TRƯỜNG ĐẠI HỌC SÂN KHẤU – ĐIỆN ẢNH HÀ NỘI
KHOA CÔNG NGHỆ ĐIỆN ẢNH – TRUYỀN HÌNH

KỸ THUẬT AUDIO – VIDEO

CHƯƠNG 9 · PHẦN C

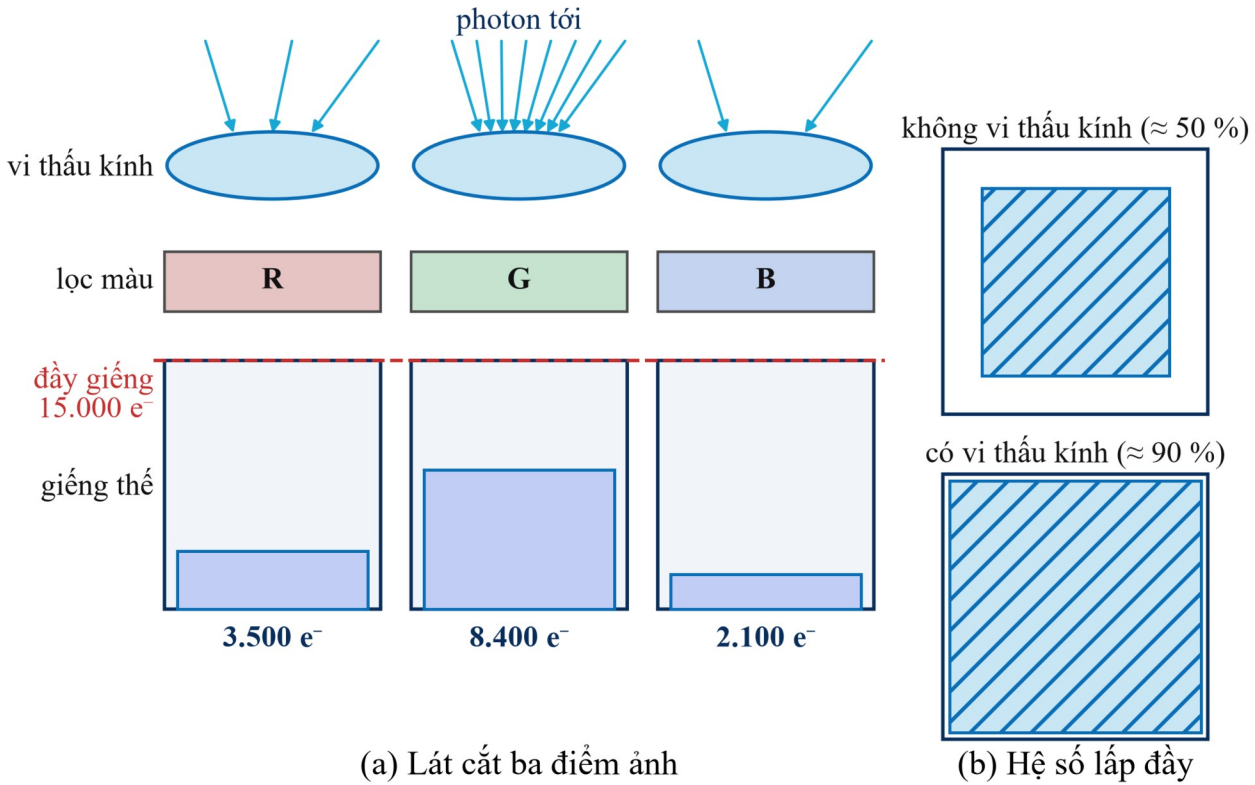
Cảm biến ảnh

Từ photon tới điện tích

- Cảm biến là tấm lưới gồm vô số ô, mỗi ô biến ánh sáng thành điện tích
- Cơ chế ở mức điểm ảnh giải thích mọi khác biệt về nhiễu và dải động giữa các máy
- Cảm biến đáp ứng tuyến tính, còn thị giác thì gần logarit: gốc của đường log

Cơ chế cảm quang

- Mỗi ô là một điốt quang làm bằng silic
- Photon đủ năng lượng giải phóng một cặp điện tử và lỗ trống: hiệu ứng quang điện trong
- Điện tử bị giữ trong vùng thế năng gọi là giếng thế, tích tụ suốt thời gian phơi sáng



Hình 9.28 — Cấu tạo một điểm ảnh và đường đi của photon

Hiệu suất lượng tử

N_e là số điện tử, N_ph là số photon tới. Công thức (9.17)

$$N_e = \mathrm{QE} \cdot N_{\mathrm{ph}}$$

- QE là hiệu suất lượng tử: tỉ lệ photon tới thật sự sinh ra một điện tử
- Cảm biến hiện nay đạt khoảng 50 tới 90 phần trăm ở vùng bước sóng nhạy nhất

Cảm biến thật: khổ lớn và khổ nhỏ



Hình 9.4 — Cảm biến CMOS khổ 35 mm (trái) và cảm biến nhỏ của camera công nghiệp (phải)

Nguồn: 根川孝太郎 , CC BY-SA 4.0, Wikimedia Commons (truy cập 05/11/2026).

- Ô lớn hơn thì giếng sâu hơn
- Cảm biến khổ lớn có chỗ cho ô lớn
- Hình đã dùng ở mục 9.4 để so góc nhìn; ở đây dùng để hình dung diện tích thu sáng

Bốn thông số quyết định chất lượng của một điểm ảnh

Khái niệm	Định nghĩa	Ảnh hưởng tới
Hiệu suất lượng tử	Phần trăm photon tới sinh ra được một điện tử	Độ nhạy
Dung lượng giếng	Số điện tử tối đa một ô chứa được trước khi bão hoà	Giới hạn trên của dải động; giếng đầy là cháy trắng
Hệ số lấp đầy	Phần diện tích của ô thật sự cảm quang, phần còn lại là mạch điện	Lượng ánh sáng thu được trên mỗi ô
Vi thấu kính	Thấu kính tí hon trên mỗi ô, gom ánh sáng của cả ô về phần cảm quang	Bù hệ số lấp đầy thấp, nhất là với CMOS

Vì sao điểm ảnh lớn hơn thì tốt hơn

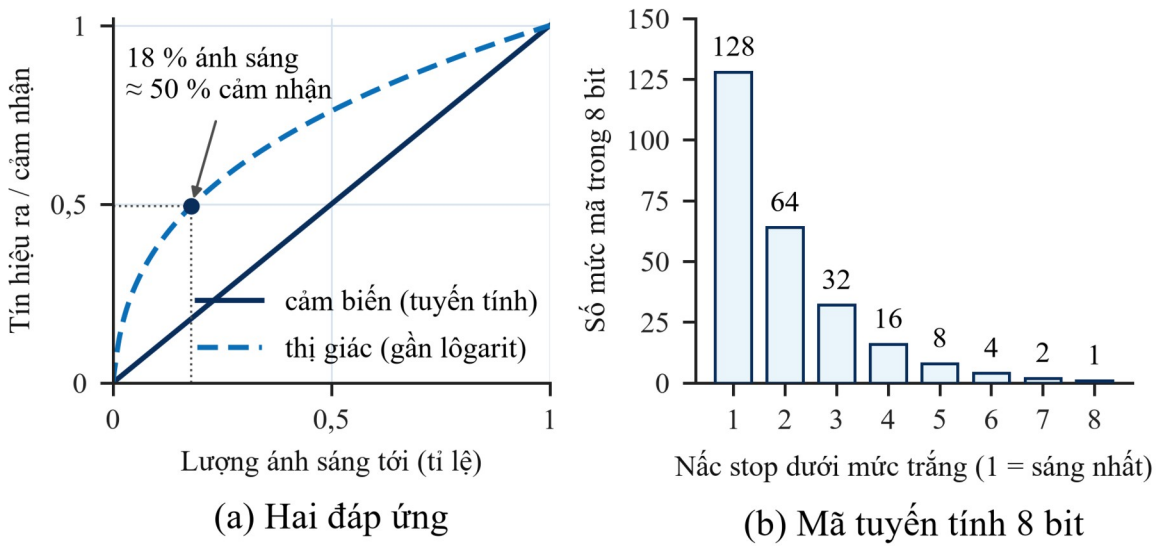
GHI NHỚ

Cùng công nghệ, ô lớn hơn thì giếng sâu hơn và hứng được nhiều photon hơn trong cùng thời gian phơi sáng.

