

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA
Facultad de Ingeniería



**Optimización de un sistema de procesamiento de imágenes
para el reconocimiento de variables en la pantalla del sistema
de Brainlab de HUMANA**

Trabajo de graduación presentado por Santiago Sebastián Galicia Reyes
para optar al grado académico de Licenciado en Ingeniería Mecatrónica

Guatemala,

2022

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA
Facultad de Ingeniería



**Optimización de un sistema de procesamiento de imágenes
para el reconocimiento de variables en la pantalla del sistema
de Brainlab de HUMANA**

Trabajo de graduación presentado por Santiago Sebastián Galicia Reyes
para optar al grado académico de Licenciado en Ingeniería Mecatrónica

Guatemala,

2022

Vo.Bo.:

(f) _____
Dr. Luis Rivera

Tribunal Examinador:

(f) _____
Dr. Luis Rivera

(f) _____
MSc. Carlos Esquit

(f) _____
Ing. Luis Pedro Montenegro

Fecha de aprobación: Guatemala, 5 de diciembre de 2018.

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Cras vitae eleifend ipsum, ut mattis nunc. Pellentesque ac hendrerit lacus. Cras sollicitudin eget sem nec luctus. Vivamus aliquet lorem id elit venenatis pellentesque. Nam id orci iaculis, rutrum ipsum vel, porttitor magna. Etiam molestie vel elit sed suscipit. Proin dui risus, scelerisque porttitor cursus ac, tempor eget turpis. Aliquam ultricies congue ligula ac ornare. Duis id purus eu ex pharetra feugiat. Vivamus ac orci arcu. Nulla id diam quis erat rhoncus hendrerit. Class aptent taciti sociosqu ad litora torquent per conubia nostra, per inceptos himenaeos. Sed vulputate, metus vel efficitur fringilla, orci ex ultricies augue, sit amet rhoncus ex purus ut massa. Nam pharetra ipsum consequat est blandit, sed commodo nunc scelerisque. Maecenas ut suscipit libero. Sed vel euismod tellus.

Proin elit tellus, finibus et metus et, vestibulum ullamcorper est. Nulla viverra nisl id libero sodales, a porttitor est congue. Maecenas semper, felis ut rhoncus cursus, leo magna convallis ligula, at vehicula neque quam at ipsum. Integer commodo mattis eros sit amet tristique. Cras eu maximus arcu. Morbi condimentum dignissim enim non hendrerit. Sed molestie erat sit amet porttitor sagittis. Maecenas porttitor tincidunt erat, ac lacinia lacus sodales faucibus. Integer nec laoreet massa. Proin a arcu lorem. Donec at tincidunt arcu, et sodales neque. Morbi rhoncus, ligula porta lobortis faucibus, magna diam aliquet felis, nec ultrices metus turpis et libero. Integer efficitur erat dolor, quis iaculis metus dignissim eu.

Prefacio	v
Lista de figuras	IX
Lista de cuadros	XI
Resumen	XIII
Abstract	XV
1. Introducción	1
2. Antecedentes	3
2.0.1. Brainlab	3
2.0.2. Investigaciones externas a la Universidad del Valle de Guatemala	4
2.0.3. Investigaciones en Universidad del Valle de Guatemala	5
3. Justificación	7
4. Objetivos	9
4.1. Objetivo general	9
4.2. Objetivos específicos	9
5. Alcance	11
6. Marco teórico	13
6.1. Visión por computador	13
7. Derivación de la dinámica del mecanismo	21
7.1. Dinámica de cuerpos rígidos	21
7.2. Restricciones	21
7.2.1. Mecanismos de lazo cerrado	21

8. Control del sistema mecánico	23
8.1. La ecuación del manipulador	23
9. Conclusiones	25
10.Recomendaciones	27
11.Bibliografía	29
12.Anexos	33
12.1. Planos de construcción	33
13.Glosario	35

Lista de figuras

1.	Ejemplo robot NeuroMate [1].	3
2.	Arreglo 2D de pixeles. Cada pixel tiene sus propias coordenadas X y Y [18]. .	14
3.	Diferencia entre acercamientos de imágenes [22].	15
4.	Comparación ISO [24].	16
5.	Cavidades de luz en Mosaico de Bayer [26].	16
6.	Proceso de convolución, en donde primero se multiplican el filtro Kernel “w” con la región correspondiente en la imagen y finalmente se suman para obtener el valor del píxel [28].	17
7.	derivadas parciales relativas al tipo de borde [29].	18
8.	Gaussiano y Laplaciano de Gausiano [29].	19

Lista de cuadros

1.	Tabla de prueba	23
----	---------------------------	----

La propuesta de trabajo de graduación planteada tiene como objetivo principal la optimización del sistema de reconocimiento y procesamiento de imágenes y caracteres para que pueda ser utilizado para leer adecuadamente las variables de calibración de juntas del brazo biomédico de HUMANA. A través de investigaciones se pretende optimizar el algoritmo de reconocimiento de caracteres existente de trabajos de graduación e investigación anteriores en la Universidad del Valle de Guatemala. Se quiere optimizar el sistema ya que la calibración es errática y no cumple los requisitos del sistema VarioGuide. Actualmente el sistema solamente funciona en condiciones muy específicas.

Mediante una serie de procesamientos digitales de fotografías se puede reconocer las variables de calibración de VarioGuide de manera que permita el total funcionamiento del sistema en las condiciones adecuadas para implementarse en el brazo biomédico de HUMANA. Con el diseño y implementación de prototipos en un espacio controlado se desea probar la efectividad de un mecanismo de acople y del sistema de reconocimiento de variables de calibración.

