

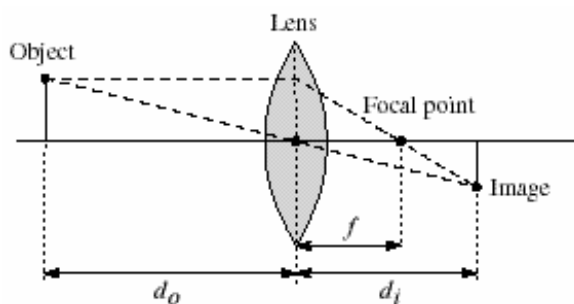
# Cameras

Digital Visual Effects 課程筆記 - 1

## Camera

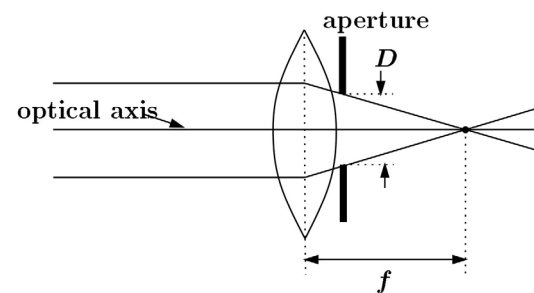
- 如果直接用film感光景物的話，景物上一點投影到底片上多點，所以會blur掉。
- 如果我們使用針孔照相機的話，就可以解決這個問題。因為只要針孔夠小，我們就可以限制景物上某點只會映在底片上的某一點。
  - 針孔大，則影像會blur
  - 針孔小，則集光力弱，必須曝光很久才能成像。
- 這個問題我們也可以加一個凸透鏡，使得雖然我們的針孔開的比較大，但仍可以集光到一個點上。

## Camera



- 如此一來，利用  $\frac{1}{d_o} + \frac{1}{d_i} = \frac{1}{f}$  關係式我們就可以調整lenses的位置使影像成像清晰。

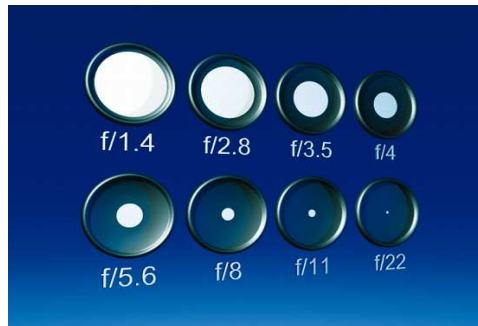
## Aperture and Shutter



- 在更進一步，為了控制曝光，我們可以加入一個Shutter以及一個aperture，aperture用以控制進入光的角度（即針孔的大小），Shutter則用以控制曝光的時間。

## Aperture

DigiVFX

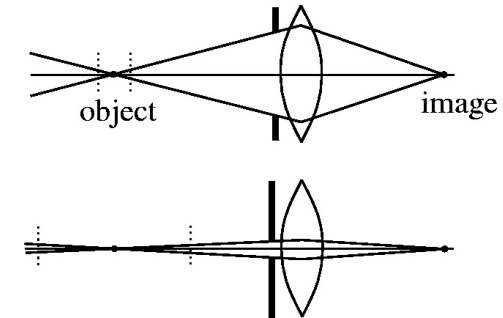


- 接下來我們來看一下aperture，一般上aperture是用f-stop表示，在照相機上則標示為f/D，需注意的是aperture的數字越大，代表光圈（aperture）開的越小，所以進光量也越小。

## Aperture and Depth of Field

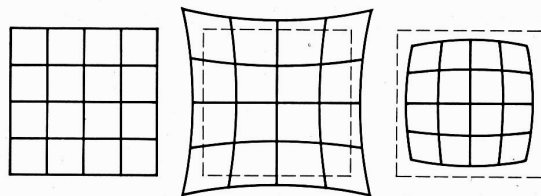
DigiVFX

- 接下來我們來看Aperture與景深間的關係，所謂景深指的是景物因為遠近距離的關係，而在底片上影像清晰的範圍。
- 由下圖我們可以看出來當光圈開的大時，景深較深，反之則景深較淺。



