

Optické spoje ROF v sítích mobilní komunikace

*Doc. Ing. Václav Žalud, CSc
Katedra radioelektroniky
FEL, ČVUT v Praze*

Počátky techniky ROF: Radio over Fiber (1994)

OPTOELEKTRONICKÉ KOMUNIKAČNÍ SYSTÉMY S MULTIPLEXEM SUBNOSNÝCH VLN

Doc. Ing. V. ŽALUD, CSc., katedra radioelektroniky FEI ČVUT
Technická 2, tel. 27 Praha 6

The modern optical fibre communication systems yield enormous potential bandwidth. In order to maximize the information transfer over an optical link, it is necessary to multiplex a large number of signals onto a single fibre. From various multiplexing techniques especially the RF & microwave subcarriers multiplexing method is very attractive. Here, baseband data are frequency division multiplexed to form a composite waveform signal prior to modulation of the optical source. Main applications of these systems are in DBSD/OTV, telemetry, defence radar etc.

Tento příspěvek se zabývá problematikou optoelektronických komunikačních systémů s frekvenčním multiplexem vysokofrekvenčních a mikrovlnných subnosných vln (dále OC-SCM). Optical Communication - Subcarrier Multiplexing). V jeho první části jsou shrnuty základní vlastnosti různých způsobů multiplexování používaných v optoelektronické komunikaci. Dále se již podrobněji probírají optoelektronické systémy SCM, přehledem jejich nejdůležitějších aplikací je poslouh příspěvek zakončen.

1. Různé způsoby multiplexování používané v optoelektronické komunikaci

Při sdružování modulačních signálů v elektrické části optoelektronických komunikačních systémů (OECG) lze využít v zásadě tři základní typy multiplexování: používané v "klasické" rádiové komunikaci, tedy úroveň nejvyšší frekvenční multiplex FDM (FDMA), dále časový multiplex TDM (TDMA) a kódový multiplex CDM (CDMA). V ostatní části OECG je poslouh

3. Aplikace systémů OC-SCM

Jednou z nejdůležitějších aplikací systémů OC-SCM je přenos a distribuce velkého počtu video resp. televizních signálů na jedné nosné (např. 34 signálů HDTV/MUSE na vzdálenost 42 km bez opakovací) apod

Japan HDTV Standard MUSE: Multiple sub-Nyquist sampling encoding

MULTILEVEL DIGITAL MODULATION IN COARSE OPTICAL SYSTEMS

VICTOR ŠKIBO

Brno Technical University, Technická 2, 602 00 Brno, Czech Republic
Tel. 22 24300222, E-mail: ŠKIBO@PELU.CVUT.CZ, fax 24300001

Coarse optical using an optical carrier wave guided along a fibre optic has a number of extremely attractive features. These are: high bandwidth, small space and weight, electrical isolation, line-of-sight optical fibre communication will have a great role play in future communication networks. These are: high reliability, low cost. In order to utilize optical fibre transmission for telephone, the optical carrier bands of analog transmission need digital and for high speed to code pulses (PCM) and to avoid frequency to avoid carrier line and prevent interference between transmitted signals etc.

Typical optical fibre transmission generally give superior performance over their analog counterparts. As well as providing an ideal channel for audio, video and data communications and computer links with digital transmission techniques, optical systems offer potentially unlimited transmission quality, capacity, time division multiplexing, greater compressed transmission distance, greater line-of-sight and non-directional transfer. However, only a very limited number of papers about the problems of the digital optical fibre electronic systems have been published in the Czech Republic. In this article, the contribution of the digital modulation in optical communication systems, especially coherent optical communication systems.

Some modulation of the carrier wave to convert a digital message into an analog wave, based from the point of view of information theory, is an analog system. The wave modulation can be divided to various types: modulation: pulse-amplitude, phase and multi-level modulation. Their contribution to various communication systems of the multi-level modulation, provided in optical communication systems.

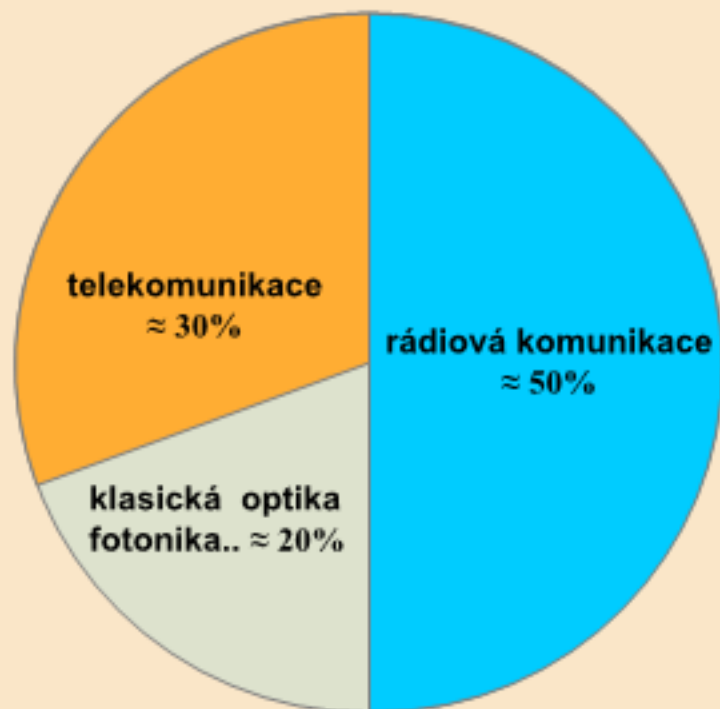
Multilevel modulation in noncoherent optical systems

