

# Streaming HD videa

Petr Holub, Eva Hladká

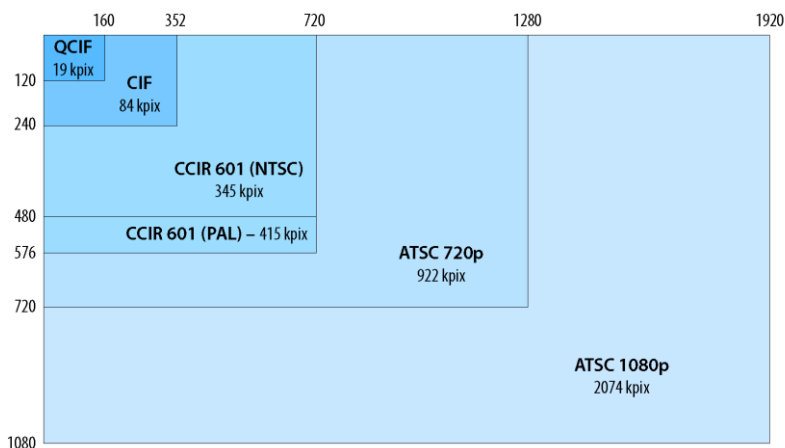
CESNET z.s.p.o.  
Žitná 4  
16000 Praha

FI a ÚVT  
Masarykova univerzita  
Botanická 68a  
60200 Brno

Současné vysokorychlostní sítě poskytují médium dostatečné pro vysokorychlostní přenosy videa jako je streamování HD (High Definition) videa a videokonference v HD kvalitě. HD poskytuje dvakrát až čtyřikrát větší rozlišení než běžné televizní standardy, což dovoluje snímat a zobrazit mnohem více detailů, ať již v porovnání s analogovou či digitální televizí nebo s běžnými DVD. V tomto příspěvku se budeme věnovat přenosům nekomprimovaného HD videa nad IP, které demonstruje využití vysokorychlostních akademických sítí pro přenosy HD videa v maximální kvalitě s minimální latencí. Představíme také pilotní aplikaci ve výukovém prostředí, v níž se tento systém používá pro distribuci přednášek z Louisiana State University, na němž participuje také Masarykova univerzita.

## 1. HDTV video a jeho přenosy v IP sítích

HDTV norma specifikuje dva základní standardy: nižší 720p, s rozlišením 1280x720 s progresivním snímkováním, a vyšší 1080i, který využívá prokládaný režim snímkování a rozlišení obrazu 1920x1080. V závislosti na regionu se používají snímkovací frekvence 25p/50i (Evropa) nebo 29.97p/30p/59.94i/60i (USA, Japonsko). V kinematografii se dále používá ještě progresivní standard 1080p, pracující také s rozlišením 1920x1080, avšak snímkovou frekvencí 24p, která je běžná v klasické analogové kinematografii. Porovnání plochy HDTV obrazu s nižšími formáty videa je patrné z obrázku 1.



Obrázek 1. Porovnání velikostí obrazové plochy HD videa nižších formátů.

Obecně existují dva způsoby přenosu videa nad počítačovou sítí: komprimovaný, který za účelem omezení použité šířky pásma obvykle obětuje část obrazové informace (bezeztrátové komprese jsou pro video aplikace většinou nedostatečně efektivní), a nekomprimovaný, který i za cenu velké šířky pásma přenáší maximum obrazové informace. Nekomprimované video se typicky využívá v aplikacích vyžadujících minimální latenci nebo maximální kvalitu obrazu. Minimální latence je důležitá pro interaktivní aplikace, jako jsou videokonference či ovládání přístrojů na dálku s vizuální zpětnou vazbou. Maximální kvalita obrazu je zajímavá pro řadu aplikací počínaje opakovaným zpracováním obrazového materiálu, kde rekomprese dochází k podstatnému snížení kvality, až po lékařské aplikace, u nichž na kvalitě obrazu může záviset správné rozhodnutí lékaře.

