

DESARROLLO DE UN SISTEMA HIPERESPECTRAL PARA LA MEDIDA DEL COLOR EN MUESTRAS EXTENSAS CON PATRONES ESPACIALMENTE COMPLEJOS

Edgar Ferrer, Meritxell Vilaseca, Jaume Pujol, Montserrat Arjona

Centro de Desarrollo de Sensores, Instrumentación y Sistemas (CD6), Universitat Politècnica de Catalunya (UPC), Rambla Sant Nebridi 10, Terrassa, Barcelona 08222, España

Resumen:

Cada vez son más los distintos dispositivos para la medida del color basados en sensores optoelectrónicos de imagen. En los últimos años se ha generalizado el uso de sistemas multiespectrales y, en particular, se han empezado a emplear sistemas hiperespectrales que combinan un sistema espectrográfico con una cámara monocromática capaz de realizar medidas de alta calidad con información espectral y espacial. Además, estos sistemas tienen la ventaja de proporcionar el espectro de cada uno de los píxeles de una línea de la imagen. En este trabajo se presenta el método de puesta a punto y validación de un sistema hiperespectral para fines colorimétricos y aplicados a muestras extensas con patrones espacialmente complejos. Para ello se ha desarrollado el software que permite obtener imágenes hiperespectrales de alta calidad y se han aplicado los algoritmos necesarios para la determinación de los espectros de reflectancia y diferencias de color de las muestras. También, se ha validado la incertidumbre del sistema comparando los resultados hallados con los obtenidos con un instrumento de referencia a través de la comparación de las curvas de reflectancia espectral. Por último se ha aplicado a la medida en muestras reales extensas con patrones espacialmente complejos, concretamente para aplicaciones relacionadas con la industria de la madera.

Palabras clave: Sistemas hiperespectrales, Medida del color, Patrones espacialmente complejos, Industria de la Madera

INTRODUCCIÓN

Cada vez los procesos industriales de producción presentan unas exigencias más elevadas en cuanto a sus objetivos y prestaciones y algunos de los puntos clave, donde hoy en día se incide más, son el control y la automatización de muchos de ellos. En el campo de la colorimetría han aparecido recientemente los sistemas hiperespectrales que despuntan como una opción rápida y robusta para la medida del color. En cuanto a la obtención de reflectancias espectrales para caracterizar espacialmente una muestra con un patrón espacialmente complejo, los métodos convencionales de medida requieren la realización de medidas punto a punto, las cuales son muy tediosas. Además, realizan la integración de la información colorimétrica o espectral en un área relativamente grande, lo cual imposibilita la medida de muestras con patrones de color poco uniformes. Por otro lado, los dispositivos colorimétricos de contacto son poco deseados por la posible contaminación de la escena que provocan. Una posible solución a este problema es la utilización de imágenes tricromáticas captadas con sensores de imagen para realizar medidas colorimétricas o espectrales de muestras, aunque en general esta técnica no aporta una suficiente resolución espectral [1]. Así, los sistemas multiespectrales [2,3] parecen idóneos para tal fin ya que en ellos se consigue una aceptable reconstrucción espectral de la reflectancia de la muestra extensa analizada con tan solo la utilización de unos pocos canales de adquisición o bandas espectrales (en general más de tres) [4]. Estos sistemas a pesar de ser eficaces son en general lentos, ya que deben efectuar tantas medidas como filtros se empleen y luego aplicar los

algoritmos necesarios para reconstruir el espectro píxel a píxel. En este sentido las cámaras hiperespectrales pueden resultar mucho más precisas y prácticas ya que proporcionan directamente el espectro de cada uno de los píxeles de una línea de la imagen sin necesidad del uso de filtros gracias al espectrógrafo que llevan incorporado, el cual se encarga de difractar verticalmente la luz proveniente del objetivo. Con este procedimiento se consigue el espectro de una línea que mediante un escaneo de la escena, se transforma en una imagen hiperespectral, proporcionando una alta resolución espectral y espacial.

