

MASARYKOVA UNIVERZITA, FAKULTA INFORMATIKY

Akvizice obrazu a zvuku pomocí vybavení laboratoře LEMMA

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Jakub Vejmla

Brno 2008

Prohlášení

Prohlašuji, že tato práce je mým původním autorským dílem, které jsem vypracoval samostatně. Všechny zdroje, prameny a literaturu, které jsem při vypracování používal nebo z nich čerpal, v práci řádně cituji s uvedením úplného odkazu na příslušný zdroj.

Jakub Vejmola

Poděkování

Děkuji především vedoucímu práce RNDr. Petru Sojkovi PhD. za odborné vedení, vstřícný přístup, věcné rady a připomínky. Zároveň děkuji všem svým blízkým, kteří mi byli oporou při psaní tohoto textu.

Shrnutí

Cílem práce je seznámit čtenáře s technikou laboratoře LEMMA a vysvětlit pojmy týkající se obrazové a zvukové akvizice. Materiál má být teoretickým návodem k práci se záznamovou technikou. Krátce se také věnuje analýze potřeb laboratoře LEMMA a zmiňuje se o jejím rezervačním systému.

Klíčová slova

Video, audio, akvizice, záznamová technika, kamera, LEMMA, analýza potřeb, rezervační systém

Obsah

| | |
|---|-----------|
| 1. Úvod | 1 |
| 1.1 Motivace práce | 1 |
| 1.2 Obsah práce | 1 |
| 1.3 Multimediální příloha práce | 1 |
| 1.4 Laboratoř LEMMA | 2 |
| 1.5 Legenda | 2 |
| 2. Vybavení laboratoře LEMMA | 3 |
| 2.1 Technika před rokem 2006 | 3 |
| 2.2 Analýza potřeb, nová technika | 4 |
| 3. Akvizice obrazu | 6 |
| 3.1. Objektiv | 6 |
| 3.1.1. Vlastnosti objektivů | 6 |
| 3.1.2. Ostření | 7 |
| 3.1.3. Optické vady objektivů | 7 |
| 3.2 CCD snímač | 8 |
| 3.2.1 Jednočipový systém | 8 |
| 3.2.2 Tříčipový systém | 9 |
| 3.4 Expozice | 10 |
| 3.4.1 Čas | 10 |
| 3.4.2 Clona | 11 |
| 3.5 Zisk | 12 |
| 3.6 Vyvážení bílé | 13 |
| 3.7 Stabilizace obrazu | 15 |
| 3.7.1 Interní stabilizační systémy kamer | 15 |
| 3.7.2 Nástroje a zařízení pro externí stabilizaci kamer | 16 |
| 3.8 Režimy záznamu | 18 |
| 3.8.1 Standardní/Vysoké rozlišení | 18 |
| 3.8.2 Snímkování | 19 |
| 3.9 Rozhraní pro přenos obrazu | 20 |
| 3.9.1 Digitální rozhraní | 20 |
| 3.9.2 Analogová rozhraní | 21 |
| 4. Akvizice zvuku | 22 |
| 4.1 Mikrofony | 22 |
| 4.1.1 Směrové charakteristiky | 22 |
| 4.1.2 Záznam stereo zvuku | 23 |
| 4.1.3 Zapojení, napájení | 24 |
| 4.1.4 Zisk | 25 |
| 4.2 Mixování | 26 |
| 5. Rezervační systém | 28 |

| | |
|----------------------------|-----------|
| 5.1 Motivace systému | 28 |
| 5.2 Funkce systému | 28 |
| 6. Závěr | 29 |
| 7. Literatura | 30 |
| 8. Přílohy | 31 |

1. Úvod

1.1 Motivace práce

Na Fakultě informatiky Masarykovy univerzity (dále jen FI) existuje řada předmětů, jež se věnují zpracování, kódování a přenosu obrazu a zvuku. Neexistuje však konkrétní předmět ani ucelený text, který by studenty seznámil s problematikou akvizice a práce se záznamovou technikou. Přitom akvizice stojí na začátku produkčního řetězce a při jejím zanedbání je pak jakákoliv další práce negativně poznamenána. Chyby učiněné už při záznamu videa či audia se totiž později velmi těžko odstraňují.

Multimédia bezesporu patří mezi velmi důležité informační technologie a na FI je jim věnována náležitá pozornost především v laboratoři elektronických multimediálních aplikací (LEMMA) a v laboratoři pokročilých síťových technologií (SITOLA). Text této práce je určen především studentům, jež se aktivně zapojují do práce těchto laboratoří ale také všem, jež chtějí získat znalosti v oblasti video/audio akvizice. Jako podpůrný text pak může sloužit především v předmětech *PV110 – Softwarové elektronické publikace I*, *PV113 - Softwarové elektronické publikace II* a *PV188 – Principy přenosu a zpracování multimédií*.

1.2 Obsah práce

Práce je rozdělena na 6 zásadních kapitol. Úvodní kapitolu právě pročítáte. Kapitola 2 se krátce věnuje analýze potřeb laboratoře LEMMA, která v roce 2006 nakoupila nové vybavení určené právě pro akvizici obrazu a zvuku. Součástí zadání práce bylo autorovo zapojení do výběru nové techniky a agenda s tímto spojená. Kapitola tedy vysvětluje nákup dané techniky a její budoucí využití. Třetí resp. čtvrtá kapitola se pak věnuje akvizici videa resp. audia. Postupně jsou vysvětleny zásadní akviziční pojmy, problémy a jejich konkrétní výskyt a řešení na laboratorní technice. Poslední důležitá část je kapitola 5. Ta se krátce zmiňuje o rezervačním systému laboratoře LEMMA. Kapitola 6 nakonec shrnuje celou práci.

1.3 Multimediální příloha práce

Součástí práce je multimediální příloha ve formě DVD-VIDEO. Ta ukazuje konkrétní praktické řešení akvizičních problémů na laboratorní kameře Canon XH-A1, jelikož ta umožňuje demonstrovat všechny požadované funkce. Zároveň tento videozáznam slouží jako průvodce k použití zmíněné kamery. Příloha se opírá o textovou část práce.

1.4 Laboratoř LEMMA

Laboratoř původně vznikla v roce 1999 za účelem přípravy multimediálního disku k 5. výročí FI. O dva roky později získala finanční grant na vybudování stříhového pracoviště a zároveň tak vznikla tradice filmových festivalů. Multimediální DVD k 10. výročí fakulty už obsahovalo několik ukázek studentské filmové tvorby a také video-medailonky všech laboratoří školy. O tuto náplň se postarali právě členové laboratoře LEMMA. V současné době sdružuje studenty, jež se zajímají především o stříh videa a produkci studentských filmů. Nabízí jim důstojné moderní zázemí s poloprofesionální A/V technikou a podporuje tak vznik dalších studentských snímků v rámci předmětů PV110 a PV113. V roce 2006 získala LEMMA další významný grant – jeho dosah vysvětluje kapitola 2.

1.5 Legenda

Poznámky, které se vztahují ke konkrétní technice, jsou vždy označeny logem laboratoře:



Pokud je daná problematika vysvětlena na přiloženém DVD, pak je označena symbolem disku DVD:



2. Vybavení laboratoře LEMMA

Finanční grant, který laboratoř obdržela z Fondu rozvoje vysokých škol v roce 2006, měl vyřešit déletrvající problém dosavadního vybavení – co do kvality i co do kvantity. Počet studentů, majících zájem o vytvoření vlastního filmového díla, se každoročně zvětšoval a laboratoř již nebyla schopna pokrýt jejich potřeby. Za pár let fungování laboratoře navíc technika stihla již zastarat a neodpovídala dnešním standardům a trendům. Jedním z praktických úkolů pro autora této práce bylo analyzovat potřeby laboratoře do dalších let a sestavit z odpovídajících komerčních produktů funkční celek, který pokryje požadavky na celou produkci studentských filmů a ostatních podobných projektů FI (tvorba prezentačních a studijních materiálů, záznamy přednášek a meetingů). Výběr techniky byl průběžně konzultován s řešitelem projektu (a zároveň vedoucím této práce RNDr. Petrem Sojkou PhD. a se zástupci laboratoře SITOLA. Kromě toho byl také nákup diskutován se studenty. Kapitola tedy poukáže na nedostatky vybavení laboratoře používané do roku 2006 a pokusí se vysvětlit výběr techniky zakoupené v rámci grantu.

2.1 Technika před rokem 2006

Následující řádky popíší techniku, kterou LEMMA disponovala do roku 2006:

1. Kamery

Canon MV30i (miniDV), **Sony DCR-DVD200E** (DVD) – problém těchto kamer byl především v jejich počtu. Při vzniku až 10 filmů za jediný semestr bylo nemožné uspokojit všechny studenty, kteří tak často museli sahat po vlastním řešení. Navíc obě kamery pocházejí ze spotřebitelského segmentu – neumožňují nastavit řadu parametrů a funkcí a plně tak ovládnout kvalitu záznamu. Kamera Sony navíc záznam ukládá na DVD (přímo do formátu DVD-VIDEO) a při tomto procesu dochází ke kompresi a zároveň k jisté ztrátě kvality. Stříh komprimovaného materiálu na původním počítači **HYPNOS** (viz. dále) způsoboval problémy a časté pády softwaru.

2. Zvuková technika

- a) Mikrofon **Sony ECM S959** – jedná se o kvalitní stereo-mikrofon, který splňuje i budoucí požadavky. Problémem byla opět především kvantita.
- b) MiniDisc rekordér **Sony MZ-N910** – spolehlivé zařízení pro oddělený záznam zvuku.

3. Počítač

Stříhový stroj **HYPNOS** (procesor Intel Pentium 4 2.8 GHz, operační paměť 2 GB RAM, pevné disky 120+200+500 GB, zvuková karta SB Live 1024, mechanika DVD-RW Teac DV-W516GB, grafická karta Radeon 9200, monitor 22" NEC Multisync FE 1250) – zmíněný problém platil i pro počítač – ač byl bez větších problémů schopen stříhat video ve standardním rozlišení,

jediný stroj nemohl pokrýt potřeby celé laboratoře. Kromě toho disková kapacita byla vzhledem k obrovským souborům videa také velmi limitující.

