

Procesamiento de imágenes digitales para el ingeniero en biónica

Procesamiento de imágenes digitales para el ingeniero en biónica

Álvaro Anzueto Ríos

Instituto Politécnico Nacional
—México—

Procesamiento de imágenes digitales para el ingeniero en biónica
Álvaro Anzueto Ríos

Primera edición, 2017

D.R. © 2017
Instituto Politécnico Nacional
Luis Enrique Erro s/n
Unidad Profesional “Adolfo López Mateos”
Zacatenco, Deleg. Gustavo A. Madero
CP 07738, Ciudad de México

Dirección de Publicaciones
Revillagigedo 83, Centro
Deleg. Cuauhtémoc
CP 06070, Ciudad de México

ISBN 978-607-414-592-2

Impreso en México / *Printed in Mexico*
www.publicaciones.ipn.mx

Contenido

AGRADECIMIENTOS	9
PREFACIO	11
VISIÓN HUMANA.....	13
Introducción	13
Proceso fisiológico en la formación de una imagen	13
Estructura del ojo humano	17
Elementos de la percepción visual	23
Referencias	28
FUNDAMENTOS DE IMÁGENES DIGITALES	31
Introducción.....	31
Muestreo uniforme y cuantificación.....	32
Resolución espacial	38
Relaciones básicas entre píxeles.....	42
Referencias	44

FUNDAMENTOS DE ESPACIOS DE COLOR	47
Introducción.....	47
Modelo de color RGB	52
Modelo de color CMY	55
Modelo de color HSI	57
Modelo de color YIQ.....	61
Escala de grises	63
Segmentado de imágenes a color	64
Referencias	69
TRANSFORMACIONES BÁSICAS EN IMÁGENES DIGITALES	71
Introducción.....	71
Operaciones aritméticas	73
Rotación de imágenes.....	77
Escalado de imágenes.....	78
Transformaciones lineales píxel a píxel	82
Transformaciones no lineales píxel a píxel	88
Referencias	90
FILTRADO DE IMÁGENES EN EL DOMINIO ESPACIAL	93
Introducción.....	93
Filtro pasa bajo en imágenes	94
Filtro pasa alto en imágenes	105
Referencias	112

ANEXOS	115
Anexos. Capítulo 2. Fundamentos de imágenes digitales	115
Anexos. Capítulo 3. Fundamentos de espacios de color	119
Anexos. Capítulo 4. Transformaciones básicas en imágenes digitales	122
Anexos. Capítulo 5. Filtrado de imágenes en el dominio espacial	132

Agradecimientos

Agradezco al Instituto Politécnico Nacional (IPN) las facilidades prestadas en la elaboración de esta obra; de igual manera a la Unidad Profesional Interdisciplinaria en Ingeniería y Tecnologías Avanzadas (UPIITA), por el uso de sus instalaciones y las facilidades otorgadas durante el desarrollo de la misma.

“La Técnica al Servicio de la Patria.”

Prefacio

La biónica, en su definición más básica, se considera como la mimetización de los sistemas biológicos. Es también una rama de la ingeniería que intenta hacer trabajar en conjunto a los sistemas biológicos y electrónicos. Un ejemplo, es la creación de prótesis controladas por señales generadas en el cuerpo humano. Éstas pueden ser electro-miográficas o electro-encefalográficas, ejemplos más concretos son los implantes cocleares o las retinas artificiales.

Dentro de su oferta educativa, la Unidad Interdisciplinaria en Ingeniería y Tecnologías Avanzadas (UPIITA) del IPN ofrece la carrera de Ingeniería en Biónica. Una de sus áreas de estudio es el procesamiento digital de imágenes y visión artificial. Como procesamiento se entiende el análisis y la manipulación de las imágenes digitales para poder extraer de ellas la información requerida. Este libro contempla la enseñanza de los elementos básicos en el procesamiento y la extracción de información de imágenes, cuyos fundamentos tienen su origen en el campo biológico.

