

Imagens de Alta Velocidade Descobrem o Invisível com Técnicas Schlieren

Por Phil Taylor, engenheiro de aplicações de campo, Vision Research

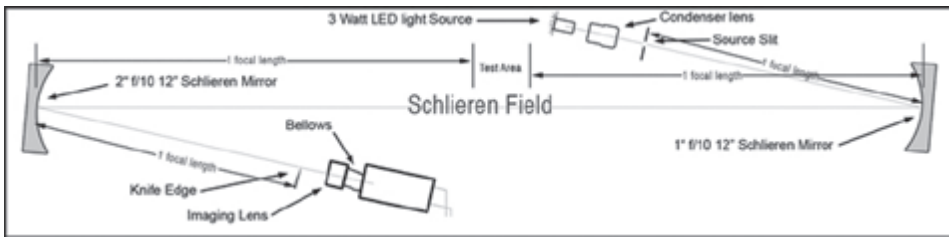
Cientistas usam imagens schlieren, um método de teste não invasivo para visualizar gradientes de velocidade dentro fluxos que de outro modo seriam invisíveis. As imagens Schlieren são um método prático de visualizar o movimento do ar em torno de um aerofólio em um túnel de vento ou interações de gases dentro de uma câmera de combustão. Ao longo da década passada, melhorias significativas na velocidade e na sensibilidade das câmeras aumentaram enormemente a qualidade das imagens schlieren e a velocidade com a qual as imagens podem ser adquiridas. Embora essa técnica de imagens avançada possa fornecer imagens detalhadas de processos altamente dinâmicos, a obtenção de dados de alta qualidade requer a escolha da melhor câmera de alta velocidade para a aplicação e a otimização cuidadosa da configuração ótica.

CAPTURANDO MUDANÇAS EM MEIOS TRANSPARENTES

As imagens schlieren vêm em diversas formas, todas as quais capturam gradientes de intensidade normalmente invisíveis, ou "schliere", em meios transparentes como o ar, a água e o vidro. As imagens schlieren são tipicamente utilizadas para estudos aprofundados baseados em laboratório, enquanto uma técnica relacionada conhecida como ombrografia é mais comumente utilizada para estudos de campo, pois sua configuração ótica mais simples é mais fácil de ser transportada e tem menor probabilidade de ser danificada.

O gradiente de intensidade, ou variação espacial da densidade ao longo de uma área, de um meio como o ar ou gás é determinado por fatores ambientais como a pressão ou temperatura. Assim que os raios de luz atingem o meio, as variações nessa densidade fazem com que a luz mude de direção de uma forma que ela possa ser capturada em imagem. A configuração mais comum utilizada para imagens schlieren e o sistema de tipo z. Essa configuração inclui dois espelhos parabólicos, uma fonte de luz pontual, uma câmera e uma ponta de faca (Figura 1). Ela fornece o mais alto nível de qualidade de imagem e pode ser rapidamente transformada em um sistema ombrográfico ou em um sistema híbrido de ombrografia/schlieren.

Figura 1: Em um sistema de imagem schlieren do tipo z, a primeira imagem (direita) colima os raios de luz para o segundo espelho (esquerda), o qual por sua vez direciona a luz para a câmera. Para a câmera, o campo de visão é iluminado uniformemente e as variações no gradiente de intensidade do tema, entre os dois espelhos, modificará o índice de refração da luz e aparecerá na imagem. A adição de uma ponta de faca no ponto focal do segundo espelho bloqueará uniformemente parte da luz que viaja até a câmera. Isso cria uma imagem de alto contraste que torna as variações no gradiente de intensidade mais visíveis. Os componentes na fonte e no corte podem ser alterados para mudar diversas características da imagem, como a cor.



Imagens de Alta Velocidade Descobrem o Invisível com Imagens Schlieren

As imagens schlieren podem ser utilizadas para examinar aerodinâmica, mecânica de fluidos, trocas térmicas e outros processos. Por exemplo, as imagens Schlieren podem ser utilizadas para se examinar uma pluma térmica de uma vela (Figura 2), fluxo de gás hélio (Figura 3), e formações de ondas de choque (Figura 4).

OBTENDO DADOS DE ALTA QUALIDADE

Devido ao fato das imagens schlieren capturarem processos extremamente rápidos com uma abordagem que requer uma pequena fonte de luz, é importante utilizar câmeras de alta velocidade que sejam muito sensíveis. No entanto, uma alta faixa dinâmica é desnecessária, visto que as imagens schlieren possuem um alto contraste natural. O uso de uma câmera com personalização de curvas tonais permite que o usuário extraia dados com o melhor nível de cinza e pode ser fundamental para a criação de imagens de qualidade. Além disso, uma opção para desligar o ventilador da câmera durante a geração de imagens impedirá o calor emitido pelo sensor da câmera de entrar no campo schlieren e destruir a integridade dos dados.

