

Virtuální třída aneb přednáška na dálku

Luděk Matyska, Eva Hladká,
ÚVT a FI MU

1 Motivace

Kvalitní a atraktivní přednášky jsou jedním z důležitých faktorů ovlivňujících kvalitu školy a její atraktivitu pro studenty. S rostoucí šíří poznatků a s tím spojenou nutností akademických pracovníků specializovat se v konkrétních, relativně úzkých oblastech, se však stává stále složitější zajištění pokročilých přednášek se speciální tematikou. Velké bohaté univerzity se světovou pověstí mají šanci zaměstnat dostatečně široké spektrum specialistů, v případě menších (a chudších) univerzit je to však prakticky nerealizovatelný úkol. Kromě rezignace je možné tento problém částečně řešit s využitím výukových materiálů, které řada nejlepších univerzit nabízí bezplatně na Internetu. Asi nejznámější je program univerzity MIT s názvem OpenCourseWare¹. Zatímco využití takového materiálu může pomoci zvýšit kvalitu lokálních přednášek, stále nenabízí to nejcennější – možnost přímé interakce s vyučujícím, specialistou v oboru.

Přirozeným dalším krokem je tak koncept *virtuálních tříd*, jeden vyučující je k dispozici studentům, kteří jsou geograficky rozptýleni po několika lokalitách. V malém již virtuální třídy na Masarykově univerzitě realizujeme všude tam, kde vyučující přednáší současně do několika propojených poslucháren. Na Fakultě informatiky je toto realizováno pomocí přímého (sice v poslední době již digitálního, ale nepřenášeného počítačovou sítí) propojení místností, v případě Ekonomicko-správní fakulty jsou již pro tento účel využívány videokonferenční technologie. Používá se především přenos výukového materiálu (prezentace, informace z vizualizéru apod.), zvuku a případně obrazu učitele, to vše v běžném (prezentace) či relativně malém (video s učitelem) rozlišení.

Dostupnost pokročilých technologií vysoko kvalitního (High Definition, HD) videa a možnosti

¹<http://ocw.mit.edu/index.html>

jeho přenosu přes počítačovou síť však virtuální třídu posouvají na podstatně vyšší úroveň. S HD video technologiemi je totiž již možné vytvořit dostatečně věrnou iluzi *přítomnosti* učitele – stačí si jen uvědomit, že pokud přednášíme pomocí projektoru s rozlišením 1280 × 1024, dokáže HD kamera sejmout celé plátno a ještě stihne zaznamenat katedru a vyučujícího. A to vše bez nejmenšího zkreslení, protože HD video pracuje s rozlišením 1920 × 1080. S využitím takové technologie je již možné realizovat virtuální třídy spojující studenty i ze vzdálených univerzit, potenciálně i z jiných kontinentů.

2 Pilotní přednáška

V roce 2006 Centrum pro výpočty a technologie na Louisiana State University (LSU) přijalo prof. Thomase Sterlinga, aby zavedl výuku v oblasti náročných výpočtů a superpočítání. Prof. Sterling je známá osobnost z této oblasti, mimo jiné je autorem myšlenky využití clusterů osobních počítačů jako alternativy ke speciálně vyvíjeným superpočítačům (zavedl tzv. Beowulf cluster). Prof. Sterling začal připravovat jednosemestrální přednášku *Introduction to High Performance Computing (Úvod do superpočítání)* s plánem realizace ve virtuální třídě. Do této virtuální třídy se zapojily následující instituce: Louisiana Technical University (LATECH), University of Arkansas (UARK), North Carolina State University (NCSU), Microelectronic Center of North Carolina (MCNC) a Masarykova univerzita. Přednáška byla realizována v průběhu jarního semestru 2007 a proběhne znovu (s vyšším počtem účastníků) i v jarním semestru 2008.

