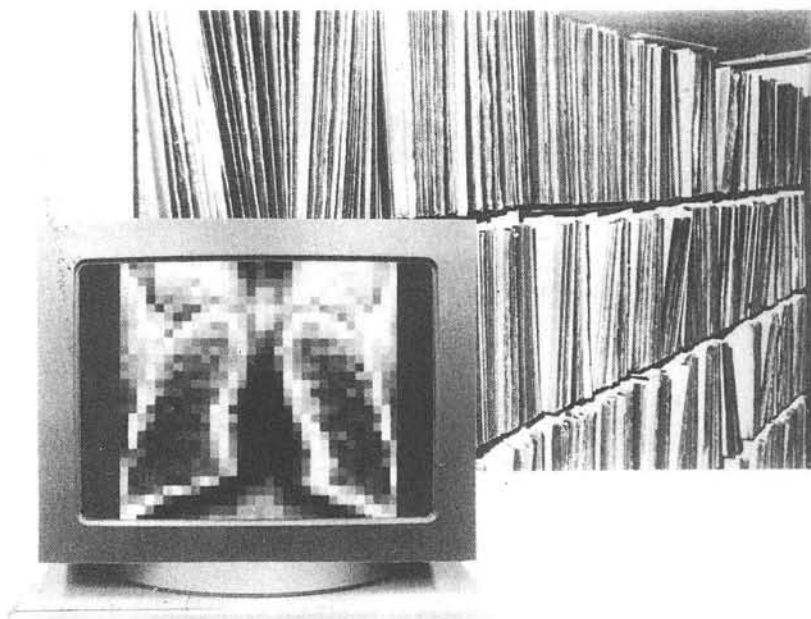


PACS

Picture Archiving and Communication System

studiedag





762 626

PACS

Picture Archiving and
Communication System

Bibliotheek TU Delft



C 0003815004

2413
245
4

PACS

Picture Archiving and Communication System

*samenwerking tussen onderzoek,
gezondheidszorg en industrie*

Redactie:

J.J.C. Bouquet-Brandt
Wb.C. Wilbers

Delftse Universitaire Pers / 1987

Uitgegeven door:
Delftse Universitaire Pers
Stevinweg 1
2628 CN Delft
Telefoon: (015) 783254

In opdracht van:

Centrum Medische Techniek, Technische Universiteit Delft
Postbus 5048
2600 GA Delft
Telefoon: (015) 784066

Opmaak: H. Talsma

CIP-GEGEVENS KONINKLIJKE BIBLIOTHEEK, DEN HAAG

Picture

Picture archiving and communication system : samenwerking
tussen onderzoek, gezondheidszorg en industrie / red.:
J.J.C. Bouquet-Brandt, Wb.C. Wilbers. - Delftse
Universitaire Pers. - III.
Uitg. in opdr. van: Centrum Medische Techniek, Technische
Universiteit Delft. - Met lit. opg.
ISBN 90-6275-359-0
SISO 601.9 UDC 621.397.12:616-71(063) NUGI 741
Trefw.: PACS

Copyright © 1987 by Centrum Medische Techniek
No part of this book may be reproduced in any form by print,
photoprint, microfilm or any other means without written
permission of the publisher.

INHOUDSOPGAVE

Voorwoord	5
Prof.dr.ir. E. Backer	
Nieuwe ontwikkelingen in de optische opslagmedia	7
Dr. G.E. Thomas	
Het mogelijk klinisch belang van een geïntegreerd beeld-communicatiesysteem; eerste ervaringen en verwachtingen met betrekking tot de radiodiagnostiek en interne geneeskunde in het AZU	17
Prof.dr. P.F.G.M. van Waes	
Simulatie- en communicatie-aspecten van PACS	25
Prof.ir. G.L. Reijns	
Medische beeldkwaliteit, psychofysische aspecten en evaluatie	37
Prof.dr. G.W. Seeley	
Systeem technische aspecten van PACS	45
Dr. H. Ecklundt	
PACS; in vogelvlucht door Europa, USA en Japan	49
Dr.ir. J.P.J. de Valk	
User interface voor een multifunctioneel beeldstation voor de radiologie	59
Prof.dr.ir. R. den Buurman	
Korte samenvatting	67
Auteurs	68

VOORWOORD

E. Backer

Het digitaal opslaan en het op een uitgebreid netwerk van beeldstations toegankelijk maken van beeldinformatie binnen instellingen van de gezondheidszorg - we spreken van Picture Archiving and Communication System - is een ontwikkeling welke geheel past in de technologische vooruitgang. Een ontwikkeling, die in belangrijke mate inspeelt op een organisatorisch probleem binnen het ziekenhuis. Beeldinformatie in de vorm van foto's en films vragen bij opslag zeer veel ruimte, terwijl het terugzoeken ervan zeer arbeidsintensief genoemd kan worden. Het gebruik maken van digitale beeldtechnieken en digitale communicatie kan op termijn het mogelijk maken dat het opslaan en terugzoeken van beeldinformatie snel, efficiënt en doelgericht kan plaats vinden. Echter, de manier van werken met een dergelijke digitaal archiverings-systeem wijkt ingrijpend af van de gangbare manier van werken. Een geheel nieuwe organisatorische architectuur zal nodig zijn om met een dergelijk systeem efficiënt te werken. Het zal duidelijk zijn, dat vele nieuwe mogelijkheden van gebruik impliciet geschapen zijn.

De door het Centrum Medische Techniek van de TU Delft georganiseerde studiedag beoogt een 'beeld' te schetsen van de technische mogelijkheden van PACS, nu en in de nabije toekomst. Het spreekt voor zich dat velen te maken hebben met beeldinformatie ten behoeve van de gezondheidszorg. Dat zijn de medici en andere functionarissen van medische instellingen, het bedrijfsleven, de wetenschappelijke instellingen en de overheid. Tesamen buigen zij zich thans over het beleid ten aanzien van het ontwerpen en het gebruik van digitale beeldinformatie-systemen. Het wetenschappelijk onderzoek en de ontwikkeling van de digitale beeldarchivering en communicatie richt zich in het bijzonder op het aantonen van de bruikbaarheid en medische relevantie van:

- meervoudige beeldstations voor beeldinformatie van verschillende modaliteiten als CT, MR, scintigrafie, ultrageluid en röntgen;
- de ontwikkeling van systeemafhankelijke programmatuur;
- het onderzoek naar efficiënte 'verliesvrije' datacompressie;
- de opslagmedia;
- de integratie met overige ziekenhuis-informatiesystemen.

De organisatoren van deze studiedag stellen met zeer veel genoegen vast dat zo vele deskundigen bereid gevonden zijn de diverse aspecten te willen belichten. Mede hierdoor zal dit boek als een waardevol document kunnen worden beschouwd.

Ook al is het thans nog onzeker in hoeverre PACS daadwerkelijk alle archiverings- en communicatieproblemen binnen de gezondheidszorg zal kunnen oplossen en in hoeverre dit kostenbesparend zou kunnen zijn, het leidt geen twijfel dat deze technologische stap voorwaarts een bijzonder grote 'impact' op het gehele medische gebeuren zal hebben.

Recente ervaringen, zowel in het AZU, als elders in de wereld, getuigen

NIEUWE ONTWIKKELINGEN IN OPTISCHE OPSLAGMEDIA

G.E. Thomas

Abstract

Optische registratie bestaat inmiddels ongeveer vijftien jaar en heeft geleid tot een aantal producten voor verschillende toepassingen zoals het LaserVision video disc systeem, het Compact Disc digitaal audio systeem met varianten zoals CD-ROM, en het beschrijfbaar DOR systeem voor het opslaan van digitale data. De nieuwe ontwikkelingen van dit moment zijn wisbare optische registratie systemen die in principe voor alle genoemde systemen toepasbaar zijn.

Na een inleiding over de principes van optische registratie worden de eigenschappen van verschillende media behandeld, inclusief de twee meest belovende vormen van wisbare registratie - nl. magneto-optiek en fase overgangen in halfgeleider materialen.

- Lasers
- Optical Components
- Servo Systems
- Mastering
- Disc Replication
- Coding of Information
- Studies of Materials for Direct and Erasable Recording.

Figure 1

Samenvatting

Het is nu vijftien jaar geleden dat optische registratie, een nieuwe vorm van informatieopslag, werd aangekondigd. De eerste demonstraties betroffen de videoplaat, en dit systeem is als eerste toepassing op de markt gekomen. Voor het zo ver was, moest veel onderzoek en ontwikkeling plaatsvinden om van een vrij eenvoudig concept - het aftasten van fijnzinnige optische structuren op een draaiende plaat - tot een werkend systeem te komen. De onderzoeksgebieden zijn in figuur 1 samengevat. Het werk viel globaal uiteen in twee deelgebieden. Het eerste betreft de realisatie van de optische en electromechanische concepten en onderdelen van de optische recorder zelf en het tweede heeft met de media en de plaatstructuren te maken.

