

Ethernet prostřednictvím různých přístupových technologií

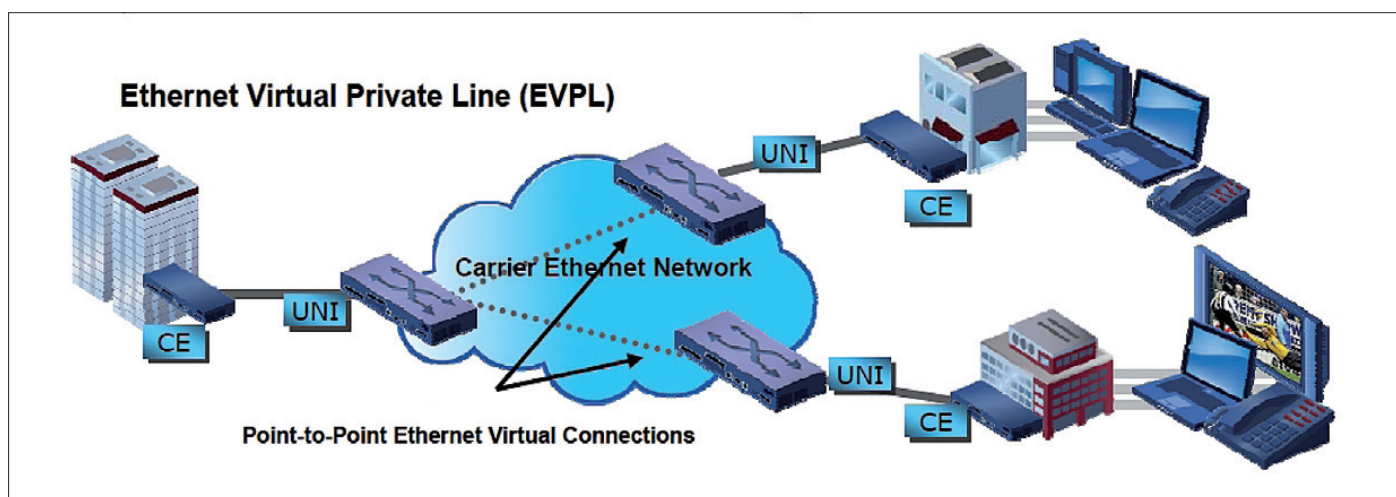
Jon Collins, Transition Networks; Eric Doricko, Calix; D. Mark Durrett, Overture Networks; Fred Ellefson, ADVA Optical Networking; Bruno Giguere EXFO; Craig Goodwin, Adtran; Richard Goss, Verizon; Mannix O'Connor, Hitachi; Eric Vallone, Actelis Networks

Článek poskytuje přehled různých přístupových technologií (označovaných také jako technologie „první“ nebo „poslední“ míle), které mohou být využity pro poskytování služby Carrier Ethernet definované ve standardech Metro Ethernet Forum (MEF). Cílem je ukázat, že poskytovatelé služeb, kteří chtějí nabízet služby Carrier Ethernet, mohou využít různé přístupové technologie, aby byli schopni zajistit efektivní pokrytí všech oblastí, kde se nachází jejich zákazníci.

Úvod

MEF definuje Carrier Ethernet jako všudypřítomnou, standardizovanou, třídu přenosové služby, která se od klasického Ethernetu využívaného v místních sítích odlišuje v pěti ohledech. Tyto atributy zahrnují standardizované služby, škálovatelnost, spolehlivost, management a kvalitu služby. Základní stavební bloky technologie

Technologie Carrier Ethernet i trh se vyvinuly do bodu, kdy je k poskytování služeb certifikovaných MEF využíváno plně standardizované zařízení. Technické práce MEF vyústily do formální definice třídy přenosové služby Ethernet (carrier-class Ethernet), jednoduše označované jako Carrier Ethernet. Zákaznická základna požadující ethernetové služby se také rozšířila z velkých podniků v městských



Obr. 1 Virtuální privátní ethernetová přípojka

Carrier Ethernet jsou služby E-Line (Ethernet Private Line a Ethernet Virtual Private Line, viz obr. 1), E-LAN a E-Tree.

Podnikoví IT manažeři neustále hledají způsoby jak navýšit kapacitu sítě při současném zachování nebo dokonce snížení provozních nákladů. V poslední době společnosti namísto tradičních okruhů TDM, Frame Relay nebo ATM stále častěji volí služby Carrier Ethernet, které umožňují řešit tyto zdánlivě protichůdné požadavky. Poskytovatelé služeb reagovali bohatou nabídkou, která kombinuje dosud bezkonkurenční škálovatelnost a flexibilní přenosovou kapacitu se spolehlivostí a kvalitou služby, jež byly dříve dostupné pouze u tradičních telekomunikačních okruhů.

Průmyslová fóra a standardizační organizace jako MEF, IEEE, ITU-T a IETF vypracovaly standardy pro potřebné rozšíření původního protokolu Ethernet, takže nyní je vhodný i pro aplikace poskytovatelů služeb. MEF specifikoval několik technických požadavků pro vytvoření a řízení funkcí třídy služeb business Ethernet. Kromě toho MEF vyvinula také úspěšný certifikační program pro ověřování, zda zařízení a služby splňují tyto požadavky.

centrech s bohatým pokrytím optickými vlákny i na podniky s globálně distribuovaným provozem a středně velké podniky v příměstských a venkovských oblastech. Tento posun na trhu nabízí poskytovatelům služeb nové příležitosti a výhody, aby mohli ethernetové služby poskytovat téměř všude, a to cenově efektivním a rychlým způsobem.

