PHANTOM

GELİŞTİREN: VISION RESEARCH AMETEK MATERIALS ANALYSIS DIVISION



# Schlieren Teknikleriyle Yüksek Hızlı Görüntüleme Görünmeyenleri Ortaya Çıkarıyor

*Phil Taylor, saha uygulamaları mühendisi, Vision Research tarafından*

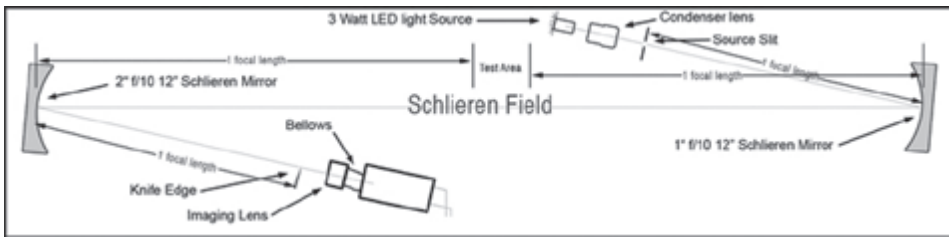
Bilim adamları, aksi halde görünmeyen akışlardaki yoğunluk gradyanlarını görselleştirmek için invazif olmayan bir test yöntemini, yani Schlieren görüntüleme tekniğini kullanırlar. Schlieren görüntüleme, bir rüzgar tünelindeki kanat profili etrafındaki hava hareketini veya bir yanma odasındaki gaz etkileşimlerinde görselleştirmenin pratik bir yöntemidir. Geçtiğimiz on yıl içinde, kameraların hızı ve hassasiyetinde yaşanan önemli gelişmeler, Schlieren görüntülerinin kalitesini ve görüntülerin alınabildiği hızı büyük ölçüde artırdı. Bu gelişmiş görüntüleme tekniği yüksek dinamik proseslerin ayrıntılı görüntülerini sunabilmesine rağmen, yüksek kaliteli veri elde etmek, uygulama için en iyi yüksek hızlı kameranın seçilmesini ve optik kurulumun dikkatli bir şekilde optimize edilmesini gerektirir.

## ŞEFFAF ORTAMDA DEĞİŞİKLİKLERİ YAKALAMAK

Schlieren görüntüleme tekniği, hava, su ve cam gibi şeffaf bir ortamda normalde görünmez yoğunluk gradyanları ya da "schliere" yi yakalar. Schlieren görüntüleme genellikle laboratuvar temelli derinlemesine çalışmalar için kullanılırken, gölgegrafi olarak bilinen ilgili bir teknik saha çalışmalarında daha yaygın olarak kullanılır; çünkü daha basit optik kurulumu, taşıma kolaylığı ve hasar görme ihtimali daha azdır.

Hava veya gaz gibi bir ortamın, alan yoğunluk gradyanı veya yoğunluğundaki uzaysal varyasyon, basınç veya sıcaklık gibi çevresel faktörlerle belirlenir. Işık ışınları ortama çarptığında bu yoğunluk gradyanındaki varyasyonlar ışığın yönünü görüntülenebilir hale getirecek şekilde değiştirir. Schlieren görüntüleme için en yaygın kullanılan kurulum z tipi sistemdir. Bu kurulumda iki parabolik ayna, bir nokta ışık kaynağı, bir kamera ve bir bıçak ucu kullanılır (Şekil 1). En üst düzeyde görüntü kalitesi sağlar ve bir gölgegrafi sistemine veya hibrit gölgegrafi / schlieren sistemine hızlıca dönüştürülebilir.

Şekil 1: Bir z tipi schlieren görüntüleme sisteminde, ilk ayna (sağ) ışık ışınlarını ikinci aynaya (sol) aktarır, bu ayna da ışığı kameraya doğru yönlendirir. Görüş alanı kameraya eşi bir şekilde aydınlatılır ve iki ayna arasındaki nesnenin yoğunluk gradyanındaki değişiklikler ışığın kırılma indisini değiştirir ve görüntüde görünür. İkinci aynanın odak noktasına bir bıçak ucu eklendiğinde bir miktar ışığın düzenli olarak kameraya ulaşması engellenir. Böylece, yoğunluk gradyanındaki varyasyonların daha görünür olmasını sağlayan yüksek kontrastlı bir görüntü oluşturulur. Kaynaktaki bileşenler ve kesici, görüntüdeki renk gibi çeşitli karakteristikleri değiştirmek için değiştirilebilir.