Abstract

This is an abstract of the study developed under the

CAPÍTULO 1

Introducción

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Quisque eget consequat risus. Praesent a quam lacinia, consequat eros id, auctor tellus. Phasellus a dapibus arcu, vitae luctus leo. Aliquam erat volutpat. Suspendisse ac velit quam. Nullam risus nibh, lobortis vehicula elit non, pellentesque volutpat odio. Donec feugiat porta sapien gravida interdum. Cras odio nunc, lobortis sed pellentesque imperdiet, facilisis eu quam. Praesent pharetra, orci at tincidunt lacinia, neque nulla ornare lacus, ut malesuada elit risus non mi. Fusce pellentesque vitae sapien sed mollis. Curabitur viverra at nulla vitae porta. In et mauris lorem.

Vestibulum faucibus fringilla justo, eget facilisis elit convallis sit amet. Morbi nisi metus, hendrerit quis pellentesque non, faucibus at leo. Proin consectetur, est vel facilisis facilisis, arcu felis vestibulum quam, et fringilla metus neque at enim. Nunc justo mauris, egestas quis maximus eget, viverra vehicula nunc. Fusce eu nulla elementum, condimentum diam at, aliquam leo. Nullam sed sodales enim, eu imperdiet risus. Aliquam ornare augue leo, fringilla mattis nunc facilisis eget. Nam faucibus, libero a aliquet fermentum, magna arcu ultrices lacus, a placerat tortor turpis ut purus.

Integer eget ligula non metus egestas rutrum sit amet ut tellus. Aliquam vel convallis est, eu sodales leo. Proin consequat nisi at nunc malesuada gravida. Aliquam erat volutpat. Aliquam finibus interdum dignissim. Etiam feugiat hendrerit nisl, hendrerit feugiat ex malesuada in. Cras tempus eget arcu vitae congue. Ut non tristique mauris. Vivamus in mattis ipsum. Cras bibendum, enim bibendum commodo accumsan, ligula nulla porttitor ex, et pharetra eros nisl eget ex. Morbi at semper arcu. Curabitur massa sem, maximus id metus ut, molestie tempus quam. Vivamus dictum nunc vitae elit malesuada convallis. Donec ac semper turpis, non scelerisque justo. In congue risus id vulputate gravida. Nam ut mattis sapien.

Los sistemas robóticos y de inteligencia artificial llevan muchos años en estudio y producción. En la Universidad del Valle se han concretado variados trabajos de graduación que buscan unir la robótica y la inteligencia artificial. Existen aplicaciones con estudios externos a la universidad que aunque no llevan el mismo fin que este trabajo, si mencionan aspectos importantes de la unión de la robótica y la inteligencia artificial para diversas aplicaciones que reflejan una perspectiva distinta a la tomada dentro de la Universidad del Valle de Guatemala. Un producto ejemplo en el que la exactitud de la robótica y la asistencia de la inteligencia artificial es esencial lo es el robot NeuroMate [1] el cual se puede visualizar en la Figura 1.



Figura 1: Ejemplo robot NeuroMate [1].

2.0.1. Brainlab

Brainlab es una empresa de software. Brainlab crea e integra productos para distintas fases y etapas del proceso quirúrgico con aplicaciones informáticas desde el posicionamiento del paciente en tratamientos de radio-cirugía o navegación quirúrgica guiada por el software hasta soluciones basadas en la nube diseñadas para garantizar el intercambio seguro de

imágenes [2]. En HUMANA se utiliza el sistema de calibración VarioGuide de Brainlab para corregir y alinear trayectorias planeadas previamente.

2.0.2. Investigaciones externas a la Universidad del Valle de Guatemala

La visión por computador es una rama de la inteligencia artificial de mucho interés para la investigación dado que tiene una alta variedad de aplicaciones por utilizarse. Como puede ser visto en los siguientes ejemplos de trabajos de investigación, el desarrollo de esta tecnología influye en ramas tanto comerciales como científicos.

En la tesis de licenciatura de J. González [3] se desarrolló un sistema de reconocimiento de objetos basado en los algoritmos “FLAN” y “SIFT” con la ayuda de un Raspberry Pi 2. Obtuvo resultados aceptables en la comparación de imágenes precargadas en el sistema para la clasificación y reconocimiento de objetos en una tienda de artículos ferreteros y de pinturas. Haciendo uso de librería de OpenCV y programas de Python logrando reconocer el 100 % de los objetos comparados, 75 % de estos con procesamiento normal a un 80 % de coincidencia y el resto con la ayuda un pre procesamiento añadido adelante en la investigación.

En el trabajo de tesis para licenciatura de G. Viera [4] se desarrollan conceptos básicos de la visión por artificial, los lenguajes utilizados fue Matlab con librerías de visión por computador de OpenCV y Qt Creator con librería de OpenCV. Se presenta así mismo un prototipo de clasificador por características exteriores del grano de cacao orgánico como lo es el tamaño del grano en su etapa final de secado por medio de segmentación de interés en el procesamiento de imágenes. Este trabajo tuvo un resultado del sistema implementado para la clasificación del cacao según tamaño de 88.4 % de acierto en clasificación con una cámara Microsoft® LifeCam Studio™ q2f-00009. Es de recalcar que este trabajo utilizo una metodología mas profunda para tener un sistema controlado en las pruebas utilizando un entorno cerrado con iluminación LED distribuido. Un trabajo de similar aplicación puede ser encontrado en [5] el cual concluye en etapas de procesamiento de señales para la identificación de patrones no deseados en alimentos utilizando el lenguaje de programación Python en su versión 3.7 concluyendo sus resultados el autor indica que la información visual obtenida mediante el registro y procesamiento de imágenes puede vincularse con varios aspectos importantes de la calidad de productos alimenticios.

