



イメージ・センサの色補正

はじめに

この参考資料では、デジタル・イメージ・センサから色を取得するための基本プロセスについて説明します。

デジタル・イメージ・センサからカラー・イメージを取得するための基本プロセス

CCDおよびCMOS半導体イメージ・センサには、ピクセルと呼ばれる感光素子の配列が収容されています。これらのピクセルは、被写体から光を収集して電気信号に変換します。この信号はデジタル化されて処理されます。デジタル・カメラはCCDまたはCMOSイメージ・センサを使用してイメージをキャプチャします。

TECHNICAL NOTE

シリコン・ベースのイメージ・センサは、Figure 1に示すように、1,050 nmまでの波長を持つ光に対して敏感に反応します。

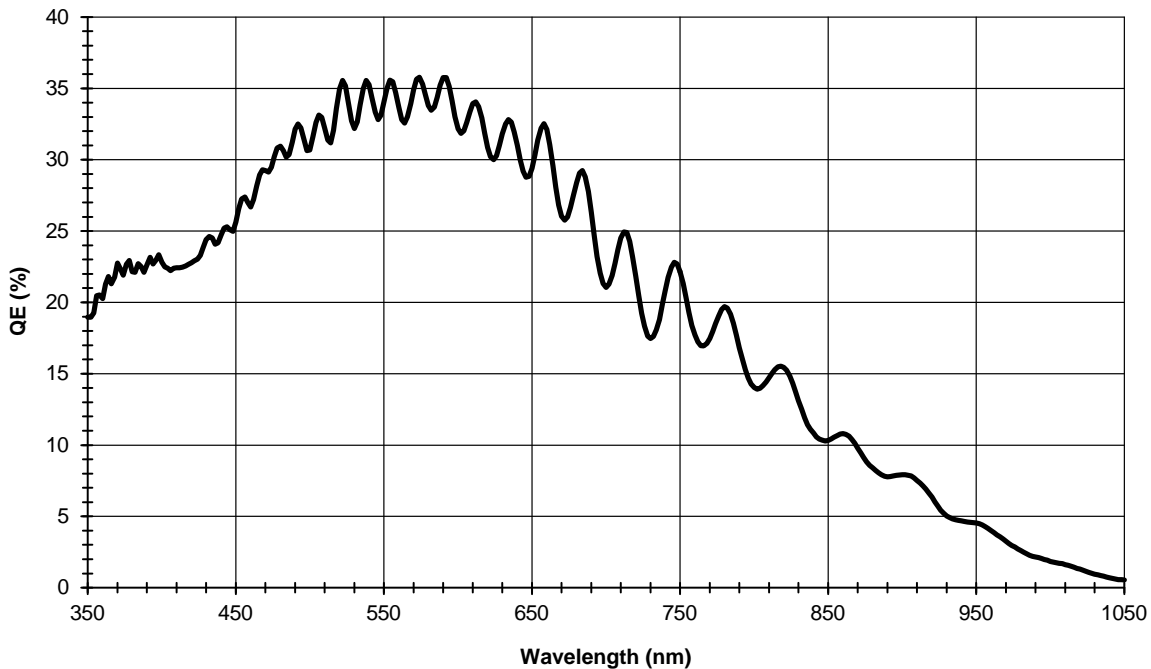


Figure 1. Spectral Response of a CMOS Image Sensor

半導体イメージ・センサを使用してキャプチャしたイメージは、性質上モノクロです。カラー・イメージを生成するには、ピクセルごとに3原色(赤、緑、青)が必要です。カラー・イメージ・センサが発明される前は、カラー・イメージは異なる3原色からなる同じ3つのイメージを互いに重ね合わせて形成されていました。これらのイメージはセンサの前段にカラー・フィルタを配置してキャプチャされたので、可視光のうち特定の波長がフィルタを通過できました。

ベイヤー・カラー・フィルタ配列と色補間

1970年代前半に、Bryce Bayer氏は、Figure 2のようなカラー・フィルタ配列(CFA)パターンを取り付けたイメージ・センサにより、単一イメージ・キャプチャで被写体のすべてのカラーを再構築できることに気がきました。この特定のCFAパターンは、現在では「ベイヤー・パターン」として知られており、世界中のデジタル・カラー・カメラ・システムの大部分で使用されています。