3 Použité technologie

Technické zajištění vzdálené přednášky bylo postaveno na technologiích pro videokonference v HD kvalitě, které vyvíjíme společně se sdružením CESNET (viz. dřívější příspěvky ve Zpravodaji [1, 2]). Protože cílem experimentu bylo vytvořit co nejrealističtější iluzi skutečné třídy, zvolili jsme nejen HD rozlišení, ale rozhodli jsme se pracovat bez komprese. Tímto způsobem sice garantuje minimální zpoždění, nekomprimovaný HD video proud má však enormní nároky na propustnost počítačové sítě. Na druhé straně

komprese HD proudů na úroveň cca 25 Mbps je nejen ztrátová (některé detaily jsou kompresí zahazeny), ale především přináší zpoždění cca 2 s. Dvousekundové zpoždění mezi přednášejícím a třídou však zcela eliminuje možnost skutečné interakce mezi studenty a vyučujícím – než se studentská otázka dostane zpět k přednášejícímu, je pozornost třídy, v níž je přítomen, již zaměřena na něco jiného.

Nekomprimované HD video generuje datový proud cca 1,5 Gbps. Tento datový proud odpovídá 30 plným snímkům v nativním rozlišení 1920 × 1080, 10 bitů na barevnou vrstvu (používají se tři vrstvy), vzorkování barevného obrazu 4:2:2 plus veškerá režie jak vlastního obrazu, tak i paketového přenosu sítí. Přenos 1,5 Gbps proudů již potřebuje skutečně vysokorychlostní síťové propojení, „běžná“ gigabitová infrastruktura (použití gigabitového Ethernetu) nepostačuje. Počítač, ke kterému je připojena kamera, i počítač, k němuž je připojeno zobrazovací zařízení, musí být vybaven desetigigabitovou kartou.

Vysoká přenosová kapacita samozřejmě nestačí jen na koncích sítě, ale musí být zajištěna mezi všemi připojenými účastníky. Pro spolehlivý přenos mnohagigabitových datových proudů již nepostačuje běžná produkční síť, byť akademického prostředí. Přesněji – kapacita páteře české akademické počítačové sítě je postačující i pro tyto účely, problematičtější je však volná kapacita transatlantické linky a, možná trochu překvapivě, i přenosová kapacita akademické počítačové sítě v USA. Použili jsme proto dedikovanou infrastrukturu optických vláken.

3.1 Síťová infrastruktura

Rostoucí nároky na přenosovou kapacitu a další parametry počítačových sítí vedou zcela přirozeně k přechodu na optická vlákna jako prakticky výhradní síťovou infrastrukturu. Požadavky nových aplikací a potřeba realizovat experimenty, které by mohly negativně ovlivnit běžný provoz přispěly ke vzniku volného sdružení GLIF (Global Lambda Integrated Facility)².

²<http://www.glif.is>

V něm jsou zastoupeni prakticky všechny organizace, které mají zájem o další rozvoj vysokorychlostních sítí a buď vlastní nebo mají pronajaty optické okruhy. Tyto experimentální optické linky jsou propojeny v několika místech na světě, z nichž nejvýznamnější leží v Amsterdamu a v Chicagu – NetherLight a StarLight. Protože jsme pro zajištění přenosových kapacit vzdálené přednášky potřebovali zajistit odpovídající experimentální infrastrukturu, rozhodli jsme se využít právě kapacit GLIFu.

Česká republika je zapojena prostřednictvím sdružení CESNET, které má také od prosince 2006 pronajat nezávislý 10 Gbps okruh mezi Prahou a Chicagem. S využitím další dedikované optické trasy mezi Prahou a Brnem – realizovanou v rámci provozní sítě CESNET2 jako jedna „lambda“ v DWDM systému – jsme tak měli vyřešeno spojení z MU do USA [3]. Američtí partneři byli rovněž připojeni přes StarLight v Chicagu, prostřednictvím National Lambda Rail (NLR), vysokorychlostní optické infrastruktury spojující podstatnou část států USA. V případě LSU a LATECH (stát Louisiana) NLR byla připojena na experimentální síť tohoto státu s názvem LONI (Louisiana Optical Network Initiative), ostatní participující univerzity byly připojeny přímo na NLR samostatnými optickými okruhy (jeden pro UARK, jeden pro instituce ze Severní Karolíny), které byly vždy dynamicky sestaveny před vlastní přednášky a zrušeny (kapacita uvolněna) po ní. Linka mezi Brnem, Prahou a Chicagem byla rovněž sdílena dalšími experimenty. Celou síť jsme realizovali jako přepínanou L2 síť, tj. pro všechna připojená místa se chovala jako lokální síť zapojená do jednoho přepínače.

