

Cámaras

Tipos de cámaras

1. Cámaras de área (las más comunes). Son una matriz cuadrada de píxeles
Cada elemento traduce de fotones a electrones
2. Cámaras de línea
3. Cámaras termográficas (con microbolómetros)
4. Cámaras de TOF (Time Of Flight) – Cámaras 3D, ven una nube de puntos
5. Cámaras inteligentes

fps: frames por segundo

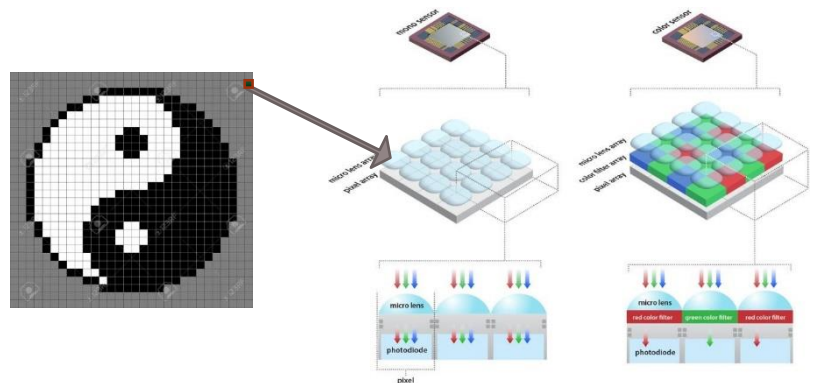
Resolución

Sensor dividido en píxeles

Los cuadrados celestes son microlentes. En gral. se colocan microlentes arriba del sensor para poder concentrar la luz hacia el mismo y captar más.

Izq: sensor monocromo

Der: sensor color que tiene interpuesto un filtro de mosaico de tipo Bayer.



Hoy en día, son habituales **sensores con una resolución de 2, 5, 8 o 12 megapíxeles**, aunque resoluciones superiores son posibles (usualmente con otra montura distinta de C -mount)

▪ Las **cámaras lineales industriales** tienen sensores que van de los 512 píxeles a los 12888 píxeles (12k) de manera estándar con una frecuencia de lectura de 23kHz

Tamaño del sensor y de pixel

El desarrollo tecnológico avanzado de los sensores **CCD** y **CMOS** permite la producción de estructuras de semiconductores cada vez más pequeños

→ Los tamaños de sensor y píxel se reducen

→ La sensibilidad de los píxeles mejora cada vez más, al igual que se optimiza el rendimiento de ruido de la electrónica

▪ Los datos en pulgadas de los sensores CCD y CMOS tienen una explicación histórica: los tubos de captación de las cámaras de televisión se utilizaron hasta mediados de la década de 1980 y fueron por mucho tiempo superiores a los sensores CCD o CMOS que se inventaron a fines de la década de 1960.

▪ Que cosas hay que evaluar en cuanto a la operación?

1. ¿Habr  poca luz?
2. ¿se requiere poco ruido con alta respuesta dinámica?
3. ¿se necesita realizar mediciones de precisión?

En todos estos casos, un sensor con píxeles más grandes suele ser la mejor opción.

Sensores CCD

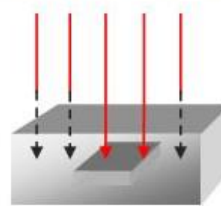
CCD (charge-couple device): Inventado en 1969 en los Laboratorios Bell por Willard Boyle y George E. Smith. Fue creado para almacenamiento de datos, pero se le termin  encontrando aplicación en el campo de la visión.

▪ Transportar las cargas generadas al exponer un semiconductor debido al efecto fotoeléctrico por medio de una gran cantidad de pequeños pasos (registros de desplazamiento vertical y horizontal) a un conversor A/D central.

▪ Las frecuencias a las que funcionan los CCD hoy en día son de aproximadamente 20 a 75 MHz (frecuencia del A/D).

