

Filma snabbt som blixten

Att filma en kula som flyger genom luften är enkelt med dagens kommersiella höghastighetskameror. Men tänk dig att du vill filma en ljuspuls eller en kaotisk kemisk reaktion som är över på mindre än en biljondel av en sekund. På de tidsskalorna har vanliga digitala kameran sensorer inte en chans, för de är helt enkelt för långsamma.

För att komma förbi hastighetsbegränsningen använder vi en teknik som kallas FRAME (Frequency Recognition Algorithm for Multiple Exposures). Istället för att försöka slå på och av en elektrisk sensor i ljusets hastighet, använder vi ultrakorta laserpulser för att belysa det vi vill filma. Genom att dela upp en laserpuls till ett pulståg (flera korta laserpulser efter varandra) och ge varje puls ett unikt referensmönster av linjer (en bärfrekvens) kan flera bilder lagras på en och samma kameran sensor samtidigt. Tack vare referensmönstret kan en datoralgoritm avkoda bilden i efterhand och sortera ut de enskilda bildrutorna för att skapa en ultrasnabb video.

Kameran krymper och farten ökar

Även om traditionella FRAME-system fungerar bra, brukar de kräva ett helt labbord fullt av speglar, stråldelare och diffraktivt optiska komponenter (DOE). De kräver timmar av pillig justering varje dag och är extremt känsliga för minsta vibration.

I det här examensarbetet introducerar jag en radikalt förenklad arkitektur som löser den problematiken. Istället för den tidigare stora mängden komponenter för att dela och styra laserljuset, görs hela jobbet av bara tre optiska komponenter: en diffraktiv optisk komponent (DOE) som delar strålen, en lins och helt vanliga glasplattor för tidsfördröjning.

När en 28 femtosekunder kort laserpuls passerar genom en 1 mm tjock glasbit bromsas ljuset ner precis så mycket att det fördröjs 1,7 pikosekunder jämfört med en puls bredvid som inte passerar glasbiten. Det ger en effektiv bildhastighet på 0,6 terahertz, vilket betyder att kameran tar 600 miljarder bilder i sekunden! Genom att beräkna hur mycket ljuset fördröjs när det rör sig genom glas visar mitt arbete att systemet teoretiskt sett kan pressas upp till svindlande 30 terahertz, om man byter till ultratunna glasplattor.

Att se det osynliga

Ett stort genombrott i projektet har varit att kombinera den här ultrasnabba kameran med Schlieren-avbildning. Schlieren är en klassisk metod för att synliggöra osynliga flöden, som värmekrusningarna över ett stearinljus. Tidigare metoder för ultrasnabb Schlieren-fotografering har bara kunnat fånga krusningarna i en dimension (1D) per bild. Vill man ha en fullständig tvådimensionell (2D) karta över hur ljuset böjer sig, har man tidigare behövt ta flera bilder efter varandra. Men för fenomen som är jättesnabba, slumpmässiga och oförutsägbara, som laserfilament, måste allt fångas i samma bild.

Det problemet har jag löst genom att använda ett mer komplext referensmönster som skapas genom interferens mellan tre laserstrålar. När de tre strålarna möts bildar ljuset ett 2D-mönster, vilket gör det möjligt att fånga 2D-mönster från värmekrusningarna (brytningsindexgradienter) i en enda bild. Metoden testades genom att framgångsrikt fota turbulenta värmeövergångar från en helt vanlig flamma från en Bunsenbrännare.

Framtidens ultrasnabba mätinstrument

Genom att bevisa att den ultrasnabba kameran kan göras stabil, kompakt och kapabel till 2D-avbildning i en enda bild lägger detta arbete grunden för nästa generations mätinstrument. Nästa steg blir att gå från att fota en stabil flamma till att filma slumpmässiga, oförutsägbara, ultrasnabba händelser. Den här kompakta arkitekturen tar oss ett steg närmare att kunna filma laserfilament i realtid. Det öppnar nya möjligheter att förstå hur ljus och materia samverkar, vilket tidigare varit alldeles för snabbt för att fastna på bild.