

AKADEMIE MÚZICKÝCH UMĚNÍ V PRAZE

FILMOVÁ A TELEVIZNÍ FAKULTA

Filmové, televizní a fotografické umění a nová média

Kamera

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

**BAREVNÉ PROSTORY V DIGITÁLNÍ KINEMATOGRAFII
A CESTA K JEDNOTNÉMU SYSTÉMU ACES**

Václav Pavlíček

Vedoucí práce: MgA. Vidu Gunaratna

Oponent práce: doc. Mgr. Antonín Weiser

Datum obhajoby: 13. 9. 2023

Přidělovaný titul: BcA

Praha 2023

ACADEMY OF PERFORMING ARTS IN PRAGUE

FILM AND TELEVISION DEPARTMENT

Film, TV and photographic art and new media

Cinematography department

BACHELOR THESIS

**COLOUR SPACES IN DIGITAL CINEMATOGRAPHY
AND THE PATH TO THE UNIFIEDACES SYSTEM**

Václav Pavlíček

Thesis supervisor: MgA. Vidu Gunaratna

Thesis opponent: doc. Mgr. Antonín Weiser

Date of defense: 13. 9. 2023

Title assigned: BcA

Praha 2023

P r o h l á š e n í

Prohlašuji, že jsem bakalářskou/magisterskou/disertační práci na téma

BAREVNÉ PROSTORY V DIGITÁLNÍ KINEMATOGRAFII a CESTA K JEDNOTNÉMU SYSTÉMU ACES

vypracoval(a) samostatně pod odborným vedením vedoucího práce a s
použitím

uvedené literatury a pramenů.

Praha, dne

.....

podpis diplomanta

Upozornění

**Využití a společenské uplatnění výsledků diplomové práce, nebo jakékoliv
nakládání s nimi je možné pouze na základě licenční smlouvy, tj. souhlasu
autora a AMU v Praze.**

Abstrakt

Předmětem této bakalářské práce je popis postupu zpracování obrazových dat v digitální kinematografii se zaměřením na problematiku barevných prostorů spojených s přesností správné barevné reprodukce, pro kterou byl vytvořen systém dekódování obrazových dat ACES, vyvinutý americkou filmovou akademií. Práce představuje sumarizaci základních poznatků vývoje zpracování obrazových dat a co vedlo k potřebě vytvoření jednotného systému správy barevných prostorů. Práce je především určena pro studenty oboru kamera a má sloužit k lepší orientaci v dané problematice, která se jich bezprostředně týká. Jaké máme základní barevné prostory a standardy? Co přinesl současný vývoj digitálních kamer? Proč je potřebný jednotný systém pro správu barev? Jak se dané poznatky prolínají ve všech fázích výroby až k finálnímu výstupu?

Abstract

The aim of this bachelor thesis is description of image data processing methods in digital cinematography with a main focus on the issue of color spaces associated with the fidelity of correct color reproduction for which the ACES image data decoding system was created. This thesis presents a summary of the basic knowledge of the development of image data processing and what led to the need to create a unified system ACES. The work is primarily intended for students of the cinematography department and is intended to improve orientation in the given issue, which directly concerns them. Which are the basic color spaces and standards? What has the current development of digital cameras brought to the film industry? Why is the industry standard for managing color systems needed and how does this knowledge intertwine in all phases of production to the final output?

Obsah

1. Úvod
2. Barva
 - 2.1. Barevný model, prostor a gamut
3. Digitální video
 - 3.1. Gamma korekce
 - 3.2. Lineární a logaritmické kódování obrazu
 - 3.3. Bitová hloubka
 - 3.4. Bílý bod
 - 3.5. Rozsah videodat
4. Barevné prostory ve filmu a TV
 - 4.1. Barevné prostory pro televizní vysílání ve vysokém rozlišení
 - 4.2. Barevné prostory digitální kinematografie
 - 4.3. Barevné prostory kamer
5. Historie ACES
 - 5.1. Cesta k digitální kinematografii
 - 5.2. Vznik ACES
6. ACES Workflow
 - 6.1. Natáčení
 - 6.2. Postprodukce
 - 6.3. Archivace
7. Závěr
8. Vybraný seznam filmů s postprodukčním standardem ACES
9. Použitá literatura a zdroje

1. Úvod

ACES neboli *Academy Color Encoding System* je otevřeným systémem pro práci s obrazovými daty, správou barevných prostorů a tvorbou digitálních masterů pro distribuci a archivaci audiovizuálních děl. Vznikl z potřeby sjednocení reprodukce barev ve filmové a televizní tvorbě, kterou vyvolal zejména nástup filmových digitálních kamer. Je syntézou poznatků, pravidel a technologických postupů, které jsou formulovány na základě norem stanovených Společností filmových a televizních inženýrů (SMPTE) a Mezinárodní organizací pro normy (ISO). Cílem je mít ustálenou postprodukční pipeline, ve které nedochází ke zkreslení barevného podání, a jednotlivé filmové profese mají nad obrazem plnou technickou a kreativní kontrolu. Jeho použití je univerzální a počítá s budoucím vývojem technologií, není vázán na současné možnosti snímacích a zobrazovacích zařízení. Má podporu u celé řady významných výrobních společností filmového průmyslu (ARRI, Sony, RED Digital Cinema, Blackmagic Design, DJI, Avid, Technicolor, aj.). ACES není jediným systémem správy barev, existují alternativy TrueLight (Baselight) nebo Resolve Color Management (Blackmagic Design).

Zatímco jednotný systém výroby filmových kopií zůstal za celou dobu své existence víceméně stabilní, digitální kinematografie zažila v posledních 20 letech¹ prudký rozvoj, kdy se hledaly vhodné technologie záznamu, zpracování a distribuce. Každý výrobce má své vlastní postupy zpracování barev, ať už jde o snahu o co nejvěrnější barevnou reprodukci či záměrné napodobení podání barev filmového materiálu. Také způsob prezentace se proměnil, kromě masivní digitalizace kin a rozvoje HDTV se značně rozšířily online platformy VOD², díky kterým lze filmy a seriály sledovat na nejrůznějších zařízeních a tedy i na zcela rozdílných displejích různého rozlišení a kvality. Navíc se tato problematika přemístila přímo na samotné natáčení, kde má mimo kamerovou posádku možnost vidět naživo právě natáčený záběr velké množství dalších profesí filmového štábu. Jednotný systém správy barev umožňuje, aby nedocházelo k odchylkám a tedy i nedorozumění či pochybám o technické kvalitě obrazu.

¹ V roce 2002 měl poprvé premiéru film kompletně natočený na první digitální filmovou kameru Sony CineAlta Star Wars Epizoda II: Klony útočí - <https://www.lucasfilm.com/news/lucasfilm-originals-digital-cinema/>

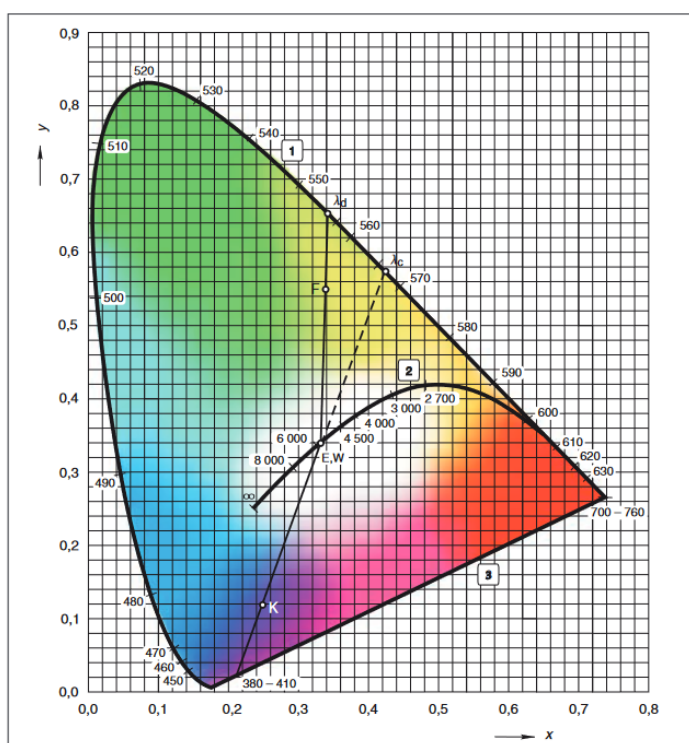
² Netflix, Disney +, Amazon Prime, Apple TV či české Voyo, Aerovod, DAFilms a iVysílání České televize

Nová úskalí digitální kinematografie se týkají rovněž i archivace obrazového masteru. Ta dříve spočívala v zachování stříhu původního negativu, který je v archivu skladován při správných podmínkách s životností více jak 100 let. Z hlediska zachování kvality obrazových dat představuje nejlepší řešení a vzhledem k tomu, že se základní technologické principy příliš neměnily, tak bylo možné vytvářet nové kopie při zachování přibližně stejné kvality. Pro referenci existovala vzorová premiérová kopie³, která byla očíslovaná kameramanem filmu a schválena producentem. Proces barevné reprodukce zkomplikoval nejprve nástup digitálního intermediátu (kombinující digitalizovaná data s klasickou filmovou kopií) a následně plná digitalizace filmového průmyslu od procesu záznamu, přes postprodukcí až k vytvoření masteru pro digitální projekci v kinosále. Zdrojů obrazových dat a zobrazovacích zařízení, se specifickými vlastnostmi od výrobců, je daleko více a v souvislosti s neustálým vývojem je potřeba zajistit, aby současné digitální mastery byly i v budoucnu snadno čitelné a adaptabilní na nové technologie, barevná reprodukce nebyla zkreslená a odpovídala původnímu záměru tvůrců.

