

EN BÚSQUEDA DE LA OPTIMIZACIÓN

HERRAMIENTAS Y MÉTODOS

ISBN: 978-607-8262-11-3



Sistema de visión industrial para piezas en procesos con dispositivo móvil o single board computer: Revisión de literatura

Arturo Heriberto Alanís Pérez

Universidad Autónoma de Ciudad Juárez, Ciudad Juárez, Chihuahua, México.

Iván Juan Carlos Pérez Olguín

Universidad Autónoma de Ciudad Juárez, Ciudad Juárez, Chihuahua, México.

Manuel Iván Rodríguez Borbón

Universidad Autónoma de Ciudad Juárez, Ciudad Juárez, Chihuahua, México.

Luis Asunción Pérez Domínguez

Universidad Autónoma de Ciudad Juárez, Ciudad Juárez, Chihuahua, México.

Luis Alberto Rodríguez Picón

Universidad Autónoma de Ciudad Juárez, Ciudad Juárez, Chihuahua, México.

Resumen: Se definen aspectos de los sistemas de visión computacional utilizados en procesos industriales, así como la tecnología actual desarrollada, que incluye la nueva tecnología en dispositivos móviles, la arquitectura de hardware y software, además de la plataforma de desarrollo para aplicaciones Android que facilita el desarrollo de aplicaciones para los programadores; se presentan los avances en la tecnología de los dispositivos móviles y Single Board Computer (SBC) en el procesamiento de imágenes, por último, se presenta una revisión literaria del uso de redes neuronales y conjuntos difusos para reducir el costo computacional en el análisis y procesamiento de imágenes.

Palabras clave: Sistema de visión, dispositivo móvil, conjuntos difusos, redes neuronales, bibliotecas para procesamiento de imágenes y SBC.

1. Introducción

Visión artificial es una disciplina científica que incluye métodos para adquirir, procesar, analizar y comprender las imágenes, donde el procesamiento de la información presenta una alta complejidad. La visión artificial supone un desafío para la tecnología y la ciencia actual ya que hasta la fecha ni las máquinas más potentes han logrado alcanzar la capacidad de los sistemas visuales naturales [1]. Esto a pesar de que los sistemas de visión artificial han evolucionado a medida que la tecnología ha evolucionado y han permitido la creación de cámaras, computadoras y algoritmos de procesamiento potentes [2].

Actualmente el procesamiento de imágenes tiene como objetivo principal mejorar el aspecto de las mismas para hacer más evidentes los detalles que se consideran importantes [3-4], para lo cual se requiere de la aplicación

de algoritmos que permiten la optimización [5-6], siendo los algoritmos de reconocimiento de imágenes ampliamente utilizados en aplicaciones de visión por computadora [7].

La evolución de los dispositivos de procesamiento como las computadoras y la reducción de sus componentes han desarrollado una tecnología nueva en los dispositivos móviles, la cual ha permitido el desarrollo de nuevas capacidades de procesamiento llegando a ser, algunos dispositivos tan potentes como algunas computadoras personales [8].

En este sentido, las tecnologías inalámbricas están teniendo gran auge y crecimiento en su desarrollo en los últimos años, siendo la de mayor desarrollo la telefonía celular, que desde sus inicios a finales de los 70s ha revolucionado las actividades que se realizan diariamente. Hasta ser convertida en una herramienta primordial de uso cotidiano

para los negocios [9-11]. Uno de los principales problemas que enfrenta la telefonía móvil y las Single Board Computer con independencia de su sistema operativo, es la cantidad limitada de recursos de CPU, memoria RAM y batería [12]. Por lo tanto, el uso eficiente de los mismos se convierte en un elemento clave en el desarrollo y evaluación de una aplicación móvil o embebida que demande un elevado procesamiento computacional, como es el caso de los algoritmos para reconocimiento de imágenes [7]. Donde el ahorro de procesamiento se ve reflejado en el ahorro de energía, el cual es uno de los aspectos que más limitan el uso de aplicaciones [13] y en el tiempo de respuesta que percibe el usuario de la aplicación.

2. Problemática

La importancia de la calidad en los productos es de los temas más discutidos en las empresas y la reducción de defectos es uno de los principales puntos de atención, es por ello que se han generado metodologías y programas especializados, para establecer sistemas de detección e inspección confiables del producto [14]. Actualmente se ha optado por utilizar equipos automatizados/especializados para la detección de defectos en las áreas de manufactura, siendo los sistemas de visión un recurso para la detección de productos no conformantes, de alta demanda por los ingenieros de proceso, pero para muchas empresas estos sistemas representan un alto costo, ya que adquirir equipo de visión especializado genera un gasto en los recursos económicos de la empresa que en algunos productos no justifica su adquisición [15]. Lo que hace necesario tener alternativas flexibles, de bajo costo, con niveles de confiabilidad similares a los sistemas tradicionales de visión [16-17].

Arduino, Raspberry Pi, LattePanda y BeagleBoneBlack son ejemplos de tarjetas de desarrollo que realizan tareas computacionales que son usadas como alternativas de bajo costo en proyectos de automatización o para reemplazar PLC/IO Board [18]. Un ejemplo de lo anterior es el Automatic Guided Vehicle (AGV) desarrollado por [19] que consiste en un robot móvil con visión artificial tipo montacargas utilizando Arduino Uno R3, que mediante Matlab procesa las imágenes para guiarse y utiliza el protocolo de comunicación Zigbee, donde una cámara web mapea el área y el robot móvil es detectado por marcas en su parte superior para guiarlo a través del almacén, el control de movimiento utiliza conjuntos difusos para que el sistema de visión encuentre la distancia del robot móvil con respecto a la meta, el cual se calcula obteniendo la distancia euclidiana entre las coordenadas del centroide del área máxima del robot y las coordenadas de la meta.

3. Sistemas de visión para aplicación industrial

Para la industria es importante tener sistemas confiables de calidad que ayuden a la inspección visual donde se requiere alto grado de confiabilidad, para reducir la variación del proceso de inspección humano, ya que la confiabilidad de este sistema depende de la experiencia del personal y del estado de ánimo [20-21]. Por lo que es necesario desarrollar y adaptar sistemas de visión que permitan capturar grandes cantidades de datos de forma rápida y procesarlos para ayudar a dotar a la maquinaria de percepción del mundo real, que incluyan métodos para adquirir, procesar, analizar y comprender las imágenes con el fin de producir información numérica o simbólica [22-24].

En [25] se muestra el desarrollo de sistemas de visión artificial que detectan anomalías en la superficie de los capacitores con la función Non-sampled Contourlet Transform (NSCT), [26] utiliza técnicas de procesamiento de imágenes para reducir el ruido en el procesamiento se aplica un filtro de tipo umbral para mejorar la inspección de la superficie de los capacitores, el proyecto hace uso de una tarjeta madre industrial SOYO con un procesador Celeron 1037U, 1.8 GHz con 2 GB de RAM donde se utilizan 4 dispositivos para capturar y detectar las superficies del capacitor, el reto principal fue la aplicación de la función NSCT, a la cual se aplicó el umbral por medio de la transformada inversa de Fourier para suprimir el fondo y los contornos, para dar contorno a las imágenes de las superficies del capacitor. En [27] el reto radica en el gran número de superficies a inspeccionar por lo que se plantea una solución basada en instalar cámaras en una banda transportadora. Las ventajas que definen los autores son alta eficiencia y reducción en costos al tener una base de datos de los defectos y no tener que perder tiempo en definir si cumple los requerimientos mínimos.

