

تقنية التعريض المتعدد لإنتاج الألوان في الكاميرات الفوتوغرافية الرقمية Multi-Shot Technology for Color Reproduction in Digital Still Cameras

د. هشام أحمد مرعي

أستاذ مساعد بقسم الفوتوغرافيا والسينما والتلفزيون - كلية الفنون التطبيقية - جامعة حلوان.

كلمات دالة Keywords:

الفوتوغرافيا
Photography
الكاميرات الرقمية
Digital Cameras
التعريض المتعدد
Multi-Shot
مستشعر الكاميرا
Camera Sensor
إنتاج الألوان الناقصة
Color demosaicing
توزيع مرشحات Bayer
Bayer Filter Array

ملخص البحث Abstract:

إن الخطوة الأولى للحصول على إعادة إنتاج دقيقة لألوان الموضوعات المصورة، تكون بالتسجيل الدقيق للمعلومات اللونية في جميع نقاط المشهد المصور، بواسطة السطح الحساس المستخدم في التصوير. ولتحقيق ذلك يجب أن يتم تسجيل معلومات الألوان الأساسية الثلاث: الأحمر R، والأخضر G، والأزرق B، في كل نقطة من نقاط المشهد الذي يتم تصويره. وفي حالة مستشعرات الكاميرات الرقمية فإن المواقع الحساسة للضوء photo sites، الموجودة داخل بكسلات مستشعر الكاميرا، لا تستطيع تمييز نسب الألوان التي يحتوي عليها شعاع الضوء الساقط على كل منها، وإنما هي فقط تستطيع التعبير عن عدد فوتونات الضوء الساقطة عليها، بغض النظر عن الأطوال الموجية لها. ولتسجيل الألوان تتم تغطية بكسلات المستشعر بشبكة من المرشحات الملونة، بحيث يكون كل بكسل من بكسلات المستشعر مغطى بمرشح لون واحد فقط من الألوان الأساسية الثلاث، وبذلك فإن كل بكسل يسجل فقط معلومة لون واحد من الألوان الأساسية. أما معلومة اللونين الناقصين فيتم استنتاجهما بعد ذلك بدلالة المعلومات اللونية للبكسلات المجاورة، من خلال عملية معقدة، يطلق عليها اسم demosaicing. أي أنه لا يتم تسجيل معلومات RGB الحقيقية لكل نقطة من نقاط المشاهد المصورة. ومن هنا تأتي أهمية تقنية التعريض المتعدد multi-shot لإنتاج الألوان في الكاميرات الفوتوغرافية الرقمية، حيث إنها تتيح تسجيل معلومات الألوان الكاملة: الأحمر والأخضر والأزرق RGB، في كل نقطة من نقاط الصورة، دون الحاجة إلى توليد الألوان الناقصة بشكل حسابي غير حقيقي. وتكمن مشكلة البحث في أن الطريقة التقليدية المستخدمة في تسجيل الألوان مع مستشعرات الكاميرات الرقمية، لا تقوم بتسجيل المعلومات اللونية الكاملة لنقاط المشهد المصور بشكل فعلي. ولذلك يهدف البحث إلى الوقوف على مميزات تقنية التعريض المتعدد لإنتاج الألوان، ومدى دقتها في تسجيل ألوان المشاهد المصورة بشكل حقيقي.

Paper received 26th July 2020, Accepted 26th August 2020, Published 1st of October 2020

المرشحات الملونة، بحيث يكون كل بكسل من بكسلات المستشعر مغطى بمرشح لون واحد فقط من الألوان الأساسية الثلاث: الأحمر أو الأخضر أو الأزرق. وبذلك فإن كل بكسل لا يستقبل سوى ذلك الجزء من الضوء الذي له نفس الطول الموجي للمرشح الموضوع فوقه، فيسجل شدة الضوء لهذا اللون فقط. أي أن كل بكسل يسجل فقط معلومة لون واحد من الألوان الأساسية الثلاث: الأحمر أو الأخضر أو الأزرق، أما معلومة اللونين الناقصين فيتم استنتاجهما بعد ذلك بدلالة المعلومات اللونية للبكسلات المجاورة، من خلال عملية معقدة، يطلق عليها اسم demosaicing، يقوم بها معالج الكاميرا، أو يقوم بها المصور بعد ذلك من خلال أحد تطبيقات معالجة الصور. إلا أن عملية استنتاج اللونين الناقصين في كل بكسل، تظل في أفضل حالاتها عملية حسابية، تسعى للوصول إلى إعادة إنتاج دقيقة للمعلومات اللونية في كل نقطة من نقاط المشهد المصور، إلا أنها لن تبلغ نفس درجة الدقة التي نحصل عليها إذا قمنا بتسجيل معلومات الألوان الأساسية الثلاث في كل نقطة بشكل فعلي أثناء التصوير أثناء التصوير.

ومن هنا تأتي أهمية تقنية التعريض المتعدد multi-shot لإنتاج الألوان في الكاميرات الفوتوغرافية الرقمية، حيث إنها تعتمد على تعريض المشهد الذي يتم تصويره أكثر من مرة واحدة، في كل مرة منهم يتم تسجيل أحد الألوان الأساسية الثلاث في كل نقطة من نقاط الصورة، ثم يتحرك مستشعر الكاميرا بأكمله بعد كل تعريض، ليغير وضع المرشحات الملونة، ثم يتم التعريض التالي للون آخر من الألوان الأساسية في كل نقطة، وهكذا. حتى يتم تسجيل معلومات الألوان الكاملة: الأحمر والأخضر والأزرق RGB، في كل نقطة من نقاط الصورة، دون الحاجة إلى توليد الألوان الناقصة بشكل حسابي غير حقيقي. ولذلك سنقوم في هذه البحث بدراسة كيفية عمل تقنية التعريض المتعدد لتسجيل الألوان في الكاميرات الرقمية، والوقوف على مميزات، واختيارات التعريض المختلفة التي تتيحها الكاميرات التي تعمل بهذه التقنية، للحصول على تسجيل حقيقي للألوان.

