MEMORIA TFG DAVID TERTRE BOYÉ

**ÍNDICE**

IX. AGRADECIMIENTOS

XI. RESUMEN

XIII. ABSTRACT

XV. INIDICE

1. Introducción
   1. Motivación del proyecto
   2. Estado del arte
      1. Robots colaborativos
      2. Visión artificial
   3. Objetivos
   4. Estructura del documento
2. Fundamentos teóricos
   1. UR3e
      1. Estructura del robot
      2. Registros
      3. Real Time Data Exchange (RTDE)
         1. Introducción
         2. Biblioteca Python rtde
      4. Polyscope
      5. Gripper HRC-03
   2. OAK-D-Lite
      1. Introducción
      2. Especificaciones técnicas
      3. Tecnología de visión artificial
      4. Consideraciones técnicas para su implementación
      5. Biblioteca Python DepthAI
   3. Apriltags
      1. Introducción
      2. Biblioteca Python pupil-apriltags
   4. Ultralytics YOLOv8
      1. Introducción
      2. Models
         1. Object detection
         2. Pose Estimation
      3. Entrenamiento
         1. Roboflow
         2. Google Colab Notebooks
         3. Ultralytics hub
3. Desarrollo del proyecto
   1. Entorno de laboratorio
   2. Entorno de desarrollo
      1. Configuración
         1. Visual Studio Code
         2. Extensiones
      2. Control de versiones (GitHub)
      3. Entorno virtual
         1. Bibliotecas
   3. Implementación de la cámara
      1. Código
   4. Detección de objetos
      1. YOLOv8 Object Detection
   5. Estimación de Pose
      1. Apriltags
      2. YOLOv8 Pose Estimation
      3. PointClouds
   6. Implementación del brazo robótico
      1. Metodología de conexión entre UR3e y el Ordenador
      2. Código
   7. Integración del sistema completo
      1. Flujograma
      2. Interacción de estructuras
      3. Estructura final
      4. Ajustes y precisión
4. Resultados
   1. Resultados
   2. Dificultades
   3. Discusión
5. Conclusiones
   1. Conclusiones
   2. Perspectivas futuras
6. Bibliografía
7. Anexos

**INTRODUCCIÓN**

Problema solución planteamiento.

**MOTIVACIÓN DEL PROYECTO**

Ampliar mis conocimientos aprendidos en el grado, profundizando en temas en auge actualmente con el de la inteligencia artifial, los robots colaborativos y la visión artificial. Con el fin de crecer como ingeniero y enfrentarme a problemas de la actualidad, unir diferentes campos y aplicar lo aprendido.

**ESTADO DEL ARTE**

ROBOTS COLABORATIVOS:

Un cobot o robot colaborativo, es aquel que opera en conjunto con los humanos de forma segura, asistiéndole en diferentes tareas y procesos. A diferencia de los robots industriales, los cobots se construyen intencionalmente para interactuar con los humanos en un espacio compartido y de forma eficiente.[2]

Un cobot es un robot programado para trabajar de forma colaborativa con los seres humanos, y cuyo fin es el de apoyar en diferentes tareas y procesos. Están diseñados para llevar a cabo trabajos repetitivos, así como tareas de alto riesgo para los trabajadores.[1]

Los robots colaborativos están diseñados para realizar cualquier tipo de trabajo manual o repetitivo, así como tareas que supongan un riesgo para los trabajadores, como el manejo de indumentaria pesada o cortante. Esto es muy útil, ya que disminuye la posibilidad de accidentes laborales.[2]

Los robots mejoran de una manera u otra las capacidades del ser humano. Son mas precisos, levantan mayor cantidad de peso, evitan problemas de salud y realizan actividades de riesgo.

Con la ayuda del robot colaborativo el humano a pasado a una tarea mas organizativa.

