
CAMARAS DE MEDICION

ADALBERTO GABRIEL DIAZ

- Ingeniero Electrónico Universidad Pontificia Bolivariana
- Especializado en Control Automático Universidad de Bochum- Alemania
- Profesor Universidad EAFIT

CAMARAS DE MEDICION

La historia de la metrología se ha desarrollado paralelamente a la evolución dinámica de los seres vivos: es preciso medir el terreno para ejecutar una acción o movimiento, cuantificar las cosas y registrar los fenómenos físicos.

Los cuerpos oscuros al ser iluminados reflejan ciertas gamas de luz y los cuerpos brillantes generan luz propia. La visión permite la observación de estos cuerpos, al procesar imágenes formadas en el iris del ojo, capturándolas en forma de impulsos eléctricos y registrándolas en el cerebro. Popularmente se ha llamado "ojimetría" a la actividad de realizar mediciones visuales, aunque muchas veces son estimativas.

Las cámaras de visión han sido la mejor imitación de este interesante sistema de medición; y con el apoyo de los computadores, se ha llegado a modelos muy ideales.

La función de un fotosensor es la generación de señales eléctricas que describan exactamente la imagen enfocada en una superficie fotosensible de varios elementos (pixels), los cuales son muestreados rápidamente para generar una señal de salida variable en el tiempo, de acuerdo a la variación de intensidad luminosa.

La metrología óptica permite dimensionar geoméricamente un objeto: su distancia, altura y ancho, levantar contornos y lograr la identificación del perfil y relieve de un objeto. Con la selección apropiada de filtros y elementos fotosensores se puede lograr la identificación de algunas características ambientales como color, temperatura, radiación, etc.

Un sistema óptico consiste de un sistema de lentes y una superficie fotosensora donde se forma la imagen del objeto.

En la figura 1 se ilustra el principio clásico del funcionamiento de un sistema óptico, el cual es similar al sistema de visión de los seres vivos; su aplicación se hace en cámaras fotográficas, visión, proyectores de películas, microscopios, telescopios, etc. (figura 1).

El objeto es el cuerpo real que emite o refleja radiaciones y la imagen es una proyección del objeto en el lugar donde se cruzan los rayos de tal forma que si se coloca una superficie plana en este lugar se puede apreciar perfectamente un duplicado a escala de dicho objeto. Esta imagen se puede registrar en una placa fotográfica, o una superficie fotosensora como en las cámaras de visión, o una pantalla gigante de cine.

El análisis geométrico del anterior sistema óptico está relacionado en las siguientes formulaciones:

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{do} + \frac{1}{di}$$

f = distancia focal propia del lente

do = distancia entre lente y el objeto

di = distancia entre la lente y el lugar donde se forma la imagen.

Otra expresión es:

$$\frac{o}{i} = \frac{do}{di}$$

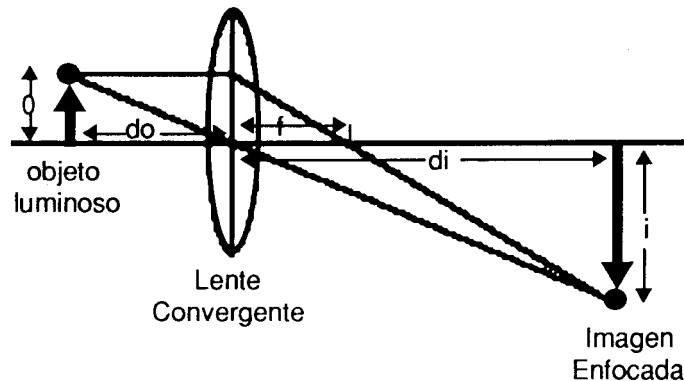


Figura 1

- o = es el tamaño del objeto visto
- i = es el tamaño de la imagen formada
- do = es la distancia entre objeto y lente
- di = es la distancia entre lente y placa detectora de imagen.

$$\tan(\theta) = \frac{i}{di}$$

θ es el ángulo entre la línea de visión a un punto y el eje de la cámara.