A configuração ótica utilizada para se adquirir imagens schlieren é muito sensível a variações mínimas. Por exemplo, uma variação de poucos mícrones na posição da ponta da faca ou uma mudança de poucos graus na temperatura ambiente pode afetar dramaticamente o brilho da imagem, tornando o sistema menos sensível e, por fim, diminuindo a qualidade de todos os dados coletados. Essa variabilidade da sensibilidade é o que torna um sistema schlieren um mau cenário ao se comparar câmeras de alta velocidade. O simples fato de ligar câmeras modifica a configuração o suficiente para se alterar a imagem resultante. Devido a essa sensibilidade, também é importante efetuar alguns testes schlieren antes de se determinar se alguma modificação à configuração será necessária para uma aplicação específica.

Pelo fato de a consistência ser fundamental para os testes schlieren, a câmera de alta velocidade deve ser capaz de armazenar rapidamente os dados das imagens, permitindo que diversos testes sejam realizados em uma sessão de laboratório e reduzindo a ocorrência de mudanças de temperatura, variação do tema ou movimento nos componentes óticos. Soluções de gestão de dados, como memórias flash ou ethernet 10Gb, ajudam a garantir a integridade dos dados, eliminando tais variáveis.

VISUALIZANDO O MOVIMENTO DO CHOQUE EM ASAS DE AVIÃO

As variações do sistema tradicional tipo z podem ser usadas para adquirir tipos específicos de informação ou estudar fenômenos em particular. Por exemplo, um sistema de imagens schlieren especial com uma profundidade de campo estreita provou ser ideal para o estudo de um tipo de instabilidade de aeronaves conhecido como "buffeting" (quedas no vácuo.[1] Essas vibrações estruturais intensificam conforme a aeronave aumenta sua velocidade ou ângulo de ataque, afetando o comportamento aerodinâmico e limitando a envoltória de voo.

Para se investigar o movimento de choque que o "buffeting" causa na asa de um avião, os pesquisadores precisaram capturar não apenas as ondas de choque, mas também a propagação das ondas de pressão que ajudam a sustentar a oscilação do choque. Uma configuração schlieren tradicional não funcionaria bem nesse caso, pois sua sensibilidade ao longo de todo o comprimento do caminho da luz faz com

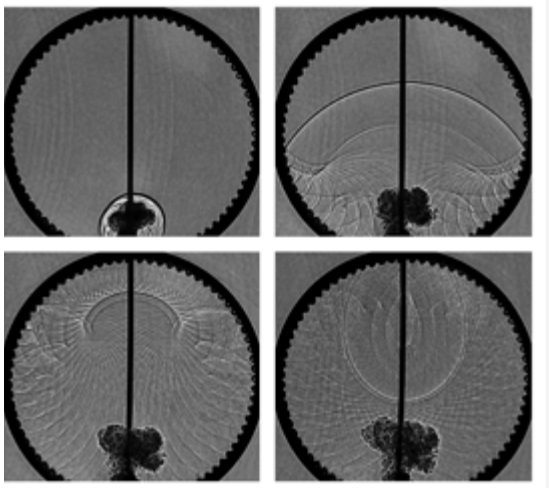
Figura 2: Pluma térmica. *Cortesia da imagem de Phil Taylor.*



Figura 3: Fluxo do gás hélio. *Cortesia da imagem de Gavan Mitchell e Phil Taylor.*



Figura 4: Formação de ondas de choque. *Cortesia da imagem de Phred Petersen.*



Todas as imagens acima foram feitas no Sistema Schlieren da Universidade RMIT.

que a tridimensionalidade do fluxo de ar desfoque o movimento do choque e das ondas de pressão. Para reduzir a captura de estruturas de fluxo tridimensionais indesejadas, os pesquisadores criaram um sistema com uma profundidade de visão mais estreita.