Rozumět základní problematice správy barevných prostorů by mělo patřit k základním znalostem každého kameramana, který je nejen uměleckým ale především technologickým garantem obrazové složky filmu.

³ URBAN, Miroslav. *Filmová laboratoř*, 2., rozš. vyd. Praha, Akademie múzických umění, 2001, ISBN 8085883783, str. 40

2. Barva



Obr. 5.6. Diagram chromatičnosti mezinárodní kolorimetrické soustavy XYZ v pravoúhlých souřadnicích x, y

1 – křivka spektrálních světél s vyznačenými vlnovými délkami v nanometrech,
2 – čára teplotních zářičů se stupnicí v kelvinech, 3 – přímka purpurů,
 λ_d – náhradní vlnová délka k záření charakterizovanému bodem F
 λ_c – doplňková vlnová délka k záření charakterizovanému bodem K v oblasti purpurů

Barvu můžeme definovat jako vyjádření zrakového vjemu, tak jak jej interpretuje lidský mozek.

Habel⁴ (2009, str. 64) uvádí: „Schopnost rozlišit dvě plošky zorného pole, které mají stejnou velikost, tvar a strukturu, přičemž tento rozdíl má stejnou povahu jako rozdíl, který by vznikl změnou spektrálního složení světla.”

Pro nás je viditelné pouze úzké spektrum elektromagnetického záření ve vlnových délkách 380 - 780 nm. Při popisu vjemů se barevné vlastnosti rozdělují na chromatičnost (vlastnosti světla) a koloritu (vlastnosti předmětů). Tyto psychofyzikální pojmy jsou dané spektrální citlivostí zraku a spektrálním složením záření, které do lidského oka vstupuje. Odlišné vjemy jednotlivých částí spektra definujeme jako *barevný tón* a jedná se pouze o přibližné oblasti vlnových délek.

Habel (2009, str. 64): „Kromě spektrálních barev, které lze zjistit ve spektru záření slunce (běžně např. při pozorování duhy) či jiných zdrojů, existují tzv. nespektrální barvy. Patří k nim purpurové barvy. Nejsou součástí spektra ani slunečního světla,

⁴ HABEL, Jiří. Časopis SVĚTLO, str. 64., Základy světelné techniky, Základy nauky o barvě (1. část) 5/2009 prof. Ing. Jiří Habel, DrSc., Elektrotechnická fakulta ČVUT v Praze, FCC Public s. r. o.,

ani záření jiných zdrojů. Vyznačují se též určitým, tzv. nespektrálním barevným tónem. Purpurové barvy vznikají mísením obou krajních částí spektra viditelného záření, tj. spektrální barvy fialové a červené.”

2.1 Barevný model, prostor a gamut

Barevný model je systém popisující barvy viditelného spektra pomocí matematického modelu. Barva se ve většině případů skládá z kombinace 3 hodnot (např. 3 hodnot intenzity barev červené, zelené a modré). Jedním z prvních matematicky definovaných modelů byl CIE XYZ (nebo také CIE 1931), vycházející z řady experimentů zkoumající vnímání barev lidským zrakem. Je založen na principu tří druhů barvocitlivých čípků (každý z nich má silné podráždění v určité oblasti vlnových délek). Pro vnímání barev denního barevného spektra je potřeba znázornit všechny viditelné barvy 3 souřadnicemi. Prostor CIE XYZ je navržen tak, že parametr Y separuje jas a vlastní barva je pak určena dvěma odvozenými parametry x a y. Tyto odvozené parametry lze spočítat ze všech tří trichromatických složek X, Y a Z.⁵

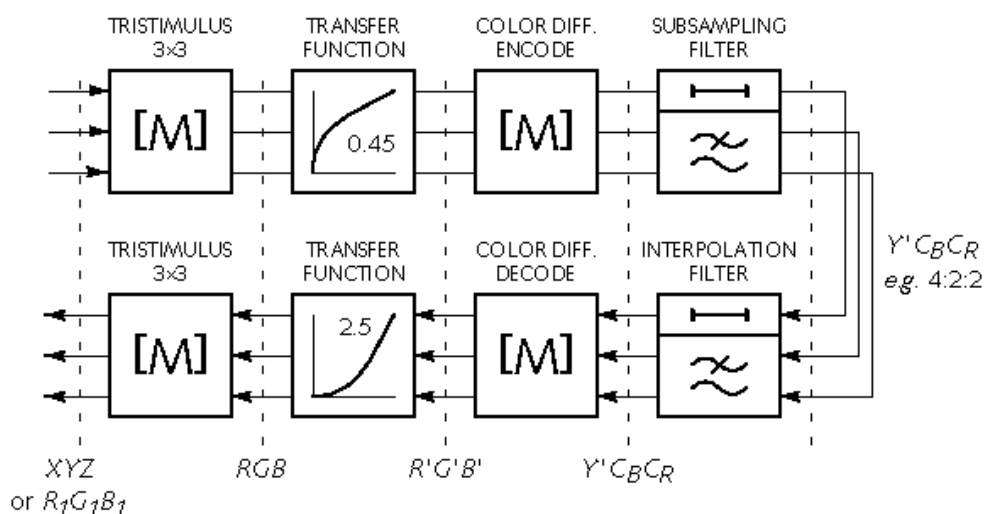
Barevný prostor z barevného modelu vychází, definuje podmnožinu barev, které je možno v prostoru zachytit nebo zobrazit. Proto jsou některé prostory standardem mnoha zobrazovacích a záznamových zařízení.

Zatím nikdo nesestrojil monitor či projektor, který by byl schopen zobrazit všechny viditelné barvy světelného spektra. Ve většině případů je založen na barevném modelu (sRGB a Adobe RGB založené na barevném modelu RGB).

Barevný gamut představuje rozsah zobrazitelných barev v barevném prostoru (výsek v diagramu CIE), které je například zařízení schopné zobrazit. Monitor může podporovat určitý typ barevného prostoru, který však gamut nemusí zcela pokrýt. Část barev se může nacházet mimo něj a není možné je zobrazit.

⁵ ŠMOK, Ján, TAUSK, Petr a Josef PECÁK, ed. *Barevná fotografie. 2., upravené vyd.* Praha: SNTL, 1978. Řada chemické literatury.

3. Digitální video



Ve videosystému se jas každé z lineárních světelných složek červené , zelené a modré (tristimulus) transformuje na nelineární video signál pomocí gamma korekce⁶, k čemuž dochází buď přímo v digitální kameře nebo při postprodukčním zpracování RAW. Idealizovaný typ monitoru by tuto transformaci přesně invertoval. Reálné monitory nejsou tak přesné a nemají lineární segment, přesná definice je ale nezbytná pro přesné mezi produktové zpracování v lineárně-světelné oblasti. V barevném systému se na každou ze tří tristimulových (lineárně-světelných) složek RGB aplikuje identická přenosová funkce.

3.1. Gamma korekce

Označuje proces úpravy hodnot jasu obrazu, který kompenzuje nelineární odezvu zobrazovacích zařízení, jako jsou monitory a displeje. Pomáhá korigovat přirozené zkreslení jasu a kontrastu, ke kterému dochází při zobrazování digitálního obsahu na různých zařízeních. Využívá rozdílné vnímání rozdílů intenzity světla lidským zrakem, který je ve srovnání s digitálními senzory daleko citlivější na změny tmavých než světlých tónů. Vzrůstající intenzitu nevnímá lineárně. Gamma korekce proto přerozděluje lineární jasové úrovně tak, aby přirozeně lineárně narůstaly i pro lidské vnímání. Bez této úpravy by byl obraz vnímán jako plochý a nekонтрастní. Úpravami vstupních dat nedochází k žádným ztrátám obrazových informací. Existuje více gamma korekcí pro různé typy zařízení přizpůsobené různým pozorovacím podmínkám.