Las características ópticas del objeto, cuando el sistema está ajustado correctamente, son reproducidas proporcionalmente en la imagen, la cual puede ser registrada en una película fotográfica o en la superficie de un elemento fotosensor, de donde se puede calcular las dimensiones del objeto conociendo las características geométricas de la cámara que la capturó. Estas aplicaciones se han desarrollado en varios campos de la ciencia; astronomía, medicina, topografía, etc.

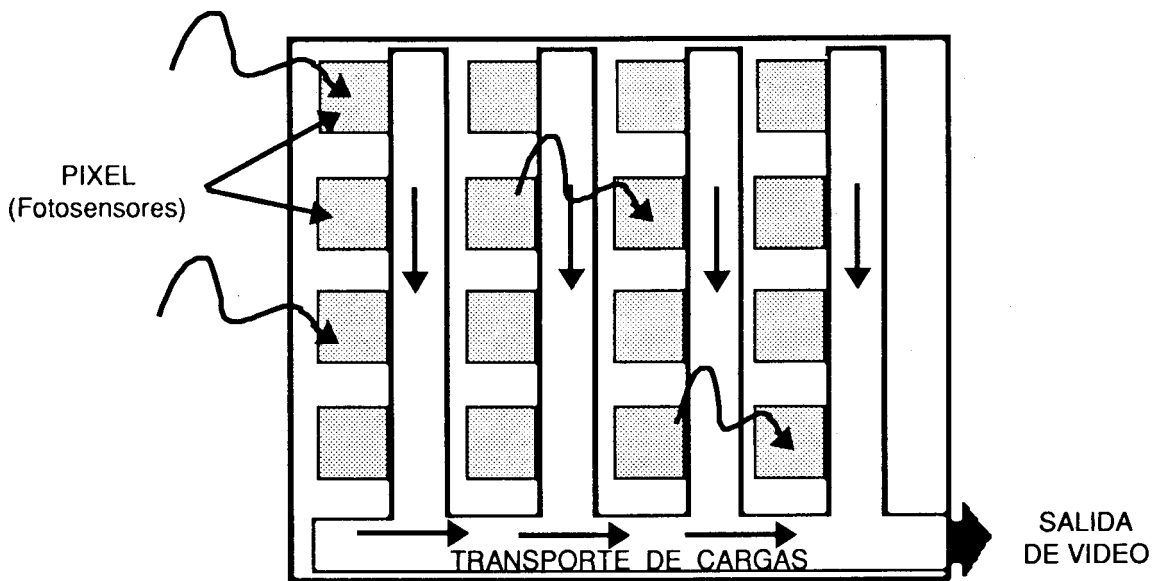
El desarrollo de la metrología óptica se ha logrado con el dinamismo de adquisición y registro de imágenes con cámaras de video, utilizando vidiciones y chips de tecnología CCD.

TECNOLOGIA CCD (CHARGE COUPLED DEVICES)

El desarrollo de dispositivos de estado sólido ha permitido la creación de fotoelementos sensibles a los fotones de luz, generando la liberación de cargas eléctricas. Similarmente a un Shift Register, los paquetes de carga son desplazados serial y simultáneamente a lo largo de la superficie semiconductora, cuando es aplicada una señal de clock por medio de electrodos. La carga varía de un paquete a otro, generándose corrientes 0.1 a 10 nA/cm². Los paquetes de cargas eléctricas son finalmente capturados por un electrodo, el cual conecta a un amplificador que captura la carga y la convierte en una señal de alto nivel de voltaje. (figura 2).

Un chip CCD posee una cantidad de elementos fotosensores; en arreglos lineales o superficiales, con cantidades de pixels, típicamente 128 a 3456 pixels por línea o superficies hasta varios millones de pixels y resoluciones de 15 a 400 pixels/pulgada uniformemente distribuidos, el tamaño de un pixel es 5 a 13 μm y la sensibilidad de carga promedio es 0,06A/watt.

