

Un Método para la Detección en Tiempo Real de Perturbaciones Fotométricas en Imágenes Proyectadas

M.Castañeda¹ O. Belmonte² J. Gil² H. Pérez³ e I. Coma⁴

¹Departamento de Computación, Universidad de Oriente, Cuba

²Departamento de Ingeniería y Ciencia de los Computadores, Universitat Jaume I, Spain

³School of Electrical Engineering and Computer Science, The University of Newcastle, Australia

⁴Departamento de Informática, Universitat de València, Spain

Abstract

Los sistemas de pantallas de proyección han ganado gran popularidad en los últimos años, principalmente por el gran tamaño de pantalla y resolución que brindan, así como por las facilidades de visión estereoscópica que los hacen factibles para la construcción de sistemas de realidad virtual. En este trabajo se muestra un método para la detección en tiempo real de perturbaciones fotométricas no estacionarias en imágenes proyectadas, mediante el empleo de técnicas de visión. El método es robusto a variaciones espaciales de la intensidad de la luz del proyector sobre la superficie de proyección y a la existencia sobre la misma de perturbaciones fotométricas localmente estacionarias provocadas por factores externos al sistema.

Categories and Subject Descriptors (according to ACM CCS): I.3.3 [Computer Graphics]: Photometric Calibration—Image Processing

1. Introducción

En las pantallas de proyección las imágenes se forman a partir de las incidencias sobre las mismas de luces emitidas por proyectores. Por tal motivo, la luz ambiental, los objetos en el camino de las luces de los proyectores, las irregularidades en la superficie de proyección, entre otros factores, afectan la visualización de la imágenría. En este sentido, varias aplicaciones basadas en técnicas de visión han sido construidas para detectar o corregir determinadas perturbaciones fotométricas en la superficie de proyección. Entre estas aplicaciones están aquellas para la detección y eliminación de las sombras de los usuarios en sistemas de proyección frontal, causadas por la oclusión de las luces de los proyectores [RFC*02], [JWS04], y aquellas para la detección y seguimiento de las manchas de punteros láser en la pantalla [EM00], [ON01]. El trabajo presentado en este artículo aborda aspectos de esta naturaleza. Parte de una modificación realizada al método desarrollado por Jaynes et al [JWS04] para la detección de sombras en imágenes proyectadas y finaliza en la obtención de un método local

para la detección de perturbaciones fotométricas en imágenes proyectadas.

El método presentado en [JWS04] es bastante efectivo para la detección de sombras y puede ser usado de modo general para la detección en tiempo real de perturbaciones fotométricas en imágenes proyectadas. Emplea varias cámaras y proyectores ubicados frente a la pantalla y está basado en la comparación de los fotogramas de los buffer de fotogramas de los proyectores con los correspondientes fotogramas capturados por las cámaras. Para realizar esta comparación requiere de un paso previo de calibración fotométrica entre los proyectores, la pantalla y las cámaras. Para efectuar la calibración emplea un modelo que da lugar a funciones de transferencias entre espacios de colores, las cuales permiten estimar las imágenes a ser capturadas por las cámaras a partir de las imágenes de los buffer de fotogramas de los proyectores. Luego, el proceso comparativo entre imágenes se establece entre las imágenes observadas por las cámaras y las correspondientes imágenes estimadas.

En ese trabajo, el proceso de calibración fotométrica se establece de forma global, tratando por igual todas las re-

giones de la pantalla. Por tanto, el método no contempla la existencia de perturbaciones fotométricas localmente estacionarias en la pantalla (estas que se mantienen invariables en determinadas localidades de la misma), las cuales pueden ser creadas tanto por factores intrínsecos como extrínsecos al sistema, perdiendo de esta forma fiabilidad durante la detección de perturbaciones fotométricas no estacionarias.

Entre los factores intrínsecos al sistema podemos citar las variaciones espaciales de las intensidades de las luces de los proyectores sobre la superficie de proyección, causadas por la ubicación de los proyectores y las propiedades específicas del material de la superficie de proyección. Entre los extrínsecos podemos citar la influencia o carencia de forma permanente de luces externas en determinadas zonas de la pantalla y las manchas o irregularidades existentes sobre la misma.

Basado en este análisis, en este trabajo se muestra un método local para la detección en tiempo real de perturbaciones fotométricas no estacionarias en imágenes proyectadas, a partir de una modificación realizada al método presentado en [JWS04]. El objetivo es mejorar la fiabilidad en la detección de perturbaciones fotométricas no estacionarias ante la presencia de perturbaciones fotométricas localmente estacionarias en la pantalla. El campo de acción está enmarcado en el proceso de calibración fotométrica entre las cámaras, la superficie de proyección y los proyectores. El prototipo desarrollado, sin perder generalidad, emplea un solo par cámara/proyector.

