

El proceso de imágenes de alta velocidad descubre lo invisible con las técnicas de Schlieren

Por Phil Taylor, ingeniero de aplicaciones de campo, Vision Research

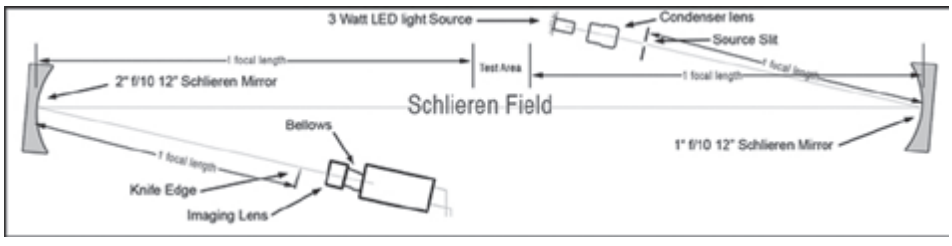
Los científicos usan el procesamiento de imágenes de Schlieren, un método de prueba no invasivo, para visualizar los gradientes de densidad dentro de los flujos de alguna manera invisibles. El procesamiento de imágenes es un método práctico de visualización del movimiento de aire alrededor de una superficie aerodinámica en un túnel de viento o en interacciones de gas dentro de una cámara de combustión. En la última década, las mejoras significativas en la velocidad y en la sensibilidad de las cámaras han aumentado en gran medida la calidad de las imágenes de schlieren y la velocidad a la cual se pueden adquirir las imágenes. Aunque esta técnica avanzada de procesamiento de imágenes ahora puede proporcionar imágenes detalladas de los procesos altamente dinámicos, obtener datos de alta calidad requiere elegir la mejor cámara de alta velocidad para la aplicación y la cuidadosa optimización de la configuración óptica.

CAPTURA DE CAMBIOS EN UN MEDIO TRANSPARENTE

Las imágenes de Schlieren vienen en muchas formas, las cuales todas capturan normalmente los gradientes de densidad normalmente invisibles, o "schliere", en medios transparentes como el aire, el agua y el cristal. Las imágenes de Schlieren se usan comúnmente para estudios de laboratorio y profundos mientras que una técnica relacionada conocida como sombragrafía (shadowgraphy) se usa con mayor frecuencia en los estudios de campo debido a que su configuración óptica más simple es más fácil de transportar y es menos probable que se dañe.

El gradiente de densidad, o la variación espacial en la densidad sobre un área, de un medio como el aire o el gas se determina mediante factores ambientales como la presión o la temperatura. Dado que los rayos impactan con el medio, las variaciones en el gradiente de densidad ocasionan que la luz cambie de dirección de forma tal que pueda verse su imagen. La configuración más común usada para las imágenes Schlieren es el sistema del tipo Z. Esta configuración incluye dos espejos parabólicos, una fuente de luz de punto, una cámara y un borde afilado (Figura 1). Proporciona el nivel más alto de calidad de imagen y se puede transformar rápidamente a un sistema de sombragrafía o sistema de sombragrafía/schlieren híbrido.

Figura 1: En un sistema de imagen de Schlieren tipo Z, el primer espejo (derecha) colima los rayos de luz hacia el segundo espejo (izquierda), el cual dirige la luz hacia la cámara. A la cámara, el campo de vista es iluminado de forma uniforme y las variaciones en el gradiente de densidad del sujeto, entre los dos espejos, cambiará el índice de refracción de la luz y aparecerá en la imagen. Agregar un borde afilado en el punto focal del segundo espejo bloquea de forma uniforme una cantidad de la luz que viaja hacia la cámara. Esto crea una imagen de alto contraste que hace que las variaciones en el gradiente de densidad sean más visibles. Los componentes en la fuente y en el corte se pueden modificar para cambiar las distintas características de la imagen, como el color.



