

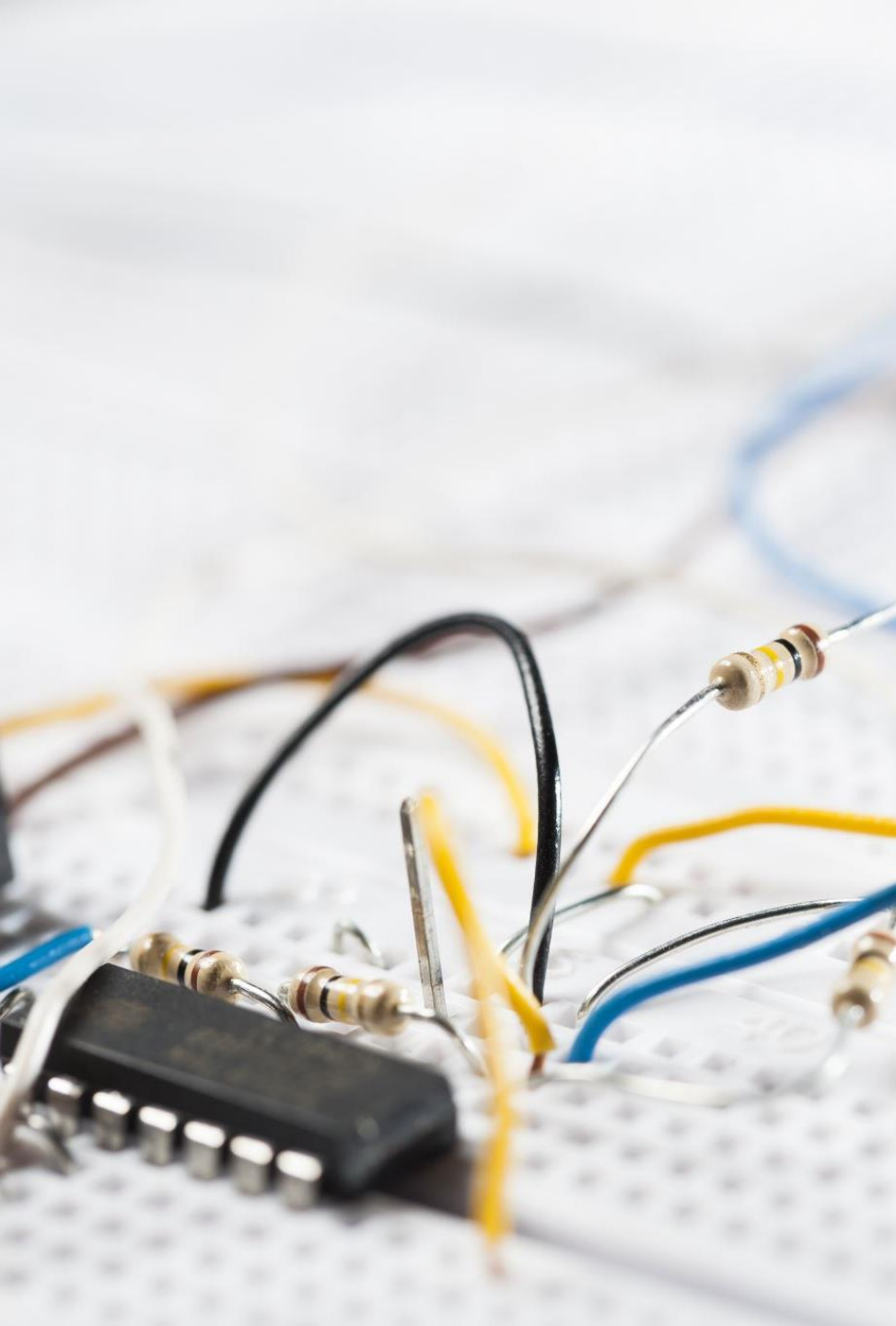
จัดทำโดย

นาย อิศระ แวปากอ 056350405015-1

นาย [REDACTED]

ปคพ.63/1 วิศวกรรมคอมพิวเตอร์

เซนเซอร์แอคทีฟพิกเซล (Active Pixel Sensor)

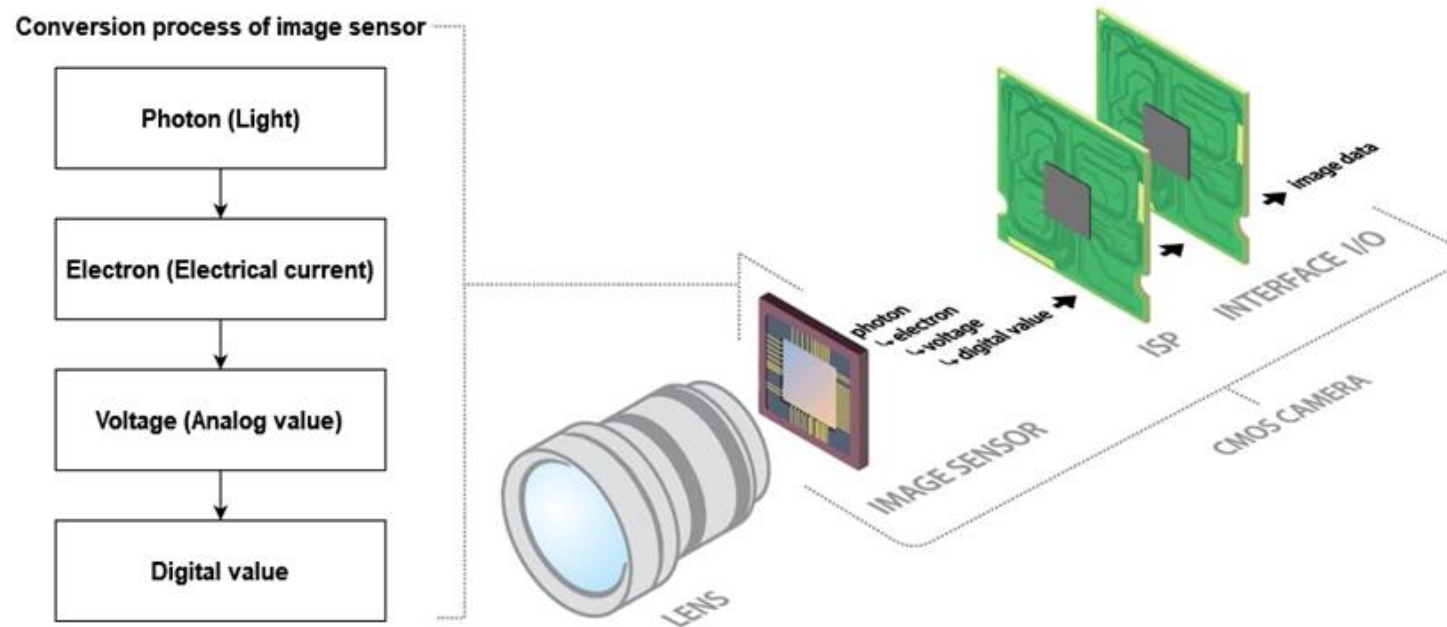


Outline

1. Image sensor คืออะไร?
2. การจำแนกประเภทของ Image sensor
 - 2.1 การจำแนกจาก Shutter
 - 2.2 การจำแนกจาก Chroma
 - 2.3 การจำแนกจาก Mechanism structure
3. APS (Active Pixel Sensor)
4. Quantum efficiency
 - 4.1 Quantum efficiency : วัดประสิทธิภาพการแปลงโฟตอนเป็นอิเล็กตรอน
 - 4.2 Quantum efficiency : หาอิเล็กตรอน
5. มุมมองและการประยุกต์ใช้งานของคอมพิวเตอร์จาก Image sensor