2. Calibración geométrica y fotométrica entre la cámara y el proyector

Para hacer corresponder las coordenadas entre las imágenes de la cámara, las imágenes de la superficie de proyección y las imágenes del buffer de fotogramas del proyector, es necesario establecer un proceso de calibración geométrica. El resultado es la obtención de funciones de transferencias entre los sistemas de coordenadas de dichas imágenes. Para establecer esta correspondencia, en este trabajo fue empleado el método de homografía planar descrito en [SSM01].

Las perturbaciones fotométricas sobre una pantalla de proyección pueden ser determinadas basándose en comparaciones entre las imágenes del buffer de fotogramas del proyector y las correspondientes imágenes adquiridas por una cámara. Sin embargo, este proceso no debe realizarse de manera directa, debido a que las imágenes del buffer de fotogramas del proyector y las adquiridas por la cámara poseen diferentes gamas fotométricas, provocadas por diversos factores intrínsecos y extrínsecos del sistema. Luego, para establecer este proceso comparativo con mayor precisión, previamente hay que determinar las alteraciones fotométricas que sufren las imágenes una vez proyectadas y adquiridas por la cámara.

En [JWS04] se presentó un trabajo para modelar esta

situación, donde es aplicado un proceso de modelado del color para cada par cámara/proyector empleado. En ese trabajo se ajustaron funciones de Verhulst como funciones de transferencias para estimar los píxeles a ser capturados por las cámaras a partir de los píxeles en los buffer de fotogramas de los proyectores. Basado en ello, para cada par cámara/proyector empleado se ajusta una función para cada componente de color (rojo, verde y azul), de la forma:

$$F_c(z) = \frac{a}{1 + e^{-a(z-b)}} + k \quad (1)$$

Sin embargo, a pesar de que este modelo ofreció resultados adecuados para los propósitos concebidos, presenta el inconveniente de ser global. Durante la estimación de los parámetros de la ecuación 1, se promedian las intensidades observadas por las cámaras, perdiendo de esta forma el carácter local. Luego, el proceso de calibración fotométrica es aplicado por igual a todas las zonas de las imágenes del buffer de fotogramas del proyector y, consecuente, a todas las zonas de la región de imágenes de la pantalla de proyección y de las imágenes de la cámara. Por tanto, este modelo es susceptible a perturbaciones fotométricas localmente estacionarias en la pantalla.

En nuestra propuesta utilizamos un modelo de calibración fotométrica local. Para ello, el buffer de fotogramas del proyector es particionado en regiones y las funciones de transferencias de colores se definen en función de estas regiones. La partición es realizada en base a la obtención de una matriz con un número de filas y columnas coincidentes con la resolución de la cámara, que es a su vez la resolución dada a las imágenes estimadas. En este sentido, se hace corresponder cada región del buffer de fotogramas del proyector con un punto del buffer de las imágenes estimadas. Formalmente, definiremos la región R_{xy} del buffer de fotogramas del proyector según:

$$R_{xy} = \left\{ (x', y') \in B / \left[\frac{x'|E|^x}{|B|^x} \right] = x, \left[\frac{y'|E|^y}{|B|^y} \right] = y \right\} \quad (2)$$

donde B representa el buffer de fotogramas del proyector, $|B|^x$ y $|B|^y$ la cantidad de columnas y filas respectivamente de dicho buffer, y $|E|^x$ y $|E|^y$ la cantidad de columnas y filas respectivamente del buffer de las imágenes estimadas.

Con esta partición, para cada región de cada componente de color es ajustada una función de transferencia diferente, de la forma:

$$F_{xy}^c(z) = \frac{a_{xy}^c}{1 + e^{-a_{xy}^c(z-b_{xy}^c)}} + k_{xy}^c \quad (3)$$

Para la componente de color c , esta ecuación representa la función de transferencia de colores de la región R_{xy} del

buffer de fotogramas del proyector y $a_{xy}^c, \alpha_{xy}^c, b_{xy}^c$ y k_{xy}^c sus respectivos parámetros.

Además de ajustar las funciones de transferencias de colores anteriores, hay que modelar el efecto de la cámara al obtener una imagen de menor resolución que la que se proyecta. Teniendo en cuenta esto, la imagen estimada es obtenida según la siguiente ecuación:

$$E_{xy}^c = \frac{\sum_{p \in R_{xy}} F_{xy}^c(B_p^c)}{|R_{xy}|} \quad (4)$$

donde B_p^c es la intensidad del punto p del buffer de fotogramas B del proyector en la componente de color c y $|R_{xy}|$ es la cantidad de punto de la región R_{xy} .