Características:

Los cobots destacan por ser fáciles de instalar y de programar. Para ponerlos en funcionamiento y poder mover sus componentes, únicamente es necesario disponer de un dispositivo electrónico vinculado al robot. Este factor facilita que cualquier persona pueda trabajar con ellos, aunque no disponga de una experiencia requerida, ya que la programación se realiza a través de un software y aplicaciones de uso sencillo.

Tienen un tamaño más compacto, característica que, unida a la facilidad para ser reprogramados rápidamente, los hace perfectos para cambiar de ubicación y realizar otro tipo de tareas en la empresa. Esto les permite ser flexibles y aprender fácilmente diferentes tareas, en este caso, se pueden adaptar a distintas etapas del proceso productivo.

Como resultado, los cobots son una herramienta eficaz, robusta, segura y precisa capaz de librar a los trabajadores de tareas complejas y peligrosas, que pueden derivar en lesiones y accidentes.

Un cobot se diferencia de los robots tradicionales o de los robots autónomos por ciertas características:

Compacto: Suelen tener medidas pequeñas y, por tanto, pueden ser usados en casi cualquier proceso de producción.

Móvil: Contrario a los robots industriales, los cobots son fáciles de mover. Pueden desempeñar nuevas tareas en diferentes ubicaciónes de una empresa.

Fácil instalación y programación: Con aplicaciones móviles y software de escritorio, los cobots pueden ser operativos en muy poco tiempo.

Flexible: Pueden aprender fácilmente nuevas operaciones, y por ende, pueden ser usados en diferentes etapas de un proceso de producción.

Por todas estas características, es importante resaltar que los cobots son una gran herramienta para pymes.

Ventajas:

Sus aplicaciones se centran especialmente tanto en el manejo de objetos y materiales, como el empaquetado y paletización, como en tareas de montaje y desmontaje, sobre todo en la fabricación de material electrónico y de automoción.

Principalmente, los robots colaborativos han sido desarrollados para facilitar el trabajo de las personas, puesto que ayudan y perfeccionan las tareas. Liberan a los equipos humanos de labores inseguras, repetitivas, sucias o complejas permitiendo así enfocar la atención en cuestiones más atractivas.

Además, su implementación en los espacios de trabajo supone una mejora en la seguridad de las personas con las que interaccionan y comparten tareas, ya que su integración reduce la exposición de los trabajadores a actividades que puedan ponerles en peligro, y reducen el número de lesiones y accidentes graves.

Diferenciación con los robots industriales:

Facilidad de uso y programación. Los robots industriales son máquinas más complejas que requieren de la supervisión de un experto en la programación y manejo. En un principio, estos mecanismos fueron clasificados como elementos especiales y únicamente eran manipulados por un número reducido de personal. En cambio, los robots colaborativos se han diseñado para ser herramientas más fáciles de explotar. Cuentan con una interfaz de programación intuitiva y no necesitan de ninguna formación especializada previa para su manejo, incluso aprenden de los propios operarios que les enseñan realizando un ejemplo que después memorizan.

* Movilidad. Los robots industriales suelen tener grandes dimensiones. Por su parte, los cobots son máquinas más versátiles, acatan tanto para producciones pequeñas como las de alta carga de trabajo ya que han sido diseñadas para compartir espacio con humanos.
* Inversión. Los cobots son más económicos y, a largo plazo, resulta ser una inversión más rentable, puesto que son capaces de producir como un miembro más de la empresa, de una manera muy flexible.
* Seguridad. Para los robots colaborativos la seguridad es primordial, están diseñados para cooperar y convertirse en mecanismos seguros en cualquier proceso. No necesitan ningún apoyo, los propios sensores de la máquina realizan las tareas necesarias para proteger a los obreros.

La diferencia entre robots y “cobots” es precisamente su capacidad para trabajar codo con codo con seres humanos, sin que esto suponga un riesgo. Además, no busca sustituir al trabajador, más bien colabora como ayudante, de forma que el “cobot” pueda acarrear con las tareas más pesadas o repetitivas.

Además, los robots industriales tradicionales suelen ocupar bastante espacio, ya que necesitan un entorno seguro y delimitado. Por su parte, los robots colaborativos son más compactos e incluso se pueden mover, ya que son más fáciles de manejar.