4. Ostatní technika

- a) Stativy – ke kamerám byly k dispozici 2 stativy – jeden jednoduchý, lehký – **Velbon CX-586/F2**, druhý poloprofesionální s fluidní hlavou – **Fomei W-500**.
- b) Externí disk **Seagate Barracuda 320 GB** – mobilní disk, určený pro přenos velkých video-souborů (pro práci doma či na vlastním notebooku)
- c) Video-lampa **Unomat DC 2000** – přisvětlení scény bylo možné realizovat pouze malou lampou, která se připojuje do patice kamery.

2.2 Analýza potřeb, nová technika

Jak je patrné z předchozího seznamu, bylo nutné laboratoř vybavit po všech směrech. Následující seznam jednotlivě představí veškerou podstatnou A/V a výpočetní techniku zakoupenou v rámci grantu a vysvětlí důvody jejího nákupu:

1. Kamery

Vzhledem k malému počtu kamer do roku 2006 bylo důležité, aby ty nové svým počtem studentům vystačily. Bylo rozhodnuto o nákupu 4 kusů. Kromě kvantity bylo důležitým parametrem především to, zda všechny umožňují záznam ve vysokém rozlišení – HD (po technické stránce se HD věnuje kapitola 3.8.1). Pro studenty je důležité, aby měli možnost pracovat s nejvyspělejšími standardy, a proto by byl nákup kamer operujících pouze ve standardním rozlišení krokem zpět. Navíc by laboratoř měla nabídnout i práci s moderní profesionální technikou pro studenty, kteří již s akvizicí zkušenosti mají a nadále své schopnosti chtějí rozvíjet. Na druhou stranu by nováčkům v tomto oboru měla nabídnout nenáročnou amatérskou techniku pro základní zaškolení. Výsledkem této analýzy byl nákup dvou rozdílných typů kamer po dvou kusech:

- a) **Canon XH-A1** – tato kamera je zástupcem poloprofesionálního stroje. Umožňuje nastavit všechny důležité parametry související s akvizicí obrazu (částečně i zvuku) manuálně. Uživateli nabízí plnou kontrolu nad záznamem a volný přechod mezi amatérským a profesionálním zařízením – je tedy vhodná především pro studenty, kteří již s akvizicí zkušenosti mají.
- b) **Sony HDR-HC3E** – kamera spotřebitelského segmentu určená pro nenáročného uživatele. Umožňuje studentům základní seznámení s akvizicí. Manuálně lze řídit jen zlomek funkcí.

Obě kamery samozřejmě splňují předpoklad záznamu obrazu v HD.

2. Zvuková technika

Ve filmech připravených na filmové festivaly FI před rokem 2006 je znát velké podcenění významu zvuku. Vzhledem k nevybavenosti laboratoře studenti často spoléhali pouze na mikrofony integrované v kamerách a podle toho také vypadaly výsledky – nesrozumitelné dialogy,

šum, nekonkrétnost, apod. Aby se nové snímky přiblížily profesionálním, bylo rozhodnuto o nákupu několika druhů mikrofonů, mixážního pultu a velkého množství příslušenství:

- a) Mikrofony (**Shure Beta 58A**, **Rode NTG-2**, **Sennheiser ME62**, **bezdrátová souprava Sennheiser EW122**) – vzhledem k rozdílným potřebám byly zakoupeny mikrofony různých směrových charakteristik a také jedna bezdrátová souprava, která poskytuje mobilitu jak mluvčímu, tak kameramanovi.
- b) Mixážní pult **Behringer XENYX 1202FX** – mixážní pult umožňující zapojení několika mikrofonů a linkových vstupů se základním ekvalizérem a efektovou jednotkou.
- c) Příslušenství – stojany, teleskopická mikrofonní tyč, větrná ochrana, kabely, sluchátka – všechny tyto artikly v laboratoři před rokem 2006 naprosto chyběly. Bez nich samozřejmě není možné s novou zvukovou technikou uspokojivě natáčet.

3. Počítače

Nejdůležitějším kritériem při výběru nových počítačových sestav byla způsobilost ke střihu HD videa. Stroje **HYPNOS2** a **HYPNOS3** jsou proto vybaveny dvoujádrovými procesory Intel Core2 Duo 6600 2,4 GHz, 2 GB operační paměti, grafickým akcelerátorem NVidia GeForce 7600 a především jsou připojeny k obrovskému diskovému poli, které nabízí kapacitu cca 2 TB pro video ve vysokém rozlišení. Pole je přístupné přes rychlé síťové rozhraní iSCSI. Jako primární software pro zpracování videa byl zvolen produkt společnosti Adobe – **Creative Suite 2**, ten v sobě zahrnuje celou škálu programů pro úpravu multimédií (Premiere, After Effects, Photoshop aj.). Pohodlnou práci zaručují 24" monitory Hewlett-Packard.

4. Ostatní technika

- a) Stativy (**Sony VCT-R640**, **Sony VCT-1170 RM**) – ke kameře Canon XH-A1 bylo vhodné koupit alespoň jeden profesionální stativ s dálkovým ovládáním na ručce. Pro udržení dostatečného počtu byl pak přikoupen jeden lehký stativ pro kamery Sony HC-3E.
- b) Klíčovací plátno – od studentů vzešel požadavek na zakoupení barevného plátna pro realizaci speciálních efektů – bylo mu vyhověno.
- c) Profesionální studiová světla – vzhledem k dřívější absenci jakéhokoliv osvětlovacího systému byla do laboratoře zakoupena 2 desková světla **Fomei DESK 330M** včetně stojanů a reflexních deštníků.
- d) Fotoaparáty (**Canon EOS 350D**, **Olympus Mju 700**) – vzhledem k tomu, že se laboratoř neorientuje pouze na zpracování videa, ale obecně na multimédia, byly zakoupeny také 2 fotoaparáty – jedna poloprofesionální digitální zrcadlovka a jeden kompaktní. Uplatnění najdou především při tvorbě story-boardů a dokumentace natáčení.

V tomto výčtu samozřejmě chybí řada drobných položek, jakou jsou kabely, obaly, kufrы, držáky apod. Bez nich by se samozřejmě laboratoř neobešla, ale v této práci nemá smysl je všechny jmenovat.

3. Akvizice obrazu

Nyní se dostáváme k nejdůležitější části práce. Popisuje nejdůležitější pojmy, které se vážou k akvizici obrazu. Krok po kroku vysvětluje jejich dopad na kvalitu pořízeného záznamu, poskytuje čtenáři teoretický základ a poukazuje na časté chyby. V praxi lze tyto zkušenosti využít ke správnému nastavení všech funkcí kamery a pořídit obrazový záznam profesionální kvality. Krom toho podává také přehled o současných technických trendech v televizním a filmovém průmyslu.



3.1. Objektiv

Objektiv stojí na počátku celého procesu snímání obrazu videokamerou nebo fotoaparátem. Je to soustava několika druhů čoček, jež mají za úkol přenést snímanou scénu na snímač a eliminovat případné optické vady (viz. dále) na co nejmenší možnou úroveň. Objektiv hraje zřejmě nejdůležitější roli v kvalitě pořízeného obrazu a to i za předpokladu, že všechny ostatní prvky zařízení budou špičkové. Cena objektivu profesionálních televizních či filmových kamer tvoří velmi významný podíl na celkové ceně zařízení nebo dokonce cenu kamery převyšuje.

3.1.1. Vlastnosti objektivů

Objektiv je charakterizován:

1. **Ohniskovou vzdáleností**
2. **Světelností (základním clonovým číslem)**
3. **Schopností transfokace**

Ad 1, Teoreticky je ohnisková vzdálenost vzájemný rozestup čočky a jejího ohniska. V praxi se pak tato veličina podepisuje na zorném úhlu. Čím větší má objektiv ohniskovou vzdálenost, tím menší úhel je schopen zabrat. Vzdálenost je uváděna v milimetrech. Podle zorného úhlu můžeme rozdělit objektivy na 4 základní skupiny:

- **Normální objektivy** – zorný úhel normálních objektivů je velmi blízký zornému úhlu lidského oka – asi 50°
- **Širokoúhlé objektivy** – ohnisková vzdálenost je kratší než u lidského oka, proto jsou objektivy tohoto typu schopné pokrýt širší úhel. Speciálním případem jsou tzv. rybí oka (fish-eye) objektivy, které dosahují úhlu až 180°.
- **Teleobjektivy** – jsou opakem širokoúhlých. Ohnisková vzdálenost je větší a tak dokáží zobrazit jen velmi úzkou výseč snímané scény. Jsou vhodné pro snímání vzdálených objektů.

- **Makroobjektivy** – speciální druh objektivů určené pro fotografování detailů ve skutečných velikostech

Ad 2, Hodnota světelnosti udává, kolik světla je objektiv schopen přenést na snímač při plně otevřené cloně – jedná se o tzv. základní clonové číslo. Závisí na konstrukčních vlastnostech objektivu a je vždy výrobcem uváděno na těle objektivu ve tvaru f/x (bez jednotky). Čím menší číslo je, tím větší je světelnost daného objektivu. Objektivy s velkou světelností bývají mnohem dražší a konstrukčně dokonalejší. V případě zoom objektivů (viz. další bod) může být základní clonové číslo proměnlivé v závislosti na aktuální ohniskové vzdálenosti.

Ad 3, Rozlišujeme objektivy s pevnou ohniskovou vzdáleností (základní) a objektivy s délkou proměnlivou – tzv. zoom objektivy. V případě pevného ohniska se jedná o jeden z typů objektivů z bodu 1. U objektivů s transfokací lze přeskupovat optické členy uvnitř objektivu a tím dosáhnout průběžné změny ohniskové vzdálenosti. Díky tomu může kameraman (fotograf) měnit zabíraný úhel a plynule přecházet např. z detailu na celkový záběr. Takový objektiv pak obvykle nelze zařadit jednoznačně do jedné ze skupin z bodu 1, protože změnou ohniska můžeme průběžně projít od širokoúhlého rozsahu až po rozsah teleobjektivu. Zoomy jsou dražší, těžší a náchylnější na optické vady, protože je tvoří mnohem složitější optická soustava. Nabízejí však kameramanovi větší komfort a možnosti při natáčení – těžko dnes najdeme reportážní kameru bez objektivu s transfokací. Naproti tomu základní objektivy jsou levnější a především nabízejí větší světelnosti. To vše však za cenu neměnného zorného úhlu. Nacházejí uplatnění ve filmovém průmyslu a profesionální fotografii.

