

Streaming a převod formátů

Bakalářská práce

Jan Mráz

Vedoucí bakalářské práce: Mgr. Miloš Prokýšek

Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích

Pedagogická fakulta

Katedra informatiky

Rok 2009

Prohlášení

Prohlašuji, že svoji bakalářskou práci jsem vypracoval samostatně pouze s použitím pramenů a literatury uvedených v seznamu citované literatury.

Prohlašuji, že v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb. v platném znění souhlasím se zveřejněním své bakalářské práce, a to v nezkrácené podobě elektronickou cestou ve veřejně přístupné části databáze STAG provozované Jihočeskou univerzitou v Českých Budějovicích na jejích internetových stránkách.

V Českých Budějovicích dne

Anotace

Teoretická část práce pojednává o problematice přímého publikování videa na internet ve formě streamingu s důrazem na převod video formátů. Současně vysvětluje jednotlivé parametry charakteristické pro streaming. Dále nastiňuje využití dostupných prostředků pro posouzení kvality video kodeků. V praktické části práce budou provedena empirická měření testovacího video souboru na kontrolní skupině testovaných osob a zároveň budou matematicky vyjádřeny odchylky daného videa vzhledem k původnímu zdroji.

Abstract

The theoretical part of this project covers direct video presentation over internet in the form of streaming with special emphasis on video conversion. It explains all parameters that are characteristic for streaming technology and assesses techniques for comparing visual quality available to date. The practical part of this project focuses on empirical measurements of the quality of generated video files using group of subjects with simultaneous mathematical comparison of difference between recoded video and the original.

Poděkování

Tímto bych rád chtěl poděkovat vedoucímu své bakalářské práce, Mgr. Miloši Prokýškovi, za odbornou pomoc a veškerý čas, který mi věnoval.

Obsah

1	ÚVOD.....	7
1.1	ÚVOD DO PROBLEMATIKY.....	7
1.2	CÍLE PRÁCE.....	8
2	TEORIE A POJMY	9
2.1	KOMPRESI DAT.....	9
2.2	BITRATE	10
2.3	PROCES STREAMINGU	12
2.3.1	Příklady přenosu obsahu.....	12
2.3.2	Protokoly pro streaming.....	13
2.3.3	Způsoby komunikace	15
2.4	PLATFORMY.....	17
2.4.1	Microsoft Windows Media Services vs. Real Networks.....	18
2.4.2	Adobe Flash	19
2.5	MĚŘENÍ KVALITY VIDEA	20
2.6	MULTIMEDIÁLNÍ KONTEJNERY	24
2.6.1	AVI	24
2.6.2	MPEG.....	25
2.6.3	MPEG PS.....	25
2.6.4	MPEG TS	26
2.6.5	MP4.....	26
2.6.6	ASF.....	26
2.6.7	MOV.....	27
2.6.8	Matroška	27
2.7	FORMÁTY	28
2.7.1	Formáty MPEG.....	28
2.7.2	MPEG-1	28
2.7.3	MPEG-2	29
2.7.4	MPEG-4	30
2.7.5	VC-1	31
2.7.6	Shrnutí.....	32
3	METODIKA A PŘEDPOKLADY	33
3.1	VÝCHODISKA ŘEŠENÍ.....	33

3.2	METODIKA.....	33
3.3	PŘEDPOKLADY.....	34
4	PRAKTICKÁ ČÁST.....	36
4.1	MATEMATICKÉ POROVNÁNÍ.....	39
4.1.1	<i>Animovaná ukázka</i>	39
4.1.2	<i>Akční ukázka</i>	41
4.1.3	<i>Ukázka přednášky</i>	43
4.2	EMPIRICKÉ POROVNÁNÍ	45
4.2.1	<i>Animovaná ukázka</i>	46
4.2.2	<i>Akční ukázka</i>	47
4.2.3	<i>Ukázka přednášky</i>	48
4.2.4	<i>Shrnutí celkové kvality</i>	49
4.3	WEBOVÁ APLIKACE	53
5	ZÁVĚR	55
6	SEZNAM OBRÁZKŮ	61
7	PŘÍLOHY	62

1 Úvod

1.1 Úvod do problematiky

Publikování videa na internetu ve formě streamingu je spojeno s několika základními pojmy. Streaming je náročný na výpočetní výkon procesoru a na šířku datového pásma, protože se každý snímek videa vypočítává v reálném čase a zároveň se vyžaduje jeho přenos taktéž v reálném čase. Například pro datový formát MPEG2 (rozlišení 720×576 pixelů, 30 snímků za sekundu) je velikost datového toku 15 Mbit/s. Proto se z důvodu zmenšení objemu přenášených dat na video uplatňuje ztrátová komprese, která v závislosti na použitém komprimačním algoritmu dosahuje různě kvalitních výsledků. Výsledná kvalita je pak ovlivněna ještě dalšími faktory jako: použitým kompresorem, jeho nastavením, a zejména pak povahou samotného komprimovaného videa (rychlé akční pohyby oproti statickým snímkům).

Porovnání kvality videa se často provádí pro tento účel speciálně vytvořenou metrikou, jejímž výsledkem je matematické vyjádření odchylek mezi jednotlivými snímky videa. Tyto výsledky jsou detailní a v každém bodě přesné, ale pro člověka nepřinášejí jasnou informaci, o jak kvalitní video jde. To je způsobeno selektivním vnímáním lidského oka, které některá matematicky významná zkreslení přehlédne a jiná matematicky výrazně méně významná naopak velmi silně vnímá.

Druhým, a vnímání člověka bližším způsobem, pak může být empirické porovnání založené na subjektivním názoru jedince. V této práci budou provedena obě měření, jejichž výsledky bude možné zohlednit v připravované webové aplikaci, která slouží pro streaming a převod formátů.

Toto téma jsem si vybral, protože mě tematika vysílání videa po internetu velmi zaujala. Jelikož se dnes používá velké množství různých video formátů, chtěl jsem pomocí testů najít „ideální“ formát, který bych mohl používat např. pro archivaci video záznamů na DVD. Zároveň považuji za zajímavé zjištění, zda lze kvalita videa posoudit pomocí matematických metrik, nebo zda je nutné pro přesné výsledky provést časově velmi náročný empirický test.

1.2 Cíle práce

Úkolem zpracovávaným v rámci této práce je vytvořit univerzální nástroj pro konverzi a publikování videa na internetu. Hlavním požadavkem na tento nástroj je co nejširší nabídka výchozích a cílových formátů a jednoduchost ovládání.

Teoretická část práce je zaměřena na problematiku podpory video formátů vhodných pro streaming. Současně budou vysvětleny důležité pojmy, nezbytné pro správné pochopení a interpretaci odborných výrazů v textu.

Cílem praktické části je otestovat kvalitu video formátů při různém typu scén (animace, akční, přednáška). Stanovit vhodný formát pro kompresi videa, který dosahuje v těchto scénách nejlepších výsledků v empirickém testu, který bude doplněn o porovnání pomocí matematických metrik.

2 Teorie a pojmy

2.1 Komprese dat

Při zpracování digitálních obrazových dat je nutno zpracovat a uchovat velké množství dat. Časová a výpočetní náročnost je patrná již při práci s digitální fotografií, ale mnohem výraznější je při práci s pohyblivým obrazem, tedy u digitálního videa. V zájmu získání dostatečné kapacity pro zpracování stávajícího objemu dat, je nutné tento objem metodicky snížit.

Tato metoda se nazývá **komprese**. Základní princip je založen na objemově efektivnějším vyjádření obsahu souboru. Pro bezztrátovou kompresi platí, že se při změně zápisu žádná informace neztrácí a po dekompresi se získá původní informace ve zcela nezměněné podobě. Ztrátová komprese připouští ztrátu některé „nedůležité“ informace (typicky např. frekvence, které nedokáže lidské ucho zaznamenat nebo části barevného spektra, na které je lidské oko nejméně citlivé). Poměr mezi původním a zkomprimovaným objemem dat se jmenuje kompresní poměr. Čím větší kompresní poměr, tím menší soubor (i za cenu ztráty na kvalitě). Digitální video tak ztratí kvalitu výsledného obrazu, což lze za výše uvedených okolností akceptovat.

Kompresi lze vykonávat pomocí hardwarových prostředků (především za použití specializovaných čipů na stříhových kartách) a softwarovými metodami využívajícími výkon vlastního centrálního procesoru počítače (CPU). Hardwarové prostředky méně zatěžují operační systém a rychleji pracují.

Při použití náročnějších metod komprese nejsou systémy založené na kompresi pomocí CPU schopné provádět tuto operaci přímo v reálném čase. V tom případě se komprese provádí „off-line“, což znamená, že k provedení komprese potřebujeme čas další než je samotná doba komprimovaného záznamu.

Pro kompresi dat existuje řada matematických metod, a tedy i příslušných hardwarových čipů nebo programů (např. kodeků). Specializovaný čip (kodek) je schopen co nejrychleji provádět zadaný úkol (kompresi a dekompresi obrazových dat), protože je, na rozdíl od CPU, pro tuto činnost přímo navržen a optimalizován.

Několik obecných a základních standardů souvisejících s metodami komprese se v různých oblastech práce s digitálním obrazem staly normami, jimž se věnují další kapitoly. [1]

2.2 Bitrate

Při přehrávání nebo kompresi a dekompresi videa, ale i zvuku se často pracuje s pojmem „bitrate“. Bitrate (datový tok) udává počet bitů za vteřinu, které je nutné během dané operace zpracovat.

Bitrate souboru je definovaný počet bitů za sekundu obrazu (a zvuku), který použije kodér pro kódování. Obecně pro zjednodušenou situaci platí, že **čím více bitů za vteřinu je na kompresi použito, tím je výsledné video v lepší kvalitě.**

Bitrate můžeme rozdělit na VBR nebo CBR.

- **CBR** – „**constant bitrate**“, neboli stálý datový tok. Datový tok je konstantní po celou dobu manipulace s videem. Je jednoduchý na kompresi, avšak data proudí stále stejnou rychlostí, a to i na místech, kde to není bezpodmínečně nutné (typicky např. klidný obraz, malý nebo žádný pohyb) a neefektivně tak zabírají místo na pevném disku. Tento typ se běžně používá u starších kompresních algoritmů (např. MPEG Audio Layer 3). Jeho velká výhoda je v tom, že se dá dobře

synchronizovat díky konstantní velikosti za sekundu. Jestliže je tedy např. audio nahrávka vytvořena s konstantním bitrate, znamená to, že půlka skladby je přesně uprostřed souboru.

- **VBR** – „**variable bitrate**“, neboli proměnný datový tok. V tomto případě se kompresní poměr mění podle složitosti dané scény. Při rychlém pohybu obrazu je komprese nejmenší (a tedy datový tok největší). Analogicky to pro pomalé klidné scény platí opačně. Výhodou je, že takto lze dosáhnout při stejném průměrném datovém toku výrazně vyšší kvality výstupu než při použití konstantního datového toku. Nevýhoda je naopak to, že se dá špatně odhadnout velikost výsledného souboru (zvolený bitrate reprezentuje průměr a málokdy se do něj kodek přesně strefí).

Obečně platí, že **při VBR lze na jednotku datového místa nahrát více dat** (delší video) než u CBR, **aniž by se to nějak viditelně projevílo na kvalitě obrazu**. [2]

Při komprimaci filmu např. do formátu DivX pro archivaci na DVD je bitrate důležitým parametrem, který je nutné spočítat.

V současné době je k dispozici celá řada specializovaných programů, které tento výpočet provádějí automaticky, ale pro lepší pochopení dané problematiky tento výpočet provedeme na názorné ukázce.

Kapacitu nosiče (médiu DVD o velikosti přibližně 4800 MB) vydělíme délkou filmu v sekundách (předpokládejme film o délce 100 minut).

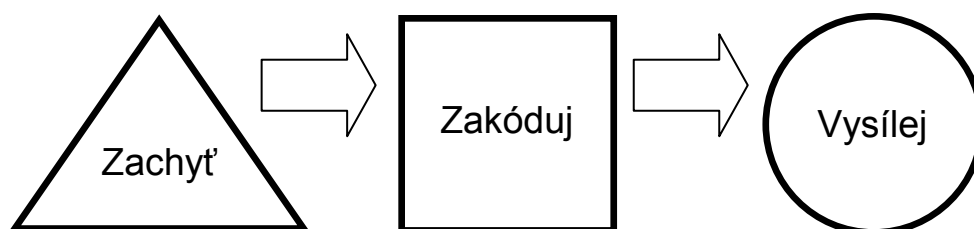
$$4800/6000 = 0,8MBps \cong 6554 Kbps$$

Od výsledku je také nutné ještě odečíst potřebný bitrate pro zvuk. Pro např. 256 Kbps MP3 je konečný výsledek 6298 Kbps. Daný film je tedy nutné komprimovat s přibližně tímto bitrate videa.

Analogicky lze provést tento výpočet pro publikování videa na internetu, kdy nás namísto velikosti nosiče omezuje dostupná šířka pásma pro upload. [2]

2.3 Proces streamingu

Většina streamovacích systémů pracuje na modelu klient/server. Klient



Obrázek 1 Základní proces streamingu [20]

podává žádost o data ze serveru, který je následně zasílá.

Při streamování médií jsou zvuková a video data kódována do speciálního formátu. Ten je serverem odeslán ke klientovi, u kterého se následně zobrazují.

2.3.1 Příklady přenosu obsahu

Video On-Demand (VOD): Většina služeb je dostupná tzv. „on-demand“ (na žádost). Znamená to, že uživatel si sám volí přístup ke streamovaným médiím.

Live: Streamované médium je vytvářeno ve stejném momentě jako jeho obsah. Obvykle je toto nazýváno „živé vysílání“.

Webcast: Streamování média přes internet. Může být typu Live i VOD. [20]

2.3.2 Protokoly pro streaming

Všechna data je nutné určitým způsobem organizovat, aby dávala smysl. Knihy mají stránky, kapitoly a odstavce. Pravidla mluvnice v lidské řeči dovolují komunikovat dvěma nebo více lidem, protože akceptují daná pravidla.

V počítačové sféře tato pravidla představují **komunikační protokoly** nebo krátce jen **protokoly**. Protokoly přímo spojené se streamingem kontrolují komunikaci mezi přehrávačem a streamovacím serverem a naopak.

Transportní vrstva

User Datagram Protocol (UDP): UDP je jedním z nejběžnějších protokolů transportní vrstvy používaným pro posílání dat v souvislém toku („streamu“). Nepoužívá korekci chyb při zasílání dat jako další běžný protokol, Transmission Control Protocol (TCP).