La aplicación desarrollada en el trabajo final de grado para obtener el grado de Ingeniería Informática de A. Oliva [6] presenta el desarrollo de una herramienta que asiste a la creación de modelos de aprendizaje profundo. La idea de la aplicación desarrollada por Oliva es que los resultados puedan ser empleados para la puesta en práctica en problemas enfocados a la visión por computador dadas las alta fidelidad de reconocimiento. A. Oliva plantea distintos métodos (LBP, Filtros en cascada, HOG) de detección de objetos en la visión por computador detallando las implementaciones y los resultados obtenidos. El trabajo presenta un método de clasificación de patrones de imágenes por medio de aprendizaje profundo de inteligencia artificial, finalmente el autor menciona que una base de datos (como lo ofrecen Google o Microsoft) mas amplia haría mas eficiente el trabajo.

En la tesis de M. Forero y J. Henao [7] se encuentran distintos filtros y transformaciones en procesamiento de imágenes para determinar un sistema de control de calidad automati-

zando sobre la rugosidad superficial con un análisis en frecuencia de la imagen. Los autores finalizan determinando la confiabilidad del método aplicado con certeza de el 83.11 % en la muestra tomada de 500 pruebas utilizando la cámara Genie HM640 de Teledyne Dalsa. Es de remarcar que en este trabajo se menciona una forma de corrección de un fenómeno (Distorsión óptica), el cual ocurre en cualquier sensor óptico. La corrección del fenómeno les permitió a los autores M. Forero y J. Henao como resultado una calibración mas adecuada y una disminución considerable en las incertidumbres de la toma de imágenes. Dentro del procesamiento de imágenes los autores concluyeron que utilizando el método de transformada de Fourier en una imagen binarizada permitía una reducción considerable de los errores en la medición.

2.0.3. Investigaciones en Universidad del Valle de Guatemala

Según la OPS [8] la epilepsia es uno de los trastornos neurológicos mas comunes llegando a afectar a mas de 50 millones de personas a través del mundo. Un 70 % de las personas afectadas pueden tratarse con fármacos básicos, y solo alrededor de un 10 % requerirán un abordaje especial con dieta o con cirugía. En Guatemala existe el Centro de Epilepsia y Neurocirugía Funcional (HUMANA). En HUMANA se han llevado diversos procedimientos de tratamiento de epilepsia desde el 2006. Gracias al apoyo de HUMANA se han llevado acabo una serie de trabajos de investigación en la UVG [9].

En la tesis de José Guerra [10] se implemento un algoritmo de visión por medio de computador utilizando la programación orientada a objetos y multihilos. Este trabajo es continuación de un desarrollo del algoritmo en el lenguaje de programación C++. El software desarrollado por José Guerra [10] tiene como objetivo principal poder reconocer poses robóticas y fue implementado en el lenguaje de programación Python. El limitante de este proyecto fue la falta de pruebas ideales en la mesa Robotat ubicada en la Universidad del Valle, aún así José Guerra desarrolló un prototipo de mesa de prueba en las que dieron lugar las pruebas presentadas en el trabajo. Se tuvo como resultado que la implementación del algoritmo en Python Multihilo fue menos eficiente que la versión de implementación del algoritmo utilizando Python sin hilos. El autor recomendó verificar el paralelismo utilizado en el algoritmo de Python ya que este únicamente utilizaba un núcleo del procesador del computador por lo que los hilos disponibles eran menores en comparación a paralelismo real que utiliza los hilos disponibles en todo el procesador.

El trabajo de graduación de José Ramírez [11] es una continuación de la herramienta de visión por computador de José Pablo Guerra y su enfoque principal es la detección de obstáculos, transmisión de datos entre dispositivos. Se desarrollo una interfaz gráfica que facilita al usuario el uso de la herramienta y se desarrollo una exploración de viabilidad de realizar la paralelización en los códigos para la mejora en rendimiento. En este trabajo se logró la detección de obstáculos y la transmisión de datos entre dispositivos utilizando protocolos de red UDP y TCP. El limitante principal de este trabajo fue el ser muy específicos de la detección de poses y trayectorias de robots y no de otros objetos de obstrucción. Otra limitante fue la calibración errática de identificadores visuales. Algo que indicó el autor del trabajo fue que la detección de obstáculos es estrictamente funcional cuando son estáticos e invariantes, ya que el algoritmo implementado no soporta un sistema dinámico de detección.

En el trabajo de graduación de Juan González [12] se dieron resultados de un diseño y método de implementación un sistema de reconocimiento óptico de caracteres enfocado a obtener datos desde el sistema de VarioGuide de Brainlab [13]. Los datos obtenidos en el sistema se envían a un sistema de control el cual permite automatizar el sistema mecánico para optimizar el tiempo de cirugías. Este trabajo es parte de 4 etapas en el Proyecto del brazo de HUMANA divididos en etapas de software y diseño mecánico, el sistema OCR de Juan Gonzáles cuenta con 7 etapas de procesamiento y obtuvo un reconocimiento dentro de los márgenes de error de Brainlab utilizando dos tipos de sensores ópticos, una cámara Logitech 1080p y una cámara GoPro Hero 8, con esta ultima se obtuvieron mejores resultados debido a la mejor resolución del sensor. El autor recomienda realizar un nuevo diseño del brazo que sostiene la cámara de reconocimiento para que la calibración sea mas simple y el sistema sea mas preciso. También se indica un problema con el algoritmo de inversión y filtrado de colores y obtención de píxeles en el algoritmo utilizado de reconocimiento. El sistema óptico de reconocimiento de caracteres y automatización del sistema mecánico no fue completamente implementado al brazo HUMANA ya que el diseño no es exacto y las pocas pruebas realizadas fueron erráticas.

