

دراسة دور الفراغ اللوني الرقمي في التحكم في الجودة اللونية للصورة السينمائية الرقمية The role of (ACES) color space in controlling the color quality of digital cinema image.

إدريس أحمد الشريف

الأستاذ المتفرغ بقسم الفوتوغرافيا والسينما والتلفزيون - كلية الفنون التطبيقية

دروائل محمد عناني

الأستاذ المساعد بقسم الفوتوغرافيا والسينما والتلفزيون - كلية الفنون التطبيقية

أحمد محمد السعدني

قسم الفوتوغرافيا والسينما والتلفزيون - كلية الفنون التطبيقية

كلمات دالة :Keywords

الفراغات اللونية الرقمية
Digital Color Spaces
فراغ لوني
Color Space
اللون الرقمي
Digital Color

ملخص البحث :Abstract

وفي نهايات عام ٢٠١٣م، تم ابتكار الفراغ اللوني الرقمي (ACES) والذي تمتع بمميزات في حدوده اللونية إقتربت من حدود الرؤية اللونية للعين البشرية، مما جعله ملائماً للعمل بالتوازي مع مرحلتى التصوير والعرض السينمائى الرقمية. الأمر الذى يستوجب دراسة الحدود اللونية للنظام اللوني الرقمي (ACES) ومقارنتها مع الحدود اللونية للفراغات اللونية (Color Spaces) السابق استخدامها قبل ظهور (ACES) لتحديد مدى أهمية نظام (ACES) فى التحكم فى الجودة اللونية للصورة السينمائية الرقمية.

مشكلة البحث على مدار العقد الأخير من التطور التكنولوجى ظهر عدد من الفراغات اللونية الرقمية (Digital Color Spaces) والتي يتم استخدامها للتعبير عن القيم اللونية للصورة السينمائية الرقمية، منها فى يتم استخدامه فى مرحلة التصوير السينمائى الرقمية ومنها ما يتم استخدامه فى مرحلة العرض السينمائى الرقمية. وقد تميز كل فراغ لوني (Color Space) من هذه الفراغات اللونية بمميزات خاصة به تفرد بها عن مثيله من الفراغات اللونية. هدف البحث دراسة المميزات والحدود اللونية للفراغ اللوني الرقمي (ACES)، ومقارنته مع الفراغات اللونية (Color Spaces) السابق استخدامها قبل ظهوره لتحديد مدى أهميته فى التحكم فى الجودة اللونية للصورة السينمائية الرقمية سواء فى مرحلة التصوير السينمائى الرقمية أو فى مرحلة العرض السينمائى الرقمية.

منهج البحث: يتبع البحث المنهج الوصفى التحليلى لوصف مميزات وإمكانيات والحدود اللونية للفراغ اللوني الرقمي (ACES) والمستخدم فى مرحلتى التصوير والعرض السينمائى الرقمية للتحكم فى جودة الصورة السينمائية الرقمية قبل عرضها كعرض جماهيرى رقمى. نتائج البحث: الفراغ اللوني الرقمي (ACES) هو النظام اللوني الرقمي الأمثل للتعامل مع تكنولوجيا إنتاج معدات إنتاج الصورة السينمائية فى مرحلتى التصوير والعرض السينمائى الرقمية بدراسة الحدود اللونية للفراغ اللوني الرقمي (ACES) والتي تقترب بشدة من حدود الرؤية اللونية للعين البشرية نتبين ضرورة استخدامه كبديل عن الفراغات اللونية الرقمية (Rec.709)، (Rec.2020) والمستخدم فى مرحلة التصوير السينمائى الرقمية، كما نتبين ضرورة استخدامه كبديل عن الفراغات اللونية الرقمية (DCI-، (YCbCr)، (P3) والمستخدم فى مرحلة العرض السينمائى الرقمية.

Paper received 17th August 2016, accepted 10th September 2016, published 15th of October 2016

مقدمة :Introduction

إن عنصر اللون الرقمي (Digital Color) يصعب وصفه بطريقة جرافيكية، فعلى مدار العقود السابقة تم ابتكار العديد من نماذج وصف اللون الرقمية والتي تم استخدامها جميعاً لتحديد وتصنيف الألوان وفقاً لسماتها المختلفة، وعلى الرغم من ذلك يتحدد عدد معين من نماذج اللون الرقمية (Digital Color Models) والتي يكون لها علاقة بإنتاج صورتي السينما والفيديو والتي تعتمد فى بنيتها الأساسية على النظام اللوني (CIE Color System) والذي يُعد أكثر الأنظمة اللونية شيوعاً وإستخداماً فى وصف حدود الفراغ اللوني (Color Space) للفيلم السينمائى - سواءً كان هذا الفيلم تقليدياً أو رقمياً - ولصورة الفيديو وأيضاً لكل الكاميرات الرقمية الحديثة سواءً كانت سينمائية رقمية أو فيديو رقمية.

مشكلة البحث :Statement of the problem

على مدار العقد الأخير من التطور التكنولوجى ظهر عدد من الفراغات اللونية الرقمية (Digital Color Spaces) والتي يتم استخدامها للتعبير عن القيم اللونية للصورة السينمائية الرقمية، منها فى يتم استخدامه فى مرحلة التصوير السينمائى الرقمية ومنها ما يتم استخدامه فى مرحلة العرض السينمائى الرقمية. وقد تميز كل فراغ لوني (Color Space) من هذه الفراغات اللونية بمميزات خاصة به تفرد بها عن مثيله من الفراغات اللونية.

وفي نهايات عام ٢٠١٣م، تم ابتكار الفراغ اللوني الرقمي (ACES) والذي تمتع بمميزات فى حدوده اللونية إقتربت من

حدود الرؤية اللونية للعين البشرية، مما جعله ملائماً للعمل بالتوازي مع مرحلتى التصوير والعرض السينمائى الرقمية. الأمر الذى يستوجب دراسة الحدود اللونية للنظام اللوني الرقمي (ACES) ومقارنتها مع الحدود اللونية للفراغات اللونية (Color Spaces) السابق استخدامها قبل ظهور (ACES) لتحديد مدى أهمية نظام (ACES) فى التحكم فى الجودة اللونية للصورة السينمائية الرقمية.

هدف البحث :Objective

يهدف البحث إلى دراسة المميزات والحدود اللونية للفراغ اللوني الرقمي (ACES)، ومقارنته مع الفراغات اللونية (Color Spaces) السابق استخدامها قبل ظهوره لتحديد مدى أهميته فى التحكم فى الجودة اللونية للصورة السينمائية الرقمية سواء فى مرحلة التصوير السينمائى الرقمية أو فى مرحلة العرض السينمائى الرقمية.

الفروض البحثية :Hypothesis

- بدراسة الحدود اللونية للفراغ اللوني الرقمي (ACES) نتبين مدى إمكانية إستبداله مع الفراغات اللونية الرقمية المستخدمة قبل إبتكاره فى مرحلة التصوير السينمائى الرقمية.
- بدراسة الحدود اللونية للفراغ اللوني الرقمي (ACES) نتبين مدى إمكانية إستبداله مع الفراغات اللونية الرقمية المستخدمة قبل إبتكاره فى مرحلة العرض السينمائى الرقمية.



شكل (٢): الفصل اللوني للصورة السينمائية إلى مكوناتها اللونية الأساسية.

