



Análisis en tiempo real del funcionamiento de la cadena de alimentación de las máquinas deshuesadoras de aceitunas mediante diagnosis por visión artificial y redes neuronales

Manuel de Jódar Lázaro ¹, Antonio Madueño Luna ², Alberto Lucas Pascual³, Antonio Ruiz Canales⁴, José Miguel Molina Martínez⁵, José Miguel Madueño Luna⁶, Meritxell Justicia Segovia⁷, Montserrat Baena Sánchez⁸.

¹ Doctorando Universidad Politécnica de Cartagena.

² Dpto. Ingeniería Aeroespacial y Mecánica de Fluidos (Universidad de Sevilla), Ctra. de Utrera, Km.1, 41013 Sevilla; amadueno@us.es.

³ Doctorando Universidad Politécnica de Cartagena.

⁴ Engineering Department, University Miguel Hernández of Elche, 03312 Orihuela, Spain

⁵ Food Engineering and Agricultural Equipment Department, Technical University of Cartagena, 30203 Cartagena, Spain

⁶ Dpto. Ingeniería Gráfica, Universidad de Sevilla.

⁷ Diputación Provincial, Servicio Agricultura, Jaen.

⁸ Agencia de Gestión Agraria y Pesquera de Andalucía, A.G.A.P.A.

Resumen: Las máquinas deshuesadoras de aceitunas se caracterizan porque su funcionamiento óptimo está vinculado a un buen ajuste: Selección de un plato de alimentación adecuado a la variedad de aceituna y su calibre, de las características geométricas de la cadena de alimentación, etc. El primero de estos elementos fija la entrada óptima de aceitunas en la cadena de alimentación impidiendo que queden cangilones vacíos o se llenen con más de una aceituna. El segundo elemento fija la correcta posición de la aceituna para ser deshuesada, evitando que esta sea deshuesada por un eje que no sea el principal. El trabajo propuesto analiza en tiempo real la correcta ubicación de las aceitunas en los cangilones de la cadena de alimentación, para ello se utiliza: 1.-Un sistema de visión artificial con disparo externo capaz de extraer una foto de cada cangilón que pase frente a una cámara. 2.-Una red neuronal clasificadora basada en un chip físico, de manera que adecuadamente entrenada, permita clasificar el cangilón en cuatro posibles estados: vacío, normal, con aceituna mal posicionada en "barco" y caso anómalo (dos aceitunas en un mismo cangilón, aceituna rota o aceituna mal posicionada no en barco). El trabajo muestra el uso de dos chips físicos con redes neuronales para la clasificación: a) Intel Curie b) NeuroMem CM1. El uso de los chips físicos Intel Curie y sobretodo Neuromem CM1K por su mayor capacidad y escalabilidad, ha sido satisfactorio y por tanto se comprueba un gran potencial para la clasificación. Se ha comprobado que la velocidad de transmisión de la información por puerto serie es suficiente para las velocidades habituales de las máquinas deshuesadoras, en torno a 1.800 aceitunas/min. Para poder realizar las pruebas se ha desarrollado una interfaz mediante la aplicación QT en lenguaje C++ que permite poder configurar de manera sencilla las imágenes a procesar y las condiciones de contorno para la detección de los fallos indicados.

Palabras clave: Redes Neuronales Artificiales, Máquinas Deshuesadoras, Aceitunas de Mesa, Red Neuronal Física, Visión Artificial, Chip Intel Curie.

1. Introducción

Hasta el año 1970, el deshuesado y relleno de las aceitunas de mesa se hacía manualmente [1]. El progresivo encarecimiento de esta mano de obra creó la necesidad de mecanizar ambos procesos desarrollándose la mayor parte de la tecnología necesaria por empresas de Madrid y Sevilla.

Las primeras máquinas deshuesadoras con una producción de 220 frutos por minuto, supuso en su día un importante avance implantándose rápidamente en España y en otros países por la reducción que supuso de los costes de producción.