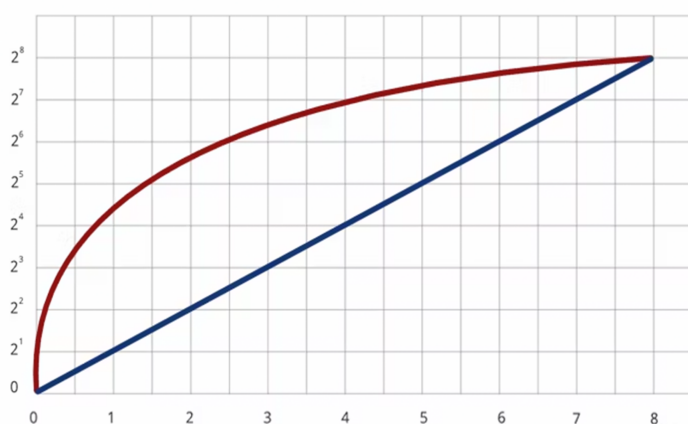
⁶ https://poynton.ca/notes/colour_and_gamma/GammaFAQ.html#contrast_ratio

gamma 2.2 – nejpoužívanější typ gamma korekce (např. v barevném prostor sRGB) pro pozorování za světlejších podmínek.

gamma 2.4 – používána spoustou koloristů při práci v prostoru Rec709 pro kompenzaci kontrastu moderních zobrazovacích zařízení.

gamma 2.6 –standard pro prostor Rec 2020 a P3.

3.2. Logaritmické kódování obrazu



Tato technika se používá k záznamu velkého dynamického rozsahu úrovní jasu, které se vyskytují ve scéně. Weberův-Fechnerův zákon⁷ říká, že vnímaný jas nebo svítivost zrakového podnětu není přímo úměrný skutečné fyzické intenzitě světla, ale spíše logaritmu této intenzity. S rostoucí fyzikální intenzitou světla (jasem) není vnímaný nárůst jasu lineární, ale řídí se logaritmickým vztahem. V praxi tato logaritmická odezva na intenzitu světla znamená, že jsme citlivější na změny jasu při nižších hladinách osvětlení (tlumené osvětlení) ve srovnání s vyššími hladinami osvětlení (jasné osvětlení). Tato vlastnost je výhodná pro adaptaci na širokou škálu světelných podmínek umožňující nám rozeznávat detaily při různých úrovních osvětlení. Jedním z běžných příkladů, který ilustruje toto nelineární vnímání jasu, je pojem "právě znatelný rozdíl" (Just noticeable difference, JND) v jasu. Představuje nejmenší změnu jasu, která je vnímatelná lidským okem. S rostoucí intenzitou světla roste i absolutní změna intenzity potřebná k vytvoření znatelného rozdílu v jasu.

⁷ <http://fyzika.jreichl.com/main.article/view/210-weber-fechneruv-psychofyzikalni-zakon>

Obrazový snímač zachycuje světelná a barevná data ze scény. Tato data se transformují pomocí logaritmické funkce. Mapováním hodnot pixelů na logaritmickou stupnici je možné přidělit více bitů oblastem stínů a méně bitů oblastem jasů. Data kódovaná logem jsou následně zpracována tak, aby se vešla do zvolené bitové hloubky a nastavené komprese. Logaritmické kódování vychází z praxe skenování filmového materiálu do formátu Cineon, vyvinutého společností Kodak, který jej využívá k využití větší bitové hloubky (10bit i 16 bit) lineárního obrazového snímače pro reprodukci vlastností negativu. Kodak vytvořil svůj filmový skener v podstatě jako denzitometr, který dokáže zachytit až 6 milionů různých hustot snímku⁸.

Pro práci s logaritmicky kódovaným videem je nutné použít transformaci barev pro převod logaritmických hodnot do lineárního prostoru pro správné zobrazení, přesné úpravy a barevné korekce. Toho lze dosáhnout buď pomocí 3D LUT (Look-Up Table) nebo *Input transfer function* (vstupní převodní funkce). 3D LUT mapuje vstupní hodnoty barev na požadované výstupní hodnoty barev. V případě převodu logaritmicky kódovaného videa do lineárního prostoru se zvolí 3D LUT, která tuto transformaci provádí. LUT obsahuje sadu instrukcí pro úpravu hodnot barev a jasu podle konkrétního kódování log a požadovaného lineárního výstupu (např. Arri log C > Rec 709).

Input transfer function - vstupní přenosová funkce jsou matematické vzorce, které popisují, jak převést konkrétní logaritmické kódování na lineární škálu. V kontextu videa se tyto funkce aplikují na barevné kanály RGB. Různí výrobci kamer a video standardů mohou používat odlišné převodní funkce je tedy potřeba mít buď informace o zdroji obrazových dat nebo v ideálním případě originální metadata .

⁸ <http://www.digital-intermediate.co.uk/film/pdf/Cineon.pdf>

3.3. Bitová hloubka

Určuje rozsah barev, které je kamera schopna rozpoznat a kódovat. Bitová hloubka označuje počet bitů dat - jedniček a nul - použitých pro záznam barevných kanálů RGB pro každý pixel. Barvy jsou kódovány tak, aby vznikl jeden pixel, jehož barvu reprezentuje prolínání hodnot jednotlivých kanálů RGB. Pokud jsou všechny tři barvy na maximální hodnotě, je pixel bílý, pokud jsou všechny na minimu, je pixel černý, jakákoli jiná kombinace vede ke spektru dostupných barev podle rozsahu barevné bitové hloubky.

8-bit

Pro každý barevný kanál je k dispozici 8 bitů (2^8) pro uložení dat, což dává variaci 256 odstínů na kanál. Výsledná kombinace 256 odstínů pro červenou, zelenou a modrou znamená, že v 8 bitovém videu je k dispozici 16 777 216 ($256 \times 256 \times 256$) možných barev. Je běžným standardem pro mnoho zobrazovacích zařízení a formátů videodistribuce, což zajišťuje širokou kompatibilitu s různými platformami. Má malý datový objem, což může být užitečné pro televizní vysílání nebo stream. Dochází však ke ztrátě kvality a tvorbě kompresních artefaktů jemných barevných přechodech (tvorba posterizace), díky čemuž nejsou vhodné pro další postprodukcí. V kontextu televizní a filmové produkce je zpracování videa s 8 bitovou barevnou hloubkou poměrně vzácné, vzhledem k požadavkům na vyšší přesnost barevné reprodukce.

10-bit

Pro každý barevný kanál je k dispozici 10 bitů (2^{10}) pro uložení dat, To znamená, že v každém kanálu je 1 024 možných hodnot odstínů a celkem 1 073 741 824 možných barev. Větší barevný rozsah umožňuje jemnější přechody mezi různými odstíny a díky tomu poskytuje možnost výraznějších postprodukčních úprav.

Je standardem televizní postprodukce a archivace, kromě televizních kamer jsou tohoto záznamu schopné i některé digitální fotoaparáty (např. Panasonic GH6 či Sony A7SIII), které je možné využít pro dokumentární tvorbu. Nejsou příliš vhodné pro klíčování, kde zejména v oblasti jemných detailů opět naráží na nedostatek informací v jednotlivých barevných přechodech. Některé distribuční platformy⁹ preferují nebo dokonce požadují vyšší barevnou hloubku pro zajištění vysoké kvality

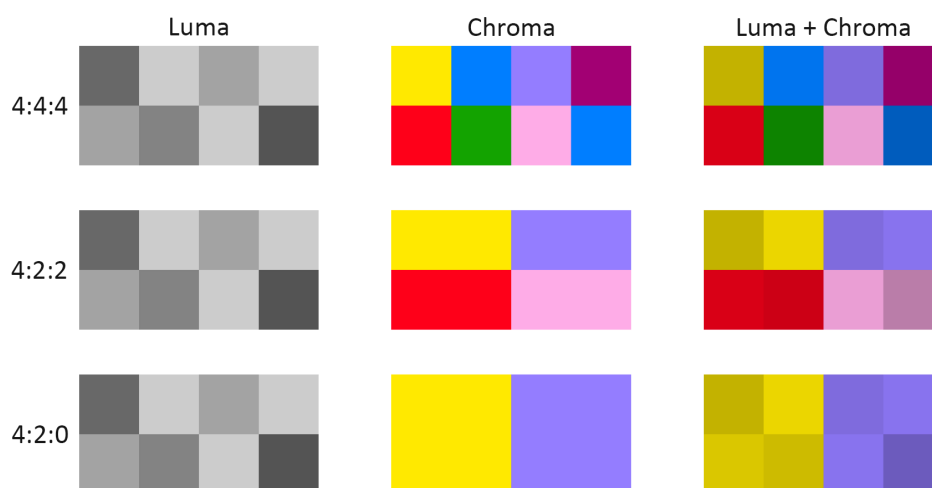
⁹ <https://partnerhelp.netflixstudios.com/hc/en-us/articles/7262346654995>

video. To platí zejména pro vysoké rozlišení (HD, 4K) a formáty s vyšším dynamickým rozsahem HDR (High Dynamic Range).

