

Optische geheugens: informatie opslaan in (traag) licht

L. (Kobus) Kuipers

Center for Nanophotonics, FOM Instituut voor Atoom- en Molecuulfysica, Amsterdam

Licht is zo ongeveer de meest vluchtige entiteit die ik in de natuur om ons heen kan bedenken: je kunt het niet vastpakken en het beweegt met de hoogst haalbare snelheid in het heelal. Desalniettemin wordt vandaag de dag licht met glasvezels getemd om zo, in de vorm van digitale enen en nullen (simpel gezegd licht aan/licht uit), een gigantische hoeveelheid informatie de hele wereld over te sturen via het internet. Vroeger gebeurde dit met koperen kabels die elektronische nullen en enen transporteerden. Maar elektrische signalen zijn langzaam en kunnen daardoor niet langer voldoen aan de almaar toenemende vraag naar nog sneller internet en nog kortere 'download'-tijden. Door tegenwoordig gebruik te maken van licht in plaats van electriciteit is het internet zo snel. Paradoxaal zal nog *sneller* internet mogelijk worden door juist gebruik te maken van *traag* licht.



Figuur 1. Drie opnames in de tijd van licht dat van een rechte lichtgeleider (boven in beeld) koppelt naar een opslag ring. Tussen de opnames zit 0,2 biljoenste seconde.

Optische geheugens

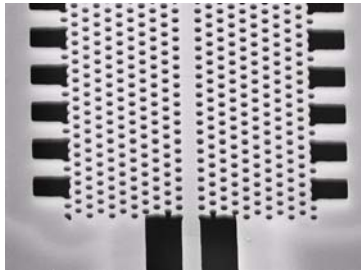
Wat wordt er bedoeld met 'optische geheugens' en hoe kunnen deze het internet sneller maken? In een optisch geheugen, ook wel optische buffer, wordt het licht waarin middels enen en nullen (aan/uit) informatie is gecodeerd voor een korte tijd even opgeslagen. De informatie blijft dus wel in het licht zitten. Dit is anders dan bijvoorbeeld dataopslag in een DVD of CD waarin informatie wordt opgeslagen die je met licht weer kunt uitlezen, in dat geval worden de nullen en enen immers vastgelegd in fysieke putjes in het CD materiaal. In een optisch geheugen wordt in feite het licht zelf gevangen. Buffers/geheugens zijn nodig in het internet doordat ze het mogelijk maken om het dataverkeer te regelen en in goede banen te leiden. Vandaag de dag wordt de in het licht opgeslagen informatie even 'gebuffered' door het te vertalen naar een elektronisch signaal om haar even later weer in optische informatie te worden omgezet. Vanwege de elektronische stappen is dit langzaam. Door louter optische buffers te gebruiken, kan het dataverkeer veel sneller worden geregeld.

Je kunt optische informatie even opslaan door het licht op een zijspoor te zetten en daar een tijdje lang rondjes te laten draaien. Figuur 1 laat hier een voorbeeld van zien. Licht komt via een kanaal (boven in beeld) binnen en wordt in een cirkelvormig stadion in rondjes geleid. Maar zoals in de figuur direct duidelijk is: licht laat zich niet zo maar vangen. Als licht ergens in kan komen, kan het er immers -via dezelfde weg- weer uitkomen. Je kunt licht op deze manier dus pas echt opslaan wanneer je de wissel naar het zijspoor aan of uit kunt zetten. En precies hier komt traag licht goed van pas. Traag licht is nl. makkelijker te schakelen dan 'gewoon', snel licht; traag licht is nl. gevoeliger voor kleien veranderingen in het materiaal waar het doorheen beweegt. Met makkelijker wordt hier bedoeld dat je minder energie hoeft te verbruiken om de optische wissel om te zetten en dat de wissel ook kleiner kan zijn. Dit zijn twee voordelen die er beide toe zullen leiden dat de optische wissels sneller kunnen werken. Daarnaast levert traag licht op zich een totaal nieuw alternatief op voor het

even opslaan van licht. Door het licht te vertragen, is het immers langer onderweg en is het in feite voor een tijdje gevangen en heb je zelfs geen wissels meer nodig.