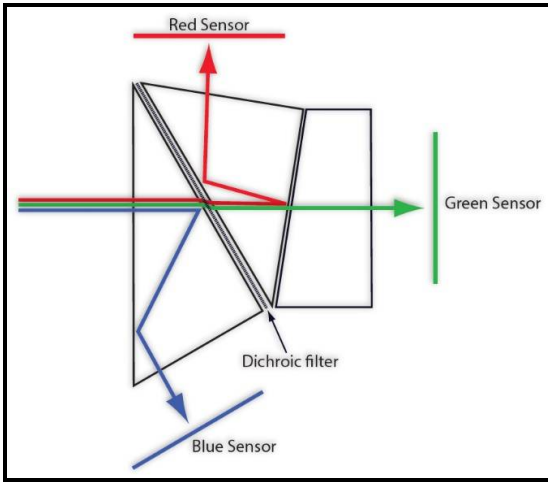
مقدمة Introduction:

تعتبر دقة إعادة إنتاج المعلومات اللونية للموضوعات المصورة، من أهم العمليات التي يتوقف عليها نجاح الصورة الفوتوغرافية، ومدى تحقيقها للتأثير المنشود في جميع مجالات الفوتوغرافيا. فعلى الرغم من تطور برامج وتطبيقات معالجة الصور الرقمية، والتي أصبحت تتيح التحكم في ألوان الصور الفوتوغرافية، وتحسينها، وتصحيحها، وإضفاء تأثيرات عليها، بشكل غير محدود، إلا أن تسجيل الألوان الحقيقية للموضوع المصور، يظل هو الغاية المنشودة لجميع المصورين الفوتوغرافيين، مهما كانت طبيعة الموضوعات التي يقومون بتصويرها، ومهما كانت المعالجات التي سيخضعون لها صورهم بعد ذلك.

والخطوة الأولى للحصول على إعادة إنتاج دقيقة لألوان الموضوعات المصورة، تكون بالتسجيل الدقيق للمعلومات اللونية في جميع نقاط المشهد المصور، بواسطة السطح الحساس المستخدم في التصوير. ولتحقيق ذلك يجب أن يتم تسجيل معلومات الألوان الأساسية الثلاث: الأحمر R، والأخضر G، والأزرق B، في كل نقطة من نقاط المشهد الذي يتم تصويره. ففي حالة الأفلام التقليدية، فإنها تشتمل على عدة طبقات كل منها مخصصة لتسجيل معلومات واحد من الألوان الأساسية الثلاثة، وفقاً لنسبها في الضوء المنعكس من أجزاء المشهد المصور، وبذلك تكتمل المعلومات اللونية الأساسية في كل نقطة من نقاط الموضوع المصور. أما في حالة مستشعرات الكاميرات الرقمية فإن المواقع الحساسة للضوء photo sites، الموجودة داخل بكسلات مستشعر الكاميرا، لا تستطيع تمييز نسب الألوان التي يحتوي عليها شعاع الضوء الساقط على كل منها، وإنما هي فقط تستطيع التعبير عن عدد فوتونات الضوء الساقطة عليها، بغض النظر عن الأطوال الموجية لها. أي أن المستشعر يعبر فقط عن شدة الضوء المنعكس من أجزاء المشهد المصور، دون أي تمييز لمحتوياتها اللونية. وتكون الصورة التي نحصل عليها في النهاية عبارة عن درجات رمادية تعبر عن الكثافات المختلفة للموضوع المصور، أي أنها صورة أبيض وأسود. ولتسجيل الألوان تتم تغطية بكسلات المستشعر بشبكة من

2- إنتاج اللون باستخدام ثلاث مستشعرات:

إن إعادة إنتاج ألوان الموضوعات المصورة يتطلب أن يتم تسجيل معلومات الألوان الأساسية الثلاث: الأحمر R، والأخضر G، والأزرق B، في كل نقطة من نقاط المشهد الذي يتم تصويره. الأمر الذي يتطلب استخدام ثلاث مستشعرات، كل منهم يكون مخصصاً لتسجيل معلومة أحد الألوان الأساسية الثلاثة في نقاط المشهد المصور. (1) فكما يظهر في شكل (2) يتم تقسيم شعاع الضوء القادم من عدسة الكاميرا إلى ثلاثة أجزاء، بحيث يسقط كل منهم على أحد المستشعرات الثلاث. فيتم تسجيل معلومات اللون الأحمر في جميع نقاط المشهد المصور على أحد المستشعرات، ونفس الأمر بالنسبة لمعلومات اللونين الأخضر والأزرق. ثم يتم دمج صور المستشعرات الثلاث في صورة ملونة واحدة، تحمل المعلومات اللونية الكاملة لكل نقطة من نقاط المشهد المصور. إلا أن هذه الطريقة تتطلب أن تكون مسارات الأشعة الضوئية الثلاثة متساوية في الطول، حتى تكون صور الألوان الثلاثة مضبوطة الوضوح في نفس النقطة. كما تتطلب أيضاً الدقة الشديدة في محاذاة الصور الثلاثة أثناء الدمج. (2-p.139)



شكل (2) تسجيل ألوان الموضوع المصور باستخدام ثلاث مستشعرات، كل منهم لمعلومات لون من الألوان الأساسية RGB

3- إنتاج اللون باستخدام مستشعر واحد:

إن الطريقة السابقة لإنتاج الألوان باستخدام ثلاث مستشعرات تعتبر باهظة الثمن جداً، ولخفض هذه التكلفة تستخدم الكاميرات الفوتوغرافية الرقمية مستشعر واحد فقط، بدلاً من ثلاث مستشعرات، بحيث تتم تغطية بكسلات هذا المستشعر بشبكة من المرشحات الملونة، يطلق عليها اسم color filter array-CFA، بحيث يكون كل بكسل من بكسلات المستشعر مغطى بمرشح لون واحد فقط من الألوان الأساسية الثلاث: الأحمر أو الأخضر أو الأزرق. (1) وبذلك فإن كل بكسل لا يستقبل سوى ذلك الجزء من الضوء الذي له نفس الطول الموجي للمرشح الموضوع فوقه، فيسجل شدة الضوء لهذا اللون فقط، أما الأطوال الموجية الأخرى فيتم امتصاصها. (3-p.113-114) فكما يظهر في شكل (3)، فإن كل بكسل لا يسمح سوى بمرور ثلث شعاع الضوء الساقط عليه فقط، وهو الجزء الذي يحمل نفس لون المرشح الموضوع فوقه، أما اللونين الآخرين فلا يسمح لهما بالمرور إلى الموقع الضوئي الموجود بداخله. (5) أما معلومتي اللونين الناقصين فيتم استنتاجهما بعد ذلك بدلالة المعلومات اللونية للبكسلات المجاورة. (1)

