

# **Bezdrátové laserové spoje**

*Jiří FRANC*

2. listopadu 2007

## 1. Úvod

Oblast bezdrátových datových optických spojů se datuje do první poloviny 60. let. Rychlím vývojem technologií se dnes začíná dostávat na trh. Když pomineme výhody oproti klasickým kabelovým sítím a srovnáme tuto technologii s bezdrátovými radiovými sítěmi, zjistíme, že optická síť je mnohem rychlejší, ale hlavně má nikým a ničím nerušený chod. Nemusí se registrovat přenosové pásmo ani platit nějaké poplatky ČTÚ. Optický bezdrátový spoj (FSO – Free Space Optics) je obvykle plně duplexní digitální spoj umožňující širokopásmové komunikační přenosy vzduchem pomocí neviditelného laserového paprsku.

## 2. Přenosová rychlost

Za přenosovou rychlost lze brát rychlost šíření světla v naší atmosféře, která je větší než rychlost šíření světla v optických kabelech. Nicméně opravdová přenosová rychlost se odvíjí od rychlosti návazných prvků - vysílací a přijímací jednotky (plně duplexní přenos), které tuto rychlost samozřejmě snižují. I přesto se však pohybuje v řádech Gigabitů za sekundu.

## 3. Bezpečnost

Nejdříve bezpečnost datového přenosu. Ta může být zajištěna klasickými kryptografickými metodami jako je DES, SHA a další. U optického spoje se však přímo nabízí varianta kvantové kryptografie, která poskytuje dnes snad nejdokonalejší ochranu dat, jelikož vychází z fyzikální podstaty přenášeného signálu. Co se týká bezpečnosti z hlediska fyzikálního, je paprsek naprosto neškodný a to jak v případě ohrožení majetku tak i zdraví. To je dáno malou intenzitou paprsku. Použité lasery jsou většinou třídy 1M, tedy zdraví neškodné.

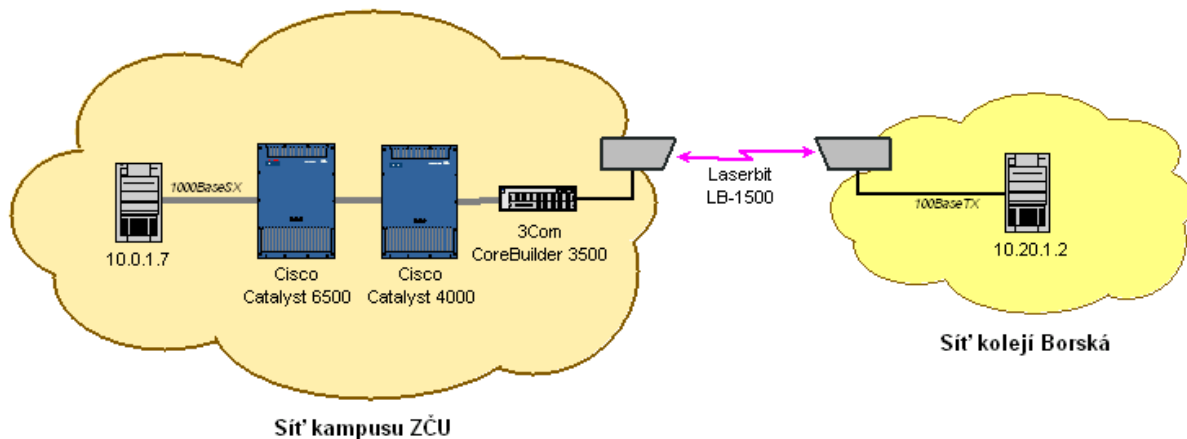
## 4. Spolehlivost a dostupnost

Spolehlivost se odvíjí od podmínek, ve kterých je paprsek přenášen. Zde se tedy jedná o podmínky atmosférické jako smog, déšť, sníh a nejvíce pak vadí mlha. Další věcí, která může snižovat spolehlivost a dostupnost je vítr či případné otřesy. Je totiž poměrně těžké zaměřit vysílač a přijímač na delší vzdálenosti (milimetr na jedné straně znamená i několik metrů na straně druhé). Tyto problémy jsou řešitelné různými způsoby. Jedním z nich je vysílat více svazků laseru, čímž se samozřejmě zvýší spolehlivost a to i v případě zastínění (přelet ptáka). Typicky se používají 4 svazky. Dalším způsobem je přechod z 850nm na 1550nm. Vyšší vlnová délka nám umožňuje zvýšit výkon laseru a tím zvýšit i spolehlivost a to aniž by se snížila bezpečnost. Další možností je přechod z křemíkových PIN diod na tzv. APD diody, které jsou až 100x citlivější. Nesou však s sebou potřebu tepelné stabilizace a mají také větší napěťové požadavky. Tomu odpovídá také cena. Zaměřování paprsků pak řeší systém autotracking, který automaticky koriguje směr vysílání paprsku.