Traag licht (in fotonische kristallen)

Wat bedoelen natuurkundigen met traag licht? Licht in vacuüm beweegt met de hoogste haalbare snelheid in het heelal: 300000 km/s oftewel iets meer dan een miljard kilometer per uur. Wanneer het licht echter door een materiaal als glas of water beweegt, wordt het ietsje langzamer. De mate van vertraging van het licht wordt aangegeven met de brekingsindex van een materiaal: een brekingsindex van 2 betekent dat het licht in vergelijking met vacuüm 2-keer zo langzaam gaat. De term 'brekingsindex' is ontleend aan het fenomeen van lichtbreking wanneer licht van een materiaal, bijv. water, overgaat naar een ander materiaal, bijv. lucht. Door dergelijke lichtbreking lijkt het alsof een rechte stok die je in water steekt in ene knik vertoont. Jagers als beren, katten en ijsvogels houden hiermee rekening als ze een vis in het water trachten te vangen terwijl ze zelf nog op het droge zijn. De brekingsindex van water is 1,3. De hoogst haalbare brekingsindex voor materialen die bruikbaar zijn in telecommunicatie is ongeveer 4. Natuurkundigen beginnen echter pas van traag licht te spreken als het

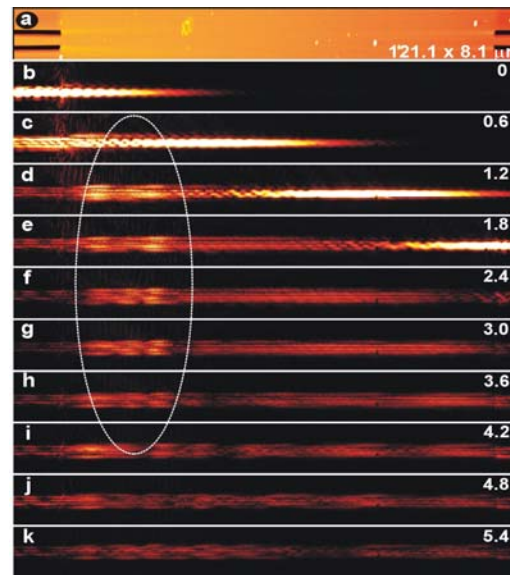


Figuur 2 Fotonisch kristal met in het midden een snelweg voor licht. Het kristal is nog steeds in staat om het licht op de snelweg te vertragen. Periode van het kristal: 0,0004 mm.

meer dan een factor 10 langzamer is dan in vacuüm. Dit lukt niet in materialen die gewoon in de natuur voor komen.

Het blijkt dat licht verder vertraagd kan worden dan een factor 4 door gebruik te maken van fotonische kristallen. Dit zijn structuren die door de mens zijn gemaakt waarin een regelmatige, periodieke afwisseling wordt gemaakt van (typisch) 2 materialen met een sterk verschillende brekingsindex, bijvoorbeeld door een regelmatig patroon van gaten (lucht) te maken in een plak silicium (zie figuur 2). De periode van de structuur is ongeveer die van de golflengte van het te vertragen licht. In feite werkt het fotonisch kristal als een spiegelpaleis: iedere overgang tussen de 2 materialen levert een reflectie op, net als de reflectie die aan een raam optreedt wanneer licht vanuit lucht overgaat in glas. Voor sommige kleuren licht past de golflengte beter bij de periode van het kristal en werkt het fotonische kristal effectiever als spiegelpaleis. Voor het vertraagde licht is het alsof het duizend stapjes vooruit zet en vervolgens negenhonderd-negenennegentig achterruit.

2-keer zo langzaam gaat. De term 'brekingsindex' is ontleend aan het fenomeen van lichtbreking wanneer licht van een materiaal, bijv. water, overgaat naar een ander materiaal, bijv. lucht. Door dergelijke lichtbreking lijkt het alsof een rechte stok die je in water steekt in ene knik vertoont. Jagers als beren, katten en ijsvogels houden hiermee rekening als ze een vis in het water trachten te vangen terwijl ze zelf nog op het droge zijn. De brekingsindex van water is 1,3. De hoogst haalbare brekingsindex voor materialen die bruikbaar zijn in telecommunicatie is ongeveer 4. Natuurkundigen beginnen echter pas van traag licht te spreken als het meer dan een factor 10 langzamer is



Figuur 3 Een serie opnames van traag licht in een fotonisch kristal. Tussen iedere opname zit 0,6 biljoenste seconde. In b-e is een relatief snelle puls te zien, maar in het kielzog van de snelle puls blijft een lichtvlek achter die stilstaat (zie highlight) of nauwkeuriger gezegd de bovengrens voor de snelheid van de lichtvlek is "slechts" 300 km/s oftewel 1000 keer langzamer dan in vacuüm