La primera máquina deshuesadora-rellenadora, fue desarrollada por la empresa sevillana SADRYM en colaboración con el Instituto de la Grasa, patente registrada [2], implantándose rápidamente en el sector, ya que resolvía la mecanización del relleno de aceitunas con pimiento. Este hecho permitió un gran desarrollo de la exportación de este tipo de producto, que tiene muy buena aceptación en Estados Unidos, Canadá y otros países de Europa, donde la demanda era superior a la propia capacidad productiva.

En 1975 aparecen las primeras máquinas deshuesadoras del tipo continuo [3], cuyos modelos mejorados en la actualidad permiten producciones de hasta 2.500 aceitunas/minuto, equivalente a 350 Kg/h de fruto, incorporando variadores electrónicos de frecuencia, que permiten ajustar la velocidad de la máquina a las propias condiciones del fruto, mejorando la calidad del producto final deshuesado.

En la actualidad existen en el mercado máquinas deshuesadoras/rodajadoras/rellenadoras (DRR), para todo tipo de calibres, es decir, desde el tamaño 400 al 80 (el tamaño se calcula como la cantidad de aceitunas que entran en 1 kilogramo), permitiendo deshuesar la misma máquina distintas variedades de aceitunas, e introducir en su interior no sólo pimiento o anchoa sino también otros “delicatessen” (almendra, atún, limón, ajos, cebollas, salmón, etc.). Además, se han registrado invenciones que consiguen mejoras sustanciales en varios puntos del proceso, como es la posibilidad de la optimización del rendimiento y la detección de fallos en remoto [4].

Se sabe que otras empresas del sector, actualmente trabajan con procesos más avanzados. Además de las máquinas bases del proceso del deshuesado, disponen de enfriadores para refrigerar la aceituna y así mejorar su resistencia al deshuesado. Este sistema se utiliza para todos los tipos de aceitunas principalmente a la aceituna Manzanilla Sevillana, ya que la aceituna Hojiblanca (especialmente), o Gordal (en menor proporción), ofrecen de por sí una resistencia buena para el deshuesado en condiciones ambientales.

El presente trabajo tiene como objetivo valorar la implementación un clasificador de aceitunas para máquinas DRR empleando chips neuromórficos, y ensayo de la velocidad de transmisión por puerto serie para uso en tiempo real.

2. Materiales y métodos

2.1. Red neuronal en Matlab

Se va a utilizar la aplicación Neural Network de Matlab [5] para entrenar una red neuronal profunda para la clasificación de imágenes captadas mediante una cámara, una vez entrenada, la red será capaz de distinguir los fallos más comunes en el proceso de deshuesado de la aceituna, como barcos y cangilones vacíos.

Una vez construida y entrenada, este tipo de red neuronal para aprendizaje profundo (en nuestro caso será de dos capas), podremos analizar el efecto de la resolución de las imágenes sobre la capacidad de clasificación de la red. Concretamente, nos centraremos en dos resoluciones 11x11 píxeles y 16x16 píxeles que nos permitirán conocer que opciones tenemos a la hora de usar dos chips físicos disponibles en la actualidad en el mercado Intel Curie [6] y CM1K [7].

A continuación, se testará el sistema para su uso en tiempo real, para ello se va a usar el puerto serie como sistema de comunicación entre el PC y los chipsets indicados. Se comprobará que se envía correctamente la información desde el algoritmo en Matlab, es decir los 121 bytes de la imagen a procesar y los correspondientes 128 bytes para el chip CM1k. Para llevar a cabo este proceso la imagen original se convertirá a escala de grises primero y luego a vector, variable que será enviada por el puerto serie para su clasificación en la red neuronal.