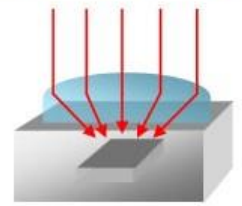
CCD sin microlente

 rea activa a la luz ~ 30%



CCD con microlente

 rea activa a la luz ~ 80%



Diseños t picos:

1. **Interline transfer:** Diseño más utilizado.  rea de guardado al lado de cada píxel. Altos fps.
2. **Full frame transfer:** factor de ocupación ~ 100% - aplicaciones científicas y astronómicas. Muy bajo fps.
3. **Frame transfer:** Doble cantidad de silicio, una expuesta al 100% y la otra oculta por detrás. Costosos y con bajo fps debido al smear vertical (ej luces de auto)

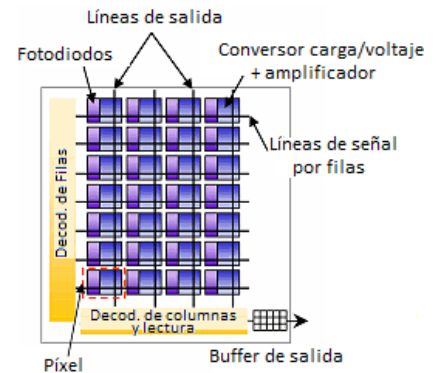
Ventajas	Desventajas
Mayor sensibilidad, menor ruido (mayor factor de ocupación)	Lectura más lenta
Menos píxeles defectuosos (baja complejidad)	Sin acceso directo a píxels
Mejor homogeneidad por presencia de un �nico A/D central	Necesidad de electrónica adicional al sensor (cámaras más caras y grandes)
	Mayor consumo de energía
	Efectos de manchas (smear) y blooming (floraciones) cuando se sobre-expone

Sensores CMOS

CMOS (complementary metal oxide semiconductor).

También se basan en el principio fotoeléctrico pero se diferencian del CCD en la manera de transmitir los datos.

Cada uno de los píxeles convierte la carga en voltaje y además lo amplifica.



- En sus inicios producían imágenes borrosas, con píxeles defectuosos y menos sensibles. Sin embargo, muchos de esos problemas se fueron solucionando y hoy van ganando mercado en la visión industrial.
- Cada elemento de imagen (píxel) está asociado a un amplificador y puede leerse individualmente

Ventajas

- Menor consumo de energía
- Menor tamaño de cámaras
- Velocidad de cuadro más alta
- Lectura flexible (Binning, AOI)
- Floración reducida
- Mayor sensibilidad al NIR

Desventajas

- Diferencias de sensibilidad entre píxeles debido a tolerancias de construcción
- Factor de relleno menor, por lo tanto, menor sensibilidad a la luz

Tipo de obturador

Las cámaras industriales modernas tienen escaneo progresivo (no entrelazado). Dentro de este hay dos opciones:

1. Obturador global (global shutter): Exposición de TODOS los píxeles al mismo tiempo (y posterior lectura)

- a. El "obturador" global vacía simultáneamente todas las cargas de píxeles
- b. La imagen de captura simultáneamente en todo el sensor y se almacena en líneas adicionales no expuestas. Fabricación más cara
- c. Permite obtener imágenes nítidas y fijas

2. Obturador de persiana enrollable (rolling shutter): Se expone (y se lee) línea por línea de arriba hacia abajo. Escaneo progresivo del sensor.

- a. Método simple y barato para leer sensores CMOS
- b. Menor costo de producción, aunque la calidad de imagen puede ser mejor porque hay más espacio para área sensible
- c. No se capturan bien imágenes con movimientos muy cortos.

Funciones de disparo

Las cámaras industriales no suelen tener disparador mecánico, el sensor está expuesto de manera continua

1. Disparo por hardware (externo: entrada digital, PLC, sensor, etc.)

2. Disparo por software (programado en la aplicación de visión)

- En ambos casos todas las cargas se eliminan (limpian) inmediatamente después de la señal de disparo.