4- كيفية توزيع المرشحات الملونة على سطح المستشعر:

النمط الأكثر استخداماً في توزيع المرشحات الملونة على سطح مستشعرات الكاميرات الفوتوغرافية الرقمية هو نمط Bayer، والذي يكون فيه عدد المرشحات الخضراء، مساوي لعدد

مشكلة البحث Statement of the problem:

يمكن حصر مشكلات تسجيل وإنتاج المعلومات اللونية في الكاميرات الفوتوغرافية الرقمية فيما يلي:

- مشكلة عدم قدرة مستشعرات الكاميرات الرقمية على التمييز بين الألوان المختلفة في شعاع الضوء الساقط عليها.
- مشكلة ارتفاع تكاليف استخدام ثلاث مستشعرات داخل الكاميرا لتسجيل الألوان.
- مشكلة عدم تسجيل المعلومات اللونية الكاملة لنقاط المشهد المصور بشكل حقيقي عند التعريض المفرد باستخدام مستشعر واحد فقط.

هدف البحث Objectives:

يهدف البحث إلى دراسة كيفية تسجيل الألوان في مستشعرات الكاميرات الفوتوغرافية الرقمية، وأبعادها المتعددة، وذلك للوقوف على مميزات تقنية التعريض المتعدد لإنتاج الألوان، ومدى دقتها في تسجيل ألوان المشاهد المصورة بشكل حقيقي.

تساؤلات البحث Research questions:

- ما مدى قدرة مستشعر الكاميرا على تمييز الألوان؟
- ما هي كيفية توزيع المرشحات الملونة على سطح المستشعر؟ وما هو سبب تفضيل اللون الأخضر في عدد المرشحات على اللونين الأحمر والأزرق؟
- ما هو الفرق بين المستشعرات التي تسجل الألوان وتلك التي لا تميز الألوان؟
- ما هي تقنية التعريض المتعدد لتسجيل الألوان؟ وما هي مميزاتها؟

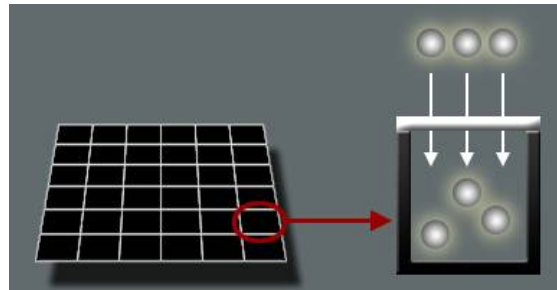
منهج البحث Methodology:

يتبع البحث المنهج الوصفي التحليلي بدراسة تقنيات تسجيل الألوان في الكاميرات الفوتوغرافية الرقمية، وبخاصة تقنية التعريض المتعدد، ومدى دقتها في إنتاج المعلومات اللونية للمشاهد المصورة.

الإطار النظري Theoretical framework

1- قدرة مستشعر الكاميرا على تمييز الألوان:

إن المواقع الحساسة للضوء photo sites، الموجودة داخل بكسلات مستشعر الكاميرا، لا تستطيع تمييز نسب الألوان التي يحتوي عليها شعاع الضوء الساقط على كل منها، وإنما هي فقط تستطيع التعبير عن عدد فوتونات الضوء الساقطة عليها، بغض النظر عن الأطوال الموجية لها. (2-p.139) فعندما يبدأ التعريض ويصل الضوء القادم من العدسة إلى سطح المستشعر، يقوم كل موقع ضوئي بإنتاج شحنة كهربائية تتناسب مع عدد فوتونات الضوء الساقطة عليه، كما يظهر في شكل (1). وهذه الشحنة يتم تحويلها بعد ذلك إلى قيمة رقمية في ملف الصورة. أي أن المستشعر يعبر فقط عن شدة الضوء المنعكسة من أجزاء المشهد المصور، دون أي تمييز لمحتوياته اللونية. (4) وتكون الصورة التي نحصل عليها في النهاية عبارة عن درجات رمادية تعبر عن الكثافات المختلفة للموضوع المصور. (5)



شكل (1) المواقع الضوئية داخل البكسلات تقوم بإنتاج شحنة كهربائية تتناسب مع فوتونات الضوء الساقطة عليها

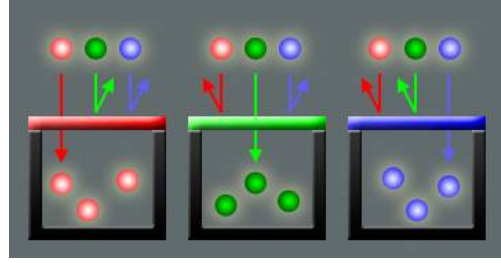
ويرجع تفضيل اللون الأخضر في عدد المرشحات التي تغطي سطح المستشعر إلى أن حساسية النظام البصري البشري تبلغ ذروتها حول طول موجة الضوء الأخضر، وهي حوالي 550 نانومتر.⁽³⁾ كما أن اللون الأخضر يساهم بالدرجة الأكبر في إشارة النصوص luminance في الصورة الملونة، ولذلك يؤدي تسجيله بنسبة أكبر إلى زيادة جودة الصورة. أما قناتي اللونين الأحمر والأزرق فيمثلان إشارة اللون chrominance في الصورة، ولذلك فيحتلان النصف الآخر من بكسلات المستشعر.⁽¹⁾ بالإضافة إلى أن زيادة عدد المرشحات الخضراء تؤدي إلى إنتاج صورة أقل تشويشاً less noisy، وذات تفاصيل أدق، مما يمكن الحصول عليه في حالة تساوي عدد مرشحات الألوان الثلاثة. ويؤكد ذلك أن نسبة التشويش في إشارة القناة الخضراء، تكون أقل كثيراً من مثيلتها في كل من القناتين الحمراء والأزرق.⁽⁵⁾

5- إنتاج اللونين الناقصين في كل بكسل:

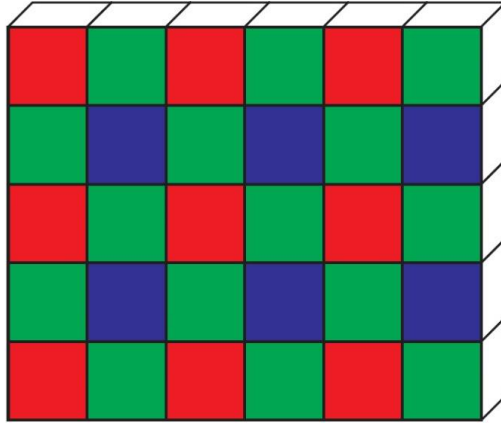
نظراً لأن طريقة إنتاج اللون بتوزيع المرشحات اللونية على سطح المستشعر تسمح فقط بأن يقوم كل بكسل بتسجيل معلومة لون واحد فقط من معلومات النقطة المقابلة له من المشهد المصور، فيجب أن تقوم الكاميرا باستنتاج اللونين الناقصين اللذان لم يتم تسجيلهما في كل بكسل من بكسلات المستشعر. ويطلق على هذه العملية اسم "demosaicing" Bayer، وهي العملية التي تتم فيها ترجمة الصورة التي تم تسجيلها من خلال شبكة المرشحات الملونة، والتي لا تحمل سوى معلومة لون أساسي واحد فقط في كل بكسل، إلى صورة ملونة تحمل المعلومات اللونية الكاملة لكل نقطة من نقاط المشهد الذي تم تصويره.⁽⁵⁾ ويتم استنتاج معلومة اللونين الناقصين في كل بكسل بدلالة المعلومات اللونية الموجودة في مجموعة البكسلات المحيطة به.⁽⁴⁾ وأبسط الطرق لاستنتاج قيم اللونين الناقصين، تكون بحساب متوسط قيم الألوان من البكسلات المجاورة.^(3-p.114) فكما يظهر في شكل (6)، نجد أن البكسل الأزرق المحاط بمربع أبيض، يحمل معلومة اللون الأزرق فقط في النقطة المقابلة له من المشهد المصور، فتقوم الكاميرا باستنتاج معلومة اللون الأخضر الناقصة في هذه النقطة، بحساب متوسط معلومات اللون الأخضر في الأربعة بكسلات الخضراء المحيطة بهذا البكسل الأزرق. ونفس الأمر تقوم به الكاميرا لاستنتاج معلومة اللون الأحمر الناقصة في هذه النقطة، بحساب متوسط معلومات اللون الأحمر في الأربعة بكسلات الحمراء المحيطة بهذا البكسل الأزرق. وبذلك تكتمل معلومات الألوان الأساسية الثلاثة في هذه النقطة من الصورة.⁽⁴⁾ وهذه الطريقة قد تؤدي إلى نتائج مرضية في حالة المناطق الناعمة من الصورة، ولكنها قد تشغل في إنتاج ألوان دقيقة في المناطق التي تحتوي على تفاصيل دقيقة وملامس متنوعة من الموضوع المصور. ولذلك تستخدم طرق أكثر تعقيداً لإنتاج الألوان الناقصة.^(3-p.114) حيث تعتمد على خوارزميات معقدة، تأخذ في اعتبارها العديد من العوامل، مثل: موقع البكسل داخل الصورة، كأن يقع في الخط الخارجي edge لأي كتلة من الكتل الموجودة داخل إطار الصورة. وكذلك ملمس الجزء الذي يقع فيه البكسل، ومحتويات الصورة بشكل عام.⁽⁴⁾

وتتم عملية إنتاج الألوان الناقصة demosaicing بواسطة معالج الكاميرا الرقمية، وبالإضافة لذلك فإن معظم الكاميرات الفوتوغرافية تتيح حفظ الصورة بتنسيق Raw، والذي تكون فيه معلومات الصورة على نفس حالتها التي سجلها مستشعر الكاميرا. بمعنى أن كل نقطة في ملف الصورة تحتوي فقط على معلومة لون واحد من الألوان الأساسية الثلاث، بحيث تتم معالجة ملف الصورة بعد ذلك بواسطة أحد تطبيقات الكمبيوتر، ليقوم باستنتاج الألوان الناقصة في كل نقطة من الصورة، ولكن مع مساحة عريضة من الاختيارات التي تتيح للمصور التحكم في خصائص الصورة بشكل كامل.^(3-p.115)

المرشحات الحمراء والأزرق مجتمعة، كما يظهر في شكل (4).⁽³⁾ حيث يتم تغطية نصف بكسلات المستشعر بمرشحات خضراء اللون، وربع البكسلات بمرشحات زرقاء، والربع الأخير بمرشحات حمراء.⁽¹⁾

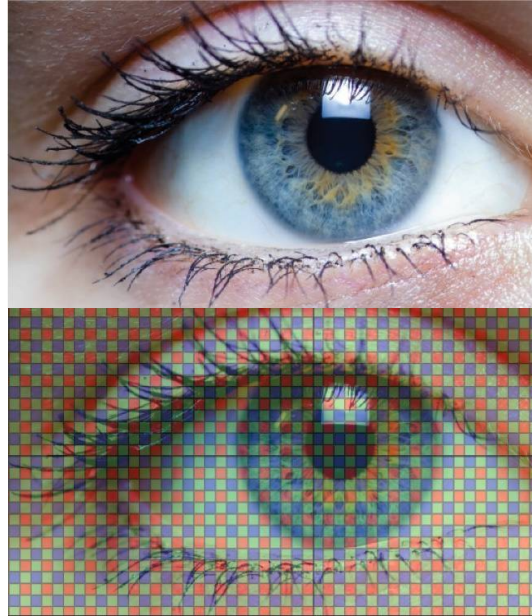


شكل (3) كل بكسل يسجل معلومة لون المرشح المغطى به فقط من الضوء الساقط عليه

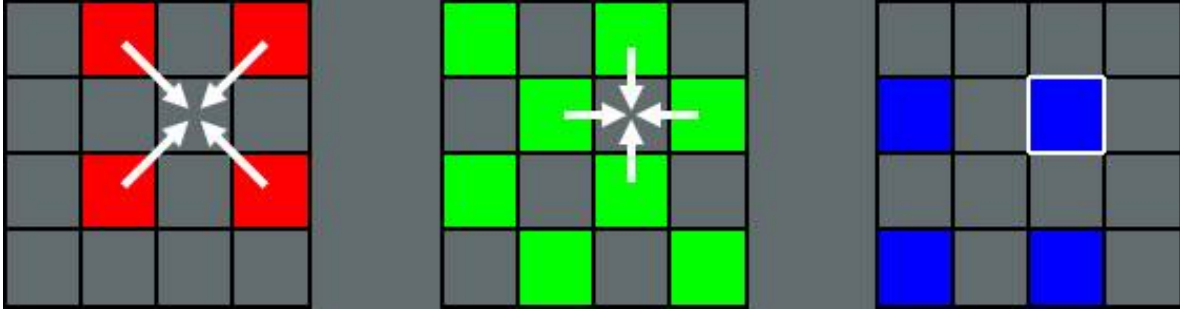


شكل (4) رسم تخطيطي لتوزيع المرشحات الملونة على بكسلات مستشعر الكاميرا وفقاً لنمط Bayer