- Cảm biến 12 triệu điểm ảnh khổ toàn khung thường ít nhiễu hơn cảm biến 48 triệu điểm ảnh cùng khổ
- Máy quay điện ảnh không chạy đua về megapixel
- Video chỉ cần 1920 × 1080 hoặc 3840 × 2160: thêm điểm ảnh không có lợi mà còn làm giảm chất lượng

Cảm biến tuyến tính, thị giác thì không

- Cảm biến đếm photon: ánh sáng tăng gấp đôi thì số điện tử tăng gấp đôi
- Mắt nhạy với thay đổi ở vùng tối hơn nhiều so với vùng sáng; đáp ứng gần hàm logarit
- Ghi thẳng tín hiệu tuyến tính ở tám bit: phần lớn trong 256 mức rơi vào vùng sáng, vùng tối được vài mức và sinh dải màu
- Vì thế mọi máy quay áp đường phi tuyến trước khi ghi: gamma hoặc log



Hình 9.29 — Cảm biến đáp ứng tuyến tính, còn thị giác thì gần logarit

Những điều cần nhớ

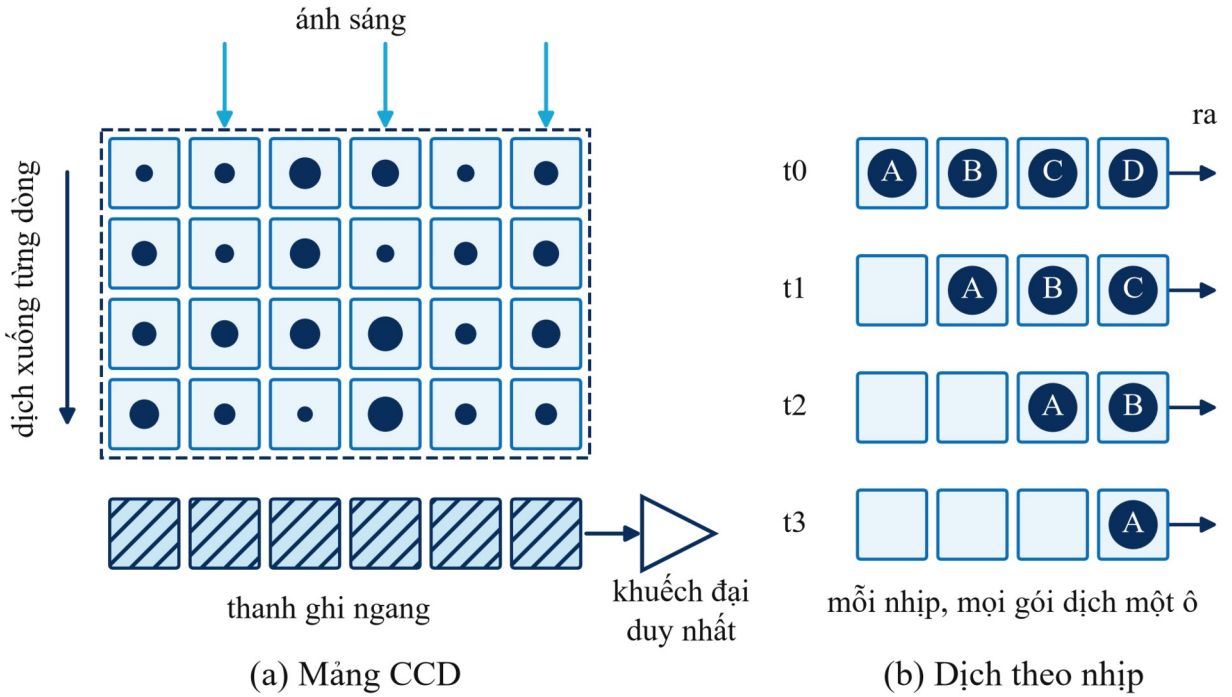
- Photon sinh điện tử trong điốt quang silic; điện tử tích tụ trong giếng thế: $N_e = QE \cdot N_{ph}$
- Bốn thông số: hiệu suất lượng tử, dung lượng giếng, hệ số lấp đầy, vi thấu kính
- Ô lớn hơn cho ít nhiễu hơn; video không cần nhiều megapixel
- Cảm biến tuyến tính, mắt gần logarit: đó là lý do phải có gamma và log

Công nghệ CCD

- Mỗi ô có hai chế độ: lưu trữ và truyền
- Cả mảng dịch chuyển điện tích cùng lúc: mọi điểm ảnh ứng với một khoảnh khắc
- Hiện tượng loang dọc là dấu hiệu nhận ra tư liệu CCD

Hai chế độ của mỗi ô

- **Chế độ lưu trữ.** Điện tích tích tụ tỉ lệ với ánh sáng rơi lên vùng cảm quang của ô
- **Chế độ truyền.** Điện tích di chuyển tới ô kề bên theo hàng ngang và hàng dọc; cả dòng, thậm chí cả mảng, cùng lúc
- Hai mảng: vùng tạo ảnh và vùng đọc được che sáng; chép ảnh điện tử sang vùng đọc thường trong chu kỳ xoá dòng



Hình 9.30 — CCD: chuyển điện tích theo nhịp, đọc qua một bộ khuếch đại

Điểm mấu chốt để hiểu cả mục 9.19

GHI NHỚ

Vì cả mảng dịch chuyển cùng lúc nên mọi điểm ảnh của một khung CCD ứng với cùng một khoảnh khắc.

- Đây là điểm khác biệt giữa CCD và CMOS thông thường
- Là gốc của toàn bộ hiện tượng màn trập cuốn ở mục 9.19

Ba kiến trúc CCD và chỗ dùng của chúng

Kiến trúc	Cách làm	Ưu và nhược
Full frame	Cả mảng vừa cảm quang vừa truyền điện tích	Đơn giản, hệ số lấp đầy cao nhất; cần màn trập cơ khí lúc đọc; dùng cho thiên văn, khoa học
Frame transfer	Thêm vùng đọc che sáng bằng đúng vùng tạo ảnh; chép cả khung sang rất nhanh rồi đọc thong thả	Không cần màn trập cơ khí; nhược: diện tích chip gấp đôi nên đắt
Interline	Xen giữa các cột cảm quang là các cột che sáng; chuyển ngang một bước là xong	Nhanh nhất, rẻ nhất; hệ số lấp đầy thấp nên bù bằng vi thấu kính

Hiện tượng loang dọc

- Nguồn sáng rất chói (đèn sân khấu, mặt trời, đèn pha xe): điện tích tràn khỏi giếng
- Điện tích chảy sang các ô kề bên theo cột: vệt sáng dọc chạy suốt khung hình
- CCD đời sau có mạch chống tràn nhưng không loại bỏ hoàn toàn
- Dấu hiệu nhận ra tư liệu CCD; một lý do CMOS được ưa chuộng ở sân khấu và sự kiện

Những điều cần nhớ

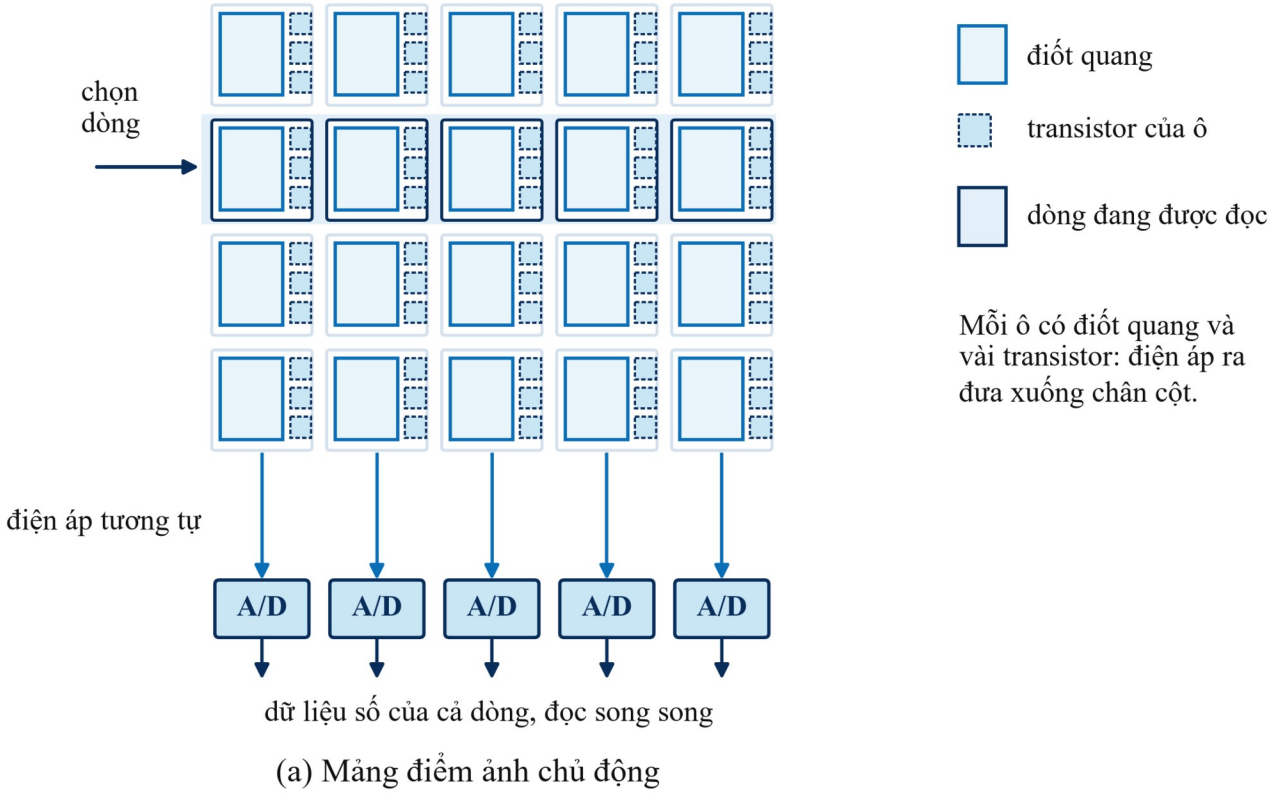
- CCD có hai chế độ: lưu trữ và truyền điện tích
- Cả mảng dịch chuyển cùng lúc nên một khung ứng với một khoảnh khắc
- Ba kiến trúc: full frame, frame transfer, interline
- Loang dọc là đặc trưng của CCD khi có nguồn sáng chói

Công nghệ CMOS

- Mỗi ô có transistor riêng: điểm ảnh chủ động
- Bộ biến đổi tương tự sang số nằm ở chân mỗi cột, trên cùng đế silic
- Ba hệ quả: đọc song song, đọc một vùng, đọc lần lượt từng dòng