La imagen de alta velocidad descubre lo invisible con la imagen de Schlieren

Las imágenes de Schlieren se pueden usar para examinar la aerodinámica, la mecánica de fluidos, el intercambio térmico y otros procesos. Por ejemplo, las imágenes Schlieren se pueden usar para examinar una pluma térmica de una vela (Figura 2), un flujo de gas de helio (Figura 3), y formaciones de onda de impacto (Figura 4).

OBTENCIÓN DE DATOS DE ALTA CALIDAD

Dado que una imagen de Schlieren captura procesos extremadamente rápidos con un método que requiere una pequeña fuente de luz, es importante usar cámaras de alta velocidad que son muy sensibles. Sin embargo, un rango dinámico alto no es necesario, debido a que las imágenes de Schlieren naturalmente son de alto contraste. Usar una cámara con personalización de curvas tonales permite al usuario extraer los mejores datos de nivel de gris y puede ser fundamental para crear imágenes de calidad. Adicionalmente, una opción para apagar el ventilador de la cámara durante el procesamiento de imágenes mantendrá el calor emitido por el sensor de la cámara lejos del campo de Schlieren para no destruir la integridad de los datos.

La configuración óptica usada para adquirir imágenes de Schlieren es muy sensible los cambios más ligeros. Por ejemplo, un cambio de unos cuantos micrones en la posición del borde afilado o un cambio de unos grados en la temperatura ambiental podría afectar dramáticamente el brillo de la imagen, haciendo que el sistema sea menos sensible y a fin de cuentas se disminuya la calidad de los datos recopilados. Esta variabilidad en la sensibilidad es lo que hace que un sistema Schlieren sea un mal escenario al comparar cámaras de alta velocidad. El acto simple de cambiar las cámaras hace que se cambie la configuración lo suficiente para modificar la imagen resultante. Debido a que esta sensibilidad es también importante para realizar un número de pruebas de Schlieren antes de determinar si alguna modificación a la configuración podría ser necesaria para una aplicación en específico.

Debido a que la consistencia es fundamental para la prueba de Schlieren la cámara de alta velocidad debe ser capaz de almacenar rápidamente los datos de imagen, permitiendo que se realicen múltiples pruebas en una sesión de laboratorio y se reduzcan los cambios de temperatura, variación de sujeto o movimiento en los componentes ópticos. Las soluciones de gestión de datos, como la memoria flash o Ethernet 10 GB, ayudan a garantizar la integridad de los datos mediante la eliminación de estas variables.

VISUALIZACIÓN DEL MOVIMIENTO DE IMPACTO EN LAS ALAS DE UN AVIÓN

Las variaciones del sistema tradicional tipo Z se pueden usar para adquirir tipos específicos de información o para estudiar un fenómeno en particular. Por ejemplo, un sistema de procesamiento de imagen especial de Schlieren con una profundidad de campo angosta probó ser ideal para estudiar un tipo de inestabilidad de aeronave conocida como turbulencia.[1] Estas vibraciones estructurales se intensifican conforme una aeronave aumenta la velocidad o el ángulo de ataque que afecta el comportamiento aerodinámico y limita el envolvente del vuelo.

Para investigar el movimiento del impacto que causa la turbulencia en el ala de un avión, los investigadores necesitaban capturar no solamente las ondas de impacto sino también la propagación de las ondas de presión que ayudan a sustentar la oscilación del impacto. Una configuración de Schlieren tradicional no funcionaría bien en este caso debido a que su sensibilidad en toda la longitud de la trayectoria de la luz causa la tridimensionalidad del flujo de aire para difuminar el movimiento del impacto y las ondas de presión. Para reducir la captura de estructuras de flujo tridimensionales no deseadas, los investigadores crearon un sistema con una profundidad de campo más angosta.