## 2. Přenosy nekomprimovaného HD videa

V roce 2005 jsme implementovali systém pro přenos nekomprimovaného 1080i videa po IP sítích s využitím PC platformy [1]. V zásadě se jedná o IP paketizaci dat, která jsou přenášena pro HD-SDI médium, což je nejběžnější

standard pro přenos nekomprimovaného videa pro rozhraní SDI (HD-SDI, SMPTE 292M). Výsledný datový tok na HD-SDI rozhraní je 1,485 Gbps, což je dáno následujícími parametry: rozlišení 2200x1125 (oproti efektivnímu rozlišení 1920x1080 obsahuje navíc také tzv. mazací řádky), 10 b na barevný kanál, 60 pulsů/s a vzorkování barevného prostoru YUV 4:2:2. Ze vzorkování barevného prostoru je patrné, že ačkoli se jedná o nekomprimované video, část obrazové informace je ztracena – to odpovídá psychologickému vnímání obrazu, kdy zrak je citlivější na jasovou složku než na složky barevné. Přenos kompletní obrazové informace (tedy vzorkování 4:4:4) znamená datový tok 2,2 Gbps a vyžaduje použití tzv. dual-link HD-SDI, což prodražuje celý systém a až nejdražší HDTV kamery jsou schopny takovou kvalitu obrazu skutečně generovat.

Celý systém byl implementován v prostředí operačního systému Linux, kde jsme navázali na implementaci UltraGrid pro přenos nekomprimovaného 720p videa, vytvořené Ladan Gharai a Colinem Perkinsem na ISI institutu. Systém jsme přepracovali pro podporu 1080i videa včetně softwarového zobrazování, jak bude vysvětleno níže. Pro záznam videa z rozhraní HD-SDI se využívá grabovací karta DVS Centaurus nebo Centaurus II, která je jako jediná oficiálně podporována na Linuxu. Data jsou paketyzována do RTP, UDP a IP hlaviček a odesílána ze zdrojového počítače do sítě. Vzhledem k datovému toku 1,5 Gbps využíváme 10-Gigabitový Ethernet. Používáme také Jumbo rámce (konkrétně typicky 8500 B), abychom snížili zátěž koncových počítačů a také zmenšili režii paketyzace. Přijímací strana přijímá data ze sítě, rozbaluje je z hlaviček a následně zobrazuje jedním ze dvou způsobů. V jednodušším, leč dražším případě, jsou data opět poslána na kartu Centaurus, která vysílá z počítače jako HD-SDI – kde mohou být buď zobrazena na HD-SDI monitoru, případně jinak zpracována. V tomto režimu se přenos dá chápat jako prodloužení HD-SDI přenosu přes IP síť. Druhou možností zobrazování je přímé zobrazení na počítači přes grafickou kartu (tj. softwarové zobrazování). Zde se ovšem ukazuje značná náročnost celého systému na propustnost PC platformy i na výpočetní výkon, zejména je-li třeba provádět deinterlacing (počítačové displeje jsou na rozdíl od zdrojového materiálu typicky progresivní) – implementace proto byla v assembleru optimalizována pro procesory AMD64 Opteron, které používáme v pilotních systémech. Na implementovaném systému jsme provedli měření latence, přičemž řetězec zahrnoval následující komponenty: kameru SONY HVR-Z1E, konvertor komponentového signálu na HD-SDI AJA HD10A, vysílací počítač s kartami Centaurus a 10GE NIC Chelsio T110, point-to-point spojení na přijímací počítač optickým kabelem, a přijímací počítač s toutéž síťovou kartou, grafickou kartou nVidia 6600 a 24“ LCD monitorem DELL připojeným pomocí rozhraní DVI. Přijímací i vysílací počítač byly osazeny dvěma procesory Opteron taktovanými na 2,4 GHz – dvouprocesorová konfigurace je vhodná zejména s ohledem na možnost kontroly rychlosti odesílaných dat v reálném čase (omezení tzv. burstů). Měření proběhlo v režimu end-to-end, tedy od sejmutí kamerou až po jeho zobrazení pomocí na obrazovce přijímacího počítače. Latence byla přibližně 160±16 ms, přičemž chyba měření je dána zobrazovací frekvencí počítačového monitoru (60 Hz). Na obecné řešení implementované pomocí běžné PC platformy se jedná o velmi uspokojivý výsledek zaručující vysokou míru interaktivity, avšak při plně hardwarové implementaci nekomprimovaného přenosu se lze dostat i na latenci o řád nižší<sup>1</sup>.

Vícebodovou distribuci dat, potřebnou jak pro videokonferenční tak i streamovací aplikace, je možno realizovat buď pomocí nativního multicastu v síti, nebo pomocí softwarových nebo hardwarových reflektorů (pro potřeby streamování je můžeme nazývat streamovací servery). Vzhledem k problémům se spolehlivým nasazením multicastu v sítích, které přesahují více administrativních domén, jsme se rozhodli využít technologii reflektorů, kterou již dlouhou dobu v rámci sdružení CESNET vyvíjíme [2]. Implementovali jsme optimalizovanou verzi reflektorů, umožňující při použití 10GE karty Myrinet na jednom stroji multiplikovat 1,5 Gbps tok až na 5 kopií. Reflektory je dále možno kaskádovat a tvořit z nich síť [3], čímž je možné významně zvýšit škálovatelnost celého systému. Například při demonstraci této technologie na konferenci SuperComputing 2006 jsme na reflektorech dosahovali agregovaného datového toku 18 Gbps, což odpovídá 12 proudům nekomprimovaného videa. Reflektory navíc přidávají latenci 13±2 ms, což je akceptovatelné zejména ve srovnání s latencemi optických sítí při přenosech na dlouhé trasy, kde se latence běžně pohybují nad hranicí 100 ms.