Velké příležitosti přináší nové výzvy

Podle údajů společnosti Vertical Systems překročí počet zákaznických portů maloobchodní služby Carrier Ethernet celosvětově 3 miliony, z toho více než 1 milion bude v USA. Odhadované tržby pak překročí 50 miliard USD. Služby Carrier Ethernet nabízí v současnosti již více než 200 poskytovatelů služeb a standardizovaná zařízení dodává více než 100 výrobců.

Největším problémem, kterému dnes poskytovatelé služeb čelí, je zajistit přístup ke všem svým zákazníkům. I když byly vydány obrovské investice do výstavby optických vláken, žádný poskytovatel služeb není schopen nabízet přístup k ethernetovým službám se stejným pokrytím jako své tradiční služby. Dobrou zprávou však

je, že poskytovatelé služeb a dodavatelé zařízení aktivně spolupracují na řešení těchto problémů.

Všudypřítomnost vyžaduje řešení více přístupových technologií

Hlavní překážkou při přechodu od ethernetových služeb typu „best effort“ k vysoce výkonným službám certifikovaným MEF, je obtížnost rozšíření pokrytí tak, aby služby Ethernet byly dostupné všude nebo alespoň v lokalitách, kde je po nich poptávka.

Snaha o všudypřítomné poskytování ethernetových služeb vychází ze zavádění různých přístupových technologií, jež jsou optimalizovány pro různé přístupové situace. Není příliš pravděpodobné, že operátoři všechny požadavky na přístup ve svém regionu zajistí pomocí jediné přístupové technologie. Tento problém se pak ještě zvyrazňuje, pokud mají operátoři zákazníky mimo svůj region v oblasti jiných operátorů.

V současné době však již naštěstí lze poskytovat přes různé přístupové architektury (obr. 2) konzistentní ethernetové služby certifikované MEF, a to pomocí zařízení certifikovaných MEF od různých výrobců. Technologie používané k poskytování služeb certifikovaných MEF zahrnují následující přístupové infrastruktury:

- Ethernet přes optické vlákno (Active Fiber, PON, SONET/SDH),
- Ethernet přes PDH (E1/T1, E3/DS3),
- Ethernet přes metalické vedení (EFMCu),
- Ethernet přes rádiový prostředek (WiMAX, mobilní sítě, mikrovlnné spoje),
- Ethernet přes HFC/DOCSIS.

Sítě popsané v další části ukazují přístupové architektury, které využívají několik takových technologií. Při správném nasazení se ethernetové služby poskytované přes tyto různé technologie liší maximální přenosovou rychlostí, kterou jsou tyto technologie

schopny poskytovat. Základní definice služby a SLA jsou totožné, což umožňuje poskytovat koncovým uživatelům čisté ethernetové propojení, přestože jsou použity různé přístupové technologie.

Každá z těchto technologií je vhodná pro určité aplikace, *tabulka 1* ukazuje přehled přístupových technologií pro Carrier Ethernet, možnosti zavádění a výhody.

Ethernet přes optické vlákno

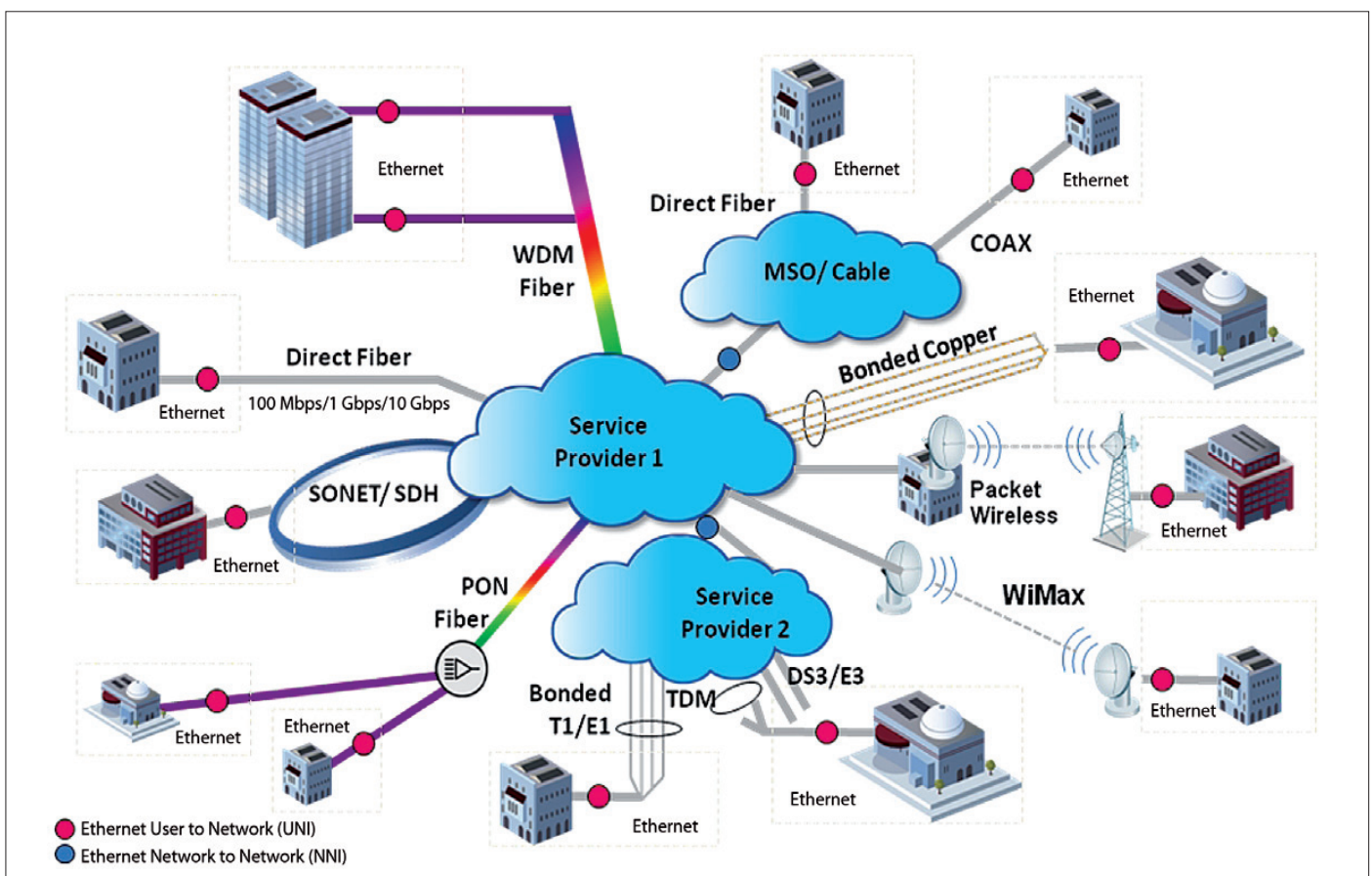
Pro aplikace, které vyžadují vysoké přenosové rychlosti nebo tam, kde je zavedeno optické vlákno, je řešení Ethernet přes optické vlákno nejlepší volbou. Toto řešení nabízí v podstatě neomezenou přenosovou kapacitu, vysokou odolnost vůči šumu a možnost překlenout velké vzdálenosti. Navíc optické vlákno umožňuje poskytovat dostatek přenosové kapacity nejen pro současné, ale také pro budoucí aplikace.