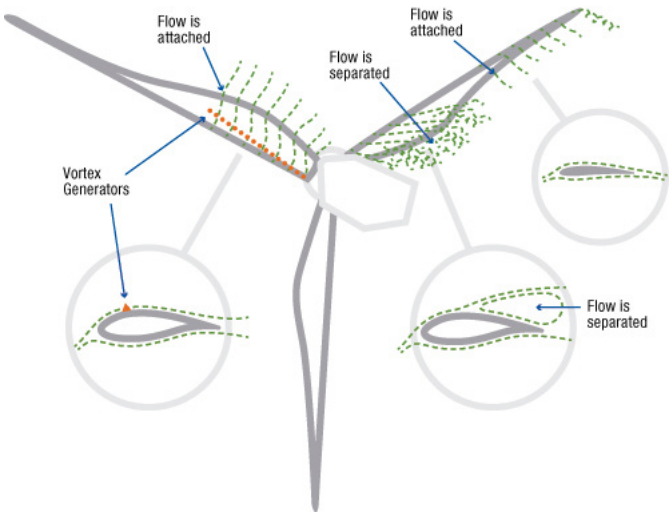
Essa configuração experimental difundiu luz contínua para iluminar uma rede fonte de diversas faixas escuras alternadas que criaram um arranjo bidimensional de fontes de luz. Uma lente Fresnel, uma lente especial com uma grande abertura e uma distância focal pequena, foi colocada na frente da rede fonte para aumentar a eficiência da coleta de luz. Uma câmera Phantom v710 CMOS com uma lente de fotografia de grande abertura capturou a oscilação do choque a 7.000 quadros por segundo, registrando 8.345 imagens em um único experimento, com um tempo de exposição de 20µs.

Os pesquisadores utilizaram essa configuração para visualizar como os golpes foram afetados por dispositivos passivos conhecidos como geradores de vórtex, os quais são frequentemente utilizados para controlar golpes de choque (Figura 5). Eles observaram uma tridimensionalidade aumentada no fluxo ao redor da asa do avião quando os geradores de vórtex foram instalados, sugerindo que o a profundidade estreita do campo era fundamental para capturar as características do movimento do choque naqueles casos. As visualizações schlieren focadas mostraram que o golpe de choque apareceu em ângulos de ataque maiores ou iguais a 5 graus sem geradores de vórtex. Entretanto, quando os geradores de vórtex foram instalados, a oscilação de choque causada pelos golpes desapareceu, mesmo para ângulos de ataque de mais de 6 graus. As novas descobertas trouxeram percepções sobre a física dos golpes e como eles podem ser controlados para melhorar a aerodinâmica das aeronaves.

FAZENDO MEDIÇÕES SCHLIEREN ORIENTADAS AO PLANO DE FUNDO EM UM FLUXO SUPERSÔNICO

Embora as técnicas de imagem schlieren tradicionais podem fornecer imagens muito detalhadas, não é sempre fácil usar tais imagens para medições quantitativas. Uma das mais novas variações das imagens schlieren, conhecida como imagens schlieren orientadas ao plano de fundo (BOS), pode atender a essa necessidade. Quando as novas câmeras cinematográficas com resolução de 4K (4.096 x 2.160 pixels) surgiram no mercado, os pesquisadores testaram uma para ver se ela poderia ser utilizada com a BOS para obter medições quantitativas precisas da densidade com uma maior resolução do que a anteriormente disponível.[2] Estes requisitos de resolução então tornaram-se disponíveis em câmeras científicas.

Figura 5: Imagens schlieren podem ser utilizadas para estudar como geradores de vórtex afetam um tipo de instabilidade de aeronaves conhecido como “buffeting”. *Por Robert Bergqvist CC BY-SA 3.0 através da Wikimedia Commons.*



Como as imagens schlieren tradicionais, a BOS captura imagens da curvatura dos raios de luz que ocorre com a mudança em um gradiente de intensidade. Entretanto, a BOS usa uma configuração experimental muito mais simples, que requer apenas um plano de fundo e uma câmera digital. Em vez de utilizar uma ponta de faca para manipular a sensibilidade, a BOS inclui a comparação de imagens com pequenas diferenças, praticamente imperceptíveis nas refrações de uma imagem de calibração da mesma cena antes que as estrias estejam presentes.

Para os testes experimentais, os pesquisadores utilizaram uma câmera de alta velocidade Phantom Flex4K para adquirir as medições BOS de interações e dinâmicas produzidas pela exaustão de um jato em um fluxo cruzado. Esse tipo de campo de fluxo é frequentemente utilizado em configurações industriais, tais como uma chaminé expelindo para a atmosfera, bem como em processos naturais, como em erupções de vulcões. Entretanto, este cenário de fluxo pode ser difícil de ser analisado devido aos fluxos separados, movimentos de rotação, turbulência e choque supersônicos.