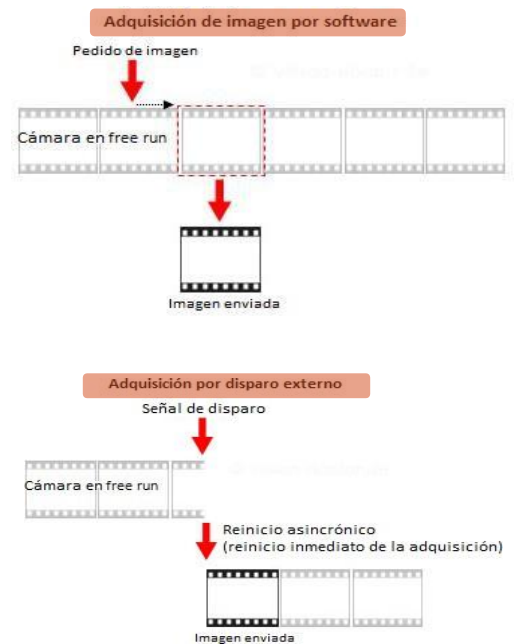
- En el caso de disparo externo hay también varios tipos de configuraciones:

1. Trigger con tiempo de exposición fijo

2. Control de ancho de pulso (cámaras analógicas)

3. Multi-triggers y buffer de imágenes (con texp definidos)

4. Post-triggers y buffer de imágenes (devuelve imágenes anteriores)



Funciones de lectura

Los sensores CCD de alta resolución leen varias porciones del sensor en paralelo para aumentar la velocidad de cuadro (Multitap)

- Es necesario calibrar la imagen en negro y en blanco dado que ningún A/D en cada canal de salida es idéntico al otro

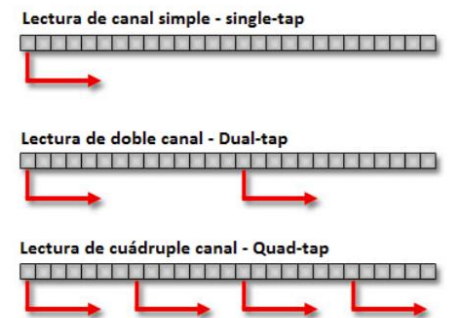
- Los sensores de tipo CMOS en los que se puede leer cada píxel individualmente se puede decir que están "multi-tapeados" al extremo

- AOI/ROI (Area of interest /Region of interest):** Permite hacer lecturas parciales del sensor.

[Recordar que en sensores CCD se debe leer toda la línea]

- Binning:** Sumado de píxeles vecinos. Dependiendo la cámara esto podrá realizarse: vertical, horizontal o ambos. Y en cantidad: x1, x2, x4, etc.

[Como consecuencia baja la resolución, pero aumenta la sensibilidad equivalente del sensor y aumentan los fps máximos]



Electrónica de la cámara

A pesar de contar con dos cámaras con idéntico sensor, sus capacidades pueden ser muy distintas dependiendo de la electrónica que diseñe el fabricante para manejarlo.

Consecuencias:

1. Mayor eficiencia del diseño → Menor temperatura → Menor ruido térmico

2. Capacidades y características diferentes

Rango dinámico

- Los niveles de señal del sensor se miden en dB (Se duplica el rendimiento cada 3dB)

- Rango típico de CCDs: 50dB a 80dB

n-bits	Niveles de gris	dB
8 bits	256	48
10 bits	1024	60
12 bits	4096	72
14 bit	16386	84

Relación señal ruido. El ruido puede provenir de:

1. Agitación térmica de electrones en conductores eléctricos
2. Ruido de digitalización
3. Ruido del sensor
4. Ruido de los demás componentes electrónicos

SNR: señal a ruido (signal to noise rate)

$$SNR = 10 \log \left(\frac{S}{N} \right)$$

El SNR en cámaras CCD industriales típicos es de 56dB

Capacidad de pozo (full well capacity)

- Representa la cantidad de electrones que puede contener un elemento de píxel.
- A mayor capacidad de pozo mejor relación señal/ruido

Eficiencia cuántica (rendimiento cuántico)

- Indica con qué probabilidad se libera un electrón por efecto fotoeléctrico (se detecta un fotón). Depende de λ .