# Schlieren Görüntüleme Tekniği ile Yüksek Hızlı Görüntüleme Görünmeyenleri Ortaya Çıkarıyor

Schlieren görüntüleme aerodinamik, akışkanlar mekaniği, termal değişim ve diğer prosesleri incelemek için kullanılabilir. Örneğin, Schlieren görüntüleme bir mumun termal bulutunu (Şekil 2), helyum gazı akışını (Şekil 3) ve şok dalgası oluşumları (Şekil 4) incelemek için kullanılabilir.

## YÜKSEK KALİTELİ VERİLER ELDE ETMEK

Schlieren görüntüleme, küçük bir ışık kaynağı gerektiren bir yaklaşımla prosesleri son derece hızlı bir şekilde yakaladığından dolayı, yüksek hassasiyetli yüksek hızlı kameraların kullanılması önemlidir. Schlieren görüntüleri doğal olarak yüksek kontrastlı olduğundan dolayı yüksek dinamik aralık gerekmez. Ton eğrileri özelleştirmesine imkan tanıyan bir kamera kullanmak, kullanıcının en iyi gri düzeyi verileri çıkarmasını sağlar ve kaliteli görüntüler oluşturmak için anahtar olabilir. Ek olarak, görüntüleme sırasında kameranın fanını kapatma seçeneği kameranın sensöründen yayılan ısının schlieren alanına girerek verilerin bütünlüğünü bozmasını önler.

Schlieren görüntülerini elde etmek için kullanılan optik kurulum en ufak değişikliklere karşı son derece hassastır. Örneğin, bıçak ucunun pozisyonundaki birkaç mikron değişiklik veya ortam sıcaklığındaki birkaç derecelik değişiklik görüntünün parlaklığını önemli ölçüde etkileyerek sistemin hassasiyetini azaltır ve nihayetinde toplanan verilerin kalitesini azaltır. Bu hassasiyet değişkenliği, yüksek hızlı kameraları karşılaştırırken bir schlieren sistemini kötü bir senaryoya dönüştürmektedir. Kameraların basitçe değiştirilmesi hareketi elde edilen görüntüyü değiştirmeye yetecek şekilde kurulumu etkiler. Bu hassasiyet, belirli bir uygulama için gereken herhangi bir değişikliğin kurulumda olup olmadığını belirlemeden önce birçok kez schlieren testi yapmak önemlidir.

Schlieren testi için tutarlılık çok önemli olduğundan dolayı yüksek hızlı kameranın görüntü verilerini hızlıca depolayabilmesi, bir laboratuvar oturumunda çok sayıda testin yapılmasına imkan tanıması ve sıcaklık değişimleri, nesne varyasyonu veya optik bileşenlerdeki hareketi azaltabilmesi gerekir. Flash bellek veya 10GB Ethernet gibi veri yönetimi çözümleri, bu değişkenleri ortadan kaldırarak veri bütünlüğünün sağlanmasına yardımcı olur.

## UÇAK KANATLARINDA DARBE HAREKETİNİ GÖRSELLEŞTİRMEK

Geleneksel z tipi sistem varyasyonları, belirli türlerdeki bilgileri elde etmek veya belirli fenomenleri incelemek için kullanılabilir. Örneğin, dar alan derinliğine sahip özel bir schlieren görüntüleme sistemi gövde titreşimi olarak bilinen uçak dengesizliği tipi üzerinde çalışmak için ideal olduğunu ispatlamıştır.[1] Bu yapısal titreşimler, uçağın hızı veya hücum açısı arttığında aerodinamik davranışı etkileyen ve uçuş grafiğini sınırlandıran şekilde artar.