Điểm ảnh chủ động

- Mỗi ô gồm một điốt quang và vài transistor xoá, đọc, khuếch đại ngay tại chỗ
- Mỗi điểm ảnh được đọc giá trị riêng biệt
- Điện áp ra của mỗi ô đưa xuống chân cột, nơi có bộ biến đổi tương tự sang số riêng cho từng cột



Hình 9.31 — CMOS: mỗi ô tự khuếch đại, mỗi cột có bộ biến đổi riêng

Điểm ảnh CMOS xuất điện áp tương tự, không phải số

GHI NHỚ

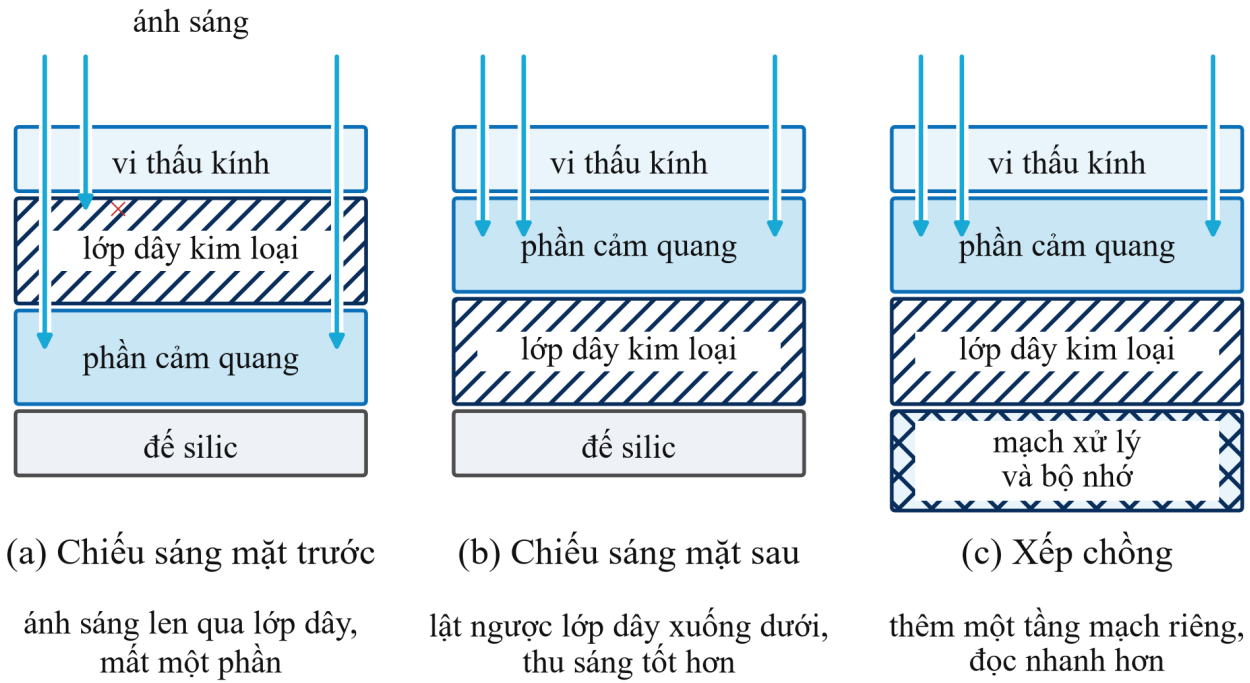
Bộ biến đổi tương tự sang số nằm ngay trên cùng đế silic, ở chân mỗi cột, thay vì ở một chip riêng bên ngoài.

- Cảm biến CMOS không mang tính số ở mức điểm ảnh
- Hiểu sai điểm này thì không giải thích được nhiễu đọc, độ sâu bit của bộ biến đổi, và dual native ISO ở mục 9.22

Ba hệ quả của kiến trúc CMOS

- **Đọc song song.** Cả một dòng được số hoá cùng lúc: CMOS đọc nhanh hơn CCD rất nhiều, nền tảng của quay tốc độ cao
- **Đọc được một vùng.** Mỗi ô có địa chỉ riêng; cũng là nền tảng của lấy nét theo pha trên cảm biến
- **Phải đọc lần lượt từng dòng.** Hệ quả quan trọng nhất với người quay phim: sinh ra màn trập cuốn ở mục 9.19

Ba thế hệ kiến trúc CMOS



Hình 9.32 — Ba thế hệ kiến trúc CMOS: mặt trước, mặt sau và xếp chồng

- Hạn chế cố hữu: tế bào quang điện chỉ chiếm một phần diện tích của phần tử điểm ảnh

Ba thế hệ kiến trúc CMOS

Kiến trúc	Cách làm	Được gì
Chiếu sáng mặt trước	Từ trên xuống: vi thấu kính, lớp dây kim loại, phần cảm quang, đế silic	Đơn giản, rẻ; ánh sáng len qua lớp dây nên mất một phần
Chiếu sáng mặt sau	Lật ngược: phần cảm quang lên trên, lớp dây xuống dưới	Thu sáng tốt hơn đáng kể mà không cần ô lớn hơn; chuẩn của hầu hết cảm biến tốt
Cảm biến xếp chồng	Gắn thêm tầng mạch xử lý và bộ nhớ ngay dưới tầng cảm quang	Đọc hết cảm biến nhanh hơn nhiều lần: cách hiệu quả nhất giảm màn trập cuốn mà không cần màn trập toàn cục

Những điều cần nhớ

- Điểm ảnh CMOS tự khuếch đại; bộ biến đổi sang số ở chân mỗi cột
- Tín hiệu ở điểm ảnh vẫn là điện áp tương tự
- Đọc song song, đọc một vùng, nhưng phải đọc lần lượt từng dòng
- Ba thế hệ: mặt trước, mặt sau, xếp chồng

CCD so với CMOS

- So sánh theo các tiêu chí đo được
- Chỗ dễ hiểu sai nhất: tốc độ đọc nhanh không đồng nghĩa với chốt cả khung cùng lúc
- Trạng thái thị trường hiện nay và lý do vẫn cần học CCD

CCD so với CMOS theo các tiêu chí đo được

Tiêu chí	CCD	CMOS
Tín hiệu tại điểm ảnh	Gói điện tích	**Điện áp tương tự**
Nơi biến đổi sang số	Một bộ ở cuối chuỗi	**Một bộ ở chân mỗi cột**
Cách đọc	Nối tiếp qua một bộ khuếch đại	Song song theo cột
Thời điểm của một khung	Mọi điểm ảnh cùng một khoảnh khắc	**Lần lượt từng dòng (màn trập cuốn)**
Tốc độ đọc	Thấp	Cao; rất cao với loại xếp chồng
Điện năng tiêu thụ	Cao hơn	Thấp hơn
Đọc riêng một vùng ảnh	Khó	Dễ; nền của quay tốc độ cao
Nhiễu và độ đồng đều	Rất đồng đều, vì chung một bộ khuếch đại	Mỗi ô một mạch nên phải hiệu chỉnh; nay đã tốt
Hiện tượng loang dọc	Có, khi có nguồn sáng chói	Gần như không có
Giá thành	Cao, dây chuyền riêng	Thấp, chung dây chuyền vi mạch
Tình trạng hiện nay	Đã ngừng phát triển; gần như không còn trong máy mới	Gần như mọi máy quay và máy ảnh mới

Hình 9.33 — CCD so với CMOS theo các tiêu chí đo được

CMOS và CCD với cảnh chuyển động

GHI NHỚ

CMOS thông thường đọc lần lượt từng dòng nên vật chuyển động nhanh bị nghiêng và biến dạng; CCD (frame transfer hoặc interline) chốt cả khung cùng lúc nên không có hiện tượng ấy.

- CMOS có tốc độ đọc nhanh hơn
- Tốc độ đọc nhanh không đồng nghĩa với việc chốt cả khung cùng lúc

Hai công nghệ, hai cách chốt khung

CCD

- Gói điện tích dịch chuyển cùng lúc
- Đọc nối tiếp qua một bộ khuếch đại
- Một khung ứng với một khoảnh khắc
- Có thể có loang dọc

CMOS

- Điện áp tương tự tại mỗi ô
- Đọc song song theo cột
- Lần lượt từng dòng: màn trập cuốn
- Đọc riêng được một vùng ảnh

Cập nhật trạng thái thị trường

- Giai đoạn đầu: thiết kế CMOS tập trung chất lượng ảnh, thiết kế CCD tập trung kích thước và tiêu hao năng lượng
- Cuộc đua đã kết thúc từ lâu
- Hãng cảm biến lớn nhất thế giới công bố dừng phát triển CCD từ giữa thập niên 2010
- Máy quay và máy ảnh mới sản xuất ngày nay gần như đều dùng CMOS

Vậy có còn cần học CCD không

GHI NHỚ

Có, vì hai lý do: kho tư liệu truyền hình và việc làm mốc so sánh để hiểu màn trập cuốn.