Stream Control Transmission Protocol (SCTP): Odvozený od protokolů TCP a UDP. Spojuje jejich vlastnosti (spolehlivý i nespolehlivý přenos, vyžádané i nevyžádané přenosy atd.) a některé nové podporuje („multi-homing, „multi-streaming“) [29]

Aplikační vrstva

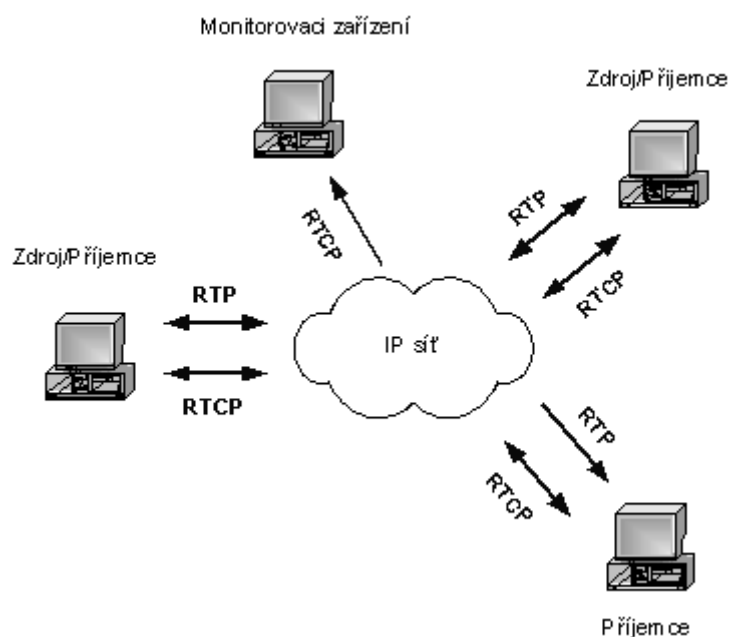
Real Time Streaming Protocol (RTSP): RTSP protokol je otevřený standard aplikační vrstvy schválený Internet Engineering Task Force (IETF). Internetoví klienti (např. přehrávače), používají RTSP ke komunikaci se streamovacím serverem, schopným pracovat s ovládacími příkazy jako Hrát/Pauza/Zastavit.

Real Time Transport Protocol (RTP): Streamovací server vytvoří pakety dat a odešle je přehrávači. RTP řídí, jakým způsobem server vytvoří tyto pakety. Například udává pravidla pro identifikaci typu paketu, jak jsou pakety číslovány v sekvenci atp. Architektura je podobná UDP a TCP, ačkoliv RTP pakety jsou míněné pro práci výslovně s RTSP a RTCP protokoly.

Real Time Control Protocol (RTCP): RTCP pakety jsou schopné s RTP pakety kontrolovat doručení ostatních paketů. RTCP pakety jsou často používány pro monitorování kvality služby.

Microsoft Media Services (MMS): Proprietární streamovací protokol od firmy Microsoft, který je široce používán na Windows Media serverech. Může být přenášen transportními protokoly TCP i UDP.

HyperText Transfer Protocol (HTTP): Komunikační protokol určený pro zobrazování webových stránek a komunikaci s webovými servery. V oblasti streamingu je HTTP nejčastěji používán pro „progresivní stahování“, také někdy nazývané „pseudo-streaming“, protože neposkytuje kontrolu a řízení dat jako „pravé“ streamovací protokoly. [20]



Obrázek 2 Protokol RTP/RTCP [3]

2.3.3 Způsoby komunikace

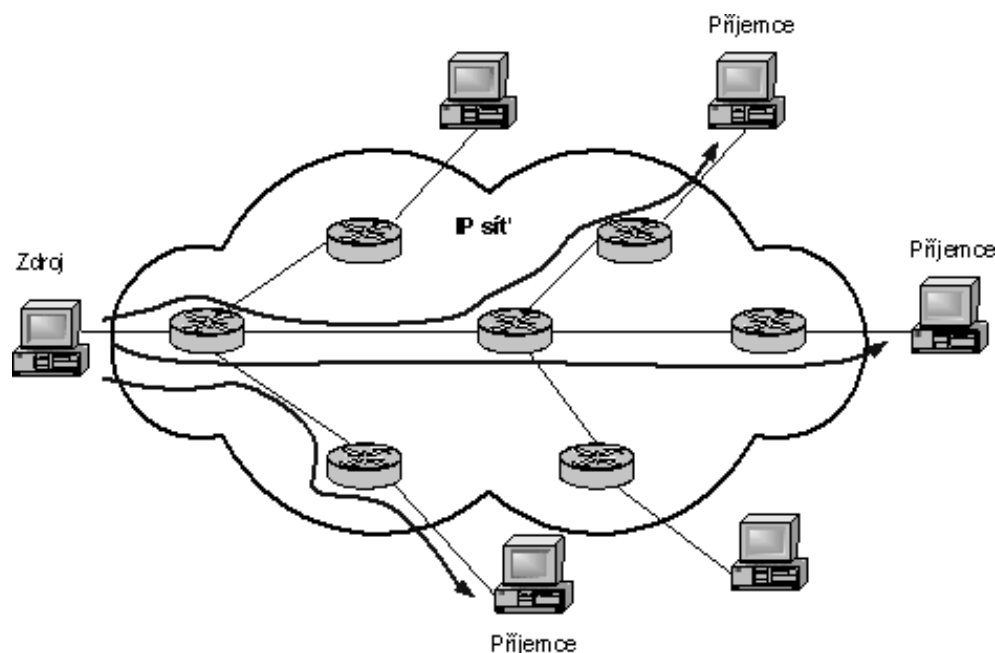
Doručování jednotlivých streamů (proudů) do přehrávače téměř vždy sleduje jednoduchý model: jeden stream pro každé spojení s klientem. Tomuto se říká „**unicast**“¹. Výhodou je jednodušší implementace, ale využívá větší šířku pásma¹, protože zdroj musí vytvořit spojení pro každého klienta. „**Multicast**“ je naproti tomu méně náročný na šířku pásma, ale vyžaduje speciálně nakonfigurovanou síť, kdy je jednotlivý stream rozdělen mezi všechny přehrávače. [20]

Unicast

IP síť včetně Internetu byly původně zaměřeny na unicastový způsob komunikace (viz Obr. 2). Unicast vychází z původní myšlenky komunikace IP protokolu, která je nazývána "jeden k jednomu" (paket je zaslán jedním zdrojem k jednomu příjemci).

V současné době však unicast není vhodný pro všechny typy komunikace. Příkladem může být vysílání internetového rádia nebo televize, kdy je vyžadován typ komunikace "jeden k mnoho" (paket je zaslán jedním zdrojem k více příjemcům). Např. při použití unicastu musí zdroj rádiového vysílání vytvořit tolik unicastových spojení kolik je příjemců (posluchačů). Tato situace může být přijatelná, pokud je příjemců málo. S rostoucím počtem účastníků, který může narůstat do řádu tisíců, se však unicastový způsob komunikace stává nepoužitelným kvůli velkému zatěžování sítě. [3]

¹ Míra propustnosti dat



Obrázek 3 Příklad unicastového způsobu komunikace [3]

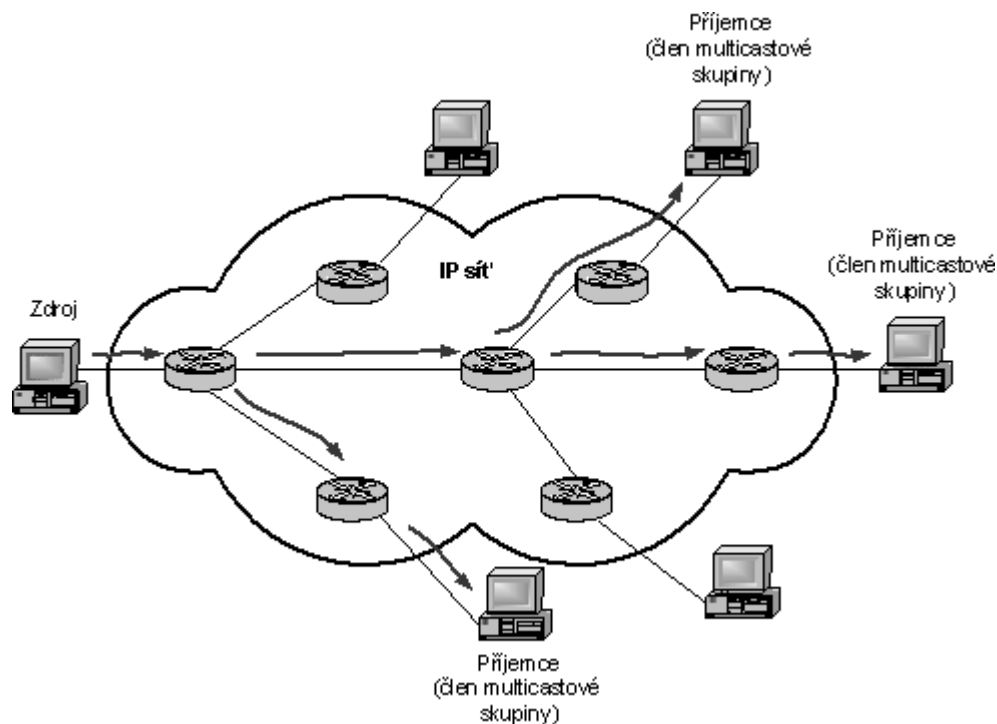
Multicast

Tento model komunikace poskytuje lepší možnosti v následujících případech:

- Více zdrojů a více příjemců, neboli tzv. "mnoho k mnoho" nazývané ASM (Any Source Multicast)
- Jeden zdroj a více příjemců, tzv. "jeden k mnoho" nazývané zkratkou SSM (Specific Source Multicast).

V příkladu rádiové stanice, multicast umožňuje vysílat data pouze jednou s tím, že kopie vyslaných dat budou doručeny všem přijímačům (viz Obr. 3). Multicastový model komunikace lze charakterizovat jako zvláštní případ všesměrového vysílání, kdy kopie paketů jsou pomocí multicastové skupinové adresy současně zasílány definované skupině přijímačů (tj. jenom těm, kteří mají zájem rádiovou stanicí poslouchat).

S adresováním členů multicastu je spojena řada problému. Např. při multicastu je potřeba zaručit, aby se data neposílaly do směrů, kde se nenachází žádný člen multicastu. Zde nastává problém s dynamickým přihlašováním příjemců do skupiny. [3]



Obrázek 4 Příklad multicastového modelu komunikace [3]

2.4 Platformy

Pro publikování videa na internetu existuje několik více či méně známých nebo kvalitních platforem. Například Česká televize poskytuje na adrese <http://www.ceskatelevize.cz/ivysilani/> službu iVysílání, kde shromažďuje svá vysílání, které umožňuje streamovat pomocí 2 různých formátů, **Real Video** a **Windows Media Video**. Oba jsou proprietárními formáty (WMV společnosti Microsoft a Real Video společnosti RealNetworks). Obě společnosti také

poskytují své platformy Microsoft Windows Media Services a Real Audio/Video.

Tyto platformy se skládají ze třech komponent: enkodér, server a klient.

- Enkodér je program, který převádí videosignál do podoby, která je akceptovatelná pro server.
- Úkolem serveru je poskytovat kontinuální zdroj dat spolu se synchronizací jednotlivých složek (audio, video). Server může vysílat ze dvou médií. Prvním je proud dat z enkodéru (online vysílání), druhým je potom soubor uložený na serveru (VOD).
- Klient je software, který je spuštěn u diváků. Jeho účelem je přijímat data ze sítě a vytvářet z nich obraz.

2.4.1 Microsoft Windows Media Services vs. Real Networks

Zatímco platforma Windows Media Services (WMS) běží pouze na platformě Win32 a Win64, Real Networks lze spustit i na platformě Linux a Solaris.

Vzhledem k tomu, že oba dva systémy používají pro ukládání proprietární formát dat (ASF pro WMS a RM pro Real Networks), není možné použít jako zdroj jedna data. Pokud chceme vysílat přímý přenos, je třeba použít dva enkodéry (server může být jeden). Pokud chceme zpřístupnit data pro Video on Demand, je třeba mít uložena data dvakrát. Efektivita uložení je srovnatelná, původní soubor o velikosti 350 MB v nekomprimovaném formátu AVI má v ASF 130 MB a v RM 110 MB. [25]

Server WMS podporuje pouze platformu Win32. Real Networks i platformy Linux, Free BSD, Solaris, AIX a HP-UX.

Zatímco Windows Media Services používá pro vysílání proprietární formát dat MMS, Real Networks používá otevřený formát RTSP. Oba tyto formáty jsou

postaveny na UDP, nicméně oba systémy umožňují vysílat nad TCP přes http. Vzhledem k povaze dat se však vysílání přes http nepoužívá. [25]

Podporované platformy pro klienta v případě WMS jsou Win32 a Win64, Mac a Solaris. Real Networks je dostupný na platformách Win32 a Win64, Linux, Mac, Solaris, SCO, IRIX a OS/2.

Oba klienti mají shodnou funkčnost. Výhodou Windows Media Services je fakt, že je klient přímo distribuován s jednotlivými verzemi Windows a je lokalizován. Obě technologie se snaží minimalizovat "jitter" - rozptyl zpoždění, proto obě na začátku přenosu uloží několik sekund přenosu do cache. [25]

Protože však tuto technologii nelze deaktivovat, nejsou tyto platformy vhodné pro přenos videokonferencí.

Hlavní nevýhodou obou řešení je špatná kompatibilita a omezená podpora formátů.

2.4.2 Adobe Flash

Díky svým vlastnostem je flash řešení poměrně rozšířené, což může potvrdit světově známý portál www.youtube.com, který využívá tuto technologii.