Aktivní Ethernet

Jednou z nejběžnějších architektur Ethernetu přes optické vlákno je bod-bod, což je v podstatě linkový trakt mezi agregačním přepojovačem poskytovatele služeb a síťovým zakončením (Network Interface device, NID) umístěným u zákazníka. Zavádění aktivního vlákna je pro poskytovatele služeb výborným řešením zejména v případě zákazníků v budovách připojených optickým vláknem (obvykle v hustě obydlené městské oblasti) nebo při budování nové infrastruktury. Navíc, pokud je potřeba poskytovat přenosové rychlosti 1 Gb/s a vyšší je využití optického vlákna jako přístupového média nezbytné.

Výhody aktivního Ethernetu

Jednou z hlavních výhod využití optických vláken je schopnost odpovídat i budoucím požadavkům na přenosovou kapacitu a možnost překlenutí velkých vzdáleností v rámci přístupové sítě.



Obr. 2 Carrier Ethernet přes různé přístupové technologie

Tabulka 1 Přehled přístupových technologií pro Carrier Ethernet

Přístupové metody Carrier Ethernet	Technologie	Možnosti zavádění	Výhody
Ethernet přes optické vlákno	Aktivní vlákno Ethernet přes SDH/SONET Pasivní optická síť	Propojení budov Výstavba na zeleném poli Hustě obydlené oblasti Vysoké nároky na přenosovou kapacitu (> 1 Gb/s)	Nejvyšší přenosové rychlosti Odolnost vůči šumu Vysoké zabezpečení Velký dosah Pokrytí přes existující SDH/SONET Nabízí velký potenciál do budoucnosti přes WDM
Ethernet přes PDH	Sdružení E1/T1 E3/DS3 a sdružení E3/DS3	Vzdálené podnikové pobočky Off-net zákaznické lokality (mimo regionu typ 2) SMB	Pokrytí přes existující síť Univerzální zavádění Nízké CAPEX Dosah bez omezení Dobré zajištění Vysoká odolnost díky sdružení několika digitálních okruhů
Ethernet přes metalické vedení	2BASE-TL 10PASS-TS	Vzdálené podnikové pobočky On-net nebo off-net SMB Propojení v rámci kampusu Monitorování provozu	Vysoká dostupnost Rychlé zavádění Nízká cena zpřístupněných účastnických vedení Vysoká odolnost díky sdružení několika vedení
Ethernet přes rádiový prostředek	Mikrovlnný spoj WiMAX Mobilní síť FSO WiFi	Vzdálené podnikové pobočky Propojení v rámci kampusu Kde není dostupné kabelové připojení Kdy je vyžadována mobilita	Instalace nevyžaduje výkopové práce Rychlé zavádění Některé technologie umožňují mobilitu
Ethernet přes HFC	DOCSIS 2.x, 3.x	Práce z domova SOHO/SMB Vzdálené podnikové pobočky	Široké pokrytí Vysoká výkonnost Dobré pokrytí domácností

Optické vlákno dovoluje snadnou škálovatelnost a přizpůsobení rostoucím požadavkům zákazníka a tedy uspokojování jeho potřeb. Možnost diferenciací služeb zajišťuje udržení ziskovosti i zákazníků. Kromě přenosové kapacity nabízí optické vlákno také překlenutí velkých vzdáleností a vysokou odolnost vůči šumu a rušení.