- Kho tư liệu đài truyền hình có hàng chục nghìn giờ quay bằng máy CCD: cần nhận ra loang dọc và việc không có màn trập cuốn
- Hiểu CCD chốt cả khung cùng lúc là con đường nhanh nhất để hiểu vì sao CMOS sinh ra màn trập cuốn

Những điều cần nhớ

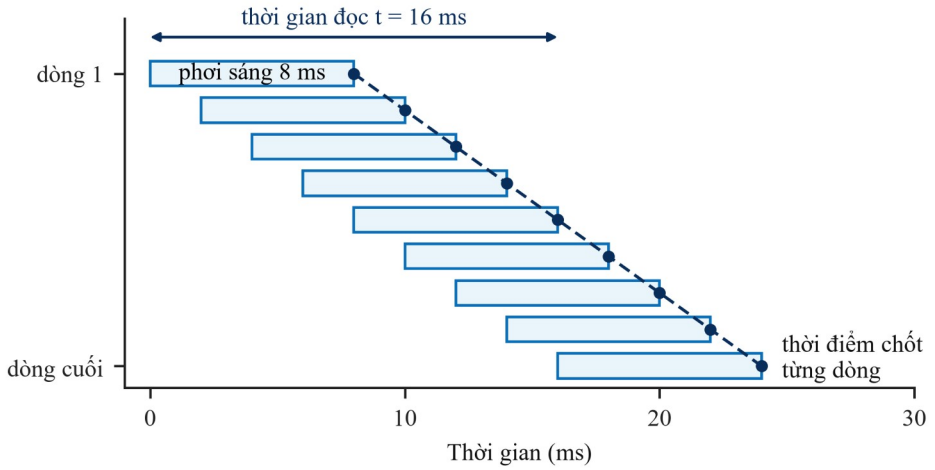
- CCD chốt cả khung cùng lúc; CMOS thông thường đọc từng dòng
- CMOS đọc nhanh, nhưng nhanh không có nghĩa là chốt cùng lúc
- Máy mới gần như đều dùng CMOS
- Vẫn học CCD để xử lý tư liệu cũ và để hiểu màn trập cuốn

Màn trập cuốn và màn trập toàn cục

- Hiện tượng người quay phim gặp hằng ngày
- Nguyên nhân của bốn loại hỏng hình rất phổ biến
- Tính được độ nghiêng khi lia máy và biết ba cách xử lý

Cơ chế

- CMOS thông thường xoá và đọc lần lượt từng dòng, từ trên xuống
- Mỗi dòng phơi sáng đúng bằng thời gian màn trập đã đặt, nhưng thời điểm bắt đầu và kết thúc lệch nhau một chút
- Thời gian quét từ dòng đầu tới dòng cuối là thời gian đọc
- Cảm biến đời cũ hoặc chế độ độ phân giải cao: hai ba chục mili giây; cảm biến xếp chồng: dưới 5 mili giây



(a) Mỗi dòng một thời điểm

Thời gian đọc	Lia 30°/s	Lia 60°/s	Lia 120°/s
4 ms	0,2°	0,3°	0,7°
8 ms	0,3°	0,7°	1,4°
16 ms	0,7°	1,4°	2,8°
30 ms	1,3°	2,6°	5,2°

$\tan \beta = \omega \cdot t / \alpha$; $\alpha = 39{,}6°$ (ống 50 mm, khổ toàn khung)

(b) Góc nghiêng β khi lia

Hình 9.34 — Mỗi dòng phơi sáng và được chốt ở một thời điểm khác nhau

Độ nghiêng khi lia máy

β là góc nghiêng của vật thẳng đứng. Công thức (9.18)

$$\tan\beta = \frac{\omega \cdot t_{\text{read}}}{\alpha}$$

- ω: tốc độ lia, độ trên giây
- t: thời gian đọc; α: góc nhìn ngang
- Dòng trên và dòng dưới ghi vật ở hai vị trí khác nhau nên vật thẳng đứng trở thành nghiêng

Góc nghiêng β theo thời gian đọc và tốc độ lia

Thời gian đọc	Lia 30°/s	Lia 60°/s	Lia 120°/s
4 ms	0,2°	0,3°	0,7°
8 ms	0,3°	0,7°	1,4°
16 ms	0,7°	1,4°	2,8°
30 ms	1,3°	2,6°	5,2°

- Ống 50 mm, khổ toàn khung, α = 39,6°; số liệu trích từ bảng trong Hình 9.34

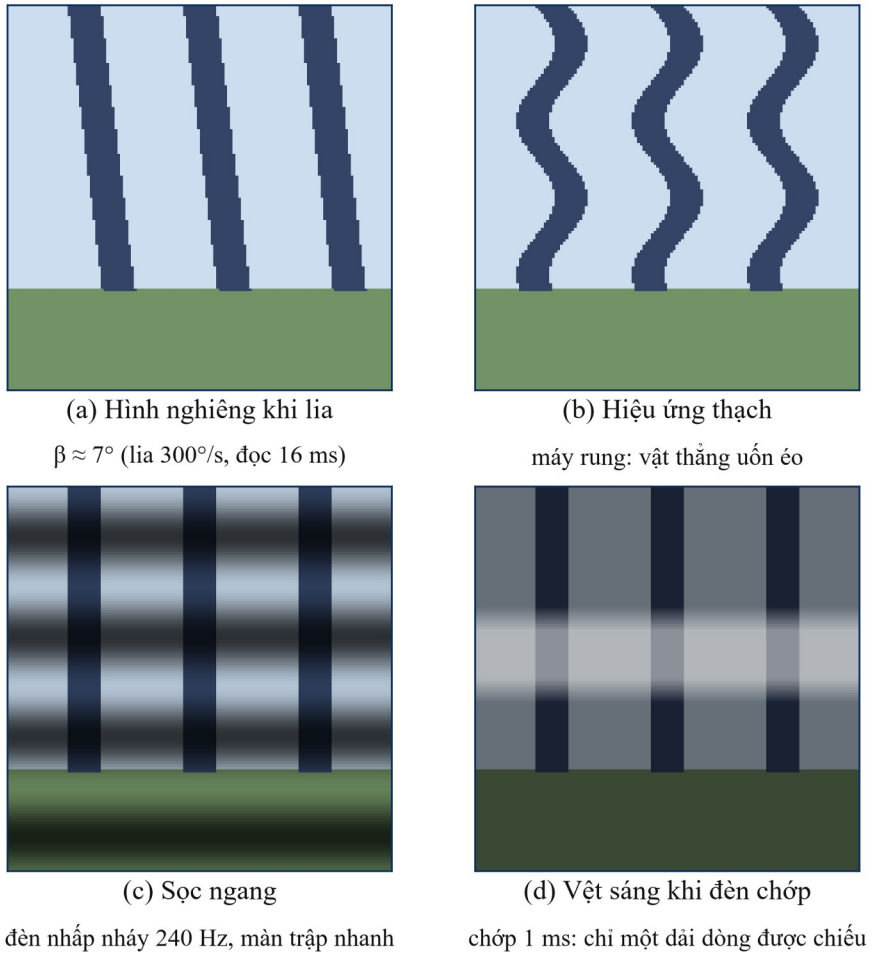
Đọc con số trong bảng

GHI NHỚ

Cảm biến đọc 30 ms, lia 120°/s: vật thẳng đứng nghiêng hơn 5°, mắt thấy rõ. Cảm biến xếp chồng đọc 4 ms, cùng tốc độ lia: nghiêng dưới 1°.

- Cơ sở cụ thể để cân nhắc đầu tư máy cảm biến xếp chồng
- Nhiều cú lia nhanh (thể thao, sự kiện): đáng giá
- Chủ yếu cảnh tĩnh và phỏng vấn: không cần thiết

Bốn hiện tượng do màn trập cuốn sinh ra



(a) Hình nghiêng khi lia

$\beta \approx 7°$ (lia 300°/s, đọc 16 ms)

(b) Hiệu ứng thạch

máy rung: vật thẳng uốn éo

(c) Sọc ngang

đèn nhấp nháy 240 Hz, màn trập nhanh

(d) Vệt sáng khi đèn chớp

chớp 1 ms: chỉ một dải dòng được chiếu

Hình 9.35 — Bốn hiện tượng do màn trập cuốn sinh ra

Bốn hiện tượng của màn trập cuốn

Hiện tượng	Khi nào xảy ra	Cách tránh
Hình nghiêng	Lia ngang hoặc quay vật chuyển động ngang nhanh	Lia chậm hơn; ống rộng hơn; chế độ đọc ngắn
Hiệu ứng thạch	Máy rung khi cầm tay hoặc gắn lên phương tiện	Chống rung cơ khí hoặc gimbal
Sọc ngang	Quay dưới đèn nhấp nháy (LED điều chế xung, huỳnh quang) với màn trập nhanh	Đặt màn trập đúng bội chu kỳ nhấp nháy; xem mục 9.25
Vệt sáng khi có đèn chớp	Đèn flash hoặc đèn chớp sân khấu chỉ chiếu một phần khung	Gần như không tránh được; chọn đúp không dính

Màn trập toàn cục

- Xoá và chốt toàn bộ điểm ảnh cùng một lúc, rồi mới đọc thong thả
- Hiệu quả giống CCD chốt cả khung: không có hiện tượng nào trong bốn hiện tượng trên
- Giá phải trả: mỗi ô có thêm vùng nhớ điện tích, chiếm bớt diện tích cảm quang
- Ô nhỏ đi, giếng nông hơn: dải động thường thấp hơn khoảng 1 tới 2 stop so với màn trập cuốn cùng thế hệ

Ba cách xử lý màn trập cuốn

Cách	Được	Mất
Chấp nhận và điều chỉnh thao tác	Không tốn tiền; giữ nguyên dải động	Phải lia chậm, chọn ống, để ý đèn
Dùng cảm biến xếp chồng	Giảm thời gian đọc vài lần; giữ dải động	Máy đắt hơn đáng kể
Dùng màn trập toàn cục	Triệt tiêu hoàn toàn hiện tượng	Dải động thấp hơn 1 tới 2 stop; máy đắt; ít lựa chọn