ويتخذ الفراغ ثلاثي الأبعاد عدة أشكال مثل الشكل الكروي (Sphere) أو شكل المكعب (Cube) أو شكل المخروط (Cone)، ويتم تمثيل قيم الألوان داخل هذا الفراغ ثلاثي الأبعاد (3D Color Space) أيضاً كأن شكلية. كما يتم تعريف الفراغ اللوني (Color Space) على أنه الحد ثنائي الأبعاد (2D Boundary) الفاصل والمُحدد للحجم اللوني (Color Volume)، حيث يتم تحديد هذا الحجم اللوني من خلال تحديد القيمة الأدنى والقصى لكل لون أساسي في تدرجات الألوان (Color Gamut)، وهو أسلوب لعرض وقياس وتعريف نقاط اللون في برامج وتطبيقات معالجة الصور والرسوم أثناء العمل على الحاسب الآلي ووسائط التعامل معه ومنها الشاشة والمساح الضوئي (Scanner) والصفحة المطبوعة (Print Page) وغيرها، ويُعرف أيضاً بأنه الطريقة التي يتبعها الحاسب الآلي (Computer) في خلط الألوان الأساسية لتكوين جميع الدرجات اللونية في الصورة.

تقوم النماذج اللونية الرقمية (Digital Color Models) بوصف اللون رقمياً عن طريق استخدام مجموعة من المُعادلات تُحدد العلاقة بين ثلاثية اللون (Color Triplet) والإمدادات اللونية القياسية (CIE XYZ)، وينشأ عن ذلك أرقام تُحدد إحداثيات موقع هذا اللون داخل الفراغ اللوني ثلاثي الأبعاد (3D Color Space) الخاص بكل جهاز.

تستخدم معظم الكاميرات والمساحات الضوئية والشاشات قيمياً للألوان الأساسية تكون خاصة بكل جهاز وتسمى هذه القيم باسم الاستجابات الطيفية (Spectral Responsivities) وبالتالي تستخدم كل تقنية فراغ لوني مختلف عن التقنية الأخرى، لذلك يُعتبر نقل الصور بين الوسائط والتقنيات المختلفة بعد التحويل بين فراغات الألوان (Color Spaces) جزءاً حيوياً للحصول على أي صورة بجودة عالية.

ويمكن التحويل من أي فراغ لوني (Color Space) لأحد الألوان الأساسية إلى فراغ لوني آخر عن طريق استخدام شكل رياضي يُطلق عليه اسم مصفوفة التحويل (Matrix Transformation). وتمتلك معظم وسائل التصوير والعرض فراغات لونية (Color Spaces) خاصة بها، وبالرغم من أنه يُمكن تحويل صورة بين وسيلتين لكل منهما فراغ لوني مختلف، فيكون من المناسب تحديد فراغ لوني قياسي (Standard Color Space) يُستخدم كحلقة مُتوسطة للحكم بين تقنيتين تعتمدان على فراغين لونيين مُختلفين.

يكون من الهام هنا أن نذكر أنه يجب دراسة الفضاء اللوني (Color Space) للأجهزة الرقمية المختلفة، حيث أنه في حالة لو كانت الاستجابات الطيفية (Spectral Responsivities) للألوان الأساسية المرتبطة بالكاميرا معروفة وكذلك أطراف شاشة العرض، فقد يُمكننا تحديد نسبة التحول بين قيم الألوان الأساسية للصورة التي تم التقاطها بواسطة الكاميرا وقيم الألوان الأساسية للشاشة، ومن ثم يتم عرض الصورة الملتقطة على الشاشة. وهذا بالطبع يمكن حدوثه فقط في حالة لو أن الكاميرا وتقنيات العرض لا تفرض قيوداً أو تحديداً على المدى الديناميكي (Dynamic Range) أثناء التصوير وعلى بيانات شاشة العرض.

منهج البحث Methodology:

يتبع البحث المنهج الوصفي التحليلي لوصف مميزات وإمكانيات والحدود اللونية للفراغ اللوني الرقمي (ACES) والمستخدم في مرحلتى التصوير والعرض السينمائي الرقمي للتحكم في جودة الصورة السينمائية الرقمية قبل عرضها كعرض جماهيري رقمي.

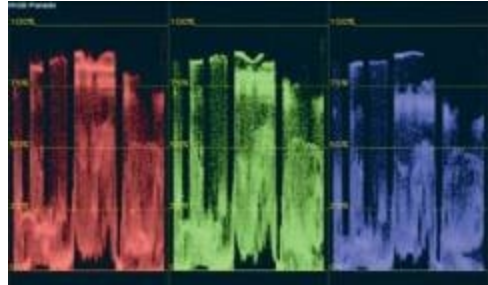
١- تمثيل اللون رقمياً Representing Color Digitally:

يتم رؤية وعرض الصور السينمائية التقليدية والرقمية على شاشات مضيئة (Illuminated Screens)، ذلك لأن الفضاء اللوني الرقمي (Color Space) للفيلم السينمائي التقليدي وللصور السينمائية الرقمية يتم تعريفه عن طريق أنظمة اللون الرقمية من نوعية (RGB)، وغالباً ما يتم استخدام قناة لونية إضافية مع النموذج (RGB) تُسمى قناة (Alpha) ويُرمز لها بالرمز (A) وتُستخدم هذه القناة الإضافية لأغراض الفصل الشفاف ويُسمى هذا النظام بإسم (RGBA).

ومن أجل تحديد الكميات المُختلفة من الألوان الأساسية (RGB) المكونة للقطعة السينمائية، يتم تمثيل مدى الطول الموجي (Waveform Scope) لكل لون جرافيكياً على شاشة قياسية مُخصصة لهذا الغرض (Waveform Monitor)، ويعرض شكل (١) تمثيل لموجات (RGB) للصورة السينمائية الرقمية على شاشة قياسية.

تتعامل الكاميرات السينمائية الرقمية وكافة أجهزة معالجة وعرض الصور السينمائية الرقمية بالنظام اللوني (RGB) في تسجيل وتخزين صورها الرقمية، حيث يستشعر الوسيط الحساس (Sensor) قيم المشهد المصور لونياً من خلال معلومات (RGB) أى من خلال ثلاثة قنوات لونية أحادية (Monochromatic Channels)، ويتم بعدها تجميع المكونات اللونية للألوان الأساسية بداخل الوسيط الحساس (Sensor) من أجل إعادة خلق ومن ثم تخزين ألوان المشهد الأساسية بصورة رقمية، في ملفات رقمية من نوعية (RAW)، هذه الملفات تكون قادرة على تسجيل القيم اللونية الأحادية لكل لون على حدة. كما يتم التعامل بنظام (RGB) في منظومة المعمل الرقمي (Digital Lab) خاصة في عملية التصحيح اللوني (Color Correction) حيث يتم عمل الفصل اللوني (Color Separation) للقطعة السينمائية عن طريق فصل اللقطة الواحدة لثلاث طبقات،

تحتوى كل طبقة منهم على المعلومات اللونية الأحادية (Monochrome) لأحد الألوان الأساسية المُكونة للصورة السينمائية من أجل التحكم الكامل في قيمة كل لون على حدة، كما يتضح في شكل (٢).



شكل (١): تمثيل لموجات (RGB) للصورة السينمائية الرقمية على شاشة قياسية.

٢- الفراغ اللوني Color Space:

يُعرف الفراغ اللوني (Color Space) بأنه التمثيل الهندسي للألوان في فراغ ثلاثي الأبعاد (3D Color Space).

- وتحدد إحداثيات النقطة البيضاء (White Point) عند $(X_w=0.3127, Y_w=0.3290)$. كما تتحدد إحداثيات الألوان الأساسية (RGB) على محوري (XY) بحيث:
- تحدد إحداثيات اللون الأحمر (Red) عند $(X_r=0.64, Y_r=0.33)$.
 - تحدد إحداثيات اللون الأخضر (Green) عند $(X_g=0.30, Y_g=0.60)$.
 - تحدد إحداثيات اللون الأزرق (Blue) عند $(X_b=0.15, Y_b=0.06)$.