En el trabajo de graduación para el grado de licenciatura de J. González [12] se logró un avance significativo en el software de reconocimiento a utilizar con VarioGuide de Brainlab. Sin embargo los resultados obtenidos no fueron totalmente concluyentes y del sistema construido no se realizaron pruebas en un sistema cerrado o pruebas con mas sensores ópticos. El sistema de González presenta un acople del sensor óptico rígido y difícil de aplicar para el brazo biomédico de HUMANA.

Existen diversos algoritmos que no fueron implementados en el sistema de procesamiento de imágenes de González, los cuales pueden ayudar a optimizar el funcionamiento y desempeño del mismo. En particular se podría mejorar la calibración del mecanismo de HUMANA. Por lo anterior mencionado, en este trabajo se plantea la necesidad de cumplir con los requisitos de exactitud y de confiabilidad necesarios para la implementación adecuada al brazo biomédico HUMANA. Así mismo, se necesita la confiabilidad de que el sensor funcionará de manera correcta cuando sea necesario calibrar la máquina por medio de el software VarioGuide de Brainlab.

4.1. Objetivo general

Optimizar el sistema de reconocimiento y procesamiento de imágenes y caracteres con la pantalla del sistema de Brainlab del Centro de Epilepsia y Neurocirugía Funcional HUMANA para que lea de forma adecuada las variables de calibración.

4.2. Objetivos específicos

- Comparar la eficiencia de distintos tipos de sensores ópticos y cámaras para tareas de reconocimiento y procesamiento de imágenes.
- Implementar un sistema de procesamiento de imágenes capaz de identificar la junta que está siendo calibrada en el mecanismo y el error desplegado.
- Implementar un protocolo de comunicación de envío de datos al sistema de control del mecanismo del brazo biomédico de HUMANA.
- Diseñar y fabricar un mecanismo de acople para un sensor óptico a la pantalla de Brainlab de HUMANA.

CAPÍTULO 5

Alcance

Podemos usar Latex para escribir de forma ordenada una fórmula matemática.

6.1. Visión por computador

La visión por computador se refiere a el uso de inteligencia artificial para analizar, comprender y responder a imágenes digitales o vídeos. Al aplicar algoritmos de inteligencia artificial a la entrada de cámaras permite que los datos se procesen y se evalúen para reconocer patrones. Analizando una serie de imágenes, un programa puede ser entrenado para reconocer, clasificar y reaccionar desde la información que recibe. Mientras que la visión por computador puede ser entrenada para resolver casi cualquier problema visual, cada modelo es extremadamente estrecho en sus capacidades. Solamente puede reconocer lo que se le ha enseñado a reconocer. La visión por computador puede confiablemente ejecutar la misma tarea una y otra vez sin la problemática del error humano causado por fatiga o por distracciones. Los modelos pueden incluso ser entrenados para procesar información a altas velocidades o en espectros visuales distintos a los visibles por el ojo humano, como luz ultra violeta o luz infrarroja [14].

Reconocimiento óptico de Caracteres

Los sistemas de reconocimiento optico de caracteres (*Optical character recognition* - OCR) son sistemas que puede leer datos escritos reconociéndolos a altas velocidades, un caracter a la vez. La gran mayoría de sistemas OCR aún no pueden leer caracteres o palabras escritas a mano o documentos con degradación física. Actualmente los sistemas OCR pasan la toma de una imagen por varios procesos en los que se organiza la imagen para obtener los caracteres, se extraen los caracteres y se clasifican los caracteres extraídos [15]. Un ejemplo de uso común es Live Text incluido en el sistema operativo de Apple para sus teléfonos iOS 15 [16].

Píxel

Un píxel es un pequeño recuadro de color, al juntar varios de estos píxeles en un arreglo de filas y columnas se puede formar una imagen digital. Un píxel contiene la información digital del color RGB. Píxel proviene de la combinación PIC y EL de *Picture-Element* en ingles. El píxel es la unidad básica de una imagen digital ya que esta ultima tendrá el tamaño de X columnas de píxeles por Y filas de píxeles de alto. Un método de almacenaje de imágenes es el mapa de bits, la información se guarda como una secuencia de números definiendo el color de cada píxel [17].

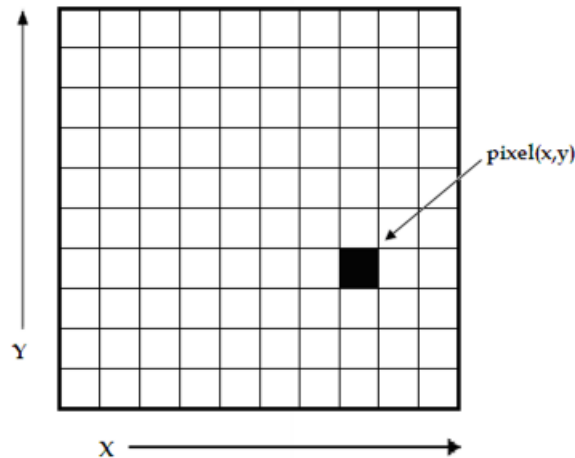


Figura 2: Arreglo 2D de pixeles. Cada pixel tiene sus propias coordenadas X y Y [18].