Figura 2: Pluma térmica. *Imagen cortesía de Phil Taylor.*



Figura 3: Flujo de gas de helio. *Imagen cortesía de Gavan Mitchell y Phil Taylor.*

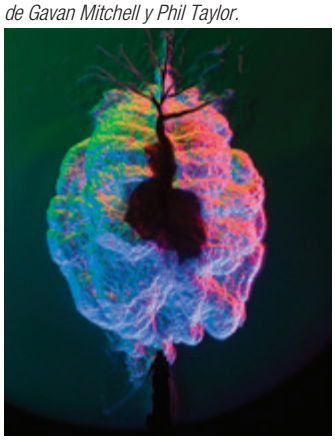
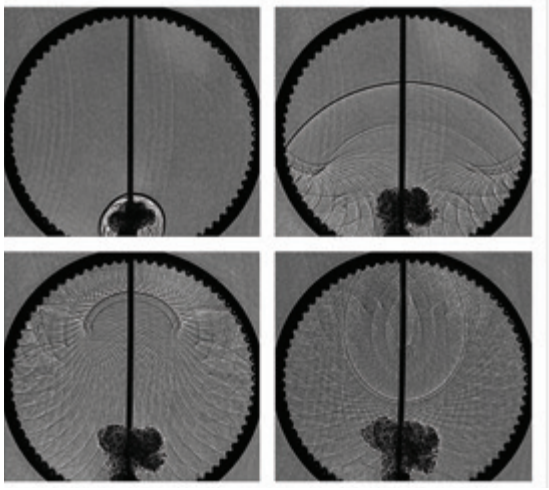


Figura 4: Formaciones de onda de impacto. *Imagen cortesía de Phred Petersen.*



Todas las imágenes anteriores se realizaron en el sistema Schlieren de la Universidad RMIT.

La configuración experimental dispersa la luz continua para iluminar una rejilla de fuente de múltiples bandas oscuras alternas y aperturas claras que crearon un arreglo de fuente de luz de dos dimensiones. Un objetivo de Fresnel, un objetivo especial con un diafragma grande y una longitud focal corta, se colocó en frente de la rejilla de fuente para aumentar la eficiencia de recopilación de luz. Una cámara Phantom v710 CMOS con un objetivo de captura de imágenes de diafragma grande capturó la oscilación del impacto a 7,000 fotogramas por segundo, grabando 8,345 imágenes en un solo experimento con un tiempo de exposición de 20µs.

Los investigadores usaron esta configuración para visualizar cómo se afectaron las turbulencias con los dispositivos pasivos conocidos como generadores de torbellinos que con frecuencia se usan para controlar las turbulencias de impacto (Figura 5). Observaron un aumento en la tridimensionalidad en el flujo alrededor del ala de un avión cuando se instalaron los generadores de torbellino, lo que sugirió que la reducida profundidad de campo fue fundamental para capturar de forma precisa las características del movimiento de impacto en estos casos. Las visualizaciones de Schlieren enfocadas mostraron que la turbulencia de impacto apareció en ángulos de ataque superiores a o iguales a 5 grados sin generadores de torbellino. Sin embargo, cuando se instalaron los generadores de torbellino, la oscilación de impacto ocasionada por las turbulencias desapareció, incluso para ángulos de ataque de más de 6 grados. Los nuevos hallazgos proporcionaron información sobre la física de las turbulencias y cómo se pueden controlar para mejorar la aerodinámica de los aviones.