فتكون الصورة المتكونة بواسطة المستشعر تشبه الفسيفساء mosaic، حيث تتكون من مربعات حمراء وخضراء وزرقاء، كما يظهر في شكل (5).^(2-pp.141-142) حيث أن كل بكسل يقوم فقط بتسجيل معلومة لون المرشح المغطى به في النقطة المقابلة له من المشهد المصور.⁽¹⁾



شكل (5) شكل تخيلي للصورة المتكونة بواسطة مستشعر الكاميرا المغطى بشبكة المرشحات الملونة Bayer



شكل (6) استنتاج معلومات اللونين الناقصين في كل بكسل من البكسلات المحيطة

حركة تعادل بكسل واحد فقط في كل مرة. فكما يظهر في شكل (8)، فيعد أن يتم تعريض البكسل المغطى بمرشح أخضر G، ويتم تسجيل معلومة اللون الأخضر في النقطة المقابلة له من المشهد المصور، يتحرك المستشعر بمقدار بكسل واحد أفقياً ناحية اليمين، فيحل البكسل المغطى بمرشح أحمر R محل البكسل المغطى بمرشح أخضر، ويتم التعريض الثاني الذي يتم فيه تسجيل معلومة اللون الأحمر في النقطة المقابلة من المشهد المصور. ثم يتحرك المستشعر بمقدار بكسل واحد رأسياً لأسفل، فيحل البكسل المغطى بمرشح أخضر G محل البكسل المغطى بمرشح أحمر، فيتم التعريض الثالث الذي يتم فيه تسجيل معلومة اللون الأخضر مرة أخرى. وأخيراً يتحرك المستشعر بمقدار بكسل واحد أفقياً ناحية اليسار، ليحل البكسل المغطى بمرشح أزرق B محل البكسل المغطى بمرشح أخضر، فيتم التعريض الرابع الذي يتم فيه تسجيل معلومة اللون الأزرق في النقطة المقابلة من المشهد المصور. وبذلك يعود المستشعر إلى نقطة البداية، بعد أن تم تسجيل معلومات الألوان الكاملة: الأخضر والأحمر والأخضر والأزرق GRGB، في كل نقطة من نقاط الصورة، دون الحاجة إلى توليد الألوان الناقصة في كل نقطة⁽⁷⁾. وتصلح تقنية التعريض المتعدد في تصوير الموضوعات الثابتة static subject⁽⁶⁾.

وتقنية التعريض المتعدد تتيح دقة ألوان في الصورة أعلى كثيراً من تلك التي نحصل عليها من التعريض الواحد single-shot، ففي هذه التقنية يقوم كل بكسل بتسجيل جميع الألوان الأساسية الموجودة في النقطة المقابلة له من المشهد المصور، مما يؤدي إلى تحقيق أقصى قدر من دقة وكثافة الألوان في الصورة. كما تمنع هذه التقنية من ظهور تأثير التموج moire في الأجزاء الدقيقة التفاصيل من الصورة، كما يظهر في شكل (9)⁽⁷⁾.

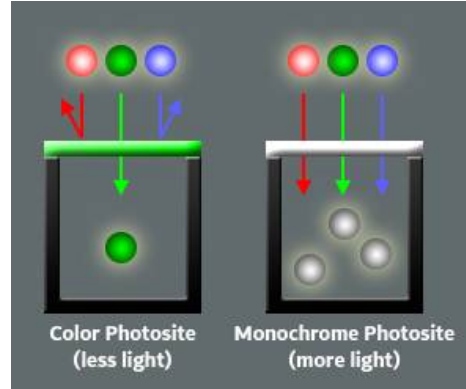
وتتوافر تقنية التعريض المتعدد في الظهر الرقمي Sinarback evolution 86H، والذي يظهر في شكل (10)، وهو يتيح قوة تحديد 8000x6000 بكسل، أي ما يعادل 48 ميغا بكسل لكل تعريض من التعريضات الأربعة، وأبعاد المستشعر هي 48x36مم. ويصلح هذا الظهر الرقمي للاستخدام مع الكاميرات الكبيرة view camera، والكاميرات المتوسطة medium format، ويتيح إمكانية الاختيار بين أحد نظامي التصوير: الأول بتعريض واحد فقط 1-shot، والثاني بأربعة تعريضات 4-shot⁽⁷⁾. وكذلك توجد تقنية التعريض المتعدد في الظهر الرقمي Sinarback exact، والذي يظهر في شكل (10)، وهو يتيح أيضاً قوة تحديد 48 ميغا بكسل لكل تعريض، إلا أنه يسمح باختيار قوة تحديد أقل لكل لقطة، بحيث يمكن أن تكون 12 أو 24 ميغا بكسل للقطة الواحدة. كما أنه يتيح الاختيار بين ثلاث أنظمة للتصوير: الأول بتعريض واحد فقط 1-shot، والثاني بأربعة تعريضات 4-shot، والثالث بستة عشر تعريضاً 16-shot، ولكن بقوة تحديد 12 ميغا بكسل فقط للتعريض الواحد⁽⁷⁾.