3.1.2. Ostření

Kamery nabízejí řídit zaostření objektivu jak ručně, tak pomocí automatického systému. Manuální ostření (na kameře značené **M** nebo **MF**) obvykle umožňuje samotný objektiv pohybem posledního prstence. Ostrost se nejlépe kontroluje v monochromatickém hledáčku. Automatické systémy (značené **A** nebo **AF**) pracují buď na základě měření vzdálenosti k objektům, nebo na základě vyhodnocení kontrastu. V prvním případě jsou kamera či objektiv vybaveny vysílačem neviditelného světelného paprsku, který dokáže rozpoznat vzdálenost ostřeného objektu. V druhém případě kamera posuzuje ostrost snímaného obrazu dle barevných ploch a jejich vzájemných kontrastů. Oba systémy mohou být nasazeny současně. Problémem automatického ostření bývá především to, že kamera vyhodnocuje střed obrazu – ne vždy je naším zájmem ostřit na střed.

3.1.3. Optické vady objektivů

Při akvizici obrazu se můžeme setkat s neovlivnitelnou vadou obrazu, kterou způsobuje jistá nedokonalost optické soustavy kamery. Především u levnějších objektivů nejsou výrobcem eliminovány chyby, které může soustava čoček způsobit. Tato podkapitola je přehledem nejdůležitějších optických vad.

Sférická vada – objevuje se především u světelnějších objektivů. Vzniká kvůli tomu, že paprsky na okraji čočky se lámou více, než paprsky blíže středu. Tím vzniká částečná neostrost snímaného objektu nebo jeho části. Pro odstranění tohoto jevu jsou v kamerách použity tzv. asférické čočky – takové, které nekopírují povrch přesné koule, ale jsou formovány právě tak, aby odstranily sférickou vadu.

Koma – koma vzniká velmi šikmými paprsky, které vstupují okrajem čočky. Ty se lámou velmi nepravdělně a vytvářejí obrazec podobný kometě (odtud název) s chvostem. Někdy se této vady dosahuje záměrně pro dosažení zajímavého vizuálního efektu.

Barevná (chromatická) vada – jednotlivé barvy světelného spektra mají různý index lomu, z toho důvodu se každé láme na čočce rozdílně. Na výsledném obraze pak lze pozorovat zobrazení barevného spektra na kontrastních hranách – něco ve smyslu barevné „aury“ objektů. Vada se částečně odstraňuje použitím tzv. achromátu – optické soustavy několika čoček s různými indexy lomu, které upraví jednotlivé barevné složky tak, aby dopadaly stejně.

Zklenutí pole – zklenutí je jev, kdy zaznamenaný objekt leží kolmo k ose objektivu a je vždy ostrý buď na okrajích, nebo na středu. To je dáno tím, že objektiv ostří pouze na daném poloměru. Nejlépe je vidět na makro-snímčích za použití vysoce světelných objektivů s malou hloubkou ostrosti. Ve fotografii je zklenutí pole často využíváno jako vizuálního efektu na detailních záběrech.

Zkreslení – ke zkreslení dochází vlivem zvětšení resp. zmenšení předmětů ve středu resp. na okrajích obrazu. Vzniká tak dojem „kulovitosti“ prostoru. Vada je využívána na dříve zmíněných, extrémně širokoúhlých objektivěch či předsádkách označovaných „rybí oko“. Takto jsou často zaznamenávány některé extrémní sporty – skateboarding, snowboarding aj.

Vinětace – pokles osvětlení až zčernání na okrajích záznamu se označuje jako vinětace. Způsobuje ji mimo jiné stavba objektivu – především jeho délka. Někdy je způsobena také při použití více filtrů. Korigovat ji lze neutrálními filtry se zatmavením směrem ke středu. Stejně jako jiné i tato vada je používána jako umělecký prostředek.

3.2 CCD snímač

V současných digitálních kamerách a fotoaparátech je nejpoužívanějším systémem zachycení světelné informace CCD snímač. Zkratka anglického **Charge-Coupled Device** v sobě ukrývá čip, který je díky složité fyzikálně-chemické reakci schopen přeměnit světelnou informaci na elektrický signál.

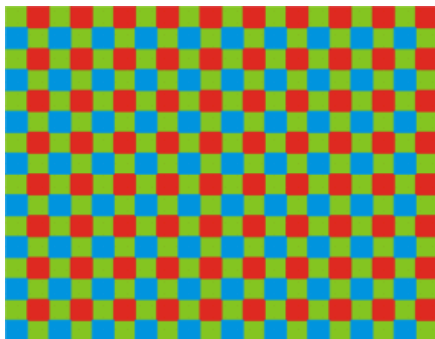
3.2.1 Jednočipový systém

U fotoaparátů a amatérských videokamer je obvykle použit pouze jeden CCD čip. Ten je tvořen maticí bodů, na kterých jsou barevné filtry obvykle v tzv. *Bayerově uspořádání* (v roce 1976 patentováno Brucem Bayerem ze společnosti Eastman Kodak) – obrázek 3.2.1.1. Barevnost jednotlivých

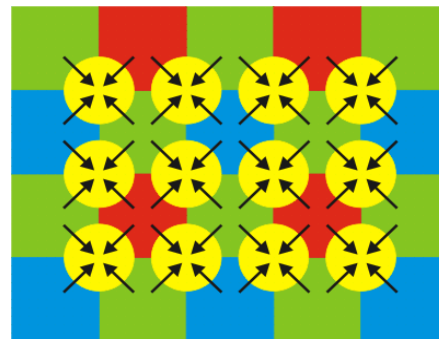
výstupních pixelů je interpolována vždy z okolních 4 bodů snímače. Přestože pro získání barevné informace stačí 3 základní složky (červená, modrá, zelená), Bayerovo uspořádání využívá zvýšenou citlivost lidského oka na zelenou barvu a skládá výslednou barevnost pixelu hned ze dvou zelených polí. Interpolaci vysvětluje obrázek 3.2.1.2. Výsledný obrazový signál je vždy kvalitnější v závislosti na rozlišení vlastního čipu. Výpočtem z více bodů matice lze totiž s větší přesností určit barvu a jas konkrétních pixelů obrazu. Rozlišení čipu je tak významným ukazatelem kvality kamery.

3.2.2 Tříčipový systém

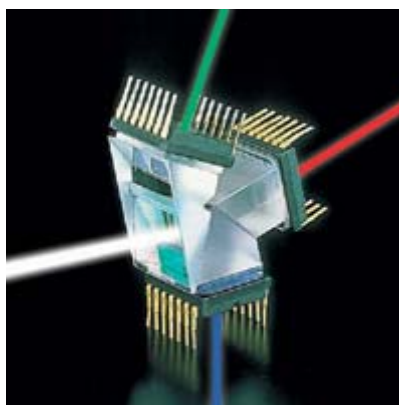
Většina poloprofesionálních a prakticky všechny profesionální kamery využívají systém založený na 3 CCD prvcích. Paprsek bílého světla je soustavou krystalů a polopropustných zrcadel rozdělen na jednotlivé barevné složky – obrázek 3.2.2.1. Každá z barev má pak svůj dedikovaný čip. Vzhledem ke komplikovanosti a preciznosti výroby je tato varianta mnohem dražší, a proto je k nalezení pouze u kvalitnějších modelů videokamer. Na druhou stranu nabízí mnohem lepší reprezentaci barvy, protože oproti jednomu čipu, který detekuje pouze 1/3 barevné informace (2/3 světla totiž pohltí Bayerův filtr), systém 3 čipů jí detekuje všechnu. U profesionálních fotoaparátů tento systém zatím uplatnění nenašel, protože digitální zrcadlovky využívají čipy s vysokým rozlišením a výroba 3 takových čipů (navíc včetně složitých optických soustav) by celý přístroj silně prodražila a zvětšila. Existuje pouze několik nekonvenčních modelů, jež využívají jeden CCD čip s třemi rotujícími barevnými filtry – takové fotoaparáty však nedokáží vyfotit pohyblivé objekty.



3.2.1.1 – Bayerovo uspořádání



3.2.1.2 – interpolace výsledné barvy



3.2.2.1 – rozklad bílého paprsku

U filmových kamer jsou zatím CCD snímače (a obecně digitální záznam) raritou, protože kvůli malé velikosti čipů nebylo možné dosáhnout přirozené hloubky ostrosti – stále proto dominuje klasický filmový pás. Světová jednička mezi výrobci filmových kamer a objektivů, firma Panavision (ve spolupráci se Sony), však v nedávné době uvedla digitální filmovou kameru Genesis, kde velikost čipu odpovídá velikosti filmového pole – 35 mm. Kamera tak dosahuje stejných hloubek ostrosti za použití stejných objektivů. Mnoho dalších výrobců od té doby uvedlo svoji variantu digitální filmové kamery a v současnosti již existuje mnoho filmů, které nebyly natočené klasicky: Apocalypto, Sin City, Hvězdné války II/III, Scary movie 4, Rocky Balboa aj.



Zástupcem jednočipové kamery v laboratoři LEMMA je Sony HC3E (2,1 mil. pixelů), zástupcem tříčipové Canon XH-A1 (3x 1,67 mil. pixelů).



3.4 Expozice

Expozice (též osvit) je označení pro množství světla, kterým je osvětlen světelný senzor. Právě na jejím nastavení závisí, jak světlý či tmavý bude výsledný záběr či fotografie. Po vizuální stránce se tedy zřejmě jedná o nejdůležitější veličinu v době akvizice. Expozice je relativní pojem – obecně neexistuje něco, co by se dalo označit „správnou expozicí“. Vždy záleží na záměru kameramana a okolních podmínkách.

Expozice je ovlivňována dvěma základními složkami – časem osvitu a mírou světla, puštěného skrz objektiv – tedy časem a clonou.

3.4.1 Čas

Doba, po kterou osvětluje snímač, se nazývá „čas závěrky“, krátce „čas“. Ve spojitosti s digitálními přístroji již nemá smysl mluvit o tzv. závěrce, protože čas osvitu je řízen pouze aktivací resp. deaktivací světelného snímače namísto uzavření cesty světla, což právě u klasických filmových přístrojů řeší závěrka. Čím delší čas je, tím více světla dopadne na snímač a tím světlejší je logicky výsledný záběr. U fotografování se používají i velmi dlouhé časy – od jednotek vteřin až po hodiny. Lze tak i v noci pořídit světlé snímky např. nočního města nebo hvězdné oblohy. Rozdíl mezi fotografiemi pořízenými s krátkým a dlouhým časem demonstrují obrázky 3.4.1.1 a 3.4.1.2.