Luego de efectuar este proceso de calibración fotométrica, las perturbaciones fotométricas locales en la pantalla pueden ser determinadas con mayor fiabilidad a partir de comparaciones entre las imágenes observadas por la cámara y las correspondientes imágenes estimadas. De esta forma, la diferencia en valor absoluto de cada píxel E_{xy} de la imagen estimada con su correspondiente píxel $C_{x'y'}$ de la imagen de la cámara, es medida para cada componente de color contra un umbral U, obteniendo un 1 si para al menos una componente de color se supera el umbral U, y un 0 en caso contrario. Las regiones formadas por 1 son las de interés, aunque de ellas son eliminadas aquellas que poseen un área inferior a un umbral A.

3. Experimentación y resultados

Para realizar la experimentación fue desarrollado un prototipo de pantalla de retro-proyección que emplea un par cámara/proyector y una superficie de proyección fina, plana, traslúcida y con buena nitidez por ambos lados. La cámara empleada es una Webcam Logitech 9000 Pro, la cual es usada de forma no autocalibrada, tomando los fotogramas en formato RGB. El proyector fue colocado a la altura del lado inferior de la pantalla, pero enfocado al centro de la misma, y la cámara fue colocada un poco más abajo para no ocluir la luz del proyector. El tiempo promedio de latencia tomado durante el procesamiento de los fotogramas es de 95 milisegundos, para un procesamiento aproximado de 10 fotogramas por segundos.

A modo de establecer comparaciones fueron instrumentadas dos aplicaciones para la detección de perturbaciones fotométricas, una haciendo uso del modelo local de calibración fotométrica descrito en este trabajo y la otra haciendo uso del modelo global descrito en [JWS04]. Para el seguimiento de la detección de perturbaciones fotométricas un monitor auxiliar fue empleado, el cual mostró las imágenes observadas por la cámara con cruces superpuestas marcando los centroides de las perturbaciones detectadas.

3.1. Perturbaciones fotométricas intrínsecas del sistema

La experimentación descrita en esta sección tiene como objetivo mostrar el aumento de fiabilidad con el empleo del modelo local ante la presencia de perturbaciones fotométricas intrínsecas del sistema. La experimentación se realizó sobre una imagen de color uniforme.

Con ambas aplicaciones desarrolladas fueron escogidos de forma manual los valores mínimos de umbrales para cada componente de color (rojo, verde, azul) para los cuales no se detectaron erróneamente regiones con perturbaciones fotométricas en la pantalla. Fueron obtenidos así para la aplicación del modelo local los umbrales (37, 25, 34) y para la del global los umbrales (60, 62, 60).

La Figura 1(a) muestra una imagen segmentada obtenida por la aplicación del modelo local para los umbrales (37, 25, 34), mientras que la Figura 1(b) muestra una imagen segmentada obtenida por la aplicación del modelo global para esos mismos valores de umbrales. Como puede observarse, el modelo local es robusto a las variaciones espaciales de la intensidad de la luz del proyector sobre la superficie de proyección, en cambio el modelo global no.

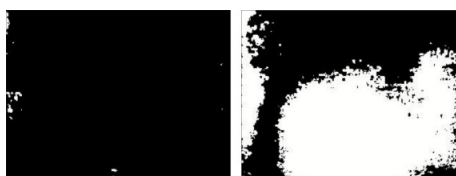


Figura 1: Imágenes segmentadas con valores de umbrales (37, 25, 34). (a) Resultados de la aplicación del modelo local. (b) Resultados de la aplicación del modelo global.

Para crear nuevas perturbaciones fotométricas, durante la ejecución de ambas aplicaciones nueve objetos rectangulares, cada uno de color blanco y tamaño $10 \times 7 \text{ cm}^2$, fueron colocados del lado frontal de la pantalla (el lado del observador) luego de efectuado el proceso de calibración fotométrica. La Figura 2(a) muestra los resultados de un fotograma procesado por la aplicación del modelo local para los valores de umbrales (37, 25, 34). Como puede observar los nueve objetos fueron detectados. Sin embargo, estos resultados fueron imposibles de obtener por la aplicación modelo global. La Figura 2(b) muestra los límites de la región donde los objetos fueron detectados para los umbrales (60, 62, 60).

Para obtener un estimado del porcentaje de fiabilidad en la detección de estos objetos, con ambas aplicaciones un objeto fue arrastrado por el lado frontal de la pantalla de forma tal que pasase por todas sus regiones y fue calculado el porcentaje de fotogramas donde el objeto fue detectado. El intervalo de tiempo para esta experimentación estuvo definido por la opresión de botones como órdenes de inicio y fin. La tabla 1 muestra los resultados obtenidos.