12-bit

Každý barevný kanál má k dispozici 12 bitů (2^{12}), což nabízí 4096 odstínů červené, zelené a modré, celkem tedy více než 68 miliard barev. Je tedy ideální pro digitální kinematografii, kde jsou kladeny vysoké nároky na kvalitu barevné reprodukce a možnosti zachytit co nejširší dynamický rozsah, což je výhodné pro rozsáhlé barevné úpravy bez viditelné ztráty kvality, zapojení klíčování a VFX. Zahrnuje kamery digitální kinematografie jako (ARRI Alexa, Sony Venice, RED Monstro aj.) a je součástí specifikace DCI.¹⁰

3.4. Podvzorkování barvosných složek



Technika používaná v digitálním zpracování obrazu a videa, která se zaměřuje na snížení množství dat používaných pro záznam nebo přenos barevných informací ve srovnání s informacemi o jas. Je využíváno v barevných modelech YUV a YCbCr, které jsou založeny na rozdělení obrazu do tří složek: Y (jas), U/Cb (barvosná složka modré) a V/Cr (barvosná složka červené).

YUV vychází z analogového televizního vysílání PAL, zatímco YCbCr je používán v systému digitálního videa a televize. Lidské oko je méně citlivé na změny v barevných složkách než na změny v jasové složce obrazu. To znamená, že

¹⁰ <https://dcimovies.com/specification/index.html>

můžeme snížit množství dat použitých pro reprezentaci barevných informací, aniž by to ovlivnilo vnímanou kvalitu obrazu. Barevné podvzorkování je vyjádřeno pomocí číselného poměru, například 4:4:4, 4:2:2 nebo 4:2:0. První číslo označuje počet vzorků pro jas, druhé číslo označuje počet vzorků pro barvonosnou složku modré (Cb) a třetí číslo označuje počet vzorků pro barvonosnou složku červené (Cr).

4:4:4

Barvonosné složky se zachovávají v plné kvalitě pro každý pixel. Tento typ vzorkování se používá u záznamu digitálních filmových kamer, výkonných scannerů a v postprodukci.

4:2:2

Počet vzorků barvonosných složek se ve srovnání s 4:4:4 snižuje na polovinu. Každý pixel má plnou informaci o jasu (Y), ale barvonosné složky jsou vzorkovány pouze pro každý druhý pixel v horizontálním směru. Používá se v profesionální TV produkci a dnes ho nabízí v rámci interního záznamu videa i vyšší řady poloprofesionálních kamer a digitálních fotoaparátů.

4:2:0

Počet vzorků se oproti 4:2:2 dále snižuje. Pro každé čtyři pixely jsou celkem dostupné 4 vzorky pro jas a pouze jeden vzorek barvonosné složky modré (Cb) a jeden vzorek barvonosné složky červené (Cr).

Díky velké úspoře dat slouží při kompresi videa pro úsporu místa a šířky pásma, například u formátů jako je MPEG-2 nebo H.264 (televizní vysílání, stream, VOD). Pro záznam je využité v amatérských videokamerách či mobilních telefonech.

3.5. Bílý bod

Při aditivní reprodukci obrazu je bílý bod chromatičností barvy reprodukované stejnými hodnotami složek červené, zelené a modré (vyvážení síly primárních složek RGB). Neexistuje žádná fyzikální definice bílé barvy (spíše biologická a percepční vlastnost), takže pro dosažení přesné kombinace barev je třeba vlastnosti bílé barvy specifikovat. Realističtější referenční hodnotu, která se blíží dennímu světlu, určila CIE číselně jako illuminant D65 uvedený v Kelvinech.

D65 – reprezentuje průměrné denní světlo a má korelovanou barevnou teplotu přibližně 6500 K, je bílým bodem pro Rec 709 a mnoha dalších.

DCI White – bílý bod stanovený pro specifikaci DCI s přibližnou hodnotou 6300K, má barevný posun směrem k zelené, což je pozůstatek z doby počátku digitální projekce, kdy se touto korekcí jasem přiblížila k jasů filmového projektoru.

3.6. Rozsah video dat legal / full

Technika používaná ve vysílání k omezení informací adresovaných kóděrem na jasovém kanálu.

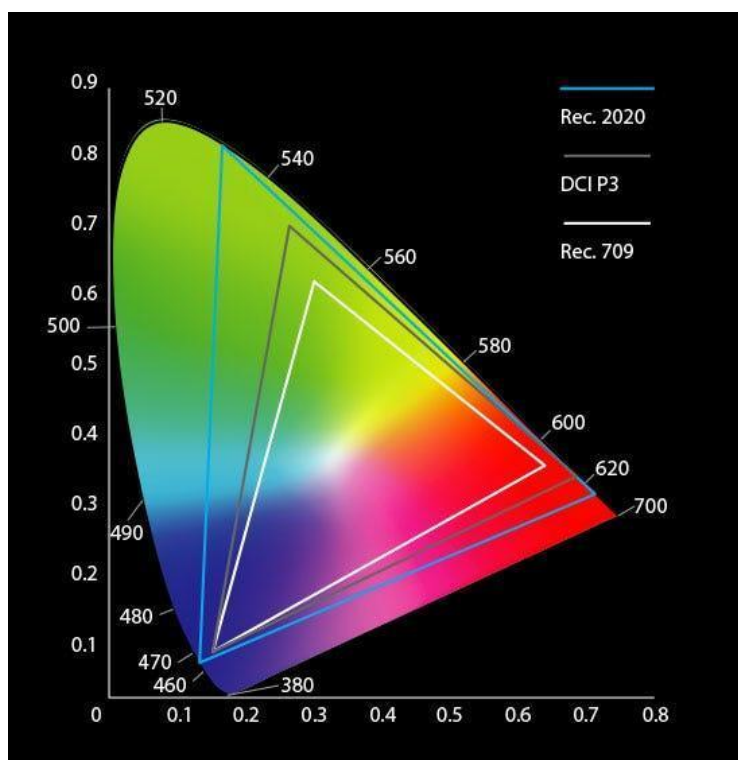
Legal video levels (SMPTE)

Jsou definovány svými bitovými hodnotami. Například v 8 bitovém videu s hodnotami 0 - 255 jsou tyto úrovně v hodnotách 16 - 235 (0 - 15 jako hodnoty černé a pod černou a 236 - 255 jako bílá a nad bílou). Účelem tohoto omezení je zajistit, aby se při přenosu neztratila žádná data. Různé druhy kodeků mají tu vlastnost, že dochází ke ztrátě detailů nebo tvorbě artefaktů u nejvyšších a nejnižších hodnot. Vysílání v legálním rozsahu dat umožňuje tyto chyby eliminovat, při předvádění je tento rozsah vrácen zpět.

Full video levels

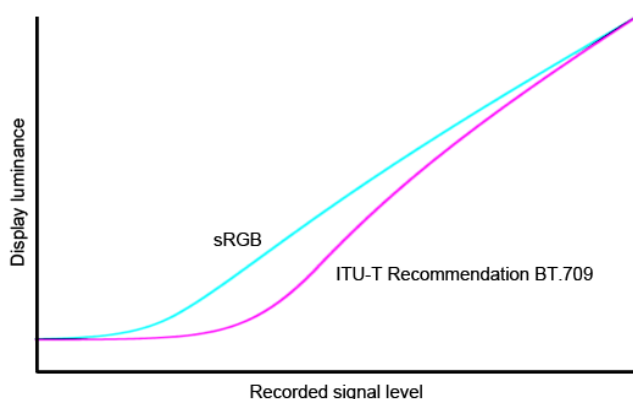
Pokrývají zcela rozsah daný bitovými hodnotami. Pro příklad v 8 bitovém videu s hodnotami 0 -255 úrovně opravdu pokrývají rozsah 0 - 255. Toto je výchozí výstup pro většinu počítačů při připojení k monitoru, ale může se lišit při připojení k videomonitoru nebo TV.

4. Barevné prostory ve filmu a TV



Rec 709¹¹ - Rec. ITU-R BT.709-6

standardizovaný barevný prostor pro televizní vysílání a video v rozlišení HD. První standard byl schválen již v roce 1990. Většina barevných korekcí je prováděna právě v tomto prostoru, a to i v případech, že je výsledný produkt určen pro kino.



sRGB – byl vytvořen krátce po představení Rec 709. Je nejrozšířenějším prostorem pro monitory a displeje počítačů, chytrých telefonů a tabletů. Oproti Rec 709 má svou specifickou gamma křivku. Vzhledem k rozšíření video obsahu na internetu, především na platformách typu VOD či internetového televizního vysílání, je s ním

¹¹ <https://www.itu.int/rec/R-REC-BT.709-6-201506-I/en>

potřeba počítat jako s prostorem, ve kterém daný obsah uvidí značné procento diváků.

Rec 2020 - Rec. BT.2020¹²

Definuje vlastnosti televizního vysílání v rozlišení UHD TV a to ve verzi pro standardní dynamický rozsah SDR, tak i ve verzi s vysokým dynamickým rozsahem HDR (10bit, wide color gamut). První verze Rec. 2020 byla představena v roce 2012.