1. Image sensor คืออะไร?

Image sensor (เซนเซอร์รูปภาพ) คือ เซนเซอร์ที่ตรวจจับคลื่นแล้วนำคลื่นดังกล่าวไปผ่านกระบวนการแปรรูปเพื่อให้เป็นข้อมูลที่พร้อมต่อการสร้างรูปภาพ ในช่วงที่ตรวจจับ (ยังไม่ผ่านการแปรรูป) คลื่นที่สามารถตรวจจับเป็นได้เป็นได้ทั้งคลื่นแสง (โฟตอน) หรือคลื่นรังสีแม่เหล็กไฟฟ้า



ภาพที่ 1.1 กระบวนการแปรรูปใน image sensor

Image sensor ถูกใช้ในอุปกรณ์ถ่ายภาพอิเล็กทรอนิกส์มากมายไม่ว่าจะเป็นแบบ **analog** หรือ **digital** เช่น กล้องถ่ายรูปดิจิทัล โมดูลกล้อง กล้องของโทรศัพท์ เมาส์แบบออปติคัล อุปกรณ์ถ่ายภาพทางการแพทย์ เป็นต้น

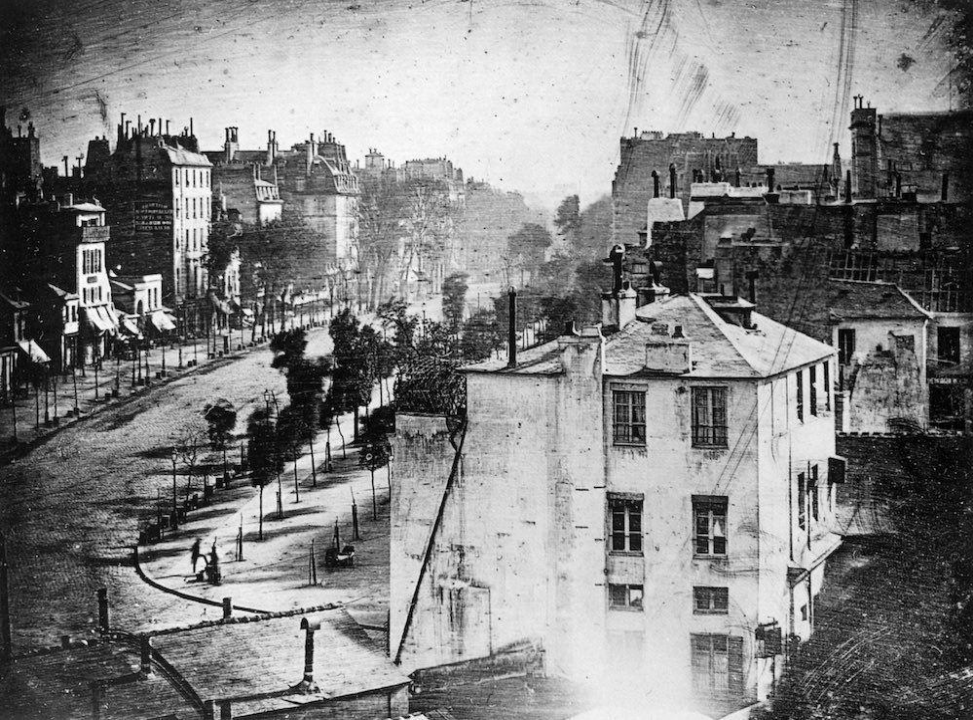


2. การจำแนกประเภทของ Image sensor

2.1 การจำแนกจาก **Shutter**

2.2 การจำแนกจาก **Chroma**

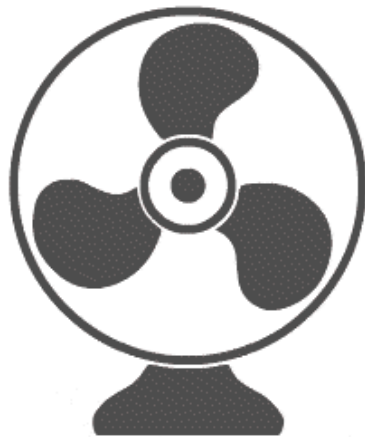
2.3 การจำแนกจาก **Mechanism structure**



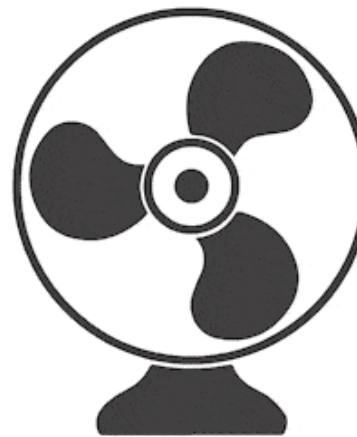
2. การจำแนกประเภทของ Image sensor

โดยทั่วไปแล้วการจำแนกประเภทสามารถจำแนกได้จากหลายแง่มุมซึ่ง **image sensor** ก็ไม่ต่างกัน โดยรายงานเล่มนี้จะกล่าวถึง **image sensor** จากการจำแนกแบบโครงสร้างเป็นพิเศษ (เนื่องจากสอดคล้องกับหัวข้อรายงาน) ส่วนการจำแนกในแง่มุมต่าง ๆ จะถูกกล่าวถึงเพียงเพื่อเสริมให้มองเห็นภาพกว้างของ **image sensor** การรู้เรื่องเหล่านี้จะช่วยทำให้เลือกใช้ **image sensor** ได้ตรงประเภทกับโจทย์ที่ต้องการใช้งาน

