

Bezdrátový spoj pro pásmo 5 GHz – WinLink 1000

Jaroslav Čížek, Miloš Wimmer

prosinec 2005

 Tato technická zpráva popisuje zkušenosti s instalací a reálným provozem bezdrátového spoje v pásmu 5 GHz WinLink 1000 na trase dlouhé 1,2 km.

1 Úvod

Pro připojení areálu kolejí Borská provozujeme na Západočeské univerzitě v Plzni laserový FSO (Free Space Optics) systém Laserbit LB-1500, který byl zakoupen po jeho úspěšném otestování v rámci projektu sdružení CESNET "Optické sítě a jejich rozvoj" (viz. Technická zpráva CESNETu číslo 19/2004) v létě 2004. Vzhledem k technologickým omezením, které FSO má (mlhy, směrovost laserového paprsku), je vhodné pro zvýšení spolehlivosti takovou trasu zálohovat rádiovým pojítkem. Nejčastěji používané WiFi zařízení v pásmu 2,4 GHz však v našem případě již nelze kvůli vysokému rušení použít a tak jsme hledali jiné cenově dostupné řešení.

Od října 2005 je na trase univerzitní kampus ZČU - koleje Borská v provozu bezdrátový spoj WinLink 1000 pracující v nově uvolněném pásmu 5 GHz se skutečnou přenosovou rychlostí 18 Mb/s full duplex.

2 Popis trasy

Koleje Borská zůstávají posledním větším areálem Západočeské univerzity v Plzni, který není připojen do metropolitní univerzitní sítě optickým kabelem. I když je tento komplex budov vzdálen od hlavního univerzitního kampusu vzdušnou čarou pouhých 1,2 km, bylo by položení optického kabelu z důvodu mezilehlé významné komunikace a zemědělsky obdělávané půdy poměrně drahé. Na kolejích Borská je ubytováno cca 600 studentů a jsou zde i zaměstnanecké byty.

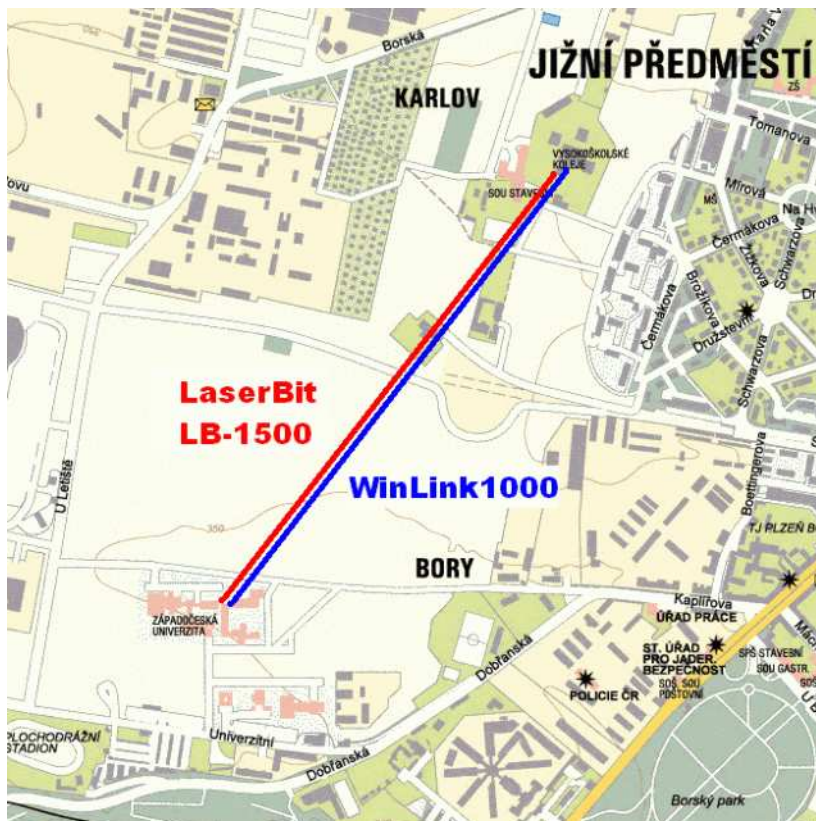
Konektivitu kolejí Borská zajišťují v současnosti dvě pojítka:

- Primární FSO spoj LaserBit LB-1500, propustnost 100 Mb/s

- Záložní rádiový 5 GHz spoj WinLink 1000, propustnost 18 Mb/s

Primární FSO spoj Laserbit je v provozu od léta 2004. I když se zpočátku zdálo, že použitá technologie FSO plně pokryje požadavky na kvalitu i šířku přenosového pásma, objevily se na podzim 2004 a hlavně pak na jaře 2005 problémy se stabilitou trasy. Mezi nejčastější důvody výpadků patří výrobcem neovlivnitelné přerušení směrovosti spoje při kolísání teploty s následným kroucením plášťů budov, které LaserBit není kvůli absenci samonaváděcího mechanismu již schopen kompenzovat, a poměrně časté husté mlhy, které se na jaře a na podzim v této lokalitě vyskytují. Celková spolehlivost spoje je závislá na ročním období a pohybuje se v rozmezí cca 90–100 %.

Výpadky primárního spoje v minulosti řešilo bezdrátové WiFi 802.11g pojitko v pásmu 2,4 GHz, ale z důvodu stále se zvyšujícího rušení bylo třeba najít náhradu. Po uvolnění pásma 5 GHz pro bezlicenční provoz se na trhu objevilo několik produktů spadajících do této kategorie. Jedním z nich je i pojitko WinLink 1000, které ZČU v září 2005 pořídila.



Obrázek 1: Mapa trasy kampus ZČU - kolej Borská

3 Popis bezdrátového spoje

Zařízení firmy RADWIN WinLink 1000 je prezentováno jako "Vysokokapacitní Carrier Class rádiový systém" pro bezdrátový přenos point-to-point broadbandu s dobrým poměrem cena/výkon (cca 70 tisíc Kč vč. DPH za kompletní ethernetový spoj). K dispozici je v několika verzích lišících se použitým frekvenčním pásmem a typem poskytovaných služeb (Ethernet a/nebo E1).

Výrobce udává technické parametry zařízení RADWIN WinLink 1000:

- Point-to-point spoj, dosah až 80 km
- Přenosová rychlost až 48 Mb/s
- Integrované řešení pro Nx E1/T1 a Fast Ethernet
- Verze pro různá přenosová pásma (od 2,400–2,4835 GHz až po 5,725–5,850 GHz)
- Kanálové pásmo 20 MHz, modulace OFDM-BPSK/16 QAM/ 64 QAM
- Šifrování AES
- Podpora 802.1Q, režim bridge nebo hub
- Vzdálená správa založená na SNMP, integrace s HPOV a SNMPc
- Vyhovuje nařízením ETSI a ČTÚ

Zařízení má dvě části - vnitřní jednotku IDU-E nebo IDU-C a venkovní jednotku ODU s nebo bez integrované antény. Propojení jednotek lze provést běžným ethernetovým kabelem, který kromě přenosu dat zajišťuje napájení vnější jednotky.



Obrázek 2: WinLink 1000 - ODU s integrovanou flat anténou a IDU-E

Na stránkách výrobce je také k dispozici kalkulátor na určení maximální rychlosti, které je zařízení pro danou vzdálenost schopné dosáhnout. Například pro konfiguraci bez E1 linky (tzn. pouze ethernetový kanál) lze komunikovat na 1 km dlouhém spoji rychlostí 48 Mb/s (skutečná rychlost je 18 Mb/s full duplex), což je i případ našeho spoje kampus ZČU - kolej Borská.

Instalace zařízení WinLink je poměrně jednoduchá, balení obsahuje i úchyt pro upevnění na stožár. Na rozdíl od laserového spoje je toto bezdrátové pojítko mnohonásobně méně citlivé na směrovost a lze ho tedy seřídít pouhým okem. Při instalaci spojů s větší překlenutou vzdáleností pomůže grafické znázornění síly signálu v konfigurační aplikaci nebo obdobně fungující zvuková signalizace.



Obrázek 3: Trasa bezdrátového spoje (1,2 km)

Konfigurace se provádí pomocí aplikace pro MS Windows, interně je používáno SNMP. Současné verze firmware i ovládací aplikace mají několik chyb, které výrobce slíbil do vánoc 2005 opravit (očekává se verze 1.5).