وتتوافر أيضاً خاصية التعريض المتعدد في الكاميرا الرقمية H6D-400C MS، من إنتاج شركة Hasselblad والتي تظهر في شكل (11)، وهي تسمح بأربعة تعريضات أيضاً لمرشحات الألوان بالترتيب السابق شرحه GRGB، إلا أنها تسمح بقوة تحديد

6- المستشعرات التي لا تميز الألوان:

Monochrome Sensors

لا تحتوي هذه المستشعرات على مرشحات ملونة تغطي بكسلاتها، وبالتالي فهي تتميز بأنها تسمح لكل الضوء القادم من عدسة الكاميرا بالوصول إلى مواقع الضوء داخل البكسلات، بغض النظر عن الخصائص اللونية للضوء. ولذلك فإن كل موقع ضوئي يستقبل كمية ضوء تعادل ثلاثة أضعاف كمية الضوء التي يستقبلها الموقع الضوئي المغطى بأحد المرشحات الملونة، كما يظهر في شكل (7). مما يؤدي إلى تحسن في الاستجابة الضوئية للمستشعر sensitivity يتراوح بين فتحة عدسة إلى فتحة ونصف. كما تتميز صور هذه المستشعرات أيضاً بأن نسبة التشويش noise في مناطق الظلال تكون أقل من مثيلاتها في الصور الملونة. وكذلك فإن فقد التفاصيل في مناطق الإضاءة العالية من الصورة highlight clipping، يكون أقل من الصور الملونة، بسبب أن فقد التفاصيل قد يحدث في أحد القنوات اللونية الأحمر أو الأخضر أو الأزرق فقط، أما في حالة المستشعر أحادي اللون فلا يرتبط الفقد في التفاصيل بقدرات القنوات اللونية المفردة، فيكون مدى التباين الذي يستطيع المستشعر تسجيله dynamic range أعلى قليلاً⁽⁴⁾.



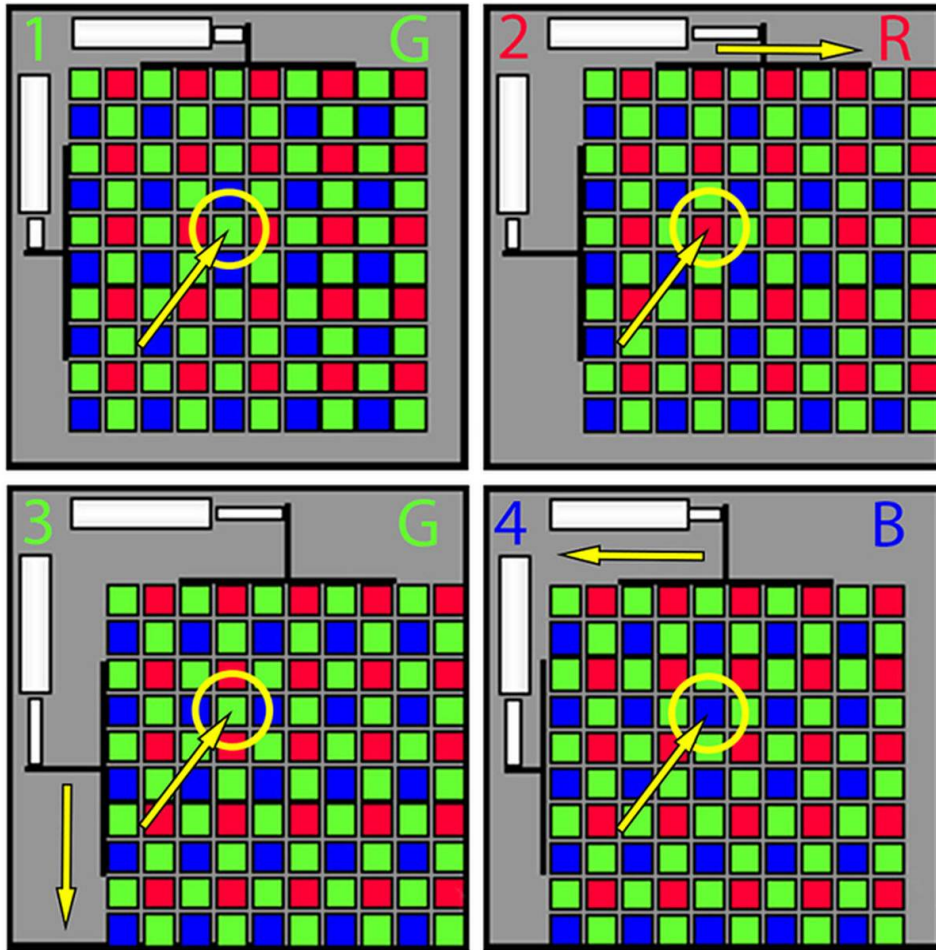
شكل (7) المرشح الملون يخفض كمية الضوء التي تصل إلى الموقع الضوئي

ومن أمثلة هذه النوعية من المستشعرات: مستشعر الظهر الرقمي XF IQ4 150MP Achromatic، الذي تنتجه شركة Phaseone، ذو أبعاد 53,4x40مم، والذي يتيح قوة تحديد 14204x10652 بكسل، أي ما يعادل 151 ميغا بكسل، وهو مخصص للتصوير الأبيض والأسود. وجميع بكسلات هذا المستشعر غير مغطاة بمرشحات ملونة، مما يسمح للضوء بالوصول إلى المواقع الحساسة داخل البكسلات دون أي عوائق. كما يتيح هذا المستشعر أيضاً إمكانية التصوير بالأشعة تحت الحمراء⁽⁸⁾.

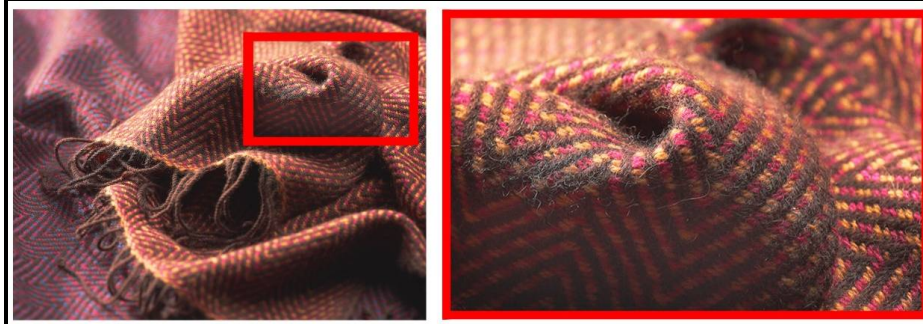
7- تقنية التعريض المتعدد: Multi-Shot Technology

تقوم هذه التقنية أيضاً على استخدام مستشعر واحد فقط، مغطى بمرشحات ملونة بنمط توزيع Bayer، وتعتمد تقنية التعريض المتعدد على حركة مستشعر الكاميرا بأكمله أربع مرات، بمسافة