2.1 การจำแนกจาก **Shutter** : มี 2 ประเภท ได้แก่



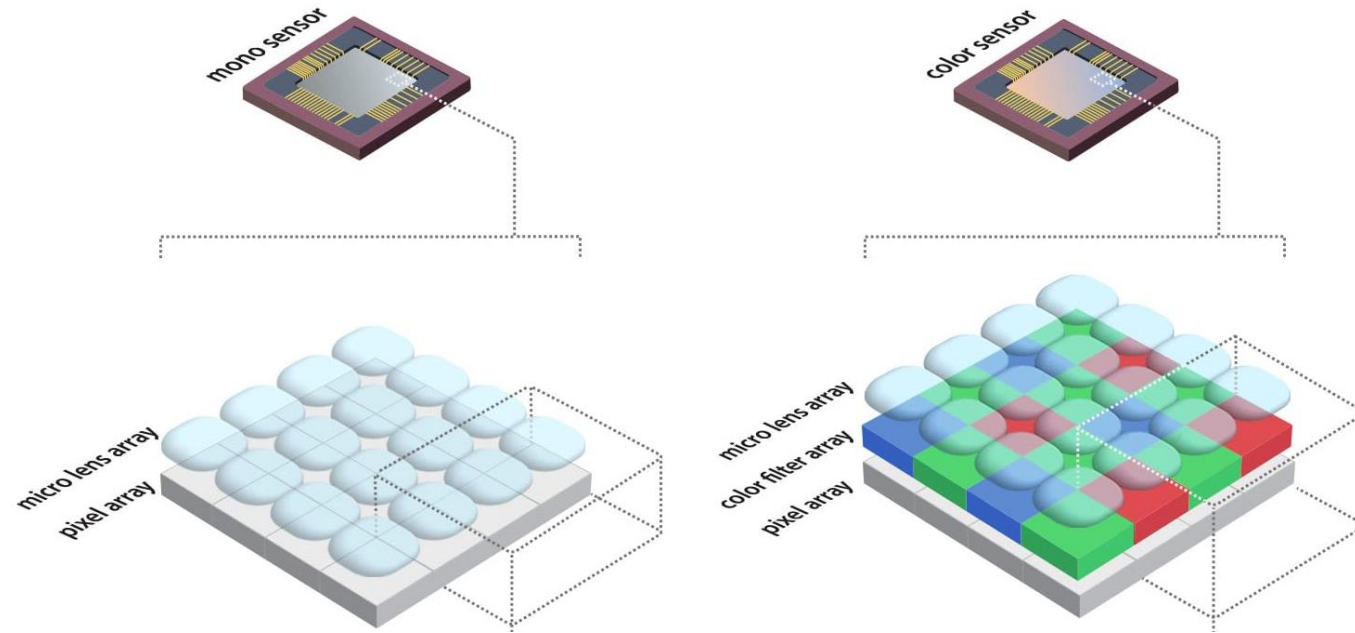
Rolling shutter



Global shutter

2. การจำแนกประเภทของ Image sensor

2.2 การจำแนกจาก Chroma : คำว่า **chroma** หมายถึงความเข้มของแสง โดยจำแนกได้ 2 ประเภท ได้แก่ **mono** และ **color** ความแตกต่างของทั้งสองคือประเภท **color** จะมีชั้นพิเศษเพิ่มเติมที่ตั้งอยู่ข้างล่าง **micro lens** ซึ่งชั้นดังกล่าวมีชื่อว่า **color filter**

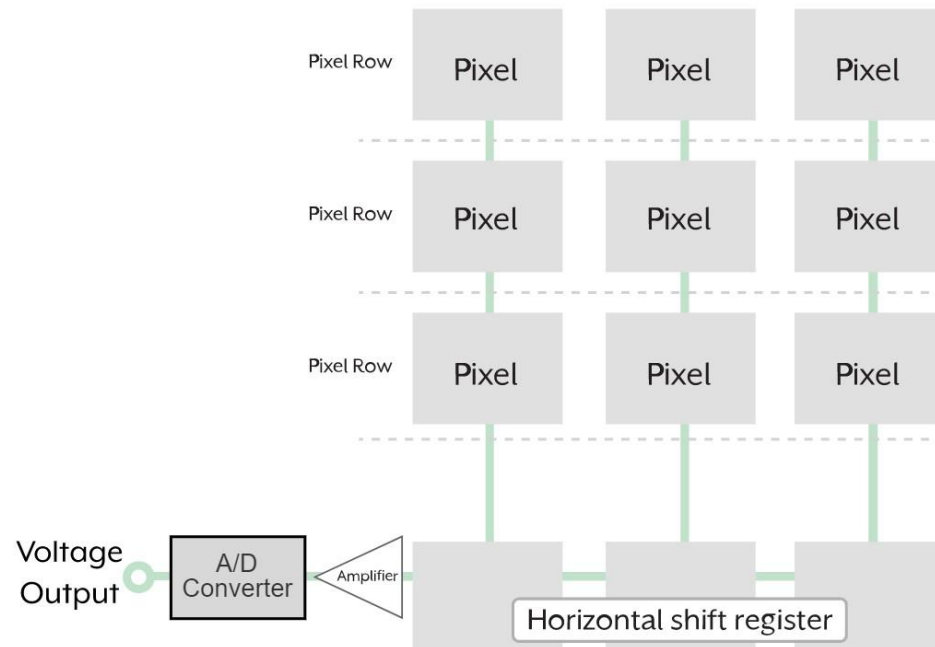


ภาพที่ 2.1 Image sensor ประเภท mono และ color

2. การจำแนกประเภทของ Image sensor

2.3 การจำแนกจาก Mechanism structure : การจำแนกจากโครงสร้างการทำงานนั้นจำแนกได้หลายประเภท แต่มี 2 ประเภทหลัก ๆ ซึ่งเป็นที่รู้จัก ได้แก่ CCD (Charge Couple Device) และ APS (Active Pixel Sensor)

- **CCD image sensor (Charge Couple Device image sensor) :** ในแต่ละ pixel จะมี pinned photo-diode เป็นตัวรับโฟตอน (แสง) และมี MOSFET เป็นสวิตช์สำหรับการส่งถ่ายอิเล็กตรอนระหว่างแถว การส่งถ่ายอิเล็กตรอนนั้นจะใช้สนามไฟฟ้าไปยังจุดที่เหมาะสมของ pixel ทำให้โฟตอนถูกเคลื่อนจากแถวบนสุดไปยังแถวล่างสุด เทคนิคที่ใช้สนามไฟฟ้าข้างต้นนั้นเรียกว่า **bucket brigade** ส่วนการแปลงอิเล็กตรอนหรือกระแสไฟฟ้าให้เป็นแรงดันไฟฟ้านั้นจะถูกแปลงโดย **transimpedance amplifier**