## 5. Použití v praxi

Propojení kampusu ZČÚ a kolejí Borská pomocí Laserbit LS 1500  
Pro uskutečnění zamýšlených testů a dosažení co nejpřesnějších výsledků byla měření prováděna mezi dvěma počítači PC s operačním systémem Linux s jádrem 2.6.7.  
První počítač byl server Dell PowerEdge 2650 (v konfiguraci 2x CPU Intel Xeon 2.6 GHz, 1 GB RAM, 2x síťová karta Broadcom 1 Gb/s), který plní pro ZČÚ funkci WebMailu a vyhledávací služby. Jednou vyhrazenou síťovou kartou s IP adresou 10.0.1.7 byl připojen do switche Cisco Catalyst 6500 a odtud přes Cisco Catalyst 4000 a switch 3Com CoreBuilder 3500 k laserovému systému na budově kampusu ZČÚ.

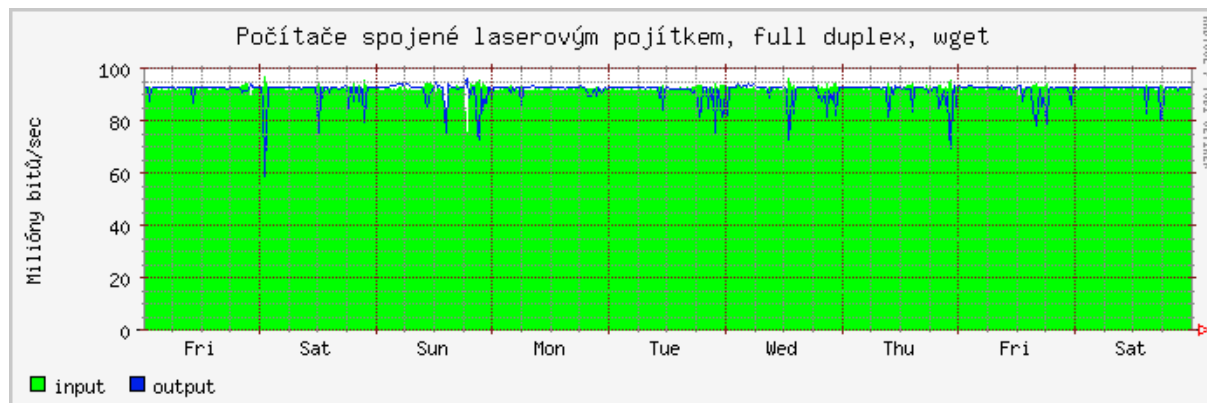
Druhý počítač byl stolní Compaq (v konfiguraci 1x CPU Intel Celeron 1.7 GHz, 256 MB RAM, 2x síťová karta Intel EtherExpress 100 Mb/s). Ten byl pro účel testů připojen s IP adresou 10.20.1.2 mezi laserový systém na koleji Borská a router koleje, takže jím procházel veškerý datový tok z/do koleje.



Kvůli špatné volbě stolního počítače s síťovou kartou schopnou realizovat přenos max. 150Mbit/sec nemohla být dosažena plná přenosová rychlost laserového spoje. Následují grafy vybraných měření na této síti s komentářem autora.

### Počítače propojené síti kampusu a laserovým spojem

Na obou počítačích běžel http server, z něhož protilehlý počítač nepřetržitě stahoval soubor z příkazem:  
`wget http://10.20.1.2:9999/z -O /dev/null`



Obrázek 8: Graf přenosové rychlosti mezi počítači propojenými síti kampusu a laserovým spojem

Test probíhal po opakovaném zaměření laserových hlav při provizorní instalaci laserového systému. Během testu nedošlo k žádnému výpadku spojení, průměrná přenosová rychlost se pohybovala v rozmezí 90 - 93 miliónů bitů/sec. Příčinu zachycených poklesů přenosové rychlosti nelze určit - mohou být způsobeny větší špičkovou zátěží některého z počítačů podílejících se na testu nebo aktivního síťového prvku v cestě, stejně jako laserovým systémem. Z grafu je přitom patrné, že každý pokles byl současně kompenzován drobným zvýšením přenosové rychlosti ve druhém směru.