3.4.1.1 – snímek pořízen časem 1/8 sekundy

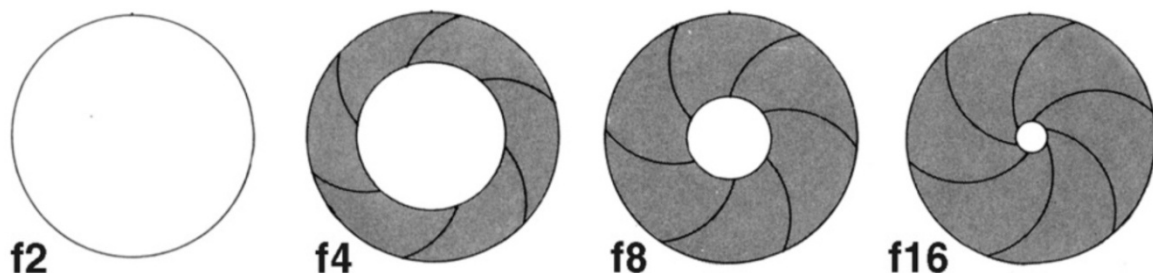


3.4.1.2 – snímek pořízen časem 10 sekund

U kamer je ovšem maximální čas limitován snímkovací frekvencí daného video-systému. Když uvážíme, že se zaznamenává 50 pulsů za vteřinu (systém PAL – analogicky ale pro všechny systémy), tak nejdelší čas pro jeden takový puls je 1/50 vteřiny. Kratší časy samozřejmě problémem nejsou, ale pokud bychom nastavili osvit na hodnotu delší než 1/50 s (např. 1/25 s nebo 1/10 s), pak by taková doba přesáhla trvání jednoho pulsů a pohyb v obraze by se stal rozmazaný. Někdy se takto dlouhé časy používají jako výrazový prostředek, ale automatika kamery nikdy nenastaví čas delší, než je odpovídající doba pro jeden puls. Profesionální kamery obvykle mají možnost volby tzv. režimu preference času – označovaný jako **Tv**. V tomto módu má kameraman plnou kontrolu nad nastavením času, ale expozici nadále hlídá automatika kamery patřičnou úpravou clony (viz. níže). Režim také umožňuje nastavení tzv. pomalé závěrky, kdy je čas osvitů delší než jeden snímek a vzniká zmíněný efekt rozmazaného pohybu. Čas je samozřejmě také možné nastavit v plně manuálních módech obvykle označených **M**.

3.4.2 Clona

Každý kamerový objektiv v sobě skrývá mechanický systém, který umožňuje regulovat množství světla vpouštěného na obrazový snímač – clonu. Ta je zkonstruována tak, že dokáže měnit průměr otvoru, kterým procházejí paprsky. Je to tedy paralela lidské duhovky. Fungování clony nejlépe vysvětlí obrázek 3.4.2.1.



3.4.2.1 – clona

Clona je specifikována clonovým číslem, což je poměr ohniskové vzdálenosti a efektivního průměru clonou tvořeným otvorem. Čím menší číslo je, tím větší je světelnost a tím více světla je vpouštěno do kamery.

Nastavení clony ovlivňuje **hloubku ostrosti**. Ta se na výsledných záběrech podepisuje mírou ostrosti jednotlivých, různě vzdálených předmětů. Teoreticky jsou totiž zaostřeny jen objekty v přesně dané vzdálenosti od objektivu. Lidské oko však „toleruje“ malou neostrost a rozdíl jistých vzdáleností v obraze vnímá jako ostré – právě tento rozdíl označujeme hloubkou ostrosti. Při otevřené cloně (maximální světelnosti objektivu) je hloubka ostrosti nejmenší – ostře se jeví pouze objekt v ostřené vzdálenosti (obr. 3.4.2.2). Vše co stojí před nebo za ním je rozmazané. Toho se často využívá při portrétování – pozadí pak neruší snímáný objekt v popředí. Při plně uzavřené cloně naopak docílíme obrovské hloubky ostrosti – ostře se jeví celá scéna (obr. 3.4.2.3). To lze využít např. při snímání krajiny. Kromě clony ovlivňuje hloubku také ohnisková vzdálenost objektivu. Čím větší vzdálenost, tím menší hloubka.



3.4.2.2 – snímek pořízen s clonou $f/5,6$



3.4.2.3 – snímek pořízen s clonou $f/32$

Stejně jako lze na profesionálních kamerách nastavit preferenci času, lze také nastavit režim preferování clony (funguje analogicky k **Tv**) – obvykle značeno **Av**. To je vhodné v okamžiku, kdy na svých záběrech požadujeme neměnnou hloubku ostrosti.



Canon XH-A1 nabízí zmíněné režimy Tv, Av a M. Sony HC3E nabízí pouze nastavit expozici na pevnou hodnotu. Kamera pak udržuje clonu a čas na stejné hodnotě.

3.5 Zisk



V případě slabého osvětlení scény, kdy ani správné nastavení expozice nestačí k dosažení požadované světlosti záběru, lze využít zvětšení světelného zisku. Zisk je poměr mezi silou snímačem zachyceného signálu a silou vystupujícího signálu, jež je kamerou dále zpracováván. Jakožto poměrná veličina je měřen v decibelech. Při ideálních světelných podmínkách, kdy neaplikujeme zvětšení zisku je tedy jeho hodnota 0 dB.

Na digitálních přístrojích je zisk paralelou k citlivosti filmů klasických analogových přístrojů. Na digitálních fotoaparátech se pro zisk dokonce zachovalo označení ISO, což je původní označení citlivosti filmu podle Mezinárodní standardizační organizace (ISO – International Organization for Standardization). Hodnoty zisku na digitálních fotoaparátech přibližně odpovídají filmům s danou hodnotou citlivosti. Používání filmů s vyšší citlivostí umožňuje pořizovat záběry i v horších světelných podmínkách za použití relativně krátkých časů. Nese to s sebou však jistou ztrátu kvality snímků, čemuž se nevyhneme ani při zvětšení zisku na digitálních přístrojích. Samozřejmě, že mluvit o regulování citlivosti snímáče CCD je do jisté míry nesmyslné, neboť ta je pevně dána z výroby. Zvětšení zisku v praxi znamená, že signál zachycený snímáčem je elektronicky zesílen na vyšší hodnotu.

Ztráta kvality snímků při zisku větším než 0 db je markantní především v tmavších oblastech scény. Zde vzniká tzv. obrazový šum. Ten se projevuje různobarevným zrněním a nepřesnostmi v barevnosti. To je způsobeno tím, že tmavé oblasti záběru nesou méně barevné informace a při zesílení takového signálu dojde k nepřesnému vyjádření jednotlivých barevných složek (červená, modrá, zelená). Je to jako kdybychom nahráli velmi slabý zvuk a pokusili se ho potom elektronicky zesílit – bude zesílen i okolní šum, jenž jsme při nahrávání pořídili společně s konkrétním zvukem. Na druhou stranu to ale může být jediná možnost, jak si zvuk poslechnout, protože jinak by byl tak slabý, že bychom ho neslyšeli. Stejně tak může být užitečný i světelný zisk. V tmavých prostorech to může být jediná možnost, jak pořídít záznam, pokud nemáme k dispozici přídavné osvětlení. Automatické systémy řízení zisku na digitálních přístrojích jsou však aktivovány až když kamera vyčerpá možnosti „regulérního“ exponování – tedy úpravy času a clony. Pokud je tedy čas nastaven na nejdelší možnou dobu a clona zcela otevřená, ale systém i přesto zaznamená slabé osvětlení scény, pak teprve potom je zisk upraven na vyšší hodnoty (3, 6, 9, 12 a více dB). Při manuálním řízení zisku bychom se jeho zvyšování měli také co nejvíce vyhýbat. Vždy bychom při natáčení měli dbát na dostatečné osvětlení scény a správné exponování. Jedině tak se vyhneme zmíněným obrazovým artefaktům.



Canon XH-A1 umožňuje zisk řídit manuálně, Sony HC3E pouze automatikou.



3.6 Vyvážení bílé

Dalším z důležitých faktorů správné akvizice obrazu je tzv. vyvážení bílé (white balance, dále jen WB). Tento pojem velmi úzce souvisí s barevnou teplotou. Při natáčení videokamerou nebo i při fotografování hraje významnou roli zdroj resp. zdroje světla, které osvětlují scénu. Může se jednat o denní světlo, klasickou žárovku, zářivku aj. Důležité ale je, že každý takový zdroj má různou barevnou teplotu. Ta charakterizuje odstín bílého světla a je udávána v Kelvinech. Běžně se používají termíny „teplé světlo“, jež je v barevném spektru blíže červené barvě, a „studené světlo“, blíže modré (viz. obrázek 3.6.1). Mezi typické zástupce teplého světla patří např. plamen svíčky (1850 K). Naopak velmi chladná je xenonová lampa (6420 K) či klasická televizní obrazovka (9300 K).

Lidské oko vnímá barvy pod různými druhy osvětlení pořád stejně nebo jen s malými nuancemi. Je totiž schopné rozlišit teplotu světelného zdroje a obraz barevně vyvážit – tento jev se anglicky označuje jako „color constancy“. Tato skutečnost napomáhá lidem rozpoznávat objekty za různých

světelných podmínek. Žádoucí tedy je, aby obraz zachycený kamerou nebo fotoaparátem měl stejné vyvážení bílé jako má oko a působil tak co nejuvěrněji. Při nekorigování WB by scény osvětlené plamenem či žárovkou byly zbarveny do červena a při zářivce naopak do modra.