4. Uso de dispositivos móviles y single board computer en aplicaciones industriales

El desarrollo e implementación de la tecnología móvil y sistemas Single Board Computer en la industria ha estado teniendo auge por el ahorro que representa (ahorros del 80% al compararlo con sistemas industriales tradicionales) y las amplias ventajas de aplicación [18]. A continuación, se presentan algunos ejemplos.

4.1. Aplicación de Arduino en los sistemas de manufactura

Un sistema inteligente de inspección y selección de piezas en una celda de manufactura es presentado en [28], el sistema detecta color y forma de las piezas, mediante una cámara digital que captura la imagen y las procesa mediante redes neuronales artificiales donde determinan según sus

características el tipo de proceso en la celda de manufactura, haciendo uso de una computadora, se envía información a una tarjeta de adquisición de datos (DAQ) que a su vez transmite la información a un PLC, el cual controla las electroválvulas de la celda de manufactura. La complejidad del sistema requirió de diferentes técnicas y herramientas para resolver los problemas del proyecto en el sistema de visión en particular, se tenía la dificultad en la detección de las piezas para su proceso, donde uno de los retos fue controlar la iluminación al capturar la imagen, donde la codificación de color se realiza en base al sistema RGB y clasifica los objetos de una manera óptima, sin embargo un problema interesante es la detección de fallas internas y externas de productos por lo que se utilizó un algoritmo para encontrar contornos.

4.2. Aplicación de NVIDIA Jetson Pro-development en sistemas de seguimiento basado en visión computacional

Una propuesta de desarrollo de un sistema capaz de detectar, localizar y rastrear vehículos en tiempo real utilizando algoritmos de visión computarizada en una plataforma integrada para un sistema avanzado de asistencia al conductor (ADAS) es presentado en [29], la cual es una de las dos áreas enfocadas por la industria automotriz, la otra área es la de los AGV's donde su enfoque es que el vehículo sea autónomo. Se utiliza una cámara de color monocular de punto gris para captura de imágenes, hace uso del lenguaje de programación desarrollado para unidades de procesamiento gráfico (GPU) que proporciona potencia de procesamiento paralelo necesaria para interpretar secuencias de vídeo. Estos procesadores son fundamentales para garantizar el control del vehículo en tiempo real, ya que son capaces de soportar las vibraciones y el uso continuo. Los sistemas integrados ofrecen un tamaño y costo reducido en comparación con los equipos de uso industrial. El video se procesa usando máquinas vectoriales de soporte (SVM) y redes neuronales convolucionales (CNN). Finalmente se utilizan bibliotecas tales como: CUDA, OpenCV y CudNN que están optimizadas para el Jetson TK1, así como las bibliotecas LibSVM y Caffe para entrenar modelos SVM y CNN.

4.3. Aplicación de Raspberry Pi para inspección de piezas de impresión 3D

En [30] se define que los sistemas automatizados de fabricación con aditivos carecen de la capacidad de evaluar la calidad de los productos que ellos producen. Las impresoras 3D, por ejemplo, continúan imprimiendo hasta que hayan completado todos los pasos de una secuencia, aunque su filamento se haya agotado o se haya atascado parcialmente [31]. Estas impresoras no pueden detectar defectos que potencialmente podrían ser corregidos automáticamente (si se detectan antes de que se implemente otra capa). Tampoco pueden identificar

defectos que requieran intervención manual o que puedan hacer que el objeto no sea apto para el uso. Lo que requiere el reinicio de la impresión y el tiempo adicional, o el desperdicio en los suministros consumidos de la impresión. El escaneo tridimensional representa un subcampo de procesamiento de imágenes, conocido como técnicas de luz estructurada. Donde se utilizan aproximaciones de luz para obtener mediciones en 3D [32-33]. Por lo que se propone utilizar técnicas de luz estructural para monitorear los defectos en la fabricación de piezas con impresoras 3D e interpretar el tipo de defecto y repararlo [34-35]. El proyecto está en desarrollo y se utilizarían 5 tarjetas de Raspberry Pi y 5 cámaras que se conectarán a un servidor mediante conexión Ethernet, el servidor procesará las imágenes obtenidas y realizará una imagen 3D del mapeo obtenido para su comparación y procesamiento, como el propuesto en [36].

4.4. Aplicación de Raspberry Pi que determina la madurez y la graduación de tomate mediante análisis de imagen

Se han introducido algunos sistemas de selección y clasificación de frutas disponibles comercialmente, pero son muy caros para la pequeña y mediana industria de procesamiento de fruta. En [37] se muestra la inspección de la calidad del tomate en función de la forma, el tamaño y el grado de madurez. Se utiliza un algoritmo de detección de bordes para estimar la forma y el tamaño del tomate y se usa el algoritmo de detección de color para la determinación de la madurez. Todos estos algoritmos se implementan en la tarjeta de desarrollo computacional Raspberry Pi, el sistema completo incluye cinta transportadora, motores, cámara Pi. El sistema es flexible se puede utilizar para otras frutas y verduras también.

4.5. Desarrollo de sistema de visión con Raspberry Pi para inspección de PCB (Printed Circuit Board)

La inspección visual es una parte esencial en el control de calidad por lo que [38] muestra el desarrollo de técnicas para el procesamiento de imágenes utilizando técnicas para detectar la diferencia en comparación con una imagen de referencia. De esta manera, se pueden detectar defectos de procesamiento como faltantes de componentes, imprecisiones en la posición de colocación y otros defectos. En este trabajo de investigación en particular, se desarrolló un prototipo para detectar automáticamente defectos con el fin de ayudar al trabajador a reconocer los defectos de PCB utilizando un tablero, mouse y teclado Raspberry-Pi, un dispositivo de desplazamiento CNC XY, un dispositivo de visualización y un microscopio USB. Para concluir se definió como la mejor técnica la de filtro Gaussiano adaptativo y que un problema para la captura fue la iluminación.

4.6. Aplicación de Raspberry Pi para detección de matrículas de vehículos

En [39] se muestra la utilización de la tarjeta Raspberry Pi para el reconocimiento de matrículas en un sistema de casetas de peaje, donde el sistema basa su desarrollo en visión artificial por computadora utilizando OpenCV (Open Source Computer Vision) con un sistema operativo basado en Linux. En [40] se establece que actualmente hay tres formas diferentes de recolectar información del usuario, el primero la recolección manual donde un operador de caseta tenía que recolectar los datos, el segundo por medio de la radiofrecuencia más específico RFID (Radio Frequency Identification), el cual consiste en un transmisor que contiene la información y un lector que procesa la información que se recibe, y el tercero por códigos de barras donde se agregaría un código de barras para su identificación y su recolección de datos por medio de escáner.