## Spojení saturováno UDP přenosem

V následujících testech byla trasa saturována nepřetržitým UDP streamem. K tomu jsme použili client-server program iperf, který dokáže vygenerovat mezi dvěma počítači hustý UDP přenos, kterým zaplní určenou šířku pásma. Data nejsou zapisována na disk. Tento test je velmi agresivní a je náročný na výkonnost obou počítačů. Proto jsme jej nechali běžet vždy jen několik minut a na tu dobu jsme zastavili běžný provoz do sítě kolejí. Údaje o množství přenesených dat, přenosové rychlosti, jitteru a ztracených paketech jsme měřili každou sekundu a získali jsme je z logu programu iperf. Počítače byly ve všech případech propojené sítí kampusu a laserovým spojem.

Obousměrný datový tok

Na obou počítačích běžel iperf v režimu server spuštěný s parametry:

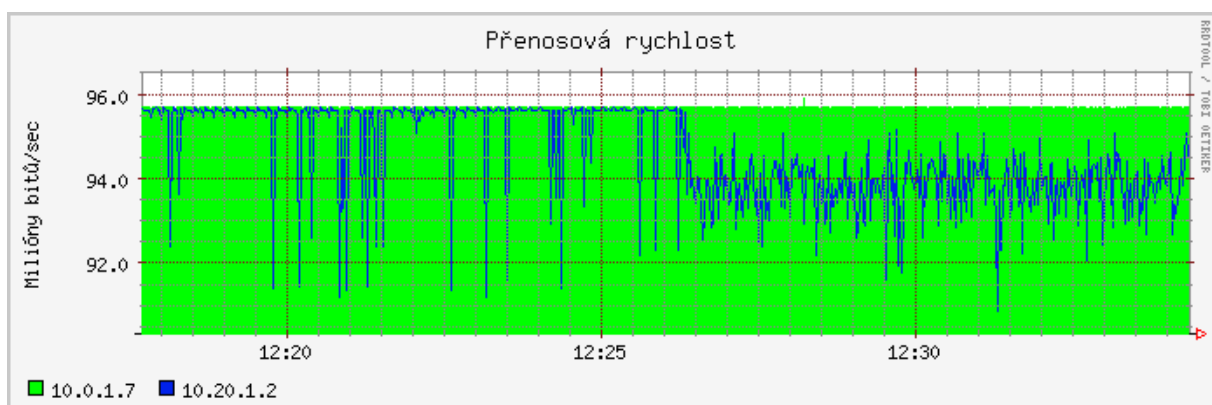
```
10.0.1.7# iperf -s -u -i 1 -f b > iperf.log
```

```
10.20.1.2# iperf -s -u -i 1 -f b > iperf.log
```

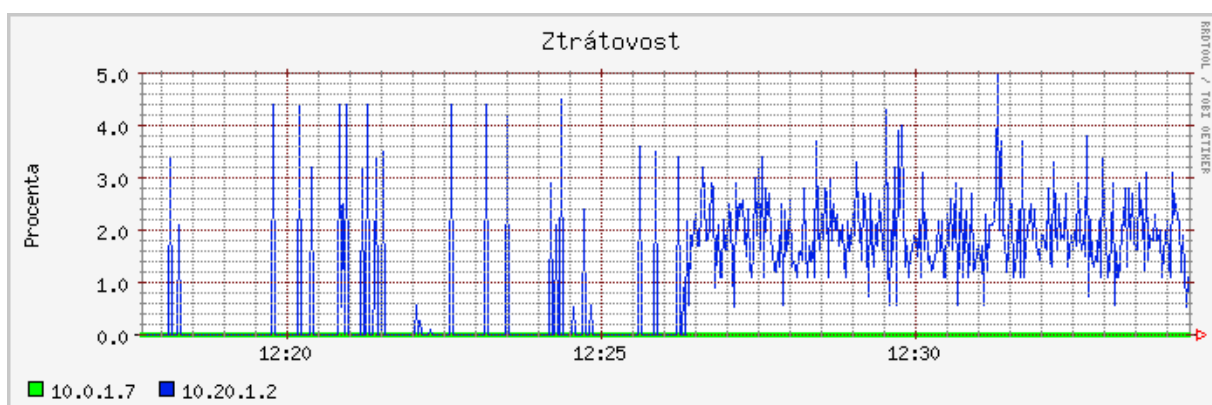
a současně každý protilehlý počítač na něj posílal UDP stream o zadané šířce pásma 96 miliónů bitů/sec po dobu 1000 sekund programem iperf spuštěným v režimu client příkazem:

```
10.0.1.7# iperf -c 10.20.1.2 -u -f b -b 96000000 -t 1000
```