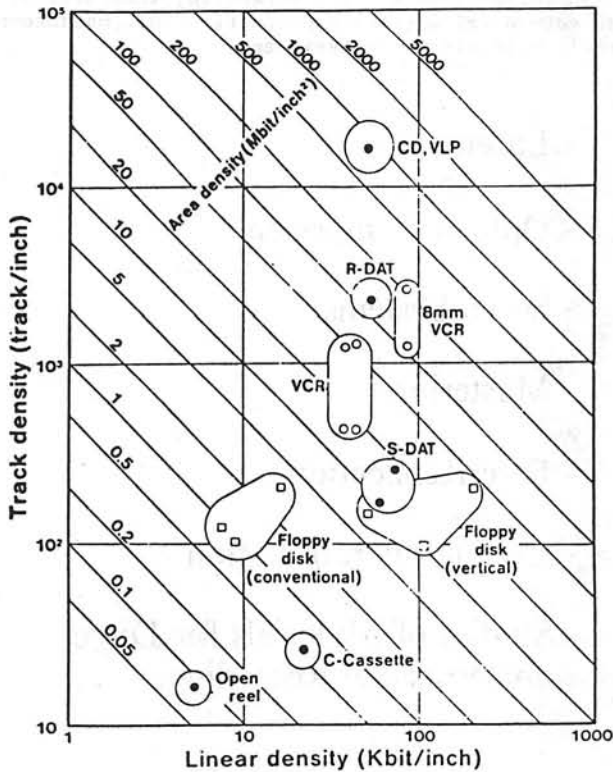


Figure 2

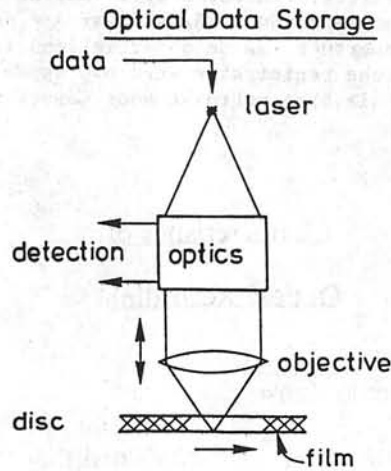
In een optische recorder is het nodig om licht van een laserbron te focuseren tot een diffractiebegrensde spot waarvan de diameter bepaald wordt door de fysische grens van $0.5\lambda/NA$ (waar λ = de lasergolflengte en NA = de numerieke apertuur van de objectieflens is). In de beginperiode van optische registratie werd een He-Ne laser met een golflengte van 633 nm als bron gebruikt voor LaserVision toepassingen.

Characteristics of Optical Recording.

1. High data density
(1 bit / μm^2 , 10^{10} bits / disk).
2. Data rate 1 - 25 MHz.
3. Laser pulse duration 20 - 100 ns.
4. Use of III-V semiconductor lasers:
 - a) writing - pulsed, power $\leq 10mW/\mu m^2$
 - b) reading - continuous, power $\sim 0.5mW$
5. Direct Read After Write.
6. Substrate-incident irradiation.
7. Pregrooved Substrates.

Figure 3

Tegenwoordig worden voor bijna alle vormen van optische registratie compacte III-V halfgeleider diode lasers met een golflengte van 800 nm



Laser Al Ga As $\lambda \approx 800 \text{ nm}$

Optics Spot size $\approx \frac{\lambda}{2NA}$

Tracking, Focus

Media Optical contrast at λ
 CD, LV : fotoresist
 DOR : TS_3 , dyes
 MO : Gd Tb Fe
 PC : III - V

Figure 4

gebruikt. Bij een gebruikelijke waarde van 0.5 voor NA ligt de spotdiameter, die uiteindelijk de informatiedichtheid bepaalt, dicht bij $1 \mu\text{m}$. De keuze van de spoorsteek van ongeveer $1.6 \mu\text{m}$ wordt uiteraard ook bepaald door de spotdiameter. De maximale datadichtheden in de verschillende systemen worden uiteindelijk bepaald door de manier van bitcodering en liggen in de orde van grootte van 35 tot 100 Mbit/cm . Een vergelijking tussen optische registratie en verschillende vormen van magnetische registratie wordt in figuur 2 gegeven.

Het optische gedeelte van een optische recorder heeft meer functies dan alleen de focussering van de lichtbron en de detectie van het gemoduleerde gereflecteerde licht. De twee bijkomende functies zijn de detectie van de focusfout van de bundel ten opzichte van de informatiedragende laag en de detectie van afwijkingen in de positie van de gefocusseerde bundel ten opzichte van een informatiespoor. Er zijn verschillende optische strategieën die gebruikt kunnen worden om focus- en spoorvolgfoutsignalen te genereren. Deze strategieën en details van de optische constructie van verschillende optische recorders zijn in [1] te vinden. De optisch gemeten foutsignalen worden gebruikt om een actuator aan de drijven die de objectieflens dynamisch

Requirements for Optical Recording Media

1. Absorption at $\lambda \sim 800$ nm.
2. Reflection at $\lambda \sim 800$ nm.
3. Optically observable effects caused by laser pulses.
4. Read-out (10^8 x, threshold).
5. Long-term stability.
6. Optical homogeneity.

Extra for Erasables:

1. Switchable ($\geq 10^5$ x)
2. Optical erasure of info in ≤ 10 μ s.

Figure 5

positioneert focus te behouden (binnen een tolerantie van $+ 1\mu\text{m}$ ten opzichte van de informatielaag). Bovendien worden ze gebruikt om de totale lichtweg te bewegen met behulp van een draaiarm- of sledeophanging om het spoor te volgen (met een nauwkeurigheid van $+ 0,1\mu\text{m}$). Het ontwerp van zulke actuatoren wordt ook in detail behandeld in [1]. De globale karakteristieken van optische registratie systemen zijn in figuren 3 en 4 samengevat.

Erased Optical Recording:

Any effect can be used, provided that:

- a change of state on a μm scale using a focussed laser beam of moderate power can be made in $< 1\mu\text{sec}$.
- there is optical contrast between the states at $\lambda \sim 800\text{nm}$.
- the change of state can be locally reversed at an elevated temperature.
- the effect is stable for ~ 10 years between room temperature and $\sim 70^\circ$.
- the change of state is repeatable.
- the sensitive film has sufficient chemical stability.

Figure 6

Wat betreft de media die gebruikt worden in optische registratie, kan men een onderverdeling maken in drie verschillende soorten. De oudste en bekendste klasse is de gerepliceerde plaat die gebruikt wordt in video disc of CD(-ROM) toepassingen. Hier wordt de informatie van tevoren vastgelegd en optisch geschreven op een 'master'plaat die als basis dient om grote series platen te repliceren. De details van de processen die hiervoor gebruikt kunnen worden zijn in [1] t/m [3]

beschreven. Een tweede klasse bevat de beschrijfbare ('write-once') platen die nu de basis vormen voor, bijvoorbeeld, de huidige PACS systemen. Bij zulke platen wordt gebruik gemaakt van een dunne gevoelige film op een gerepliceerde 'pregroove' structuur. De 'pregroove' wordt primair gebruikt om het spoor te volgen maar kan tevens informatie voor adressering of synchronisatie bevatten. Het schrijfproces is gebaseerd op de absorptie van de energie van de gefocusseerde laserbundel die gemoduleerd wordt met de gecodeerde datastroom. Het geabsorbeerde laserenergie moet een irreversibele, optisch detecteerbare verandering in de dunne film teweegbrengen. De huidige systemen maken gebruik van de vorming van gaten in een dunne spiegellaag om de informatie vast te leggen [4, 5, 6, 7]. Andere irreversibele strategieën zijn ook denkbaar en een aantal varianten is in ontwikkeling (zie bijvoorbeeld [8]). Dit onderzoek heeft als doel systemen te vinden die betere signaaleigenschappen bezitten (waarmee evt. hogere datadichtheden te behalen zijn), het benodigde vermogen van de laser te reduceren en eenvoudiger plaatstructuren te kunnen toepassen met behoud van data-integriteit, ook op langere termijn. De globale karakteristieken van beschrijfbare platen zijn in figuur 5 samengevat. De laatste klasse van media voor optische registratie is nu in een overgangsfase van de research laboratoria naar de productontwikkeling en betreft beschrijfbaar én wisbare media. De eisen die men aan wisbare media stelt zijn in figuur 6 samengevat. Twee verschillende strategieën worden toegepast. De eerste is de zgn. magneto-optiek (zie [10] en figuur 7). Hier wordt met behulp van het vermogen van de schrijflaser

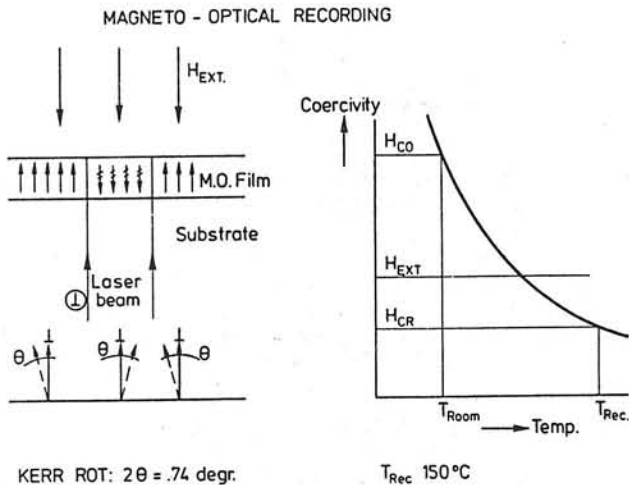


Figure 7

en een extern magneetveld, een magnetische domeinstructuur met de karakteristieke λ_m afmetingen in een speciale magnetische dunne film geschreven. Gebruik makend van het zgn. Kerr effect, d.w.z. de invloed van de magnetisatie van de domeinen op de polarisatietoestand van

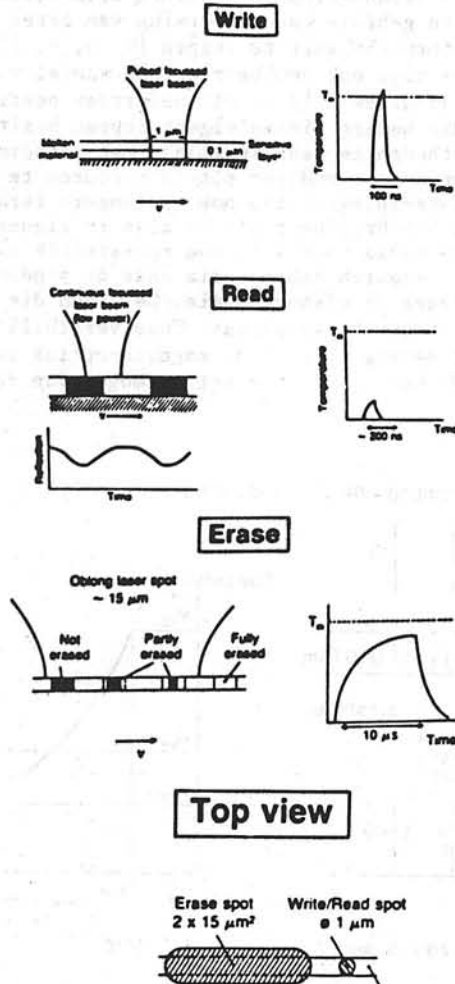


Figure 8

gereflecteerd licht (zie figuur 7), kunnen deze magnetische domeinen optisch uitgelezen worden. Hiermee kan men de hoge datadichtheid die kenmerkend is voor optische registratie realiseren in een magnetisch systeem. Net zoals in de magnetische registratie kunnen de geschreven databits gewist en overschreven worden door nieuwe informatie. De uitgelezen signalen die ontstaan door een continue meting van de polarisatietoestand van de gereflecteerde bundel zijn erg klein. De ruisbronnen in deze vorm van registratie zijn echter ook klein, wat in een zeer acceptabele signaal-ruis verhouding resulteert.