Corriente oscura y píxeles calientes

- Con el sensor tapado (sin estimulación de luz) igual aparecen señales débiles
- Se debe a la formación de portadores libres de carga (corriente oscura)
- Depende de la temperatura y se mitiga con enfriamiento
- Los píxeles con corriente oscura alta se ven brillantes (**hot pixels**)
- Se puede calibrar la cámara para homogeneizar o interpolar, en caso de hot pixels

Funciones de procesamiento

Las cámaras USB, FireWire y GigE (y cámaras inteligentes) no precisan una placa de adquisición especial para transferir sus datos, por lo que muchas funciones que anteriormente se hacían ahí, ahora se integran dentro de la misma cámara.

- **LUT (Look Up Tables):** Permiten definir una tabla de conversión para el nivel de brillo de los píxeles. Esto puede utilizarse para realizar correcciones, mejorar el contraste u obtener una imagen en negativo.
- **Corrección de sombreado:** Se realiza de manera espacial en el sensor y permite corregir efectos de viñeteado, iluminación inhomogénea, sombreado relacionado con el ángulo de incidencia en micro-lentes.
- **Corrección de error de píxel:** Para píxeles defectuosos (más brillantes u oscuros) se puede dar un valor por interpolación con vecinos. Esto suele hacerlo el fabricante (sin embargo el envejecimiento podría hacer aparecer nuevos)
- **Conversión Bayer a RGB:** Para transmitir imágenes en color hay que previamente convertir la imagen desde la captada a través del filtro de Bayer a color.

Cámaras monocromáticas

En la industria son el “caballito de batallas” – No se necesitan cámaras de color

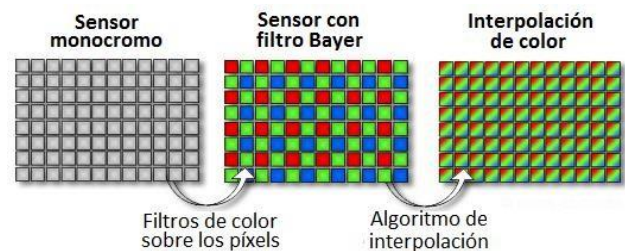
- Presentan alta resolución de sensor y, por ende, de detalles
- Cantidad de datos menor que cámaras color
- Alta sensibilidad (toda la luz incide sin filtros)

Los sensores CCD tienen alta linealidad y homogeneidad (especialmente en aplicaciones de medición e inspección).

Los sensores CMOS son muy resistentes a la sobre-exposición (inspección de partes metálicas o con brillos) y entregan altos fps.

Cámaras color

- Las cámaras color de **un solo chip** generan color RGB (3x8bits → 16,7 millones de colores) por medio de la utilización de un filtro tipo mosaico -> **Filtro Bayer**



1. Los píxeles toman el valor de la componente según el filtro antepuesto (R, G, B). El valor de las otras dos componentes se realiza por interpolación con los píxeles vecinos (en núcleos de 2x2 ó 3x3)

2. La interpolación de Bayer produce artefactos, efectos de borde y pseudo-colores.

Para suprimir estos efectos se pueden realizar cálculos complejos (computacionalmente más pesados) y utilizar distintos algoritmos (vecino cercano, lineal, cúbico, etc.) para mitigar los efectos de borde

3. Por la interpolación color se puede perder hasta un 30% de la resolución fina

4. La cantidad de datos es 3 veces mayor a la de un sensor monocromático de igual resolución

5. Los filtros de color Bayer reducen la sensibilidad en hasta un 75%

Interpolación de Bayer

Pixel azul	Pixel verde	Pixel rojo
interpolación de valor verde y rojo	interpolación de valor azul y rojo	interpolación de valor azul y verde
Red = $(R1 + R2 + R3 + R4) / 4$ Blue = Blue Green = $(G1 + G2 + G3 + G4) / 4$	Red = $(R1 + R2) / 2$ Blue = $(B1 + B2) / 2$ Green = Green	Red = Red Blue = $(B1 + B2 + B3 + B4) / 4$ Green = $(G1 + G2 + G3 + G4) / 4$

▪ Transmisión de la información color:

1. RGB: La conversión de Bayer se hace on-board (en gral con una FPGA) y se transmiten 24bits (en caso de cámara de 8bits)

2. YUV: Solo requiere 16 bits

3. Bayer Raw: Sin procesar. La conversión queda para una tarjeta de adquisición intermedia o la misma PC