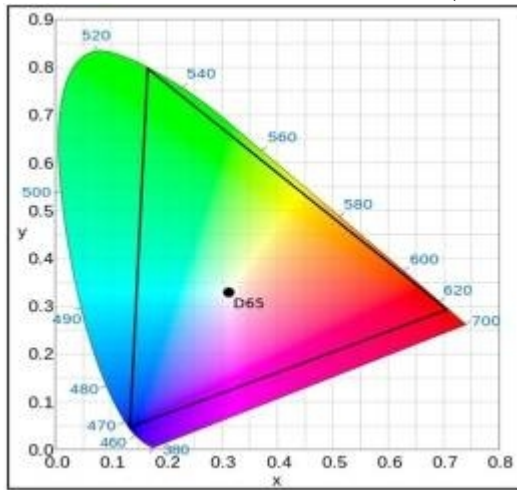
٢-٣- النموذج اللوني الرقمي Rec.2020

تم ابتكار هذا النموذج اللوني الرقمي عن طريق قسم اتصالات الراديو بإتحاد الاتصالات العالمي (ITU) وتم تسميته باسم (ITU Recommendation BT.2020) ويختصر إلى (Rec.2020) أو (BT.2020). يختص النموذج اللوني الرقمي (Rec.2020) بتعريف بعض المفاهيم الخاصة بنظام التلفزيون فائق الحدة (UHDTV) مثل جودة العرض العالية (Display Resolution), معدل الكادرات (Frame Rates), إعادة التمثيل اللوني (Chroma Sub sampling), عمق البت (Bit Depth) وحدود الفضاء اللوني (Color Space) لهذا النظام.

وقد صدر هذا النموذج اللوني الرقمي عام ٢٠١٢م على الموقع الإلكتروني لإتحاد (ITU), ويعرض شكل (٤) الحدود اللونية للنموذج اللوني الرقمي (Rec.2020-UHDTV) متمثلة على المنحنى اللوني البياني لنظام (C.I.E 1931), وتتحدد قيمة النقطة البيضاء (White Point) لهذا النموذج اللوني الرقمي عند (D65).

وتحدد إحداثيات النقطة البيضاء (White Point D65) عند $(X_w=0.3127, Y_w=0.3290)$. كما تتحدد إحداثيات الألوان الأساسية (RGB) على محوري (XY) بحيث تتحدد إحداثيات اللون الأحمر (Red) عند $(X_r=0.708, Y_r=0.292)$ وتتحدد إحداثيات اللون الأخضر (Green) عند $(X_g=0.170, Y_g=0.797)$ وتتحدد إحداثيات اللون الأزرق (Blue) عند $(X_b=0.131, Y_b=0.046)$.

يعرض شكل (٥) المنحنى اللوني البياني لنظام (C.I.E 1931) مُمثلاً عليه مقارنة بين الفراغ اللوني لنموذج اللون الرقمي (Rec.709) والخاص بأنظمة (HDTV) وبين الفراغ اللوني للنموذج اللوني الرقمي (Rec.2020) والخاص بأنظمة (UHDTV).



شكل (٤): الحدود اللونية للنموذج اللوني الرقمي (Rec.2020) متمثلة على المنحنى اللوني البياني لنظام (C.I.E 1931), وتتحدد قيمة النقطة البيضاء (White Point) لهذا النموذج اللوني الرقمي عند (D65).

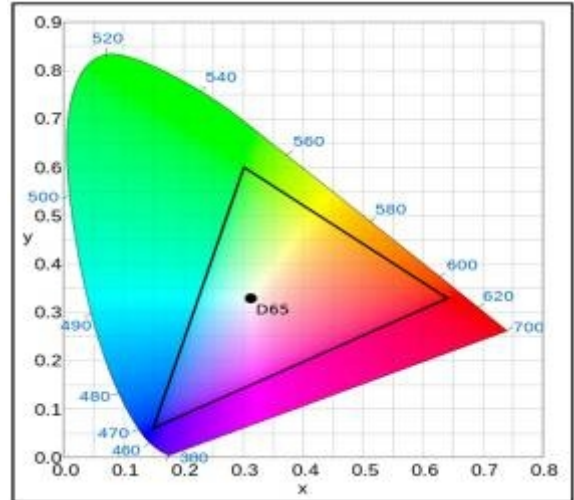
تستخدم معظم ترميزات الصورة معايير تُعرف غالباً باسم المعايير المتعلقة بوسائل الإخراج (Output-Referred Standards), أي أن ترميزات الصور تُطبق المدى اللوني لوسيلة العرض بدلاً من المدى اللوني للمشاهد الأصلي الذي تم تصويره. وتتميز هذه المعايير بأنها لا تتطلب أي مُعالجات قبل العرض على التقنية المستهدفة، كما أنها لا تُهدر الألوان خارج المدى الذي تتيحه وسيلة العرض (Color's Device Gamut), وفي المقابل فعيوب هذه المعايير هي أنها لا يُمكنها عرض الألوان القابلة للعرض على وسائل عرض أخرى.

بينما تتبع المعايير المتعلقة بالمشهد المصور فلسفة مختلفة، إذ تحاول تمثيل قيم المشاهد الأصلي قدر الإمكان ويتطلب العرض على وسائل عرض محددة بعض الأساليب في إعادة تخطيط البيكسلات لتتناسب التسلسل اللوني لوسيلة العرض (Device's Gamut) وتعرف هذه العملية باسم خريطة التدرجات (Tone Mapping). وتعتبر الميزة الأساسية لاستخدام خريطة التدرجات، هي فك ترميز الصور (Image Decoding), كما أنه يُمكن عمل تصحيح لأي وسيلة عرض أثناء مرحلة العرض. كما تتوافر الحرية في تطبيق عمليات معقدة على الصورة بدون الخوف من فقد معلومات هامة ودون التقيد بمدى قيم معين. وتعتبر الترميزات المرتبطة بالمشهد المصور شديدة الكفاءة في إعادة تمثيل قيم الألوان كما هي في الواقع وهذا بالتحديد أحد المجالات الهامة التي تعتمد عليها ترميزات الصور السينمائية ذات المدى الديناميكي العالي.

٣- الفراغات اللونية الرقمية المُستخدمة مع نظام التصوير السينمائي الرقمي Digital Color Spaces used with Digital Cinema Shooting System:

١-٣- النموذج اللوني الرقمي Rec.709:

تم ابتكار هذا النموذج اللوني الرقمي عن طريق قسم اتصالات الراديو (ITU Radio Communication Sector) بإتحاد الاتصالات العالمي (ITU) وتم تسميته باسم (ITU Recommendation BT.709) ويختصر إلى (Rec.709) أو (BT.709). يختص النموذج اللوني الرقمي (Rec.709) بمعايرة الألوان لمقاس التلفزيون عالي الحدة (HDTV) ذا نسبة الشاشة العريضة (16:9), وقد صدر الإصدار الأول من هذا النموذج اللوني الرقمي عام ١٩٩٠م, ويعرض شكل (٣) الحدود اللونية للنموذج اللوني الرقمي (Rec.709) متمثلة على المنحنى اللوني البياني لنظام (C.I.E 1931), وتتحدد قيمة النقطة البيضاء (White Point) لهذا النموذج اللوني الرقمي عند (D65).

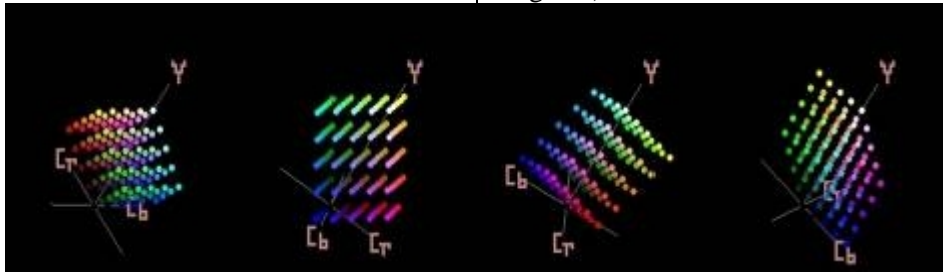


شكل (٣): الحدود اللونية للنموذج اللوني الرقمي (Rec.709) متمثلة على المنحنى اللوني البياني لنظام (C.I.E 1931), وتتحدد قيمة النقطة البيضاء (White Point) لهذا النموذج اللوني الرقمي عند (D65).