G1	R	G1	R
B	G2	B	G2
G1	R	G1	R
B	G2	B	G2

Figure 2. Bayer CFA Patterns

キャプチャ後、各ピクセルの信号が順次読み出され、デジタル化されてメモリ内に格納されます。各ピクセルの元データに含まれているのは、ピクセル

にどのフィルタが設置されているかに応じて決まる1色に関する情報のみです。一方で、カラー・イメージを構築するには、3原色すべてに関する情報が必要です。欠如した情報は、隣接ピクセルから収集した情報に基づいて抽出されます。これを「色補間」と呼びます。「最近隣補間」、「バイリニア補間」、「バイキュービック補間」など多くの補間手法が存在します。これらの簡易手法は各種文献で説明されています。最終的な画質は使用するアルゴリズムに大きく依存します。この理由から、多くのカメラ製造業者は最良の色補間アルゴリズムを業務上の秘密と考え、公開していません。

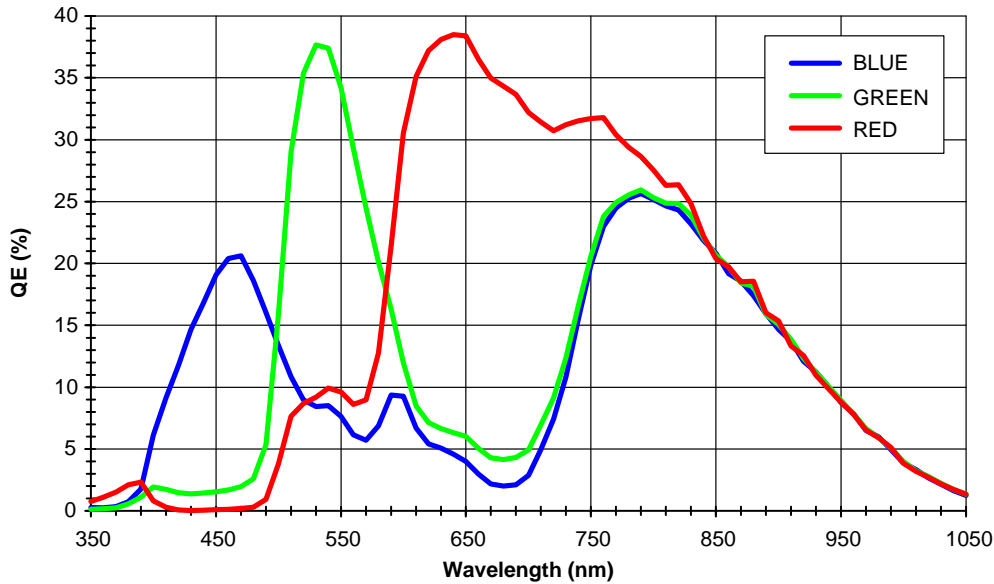


Figure 3. Spectral Response of a CMOS Sensor with RGB CFA

色補間プロセスを通じて得られたカラー値をネイティブ・カラーと呼びます。システムで使用されている光学素子(レンズ、フィルタ)のスペクトル特性や、被写体の照明条件(日光、蛍光灯、タングステン電球など)、さらにセンサ前段のカラー・フィルタの特性のため、ネイティブRGBデータが信頼性の高い色表現を提供するとは限りません。

色補正マトリクス(CCM)

この理由から、色補正と呼ばれる追加ステップが必要です。ほとんどの場合、ネイティブ・スペクトルRGBは最初に、Figure 4に示すような3x3の色補正マトリクスにより、標準的なR'G'B'(例えば、sRGB)色空間に変換されます。sRGBは、ほとんどのデジタル画像処理入出力デバイスにとって標準的なカラー・フォーマットです。

$$\begin{matrix}
 b_{11} & b_{12} & b_{13} & R & R' \\
 b_{21} & b_{22} & b_{23} & G & G' \\
 b_{31} & b_{32} & b_{33} & B & B'
 \end{matrix}$$

Figure 4. Color Correction Matrix for RGB → R'G'B'

3x3のカラー・マトリクスで正しい値を生成するには、画像科学に関する深い知識が必要です。CCDのスペクトル応答は出力デバイスのスペクトル応答とは異なります。続いて、出力デバイスのスペクトル応答は人間の目のスペクトル応答とは異なります。したがって、被写体に関するスペクトル情報を入手できないため、「完全な」色の再現は不可能です。オン・セミコンダクターは、光学素子の特性と一定の照明条件が与えられたときに、お客様に特定のセ