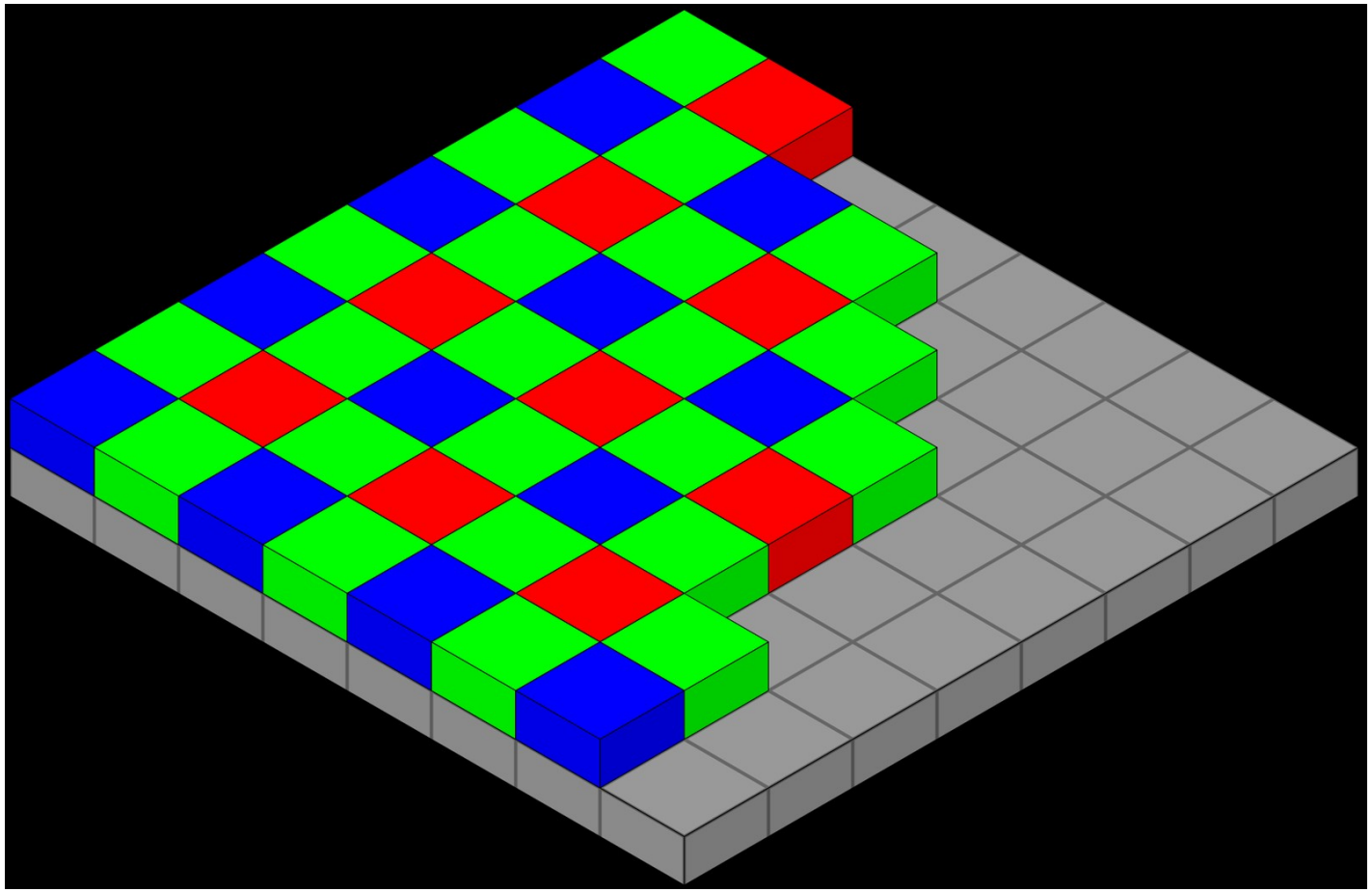
Những điều cần nhớ

- CMOS đọc từng dòng nên mỗi dòng được chốt ở một thời điểm khác nhau
- $\tan \beta = \omega \cdot t / \alpha$; đọc 30 ms, lia 120°/s: nghiêng 5,2°
- Bốn hiện tượng: hình nghiêng, hiệu ứng thạch, sọc ngang, vệt sáng khi có đèn chớp
- Ba cách xử lý: điều chỉnh thao tác, cảm biến xếp chồng, màn trập toàn cục

Ma trận Bayer và khử ghép màu

- Phần lớn máy quay hiện nay dùng một cảm biến phủ mảng lọc màu
- Mỗi điểm ảnh chỉ đo một màu; hai màu còn lại phải nội suy
- Hệ quả: độ phân giải màu thấp hơn độ chói, và vân moiré màu

Mảng lọc màu



Hình 9.36 — Mảng lọc màu Bayer (RGGB) phủ lên lưới điểm ảnh của cảm biến

Nguồn: Cburnett, CC BY-SA 3.0, Wikimedia Commons (truy cập 05/11/2026).

- Điốt quang silic chỉ đếm photon, không phân biệt màu
- Phủ lên mỗi ô một kính lọc cho một dải bước sóng đi qua
- Ô cơ sở 2 × 2: một đỏ, hai lục, một lam

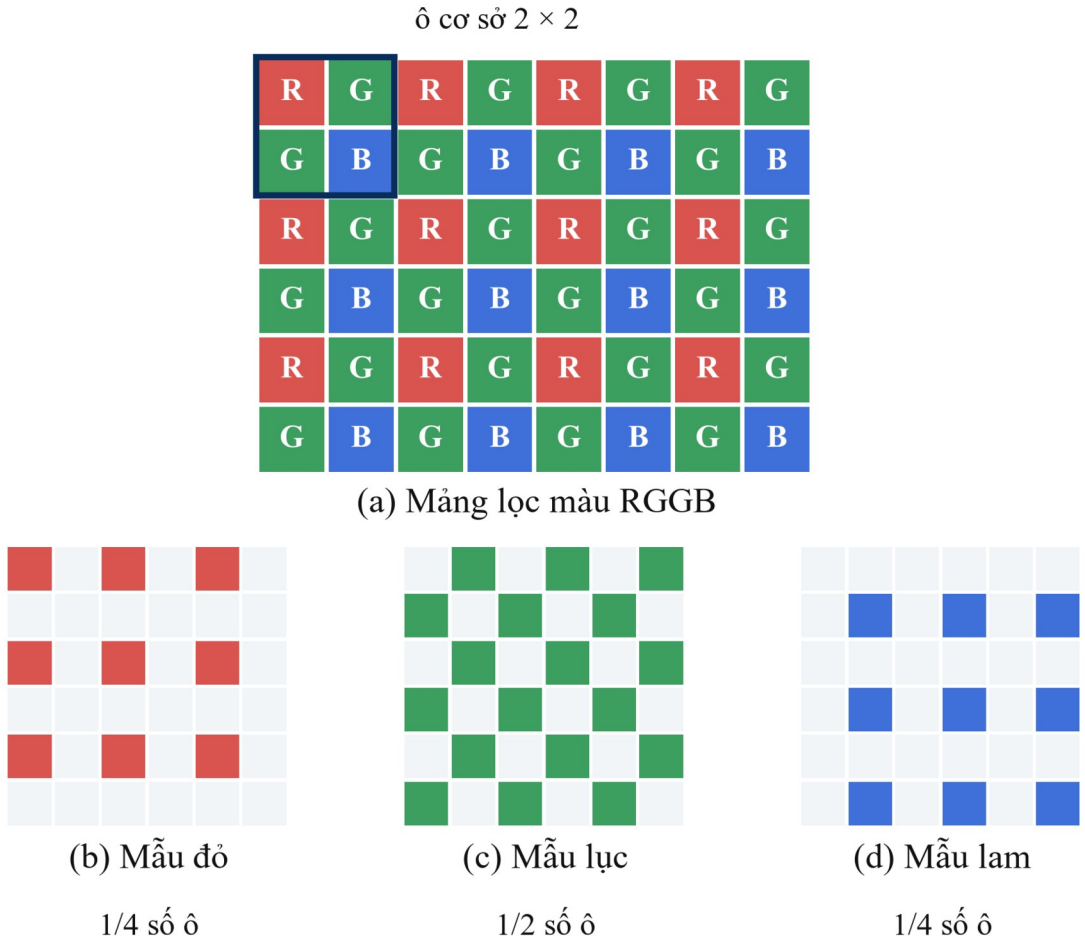
Số ô mỗi màu trong mảng Bayer

N là tổng số ô của cảm biến. Công thức (9.19)

$$N_R = \frac{N}{4} \; ; \; N_G = \frac{N}{2} \; ; \; N_B = \frac{N}{4}$$

- Số ô lục gấp đôi vì mắt nhạy nhất với vùng lục
- Cũng là lý do hệ số của G trong phương trình độ chói lớn nhất
- Cấp cho lục gấp đôi số ô nghĩa là cấp cho thông tin độ chói độ phân giải cao nhất