(Signals), حتى يتم استخدامها مع أجهزة وشاشات العرض الرقمية (Digital Projectors), حيث يتم معالجة الألوان الأساسية (Red, Green, Blue) للصور السينمائية الرقمية وتحويل قيمها إلى قيم تتشابه بشده مع قيم ألوان الصور السينمائية الرقمية الأصلية سواء المسجلة أثناء التصوير أو المُصححة لونياً, تمهيداً لعرضها رقمياً, ويعرض شكل (٦) التمثيل الجرافيكي ثلاثي الأبعاد للنموذج اللوني الرقمي (YCbCr).

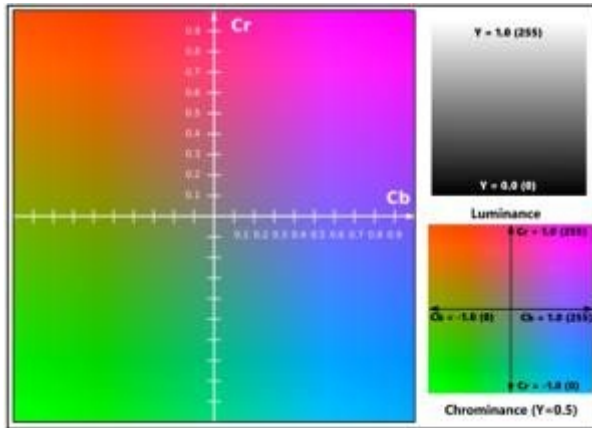
بناءً على ما سبق فإن هذا النموذج اللوني الرقمي لا يُعتبر نموذجاً عاملاً (Working Color Space) إلا في وجود الألوان الأساسية (RGB) للمشاهد الأساسي, لذلك تم تصنيف هذا النموذج اللوني الرقمي على أنه نموذجاً لونياً غير مُطلقاً, ويتم التعبير عن قيم الألوان في النموذج اللوني الرقمي (YCbCr) من خلال ثلاثة مكونات للون:

- (Y): ترمز إلى شدة الإضاءة (Luminance) وتسمى (Luma Channel) أو قناة (Luma) وتحتوي هذه القناة على معلومات اللامعان للصورة (Brightness Information) ويتم التعبير عن محتوى هذه القناة اللونية من خلال صورة تدرجات رمادية (Grayscale Image).
- (Cb, Cr): يرمزان إلى مكونات قناتان لونيتان. هما عبارة عن محصلة لفروق المكونات اللونية الحمراء (Cr) والزرقاء (Cb) تُقدم هاتين القناتين اللونيتين سوياً قيمةً لونياً مُزاحةً (Color Offsets), من أجل تحديد إذا ما كان عدد البيكسلات المنحرفة من صورة تدرج الرماديات (Y) (Grayscale Image) قد انحرقت في اتجاه المكونة اللونية الحمراء (Cr) أم في اتجاه المكونة اللونية الزرقاء (Cb), ويتكون اللون الأخضر (G) من محصلة الفروق اللونية بين محوري اللون (Cr) و (Cb).

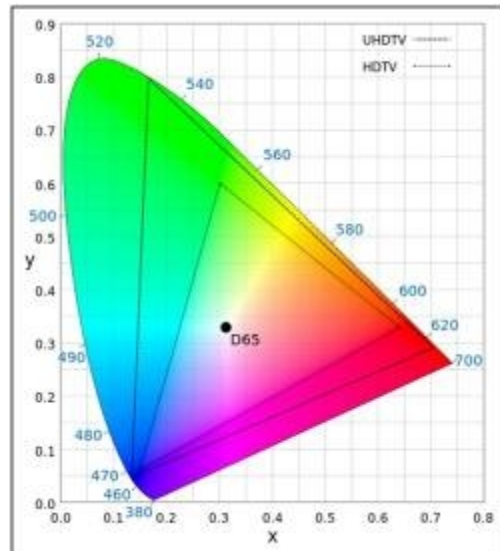


شكل (٦): التمثيل الجرافيكي ثلاثي الأبعاد للنموذج اللوني الرقمي (YCbCr).

دوماً عند إجراء عملية ضغط للصورة السينمائية الرقمية (Cinema Image Compression) تمهيداً لعرضها رقمياً بواسطة أجهزة الرؤية والعرض الرقمية.



شكل (٧): المُسطح اللوني (CbCr plane) عند شدة إضاءة ثابتة (Constant Luma) تساوي (Y=0.5).



شكل (٥): المنحنى اللوني البياني لنظام (C.I.E 1931) مُمثلاً عليه مقارنة بين الفراغ اللوني لنموذج اللون الرقمي (Rec.709) والخاص بأنظمة (HDTV) وبين الفراغ اللوني للنموذج اللوني الرقمي (Rec.2020) والخاص بأنظمة (UHDTV).

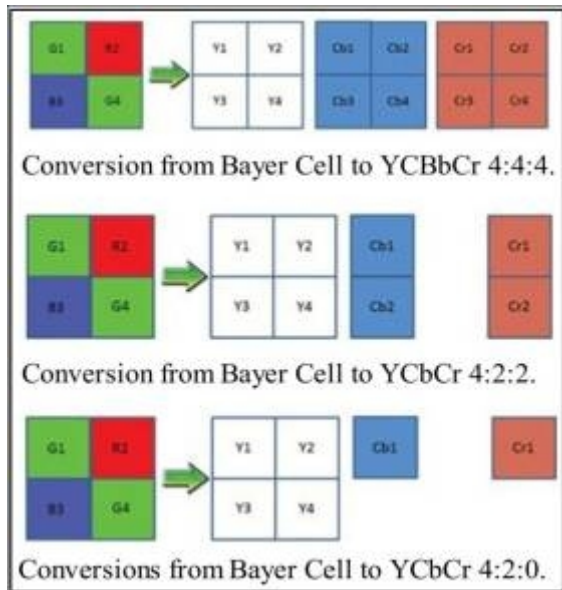
٤- نماذج اللون الرقمية الخاصة بنظام العرض السينمائي الرقمي Digital Color Models for Digital Cinema Projection System:

١-٤ النموذج اللوني الرقمي YCbCr:

النموذج اللوني الرقمي (YCbCr) يُعد نموذجاً لونياً مُطلقاً صرفاً, بقدر كونه طريقة عملية تُستخدم لتكويد (Encoding) الإشارات اللونية للصور السينمائية الرقمية ذات الفضاء اللوني (RGB) أثناء ضغطها وتحويلها إلى إشارات رقمية (Digital)

يعرض شكل (٧) المُسطح اللوني (CbCr plane) عند شدة إضاءة ثابتة (Constant Luma) تساوي (Y=0.5), ويعرض شكل (٨) التمثيل الموجي للنظام اللوني الرقمي (YCbCr), كما يعرض شكل (٩) عملية تحويل الصورة الرقمية من نظام (RGB) إلى نظام (YCbCr), حيث يعرض القسم العلوي من الشكل المراحل الرئيسية لعملية التحويل في حين يعرض القسم السفلي من الشكل عملية الفصل اللوني للصورة الرقمية بنظام (YCbCr) إلى مكوناتها اللونية (Y), (CbCr).