All optical communication systems can be divided into two main categories: coherent detection systems and noncoherent systems. In direct detection systems, the optical signal from the fibre optic is processed by an optical filter and measured by optical sensitive devices and then detected by photodiodes. The simplest modulation is the unmodulated intensity modulation, i.e., the on-off keying (OOK) system in which the light intensity is directly proportional to the transmitted bit value. In correspondence to a weak bit the receiver also output signal from the fibre and is detected by a photodiode and from the output the transmitted information can be obtained.

Multi-level pulse-amplitude modulation (M-PPM) is one of the most attractive modulation methods. The multi-level pulse-amplitude modulation systems because it is more possible to achieve about the same transmission rate increasing channel capacity. However, this happens only at the cost of the rate of an optical carrier.

Optické komunikační systémy: základní prameny vývoje

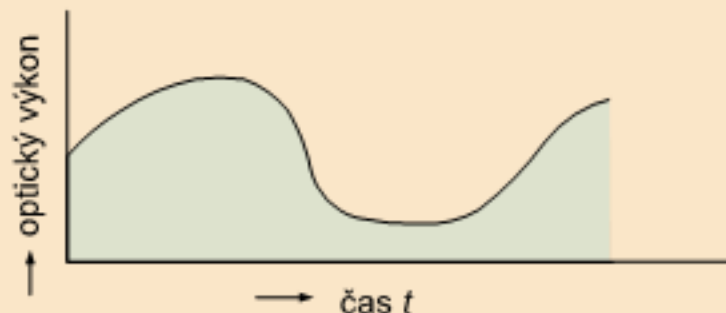
Obory, na které navazují optické spoje



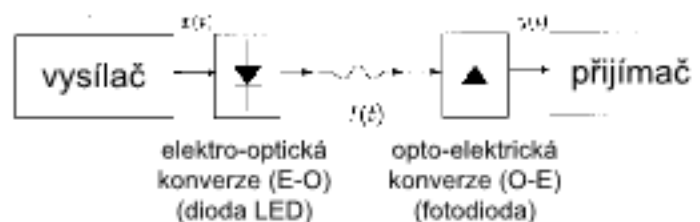
[Václav Hoffner, TESLA VÚST, rok 1988]

Optická komunikace - zejména koherentní - může s výhodou využívat různé techniky (modulace, multiplexy apod.), které procházely dlouhodobým vývojem v rádiové komunikaci. To potom usnadňuje v poslední době konvergenci rádiových a optických spojů

intenzitní modulace optického zdroje

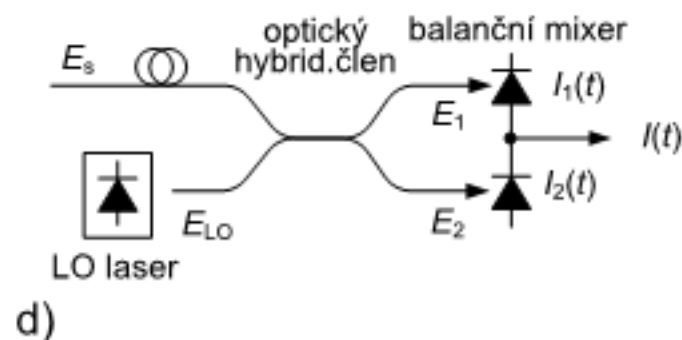
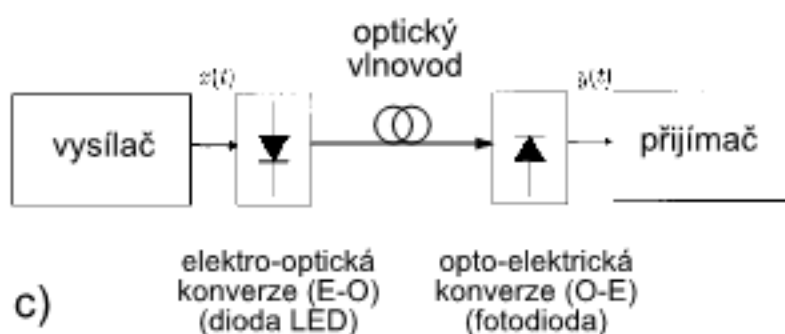
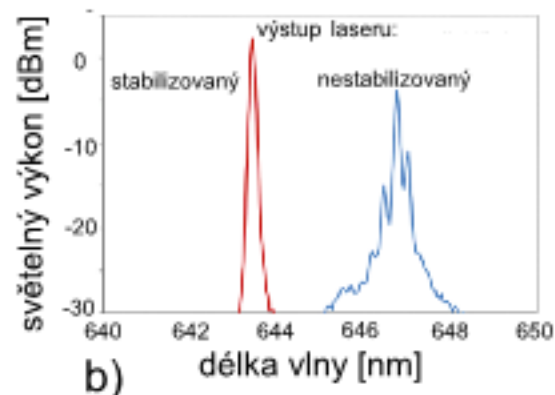
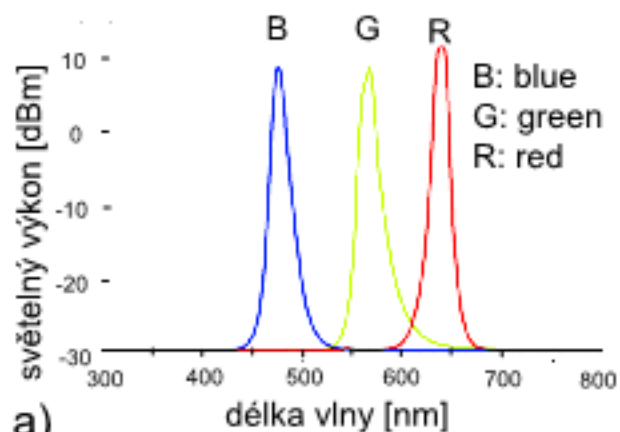