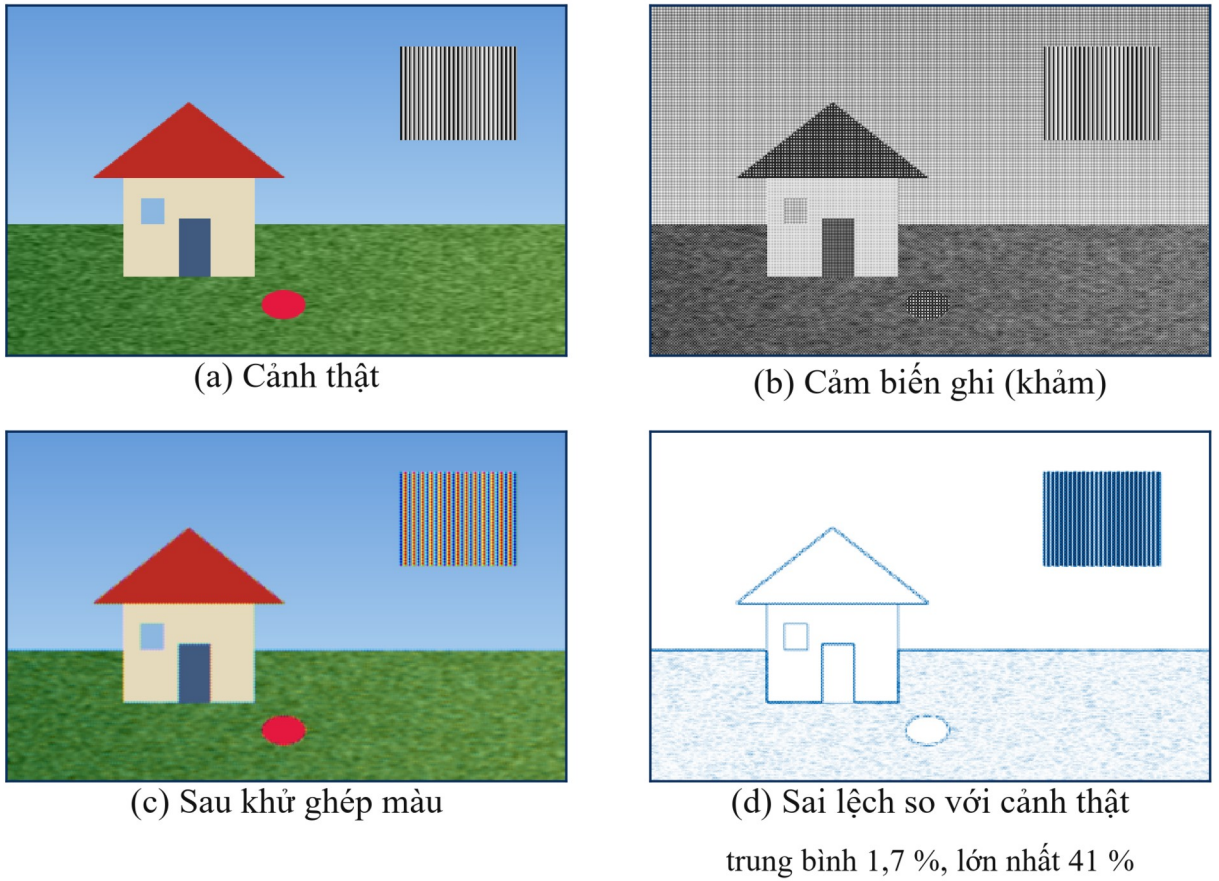
Mảng Bayer kiểu RGGB



Hình 9.37 — Mảng lọc màu Bayer kiểu RGGB

Khử ghép màu

- Mỗi điểm ảnh đo một màu; hai màu còn lại suy ra từ ô lân cận bằng nội suy: khử ghép màu
- Nội suy khó nhất ở mép tương phản mạnh và vùng hoa văn mảnh
- Đó cũng là nơi sinh răng cưa màu và vân moiré màu



Hình 9.38 — Từ ảnh khảm tới ảnh màu đầy đủ, và bản đồ sai lệch

Con số megapixel nghĩa là gì

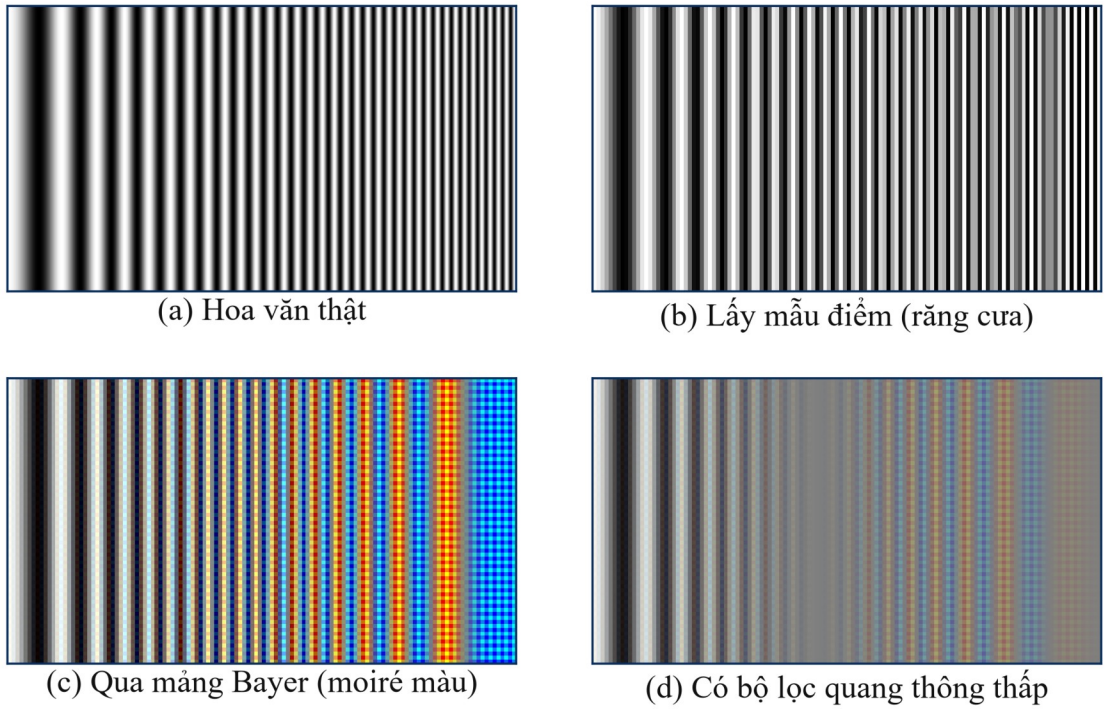
GHI NHỚ

Con số ghi trên máy là số ô, không phải số điểm ảnh có đủ ba màu đo thật.

- Cảm biến 50 megapixel: 25 triệu mẫu lục, 12,5 triệu mẫu đỏ, 12,5 triệu mẫu lam; còn lại là nội suy
- Độ phân giải màu luôn thấp hơn độ phân giải độ chói
- Liên hệ với lấy mẫu con màu ở mục 8.9: cùng khai thác một đặc điểm của mắt người

Moiré màu và bộ lọc quang thông thấp

- Ba màu được lấy mẫu ở ba lưới lệch nhau: vân giả sai cả hình lẫn màu
- Bộ lọc quang thông thấp: tấm tinh thể lưỡng chiết tách mỗi tia sáng thành hai tia lệch nhau một bước lưới
- Ảnh nhoè vừa đủ để tần số vượt giới hạn không lọt qua
- Đúng nguyên tắc lọc trước khi lấy mẫu (mục 8.3)



Hình 9.39 — Vân moiré màu sinh ra thế nào, và bộ lọc quang thông thấp chữa ra sao

Một đánh đổi có thật, không có đáp án đúng chung

Có bộ lọc

- Hết vân giả
- Ảnh mềm hơn một chút
- Máy quay điện ảnh thường giữ lại: hay gặp trang phục hoa văn, không có cơ hội quay lại

Không có bộ lọc

- Ảnh sắc nét hơn
- Vải hoa văn mảnh, mái ngói xa sinh vân giả không sửa được
- Nhiều máy ảnh đời mới bỏ vì độ phân giải đã rất cao

Vài cách bố trí mảng lọc màu khác

Cách bố trí	Nguyên lý	Được và mất
X-Trans	Ô cơ sở 6 × 6, xếp không tuần hoàn theo hàng và cột	Giảm moiré không cần bộ lọc quang thông thấp; khử ghép màu phức tạp hơn
Foveon ba lớp	Ba lớp cảm quang chồng nhau; bước sóng khác nhau xuyên vào silic tới độ sâu khác nhau	Không cần khử ghép màu nên màu chính xác; chậm và kém ở ISO cao
Cảm biến đơn sắc	Bỏ hẳn mảng lọc màu	Nhạy sáng và sắc nét hơn hẳn nhưng chỉ cho ảnh đen trắng; dùng trong khoa học