Captura digital de fotografías

Nitidez de imagen

La nitidez de una imagen es el grado de claridad del detalle en una imagen. Existen formas digitales para mejorar la nitidez en una imagen, como por ejemplo aplicar algunos filtros, pero la nitidez siempre estará directamente conectada con las capacidades de la cámara y la toma de la fotografía. Los principales factores que afectan a la nitidez de una imagen son:

Acutancia

Contraste de luminosidad entre los bordes de los detalles y sus fondos [19].

Resolución

La resolución de una fotografía digital es su cantidad de píxeles por unidad de longitud, es decir, es la relación entre el tamaño en píxeles de una imagen y sus dimensiones físicas, que

se manifiesta en un dispositivo de salida como una pantalla. Una resolución mayor implica más píxeles por unidad de longitud, lo que quiere decir que el nivel de detalle es mayor. La resolución describe la habilidad que tiene una cámara para distinguir entre el espacio de los detalles en los elementos [20].

Acercamiento de imágenes

El acercamiento de imágenes mas conocido como *zoom* es el aumento de la imagen, acercar la imagen sin mover el punto de toma. Para realizar este aumento existen dos métodos [21]. Una comparación visible es dada en la Figura 3.

El *zoom* digital explicado de forma sencilla es tomar un trozo del sensor fotográfico de la cámara y luego estirar el resultado colocando píxeles intermedios. Un ejemplo simple es que si se tiene un sensor de $16\text{ píxeles} \times 16\text{ píxeles}$, hacer el *zoom* digital es tomar únicamente $8\text{ píxeles} \times 8\text{ píxeles}$ y rellenar digitalmente el resto con una mezcla de colores de manera que el resultado parezca agradable a la vista del usuario.

Una cámara con *zoom* óptico acerca la imagen antes de que sea capturada. La cámara hace esto moviendo diferentes partes de la lente entre sí. Esto acerca la imagen sin perder calidad. Algunos lentes pierden una ligera cantidad de contraste y enfoque [21].

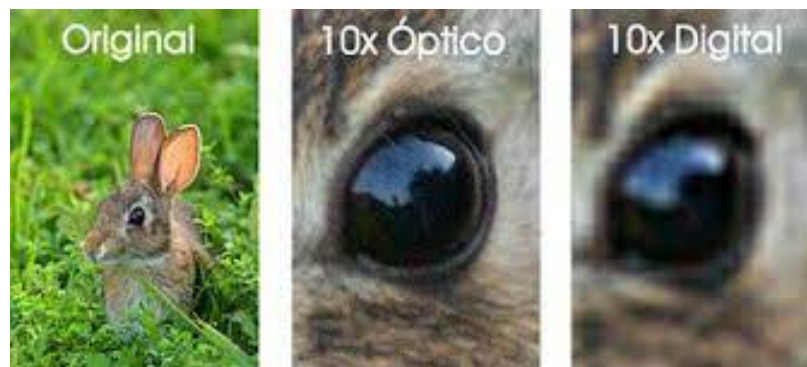


Figura 3: Diferencia entre acercamientos de imágenes [22].

Sensibilidad ISO

Esta sensibilidad es una escala que determina el grado de sensibilidad del sensor de una cámara digital respecto a la luz que se proyecta sobre el sensor. Mientras más grande el número de ISO es mayor la capacidad de recibir luz. En conjunto con la apertura del diafragma y el tiempo de exposición se definen la exposición (cantidad de luz capturada) en las fotografías [23].

Temperatura del color

La temperatura de color de una fuente de luz es la temperatura de un radiador ideal de cuerpo negro que irradia luz de tono comparable al de la luz fuente. La temperatura de

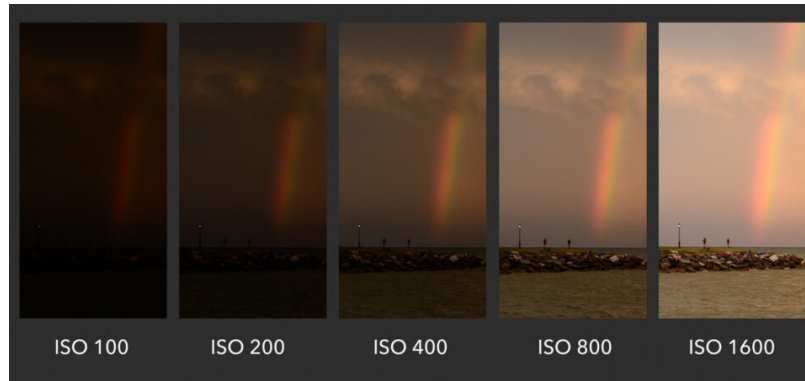


Figura 4: Comparación ISO [24].

color se expresa convencionalmente en la unidad de valor absoluto de temperatura, el Kelvin (K). La temperatura del color es una característica de la luz visible que tiene importantes aplicaciones en iluminación, fotografía, videografía, editorial, manufactura, astrofísica y otros campos [25].

Almacenamiento digital de fotografías

Mosaico de Bayer

Este filtro es un tipo de matriz de filtros, rojos, verdes y azules, que se sitúan en un sensor digital de imagen para que cada foto diodo reciba la información de luminosidad correspondiente a los colores primarios. Con una interpolación de 4 foto diodos vecinos se recibe un píxel de color. El mosaico de Bayer se forma de un 25 % de filtros rojos 50 % verdes y 25 % azules [26]. Se puede observar el comportamiento de el filtro en la figura 5.