bezdrátový optický systém IM - DD



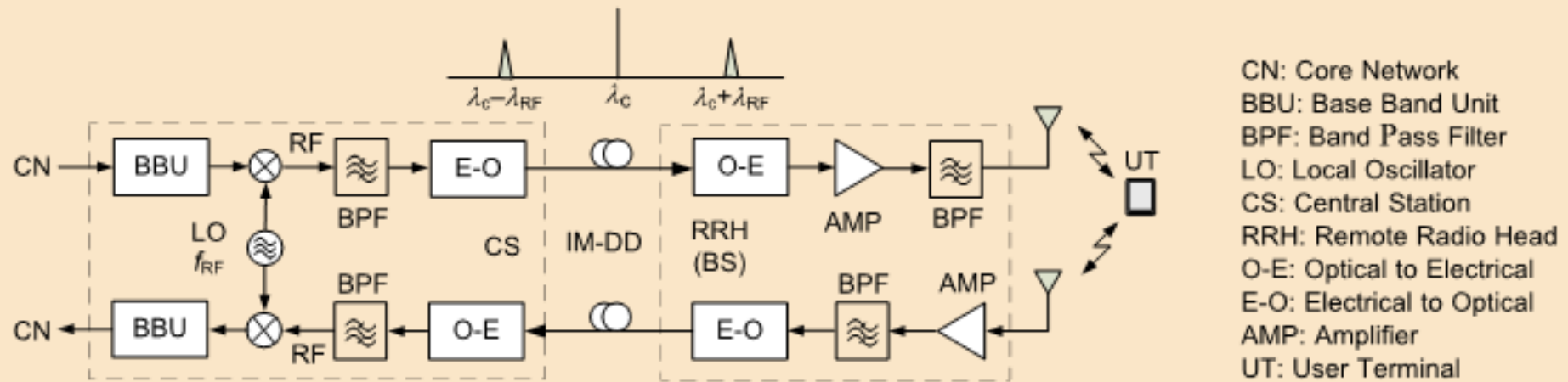
V systému IM – DD (Intensity modulation – direct detection) se uskutečňuje v měniči E – O pouze intenzitní modulace optického výkonu, bez jakéhokoliv ovlivňování fáze; vysílaný signál tedy má pouze kladné hodnoty. V uvedených systémech se uplatňuje nejčastěji binární pulsní polohová modulace PPM a také pulsní amplitudová modulace s klíčováním OOK (on – off keying)

Základy optické komunikace



a) Frekvenční spektrum optického signálu, vyzařovaného diodami LED v různých oblastech viditelného spektra (780 až 380 nm); b) spektrum polovodičového laseru; c) optoelektronický systém s intenzitní modulací a přímou detekcí IM-DD; d) koherentní přijímač, který vytváří zázněje mezi vstupním optickým signálem (E_S) a signálem místního oscilátoru (ELO)