Pozn.: V bezlicenčním pásmu 5 GHz lze provozovat zařízení dle všeobecných oprávnění ČTU VO-R/12/08.2005-34 a VO-R/10/08.2005-24. Konkrétně to jsou pásma 5,15-5,35 GHz (pouze uvnitř budov) a 5,725-5,875 GHz, a od 1. září 2005 též pásmo 5,470-5,725 GHz.

4 Způsob provozu

Protože jsou mezi kampusem ZČU a kolejí Borská provozovány dvě paralelní datové trasy, je vhodné řídit jejich provoz. Obecně se lze smyčce vyhnout buď



Obrázek 4: Konfigurační a monitorovací SW

na 2. vrstvě OSI modelu pomocí protokolu Spanning tree nebo na 3. vrstvě OSI modelu použitím různých IP sítí a dynamického IP směrovacího protokolu. V obou případech je ale nutné ručně nastavit parametry popisující danou trasu, neboť z pohledu přepínače / směrovače jsou obě trasy shodné (Fast Ethernet).

Chyba v současné verzi firmware (1.2) však znemožňuje použití zálohy na 2.vrstvě (všechny Spanning tree rámce jsou zahozeny).

5 Provedené testy a naměřené hodnoty

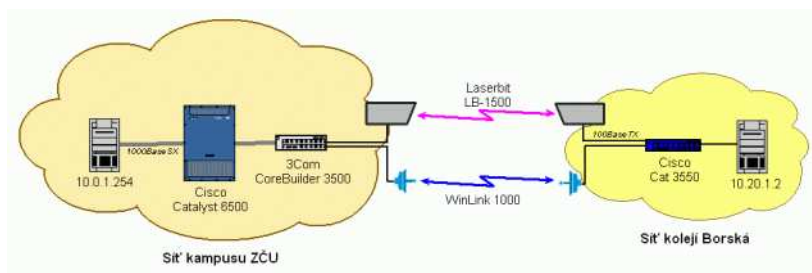
Bezdrátové pojitko WinLink je na ZČU provozováno pouze jako záložní spoj, tzn. nebyli jsme při měření nijak omezováni reálným provozem a mohli jsme proto provádět testy krátkodobého i dlouhodobého charakteru. Účelem bylo prozkoumat a popsat chování a provozní parametry na skutečné přenosové trase a to jak pro reálný provoz z kolejí tak pro speciální vygenerované vzorky dat.

Měření bylo prováděno v závislosti na charakteru testu dvěma způsoby:

- Dlouhodobé testy - monitorovací software Torrus, informace získává pomocí SNMP protokolu přímo ze síťových prvků
- Krátkodobé testy - program iperf, generuje UDP nebo TCP datový tok a měří propustnost

Pro krátkodobé testy prováděné programem iperf byly použity dva počítače s OS Linux. V síti kampusu byl počítač s IP adresou 10.0.1.254 (Intel(R) Pentium(R)

4 CPU 3.20GHz, 2 GB RAM, Gb síťová karta, jádro 2.6.10), v síti koleji pak byl počítač s IP adresou 10.0.20.10 (Intel(R) Celeron (Mendocino) CPU 500 MHz, 256 MB RAM, 100 Mb síťová karta, jádro 2.2.20).

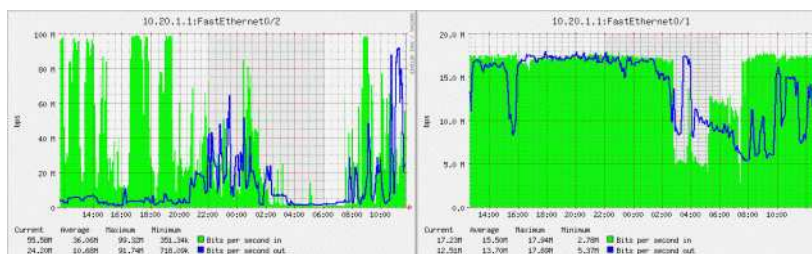


Obrázek 5: Schéma testovací infrastruktury

Vzhledem k několikanásobně nižší propustnosti bezdrátového spoje oproti zbytku přenosové infrastruktury byl vliv této infrastruktury zanedbán.