Investiční náklady (CAPEX) do optické infrastruktury je jednorázová investice a provozní náklady jsou minimální. Služby 100 Mb/s, 1 Gb/s a 10 Gb/s a možnost sdružení několika kanálů pomocí multiplexování na základě vlnových délek (Wavelength Division Multiplexing, WDM) umožňují podporovat jakékoliv budoucí požadavky na přenosovou kapacitu.

Vzdálenosti, které lze pomocí optické infrastruktury překlenout jsou limitovány pouze aktivními prvky (zesilovače, 3R opakovače). Při použití standardních optických vláken bez aktivních prvků jsou překlenutelné vzdálenosti v rozsahu 2 až 150 km.

Ethernet přes pasivní optickou síť

Pasivní optická síť (Passive Optical Network, PON) je optická přístupová architektura typu bod-více bodů, která usnadňuje širokopásmovou komunikaci mezi optickým linkovým zakončením (Optical Line Terminal, OLT) umístěným na straně ústředny a několika vzdálenými optickými síťovými jednotkami (Optical Network Unit, ONU) prostřednictvím pasivní optické distribuční sítě s dosahem asi 40 km. Po jednom optickém vláknu PON podporuje 1 až 128 uživatelů.

PON je cenově efektivní přístupová technologie, protože umožňuje snížení celkového počtu instalovaných vláken, nabízí vysoké přenosové rychlosti pro obchodní i domácí aplikace, páteřní připojení v mobilních sítích či jakékoliv modernizace v sítích z metalických vedení nebo koaxiálních kabelů.

Výhody PON

Největší výhodou PON je zvýšení přenosové kapacity poskytované zákazníkům ve srovnání s metalickými technologiemi. Poskytovatelé služeb mohou díky PON zavádět nové aplikace, které jsou mnohem náročnější na přenosovou kapacitu. K dalším výhodám pak patří významné snížení počtu optických vláken v přístupové síti, snížení energetických nákladů a samozřejmě snížení požadavků na údržbu.

Standard pro pasivní optickou síť založenou na ethernetových rámcích (Ethernet Passive Optical Network, EPON) byl vypracován IEEE a standard pro gigabitovou pasivní optickou síť (Gigabit Passive Optical Network, GPON) byl vypracován ITU-T. EPON poskytuje symetrický přenos rychlostí 1 Gb/s a GPON poskytuje od účastníka přenosovou rychlost až 1,25 Gb/s a směrem k účastníkům až 2,5 Gb/s. Služby MEF podporují obě platformy. V rámci CableLabs se nyní pracuje na standardizaci pro překlad managementových příkazů DOCSIS do formátu ethernetových rámců pro řízení přístupu k EPON. V poslední době byly IEEE i ITU-T rovněž aktualizovány oba typy PON pro přenosovou rychlost 10 Gb/s.

Ethernet přes SDH/SONET (EoS)

Často nejlepší způsob, jak poskytovat ethernetové služby, je použít to, co máme momentálně k dispozici. Nasazené systémy SDH/SONET využívají téměř všude optické vlákno, takže možnost využití této vysoce spolehlivé přenosové technologie se sama nabízí.

Starší systémy SDH/SONET sice ještě nepodporují diferenciaci služeb a různé stupně QoS, ale novější produkty jsou již obvykle certifikované MEF a poskytují různé sofistikované služby s přenosovou rychlostí v rozsahu od 1 Mb/s až po 1 Gb/s. Pro moderní transportní zařízení SDH/SONET jsou dostupné karty s ethernetovým rozhraním a pro systémy SONET/SDH, které ethernetové služby nepodporují, jsou k dispozici levná externí zařízení, aby operátor mohl nabízet služby i přes již nasazené systémy.

Výhody EoS

Poskytování ethernetových služeb přes SDH/SONET umožňuje operátorům nabízet tyto služby i v lokalitách, kde je tato vyspělá transportní technologie již využívána. Síť SDH/SONET se tradičně považují za zlatý standard z hlediska spolehlivosti přenosu. Tato vyspělá technologie je obvykle široce dostupná všude, kde je zavedeno optické vlákno. Kromě toho moderní protokoly pro sdružování okruhů, jako virtuální zřetězení (Virtual Concatenation, VCAT), napomáhají zpřístupnit ethernetové služby přes SDH/SONET v dílčích násobcích linkové rychlosti, což eliminuje nevyužitou část přenosové kapacity a dále snižuje provozní náklady.

Ethernet přes PDH

Pokud není k dispozici nenasvícené optické vlákno ani systém SDH/SONET lze využít sítě PDH, obsahující tradiční digitální okruhy 1. resp. 3. řádu, tj. E1/DS1 nebo E3/DS3, které dovolují poskytovat Carrier Ethernet i do míst, která by jinak byla nedostupná.

Ethernet přes sdružení digitálních okruhů E1/T1

Digitální okruhy E1 s přenosovou rychlostí 2,048 Mb/s a T1 s přenosovou rychlostí 1,544 Mb/s byly po desetiletí dominantní přístupovou technologií pro podnikové hlasové a datové služby. Zpočátku se využívaly např. jako linkový trakt E1/T1 pro připojení pobočkových ústředí, později pro přístup k Internetu pro malé a střední podniky, kde se osvědčily jako univerzální technologie poslední míle.