Com o túnel de vento em operação, os pesquisadores abriram uma válvula e tentaram capturar o crescimento do campo de interação com a câmera capturando imagens a 1.000 quadros por segundo a uma resolução de 4.096 por 2.160 pixels. Eles capturaram uma imagem de referência na condição de fluxo livre, antes que a válvula fosse aberta. O plano

de fundo foi iluminado com um laser de 640nm com uma duração de pulso de 50ns. Os experimentos demonstraram que uma câmera 4k de alta velocidade pode ser utilizada para medir quantitativamente o crescimento do campo de interação produzido por uma exaustão de um jato em um fluxo cruzado, um cenário de fluxo que os cientistas estudaram para melhor entender uma variedade de processos naturais e industriais (Figura 6).

Os avanços nas imagens schlieren trouxeram aos pesquisadores novas técnicas de coleta de dados. A sempre crescente necessidade de dados mais detalhados e precisos é atendida pela escolha da técnica correta e do alinhamento dela com a câmera de alta velocidade apropriada. A otimização da configuração e da execução auxilia na coleta de dados e imagens de alta qualidade.

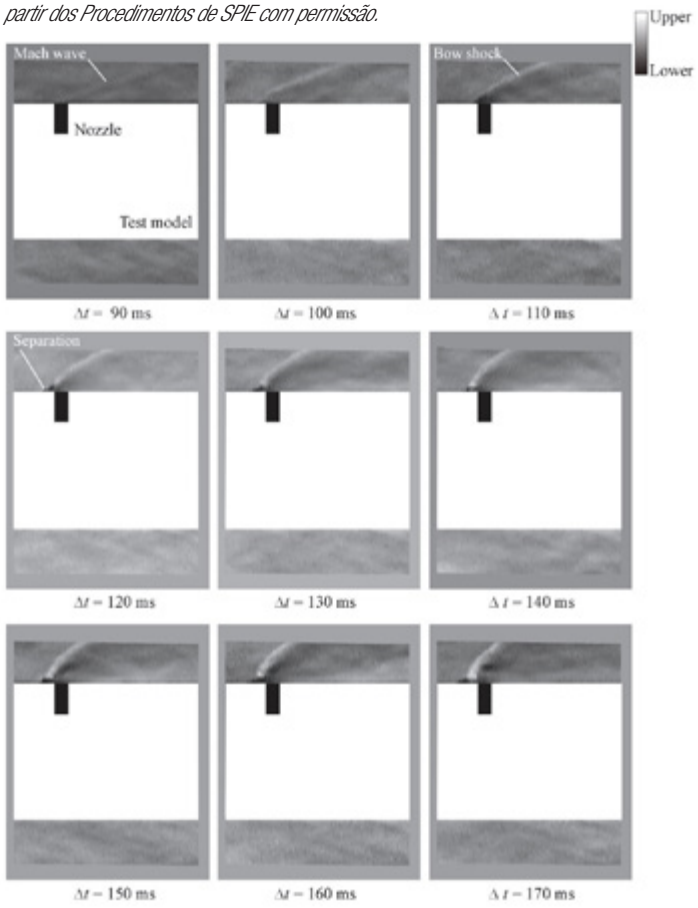
Referências

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, Selected Papers from the 31st International Congress on High-Speed Imaging and Photonics, 103281E (20 de fevereiro de 2017); doi:10.1117/12.2271019; http://dx.doi.org/10.1117/12.2271019

Imagem da capa cortesia de Phred Petersen e Phil Taylor, capturada na Phantom v2511.

Figura 6: Quando o jato lateral abriu, uma onda Mach fraca (uma onda de pressão viajando à velocidade do som) foi gerada a partir da saída do bico. Dez segundos depois, uma onda de choque fraca foi vista no fluxo ascendente do jato e então o campo de interação se desenvolveu e o choque de separação foi observado. Por fim, o choque de arco (uma onda de choque curvada, estacionária encontrada em um fluxo supersônico passando por um corpo finito) tornou-se mais forte e o campo de interação se desenvolveu continuamente. *Reimpresso a partir dos Procedimentos de SPIE com permissão.*



VISION RESEARCH

AMETEK®
MATERIALS ANALYSIS DIVISION

PHANTOM

SOBRE A VISION RESEARCH

A Vision Research projeta e fabrica câmeras digitais de alta velocidade que podem ser usadas para diversas técnicas de imagem schlieren. A Vision Research é uma unidade de negócios da Divisão de Análise de Materiais da AMETEK Inc.

Algumas câmeras Phantom da AMETEK Vision Research são mantidas em padrões de licenciamento para exportação. Para maiores informações, visite: www.phantomhighspeed.com/export