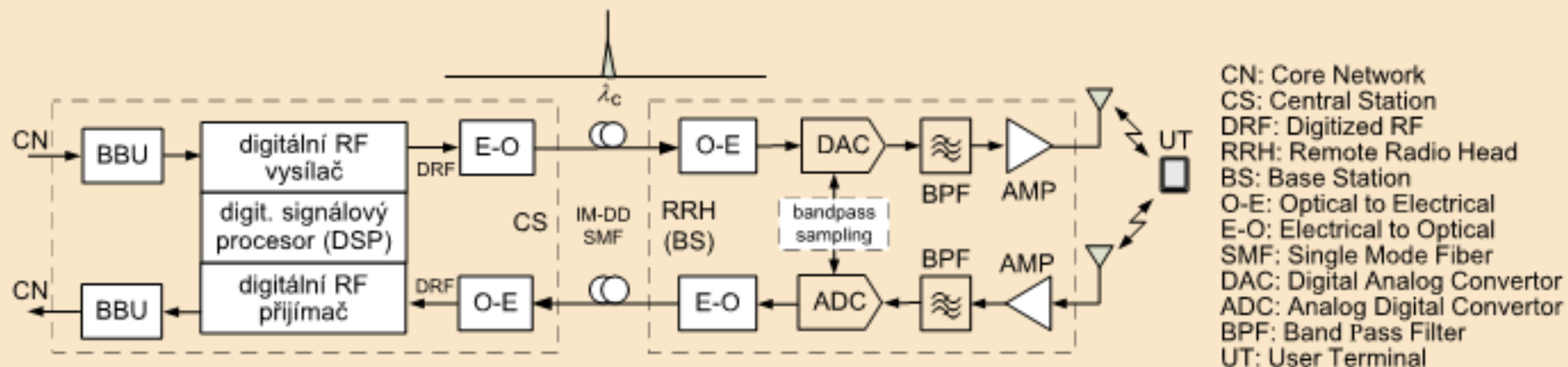
Přenos analogových RF signálů optickým spojem (AROF)



Na trase CS – BS se signály základního pásma BB nejprve modulují na RF nosnou vlnu o frekvenci f_{RF} . Po filtraci filtrem BPF se v měniči E-O (laser) výhodou je zde jednoduchá elektronika v BS, nevyžadující náročné měniče frekvence. Je zde ale zapotřebí velmi rychlý převodník (modulátor) E-O i rychlý fotodetektor O-E. Problémem je i vláknová chromatická disperze optického signálu, vznikající vlivem velkého vzdálenosti postranních pásem optického modulovaného signálu ($2f_{RF}$). K dalším potížím dochází i následkem nelinearit elektronických mikrovlnných i optických komponent, způsobujících intermodulační zkreslení. Kromě toho při rostoucí délce analogové optické linky roste její útlum a tomu úměrně klesá její dynamický rozsah intenzitně modulují na optickou nosnou vlnu. Tím se po obou stranách této nosné vytvoří ve vzdálenostech f_{RF} dvě postranní pásma.

Takto vzniklý analogový signál ODSB (optical double side band) se přenáší optickým vláknem k základnové stanici BS. Zde je ve fotodetektoru tj. měniči O-E přímo detekován. Po zesílení a filtraci je z BS vyslán k uživatelským terminálům UT. Na trase BS – CS probíhá zpracování signálu analogicky, ovšem v opačné sekvenci.

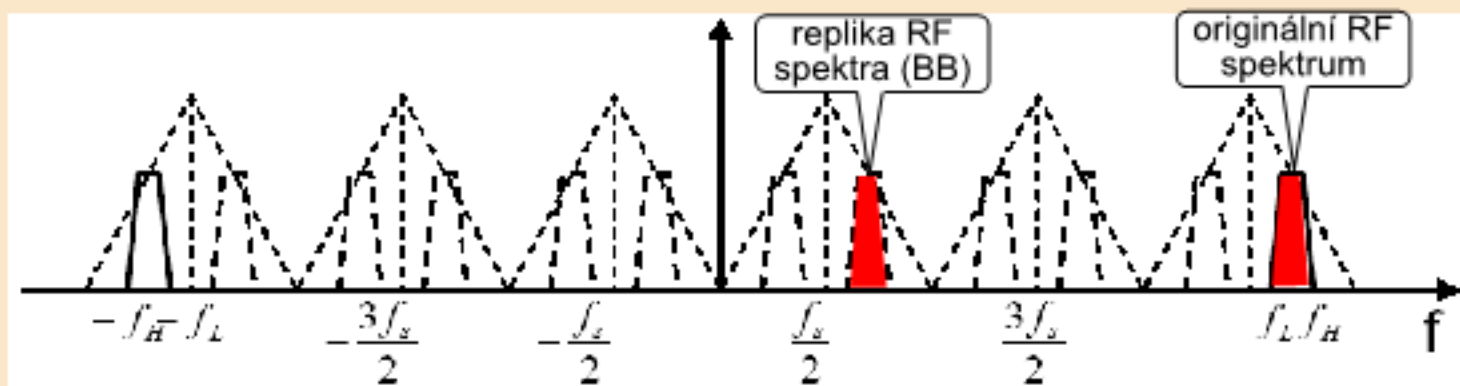
Přenos digitalizovaných RF signálů optickým spojem (\approx BB)