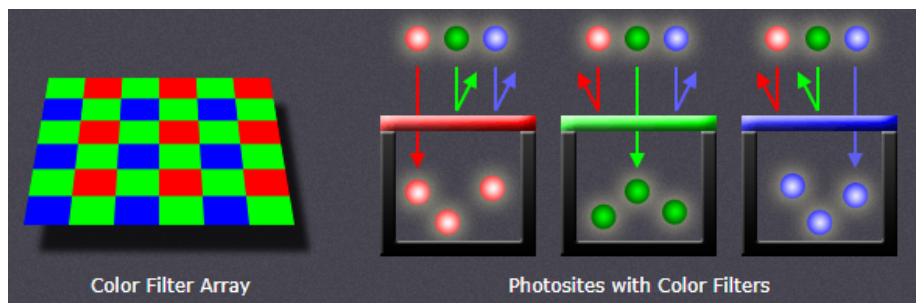


Figura 5: Cavidades de luz en Mosaico de Bayer [26].

Procesamiento digital de fotografías

Filtros

El filtrado lineal es un proceso en el que parte del espectro de frecuencias de la señal (imagen) es modificado por la función de transferencia del filtro. En general, los filtros considerados son lineales e invariantes al desplazamiento y, por lo tanto, las imágenes de salida se caracterizan por la suma de convolución entre la imagen de entrada y la respuesta de impulso del filtro [27].

Convolución

El método de aplicación de un filtro es comúnmente referido como convolución y esta trabaja en una vecindad de valores representados en matrices [27]. Se puede ver el proceso de convolución en la Figura 6.

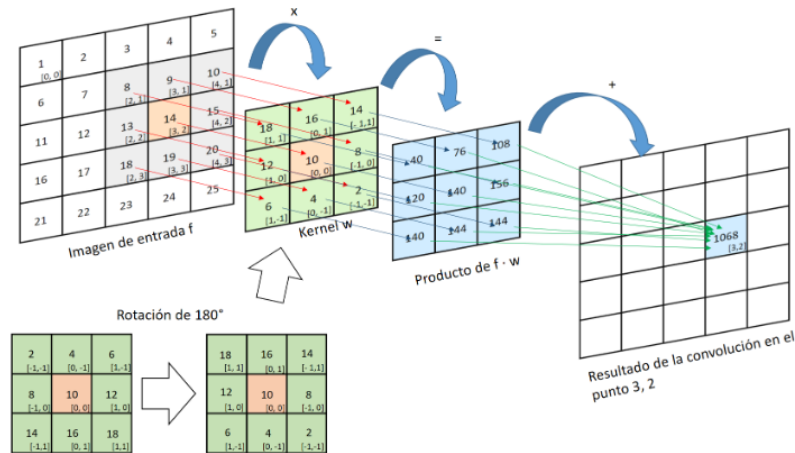


Figura 6: Proceso de convolución, en donde primero se multiplican el filtro Kernel “w” con la región correspondiente en la imagen y finalmente se suman para obtener el valor del píxel [28].

Detección de bordes

Los bordes naturalmente tienen una importancia especial en la percepción de objetos. Los bordes de un objeto presentan una ayuda al momento de comprender aspectos del mismo objeto como lo es la textura, la iluminación y la forma. Existen varios métodos de detección de objetos, por ejemplo:

Detectores de bordes por medio de gradientes

Los bordes se forman cuando hay un cambio drástico en la iluminación de uno o mas píxeles. Si se considera la imagen como una función, un cambio drástico en su valor es considerado como un borde. Por tanto un píxel es un borde si la magnitud de la primer derivada de la imagen en ese píxel es grande [29].

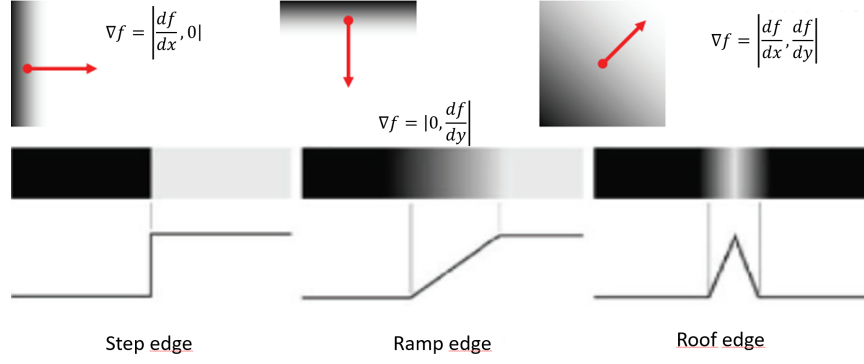


Figura 7: derivadas parciales relativas al tipo de borde [29].