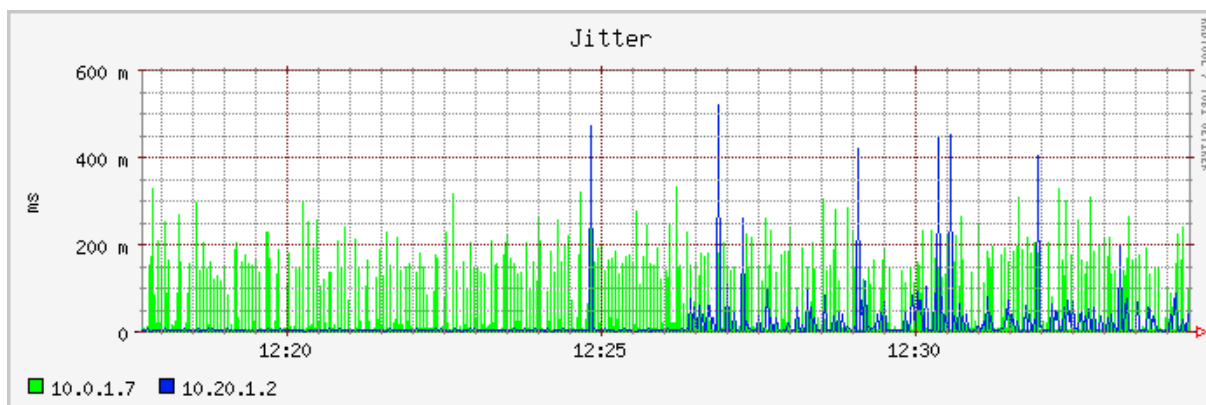
```
10.20.1.2# iperf -c 10.0.1.7 -u -f b -b 96000000 -t 1000
```



Obrázek 12: Graf přenosové rychlosti (s posunutou nulou) mezi počítači propojenými sítí kampusu a laserovým spojem



Obrázek 13: Graf ztrátovosti mezi počítači propojenými sítí kampusu a laserovým spojem



Obrázek 14: Graf jitteru mezi počítači propojenými sítí kampusu a laserovým spojem

Výsledky na straně počítače v síti kampusu odpovídaly těmto celkovým hodnotám:

[ ID]	Interval	Transfer	Bandwidth	Jitter	Lost/Total Datagrams
[ 3]	0.0-1000.0 sec	11960425680 Bytes	95683076 bits/sec	0.297 ms	1/8136345 (1.2e-05%)

a výsledky na straně počítače na koleji odpovídaly celkovým hodnotám:

[ ID]	Interval	Transfer	Bandwidth	Jitter	Lost/Total Datagrams
[ 3]	0.0-1000.0 sec	11825409120 Bytes	94602916 bits/sec	0.010 ms	85587/8130083 (1.1%)

Výsledky korespondují s předchozími testy s HTTP přenosy. Charakteristika přenosu do sítě kampusu je zcela vyrovnaná, charakteristika přenosu do sítě kolejí je částečně zvlněná. Soudíme, že se do ní a stejně tak do vyšší ztrátovosti paketů (1.1%) promítnula o něco nižší výkonnost počítače na koleji.

## 6. Nabídka trhu

LaserBit LINK Modular Series (1500 m)	302 597,-
LaserBit PINTO Series (500 m)	130 965,-
LaserBit PRONTO Series (1000 m)	241 397,-
LaserByte PICO-X-P (200 m)	79 450,-

## 7. Literatura

- [1] <http://www.bezdratove-telekomunikace.cz>
- [2] <http://www.laserbit.net>
- [3] <http://www.cesnet.cz>
- [4] <http://www.microwave.cz>