

Resumen

En la industria alimentaria, como en cualquier otra industria, la mejora de sus procesos productivos es un factor clave para mantener su competitividad e incrementar sus beneficios. Para cumplir este objetivo es necesario incorporar nuevos métodos que mejoren la calidad y eficiencia de estos procesos. Además, en los alimentos actuales cada vez hay una mayor distancia entre el lugar de producción del alimento y el lugar donde se consume aumentando las posibilidades de que se contamine o exista una incertidumbre acerca de su estado. Esto exige sistemas de calidad que puedan inspeccionar el 100% de los alimentos de una forma económica y no destructiva. En esta tesis se propone utilizar para ello técnicas hiperespectrales y tridimensionales.

Se ha hecho una revisión del estado del arte de las diferentes técnicas de obtención de información tridimensional así como de sus usos en la industria alimentaria. En base a ello, se han seleccionado las técnicas basadas en luz estructurada (SL), estéreo-visión y tiempo de vuelo (TOF) como las técnicas más apropiadas. Se ha realizado una comparativa entre SL y TOF para la medida en línea de producción de 3 alimentos de origen animal y 3 de origen vegetal. De este estudio se concluye que ambas técnicas son válidas teniendo unos R^2CV medios de 0.85 el TOF y de 0.94 el SL para estimar el volumen de las muestras. Se profundizó en el estudio de SL mediante la resolución del problema de segmentación de raíces en tubérculos. Se trata de un problema difícil de resolver por técnicas clásicas de visión por computador en 2D debido a que las raíces tienen un color muy parecido a los tubérculos. Este problema se resolvió utilizando un modelo Adaboost que clasificó los puntos tridimensionales en raíces o puntos de superficie basándose en un vector de descriptores 3D. En este estudio, se llegó a alcanzar un porcentaje de acierto del 94%. Otro problema resuelto fue la determinación de la compacidad de racimos de uva basándose en descriptores 3D usando técnicas de estéreo visión. Se trata de un componente de calidad complicado de estimar debido al problema de subjetividad ya

Resumen

que actualmente se realiza de forma manual por un panel de expertos siguiendo el descriptor de la OIV N°204. El método semi-automático desarrollado utiliza nuevos descriptores 3D y un modelo SVM, obteniendo un R^2 en predicción de 0.8 para 100 racimos de 10 variedades diferentes.

Por otro lado, se ha desarrollado una metodología para la obtención de resultados a partir de imágenes hiperespectrales. Esta metodología se ha aplicado en 3 casos prácticos de diferentes alimentos para medir su frescura, entendiendo frescura como el grado de deterioro de los alimentos respecto a la calidad inicial de los mismos. La frescura actualmente se estima de forma analítica como una combinación de una serie de análisis físico-químicos destructivos. Mediante la captura de imágenes hiperespectrales en el rango SW-NIR se estimó la frescura de los siguientes alimentos en sus envases comerciales con distintos tipos de procesado: pechugas de pollo fileteadas, pavo cocido, jamón cocido y salmón ahumado. Se empezó con la aplicación básica de la metodología desarrollada en el pavo y el jamón cocidos donde se consiguieron unos resultados medios de validación cruzada de R^2 0.93 y de 0.9 respectivamente utilizando dos modelos PLSDA para correlar el tiempo con los espectros adquiridos. El siguiente caso práctico se realizó en pechugas de pollo, donde se amplió la metodología básica efectuando una selección de longitudes de onda mediante el algoritmo IPLSDA que redujo de 54 a 13 las variables al mismo tiempo que mejoró los resultados de los modelos PLSDA para estimar la frescura de R^2CV 0.77 a 0.85. También se estudió la influencia del film en cuanto al análisis de frescura con técnicas hiperespectrales, donde se concluyó que éste únicamente atenúa el espectro sin afectar a los resultados. En el último caso práctico se determinó si el salmón ahumado estaba caducado mediante imágenes hiperespectrales. Este caso se enfocó en la fase de segmentación espacial donde se obtuvo los espectros del tejido magro y del tejido graso por separado. Para ello se transformó la imagen hiperespectral a una imagen 2D en RGB empleando un modelo calculado del sistema hiperespectral. Una vez transformadas a imágenes 2D, se segmentó la imagen mediante un algoritmo basado en segmentación por color. Se obtuvo un resultado de $R^2CV=0.83$ con la segmentación espacial propuesta. En este estudio se demostró la necesidad de realizar

una buena segmentación espacial en los casos en que las muestras no son homogéneas como es el caso de los diferentes tejidos del salmón.

La principal aportación de la tesis es la metodología desarrollada para la combinación de técnicas 3D e hiperespectrales en el sector alimentario. La gran ventaja que se consigue con estos nuevos procedimientos es disponer de una resolución espacial elevada mediante las técnicas 3D y una muy buena resolución espectral con las técnicas hiperespectrales. En esta tesis se presentan dos de las muchas posibilidades de unir ambas técnicas. En la primera de ellas se analizó la información tridimensional del proceso de fermentación de masas de harina. Esta información tridimensional se empleó para distinguir entre harinas supuestamente iguales (según los análisis realizados en la industria) que se comportaron de forma distinta durante la fermentación. Mediante la metodología desarrollada que emplea ambas técnicas, se consiguió predecir a partir de la información hiperespectrales el comportamiento dinámico que tuvo la muestra durante la fermentación. El conocimiento de este comportamiento es de gran interés puesto que por ejemplo permite ahorrar dinero agrupando muestras con tiempos similares de fermentación o seleccionando mejor la materia prima. El segundo caso donde se investigó y desarrolló esta conjunción de técnicas se basó en aprovechar la gran resolución espacial obtenida de las técnicas 3D. Concretamente, se utilizó en la fase de segmentación espacial al procesar imágenes hiperespectrales de dorada. El objetivo de la segmentación en base a la información tridimensional fue obtener la información espectral de zonas específicas del pescado como los ojos donde se puede estimar mejor la frescura. Los resultados de R^2 CV fueron de 0.844 al correlacionar los espectros obtenidos de los ojos con el tiempo mediante un PLSDA.

El desarrollo de estas técnicas tendrá un gran impacto en la industria agroalimentaria en un futuro próximo, ya que supone una clara innovación tecnológica respecto a realizar análisis físico-químicos destructivos en un subconjunto de las muestras. Estas técnicas permiten realizar el control de calidad y de seguridad de todas las muestras de forma no destructiva mejorando por tanto la calidad, rapidez, seguridad, fiabilidad y coste de los diferentes procesos de la industria alimentaria.