

使用高精度色彩感測器 提供更好的自動白平衡圖像

■作者：Dave Moon

ams AG 先進光學解決方案事業部資深產品行銷經理

在今日，使用智慧型手機相機拍攝的照片和影片數量，遠遠超過其他數位相機種類，包括可追溯到 20 世紀 90 年代的傻瓜相機和數位單眼相機 (DSLR) 所拍攝的數量。智慧型手機的便利性加上它的畫質極佳，使其成為一種極具吸引力的相機，導致專用傻瓜相機幾乎已經被淘汰。

儘管智慧型手機相機的圖像處理演算法非常複雜，但是在某些條件下，它們的自動白平衡 (AWB) 演算法還是可能會失敗，因為在某些無法提取乾淨白點的場景中，這些演算法很容易會產生混淆。

本文旨在討論白平衡技術的有效性，以及如何使用高精度色彩感測器來協助智慧型手機相機的 AWB 演算法，以產生更好的畫面。

相機自動白平衡 (AWB) 演算法

智慧型手機的 AWB 演算法多年來持續發展，從最簡單的灰色世界演算法 (gray-world algorithm) 到白色補丁演算法 (white-patch algorithms)，乃至於現在的色域映射演算法 (gamut-mapping algorithms)。當某個場景是由一種顯眼的顏色，例如草地或塗有亮色的牆壁所支配時，或者場景是某種混合照明環境，例如同時有著自然陽光和人工照明的辦公室時，則這三種演算法類型都容易失敗。

在這兩種情境中，AWB 演算法均告失敗，因為它們需要校正光源顏色。不幸的是，在這些情況下，它們無法有效地測量光源，相反的，它們必須依賴關於場景的某些假設，從影像像素的子集推斷

出光源的顏色。

灰色世界算法假設場景中物件的均色是灰色，這並不總是正確的。若某個場景是由一種顯眼顏色所支配，則均色的假設顯然並不正確，因為圖像中可能沒有白色補丁，而白色補丁演算法必須自白色補丁提取乾淨的白點，如此才能正常運作。混合照明環境結合了自然陽光和人工照明，這三種演算法無一例外都會錯誤地鎖定兩個光源之一的顏色，而忽略了另一個光源的顏色。

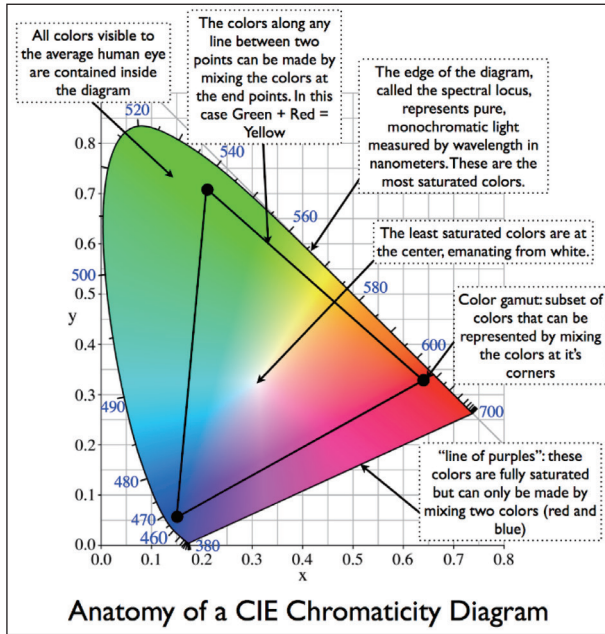
另一方面，人眼則會均衡這些照亮場景的多個白點，並折衷達到白平衡。

用於 AWB 演算法增強的 XYZ 色彩科學

智慧手機 OEM 業者若想要在最近趨緩的市場中創造差異化，現在可以提供一種被稱為「真正的白色」的新功能，這能使得相機畫質更為突出。由於採用了現代光學濾波技術，因此「真正的白色」的 AWB 增強現在得以成為可能，它的精確性接近人眼。這些能實現濾波器技術的顏色感測器，其價位適合消費性電子應用的採用。針對混合照明場景的色溫量測，這些高精度 XYZ 色彩感測器是非常理想的，且能讓電子製造商開發擁有「真正的白色」AWB 增強功能的相機解決方案。

這些光學濾波器是直接沉積在光學感測器產品的晶方上。傳統的 RGB 顏色感測器提供 $\pm 10\%$ 的色溫 (CCT) 測量精度。相比之下，晶圓上 XYZ 色彩