Otra característica importante es la alta velocidad de respuesta de estos elementos, lo cual permite la



CHIP CCD

Figura 2

captura muy rápida de las imágenes, típicamente 10 millones de pixels/seg.

Todas estas características en un fotosensor, hacen un sistema de medición óptico muy confiable.

ADQUISICION DE IMAGENES

Las imágenes formadas en la superficie CCD con diferentes niveles de iluminación por cada pixel, son capturadas con ayuda de un circuito de control que maneja adecuadamente este chip (figura 3).

Los valores análogos correspondientes a la intensidad luminosa, son digitalizados con la ayuda de un conversor A/D de alta velocidad, repitiéndose secuencialmente el proceso para todos los elementos del chip, los cuales se registran en la memoria del computador, generando un archivo de imagen digitalizada; es entonces cuando la escena queda enmarcada en un plano de coordenadas espaciales.

PROCESAMIENTO DE LA IMAGEN

El objetivo del procesamiento de una imagen es la extracción de su información y para tal fin se han desarrollado técnicas de procesamiento de imágenes para mejorar la interpretación, calcular dimensiones y poder realizar un control automatizado.

Cada pixel es una función bidimensional de la intensidad luminosa $f(x,y)$, donde f es la intensidad de luz en las coordenadas (x,y) . Los valores mínimos

corresponden a tonos grises tendiendo al negro y los valores altos corresponden a tonos brillantes tendiendo al blanco, los tonos intermedios tienen su correspondiente valor. El número de niveles de tonos que se debe considerar, definen el tamaño de cada registro de información por pixel; la cantidad de tonos posibles por pixel es 2^n , donde n es el número de bits de cada registro. La imagen capturada se registra en un archivo de M filas por N columnas.

$$F(x,y) = \begin{bmatrix} f(0,0) & f(0,1) & f(0,2) & \dots & f(0,N-1) \\ f(1,0) & f(1,1) & f(1,2) & \dots & f(1,N-1) \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ f(M-1,0) & f(M-1,1) & f(M-1,2) & \dots & f(M-1,N-1) \end{bmatrix}$$

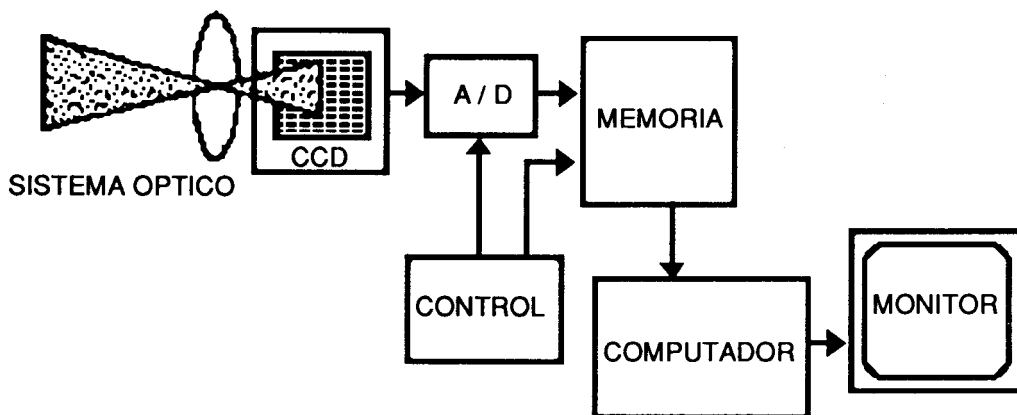
Con el procesamiento de la imagen digitalizada se pueden calcular las dimensiones de los objetos tales como tamaños, distancias, contornos, etc.

AUTOENFOQUE

El proceso de enfoque permite que, de acuerdo con las características del sistema de visión, la cámara esté correctamente ajustada, para que el sistema de telemetría realice cálculos muy confiables.

Existen muchos algoritmos de autoenfoco.