Na trase BS - CS je analogový signál přicházející od uživatelského terminálu UT do BS v převodníku ADC digitalizován. Při velmi vysoké frekvenci nosné ($f_{RF} \gg R_{bit}$), je zde možné aplikovat pásmové vzorkování BPS, s nízkou vzorkovací frekvencí f_s ($f_s \ll f_{RF}$). Jeho výsledkem je více shodných replik (Nyquist zone) digitalizovaného signálu, rozložených souměrně kolem lichých násobků frekvence $f_s/2$. Převodník ADC zde tedy působí též jako mixer, provádějící konverzi frekvence dolů. Z těchto replik se dále využije nejnižší položená, ležící prakticky v oblasti základního pásma BB, která se poté intenzitně moduluje na optickou nosnou (f_c) a dále přenáší optickou linkou. Ve stanici CS jsou digitální data ve fotodiodě přímo detekována, čímž se získá digitální signál DRF. Ten je poté v digitálním RF přijímači pomoci převodníku DAC převáděn do analogové podoby, demodulován a přiváděn k jednotce BBU. Tato koncepce má následující přednosti:

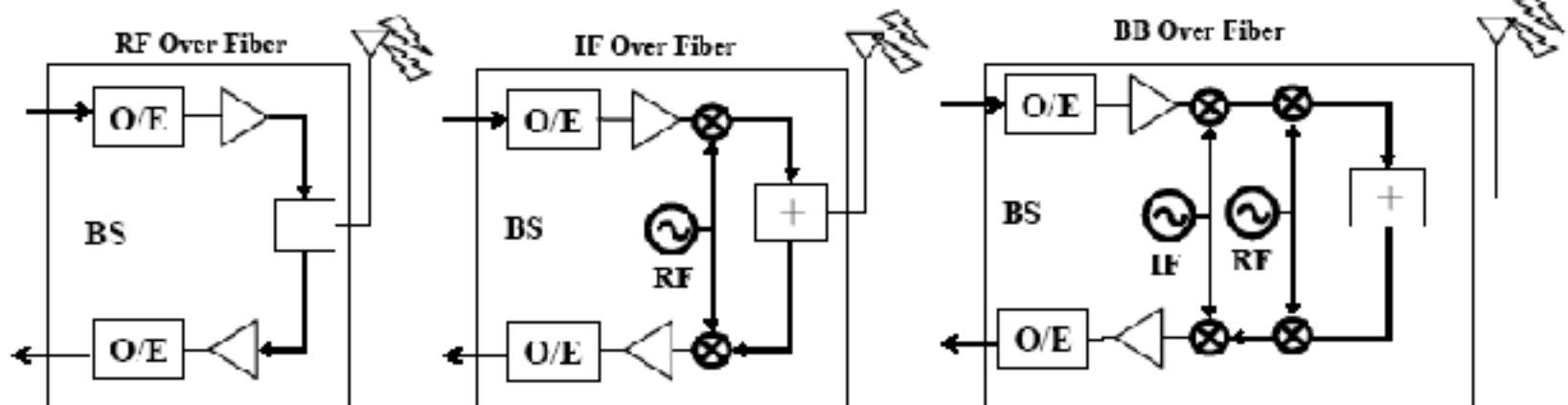
- Digitální optickou linku lze realizovat intenzitní modulací laseru ve vysílači a přímou detekcí v přijímači (IM-DD), jež je transparentní vůči typům RF modulací.
- Tento přenos je velice robustní, neboť je imunní vůči nelinearitám kompletní optické linky (včetně E-O a O-E měničů), jeho dynamický rozsah nezávisí na délce optického vlákna a efekt chromatické disperze je zde již zanedbatelný.
- Digitální koncepce D-ROF dovoluje soustředit náročný digitální processing (digitální funkce vysílače a přijímače apod.) do systému CS, který je energeticky i prostorově lépe dimenzován, než v terénu rozptýlené rádiové hlavice RRH (BS).