ونظراً لأن النظام اللوني الرقمي (YCbCr) قد صُمم للإستخدام في أغراض العرض الرقمي, لذلك نجد أن من أهم مميزاته أنه بُنى من الأساس على مواصفات نظام الرؤية البشرية (Human Visual System), حيث تكون العين البشرية حساسة لرؤية معلومات الإضاءة واللامعان (Brightness Information) أكثر من حساسيتها لرؤية معلومات اللون (Color Information), وبناءً عليه فإن الإشارات اللونية للمكونات اللونية (Cb, Cr) يُمكن إعادة تمثيلها بالتصغير (Downsampling) نسبة إلى قيمة المكون (Y) دون فقد كبير في جودة الصورة النهائية, ويتم إستخدام نظام التمثيل بالتصغير (Downsampling)



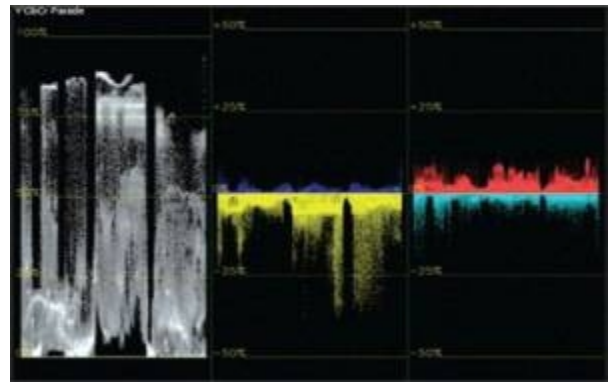
شكل (١٠): أنظمة تجزئة المعلومات اللونية للصورة السينمائية الرقمية عند تحويلها من النظام اللوني (RGB) إلى النظام اللوني (YCbCr).

٢-٤ النموذج اللوني الرقمي DCI-P3

النموذج اللوني الرقمي (DCI-P3) هو عبارة عن فراغ لوني (Color Space) مشترك - من نوعية (RGB) - صُمم عن طريق مؤسسة (SMPTE) عام ٢٠٠٧م، للعمل مع أجهزة العرض السينمائي الرقمية (Digital Movie Projection). ويقدم هذا النموذج اللوني الرقمي حدوداً لونية أوسع بكثير عن تلك المُقدمة عن طريق النموذج اللوني الرقمي (sRGB)، وقد قامت (SMPTE) بوضع كود تسمية لهذا النظام وهو (SMPTE EG 432-1) أو (SMPTE RP 431-2).

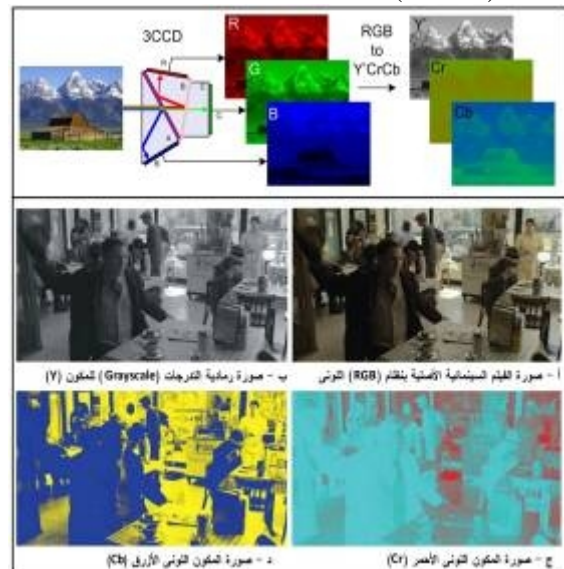
يُشير مصطلح (DCI) إلى (Digital Cinema Initiatives) وهو عبارة عن معايير لونية مقترحة للعمل مع نظام السينما الرقمية (Digital Cinema) تم إبتكاره عن طريق سبعة أستديوهات في مدينة هوليوود الأمريكية. وتظهر الحدود اللونية للنموذج اللوني الرقمي (DCI-P3) مُمتلئة على المنحنى اللوني البياني لنموذج (C.I.E 1931) اللوني في شكل (١١). كما نرى هذه الحدود اللونية مُمتلئة على المنحنى اللوني البياني لنموذج (C.I.E Lu'v) اللوني في شكل (١٢). ومع حلول عام ٢٠١٣م، ظهرت أول شاشة عرض رقمية تكون قادرة على عرض صورتها طبقاً لمدى الألوان الواسع والخاص بالنموذج اللوني الرقمي (DCI-P3)، وقد تم تسميته بإسم (Dolby Professional Reference Monitor PRM-4200 Human) الجدير بالذكر أن المساحة اللونية التي يُمكن أن تغطيها العين البشرية (Human Eye) تصل إلى نسبة (45.5%) من مساحة اللون الخاصة بنظام (C.I.E 1931) اللوني، ونسبة (41.7%) من مساحة اللون الخاصة بنظام (C.I.E 1976) اللوني، وهذا يتقارب بشدة مع الحدود اللونية الخاصة بنظام (Adobe RGB) اللوني الرقمي حيث يستطيع (Adobe RGB) تقديم مساحة لونية بنسبة (45.2%) من مساحة اللون الخاصة بنظام (C.I.E 1931) اللوني، وهنا تظهر نقطة تميز للنموذج اللوني الرقمي (DCI-P3)، حيث يتمكن المدى اللوني الخاص به من تغطية النسب التالية من المساحات اللونية لبعض النماذج اللونية الرقمية التالية:

- نسبة (100%) من مساحة أسطح اللون الحقيقية والمُسجلة عن طريق نظام (Pointer Gamut) والمُقدم عام ١٩٨٠م.
- نسبة (85.5%) من المساحة اللونية الخاصة بالنموذج اللوني (C.I.E 1931).



شكل (٨): التمثيل الموجي للنظام اللوني الرقمي (YCbCr). بناءً على ما سبق، وطبقاً لنظام تجزئة معلومات الصورة الرقمية (Sampling System) تتعامل المعلومات اللونية للصورة المُحوّلة من نظام (RGB) إلى نظام (YCbCr) مع أنظمة تجزئة الصورة الرقمية (4:2:0)، (4:2:2)، (4:4:4) طبقاً لما يلي، وطبقاً لما هو معروض في شكل (١٠):

- بالنسبة لنظام (YCbCr 4:4:4)، يتم تمثيل قيم الألوان (Cb,Cr) بنفس مُعدل تمثيل قيمة شدة الإضاءة (Y) (Luma)، وبذلك يُستخدم هذا النظام في التكويد مع أنظمة كاميرات ومُعدات السينما الرقمية.
- بالنسبة لنظام (YCbCr 4:2:2)، يتم تمثيل قيم الألوان (Cb,Cr) بنصف مُعدل تمثيل قيمة شدة الإضاءة (Y) (Luma) في الإتجاه الأفقي، أى يتم استخدام نظام التمثيل بالتصغير (Downsampling) عند إعادة تمثيل قيم الألوان (Cb,Cr) بنسبة تصل للنصف، وبذلك يُستخدم هذا النظام في التكويد مع أنظمة كاميرات ومُعدات صورة الفيديو فائقة التحديد (UHDTV) الإحترافية.
- بالنسبة لنظام (YCbCr 4:2:0)، فإن قيم الألوان (Cb,Cr) يتم تصغيرها بمعامل متضاعف في كلا الإتجاهين الأفقي والرأسي على المسطح اللوني لنظام (YCbCr).



شكل (٩): عملية تحويل الصورة الرقمية من نظام (RGB) إلى نظام (YCbCr)، حيث يعرض القسم العلوي من الشكل المراحل الرئيسية لعملية التحويل في حين يعرض القسم السفلي من الشكل عملية الفصل اللوني للصورة الرقمية بنظام (YCbCr) إلى مكوناتها اللونية (Y),(Cb,Cr).

لصورة السينما الرقمية وصورة الفيديو الرقمية بحيث يتم حفظهما على المدى الطويل دون أدنى تأثير على الجودة العامة للصورة.