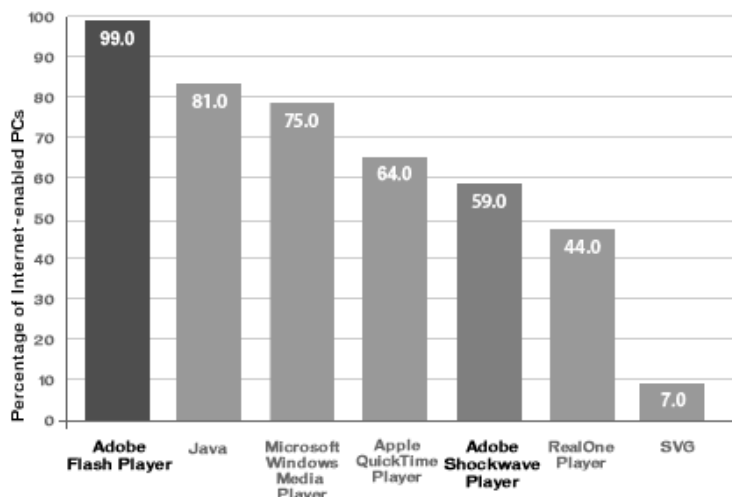
U tohoto řešení je jednoznačně největší výhodou **kompatibilita** s různými systémy, nebo **volná dostupnost pluginu** pro přehrávač. Také funguje na většině systémů "out-of-the-box", tedy bez nutnosti cokoliv instalovat nebo nastavovat. [26]

Společnost Adobe, která zaštiťuje tuto technologii, nabízí svůj produkt Flash Media Streaming Server², který obsahuje a podporuje některé pokročilé

² <http://www.adobe.com/products/flashmediastreaming/>

doplňky jako např. již integrovaný HTTP server, podporu šifrovaného protokolu RTMPE, podporu formátu H.264 ve fullHD rozlišení a další.

*Slabinou Flash přehrávače je **podpora pouze jeho nativního formátu FLV**. Znamená to, že všechna videa se musí převést do tohoto formátu. Každopádně originální materiál pro použití na internetu by byl stejně příliš veliký.* [14]



Obrázek 5 Procentuální zastoupení přehrávačů³

2.5 Měření kvality videa

Porovnání kvality videa se často provádí, pro tento účel speciálně vytvořenou metrikou, a jejímž výsledkem je matematické vyjádření odchylek mezi jednotlivými snímky videa. Tyto výsledky jsou detailní a v každém bodě přesné, ale pro člověka nepřinášejí jasnou informaci, o jak kvalitní video jde,

³ Adobe - Flash player statistics : Flash Player Penetration [online]. c2009 [cit. 2009-03-22]. Dostupný z WWW: <http://www.adobe.com/products/player_census/flashplayer/>.

toto je způsobeno selektivním vnímáním lidského oka, které některá matematicky významná zkrácení přehlédne a jiná matematicky výrazně méně významná naopak velmi silně vnímá.

Druhým, a vnímání člověka bližším způsobem, pak může být empirické porovnání založené na subjektivním názoru jedince.

Měřením kvality různých video kodeků se mimo jiné velmi aktivně zabývá portál Compression project⁴, ze kterého bylo čerpáno mnoho informací týkajících se měření kvality. Současně zde také vytvořili nástroj pro matematické porovnání kodeků (MSU Video Quality Measurement Tool) i nástroj pro empirické posouzení kvality.

Konverze digitálních obrazů z jednoho formátu do druhého stejně jako jejich komprese s sebou přináší jistou distorzi. Je důležité vědět, zda je daná distorze přijatelná pro diváky.

Matematické měření nebo metriky využívají matematický model napodobující chování lidského zrakového systému.

Obvyklé je použití základního objektivního měřítka „peak-to-peak signal-to-noise ratio“ (PSNR) definovaného jako:

$$PSNR = 10 \log_{10} \left[\frac{255^2}{(1/N) \sum_i \sum_j (Y_{ref}(i, j) - Y_{prc}(i, j))^2} \right]$$

kde $Y_{ref}(i, j)$ a $Y_{prc}(i, j)$ jsou hodnoty pixelu referenčního a zpracovaného obrazu a N je celkový počet pixelů v obraze. V této rovnici je peak signal s 8bit rozlišením 255 a šum je druhá mocnina „pixel-to-pixel“ rozdílu (chyby) mezi referenčním a testovaným obrazem. Přestože se ukázalo, že v některých

⁴ <http://www.compression.ru>

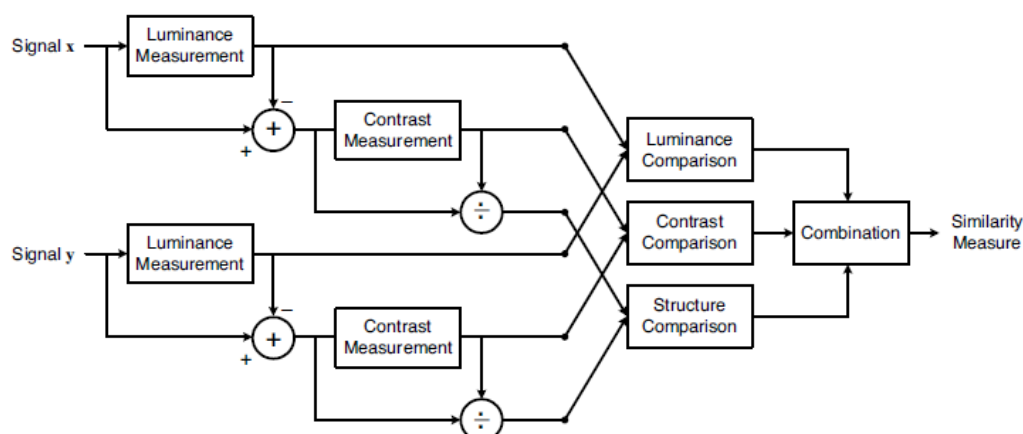
případech je přesnost PSNR pochybná, je díky relativní jednoduchosti velmi populární metrikou. [6] a [7]

Pravděpodobně největší kritikou proti PSNR je, že lidská interpretace distorze různých částí videa může být různá. Například pokud malá část obrazu ve videu je značně degradována, značně to ovlivní PSNR nebo jiný parametr objektivní metriky (záležící na místě distorze). Ta přitahuje pozornost pozorovatele a video vypadá tak špatně, jako by byla poškozena větší část obrazu. Tento typ degradace je velmi častý u videa, kde může být kvůli chybě v jednom bitu chybně dekodován celý blok pixelů. To nemá skoro žádný efekt na PSNR, ale může se ve výsledku projevit jako nepříjemný artefakt. V tomto případě bude značná odchylka mezi výsledky objektivního a subjektivního testu.

PSNR udává výsledky v dB od 0 (pro největší rozdíl mezi referenčním a testovaným videem) do 100 (pro shodu těchto videí).

Pozn.: Pozorovatelé mohou subjektivně vnímat distorze odlišným způsobem. Ukazuje se, že odborný pozorovatel preferuje „blockiness“ před rozmazáním a běžný uživatel naopak. [6]

Další matematickou metrikou je „Structural similarity“ (SSIM). Vychází z metriky PSNR, avšak porovnává podobnost v světelnosti, struktuře a kontrastu. Z jejich kombinací pak počítá bezrozměrný tzv. SSIM index o velikosti od 0 (pro největší rozdíl) do 1 (pro shodu). Pro graf SSIM platí, že čím vyšší hodnota, tím menší rozdíl mezi referenčním a testovaným videem. [8]



Obrázek 6 Diagram metriky SSIM [8]

Distorzi obrazu lze také měřit pomocí subjektivních ohodnocení. Během let bylo stanoveno několik subjektivně hodnotících metodologií. Mezi nimi např. „double stimulus impairment scale“ (DSIS), kdy subjekt hodnotí zhoršení zpracovaného obrazu oproti původnímu. U „double stimulus continuous quality scale“ (DSCQS) není subjektu známo pořadí zpracovaného a původního obrazu. Subjekt hodnotí známkou od 1 do 100 každý testovací snímek. [6]

Pro hodnocení videa je preferován např. „single stimulus continuous quality evaluation“ (SSCQE). Hodnotící kritéria jsou stejná jako v případě DSCQS. [6]

Přestože tyto metody dávají spolehlivé výsledky, jsou velmi časově náročné.

2.6 Multimediální kontejnery

Multimediální kontejner je způsob uložení několika proudů multimediálních dat (stop, streamů) do jednoho souboru.

Do jednoho souboru lze uložit např. jednu video stopu, několik zvukových stop v různých jazycích a několik titulků. Uživatel má možnost si při přehrávání vybrat, kterou kombinaci chce použít.

Kontejnery se vzájemně liší podle schopností pojmout různá multimediální data. Pro přehrání jednotlivých kontejnerů používáme tzv. demuxer, který rozděluje datové proudy do různých kodeků a následně do výstupních zařízení.

Kontejner neříká nic o vnitřní kompresi uložených dat, ta je určena použitým kodekem. Kontejner pouze nese informaci, který proud byl zkomprimován jakým kompresorem. Některé kontejnery mohou mít v sobě uloženy pouze omezenou množinu formátů (např. MPEG). Mezi nejtolerantnější k více formátům jednoho typu dat patří kontejner Matroška. [5]

2.6.1 AVI

AVI zkracuje anglická slova Audio Video Interleave. Byl představen společností Microsoft v listopadu 1992 pro Windows. Dnes je většina AVI souborů ve formátu OpenDML vyvinutém společností Matrox v únoru 1996. Soubory jsou nazývány AVI 2.0 a jsou také podporovány společností Microsoft. [10]

Výhodou AVI je rozsáhlá kompatibilita se všemi OS i stolními a přenosnými video přehrávači. Nevýhodou je problematické použití s novými, kvalitními formáty zvuku a videa.

Na začátku souboru je hlavička, která obsahuje informace o videu (framerate, rozlišení, kodek, atd.) a o zvuku (smplovací frekvence, kvantizace,

kodek, atd.). Na konci je pak tabulka, ve které jsou informace o pořadovém čísle jednotlivých snímků videa resp. audio paketu a jejich pozici v souboru. [11]

Toto řešení trpí dvěma velkými nevýhodami. Index na konci souboru neumožňuje přehrát soubor dříve, než je k dispozici kompletně celý, čímž vylučuje použití pro streamování. Druhá nevýhoda indexace je také v tom, že čas snímku není určen absolutně, ale lze ho spočítat pouze z framerate videa a jeho indexu. [11]

2.6.2 MPEG

Jde o ISO/IEC standard, který definuje způsob multiplexování audio a vizuálních streamů do jednoho streamu. Umožňuje jak lokální uložení souboru na disk, tak streamování po internetu, nebo použití pro terestriální nebo satelitní vysílání.

Data u videa a zvuku jsou organizována do částí, tzv. access units (AE), u videa ho tvoří jeden enkódovaný snímek. ES je dále převeden na Packetised Elementary Stream (PES), který tvoří posloupnost paketů, v každém je několik AE. Několik PES streamů je dále multiplexováno do jednoho streamu dvěma možnými metodami, MPEG PS a MPEG TS. [11]

2.6.3 MPEG PS

MPEG Program Stream. Podporuje video s kompresí MPEG-1 a MPEG-2, audio může mít kompresi AC3 nebo MP2. I tento formát je široce podporován všemi zařízeními. Videa mají obvykle koncovku MPG, VOB nebo EVOB. Používá se v prostředí, kde je zaručena nízká chybovost - u záznamových médií (CD, DVD disky). [12]

2.6.4 MPEG TS

MPEG Transport Stream je určen pro přenos v chybujícím prostředí, jako je DVB. MPEG TS rozděluje PES pakety na menší části fixní velikosti a přenáší je ve svých paketech velikosti 188 bytů, které jsou dále zabezpečeny proti chybám při přenosu. Používané formáty videa jsou MPEG-2 a MPEG-4 AVC, zvuk má obvykle kompresi AC3. Při přehrávání v režimu offline má někdy problém se „seekováním“ (posunem ve filmu), protože formát je dělaný primárně pro vysílání ne pro offline přehrávání. Video v tomto kontejneru má obvykle koncovky TS, MTS nebo M2TS. [11]

2.6.5 MP4

Je součástí ISO standardu MPEG-4. Primárně je určen pro MPEG-4 video (ASP, AVC) a MPEG-4 audio (AAC). Zvládne ale i některé jiné komprese skupiny MPEG (např. MPEG-1 a MPEG-2). Známa je také modifikace MP4 s názvem 3GPP (3GP, 3GP2), která kontejner zjednodušuje pro použití v mobilních zařízeních. Jako komprese obrazu se v 3GP používá formát H.263, zvuk formát AMR. Kontejner MP4 (a 3GP) se hodně rozšířil hlavně v mobilních telefonech a stolních i přenosných multimediálních přehrávačích. [12]

2.6.6 ASF

Druhým formátem od společnosti Microsoft je Advanced Systems Format (ASF), dříve označovaný jako Advanced Streaming Format. Soubory mají samozřejmě příponu .ASF (později přibýlo i .WMV). Tento formát není určen pro nahrazení AVI, ale je určen především pro použití MPEG-4 a Windows

Media Video a Audio formátů. Jeho cílem bylo odstranit hlavní nedostatky formátu AVI a jeho určení je především pro streamování po internetu. Největším nedostatkem je jeho uzavřenost. [11]

2.6.7 MOV

Hlavní konkurent Microsoftu, firma Apple má také svůj formát, který konkuruje AVI již od jeho počátku. Jde o Quicktime soubory s příponou .MOV, který se používá na počítačích Apple Macintosh ve stejné míře jako AVI ve Windows. Na svoji dobu byl poměrně sofistikovaný a podobný dnešním moderním kontejnerům. Umožňuje nést různé typy informací, například i Flash. Ve verzi Quicktime 4 byla přidána možnost přenosu po internetu (bez nutnosti přenést nejprve celý soubor).

Základní jednotkou souboru je atom, který může obsahovat další atomy. Např. Track atom je jedna stopa. Media atom specifikuje typ streamu (video nebo audio), jeho délku a specifické informace. Video Media information atom resp. Sound Media information atom pak udává charakteristiku videa resp. zvuku. [11]

2.6.8 Matroška

Tento otevřený formát vychází z hojně používaného jazyka XML. Jako takový umožňuje nést téměř cokoliv, ne jen video a zvuk. Obsahuje podporu pro titulky, menu, kapitoly, tituly, ale lze přiložit i soubory. Je považován za nejpropracovanější systém, který je možno přidáváním sekcí navíc dále rozvíjet.

V současnosti je Matroška de facto standardem pro HD ripy, takže lze předpokládat jeho širokou podporu a rozšíření v budoucnosti. Formát je navíc

licencován jako public domain. Pro video soubory má příponu MKV, pro audio MKA. [11] a [12]

2.7 Formáty

2.7.1 Formáty MPEG

MPEG zkracuje anglická slova Motion Picture Experts Group. Je to mezinárodní organizace, která se zabývá vývojem tohoto standardu. Výhodou tohoto formátu je nezávislost na platformě.