Pásmové vzorkování rádiových signálů

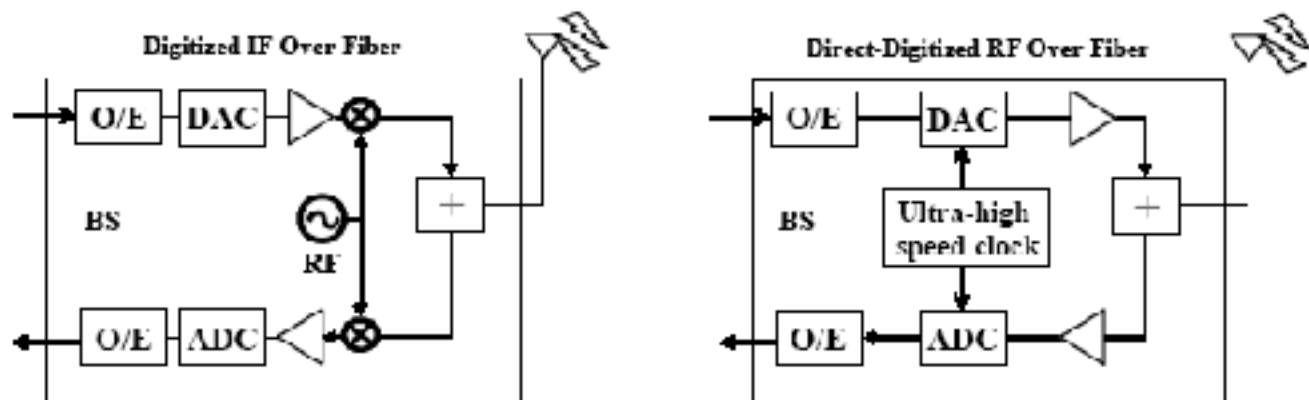


oboustranné frekvenční spektrum RF signálu ležícího v pásmu f_L až f_H , po pásmovém vzorkování BPS frekvencí f_s . Spektrum má více shodných replik (Nyquist zone), rozložených souměrně kolem lichých násobků frekvence $f_s/2$, které se při vhodné volbě f_s nepřekrývají. Repliky leží pod RF pásmem, tudíž BPS lze užít ke konverzi frekvence dolů (prakticky do oblasti frekvencí blízkých základnímu pásmu BB)

Přehled analogových a digitálních schémat ROF



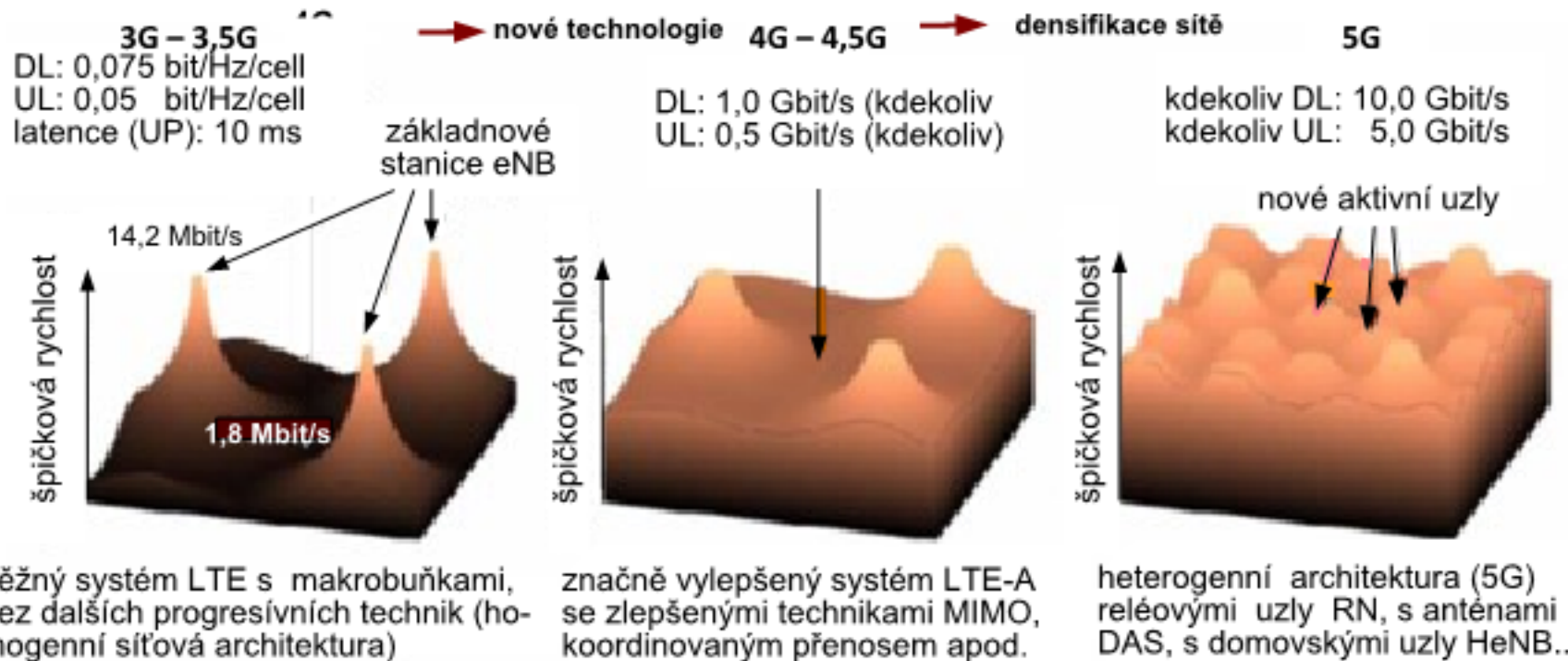
Různé konfigurace základnových stanic BS, implementujících přenos v různých frekvenčních pásmech (RF: Radio Frequency; IF: Intermediate Frequency; BB: Base Band). Při přenosu v RF a IF pásmu se optickým spojem přenáší analogový signál. Při přenosu v BB se optickým spojem přenáší digitální signál



Konfigurace základnových stanic BS, realizujících přenos v digitálních optických spojkách; zapojení s přenosem digitalizovaných RF signálů odstraňuje potřebu frekvenční konverze