DCI-P3

Barevný prostor digitální kinematografie dle specifikace DCI v barevném modelu RGB. Rozsahem je větší než Rec. 709, používá se při gradingu pro DCP a je běžně vyjádřen bílým bodem D65 nebo D63 (specifikace DCI). Častým omylem bývá přesvědčení, že se jedná pouze o softwarové nastavení (např. v Da Vinci Resolve), velmi důležité je právě hardware respektive, jak je dané zobrazovací zařízení kalibrováno. Nastavení v programu umožní pouze přechod mezi barevnými prostory, to, jak přesné je podání barev je závislé na nastavení zařízení. Aby se například projekt nastavený pro barevný prostor P3 nezobrazoval na displeji zobrazující Rec709 apod. To vše může při špatném nastavení a manipulaci vést k velmi špatným výsledkům.

¹² <https://www.itu.int/rec/R-REC-BT.2020/en>

4.1. Barevné prostory kamer

Celá řada výrobců kamer digitální kinematografie používá různé varianty logaritmických přenosových funkcí (gamma křivek) typu Log (logaritmické kódování). Tyto funkce mají různé názvy a charakteristiky, ale obecně mají za cíl zachytit co nejširší dynamický rozsah a poskytnout v postprodukcí větší flexibilitu při color gradingu, klíčování, VFX a dalších úpravách. Zde je přehled některých logaritmických přenosových funkcí od různých výrobců s příslušným barevným prostorem

ARRI log C (*Arri log C wide gamut color space*)

Společnost ARRI představila svou první digitální kameru D-20 v roce 2005. Tato kamera využívala vlastní gama křivku, která položila základy pozdějšího typu ARRI Log C. Dle tvrzení společnosti ARRI přímo vychází ze systému zpracování obrazových dat skenu filmových negativů Cineon.¹³

Je určen pro 12 bitovou barevnou hloubku. V současné době se používá verze LogC3 a nejnovější Log C4, přičemž je možné v postprodukcí konvertovat data natočená ve starší verzi LogC3 do Log C4, avšak pouze v případě, že byla originální data natočena do ARRIRAW.

SONY S-log 3 (*S-Gamut3.Cine/ S-Gamut3*)

Nahrazuje předchozí S-log2 (S-gamut) se kterým nejsou zpětně kompatibilní.¹⁴ Barevný prostor S-Gamut3.Cine je vyvinut podobně jako logC od ARRI, aby se blížil vlastnostem skenu filmového negativu. S-gamut3 je nativní prostor kamer Sony, má stejný rozsah jako měl S-gamut S-log2, má však lepší barevnou reprodukci a lépe se s ním pracuje v systému ACES.

RED Log3G10 (*REDwide gamut RGB*)

V záznamu nezpracovaných dat RAW kamery RED Digital cinema¹⁵ je možné zvolit způsob dalšího zpracování a to jak lineárně tak i logaritmicky. Prostor *REDwide gamut RGB* je navržený tak, aby v sobě zahrnoval všechny barvy, které mohou v RAW zaznamenat .

Blackmagic Design Film (*Blackmagic Design Color Space*)

¹³ <https://www.arri.com/en/learn-help/learn-help-camera-system/image-science/log-c>

¹⁴ <https://pro.sony/s3/cms-static-content/uploadfile/06/1237494271406.pdf>

¹⁵ <https://www.red.com/download/white-paper-on-redwidegamutrgb-and-log3g10>

Probíhá zde neustálý vývoj záznamu typu bRAW¹⁶ spolu s novými kamerami URSA Mini či Pocket (v současné době verze color science Gen 5). V rámci postprodukčního softwaru DaVinci resolve byl vyvinut vlastní systém správy barev v rámci DaVinci Wide Gamut Intermediate, který má svým rozsahem konkurovat ACES (AP1).

Panasonic V-log (V-gamut)

Záznam řady filmových kamer Panasonic Varicam¹⁷, který je rozšířený i v nižší řadě televizních kamer a digitálních fotoaparátů (např. Panasonic Lumix GH6 či Lumix S1H). Možnost natáčet na fotoaparáty interní záznam videa v 10bitové barevné hloubce s podvzorkováním 4:2:2 tyto modely velmi zpopularizoval pro dokumentaristy a nezávislé filmaře.

¹⁶ <https://www.blackmagicdesign.com/products/blackmagicraw>

¹⁷ https://pro-av.panasonic.net/en/cinema_camera_varicam_eva/support/pdf/VARICAM_V-Log_V-Gamut.pdf

5. Historie ACES

5.1. Cesta k digitální kinematografii

Přechod z tradičního systému fotochemického zpracování k systému digitální kinematografie začal s nástupem hybridní technologie digitálního intermediátu, kdy se musel vyřešit problém zachování věrnosti podání barev při skenování filmového negativu, kdy je intermediát přenesen zpět na negativ a distribuce probíhá na filmových kopiích.

Prvním takovým systémem byl v roce 1990 systém Cineon vyvíjený společností Kodak, který chránil věrnost barevné reprodukce ve všech fázích procesu digitalizace. Zahrnoval vývoj skenu negativu (odlišný od klasického video přepisu Telecine), první digitální intermediát, zpracování obrazových dat, grading a zpětný převod obrazu na negativ.

Obraz byl kolorován v barevném prostoru a gamutu referenčního zobrazovacího zařízení (digitální projekce) a následně porovnáván s filmovou kopií. Pro tyto účely byly vytvořené tzv. Look Up tables (LUT), tabulky představující předvolbu-preset, který mění barvy a celkový kontrast podle určitého předpisu.

Následovala vždy další barevné korekce pro standard TV vysílání a tvorbu nosičů DVD či později Blu-Ray.

Digitální intermediát znamenal efektivnější práci s VFX, zvláště pak při kombinaci reálných záběrů s dotvořenými CGI komponenty, kdy se dala lépe kontrolovat konzistence barev originálu a nově dotvořených obrazů. Nebyly však jasně definovány jasné produkční standardy, což vedlo k tomu, že si postprodukční studia vytvořila svůj vlastní systém zpracování, který si držela v tajnosti pro svá pracoviště pro dosažení lepší konkurenceschopnosti.

Každé pracoviště mělo vyvinutou vlastní LUT pro přesnou barevnou reprodukci, a to i přes to, že formát filmového skenu DPX (který později navázal na Cineon), prošel standardizací SMPTE. Stále chyběla jasněji definovaná pravidla, podle které by mohla jednotlivá postprodukční pracoviště svoji práci sjednotit.

Zlom přišel s rozvojem digitálních kamer ve filmové produkci, který přinesl do postprodukčního systému nové komplikace, neboť každý výrobce kamer přišel s vlastním barevným gamutem. Další novinkou bylo představení datového výstupu RAW (obrazová sekvence minimálně zpracovaných dat přímo ze snímače) u filmové digitální kamery RED.

To znamenalo daleko více obrazových dat (větší bitová hloubka a dynamický rozsah) a předčil většinu tehdejších kamer pracujících na bázi digitálního videa (Thomson Viper Camera, Sony CineAlta F23, Panavision Genesis), díky čemuž stoupaly i nároky na zobrazovací zařízení, která byla značně limitovaná.

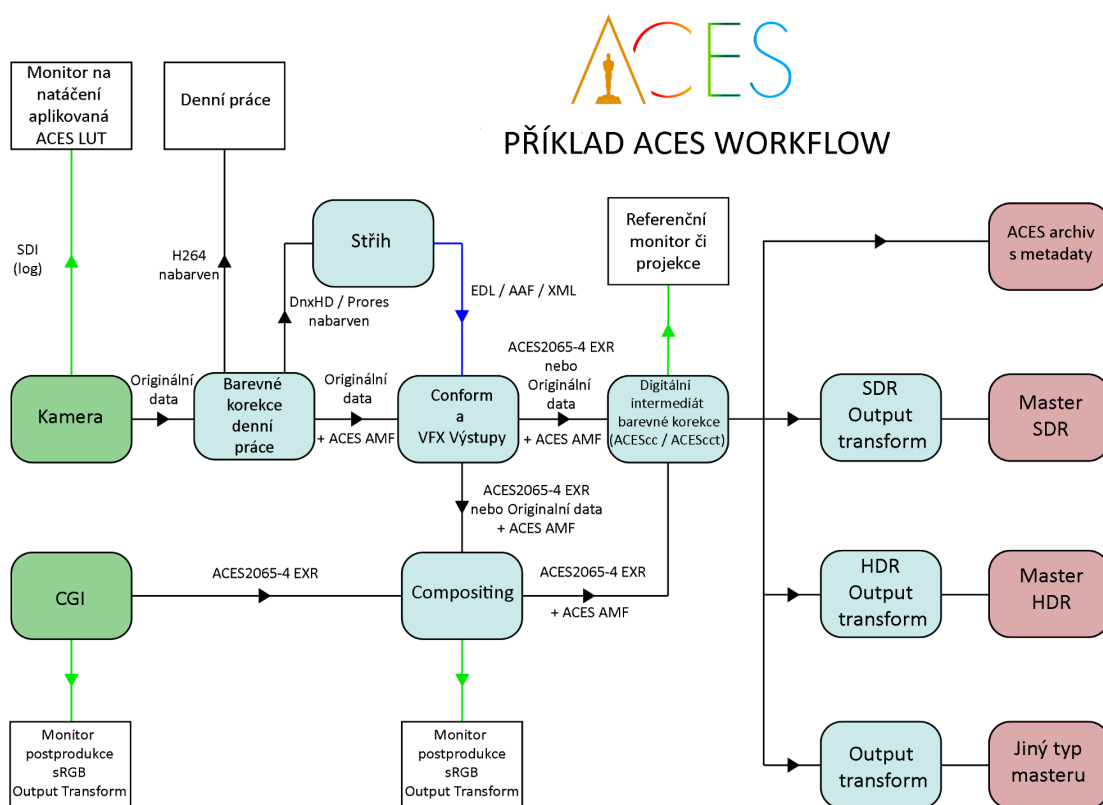
Velkou výzvou bylo sjednocení těchto různých zdrojů – výstup digitální kamery, sken filmového materiálu, VFX – to vše do jednotného digitálního masteru, který by nebyl limitován dynamickým rozsahem a barevnou bitovou hloubkou. To vše pro finální výstup na DCP či filmové kopie při zachování co nejvíce přesné barevné reprodukce.