4.7. Aplicación de Field Programmable Gate Arrays (FPGA) y LattePanda para sistema de visión binocular

En [41] se presenta la simulación de un sistema de visión para protección de plantas incorporando el control de vuelo para obtención de imágenes. Se adaptó una cámara estereoscópica binocular de tipo DM461 considerando la precisión de la medición de la profundidad de la cámara y las necesidades reales del UAV (Unmanned Aerial vehicle). Con la ayuda de la tecnología binocular, la cámara recibe dos datos de imagen infrarroja con una interfaz diferencial de baja tensión y realiza cómputo de alta velocidad en un chip FPGA integrado. El principio básico de la visión estereoscópica binocular radica en la adquisición de la información 3D de la escena. Se observa el mismo objeto desde dos perspectivas para obtener la imagen de proyección desde diferentes ángulos, se calcula mediante triangulación entre los píxeles de la imagen para adquirir la información 3D.

Después de determinar la línea de base entre las dos cámaras, la relación entre la profundidad y la información 3D se calcula mediante similitud triangular. En el desarrollo del proyecto se propone un equipo comercial para la estructura de vuelo y para la obtención de los datos de profundidad de cada punto en el campo de vista se obtendrán y se procesarán en el FPGA, con ayuda de la tarjeta LattePanda se procesarán las imágenes y los datos obtenidos para realizar un estudio de profundidad con ayuda de la herramienta de desarrollo Visual Studio donde se creará un mapa para optimización del control de vuelo. La principal ventaja evidente del diseño basado en FPGA es la flexibilidad para explotar la velocidad de procesamiento paralela. En un procesador en serie, esto puede llevar mucho tiempo, pero en un FPGA pueden tener lugar múltiples tareas por su arquitectura paralela.

Para concluir la única desventaja al usar FPGA para cualquier tipo de procesamiento de señal digital es el requerimiento práctico de incorporar periféricos [42].

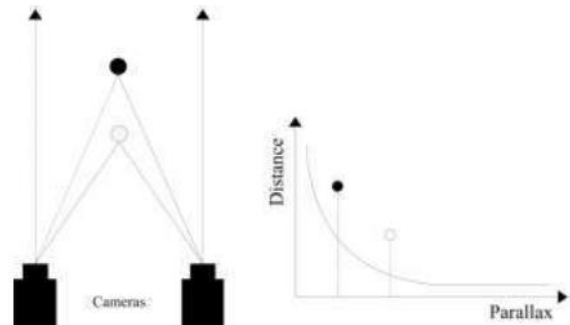


Figura 1. Sistema de cámaras para visión estereoscópica [41].

5. Bibliotecas y algoritmos para uso en procesamiento de imágenes

El uso de códigos y librerías para la optimización de recursos computacionales al procesar imágenes en los sistemas de visión es un reto [43]. En la actualidad las aplicaciones de visión computacional en los dispositivos solo se usan de forma recreativa y en pocos casos como herramienta de ayuda, por lo que en general son usados en filtrado, para sobreponer dibujos o animaciones y en casos más específicos en reconocimiento de códigos QR o lectura de caracteres para facilitar al usuario la escritura [44]. Una de las bibliotecas para el procesamiento de imágenes con mayor alcance es OpenCV ya que cuenta con soporte para la mayoría de los sistemas operativos y plataformas, pero también existen bibliotecas basadas en C, C++ y Python como SimpleCV, SciPy, Numpy, Mahotas, H5PY, CellProfiler, PIL, CUDA, CudNN, Boost, ImageMagick, CImg, FreeImage, ImgSource, CxImage, ITK y IM.

5.1. Open Source Computer Vision (OpenCV)

OpenCV se lanzó bajo una licencia de BSD (Berkeley Software Distribution) y por lo tanto es libre para el uso académico y comercial. Tiene interfaces C, C++, Python, Java y soporta Windows, Linux, Mac OS, iOS y Android. OpenCV fue diseñado para la eficiencia computacional y con un fuerte enfoque en aplicaciones en tiempo real. Los usos van desde proyectos escolares hasta la inspección de minas, la creación de mapas en la web o la robótica avanzada. Es una biblioteca de visión artificial originalmente desarrollada por Intel [45-46]. Por su compatibilidad con diferentes plataformas, las librerías OpenCV permiten aprovechar herramientas para crear soluciones potentes en proyectos de visión artificial [14]. OpenCV tiene una estructura modular. Los módulos principales de OpenCV son:

- Core: Este es el módulo básico de OpenCV. Incluye las estructuras de datos básicas y las funciones básicas de procesamiento de imágenes. Este módulo también es usado por otros módulos como Highgui.
- Highgui: Este módulo provee interfaz de usuario, códecs de imagen, vídeo y capacidad para capturar imágenes y vídeo, además de otras capacidades como la de capturar eventos del ratón, ...
- Imgproc: Este módulo incluye algoritmos básicos de procesado de imágenes, incluyendo filtrado de imágenes, transformado de imágenes, ...
- Video: Este módulo de análisis de vídeo incluye algoritmos de seguimiento de objetos, entre otros, ...
- Objdetect: Incluye algoritmos de detección y reconocimiento de objetos para objetos estándar.

En la Figura 2 es posible observar el uso de bibliotecas de procesamiento de imágenes en investigaciones documentadas registradas en la base de datos Scopus, en ella es posible visualizar que la librería con mayor uso es OpenCV; sin embargo, existen otras bibliotecas con frecuencia de uso nada despreciable.

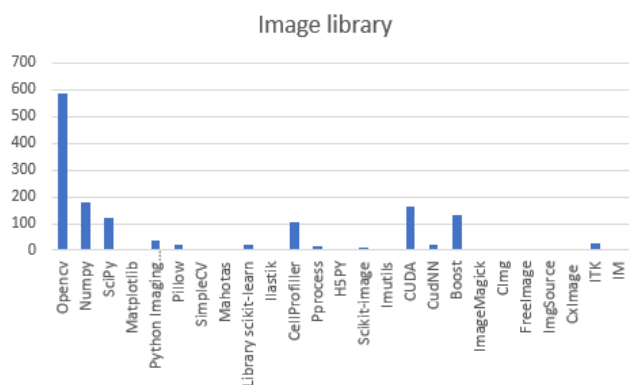


Figura 2. Relación de uso de bibliotecas de procesamiento de imagen en documentos registrados en base de datos Scopus [47].

5.2. SimpleCV

SimpleCV es un marco de código abierto, lo que significa que es una colección de bibliotecas y software que puede usarse para desarrollar aplicaciones de visión. Permite trabajar con imágenes o secuencias de video que provienen de cámaras web, Kinects, FireWire, cámaras IP e inclusive teléfonos móviles. Ayuda a crear software para que sus diversas tecnologías no solo vean el mundo, sino también lo entiendan. SimpleCV es de uso gratuito y, como es de código abierto, también puede ser modificado dependiendo de las necesidades particulares de la aplicación. Está escrito en Python y se ejecuta en Mac, Windows y Ubuntu Linux. Fue desarrollado por los ingenieros de Sight Machine y bajo la licencia BSD [48].