En este trabajo se presenta el proceso de puesta a punto y validación de un sistema hiperespectral para fines colorimétricos aplicados a muestras extensas con patrones espacialmente complejos. Para ello se ha desarrollado un software para captar imágenes hiperespectrales de alta calidad, así como los algoritmos necesarios para la posterior determinación del espectro de reflectancia y diferencias de color de la muestra. También se ha procedido a validar el sistema comparando las curvas de reflectancia halladas con las obtenidas mediante un instrumento de referencia. Finalmente, a modo de aplicación, se han medido muestras extensas con patrones espacialmente complejos utilizadas en la industria de la madera.

MATERIAL Y MÉTODO

El sistema hiperespectral empleado en este estudio se compone de una cámara CCD monocromática y un espectrógrafo. La cámara usada es una cámara AVT Pike F-210B con sensor CCD de 1920 (h) x 1080 (v) píxeles, capaz de trabajar con una profundidad de digitalización de 16 bits, y con un objetivo CINEGON 1.8/16. El espectrógrafo ImSpector V10E se encarga de difractar la luz proveniente del objetivo en el rango espectral comprendido entre 400 y 1000 nm (Figura 1.). Adicionalmente, el sistema se completa con otros dos elementos esenciales para realizar medidas bajo control y en las mejores condiciones posibles: una luminaria Spectralight III dotada de varios simuladores de iluminantes estándar y un desplazador lineal motorizado de 1 m de longitud. Este sistema hiperespectral únicamente permite captar una línea horizontal correspondiente al objeto, por este motivo es necesario situar la muestra sobre el desplazador lineal el cual permite barrer, línea a línea, toda la superficie de la muestra obteniendo así imágenes 2D.

El sistema descrito ha sido previamente caracterizado espectralmente utilizando muestras estandarizadas de color de la carta GretagMachbeth ColorChecker DC y UNE 48-103-94 situadas en una cabina de iluminación especial que proporciona un campo de iluminación uniforme sobre ellas y permite una geometría de medida D/0. Para validar los resultados hallados con la cámara hiperespectral se ha empleado un espectrorradiómetro PhotoResearch PR-655 con el accesorio MS-75 con una incertidumbre del 2%. Con esta configuración se ha desarrollado e implementado un método que permite que el sistema hiperespectral opere en condiciones óptimas de medida para poder hallar la reflectancia espectral de una muestra y los valores colorimétricos derivados de la misma. El método empleado consta de varios pasos. El primero consiste en hallar la distancia óptima objetivo-muestra que dependerá de las dimensiones de la muestra a analizar, aunque la distancia focal fija del objetivo de la cámara impone ciertas limitaciones sobre las distancias de enfoque y el campo captado. En el segundo paso se determinan los parámetros idóneos de offset, ganancia y tiempo de exposición de la cámara para realizar las capturas. Finalmente, se aplica un software que se ha desarrollado para obtener imágenes espectrales con la máxima calidad posible, es decir, con la mínima influencia de ruido, eliminando defectos del sensor y uniformizando la respuesta espacial de la cámara. Para ello se promedian imágenes, lo que permite regularizar la respuesta del sensor y se eliminan los *hot píxeles*. Finalmente se aplica un algoritmo tipo *flat field* para la corrección espacial de la cámara. En última instancia el software desarrollado también proporciona información de la reflectancia de la muestra a la vez

que realiza el cálculo de las diferencias de color entre las curvas proporcionadas por la cámara y los perfiles de referencia empleando diferentes métricas (CIE ΔE_{94} y CIEDE2000).



Figura 1. Imagen del esquema de un sistema hiperespectral con el objetivo, el espectrógrafo y la cámara CCD matricial.

Por último, se han realizado medidas espectrales y colorimétricas de muestras extensas con patrones espacialmente complejos utilizadas en la industria de la madera para validar el funcionamiento de la cámara hiperespectral.