6 Dlouhodobé testy v reálném provozu

Pro dlouhodobé měření reálného provozu byl použit monitorovací software Torrus, který potřebné informace získává pomocí SNMP protokolu přímo ze síťových prvků - v našem případě z hraničního L3 přepínače Cisco Catalyst 3550 na koleji Borská.



Obrázek 6: Zatížení spojů LaserBit a WinLink reálným provozem

Z výsledků měření na laserovém spoji vyplývá, že běžný datový provoz z a na koleje Borská dosahuje 100 Mb/s. Je tedy jasné, že v případě výpadku tohoto primárního spoje dojde k saturaci záložního bezdrátového pojitka WinLink, které má propustnost pouze 18 Mb/s. I přesto ale studenti subjektivně hodnotí chování takto zatíženého pojitka poměrně pozitivně, neboť nedochází k nepravidelným velkým ztrátám přenášených rámců jako tomu bylo v případě rušení u pojitka v pásmu 2,4 GHz.

Z výpisu příkazu show interface na hraničním směrovači Cisco je patrné, že rychlost duplexního přenosu dosahuje až 18 milionů bitů za sekundu, tzn téměř 18 Mb/s:

```
FastEthernet0/1 is up, line protocol is up (connected)
 30 second input rate 18008000 bits/sec, 6484 packets/sec
```

6.1 Saturace spoje TCP přenosem

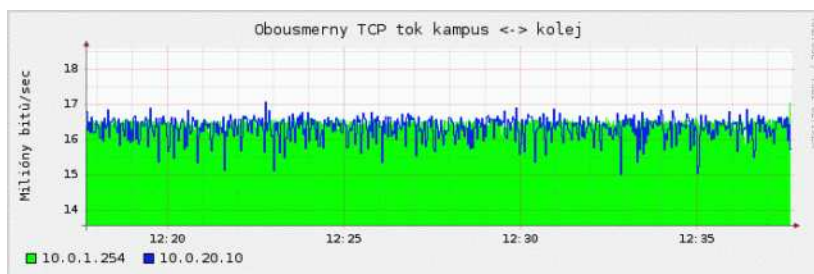
V tomto testu byla trasa saturována nepřetržitým přenosem TCP datagramů. Zdrojem testovacích toků byl program iperf.

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

```
10.0.1.254# iperf -s -i 1 -f b > iperf.log
10.0.20.10# iperf -s -i 1 -f b > iperf.log
```

a současně každý protilehlý počítač na něj posílal TCP datagramy po dobu 1200 sekund programem iperf spuštěným v režimu klient příkazem:

```
10.0.1.254# iperf -c 10.0.20.10 -P 7 -f b -t 1200
10.0.20.10# iperf -c 10.0.1.254 -P 9 -f b -t 1200
```



Obrázek 7: Obousměrný TCP tok kampus <-> kolej

Z grafu obousměrného TCP přenosu je patrné, že skutečná přenosová rychlost pro takto vygenerovaná data se pohybuje v rozmezí 15 - 17 milionů bitů za sekundu. Jedním z důvodů, proč jsme nedosáhli až na hodnoty získané při měření reálného provozu, je to, že se do zobrazené přenosové rychlosti nezapočítává režie protokolu TCP. Řešením by bylo měřit údaje přímo na vstupu síťových karet, což ale není v našem případě možné, neboť počítač v síti kampusu ZČU je ovlivněn i dalším provozem (např. multicastem).

I když tedy tento test nemá žádnou informační hodnotu z pohledu přenosových rychlostí, posloužil k měření zpoždění linky v závislosti na zatížení. Použit byl příkaz ping:

```
ping -c 100 10.0.1.254
```

6.1.1 Nezatížené pojítko WinLink:

```
--- 10.0.1.254 ping statistics ---  
100 packets transmitted, 100 packets received, 0% packet loss  
round-trip min/avg/max = 4.2/4.6/5.5 ms
```

6.1.2 Obousměrně zatížené pojítko WinLink:

```
--- 10.0.1.254 ping statistics ---  
100 packets transmitted, 100 packets received, 0% packet loss  
round-trip min/avg/max = 47.0/60.3/66.6 ms
```

6.1.3 Běžným provozem zatížené pojítko LaserBit (pro porovnání):

```
--- 10.0.1.254 ping statistics ---  
100 packets transmitted, 100 packets received, 0% packet loss  
round-trip min/avg/max = 0.5/1.0/3.8 ms
```

Zpoždění bezdrátového pojítka WinLink dosahuje v závislosti na zatížení hodnot cca 3 - 30 ms.

