

Fotonica; werken met licht

J.W. Burgmeijer (PTT Research, Leidschendam)

Th.J.M. Jongeling (DSM Research, Geleen)

Voorwoord

Onderstaand artikel is in bewerkte vorm, met andere illustraties, verschenen in het Poly Technisch tijdschrift, nummer 5, mei 1992; onder de titel "Lichtdeeltjes als informatiedrager". De auteurs van dit verhaal zijn op 10 april j.l. afgetreden als bestuurslid van de Nederlandse Vereniging voor Fotonica.

Inleiding

Een Compact Disc systeem, een glasvezel communicatie systeem, optische radar, een lasersysteem voor materiaalbewerking, Vier voorbeelden van systemen waarbij meerdere vakdisciplines op een geavanceerde manier zijn toegepast. Het gemeenschappelijke in al deze systemen is het gebruik van lichtdeeltjes (fotonen) als informatie-drager. In analogie met het begrip electronica wordt daarom in toeneemende mate gebruik gemaakt van de naam Fotonica. De fotonica biedt op vele vakgebieden oplossingen die te wijten zijn aan de unieke eigenschappen van fotonen.

Wat is fotonica?

Het woord fotonica wordt gebruikt voor een samenhangend stelsel van technologieën die gebaseerd zijn op de bijzondere eigenschappen van licht en de wisselwerking daarvan met de materie. Het omvat de methoden en systemen om, met behulp van licht, informatie over te dragen of energie te transporteren. De fotonische technologieën zijn nadrukkelijk interdisciplinair omdat vaak allerlei verschillende vakgebieden tegelijk worden beoefend. In de fotonica

zijn onder andere delen van Optica, Electronica, Fysica, Chemie en Informatica terug te vinden.

De fotonica is ontstaan uit de optica, zoals de electronica voortvloeide uit de electriciteitsleer. In ons land wordt deze naam gevoerd door de Nederlandse Vereniging voor Fotonica [1,2,3]. In het buitenland zien we de naam Photonics in gebruik bij een aantal tijdschriften [4] en binnen diverse laboratoria (zoals AT&T Bell Labs [6]

Waarom fotonica?

Fotonen bezitten bepaalde eigenschappen waardoor binnen een groot aantal uiteenlopende vakgebieden systemen gebouwd kunnen worden die een technisch probleem op unieke wijze oplossen. Een aantal van deze toepassingen zijn in de geïllustreerde kaderstukjes beschreven. De belangrijkste eigenschappen van fotonen waarvan gebruik gemaakt wordt zijn:

- fotonen hebben geen onderlinge interactie waardoor hoge energiedichtheden kunnen worden bereikt.
- fotonen hebben een zeer hoge elektromagnetische frekwentie waardoor grote hoeveelheden informatie getransporteerd kunnen worden.
- fotonen kunnen hele specifieke chemische reacties veroorzaken
- fotonen kunnen specifieke interactie met objecten aangaan zonder dat dit veranderingen van het meetobject veroorzaakt
- fotonen zijn eenvoudig transporteerbaar door vacuüm, lucht en glas.

De toepassing van deze bijzondere eigenschappen wordt duidelijk als we systema-

tisch de verschillende processen in een fotonisch systeem bekijken.

De processen in een fotonisch systeem

In Nederland is door L.J. Poldervaart voor het eerst een fotonisch systeem beschreven [2]. We volgen nu deze omschrijving en voegen er meer recente informatie aan toe.

In een fotonisch systeem vallen de volgende processen achtereenvolgens waar te nemen:

1. generatie
2. modulatie
3. transport
4. detectie en registratie
5. signaalverwerking
6. presentatie

Kern van een fotonisch systeem is dat informatie overdracht langs optische weg plaatsvindt. De bron genereert een optisch hanteerbaar signaal. Dit wordt op de een of andere wijze van informatie voorzien, en getransporteerd naar een detector of registratiemedium. Na verwerking van het signaal en het op geschikte manier presenteren hiervan, ontstaat voor de ontvanger interpreteerbare informatie. We zullen deze basisprocessen nu verder afzonderlijk behandelen.

1. Generatie

De fotonen uit de bron hebben een golflengte die kan variëren van ver ultraviolet (10 nm) via zichtbaar (400 tot 700 nm) naar infrarood en ver infrarood (tot 25.000 nm). De grenzen met respectievelijk röntgenstraling en microgolven zijn enigszins arbitrair. De frekwenties zijn hierdoor erg hoog, in het zichtbare gebied van de orde grootte $1,5 \text{ Thz}$; 1 Terahertz is 10^{12} Hertz).