Vývoj buňkových koncepcí od homogenních k heterogenním - densifikace

Okraje buněk a zastíněné oblasti (různé terénní překážky, vysoká výstavba, tunely ...) pracují se signály s malým poměrem SNR, což má za následek sníženou kapacitu sítě i uživatelskou přenosovou rychlost. Tomu lze odpomoci při stávajícím počtu základnových stanic např. aplikací systémů s více anténami SIMO, MISO, MIMO a formováním svazků BF, kooperativními technikami DAS, CoMP ap. Další zlepšení může přinést densifikace sítě, tj. její doplnění původní sítě makrobuněk velkým počtem malých buněk, rádiovými hlavicemi RRH, novými rádioreléovými uzly RN, distribuovanými anténami RRH, domovskými uzly HeNB apod.



Rozhraní optických distribučních sítí mezi RRH a BBU

Rádiová resp. optická síť fronthaul mezi hlavicemi RRH (obecně RE, tj. Radio Equipment) a jednotkami BBU/CO (obecně REC, tj. Radio Equipment Control) je standardizována, takže umožňuje funkci bloků RRH a BBU od různých výrobců. V nejnižší vrstvě 1 (L1) modelu OSI RM se obvykle užívají dvě rozhraní, a to CPRI a OBSAI, ve spojení s časovým multiplexem TDM:

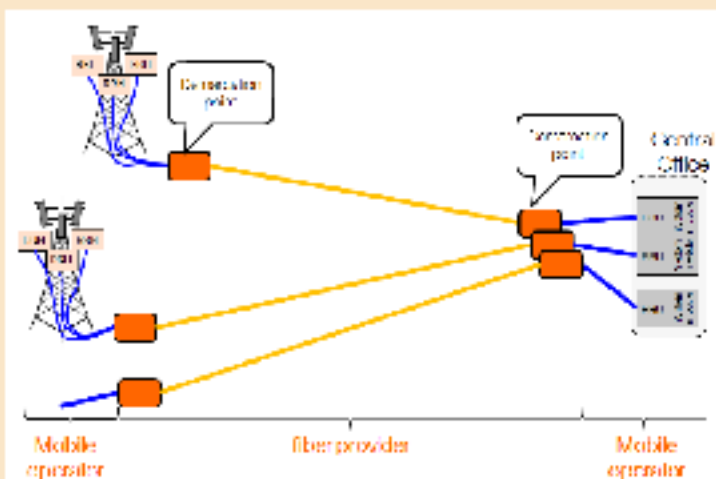
- **CPRI (Common Public Radio Interface):** toto rozhraní přenáší digitalizované RF signály (DROF). Příslušný protokol definuje několik přenosových rychlostí od cca 600 Mbit/s do 10 Gbit/s, s podporou mnohorychlostního vlnového multiplexu WDM. Příslušný protokol je velice citlivý na latenci a vyžaduje podporu transparentní synchronizace. Uvedeným požadavkům mohou ale vyhovět nejlépe právě optické sítě.
- **OBSAI (Open Base Station Architecture Initiative):** specifikace OBSAI definují architekturu, popisují funkci a stanoví minimální požadavky pro integraci společných funkčních modulů, které jsou přidruženy nebo jinak spojeny s funkcí základnových stanic BS.

Topologie optických distribučních sítí mezi RRH a BBU (Fronthaul)

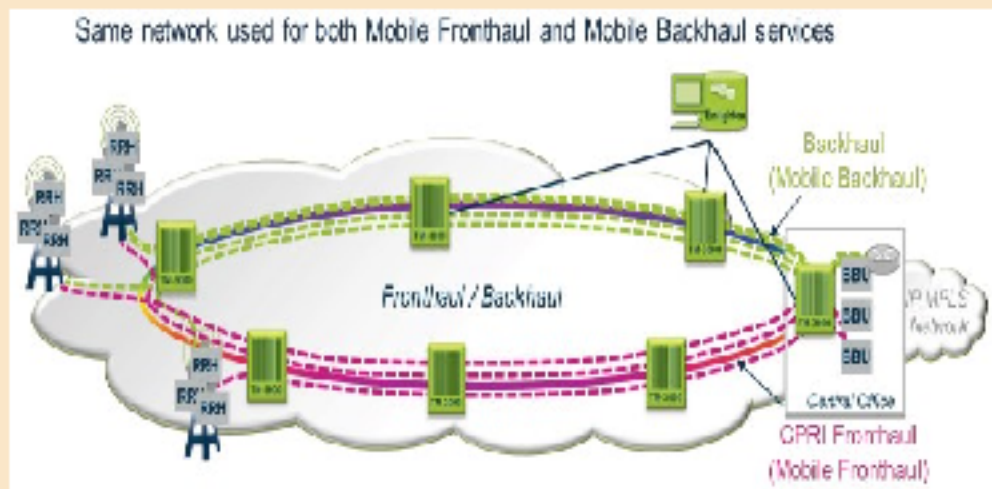
Hvězdicová resp. bod – bod (star resp. point to point – viz obr.): každá hlavička RRH je připojena přímo k jednotce BBU. Toto řešení je spolehlivé a úsporné, avšak při velkém počtu optických linek je drahé; situaci zlepší aplikace vlnového multiplexu WDM, nebo rozhraní CPRI.