Moderní přístroje disponují systémy pro automatickou korekci WB. Světlo, které vstupuje do kamery, se přivádí přes bílý filtr na dva nezávislé optické snímače. Jeden z nich je opatřen modrým filtrem a druhý červeným. Porovnáním signálů z těchto snímačů je pak vyhodnocena barevná teplota vstupujícího světla a podle toho se patřičně upraví WB. Automatické systémy nemusí vždy fungovat přesně či podle představ uživatele, proto profesionální kamery a fotoaparáty mají možnost upravit WB manuálně. Obvykle lze ručně nastavit WB třemi způsoby:

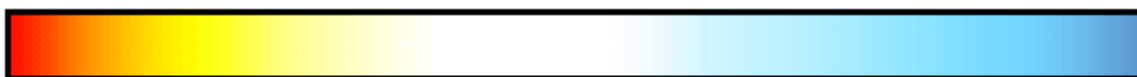
- 1) **zvolit jeden z přednastavených režimů.** Zde je možné vybrat WB pro osvětlení svíčkou, plamenem, denním světlem apod.
- 2) **nastavit přesnou barevnou teplotu v Kelvinech.** Např. v případě, kdy nevyhovuje ani jeden z přednastavených režimů nebo požadujeme přesnější odstín
- 3) **použít poloautomatický systém** – před kameru vložíme list bílého papíru a zapneme automatické vyvažování. Kamera se pokusí najít optimální nastavení pro věrnost bílé barvy a nastavení uchová pro další natáčení

Existují však i situace, kdy záměrně nastavujeme WB nepřírozně, resp. jinak, než scénu vnímá oko. Nepřesné nastavení nám totiž umožní barvu záběru použít jako výrazový prostředek. Chceme-li například místnost učinit na záznamu chladnější, někdy až i depresivní, nastavíme WB na vyšší hodnoty. Naopak pro vyvolání vlídného, klidného pocitu z prostoru lze nastavit teploty nižší a učinit tak scénu teplejší. Toto má samozřejmě smysl především ve filmových snímcích, kde divákovi vytváříme virtuální svět. Při natáčení dokumentů či akademických projektů a akcí se snažíme naopak scény zachytit co nejpřírozněji.

Na obrázku 3.6.2 a 3.6.3 vidíme rozdíl mezi špatným a správným nastavením WB. Obrázek 3.6.2 však také ukazuje, jak lze použít WB jako výrazového prostředku. S trochou nadsázky bychom mohli říci, že snímek byl pořízen za chladného rána.

Další, velmi podrobné informace lze najít na webové stránce **Cambridge in colour**.

URL <<http://www.cambridgeincolour.com/tutorials/white-balance.htm>> [citováno v prosinci 2007]



1800K

4000K

5500K

8000K

12000K

16000K

3.6.1 – barevná teplota



3.6.2 – špatné nastavení WB



3.6.3 – správné nastavení WB



Na kameře Sony HC3E lze nastavit WB způsoby 1 a 3. Canon XH-A1 nabízí všechny 3.

3.7 Stabilizace obrazu

Jeden z nejmarkantnějších projevů nekvalitního záznamu je nestabilní obraz. Jedná se o problém, kterého si i laický divák všimne na první pohled. Lehkou neostrost obrazu nebo špatné vyvážení bílé lze bez povšimnutí přejít, ale nestabilní záběr je jednoznačně rozpoznán i neškoleným okem a působí velmi amatérsky. Třesoucí se záběr působí velmi rušivě a divák je při sledování takového záznamu znervózňován. Pokud tedy není záměrem tento pocit v divákovi vyvolávat (kinematografie), je nutné jakýkoliv nežádoucí pohyb kamery eliminovat.

Tato kapitola se tedy bude zabývat problémem stabilizace obrazu a zde lze uvažovat dvě základní rozdělení.

3.7.1 Interní stabilizační systémy kamer

Moderní kamery disponují vlastními systémy, jež mají za úkol stabilizovat obraz, i když se vlastní tělo kamery pohybuje nežádoucím způsobem – třes kameramanových rukou, chvění vozidla aj. V současné době existují dva různé systémy – optická stabilizace a elektronická stabilizace.

V případě optické stabilizace řeší problém čočka objektivu, která není uchycena napevno, ale „levituje“ a upravuje tak cestu světelných paprsků ke světelnému snímači. Pohyb čočky je obvykle řešen elektromagneticky, ale závisí na výrobci. Vychylování kamery v prostoru zaznamenávají dva gyroskopické senzory, které tyto informace předávají řídicí jednotce. Ta patřičně vychyluje čočku do protipohybu pro zachování stabilního obrazu. Alternativní způsob jsou dvě čočky spojené pružným silikonovým „tunelem“, který umožňuje vychýlení. Celý systém pak funguje jako obrovské mechanicky řízené optické vlákno, které přivádí paprsky světla ke snímacímu prvku. V roce 2005 byl představen ještě jeden nový systém společnosti Konica Minolta (ve fotoaparátech Maxxum/Dynax 5D, 7D a Sony Alfa). Ten, na rozdíl od dvou předešlých, nevychyluje cestu paprsků, nýbrž samotný obrazový snímač. Umístění na dynamické gelové základně umožňuje jeho vychylování namísto optických členů. Systém je tak nezávislý na konkrétním použitém objektivu, protože stabilizaci obstarává samotný přístroj. Praktická implementace optické stabilizace je velmi nákladná a nalezneme ji jen v profesionálních přístrojích a objektivěch.

Naproti tomu stabilizace elektronická používá čistě statickou optickou soustavu. Proto také cena této implementace je mnohem levnější a na spotřebitelských kamerách také mnohem více používána. Funguje na velice jednoduchém principu – v kameře je použit snímací čip s větším rozlišením, než je ve skutečnosti zaznamenáváno. Vždy je tedy aktivní jen část čipu a v případě nežádoucího pohybu je vhodnými algoritmy vybrána správná část snímacího prvku. Takto se tedy může aktivní výseč pohybovat po celém čipu až k jeho okrajům. Rozdíl mezi rozlišením snímače a rozlišením aktivního výseku bývá však velmi malý (např. 800 000 bodů snímače vs. 600 000 bodů výseku), a proto systém dokáže korigovat jen malé výchylky. V okamžiku, kdy se totiž výsek přiblíží k okraji snímače, nelze dále obraz nijak upravit.



3.7.1.1 – El. stabilizace (v klidu)



3.7.1.1 – El. stabilizace (reakce na pohyb)

3.7.2 Nástroje a zařízení pro externí stabilizaci kamer

Kromě systémů pro stabilizaci obrazu, jež obstarává sama kamera, existuje i vybavení, které kameramanovi dává další možnosti, jak pořídit stabilní záběr.

Bezesporu nejznámější pomůcka pro akvizici stabilního záběru je stativ. Jeho použití je však notoricky známé a proto nemá smysl se jím v této práci dále zabývat. Pro další kontext je ale vhodné zmínit zde fakt, že za použití stativu není možné pořídit dynamické záběry – resp. takové, kdy je kamera v pohybu.

Naproti tomu **steadicam** (slovní hříčka vytvořená z původních slov „steady camera“) je zařízení vyvinuto právě pro situace, kdy požadujeme, aby kamera statická nebyla. Umožňuje kameramanovi i s rozměrnou kamerou chodit či dokonce běhat. Dá se popsat jako odpružené rameno upevněné na vestu, kterou kameraman obléká přímo na sebe. Díky velké protiváze, umístěné naproti kamery, a odpružení získáme pomocí steadicamu opravdu velmi plynulé záběry při zachování jejich dynamiky. Vynálezcem tohoto revolučního zařízení je Američan Garrett Brown, který jej poprvé představil v 70. letech minulého století. První nasazení steadicamu ve větší produkci bylo v roce 1976 ve snímku „Rocky“. Ač by se zdálo, že najde uplatnění jen ve filmovém průmyslu, steadicam je dnes běžně používán i v televizních společnostech. Hojně je využíván při sportovních přenosech (především fotbal), kdy kameraman dokáže záběrem sledovat hru a není uvázan na jedno místo.

Další, velmi speciální zařízení je **kamerový jeřáb** – někdy označován jako „Jimmy Jib“ či jen „Jib“. Jak už název napovídá, jedná se o systém, kdy je kamera připevněna k jeřábové konstrukci. Řízena je buď systémem mechanických táhel, nebo elektrickými servomotory. Operátor má k dispozici náhledový monitor zobrazující aktuální záběr kamery. Stejně jako steadicam našel i jeřáb uplatnění jak v kinematografii, tak i v televizních produkcích. Umožňuje vytvořit velmi plynulé a efektní tzv. „kamerové (pře)lety“. Často je nasazován při přenosech z velkých hal či ze sportovních událostí, kde je požadavek na pohledy z výšky.



3.7.2.1 – Steadicam



3.7.2.2 – kamerový jeřáb v kombinaci s vozíkem

Poslední způsob stabilizace, který stojí za to zde zmínit, je **kamerový vozík** (*camera dolly*). Kamera, upevněná k vozíku (ať už na kolejnicích či bez), je logicky velmi stabilní a umožňuje zaznamenat velmi klidné a vyrovnané záběry. Často je vozík používán v kombinaci s jeřábem pro zajištění větší mobility a flexibility (viz. obr. 3.7.2.2).



Canon XH-A1 je vybavena optickým stabilizátorem, Sony HC3E pouze elektronickým.



3.8 Režimy záznamu

Závěrem celé akvizice je uložení pořízeného obrazu na záznamové médium. Záznam však v současnosti může mít mnoho různých podob a parametrů. V závislosti na budoucím použití je nutné předem volit, v jakém formátu záznam ukládat.

Digitálních záznamových systémů existuje celá řada. Liší se však pouze způsobem uložení obrazové informace a médiiem. Co je však pro nás u těchto systémů zásadní je to, zda ukládají obraz ve standardním či vysokém rozlišení a zda snímkují progresivně či prokládaně.

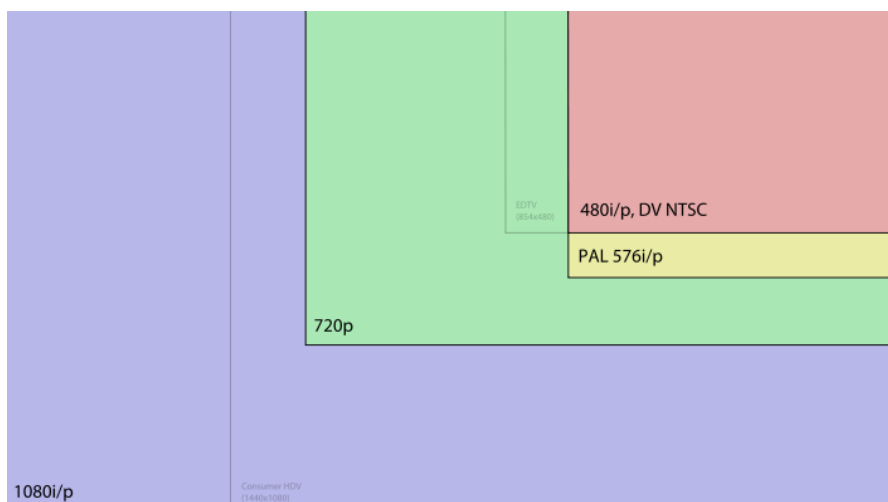
3.8.1 Standardní/Vysoké rozlišení

Trendem dnešní doby v oblasti televizního a filmového průmyslu je tzv. **HD** (high definition) – vysoké rozlišení. Nový systém záznamu obrazu, který oproti stávajícímu **SD** (standard definition) nabízí o mnoho detailnější obraz díky zvětšení počtu zaznamenávaných resp. zobrazovaných pixelů.

