

## Populärvetenskaplig sammanfattning

Mänsklighetens önskan att kunna spela in och filma händelser har förmodligen funnits i årtusenden. Det var dock inte förrän sent 1800-tal som detta möjliggjordes för första gången. Vid den tiden hade man länge beundrat hästens graciösa galopp, men en fråga förblev föremål för intensiv debatt: lämnar en galopperande häst någonsin marken? Det var industrimannen, hästentusiasten och den före detta guvernören i Kalifornien, Leland Stanford, som beslutade sig för att lösa denna debatt, inte bara av nyfikenhet utan också för att han enligt legenden hade satsat \$25000 på sina teorier<sup>1</sup>. Han anlidade fotografen Eadward Muybridge och 1878 lyckades de fånga en fyrbildsfilmen av hästen, Sallie Gardner, och jockeyn, Gilbert Domm, och visade en gång för alla att hästar lämnar marken när de galopperar (se figuren). Allmänheten hade svårt att acceptera dessa fynd eftersom de ansåg bilderna av hästens rörelser vara tämligen ograciösa. Dessutom ifrågasatte många anledningen till att blanda sig i Guds skapade skönhet i världen. Eadward Muybridge gick vidare till att publicera en encyklopediartad bok om djurs rörelse där djur och människor<sup>2</sup> filmades med hans trådutlösta slutaranordning.

Denna teknologiska prestation öppnade upp möjligheten att stilla människans medfödda nyfikenhet att se naturliga förlopp i slow-motion, och idag finns förmågan att filma i slow-motion eller utföra höghastighetsvideografi, i någon mån, i allas fickor. Men, som alltid inom vetenskapen känner vi behovet av att göra bättre, och i det här fallet skulle det innebära att filma snabbare. Vad sägs om vi kunde filma så snabbt att ingenting händer, så att även ljus, som färdas med den snabbaste hastighet som någonting kan färdas, stoppas i sina spår? Säkerligen skulle gränsen då vara nådd? Det är här arbetet som presenteras inom denna avhandling kommer in i bilden, eftersom jag under min doktorandtjänst har arbetat med att utveckla tekniker för att uppnå filmhastigheter som är kapabla till att "stoppa ljuset". Jag arbetade sedan med att tillämpa dem på olika naturliga händelser, som exempelvis plasma, där saker rör sig med sådana hastigheter att man inte har något annat val än att filma med en teknik av typen "stoppa ljuset" (en exempelvideo taget av oss i Lund visas i figuren).

Titeln på denna avhandling, **Strukturerat Ljus för Ultrasnabb Videografi**, kan delas upp i två delar: strukturerat ljus och ultrasnabb videografi där samspelet mellan dessa två begrepp utgör grunden för diskussionerna inom denna avhandling.

---

<sup>1</sup>Det finns inga bevis för detta påstående men jag gillar att inkludera det då det slutade med att han spenderade totalt \$50000 för att få fram ett bevis, alltså att han spenderade mer än vad han satsade. För att sätta detta i sammanhang är \$50000 år 1880 värt \$1 500 000 år 2024, alltså ungefär kostnaden av 15 år av min PhD för min handledare.

<sup>2</sup>Det är debatterat vare sig människorna verkligen var filmade i vetenskapligt syfte eller ej, då männen filmades utförandes fysiska aktiviteter medan kvinnorna filmades medan de exempelvis "öppnar ett parasoll och vänder sig om" i lätta kläder. Vad det än anses vara, så lyckades nakenheten dra igång viss kontrovers.

**Ultrasnabb Videografi** innebär att filma ultrasnabba fenomen. Och nej, jag skojar inte, den vetenskapliga termen är verkligen "ultrasnabb". Denna typ av händelse (som rotationen av molekyler eller skapandet av ljuskanaler av plasma, kallade filament) inträffar på tidskalor snabbare än 1 pikosekund, det vill säga, 0.000000000001 sekund (det är 11 nollor efter decimaltecknet). För att fånga sådana händelser behöver vi därför filma med motsvarande hastigheter, det vill säga över 1 000 000 000 000 bilder per sekund<sup>3</sup>. Det är så snabbt att om man jämför den nödvändiga slutartiden för kameran med en sekund skulle det vara ekvivalent med tidsjämförelsen mellan en dag och universums ålder!