TND6114/D

ンサに関する解析的マトリクス係数(a_{ij} 、 b_{ij})を提供する予定です。このマトリクスは人間の目が最も敏感に反応する色相範囲に対する色誤差を最小に抑えます。次に、最適な色再現のために、ネイティブ3原色を出力デバイスに合わせた色空間に変換できます。

多くの画像処理システムは、YUVまたは $YCrCb$ のようなルミナンス/色差空間を使用して、より効率的に機能します。これにより、システムは輝度と色信号を別々に処理できます。Figure 5に、標準的なsRGB色空間からの色変換マトリクスおよびJPEG圧縮のための $YCrCb$ 色空間を示します。

$$\begin{matrix} +0.289 & +0.587 & +0.114 & R' & Y \\ -0.169 & -0.441 & +0.500 & G' & C_b \\ +0.500 & -0.418 & -0.081 & B' & C_r \end{matrix}$$

Figure 5. Color Conversion Matrix for $R'G'B' \rightarrow YCrCb$

現在、変換マトリクス演算は一般的に、デジタル信号プロセッサ内で実行されます。この処理の後、データは任意の出力デバイスに適した色空間に変換されます。

ON Semiconductor及びONのロゴはSemiconductor Components Industries, LLC (SCILLC) 若しくはその子会社の米国及び/または他の国における登録商標です。SCILLCは特許、商標、著作権、トレードシークレット(営業秘密)と他の知的所有権に対する権利を保有します。SCILLCの製品/特許の適用対象リストについては、以下のリンクからご覧いただけます。www.onsemi.com/site/pdf/Patent-Marketing.pdf。SCILLCは通告なしで、本書記載の製品の変更を行うことがあります。SCILLCは、いかなる特定の目的での製品の適合性について保証しておらず、また、お客様の製品において回路の応用や使用から生じた責任、特に、直接的、間接的、偶発的な損害に対して、いかなる責任も負うことはできません。SCILLCデータシートや仕様書に示される可能性のある「標準的」パラメータは、アプリケーションによっては異なることもあり、実際の性能も時間の経過により変化する可能性があります。「標準的」パラメータを含むすべての動作パラメータは、ご使用になるアプリケーションに応じて、お客様の専門技術者において十分検証されるようお願い致します。SCILLCは、その特許権やその他の権利の下、いかなるライセンスも許諾しません。SCILLC製品は、人体への外科的移植を目的とするシステムへの使用、生命維持を目的としたアプリケーション、また、SCILLC製品の不具合による死傷等の事故が起こり得るようなアプリケーションなどへの使用を意図した設計はされておらず、また、これらを使用対象としておりません。お客様が、このような意図されたものではない、許可されていないアプリケーション用にSCILLC製品を購入または使用した場合、たとえ、SCILLCがその部品の設計または製造に関して過失があったと主張されたとしても、そのような意図せぬ使用、また未許可の使用に関連した死傷等から、直接、又は間接的に生じるすべてのクレーム、費用、損害、経費、および弁護士料などを、お客様の責任において補償をお願いいたします。また、SCILLCとその役員、従業員、子会社、関連会社、代理店に対して、いかなる損害も与えないものとします。SCILLCは雇用機会均等/差別撤廃雇用主です。この資料は適用されるあらゆる著作権法の対象となっており、いかなる方法によっても再販することはできません。

PUBLICATION ORDERING INFORMATION

LITERATURE FULFILLMENT:
Literature Distribution Center for ON Semiconductor
19521 E. 32nd Pkwy, Aurora, Colorado 80011 USA
Phone: 303-675-2175 or 800-344-3860 Toll Free USA/Canada
Fax: 303-675-2176 or 800-344-3867 Toll Free USA/Canada
Email: orderlit@onsemi.com

N. American Technical Support: 800-282-9855 Toll Free
USA/Canada
Europe, Middle East and Africa Technical Support:
Phone: 421 33 790 2910
Japan Customer Focus Center
Phone: 81-3-5817-1050

ON Semiconductor Website: www.onsemi.com
Order Literature: <http://www.onsemi.com/orderlit>
For additional information, please contact your local Sales Representative