圖 1：標準 CIE 色度圖說明



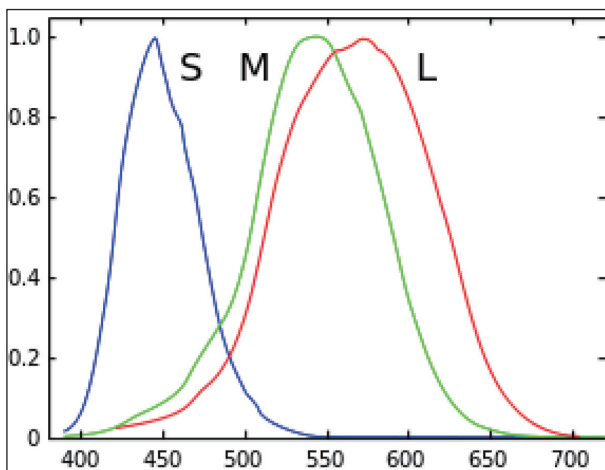
圖片來源：<https://www.pinterest.com/pin/538039486704316392/>

濾波器的精度在 $\pm 1 - 5\%$ 的範圍內。

對於精確 CCT 測量的需求，源於 1931 年所發展的色彩空間標準，稱為 CIE xy 色度色彩空間 (見圖 1)。

人造光源傾向較溫暖的色溫，住宅照明往往是最溫暖的 (2700K - 3100K)。辦公室照明通常為 3100K - 4500K。日光色溫則可以從中午的 6000K，到天空無雲時，日出前或是日落後陰影處的 15000K

圖 2：人類的短波長、中波長、長波長錐狀細胞的標準化光譜靈敏度



圖片來源：https://en.wikipedia.org/wiki/CIE_1931_color_space

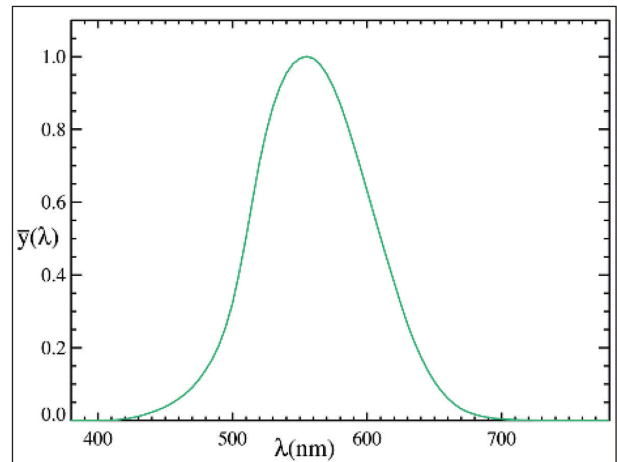
如此之高。

圖 1 中的 CIE 色度圖，擷取了人類對電磁能頻譜中 380nm 至 780nm 之間的可見光波長的感知。圖 2 顯示了人眼錐狀細胞的標準化光譜靈敏度。眼睛具有三種錐狀細胞。

眼睛的反應由視網膜的短、中、長錐狀細胞的神經反應所驅動，其對可見光譜中的紅色、綠色或藍色部分的波長具有峰值靈敏度。錐狀細胞的波長靈敏度跨越相當寬的範圍並彼此重疊；為求簡單，圖中的每條曲線皆經過標準化。視網膜三種錐狀細胞的相對反應足以解釋色彩視覺：可以藉由數組色彩匹配函數來代表色彩，所有色彩匹配函數都是錐狀反應函數的線性變換，也能透過彼此的擴展來表徵色彩。

圖 3 顯示了中 (M) 波長反應如何被定義為明視圖，並用於定義照度 (lux)，這是因為綠色波長最接近人類所見。人類對綠色較敏感，對紅色和藍色較不敏感。

圖 3：綠色通道明視反應最接近人類所見 - 來自 CIE 明視光度函數

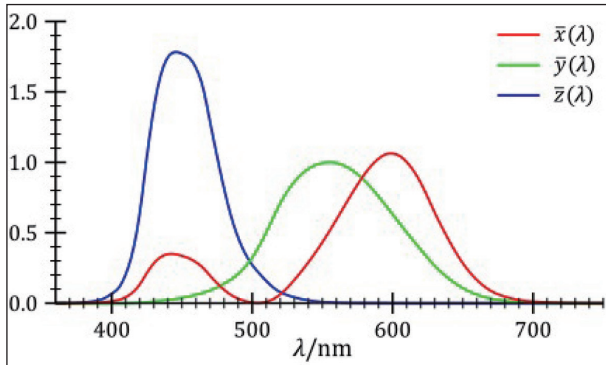


圖片來源：https://en.wikipedia.org/wiki/Photopic_vision

Lux 是用來測量表面上方，來自所有方向的可見光，照射在表面上點亮一個點的可見光總量，它是亮度的測量單位。

XYZ 三刺激反應 (見圖 4) 為人類視覺提供了另一種模型。它被稱為 CIE 1931 2° 標準觀測器 (Standard Observer)，提供了可見光譜波長與人們感知的色彩之間的連結。