Otra diferencia, además de suponer una gran ventaja, es que los “cobots” se pueden programar para que aprendan distintas tareas, mientras que el robot no colaborativo está diseñado para un único propósito.

Historia

Su historia data de no hace mucho tiempo atrás,

Aunque puede que el tema de los robots colaborativos parezca algo bastante moderno, lo cierto es que no es del todo así. Y es que UR5, considerado el primer “cobot” de la historia, fue adquirido en diciembre de 2008 por parte de Linatex, un proveedor de caucho y plásticos técnicos con origen danés. En aquel momento, parecía una utopía que estas máquinas pudieran convivir en un espacio de trabajo con personal humano, sin cumplir la normativa de aislamiento que hasta la fecha aplicaba a este tipo de máquinas.

Ahora, quince años después de ese hito, el segmento de los robots colaborativos pasa por su momento más dulce y las previsiones son muy halagüeñas. En base a los resultados de un estudio de Markets and Markets, se espera que en 2028 el mercado de los cobots supere los nueve billones de dólares. Un crecimiento espectacular teniendo en cuenta que los datos de 2022 apenas superan el billón de dólar

Aunque el término de cobot pueda resultarte algo nuevo, no lo es realmente.

Los primeros modelos se registran en la década de los 90, a partir de los proyectos de investigación de General Motors en el que los humanos daban el poder a la máquina de moverse, mientras que los robots colaborativos proporcionaban el control y la dirección de los objetos. Así, los humanos podían control la potencia del robot asistidos por las capacidades de la máquina.

Actualmente, y con la aparición de tecnologías adyacentes como el Internet Industrial de las Cosas, la inteligencia artificial, el procesamiento de datos y la hiperconectividad, los cobots están controlados para trabajar en función de la programación humana sin representar mayor riesgo.

En vez de reemplazar a los humanos con partes autónomas, los robots colaborativos mejoran las capacidades como precisión, procesamiento de información o superfuerza, para que el humano se centre en brindar más valor a la organización. Uno de los objetivos de la industria 4.0.

Aplicaciones/Ejemplos de cobot, industrias donde puede trabajar, beneficios

Industria de alimentos (montaje)

Medicina (precisión)

Sector logístico (desplazamiento de cargas)

Tecnología

Industria farmacéutica

Industria automotriz

VISIÓN ARTIFICIAL:

[3]

A lo largo de los últimos años, la evolución de la visión artificial en entornos industriales ha sido imparable. Esto se debe, por una parte, a la mejora del hardware (cada vez más rápido, con mayor resolución y mejor adaptado al entorno industrial). Y por otra parte, a la mejora del software y los algoritmos para el análisis de la imagen.

La visión artificial lleva más de una década instaurada en la industria. Muchos procesos se han automatizado gracias al uso de cámaras y computadoras para el análisis de imágenes y toma de decisiones de algunos procesos dentro de la fabricación industrial tales como controles de calidad, guiado robótico o trazabilidad.

Sistemas de visión 3d:

Estos equipos van más allá de los sistemas 2D convencionales introduciendo la profundidad como tercera dimensión y devolviendo la representación 3D de la escena en formato x, y, z calibrado en mundo real respecto al eje de coordenadas del propio equipo. Hay diferentes estrategias y equipos. Uno de los sistemas más utilizados es el perfilómetro 3D que emplea una o dos cámaras en combinación con un láser para extraer perfiles en continuo de la pieza, de manera que combinando cada perfil uno detrás de otro podemos crear una superficie 3D representada en una nube de puntos. Otras técnicas son el uso de estéreo visión o luz estructurada. Podemos encontrar dispositivos compactos como dispositivos que deben conectarse en un pc.