(6) الواحد، وأبعاد مستشعر الكاميرا هي 53,4x40م. | أي ما يعادل 100 ميغا بكسل للتعريض



شكل (8) حركة مستشعر الكاميرا لتسجيل الألوان الكاملة RGB لكل نقطة من نقاط المشهد المصور



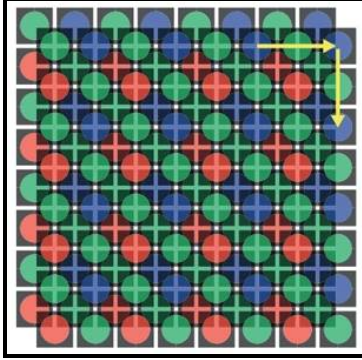
شكل (9) تقنية التعريض المتعدد تمنع ظهور تأثير التموج moire.. الصورة باستخدام الظهر الرقمي Sinarback exact



شكل (10) الأظهر الرقمية Digital Backs التي تسمح بالتعريض المتعدد

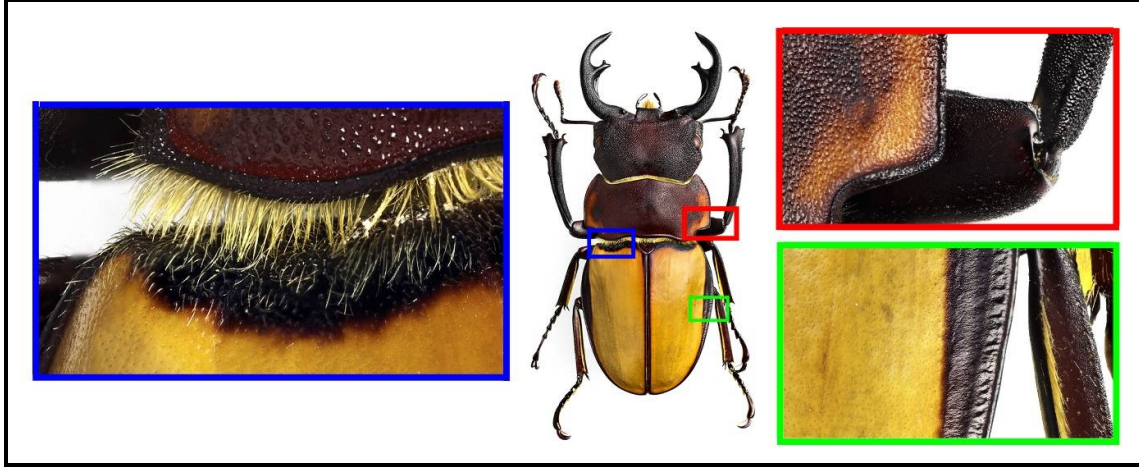


شكل (11) الكاميرا الرقمية Hasselblad H6D-400C MS تسمح بالتعريض المتعدد لأربع أو ست تعريضات



شكل (12) يتحرك المستشعر بمقدار نصف بكسل مرة أفقياً ومرة رأسياً ليتم التعريض الخامس والسادس

وتسمح هذه الكاميرا بالإضافة إلى نظام التعريضات الأربعة-4-shot، بنظام الستة تعريضات 6-shot، بحيث يكون هناك تعريضين إضافيين. فبعد أن يعود المستشعر إلى نقطة البداية بعد تمام التعريضات الأربعة، يتم تحريك المستشعر مرة أخرى أفقياً ولكن بمقدار نصف بكسل، بالكيفية التي تظهر في شكل (12)، ليتم التعريض الخامس. ثم يتحرك المستشعر بعدها رأسياً بمقدار نصف بكسل ليتم التعريض السادس. فيكون حجم ملف الصورة النهائية بعد دمج التعريضات الستة، هو 2.4 جيجا بايت، بتنسيق ملف Tiff. فنحصل بذلك على أقصى دقة ممكنة في تسجيل ألوان الموضوع المصور وتفاصيله، كما يظهر في شكل (13). ويتطلب استخدام نظام التعريض المتعدد أن يتم توصيل الكاميرا بجهاز الكمبيوتر، ليتم التحكم في عملية التصوير من خلال التطبيق الخاص بالكاميرا، والذي يدمج التعريضات المتعددة في ملف صورة نهائي واحد.⁽⁶⁾



شكل (13) دقة الألوان والتفاصيل بفضل التعريض المتعدد.. الصورة باستخدام كاميرا Hasselblad H6D-400C MS

- النمط الأكثر استخداماً في توزيع المرشحات الملونة على سطح مستشعرات الكاميرات الفوتوغرافية الرقمية هو نمط Bayer، حيث يتم تغطية نصف بكسلات المستشعر بمرشحات خضراء اللون، وربع البكسلات بمرشحات زرقاء، والربع الأخير بمرشحات حمراء.
- يرجع تفضيل اللون الأخضر في عدد المرشحات التي تغطي سطح المستشعر إلى أن حساسية النظام البصري البشري تبلغ ذروتها حول طول موجة الضوء الأخضر، كما أن اللون الأخضر يساهم بالدرجة الأكبر في إشارة النصوع luminance في الصورة الملونة، أما قناتي اللونين الأحمر والأزرق فيمثلان إشارة اللون chrominance في الصورة، ولذلك فيحتلان النصف الآخر من بكسلات المستشعر. بالإضافة إلى أن نسبة التشويش في إشارة القناة الخضراء، تكون أقل كثيراً من مثيلتها في كل من القناتين الحمراء والزرقاء.
- تقوم الكاميرا باستنتاج اللونين الناقصين للذات لم يتم تسجيلهما في كل بكسل من بكسلات المستشعر. ويطلق على هذه العملية اسم

النتائج: Results

- مستشعر الكاميرا الرقمية لا تستطيع تمييز نسب الألوان التي يحتوي عليها شعاع الضوء الساقط عليه والمنعكس من أجزاء المشهد المصور. ولذلك فهو يعبر فقط عن شدة الضوء المنعكسة من أجزاء المشهد المصور، دون أي تمييز لمحتوياتها اللونية. فتكون الصورة التي نحصل عليها في النهاية عبارة عن درجات رمادية تعبر عن الكثافات المختلفة للموضوع المصور.
- تتم تغطية بكسلات المستشعر بشبكة من المرشحات الملونة، يطلق عليها اسم color filter array-CFA، بحيث يكون كل بكسل من بكسلات المستشعر مغطى بمرشح لون واحد فقط من الألوان الأساسية الثلاث: الأحمر أو الأخضر أو الأزرق. أي أن كل بكسل يقوم فقط بتسجيل معلومة لون المرشح المغطى به في النقطة المقابلة له من المشهد المصور، أما معلومة اللونين الناقصين فيتم استنتاجهم بعد ذلك بدلالة المعلومات اللونية للبكسلات المجاورة.