RESULTADOS

Como resultado del desarrollo y puesta a punto del sistema, en estos momentos ya se dispone de un software que permite obtener imágenes espectrales de calidad a partir de la imagen captada. El software dispone de una interfaz de usuario suficientemente completa que permite un análisis tanto cualitativo (mediante la visualización de imágenes) como cuantitativo (mediante gráficas y descriptores). Finalmente, con fines de aplicación directa sobre sectores industriales, se ha implementado un algoritmo de predicción de mezcla donde a partir del espectro de un número determinado de colorantes y el de una mezcla cualquiera se calculan las proporciones de cada colorante o substrato usado para conseguir dicha mezcla. En la parte izquierda de figura 2 (a) y (b) se muestran las imágenes de la carta GretagMachbeth ColorChecker y de una muestra real de madera y en la parte derecha de esta figura hay las respectivas imágenes multiespectrales de alta calidad de una línea, una vez se ha aplicado el software desarrollado.

Para determinar la validez del sistema hiperespectral se han comparado las reflectancias espectrales de las muestras estandarizadas de color halladas con el sistema de referencia PhotoResearch (PR) y con el sistema hiperespectral (AVT Pike). A la izquierda de la figura 3 se muestran las curvas de reflectancia espectral de una muestra amarilla de la norma UNE 48-103-94 (S 1080-Y) obtenidas con ambos dispositivos. En ella se aprecia que las curvas obtenidas son semejantes aunque muestran discrepancias para valores pequeños de longitud de onda, probablemente debido a la baja sensibilidad del sensor en esta región. A la derecha se muestra la curva de reflectancia espectral de la muestra real (madera) hallada con el sistema hiperespectral (derecha). En este caso no es posible utilizar el sistema PR para realizar la medida puesto que la muestra presenta un patrón de color no uniforme dentro de la zona medida mediante el PR, por este motivo es de gran importancia el uso del sistema hiperespectral ya que permite realizar medidas con elevada resolución espacial.

CONCLUSIONES

En este trabajo se presenta el proceso de puesta a punto y validación de un sistema hiperespectral para fines espectrales y colorimétricos, aplicados a muestras extensas con patrones espacialmente complejos. Se ha desarrollado un software para captar y proporcionar imágenes hiperespectrales de alta calidad y se han aplicado los algoritmos para la determinación del espectro de reflectancia y de diferencias de color, hallando curvas de reflectancia y diferencias de color aceptables. Por último, hemos comprobado la utilidad del mismo a la hora de medir

muestras reales con patrones espacialmente complejos. A partir de las limitaciones halladas en esta primera fase se continuará trabajando con el fin de dotar al sistema de una mayor exactitud en las medidas y para adaptarlo a un entorno industrial.