Esta obra es una primera versión de la enseñanza del procesamiento básico de imágenes digitales desde el punto de vista de la biónica, pero no deja de ser un texto que puede utilizarse como libro de consulta en los tópicos de procesamiento de imágenes y visión artificial. Se divide en cuatro partes: la primera, presentada en el capítulo 1, es el análisis biológico sobre la forma de percepción de una escena en el cerebro, al contemplar los principales mecanismos empleados en este proceso. La segunda parte es la interpretación matemática de una imagen digitalizada, es decir, el proceso de transformación de una señal analógica (imagen analógica) a una señal digital (imagen digital), el espacio de muestreo y su cuantificación. La tercera parte,

se trabaja con imágenes a color a partir del modelo básico RGB. Este modelo es un símil de la forma en que las células encargadas de la percepción del color en la retina, forman los diferentes colores en una escena. En la cuarta parte, conformada por los capítulos 4 y 5, se trabaja con imágenes en escala de grises; se presentan transformaciones básicas y el análisis del filtrado de imágenes en el dominio espacial.

En los capítulos 2, 3, 4 y 5 se presentan diferentes métodos y técnicas en el procesamiento de las imágenes; su efectividad se evalúa dando solución a diferentes problemas mediante una serie de ejercicios, por lo que cada capítulo incluye un conjunto de problemas con imágenes de distinta naturaleza. Los códigos computacionales se desarrollaron utilizando MATLAB®. Cabe señalar que en la mayoría de los casos, los códigos son recopilaciones de los cursos que se han impartido en la UPIITA en las unidades de aprendizaje de procesamiento de imágenes y visión artificial, cuyo principal objetivo es que los estudiantes participen de manera activa en la solución de problemas de ingeniería en este ámbito.

Visión humana

INTRODUCCIÓN

El sentido de la vista, por medio de la luz, nos permite reconocer los objetos que nos rodean en lo que respecta a su movilidad, forma, tamaño, color y luminosidad, así como las distancias que de ellos nos separan o que los separan entre sí. Nos informa sobre nuestra posición en el espacio y por ende al equilibrio postural.

El proceso por el cual se llega a ese resultado es muy complejo y comprende una serie de etapas sucesivas: la formación de la imagen del objeto en la retina por medio de un sistema dióptrico especial; la estimulación de las células receptoras de la luz; la conducción al cerebro del impulso nervioso allí nacido y, finalmente, la formación de la imagen mental.

Los rayos luminosos que penetran en el ojo se concentran en la retina por mecanismos ópticos que siguen las leyes conocidas de la física. En las células fotorreceptoras de esta membrana nace el estímulo que llega al cerebro por vías ópticas, donde se elabora la sensación visual.

PROCESO FISIOLÓGICO EN LA FORMACIÓN DE UNA IMAGEN

La mayor parte de la información que recibimos del entorno llega a través del sentido de la vista. El proceso de visión puede subdividirse en tres etapas: la óptica, que permite la formación de una imagen en la retina; la fotorrecepción, que hace posible el registro de dicha imagen por la “pantalla fisiológica”

(fotorreceptores bipolares); y el proceso neural de la imagen para su interpretación (ganglionares-cuerpos, geniculados-corteza visual), último eslabón de la percepción visual (véase figura 1.1).

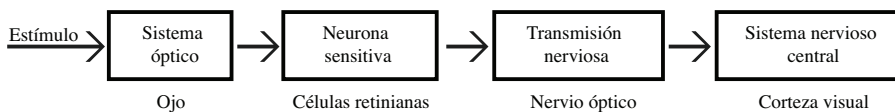


Figura 1.1. Esquema del proceso visual humano.

Fuente: elaboración propia basada en *Óptica fisiológica* [1], p. 16.

Para alcanzar la retina, la luz debe atravesar la córnea, el humor acuoso, el cristalino y el humor vítreo, cada uno con un particular poder de refracción y curvatura de superficie.