6.2 Saturace spoje UDP přenosem

Podobně jako v předchozím testu byl použit program iperf pro otestování průchodnosti bezdrátového pojítka pro UDP přenos.

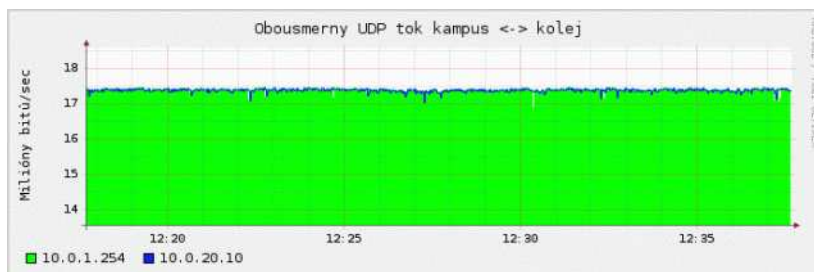
Na obou počítačích běžel iperf v režimu server spuštěný s parametry:

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

a současně každý protilehlý počítač na něj posílal UDP datagramy po dobu 1200 sekund programem iperf spuštěným v režimu klient příkazem:

```
10.0.1.254# iperf -c 10.0.20.10 -u -P 3 -f b -b 6000000 -t 1200  
10.0.20.10# iperf -c 10.0.1.254 -u -P 3 -f b -b 6000000 -t 1200
```

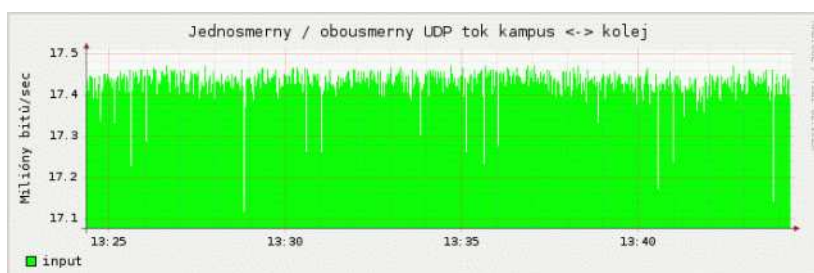
Saturace UDP přenosem se na rozdíl od TCP povedla a bezdrátové pojítko pracovalo na linkové úrovni na 100%. Z průběhu zatížení, které vykazuje pouze malé odchylky, lze usuzovat, že spoj má téměř konstantní oboustranně vyrovnanou propustnost.



Obrázek 8: Obousměrný UDP tok kampus <-> kolej

6.3 Další testy

Následující test měl za cíl ukázat, zda přenos jedním směrem ovlivňuje přenos v opačném směru. Jednosměrný UDP datový tok o délce trvání 1200 sekund doplnil v čase $t = 400$ sekund i tok opačný, který měl délku trvání pouze 400 sekund.



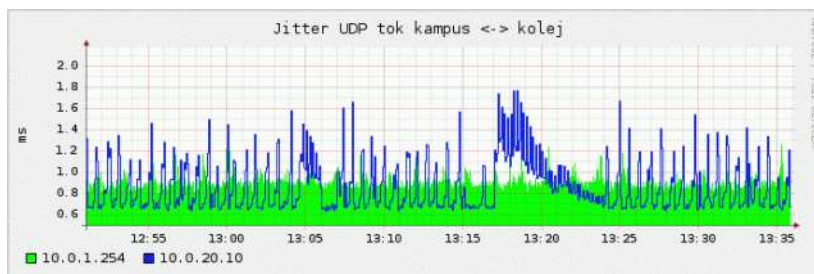
Obrázek 9: Vliv obousměrného přenosu na přenosovou rychlost

Při pohledu na graf je patrné, že obousměrný tok se na přenosové rychlosti neprojevil. Můžeme tedy konstatovat, že spoj se chová opravdu duplexně a opačné toky dat se nijak neovlivňují.