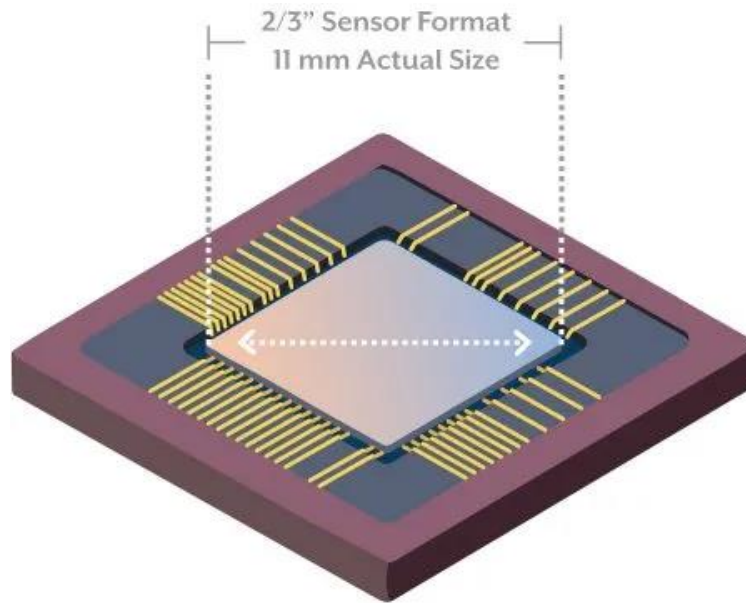


ภาพที่ 2.2 CCD image sensor

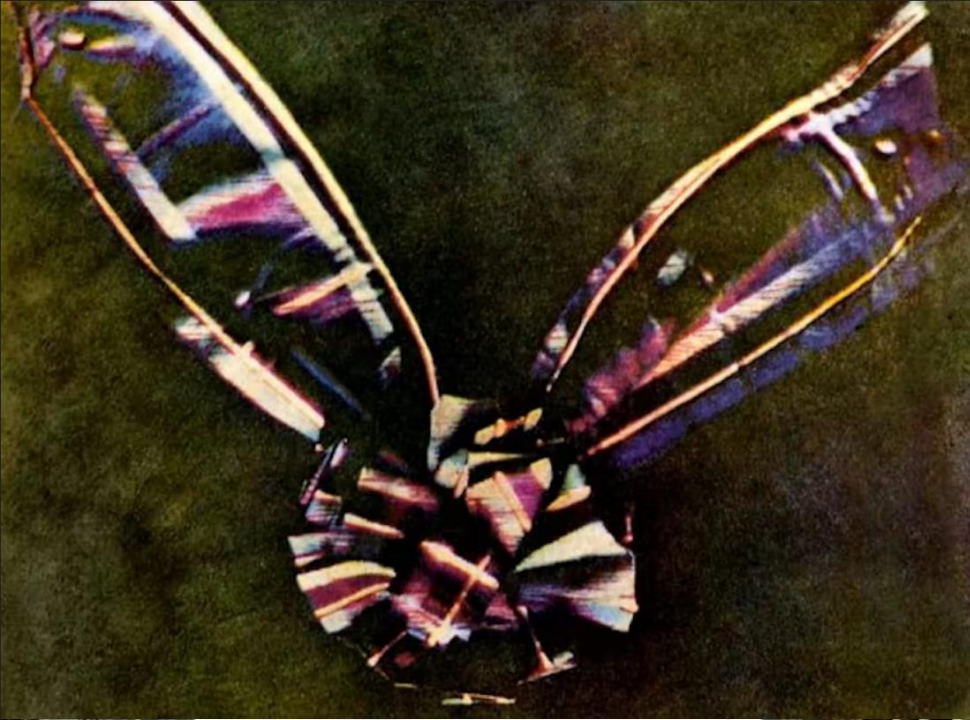
เกร็ดความรู้ ในปี 2015 Sony ได้ประกาศแผนหยุดผลิต CCD image sensor และจะหมดระยะสนับสนุนในปี 2026

2. การจำแนกประเภทของ Image sensor

- **APS (Active Pixel Sensor)** : ในปี 2000 APS ให้ประสิทธิภาพเทียบเคียงกับ CCD แต่ภายหลังจากนั้น APS ให้ประสิทธิภาพที่สูงกว่าและครองความนิยมกับส่วนแบ่งการตลาดมากกว่า CCD สำหรับเนื้อหารายละเอียดมากกว่านี้ของ APS นั้นจะถูกกล่าวถึงในหัวข้อที่ 3 ต่อไป



ภาพที่ 2.3 Image sensor



3. APS (Active Pixel Sensor)

3.1 วงจรภายใน Pixel ของ APS (Active Pixel Sensor)

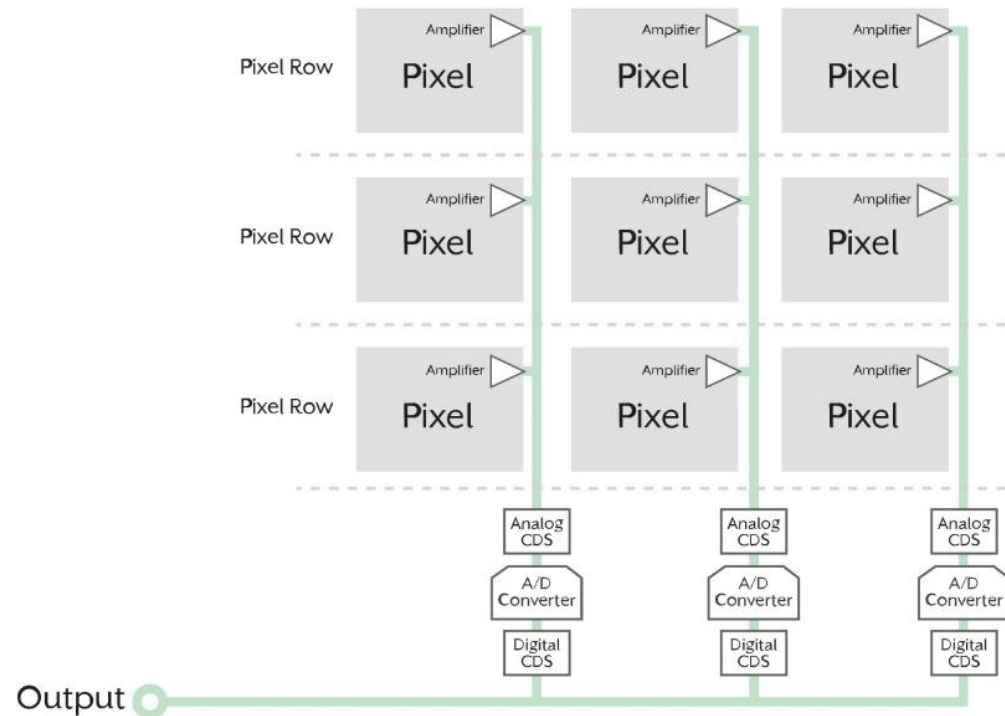
3.2 โครงสร้างลำดับชั้น

3.3 เพิ่มเติมสำหรับ APS (Active Pixel Sensor)



3. APS (Active Pixel Sensor)

APS นั้นสามารถถูกเรียกว่า CMOS APS หรือ CMOS image sensor (CIS) ก็ได้ ถ้าสังเกตจากชื่อดี ๆ จะเจอคำว่า “active pixel” ในชื่อ ซึ่งสื่อถึงการที่ image sensor ประเภทนี้จะทำการแปลงอิเล็กตรอนเป็นแรงดันไฟฟ้าภายใน pixel นั้นทันทีที่มีการตกกระทบของโฟตอน (แสง)



ภาพที่ 3.1 APS (Active Pixel Sensor)