La córnea y el humor acuoso tienen un índice de refracción prácticamente igual y puede considerarse que en conjunto forman un sistema de lentes cóncavo-convexo. Aunque al ser aislados del organismo su índice de refracción es menor que el del cristalino, su poder refractivo *in situ* supera al de la lente ocular y es el mayor del ojo, puesto que los rayos luminosos le llegan del aire, cuya densidad óptica es muy diferente respecto a la córnea. Se calcula que las dos terceras partes del poder de refracción total del ojo se deben a este sistema. El cristalino es una lente biconvexa, con mucho poder de refracción si se le aísla del ojo, pero poco *in situ*, por encontrarse detrás de la córnea, que recibe rayos y los refracta en gran medida. Este hecho se prueba porque al extraerlo, en la operación de la catarata, basta una lente de 10D para corregir su carencia.

La parte cortical tiene menor poder de refracción que el núcleo, lo que es naturalmente útil para corregir las aberraciones cromáticas y esféricas, producidas sobre todo en la periferia. La gran importancia de este órgano radica en la capacidad de modificar su forma y, como consecuencia, su poder de refracción, que aumenta progresivamente hasta unas 10D cuando el objeto se acerca entre los 6 metros (punto remoto) hasta los 15-20 cm (punto próximo). Esta acomodación del cristalino a la distancia permite un claro enfoque de la imagen en la retina; está gobernada por un mecanismo especial que disminuye con la edad [1, 2].

La imagen retiniana es real, invertida y pequeña en relación con el objeto. El curso de los rayos luminosos en la constitución de la imagen se puede explicar observando la figura 1.2. El ángulo visual es el que se forma en el punto nodal (n) cuando se encuentran los dos rayos extremos que pasan por el objeto; así An y Bn delimitan el ángulo AnB . Se comprende que este ángulo será tanto mayor cuanto más se acerque el objeto al ojo, es decir que el ángulo visual es inversamente proporcional a la distancia ojo-objeto.

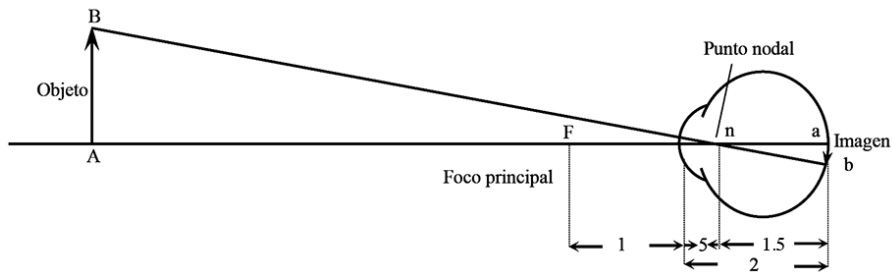


Figura 1.2. Formación de la imagen en el ojo reducido; distancias en milímetros.

Fuente: elaboración propia basada en *Fisiología Humana*, p. 1205.

Las mismas líneas que forman el ángulo visual constituyen el límite de la imagen en la retina, al continuar más allá del punto nodal. De modo que, opuestos por su vértice, existen dos triángulos cuyas bases son el objeto y su imagen. Al conocer la altura del objeto y su distancia al ojo, se puede calcular la altura de la imagen, puesto que la distancia de ésta al punto nodal es fija (15 mm). La fórmula sería:

$$\frac{\text{Tamaño del objeto}}{\text{Tamaño de la imagen}} = \frac{\text{distancia objeto al punto nodal}}{\text{distancia imagen al punto nodal}} \quad (1)$$

Ejemplo:

Suponiendo una torre de 100 de altura, observando a:

$$1 \text{ km (1 000 m) de distancia: } \frac{100}{x} = \frac{1000}{0.015}$$

$$X = \frac{1.5}{1000} = 0.0015 \text{ m. Donde 1.5 mm es la altura de la imagen de la retina.}$$