a moduláló frekvencia mentén.



© Jodrell Bank

A vevő zaja vs. a vett teljesítmény

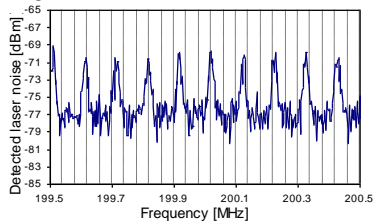
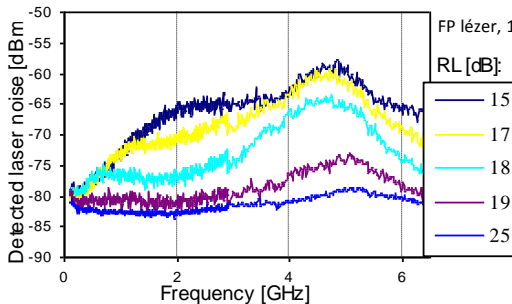
rövid, pár tíz km-es távolság esetén az átvitel meghatározó zaj: az adó zaja

$RIN = (\text{fotoáram zaj teljesítménysűrűsége}) / (\text{fotoáram átlagteljesítménye})$

Sörétzaj: $P = 2qI\Delta f R \rightarrow S = 2qI = 3,2 \cdot 10^{-19} \cdot I \text{ (A}^2/\text{Hz)}$

Termikus zaj: $P = kT\Delta f \rightarrow -204 \text{ dBW/Hz} = -174 \text{ dBm/Hz}$ $S = 4kTR \text{ (V}^2/\text{Hz)}$

Optikai reflexiók hatása a lézer zajára



Optikai izolátor vagy minimálisan APC csatlakozó használata szükséges