- a. **Determinación de la distancia con ultrasonidos:** Este método consiste en la medición de la distancia entre la cámara y el objeto, midiendo el tiempo de recorrido de una onda de ultrasonido desde la cámara al



SISTEMA DE ADQUISICION DE IMAGENES

Figura 3

objeto y su regreso al chocar con éste. Este método está condicionado naturalmente al medio de difusión: aire, vacío, agua, rebotes con otros cuerpos reflectores, generación de ruidos, etc.

desenfocadas, esto es, cambios más bruscos de iluminación.

Un histograma es un gráfico que indica la cantidad de pixels que tienen los mismos valores de iluminación.

En los histogramas de la figura 6, se puede observar que en la imagen enfocada, los pixels se aglutinan en las zonas de mayor y menor brillo; en cambio en la imagen desenfocada la iluminación es más homogénea en todos los pixels. Un análisis estadístico permite ver que el valor medio de la intensidad de luz en los pixels corresponde al valor medio de iluminación de la región en trabajo. Cuando la imagen está desenfocada, el valor de intensidad lumínica en cada pixel se acerca al valor medio anteriormente calculado; pero al hacer un ajuste óptico enfocando la cámara, se va a notar que el valor de iluminación de cada pixel se aleja del valor promedio, haciendo que la imagen enfocada presente un mayor contraste.

- b. **Detección de fase de un mismo rayo:** Con un par de lentes gemelas se concentran los rayos de un punto luminoso sobre el chip CCD en puntos equidistantes al eje del sistema óptico; previamente se tiene identificada la zona de pixels sobre los cuales se deben concentrar los rayos al tener una imagen enfocada (figura 4).
- c. **Análisis de la Imagen:** Para comprender este análisis supóngase que el objeto es un punto luminoso, como se observa en la figura 5. La imagen que se forma en el lugar de enfoque presenta contrastes mayormente definidos que las imágenes que se forman en zonas