Een tweede vorm van wisbare optische registratie maakt gebruik van kristallijn-amorf overgangen in de informatiebevattende dunne film op de plaat. De film bevat een halfgeleidermateriaal zoals InSb dat in de onbeschreven toestand polykristallijn is. Door dit materiaal lokaal te verwarmen boven zijn smeltpunt met korte pulsen van de gemoduleerde laser (zie figuur 8) ontstaan bitpatronen van amorf materiaal (d.w.z. materiaal zonder een geordende kristalstructuur). In de gekozen materialen leidt deze structuurverandering tot een verandering van de optische constanten waardoor de beschreven gebiedjes een andere reflectiecoëfficiënt hebben en zijn daarmee detecteerbaar geworden. Het wisproces is gebaseerd op de natuurlijke neiging van het materiaal om de energetisch voordeliger kristalstructuur aan te nemen. Bij gebruikstemperaturen blijven de geschreven amorphe effecten 'ingevroren' en dus stabiel. Maar door opnieuw een spoor lokaal te verhitten tot een temperatuur in de buurt van het smeltpunt, gaan de amorphe gebiedjes nageenog spontaan rekristalliseren tot de uitgangstoestand waarna opnieuw informatie geschreven kan worden. Deze vorm van wisbare optische registratie moet nog geoptimaliseerd worden in de researchlaboratoria maar, hoofdzakelijk wegens zijn eenvoud en compatibiliteit met bestaande vormen van optische registratie, zou de kristallijn-amorf optische registratie een basis kunnen zijn voor nieuwe systemen in de nabije toekomst.

Literatuur

- [1] Bouwhuis, G., J. Braat, A. Huijser, J. Pasman, G. van Rosmalen, K. Schouhamer Immink
Principles of Optical Disc Systems.
Adam Hilger Ltd. Bristol, 1985.
- [2] Haverkorn van Rijsewijk, H.C., P.E.J. Legierse, G.E. Thomas
Vervaardiging van LaserVision platen met een fotopolymerisatieproces.
Philips Techn. Tijdschrift 40 (1982) blz. 297.
- [3] Kloosterboer, J.G., G.J.M. Lippits, H.C. Meinders
Lichthardende lakken voor Laser Vision platen.
Philips Techn. Tijdschrift 40 (1982) blz. 309.

- [4] Vriens, L., B.A.J. Jacobs
Digitale optische registratie met telluurlegeringen. Philips
Techn. Tijdschrift 41 (1983) blz. 325.
- [5] Kivits, P., R. de Bont, B. Jacobs, P. Zalm
The Hole-opening Process in Tellurium Films for Digital Data
Storage. Thin Solid Films, 87 (1982) blz. 215.
- [6] Broer, D.J., L. Vriens
Laser-induced Optical Recording in Thin Films.
Appl. Phys., A32 (1983) blz. 107.
- [7] Huijser, A., B. Jacobs, L. Vriens, J. Markvoort, A. Spruijt,
P. Vromans
Aging Characteristics of DOR Discs. Proc. SPIE, 382 (1983)
blz. 270.
- [8] Gravesteijn, D.J., J. van der Veen
Organische kleurstoflagen voor optische registratie.
Philips Tech. Tijdschrift 41 (1983) blz. 338.
- [9] Poel, C.J. van der, D.J. Gravesteijn, W.G.V.M. Rippens,
H.L.T.P. Stokx, C.M.J. van Uijlen
Phase-change Optical Recording in Te Alloys.
Journal of Appl. Phys., 59 (1986) blz. 1819.
- [10] Hartman, M., B.A.J. Jacobs, J.J.M. Braat
Wisbare magneto-optische registratie.
Philips Techn. Tijdschrift, 42 (1985) blz. 42.

HET MOGELIJK KLINISCH BELANG VAN EEN GEINTEGREERD BEELDCOMMUNICATIE SYSTEEM

De eerste ervaringen en verwachtingen van een PACS-proefproject met betrekking tot de radiodiagnostiek en interne geneeskunde in het AZU.

P.F.G.M. van Waes

Dit symposium is opgebouwd uit voordrachten van fysici, ingenieurs en een arts-radioloog. Samenwerking tussen deze twee disciplines heeft in de kliniek en nu ook voor de Radiodiagnostiek veel ten goede veranderd.

Prof. Backer stelde in zijn inleiding dat deze dag vooral gewijd zal zijn aan de technische aspecten van PACS. Deze dag is echter ook bedoeld om u een gevoel te geven voor welke markt u werkt, als u zich richt op de gezondheidszorg.

Het is van belang, dat u weet welke denkbeelden er zijn, wat al werkelijkheid is en wat haalbaar is. Wat zijn de mogelijke voordelen van een klinisch beeldcommunicatiesysteem? En wat verwachten de artsen van de toekomst?

Achtereenvolgens zal ik met u bespreken:

- 1) de voorgeschiedenis van PACS in het Academisch Ziekenhuis Utrecht;
- 2) wat was nu bij wie een aanleiding om een digitaal PACS netwerk te overwegen en waarom;
- 3) de experimentele voorstudie in Utrecht en de reeds ontdekte knelpunten;
- 4) het belang van beeldverwerking en -bewerking.

De voorgeschiedenis

Omdat het AZU in augustus 1989 overgaat naar de nieuwbouw op de Uithof campus, hebben wij in 1983 een PACS-werkgroep gevormd. De nieuwbouw, immers, geeft een goede gelegenheid nieuwe technieken in te voeren op voorwaarde dat de voorstudies geslaagd zijn. Met steun van de AZU-directie en Philips is in december 1986 een digitale beoordeelkamer in gebruik genomen ten behoeve van een eerste klinische gebruikstest. Begin juni 1987 waren de financiële garanties van de toegekende WVC-subsidie beschikbaar en kon personeel worden aangesteld in het kader van het PACS-project. Het is een samenwerkingsproject van BAZIS/IMAGES Leiden met de TU Delft, AZU, Philips en het Ministerie van WVC. Na vier jaar van voorbereidend werk is de eigenlijke klinische voorstudie pas begonnen.

PACS, wat, wie, waarom?

Het acronym "PACS", picture archiving and communication system is een beperkte omschrijving van het begrip. Het gaat hier niet alleen om het opslaan en verzenden van beelden, maar ook om deze beelden door middel

van digitale bewerking optimaal te presenteren. DIN, digital imaging network is juister.

Voor een goed inzicht is belangrijk, dat men beseft:

- 1) wat nu de aanleiding is om een DIN te overwegen;
- 2) wie er baat bij zou kunnen hebben;
- 3) waarom men er over wil beschikken.

Kortom: wat brengt wie tot het PACS/DIN systeem en waarom? Waarom kunnen en willen wij niet alles bij het oude laten?

Wat? De vier factoren

Factor 1: De voortschrijdende digitale beeldvorming.

Er gebeurt op dit moment veel op het gebied van de radiodiagnostiek. In 1973 is de computertomograaf (CT) uitgevonden en wordt al in 1976 volop klinisch toegepast. Na nucleaire geneeskunde wordt ook de radiodiagnostiek een vakgebied met digitale beeldvorming. Tien jaar later in 1986, is reeds 25% van het totaal aantal beelden digitaal en in het AZU zelfs 30%. De verwachting is dat weer tien jaar later, in 1996, drie kwart van de produktie digitaal zal zijn. Dit betreft de beelden van de CT-scanners, echografisch onderzoek, digitale subtractie vaatonderzoek (DSA) en magnetische resonantie scanners (MR). Daarnaast lopen er elders al experimenten, waarbij de röntgenbladfilm in de cassette als zogenaamd informatiedrager verlaten is. Een door de röntgendosis gestimuleerde plaat wordt geactiveerd door een laserstraal en digitaal uitgelezen en opgeslagen. Dit is een gecomputeriseerde of digitale radiografie (CR of DR). Totale digitalisering van de beeldvormende systemen is dus nu reeds mogelijk.

Factor 2: Datanetwerken zijn in de samenleving een gewone zaak, zowel in het ziekenhuis als in de huisartsenpraktijk. Het Radiologie Informatie Systeem (RADI/RADOS/DecRad) is gekoppeld aan het Ziekenhuis Informatie Systeem (ZIS, BAZIS). Het doorverbinden van netwerken neemt toe.

Factor 3: Er komen steeds meer elementen beschikbaar, die nodig zijn voor een DIN/PACS, zoals grote geheugensystemen en glasvezelverbindingen. Het tempo, waarin deze nieuwe ontwikkelingen zich voordoen is door niemand voorzien.

Factor 4: Er is nog een vierde element dat ons in de richting van een DIN/PACS drijft, n.l. de schaalvergroting. In een klein ziekenhuis met 200 tot 300 bedden en 20.000 röntgenonderzoeken was alles nog wel handmatig te ordenen. Nu zijn de ziekenhuizen groter, de diagnostische voorbereidingen gedegener. Er zijn regionale samenwerkingsverbanden ontstaan, zoals o.a. de regionale kankercentra. Huisartsen vormen groepspraktijken met diagnostische centra en ook de commerciële geneeskunde heeft met de budgettering zijn intrede gedaan. Deze schaalvergroting moet beheersbaar blijven. DIN/PACS is een mogelijk antwoord. Dus al is in het verleden de kwaliteit van de gezondheidszorg voldoende gebleken, we komen nu toch in problemen, die ons tot het inslaan van nieuwe wegen (glasvezels) dwingen.