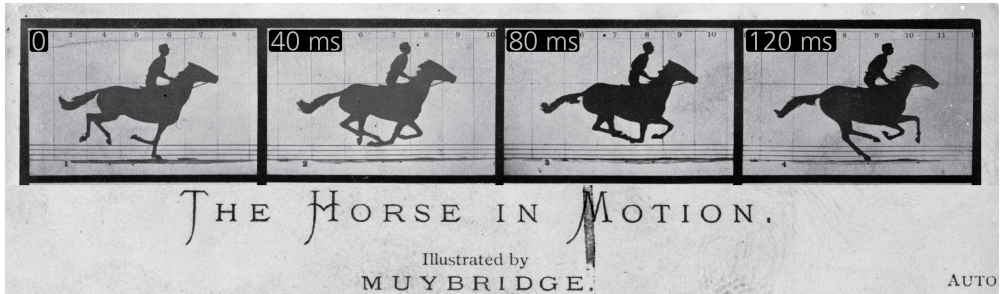
Dessa slutartider är så snabba att elektronernas hastighet (bärarna av information i kameror) inom kamerors elektronik helt enkelt är för långsam för att denna metod ska vara användbar. Därför behöver man istället använda sig av ljus, specifikt ultrakorta laserpulser. I denna del av titeln, **Strukturerat Ljus**, skapas och manipuleras ljuspulser så att de (1) belyser händelsen som ett stroboskop skulle göra, men i ultrasnabb hastighet, och (2) de är strukturerade så att de har unika randmönster inpräntade på sig. Det som kommer visas inom denna avhandling är att dessa två manipulationer tillsammans är tillräckliga för att kunna uppnå ultrasnabb videografi.

Inom ramen för detta avhandlingsarbete, finansierat av dig som skattebetalande läsare, fördjupar jag mig först i den magiska världen av optik, laser, bildbehandling och videografi och försöker jämföra alla dessa teknologier med det vi har närmast oss, våra ögon och synen (jag skulle uppmana även den som inte är fysiker att läsa detta). Sedan går jag djupt in i befintliga teknologier och deras innersta mekanismer, såsom lasersystem och höghastighetskameror. Jag följer upp med en diskussion om den nödvändiga matematiken innan jag kommer ut på andra sidan och visar läsaren att under min tid som doktorand har vi kunnat utveckla inte bara specialiserade system för ultrasnabb videografi, utan också ett höghastighetsvideosystem som är kommersiellt gångbart. Med det sagt hoppas jag att du har haft och kommer att ha en trevlig läsning.

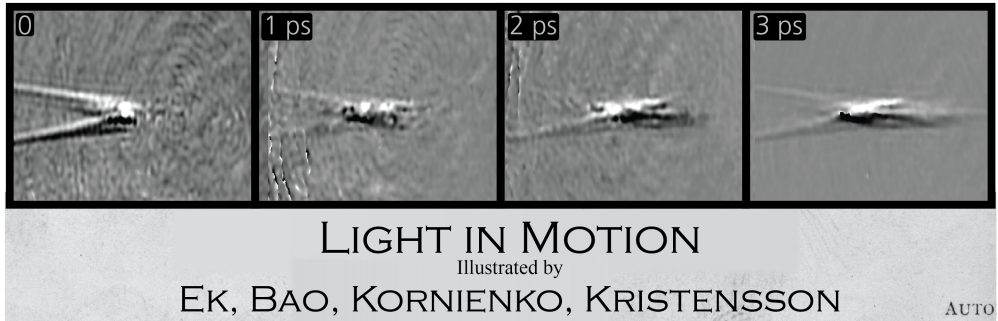
---

<sup>3</sup>För att jämföra, standard filmer är filmade och projicerade på TV-apparater och datorskärmar i 24 respektive 144 bilder per sekund.

1877: 25  
frames per second / bilder per sekund / images par seconde



2024: 1 000 000 000 000  
frames per second / bilder per sekund / images par seconde



**Eng:** From the horse to light in motion. What a long way videography has come, eleven orders of magnitude, i.e.,  $10^{11}$ , faster!

**Swe:** Från hästan till ljus i rörelse. Vad långt filmning har kommit, elva storleksordningar snabbare, dvs  $10^{11}$  gånger snabbare!

**Fr:** Des chevaux à la lumière en mouvement. Quel chemin long la vidéographie a parcouru, onze ordres de grandeur, c'est-à-dire  $10^{11}$  fois plus rapide!