REALIZACIÓN DE MEDICIONES DE SCHLIEREN EN SEGUNDO PLANO EN UN FLUJO SUPERSÓNICO

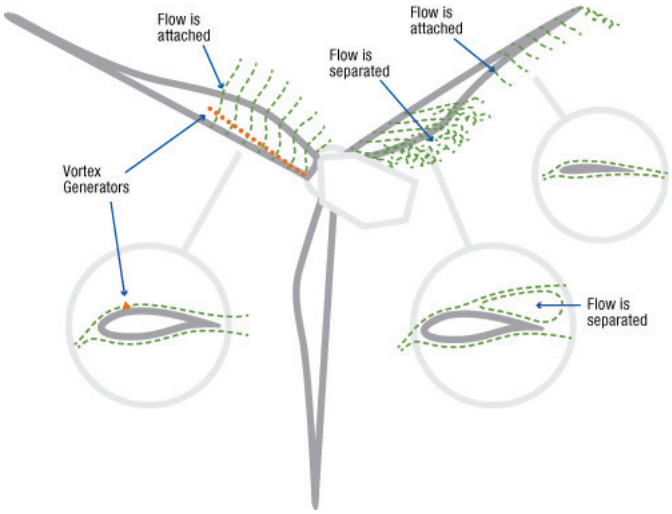
Aunque las técnicas tradicionales de imágenes de Schlieren pueden proporcionar imágenes muy detalladas, no siempre es fácil usar estas imágenes para mediciones cuantitativas. Unas de las variaciones más recientes en la imagen de Schlieren, conocida como la imagen de Schlieren en segundo plano (BOS), puede cumplir con esta necesidad. Cuando llegaron al mercado las nuevas cámaras cinematográficas con resolución 4K (4,096 x 2,160 píxeles), los investigadores probaron una para ver si se podían usar con BOS para obtener mediciones precisas de la densidad cuantitativa con mayor resolución que las antes disponibles.[2] Estos requerimientos de resolución han estado disponibles en cámaras científicas.

Al igual que una imagen tradicional de Schlieren, BOS muestra la desviación de los rayos de luz que ocurre con un cambio en el gradiente de densidad. Sin embargo, BOS usa una configuración experimental mucho más simple, que requiere solamente un fondo y una cámara digital. En lugar de usar un borde afilado para manipular la sensibilidad, BOS involucra la comparación de imágenes con diferencias ligeras, poco perceptibles en refracciones a una imagen de calibración de la misma escena antes o después de la presencia de estriaciones.

Para las pruebas experimentales, los investigadores usaron una cámara de alta velocidad Phantom Flex4K para adquirir la medición BOS de las interacciones y la dinámica producida por un jet escapando en un flujo cruzado. Este tipo de campo de flujo con frecuencia se encuentra en las configuraciones industriales como en una chimenea que sale hacia la atmósfera así como los procesos naturales como las erupciones de los volcanes. Sin embargo, este escenario de flujo puede ser difícil de analizar debido a los flujos separados, movimientos rotacionales, turbulencias e impactos supersónicos.

Con el túnel de viento en funcionamiento, los investigadores abrieron una válvula y enseguida intentaron capturar el crecimiento del campo de interacción con la cámara capturando imágenes a 1,000 fotogramas por segundo a una resolución de 4,096 por 2,160 píxeles. Capturaron una imagen de referencia en la condición de libre corriente antes de abrir la válvula. El fondo fue iluminado con un láser de 640 nm con una duración de pulso de 50 ns. Los experimentos mostraron que se puede usar una cámara 4K de alta velocidad para medir cuantitativamente el crecimiento del campo de interacción producido por un jet que escapa en flujo cruzado, un escenario de flujo que los científicos estudian para entender mejor una variedad de procesos naturales e industriales (Figura 6).

Figura 5: La imagen Schlieren se puede usar para estudiar cómo afectan los generadores de torbellino un tipo de inestabilidad de aeronave conocido como turbulencia.
De Robert Bergqvist CC BY-SA 3.0 a través de Wikimedia Commons.



La imagen de alta velocidad descubre lo invisible con la imagen de Schlieren

Los avances en la imagen de Schlieren han proporcionado a los investigadores nuevas técnicas de recopilación de datos. La creciente necesidad de datos más detallados y precisos se cumple mediante la elección de la técnica correcta junto con una cámara de alta velocidad apropiada. Optimizar la configuración y la ejecución ayuda a obtener imágenes de alta calidad y a la recopilación de datos.