## Lenses

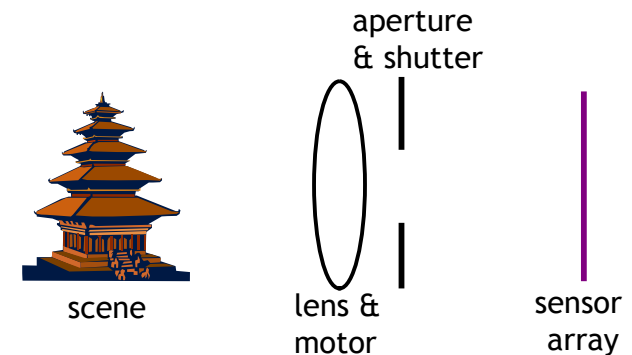
DigiVFX



- 當然，Lenses的好壞與種類可能會影響成像的品質。
  - 例如品質不好的鏡頭可能到成影像的扭曲。
  - 魚眼鏡頭也會造成類似的效果。

## Digital camera

DigiVFX



- 傳統相機與數位相機在結構上是相似的，如果將 film camera 的 film 用 sensor array 來取代，就是 digital camera。
- 在 sensor array 的每個 cell 都是一種感光元件，能將光能的反應轉換成電腦，然後轉成數位的資訊留待後面處理。

## CCD v.s. CMOS

DigiVFX

- 這類感光元件主要有兩種：
- **CCD**
- 早期因為 **CCD** 需要特殊的製程，因此成本較高，但產生的雜訊較少，畫質較好，因此高階的 **digital camera** 都是採用 **CCD**。
- **CMOS**
- 只需要一般的製程，成本較低、耗電量也較低，但畫質較差、雜訊較大，而且每個 **cell** 都要加上控制器，因此同面積的 **sensor** 密度比 **CCD** 小。由於技術的進步，現在許多高階 **digital camera** 也採用 **CMOS** 作為 **sensor array**。

## Sensor noise

DigiVFX

- **sensor** 的作用是将光的資訊轉成電流的資訊，轉換的過程中會有 **noise** 產生，一般 **noise** 有以下幾種。
- **Sensor noise**
- **sensor** 的作用是将光的資訊轉成電流的資訊，轉換的過程中會有 **noise** 產生：
- **Blooming:**
- 如果某個 **cell** 的電流滿載，將會溢流到附近的 **cell**，這種 **noise** 稱為 **blooming**。
- **Diffusion:**  
由於熱能的影響，使得電子跑到附近的 **pixel** 去而產生 **crosstalk**

## Sensor noise

DigiVFX

- **Dark current:**  
由於 **sensor** 是藉由感應光的能量來產生電流，所以即使在很黑的環境，仍然會因為溫度、紅外線等電磁波而受到感應。
- **Photon shot noise:**  
光子到達 **detector** 的過程為一個 **Poisson process**,
- 所以在計算一個時間內所有收集的光子數會有一個 **uncertainty**, 其標準差為  $\sqrt{S}$ ,  $S$  為所估計的光子個數
- **Amplifier readout noise:**  
**readout amplifier** 的阻抗產生的熱所產生的 **noise**

## Color

DigiVFX

- 我們之前所談的，都是單色的情況，要得到彩色的影像有幾種方法：
- **Field sequential**
- **Multi-chip**
- **Color filter array**
- **X3 sensor**
- 下面幾張投影片我們來一一看看他們的差別。

## Field sequential

DigiVFX

所謂 **field sequential** 就是用三種色光的 **filter** 加在鏡頭前面，然後依序拍下加上 **red filter**、**green filter**、**blue filter** 的相片，再將三張相片合成為一張，就得到一張彩色的相片。

1990 年代初期，**Prokudin-Gorskii** 利用特置的相機，留下許多這類三色分離的相片，使得未來能經過合成，而得到當時的彩色相片，這是非常特別的。

**Field sequential** 的缺點就是因為是依序照三張照片，因此如果被照的東西會動，像流水，就沒辦法了。

## Multi-chip

DigiVFX

**Multi-chip** 就是當光進入鏡頭時，利用不同波長、折射角度不同的原理將 **red, green, blue** 光分離，再利用三個 **sensor array** 分別接收三色光的資訊。這種作法就沒有 **Field sequential** 的問題，但是要做三個 **sensor array**，成本大大提高。

## Embedded color filters

DigiVFX

由於現在的技術，**filter** 可以直接做在 **photodetector** 上面，因此現在的 **digital camera** 都是使用下面介紹的技術。

## Color filter array

DigiVFX

在 **sensor array** 上，每個 **cell** 都有 **filter embedded** 在上面，因此一個 **cell** 只負責接收某一色光的資訊。而 **red, green, blue** 分配的方式有很多種，不同廠商也會有各自喜好的分配方式。由於人眼對綠色的資訊分辨範圍較大，因此若 **rgb** 不是平均分配，大概都會提高 **green** 的比重。其中