Digitální okruhy E1/T1 se využívaly v téměř každém větším podniku v moderním světě. Ethernetové rámce lze přepravovat přes jeden okruh E1/T1 nebo sdružit několik okruhů dohromady (bonding) a poskytovat ethernetové služby s přenosovou rychlostí 1 až 16 Mb/s. Možnost sdružování několika kanálů rovněž zvyšuje spolehlivost a dostupnost služby, což je jeden z prioritních požadavků mnoha podnikových zákazníků. Jelikož jsou ethernetové rámce přenášeny přes několik digitálních okruhů i při výpadku jednoho či dvou okruhů bude služba stále dostupná (i když s nižší přenosovou rychlostí).

Pro přenos ethernetových rámců přes digitální okruhy E1/T1 existují tři standardní metody. Jedná se o MLPPP (MultiLink Point to Point Protocol), GFP/VCAT (Generic Framing Procedure/Virtual concatenation) a G.998.2 neboli EFM (Ethernet in the First Mile). Každá z těchto metod má své výhody i nevýhody, ale všechny poskytují srovnatelnou výkonnost a jsou k dispozici v zařízeních od různých výrobců.

Výhody E1/T1

Hlavní výhodou využití sdružených digitálních okruhů E1/T1 pro poskytování ethernetových služeb je, že poskytovatelé služeb pokrývají v podstatě všechny své zákazníky bez ohledu na polohu a vzdálenost jejich zařízení. Navíc, protože jsou s technologií pro digitální okruhy E1/T1 dobře obeznámeni, mohou ethernetové služby zavádět poměrně velmi rychle, ať už v rámci své sítě nebo mimo ni. To poskytovatelům služeb dovoluje rychlejší i vyšší výnosy, protože nemusí investovat do budování infrastruktury, což většina alternativních technologií pro poskytování ethernetových služeb obvykle vyžaduje.

Ethernet přes digitální okruhy E3/T3

V podstatě se jedná o stejný případ jako digitální okruhy E1/T1. Digitální okruhy E3/T3 poskytují obchodně i technicky velmi zajímavou alternativu pro poskytování ethernetových služeb. Poskytovatelé služeb mohou tyto služby nabízet v rozsahu přenosových rychlostí 1 až 130 Mb/s. Řešení Ethernet přes digitální okruhy E3/T3 se nevyužívá pouze jako maloobchodní služba pro přístup, ale často také jako levná alternativa pro páteřní propojení mezi ústřednou a vysunutým bodem, např. mezi základnovou stanicí a mobilní ústřednou nebo vysunutým DSLAM a veřejnou telefonní ústřednou.

Výhody E3/T3

Hlavní výhodou využití digitálních okruhů E3/T3 je možnost poskytovat ethernetové služby s přenosovou rychlostí vyšší než 3 Mb/s přes stávající přenosovou infrastrukturu. K dalším výhodám tohoto řešení pak patří možnost rychlého zavádění a rychlých výnosů.

Ethernet přes metalické vedení

Ethernet na poslední míli přes metalické vedení (Ethernet in the First Mile over Copper, EFMCu) dovoluje rychlé zavádění spolehlivých

vých symetrických ethernetových služeb pro zřízení přístupových nebo páteřních spojení přes existující infrastrukturu telefonní sítě. Toto řešení nabízí velmi ekonomickou alternativu k optickému vláknu. V rámci IEEE standardu 802.3ah-2004 existují tyto dvě technologie EFM:

- 2BASE-TL pro dlouhý dosah využívá technologii SHDSL (podle ITU-T G.991.2) a poskytuje symetrické přenosové rychlosti 2 až 5,69 Mb/s na vzdálenost nejméně 2 700 m po jednom metalickém vedení telefonní sítě.
- 10PASS-TS pro střední dosah využívá technologii VDSL (podle ITU-T G.993.1) a poskytuje symetrické přenosové rychlosti nejméně 10 Mb/s na vzdálenost přinejmenším 750 m po jednom metalickém vedení telefonní sítě.

Další zdokonalení obou DSL technologií umožňuje poskytovatelům služeb zvýšit dosah a přenosové rychlosti, v porovnání se standardními realizacemi. Obě technologie dovolují sdružování několika účastnických metalických vedení (až 32), což dovoluje vyšší přenosové rychlosti, dosah i spolehlivost. Sdružení několika účastnických vedení dovoluje maximální přenosové rychlosti 100 Mb/s nebo i více, což pro většinu aplikací Metro Ethernet s nejvyššími nároky na přenosovou kapacitu postačuje.

Výhody Ethernetu přes metalické vedení

Využití existující metalické infrastruktury snižuje náklady, protože není potřeba tahat žádné nové kabely venku ani uvnitř budov u domácích ani podnikových účastníků. Díky tomuto snížení investiční nákladů představuje EFMCu jedno nejlevnějších a nejrychlejších řešení pro poskytování vysokorychlostního přístupu a dalších služeb koncovým uživatelům.

Pomocí řešení Ethernet přes metalické vedení mohou poskytovatelé služeb, vládní instituce i soukromé podniky rozšiřovat své ethernetové sítě cenově efektivním způsobem bez nutnosti zavádění optického vlákna. Možnost vyhnout se nutnosti instalace optického kabelu odstraňuje základní bariéru pro zavedení Ethernetu do veřejné sítě. Pomocí sdružení několika metalických vedení může poskytovatel služby dosáhnout vyšších přenosových rychlostí (10 až 100 Mb/s) přes spolehlivou infrastrukturu. Řešení EFMCu pomocí sdružení několika účastnických metalických vedení umožňuje poskytovat přenosové rychlosti téměř jako u optického vlákna a dovoluje poskytovatelům služeb nabízet ethernetové služby univerzálním způsobem přes optická i metalická přenosová média.