Až do poloviny 90. let se celosvětově pro záznam a vysílání používalo pouze standardní rozlišení. Proto všechny televizory, přehrávače a kamery byly koncipovány pouze na rozlišení 720 x 576 (systém PAL, SECAM) resp. 640 x 480 pixelů (systém NTSC). Později, především díky nástupu velkoplošných televizí, vznikl požadavek na detailnější, konkrétnější obraz, protože rozlišení nedosahující ani poloviny megapixelu bylo do budoucna neudržitelné. Po několika testech v Japonsku v 80. letech tak vznikl návrh nového systému, který má časem vystřídat **SD** jak v televizním vysílání, tak obecně ve všech oblastech záznamu a produkce videa.

Označení **HD** v sobě ukrývá hned několik druhů záznamu:

- 1080i** – rozlišení 1920 x 1080 px; prokládaně (viz. dále) – 50/60 Hz (PAL/NTSC)
- 1080p** – rozlišení 1920 x 1080 px; progresivně – 50/60 Hz
- 720p** – rozlišení 1280 x 720 px; progresivně – 50/60 Hz



3.8.1.1 – srovnání formátů



Oba nové typy videokamer v laboratoři LEMMA disponují záznamem v HD (a samozřejmě i v SD). Jak Canon XH-A1 (disponuje i progresivními režimy), tak Sony HC3E jej však ukládají systémem HDV, který na pásku zaznamenává datový proud komprimovaný metodou MPEG-2 v rozlišení 1440 x 1080 px. Horizontální rozlišení je pak „roztaženo“ na zobrazených 1920 px.

K vysokému rozlišení se váže ještě několik důležitých zkratk a pojmů, které je vhodné pro úplnost zmínit:

- **HD ready** – označení přístrojů (především monitorů a televizorů), které jsou schopny zobrazit záznam v HD
- **Full HD 1080i** – označení přístrojů, které jsou schopny zobrazit nejdetailnější variantu HD – 1080i
- **HDTV** – označení televizního vysílání v HD
- **HDMI** – nové moderní rozhraní pro přenos HD signálu společně s prostorovým zvukem (někdy přezdívané jako „SCART budoucnosti“)
- **HD-DVD** – nástupce klasického DVD, které svou kapacitou (15GB na jednu vrstvu) umožňuje uložit HD obsah
- **Blu-ray** – konkurenční médium HD-DVD (25GB na jednu vrstvu)

3.8.2 Snímkování

Kromě rozlišení je také důležité, jakým způsobem je vytvářen sled snímků. V zásadě existují dva systémy – prokládané a progresivní snímkování.

Prokládání vzniklo na počátku televizního vysílání z technických důvodů. Při vysílání 25 snímků za vteřinu nepůsobil pohyb na televizní obrazovce dostatečně plynule, protože televizor technologicky funguje na naprosto jiném principu než promítání filmového pásu. Byla zde tedy snaha přenášet snímků více. Kamery však nebyly dosti rychlé, aby zaznamenávaly 50 snímků a televizory je nebyly schopny zobrazovat. Z toho důvodu bylo přistoupeno ke kompromisnímu řešení – začaly se natáčet a zobrazovat tzv. půlsnímky. Kamery tak ve skutečnosti obraz snímají 50krát za vteřinu ale ukládají střídavě liché resp. sudé řádky matice snímače. Ve stejném pořadí je pak televize zobrazuje. Není tedy potřeba ukládat celou obrazovou informaci, ale jen její polovinu. Dosáhne se tak stejné šířky pásma jako při ukládání 25 snímků při zachování plynulosti obrazu. Problém však nastává při zobrazování prokládaného materiálu na zařízeních, fungujících na jiném principu než televizní obrazovka – typicky LCD monitor nebo dataprojektor. Pro takový přístroj je nutné zdrojový materiál „odprokládat (deinterlace)“. Existuje několik softwarových metod, které to dokážou a nové LCD a plazmové obrazovky mívají instalován hardwarový systém, který provádí deinterlacing v reálném čase. Problémem prokládaného obrazu se velmi detailně zabývá webová stránka **100fps**, URL <http://www.100fps.com> [citováno v říjnu 2007]

Progresivní snímkování funguje analogicky k filmovému pásu. Nepoužívá žádné dělení snímků, ale zaznamenává 25 plných snímků za vteřinu. Dokáže tak obejít problém prokládaného materiálu

za cenu méně plynulého obrazu. Tento režim nabízejí jen některé kamery vyšší cenové kategorie. Progresivní skenování při 25 snímcích však není vhodné pro některé druhy záznamu, jako je například sport. Proto také standart HD v sobě skrývá progresivní režimy, které používají 50 snímků.



3.9 Rozhraní pro přenos obrazu

Po úspěšném pořízení obrazu musí logicky následovat export záznamu do dalšího zařízení pro případné úpravy nebo prezentaci. K tomu musí být kamery adekvátně vybaveny výstupními rozhraními, jichž existuje celá škála. Nejfrekventovanější jsou vyjmenovány a popsány níže.

3.9.1 Digitální rozhraní

FireWire – standard IEEE1394 (Sony jej uvádí pod vlastním označením iLink) je dnes jednoznačně nejrozšířenější digitální interface pro přenos videa především u spotřebitelských a poloprofesionálních kamer. Původně představen společností Apple jako rozhraní pro přenos velkých objemů dat – speciálně pak multimédií. Od roku 1995 jej začali využívat všichni výrobci digitálních kamer pro protokol DV - ten umožnil přenášet komprimovaný audio/video signál v reálném čase do dalšího zařízení (typicky počítače) bez větší ztráty kvality. FireWire nabízí přenosovou rychlost 400 Mbit/s (poslední verze IEEE1394b dokonce 800 Mbit/s), což dostačuje i pro přenos HDV.

USB – I když poslední verze **Universal Serial Bus** rozhraní dosahuje v porovnání s předchozím větší přenosové rychlosti (USB2.0 nabízí 480 Mbit/s), nikdy FireWire z kamer nevytlačilo. V první řadě byl standard IEEE1394 již dobře zaveden jak mezi výrobci, tak mezi spotřebiteli, v druhé řadě USB2.0 ani nedosahovalo tak uspokojivých reálných přenosových rychlostí. Využívá totiž protokoly, které velmi silně využívají systémové prostředky – paměť a procesor. Naproti tomu FireWire si vystačí s hardwarem vlastního interface a nezatěžuje během svých protokolů prostředky celého systému. USB se však někdy na kamerách objevuje pro přenos fotografií, pokud kamera umožňuje jejich uložení na paměťovou kartu. Navíc některé amatérské videokamery umožňují pomocí USB vysílat video ve streamovacích formátech (obvykle ve velmi nízké kvalitě).

HDMI – **High Definition Multimedia Interface** je od začátku standard zamýšlen pro spojování domácích zařízení, které operují s HD obrazem. Často se přezdívá „SCART budoucnosti“. Jsou jím vybaveny především spotřebitelské kamery, které tak lze rychle a pohodlně zapojit přímo do HD obrazovky. Na profesionálních zařízeních se neobjevuje. Rozhraní podporuje řízení autorsky-chráněného obsahu pomocí DRM (**D**igital **R**ights **M**anagement), které například zamezuje kopírování originálních médií. Navíc HDMI umožňuje zároveň s obrazem přenášet i prostorový zvuk a řídicí signály pro zapojená zařízení. Poslední verze (1.3) dosahuje šířky pásma až 10,2 Gbit/s.

HD-SDI – **High Definition Serial Digital Interface** je rozhraní určené pro profesionální použití. Přenosová rychlost dosahuje až 1,5 Gbit/s a tím je SDI ideální pro přenos nekomprimovaného HD videa. V případě přenosu varianty 1080p je kvůli velkému objemu dat nutné sáhnout po tzv. **dual-link** konfi-

guraci SDI, kdy je rozhraní zdvojeno a dosahuje tak dvojnásobné rychlosti. Pro přenos signálu je použit klasický koaxiální kabel zakončen BNC konektorem. Rozhraní je k nalezení pouze u profesionálních kamer, kde je vyžadována vysoká kvalita přenosu bez kompresních mechanismů.

3.9.2 Analogová rozhraní

Kompozitní video – toto analogové rozhraní se objevuje už jen pro přenos SD (PAL/NTSC) signálu. Ze všech standardů má nejhorší vlastnosti. Používá pouze jediný vodič pro všechny obrazové složky (barvy a jas) a odděluje tyto informace synchronizačními pulsy. Pro přenos se užívá notoricky známého kabelu zakončeného (žlutým) RCA (cinch) konektorem.

Komponentní video – ačkoliv se jedná také o analogové rozhraní, přináší v porovnání s předešlým o mnoho lepší kvalitu. Rozděluje totiž videosignál na dílčí informace a každou přenáší po samostatném vodiči. Pro dělení signálu existují 2 rozdílné metody:

- RGB – rozdělí signál na 3 dílčí podle základních barev (červená, zelená, modrá). Každý vodič tak nese informaci o obsahu dané barvy v obraze. To však znamená, že jasová složka se přenáší ve všech třech vodičích a plýtvá se tak šířkou pásma (černobílý signál bychom získali z libovolného vodiče) – proto bohužel tento systém není vhodný pro přenos HD. Pro RGB se hojně užívaly konektory SCART (televizory, DVD přehrávače) a VGA (počítačové monitory).
- YPbPr – signál je taktéž dělen na 3 dílčí – vodič Y (značen zelenou) nese informaci o jasu, Pb (značen modře) rozdíl modré a jasu, Pr (značen červeně) rozdíl červené a jasu. Zelená barva se nepřenáší, protože může být z ostatních signálů jednoduše dopočítána. Při přenosu neexistuje žádná redundantní informace a spoří se tak šířka pásma – lze proto přenášet i HD obraz. Kabely jsou obvykle zakončeny RCA (nebo BNC u profesionální techniky) konektory dané barvy.