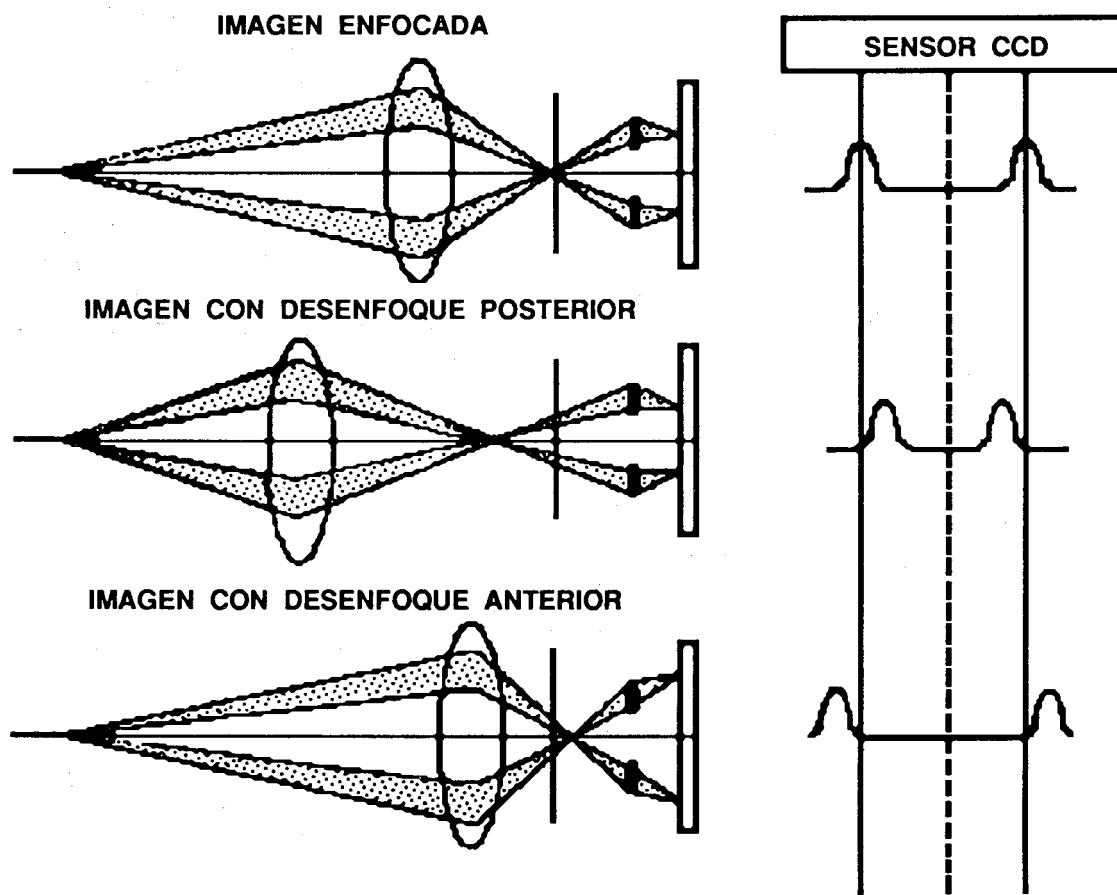
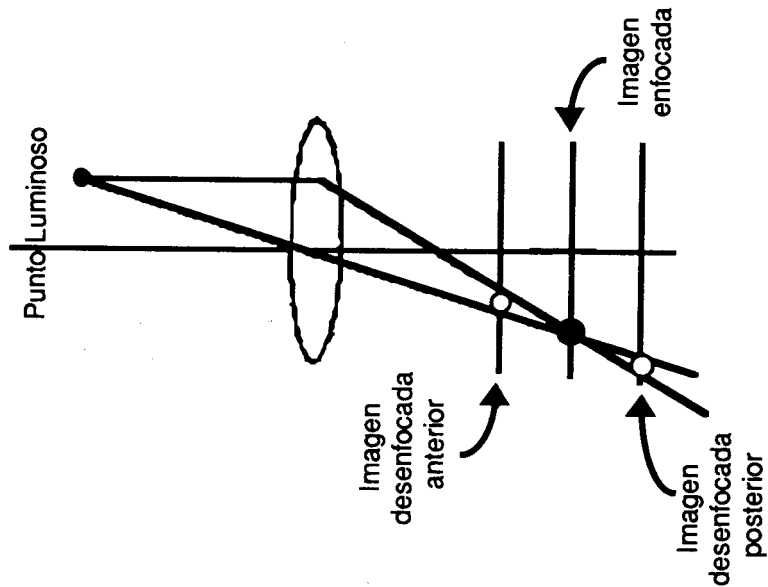


Figura 4



ENFOQUE DE UN PUNTO LUMINOSO

Figura 5

La desviación de los valores con respecto al valor medio se mide calculando la varianza con estos puntos:

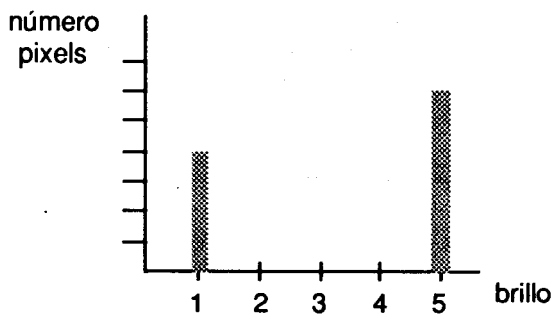
$$\sigma = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{i=k} n_i (x_i - x)^2$$

En la figura 7 (a) se indica el valor de iluminación de pixels en una región de la imagen enfocada de un punto luminoso, y en la figura 7 (b) se indican los valores de iluminación al desenfocar ligeramente la imagen.

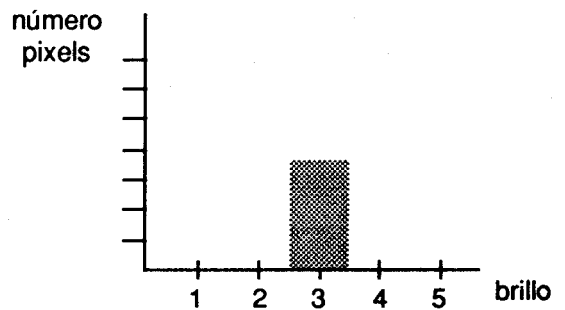
De los resultados gráficos de la figura 7, se puede decir que los valores más altos de la varianza indican que la cámara está mejor enfocada.