Wie en waarom?

Er zijn vijf groeperingen, die baat hebben bij een DIN/PACS:

- 1) de radiodiagnosten,
- 2) de behandelend artsen,
- 3) het management in de gezondheidszorgsector,
- 4) het onderwijs, onderzoek en overheid,
- 5) het bedrijfsleven.

De radiodiagnosten staan op de eerste plaats. Zij leggen hun consulten vast in beeld en geschrift op aanvraag van de artsen, die de hoofdpersoon, de patiënt, behandelen. Het management heeft sinds de budgettering een onmisbare taak. De overheid remt liever dan stimuleert. Kennis van zaken zal voor de overheid zeker nuttig zijn. Het bedrijfsleven en niet de universiteiten of overheid hebben voor ons de nieuwe diagnostische mogelijkheden gerealiseerd. Onderwijs en onderzoek is voor alle betrokkenen van vitaal belang.

De radiodiagnosten, hun verlangens en eisen.

Door beeldbewerking willen we meer informatie krijgen uit een onderzoek. Snelle communicatie met de verwijzende artsen binnen en buiten de kliniek is een wens en wel met dezelfde directheid van een telefoongesprek. Ook intern op de radiodiagnostiek is een netwerk van belang. Eerder uitgevoerde onderzoeken moeten op tijd naar de beoordeel- of onderzoekkamer. Röntgenmappen hebben een groot nadeel, dat ze maar op één plaats zijn of zelfs zoek. Een röntgenfoto geeft de informatie gedeeltelijk prijs door deze voor een lichtkast te hangen. Beeldbewerking kan ons helpen meer van de aanwezige informatie zichtbaar te maken met bijvoorbeeld Adaptieve Histogram Equalisatie (AHE). Met digitale beelden zijn vele afbeeldingswijzen mogelijk. Bij digitaal oproepen moet een beeld verschijnen dat voor ieder zo begrijpelijk mogelijk is. AHE biedt de mogelijkheid om in een CT beeld longweefsel, bloedvaten en botdetails te gelijk af te beelden. Details van wervels, die op een CR- of DR- opname in het wit verdwijnen kunnen zichtbaar gemaakt worden zonder een nieuwe zogenaamde "hardere" opname te maken. "Rubber sheet masking" kan in een halsvaten-onderzoek, dat bij DSA door slikbewegingen onbruikbaar blijkt te zijn, de halsslagaders afbeelden zonder dat een tweede injectie van contrast nodig is. Bewerkt en opgewerkt kan het beeld het netwerk ingestuurd worden. Beeldbewerking is dus een "voorstuk" van DIN of PACS.

Het biedt echter meer zoals CAD/CAM of te wel Computer Assisted Design van diagnose en behandeling met behulp van driedimensionale reconstructies van series doorsneden, gemaakt op basis van CT of MR. CAD is nu al van nut bij reconstructieve chirurgie, bij aangeboren of verworven afwijkingen. Om bij het individu een passende prothese te maken kunnen contouren gestuurd worden naar een robotfrees, die in wasblok perfecte mallen maakt. Daarvan wordt een gietstuk gemaakt van een mengsel van collageen en calciumhydroxyapatiet. Dit wordt door het lichaam niet als vreemd herkend en kan in het bot worden aangebracht om door het natuurlijke bot vervangen te worden. Dit is dan Computer Assisted Manufac-

turing (CAM). Het weergeven van weke delen vereist speciale algoritmen, die op dezelfde wijze een contour herkennen als een radioloog. Dit wordt een toepassing van kunstmatige intelligentie (AI). Aan deze zogenaamde segmentatietechnieken wordt hard gewerkt en vereist een integratie van neuro-informatica, beeldverwerking en radiodiagnostiek. De verwachting is dat er een elektronisch werkstation komt als onderdeel van een computernetwerk, waardoor vele bewerkingen tegelijkertijd kunnen worden uitgevoerd en de diverse beeldgenererende stations met elkaar in contact staan.

De behandelend artsen.

Huisartsen en bijvoorbeeld internisten zouden het op prijs stellen direct via elektronische post over beelden van hun patiënten te kunnen beschikken, zodat onderling overleg mogelijk is. Dit is teleradiologie. Geen "pijlpijn-tijd" meer. Nu kan het wel een week duren voordat een bepaald onderzoek in te zien is. Wanneer alles digitaal gearchieveerd is, is 24-uurs beschikbaarheid mogelijk. Klinische werkbesprekingen (papieren visites) krijgen dan een ander karakter.

Het management.

Exploitatiekosten van een radiodiagnostiek-afdeling zijn hoog. In het AZU staat voor f. 50 miljoen aan apparatuur. Per jaar maken 120 mensen 100.000 tot 110.000 onderzoeken mogelijk. De personeels- en materiaal-kosten moeten in het steeds krimpende budget passen. Digitalisering, ook van beelden, zou besparing kunnen opleveren. Een gemiddeld onderzoek kost wat de aanschaf en afhandeling van het filmmateriaal betreft ongeveer f. 60,-. Voor 100.000 onderzoeken per jaar wordt in het AZU voor f. 1.300.000 film ingekocht. Voor alles op de lichtkast hangt, is er al snel f. 4 miljoen uitgegeven aan de film be- en afhandeling. Een goede DIN/PACS vergt ook een perfecte koppeling aan het radiologie informatie systeem en ZIS. Starten met PACS betekent al een direct voordeel voor het management. De overgang naar DIN/PACS vergt een optimale structuur en dus discipline. Er wordt immers nu vastgelegd, wat er gebeuren moet. De vrijblijvendheid vervalt hierdoor. Er wordt optimaal gebruik gemaakt van de menselijke en technische capaciteiten. Bijsturen is dan mogelijk op "real time" basis.

Onderwijs, onderzoek en overheid.

Door opslag van gegevens en beelden is het beter mogelijk onderwijs-pakketten samen te stellen en onderzoek te doen op medisch, technisch en economisch gebied. Bij de verkorte medische studieduur dienen studenten snel vertrouwd te raken met het functioneren en de bouw van de levende mens en vervolgens ook met de verstoringen oftewel de ziekten. Beeldvormende diagnostiek geeft nu anatomische en functionele informatie van het levende individu met een snelheid en een nauwkeurigheid, die op een anatomische snijzaal of een fysiologisch laboratorium niet haalbaar zijn. Zonder inhoudelijke kennis van de radiodiagnostiek te vereisen, vormen deze beelden een uitstekende ondersteuning van het leerproces. Digitalisering maakt archieven toegankelijk. In Nederland hebben wij bij de artsenopleiding wat dit

betreft zeker een achterstand. Radiodiagnostiek is een besliskundig instrument bij uitstek en daarom het "poort"-specialisme van de gezondheidszorg.

De overheid kan dankzij digitalisering het juiste niet politieke materiaal in handen krijgen om te stimuleren of bij te sturen. Economisch niet onderbouwde beslissingen, zoals het beperkt houden van CT-scanners door middel van art. 18, waardoor Nederland achterloopt op de meeste beschaaftde landen, worden dan hopelijk niet meer genomen (zie Medisch Contact, sept. 1987). De overheid wordt in toenemende mate bewust van haar verantwoordelijkheid.

Het bedrijfsleven.

De overheid juicht high-tech ontwikkelingen toe door stimulering van export en werkgelegenheid. Door een nauw contact met de medische markt krijgt het bedrijfsleven de functionele eisen voor hun produkten, zoals beeldgenererende apparatuur, DIN/PACS hardware en software en verkoop van geïntegreerde systemen.

De experimentele voorstudie in Utrecht en de knelpunten.

De voorstudie in het AZU is gericht op klinische evaluatie met als vragen:

- 1) kunnen de radiodiagnost en de behandelend internist beter werken dan voorheen?
- 2) wat zijn de eisen, die men moet stellen aan een DIN/PACS?

Overheid, bedrijfsleven en TU Delft kijken naar de haalbaarheid, BAZIS/IMAGIS Leiden zetten modellen op voor simulatiestudies. Met de TU Delft bekijkt men de diagnostische gevolgen van de diverse mogelijkheden van beeldcompressie en ontwerpt koppelingen voor prototypen DIN/PACS met ZIS.

De AZU-praktijktest kent vier aspecten:

- 1) hoe verloopt de filmdoorstroming nu en met PACS, welke stappen en op welk tijdstip?
- 2) wat betekent dit voor archiefmedewerkers i.v.m. omscholing of ontslag?
- 3) waar verdwijnen kosten en waar ontstaan juist kosten?
- 4) de radiodiagnostiek.
- 5) de interne kliniek.

Wat betreft de radiodiagnostiek vragen we ons af kunnen we betere service bieden? Worden wij niet door DIN/PACS gehinderd? In de modale praktijk doet een radiodiagnost 50 tot 60 onderzoeken per dag. Er is een gebrek aan diagnosten in Nederland en langzamer werken is niet mogelijk. Daarnaast willen wij meer gegevens halen uit een onderzoek, zodat per patiënt minder onderzoek nodig is. Dit betekent dus beeldverwerking. Door ir. H. Schuttebeld van de TU Delft en dr.ir. B.M. ter Haar Romeny is een digitale beoordeelkamer ontworpen, met daarin de uitleesconsole voor CT, MR en DSA, een analytische processor, de

digitale "lichtkast" met zes beeldschermen (MARVIEW, Philips), DOR opslagmedium (MARFILE), een videodigitizer van normale röntgenfoto's (MARSCAN), alles onderdeel van het Philips MARCOM systeem. Tevens zijn er aansluitingen met het ZIS voor de patiënteninformatie, zeven meekijkmonitoren om de digitale onderzoeken tijdens de uitvoering bij te kunnen sturen, en verder een modem voor teleradiologie, een verbinding met de computerkamer en het klinisch beeldstation met vier schermen op een afdeling van Inwendige Geneeskunde.

De drie klinische aspecten:

1) De doeltreffendheids-analyse.