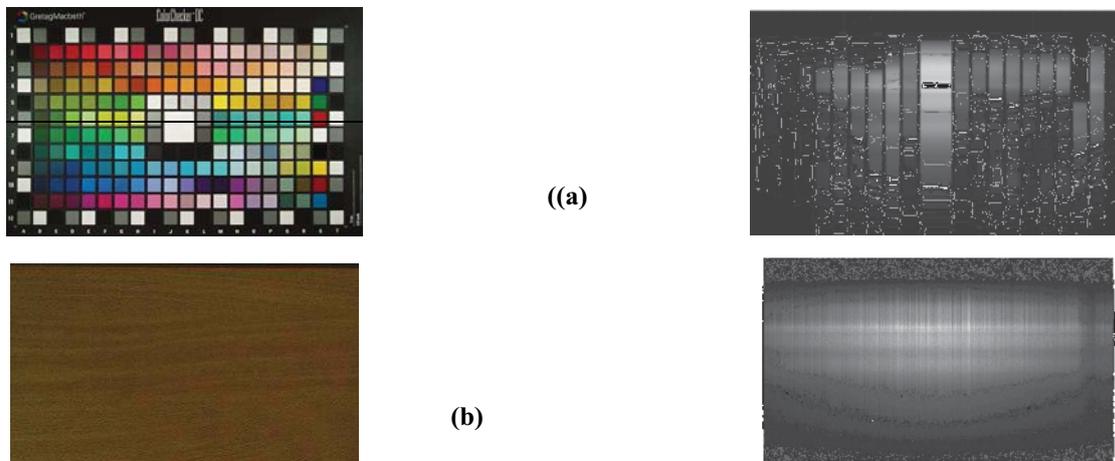


Figura 2. (a) Imagen de la carta GretagMacbeth ColorChecker (izquierda) bajo una fuente tipo D65 y la imagen multiespectral de alta calidad de una línea después de haber aplicado el software que elimina el ruido y otros efectos inherentes del sistema (derecha). (b) Imágenes correspondientes a una muestra real de madera.

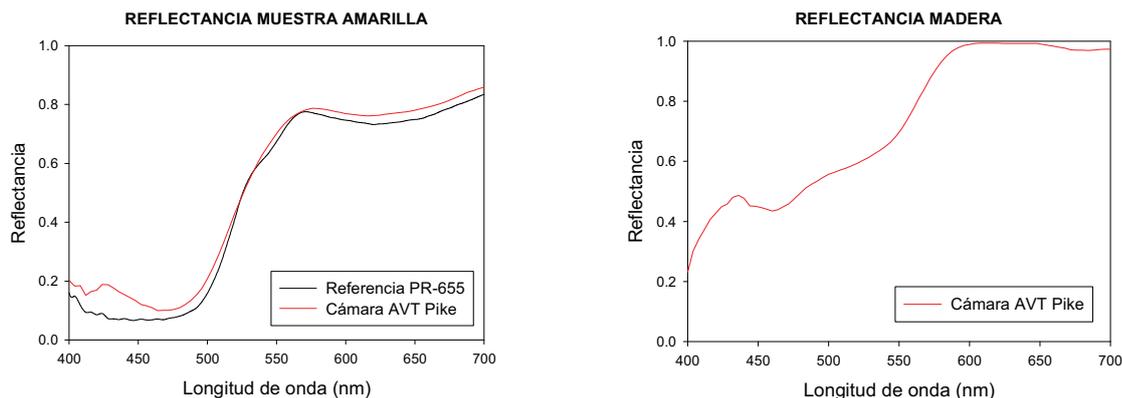


Figura 3. Curvas de reflectancia espectral de una muestra amarilla de la norma UNE 48-103-94 (S 1080-Y) obtenidas mediante el PhotoResearch (PR) y el sistema hiperspectral (AVT Pike) (izquierda) y curva de reflectancia espectral de la muestra real (madera) obtenida mediante el sistema hiperspectral.

AGRADECIMIENTOS

Al Ministerio de Educación y Ciencia por el proyecto DPI2008-06455-C02-01.

REFERENCIAS

- [1] J. Pladellorns, A. Pintó, J. Segura, C. Cadevall, J. Antó, J. Pujol, M. Vilaseca, J. Coll, "A device for the color measurement and detection of spots on the skin", *Skin Res. Technol.*, 14, 65 (2008).
- [2] M. Vilaseca, R. Mercadal, J. Pujol, M. Arjona, M. de Lasarte, R. Huertas, M. Melgosa, F. H. Imai, "Characterization of the Human Iris Spectral Reflectance with a Multispectral Imaging System", *Appl. Opt.*, 47, 5622 (2008).
- [3] J. Y. Hardeberg, F. Schmitt, H. Brettel, "Multispectral Color Image Capture Using a Liquid Crystal Tunable Filter", *Opt. Eng.*, 40, 2532 (2002).
- [4] M. J. Vhrel, H. J. Trussell, "Filter Considerations in Color Correction", *IEEE Trans. Image Process.*, 3, 147 (1994).