### 3. Využití při výuce

Začátkem roku 2007 došlo k zajímavému přenosu výše popsané technologie do praxe pro účely podpory vzdálené výuky. Masarykova univerzita spolu s Louisiana State University (LSU) za podpory sdružení CESNET iniciovaly vznik projektu sdílení přednášek prof. Thomase Sterlinga *Introduction to High-Performance Computing*. Prof. Sterling patří mezi absolutní světovou špičku v oblasti superpočítačových architektur a jeho přednášky jsou natolik žádané, že jen málo univerzit i v USA si může dovolit takového člověka zaměstnat – pročež také vznikl tento projekt. Přednášky probíhají až na výjimky fyzicky na LSU a pomocí přenosů nekomprimovaného HD videa jsou dostupné nejen na Fakultě informatiky Masarykovy univerzity, ale také na řadě dalších institucí,

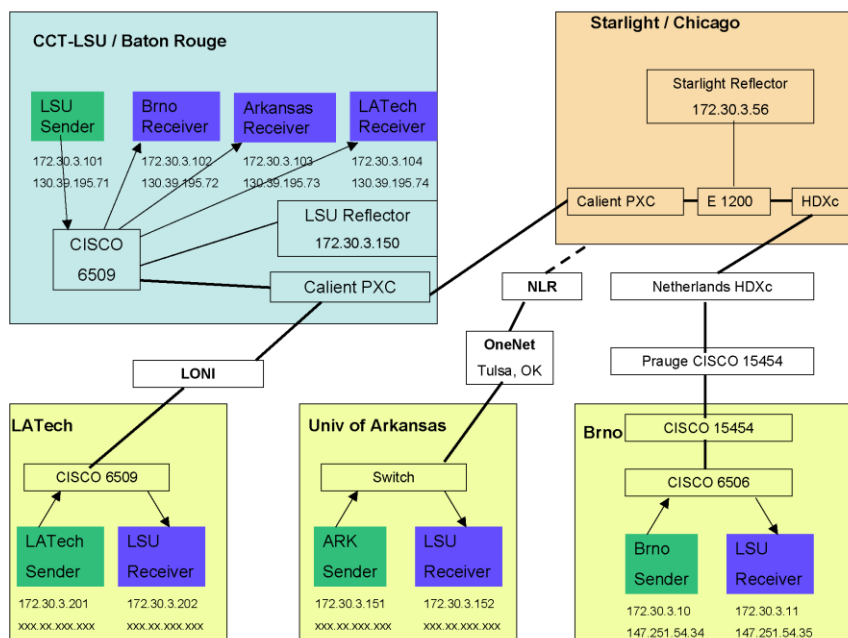
<sup>1</sup> Systém i-Visto od NTT (<http://www.i-visto.com/>), který implementuje obdobnou funkcionalitu čistě v hardwaru, dosahuje latence přibližně 16 ms. Vzhledem k čistě hardwarové implementaci se však jedná o řešení podstatně dražší než je námi implementovaný systém.

kteřé se postupně k projektu připojily: University of Arkansas, MCNC a ve snižené kvalitě z důvodů problémů se sítí také Louisiana Tech University. Na samotné LSU jsou pak také distribuovány mezi místnostmi, jelikož ne všichni studenti se vměšťují do posluchárny, v níž prof. Sterling přednáší. Na každé z participujících institucí je také studentům k dispozici lokální tutor, který jim může v případě problémů a nejasností pomoci.



Obrázek 2. Studenti sledující přednášku prof. Sterlinga spolu se svým lokálním tutorem na MU doc. Matyskou

Pro účely těchto přednášek byla všechna participující místa vybavena technologiemi popsány v kapitole 2 tak, aby studenti v každé posluchárně mohli vidět prof. Sterlinga a současně také prof. Sterling viděl všechny své posluchače. Jedná se tedy o šíření videa v režimu 1:N a N:1, neboť úplný graf N:N by znamenal příliš velkou zátěž bez zásadního zlepšení dojmu uživatelů. Audio je ovšem vzhledem ke svým marginálním nárokům v porovnání s videem šířeno v plném režimu N:N.