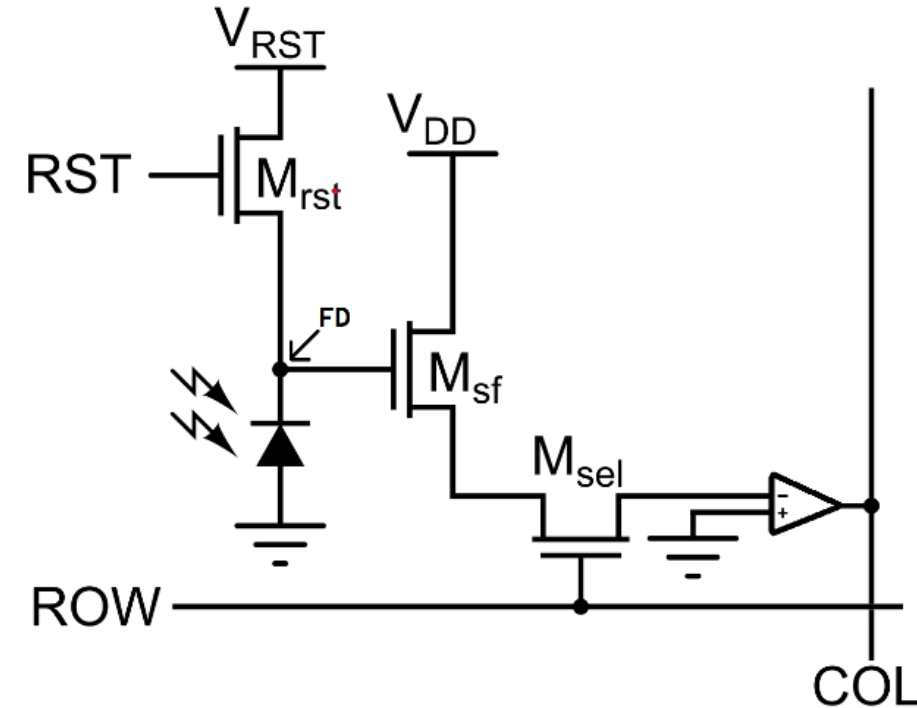
3. APS (Active Pixel Sensor)

3.1 วงจรภายใน Pixel ของ APS (Active Pixel Sensor) : แต่ละ pixel ภายในจะประกอบด้วยส่วนประกอบดังนี้

- **Reset MOSFET :** เป็นสวิตช์สำหรับรีเซ็ต FD ให้มีค่าเท่ากับ V_{RST}
- **Source follower MOSFET :** ทำหน้าที่เป็น voltage buffer
- **Selection MOSFET :** เป็นสวิตช์สำหรับอ่านค่าแต่ละ pixel
- **Floating diffusion**
- **Pinned photodiode**
- **Transimpedance amplifier :** เป็น electron-to-voltage converter

นอกจาก MOSFET จำนวน 3 ตัวแล้ว นวัตกรรมต่าง ๆ ของ Pixel ยังสามารถทำให้ APS รุ่นอื่นๆ

มี MOSFET 4-6 ตัวได้ (เพิ่ม transfer MOSFET จากเดิม)



ภาพที่ 3.2 วงจรภายใน pixel ของ APS

3. APS (Active Pixel Sensor)

3.2 โครงสร้างลำดับชั้น : โดยทั่วไปแล้ว image sensor จะมีโครงสร้างลำดับชั้นคล้าย ๆ กันไม่ว่าจะเป็นประเภท CCD หรือ APS ก็ตาม และมันอาจมีชั้นหรือลำดับชั้นแตกต่างกันบ้างเล็กน้อยตามแต่ละประเภทหรือรุ่น โดยหลัก ๆ จะมี 3 ชั้นดังนี้

- **Microlens :** ทำหน้าที่เบี่ยงเบนแสง (โฟตอน) ให้ตกกระทบบนพื้นที่ซึ่งไวต่อแสง ซึ่งเลนส์เป็นได้ทั้งแบบ spheric หรือ aspheric
- **Color filter :** ทำหน้าที่กรองแสงโดยอาศัยช่วงระยะของคลื่นแสง ทำให้ได้มาซึ่งข้อมูลสีจากแสงที่ตกกระทบบนชั้น color filter นั้นมีรูปแบบสีในแต่ละช่อง pixel หลายแบบ โดยรูปแบบซึ่งเป็นที่นิยมนั้นจะมีชื่อว่า Bayer filter (แบบที่แสดงดังรูปที่ 3.4) หลังจากเสร็จกระบวนการของ image sensor แล้ว ข้อมูลดิบของภาพถ่ายจะถูกส่งต่อไปยัง ISP (Image Signal Processor) เพื่อแปลงข้อมูลดิบข้างต้นให้เป็นภาพสีด้วยอัลกอริทึม demosaicing
- **Photodiode**

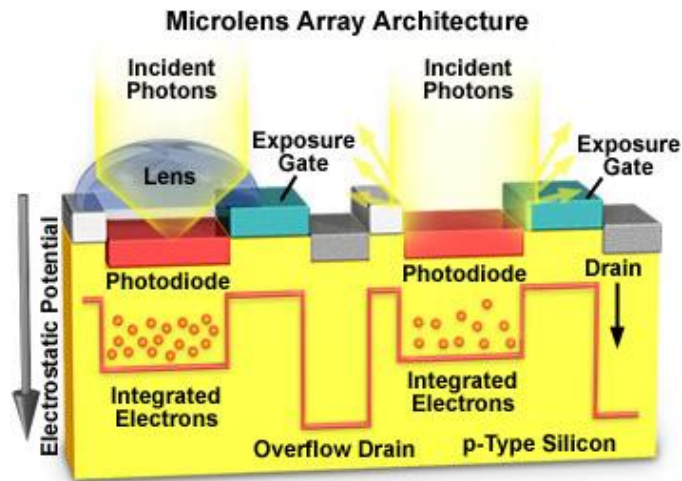


Figure 2

ภาพที่ 3.3 การตกกระทบของโฟตอน
โดยผ่านและไม่ผ่าน microlens

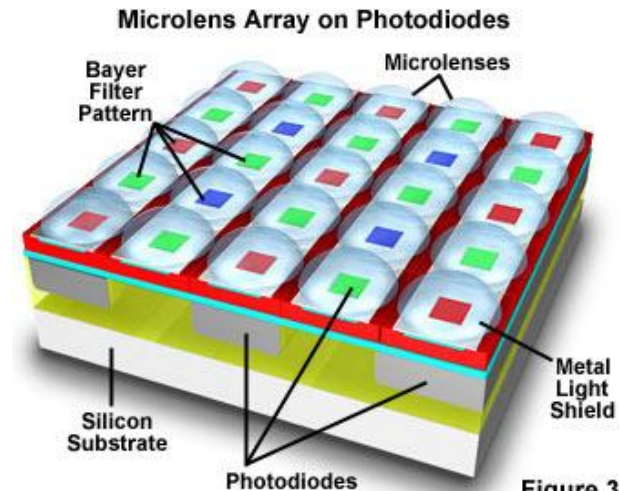


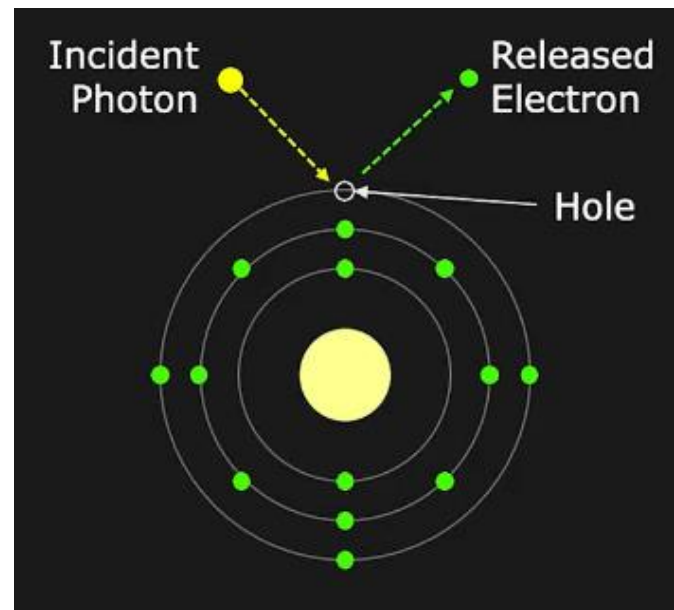
Figure 3

ภาพที่ 3.4 ลำดับชั้นของ APS

3. APS (Active Pixel Sensor)

3.3 เพิ่มเติมสำหรับ APS (Active Pixel Sensor)