Ethernet přes metalické vedení umožňuje také CLEC nebo ILEC, které funguje jako CLEC mimo svoji oblast působnosti snížení provozních nákladů. Pomocí EFMCu mohou operátoři poskytovat ethernetové služby přes pronajatá metalická vedení, což je obvykle mnohem levnější, než jiné alternativy. EFMCu je atraktivní přístupové řešení pro domácí i podnikové uživatele a je spektrálně kompatibilní s dalšími službami jako PSTN/ISDN, E1/T1 a DSL, takže mohou společně existovat ve stejném kabelu.

Ethernet přes rádiové prostředky

Tam, kde není pevná infrastruktura k dispozici nebo není praktické ji budovat, je výhodné poskytovat ethernetové služby přes rádiové pojítka bod-bod. Rovněž tam, kde je vyžadována mobilita či mobilní vysokorychlostní přístup, bude rádiový systém pro poskytovatele služeb výbornou volbou.

Mikrovlnný spoj

Mikrovlnný spoj využívá kmitočty nad 1 GHz a vyžaduje přímou viditelnost mezi dvěma směrovými anténami, přičemž vzdálenost se pohybuje v rozsahu 32 až 48 km. Transceivery mikrovlnného spoje jsou na trhu k dispozici se standardními ethernetovými roz-

hraními, které mohou být použity k poskytování služeb Carrier Ethernet. Vzdálenosti a přenosové rychlosti, které mohou být dosaženy, jsou funkcí kmitočtu a velikosti (zisku) antény. Například 100 Mb/s, tj. Fast Ethernet lze pohodlně dosáhnout na kmitočtu 11 GHz na vzdálenost 12 km, nicméně na vzdálenost vyšší než 24 km je již výkonnost rádiového spoje na tomto kmitočtu nízká. Na kmitočtu 6 GHz lze pak Fast Ethernet spolehlivě poskytovat až na vzdálenost téměř 50 km.

Díky využití mikrovlnného spoje se vyhneme nutnosti instalace kabelů mezi komunikačními zařízeními. Kmitočtová pásma pro mikrovlnné spoje mohou být licencovaná, tj. udělována a spravovaná telekomunikačním úřadem nebo nelicencovaná, tj. podléhají pouze regulačním omezením vysílaného výkonu.

Širokopásmové mobilní sítě

V mobilních sítích 2G, které využívají systémy CDMA (Code Division Multiple Access) se běžně využívá technologie EVDO (Evolution of Existing Systems for Data Only). Ve směru k účastníkům umožňuje přenosovou rychlost až 3,1 Mb/s. Systémy podle EVDO Rev. A pak umožňují i využití zpětného kanálu ve směru od účastníků s přenosovou rychlostí až 1,8 Mb/s. Systémy EVDO využívají řídicí systém pro paketový přenos, který dovoluje shlukový (bursty) provoz, takže jsou určeny spíše pro přenos dat, než pro kontinuální přenos hlasových služeb.

Nejpopulárnějším standardem na světě využívaným pro mobilní sítě je GSM (Global System for Mobile), který zahrnuje asi 80 % celosvětového mobilního trhu. Důležitým mezníkem pro datové služby v mobilních sítích bylo vytvoření standardu Release 97, který umožnil zavedení systému pro paketový přenos GPRS (General Packet Radio Service) a později jeho zdokonalení EDGE (Enhanced Data rates for GSM Evolution), nicméně přenosové rychlosti se pohybovaly maximálně v řádu stovek kb/s. Následující generace (3G) mobilních sítí založená na systémech UMTS využívá pro paketový přenos technologii HSPA/HSPA+ (High-Speed Packet Access), která umožňuje paketový přenos rychlostí až 42 Mb/s ve směru k účastníkům a 22 Mb/s ve směru od účastníků. Jednou z hlavních výhod HSPA+ je volitelná možnost all-IP, což dovoluje nativní ethernetové spojení k základnové stanici.

Snaha odpovědět na budoucí požadavky datových služeb v mobilních sítích vedla k vývoji systému LTE, který tvoří základ pro mobilní sítě 4G. Tento systém byl specifikován v rámci 3GPP a hlavní cíle zahrnovaly zlepšení spektrální účinnosti, snížení nákladů, zdokonalení služeb, využití nových kmitočtových pásem a možnost refarmingu v již využívaných kmitočtových pásech. Sítě LTE jsou zcela založeny na IP a nativním ethernetovém spojení, maximální přenosová rychlost ve směru k účastníkům může být až 100 Mb/s.

WiMAX

Systém WiMAX byl vytvořen WiMAX Fórem jako technologie pro rádiový přenos dat v topologii bod-mnohobod (P-MP), která je specifikována IEEE v rámci standardu IEEE 802.16. V následující verzi IEEE 802.16e byla přidána možnost mobility a lepší podpora pro zajištění kvality služeb, přičemž symetrické přenosové rychlosti jsou až 40 Mb/s pro pevnou přípojku a až 15 Mb/s pro mobilní přípojku. Systémy WiMAX lze využít jako technologii poslední míle pro širokopásmový rádiový přístup, např. pro digitální okruhy E1/T1, služby triple play, páteřní spoje pro přístupové body WiFi či základnové stanice v mobilní síti nebo páteřní spoje pro mobilní tísňové služby.