In verband met het golfkarakter van het licht kan de bron variëren van coherent tot incoherent. Natuurlijke bronnen als de zon of andere astronomische bronnen en atmosferische bronnen kunnen een rol spelen. Kunstmatige bronnen zijn bijvoorbeeld

thermisch stralers, gasontladingsbuizen, lasers en LED's

Moderne bronnen kunnen ook zeer korte pulsen genereren (tot de orde grootte van femtoseconde, $1 \text{ fs} = 10^{-15}$ seconde) gecombineerd met zeer hoge optische vermogens. Naast generatie kan er ook sprake zijn van optische versterking

2. Modulatie

Een optisch signaal wordt gekenmerkt door een golflengte of frequentie, een intensiteit, fase en polarisatie. Deze vier grootheden staan in principe ter beschikking voor modulatie van het signaal. De modulatie vindt plaats door een interactie van het licht met een object. Reflectie, refractie, diffractie en absorptie kunnen daarbij optreden. De interacties worden aangeduid met bijvoorbeeld electro-optisch, fotochemisch, opto-mechanisch etc. Door de hoge optische frekwentie kan een zeer hoge modulatie-snelheid worden bereikt. Electro-optisch zijn modulatiesnelheden tot in het GHz bereik mogelijk.

3. Transport

Transport van het signaal van de bron tot de detector vindt plaats op optische wijze. De quantum-eigenschappen van het foton maakt dat fotonen vrijwel ongelimiteerd bij elkaar kunnen worden gevoegd en dat zij zich door de ruimte kunnen bewegen en elkaar kunnen kruisen zonder verlies van informatie en energie. Voor het transport van informatie is het foton dan ook superieur aan het electron. De aard van het transportmedium is van groot belang voor de technologie van de componenten die het licht in de gewenste hoedanigheid brengen en houden. De technologie van de optische componenten is grofweg in drie gebieden te verdelen.

A. Geometrische Optica. De componenten hebben afmetingen vele malen zo groot als de golflengte van het licht. In dit geval is het licht te beschrijven met

lichtstralen De voor iedereen bekende klassieke componenten zijn: lenzen, spiegels, prisma's en tralies

B. Glasvezel optica. Het licht plant zich quasi ééndimensionaal voort langs de as van een glasvezel. De kern van de glasvezel heeft een diameter die slechts enkele malen die van een golflengte bedragen. Voorbeelden daarvan zijn te vinden in de ontwikkeling van glasvezelcommunicatie en glasvezelsensoren. Momenteel wordt door de Nederlandse PTT gewerkt met bitrates tot 565 Mbit/sec, over afstanden tot 40 km. Dit is vele malen groter dan wat haalbaar is met koperdraad.

C. Planaire optische golfgeleiders. Het licht plant zich voort in een tweedimensionaal vlak in banen met een iets hogere brekingsindex dan die van de omgeving. Dit verschilt in essentie niet van de lichtvoortplanting in glasvezels. In opto-electronic integrated circuits (OEIC's) kunnen diverse optische en elektronische basiselementen worden geïntegreerd tot een meer complex functioneel geheel. Ook laserdiodes en detectordiodes kunnen worden geïntegreerd. In dit OEIC worden alle fotonische functies 1 tot en met 4 samengevoegd.

4. Detectie en registratie

De detectie vindt plaats door een interactie van het licht met materie. Deze interactie kan chemische processen omvatten zoals in geval van de fotochemie, of elektronische zoals bij een diode-detector of zelfs biologische processen. Bij de detectie spelen factoren als ruimtelijke dimensies en temporele effecten een rol.

Informatieopslag is soms een belangrijke functie van het detectiesysteem. Recent zijn de ontwikkelingen op het gebied van optische recording, read only (compact disc), write once, en in de toekomst reversibele recording. Het voordeel van optische

recording is de grote informatiedichtheid die samenhangt met de korte golflengte van licht.

5. Signaalverwerking

Omdat elektronen een elektrische lading hebben is er een sterke interactie tussen elektronen onderling en met andere geladen deeltjes. Fotonen hebben geen onderlinge interactie en een zwakke interactie met andere deeltjes. Voor signaalverwerking wordt daarom ook veelal de elektronica toegepast. Tijdens detectie wordt het optisch signaal dan omgezet in een elektronisch (analoog of digitaal) signaal. Bewerkingen die nodig zijn voor interpretatie van het signaal zoals demodulatie, beeldbewerkingstechnieken volgen dan in het elektronische domein.

Voor signaalbewerking in het optische of chemische domein moet men denken aan de talloze fotografische technieken die in de techniek, bijvoorbeeld bij elektronische chipfabricage, nog volop worden toegepast.

Door toepassing van niet-lineaire optische materiaal eigenschappen kan een digitale optische processor worden ontwikkeld. In combinatie met een optisch parallel schakelsysteem kan dit een optische computer opleveren met een aanzienlijk hogere processing vermogen dan de huidige elektronische computers [6].