圖 4：CIE1931 2° 標準觀察者色彩匹配函數或 XYZ 三刺激 (tTristimulus) 人眼反應



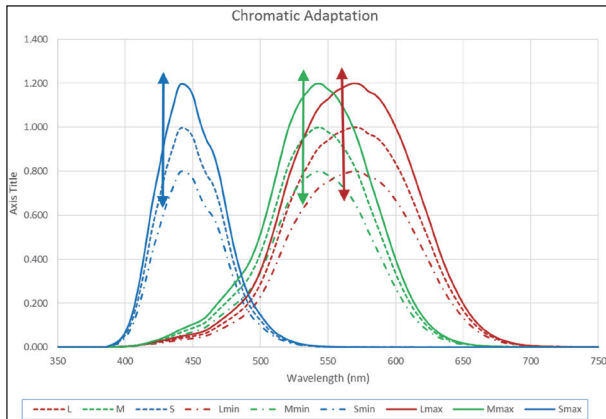
圖片來源：https://en.wikipedia.org/wiki/CIE_1931_color_space

顏色可分為亮度 (或照度，測量單位為 lux) 和色度 (以 xy 色度參數測量)。圖 1 中的色度圖是一種工具，它指明人眼如何以既定光譜體驗光線。它沒有指定物件的顏色，因為在觀察物件時，觀察到的色度取決於用戶周遭的環境照明。

人類的視覺系統非常複雜，並且與我們的大腦處理引擎 - 視覺皮層緊密相關。即使光照條件發生變化，它也能辨識物件的顏色。人類觀看色彩的方式並不固定；相反的，人類是以相對感知的方式來觀看光源改變時的顏色變化。物體表面、光源類型和人眼之間的關係是動態的。

我們的視覺系統可以調整長、中、短錐狀細胞對光譜內容的相對反應。人眼具有色彩適應機制，用以了解不同的環境光條件。如此一來，我們能做出反應，使得白色和灰色物件在不同的環境光照條件下看起來都是白色和灰色的。這種基於色度適應

圖 5：色度適應

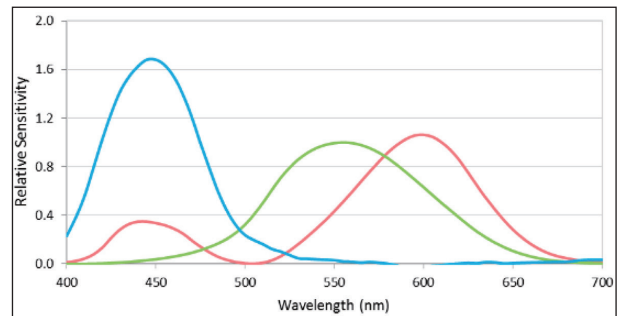


原理的光學增益調整，如圖 5 所示。

不幸的，相機的影像處理 AWB 演算法測量物件表面與光照條件變化之間的動態關係，無法做到人眼能做到的事。這些演算法欠缺色彩適應的能力，然而，如果要理解不同環境光條件且在不同條件下做出反應；使白色和灰色物件看起來是白色和灰色，這項能力是不可或缺的。

具有光譜功率分佈 (SPD) 反應的 XYZ 色彩感測器，如圖 6 所示。

圖 6：TCS3430 的 XYZ 光譜功率分佈



圖片來源：https://ams.com/documents/20143/36005/TCS3430_DS000464_3-00.pdf/e7dde8f1-c089-5b48-01b8-2298637f6cfd