MPEG využívá ztrátovou kompresi a má několik kompresních formátů: MPEG-1, MPEG-2, MPEG-3 a MPEG-4. MPEG-4 je známější pod názvem MP4. Do širšího podvědomí se tento formát dostal díky firmám Nero a Apple, které pro toto standardizovali své produkty. [10]

V současné době se používají čtyři formáty:

2.7.2 MPEG-1

Tento formát existuje již od roku 1993. Jeho hlavním kritériem bylo zachování rozumné kvality při redukci datového toku na přijatelnou mez. Byl definován tok 1-1,5 Mbitů/s s možností náhodného přístupu po půl vteřině. Maximální rozlišení je 352x288 a 30 snímků/s. [13]

MPEG-1 se používá u VCD (Video CD). Má špatný poměr kvality a komprese. Jeho výhoda je, že jej bez instalace dalšího SW přehrají téměř všechny počítače. Často se proto využívá pro krátké a nekvalitní klipy posílané

e-mailem nebo šířené na internetu. Používá se většinou při velmi nízkém rozlišení a bitrate. Použití tohoto formátu nemá v dnešní době téměř žádný rozumný důvod. [12]

2.7.3 MPEG-2

Byl vypuštěn v roce 1995 a jeho základní princip je stejný jako u MPEG-1, ale umožňuje datový tok až do 100Mbitů/s pro digitální TV, video filmy na DVD a pro profesionální studia. Také rozlišení bylo zvětšeno a dává daleko lepší výsledky než MPEG-1. [13]

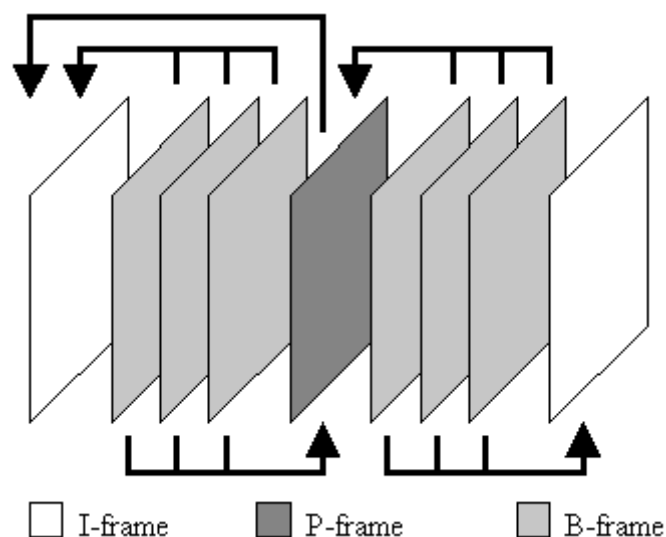
Způsob komprese snímků ve filmu je u MPEG 2 založen na faktu, že se obsah následujících snímků velmi často jen málo změní. Nejsou tedy zpracovávány jednotlivé snímky odděleně, nýbrž celé sekvence.

V MPEG 2 se video sekvence skládá z tzv. I, B, a P-snímků.

- I-snímky jsou indexové obrázky. MPEG 2 poskytuje možnost komprimovat různé obrazové části vlastního snímku dle obsahu různou velikostí komprese (u jednobarevné plochy nemusí být definován každý bod, ale definuje se jako barevné pole ohraničené několika body). V MPEG 2 datové sekvenci obsahují I-snímky všechna data potřebná pro dekompresi a zobrazení snímku.
- B-snímky jsou obousměrně zkomprimované obrázky. Obsahují jen data popisující rozdíly mezi předchozím a následujícím snímkem.
- P-snímky jsou předpokládané obrázky. Jsou odhadnuty na základě sekvence snímků ve videu. Jsou dopočítávány a obsahují ještě méně informace než B-snímky.

Sekvence obrázků jako skupina obrázků MPEG 2 standard popisuje sekvence I-, B-, a P-snímků jako skupiny obrázků (Group of Pictures - GOP). Každý výrobce systému si může vytvořit GOP jakékoliv délky a struktury za

podmínky, že každá skupina obrázků (GOP) obsahuje alespoň jeden I-snímek. To zaručuje kompatibilitu MPEG 2 datového toku s libovolným MPEG 2 dekodérem. [15] a [16]



Obrázek 7 Sled snímků MPEG [16]

2.7.4 MPEG-4

Je kolekce metod definujících kompresi audiovizuálních dat. V roce 1998 se stala standardem. Cílem je dát co nejlepší kvalitu při co nejnižším datovém toku 10kbit/s - 1Mbit/s. Navazuje na metody použité v MPEG-2, ale přidává některé nové, jako přístup k objektům obrazu, které mohou být zpracovávány separátně. Hlavním použitím je přenos videa přes internet a při mobilní komunikaci. [6]

Rozděluje se na několik profilů, z nichž jsou nejrozšířenější tyto 2:

- MPEG-4 ASP (MPEG-4 part 2) – Spadají sem enkodéry DivX, open-source kodeky XviD a FMP4 (ffmpeg) a další. Ideální datový tok je okolo 2 000 až 4 000 kbps pro SD rozlišení. Většinou se ale využívá rozlišení nižší a bitrate 1000-2000 kbps.

- MPEG-4 AVC (MPEG-4 part 10) – Také známý pod jménem H.264. Tento druhý název je poslední dobou používán častěji než AVC (Advanced Video Coding). H.264 se využívá v obrovském množství přístrojů (např. Blu-ray a HD DVD). Používá se také pro digitální vysílání ve vysokém rozlišení. *Formát H.264 je velmi náročný na kompresi i dekompresi. Dokonce i počítače s ním mají problémy a bez pomoci HW akcelerace grafické karty není možné MPEG-4 AVC ve fullHD rozlišení (1920x1080) na běžném PC přehrávat. Pro softwarové dekódování fullHD videa je nutný výkonný dvoujádrový procesor, například Athlon64 X2 6000+.* [12]

2.7.5 VC-1

Formát VC-1 (WMV3) vyvinutý společností Microsoft je založený na podobném principu jako MPEG-4, ale není s ním kompatibilní. Postupně vznikly WMV1, WMV2 a WMV3 (také číslované 7, 8 a 9 podle verzí Windows Media Playeru). Rozděluje se na několik profilů, z nichž nejvýše postavený je Windows Media Video 9 Advanced profile. [17] a [18]

VC-1 v podstatě nemá oproti MPEG-4 žádnou výhodu a přežívá pouze díky tomu, že jej protlačuje ve svých systémech a programech firma Microsoft. Aby se formát dostal do specifikací přehrávačů, bylo nutné vydat jeho specifikace a standardizovat jej. Úpravou WMV3 tak vznikl otevřený formát VC-1, který se může používat na Blu-ray a HD DVD discích. Není ale zdaleka tak rozšířený jako kvalitnější MPEG-4 AVC a nenáročný MPEG-2. [12]

2.7.6 Shrnutí

Komprese videa je oproti kompresi audia stále zatím nutná. Pro ukládání videa k dalšímu zpracování se nejvíce používal DV formát, ale kvůli extrémně vysokým datovým tokům pro HD rozlišení videa se u videokamer přechází na formáty MPEG-2 a MPEG-4 AVC, u kterého se tak očekává masivní rozšíření.

Pro uložení finálního výsledku je volba naprosto jasná. Ať se na situaci podívám z téměř libovolného úhlu, vždy vítězí MPEG-4 AVC. Je podporovaný a vyvíjený komerčními společnostmi, ale zároveň existuje i kvalitní opensource enkodér i dekodér. Formát je používán v Blu-ray a HD DVD, používá jej také digitální televize ve vysokém rozlišení (HDTV). Formát Microsoftu VC-1 je zatím jedinou reálnou konkurencí pro MPEG-4 AVC. [12]

Na názoru z předchozího odstavce z části navazují hypotézy v praktické části.

3 Metodika a předpoklady

3.1 Východiska řešení

Streaming videa je kvůli náročnosti na výpočetní výkon a šířce datového pásma spojen s konverzí pomocí video kodeků. Náročnost na výpočetní výkon je dána tím, že video kodeků existuje několik druhů a při převodu z jednoho do druhého je nutné původní video dekodovat a zakódovat cílovým kodekem. Důvody pro převod mezi kodeky jsou různé: větší kompatibilita, lepší kvalita při nižší velikosti souboru atd. Právě rozdíly v kvalitě videa budou předmětem mého zkoumání.

Na testovacích video ukázkách bude provedena komprese do zvolených formátů. Tato videa budou dále porovnána vybranou matematickou metrikou a také porovnána podle výsledků získaných v připraveném dotazníku se škálovými otázkami. Výsledky těchto testů budou porovnány jak pro jednotlivé formáty, tak vzájemně, z čehož vyplyne, zda jsou výsledky pro obě metody stejné a zda je tedy relevantní měřit výslednou kvalitu videa pouze pomocí matematických metrik.

3.2 Metodika

Pro praktickou část bylo zpočátku třeba vytvořit vhodná testovací videa. Pro testování byly stanoveny 3 základní druhy ukázek (animovaná, akční, přednáška). Animovaná ukázka je typická velmi ostrými hranami objektů a velkými barevnými plochami. Pro akční ukázku platí, že obsahuje velké množství dynamických a rychle se měnících scén s mnoha pohyby a měnicími se detaily. Ukázka přednášky pak představuje opak. Scéna je bez střihu, pomalá a pohybuje se pouze malá část obrazu.

Zdrojová videa vyhovující daným kritériím byla hledána mezi tzv. video trailery (upoutávkami) na filmy. Jejich kvalita neřídka bývá v kvalitě FullHD (1080p).

Velké množství trailerů je volně ke stažení na serveru www.apple.com/trailers, odkud byly ukázky čerpány pro animovanou (trailer k filmu Simpsonovi) a akční ukázku (trailer k filmu Bournův mýtus). Kvůli snadné ztrátě koncentrace při empirickém testu byl výběr ukázek přizpůsoben tak, že se jedná o starší filmy, u kterých je velká pravděpodobnost, že respondenti filmy znají a nevěnují přílišnou pozornost ději.

Zdrojem pro ukázku přednášky se stala přednáška pana RNDr. Jana Kadrnošky na téma Machova mechanika aneb základní pochybnosti o fyzice z Audiovizuálního centra studentů ČVUT www.avc-cvut.cz.

Tato výchozí testovací videa byla dále zkomprimována vybranými kompresory. Tato videa budou dále porovnána matematickými metrikami PSNR a SSIM v programu MSU Video Quality Measurement Tool.

Ohodnocena budou také v připraveném dotazníku se škálovým hodnocením vytvořeném pomocí dotazníkového systému eQuest.

3.3 Předpoklady

Pomocí empirického i matematického testování se porovnává kvalita mezi referenčním a testovaným videem. Existuje proto předpoklad, že budou pomocí obou metod získány podobné výsledky.

Při kompresi videa se plocha obrazu segmentuje na bloky, které jsou dále komprimovány daným kompresním algoritmem. Výsledkem této komprese může být viditelný rastr těchto bloků. Lze předpokládat, že v porovnání jednotlivých formátů mezi sebou budou největší vzájemné rozdíly v kvalitě u

animované ukázky, která obsahuje scény s velmi ostrými hranami objektů a velkými barevnými plochami.

Díky nedokonalosti lidského oka nelze postřehnout v rychle se měnících scénách detaily. Tyto scény tak mohou být i přes špatnou kvalitu komprese dobře ohodnoceny. Pro empirické měření akční ukázky, která obsahuje mnoho těchto scén, lze očekávat největší rozptyl odpovědí pro jednotlivé formáty.

Z obou měření by ve všech případech měl s nejvyšším hodnocením vyjít formát x264, jakožto nejnovější formát standardu MPEG-4 AVC.

4 Praktická část

Pro praktickou část byly nejprve otestovány vybrané nástroje na cvičných videích. Po ověření vhodnosti pro použití mého měření byla nejprve vybrána 3 typově odlišná videa (viz výše).

Následující tabulka [Tabulka 1] ukazuje podrobnosti o vybraných testovacích videích.

Tabulka 1 Přehled zdrojových video ukázek

	Jméno	Rozlišení	Poměr stran	Zdroj
Animovaná ukázka	Simpsons movie trailer	720p	16:9	apple.com
Akční ukázka	Bourne ultimatum trailer	720p	16:9	apple.com
Ukázka přednášky	Machova mechanika	PAL	4:3	avc-cvut.cz

Z těchto videí byl pomocí programu VirtualDub 1.8.8 vystřižen snímek o délce 20 sekund. Dále byla odebrána audio stopa a video bylo zmenšeno na velikost 512×384 pixelů, nebo 512×288 pixelů v závislosti na poměru stran. V tomto tvaru bylo video převedeno do bezztrátové komprese.

Tímto způsobem vznikla 3 referenční videa (pro každý typ ukázky jedno), se kterými bylo dále pracováno. Každé z těchto videí bylo v programu VirtualDub 1.8.8 zkomprimováno pomocí následujících enkodérů:

1. DivX PRO™ 6.8.5 built on Oct 29 2008
2. Windows Media Video 9 Advanced profile⁵
3. x264vfw – H.264/MPEG-4 AVC codec, build date: Dec 29 2008

Formát x264 byl vybrán jako zástupce standardu MPEG-4 AVC. Je také nejnovějším formátem a očekává se jeho masivní rozšíření. Dnes se již používá ve videokamerách, na Blu-ray a HD DVD discích a také se stal podporovaným formátem technologie Flash video. Formát WMV byl vybrán díky své konkurenceschopnosti díky záštitě firmy Microsoft a kompatibilitě na systémech Windows. Pro srovnání byl doplněn formát DivX, jako dnes již zastaralý, ale přesto rozšířený, standard MPEG-4 ASP. U tohoto formátu se očekává postupné nahrazení formáty WMV nebo x264.

Ve všech případech byla nastavena jednorůchodová komprese s konstantním bitrate (CBR) o velikosti 1 000 kbps. Komprese byla provedena na přenosném počítači HP s jednojádrovým procesorem AMD Mobile Sempron 3100+ a DDR RAM paměťmi o celkové velikosti 1 GB na operačním systému Microsoft Windows XP Professional 32-bit.

Další tabulka (

Tabulka 2) ukazuje rychlosti komprese jednotlivých video ukázek spolu s celkovým bitrate videa. Je vidět, že některé enkodéry mají problém s dodržením zadané velikosti datového toku. Výjimku tvoří jen WMV, které má ve všech případech zcela přesný a požadovaný bitrate. Největší odchylku má x264 v animované ukázce. V ukázce přednášky má x264 dokonce bitrate menší než požadovaný.