5.3. Mahotas

Mahotas es una biblioteca de funciones para el procesamiento de imágenes y visión por computadora escrita en Python. Contiene la funcionalidad tradicional de procesamiento de imágenes, como el filtrado y las operaciones morfológicas, así como funciones de visión por computadora más modernas para el cálculo de características, incluida la detección de puntos de interés y descriptores locales. Originalmente fue diseñada para informática de bio-imagen, pero también es útil en otras áreas. Está completamente basado en matrices NumPy. Tiene sus rutinas de procesamiento implementadas en C++ y todo el código es autónomo [49]. Para la lectura y captura de imágenes se tienen los siguientes bloques:

- SURF.
- Umbralización.
- Casco convexo.
- Dibujo poligonal.
- Cómputo de características: texturas Haralick, patrones binarios locales y momento de Zernike.
- Transformadas de distancia.
- Interfaz Freeimage e imread.

5.4. NumPy

NumPy es una biblioteca para el lenguaje de programación Python que brinda soporte para matrices grandes y multidimensionales. Mediante NumPy es posible expresar imágenes como matrices multidimensionales con cada píxel codificado en el espacio de color RGB. Representar imágenes como matrices NumPy no solo es computacionalmente eficiente en cuanto a recursos, sino que muchas otras bibliotecas de procesamiento de imágenes y aprendizaje automático también utilizan representaciones de matrices NumPy. Además, al usar las funciones matemáticas de alto nivel integradas a NumPy, es posible realizar rápidamente un análisis numérico. NumPy tiene una interfaz de Python completa, pero también se puede acceder fácilmente desde C, C++ y Fortran, lo que facilita la optimización de los cuellos de botella en rendimiento o la reutilización de bibliotecas existentes a usuarios con escaso o nulo conocimiento de Python [50].

5.5. Matplotlib

Es una biblioteca para la generación de gráficos 2D de Python que produce figuras de calidad de publicación en una variedad de formatos impresos y entornos interactivos en todas las plataformas. Puede generar gráficos, histogramas, espectros de potencia, gráficos de barras, diagramas de errores, diagramas de dispersión a partir de datos contenidos en listas o matrices en el lenguaje de programación y su extensión matemática NumPy. Proporciona una API, Pylab [51].

5.6. Python Imaging Library (PIL)

Python Imaging Library (PIL) agrega capacidades de procesamiento de imágenes a su intérprete de Python. Esta biblioteca es compatible con muchos formatos de archivo y proporciona un potente procesamiento de imágenes y capacidades gráficas RGB [52].

5.7. Imutils

Proporciona una serie de funciones de conveniencia para realizar funciones básicas de procesamiento de imágenes como traducción, rotación, cambio de tamaño, esqueletización, visualización de imágenes de Matplotlib, ordenamiento de contornos, detección de bordes y mucho más fácil con OpenCV y Python [53].

5.8. Scikit-learn

No es una biblioteca de procesamiento de imágenes o visión artificial, es una biblioteca de aprendizaje automático. Dicho esto, no se pueden tener técnicas avanzadas de visión artificial sin algún tipo de aprendizaje automático, ya sea clúster, cuantificación vectorial, modelos de clasificación, ..., Scikit-learn también incluye un puñado de funciones de extracción de características de imagen [54].

5.9. Ejemplo de aplicación de librería

El uso de bibliotecas y desarrollo de algoritmos para la optimización de costo computacional es de las prácticas más utilizadas en visión artificial. En sistemas de inspección con visión artificial dos de las técnicas más utilizadas son umbral donde se segmenta los píxeles a utilizar [43] y binarización donde los píxeles se mandan a uno o a cero [44]. En [45] se presenta un programa para el control de posición en el proceso de perforado "Through-Hole" en la manufactura de placas de circuitos impresos. Este sistema es capaz de proporcionar un mecanismo de realimentación visual a una máquina de control numérico computarizado (CNC), de modo tal que se pueda compensar, detectar y corregir posibles errores en la posición de la herramienta de perforación de manera automática, antes y durante la realización del proceso de perforación. La etapa de detección del área de perforado se hace mediante un sencillo proceso de reconocimiento visual que consta de un tratamiento, una segmentación y un reconocimiento de la ubicación del área de perforado, basado en contornos. El tratamiento previo de la imagen capturada se realiza a través de un filtro de imagen, cuya responsabilidad consiste en aplicar cuatro ajustes básicos a saber:

1. Ajuste de brillo.
2. Incremento del contraste de la escena.
3. Reducción del ruido.
4. Mejoramiento en la definición de los bordes de los elementos presentes en la escena.

Una vez procesada la imagen del PCB se aplica el algoritmo de modelo de color Hue Saturation Lightness (HSV) o Hue Saturation Value (HSL), y el siguiente paso es segmentar y extraer los contornos de los objetos resaltados mediante la aplicación de un filtro Canny, aplicado a la imagen [46]. Para concluir la fase de autocorrección de posición consiste en aplicar las correcciones encontradas durante la fase de detección; dicha aplicación puede ser en tiempo real, mientras se corre el programa de trabajo, o mediante una simulación del desplazamiento, donde las correcciones se guardan en memoria y se aplican al programa de trabajo una vez finalizada la simulación.

6. Lógica difusa

La lógica difusa se puede utilizar cuando la complejidad del proceso en cuestión es muy alta y no existen los modelos matemáticos precisos, para procesos altamente no lineales y cuando se envuelven definiciones y conocimiento no estrictamente definido (impreciso o subjetivo). Se basa en lo relativo de lo observado como posición diferencial donde hay una imprecisión presente en lenguaje natural cuando se describen fenómenos que no tienen límites claros [55]. Por lo cual la teoría de conjuntos difusos proporciona herramientas matemáticas para llevar a cabo procesos de razonamiento aproximado cuando la información disponible es incierta, incompleta o imprecisa. En [56] se muestra el diseño y desarrollo de un sistema automático de visión para inspeccionar partes procesadas en prensas. Se obtuvieron datos por medio de procesamiento de imágenes basado en lógica de conjuntos difusos por lo que se establecieron parámetros para definir claramente los límites. Se aplican conjuntos difusos que son utilizados para relajar la restricción de que la función de pertenencia tome valores binarios (0–1), y se permite que tome valores en el intervalo (0–1). La necesidad de trabajar con conjuntos difusos surge a partir de la existencia de conceptos que no tienen límites claros [57]. Un ejemplo claro de los conjuntos difusos es la desplegada en la Figura 3, donde todo lo que está fuera de tiempo t_1 y t_2 es un 0 y cuando está dentro es un 1.

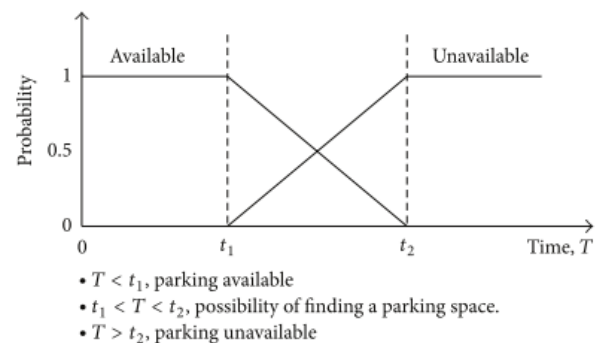


Figura 3. Teoría de conjuntos difusos [57].