Bir uçak kanadı üzerindeki titreşimin neden olduğu şok hareketini araştırmak için, araştırmacıların sadece şok dalgalarını değil, aynı zamanda şok salınımını desteklemeye yardımcı olan basınç dalgalarının yayılmasını da yakalamaları gerekir. Geleneksel

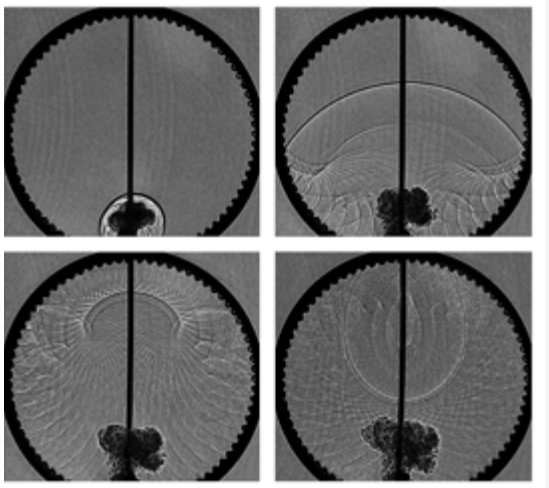
Şekil 2: Termal bulut. *Görüntüyü sağlayan Phil Taylor.*



Şekil 3: Helyum gazı akışı. *Görüntüyü sağlayan Gavan Mitchell ve Phil Taylor.*



Şekil 4: Şok dalgası oluşumları. *Görüntüyü sağlayan Phred Petersen.*



Yukarıdaki görüntülerin hepsi RMIT Üniversitesi Schlieren Sisteminde oluşturulmuştur.

# Schlieren Görüntüleme Tekniği ile Yüksek Hızlı Görüntüleme Görünmeyenleri Ortaya Çıkarıyor

bir schlieren kurulumu bu durumda iyi çalışmaz, çünkü ışık yolunun tüm uzunluğuna karşı hassasiyeti, üç boyutlu hava akışının şok ve basınç dalgalarının hareketini bulanıklaştırmasına neden olur. İstenmeyen üç boyutlu akış yapılarının yakalanmasını azaltmak için, araştırmacılar daha dar alan derinliğine sahip bir sistem geliştirdiler.

Deney düzeneği, iki boyutlu bir ışık kaynağı dizisi oluşturan çoklu değişken koyu bantların ve deliklerin bir kaynak ızgarasını aydınlatmak için sürekli ışığı yayılımı yapmışlardır. Işık toplama verimliliğini arttırmak için kaynak ızgarasının önüne geniş bir diyafram ve kısa odak mesafesine sahip özel bir lens olan Fresnel lens yerleştirildi. Geniş diyaframlı bir görüntüleme lensine sahip olan Phantom v710 CMOS kamera, saniyede 7.000 kare hızında şok salınımını yakaladı ve 20µs pozlama süresine sahip tek bir deneyde 8.345 görüntü kaydetti.

Araştırmacılar, şok titreşimlerini kontrol etmek için sıklıkla kullanılan ve girdap üreteçleri olarak bilinen pasif cihazların bu titreşimleri nasıl etkilendiğini görselleştirmek için bu kurulumu kullandılar (Şekil 5). Girdap üreteçleri tesis edildiğinde uçak kanadı etrafındaki hava akışında gözlemledikleri daha fazla üç boyutluluk dar alan derinliğinin, bu senaryolarda şok hareketinin karakteristiklerini doğru bir şekilde yakalama açısından çok önemli olduğunu gösterdi. Odaklanan schlieren görselleştirmeleri, girdap üreteçleri olmadan 5 derece veya daha büyük bir hücum açısında şok titreşimlerinin ortaya çıktığını gösterdi. Bununla birlikte, girdap üreteçleri tesis edildiğinde, 6 dereceden daha büyük hücum açılarında bile titreşimlerin neden olduğu şok salınımı ortadan kalktı. Yeni bulgular, titreşimlerin fiziğine ve bunların uçak aerodinamiklerini geliştirmek için nasıl kontrol edilebileceklerine dair bir fikir vermektedir.