2.2. Hardware empleado para la captura de imágenes

El sistema de visión artificial consta de una cámara industrial modelo UI-1220SE-C USB, [8] para la captura de imágenes. El disparo de la cámara se sincroniza con el movimiento de la máquina DRR y el disparo de la iluminación (un conjunto de diodos led de potencia), mediante un sensor magnético (ver figura 1), que detecta el paso de cada cangilón de la cadena de alimentación.

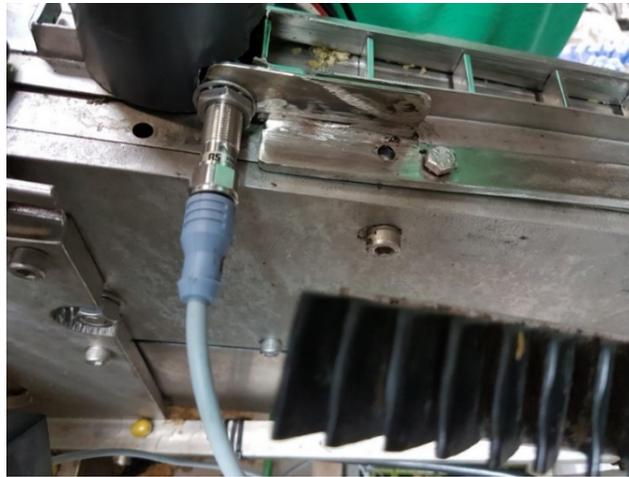


Figura 1. Sensor magnético para la detección del paso del cangilón en la cadena.

Las imágenes obtenidas son grabadas en el disco duro de un PC para su posterior análisis en diferido, estas imágenes serán recortadas para obtener la zona de interés (en inglés ROI: region of interest) y generar imágenes de un tamaño de 11x11 píxeles y 16x16 píxeles. En la figura 2 se muestra un diagrama de bloques de la aplicación.

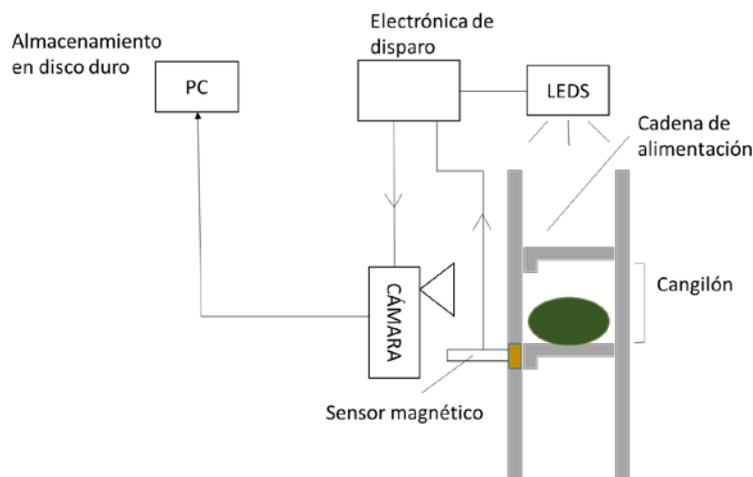


Figura 2. Sistema implementado en diagrama de bloques.

En la figura 3 se muestra el sistema implementado sobre una de estas máquinas DRR (para calibres pequeños de aceitunas, tipo manzanilla y hojiblanca), de una fábrica de aceitunas de mesa sevillana.