المتوسطة medium format، والأظهر الرقمية digital backs، وكذلك عدم إمكانية استخدامها في تصوير الموضوعات المتحركة بسرعة، إلا أن هذه التكنولوجيا تفتح آفاقاً جديدة في مجال تسجيل الألوان رقمياً، قد تتسبب في حدوث طفرات سريعة، في جودة الصور الرقمية بشكل عام.

المراجع References:

1. Pei, Soo-Chang, and Io-Kuong Tam. 2003. "Effective color interpolation in CCD color filter arrays using signal correlation." *IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology* 13 (6): 503-513. doi:10.1109/TCSVT.2003.813422.
2. Brown, Blain. 2016. *Cinematography: Theory and Practice: Image Making for Cinematographers and Directors*. Third edition. Routledge.
3. Langford, Michael, and Efthimia Bilissi. 2008. *Langford's Advanced Photography*. Seventh edition. Focal Press.
4. n.d. COLOR VS. MONOCHROME SENSORS. RED. Accessed July 25, 2020. <https://www.red.com/red-101/color-monochrome-camera-sensors>.
5. n.d. DIGITAL CAMERA SENSORS. Accessed July 25, 2020. <https://www.cambridgeincolour.com/tutorial/s/camera-sensors.htm>.
6. n.d. H6D-400C MULTI-SHOT, Hasselblad's highest resolution and most colour accurate medium format images. HASSELBLAD. Accessed July 23, 2020. <https://www.hasselblad.com/h6d-multishot/>.
7. n.d. Image quality without compromise. Sinar, Leica Camera AG. Accessed July 23, 2020. <https://sinar.swiss/products/digital-backs/digitalrueckteile-multishot-en-us/>.
8. n.d. XF IQ4 150MP Achromatic Camera System. PHASEONE. Accessed July 25, 2020. <https://www.phaseone.com/en/Photography/XF-Camera-System/Camera-Configurations/XF-IQ4-150MP-Achromatic-Camera-System>.

"Bayer demosaicing"، وهي العملية التي تتم فيها ترجمة الصورة التي تم تسجيلها من خلال شبكة المرشحات الملونة، والتي لا تحمل سوى معلومة لون أساسي واحد فقط في كل بكسل، إلى صورة ملونة تحمل المعلومات اللونية الكاملة لكل نقطة من نقاط المشهد الذي تم تصويره. ويتم استنتاج معلومة اللونين الناقصين في كل بكسل بدلالة المعلومات اللونية الموجودة في مجموعة البكسلات المحيطة به.

6. تتم عملية إنتاج الألوان الناقصة demosaicing إما بواسطة معالج الكاميرا الرقمية، أو بواسطة أحد تطبيقات معالجة الصور الفوتوغرافية التي تسمح بمعالجة ملف الصورة بتنسيق Raw، والطريقة الأخيرة تتيح مساحة عريضة من الاختيارات التي تتيح للمصور التحكم في خصائص الصورة بشكل كامل.

7. تتميز المستشعرات التي لا تميز الألوان Monochrome Sensors مثل: مستشعر الظهر الرقمي XF IQ4 150MP Achromatic، الذي تنتجه شركة Phaseone، بعدم احتوائها على مرشحات ملونة تغطي بكسلاتها، ولذلك فإن كل موقع ضوئي يستقبل كمية ضوء تعادل ثلاثة أضعاف كمية الضوء التي يستقبلها الموقع الضوئي المغطى بأحد المرشحات الملونة، مما يؤدي إلى تحسن في الاستجابة الضوئية للمستشعر sensitivity يتراوح بين فتحة عدسة إلى فتحة ونصف. كما تتميز صور هذه المستشعرات أيضاً بأن نسبة التشويش noise في مناطق الظلال تكون أقل من مثيلاتها في الصور الملونة. وهي مخصصة للتصوير الأبيض والأسود.

8. تقوم تقنية التعريض المتعدد multi-shot على استخدام مستشعر واحد فقط، مغطى بمرشحات ملونة بنمط توزيع Bayer، حيث تعتمد على تعريض المشهد الذي يتم تصويره أكثر من مرة واحدة، في كل مرة منهم يتم تسجيل أحد الألوان الأساسية الثلاث في كل نقطة من نقاط الصورة، ثم يتحرك مستشعر الكاميرا بأكمله بعد كل تعريض، ليتغير وضع المرشحات الملونة، ثم يتم التعريض التالي للون آخر من الألوان الأساسية في كل نقطة، وهكذا.. حتى يتم تسجيل معلومات الألوان الكاملة: الأحمر والأخضر والأزرق RGB، في كل نقطة من نقاط الصورة، دون الحاجة إلى توليد الألوان الناقصة بشكل حسابي غير حقيقي. وهي تتيح دقة ألوان في الصورة أعلى كثيراً من تلك التي نحصل عليها من التعريض الواحد single-shot، مما يؤدي إلى تحقيق أقصى قدر من دقة وكثافة الألوان في الصورة. كما تمنع هذه التقنية من ظهور تأثير النموج moire في الأجزاء دقيقة التفاصيل من الصورة.

الخلاصة Conclusions:

تعتبر تقنية التعريض المتعدد هي أفضل طرق تسجيل الألوان في الكاميرات الفوتوغرافية الرقمية، لأنها التقنية الوحيدة التي تعتمد على تسجيل معلومات الألوان الأساسية الثلاث في كل نقطة من نقاط المشاهد المصورة بشكل فعلي أثناء التصوير. وبالتالي فهي تتيح الفرصة للحصول على أفضل إعادة إنتاج لألوان الموضوعات المصورة، في مرحلة معالجة الصور بعد التصوير. وعلى الرغم من عدم توفرها حتى الآن إلا في عدد محدود من الكاميرات