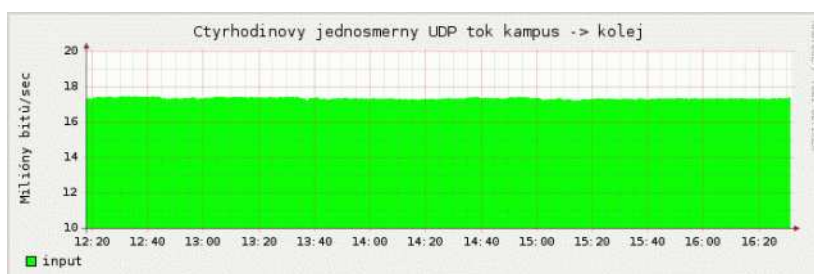
Pro potřeby některých real-time aplikací není podstatná pouze propustnost a zpoždění, ale také rozptyl přijatých rámců. Při plném obousměrném zatížení vygenerovanými UDP rámci jsme proto provedli měření se zajímavým výsledkem. Ve směru na kolej rozptyl téměř pravidelně kolísá od 0,6 do 1,6 ms. To může být způsobeno například periodicky se plnícími buffery při rozdílných velikostech UDP datagramů od různých threadů, ale také samozřejmě chybou měření. V každém případě je ale i maximální hodnota 1,8 ms vynikající výsledek.

Posledním provedeným testem byl asi čtyřhodinový UDP datový tok z kampusu směrem do kolejí. Testovaným parametrem byla opět přenosová rychlost.

Z grafu je patrné, že ani v dlouhodobějším přenosu nejsou výraznější výchyly v přenosové rychlosti a spoj je naprosto stabilní.



Obrázek 10: Jitter UDP tok kampus <-> kolej



Obrázek 11: Čtyřhodinový TCP tok kampus -> kolej

7 Závěr

Při připojování koncových účastníků je někdy nemožné nebo příliš nákladné položit optická vlákna až do jejich objektů. Úsek první míle pak řešíme alternativní bezdrátovou technologií - např. laserovým nebo nízkonákladovým systémem FSO. Zejména v případě laserového systému je třeba doplnit trasu o záložní systém, který nepodléhá povětrnostním vlivům a nahradí primární systém např. při silné mlze. Takové podmínky splňuje trasa mezi kampusem Západočeské univerzity a kolejí Borská realizovaná laserovým systémem LaserBit. Trasa je dlouhá 1.2 km a vede nad polem, takže při mlhách dochází k rozpadu laserového spoje. Po zpřístupnění bezlicenčního pásma 5 GHz Českým telekomunikačním úřadem jsme jako záložní systém nasadili na tuto trasu radiové pojítka WinLink 1000.

Funkčnost pojítka WinLink jsme ověřili v reálném provozu i pro speciálně vygenerovaná testovací data. Maximální dosažená rychlost na trase kampus ZČU - kolej Borská byla 18 Mb/s full duplex při RSS -56 dBm s tím, že zpoždění přenosového kanálu se podle zatížení pohybuje v rozmezí 3 - 30 ms a na rychlost přenosu nemá vliv zda a jak rychle se přenáší data v opačném směru.

I když firmware ještě obsahuje několik drobných chyb, je zařízení plně funkční a nebyl s ním za celou dobu provozu (3 měsíce) žádný problém. Lze ho tedy doporučit i pro další v budoucnu budované trasy obdobného charakteru.

Reference

- [1] Stánky výrobce RADWIN
<http://www.radwin.com/>
- [2] Podrobnější popis systému WinLink 1000
<http://www.radwin.com/page.asp?cat=57&lang=2&type=4>
- [3] Prospekt systému WinLink 1000
http://www.radwin.com/UserFiles/File/RadWin/Brochures/ProductOverview_En.pdf
- [4] Stránky shodného produktu pod označením Airmux-200 mateřské firmy RAD
http://www.rad.com/Article/0,6583,25445-Broadband_Wireless_Multiplexer,00.html
- [5] Stránky distributora pro ČR, firmy ASPA a.s.
<http://www.aspa.cz/>