Uzavřený okruh (daisy chain): několik hlavic RRH může být zapojeno do kaskády, přenos jejich dat k BBU potom umožní aplikace časového multiplexu TDM. Tím se redukuje počet optických linek, avšak rostou nároky na jejich kapacitu a také klesá spolehlivost přenosu, neboť porucha určité linky v jejím jediném bodě vede k jejímu totálnímu vyřazení.

Spojení mobilního fronthaulu (CPRI) a mobilního backhau přináší synergetické zlepšení celkové funkce buňkového systému, aplikujícího optické sítě (DROF): v určitých geografických oblastech, kde je již vybudován mobilní backhaul, se může dodatečně vyžadovat realizace sítě mobilního fronthaulu; efektivním řešením tohoto problému je jediná integrovaná síť, plnící potom obě funkce



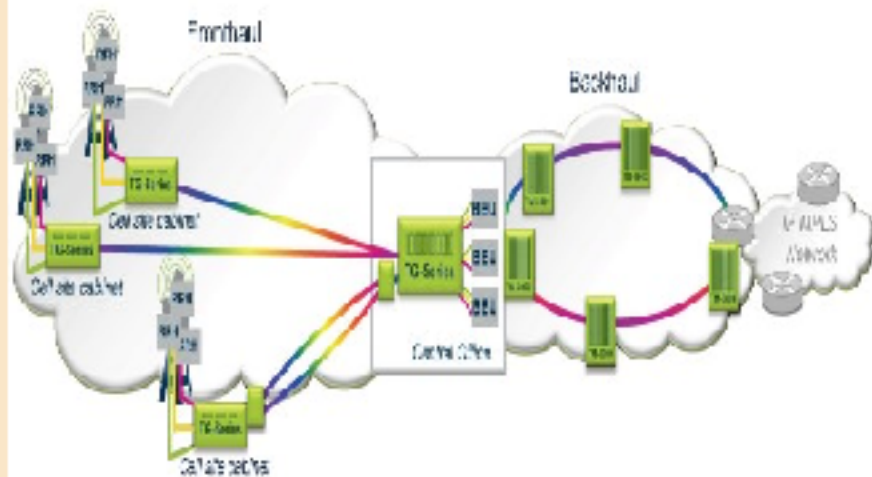
Hvězdicová topologie sítě fronthaul s optickými spoji, přinášející výrazné energetické úspory



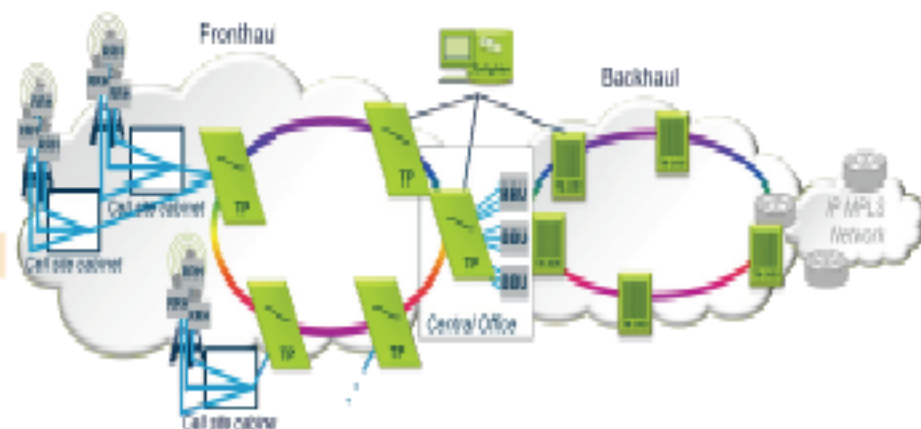
Spojení mobilního fronthaulu (CPRI) a mobilního backhau, které vytváří jedinou integrovanou síť

Pasívní a aktivní optické sítě Fronthaul

pasívní mobilní fronthaul



aktivní mobilní fronthaul s transpondéry WDM



Pasívní mobilní fronthaul: aplikuje pasívní optické sítě PON s vlnovým multiplexem WDM (resp. CWDM nebo DWDM); vyznačuje se jednoduchostí a nízkou, nebo dokonce nulovou spotřebou elektrické energie. Je vhodný zejména pro lokality s malými buňkami a intenzívním provozem.

Aktivní mobilní fronthaul: využívá aktivní vlnový multiplex WDM, což umožňuje překlenutí větších vzdáleností mezi uzly fronthaulu; aktivní WDM také přináší výrazné zdokonalení dalších parametrů, zejména nízkou latenci přenosu, zdokonalenou synchronizaci, možnost ochranného kódování FEC atd.