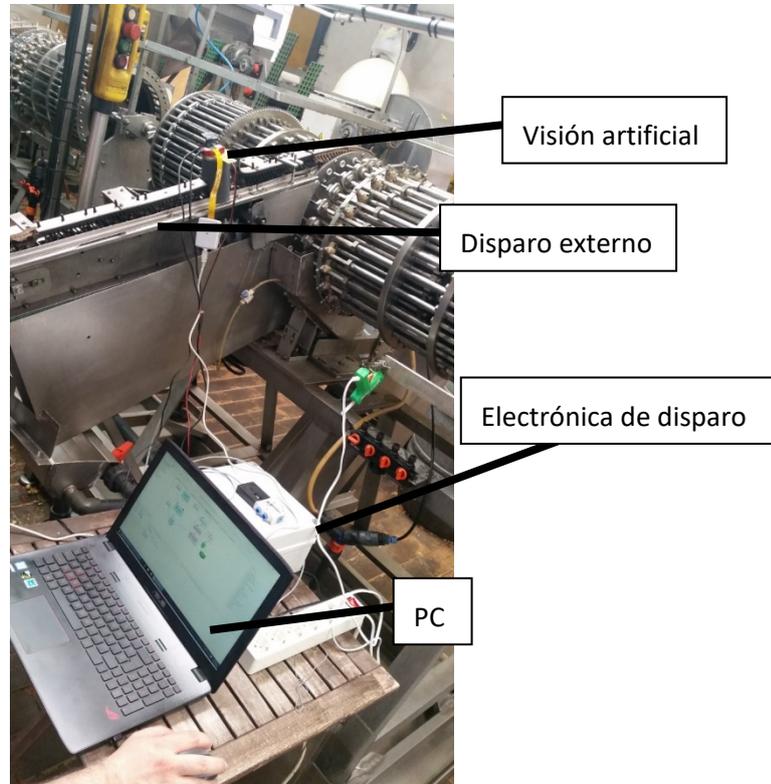


Figura 3. Sistema implementado en una máquina de deshuesado real.

2.3. Chips neuronales empleados

Se han empleado dos chips neuromórficos, el Intel Curie de un Arduino-Genuino 101, que incluye un módulo de redes neuronales artificiales (128 neuronas con vector de entrada de 128 bytes). Este módulo es un caso a escala del chip CogniMem CM1K, este segundo chip está dotado con 1024 neuronas y una longitud de vector de entrada de 256 bytes, para su uso se ha empleado una tarjeta BrainCard que lo incorpora. Ambos emplean para la clasificación funciones de base radial (RBF) o técnicas KNN (vecino más cercano).

Las imágenes de 121 píxeles (11x11) serán procesadas con el Intel Curie del Arduino 101 y las imágenes de 256 píxeles (16x16) con el CM1K.

2.4. Comunicación con los chips neuromórficos

La tarjeta BrainCard emplea para comunicarse un protocolo SPI y tiene el formato de un shield de Arduino a nivel 3.3 V por lo que es compatible con un Arduino DUE o un 101. Por su parte el chip INTEL CURIE es el núcleo del Arduino 101 e incorpora su propia implementación de un bus USB x apareciendo desde un P.C. como un puerto serie virtual de alta velocidad sin una velocidad de transmisión definida.

Si se emplea como elemento de comunicación para la BrainCard un Arduino DUE caben dos posibilidades: emplear el puerto de comunicaciones estándar basado en un ATMEGA16U2 (hasta 115200 baudios) o el puerto nativo de características similares al descrito para el Arduino 101.

3. Resultados y discusión

3.1. Resultados obtenidos con la red neuronal programada en Matlab

Mediante Matlab se han probado dos configuraciones, una con imágenes en niveles de gris de 1 byte de profundidad, escaladas con ROI de 11x11 píxeles y otras en niveles de gris de 1 byte escaladas con ROI de 16x16 píxeles. Para el entrenamiento se ha usado un set de 9 imágenes de cangilón vacío, 11 de aceitunas en “barco” y 10 de aceitunas normales, no se ha tenido presente la presencia de casos anómalos, ya que el objeto de la prueba era tener seguridad en que el clasificado de estas imágenes de baja resolución era factible con una red neuronal.

La estructura de la red neuronal con autoencoder se ha entrenado con 45 iteraciones, los resultados obtenidos, aparecen en la figura 4.