النظام اللوني الرقمي (ACES), هو عبارة عن نظام كامل للصور السينمائية الرقمية, يحتوي في داخله على نظام تكويد لوني رقمي تم إبتكاره للعمل خصيصاً مع أنظمة إنتاج الصورة السينمائية الرقمية, حيث يُعبر (ACES) عن الجيل الجديد من أجيال النماذج اللونية الرقمية ذات المدى اللوني المُتسع (Wide Gamut), مُقدماً بذلك فضاءً لونياً شديداً للإتساع, يتمكن من تغطية المدى الكامل لدرجات الألوان المرئية (Visible Color Gamut), كما يُغطي كامل ألوان الطيف المرئي للعين البشرية (Human Visual Spectrum). ويستخدم (ACES) نظام تكويد لوني بدقة (16-Bit), الأمر الذي يُتيح إمكانية تصوير وإنتاج الصورة السينمائية الرقمية بمدى ديناميكي عالي (High Dynamic Range) يصل إلى أكثر من (٢٥) فتحة تعريض حين يُستخدم لتكويد المدى الديناميكي المُمتد للألوان الأساسية (Extended RGB Primaries) الخاصة بالصورة السينمائية الرقمية, الأمر الذي يُتيح مدى لوني شديداً للإتساع ليبيئة عمل الفيلم السينمائي.

تم تصميم (ACES) ليقيم بتحسين عملية تبادل المعلومات الرقمية للصور السينمائية بين مختلف أقسام منظومة إنتاجها حيث تحتوي كل وسيلة على فضاءً لونياً وبنية عمل خاصة بها, وأيضاً للحصول على أعلى جودة لونية (Color Fidelity) وأعلى مدى ديناميكي (Dynamic Range) سواء من الفيلم السينمائي أو من الكاميرات السينمائية الرقمية.

١.٥ مكونات النظام اللوني الرقمي (ACES) ACES Digital Color System Components

يُقدم (ACES) مجموعة من المكونات (Components) ليتم إستخدامها مع مُختلف مخططات العمل (Workflows) لأقسام منظومة الإنتاج السينمائي الرقمي, ومن هذه المكونات:

- فضاء لوني قياسي ذو خصائص ضوئية خطية (Linear-Light) يستخدم نظام تكويد لوني بدقة عالية (16-Bit), مما يُتيح لليكسلات (Pixels) أكثر من (30 Stops) فتحة تعريض للمدى الديناميكي (Dynamic Range), كما يتمكن البيكسل من تكويد كل درجات الألوان المرئية بواسطة نظام الرؤية البشرية.

- مواصفات قياسية للملف الرقمي, مع تطبيق لإشارة مفتوحة المصدر (Open Source Reference Implementation), يتوضعان ويندمجان سوياً في هيئة إصدار جديد من الملفات السينمائية الرقمية من نوعية (Open-EXR), من أجل تسهيل العمل مع مُختلف أنواع الملفات الرقمية المُنتجة من مُختلف أقسام منظومة عمل الفيلم السينمائي الرقمية, وبناءً عليه يتمكن الملف الرقمي الجديد (Open-EXR) من إستقبال معلومات الصورة الرقمية من أي نوعية ملف رقمي آخر.

- خاصية قياسية لتكويد الكثافة (Density Encoding), يُطلق عليها اسم (ADX Density Encoding), من أجل الموائمة والتوافق مع أنظمة الفيلم السينمائي التقليدي (Traditional Film) حين يتم نقلها إلى منظومة عمل السينما الرقمية عن طريق الماسح الفيلمي الرقمي (Digital Film Scanner), وبناءً عليه يقوم نظام تكويد الكثافة (ADX) بنقل قيم الكثافة من الفيلم إلى العالم الرقمي بدقة تصل إلى (16-Bit) وهي دقة عالية جداً تتجاوز نطاق كل أنواع الخام السينمائي التقليدي سواءً كان هذا الخام للتصوير أو للطبع.

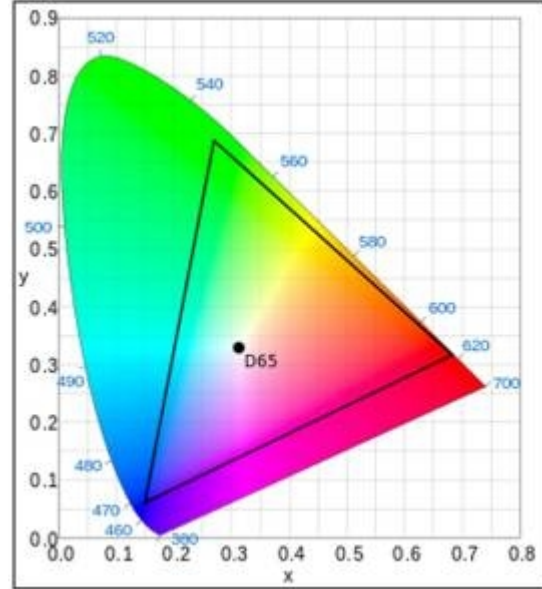
- مجموعة من الصور المرجعية مُصححة لونياً مسبقاً مأخوذة كنماذج قياسية من الماسحات والمُسجلات الفيلمية الرقمية, وتسمى هذه الخاصية بإسم (ASAP) أو (Academy Scanner Analysis Patches), حيث يمكن تطبيق تأثير

- نسبة (86.9%) من المساحة اللونية الخاصة بالنموذج اللوني (C.I.E 1976 u'v').

وتتحدد إحداثيات النقطة البيضاء (White Point D65) عند (Xw=0.3127, Yw=0.3290), كما تتحدد إحداثيات الألوان الأساسية (RGB) على محوري (XY) بحيث:

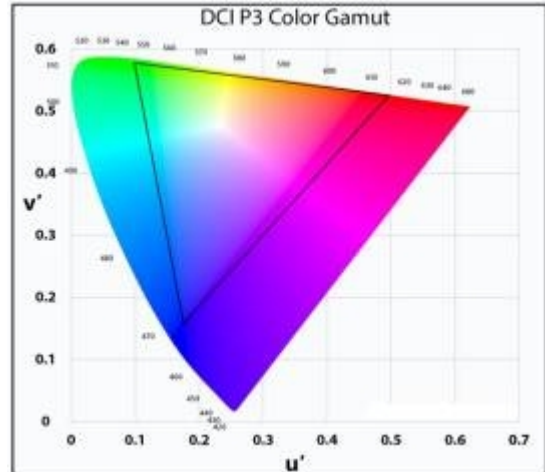
- تتحدد إحداثيات اللون الأحمر (Red) عند (Xr=0.680, Yr=0.320).

- تتحدد إحداثيات اللون الأخضر (Green) عند (Xg=0.265, Yg=0.690).



- تتحدد إحداثيات اللون الأزرق (Blue) عند (Xb=0.150, Yb=0.060).

شكل (١١): الحدود اللونية للنموذج اللوني الرقمي (DCI-P3) مُمثلة على المنحنى اللوني البياني لنموذج (C.I.E 1931) اللوني.



شكل (١٢): الحدود اللونية للنموذج اللوني الرقمي (DCI-P3) مُمثلة على المنحنى اللوني البياني لنموذج (C.I.E Lu'v') اللوني.

٥- النظام اللوني الرقمي (ACES)

النظام اللوني الرقمي (ACES), يُطلق عليه أيضاً اسم نظام التكويد اللوني الأكاديمي (The Academy Color Encoding System), تم إبتكاره في نهايات عام ٢٠١٣م بواسطة أكاديمية علوم وفنون الفيلم السينمائي الأمريكية (Academy of Motion Picture Arts & Sciences), للعمل مع أنظمة تصوير ومعالجة وعرض الصورة السينمائية الرقمية بداية من مرحلة التصوير مروراً بمرحلة التصحيح اللوني وحتى الإنتاج النهائي للصورة ومن ثم عرضها رقمياً, كما أنه يُستخدم في أغراض الأرشيف الرقمية

(White Point) عند (D60), وتتحدد إحداثيات الفراغ اللوني (ACES) عند $x=0.32168$, $y=0.33767$, $(u'=0.2007777, v'=0.474205)$.