Wat de kliniek betreft, gaan wij uit van de stelling: "de dokter werkt altijd optimaal". Dit laten we gelden zowel voor de behandelend arts als de radiodiagnost. Het belang van een DIN/PACS wordt afgemeten aan de vrijwillig verkozen veranderingen in de handelwijzen, waarbij het recente verleden vergeleken wordt met het gedrag nu op dezelfde afdelingen. Daarnaast dienen twee andere interne vleugels als schaduwgroepen.

2) Technische analyse, bestaande uit probleembeschrijving, beoordeling van de betrouwbaarheid en de prestaties.

3) De diagnostische beeldkwaliteitsbepaling. Herkenning van ziektepatronen op beeldschermen in vergelijking met de normale röntgenopname.

Wat de beeldkwaliteit en prestaties betreft hebben we nu al de nodige frustraties, te weten:

1) De elektronische "lichtkast" levert 8 bits-beelden, terwijl de zogenaamde "dynamic range" van de meeste beelden hoger ligt. Twaalf bits komt overeen met 4096 grijswaarden, zoals worden toegepast bij CT, MR en DR. Tien bits komt overeen met 1024 grijswaarden, hetgeen gebruikelijk is bij DSA. Dit betekent dus al direct verlies. Hoe ernstig dit is, weten we nog niet precies.

2) De scherpte van het beeld hangt o.a. af van de grootte van de beeld-elementjes, de pixels. Dit speelt zowel een rol bij het maken van het beeld, als bij het afbeelden op het lichtkast-beeldscherm. Dit beeldscherm nu is niet optimaal voor gewone röntgenopnamen. Dan is een matrix van 2048 bij 2048 gewenst. Het is wel geschikt voor CT, MR, DSA en echobeelden. De videoscanner, die de gewone röntgenopname van de patiënten van de interne afdeling moet omzetten in digitale beelden is totaal ongeschikt. De verwachting is dat een laserscanner wel een volledige voorstudie mogelijk zal maken.

3) De benodigde opslagcapaciteit is groter dan menigeen vermoedt. Onze archiefmedewerker A. Achterberg heeft een simulatiestudie gedaan voor de 15 bedden van de afdeling Inwendige Geneeskunde, die meedoet aan dit project. Hij heeft met de hand de foto's in de röntgenmap van elke patiënt geteld. Deze beelden moeten op tijd opgeslagen worden, aangevuld en weggeschreven naar een definitief geheugen (optische schijf DOR) als de patiënt de afdeling verlaat. De radiodiagnost en internist willen immers alles zoals gewoonlijk ter inzage hebben. De uitkomst van drie en halve maand tellen was

verrassend. Voor 15 bedden reeds levert dat problemen op, die we nu nog niet aankunnen. Het blijkt, dat er gemiddeld per dag 75 foto's gedigitaliseerd moeten worden. Er waren ook dagen bij er geen enkele foto nodig was en daarnaast dagen dat er ongeveer 600 foto's gedigitaliseerd moesten worden. Het digitaliseren van 1 foto kost op dit moment ongeveer 2 minuten, voor 600 foto's betekent dat 20 uur, of te wel werk voor 2,5 digitizers op een dag. Per dag moeten er 300 tot 2000 op afroep beschikbaar zijn. Daarvan gaan er per 2 tot 3 weken 1000 weg naar een opslagmedium. Dus voor die 15 bedden blijken wij nu 2 gigabytes nodig te hebben aan directe opvraagbare beelden. We schrijven 25 gigabytes weg voor opslag op DOR per jaar. Er is nog een discussie gaande hoeveel pixels er nodig zijn per normale röntgenopname. Op dit moment gebruiken we 1024, maar 2048 wordt geadviseerd. Dit betekent dat we in plaats van 1 dan 4 megabytes per plaatje nodig hebben. De consequenties zijn enorm voor een ziekenhuis met 850 bedden en 100.000 onderzoeken en 400.000 opnamen, die 30.000 vierkante meter röntgenfilm vertegenwoordigen. Al deze röntgenopnamen moeten we opslaan. De wet verplicht ons dit tien jaar beschikbaar te houden. Dit komt dan per jaar neer op 400 of 1600 gigabytes per jaar er bij in het archief geheugen. In tien jaar tijd verzamelen we dan 4 tot 16 terabyte. U begrijpt, daar moet een oplossing voor komen. Een archief waarin al deze informatie direct op afroep beschikbaar is, is technisch niet haalbaar. Wij als radiodiagnosten denken dat er een jukebox systeem beschikbaar komt, dat redelijk snel toegankelijk is. Via het ziekenhuis informatie systeem vernemen wij, dat de patiënt eraan komt en uit het archief systeem worden de gegevens uit het verleden opgeroepen en naar een lokaal on-line systeem gebracht. Wij denken dus aan hiërarchisch opgebouwde bestanden. Zoals we nu de röntgenfoto's op stapeltjes leggen kunnen we dit ook elektronisch doen. Het nieuwgevormde beeldmateriaal wordt toegevoegd aan het bestaande bestand en op een beeldstation kunnen we het geheel bekijken. Deze ervaring toont de noodzaak aan voor een simulatiestudie en wel aan de hand van echte getallen. Het werk van onze archiefmedewerker heeft ons wakker geschud. Er moeten dus mensen in de praktijk gaan meten wat er gebeurt door middel van werkanalyses en kostenanalyses. De behandelend arts moet zeggen wat hij wil en de patiënt eveneens. De techniek dient daaraan te worden aangepast en niet omgekeerd. Soms heb ik het gevoel dat er nu fantastische dingen ontwikkeld worden zonder dat het bedrijfsleven en de technische universiteiten weten wat in de gezondheidszorg de werkelijke behoefte is.

Onze verwachting is dat wij op één lichtkast onze analyses kunnen doen zonder computerspecialist te zijn, omdat het systeem "doorzichtig" is (computers verrichten onzichtbaar voor ons hun taak), dat er teleradiologie is binnen en buiten de kliniek; dat huisartsen hun beelden kunnen binnen krijgen; dat waar patiënten behandeld worden de röntgenbeelden oproepbaar zijn. Dit betekent voor een ziekenhuis van 850 bedden ongeveer 300 beeldstations. Bij de ontwikkeling van PACS komen nu reeds voor de overheid en industrie vele interessante

bijproducten beschikbaar, zoals CAD/CAM schedelreconstructies, zoals hiervoor reeds besproken. Andere beraamde- en toevallige producten zullen volgen. Zoals de telefoon ons leven veranderde, zo zal ook PACS/DIN het medisch handelen ingrijpend beïnvloeden.

De conclusie is dat ondanks alle frustraties, die ik gesignaleerd heb, optimisme toch gerechtvaardigd is. PACS/DIN is misschien pas met 10 jaar haalbaar. Het structurele werken hieraan betekent nu al winst. De ontwikkeling vergt veel tijd. De oplossing hebben we nog lang niet. Deze wordt echter sneller aan u gepresenteerd dan verwacht, omdat de noodzaak ons steeds duidelijker voor ogen staat.

Literatuur

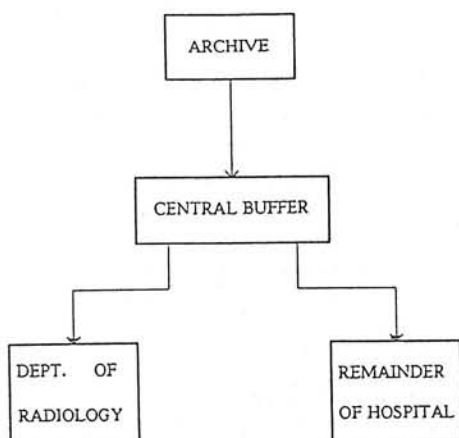
- [1] Valk, J.P.J., B.M. ter Haar Romeny, A.B.P.J. Reichwein
Beeld Opslag en Communicatie Systemen voor Ziekenhuizen (PACS:
Picture Archiving and Communication Systems)
Een overzicht. TG 1986, 11, blz. 9-11.
- [2] Blume, H.
Digital processing of diagnostic images.
Medicamundi 31 (1986) blz. 96-107.
- [3] Pizer, S.M., E.P. Amburn, J.D. Austin, R. Cromartie, A. Geselowitz,
T. Greer, B.M. ter Haar Romeny, J.B. Zimmerman, K. Zuiderveld
Adaptive Histogram Equalization and Its Variations Computer
Vision.
Graphics and Image Processing 39 (1987) blz. 355-368.
- [4] Lobregt S., H.W.G. Kleine Schaars
Three-dimensional imaging and manipulation of CT data.
Part I: General principles. Pre-print Medicamundi, September 1987.
- [5] Zonneveld, F.W., J.C. van der Meulen, P.F. van Akkerveeken,
L. Koornneef, J. Vaandrager, C.M. van der Horst
Three-dimensional imaging and manipulation of CT data.
Part II: Clinical applications in orthopaedic and craniofacial
surgery. Pre-print Medicamundi, September 1987.
- [6] Barneveld Binkhuysen, F.H., C.B.A.J. Puijlaert
Computertomografie: een kostenbesparend onderzoek?
Ned. Tijdschrift Geneesk. 1987, 131, blz. 1721-1726.

SIMULATIE- EN COMMUNICATIEASPECTEN VAN PACS

G.L. Reijns

1. Samenvatting

Eén der belangrijkste problemen in de ontwikkeling van een volledig Picture Archiving and Communications System (PACS) vormt de opslag van zeer grote hoeveelheden beelddata in een digitaal geheugen en de communicatie van de beelden binnen een ziekenhuis. Beeldcompressie verlicht zowel het probleem van de benodigde geheugengrootte als van de vereiste communicatiesnelheid met ongeveer een factor 12. Dit artikel geeft aan dat door middel van het plaatsen van geheugenbuffers op diverse locaties in het ziekenhuis een aanzienlijke additionele reductie mogelijk is in de vereiste communicatiesnelheid. Om een economisch verantwoord PACS te verkrijgen is het noodzakelijk het gehele ontwerp te modelleren en met behulp van simulatie of wachttijdtheorie te evalueren. Een wiskundige analyse van een vereenvoudigd model van beeldopslag en communicatie binnen een afdeling Radiologie wordt besproken.