5.2. Vznik ACES

Nový jednotný systém začala vyvíjet americká filmová akademie kolem roku 2004, kdy vyšla první verze ACES 1.0. Přináší pro filmovou produkci tolik potřebný transparentní systém nezávislý na jednotlivých zařízeních. ACES využívá standardizované kódování širokého barevného gamutu, který efektivně spravuje data různých barevných prostorů a dynamického rozsahu jak u vstupních zdrojů, tak i ve spojení s výstupními zařízeními, ve kterém jsou data prezentována.

Dopředu počítá s rozvojem technologií a zaručuje tedy zpětnou kompatibilitu současných obrazových dat a výhod, které poskytne vývoj zobrazovacích zařízení s vyšším dynamickým rozsahem i bitovou hloubkou. Pro sken filmového negativu byl vyvinut nový formát ADX (Academy Density Exchange) pracující s 16 bitovou i 10 bitovou hloubkou a vysokým dynamickým rozsahem pro co nejpřesnější přenesení informací o hustotě filmového materiálu.

6. ACES Workflow



Následuje popis procesu práce v ACES, od natáčení až po finální postprodukcí včetně archivace. Nejprve je důležité představit si dva pracovní postupy, jaký můžeme jako kolorista při práci s materiálem zvolit.

Display referred workflow

Obrazová data jsou transformována do barevného prostoru displeje (např. Rec709), ve kterém pak dochází ke všem úpravám, což znamená omezení dynamického a barevného rozsahu dat a tedy i omezenější možnosti úprav. Toto je nejčastější pracovní postup při color gradingu, kdy kolorista pracuje s obrazem tak, aby výsledek vypadal co nejlépe na jeho referenčním kalibrovaném monitoru.

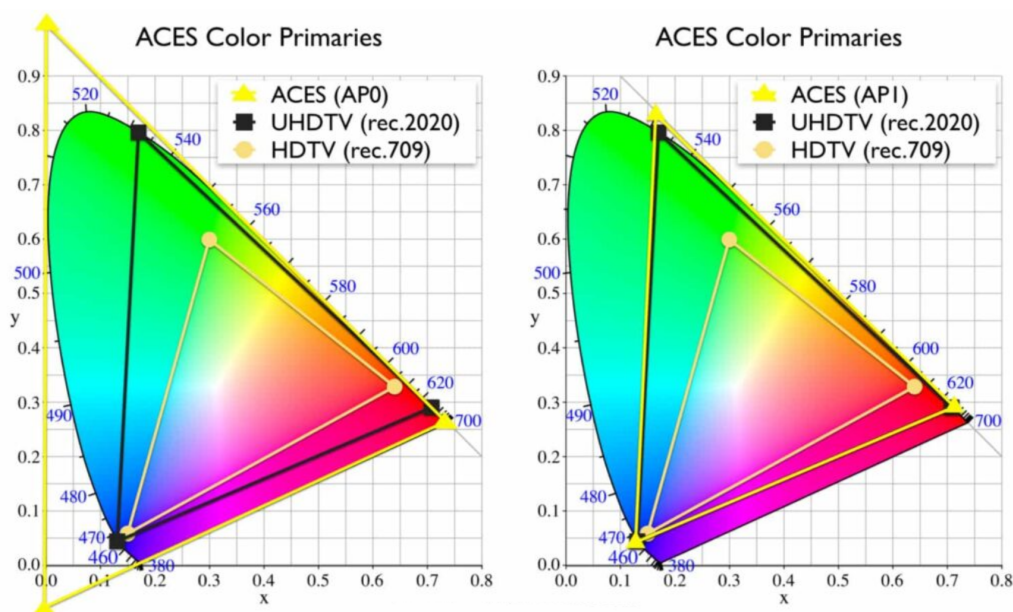
Scene referred workflow

Barevná reprodukce je založena na skutečných světlotonálních informacích zachycených kamerou nebo generovaných počítačovou grafikou. Účelem je přiblížit se co nejvíce přesné barevné reprodukci zaznamenané "reálné scény," aniž by došlo k omezení dynamického nebo barevného rozsahu. Teoreticky by jakákoliv kamera namířena na tuto scénu byla schopna v tomto workflow vytvořit identickou barevnou reprodukci (limitována jen svými technickými parametry). Scene referred

workflow jsou obvykle v lineárním barevném prostoru, kde jsou hodnoty úměrné skutečným intenzitám světla.

Práce s důrazem na systém správy barev je logickým vyústěním technologického vývoje barevných korekcí. Ty se vyvíjely vedle fotochemického systému číslování negativu, dříve spíše pro potřeby televizního vysílání a výroby digitálního intermediátu. S nástupem digitální kinematografie došlo k jejich plnému splynutí, stále je však důležité znát vzájemné rozdíly a postupy.¹⁸

ACES je příkladem postupu *Scene Referred*, poskytuje nám barevný model *ideální kamery a ideálního zobrazovacího zařízení*, kterému pak přizpůsobuje reálná zařízení. Z důvodu co největší kompatibility mezi jednotlivými kroky postprodukce se v tomto systému můžeme setkat celkově s 5 barevnými prostory ACES, které jsou vzájemně interoperabilní a barevně konzistentní.¹⁹



ACES2065-1²⁰ - základní barevný prostor, fotometricky lineární, pokrývá co nejširší barevný gamut (AP0), aby pokryl většinu barev viditelných lidským okem, má expoziční rozsah 30 clonových čísel a operuje v 16 bitové barevné hloubce. Užití je pro zálohování a archivaci.

ACEScc - barevný prostor s užším gamutem (AP1) určený přímo pro samotné barevné korekce. Změny v úpravách obrazu odpovídají více tomu jak rozdíl jasu vnímá člověk (logaritmické kódování obrazu).

¹⁸ *Color Grading Workspaces*, Cullen Kelly, Blog [online]. © 2021 Film Riot and Triune Films
Dostupné z: <https://www.filmriot.com/blog/scene-referred-vs-display-referred/>

¹⁹ <https://acescentral.com/knowledge-base-2/aces-working-spaces/>

²⁰ *Alternativní názvy - Linear ACES, SMPTE2065-1 či ACES colorspace*

ACEScct - modifikovaný prostor ACEScc, aby při práci více připomínal odezvu skenů filmového materiálu (simulování části *paty* senzimetrické charakteristiky).

ACEScg - fotometricky lineární prostor pro tvorbu počítačem generované grafiky využívající gamut AP1.

ACESproxy - vychází z prostoru ACEScc s přihlédnutím k omezením, které s sebou přináší přenos videosignálu a tedy omezení v rozsahu dat (*video-legal*). Většina zobrazovacích zařízení má omezený dynamický rozsah, který nepokryje všechny zachycené detaily, stejně tak nejběžněji využívaný typ přenosu signálu HD - SDI nepřenesou všechna obrazová data.

Použití tohoto prostoru je určeno pouze pro zobrazení na referenčních monitorech v reálném čase přímo na natáčení

Pro přesnou práci s originálními daty z různých typů kamer byl vyvinut **ACES Input Transform**²¹ (IDT – Input Device Transform). Převádí vstupní data z kamery do lineárního *scene – referred* barevného prostoru. Za vývoj IDT pro jednotlivé kamery jsou odpovědní přímo jejich výrobci ve spolupráci s Americkou filmovou akademií. V případě, že výrobce nedodal vlastní IDT je možné vytvořit vlastní uživatelský převod. Do budoucna má v plánu Akademie mít větší kontrolu nad procesem vzniku IDT a jejich variacemi. Pro jejich zápis, stejně tak jako všechny transformace je používán programovací jazyk CTL (Color Transform Language). Základními kroky každého převodu jsou:

1. převod log dat do lineárního prostoru
2. nastavení vyvážení bílé
3. clipping²² / “přepal”
4. konverzi barevného prostoru a kompenzaci neutrální chromatičnosti²³

ACES Output Device Transform (ODT) – určení výstupního zobrazovacího zařízení se správným barevným prostorem ve kterém budou data zobrazena (P3, Rec 709, 2020, sRGB).