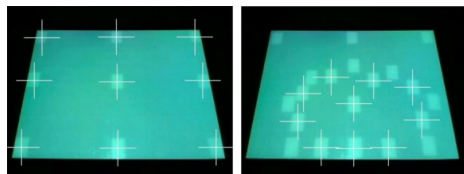


Figura 2: Detección de objetos colocados del lado frontal de la pantalla. (a) Resultados obtenidos por la aplicación del modelo local. (b) Resultados obtenidos por la aplicación del modelo global.

	% de detección
Aplicación del modelo local	100%
Aplicación del modelo global	41%

Tabla 1: Porcentajes de fiabilidad obtenidos durante el arrastre de un objeto por la pantalla

3.2. Perturbaciones fotométricas extrínsecas del sistema

La experimentación descrita en esta sección tiene como objetivo mostrar el aumento de fiabilidad con el empleo del modelo local ante la presencia de perturbaciones fotométricas localmente estacionarias en la pantalla provocadas por factores extrínsecos del sistema.

En la primera experimentación realizada se colocó de forma permanente nuevos objetos rectangulares, iguales a los descritos anteriormente, del lado frontal de la pantalla, con una distribución similar a la mostrada en la Figura 2(a). Luego de efectuado el proceso de calibración fotométrica, con las dos aplicaciones desarrolladas se determinaron los valores mínimos de umbrales para los cuales no se detectaron regiones con perturbaciones fotométricas. Los valores obtenidos para el modelo local fueron (41, 29, 39) y para el modelo global (67, 83, 76). Seguidamente diez objetos extras, también similares a los descritos anteriormente, fueron colocados del lado frontal de la pantalla, creando nuevas perturbaciones fotométricas. Bajos estas condiciones, en la aplicación del modelo local las diez regiones con perturbaciones no estacionarias fueron detectadas, sin embargo ninguna región con perturbaciones estacionarias fue detectada. En cambio, estos resultados fueron imposibles de obtener mediante la aplicación del modelo global, donde ninguna región con perturbaciones fotométricas pudo ser detectada.

Sin embargo, al experimentar con imágenes de paisajes los resultados de la aplicación del modelo local no se mantuvieron. A pesar de estos inconvenientes consideramos adecuados los mismos por dos razones fundamentales: 1) en todos los casos las regiones con perturbaciones no estacionarias no detectadas lucían muy poco perceptibles a la vista humana, 2) en ningún caso las regiones con perturbaciones estacionarias fueron detectadas. En cambio, al experimentar con perturbaciones muy notables provocadas por luces ex-

Tipo de perturbaciones	% de detección
Estacionarias	0%
No estacionarias poco notables	77%
No estacionarias muy notables	100%

Tabla 2: Porcentajes de detección de perturbaciones por la aplicación del modelo local

ternas, el método local arrojó excelentes resultados. La tabla 2 resume los resultados obtenidos.

3.3. Análisis de los resultados

Los resultados obtenidos demuestran que el método de detección de perturbaciones fotométricas en imágenes proyectadas basado en comparaciones entre las imágenes del buffer de fotogramas del proyector y las correspondientes imágenes adquiridas por la cámara, con un modelo de calibración fotométrica local entre el proyector y la cámara, es robusto a:

1. La presencia de perturbaciones fotométricas localmente estacionarias tanto intrínsecas como extrínsecas del sistema.
2. La detección de perturbaciones fotométricas no estacionarias muy notables a la vista humana

4. Conclusiones

En este trabajo se presentó un método local para la detección en tiempo real de perturbaciones fotométricas no estacionarias en imágenes proyectadas. El método es robusto a la existencia de perturbaciones fotométricas localmente estacionarias en la pantalla, y con ello, a la existencia de variaciones espaciales de la intensidad de la luz del proyector sobre la superficie de proyección, a la influencia de luces externas de forma permanente sobre la pantalla y a la existencia de manchas o irregularidades sobre la misma.

References

- [EM00] ECKERT R. R., MOORE J. A.: The classroom of the 21st century: The interactive learning wall. *SIGCHI Bulletin* 32, 2 (2000), 33–40.
- [JWS04] JAYNES C., WEBB S., STEELE M.: Camera-based detection and removal of shadows from interactive multiprojector displays. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics* 10, 3 (2004).
- [ON01] OLSEN D. R., NIELSEN T.: Laser pointer interaction. In *Proceedings of ACM Conference on Computer Human Interaction (CHI 2001)* (2001), pp. 17–22.
- [RFC*02] REHG J., FLAGG M., CHAM T. J., SUKTHANKAR R., SUKTHANKAR G.: Projected light displays using visual feedback. In *Proceedings of ICARCV* (2002).
- [SSM01] SUKTHANKAR R., STOCKTON R. G., MULLIN M. D.: Smarter presentation: Exploiting homography in camera-projector systems. In *Proceedings of International Conference on Computer Vision* (2001), pp. 247–253.