Všechny propojené linky měly nominální kapacitu 10 Gbps, s výjimkou okruhu Praha–Brno realizovanou formou desetigigabitového Ethernetu. Dalším významným parametrem kromě kapacity je zpoždění. Nejdelsší spoj mezi Brnem a Chicagem měl zpoždění 115 ms, celá trasa do LSU pak necelých 146 ms. Zpoždění mezi americkými účastníky již byla výrazně menší, zpravidla kolem 50 ms.

Datový proud, generovaný na LSU, musel být synchronně doručen všem účastníkům. Toho jsme

dosáhli kaskádou reflektorů [4], z nichž každý byl schopen vstupní datový proud posílat na další místa. Celkem jsme použili tři reflektory. První byl umístěn přímo v LSU a posílal data na LATECH a do Chicaga. Další reflektory byly v Chicagu, odkud se posílalo celkem 5 nezávislých proudů: UARK, MCNC, NCSU a dva na MU. Jeden MU proud byl určen pro živou přednášku, druhý jsme ukládali na disk (viz. dále). Každá participující univerzita snímala své studenty rovněž v HD kvalitě, ovšem tento proud byl přenášen pouze do LSU a nebyl sdílen s ostatními partnery. Hlavním důvodem nebyla ani tak omezená kapacita sítě jako omezené prostředky koncových míst přijmout, zpracovat a zobrazit tolik HD nekomprimovaných proudů současně. Toto uspořádání se však týkalo pouze obrazu, zvuk – rovněž nekomprimovaný, ovšem s datovým proudem „pouze“ 1,5 Mbps – byl přenášen mezi všemi účastníky.

3.2 Přednáškové místnosti

Experimentální charakter neměla jen síťová infrastruktura. Každé přednáškové místo muselo být rovněž vybaveno HD kamerou a počítačem, který zpracovával HD video a posílal je v nekomprimované podobě do počítačové sítě. Každé místo muselo být rovněž schopno alespoň jeden takový proud přijímat – to představovalo další počítač přímo připojený na vysokorychlostní síť a také vhodné zobrazovací zařízení (LCD panel, plasmovou obrazovku nebo HD projektor). Počítače byly vybaveny 10 GE kartami (na MU jsme používali karty firem Chelsio a Myricom) a zejména bylo nutné zajistit plnohodnotné připojení přednáškové místnosti 10 GE sítí.

Na MU byla přednáška realizována v prostorech Laboratoře pokročilých síťových technologií (FI)³, neboť to bylo jediné místo, které splňovalo všechny požadavky. V první polovině semestru jsme pro zobrazení používali širokoúhlý LCD displej (vzhledem k malému počtu studentů to bylo možné, ale nepříliš vhodné), případně velkou plasmovou obrazovku. Ve druhé polovině semestru jsme již mohli využívat plně HD projektor Projection Design Cineo3+ 1080i.

³<http://www.sitola.cz>

4 Vlastní realizace

Technologické problémy nebyly jediné, s nimiž jsme se museli při realizaci přednášky potýkat. Výuka jednoho předmětu na LSU probíhá dvakrát týdně, má tedy vyšší intenzitu než přednášky na MU, které zpravidla probíhají v týdenním intervalu. To, společně s nutností sledovat celou přednášku v angličtině a zpracovat nemalé množství cvičení a domácích úkolů, jsme mohli alespoň do určité míry kompenzovat vyšší kreditovou hodnotou. Mezi LSU a MU je však také časový posun 7 hodin, což při odpolední přednášce na LSU znamená přednášku na MU v nočních hodinách. Největší problém je však se začátkem semestru – zatímco na MU začíná jarní semestr ve druhé polovině února, na LSU se přednáší od poloviny ledna.

Časové posuny nás proto donutily opustit pro MU ideu striktně synchronní přednášky. Datový proud posílaný z LSU jsme ukládali na disk a studentům jsem pak přednášku přehrávali ze záznamu. Studenti dostali možnost se v případě zájmu účastnit i nočního přenosu v reálném čase. Na těchto synchronních přenosech jsem ověřovali kvalitu (a problémy) použité technologie a současně získávali cenné zkušenosti pro další roky, kdy počítáme s tím, že i studenti MU budou moci sledovat přednášku ve stejném čase jako jejich američtí kolegové.