APS สามารถอ่านค่า **specific region** (พื้นที่เฉพาะเจาะจง) ได้ส่งผลให้ประสิทธิภาพของกล้องดีขึ้นกว่าปกติและบางรุ่นจะมี CDS (Correlated Double Sampler) เพื่อลด **noise** ที่เกิดจากการเคลื่อนย้ายอิเล็กตรอนภายใน **pixel**



ภาพที่ 3.5 Silicon atom



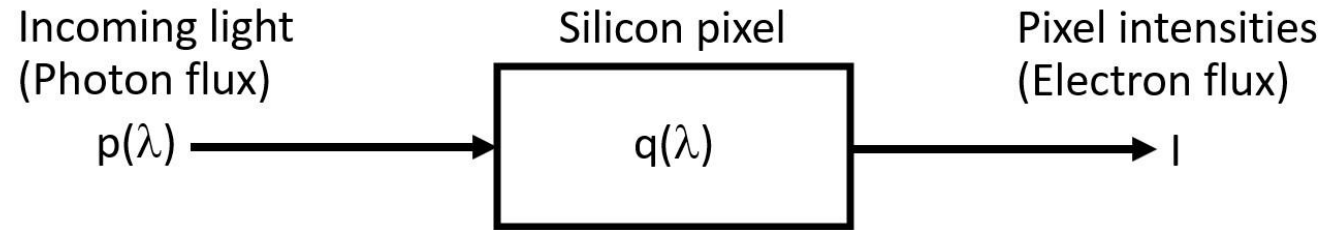
4. Quantum efficiency

4.1 Quantum efficiency : วัดประสิทธิภาพการแปลงโฟตอน
เป็นอิเล็กตรอน

4.2 Quantum efficiency : หาอิเล็กตรอน

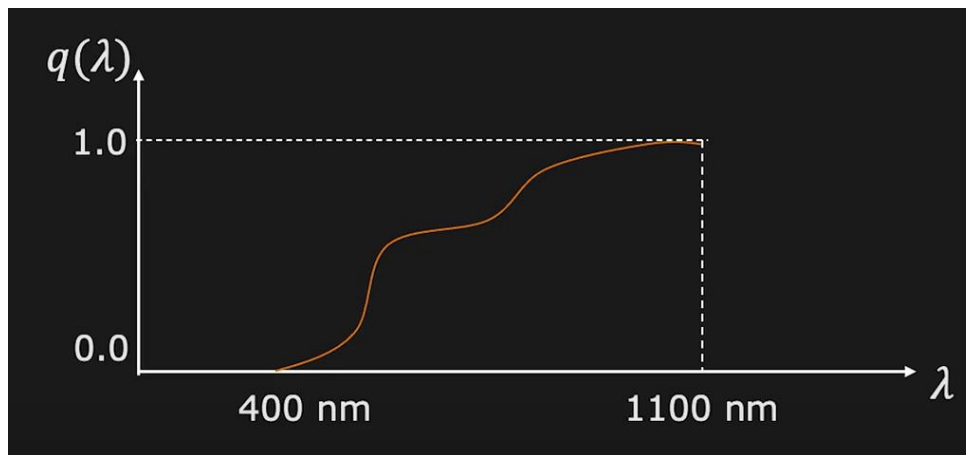
4.1 Quantum efficiency : วัดประสิทธิภาพการแปลงโฟตอนเป็นอิเล็กตรอน

Quantum efficiency คืออัตราส่วนของอิเล็กตรอนที่ silicon pixel ผลิตได้ต่อโฟตอนที่ตกกระทบมัน



ภาพที่ 4.1 พารามิเตอร์ของ quantum efficiency

$$q(\lambda) = \frac{\text{Electron flux generated by silicon material}}{\text{Photon flux}} \\ = \frac{I}{p(\lambda)}$$



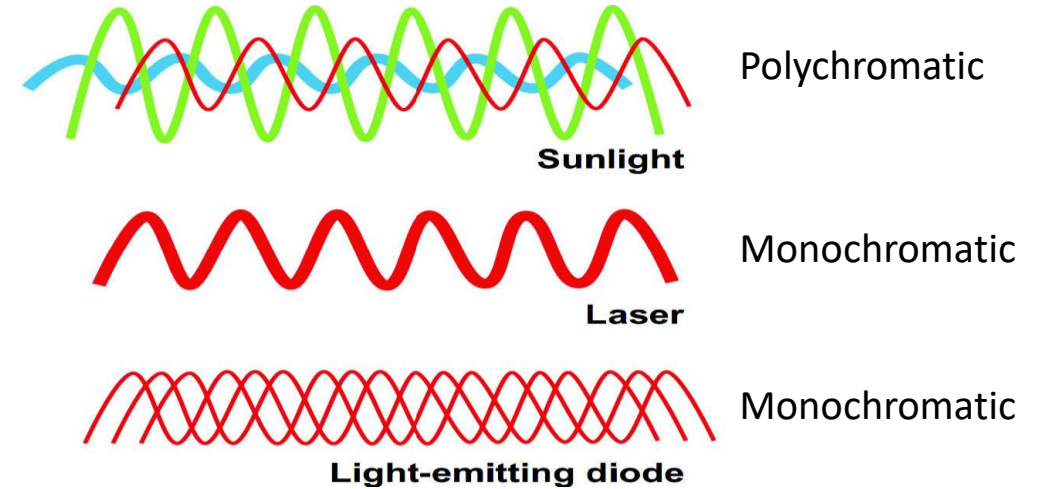
ภาพที่ 4.2 กราฟของ quantum efficiency

จากภาพที่ 4.4 จะเห็นว่าเมื่อ λ เข้าใกล้ 11,00 nm จะส่งผลให้ $q(\lambda)$ เข้าใกล้ 1 ซึ่งหมายความว่า silicon pixel จะยิ่งแปลงโฟตอนให้เป็นอิเล็กตรอนได้ดีเมื่อมีค่า λ ยิ่งใกล้เคียง 11,00 nm