7. Redes neuronales artificiales (RNA)

En [58-61] definen que una red neuronal es donde se procesa la información, de distribución altamente paralela, constituida por unidades sencillas de procesamiento llamadas neuronas. En definición una red neuronal artificial (RNA) puede considerarse simplemente como una fórmula matemática genérica no lineal con parámetros llamados pesos que se ajustan para representar la conducta de un sistema estático o dinámico. Están formadas por una gran cantidad de unidades o elementos de procesamiento llamados neuronas/perceptrón, las cuales se dividen en tres grupos diferentes:

1. Aquellas que reciben la información del exterior, también denominadas neuronas de entrada.
2. Aquellas que transmiten información al exterior, denominadas neuronas de salida.
3. Por último, aquellas que no tienen ningún contacto con el exterior y solamente intercambian información con otras neuronas de la red, a estas les llaman neuronas ocultas.

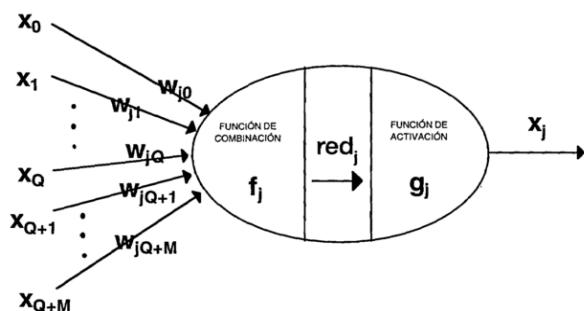


Figura 4. Representación esquemática de una neurona artificial [61].

En [62] se muestra el reconocimiento y clasificación de micro defectos en pantallas Liquid Crystal Display (LCD) aplicando una técnica de aprendizaje utilizando una red neuronal. Por lo primero, se examinaron seis tipos de defectos: grano, Black Matrix Hole (BMH), defecto de indium Tin Oxide (ITO), Missing Edge & Shape (MES), reflejos y partículas. Se obtuvieron los valores de las características, incluidos los valores de defecto de grises, los componentes RGB. Los resultados experimentales mostraron que el reconocimiento de defectos podría completarse tan rápido como 0.154 segundos utilizando el sistema de reconocimiento y el software Borland Development. En la clasificación de micro defectos, la red neuronal de propagación de retorno (BPNN) y el clasificador de distancia mínima (MDC) sirvieron para validar el sistema propuesto, este estudio usó 41 defectos como muestras de entrenamiento y trató los valores de las características de 307 muestras de prueba como las entradas del clasificador

BPNN. La tasa de reconocimiento total fue del 93.7% y cuando se usó un MDC, la tasa de reconocimiento total fue del 96.8%, lo que indica que el MDC es importante en la filtración de micro defectos. Sin embargo, la tecnología de sustracción de imágenes puede verse afectada por la desviación de las posiciones o el ruido causado por las fuentes de luz. Finalmente, todas las características se combinaron para identificar las áreas defectuosas y fueron claramente visibles por lo que la aplicación de técnicas de filtrado, así como el uso de la red neuronal fueron satisfactorias.

8. Uso de la tecnología móvil para inspección de piezas en procesos de línea de producción

La implementación de tarjetas de desarrollo, así como de dispositivos móviles, es algo que en tiempo pasado no era posible por la arquitectura y confiabilidad, gracias a la evolución de procesadores y reducción de elementos electrónicos, los dispositivos móviles ya pueden ser incorporarlos a la industria para el monitoreo de procesos [18].

8.1. Raspberry Pi

En [63] se implementó para un robot móvil el uso de patrones de reconocimiento en un sistema de visión artificial para detección de contornos y formas, donde el sistema de movimiento se ajusta para procesar correctamente la imagen y al ajustar su posición procesa la imagen detectando color y forma del objeto, algo parecido a lo que se realiza en las maquinas industriales de visión que para calibrar encuentran puntos de referencia. Donde para procesar mejor la imagen se reduce la resolución de la imagen a la mitad y después se devuelve a la resolución original para eliminar ruido, de la imagen obtenida se le aplica un filtro de mínimos y máximos de los valores de tono, saturación y brillo (HSV). Donde la imagen original RGB pasa a HSV para ser binarizada pasando los pixeles a blancos y negros. Para la aplicación de la máscara se filtra por HSV/HSL que eliminan el fondo y define el color predominante del objeto, al usar la máscara se comparan ambas imágenes y se tiene una forma clara del objeto al eliminar el ruido en la saturación de los colores por la luz. El modelo se basa primero en obtener una muestra de color y después su contorno. Para finalizar el robot detecta un objeto similar y se ajusta para posicionarse frente al objeto.

8.2 Android

En [64] presenta un enfoque innovador de diseño, desarrollo e implementación de aplicaciones de procesamiento de imágenes basadas en la plataforma de visión integrada. Los dispositivos basados en Android proporcionan una plataforma para el desarrollo de sistemas

embebidos, mediante el uso de la biblioteca OpenCV. Utilizando estas dos herramientas e implementado la visión artificial puede sustituir los sistemas de visión convencionales, con la ventaja de que el sistema de visión basado en dispositivos Android reduce el tamaño del sistema y es una solución rentable para las industrias, al tener un sistema móvil o semi-móvil que puede ser utilizado prácticamente en cualquier lugar, lo que ayuda a resolver los problemas de limitación de espacio y rentabilidad por costos. La aplicación Android presentada en [64] realiza operaciones básicas como transformaciones de color, detección de bordes, operación morfológica, ...

Para concluir, los dispositivos basados en Android son una solución adecuada ya que el sistema incorpora los controladores requeridos para configurar los elementos computacionales y periféricos utilizados por los sistemas de visión. OpenCV proporciona un conjunto de paquetes para desarrolladores de Android, estos paquetes tienen tutoriales que muestran cómo se puede usar OpenCV desde Java API y librerías C y C++ nativas de Android [17], en las pruebas realizadas para el procesamiento de la imagen se aplicaron técnicas como la de inversión de colores, conversión de RGB a escala de grises, filtro gaussiano borroso, umbral adaptativo, detección de bordes y dilatación de imagen.

9. Patentes

Se encontraron un total de 104 patentes a partir de 1992 a la fecha, relacionadas con *Embebed Machine Vision System Raspberry*, entre las que destacan las siguientes por su relevancia:

En **US4951223**, con fecha de aprobación del 21 de agosto de 1990, se muestra un sistema de visión para inspeccionar y caracterizar material continuo en banda. Este sistema incluye medios de almacenamiento de grabación para proporcionar una imagen duplicada del material en banda y un dispositivo para revisar la imagen de medios de almacenamiento, para detectar una característica predeterminada de la imagen tal como un defecto en ella. La posición a lo largo de la imagen es detectada y un conmutador responde tanto a la información de contenido como a la información de posición para registrar una indicación de posición de imagen correspondiente a la detección de la característica predeterminada [65].