5 Závěr

Kurz *Introduction to HPC* prof. Thomase Sterlinga proběhl řádně v jarním semestru 2007 pod kódovým značením PA177. Na předmět se původně zapsalo celkem 12 studentů, jejich počet v průběhu semestru klesl na 9. Z nich 6 řádně předmět absolvovalo, tři při zkouškách neuspěli. Během roku jsme nahráli přes 40 TB HD záznamů.

Realizací přednášky jsem získali velmi cenné zkušenosti, a to jak technologické, tak i pedagogické. Nasazení technologie nekomprimovaného HD videa do de facto rutinního provozu (11 týdnů se dvěma dvouhodinovými přednáškami týdně) potvrdilo, že technologie samotná je již pro podobné účely dostatečně vyspělá.

Na druhé straně však zajištění přednášky znamenalo obrovské manuální úsilí celé řady studentů i pracovníků Laboratoře pokročilých síťových technologií. Mezinárodní optickou sítí bylo třeba nastavovat před každou přednáškou znovu (linky byly sdíleny i dalšími experimenty), záznamy probíhaly vždy od desíti večer do půlnoci střeoevropského času, zatímco přednáška se běžně přehrávala od sedmi do devíti (dvakrát týdně). Pořízené záznamy se musely z vysokorychlostního pole přesouvat na jiná úložiště (pásky), neboť použité vysokorychlostní pole nemělo dostatečnou kapacitou na to, abychom v něm mohli držet záznamy z celého semestru v plně nekomprimované HD kvalitě.

Potvrdili jsem si, že HD video technologie skutečně mohou poskytovat předpokládaný vjem vysoké kvality zprostředkovaného obrazu, nesmí se ale podcenit kvalita zvuku (zejména jeho záznam). Vytvoření kvalitního prostředí však vyžaduje odpovídající vybavení – zejména zobrazovací systém – jehož cena je stále ještě poměrně vysoká. Velmi složité jsou problémy s časovým posunem – zatímco pro jarní semestr 2008 se již podařilo domluvit, že přednáška v USA bude probíhat v době od 10 do 12, tj. od tří do pěti odpoledne střeoevropského času – pro různý začátek semestru zatím nemáme jednoduché řešení. Naším plánem je zpočátku zvýšit intenzitu výuky (na tři až čtyři dvouhodiny týdně) a tímto způsobem dohnat zpoždění, není ale jasné, zda to skutečně studenti budou stíhat a zda tím neohrozíme kvalitu vlastní výuky. Alternativou bude samostatná „konzultační“ hodina s přednášejícím. Rovněž se pokusíme zajistit lepší interakci mezi studenty různých částí virtuální třídy.

Vzdálené přednášky s virtuální třídou ve vysoké kvalitě spojující studenty z různých kontinentů jsou již skutečností i na MU. Realizace takových přednášek je však stále experimentální záležitostí vyžadující netriviální technické vybavení, zkušenosti a v neposlední řadě i dostatek lidských kapacit pro zajištění celého procesu po technologické i pedagogické stránce. Doufáme však, že postupným opakováním takovýchto experimentů se podaří zavést vzdálené přednášky ve vysoké kvalitě do běžné praxe MU stejně, jako se to podařilo se záznamy přednášek.

Literatura

- [1] E. Hladká, P. Holub.: *Videokonference s vysokou kvalitou*. Zpravodaj ÚVT MU. 2006, roč. XVI, č. 3, s. 9–12
- [2] P. Holub, E. Hladká, L. Matyska.: *iGrid2005*. Zpravodaj ÚVT MU. 2006, roč. XVI, č. 3, s. 12–16
- [3] P. Holub.: *Lambda služby*. Zpravodaj ÚVT MU. 2004, roč. XV, č. 2, s. 8–13.
- [4] E. Hladká, P. Holub.: *Zrcadla v počítačové síti*. Zpravodaj ÚVT MU. 2002, roč. XII, č. 5, s. 7–10. □