## BİR SÜPERSONİK AKIŞTA ARKA PLAN ODAKLI SCHLİEREN ÖLÇÜMLERİ YAPMAK

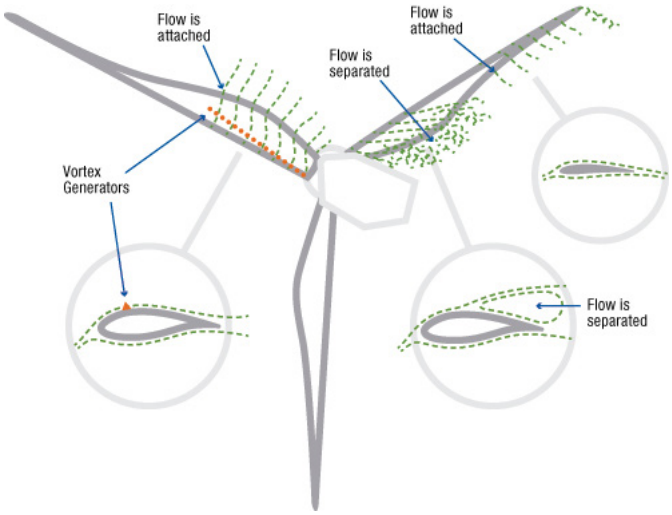
Geleneksel schlieren görüntüleme teknikleri çok ayrıntılı görüntüler sunabilmesine rağmen, nicel ölçümlerde bu görüntüleri kullanmak her zaman kolay değildir. Arka plan odaklı schlieren (BOS) görüntüleme tekniği olarak bilinen en yeni schlieren görüntüleme varyasyonu bu ihtiyacı karşılayabilir. 4K çözünürlüğe sahip (4.096 x 2.160 piksel) yeni sinematografi kameraları piyasaya çıktığında, araştırmacılar, bunun daha önce mevcut olandan daha yüksek çözünürlükte hassas nicel yoğunluk ölçümleri elde etmek için BOS tekniği ile kullanılıp kullanılamayacağını test etti.[2] Bu çözünürlük gereksinimleri daha sonra bilimsel kameralarda kullanılabilir hale geldi.

Geleneksel schlieren görüntüleme tekniğinde olduğu gibi BOS tekniği, yoğunluk gradyanında bir değişiklikle ortaya çıkan ışık ışınlarının eğilmesini görüntüler. Ancak, BOS tekniği sadece bir arka plan ve dijital kamera gerektiren çok daha basit bir deney düzeneği kullanmaktadır. Hassasiyeti değiştirmek için bir bıçak ucu kullanmak yerine, BOS tekniği aynı sahnenin çizgiler olmadan önce veya olduktan sonraki halinin bir kalibrasyon görüntüsünde ışığın kırılmasındaki zar zor algılanan farklarla görüntülerin karşılaştırılmasını içerir.

Deneysel testler için araştırmacılar, çapraz akışta bir jet egzozu ile üretilen etkileşimlerin ve dinamiklerin BOS ölçümünü yapmak için yüksek hızlı bir Phantom Flex4K kamera kullandılar. Bu tip bir akış alanı genellikle atmosfere yayılan olan bir baca gazı gibi endüstriyel ortamlarda ve yanardağ püskürmeleri gibi doğal süreçlerde bulunur. Bununla birlikte, bu akış senaryosunun ayrı akışlar, dönme hareketleri, türbülans ve süpersonik şoklar nedeniyle analiz edilmesi zor olabilir.

Rüzgar tüneli çalışırken, araştırmacılar bir valf açtılar ve daha sonra 4.096 x 2.160 piksel çözünürlükte saniyede 1.000 kare hızda görüntüleri yakalayan kamerayla etkileşim alanının büyümesini yakalamaya çalıştılar. Valf açılmadan önce serbest akış durumunda bir referans görüntüsü yakaladılar. Arka plan, 50ns pals süresiyle bir 640nm lazer

Şekil 5: Schlieren görüntüleme, girdap üreteçlerinin titreşim olarak bilinen bir tür uçak dengesizliğini nasıl etkilediklerini araştırmak için kullanılabilir. *Wikimedia Commons aracılığıyla Robert Bergqvist CC BY-SA 3.0 tarafından.*



ile aydınlatıldı. Deneyler, çeşitli doğal ve endüstriyel prosesleri anlamak için bilim adamlarının üzerinde çalıştıkları bir akış senaryosu olan çapraz akışta bir jet tarafından üretilen etkileşim alanının büyümesinin nicel ölçümünü yapmak için yüksek hızlı bir 4K kameranın kullanılabileceğini göstermiştir (Şekil 6).

Schlieren görüntüleme tekniğindeki gelişmeler araştırmacılara yeni veri toplama teknikleri sundu. Daha detaylı ve doğru verilere elde etmek konusunda sürekli artan ihtiyaç, doğru teknik seçilerek ve bunları uygun yüksek hızlı kamera ile eşleştirilerek karşılanır. Yüksek kaliteli görüntüler ve veri toplamada kurulum ve yürütme yardımcılarının optimize edilmesi.