⁵ Komprimován pomocí programu Windows media encoder 9 series ve verzi 9.00.00.2980

Tabulka 2 Přehled komprimovaných testovacích ukázek

Typ ukázky	Komprese	Čas	Celkový bitrate videa	Velikost souboru	Kompresní poměr ⁶
Akční	DivX	12 s	1 065 kbps	2,55 MB	39 : 1
	WMV	88 s	1 000 kbps	2,35 MB	43 : 1
	x264	46 s	1 058 kbps	2,54 MB	40 : 1
Animovaná	DivX	13 s	1 108 kbps	2,66 MB	38 : 1
	WMV	80 s	1 000 kbps	2,32 MB	44 : 1
	x264	35 s	1 120 kbps	2,69 MB	38 : 1
Přednáška	DivX	19 s	1 006 kbps	2,41 MB	58 : 1
	WMV	104 s	1 000 kbps	2,42 MB	58 : 1
	x264	42 s	994 kbps	2,38 MB	59 : 1

Časy nutné ke kompresi mají poměrně velký rozptyl. Ve všech případech dokázal video nejrychleji zkomprimovat DivX. Druhým nejrychlejším byl x264 a posledním WMV. WMV byl celkově zhruba 5 až 7 krát (x264 2 až 3 krát) pomalejší než nejrychlejší DivX.

Datově největší soubor (2,69 MB) představuje x264 v animované ukázce, přestože s průměrnou velikostí souboru se řadí na 2. místo. Podle průměrné hodnoty dosahuje nejlepšího výsledku WMV. Kompresní poměr je celkově největší v ukázce přednášky, kde všechny 3 formáty mají velmi podobný výsledek. Je to dáno povahou scény, kdy dochází pouze k pomalému pohybu a

⁶ Nekomprimovaný soubor má velikost 101 MB (akční i animovaná ukázka) a 140 MB (ukázka přednášky)

malé změně mezi jednotlivými snímky, které tak lze efektivněji komprimovat a předpokládat (viz P-frames a B-frames).

4.1 Matematické porovnání

Pro matematické porovnání kodeků byla použita připravená testovací videa. Pro testování byl jako nejvhodnější zvolen měřicí nástroj MSU Video Quality Measurement Tool ve verzi 2.0 beta (dále jen VQMT). Umožňuje najednou změřit pomocí několika metrik rozdíly mezi referenčním a až dvěma testovanými videi. Umí pracovat s většinou nejrozšířenějších video formátů, nicméně pro práci s WMV bylo nutné použít skriptovací video-editační nástroj AviSynth ve verzi 2.5, s jehož pomocí lze v VQMT otevřít soubor WMV. VQMT porovnává všechny body všech snímků referenčního videa oproti testovanému videu a umožňuje uložit tyto výsledky do jednotlivých obrázků, do tabulkového souboru a také do video souboru.

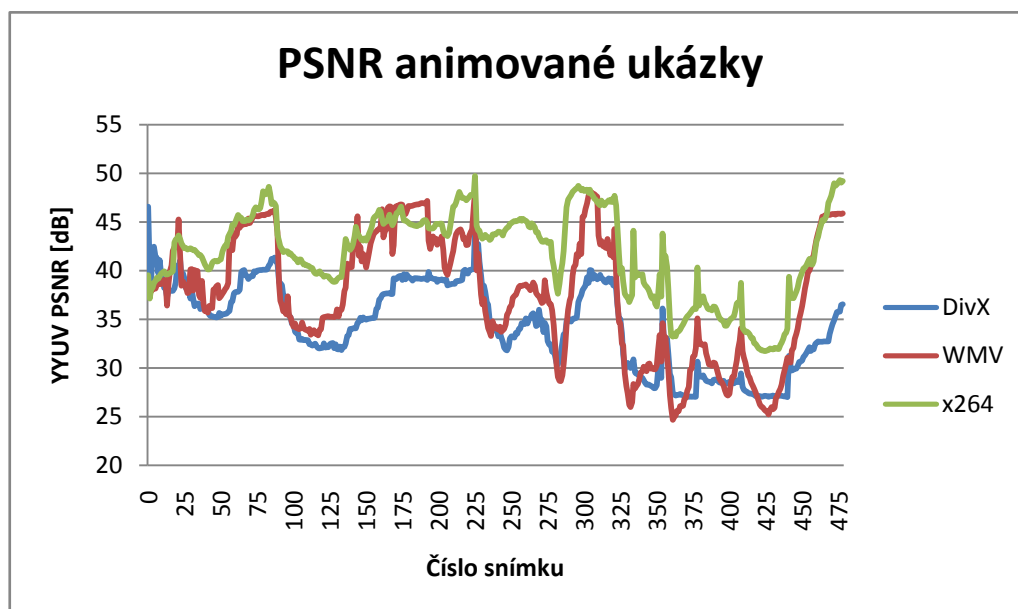
Pro testování byly zvoleny metriky PSNR a její novější verze SSIM (podrobněji v kapitole Měření kvality).

Po porovnání všech ukázek byla provedena vyhodnocení získaných dat, která jsou podrobněji rozepsaná dále.

4.1.1 Animovaná ukázka

Výsledky PSNR pro animovanou ukázkou ukazuje Graf 1. Podle průměrných hodnot dosáhl největší shody s referenčním videem formát x264. Formáty DivX i WMV v tomto případě mají velmi podobný výsledek a průběh grafu.

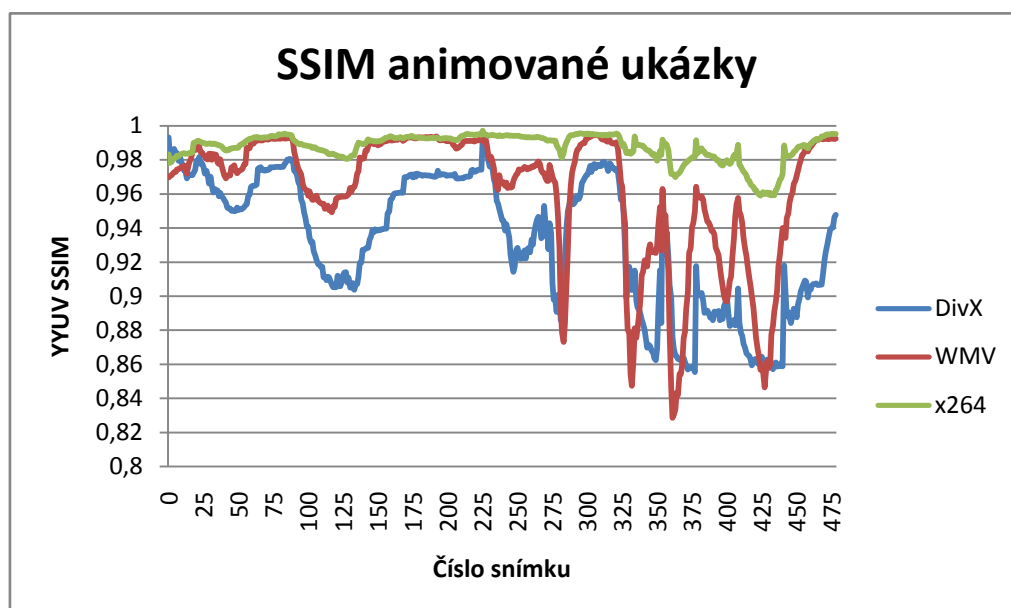
PSNR	DivX	WMV	x264
Průměr [dB]	32,29	33,28	39,28
Pořadí	3.	2.	1.



Graf 1 PSNR animované ukázky

V metrice SSIM dosáhly formáty stejného pořadí, přestože rozdíly mezi výsledky jsou malé. Na Graf 2 lze vidět hladký průběh u x264, zatímco u DivX a hlavně WMV dochází ke značným výkyvům ve scénách s mnoha detailními objekty.

SSIM	DivX	WMV	x264
Průměr	0,93	0,96	0,99
Pořadí	3.	2.	1.

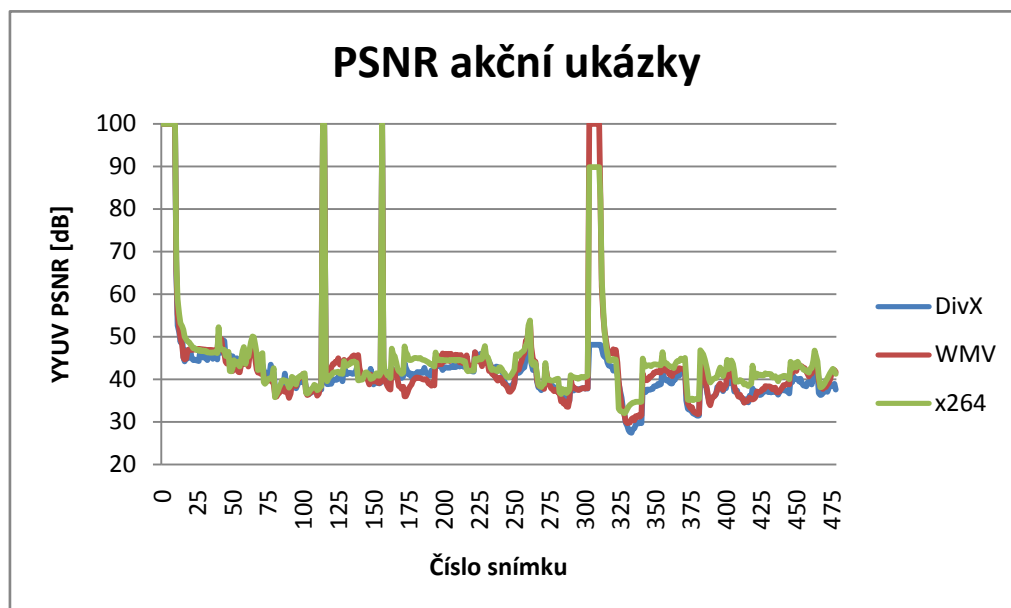


Graf 2 SSIM animované ukázky

4.1.2 Akční ukázka

U PSNR akční ukázky (Graf 3) dochází v několika místech pro formáty x264 a WMV k prudkému skokovému nárůstu a poklesu hodnot v místech, kde v referenčním videu probíhá silné „probliknutí“ scény a naopak v místě, kde je tzn. „zatmíváčka“ (přechod přes černou obrazovku mezi dvěma snímky). Rozdíly mezi jednotlivými formáty jsou velmi malé, přesto nejlépe vychází x264. Výsledek DivX a WMV se prakticky neliší.

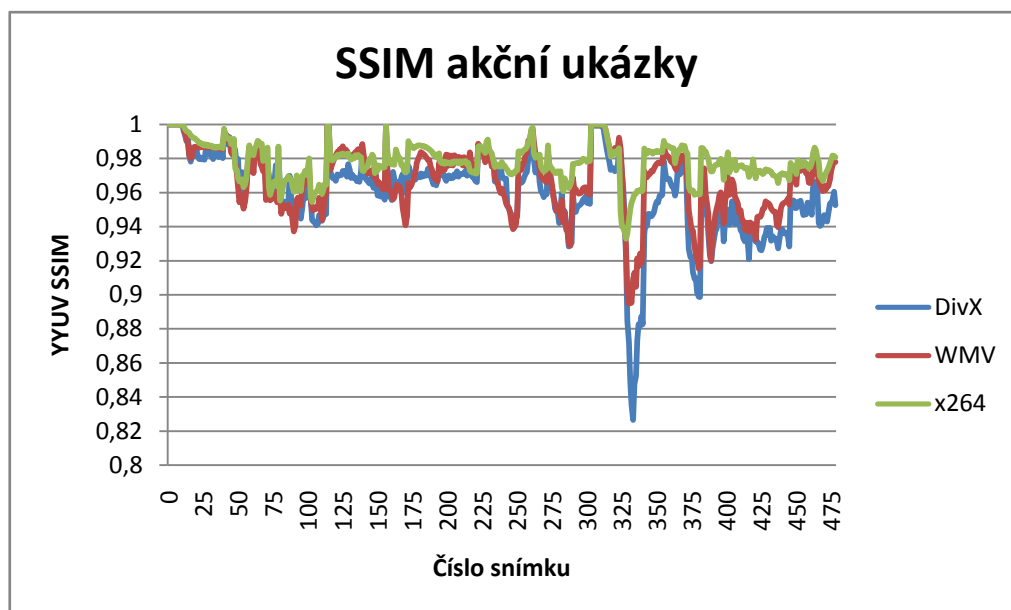
PSNR	DivX	WMV	x264
Průměr [dB]	38,36	38,91	40,92
Pořadí	3.	2.	1.



Graf 3 PSNR akční ukázky

Jak lze z grafů vidět, SSIM metrika (Graf 4) nezaznamenala chybu v místech jako PSNR, ale v místě mezi snímky 325 a 350, kde se nachází scéna s přeletem přes velmi hustě zastavěnou oblast, tudíž scénu s velkým počtem tvarů a detailů. Rozdíly mezi průměrnými hodnotami jsou velmi malé, prakticky nerozlišitelné. x264 znova dosahuje nejlepšího výsledku, přičemž výkyv v náročné scéně není tak markantní jako u ostatních formátů.

SSIM	DivX	WMV	x264
Průměr	0,96	0,97	0,98
Pořadí	3.	2.	1.

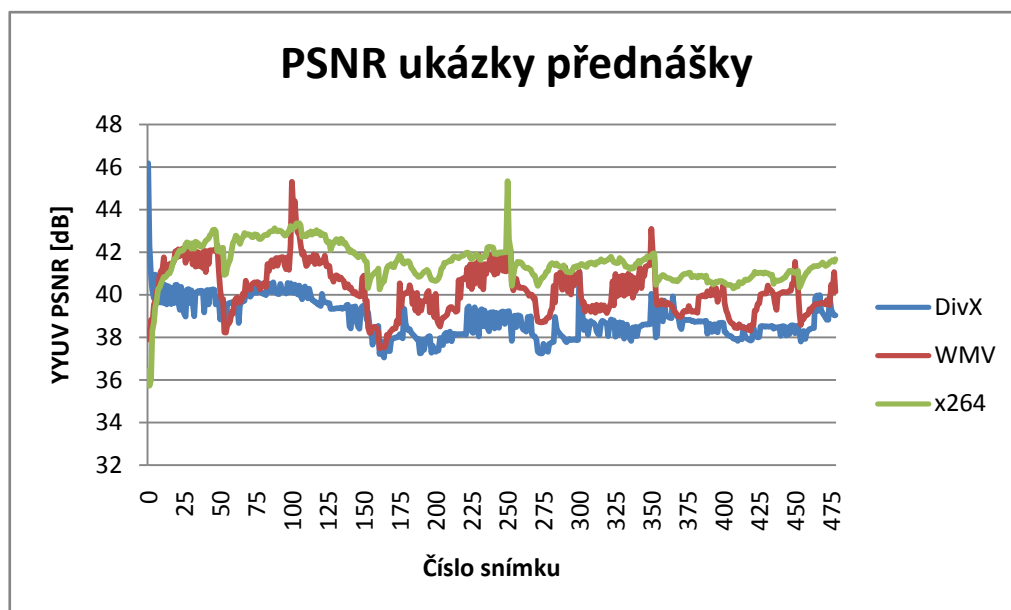


Graf 4 SSIM akční ukázky

4.1.3 Ukázka přednášky

Ukázka přednášky vychází s nejlepším průměrným hodnocením PSNR (Graf 5). Všechny formáty mají v tomto případě průběh bez větších výkyvů. Je to dáno malou dynamikou scény, která se navíc v průběhu ukázky nikterak nemění.