6. Presentatie

Op één of andere wijze zal het signaal moeten leiden tot een interpretatie van de ontvanger. Hiertoe kan de presentatie van het signaal worden gezien als een laatste soort filter tot de waarneming. Na elektronische signaalverwerking is het mogelijk om ook de resultaten als een stilstand of bewegend video-beeld te presenteren. Na optische of chemische verwerking is een fotografische presentatie het meest voor de hand liggend. Veel vormen van presentatie

zijn echter niet in de vorm van een beeld maar in de vorm van een tijdafhankelijk signaal, een getal of, als extreem, in de vorm van een "go or no-go" signaal. Denk voor dit laatste met name aan industriële vision-systemen.

Uiteindelijk zal de waarnemer op de een of andere wijze respons geven op het ontvangen signaal. Dit laatste maakt uiteraard geen deel meer uit van het fotonisch systeem.

De Nederlandse Vereniging voor Fotonica

De Nederlandse Vereniging voor Fotografie, Fotochemie en Fotofysica werd in 1946 opgericht. Het interesse gebied is daarna algemener geworden. Vanaf 1973 wordt daarom de huidige naam Nederlandse Vereniging voor Fotonica gevoerd. De vereniging richt zich tot belangstellenden in Nederland en België. Dit zijn over het algemeen fysici, chemici en technici die werkzaam zijn in een of meerdere deelgebieden van de fotonica. De vereniging is tevens een sectie van de Nederlandse Natuurkundige Vereniging (NNV) en de Koninklijke Nederlandse Chemische Vereniging (KNCV). Zij heeft ongeveer 300 leden, donateurs en abonnee's. De vereniging organiseert, al of niet in samenwerking met andere instanties, symposia, excursies en optische dagen. Verder bevordert zij het onderwijs in de fotonica [1].

Het onderwijs in de fotonica

Ondanks het abstracte karakter van de bovenstaande beschrijving van een fotonisch systeem zal het de lezer duidelijk zijn dat een fotonisch systeem een veelal praktisch nut heeft. De basiskennis voor een fotonisch systeem is afkomstig uit veel vakgebieden. Een fotonicus zal deze gebieden moeten overzien om een fotonisch systeem te kunnen ontwerpen, onderhouden of gebruiken.

De fotonicus kan zijn opleiding vinden op

universitair, HBO en op MBO niveau. Deze opleidingen worden lang niet altijd met de naam "Fotonica" aangeduid. Een beknopte en onvolledige opsomming is de volgende:

Technisch College Ede

Fotonica (MBO)

RK HTS RIJSWIJK

Techn. Natuurkunde, afstudeerrichting Fotonica

Diverse Hogescholen

Techn. Natuurkunde

TU Delft

Techn. Natuurkunde, Vakgroep Optica

Universiteit Twente

Techn. Natuurkunde, 2e faseopl. "Modern Optics"

RU Groningen

Natuurwetenschappen, Optical Sciences Group

Diverse Universiteiten

Natuurwetenschappen

In alle gevallen wordt een brede ontwikkeling vereist van een fotonicus om probleemoplossend te kunnen functioneren. Mede door dit brede kennisprofiel hebben fotonici veelal een goede positie op de arbeidsmarkt.

Een heldere toekomst

Na invoering van het begrip fotonica voor bovenstaande systemen is dit woord snel geaccepteerd als deeltmakend van de nederlandse taal [3]. Het begrip fotonica blijkt nu langzamerhand steeds meer gebruikt te worden. Wat nog belangrijker is, is dat de fotonica niet meer is weg te denken in onze huidige wereld. Nog steeds groeit het belang van optische telecommunicatietechnieken, van afbeeldingstechnieken, van beeldbewerking en herkenning, van optische registratiemethoden, om maar enkele voorbeelden te noemen. De fotonica is dan ook een snel groeiend vakgebied dat door de geïndustrialiseerde landen van

groot strategisch commercieel en militair belang wordt geacht. De fotonica is bovendien een zeer levend en boeiend werkterrein. De toekomst voor de fotonica ziet er dan ook helder uit

Referenties

- [1] Nederlandse Vereniging voor Fotonica, p/a P. Menger (secretaris), Lange Kleiweg 4, 2288 GK Rijswijk
- [2] L.J. Poldervaart, 'Fotonica', in L.J. Poldervaart (ed) 'Verslag van het symposium fotonica', Eindhoven, 1975.
- [3] Van Dale, 'Groot Woordenboek der Nederlandse Taal', 10e druk, Martinus Nijhoff, Den Haag, 1976.
- [4] Tijdschriften: Photonics Spectra, IEEE Photonics Technology Letters, Optics and Photonics News
- [5] P. Meyrueis, 'Fotonica', Natuur en Techniek, 55, 7 (1987).
- [6] 'The promise of Photonics', AT&T Technology, Vol 6, Nr 4, page 18-25 (1991).