Si se denota la imagen como una función de 2 dimensiones el gradiente de la función tiene dirección [29]. Se puede desarrollar el gradiente en el píxel en dirección x y en dirección y separadamente y luego combinarlos para obtener el gradiente de la imagen de la siguiente manera:

$$\nabla f = \left(\frac{\partial f}{\partial x}, \frac{\partial f}{\partial y} \right) = (g_x, g_y) \quad (1)$$

Detectores de bordes basados en curvatura

Estos detectores se basan en que los bordes ocurren cuando el gradiente de la imagen alcanzan un máximo o mínimo. En los puntos de máximos o mínimos del gradiente la segunda derivada o la curvatura tiene un punto cruzando 0. La ventaja de este método es que responde similar a las distintas direcciones de bordes y encuentra la posición correcta del borde. La curvatura en la dirección x es:

$$g_x - g_{x-1} = f(x+1, y) - 2f(x, y) + f(x-1, y) \quad (2)$$

Si se consideran las diferencias finitas del gradiente en la dirección vertical y se agregan a la ecuación (2) el operador de la curvatura tomara en cuenta no solo al píxel mismo sino que a los vecinos conectados junto al píxel [29]. Los operadores de segunda derivada son:

- Laplaciano: Encuentra ejes con orientación para afuera y orientación para adentro.

$$\nabla^2 f = \left(\frac{\partial^2 f}{\partial^2 x}, \frac{\partial^2 f}{\partial^2 y} \right) \quad (3)$$

- LOG: Combina el efecto de un suavizamiento gaussiano con el laplaciano en una sola mascara.

$$\nabla^2 G = \left(\frac{\partial^2 G}{\partial^2 x}, \frac{\partial^2 G}{\partial^2 y} \right) \quad (4)$$

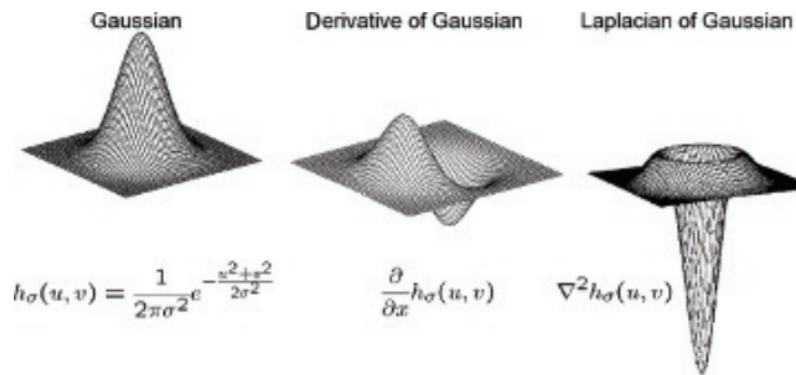


Figura 8: Gaussiano y Laplaciano de Gaussiano [29].

Correlación y coincidencia de patrones

Si $y_t = f(x_t)$, una relación entre x y y puede observarse. La fuerza de la relación lineal es frecuentemente caracterizada como un coeficiente de correlación entre x y y . La convolución cuando se usa en funciones compensadas por su media, se puede usar para encontrar el grado de similitud entre una plantilla y una región en la imagen [27].

Derivación de la dinámica del mecanismo

7.1. Dinámica de cuerpos rígidos

7.2. Restricciones

7.2.1. Mecanismos de lazo cerrado

Mecanismo de cuatro barras

8.1. La ecuación del manipulador

12	3.2	3.43	23	13
aasdasdd	asd	ssdssa	ssdas	asdasda

Cuadro 1: Tabla de prueba. Esta es una breve descripción de la tabla anterior. Continuamos con la descripción de esta forma y se menciona que fue de elaboración propia.

Aquí seguimos escribiendo texto normalmente.

CAPÍTULO 9

Conclusiones

CAPÍTULO 10

Recomendaciones

- [1] Renishaw plc, *Sistema robotizado neuromate® para neurocirugía estereotáctica*. Accessed Apr. 19, 2022 [Online]. dirección: <https://www.renishaw.es/es/sistema-robotizado-neuromate-para-neurocirugia-estereotactica--10712>.
- [2] *Información Acerca de Brainlab*, Accessed: 2022-05-03. dirección: <https://www.brainlab.com/es/acerca-de-brainlab/>.
- [3] J. González, «Reconocimiento de objetos utilizando OpenCV y Python en una Raspberry pi 2 en una tlapalería.» Tesis de licenciatura, Universidad Autónoma del Estado de México, 2017. dirección: <http://ri.uaemex.mx/bitstream/handle/20.500.11799/68150/tesis%5C%20opencv%5C%20python.pdf?sequence=1>.
- [4] G. Viera-Maza, «Procesamiento de Imágenes usando OpenCV aplicado en Raspberry PI para la clasificación del cacao.» Tesis de licenciatura, Universidad de Piura, 2017. dirección: https://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/11042/2916/IME_218.pdf.
- [5] M. E. González, «Técnicas de procesamiento de imágenes aplicadas al monitoreo de procesos alimentarios.» Tesis de mtría., Universidad de la República de Uruguay, 2021. dirección: <https://www.colibri.udelar.edu.uy/jspui/bitstream/20.500.12008/26835/1/GON21.pdf>.
- [6] A. Oliva, «Desarrollo de una aplicación de reconocimiento de imágenes utilizando Deep Learning con OpenCV.» Tesis de licenciatura, Universidad Politécnica de Valencia, 2018. dirección: <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/107243/OLIVA%5C%20-%5C%20Desarrollo%5C%20de%5C%20una%5C%20aplicaci%5C%C3%5C%B3n%5C%20de%5C%20reconocimiento%5C%20en%5C%20im%5C%C3%5C%A1genes%5C%20utilizando%5C%20Deep%5C%20Learning%5C%20con%5C%200...pdf?sequence=1&isAllowed=y>.
- [7] M. Forero y J. Henao, «Sistema de control de calidad por procesamiento de imágenes.» Tesis de licenciatura, Pontificia Universidad Javeriana, 2016. dirección: <https://repository.javeriana.edu.co/bitstream/handle/10554/21451/ParedesForeroMelissa2016.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.