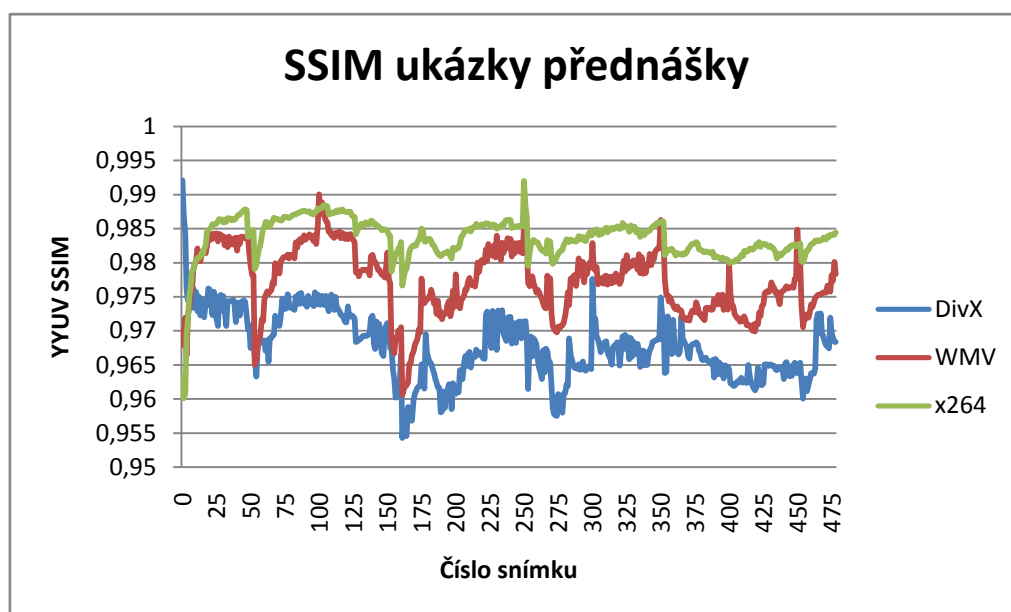
PSNR	DivX	WMV	x264
Průměr [dB]	38,81	40,10	41,43
Pořadí	3.	2.	1.



Graf 5 PSNR ukázky přednášky

Testované formáty se v ukázce přednášky nejméně lišily od referenčního videa také v SSIM metrice (Graf 6). Pouze v tomto případě došlo k jedinému přímo vyrovnanému výsledku mezi formáty x264 a WMV. Formát DivX ale dosáhl také velmi podobného výsledku (jen o 0,01 horší), proto lze považovat tuto scénu za nejvyrovnanější, s níž si také dané formáty poradily nejlépe.

SSIM	DivX	WMV	x264
Průměr	0,97	0,98	0,98
Pořadí	2.	1.	1.



Graf 6 SSIM ukázky přednášky

4.2 Empirické porovnání

Pro empirické porovnání kvality video kodeků byl připraven v dotazníkovém systému eQuest [<http://wvc.pf.jcu.cz/equest>] online dotazník se škálovatelnými odpověďmi od 0 pro nejhorší ohodnocení do 100 pro nejlepší ohodnocení.

Ke všem videím byly pokládány vždy 3 stejné otázky:

1. Jak hodnotíte kvalitu ostroty hran?
2. Jak hodnotíte kvalitu ploch (textur)?
3. Jak hodnotíte celkovou kvalitu videa?

Respondenti byli podrobněji seznámeni se smyslem otázek a byly jim vysvětleny případné nejasnosti. Taktéž byl naznačen další postup testování, aby nedošlo k nedorozumění a nepochopení.

Při vlastním testování byly postupně přehrávány všechny video ukázky. V tomto pořadí: animovaná ukázka, akční ukázka a ukázka přednášky. Pro každý typ ukázky byla jako první přehrána referenční (nekomprimovaná) verze, po níž následoval formát DivX, formát WMV a jako poslední formát x264. Respondenti nebyli předem seznámeni s pořadím ani použitými formáty. Komprimované ukázky byly přehrány celkem dvakrát, kvůli ohledu na respondenty, kteří tak případně mohli upravit své ohodnocení.

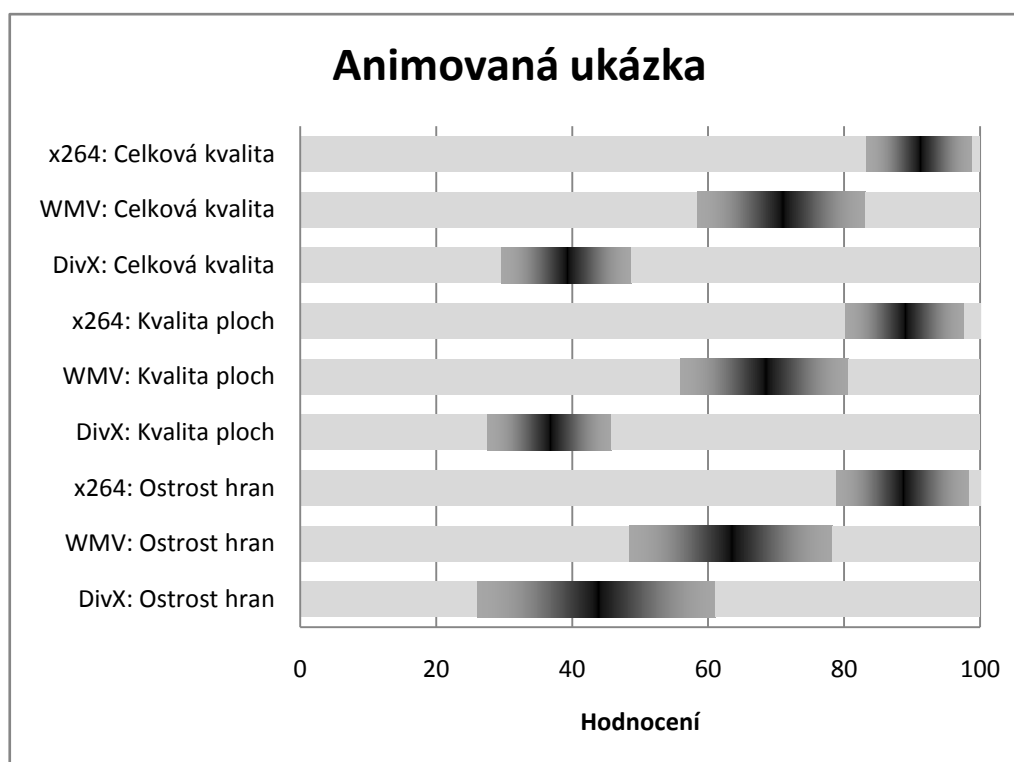
Celkem byly provedeny tyto testování ve dvou skupinách, čímž bylo dosaženo konečného počtu 36 hlasů.

4.2.1 Animovaná ukázka

Na Graf 7 Hodnocení pro animovanou ukázku, vyhodnoceného z dotazníku empirického testu, se potvrdil předpoklad, že formát x264 bude dosahovat nejlepších výsledků v animované ukázce. Taktéž zde lze pozorovat největší rozdíly mezi jednotlivými formáty.

Například při měření celkové kvality dosáhl DivX váženého průměru 39 bodů, WMV 71 bodů a x264 91 bodů. Formát x264 získal vysoké hodnocení s malou směrodatnou odchylkou, tudíž většina respondentů považovala danou kvalitu za vysokou a proto hodnotila jednotněji, než v ostatních případech. To je v grafu znázorněno malou šířkou barevného pruhu. V celkové kvalitě formát x264 hodnotilo 22 z 36 respondentů stupnicí 90, což potvrzuje vysokou kvalitu ukázky v tomto formátu.

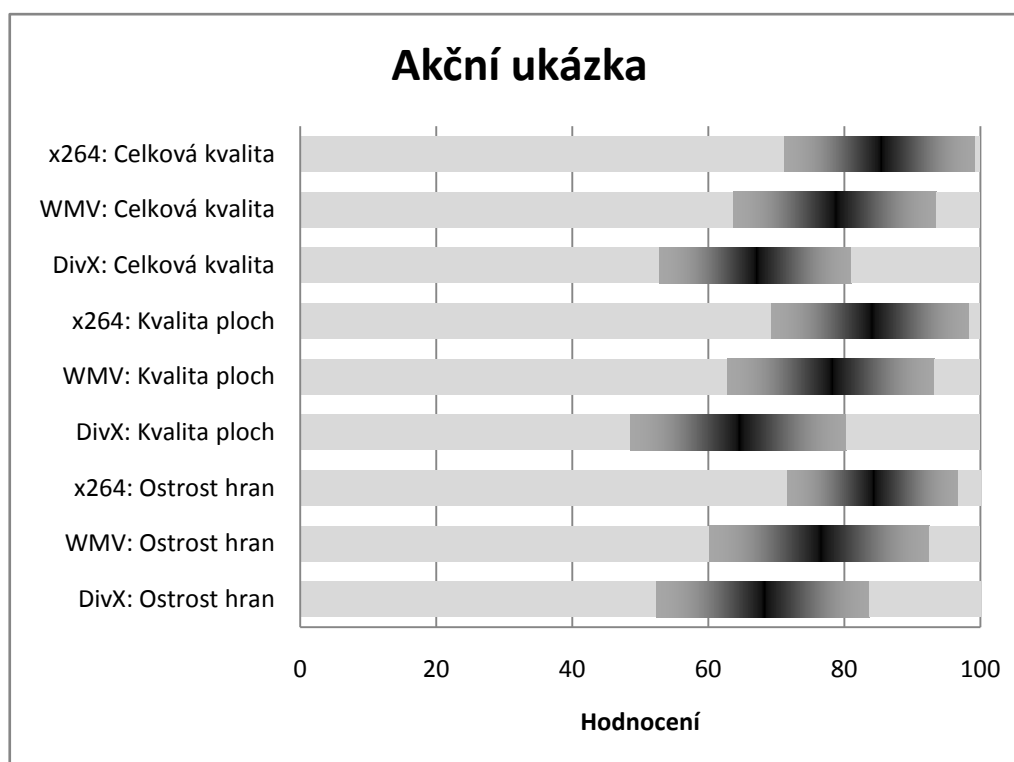
Nejhůře naopak v této ukázce dopadl formát DivX, který navíc spolu s formátem WMV má vyšší směrodatnou odchylku.



Graf 7 Hodnocení pro animovanou ukázkou

4.2.2 Akční ukázka

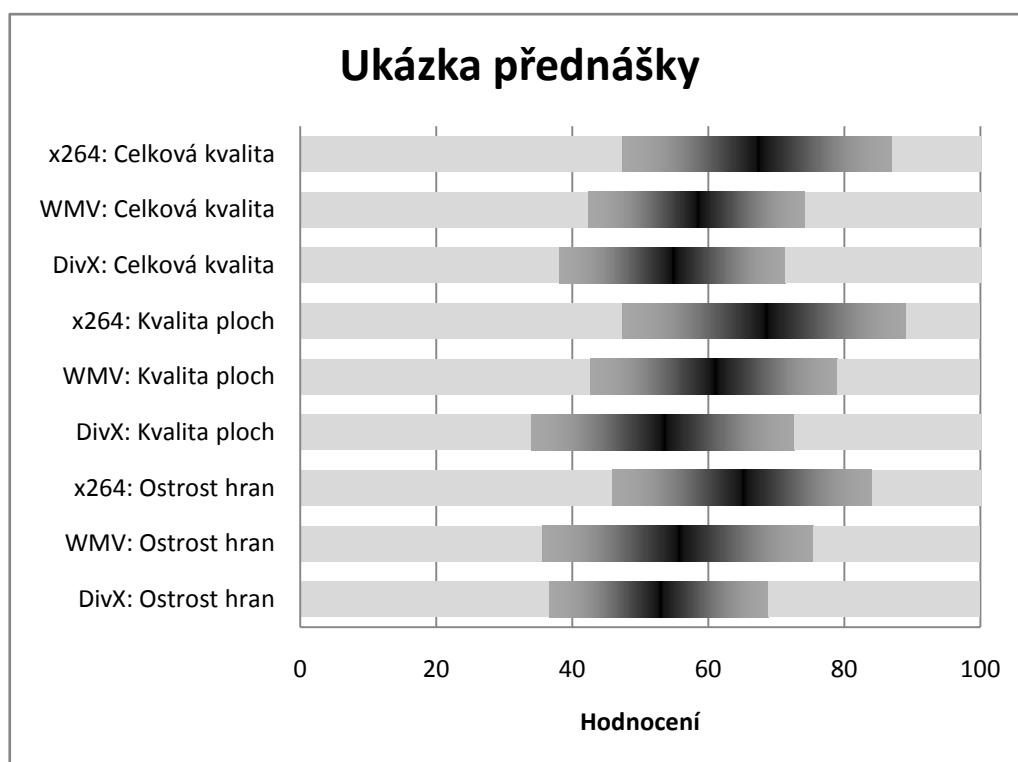
Akční ukázka získala u všech formátů vyššího váženého průměru s výjimkou x264. Zároveň se však zvýšila směrodatná odchylka, která potvrzuje, že u rychle se měnících scén respondenti nevnímají kvalitu ukázky jednotně a hodnotí tak širší škálou bodů. Také hodnocení ostroty hran a kvality ploch je v tomto případě obtížné kvůli povaze scény, nicméně v celkové kvalitě po vyhodnocení vyšel s nejvyšším bodovým ziskem formát x264, za ním WMV a jako poslední DivX. Ten také dosáhl v této akční ukázce jednoznačně svého nejlepšího výsledku. V animované ukázce a ukázce přednášky DivX získal horší hodnocení. Předpoklad, že v této ukázce bude rozptýl hlasování největší, se nepotvrdil. Vyšších hodnot nabývá rozptýl ukázky přednášky.