Obrázek 3. Schéma virtuálních okruhů pro připojení účastníků HPC Class prof. Sterlinga.

Pro šíření dat sítí jsou na dobu přednášky vytvářeny dedikované desetigigabitové okruhy v rámci výzkumných a akademických sítí, k nimž jsou připojeny participující instituce. Schéma okruhů je znázorněno na obrázku 3. University ve státě Louisiana využívají optickou státní síť Louisiana Optical Network Initiative, odkud jsou přes dedikovaný NLR okruh připojeny do StarLightu v Chicagu. University of Arkansas používá vlastní dedikovaný

okruh přes síť NLR do StarLightu. Masarykova univerzita pak využívá dedikovaný okruh, který koncem roku 2006 zprovoznilo sdružení CESNET přímo z Prahy do StarLightu. Nedávno k uvedenému schématu přibylo také připojení MCNC, které je podobně jako University of Arkansas připojeno pomocí sítě NLR. S ohledem na hvězdicovou topologii, u níž jsou všechny okruhy zakončeny ve StarLightu, bylo logickou volbou použití kaskády reflektorů umístěných právě zde. Navíc LSU provozuje vlastní reflektor umožňující jednak přenosy mezi oběma místnostmi na LSU a dále je připraven distribuovat data na universitu Louisiana Tech.

Kromě časového posunu, který pro studenty v ČR znamená přednášky pozdě večer se jako druhý problém ukázaly desynchronizované začátky semestrů mezi americkými univerzitami a Masarykovou univerzitou, kde americké univerzity začínají přednášet přibližně o měsíc dříve. Proto jsme implementovali vysoce výkonný úložný systém, který je schopen ukládat a opětovně přehrávat datové toky nekomprimovaného videa a audia, aby studenti na MU měli možnost shlédnout přednášku v maximální kvalitě alespoň ze záznamu. Pro jednu přednášku s datovým tokem cca 1,5 Gbps to znamená kolem 1 TB dat. Vzhledem ke skutečnosti, že studenti souhlasili se zrychlením výuky, bylo možné americké kolegy dohnat a posléze se začít účastnit „živých“ přednášek z LSU.

#### **4. Závěr**

HD videokonference a jejich další zlepšení posouvají oblast prostředí pro virtuální spolupráci ke stále reálnějšímu a přirozenějšímu vjemu účastníků. V brzké době umožní přenosy z míst, kde je kvalita detailu obrazu velmi důležitá, např. z operačních sálů do poslucháren. Pro nás představují mnoho výzev a ukazují mnoho problémů, které je třeba řešit. Ačkoli si na rutinní využití těchto technologií budeme muset ještě nějaký čas počkat a ani v budoucnu pravděpodobně nebudou patřit k běžnému vybavení domácností. Pilotní nasazení, například přednášky prof. Sterlinga, ukazují, že již nyní je možné zásadně zlepšit zkušenost s kolaborativními technologiemi. Prof. Sterling po počátečním váhání nyní patří k nadšeným propagátorům použité technologie přenosu HD videa po IP sítích dále a plánuje během příštího roku zapojení řady dalších univerzit. Do budoucna také připravujeme kolaborativní middleware, který umožní komplexní řízení a monitoring celého prostředí, včetně automatické rekonfigurace v případě různých výpadků částí infrastruktury.

#### **Odkazy a literatura**

- [1] HOLUB, Petr - MATYSKA, Luděk - LIŠKA, Miloš - HEJTMÁNEK, Lukáš - DENEMARK, Jiří - REBOK, Tomáš - HUTANU, Andrei - PARUCHURI, Ravi - RADIL, Jan - HLADKÁ, Eva. „High-definition multimedia for multiparty low-latency interactive communication.“ *Future Generation Computer Systems*, Amsterdam, The Netherlands, Elsevier Science, The Netherlands. ISSN 0167-739X, 2006, vol. 22, no. 8, pp. 856-861.
- [2] HLADKÁ, Eva - HOLUB, Petr - DENEMARK, Jiří. „User-Empowered Programmable Network Support for Collaborative Environment“. In *Lecture Notes in Computer Science 3262*, Springer-Verlag Heidelberg, 2004. ISBN 3-540-23551-5, pp. 367-376.
- [3] HOLUB, Petr - HLADKÁ, Eva - MATYSKA, Luděk. „Scalability and Robustness of Virtual Multicast for Synchronous Multimedia Distribution.“ In *Lecture Notes in Computer Science 3421*, Germany, Springer Berlin / Heidelberg, France. ISSN 0302-9743, 2005, vol. 3421, , pp. 876-883.