Kamera Canon XH-A1 je vybavena rozhraními: FireWire, kompozitní a komponentní video. Bohužel nedisponuje HD-SDI, tím je vybaven pouze vyšší model XH-G1, kde je však cenový rozdíl asi 70 000 Kč. Kamera Sony HC3E nabízí FireWire, HDMI, kompozitní a komponentní video. Pro přenos fotografií používá USB.

4. Akvizice zvuku

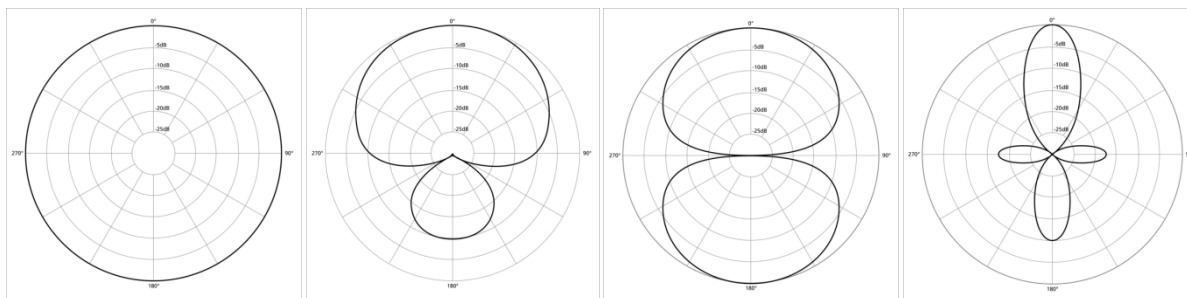
4. kapitola je analogií kapitoly předešlé – jen zaměřená na zvuk.

4.1 Mikrofony

Mikrofon je měnič zvuku (resp. akustického tlaku) na elektrický signál. Prakticky je to zařízení, které na náš záznam dokáže zprostředkovat zvuk. Základní vlastnosti mikrofonu jsou: citlivost, vnitřní impedance a směrová charakteristika. Poslední je však pro praxi a tuto práci rozhodně nejdůležitější. Znalost různých směrových charakteristik později napomůže zvolit vhodný typ mikrofonu pro správný účel. Dále tato podkapitola vysvětluje správný záznam dvoukanálového zvuku pro dosažení stereo efektu a podává přehled o různých zapojeních mikrofonu.

4.1.1 Směrové charakteristiky

- **Kulová** (též všesměrová, omnidirekcionální) – zaznamenává zvuk rovnoměrně ve všech směrech. Mikrofony této charakteristiky jsou vhodné například k záznamu rozhovoru více lidí za použití jediného mikrofonu bez jakékoliv manipulace. Lze jím také snímat menší počet hudebních nástrojů nebo tzv. „atmosféry“ prostředí (ruch restaurace, šum lesa apod.)
- **Kardioidní** (též ledvinová) – příjem zvuku přicházejícího z opačného směru, než je otočen mikrofon, je potlačen. Proto je tato charakteristika vhodná především pro mluvené slovo a zpěv. Nedojde totiž k tzv. zpětné vazbě – jevu, který nastane v případě, že zvuk z reproduktorů je znovu přijímán mikrofonem. V takovém případě následuje „zacyklení“ zvuku a tím vznik nepříjemných artefaktů – pískání či dunění.
- **Super/Hyperkardioidní** – podobné klasické kardioidě, ale částečně je přijímán i zvuk zpoza mikrofonu – u superkardiody o něco méně než u hyperkardiody. Jejich výhodou je, že jsou o něco více směrové než klasická kardioida.
- **Osmičková** (též bidirekcionální) – zaznamenává zvuk rovnoměrně před a za mikrofonem. Jsou často využívány ve studiích a také pro záznam stereo zvuku (viz. dále).
- **Úzce směrová** (též pušková) – výrazně zesílí přesně to, co stojí přímo před mikrofonem a naopak částečně potlačí všechny ostatní směry. Tyto mikrofony jsou vhodné, pokud chceme mluvčího (či jiný zdroj zvuku) zesílit oproti okolním zvukům a to i za předpokladu, že se nalézá ve větší vzdálenosti od mikrofonu. Puškové mikrofony získaly své jméno díky své délce, která dosahuje i jednoho metru. Jejich nevýhodou může být snížený frekvenční rozsah.



4.1.1.1 – kulová

4.1.1.2 – superkardioidní

4.1.1.3 – osmičková

4.1.1.4 – úzce směrová



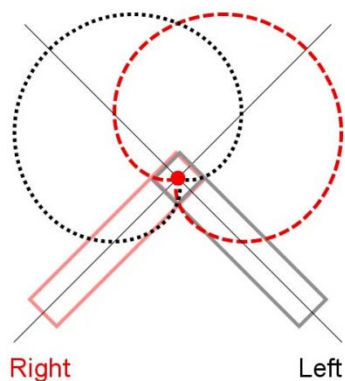
V laboratoři Lemma má kulovou charakteristiku mikrofon Sennheiser ME62, superkardioidní Shure Beta 58A a úzce směrovou RODE NTG-2.

4.1.2 Záznam stereo zvuku

V případě, že na záznamu požadujeme věrné zachycení prostoru a dosažení stereo-efektu, je potřeba vybrat metodu, kterou prostor nasnímáme. Existují 3 základní techniky záznamu stera. Systém A-B, systém X-Y a systém M/S. Každá technika se od druhé liší typem použitých mikrofonů a jejich umístěním.

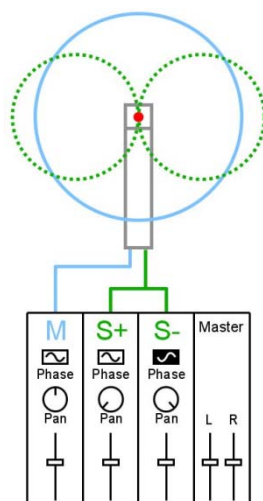
Systém A-B – používá 2 identické mikrofony s kulovou charakteristikou, které jsou navzájem vzdáleny přibližně půl metru. Ideální je umístění vysoko nad snímaným zdrojem zvuku. Technika je vhodná především pro velké orchestry a pěvecké sbory. Velmi dobře zachová prostorovost a detailnost scény, zvláště při použití ve větších prostorách s vlastní akustikou (koncertní sály, kostely). Pocit prostoru je zde dosažen především díky časovému rozdílu, kdy zvuk dosáhne prvního resp. druhého mikrofonu. Nedostatek metody se projeví v okamžiku, kdy potřebujeme získat monotónní signál – vždy získáme zvuk „posunutý“ více doprava či doleva.

Systém X-Y – stejně jako A-B používá 2 stejné mikrofony, ale s charakteristikou kardioidní. Tyto jsou umístěné na stejném místě, navzájem zkřížené, svírající úhel 90°. Snímaný prostor každého z mikrofonů se částečně překrývá s druhým. Stereo efekt není tak silný jako u metody A-B, ale v případě, že potřebujeme získat mono signál, dosahuje tato metoda mnohem lepších výsledků. Navíc je vhodnější do menších prostor, jako jsou televizní studia aj. Na systému X-Y jsou také založeny stereo mikrofony (níže na obrázku Rode NT4). Lze také použít dva mikrofony s osmičkovou charakteristikou – takové konfiguraci se pak říká **Blumleinův pár**. Dosahuje velmi realistické reprezentace prostoru, ale silně závisí na vlastní akustice snímaného interiéru.



4.1.2.1 – systém X-Y

Systém M/S (Mid/Side) – technika využívá jeden mikrofon s osmičkovou charakteristikou a jeden s kulovou (případně kardioidní). Kulový mikrofon snímá celou scénu, osmičkový pak levou a pravou stranu. Signál levého kanálu vznikne smícháním kulového mikrofonu s kladnou fází osmičkového, signál pravého analogicky smícháním kulového a záporné fáze osmičkového. Výhoda je, že lze získat skoro perfektní mono signál díky tomu, že celá scéna je snímána kulovým mikrofonem. Celý systém může být uzavřen v jednom těle jako jeden stereo mikrofon.



4.1.2.2 – systém M/S

4.1.3 Zapojení, napájení



Při zapojování mikrofonů a obecně jakékoliv zvukové techniky by nás vždy mělo zajímat, zda se jedná o spojení symetrické či nesymetrické (balancované/nebalancované), neboť i kabely tvoří jedinečný prvek celého audio-systému. Nesymetrické spoje jsou vhodnější na kratší vzdálenosti, kde nehrozí žádné rušení. Jejich výhodou je nízká cena, nevýhodou nevhodnost při použití na delší vzdálenosti z důvodu náchylnosti k interferencím. Signál je vždy přenášen pouze jedním vodičem a jedinou ochranou proti elektromagnetickému záření je stínění. Tyto kabely bývají obvykle ukončeny konektorem JACK (6,35 nebo 3,5 mm) a objevují se především u spotřební elektroniky. Tam, kde je však kladen důraz na vysokou kvalitu přenosu, je obvykle použito symetrického zapojení. Signál se přenáší

hned dvěma vodiči – v jednom s kladnou, ve druhém se zápornou fází. Na vstupu se pak měří pouze rozdíl těchto hodnot, protože je-li na cestě signálu přítomno rušení, vychýlí oba signály stejným směrem. Funkci balancovaného spoje lze velmi dobře ilustrovat na příkladu:

Přenášíme signál o napětí 1V. Tedy na prvním vodiči vysíláme +1V, na druhém -1V. Rozdíl tedy činí 2V. Na cestě se vyskytne rušení o napětí +1V. Vychýlí tak signál na prvním vodiči na +2V a na druhém na 0V. Rozdíl signálů je evidentně pořád 2V, čili lze jednoduše získat původní hodnotu vyslaného signálu.

Symetrické kabely nejčastěji používají konektory XLR se třemi kolíky, přezdívané „Cannon“ podle původního výrobce. Další výhodou tohoto konektoru je i to, že jeho prostřednictvím lze mikrofony vzdáleně napájet z mixážního pultu či kamery. Tento systém se nazývá **Phantom** a využívá napětí 48 V. Navíc je celý systém natolik sofistikovaný, že v případě, že spustíme vzdálené napájení na mikrofon, který napájení nevyžaduje, nestane se nic. Mikrofon se nijak nepoškodí, napětí se nevyužije. Napájení vyžadují kondenzátorové mikrofony, u nichž je nezbytné napájet kapacitor a zároveň je nutné zesílit jejich výstup.