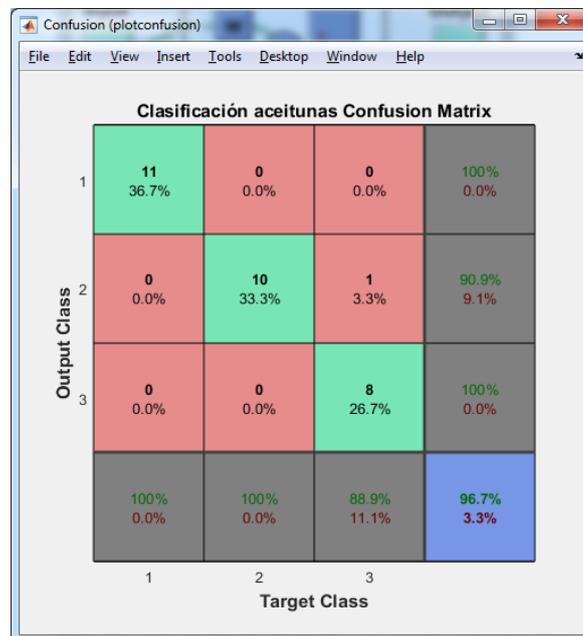


Figura 4. Matriz de resultados obtenidos con Matlab.

Como se aprecia, la red neuronal ha llevado a cabo un clasificado correcto (error<4%), con imágenes de 16x16 píxeles (las que procesa el chip CM1K). Se han repetido los ensayos con imágenes de resolución 11x11 y el resultado también ha sido satisfactorio (error <5%), lo que significa que también es posible clasificar con las imágenes (11x11 píxeles), que procesa el chip Intel Curie.

3.2. Resultados obtenidos con el uso de chips neuromórficos

Para las pruebas con chips neuromórficos se ha usado para el entrenamiento de la red neuronal un set de 20 imágenes de cangilón vacío, 20 con aceitunas en “barco” y 20 aceitunas en posición normal. Para el test de la red neuronal una vez entrenada se ha empelado un set de 10.000 imágenes obtenidas en una prueba con la máquina DRR trabajando con aceitunas hojiblancas durante su funcionamiento normal en la fábrica. De este conjunto se extraen aleatoriamente muestras de 1000 imágenes para realizar el clasificado. El ensayo se ha repetido 100 veces.

En la tabla 1 se muestra el resultado promedio de las 100 repeticiones para el caso del Chip Intel Curie de 128 neuronas.

Tabla 1. Resultados promedio de 100 repeticiones obtenidos con el Chip Intel Curie

Parámetro	Totales	Barcos	Vacios	Normales
Muestras realizadas	1000	70	88	842
Correctos	888	63	89	737
Fallos	25	0	1	24
Anómalos	88	7	0	81
% Fallos	3	0	1	3

Como se observa la red neuronal detecta un 97% de casos correctamente (3% de fallos), existe un porcentaje de casos de aceitunas anómalas que salen de la clasificación indicada de fallos comunes, estos casos pueden ser aceitunas dobles, partidas, o un grado de inclinación cercano al denominado “barco” sin serlo, este porcentaje de casos anómalos o bizarros es del 8,8%.

El número de neuronas empleadas ha sido 4, se emplea por tanto una neurona para cada caso, aceituna normal, cangilón vacío, aceituna barco, y el comentada aceituna anómala, la propia red al identificar un número significativo de casos sin poder clasificarlo por no haberse entrenado con ese tipo de casos emplea una neurona para identificarlos.

En el caso de chip Neuromem CM1K el resultado es similar con una tasa de eficacia del 98% (2% de fallos) tal y como se indica en la Tabla 2.

Tabla 2. Resultados promedio de 100 repeticiones obtenidos con el Chip CM1K

Parámetro	Totales	Barcos	Vacios	Normales
Muestras realizadas	1000	75	85	840
Correctos	887	65	85	737
Fallos	20	3	0	17
Anómalos	93	7	0	86
% Fallos	2%	4%	0%	2%

3.3. Tiempos de respuesta

Una vez comprobado que la red neuronal trabaja adecuadamente para ambos chipsets se procede a la comprobación en tiempo de respuesta ante un desafío (123=1+121+1 y 258=1+256+1 bytes). En la tabla 3 se muestra el resultado del envío desde Matlab de dichos desafíos con tres empaquetamientos de bytes enviados: 1, 123 y 258. En todos los casos se emplea la conexión USB virtual del 101 o DUE.