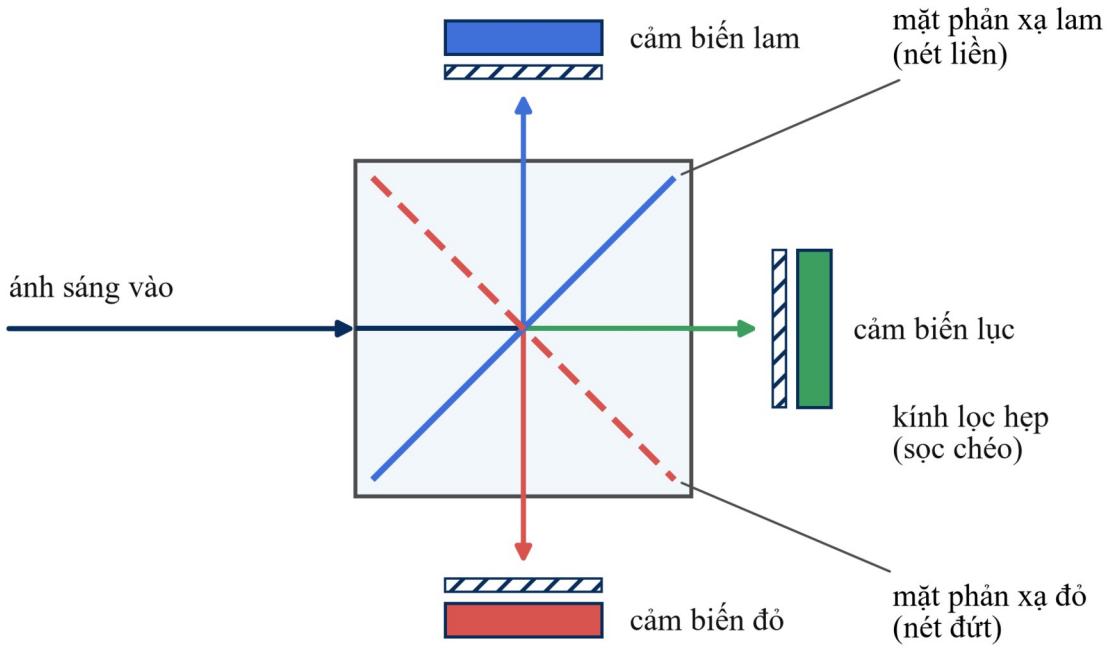
Những điều cần nhớ

- Bayer: ô 2 × 2 gồm một đỏ, hai lục, một lam; $N_G = N/2$
- Khử ghép màu nội suy hai màu còn lại; megapixel là số ô, không phải số điểm ảnh đủ màu
- Moiré màu chữa bằng bộ lọc quang thông thấp, đổi lại ảnh mềm hơn
- X-Trans, Foveon, đơn sắc là các cách bố trí khác

Máy quay ba cảm biến

- Khối lăng kính lưỡng sắc tách ánh sáng thành đỏ, lục, lam
- Mỗi điểm ảnh có đủ ba màu đo thật
- Vì sao điện ảnh không dùng cấu trúc này

Khối tách màu bằng lăng kính lưỡng sắc



Hình 9.40 — Khối tách màu bằng lăng kính lưỡng sắc

- Hai bề mặt lưỡng sắc phản xạ ánh sáng đỏ và lam; ánh sáng còn lại truyền thẳng tới cảm biến lục
- Các bộ lọc nhỏ trước cảm biến đỏ và lam thu hẹp đặc tuyến ở biên vùng nhìn thấy

Ba cảm biến so với một cảm biến phủ mảng lọc màu

Tiêu chí	Ba cảm biến	Một cảm biến Bayer
Màu tại mỗi điểm ảnh	Đủ ba màu, đo thật	Một màu đo thật, hai màu nội suy
Độ phân giải màu	Bằng độ phân giải độ chói	Thấp hơn độ phân giải độ chói
Moiré màu	Không có	Có; chống bằng bộ lọc quang thông thấp
Cỡ cảm biến khả thi	Nhỏ, thường 2/3 inch trở xuống	Không giới hạn, tới khổ lớn
Lượng sáng thu được	Chia ba đường, mỗi cảm biến nhận ít hơn	Toàn bộ ánh sáng vào một cảm biến
Giá và kích thước	Đắt và cồng kềnh	Rẻ và gọn

Vì sao điện ảnh không dùng lăng kính

- **Cỡ cảm biến.** Mỗi cảm biến phải nhỏ; với Super35 hay toàn khung, khối lăng kính quá to, nặng và đắt
- **Độ sâu trường ảnh.** Cảm biến nhỏ cho vùng nét dày: hợp truyền hình, trái yêu cầu điện ảnh
- **Khoảng cách mặt bích.** Phải chừa chỗ cho lăng kính: ngàm B4 là 48 mm; ngàm PL là 52 mm; ngàm ngắn không lắp được; vòng ảnh ống B4 quá nhỏ cho cảm biến lớn
- Ba lý do đều là vật lý, không phải thị hiếu

Những điều cần nhớ

- Lăng kính lưỡng sắc tách ánh sáng cho ba cảm biến: đủ ba màu đo thật, không moiré màu
- Đổi lại: cảm biến nhỏ, ít sáng hơn mỗi cảm biến, đắt và cồng kềnh
- Điện ảnh không dùng vì cỡ cảm biến, độ sâu trường ảnh và khoảng cách mặt bích
- Máy trường quay 2/3 inch vẫn dùng lăng kính

Nhiễu, ISO gốc và dải động

- Ba khái niệm cho phép so sánh hai máy bằng con số thay vì cảm tính
- Bốn nguồn nhiễu và tỉ số tín hiệu trên nhiễu
- ISO gốc, dual native ISO và dải động đo bằng stop

Bốn nguồn nhiễu của một cảm biến

Nguồn nhiễu	Bản chất	Phụ thuộc vào
Nhiễu bắn photon	Photon tới ngẫu nhiên; số đếm dao động quanh trung bình theo phân bố Poisson	Chỉ lượng ánh sáng; giới hạn vật lý, không khắc phục bằng công nghệ
Nhiễu đọc	Do mạch khuếch đại và bộ biến đổi tương tự sang số	Chất lượng mạch; không phụ thuộc lượng sáng
Dòng tối	Điện tử sinh do nhiệt chứ không do ánh sáng	Nhiệt độ và thời gian phơi sáng; tăng gấp đôi mỗi khi nhiệt độ tăng chừng 7 độ
Nhiễu cố định theo mẫu	Mỗi ô có độ nhạy và độ lệch hơi khác nhau	Đồng đều của chế tạo; hiệu chỉnh được bằng phần mềm

Nhiễu tổng

Ba nguồn nhiễu cộng theo phương sai. Công thức (9.20)

$$\sigma_{\text{tot}} = \sqrt{N_e + \sigma_r^2 + \sigma_d^2}$$

- N_e: phương sai của nhiễu bắn photon, bằng số điện tử
- σ_r: nhiễu đọc; σ_d: nhiễu dòng tối
- Nhiễu bắn photon tỉ lệ với căn bậc hai của số photon

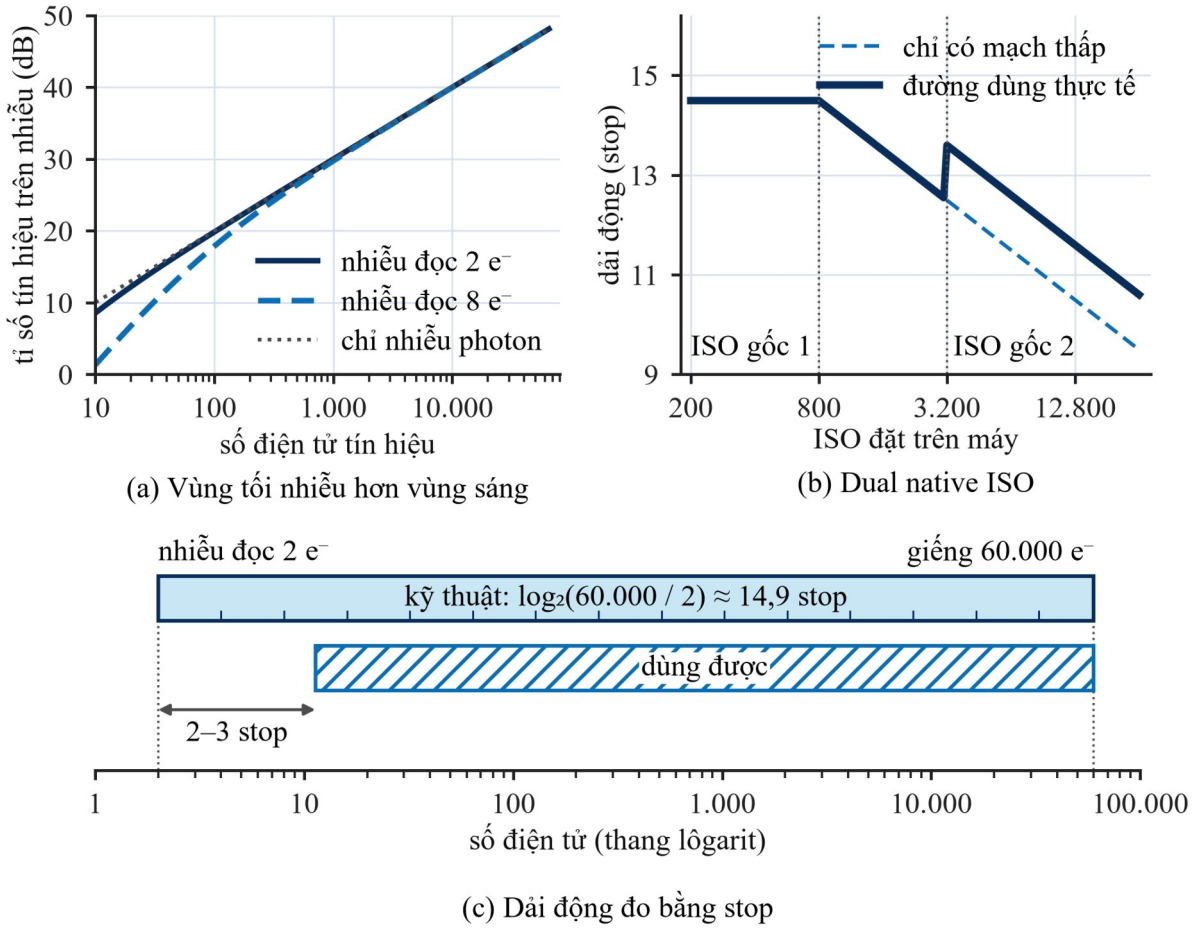
Tỉ số tín hiệu trên nhiễu

N_e là số điện tử tín hiệu. Công thức (9.21)

$$\mathrm{SNR} = 20\log_{10}\frac{N_e}{\sigma_{\mathrm{tot}}} \quad (\mathrm{dB})$$

- Tín hiệu tỉ lệ thẳng với số photon, nhiễu tỉ lệ căn bậc hai
- Vậy SNR tăng theo căn bậc hai của lượng ánh sáng

SNR, dual native ISO và dải động



Hình 9.41 — Tỉ số tín hiệu trên nhiễu, dual native ISO và dải động

Hệ quả quan trọng nhất của công thức này

GHI NHỚ

Vùng tối luôn nhiễu hơn vùng sáng, trong cùng một khung hình và trên cùng một máy.