4.1.4 Zisk

Poslední nutnou zmínkou k mikrofonům je otázka zisku. U každého mikrofonu je nutné nalézt optimální úroveň signálu, který bude z mikrofonu přijímat další zařízení – kamera, mixpult aj. Hodnotou, jež je obvykle značena *gain* nebo *trim*, je předzesílen vstupující signál právě zařízením, které následuje v audio-systému za mikrofonem. Závisí na citlivosti mikrofonu a na hlasitosti zdrojového zvuku. Nastavení má kritický vliv na kvalitu pořízeného signálu – v případě malé hodnoty zisku může zvuk naprosto zaniknout v tichu, naopak pokud je nastaveno zisku moc, může dojít k výskytu šumu nebo k tzv. přebuzení. Tento jev vznikne tak, že síla signálu z mikrofonu je větší, než je vstup dalšího zařízení schopen pojmout – nejčastěji při záznamu velmi hlasitých zvuků. Projevuje se silným zkreslením záznamu. V extrémních situacích je nutné použít tzv. utlumovače a výstup mikrofonu potlačit, aby signál vstup kamery (mixpultu) nepřebudil.

Pokud zaznamenáváme různé zvukové zdroje, je výhodné ponechat nastavení zisku na automatické kamery, která dynamicky optimalizuje předzesílení zapojeného mikrofonu. Nevyhneme se ale situaci, kdy do tichého záběru náhle zazní hlasitý zvuk – pak je nutné očekávat chvilkové přebuzení, než kamera upraví úroveň předzesilovače na nižší hodnotu. Pokud však snímáme konkrétní scénu, kde předem známe hlasitost zvukového zdroje/zdrojů, můžeme hodnotu nastavit ručně. Vyhneme se tak výskytu šumu, který by vznikl za použití automatiky – ta by totiž v okamžicích ticha ihned zvětšila zisk na maximální možnou úroveň a dala by tak navíc i možnost výskytu přebuzení.

4.2 Mixování

Použití mixážních pultů nám při akvizici zvuku nabízí hned několik výhod:

1. **Připojení několika (různých) mikrofonů či celých audio-systémů**
2. **Frekvenční úpravu pořizovaného zvuku v době akvizice**
3. **Přidání efektů**
4. **Přehledný systém všech zvukových nástrojů**

Ad 1. I profesionální kamery nabízejí velmi omezený počet audio vstupů. Obvykle pouze jeden nebo dva. Proto je v případě požadavku na zapojení více mikrofonů nebo jiných zařízení nutno sáhnout po mixážním pultu a samostatné signály smíchat v jeden (resp. dva v případě sterea). Představme si například konferenci, která má 3 hlavní mluvčí, ale navíc padají i otázky z publika a celá je prokládána zvukovými znělkami spouštěné z osobního počítače. Použití integrovaného mikrofonu kamery můžeme ihned zavrhnout. Je nutné, aby každý mluvčí měl svůj vlastní mikrofon (např. ruční či klopový) a pro nazvučení otázek publika použijeme např. kardioidní nebo kulový. Navíc je potřeba zaznamenat v dobré kvalitě i hudební znělky přímo z výstupu počítače. Všechny tyto požadavky splní mixážní pult, do kterého vše bez problému zapojíme, nastavíme optimální hladiny mikrofonů a linky z počítače a nastavíme vyvážení levého a pravého kanálu. Takto smíchaný stereo-signal už není problémem posílat přímo do kamery nebo jiného záznamového zařízení.

Ad 2. Prakticky všechny mixážní pulty nabízejí alespoň základní možnosti frekvenční korekce zvuku. U každého kanálu tak lze upravit výšky, středy a hloubky. Například potlačením hloubek oproti středům a výškám lze radikálně zvýšit srozumitelnost mluveného slova nebo odfiltrovat nežádoucí vibrace. Ekvalizátory a úprava zvuku je velmi obsáhlé téma a bohužel v této práci pro ně není další místo. Pro další informace doporučuji webové stránky „Songstuff“ – zde jsou popsány základní informace o frekvenčních úpravách pro hlas, hudební nástroje apod.

Songstuff, URL <<http://www.songstuff.com/articles.php?selected=53>> [citováno v srpnu 2007]

Ad 3. Kromě úpravy zvuku ekvalizátorem nabízejí mixážní pulty i možnost přidání zvukových efektů. Pomocí nich lze už v okamžiku akvizice zvuk měnit zamýšleným způsobem. Mluvčímu např. můžeme nastavit efekt **hall**, který přidá hlasu prostorovost a nebude tedy znít „suše“. Stejně tak lze přidat ozvěnu, zkreslení či jiné. Problémem je, že jakmile jednou takto zvuk zaznameneáme, už efekt nikdy neodstraníme. Na druhou stranu efekty v mixážních pultech (především analogové) obvykle dosahují lepších kvalit než softwarové nástroje.

Ad 4. Poslední nezanedbatelnou výhodou mixážního pultu je, že nabízí všechny zmíněné funkce přehledně uspořádané na jednom místě. Nabízí tak jednoduchý systém, který umožní oddělit akvizici obrazu od akvizice zvuku. Kameraman se tak může plně soustředit pouze na záznam obrazu, neboť všechny záležitosti zvuku vyřeší zvukař na samostatném zařízení.



Mixážní pult laboratoře LEMMA, Behringer XENYX 1202FX, splňuje všechny uvedené body. Lze pomocí něj zapojit až 4 mikrofony a další zařízení nebo hudební nástroje – nejvíce však 12 (mono) vstupů. Nabízí i základní ekvalizátor a efektovou jednotku. Výstup mixpultu lze jednoduše zapojit do kamery Canon XH-A1. I samotná kamera umožňuje řídit úroveň zvuku na levém resp. pravém kanálu.

5. Rezervační systém

Poslední část této práce patří zmínce o rezervačním systému laboratoře LEMMA. Autor se podílel na jeho zprovoznění plněním databáze a následným testováním funkčnosti. Systém je v současné době přístupný na internetové adrese <http://kore.fi.muni.cz:14080/Lemma>

Autory systému jsou Jan Řezník, Tomáš Bukal a Vojtěch Vild.

5.1 Motivace systému

Současně s nákupem velkého množství nové techniky vznikla potřeba výpůjčky nějakým přehledným způsobem organizovat. Studentům nabídnout jednoduché rezervace, administrátorům přehled o zapůjčené technice a administrativním pracovníkům informace o termínech výpůjček.

5.2 Funkce systému

Nejdůležitější funkce systému jsou:

- studentům nabízí jednoduché grafické rozhraní pro snadnou rezervaci požadované techniky
- generuje výpůjční formulář, jenž je formálním požadavkem FI při jakékoliv půjčce majetku školy
- eviduje přesnou dobu, kdy je technika ostatním uživatelům nedostupná
- administrátorům podává jednoznačný přehled o stavu techniky – mohou tak okamžitě urgovat její navrácení
- automaticky upozorňuje administrativní pracovníky na nejbližší termín výpůjčky
- lze pomocí něj jednoduše spravovat databázi techniky k zápůjčkám

6. Závěr

Tato práce měla být především kompilačním materiálem sloužící především k obeznámení s teoretickými základy video resp. audio akvizice. Rozebrány byly snad všechny důležité problémy, na které lze narazit při používání techniky laboratoře LEMMA. Pevně věřím a doufám, že studentům přinese především snadnější práci s technikou a v důsledku toho kvalitní filmové snímky na dalších filmových festivalech Fakulty informatiky.

Praktickou částí práce bylo především analyzovat potřeby laboratoře, napomoci chodu rezervačního systému a vytvořit výukové DVD pro práci s kamerou Canon XH-A1 (především pro demonstraci problematiky akvizice) – všechny tyto body byly snad úspěšně splněny.

7. Literatura

- [1] Wikipedia The Free Encyklopedia, URL <www.wikipedia.org> [citováno v prosinci 2007]
- [2] What is Deinterlacing? Facts, solutions, examples, URL <www.100fps.org> [citováno v říjnu 2007]
- [3] Division of the ATS, URL <<http://arts.ucsc.edu>> [citováno v říjnu 2007]
- [4] Videomaker, URL <www.videomaker.com> [citováno v listopadu 2007]
- [5] Cambridge in colour, URL <<http://www.cambridgeincolour.com>> [citováno v prosinci 2007]
- [6] SongStuff, URL <<http://www.songstuff.com>> [citováno v srpnu 2007]
- [7] Internetové stránky laboratoře LEMMA, URL <www.fi.muni.cz/lemma> [citováno v prosinci 2007]
- [8] Internetové stránky společnosti Canon, URL <www.canon.com> [citováno v září 2007]
- [9] Internetové stránky společnosti Sony, URL <www.sony.com> [citováno v září 2007]
- [10] Internetové stránky společnosti Panavision, URL <www.panavision.com> [citováno v říjnu 2007]
- [11] Šiler, P., Liška M.: Principy zpracování a přenosu multimédií (studijní materiály předmětu PV188), FI MU, Brno 2006

Zdroje obrázků:

- [A] Wikipedia The Free Encyklopedia, URL <www.wikipedia.org> [citováno v prosinci 2007]
(obrázky 3.2.1.1, 3.2.1.2, 3.2.2.1, 3.4.1.1, 3.4.1.2, 3.4.2.1, 3.4.2.2, 3.4.2.3, 3.6.1, 3.8.1.1, 4.1.1.1, 4.1.1.2, 4.1.1.3, 4.1.1.4, 4.1.2.1, 4.1.2.2) – obrázky podléhají GNU licence nebo Creative commons licence
- [B] Cambridge in colour, URL <<http://www.cambridgeincolour.com>> [citováno v prosinci 2007]
(obrázky 3.6.2, 3.6.3) – převzato se souhlasem autora
- [C] Creative video, URL <www.creativevideo.co.uk> [citováno v prosinci 2007]
(obrázky 3.7.2.1, 3.7.2.2) – převzato z prezentačních materiálů společnosti (volně k použití)

8. Přílohy

První přílohou práce je disk DVD-VIDEO, jehož obsah popisuje kapitola 1.3.

Druhou přílohou je disk CD s elektronickou kopií práce ve formátu PDF.