En **US5301129**, con fecha de aprobación del 5 de abril de 1994, se muestra un método y máquina para inspeccionar por medio de visión artificial la superficie de una banda móvil de material homogéneo, incluyendo el equipo de fuente de luz para iluminar la superficie y un sensor para

recibir datos desde la superficie de la banda. Los datos son representados por la luz reflejada de la superficie, ya que la luz es afectada por anomalías superficiales y de fondo. Los medios de cálculo incluyen diferentes tipos de indicadores para transformar los datos de una manera que se pueda realizar una eliminación sustancial de la información de fondo, y medios para establecer niveles de umbral para la información de fondo. Además, se proporcionan medios automáticos para modificar los niveles de umbral en respuesta a cambios de frecuencia o contraste de la información de fondo recibida por el detector y enviada a los medios de cálculo [66].

En **US5305392**, con fecha de aprobación del 19 de abril de 1994, se proporciona un sistema y un método modular que se utiliza para la inspección a alta velocidad y alta resolución de bandas impresas. Cada módulo inspecciona un carril de una banda impresa detectando defectos de impresión, donde la imagen de entrada se procesa digitalmente y se compara con los valores de umbral mínimo y máximo de la plantilla de imagen mediante el proceso de señal digital en tiempo real. La plantilla de imagen se compara en un proceso secundario en tiempo no real produciendo una representación estadística de un número de imágenes de entrada. La plantilla de imagen está desensibilizada a la fluctuación longitudinal y transversal de la banda impresa de modo que la fluctuación de fase no es identificada por el sistema como un defecto de impresión [67].

En **US6259109**, con fecha de aprobación del 10 de junio del 2001, muestra un sistema de inspección de tela para el análisis de registros de material y almacena la secuencia continua de la tela. El sistema de inspección de tela incluye una cámara para grabar la secuencia continua de la tela, un codificador para sincronizar los movimientos de la tela con la imagen de video que se está grabando y un Sistema de Procesamiento de Imágenes (IPS) que incluye un disco de video en tiempo real para almacenar la imagen de la tela y mostrar la imagen de secuencia continua en una pantalla de video. El IPS también se utiliza para detectar fallos o características y para categorizar los fallos o características detectadas, toda la tela se graba y la imagen puede ser vista de manera interactiva en tiempo real o en un momento posterior. La imagen grabada de la tela se puede reproducir a una velocidad menor para permitir una inspección más detallada de la misma. La imagen de secuencia se puede analizar para construir una base de datos de imágenes de defectos [68].

En **US6750466**, con fecha de aprobación del 15 de junio del 2004, se presenta un sistema de inspección que proporciona la detección de fallas en tela a lo largo de la dirección de la máquina y la dirección transversal. El sistema de inspección utiliza un múltiplo de cámaras inteligentes conectadas a un

ordenador central a través de un concentrador Ethernet. Cada cámara inteligente incluye una cámara de exploración de línea para producir píxeles digitales, un medio para la iluminación y corrección de píxeles, un detector de borde para supervisar los bordes de la tela, un preprocesador de detección de múltiples canales para detectar pequeños cambios en el material, un codificador de longitud de ejecución para generar datos con respecto a la ubicación de cada grupo en una dirección transversal un detector y analizador de bloques 2D para generar datos con respecto a la ubicación de bloques a lo largo de una dirección de máquina. Un sistema de inspección de bajo contraste proporciona una arquitectura equilibrada y distribuida que maneja altas tasas de defectos y que se integra fácilmente con un sistema de fabricación existente [69].

En **US6947571**, con fecha de aprobación del 20 de septiembre del 2005, se expone que un teléfono celular está equipado con una cámara que es un sensor óptico 2D, por lo cual un teléfono puede detectar el movimiento de un patrón de imágenes a través del campo de visión, permitiendo el uso del teléfono como sistema de procesamiento de imágenes como dispositivo de entrada gestual a través del cual un usuario puede indicar instrucciones a un proceso basado en computadora. También se detallan una variedad de otros arreglos con los cuales los dispositivos electrónicos pueden interactuar con el mundo físico, incluyendo la detección y respuesta a marcas de agua digitales, códigos de barras, radio frecuencia, entre otros [70].

En **US7536034**, con fecha de aprobación del 19 de mayo del 2009, menciona el control de un usuario con un sistema remoto el cual se comunica por medio de gestos y pueden detectarse mediante el seguimiento de los movimientos, y a través de un campo de visión de un dispositivo móvil con cámara [72], estando este registro relacionado con [71].

En **US7628320**, con fecha de aprobación del 8 de diciembre del 2009, establece que un usuario por medio de imágenes da valores que al ser procesados generan datos de un objeto físico usando movimientos corporales de extremidades superiores y el dispositivo móvil. El dispositivo entra en contacto con una computadora de manera remota y basado en los datos obtenidos del objeto, se puede realizar una variedad de funciones, como comprar entradas para un concierto o una película o descargar música [72].

En **US7760905**, con fecha de aprobación del 20 de julio del 2010, describe un dispositivo telefónico portátil que incluye un módulo configurado para derivar datos de identificación de contenido de audio o visual. El dispositivo telefónico transmite un paquete de datos a un sistema remoto que incluye tanto datos de contexto como de entorno [73].

En **US8982207** con fecha de aprobación del 17 de marzo del 2015, muestra un método y un dispositivo para inspeccionar un objeto. En respuesta a la presencia del objeto en un área de inspección, se identifica un volumen que contiene el objeto por medio de imágenes. Con un sistema de sensores que asignado a la detección de porciones del volumen es capaz de generar datos con un nivel de calidad deseado alrededor de una superficie del objeto. Los datos sobre la superficie del objeto se generan usando sistemas de sensores asignados a las porciones del volumen [74].

En **US7765780**, con fecha de aprobación del 3 de agosto del 2010, se muestra la invención de un sistema y un método que permiten la recolección de cultivos agrícolas por medio de la robótica. Un enfoque para automatizar la recolección de frutas y hortalizas frescas es usar un robot que con un sistema de visión artificial y con cámaras digitales logra identificar y localizar la fruta en cada árbol, junto con un sistema para realizar la recolección. El robot se desplaza a través de un campo primero para mapear el campo y para determinar las ubicaciones de las plantas, el número y tamaño de la fruta en las plantas y las posiciones aproximadas de la fruta en cada planta. El robot tiene implementado un sensor GPS para simplificar el proceso de mapeo. Tiene una cámara en al menos un brazo del robot que puede montarse en una caja protectora de forma apropiada para que pueda ser movida físicamente a través de la planta, si es necesario para mapear las ubicaciones de fruta desde el interior del árbol. Una vez que mapea y reconoce donde está la fruta el robot puede planificar e implementar un plan de recogida eficiente para sí mismo u otro robot. Esto puede hacerse si el mapa está terminado antes de que el robot esté programado para cosechar o si el algoritmo del plan de recogida seleccionado requiere más tiempo, el robot puede calcular el plan a medida que se está cosechando. El programa para recoger la fruta puede ser generado en el robot scout, robot de cosecha o en un servidor. Cada uno de los elementos del sistema puede estar configurado para comunicarse entre sí utilizando tecnologías de comunicaciones inalámbricas [75].

10. Conclusión

Para concluir, con la evolución de hardware y software en dispositivos móviles y Single Board Computers, ha aumentado su utilización en proyectos de automatización y robótica gracias a las ventajas que presentan, por lo que el desarrollo y la implementación de bibliotecas de procesamiento de imágenes ha hecho posible optimizar y crear aplicaciones en diferentes sistemas operativos.