Figuur 1 Blokschema van PACS.

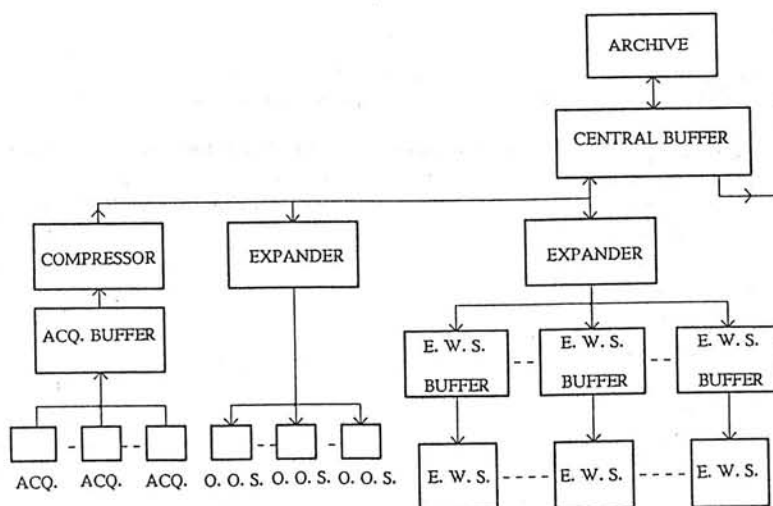
2. Inleiding

De ontwikkeling op de terreinen van de digitale informatie-opslag, de communicatie en de informatie-verwerking hebben de mogelijkheid geschapen, ziekenhuizen in de toekomst te voorzien van een Picture Archiving and Communications System (PACS). Er zijn verschillende redenen aan te geven waarom een PACS geïntegreerd dient te worden met een Ziekenhuis Informatie Systeem (ZIS), dat in de meeste ziekenhuizen tegenwoordig wordt aangetroffen. In een ZIS wordt o.a. patiënt-informatie opgeslagen, die op diverse plaatsen in het ziekenhuis kan worden opgevraagd.

Er zijn echter nog een groot aantal technische en organisatorische moeilijkheden te overwinnen alvorens een compleet PACS in een ziekenhuis geïnstalleerd kan worden. Desondanks worden in enkele ziekenhuizen in de wereld experimentele mini-PACS systemen aangetroffen. Deze systemen hebben beperkte mogelijkheden, een geheugen dat de beelden van hooguit enige tientallen patiënten kan bevatten en zijn bedoeld om de radiologen en andere specialisten ervaring te laten opdoen.

Er wordt van uitgegaan dat een compleet PACS tenminste drie hiërarchische geheugenlagen zal bevatten nl. een relatief langzaam maar zeer groot "archief", een centrale buffer en buffers in de nabijheid van de werkstations. Een heel groot geheugen, zoals het archief (figuur 1) zal, om redenen van kosten, een toegangstijd hebben van ongeveer 15 seconden en zal waarschijnlijk bestaan uit een "jukebox" gevuld met optische schijven. In het Academisch Ziekenhuis Leiden met 330.000 poliklinische bezoeken en 22.500 klinische patiënten per jaar, wordt per dag 6.10^{12} bytes aan ongecomprimeerde beelddata geproduceerd. Een digitale optische schijf, met zeer grote capaciteit van 3.10^{12} bytes, zou slechts de beelddata van een 1/2 ziekenhuis-werkdag kunnen bevatten, indien de beelddata niet gecomprimeerd zou worden. Hoewel de beeldinformatie tenminste 5 jaar bewaard moet blijven, is het niet nodig dat al deze informatie in het direct-toegankelijk juke-box archief aanwezig blijft. Informatie die langer dan 3 maanden of een halfjaar niet is opgevraagd kan misschien het beste worden ondergebracht in een off-line geheugen, bestaande uit een bibliotheek van optische schijven. Juke-boxen die zo'n 25 of 100 schijven kunnen bevatten zijn in ontwikkeling. Om op 25 schijven de beeldinformatie van 6 maanden te kunnen herbergen is data compressie een vereiste. We zullen verder zien dat zonder de toepassing van data compressie de communicatie van beelden technisch moeilijk en duur wordt door de hoge data snelheden. Een compressiefactor 12 lijkt echter zeer reëel te verwezenlijken m.b.v. "subband coding", waardoor één optische schijf voldoende opslag biedt voor 6 ziekenhuis-werkdagen (voor een ziekenhuis als Leiden).

De buffergeheugens zijn noodzakelijk omdat de responsietijd, d.w.z. de tijd die verloopt tussen het oproepen en het zichtbaar worden van een beeld bij een workstation niet meer dan 1 à 2 seconden mag bedragen. Indien een beeld, uit het archief gehaald zou moeten worden, zou dit veel te lang gaan duren. Beeldinformatie, waarvan we weten of ver-



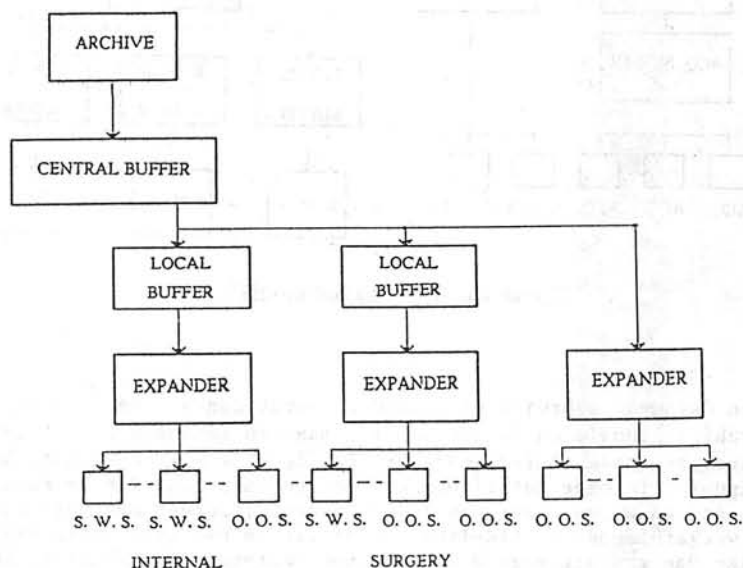
Figuur 2a Afdeling radiologie

wachten dat deze gebruikt gaat worden, wordt daarom reeds eerder uit het archief gehaald en in een snelle, maar in geheugen-grootte veel kleinere, centrale buffer gebracht. In figuur 2.a is de linker helft van figuur 1 in meer detail weergegeven en in figuur 2.b de rechter helft. Een PACS, zal naar ons idee, worden uitgerust met verschillende typen werkstations. De afdeling Radiologie in het ziekenhuis zal worden voorzien van een uitgebreid werkstation (extended workstation, EWS) met een hoog resolutie beeldscherm. Dit werkstation zal mogelijkheden bieden om beelden te bewerken en details vergroot weer te geven. Een EWS zal in ons ontwerp uitgerust worden met een halfgeleider buffergeheugen om de beelden van enkele patiënten te kunnen bevatten. Verder veronderstellen we, dat diverse klinieken in een ziekenhuis voorzien zullen worden van eenvoudige werkstations (simple workstation, SWS), terwijl er ook een groot aantal zeer eenvoudige werkstations (output only stations, OOS) nodig zullen zijn. Een SWS en OOS bezitten in ons ontwerp geen buffergeheugen.

Om een beeld zichtbaar te maken dient de gecomprimeerde beeldinformatie eerst weer geëxpandeerd te worden, waarbij hetzelfde aantal bits wordt verkregen als het beeld oorspronkelijk voor de compressie bevatte. Hiertoe zijn in figuur 2.a behalve compressors, ook expanders aanwezig. Bij het ontwerp van een totaal PACS komen we voor een groot aantal vragen te staan, zoals:

- hoe groot dient de centrale buffer te zijn en welke toegangstijd moet deze hebben.

- hoeveel andere buffers zijn er nodig, hoe groot moeten deze zijn en waar kunnen ze het beste worden geplaatst in het schema van de figuren 2.a en 2.b.
- waar kunnen compressie- en expansie van beelden het beste worden uitgevoerd in figuur 2.a.
- welke transmissie-snelheden dienen de verschillende communicatiekanalen te hebben.



Figuur 2b Afdeling chirurgie, interne geneeskunde en de rest van het ziekenhuis.

Om deze en andere vragen te beantwoorden en teneinde een systeem met een zo goed mogelijke performance/kosten verhouding te ontwerpen, is het noodzakelijk een model te ontwikkelen en de verschillende mogelijkheden m.b.v. computer-simulatie te onderzoeken. In sommige gevallen is het ook mogelijk het model mathematisch te analyseren. Hiervan zullen we een voorbeeld geven.

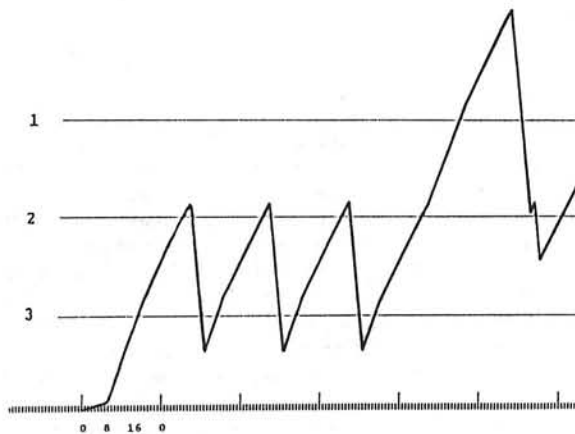
3. Archief-geheugen

In de inleiding is reeds gesteld dat het archief zou kunnen bestaan uit een "juke-box" gevuld met geheugenschijven. Een "set" medische beelden van een patiënt zal met tussenposen van enkele dagen tot vele weken worden verkregen. De beeldinformatie van alle patiënten zal waarschijn-

lijk in in volgorde van tijd sequentieel op de schijven worden geregistreerd. Omdat de huidige optische schijven slechts éénmalig beschrijfbaar zijn, leidt dit er toe dat de beeldinformatie van één patiënt gefragmenteerd in het archief aanwezig zal zijn. De beeldinformatie waarvan we weten dat ze de volgende dag gebruikt gaat worden, wordt gedurende de voorafgaande nacht overgebracht van het archief naar de centrale buffer. Daarbij is het profijtelijk de in het archief aanwezige data sequentieel af te zoeken.