**Bayer pattern** 是最常用的分配方式。

當我們得到一張由 **Bayer pattern** 的 **CFA(Color Filter Array)** 所得到的影像，我們需要一些方式來將該影像轉換成我們常用的格式，也就是每個 **pixel** 都有 **red, green, blue** 的資訊。

## Demosaicking CFA's

DigiVFX

### Bilinear Interpolation

這是最簡單的一種，該 cell 缺少那個顏色資訊，就用鄰近四個 cells 的資訊來取平均。

### Constant hue-based interpolation (Cok)

首先用 bilinear interpolation 的方式求出全部的 green，再用投影片上的公式求 red 和 blue。

### Median-based interpolation (Freeman)

首先用 bilinear interpolation 求出 red, green, blue，再計算每個 cell 的 (r-g) 和 (b-g) 的差。接著計算一定範圍內 (如：5 cell x 5 cell) 差的 median value，利用 median value 做 filter，再用 filter 的結果加上 sample 的結果，得到 interpolation 的影像。

## Demosaicking CFA's

DigiVFX

### Gradient-based interpolation (LaRoche-Prescott)

首先用投影片上的公式對 green 做 interpolation，接下來再用對 red 和 green 做 interpolation (計算的方法請參考投影片)。

因為 LaRoche 的方法將 Gradient 列入考慮，因此在 Gradient 明顯的地方，laRoche 有很好的表現。但一般而言，尤其是自然的影像，Freeman 的方法表現最佳。

## Foveon X3 sensor

DigiVFX

由於不同波長的色光能進入 sensor 的深度不同，因此可以利用這個特性，設計多層的 CMOS sensor，每一層負責感應不同的色光。由於這種作法，每一個 pixel 都可以得到完整的 red, green, blue 資訊，因此不需要再進行上述 Demosaicking CFA's 的動作，可得到更高品質的影像。可惜目前市面上未有利用此技術的 digital camera。

## Color processing

DigiVFX

得到了彩色的影像後，往往還需要進行某些 color processing，例如 white balance 的調整等。因為不同的 device 對於不同光的強度都有各自的函式，因此我們往往會需要透過一些調整讓影像在某個 device 上表現的更好。

## White Balance

DigiVFX

由於現在的 digital camera 都是用 filter 讓 sensor 各自感應不用波長的色光，因此得到的影像，三個色光的強度比例未必是正確的，這時候就要透過 white balance 來校正，使三色光的強度比例符合現實環境。

## Manual white balance

DigiVFX

大部份的 digital camera 具有 automatic white balance 的功能，但如果要得到比較正確的 white balance，最好還是用 manual white balance。通常 manual white balance 的作法是選定一個白色的物體，然後調到 manual white balance mode，對著該白色物體照一次相，讓 camera 根據這個結果去調整參數。

## Autofocus

DigiVFX

- Autofocus
- 對焦正確是照片好或不好的重要因素之一，而現在的 camera 通常都具備 autofocus 的功能。
- Active
- Active autofocus 是利用 Sonar 或 infrared 等波來計算物體的距離來調整鏡頭的距離。sonar 有個缺點是如果在玻璃窗內要照窗外的影向，就沒辦法得到正確的對焦。
- Passive
- Passive autofocus 通常是透過計算 sensor 上的影像，來決定是否正確對焦，例如計算 gradient 來判斷。如果要看某個 camera 是否是 passive autofocus，將相機對著一個同色的牆，這時候 camera 即無法判斷 focus 是否正確，因此鏡頭會一直前後移動作對焦的動作。

## Digital camera review website

DigiVFX

- <http://www.dpreview.com/>
- Digital camera review website
- 這裡介紹一個網站，這個網站蒐集了很多 digital camera 的技術資料，如果要購買 digital camera 或想知道 camera 更多的資訊，可以來這個網站看看。

## Camcorder

DigiVFX

Camcorder 又稱為 Video Camera，其基本原理就是將一張一張的連續影像輸出成為影片。

## Interlacing

DigiVFX

由於早期的電視網路頻寬不足，但是每秒又需要送 30 張 frames，因此當時就利用 interlacing 的方法，也就是這次送單數條 scanline，下一次送偶數條 scanline。而現在雖然技術進步了，但電視還是用這種方式在運作，因此一般 camcorder 輸出的影片仍然是 interlacing 的。

## deinterlacing

DigiVFX

### Deinterlacing

由於 interlacing 等於每個時刻畫面只有一半的資訊，因此在影片處理中，我們都需要 deinterlacing 以得到完整的資訊。deinterlacing 的方法很多，但效果都不是最好，因此最好還是一開始 record 時就不要 interlacing。