Asimismo, el desarrollo de sistemas de visión en proyectos de investigación educativos ha permitido trasladar esta

tecnología a la industria. Con la ayuda de la transferencia tecnológica, se espera que en corto plazo se incorporen a este tipo de desarrollos los circuitos integrados como los Neural Processing Unit, que permitirán reducir los tiempos de procesamiento mediante la incorporación de las redes neuronales que generarán auto-aprendizaje en el sistema para la optimización de aplicaciones de visión.

11. Referencias

- [1] Alberto, P., & García, R. (2015). "Sistemas de Percepción y Visión por Computador". Pp. 1–270.
- [2] Arevalo, E., Zúñiga, A., Villegas, J., & Avilés, C. (2015). "Implementación de Reconocimiento de Objetos por Color y Forma en un Robot Móvil". Vol. 91, pp. 21–31.
- [3] Cuevas, E., Zaldívar, D., & Pérez-Cisneros, M. (2010). "Procesamiento Digital de Imágenes Usando MatLAB & Simulink". Alfaomega.
- [4] Poon, T.C., & Banerjee, P.P. (2001). "Contemporary Optical Image Processing with MATLAB". Elsevier.
- [5] Castillo, A., & Rivera, J. (2014). "Virtual Laboratory for Digital Image Processing". Vol. 12, no. 6, pp. 1176–1181.
- [6] Forero, M.G., & Merchan, M.C. (2016). "Análisis de Técnicas de Binarización Basadas en Histogramas 2D". Ing. Ciencia, Tecnol. e Innovación, vol. 3, no. 2.
- [7] Ilbay, M.Ñ., Córdova, L.T., Raura, G., & Gualotuña, T. (2013). "Imágenes Digitales Aplicables a Dispositivos Móviles Bajo la Plataforma Android".
- [8] Aung, Z., & Zaw, W. (2013). "Permission-Based Android Malware Detection". Vol. 2, no. 3.
- [9] Martínez, E. (2001). "La Evolución de la Telefonía Móvil". Rev. Red, vol. 1, pp. 1–6.
- [10] Robert, A.P., & Kenneth, B.F. (2012). "Los Costos Ocultos en el Uso de la Tecnología Móvil para Consumidor". Motorolasolutions, pp. 1–7.
- [11] Fombona, J.C., Pascual, M.S., & Ferreira, M.A. (2012). "Realidad Aumentada, una Evolución de las Aplicaciones de los Dispositivos Móviles". Pp. 197–210.
- [12] Baz Alonso, A., Ferreira Artime, I., Álvarez Rodríguez, M., & García Baniello, R. "Dispositivos móviles".
- [13] Li, D., & Halfond, W.G.J. (2014). "An Investigation into Energy-Saving Programming Practices for Android Smartphone App Development". Pp. 46–53.
- [14] Jaramillo, A.O., Jimenez, M.R., & Ramos, O.L. (2013). "Inspección de Calidad para un Sistema de Producción Industrial Basado en el Procesamiento de Imágenes". Vol. 18, no. 41, pp. 76–90.
- [15] Holguin, C.M., Cortes, J.A., & Osorio Chaves, J.A.O. (2014). "Sistema Automático de Reconocimiento de Frutas Basado en Visión por Computador Automatic Recognition System of Fruits Based Computer Vision". Vol. 22, pp. 504–516.
- [16] Guede-Fernandez, F., Ferrer-Mileo, V., Ramos-Castro, J., Fernandez-Chimeno, M., & Garcia-Gonzalez, M.A. (2015). "Real Time Heart Rate Variability Assessment from Android Smartphone Camera Photoplethysmography: Postural and Device influences". Proc. Annu. Int. Conf. IEEE Eng. Med. Biol. Soc. EMBS, vol. 2015–Novem, pp. 7332–7335.
- [17] Serrano, R. (2008). "Reconocimiento de Patrones en Android con OpenCV".
- [18] Raza, A., Ikram, A.A., Amin, A., & Ikram, A.J. (2017). "A Review of Low Cost and Power Efficient Development Boards for IoT Applications". FTC 2016 - Proc. Futur. Technol. Conf., no. December, pp. 786–790.
- [19] González, F., Guarnizo, J.G., & Benavides, G. (2014). "Emulation System for a Distribution Center Using Mobile Robot, Controlled by Artificial Vision and Fuzzy Logic". Vol. 12, no. 4, pp. 557–563.
- [20] Stojanovic, R., Mitropulos, P., Koulamas, C., Karayiannis, Y., Koubias, S., & Papadopoulos, G. (2001). "Real-Time Vision-Based System for Textile Fabric Inspection". Real-Time Imaging, 7(6), 507–518.
- [21] Tantaswadi, P., Vilainatre, J., Tamaree, N., & Viraivan, P. (1999). "Machine Vision for Automated Visual Inspection of Cotton Quality in Textile Industries Using Color Isodiscrimination Contour". Computers and Industrial Engineering, 37(1), 347–350.
- [22] Perez, S.F., Navarro, P.J., & Egea, C.M. (2016). "Desarrollo de una Herramienta Software para el Control de un Sistema de Fenotipado Basado en Visión Artificial". Vol. 9, 102–105.
- [23] Chaw, J., & Mokji, M. (2016). "Analysis of Produce Recognition System With Taxonomist's Knowledge Using Computer Vision and Different Classifiers".
- [24] Pastor López I., Rojas, S., De la Peña, J., Santos, I., & Bringas, P.G. (2014). "Visión Artificial Basada en Aprendizaje Automático para la Categorización de Defectos Superficiales en Fundición (Machine Vision for Surface Defects Categorisation in Foundries)", 89, 325–332.
- [25] Yang, Y., Zha, Z.J., Gao, M., & He, Z. (2016). "A Robust Vision Inspection System for Detecting Surface Defects of Film Capacitors". Signal Processing, 124, 54–62.
- [26] Da Cunha, A.L., Zhou, J., & Do, M.N. (2006). "The Nonsampled Contourlet Transform: Theory, Design, and Applications". IEEE Transactions on Image Processing, 15(10), 3089–3101.
- [27] Jaramillo, A., & Jimenez, A. (2013). "Inspección de Calidad para un Sistema de Producción Industrial Basado en el Procesamiento de Imágenes". 18(41), 76–90.
- [28] Islas, J.C.G., Cano Tejeda, D.D.J., Cansino, J.S., & Morales, V.L. (2013). "Intelligent System for Inspection and Selection of Parts in a Manufacturing Cell". 24th International Conference on Information,