4. Centrale buffer

Zoals reeds vermeld is de centrale buffer gevuld met patiënt-beelden, waarvan we weten dat ze dezelfde of de volgende dag gebruikt gaan worden. De centrale buffer bevat zowel oude beelden, die uit het archief zijn gehaald, als nieuwe verkregen beelden. Gedurende 24 uur per dag maar hoofdzakelijk tussen 8.00 uur en 18.00 uur worden nieuw verkregen beelden naar de centrale buffer toegevoerd. De radiologen wachten met hun rapportage meestal totdat de beelden van een voldoende aantal patiënten verzameld zijn. Per patiënt worden gemiddeld zo'n 6 beelden bekeken per rapportage, waarvoor de radioloog gemiddeld 1 minuut nodig heeft. De helft van deze beelden is afkomstig uit het archief en de andere helft bestaat uit nieuwe beelden. Figuur 3 geeft weer de vulling van de centrale buffer als functie van het uur van de dag. Deze buffer moet tenminste 2 1/2 maal zo veel beelden kunnen



Figuur 3 Inhoud van centrale buffer in eenheden van dagelijkse productie en als functie van de tijd.

bevatten als de dagelijkse productie. We zien ook wat er gebeurt indien er geen rapportering kan plaats vinden op de 6e dag.

5. Compressie en expansie van beelden

De beelden worden in het archief in gecomprimeerde vorm opgeslagen. Wanneer deze beelden ook gecomprimeerd in de centrale buffer worden bewaard, heeft dit het voordeel van een kleinere benodigde geheugen-capaciteit. Wanneer bovendien de expansie pas wordt uitgevoerd op plaatsen dicht bij de werkstations, heeft dit bijkomend voordeel dat gecomprimeerde beelden over de communicatie-lijnen worden gezonden, waardoor minder zware eisen aan het communicatie-pad gesteld behoeven te worden. Nadeel van dit laatste is evenwel, dat een gedecentraliseerde expansie die plaats vindt bij de werkstations, veel expanders vergt. Aangezien we echter verwachten dat, gebruik makend van speciale hardware in de toekomst, de prijs van compressors en expanders, laag zal worden door de toepassing van speciale chips, is expansie dicht bij de EWS stations aan te bevelen. Voor de vele OOS stations, die met beelden van minder hoge resolutie werken, is een gecentraliseerde expansie bij de uitgang van de centrale buffer wellicht te prefereren. Bij de EWS stations wordt er in figuur 2.a van uitgegaan dat de beelden eerst worden geëxpandeerd alvorens te worden opgeslagen in verschillende EWS buffers. Elke EWS heeft zijn eigen buffer. Als alternatief zou men zelfs de expander kunnen plaatsen tussen de EWS buffer en de monitor. Elke EWS heeft dan zijn eigen expander.

6. Modellerings

6.1 Inleiding

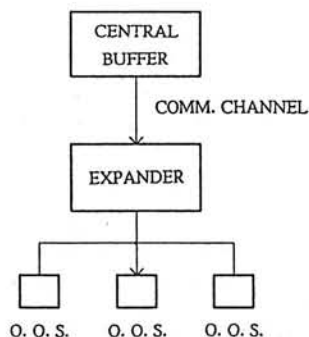
Bij het modelleren van een PACS maken we gebruik van zogenaamde wachtrijmodellen die zijn samengesteld uit verwerkingseenheden (servers) en wachtrijen. Een server kan bijvoorbeeld een werkstation zijn, maar ook een communicatie-kanaal. Een server kan nooit meer dan één proces, bijvoorbeeld één beeld, in bewerking hebben. Aangezien er meer dan één OOS station verbonden is met het communicatie-kanaal naar de centrale buffer, kan het gebeuren dat een verzoek om een beeld te ontvangen, moet wachten. In het model worden deze verzoeken om beeldtransport geplaatst in een wachtrij. Zodra een beeld is getransporteerd via het communicatie-kanaal wordt door de server begonnen aan het volgende verzoek, 'proces', in de wachtrij.

Op deze manier kan het blokdiagram van figuur 2.a direct worden gemodelleerd. Daarbij is het van belang dat de service tijden van de verschillende verwerkingseenheden bekend zijn. De service tijden zullen in het algemeen niet constant zijn maar een zekere variatie in de tijd hebben aangezien het aantal pixels voor verschillende soorten van beelden zal verschillen. Het wachtrij-model dat op bovenvermelde wijze

verkregen kan worden van figuur 2.a kan worden omgezet in een computer-programma. Met een bekende of veronderstelde werklast, aantal beeld-acquisities per tijdseenheid en aantal gemaakte beelden per tijdseenheid, kunnen dan simulaties aan het computermodel worden verricht. Als simulatietaal zijn hiervoor door ons Simula en Prosim gebruikt. Prosim is een product van de TU Delft. Voor dit doel wordt door ons thans ook het IBM pakket RESQ gebruikt.

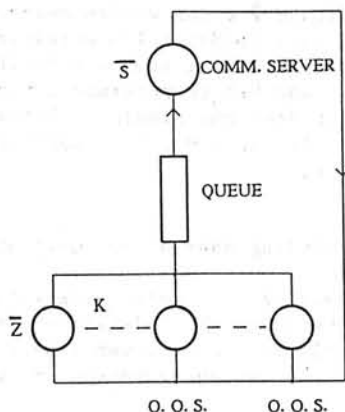
6.2 Modelleren van de verbinding naar output only stations (OOS)

Behalve met behulp van simulatie, zijn ook oplossingen of deeloplossingen langs analytische weg mogelijk. Onderstaand is aangegeven hoe dit kan gebeuren voor het midden-gedeelte van figuur 2.a. Dit laatste bedoelde deel is in figuur 4.a opnieuw getekend. Er wordt hierbij



Figuur 4a Blokschema van communicaties naar O.O.S.

verondersteld dat de gevraagde beelden altijd aanwezig zijn in de centrale buffer. Het archief wordt bij deze analytische modellering dus buiten beschouwing gelaten. Dit betekent dat de invloed van onverwachte "noodgevallen", waarbij de beelden uit het archief moeten komen, wordt verwaarloosd. Aangezien we verwachten dat dit percentage "noodgevallen" klein is, valt dit wel te verdedigen. Figuur 4.b laat het corresponderende analytische model van figuur 4.a zien. De service tijd van de communicatie-server is samengesteld uit de beeldtransporttijd van het kanaal, de toegangstijd tot de centrale buffer en de vertraging in de expander. Wanneer verschillende output only stations snel achter elkaar om beelden vragen, dan worden deze verzoeken in een wachtrij gezet. Een output only station (OOS) is te beschouwen als een server met een



Figuur 4b Werkmodel van communicaties naar O.O.S.

service-tijd, die gelijk is aan de tijd die verloopt tussen het opvragen van twee opeenvolgende beelden. Figuur 4.b is een gesloten systeem, d.w.z. de uitgang van de communicatie-server is verbonden met de ingangen van de OOS servers. Dit houdt in dat er nooit meer dan k processen, in dit geval beelden, in dit systeem kunnen ronddraaien, waarbij k gelijk is aan het aantal werkstations. Ook wanneer een beeld niet langer bekeken wordt in een OOS, beschouwen we het daar toch nog als aanwezig tot het moment dat een nieuw beeld wordt opgevraagd. Ofschoon in figuur 4.b steeds dezelfde processen (beelden) aanwezig zijn, terwijl er in de praktijk natuurlijk steeds verschillende beelden worden opgeroepen, is dit voor het model onbelangrijk. We veronderstellen dat de service tijden een negatief exponentiële verdeling hebben. Het beschouwde model van figuur 4.b is dan m.b.v. de wachttijdtheorie exact op te lossen en resulteert in de relatie:

$$\frac{k \cdot \bar{s}}{\bar{r} + \bar{z}} = 1 - B \left[k, \frac{\bar{s}}{\bar{z}} \right]$$

waarbij

k = aantal OOS

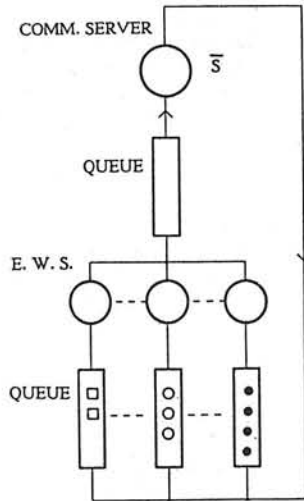
$\bar{s}$ = gemiddelde service tijd van de communicatie server

$\bar{z}$ = gemiddelde tijd tussen het oproepen van beelden bij een OOS

B = formule van Erlang

$\bar{r}$ = gemiddelde responstijd bij een terminal, d.w.z. de tijd die verstrijkt tussen het oproepen van een beeld uit de centrale buffer en het verschijnen er van op het display

Indien k , $\bar{z}$ en $\bar{r}$ gegeven zijn, valt $\bar{s}$ dus te bepalen.



Figuur 5a Blokschema van communicaties naar E.W.S.

6.3 Modelleren van de verbinding naar de extended work stations (EWS)

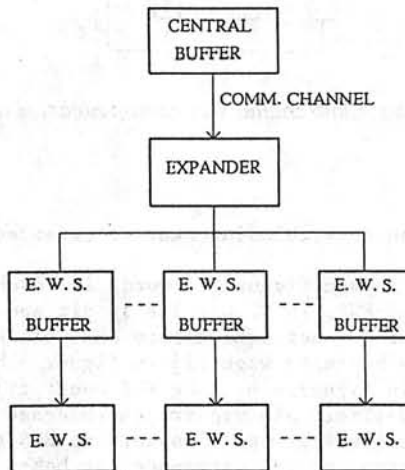
Het rechter gedeelte van figuur 2.a wordt in beschouwing genomen, dus het gedeelte met de EWS. In figuur 5.a is dit gedeelte wederom weergegeven met in figuur 5.b het equivalente analytische model. De communicatie-server en de bovenste wachtrij in figuur 5.b vervullen dezelfde functies als die in figuur 4.b. Elke EWS heeft zijn eigen EWS- buffer en deze zijn gemodelleerd als wachtrijen onderaan in figuur 5.b.