Optické pojitko volným prostorem

Optické pojitko volným prostorem (Free Space Optic, FSO) je zajímavou alternativou k výše popsaným rádiovým systémům. Zatímco

optický přenos je obvykle realizován přes kabel s optickými vlákny, systémy FSO umožňují poskytovatelům služeb propojit dva body na středně velkou vzdálenost a poskytovat služby gigabitového Ethernetu. Namísto rádiových signálů jsou využity světelné signály, takže není potřeba nákup drahého kmitočtového spektra. Systémy FSO mohou posloužit i jako vhodný doplněk pro metalické a optické komunikace.

Ethernet přes HFC/DOCSIS

HFC neboli kombinace optického vlákna a koaxiálního kabelu je technologie, kterou kabeloví operátoři využívají již od počátku 90 let minulého století. Optická vlákna jsou využívána od hlavního nebo regionálního kabelového zakončení (head-end) až do optického uzlu v blízkosti uživatelů, který obsluhuje 25 až 2 000 domácností. Hlavní kabelové zakončení obvykle zahrnuje satelitní antény pro příjem televizních signálů a agregační směrovače IP. Mimoto některé zahrnují také IP telefonní ústředny pro poskytování telefonních služeb.

Pomocí multiplexování s kmitočtovým dělením lze prostřednictvím sítě HFC poskytovat široký rozsah služeb zahrnující analogovou televizi, digitální televizi (ve standardním nebo vysokém rozlišení), video na požádání (VoD), telefonní službu i vysokorychlostní přístup k Internetu. Pro datové služby je využíván mezinárodní standard DOCSIS (Data over Cable Service Interface Specification) vyvinutý asociací CableLabs a přispívajícími společnostmi. DOCSIS definuje požadavky na obousměrnou datovou komunikaci prostřednictvím kabelového systému. To dovoluje přidat služby vysokorychlostního přenosu dat do existujících systémů kabelové televize (CATV), což kabelovým operátorům/MSO umožňuje po stávající infrastruktuře poskytovat přístup k Internetu a další obchodní služby.

Díky velkému pokrytí a dostupné výkonnosti je technologie HFC/DOCSIS pro kabelové operátory velmi zajímavou přístupovou technologií pro poskytování ethernetových služeb pro domácí kanceláře a malé a střední podniky (SOHO/SMB) a současně i vysokorychlostní přístup k Internetu pro domácnosti.

Případová studie – všudypřítomné ethernetové služby

REXON Massey, Inc. je společnost sídlící na Floridě, která se specializuje na sběr informací o životním prostředí a jejich analýzu. Jejich přístroje měří charakteristiky hydrologie, chemické složení, tahové napětí, tlak, chromatografii, vibrace, teplotu, pevné částice a aerosoly v ovzduší a další důležité vlastnosti, které jsou důležité pro obchodní, průmyslové i vládní instituce. Monitorovací služby jsou k dispozici pro velké a malé klienty v městských i venkovských oblastech po celém jihovýchodě. Požadavky na propustnost dat se pohybují v závislosti na typu aplikace v rozsahu od několika stovek kb/s až po 500 Mb/s. Mimoto některé přístroje jsou jako provizorní instalace umístěny na mobilních jednotkách.

Pro zajištění služeb pro všechny zákazníky společnosti REXON Massey jsou vyžadovány všudypřítomné, flexibilní a bezpečné komunikační sítě. Ředitel IT Osvaldo Cardoso, který spolupracuje s místním kabelovým operátorem, vytvořil síť, která splňuje tyto náročné požadavky. Jelikož většina zařízení REXON Massey je vybavena ethernetovými porty, byla pro sběr dat ze vzdálených lokalit v průběhu času vytvořena ethernetová WAN.

Primární síť, kterou spravuje místní kabelový operátor, umožňuje pokrytí mnoha monitorovaných lokalit prostřednictvím sítě EPON, která zajišťuje služby pro podnikové i domácí zákazníky v místním regionu. Dostupnost dalších lokalit zajišťuje kabelový operátor prostřednictvím smluvních vztahů s ILEC nebo CLEC pomocí sdružení digitálních okruhů T1, sítě SONET nebo sdružení metalických

Tabulka 2 Příklady přístupových technologií využitých pro služby E-LAN v Rixon Massey

Přenosová rychlost	Médium	Technologie	Poskytovatel	Aplikace
500 kb/s	Rádiové vlny	WiFi	CLEC	Měření hydrologického tlaku
100 Mb/s	Optické vlákno	Ethernet	MSO	Vzdálené zobrazení a chemické analýzy
4 Mb/s	Metalické vedení	EFMCu	ILEC	Voda, vzduch, vítr, teplota
50 Mb/s	Optické vlákno	Ethernet	MSO	Měření kvality a pohybu vzduchu
10 Mb/s	Optické vlákno	Ethernet	MSO	Měření kvality a pohybu vzduchu
500 kb/s	Rádiové vlny	Mobilní síť	Mobilní operátor	Měření hydrologického tlaku
10 Mb/s	Metalické vedení	Ethernet přes sdružené T1	ILEC	Měření kvality ovzduší
150 Mb/s	Optické vlákno	Ethernet přes SONET	CLEC	Vzdálené zobrazení a chemické analýzy
2 Mb/s	Metalické vedení	HFC/DOCSIS	MSO	Chemické analýzy
500 Mb/s	Optické vlákno	Direct Fiber Ethernet	MSO	Vzdálené zobrazení a chemické analýzy
6 Mb/s	Rádiové vlny	Mikrovlny	MSO	Sluneční záření, vlhkost, vítr apod.
3 Mb/s	Metalické vedení – koaxiální kabel	HFC/DOCSIS	MSO	Chemické analýzy

Poznámka: Competitive Local Exchange Carrier – CLEC, Incumbent Local Exchange Carrier – ILEC, Multi-System Operator – MSO.