[4]

Entrando en materia, podríamos definir la Visión Artificial como aquella tecnología que realiza de forma automática el análisis de imagen. El objetivo de este análisis suele ser el de extraer información útil con el propósito de realizar posteriores acciones a partir de dicha información. Las acciones podrían ser la inspección, la clasificación, el control de procesos, el guiado o la identificación entre otros. Esta sería la respuesta formal, la que podríamos encontrar en cualquier foro o diccionario tecnológico ([https://en.wikipedia.org/wiki/Machine\_vision](https://en.wikipedia.org/wiki/Machine_vision?trk=article-ssr-frontend-pulse_little-text-block)). Pero la Visión Artificial es mucho más.

INDUSTRIA 4.0

ZERO DEFECT MANUFACTURING

La Visión Artificial ha permitido a la Robótica ampliar sus ámbitos de actuación. Los robots Industriales son elementos con alta precisión y repetibilidad… pero pocos flexibles. La Visión Artificial son los ‘Ojos de la Robótica’ (esto nos es mío, esto es de [Salvador Giró](https://es.linkedin.com/in/salvador-giro?trk=article-ssr-frontend-pulse_little-mention) ), lo que posibilita a los robots actuar en entornos cambiantes dando una mayor flexibilidad a las aplicaciones. Es una excelente noticia no solo para la Robótica Industrial sino para el resto de las robóticas como la Robótica Colaborativa, la Robótica Móvil y de Servicios y lo que podemos considerar como la Robótica Aérea (UAVs). El incremento de aplicaciones robóticas en la industria (y fuera de ella) está relacionado con las nuevas aplicaciones que se pueden llevar a cabo. Muchas de estas aplicaciones son posibles gracias a los sistemas de Visión Artificial.

La Visión Artificial es complementaria a la Inteligencia Artificial (IA). Con respecto a la IA, es importante mencionar que hay vida más allá de ChatGPT. Sin duda la IA es una disrupción tecnológica nunca visto hasta ahora pero no se limita a la generación de textos o con la generación de imágenes. El potencial de la IA en el análisis de imagen es esencial para llevar los sistemas de Visión Artificial a sectores y mercados no habituales hasta ahora. Lo que en visión conocemos como Deep Learning (de forma simplista y reducida, el análisis de imagen mediante técnicas de IA) nos permite también sacar los sistemas de visión fuera de las fábricas. Llevarlos al mundo Agro, llevarlos a la Imagen Aérea, a la conducción Autónoma. Todos estos sectores muy complejos de analizar con Visión Artificial convencional (lo que conocemos como Ruled Based Algorithms). El binomio Visión Artificial – Inteligencia Artificial es parte fundamental de la industria del futuro, tanto dentro como fuera de las fábricas.

La Visión Artificial es en su esencia el análisis automático de imágenes. Pero el formato de imagen también ha cambiado y evolucionado. No nos tenemos que quedar simplemente con el concepto ‘primitivo’ del análisis de imagen 2D en el espectro visible. Actualmente los sistemas de visión se aplican a múltiples espectros (Visible, UV, NIR, SWIR, Térmico, Rayos X, Terahertz) y a múltiples dimensiones (2D, 3D, Hypercubos de imagen Química, Imagen Híbrida). El hardware de visión ha evolucionado mucho durante los últimos años. No solo en lo referente a resoluciones (esto de los MegaPixels lo vemos de forma evidente en la telefonía móvil) sino también al nuevo concepto de imagen que podemos obtener. La Visión Artificial actual no solo nos da información geométrica, o cualitativa de la imagen, también nos da temperatura, humedad, información espectral, altura, volumen, profundidad, cantidad de azúcar… No infinitas, pero si muy a amplias posibilidades de análisis.

DEEP LEARNING:

La evolución en el campo de la inteligencia artificial en los últimos años no tiene límite, cada día podemos encontrar nuevas publicaciones y nuevos papers con avances en el campo. El Deep Learning nació en los años 40 con los primeros modelos como el perceptrón, en los años 80-90 se introdujo el concepto de backpropagation usado actualmente y clave en el aprendizaje de las redes neuronales, y no fue hasta 2006 con la publicación de tres papers (Hinton et al, 2006; Bengio et al, 2007; Ranzato et al, 2007) que podemos hablar del inicio de la revolución que estamos viviendo actualmente.