- [8] OMS, «Más de la mitad de las personas con epilepsia no reciben ningún tipo de atención en América Latina y el Caribe,» *OPS/OMS Guatemala*, 2019. dirección: https://www3.paho.org/gut/index.php?option=com_content&view=article&id=1188:mas-de-la-mitad-de-las-personas-con-epilepsia-no-reciben-ningun-tipo-de-atencion-en-america-latina-y-el-caribe&Itemid=441.
- [9] *Humana*, Accessed: 2022-04-29. dirección: <https://humanagt.org/>.
- [10] J. P. Guerra, «Algoritmos de Visión por Computadora para el Reconocimiento de la Pose de Agentes Empleando Programación Orientada a Objetos y Multihilos.,» Tesis de licenciatura, Universidad Del Valle de Guatemala, 2021.
- [11] J. I. Ramírez, «Herramienta de Software de Visión por Computadora para Aplicaciones de Robótica de Enjambre en una Mesa de Prueba - Fase III.,» Tesis de licenciatura, Universidad Del Valle de Guatemala, 2021.
- [12] J. G. González, «Diseño de un sistema de procesamiento de imágenes para la identificación de variables en la pantalla del sistema Brainlab del Centro de Epilepsia y Neurocirugía Funcional HUMANA.,» Tesis de licenciatura, Universidad Del Valle de Guatemala, 2021.
- [13] Brainlab AG, *High precision instrument alignment VarioGuide*, Accessed Apr. 27, 2022 [Online]. dirección: <https://www.brainlab.com/surgery-products/overview-neurosurgery-products/cranial-navigation/>.
- [14] A. Ajgaonkar, «The Value of Computer Vision: More Than Meets the Eye,» *Tech Journal*, n.º 1, mar. de 2021.
- [15] N. K. Mohamed Cheriet y col., *Character Recognition Systems [OCR]*. Wiley-Interscience, 2007, ISBN: 9780471415701. dirección: <http://gen.lib.rus.ec/book/index.php?md5=dc99595b218c296c424678ae17925fa8>.
- [16] Y. Fernández, «Live Text en iOS 15: cómo usarlo para reconocer textos con la cámara o desde tu galería de fotos,» *Xataka*, sep. de 2021.
- [17] BBC, «How do digital images work?» *BBC Bitesize*, mar. de 2022. dirección: www.bbc.co.uk/bitesize/topics/zf2f9j6/articles/z2tgr82.
- [18] M. Lyra, A. Ploussi y A. Georgantzoglou, «MATLAB as a Tool in Nuclear Medicine Image Processing,» en oct. de 2011, ISBN: 978-953-307-907-3. DOI: 10.5772/19999.
- [19] S. Gomez, «Qué es y como mejorar la nitidez de una imagen,» oct. de 2027. dirección: <https://miniminim.com/nitidez-de-una-imagen/>.
- [20] J. Barros, «Fotografía: tamaño de imagen, resolución y tamaño físico,» abr. de 2022. dirección: <https://perio.unlp.edu.ar/catedras/iddi/wp-content/uploads/sites/125/2022/04/Fotografia.-Tamano-de-imagen-resolucion-y-tamano-fisico.pdf>.
- [21] Sanne, «What is the difference between optical zoom and digital zoom?» *CoolBlue*, ene. de 2022. dirección: <https://www.coolblue.nl/en/advice/difference-optical-and-digital-zoom.html>.
- [22] Y. Ananenko, «La cámara fotográfica y la cámara móvil.Comparación de características y prestaciones.Análisis de parámetros de calidad.,» Tesis de mtría., Universitat Politècnica de Catalunya, jun. de 2016. dirección: https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/118954/yulia.ananenko%5C%20-%5C%20TFG_Yulia%5C%20Ananenko.pdf.

- [23] N. León, «ISO en Fotografía: Qué es y Cómo Se Usa,» *dzom*, ene. de 2021. dirección: <https://www.dzoom.org.es/sensibilidad-iso-que-es-y-como-funciona/>.
- [24] N. Mansurov, «What is ISO? The Complete Guide for Beginners,» *Photografy life*, abr. de 2022. dirección: <https://photographylife.com/what-is-iso-in-photography>.
- [25] A. K. Roy, *Principles of colour and appearance measurement: Object appearance, colour perception and instrumental measurement*, ép. Woodhead Publishing Series in Textiles 159. Woodhead Publishing, 2014, vol. Volume 1, ISBN: 978-0-85709-229-8.
- [26] S. McHugh, «DIGITAL CAMERA SENSORS,» *Cambridge in Coulor*, mayo de 2020. dirección: <https://www.cambridgeincolour.com/tutorials/camera-sensors.htm>.
- [27] J. P. David A. Forsyth, *Computer Vision: A Modern Approach*, US ed. Prentice Hall, 2002, ISBN: 9780130851987. dirección: <http://gen.lib.rus.ec/book/index.php?md5=9e052a7bd5eb18ca729f350b4c629a89>.
- [28] B. Medina, «Convolución en 2D (Filtrado espacial),» *Procesamiento digital de imágenes e Inteligencia Artificial GitHub*, jun. de 2019. dirección: <https://bryanmed.github.io/conv2d/>.
- [29] M. G. Aditi Majumder, *Introduction to Visual Computing: Core Concepts in Computer Vision, Graphics, and Image Processing*, 1.^a ed. CRC Press, 2018, ISBN: 978-1-4822-4491-5.

CAPÍTULO 12

Anexos

12.1. Planos de construcción

CAPÍTULO 13

Glosario

fórmula Una expresión matemática. 11

latex Es un lenguaje de marcado adecuado especialmente para la creación de documentos científicos. 11