ACES Look Transform (LMT) – umožňuje nastavení určitého vzhledu materiálu v podobném smyslu jako LUT. Ke změnám dochází až po samotných barevných korekcích, není tedy zaručena zpětná kompatibilita se všemi nástroji postprodukce.

²¹ <https://acescentral.com/knowledge-base-2/idts-how-do-they-work/>

²² Clipping - po převodu do lineárního prostoru se mohou některé tonální oblasti ocitnout v ořezu mimo dynamický rozsah zobrazovacího zařízení. Je třeba je mít zachované i po transformaci, aby s nimi bylo možné dále pracovat.

²³ Minimalizování rozdílů spektrální odezvy snímače kamery v porovnání s jejím kolorimetrickým modelem ACES Reference Image Capture Device (RICD).

RRT (Reference Rendering Transform) – převod *scene referred* lineárních dat pro referenční zobrazovací zařízení, jak displeje, tak i projekce v kombinaci s ODT (viz níže).

6.1. Natáčení

V této fázi výroby je nejdůležitější zachovat veškerá zaznamenaná obrazová data a zabránit tomu, aby v následujících procesech nedošlo k jejich ztrátě či zkreslení. V úvahu je potřeba vzít rozdílné typy snímačů kamer či skenovaných filmových materiálů.

1. Konfigurace kamery

Většina současných kamer digitální kinematografie nemá přímou podporu barevných prostorů ACES. Umožňují však přesnou konverzi dat do formátu OpenEXR, obsahující ACES metadata, včetně informace o zpracování obrazu výrobcem konkrétního typu kamery.

2. Správa monitorů a color grading na place

Barevný prostor ACESproxy umožňuje větší kontrolu nad výstupem²⁴, kde DIT vytváří zpracovaný video signál pro běžně používané monitory v rozhraní HD-SDI.²⁵ Zpracovaný signál je v menší náhledové kvalitě²⁶, ale nedochází k výrazným odchylkám. Je třeba zdůraznit, že se jedná o zpřesnění celého procesu, ale nelze se vyhnout odchylkám způsobeným kvalitou monitorů, jejich nepřesnou kalibrací nebo i světelným podmínkám, ve kterých jsou monitory při natáčení sledovány.

Kolorista nebo DIT může na place provést základní úpravy, aplikováním barevné stylizace vytvořené ještě před samotným natáčením (použití stylizované 3D LUT či ACES LMT). Tyto úpravy se zaznamenají jako metadata a mohou sloužit jako výchozí body pro postprodukcí.

3. Správa metadat ACES

Metadata specifická pro systém ACES, jako je IDT a LMT, která byla použita při natáčení, se ukládají společně s natočenými záběry (formát metadat ACES AMF,²⁷ který se používá během všech fází výroby). Po skončení natáčení informace z těchto metadat slouží k výrobě denních prací či offline materiálu do střížny. I v této fázi je možné obrazová data měnit, přičemž v metadatach stále zůstávají informace o tom jak data vypadala na natáčení a kdy k jakým změnám došlo.

²⁴ Kamera musí tento typ výstupu podporovat.

²⁵ Tento proces dá přirovnat ke zpracování signálu pomocí LUT (např. převod log videa do Rec. 709).

²⁶ 10 bitové zpracování v prostoru ACESproxy10, existuje i kvalitnější zpracování 12 bit ACESproxy12.

²⁷ <https://acescentral.com/knowledge-base-2/when-is-amf-used/>

6.2. Postprodukce

Spolu s natočenými záběry jsou výstupem i XML metadata (ACES AMF) obsahující technické informace (IDT, ODT, případné úpravy a pregrade na place ve formě CDL - color decision list - seznam barevných změn). Tyto soubory pak putují celou postprodukční pipeline a v případě změn jsou tyto metadata doplňována (zvláště pak při kombinaci reálných záběrů a VFX).

U velkých i malých postprodukčních studií či studentských projektů tak dochází k zjednodušení celého procesu, kde by se v případě nedodržení správy barevných prostorů zkomplikoval celý compositing. ACES to již bere v úvahu a zahrnuje do celého procesu správu barev podle typu zobrazovacího zařízení. Lineární data ACES jsou analyzována prostřednictvím různých transformací pro různé barevné prostory a zobrazovací zařízení, takže se obrázek zobrazuje přesně v mnoha různých platformách. To znamená, že můžete natočit a dále pracovat se záběry v nejvyšší kvalitě až do konečného zpracování, a přizpůsobit je téměř pro jakýkoliv displej. Tato kvalita samozřejmě mizí po konverzi do kteréhokoliv tradičního video formátu.

Protože lze nyní díky tomuto systému zobrazit světlotonálně scénu přibližně tak jak byla zaznamenána, považuje se toto za výchozí bod pro práci v celé postprodukční pipeline, která je kompatibilní s veškerým softwarem pro VFX, compositing a grading (Nuke, Maya, Adobe After Effects, Blender, Filmlight Baselight, DaVinci Resolve, Quantel Pablo Rio).

Veškerá data jsou v lineárním záznamu a díky jednotnému systému lze volně přecházet mezi jednotlivými kroky postprodukce bez posunu barevného podání.

6.3. Archivace

I u prvního digitálního systému Cineon byla finálním archivačním produktem filmová kopie. V případě digitální kinematografie je konečný produkt vázán na technologii konečného zobrazovacího zařízení, tedy pro zobrazení na budoucích kvalitnějších zařízeních je velmi limitován. Archivace nezpracovaných RAW dat se zdá být řešením, ale nejsou plnohodnotnou náhradou sestříhaného originálního negativu (vzhledem k tomu, kolik informací o celé postprodukci by muselo být přiloženo).

V současné době se pracuje na vývoji digitálního masteru, u něhož by byla zachována zpětná kompatibilita pro budoucí displeje. Zde je příklad archivace, kterou používá společnost Netflix²⁸, která se zabývá distribucí filmů a televizních seriálů online. Zároveň je producentem vlastní původní tvorby.

Non-graded archival master (NAM) – sekvence plných obrazových dat bez barevných korekcí, obsahuje však všechny postprodukční změny včetně VFX v jednotném barevném prostoru (podle použité kamery, kompatibilní se systémem ACES) bez transformace pro zobrazovací zařízení. Je určeno pouze pro archivaci, nikoliv pro distribuci.

Interoperable master format (IMF) – formát určený pro vytváření distribučních digitálních kopií. Na rozdíl od NAM je limitován tím, že je přesně určen pro zařízení odpovídající době vzniku.

Graded archival master (GAM) – obsahuje všechny změny v barevných korekcích v originálním barevném prostoru zdroje nebo v ACESu. To vše opět bez transformace pro zobrazovací zařízení.

ACES vyvíjí vlastní systém archivace. Soubory zachovávají co největší věrnost barevné reprodukce a zahrnuje změny, které proběhly během postprodukce (VFX, barevné korekce). Je stanoveno, jakým způsobem mají být tato data transformována pro zobrazovací zařízení. Jsou stanoveny specifikace pro dosažení co nejvyšší kvality, nezávisle na technologii.

²⁸ *Non-Graded Archival Master (NAM) Specifications & Best Practices [online]. Netflix Studios, ©2020.*

Dostupné z:

<https://partnerhelp.netflixstudios.com/hc/en-us/articles/360049545294-Non-Graded-Archival-Master-NAM-Best-Practices>

7. Závěr

Cílem této práce bylo sumarizovat informace o barevných prostorech a standardech barevné reprodukce ve filmu a televizním vysílání v návaznosti na systém jednotné správy barev ACES. Na vývoji technologií se jasně ukázala potřeba sjednocení velkého množství vstupních a výstupních zařízení. ACES představuje velký krok dopředu, zejména kvůli vytvoření jasného a přehledného workflow. To však může fungovat pouze v případě, že budou dodržována veškerá nastavení a doporučení.

Z pozice hlavního kameramana můžeme vyjmenovat celou řadu výhod užití tohoto systému. Především odpadá základní nejistota toho, jak z hlediska kvality obrazové reprodukce celý projekt vypadá. Máme plnou kontrolu již od procesu samotného natáčení (jak obraz vypadá přímo na place na kontrolních monitorech) až po všechny fáze postprodukce (výroba denních prací, střih, VFX, barevné korekce). V případě užití kamer různých druhů se zrychluje proces srovnání jejich výstupu. Nemělo by docházet ke zkreslení, způsobené špatnou transformací dat, případně lze chybu snadno dohledat v dostupných metadatech. Máme zachován plný dynamický a barevný rozsah (jediným limitem je použitá technologie záznamu nebo limity finálního výstupu).