4.2 Quantum efficiency : หาอิเล็กทรอนิกส์

สำหรับ monochromatic light (single wavelength) ซึ่ง $\lambda = \lambda_i$

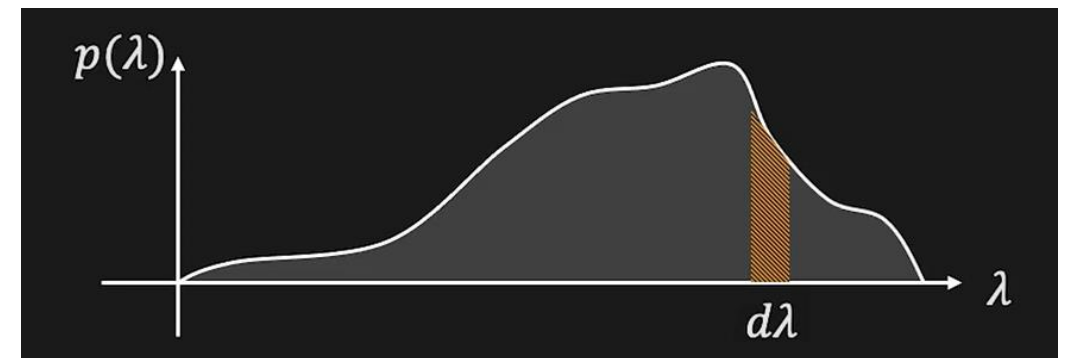
$$I = q(\lambda_i)p(\lambda_i)$$



ภาพที่ 4.3 ตัวอย่างคลื่นแบบ monochromatic และ polychromatic

สำหรับ polychromatic light (broad range of wavelengths)

$$I = \int_0^{\infty} q(\lambda)p(\lambda) d\lambda$$



ภาพที่ 4.4 Spectral distribution

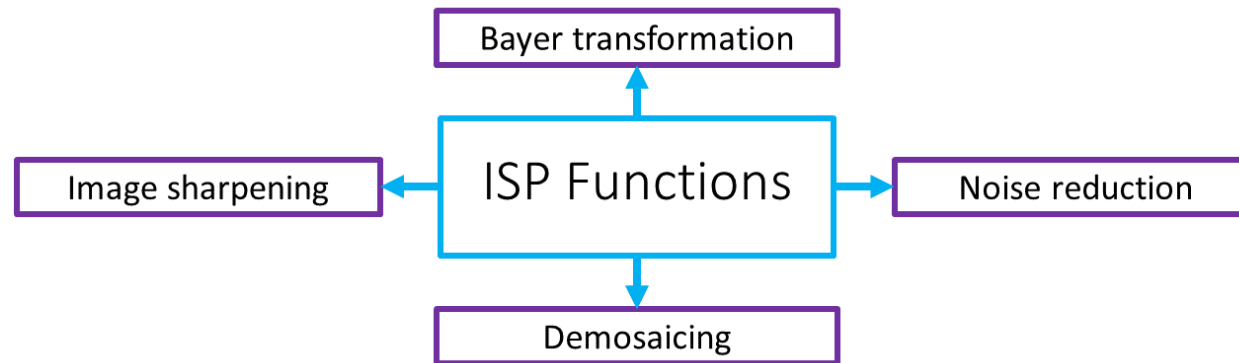
Ref 1 : [Sensing Color | Image Sensing - First Principles of Computer Vision](#)

Ref 2 : [LLLT : Low-Level Light Therapy - PSiO](#)

5. มุมมองและการประยุกต์ใช้งานของคอมพิวเตอร์จาก Image sensor

(The Computer Perspective and Application from Image Sensor)

Demosaicing คือวิธีการประมวลผลภาพดิจิทัลวิธีการหนึ่งเพื่อสร้างรูปภาพสีอย่างทีกล่าวไปแล้วในหัวข้อที่ 3.2 อีกทั้ง **demosaicing** นั้นมีหลายอัลกอริทึมและมันถือเป็นหนึ่งในหน้าที่การทำงานหลัก ๆ ที่ต้องทำของ ISP (Image Signal Processor)

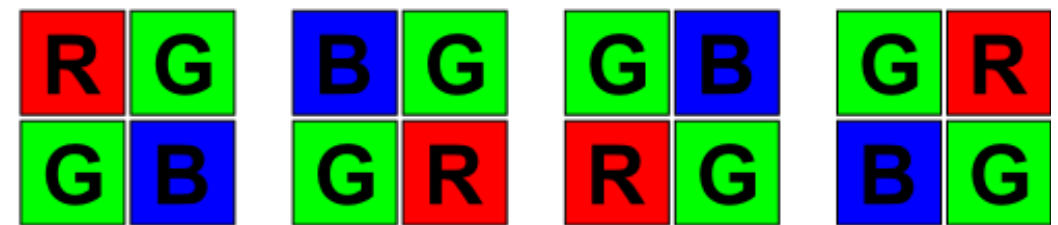
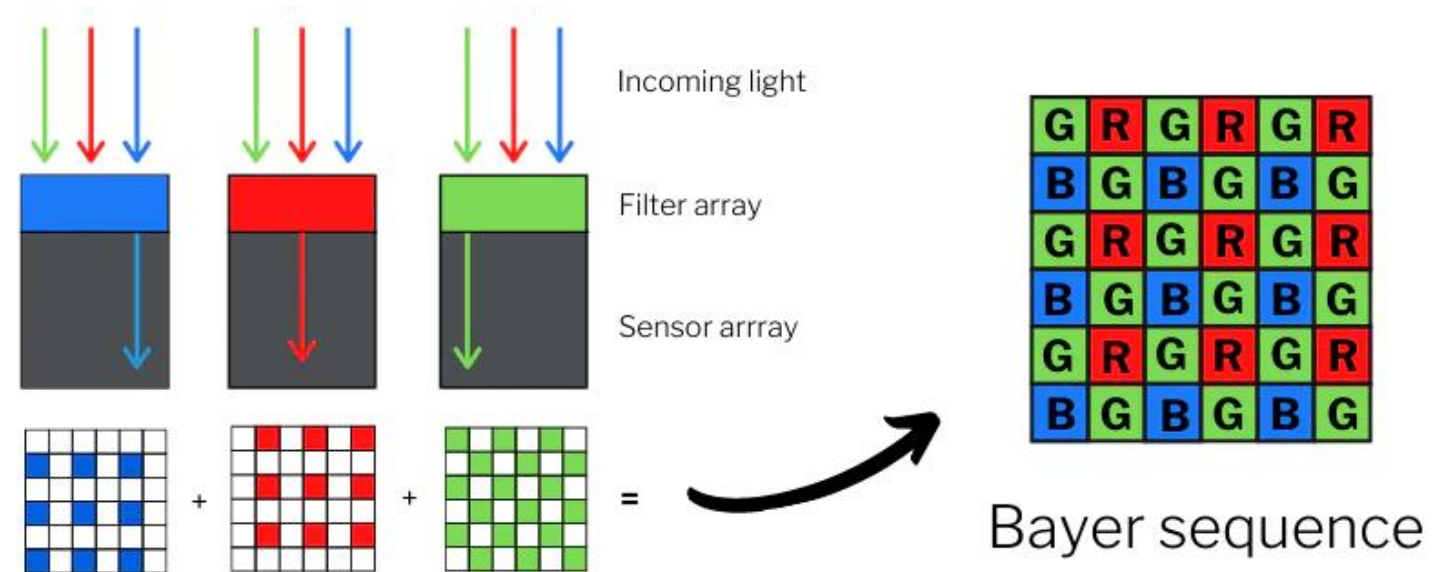