Graf 8 Hodnocení pro akční ukázku

4.2.3 Ukázka přednášky

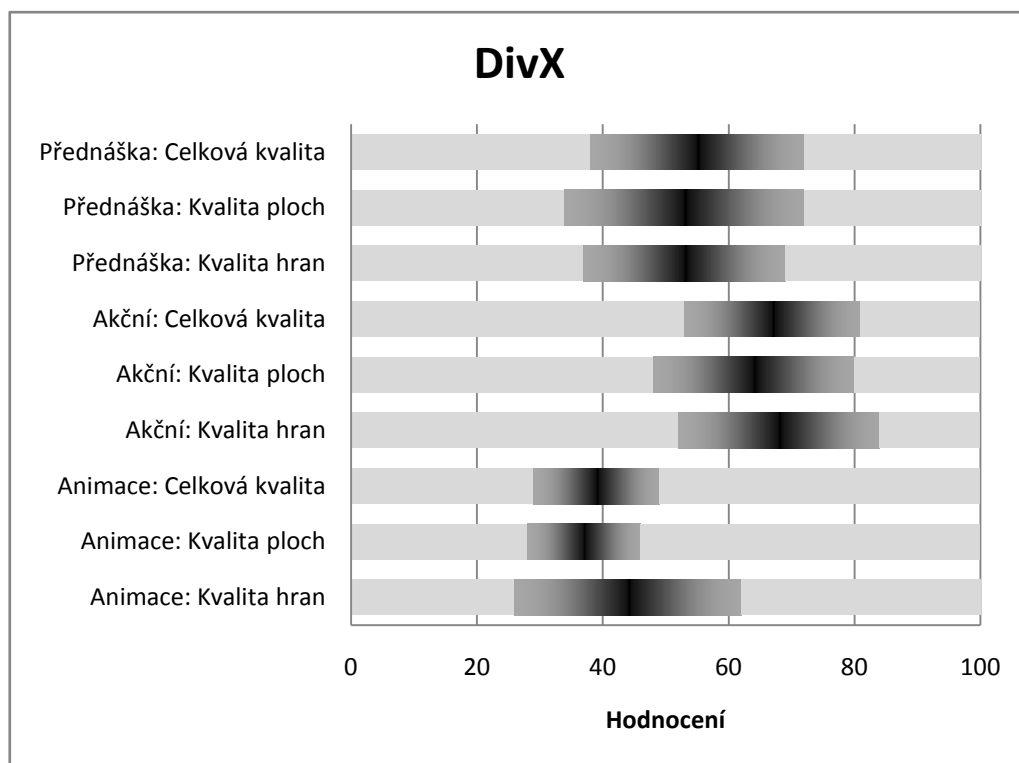
V ukázce přednášky dosáhly testované formáty mezi sebou nejmenšího rozdílu. Respondenti považovali kvalitu této ukázky za průměrnou a znova se opakuje situace, kdy nebyli jednotní v hlasování, které tak má ze všech měření nejvyšší směrodatnou odchylku. I formát x264 má v tomto případě největší rozptyl hodnocení ze všech svých předchozích ukázek. Může to být dáno povahou scény, kdy mají respondenti dostatek času pozorovat detaily a tím i případné projevy špatné komprese.



Graf 9 Hodnocení pro ukázkou přednášky

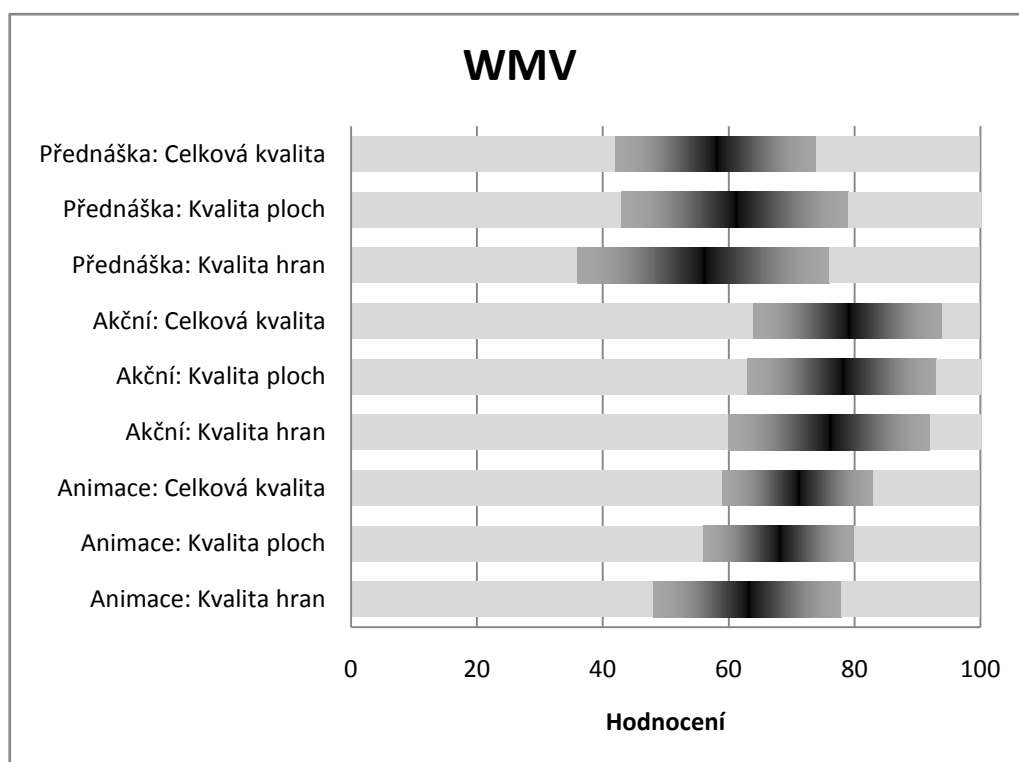
4.2.4 Shrnutí celkové kvality

DivX získal nejvyšší hodnocení v akční ukázce, tudíž je tato scéna pro tento formát nejvhodnější. V porovnání s ostatními formáty však nedosahuje jejich výsledku ani v akční ukázce. Také se ukázalo se, že se nehodí na kompresi animovaných ukázek. U měření kvality ploch v animované ukázce získal velmi malé hodnocení s nízkou směrodatnou odchylkou, což znamená, že se většina respondentů shodla a použila stejné ohodnocení.



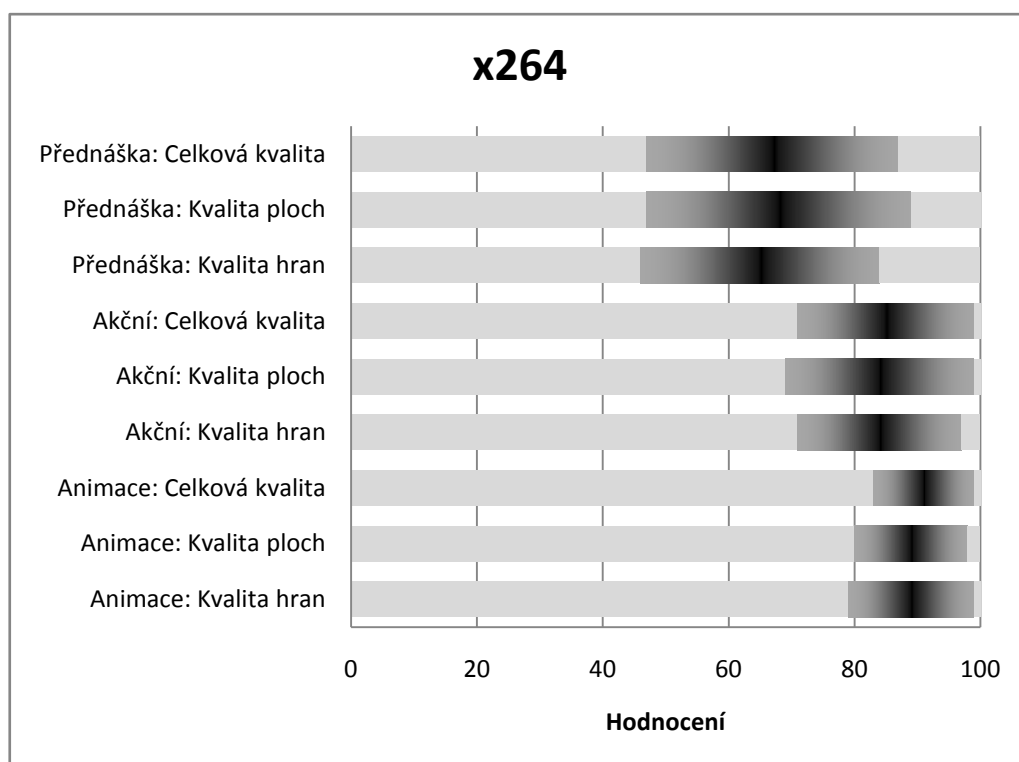
Graf 10 Hodnocení jednotlivých ukázek v DivX

WMV také dosáhl nejlepšího hodnocení v akční ukázce, ale jeho hodnocení je výrazně větší než v případě DivX. Dobrého výsledku dosáhl i v kompresi animované ukázky. Stále je ale dobře použitelný pro statické snímky typu přednášky.



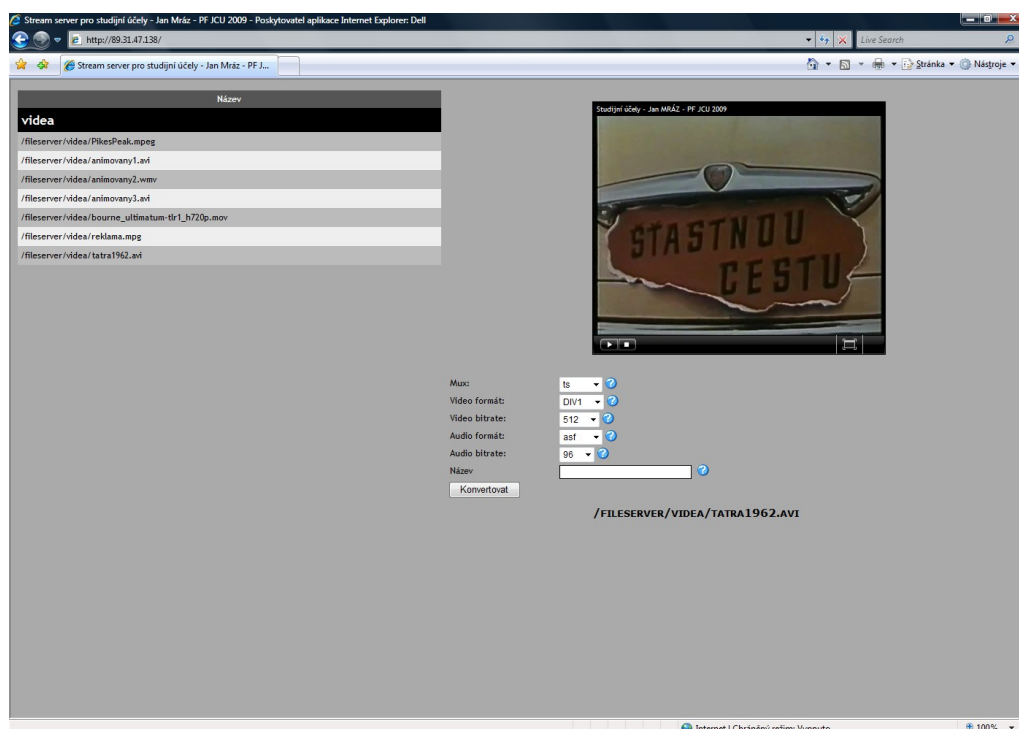
Graf 11 Hodnocení jednotlivých ukázek v WMV

U x264 se potvrdil předpoklad, že výrazně lepších výsledků bude dosahovat u animované ukázky. Ta je převážnou částí respondentů hodnocena velmi vysoko navíc s malou směrodatnou odchylkou, která značí malý rozptyl hodnoty hodnocení. V animované ukázce dosáhl x264 nejlepšího hodnocení, je proto nejvhodnější na kompresi tohoto typu videa. Celkově je x264 ve všech případech hodnoceno nejvýše, ale u akční ukázky a ukázky přednášky nedosahuje tak výrazně vyšších rozdílů oproti WMV.



Graf 12 Hodnocení jednotlivých ukázek v x264

4.3 Webová aplikace



Obrázek 8 Nástroj pro publikování a konverzi videa na internetu

Pro praktickou část byla navržnuta a vytvořena webová rozhraní pro nástroj pro streaming po internetu.

Webový i souborový server je vytvořen na linuxové distribuci Slackware 12.0.0. Webová stránka obsahuje ActiveX prvek programu VLC, který je nutno nainstalovat pro správnou funkci v internetových prohlížečích Mozilla Firefox a Internet Explorer.

Streamovací systém je založen na využití programu VLC [27], který je ve verzi 0.8.6f také nainstalován na serveru. Programu VLC jsou pomocí vytvořeného skriptu předávány parametry pro streaming nebo konverzi souborů. Ovládání přehrávání a tlačítka pro zobrazení na celou obrazovku je řešen pomocí java skriptu. Výběr programu VLC je dán jednak podporou streamování pomocí několika hlavních streamovacích protokolů a dále díky

široké škále podporovaných video i audio formátů. Schopnosti tohoto vytvořeného streamovacího nástroje jsou proto odvozeny od podpory formátů programu VLC. [28]

Ovládání je intuitivní a jednoduché. Po kliknutí na položku v seznamu nalevo a stisknutí tlačítka Play dojde k přehrávání v ActiveX prvku. Tlačítkem Stop lze příchozí stream ukončit. Tlačítko Fullscreen zobrazí video přes celou obrazovku. Pro konverzi stačí kliknout na požadovaný soubor v seznamu a pomocí roletek vybrat požadované nastavení (kontejner, video formát, bitrate videa, audio formát, bitrate audia a cestu pro uložení). Tlačítkem Konvertovat dojde k převedení.

Celou funkčnost systému lze jednoduchým zásahem do skriptu modifikovat podle konkrétních požadavků. Největší silou tohoto nástroje je široká podpora formátů, což je největší slabinou jiných streamovacích systémů (viz kapitola 2.4 Platformy)

5 Závěr

Ze stanovených předpokladů se nepotvrdil předpoklad největšího rozptylu odpovědí pro empirické měření akční ukázky. Pro tuto ukázky byl rozptýl sice vysoký, ale ve větší míře se projevil u ukázky přednášky. To může být způsobenou povahou scény, kde mají respondenti oproti rychlým akčním scénám dostatek času vnímat možné ruchy a nekvalitní kompresi.

Předpoklad největšího vzájemného rozdílu mezi formáty byl u animované ukázky. Z empirického i matematického testu byly získány hodnoty s největším rozdílem mezi jednotlivými formáty. Ze všech měření získal formát x264 v animované ukázce nejvyšší hodnocení potvrzené i největším naměřeným indexem matematické metriky SSIM. Z těchto důvodů lze tento formát považovat za velmi vhodný pro kompresi animovaných scén.