Un análisis de frecuencias de las imágenes, utilizando las series de Fourier indicará que el espectro se va a extender a altas frecuencias en la imagen que mejor enfocada se encuentra.

Para realizar una acción de control o regulación de autoenfoco, se requiere computadores poderosos y rápidos con software óptimo y de ejecución rápida.

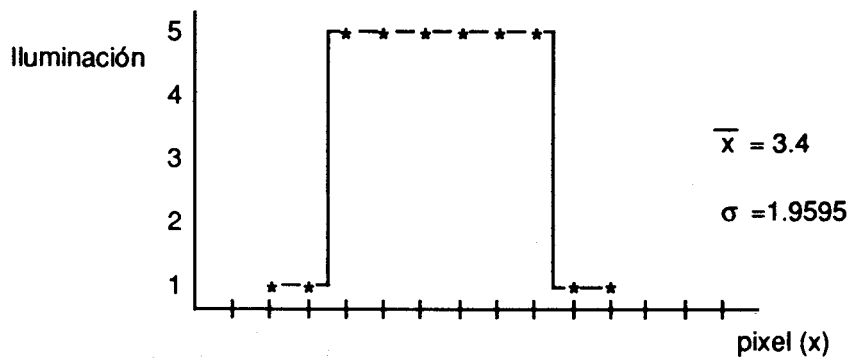


(a) imagen enfocada

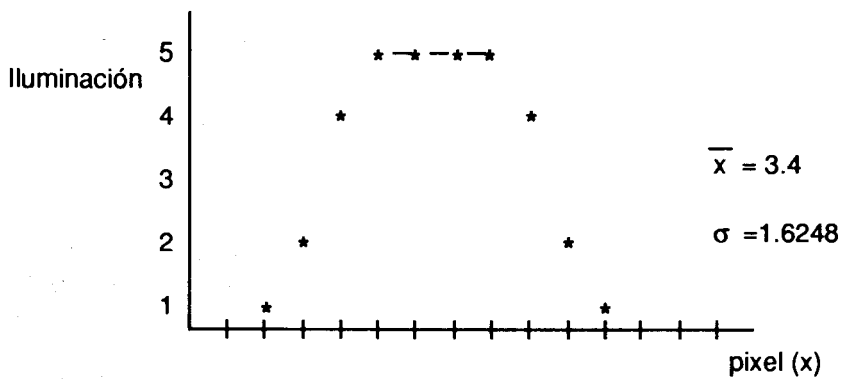


(a) imagen desenfocada

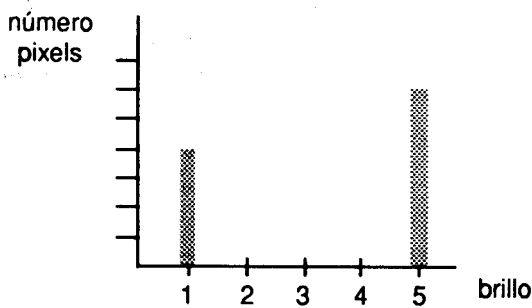
Figura 6



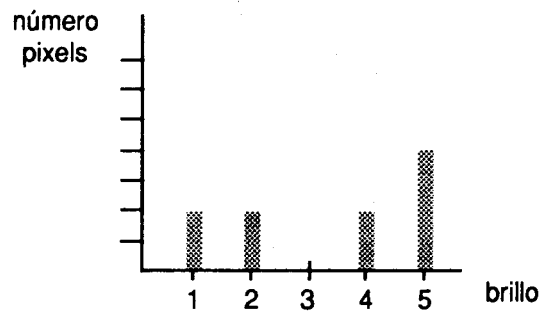
(a)



(b)



(c) histograma de a



(c) histograma de b

Figura 7

Si se trata de un objeto de relieve con altas profundidades, será un poco más difícil su análisis; para ello se deben seleccionar pequeñas zonas de interés y con ellas levantar un mapa de profundidades del objeto.