Pro práci v systému ACES je velmi důležité zapojení všech složek do celého procesu produkce a preprodukce, část velkých projektů zvláště v USA tento už systém přijala a potvrdila jeho nesporné výhody.

Kolorista společně s kameramanem/kou mohou více času věnovat kreativní části barevných korekcí místo pouhého technického srovnávání světlotonální kontinuity záběrů. Pro pracoviště obrazové postprodukce zajišťuje ACES jasnou dokumentaci kódování barev a formátů souborů založených na již existujících technologiích. Zjednodušuje se proces výměny obrazových dat mezi jednotlivými odděleními výroby.

Pro producenty a studia ACES zajišťuje důležité podmínky pro archivaci a výsledného produktu. ACES poskytuje standardizovanou metodologii SMPTE s důrazem na zachování původního uměleckého záměru. V případě remasteru pro budoucí technologie zobrazení se lze bez dohadů odkázat na originální master. Ten obsahuje největší možnou kvalitu záznamu, je digitální ekvivalentem sestříhaného filmového negativu.

8. Vybraný seznam filmů s postprodukčním standardem ACES

2023 Ant-Man and the Wasp: Quantumania (2023)

Guardians of the Galaxy Vol 3 (2023)

The Super Mario Bros. Movie (2023)

Loki (Season 2) (2023) (TV Series)

2022 Dr. Strange in the Multiverse of Madness (2022)

Black Panther: Wakanda Forever (2022)

Thor: Love and Thunder (2022)

She-Hulk (2022) (TV Series)

2021 Squid Game (2021 –) (TV Series)

Spider Man : No Way Home (2021)

Black Widow (2021)

Wanda Vision (2021) (TV Series)

2020 Dolittle (2020)

Record Safari (2020) (Documentary)

The House Invictus (2020)

Boneyard Ballet (2020)

2019 Dumbo (2019)

Us (2019)

Fast & Furious Presents: Hobbs & Shaw (2019)

Avengers: Endgame (2019)

Downton Abbey (2019)

Captain Marvel (2019)

2018 Cold War (2018)

Johnny English Strikes Again (2018)

Ant-Man and the Wasp (2018)

Avengers: Infinity War (2018)

Black Panther (2018)

Peter Rabbit (2018)

2017 Thor: Ragnarok (2017)

The LEGO Ninjago Movie (2017)

Spider-Man: Homecoming (2017)

Wonder Wheel (2017)

Guardians of the Galaxy Vol. 2 (2017)

King Arthur: Legend of the Sword (2017)

2016 Cafe Society

Bad Santa 2

The Legend of Tarzan

2015 Pan (2015)

Chappie

The Wedding Ringer

2014 Big Eyes

The Lego Movie

A Million Ways to Die in the West

2013 After Earth

Oblivion

Elysium

9. Použitá literatura a zdroje

Literatura

AMPAS, *Science and Technology Council Integration and Use of ACES Look Modification Transforms*, USA, 2016

ARRIGHETTI, Walter. *The Academy Color Encoding System (ACES): A Professional Color-Management Framework for Production, Post-Production and Archival of Still and Motion Pictures*. *Journal of Imaging* [online]. 2017

GIORGIANNI E. J., Madden T. E.: *Digital Color Management: Encoding Solutions*. John Wiley & Sons Ltd., Chichester (West Sussex, England, GB) 2008. ISBN:9780470512449

HULLFISH, Steve, *The Art and Technique of Digital Color Correction*. New York: Focal Press. 2012. ISBN 024081715X.

POYNTON Charles, *Digital Video and HD: Algorithms and Interfaces* (2nd ed.). Morgan Kaufmann Publisher, United Kingdom 2012. ISBN 9780123919267

ŠMOK, Ján, TAUSK, Petr a Josef PECÁK, ed. *Barevná fotografie. 2., upravené vyd.* Praha: SNTL, 1978. Řada chemické literatury.

TOOMS, Michael S. *Colour Reproduction in Electronic Imaging Systems: Photography, Television, Cinematography*, John Wiley & Sons Ltd, USA. 2016 ISBN:9781119021780

URBAN, Miroslav. *Filmová laboratoř , 2., rozš. vyd.* Praha, Akademie múzických umění, 2001, ISBN 8085883783

Diplomové práce

ČEVELÍK, Libor. Obrazová postprodukce pro film a video. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, 2009, Dostupné také z: <http://hdl.handle.net/10563/10906>. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně. Fakulta multimediálních komunikací, Ústav produktového designu. Vedoucí práce Fandli, Juraj.

NEKL, Robert. Digitální kinematografie - video s vysokým rozlišením. Zlín: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, 2008, 38 s. Dostupné také z: <http://hdl.handle.net/10563/7164>. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně. Fakulta multimediálních komunikací, Ústav produktového designu. Vedoucí práce Fandli, Juraj.

Webové stránky

A Brief History of RAW Footage in Video Production [online]. Caleb Stephens. Premium Beat by Shutterstock ©2018 [cit. 27.7.2021]. Dostupné: <https://www.premiumbeat.com/blog/history-raw-video-footage>

ACES Project Quick Start Guide [online]. ASC, ©2018. [cit. 27.7.2021]. Dostupné z: <https://cms-assets.theasc.com/ACES-Project-Quick-Start-Guide-DP-101519-01.pdf>

ACES for Indies [online]. ASC, ©2018. [cit. 27.7.2021]. Dostupné z: <https://ascmag.com/articles/aces-for-indies>

Color Grading Workspaces, Cullen Kelly, Blog [online]. © 2021 Film Riot and Triune Films Dostupné z: <https://www.filmriot.com/blog/scene-referred-vs-display-referred/>

Chapter 1.5 Academy Color Encoding system (ACES) [online]. Chris Brejon, ©2020. [cit. 27. 7. 2021]. Dostupné z: <https://chrisbrejon.com/cg-cinematography/chapter-1-5-academy-color-encoding-system-aces/>

ICS 2018 — Academy of Motion Picture Arts & Sciences: ACES and More [online].
ASC, ©2018. [cit. 27. 7. 2021]. Dostupné z:
<https://ascmag.com/articles/ics-2018-a-day-at-the-academy-of-motion-picture-arts-and-amp-sciences-aces-and-more>

IDTs: How Do They Work by Steve Tobenkin, © 2020 AMPAS, [cit. 20. 7. 2023]
Dostupné z: <https://acescentral.com/knowledge-base-2/idts-how-do-they-work/>

Kodeky tajemství zbavené [online]. Radek Jahoda. oXyShop s.r.o. ©2005
[cit. 15. 5. 2023] Dostupné z: <https://www.tvfreak.cz/kodeky-tajemstvi-zbavene/479>

Log C. Learn & Help [online]. ARRI, ©2021
[cit. 10. 12. 2022]. Dostupné z:
<https://www.arri.com/en/learn-help/learn-help-camera-system/camera-workflow/image-science/log-c>

Non-Graded Archival Master (NAM) Specifications & Best Practices [online].
Netflix Studios, ©2020. [cit. 27. 7. 2021]. Dostupné z:
<https://partnerhelp.netflixstudios.com/hc/en-us/articles/360049545294-Non-Graded-Archival-Master-NAM-Best-Practices>

Understanding gamma correction, by Sean McHugh, © 2005-2020 Cambridge in
Colour [cit. 12. 3. 2023]
Dostupné z: <https://www.cambridgeincolour.com/tutorials/gamma-correction.htm>

Ilustrační obrázky

Obr. 1 - časopis SVĚTLO, str. 64., Základy světelné techniky, Základy nauky o barvě 5/2009 prof. Ing. Jiří Habel, DrSc., FEL ČVUT V Praze, FCC Public s. r. o.

Dostupné z:

<http://www.odbornecasopisy.cz/svetlo/casopis/tema/zaklady-svetelne-techniky-1--15860>

Obr. 2 - Color FAQ - Frequently asked Questions about color, by Charles Poynton, © 2006 Dostupné z:

https://poynton.ca/notes/colour_and_gamma/ColorFAQ.html

Obr. 3 - Chroma Subsampling 4:4:4 vs 4:2:2 vs 4:2:0, by Adam Babcock, © 2023 Quebec Inc. Dostupné z: <https://www.rtings.com/tv/learn/chroma-subsampling>

Obr. 4 - What exactly is Rec.709?, by Phil Rhodes, © 2020 RedShark

Dostupné z:

<https://www.redsharknews.com/technology/item/3289-what-exactly-is-rec-709>

Obr. 5 - ACES Project Quick Start Guide, The sample workflow diagram, by ASC Motion Imaging Technology Council © 2023 ASC,

překlad a úprava Václav Pavlíček. Dostupné z:

<https://cdn.theasc.com/ACES-Project-Quick-Start-Guide-DP-101519-01.pdf>

Obr. 6 - ACES “working” Spaces, by Steve Tobenkin, © 2020 AMPAS,

Dostupné z: <https://acescentral.com/knowledge-base-2/aces-working-spaces/>