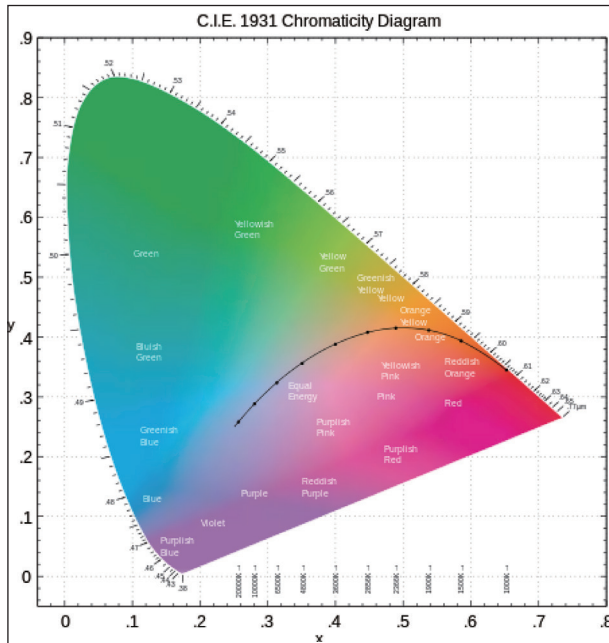
XYZ 光譜反應是基於人眼的運作，針對人們感知顏色的方式，提供更精確的資訊。雖然有著能夠將 RGB 值轉換為 XYZ 的方法，但 RGB 光譜反應函數並不是精確的色彩匹配函數，因此轉換產生的值與人眼感知顏色的方式不匹配。使用來自 XYZ 感測器的數據，藉由緊密匹配人眼對於色彩的反應，能夠以類似於人眼的方式來偵測顏色差異。使用高精度 XYZ 色彩感測器測量入射光的 CIE XYZ 三刺激值，在測量環境光照條件時能提供最佳結果。

圖 7 顯示了普朗克軌跡 (Planckian locus)：CIE 色度圖中間的實曲線。

軌跡上的每個點對應於黑體色彩溫度以及相對應的 CCT 值。

使用 XYZ 顏色感測器可實現最佳的相機 AWB 增強功能帶有散光器 (diffuser) 的 TCS3430 XYZ 色彩感測器，可以感測半球形視場 (FoV) 上的光線，類似於人眼的 FoV，能夠更準確地捕捉來自所有光源的光線，進而大幅改善影像的白平衡。圖 8 顯示

圖 7：CIE1931 色彩空間色度圖 — 圖示普朗克軌跡

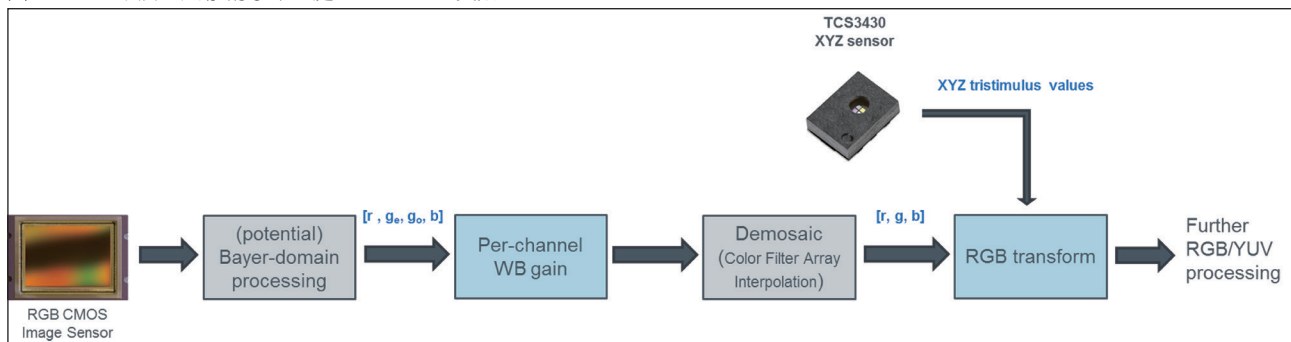


圖片來源：https://en.wikipedia.org/wiki/CIE_1931_color_space

圖 8：利用 AWB 校正的圖片，以及產生混淆的圖片



圖 9：AWB 演算法功能的子集，處理 TCS3430 資訊



一張圖例，其中 AWB 算法產生混淆，無法從場景中乾淨地提取白點。

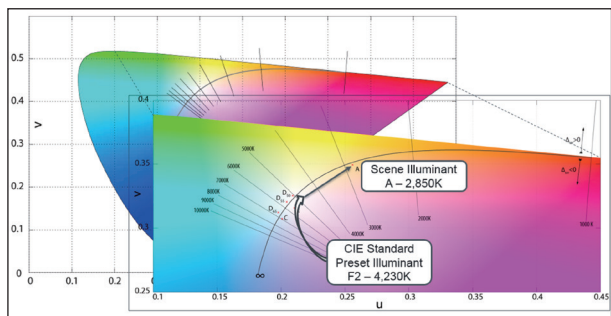
右方圖像的藍色背景帶有灰色，人的膚色有著較多的橙色或黃色，而左方圖像則較為自然且白色平衡較佳。