- Communication and Automation Technologies, ICAT 2013.
- [29] Hurtado, A.F., Gomez, J.A., Penenory, V.M., Cabezas, I.M., & Garcia, F.E. (2016). "Proposal of a Computer Vision System to Detect and Track Vehicles in Real Time Using an Embedded Platform Enabled with a Graphical Processing Unit". Proceedings - 2015 International Conference on Mechatronics, Electronics, and Automotive Engineering, ICMEAE 2015, 76–80.
- [30] Straub, J. (2015). "Initial Work on the Characterization of Additive Manufacturing (3D Printing) Using Software Image Analysis". *Machines*, 3(2), 55–71.
- [31] Berman, B. (2012). "3-D Printing: The New Industrial Revolution". *Bus. Horiz*, 55, 155–162.
- [32] Valkenburg, R.J., & Mclvor, A.M. (1998). "Accurate 3D Measurement Using a Structured Light System". *Image Vis. Comput*, 16, 99–110.
- [33] Caspi, D., Kiryati, N., & Shamir, J. (1998). "Range Imaging with Adaptive Color Structured Light". *IEEE Trans. Pattern. Mach. Intell*, 20, 470–480.
- [34] Salvi, J., Fernandez, S., Pribanic, T., & Llado, X. (2010). "A State of the Art in Structured Light Patterns for Surface Profilometry". *Pattern Recognit.* 43, 2666–2680.
- [35] Salvi, J., Pages, J., & Batlle, J. (2004). "Pattern Codification Strategies in Structured Light Systems". *Pattern Recognit.* 37, 827–849.
- [36] Straub, J., & Kerlin, S. (2014). "Development of a Large, Low-Cost, Instant 3D Scanner". *Technologies* 2014, 2, 76–95.
- [37] Ruchita, R.M., Chopade, P.B., & Dale, M.P. (2015). "Determination of Ripeness and Grading of Tomato Using Image Analysis on Raspberry Pi". 2015 International Conference on Communication, Control and Intelligent Systems (CCIS).
- [38] Faisal Ardhy & Farkhad Ihsan Hariadi (2016). "Development of SBC Based Machine-Vision System for PCB Board Assembly Automatic Optical Inspection". 2016 International Symposium on Electronics and Smart Devices (ISESD), November 29-30, 2016.
- [39] Suryatali, A., & Dharmadhikari, V.B. (2015). "Computer Vision Based Vehicle Detection for Toll Collection System Using Embedded Linux". *International Conference on Circuits, Power and Computing Technologies [ICCPCT-2015]*, 1–7.
- [40] Shuirupdqfh, L.J.K., Iru, F., & Lpdjh, G. (2014). "Computación de Alto Rendimiento para el Procesamiento de Resumen Introducción". 55–65.
- [41] Wang, D., Fan, Y., Zhang, H., & Zhang, Y. (2017). "Simulated Terrain Flight Control of Plant Protection UAV Based on Binocular Vision". Vol. 32, pp. 533–542.
- [42] MacLean, W.J. (2005). "An Evaluation of the Suitability of FPGAs for Embedded Vision Systems". *IEEE Comput. Soc. Conf. Comput. Vis. Pattern Recognit. - Work.*, vol. 3, pp. 131–131.
- [43] Ashford, R. (2017). "College & Research Libraries News QR Codes and Academic Libraries Reaching Mobile Users". 71(November 2010), 1–6.
- [44] Huérfano, A., Numpaque, H., & Díaz, L. (2012). "Desarrollo de un Algoritmo para el Control de Desplazamiento de una Plataforma Robotica, Mediante el Procesamiento Digital de Imágenes". (12), 19–23.
- [45] Sari-Sarraf, H., & Goddard, J. S. (1999). "Vision System for On-loom Fabric Inspection". *IEEE Transactions on Industry Applications*, 35(6), 1252–1259.
- [46] <http://opencv.org/platforms>, (2017).
- [47] <https://www.scopus.com>, (2017).
- [48] <http://simplecv.org>, (2017).
- [49] <http://mahotas.readthedocs.io>, (2016).
- [50] <http://www.numpy.org>, (2017).
- [51] <http://www.matplotlib.org>, (2017).
- [52] <http://www.pythonware.com/products/pil/>, (2017)
- [53] <https://www.pyimagesearch.com/2015/02/02/just-open-sourced-personal-imutils-package-series-opencv-convenience-functions/>, (2015)
- [54] <http://scikit-learn.org/stable/>, (2017)
- [55] Nguyen, H.T., Prasad, N.R., Walker, C.L., & Walker, E.A. (2003). "A First Course in Fuzzy and Neural Control".
- [56] Akbar, H., & Prabuwono, A.S. (2008). "The Design and Development of Automated Visual Inspection System for Press Part Sorting". *Comput. Sci. Inf. Technol.* 2008. ICCSIT '08. Int. Conf., no. Cmm, pp. 683–686.
- [57] Chen, Z., Xia, J.C., & Irawan, B. (2013). "Development of Fuzzy Logic Forecast Models for Location Based Parking Finding Services". *Math. Probl. Eng.*, vol. 2013.
- [58] Herrera, J.C., Medina, S.M., Beleño, K., & Gualdrón, O.E. (2016). "Design of an Automated Coffee Selection System by Means of Computer Vision Techniques". Vol. 15, no. 1, pp. 7–14.
- [59] Cruz J.H.P., Rubio, J.J., Flores, J.L., & Rangel, E. (2015). "Control of Uncertain Plants with Unknown Deadzone Via Differential Neural Networks". Vol. 13, no. 7, pp. 2085–2093.
- [60] Rossomando, F.G., & Soria, C.M. (2016). "Adaptive Neural Sliding Mode Control in Discrete Time for a SCARA Robot Arm". *Leee Lat. Am. Trans.*, vol. 14, no. 6, pp. 2556–2564.
- [61] Hilerá González, J., & Martínez Hernando, V. (1995). "Redes Neuronales Artificiales: Fundamentos, Modelos y Aplicaciones". Madrid: RA-MA.
- [62] Jeffrey Kuo, C.F., Peng, K.C., Wu, H.C., & Wang, C.C. (2015). "Automated Inspection of Micro-defect Recognition System for Color Filter". *Opt. Lasers Eng.*, vol. 70, pp. 6–17.
- [63] Arevalo Villegas, Z. (2015). "Implementacion de Reconocimiento de Objetos por Color y Forma en un Robot Móvil". 91, 21–31.

- [64] Thakker, S., & Kapadia, H. (2016). "Image Processing on Embedded Platform Android". IEEE International Conference on Computer Communication and Control, IC4 2015.
- [65] Langdon Wales, R. (1979). United States Patent, 3–7.
- [66] Kean, P. L., Kingdom, U., Rogers, K.P., & Legge, R.A. (1993). United States Patent 191, 40.
- [67] At, W., Eisa, O.B., & Camera, C. (1994). United States Patent.
- [68] Towle, G.A. (1976). United States Patent, 1(12), 0–3. [https://doi.org/10.1016/j.\(73\)](https://doi.org/10.1016/j.(73))
- [69] Fraval, J., & Godfrey, M. (2013). United States Patent, 1(12), 5 <https://doi.org/10.1126/science.Liquids>
- [70] Rhoades, G.B. (2005). "Cell Phones with Optical Capabilities, and Related Applications".
- [71] Rhoades, G.B. (2009). "Gestural Use of Wireless Mobile Phone Device to Signal to Remote Systems".
- [72] Rhoades, G.B. (2009). "Methods and System for Interacting with Physical Objects".
- [73] Rhoades, G.B., Rodriguez, T.F., & Hein III, W.C. (2010). "Wireless Mobile Phone with Content Processing".
- [74] Jung Soon Jang (2015). "Automated Visual Inspection System".
- [75] Koselka, H. & Wallach, B. (2005). "Robot Mechanical Picker System and Method".