- Kéo sáng vùng tối khi chỉnh màu thì nhiễu hiện rõ; kéo tối vùng sáng thì nhiễu không đáng kể
- Nguyên tắc: khi có thể, phơi sáng hơi dư rồi kéo xuống ở hậu kỳ, thay vì phơi thiếu rồi kéo lên
- Điều kiện: không để cháy trắng

Tăng ISO không làm cảm biến nhạy hơn

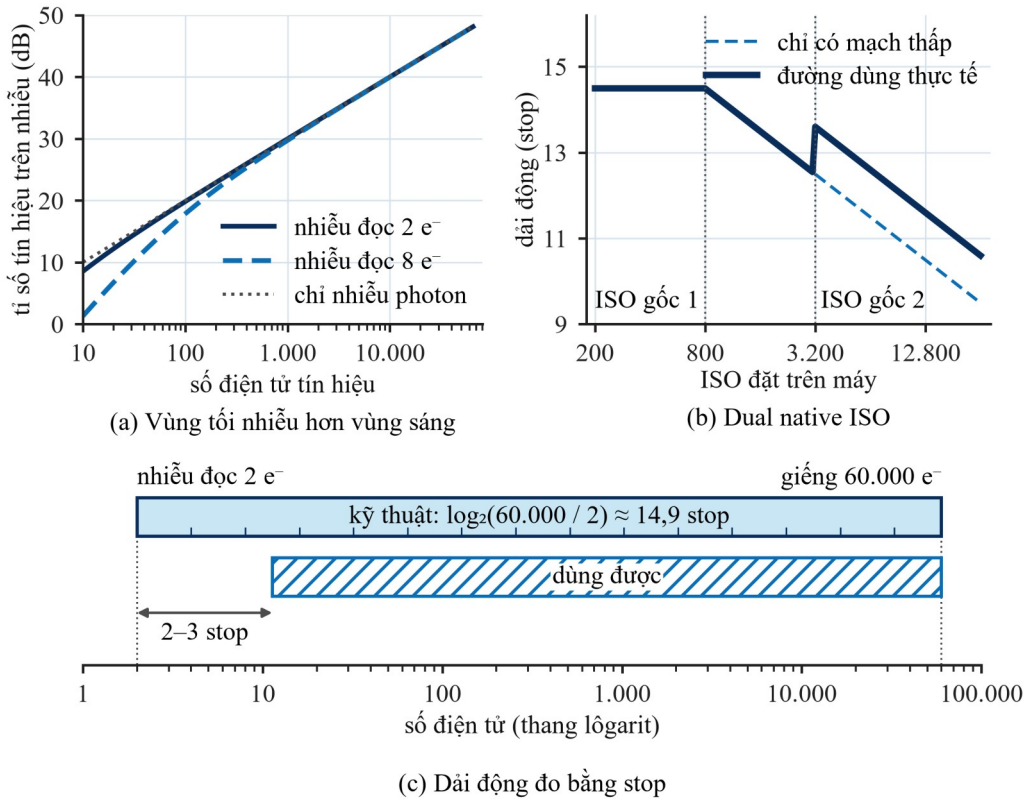
CẢNH BÁO

Cảm biến chỉ có một độ nhạy vật lý. Tăng ISO chỉ là khuếch đại mạnh hơn tín hiệu yếu đã thu, đồng thời khuếch đại cả nhiễu.

- Độ nhạy vật lý do hiệu suất lượng tử và kích thước ô quyết định, không đổi
- ISO gốc: tín hiệu qua mạch khuếch đại với hệ số thấp nhất; dải động lớn nhất, nhiễu ít nhất
- ISO cao hơn: dải động phía vùng sáng giảm dần; thấp hơn ISO gốc: không lợi, đôi khi bất lợi

Dual native ISO

- Máy có hai mạch khuếch đại tương tự riêng biệt, mỗi mạch có một ISO gốc
- Có hai mức ISO cùng sạch
- Quay đêm ở ISO gốc thứ hai sạch hơn hẳn so với đẩy ISO từ mức gốc thứ nhất lên cùng con số
- Hình 9.41(b): đường dải động có chỗ nhô lên tại ISO gốc thứ hai



Hình 9.41 — (b) ở nửa trên bên phải

Dải động đo bằng stop

Dải động là tỉ số tín hiệu lớn nhất ghi được trên mức nhiễu nền. Công thức (9.22)

$$\mathrm{DR} = \log_2 \frac{\mathrm{FWC}}{\sigma_r} \quad (\mathrm{stop})$$

- FWC: dung lượng giếng, σ_r: nhiễu đọc
- Ví dụ: giếng 60 000 điện tử, nhiễu đọc 2 điện tử
- DR = log2(60 000 / 2) = log2(30 000) ≈ 14,9 stop

Hai con số dải động, và con số nào đáng tin

GHI NHỚ

Dải động kỹ thuật tính tới mức nhiễu bằng tín hiệu; dải động dùng được thường thấp hơn hai tới ba stop.

- Con số các hãng công bố thường là con số kỹ thuật, lớn hơn
- Khi so hai máy, xác định con số do ai đo và theo tiêu chí nào
- Phòng thử nghiệm độc lập thường công bố cả hai loại: nguồn đáng tin để so sánh

Những điều cần nhớ

- Bốn nguồn nhiễu: bắn photon, đọc, dòng tối, cố định theo mẫu
- Nhiễu bắn photon không khắc phục được; vùng tối luôn nhiễu hơn vùng sáng
- ISO không tăng độ nhạy; ISO gốc cho dải động lớn nhất; dual native ISO có hai mức sạch
- DR = log2(FWC / σ_r); ví dụ 60 000 e và 2 e cho khoảng 14,9 stop; dải động dùng được thấp hơn 2 – 3 stop

Bài thực hành số 3 — cảm biến, màn trập cuốn và nhiễu

- Mục tiêu: tái tạo được bằng thiết bị sẵn có ba hiện tượng vừa học
- Đo được ISO gốc của chính chiếc máy đang sử dụng
- Thiết bị mỗi nhóm: máy quay đặt được ISO và màn trập thủ công, chân máy, quạt hoặc vật quay nhanh, bóng đèn LED thông thường, phần mềm dựng có thể đo nhiễu hoặc phóng to ảnh

Bốn phần của bài thực hành số 3

Phần	Việc phải làm	Kết quả cần rút ra
1. Màn trập cuốn khi lia	Máy trên chân, trước hàng cột thẳng đứng; lia ngang ba tốc độ chậm, vừa, nhanh; dừng hình đo góc nghiêng	Góc nghiêng tăng theo tốc độ lia; so với công thức (9.18) để suy ngược thời gian đọc của máy
2. Sọc do đèn nhấp nháy	Quay đèn LED rẻ tiền ở màn trập 1/50, 1/60, 1/100, 1/250, 1/500 giây, giữ 25 hình/giây	Ghi lại tốc độ an toàn của chính bóng đèn ấy
3. Nhiễu theo ISO	Cảnh có vùng sáng và vùng tối sâu; giữ nguyên phơi sáng bằng bù khẩu hoặc ND; dãy ISO tăng dần, mỗi mức 5 giây	Nhiễu tăng theo ISO, nhanh nhất ở vùng tối; đối chiếu công thức (9.21)
4. Tìm ISO gốc	So nhiễu vùng tối giữa các mức ISO liền kề; tìm chỗ nhiễu đột ngột giảm hoặc không tăng	ISO gốc thứ hai nếu có dual native ISO; nếu không, ISO gốc là mức thấp nhất mà nhiễu chưa tăng

Sản phẩm nộp

- Bảng góc nghiêng đo ở ba tốc độ lia, kèm thời gian đọc suy ra
- Bảng tốc độ màn trập và mức độ sọc của bóng đèn đã thử
- Dãy ảnh cắt vùng tối ở các mức ISO, đặt cạnh nhau
- Kết luận về ISO gốc của máy

Lưu ý về độ tin cậy của phép đo

CẢNH BÁO

Phần 1 cho kết quả gần đúng vì tốc độ lia bằng tay không đều: quay vài lần và lấy trung bình.

- Phần 3 phải giữ nguyên phơi sáng khi đổi ISO; cách chắc chắn nhất là bù bằng kính ND
- Phần 4 quan sát ảnh gốc ở tỉ lệ một trên một, không qua màn hình nhỏ hoặc ảnh đã nén

Những điều cần nhớ

- Ba hiện tượng được tái tạo bằng thiết bị sẵn có: nghiêng, sọc đèn, nhiễu theo ISO
- Công thức (9.18) cho phép suy ngược thời gian đọc của máy
- Tốc độ màn trập an toàn dưới đèn lạ do chính phép thử xác định
- ISO gốc tìm bằng so nhiễu vùng tối giữa các mức ISO

Hết Phần C: Cảm biến ảnh

Ánh sáng đã thành điện tích rồi thành con số.

Phần D chuyển sang vận hành: phơi sáng cho video, góc màn trập và quy tắc 180 độ, cân bằng trắng, công cụ hỗ trợ, picture profile, log và RAW (mục 9.24 – 9.30).