TRANSFORMACIONES BASICAS DE ARCHIVOS DE IMAGENES

Son muchas las actividades que se pueden realizar con las imágenes, así como el pintor es capaz de

plasmar muchos y valiosos mensajes en su cuadro. Matemáticamente es una actividad computacional, donde el archivo imagen es transformado, generando imágenes modificadas.

El procesamiento de una imagen puede hacerse sobre acabados, resolución, contraste y pulimientos de la imagen, o en cambios geométricos de la misma tales como: rotación, efecto zoom, superposiciones de varias imágenes, extracción de elementos o ubicación de ellos, etc.

TELEMEDICION

Telemedir es dimensionar un cuerpo y cuantificar sus características a distancia. Las principales telemedidas que se pueden hacer, son:

- a. **Distancias al objeto:** Esta medición se calcula con expresiones fundamentales de óptica geométrica, cuando la cámara está óptimamente enfocada.

$$d_o = \frac{f \cdot d_i}{d_i - f}$$

La distancia d_i es conocida por el control de la cámara, f es la distancia focal y es una constante del sistema óptico.

- b. **Tamaño del objeto:** Esta medición se obtiene también cuando la cámara está enfocando completamente un área que se encuentra en un mismo plano.

$$o = \frac{f \cdot i}{d_i - f}$$

Los valores d_i y f ya son conocidos, y el tamaño de la imagen (i) es la distancia entre dos pixels del contorno de la imagen que definen el tamaño y por consiguiente ya se puede calcular la distancia entre ellos en la superficie del chip CCD.

- c. **Perspectiva y profundidades del objeto:** Las diferentes profundidades pueden ser calculadas al realizar una exploración completa de la superficie del objeto, lo que permitirá construir un archivo de relieve del objeto. La resolución depende del tamaño de las máscaras que se seleccionen por cada elemento.

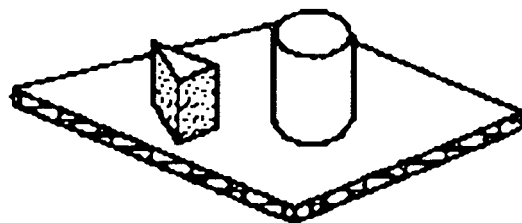


Figura 8

- d. **Distancia entre dos puntos del objeto:** Si los puntos pertenecen a una misma superficie de enfoque y conocida la distancia en la imagen formada en el chip CCD, basta con aplicar la expresión anterior del tamaño del objeto.

Si los puntos que determinan la distancia están en superficies con diferentes enfoques, se deberá aplicar conceptos de distancia entre dos puntos del espacio; de cada uno de ellos se conocerá la distancia a la cual se encuentra de la cámara y también es posible calcular el ángulo con que la cámara mira los dos puntos (figura 9).

- e. **Identificación de objetos:** A cada objeto se asocian unos determinados patrones, los cuales deben ser identificados de la información capturada.

Los pasos que se deben seguir son: Primero se aíslan de la escena los objetos y regiones de interés; segundo, se hacen mediciones de propiedades y sus relaciones entre ellas; tercero, se asocian patrones que permitan reconocer las regiones seleccionadas. Es muy utilizado el procedimiento de levantamiento de contornos en las regiones de la imagen en mención.

Ejemplo de esta actividad son: reconocimiento de caracteres escritos, lectura de información en código de barras, selección de partes de un proceso de inspección automática, seguimiento de rutas indicadas con marcas de camino, etc.

- f. **Radiación del objeto:** Muchos objetos se caracterizan por sus propiedades de radiación que en muchos casos pueden ser peligrosas, pero en ellas hay informaciones de interés.