٢-٥ فوائد النظام اللوني الرقمي (ACES) ACES Digital Color System Benefits

١-٢-٥ فوائد (ACES) لمديرى التصوير

- ينزع الشك عند مضاهاة الألوان بين ألوان المشهد وقت التصوير وبين ألوانه عند إجراء عملية التصحيح اللوني (Color Correction) عن طريق أدوات الرؤية القياسية وأدوات التحويل (ODTs).
- يحافظ (ACES) على المدى الكامل لمناطق الإضاءة العالية (Highlights) ومناطق الظلال (Shadows) ودرجات الألوان المُلتقطة وقت التصوير، للإستخدام خلال عمليات ما بعد الإنتاج (Post Production) مُتضمنة في ذلك عملية التصحيح اللوني (Color Correction).
- يُعطى (ACES) نسبة (18%) تعريض كمعامل رؤية مشترك على الشاشات وعلى أجهزة العرض السينمائي، الأمر الذى يُتيح إستخدام أدوات القياس الفوتومترية التقليدية (Traditional Photometric Tools) للتحكم في قيم التعريض.
- يُتيح (ACES) إمتداد مستقبلي لباليتة الألوان المُكونة لفراغه اللوني، وذلك بإنتزاع التحديدات اللونية المتواجدة في الملفات الرقمية القديمة المستخدمة مثل (Cineon) و (Rec709) واللذان تكون حدودهما اللونية ومداهما الديناميكي أقل من الحدود المُقدمة بواسطة إما كاميرات التصوير السينمائية الرقمية الحديثة أو الفيلم السينمائي التقليدي الخام الحديث.

٢-٢-٥ فوائد (ACES) لنظم المؤثرات الرقمية ووسائل ما بعد الإنتاج ACES Benefits for Visual Effects & Postproduction Facilities:

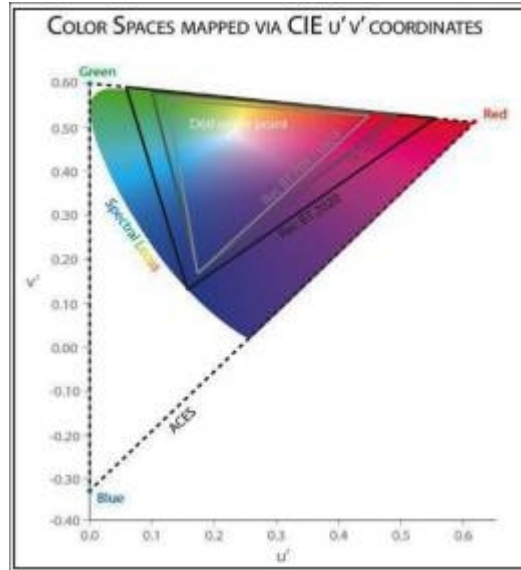
- يحفظ (ACES) الصور السينمائية بجودة عالية للإستخدام المستقبلي مع الجيل التالي من أجهزة الرؤية.
- إتاحة التبادل الواقعي بين مختلف أنواع الصور السينمائية سواءً من الفيلم السينمائي أو من الصورة الرقمية.
- إتاحة المعالجات المُختلفة على الصور الرقمية دون إجراء أى تغيير على صور المشهد الأصلي.
- يلخص عملية المُطابقة اللونية (Color Matching) بين جميع أنواع الصور السينمائية من مُختلف المصادر متضمناً في ذلك صورة الفيلم التقليدي وصورة الفيلم الرقمي وكذا ملفات الجرافيك المُعدة للسينما.

٣-٥ رؤية النظام اللوني الرقمي (ACES) Viewing ACES Digital Color System

بما أن النظام اللوني الرقمي (ACES) يقوم بتكويد ألوان المشهد الأصلي، طبقاً للفراغ اللوني المستخدم مع جهاز الرؤية (Viewing Device)، لذا يجب مراعاة ضبط قيم (ACES) طبقاً لمواصفات جهاز الرؤية المُستخدم وطبقاً لبيئة العرض المُخطط لها، حتى يتم عرض الصور السينمائية المسجلة بأمانة ودون فقد في الجودة ويعرض شكل (١٤) مخطط يوضح التحويل اللوني من الكاميرات السينمائية الرقمية إلى نظام (ACES) اللوني الرقمي. بالنسبة لنظم العرض السينمائية الرقمية، فإن هذا الضبط الرقمي يتم تنفيذه عن طريق تقنية (RRT) أو (Reference Rendering Transform) بالإضافة إلى جهاز رؤية متخصص (Specific Display Device) يعمل بتقنية (ODT)، حيث يتم دمج إمكانيات التقنيتين معاً في صورة أدوات تحويل واحدة، الأمر الذى يُتيح رؤية المسار الكامل للإشارة المرجعية لنظام (ACES) بداية من تصوير

التصحيح اللوني المُجرى على الصورة المرجعية مُباشرة على الصورة السينمائية الرقمية التى يراد إجراء عملية التصحيح اللوني بها مما يوفر من وقت عملية التصحيح اللوني.

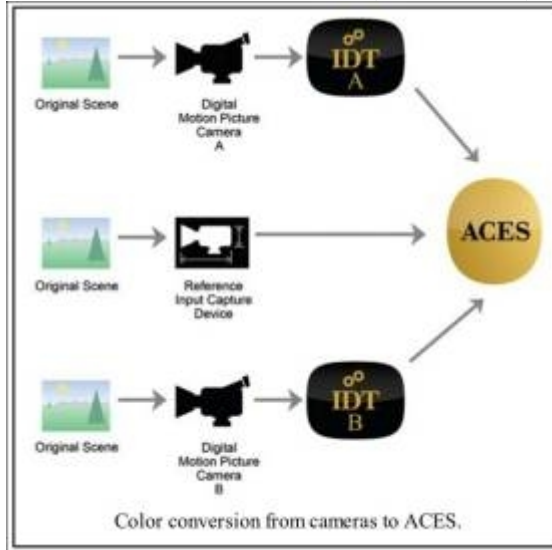
- مجموعة من الأكواد اللونية لمجموعة من الممارسات المُوصى بها في مجال معايرة الإستجابات اللونية (Color Responses) للكاميرات الرقمية، الأمر الذى يُتيح إمكانية التحويل من ملفات (RAW) إلى ملفات (ACES)، إى أن هذه الأكواد تُوفر مدخلاً رقمياً لنظام ملفات (ACES) من الكاميرات السينمائية الرقمية.
- أدوات تحويل مرجعية تقدم مظهر نهائى للون حين يتم عرض الفيلم السينمائي في بيئة تامة الإظلام كقاعات العرض السينمائي، حيث تتحكم هذه الأدوات في درجات ضغط الصورة (Tone Compression) وأيضاً في التشبع اللوني (Color Saturation)، وتسمى التقنية التى تعمل من خلالها تلك الأدوات بإسم (RRT) أو (Reference Rendering Transform)، ومن أجل ضمان الحصول على جودة عالية للصورة السينمائية الرقمية المُقدمة من خلال نظام (ACES)، يجب أن يتم عرض تلك الصور من خلال تقنية (RRT).
- مجموعة من أدوات التحويل المرجعية (Reference Transforms) للتحويل من النظام اللوني الرقمي (ACES) إلى أنماط خرج الفراغات اللونية القياسية الأخرى مثل الفراغ اللوني (Rec709) والخاص بنظام (HDTV) والفراغ اللوني (DCI-P3) والخاص بنظام العرض السينمائي الرقمي (Digital Cinema Projection System)، هذه المجموعة من أدوات التحويل تُسمى بإسم (ODT) أو (Device Transforms).



شكل (١٣): مقارنة بين الفراغ اللوني (Color Space) للنظام اللوني الرقمي (ACES) وبين أشهر الفراغات اللونية الرقمية وذلك على المنحنى اللوني البياني لنظام (C.I.E u'v').