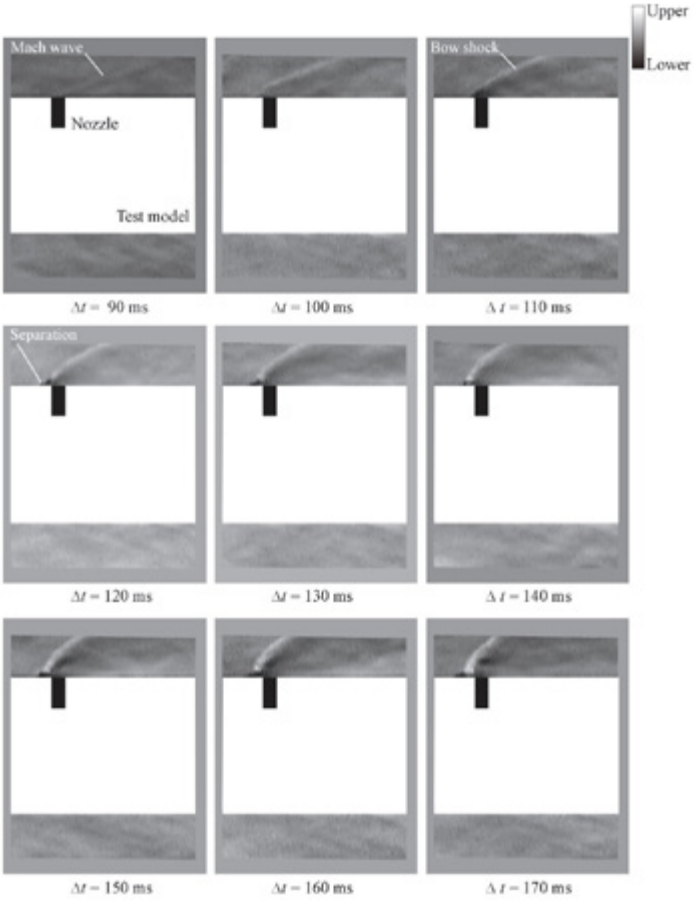
**Referanslar**

*1. T. Kouchi, S. Yamaguchi, S. Koike, ve diğerleri "Girdap üreteçleriyle iki boyutlu bir kanat üzerindeki transonik titreşimin dalgacık analizi." Sıvılarda Yapılan Deneyler (2016) 57: 166. doi:10.1007/s00348-016-2261-2*

*2. M. Ota, K. Kurihara, H. Arimoto ve diğerleri "4K yüksek hızlı kamera ile süpersonik akışta Arka Plan Odaklı Schlieren (BOS) ölçümü" Proc. SPIE 10328, Yüksek Hızlı Görüntüleme ve Fotonik konulu 31. Uluslararası Kongreden Seçilmiş Bildiriler, 103281E (20 Şubat 2017); doi:10.1117/12.2271019; http://dx.doi.org/10.1117/12.2271019*

*Görüntüyü sağlayan Phred Petersen ve Phil Taylor, Phantom v2511 ile çekilmiş.*

Şekil 6: Yanal jet açıldığında, memenin çıkışından zayıf bir Mach dalgası (ses hızında ilerleyen bir basınç dalgası) üretildi. On saniye sonra, jet akışının kaynak yönünde zayıf bir şok dalgası görüldü ve daha sonra etkileşim alanı gelişti ve ayrılma şoku gözlendi. Son olarak, kavisli şok dalgası (bir süpersonik dalganın sonlu bir gövdeyi geçerken oluşan kavisli, sabit bir şok dalgası) güçlendi ve etkileşim alanı sürekli gelişti. *SPIE'nin Bildirilerden izin alınarak yeniden basılmıştır.*




VISION RESEARCH

AMETEK®
MATERIALS ANALYSIS DIVISION

PHANTOM

**VİSİON RESEARCH HAKKINDA**

Vision Research, çeşitli schlieren görüntüleme teknikleri için kullanılabilecek dijital yüksek hızlı kameralar tasarlar ve üretir. Vision Research, AMETEK Inc. Şirketinin Malzeme Analiz Bölümünün iş birimidir.

*AMETEK Vision Research'ün bazı Phantom kameraları ihracat lisansı standartlarını tabidir. Daha fazla bilgi için lütfen şu adresi ziyaret edin: www.phantomhighspeed.com/export*