Tabla 3. Resultados de los tiempos de respuesta mediante puerto serie para ambos chipsets.

Bytes enviados en cada transmisión	Tiempo de respuesta (seg)	Frecuencia (Hz)
1	0,8	1,25
123	0,012	83,3
258	0,028	35,7

El envío individual de bytes es inoperativo ya que exige activar y desactivar para cada byte transmitido el protocolo de comunicación. En el caso de bloques 258 bytes la velocidad supera las 2100 aceitunas procesadas por minuto, lo cual es aceptable en la mayoría de las máquinas deshuesadoras.

4. Conclusiones

Se ha conseguido entrenar por primera vez y de manera exitosa una red de neuronales artificiales implementadas en Chips físicos para la clasificación de imágenes de la aceituna que circulan por las líneas de alimentación de las máquinas deshuesadoras de este fruto.

El uso de los chips físicos Intel Curie y sobretodo Neuromem CM1K por su mayor capacidad y escalabilidad, ha sido satisfactorio y, por tanto, se comprueba un gran potencial para la clasificación.

La clasificación sólo ha necesitado una neurona para cada caso, en total 4 (Normal, Barco, Vacío y Anómalo).

Se constata que una resolución mínima de 11x11 píxeles ya es apta para el propósito buscado. En estas condiciones un chip como el Intel Curie sería suficiente.

Se ha ensayado de manera satisfactoria las velocidades de recepción y envío de la información en tiempo real, resultando velocidades de clasificación de más de 35 frames/s o equivalente a más de 2.100 aceitunas por minuto.

Para poder llegar a las velocidades indicadas se ha comprobado que se deben enviar los vectores de imágenes en bloque, de manera que se envíen los 123 bytes y los 258 bytes en una sola instrucción, de lo contrario el envío de byte a byte genera un cuello de botella en la transferencia y los tiempos de ejecución impiden alcanzar las velocidades requeridas.

Referencias

1. Santos Siles, F.J. (1999) "Las nuevas tecnologías aplicadas al sector de la aceituna manzanilla fina". Grasas y Aceites, 50-2, 131-140.
2. Ser González, Clemente del.1987. Método para deshuesar y deshuesar-rellenar aceitunas dispositivo para su puesta en práctica y producto obtenido con el mismo número de publicación: ES2000150 A6.... Autor D. Título del trabajo. Nombre de la revista. Año, volumen, rango de páginas (página inicial – página final).
3. Fernández-Cano, Sebastián. 2012. PFC Mejora de las líneas de deshuesado de una envasadora de aceitunas escuela técnica superior de ingeniería (ICAI).
4. Madueño luna Antonio, López Lineros Miriam, Madueño Luna, José Miguel.2013. Procedimiento basado en un sensor de sincronismo para la detección de fallos de funcionamiento en máquinas deshuesadoras/rodajadoras de aceituna y de relleno, cuantificación y optimización del rendimiento, señalización, monitorización y control remoto. Patente de invención, Propiedad industrial.
5. The MathWorks, Inc. Redes neuronales.1994-2017. <http://es.mathworks.com/discovery/redes-neuronales.html>.
6. Arduino, 2017. <https://www.arduino.cc/en/Main/ArduinoBoard101>
7. General Visions, 2016. <http://www.general-vision.com/hardware/cm1k/>
8. IDS Imaging Development Systems GmbH, 2016. <https://es.ids-imaging.com/store/ui-1220se.html>
9. FT232R USB UART IC Datasheethttps://www.ftdichip.com/Support/Documents/DataSheets/ICs/DS_FT232R.pdf