V porovnání zdrojového a komprimovaného videa pomocí obou metod (empirického a matematického testu) došlo ke shodě výsledku těchto metod. Pořadí podle výsledku seřazených formátů je stejné pro empirický test i matematické metriky PSNR a SSIM. U metriky PSNR jsou však rozdíly mezi jednotlivými formáty větší než rozdíly mezi jednotlivými formáty měřené metrikou SSIM. Mohla by proto nastat situace, kdy matematická metrika nebude odpovídat výsledkům empirického testu. Z tohoto důvodu byly testované ukázky měřeny dvěma matematickými metrikami.

Z celkového porovnání formátů vychází s nejlepšími výsledky formát x264, jakožto nejnovější formát standardu MPEG-4 AVC, a lze tak do budoucna očekávat masivní rozšíření tohoto formátu. Největší kvality dosáhl v animované ukázce, v které měly ostatní dva formáty podstatně horší hodnocení. V matematickém testu se rozdíly v kvalitě ve všech ukázkách mezi jednotlivými formáty prolínaly. Přesto byl při empirickém měření animované

ukázky špatně hodnocen formát DivX. Ten s formáty WMV a x264 drží krok pouze v ukázce přednášky a částečně v akční scéně. Přestože je v dnešní době tento formát jeden z nejrozšířenějších a např. čas potřebný ke kompresi do tohoto formátu byl nejkratší, lze očekávat jeho nahrazení formáty x264 (díky výsledné kvalitě) nebo WMV (díky jeho široké kompatibilitě a podpoře v systémech Windows).

Reference

- [1] Video na PC : Digitalizace obrazu [online]. [2008] [cit. 2008-10-12].
Dostupný z WWW: <<http://sites.google.com/a/aztip.cz/video/nataceni-a-strih-videa/digitalni-video/digitalizace-obrazu>>.
- [2] Video na PC : Datový tok [online]. [2008] [cit. 2008-10-12]. Dostupný z
WWW: <<http://sites.google.com/a/aztip.cz/video/nataceni-a-strih-videa/digitalni-video/datovy-tok>>.
- [3] KOMOSNÝ, Dan. Nové směry vývoje protokolu RTP/RTCP pro rozsáhlé
konference v Internetu [online]. 2004 [cit. 2008-10-16]. Dostupný z
WWW: <<http://www.elektrorevue.cz/clanky/04052/index.html>>.
- [4] MACK, Steve. Streaming Media Bible. The Streaming Media Bible
Companion Site [online]. 2002 [cit. 2009-01-26]. Dostupný z WWW:
<<http://www.streamingmediabible.com/>>.
- [5] AUSTERBERRY, David. The Technology of Video and Audio Streaming.
[s.l.] : [s.n.], 2005. 357 s. ISBN 0240805801.
- [6] GHANBARI , Mohammed. Standard Codecs—Image Compression to
Advanced Video Coding. [s.l.] : [s.n.], c2003. 403 s. ISBN 0852967101.
- [7] VATOLIN, D., et al. Compression.ru project [online]. 2001-2008 [cit. 2009-
01-26]. Dostupný z WWW: <
http://www.compression.ru/video/quality_measure/info_en.html>.
- [8] WANG, Zhou, et al. Image Quality Assessment: From Error Visibility to
Structural Similarity [online]. 2004 [cit. 2009-01-26]. Dostupný z WWW:
<http://www.compression.ru/video/quality_measure/ssim.pdf>.
- [9] VATOLIN, D., et al. Compression.ru project [online]. 2001-2008 [cit. 2009-
01-26]. Dostupný z WWW: <http://www.compression.ru/index_en.htm>.

- [10] ShareVideo.cz : Nejčastější video formáty [online]. [2008] [cit. 2009-01-08]. Dostupný z WWW: <<http://www.sharevideo.cz/nejcastejsi-video-formaty>>.
- [11] MIKE. TV Freak : Kontejner není kontejner [online]. c1998-2009 [cit. 2009-01-13]. Dostupný z WWW: <http://www.tvfreak.cz/art_doc-7336C842E0DDDE25C125727C0059416E.html>.
- [12] JECH, Vladislav. Jech Webz : Digitální formáty zvuku a videa [online]. 2.10.2003 [cit. 2008-10-16]. Dostupný z WWW: <<http://jech.webz.cz/formaty.php>>.
- [13] MIKE. TV Freak : Přehled video formátů a kodeků [online]. c1998-2009 [cit. 2009-01-26]. Dostupný z WWW: <http://www.tvfreak.cz/art_doc-601DF50D4AB6DCFFC125727C005A265D.html>.
- [14] NOVÁK, Milan. Voxcafe - Internet full service : Video formát FLV [online]. c2009 [cit. 2008-10-25]. Dostupný z WWW: <<http://www.voxcafe.cz/clanky/webcasting/video-format-flv.html>>. ISSN 1802-2804.
- [15] Video na PC : MPEG 2 [online]. c2000-2009 [cit. 2008-10-19]. Dostupný z WWW: <<http://www.video.az4u.info/redakce/index.php?clanek=4264&xuser=&lang=cs&slozka=3065&xsekce=3113>>.
- [16] MIKE. TV Freak : Jak funguje MPEG? [online]. c1998-2009 [cit. 2009-01-26]. Dostupný z WWW: <http://www.tvfreak.cz/art_doc-EB2FC0AFD59C18A6C125727C005A2624.html>.
- [17] Windows media : VC-1 Technical overview [online]. c2009 [cit. 2009-01-20]. Dostupný z WWW: <http://www.microsoft.com/windows/windowsmedia/howto/articles/vc1techoverview.aspx#VC1_Profiles_and_Levels>.

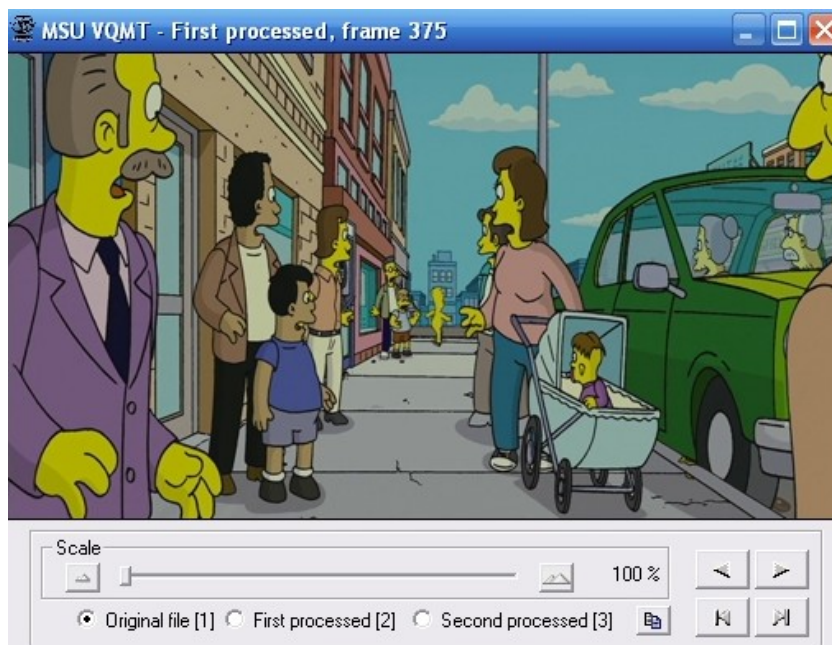
- [18] Windows media : Windows Media 9 series codecs [online]. c2009 [cit. 2009-01-20]. Dostupný z WWW: <<http://www.microsoft.com/windows/windowsmedia/forpros/codecs/video.aspx>>.
- [19] SNOPEK, Jiří. Streaming s pomocí VLC (Jiří Snopek). Audiovizuální centrum studentů ČVUT [online]. 2006 [cit. 2009-01-26]. Dostupný z WWW: <<http://www.avc-cvut.cz/avc.php?id=3495>>.
- [20] FOLLANSBEE, Joe. Get Streaming! : Quick Steps to Delivering Audio and Video Online. [s.l.] : [s.n.], c2004. 243 s. ISBN 0240805593.
- [21] HANZO, L., CHERRIMAN, P.J., STREIT, J. Video compression and communications. [s.l.] : [s.n.], [200-?]. 704 s. ISBN 9780470518496.
- [22] Microsoft Windows Media — Your Digital Entertainment Resource [online]. [2008], [cit. 2009-01-26]. Dostupný z WWW: <<http://www.microsoft.com/windows/windowsmedia>>.
- [23] BĚHAL, David. Technológia streamingu pre virtuálne prostredie. [s.l.], 2008. 75 s. UNIVERZITA KOMENSKÉHO V BRATISLAVE. Vedoucí diplomové práce Doc. RNDr. Andrej Ferko, PhD. Dostupný z WWW: <<http://www.dejw.sk/dokumenty/DP.pdf>>.
- [24] Cesnet [online]. c1996-2009 [cit. 2009-01-26]. Dostupný z WWW: <<http://www.cesnet.cz/doc/>>.
- [25] KRSEK, Michal, INDRA, Miroslav. Cesnet : Testování softwarových platforem pro přenosy videa [online]. 2001 [cit. 2008-10-16]. Dostupný z WWW: <<http://www.cesnet.cz/doc/techzpravy/2001/06/>>.
- [26] JECH, Vladislav. Jech Webz : Zveřejnění videa na internetu [online]. 2.10.2003 [cit. 2008-10-16]. Dostupný z WWW: <http://jech.webz.cz/video_na_web.php>.

- [27] VideoLAN team. VideoLAN - Free and Open Source software and video streaming solutions for every OS! [online]. [2008] , 2008-02-23 [cit. 2009-01-26]. Dostupný z WWW: <<http://www.videolan.org/>>.
- [28] VideoLAN team. VideoLAN – Streaming feature list [online]. [2008] , 2008-02-23 [cit. 2009-01-26]. Dostupný z WWW: <<http://www.videolan.org/streaming-features.html>>.
- [29] JONES, Tim. IBM : Better networking with SCTP [online]. [2006] [cit. 2009-02-22]. Dostupný z WWW: <<http://www.ibm.com/developerworks/linux/library/l-sctp/>>.
- [30] JAHODA, R. Zachytávání a zpracování videa pro začátečníky. TV Freak [online]. 2005 [cit. 2009-01-26]. Dostupný z WWW: <http://www.tvfreak.cz/art_doc-0A36B9E7454634C9C125728100401D61.html>.

6 Seznam obrázků

Obrázek 1 Základní proces streamingu [20]	12
Obrázek 2 Protokol RTP/RTCP [3]	14
Obrázek 3 Příklad unicastového způsobu komunikace [3]	16
Obrázek 4 Příklad multicastového modelu komunikace [3]	17
Obrázek 5 Procentuální zastoupení přehrávačů	20
Obrázek 6 Diagram metriky SSIM [8]	23
Obrázek 7 Sled snímků MPEG [16]	30
Obrázek 8 Nástroj pro publikování a konverzi videa na internetu	53

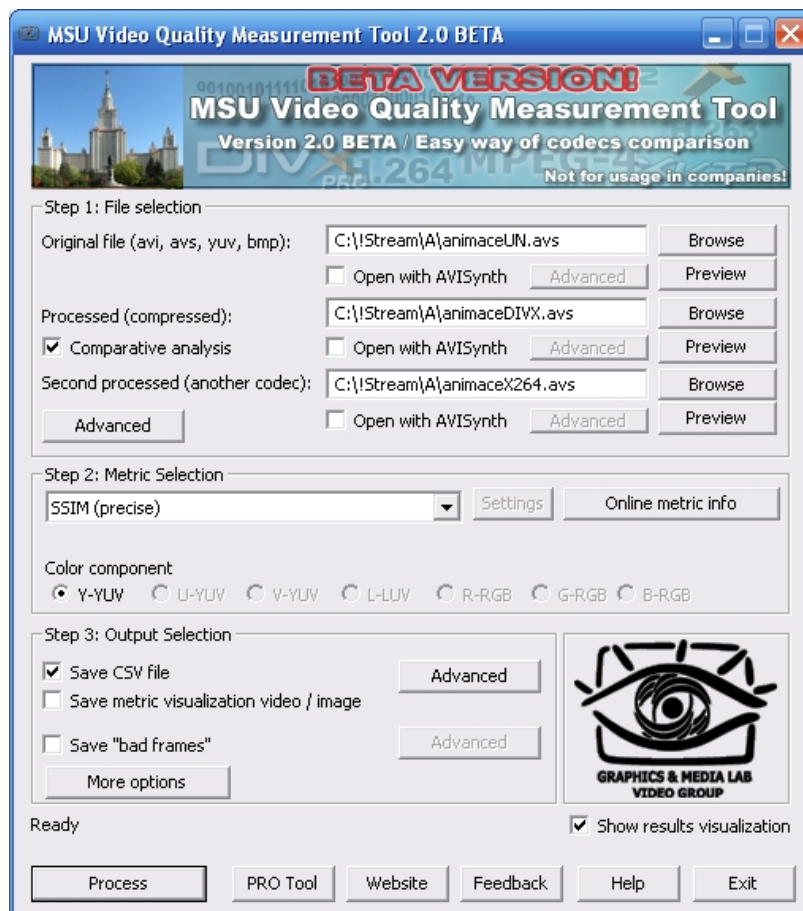
7 Přílohy



Obrázek A Referenční nekomprimovaná animovaná ukázka



Obrázek B Stejná ukázka komprimovaná do formátu DivX



Obrázek C Nástroj MSU VQMT použitý pro měření mat. metrikami

Empirický test 0% 100%

Animovaná ukázka
Ohodnoťte od 0 (nejhorší) do 100 (nejlepší)

	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
1. Video 1 : Ostrost hran	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
2. Video 1 : Kvalita ploch	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
3. Video 1 : Celková kvalita	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
4. Video 2 : Ostrost hran	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
5. Video 2 : Kvalita ploch	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
6. Video 2 : Celková kvalita	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
7. Video 3 : Ostrost hran	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
8. Video 3 : Kvalita ploch	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
9. Video 3 : Celková kvalita	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐

Obrázek D Ukázka online dotazníku

Přiložené médium obsahuje:

- Video ukázky použité při testování (nekomprimované i komprimované)
- Obrázky z přílohy
- Obrázky uložené při testování matematickými metrikami
- Tabulky a grafy obou testování
- Zdrojový kód nástroje pro streaming
- Tato práce v PDF