圖 9 範例顯示如何藉由使用高精度 XYZ 色彩感測器來執行「真正的白色 (True-White)」功能，以協助相機的 AWB 演算法不致失敗，並能獲得最佳的圖像。

圖 10 顯示了 AWB 算法流程的子集，特別顯示出 TCS3430 XYZ 三刺激值可以在哪個位置輸入到流程中進行處理。由於 RGB 影像感測器的 FoV 是有限度的，因此可能無法針對所有光源條件準確地測量場景的色溫。TCS3430 的散光器 (diffusor) 位於其封裝光圈的上方，可打開 FoV，如此能顯著提高相機精確測量場景色溫的能力，並改善影像的白平衡。

使用量測到的場景 CIE 色溫並調整 AWB 演算法，如此就能拍攝「真正的白色」圖像。相機的 AWB 演算法配置，要避免使用自動模式預設，取而代之的，要使用來自 F2 的 CIE 標準光源的預設色溫 4,230K。在圖 10 中，可以從 CIE

圖 10：CIE 色度座標圖，以量測到的 XYZ 處理資訊啟動預設標準光源



圖的中心區域清楚看到 TCS3430 測量的 CIE 色溫是如何被使用；藉由使用產業標準的色度適應演算法來轉換場景光源的白點。

已有多家智慧型手機 OEM 業者透過 Android API 使用這種「真正的白色」技術來控制每一通道的 RGB(在 BAYER 域中)，得出的校正結果則用於修改 AWB 演算法的 RGB-to-RGB 矩陣。

DXOMark 使用 XYZ 顏色感測器改善 AWB 相機圖片

圖 11 中的 DXOMark 圖片，顯示了在低光環境光照條件下測量 CIE 色度座標的色彩感測器，如何能提供最佳的 AWB 圖像成果，這些圖像有著更好的細節，且雜訊水準極低。

綜述

當場景是由一種主要顏色支配，或者是在同時具有自然陽光和人工照明條件的混合照明環境，則

圖 11：DXOMark 圖片 - 左方圖片為智慧手機使用色彩感測器 vs 右側沒有使用



圖片來源：<https://www.dxomark.com/huawei-p20-pro-camera-review-innovative-technologies-outstanding-results/>

智慧型手機相機的 AWB 演算法都很容易失敗。在混合照明環境中，AWB 演算法可能錯誤地僅鎖定其中一種照明顏色，並忽略來自其他光源的照明色彩。在這些條件下，灰色世界、白色補丁和色域映射演算法都會失敗，因為它們需要校正光源顏色。然而，它們並不總是能精確地測量照明環境的色溫，並且它們會錯誤地仰賴關於場景的某些關鍵假設，導致從影像像素的子集推斷出的光源顏色是錯的。

結果，若照片的拍攝場景會讓相機的 AWB 演算法產生混淆，無法從場景中乾淨地提取白點，或者照片的拍攝場景是草地這種由一種明顯顏色主導的地方，或是塗有明亮顏色的牆壁，則在這些場景拍攝的照片背景顏色會變灰，人們的膚色會有更多的橙色或淡黃色。

智慧型手機 OEM 業者可以利用最近推出的 TCS3430 等新型 XYZ 色彩感測器，透過「真正的白色」增強相機 AWB 功能來達到差異化並獲利。XYZ 色彩感測器能協助相機的圖像處理 AWB 演算法，以拍出更好的照片。若能最佳地測量場景的色溫，則可以拍出更棒的照片，人看起來更自然，場景色彩的捕捉更為精確，且能產生適當的白平衡圖像。

作者簡介：



Dave Moon 是 ams AG 先進光學解決方案事業部的資深產品行銷經理。他在半導體產業擁有超過 25 年的經驗，曾在德州儀器 (Texas Instruments)、傑爾系統 (Agere Systems)、朗訊微電子 (Lucent Microelectronics)，以及 AT&T 貝爾實驗室 (AT&T Bell Labs) 擔任過各種應用、系統和產品定義等職務。Dave 擁有特拉華大學 (University of Delaware) 的電機工程學士學位，以及約翰霍普金斯大學 (The Johns Hopkins University) 的電機工程碩士學位。CTA