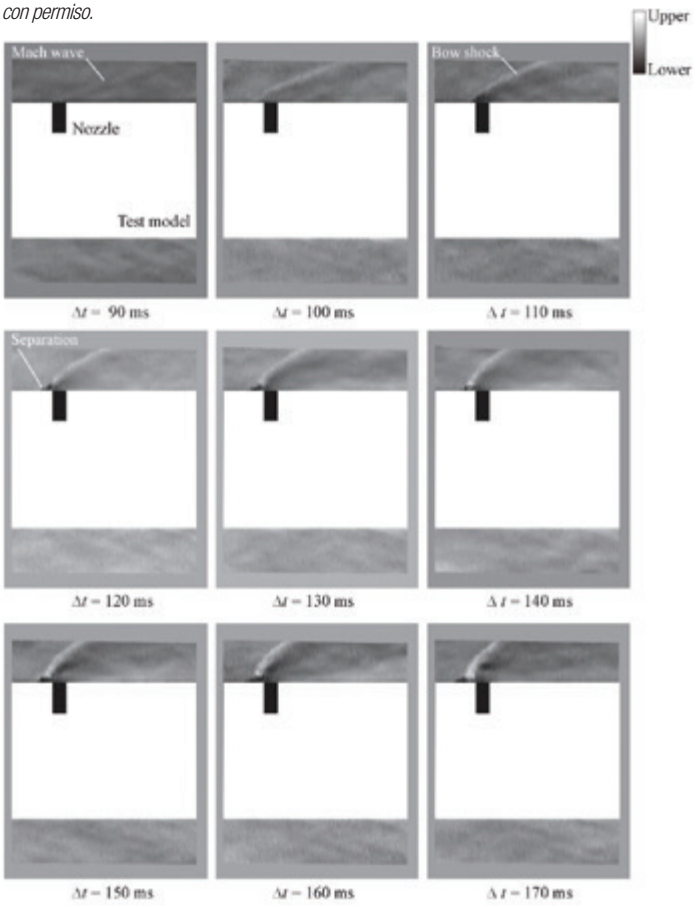
Referencias

1. T. Kouchi, S. Yamaguchi, S. Koike, et al. "Wavelet analysis of transonic buffet on a two-dimensional airfoil with vortex generators." Exp Fluids (2016) 57: 166. doi:10.1007/s00348-016-2261-2

2. M. Ota, K. Kurihara, H. Arimoto, et al. "Background Oriented Schlieren (BOS) measurement in supersonic flow with 4K high-speed camera," Proc. SPIE 10328, Papeles seleccionados del 31.º Congreso Internacional de Imagen de alta velocidad y Fotónica, 103281E (20 de febrero de 2017); doi:10.1117/12.2271019; http://dx.doi.org/10.1117/12.2271019

Portada cortesía de Phred Petersen y Phil Taylor, capturada con una Phantom v2511.

Figura 6: Conforme se abrió el jet lateral, una onda débil Mach (una onda de presión que se desplaza a la velocidad del sonido) fue generada por la salida de la boquilla. Diez segundos después se observó una onda de impacto débil ascendente del flujo de jet y enseguida se desarrolló el campo de interacción y se observó el impacto de separación. Finalmente, el impacto de deformación (se encontró un impacto estacionario, curvado en un flujo supersónico que pasa un cuerpo finito) fue más fuerte y se desarrolló continuamente el campo de interacción. *Reimpreso de Proceedings of SPIE con permiso.*



VISION RESEARCH

AMETEK®
MATERIALS ANALYSIS DIVISION

PHANTOM

ACERCA DE VISION RESEARCH

Vision Research diseña y fabrica cámaras digitales de alta velocidad que se pueden usar para una variedad de técnicas de imagen Schlieren. Vision Research es una unidad comercial de Materials Analysis Division of AMETEK Inc.

Ciertas cámaras Phantom de AMETEK Vision Research son retenidas para exportar estándares de licencia. Para obtener más información consulte: www.phantomhighspeed.com/export