Tabulka 3 Přehled standardů pro poskytování služeb Carrier Ethernet

Carrier Ethernet	Specifikace MEF	
Služby E-Line, E-LEN a E-Tree	MEF 6.1: Metro Ethernet Services Definitions Phase 2 MEF 10.1: Ethernet Services Attributes Phase 2	
Emulace okruhu PHD	MEF 3: Circuit Emulation Service Definitions, Framework and Requirements MEF 8: Implementation Agreement for the Emulation of PDH Circuits	
Páteří spojení v mobilních sítích	MEF 22: Carrier Ethernet for Mobile Backhaul Implementation Agreement	
Testování a certifikace	MEF 9: Ethernet Services at the UNI MEF 14: Traffic Management	
Přístupové metody Carrier Ethernet	Technologie	Standardy
Ethernet přes optické vlákno	Aktivní vlákno	IEEE 802.3-2005
	Ethernet přes SDH/SONET	ITU-T X.86 zapouzdření ITU-T G.707 a G.7043 (GFP-VCAT)
Ethernet přes PDH	Pasivní optická síť	IEEE 802.3-2005 (EPON) IEEE 802.3av (10GEAPON) ITU-T G.984 (GPON)
	Sdružení E1/T1	RFC1990 (Multilink PPP) a RFC3518 (BCP) ITU-T G.7041 a G.7043 (GFP-VCAT) ITU-T G.998.2 (G.bond)
Ethernet přes metalické vedení	E3/DS3 a sdružení E3/DS3	ITU-T X.86 zapouzdření ITU-T G.7041 a G.7043 (GFP-VCAT) ITU-T G.998.2 (G.bond)
	2BASE-TL	IEEE 802.3-2005 2BASE-TL přes ITU-T G.991.2 (G.SHDSL.bis)
Ethernet přes rádiové prostředky	10PASS-TS	IEEE 802.3-2005 10PASS-TS přes ITU-T G.993.1 (VDSL)
	Mikrovlnné prostředky	IEEE 802.3 uživatelské rozhraní
	WiMAX	IEEE 802.16
	Mobilní síť	3GPP Rel. 7 (HSPA/HSPA+) 3GPP Rel.8 (LTE)
	FSO	IEEE 802.3 uživatelské rozhraní
	WiFi	IEEE 802.11
Ethernet přes HFC	DOCSIS	DOCSIS 1.x, 2.x, 3.0, EuroDOCSIS

vedení. V případě velmi vzdálených lokalit nebo tam, kde není kabelové připojení k dispozici, byla využita mobilní síť nebo rádiové prostředky. Regionální páteří síť pak agreguje signály z přístupových sítí pro přenos po optické síti kabelového operátora na vyhrazených vlnových délkách systému CWDM. *Tabulka 2* ukazuje příklady přístupových technologií využitých pro služby E-LAN v Rixon Massey.

Práce v rámci MEF usnadňují integraci různých přístupových médií a protokolů do spolehlivé sítě poskytující ethernetové služby. Specifikace MEF pro účastnické rozhraní UNI Type 1 a definice ethernetových služeb zajišťují obecně akceptovatelné parametry služeb a hardwarová rozhraní pro připojení ethernetových portů kdekoli v síti. Práce MEF v oblasti OAMP (Operations, Administration, Maintenance and Provisioning) společnosti Rixon Massey poskytují nástroje pro správu a řízení, které jsou nezbytné pro sledování výkonu a diagnostikování problémů v síti. Pro zajištění integrity dat využívá Cardoso konfigurace E-LAN k rozdělení provozu do několika VLAN.

Sběr dat a jejich analýza v reálném čase, kterou společnost REXON Massey zajišťuje, lze realizovat pouze s vysokorychlostním

přístupem. Ethernetové služby poskytují vhodnou platformu pro sběr dat pomocí cenově efektivní heterogenní sítě. Spolupráce mezi poskytovateli služeb, jejichž služby společnost REXON Massey využívá, umožňuje sběr dat všude, kde se nachází jejich zákazníci.

Souhrn

Aby bylo možné využívat plného potenciálu možností ethernetových služeb a maximalizovat výnosy z těchto služeb, je kriticky důležité, aby byly široce dostupné. Pouze tak mohou poskytovatelé služeb nabízet své služby do všech lokalit, kde se zákazníci nacházejí, a to pomocí přístupové technologie, která je pro požadovanou aplikaci nejvhodnější. *Tabulka 3* poskytuje přehled různých standardů pro poskytování ethernetových služeb pomocí přístupových technologií diskutovaných v tomto článku.

Článek vznikl pod záštitou globální průmyslové aliance Metro Ethernet Forum, která sdružuje více než 220 organizací zahrnující telekomunikační a kabelové operátory, výrobce zařízení, součástek i softwaru a testovací organizace. ■