### Blend

將奇數 scanline 和偶數 scanline blend 以得到缺少的 scanline。

### Weave

同時顯示 even 及 odd fields without interpolation, 就是什麼也不做的意思

## deinterlacing

DigiVFX

### Discard

直接去掉某 scanline，例如，直接去掉所有的奇數 scanline。通常最難處理的部份是變化很大的 frame，例如高速衝刺的畫面，或浪花四濺的畫面等。

## Hard cases

DigiVFX

由於 deinterlacing 的效果不好，因此在拍的時候，如果 camcorder 有 progressive mode 可以選的話，一定要選 progressive mode 來 record，才能省去很多麻煩。

## High dynamic range imaging

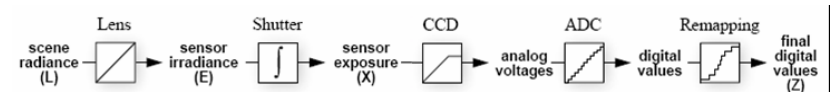
## HDR Image

DigiVFX

- HDR是High Dynamic Range的意思。一般由數位相機拍出的影像，其pixel的值都在0到255之間，但在現實場景中，最亮部和最暗部的光線亮度比例可能在數萬到數十萬之間，用0到255的整數來表示必然會有失真的現象。
- 爲了取得較接近真實場景中的光線亮度值，除了用浮點數去表示一個pixel的亮度外，我們還必須用原本在0到255之間的pixelvalue去反推出原本的亮度值。在這之前，我們要先了解相機在拍照時幫我們做了什麼事。

## HDR Image

DigiVFX



- 一般相機在拍照時，處理的流程如下：
- 場景的光線經過鏡頭，投射在Sensor Array上(比如說CCD)。
- 快門會控制曝光量，如果場景的亮度是固定的，則曝光量可以下面的公式表示：  
$$\text{exposure} = \text{radiance} * t$$
- 傳統相機上，不同的曝光量會造成不同程度的化學反應，在數位相機上的CCD則會產生不同程度的電位差。此時會有一個clipping的效果：過亮的值在CCD上的輸出都是相同的(最大值)。
- CCD會把類比的電壓訊號轉化成數位訊號。
- 一般而言，原始的數位訊號會經過DSP做color remapping與資料壓縮等動作，最後才儲存到記憶裝置上。



## HDR Image

DigiVFX

- 我們想取得的是原始的光線亮度(radiance)，因此要先得到曝光量。如果知道相機如何做color remapping(稱為response function)，那我們可以比較容易從pixel value反推出曝光量。然而不同的相機有不同的response function，因此我們必須用不同的曝光時間設法得到response function。
- 經過response function處理過的pixel value其公式如下，其中r表示radiance，t表示曝光時間，f為response function：
  - $Z = f(r*t)$

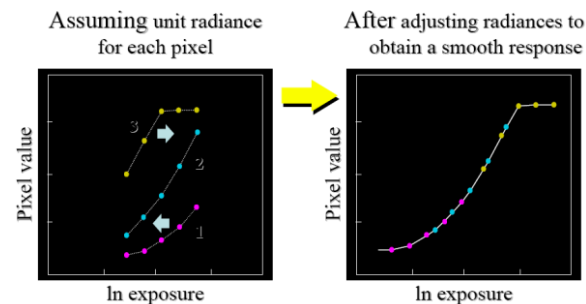
## HDR Image

DigiVFX

- 既然f是一個一對一的遞增函式，我們可以假設
  - $f(x) = g(\ln(x))$
  - $f(r*t) = g(\ln(r*t)) = g(\ln(r) + \ln(t))$
- 對同一個位置的pixel來說， $\ln(r)$ 是固定值，所以不同的t所得到的pixel value可以連接成一條遞增的函數曲線。不同位置的pixel其 $\ln(r)$ 的值不同，因而他們所連成的曲線會有水平位移的不同。消除掉水平位移後我們就得到response function的曲線了。

## HDR Image

DigiVFX



- 得到response function以後，我們就可以很容易地從pixel value得出真正的曝光量。需注意有些相機可以輸出raw格式的檔案，內容是不經由response function而由CCD直接取得的曝光值，對這樣的相機我們就不需要大費周章去求response function了。

## HDR Image

DigiVFX

- 不管是由response function或是raw檔，得到曝光量後，除去過亮或過暗的pixel(因為它們是被clip後的結果)，再由前面提及的公式就可以得到原始的光線亮度了。
  - $\text{exposure} = \text{radiance} * t$