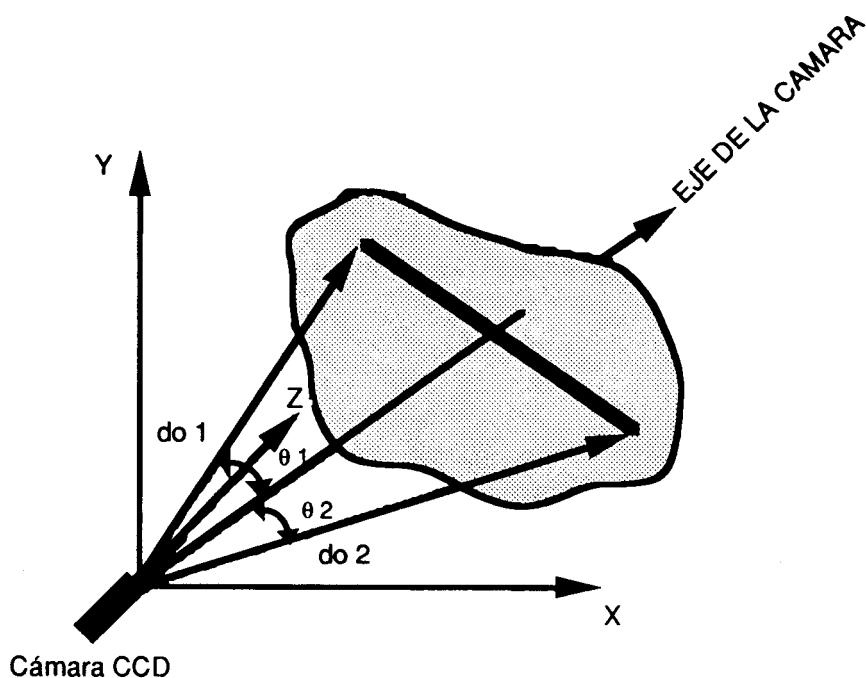


Figura 9

Los sensores fotosensibles responden a bandas espectrales de la radiación de acuerdo con los materiales de su construcción y su proceso; esto permite obtener diferentes tipos de sensores para realizar mediciones en diferentes bandas de frecuencias, o también un juego de filtros ópticos permiten seleccionar un nivel de radiación y obtener su correspondiente imagen.

Esta técnica se aplica para identificar focos de radiación, hacer el levantamiento de mapas de distribución de minerales, animales, riquezas del subsuelo, temperatura de los cuerpos, reconocimientos astrológicos, etc.

BIBLIOGRAFIA

Arnau, V.; J. Albert; M. Vicens, F. Ferri & J. Pelechano. Mundo Electrónico/ V. Arnau, J. Albert, M. Vicens, F. Ferri & J. Pelechano // En: Tratamiento digital de imágenes (I), Barcelona, No. 207, junio 1990, p. 87.

Baxes, Gregory A. Digital Image Processing / Gregory A. Baxes // New Jersey: Prentice-Hall, 1984; 182 p.

Font, J. & A. Sanfeliu. Mundo Electrónico / Font, J. & A. Sanfeliu // En: Visión por Computador, Barcelona, No. 194, Abril 1989, p. 113.

González, Rafael C. Digital Image Processing / Rafael C. González// U.S.A.: Electrical Engineering Department, University of Tennessee. Addison-Wesley Publishing Company, 1987; 503 p.

Restrepo, Luis Guillermo. Memorias Taller Andino en Sistemas Expertos y Robótica/ Luis Guillermo Restrepo Rivas // En: Máquinas videntes; Universidad EAFIT, Medellín, 1989.

Rose, Albert & Paul k. Weimer. Physics Today/ Albert Rose & Paul K. Weimer // En: Physical limits to the performance of imaging systems, N.Y. Vol. 42 No. 9; sep./89 p.36.

Treisman, Anne. Investigación y Ciencia / Anne Treisman // En: Características y objetos del procesamiento visual, Barcelona; No. 124, Enero, 1987, p.68.

Uwe, Köhler. Elektronik / Dopl. - Ing. Uwe Köler // En: Kompaktes System zur Kantenerkennung; Alemania No. 15, Julio 1989, p. 44.