En el mundo de la visión artificial y el procesado digital imágenes, el Deep Learning está teniendo un gran impacto gracias al uso de las redes neuronales convolucionales capaces de mantener información espacial de la escena y que junto con otras técnicas nos permiten solventar problemas de clasificación de imágenes, detección de objetos o segmentación. La combinación de todo ello permite a la comunidad científica o a empresas privadas generar modelos capaces de resolver problemas muy complejos con una precisión superior incluso a la que una persona podría conseguir. Soluciones para OCRs complejos, modelos predictivos, control de personas en un espacio, reconocimiento facial, detección de anomalías, conducción autónoma, entre muchos otros.

En la industria, estos nuevos algoritmos han permitido dar un paso adelante para dar solución a algunos problemas muy difíciles o imposibles dentro del campo de la visión artificial además de poder llegar a industrias donde la visión no esta tan instaurada. Detección de anomalías como parásitos o pelos en productos de alimentación, defectos en piezas sin contraste imposibles de ajustar con visión convencional, posición de elementos no repetitivos como vidrio, clasificación automática de productos que no siguen un patrón común, entre muchos otros.

**OBJETIVOS:**

El objetivo principal del proyecto es conseguir que el robot consiga realizar un puzzle. creación de un programa para el control de un robot,

Los objetivos se han ido ampliando según avanzaban los conocimientos.

Han sido:

Conocimiento básico del funcionamiento del ur3e, setup, programa en polyscope, conexión, lectura y escritura de registros desde la librería de Python RTDE proporcionada por universal robots (frabricante)

Conocimiento de la cámara OAK-D-Lite, configuracion, calibración y uso utilizando la librería depthai

Entrenamiento de modelos de inteligencia artificial con el fin del análisis de imágenes para el reconocimiento de las piezas del puzzle

Apriltags y pointclouds para la localización del objeto en 3d

Investigación sobre modelos y entrenamiento de redes nenuronales

Desarrollo e implementación:

Programa utilizando modelo AI de detección del objeto para encontrar la pieza en la impagen y utilización de apriltags para situar su centro y rotación respecto al sistema de coordenadas de referencia (base del robot)

Programa utilizando modelo AI de estimación de pose (hayamos centro y rotación), pointcloud para situar el punto en el sistema tridimensional, apriltag para coger referencia respecto a la base del robot.

**ESTRUCTURA DEL DOCUMENTO**

Para facilitar la lectura, a continuación se detalla el contenido de cada capítulo.

El Capítulo 1 es el presente capítulo, contiene la introducción, el estado del arte, los objetivos y la estructura del proyecto.

El Capítulo 2 explica los fundamentos teóricos necesarios para comprender el funcionamiento del proyecto.

El Capítulo 3 muestra el desarrollo del proyecto, formado por el entorno de trabajo y desarrollo, así como la implementación de la cámara, el robot y los modelos de visión artificial para alcanzar el objetivo propuesto.

El Capítulo 4 analiza los resultados, comparando las diferentes formas seguidas a la hora de obtener el resultado final

El Capítulo 5 es el último capítulo, contiene las conclusiones del proyecto, las áreas a mejorar y posibles extensiones para la realización de futuros proyectos.

**BIBLIOGRAFÍA**

[1] <https://www.telefonica.com/es/sala-comunicacion/blog/que-es-un-robot-colaborativo-o-cobot/>

[2] <https://www.iebschool.com/blog/que-es-cobot-robot-colaborativo-tecnologia>

[3] <https://www.aer-automation.com/automation_review/vision-artificial-industrial-de-donde-venimos-y-hacia-donde-vamos/>

[4] <https://es.linkedin.com/pulse/qu%C3%A9-es-la-visi%C3%B3n-artificial-confesiones-desde-el-jard%C3%ADn-toni-ruiz>