ภาพที่ 5.1 หน้าที่การทำงานหลักของ ISP

ใน **firmware** ของกล้องถ่ายภาพดิจิทัลจะมีฟังก์ชัน **demosaicing** อยู่แล้ว นอกจากนี้กล้องสมัยใหม่หลายกล้องยังสามารถบันทึกรูปภาพดิบ (รูปที่ยังไม่ทำ **demosaicing**) เพื่อให้ผู้ใช้สามารถนำรูปภาพดิบดังกล่าวไปทำ **demosaicing** เองได้ โดยหน้าต่อไปนี้จะยกตัวอย่างอัลกอริทึมหนึ่งง่าย ๆ ในการทำ **de-mosaicing** ซึ่งก็คือ **bilinear interpolation**

5. มุมมองและการประยุกต์ใช้งานของคอมพิวเตอร์จาก Image sensor (The Computer Perspective and Application from Image Sensor)

ตัวอย่าง Bayer filter



5. มุมมองและการประยุกต์ใช้งานของคอมพิวเตอร์จาก Image sensor

ตัวอย่าง bilinear interpolation for demosaicing

B ₁	G ₂	B ₃	G ₄	B ₅	G ₆
G ₇	R ₈	G ₉	R ₁₀	G ₁₁	R ₁₂
B ₁₃	G ₁₄	B ₁₅	G ₁₆	B ₁₇	G ₁₈
G ₁₉	R ₂₀	G ₂₁	R ₂₂	G ₂₃	R ₂₄
B ₂₅	G ₂₆	B ₂₇	G ₂₈	B ₂₉	G ₃₀
G ₃₁	R ₃₂	G ₃₃	R ₃₄	G ₃₃	R ₃₄

		C ₃			
	C ₈				

$$\begin{aligned} C_3 &= (R_3, G_3, B_3) \\ &= \left(\frac{R_8 + R_{10}}{2}, \frac{G_2 + G_4 + G_9}{3}, B_3 \right) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} C_8 &= (R_8, G_8, B_8) \\ &= \left(R_8, \frac{G_2 + G_7 + G_9 + G_{14}}{4}, \frac{B_1 + B_3 + B_{13} + B_{15}}{4} \right) \end{aligned}$$

5. มุมมองและการประยุกต์ใช้งานของคอมพิวเตอร์จาก Image sensor

(The Computer Perspective and Application from Image Sensor)

ตัวอย่าง demosaicing in Python (OpenCV)

Syntax : `img = cv.demosaicing(src, code[, dst[, dstCn]])`

โดย code สามารถเลือกระบุได้ดังนี้

- `cv.COLOR_BayerRGGB2BGR`
- `cv.COLOR_BayerGRBG2BGR`
- `cv.COLOR_BayerBGGR2BGR`
- `cv.COLOR_BayerGBRG2BGR`

หรืออื่น ๆ ที่ระบุในเว็บ [Color Space Conversions - OpenCV](#)



ภาพที่ 5.2 ขวา คือ ภาพดิบ ซ้าย คือ ภาพที่ผ่าน demosaicing

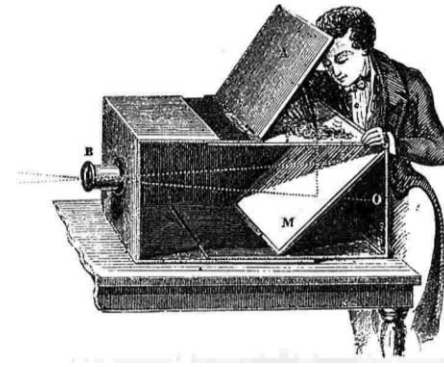
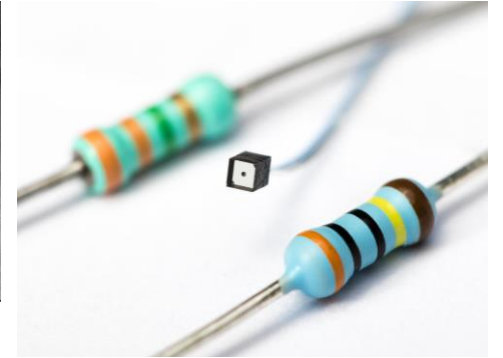
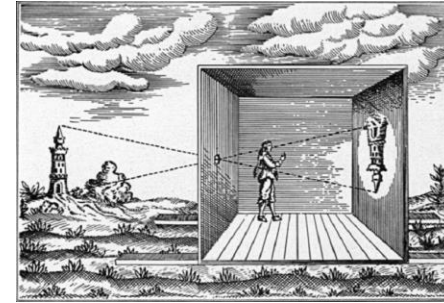
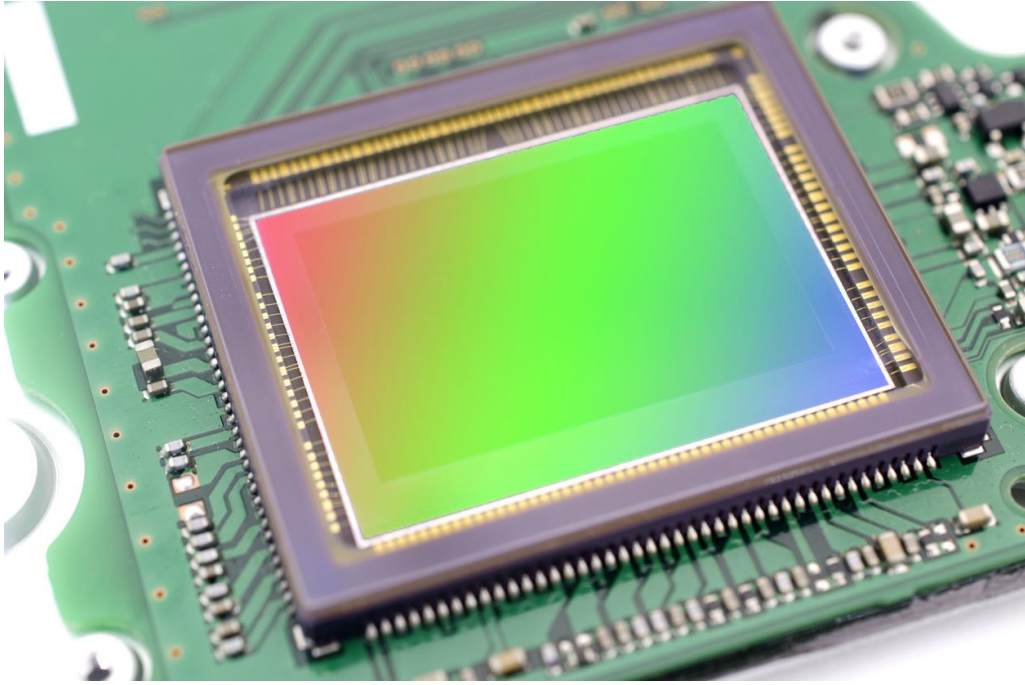
5. มุมมองและการประยุกต์ใช้งานของคอมพิวเตอร์จาก Image sensor (The Computer Perspective and Application from Image Sensor)

ตัวอย่าง demosaicing in MATLAB

Syntax : `RGB = demosaic(I, sensorAlignment)`



ภาพที่ 5.3 ซ้ายคือภาพดิบ ขวาคือภาพที่ผ่าน
demosaicing ด้วย MATLAB



Thanks for watching