إجمالاً لما سبق، لا يسعنا إلا أن نقول أن النظام اللوني الرقمي (ACES) قد تم تصميمه ليُدعم كل خطط العمل الرقمية للفيلم السينمائي التقليدي والفيلم السينمائي الرقمي والكاميرات السينمائية الرقمية وأيضاً منظومة عمل الوسيط الرقمي متضمنة في ذلك أجهزة الحاسب الألى المُستخدمة في عمليات تصحيح الصورة السينمائية الرقمية والتحكم في جودتها، ويعرض شكل (١٣) مقارنة بين الفراغ اللوني (Color Space) للنظام اللوني الرقمي (ACES) وبين أشهر الفراغات اللونية الرقمية وذلك على المنحنى اللوني البياني لنظام (C.I.E u'v')، حيث تتحدد النقطة البيضاء

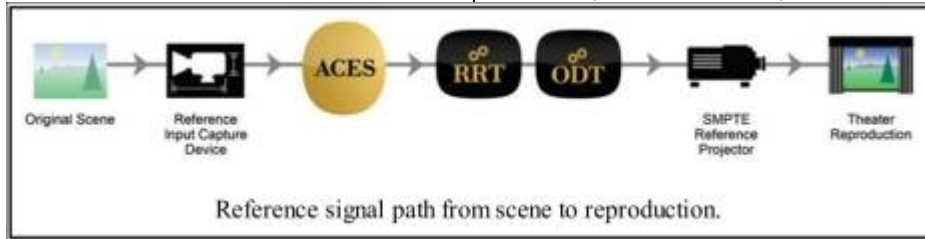
ومن ثم ترجمة هذه القيم إلى صورة نهائية رقمية.



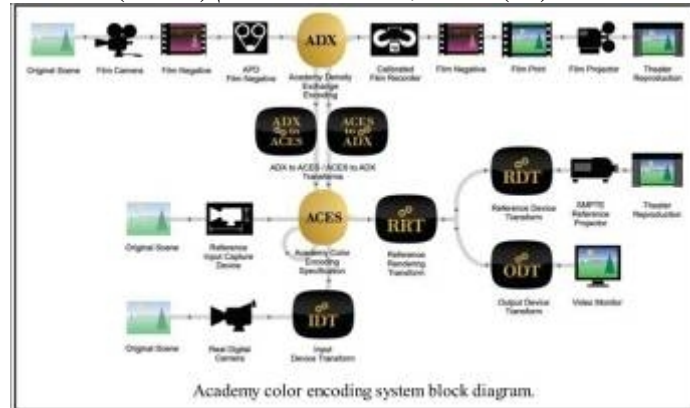
شكل (١٤): مخطط يوضح التحويل اللوني من الكاميرات السينمائية الرقمية إلى نظام (ACES) اللوني الرقمي.

المشاهد الأصلية وصولاً إلى نسخة العرض الجماهيري كما يتضح في شكل (١٥). ويستهدف مسار الإشارة المرجعية (Reference Path) عند مرحلة العرض الرقمي، العمل مع جهاز عرض قياسي مرجعي ومُشترك بالنسبة لتنظيم العرض السينمائي الجماهيري الرقمية وهو جهاز العرض (Reference Projector) (SMPT Digital Cinema) (DCI-P3) ذا المواصفات القياسية (Gamma 2.6 RGB).

أما بالنسبة لرؤية النظام اللوني الرقمي (ACES) على الشاشات الرقمية الصغيرة (Monitors) فإن المساحة اللونية العالية لنظام (ACES) يتعد عرضها كاملة على الشاشات الرقمية الصغيرة (Monitors) ومع ذلك يوفر (ACES) ثلاثة أنظمة لونية رقمية بديلة للرؤية على الشاشات الرقمية الصغيرة (Monitors) تتضمن (Rec.709 Full Range), (Rec.709 Legal Range) و (sRGB ODT) ويعرض شكل (١٦) مخطط العمل الكامل للنظام اللوني الرقمي (ACES) مُتضمناً سلسلة إنتاج الفيلم السينمائي (Film Production Chain) باستخدام النقل والمسح الفيلمي بتقنية (ADX)، ويُراعى في هذا الصدد إجراء معايرة لونية بين الماسح الفيلمي (Film Scanner) والمُسجل الفيلمي (Film Recorder) من أجل استخدام تقنية (ADX) القياسية بشكل سليم، وهنا يتيح نظام (ACES) إمكانية التحويل من نظام (ADX) إلى (ACES) لقراءة قيم الكثافات على الفيلم السينمائي



شكل (١٥): مسار الإشارة المرجعية لنظام (ACES)



شكل (١٦): مخطط العمل الكامل للنظام اللوني الرقمي (ACES) مُتضمناً سلسلة إنتاج الفيلم السينمائي (Film Production Chain).

- الفراغ اللوني الرقمي (ACES) هو النظام اللوني الرقمي الأمثل للتعامل مع تكنولوجيا إنتاج معدات إنتاج الصورة السينمائية في مرحلتى التصوير والعرض السينمائي الرقمي
- بدراسة الحدود اللونية للفراغ اللوني الرقمي (ACES) والتي تقترب بشدة من حدود الرؤية اللونية للعين البشرية نتبين ضرورة استخدامه كبديل عن الفراغات اللونية الرقمية (Rec.709), (Rec.2020) والمستخدم في مرحلة التصوير السينمائي الرقمي، كما نتبين ضرورة استخدامه كبديل عن الفراغات اللونية الرقمية (DCI-P3), (YCbCr) والمستخدم في مرحلة العرض السينمائي الرقمي.

التوصيات Recommendation :

- يوصى الباحث بضرورة استخدام النظام اللوني الرقمي (ACES) للتحكم في جودة إنتاج الصورة السينمائية الرقمية

وبما أن إتحاد تقنيي (RRT) و (ODT) يخلق علاقة لونية تناقلية بين قيم (RGB) لنظام (ACES) وبين المخرجات اللونية لأجهزة الرؤية والعرض القياسية المشتركة، لذا يتمكن نظام (ACES) من استقبال الصور السينمائية الرقمية المُعدة بالأنظمة اللونية (Rec.709) و (DCI-P3) ومن ثم تحويلها عكسياً إلى أنظمة (RRT/ODT) من أجل خلق ملفات رقمية مكودة بنظام (ACES) لأغراض الأرشفة الرقمية للصور السينمائية وتكود هذه الملفات بإمتداد (Open EXR) المُعدل، وبالرغم من أن الملفات المُحوّلة من أنظمة اللون الرقمية (Rec.709) و (DCI-P3) إلى (ACES) لا تحتوي على نفس الفراغ اللوني المُمتد (Extended Color Space) لنظام (ACES)، إلا أن (ACES) يتيح استخدام هذه النوعية من الملفات مع منظومه العمل الخاصة به بنجاح.

النتائج Results :

Fundamentals Tools, Techniques & Workflows", Focal Press, New York, 2014

- Maureen C. Stone, "A Survey of Color for Computer Graphics", Course at SIGGRAPH, white paper, 2013

مواقع الإنترنت:

- https://en.wikipedia.org/wiki/Rec._709
- <https://www.noteloo.com/kit/display/color-space/dci-p3>

في مرحلتى التصوير والعرض السينمائى الرقمى، والإستغناء عن الأنظمة اللونية الرقمية التى سبقت إبتكار (ACES).

- ضرورة الدراسة الأكاديمية والعلمية لتكنولوجيا إنتاج النظام اللونى الرقمى (ACES) قبل إستخدامه من أجل الحصول على أعلى جودة لونية ممكنة للصورة السينمائية الرقمية النهائية والمجهزة للعرض الجماهيرى.

المراجع References:

- مريم محمد حسن، "معالجة الصورة السينمائية الرقمية بإستخدام تقنية المدى الواسع من التعريضات"، رسالة ماجستير غير منشورة، كلية الفنون التطبيقية، جامعة حلوان، ٢٠١١م
- David Stump: "Digital Cinematography :