Er is een algoritme werkzaam dat probeert de EWS buffers zoveel mogelijk gevuld te houden, er van uitgaande dat bekend is welke beelden zeer binnenkort bekeken zullen worden. Een proces is in dit geval te beschouwen als een verzameling beelden van één patiënt. Processen die gekenmerkt zijn door vierkantjes, doorlopen EWS 1, processen aangegeven met open cirkeltjes, doorlopen EWS 2 en die met stippen doorlopen EWS

3. Wanneer een EWS buffer vol is, worden er van de bijbehorende processen geen exemplaren in de communicatie-wachtrij of communicatie-server gevonden.

Wanneer het ontwerp zodanig wordt gedimensioneerd dat de EWS buffers nooit leeg raken, is de responstijd natuurlijk erg klein. We hebben opgemerkt dat een radioloog gemiddeld minstens één minuut nodig heeft om de beelden van een patiënt te bekijken. Wanneer er drie stations zijn, zal de communicatie-server gemiddeld dus drie processen (ongeveer 18 beelden) per minuut moeten verzenden. De communicatie-server zal wel in staat moeten zijn om meer dan drie processen per minuut af te handelen, opdat de EWS buffers niet leeg raken aangezien de servicetijden niet constant maar stochastische grootheden zijn. Wanneer de EWS buffers klein zijn, er is natuurlijk het gevaar dat zij wel eens leeg kunnen raken. De kans op het leegraken kan men verkleinen door of de communicatie-servicetijd te verkleinen of de EWS buffers te vergroten. Bij een bepaalde communicatie-servicetijd behoort dus een bepaalde grootte van EWS buffer en met behulp van de wachttijdtheorie kan men deze paren van grootheden bepalen.

Economische factoren bepalen welk paar van bij elkaar behorende communicatie-servicetijd en EWS buffer het beste kan worden toegepast. Daarbij zal een EWS buffer per patiënt gemiddeld al gauw 15 Mbytes aan ongecomprimeerde beelddata bevatten. Als alternatief zou men de beelden



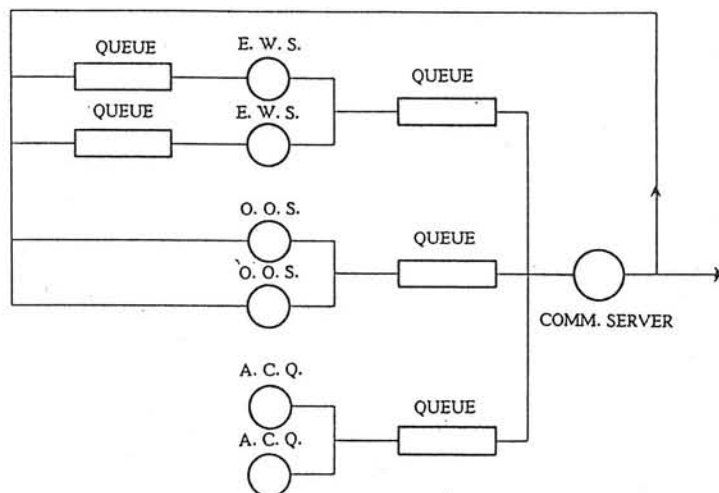
Figuur 5b Werkmodel van communicaties naar E.W.S.

gecomprimeerd in de EWS buffers op kunnen slaan. Dit betekent dan echter wel één expander per EWS.

Bij de modellering van figuur 5.b is er nog een bijzonderheid. In werkelijkheid kan er, zodra de beelden van een patiënt bij een EWS station zichtbaar worden gemaakt, een verzoek aan de centrale buffer worden gericht, om beelden van een volgende patiënt te sturen. Bij het model van figuur 5.b is dit laatste niet mogelijk. Daar kan een verzoek om nieuwe patiëntbeelden pas worden gegenereerd nadat de EWS server het proces waaraan begonnen werd, heeft afgewerkt, dus nadat de radioloog de zichtbaar gemaakte beelden niet langer nodig heeft. We kunnen het model van figuur 5.b echter toch gebruiken, maar dienen dan, ter compensatie van het laatstgenoemd effect, de wachtrij die behoort bij een EWS buffer zodanig groter te maken dat deze één proces meer kan bevatten dan de corresponderende buffer.

6.4 Model van de afdeling Radiologie

In figuur 6 is tenslotte het model weergegeven overeenkomstig het blokschema van figuur 2.a, zijnde de afdeling Radiologie. We zien de EWS en OOS werkstations en de beeldacquisitie-apparaten. De acquisitie-apparaten zijn gemodelleerd als een "open" systeem van servers met een wachtrij. Het gehele model van figuur 6 valt met behulp van mean value analysis (MVA) te analyseren.



Figuur 6 Werkmodel van afdeling Radiologie.

7. Conclusies

De ontwikkeling van een volledig PACS (Picture Archiving and Communication System) vergt nog verschillende jaren. De belangrijkste problemen zijn de opslag van zeer grote hoeveelheden beelddata en de beeldcommunicatie. Door compressie van de beeldinformatie is ongeveer een factor 12 te winnen in geheugengrootte en valt tevens de communicatiesnelheid met een zelfde factor te verlagen. Door het toepassen van geheugen-buffers op diverse hiërarchische niveau's en locaties is het wederom mogelijk de communicatiesnelheden drastisch te reduceren. Met behulp van beide technieken, met name die van de compressie en van de buffering is een volledig PACS thans technische binnen bereik. Het valt niet zonder meer eenvoudig in te zien waar buffering en expansie van beelddata het beste kan worden toegepast, d.w.z. een op zo economisch mogelijke manier. Hiertoe en ter bepaling van grootheden zoals buffergrootten, vereiste communicatiesnelheden e.d. is het noodzakelijk van het gehele PACS een model met wachtrijen en servers te definiëren. Evaluatie van deze modellen is mogelijk langs de weg van simulatie maar in sommige gevallen ook wiskundig. Twee voorbeelden van een wiskundige evaluatie worden besproken.

MEDISCHE BEELDKWALITEIT, PSYCHOFYSISCH ASPECTEN EN EVALUATIE

G.W. Seeley

This paper is composed of three sections. The first introduces the general concepts of psychophysics. The second demonstrates its utility in the design and evaluation of systems, system components, and image manipulation techniques. Finally, it describes how psychophysics was used in a project to develop a usable image compression technique for medical images. The project to be described is the combined effort of five groups. These are: the Leiden University Radiology Department, the TU Delft Department of Electrical Engineering, The Leiden BAZIS/IMAGES Hospital Information System group, the Nijmegen University Radiology Department, and the University of Arizona (USA) Radiology Department and Optical Sciences Center, represented by myself. The work was funded by the Netherlands Organisation for the Advancement of Pure Research/ZWO.

1. What is psychophysics?

The human observer is an integral part of any imaging system. Thus, it is imperative that any program to evaluate imaging systems take into account the capabilities and limitations of the human. The most effective means of achieving this goal is to do psychophysical evaluations. Psychophysics is a philosophy and a collection of experimental techniques that were developed in psychology to investigate the relationship between the physical world and our senses. Many techniques were developed but all use the detection or, as in our case, the diagnostic response of the user to evaluate the effectiveness of the system. The two most useful psychophysical methods will be described herein.

The first is based on psychophysical signal detection theory and its powerful ROC analysis. This method is very useful for comparing the effectiveness of different systems to transmit visual information to the user. The second method utilizes checklists of diagnostically important structures and a seeability scale (the radiologists subjective opinion as to how well the structures are displayed) to define the usable information content in a displayed image. It gives the experimenter access to detailed information dealing with information loss. Together, the two methods quantify the information transfer to the user.

1.1 ROC Analysis

In terms of evaluating diagnostic systems ROC analysis is much more effective than using accuracy as your assessment of diagnostic performance. Accuracy is of limited usefulness as an index of

diagnostic performance because disease prevalence affects the resulting numbers. For example, if you are screening for a relatively rare disease, then you can have a very high accuracy just by calling everything normal. ROC analysis uses true positive responses and false positive responses to define the sensitivity of a system. By taking into account both these parameters, and utilizing a controlled experimental situation described below, a single metric such as area under the curve can be calculated which allows a much more precise comparison of different systems.

In a ROC study the experimenter presents a series of precisely controlled images to a number of observers. It is important to note here that very little information can be gathered about system differences unless the images or cases utilized in the comparison have been selected specifically to test the systems. This means that they must be proven cases as to normality and abnormality and that they must challenge the systems in some way. They need to be proven cases so that we can accurately measure the radiologists true positives and true negatives on the systems being compared, and they must challenge the systems being compared because this is the most efficient way of differentiating between them in an experimental situation. An example of this system challenge would be the selection of images with infiltrates or curly B lines to evaluate the spatial resolution needs of an imaging system.

The images presented to the observers usually consist of two types. One type is imaged through the new system or technique by the experimenter and the other is imaged through some standard to which the observers responses will be compared. Within each set of images there are what are called noise images and signal plus noise images. In terms of clinical images these can be defined as normal and abnormal cases. When phantom images are used these two cases represent the absence or presence of some item introduced by the experimenter. Each observer looks at the images one at a time and gives a rating for each image that corresponds to his certainty that the imaged object had or did not have the item the experimenter asked him to look for (figure 1). From this data a receiver operating characteristic (ROC) curve is created and a figure of merit, such as d' or area under the curve is calculated for each experimental mode being compared. Significance tests are then run and the differences noted.

1.2 Checklist Analysis

Checklist analysis is another powerful psychophysical technique. It identifies the important clinically useful structures that are being imaged by each system or technique being studied. It is used in conjunction with a seeability scale (figure 2) that defines the radiologist's subjective opinion as to how well the structures have been displayed. It has two major uses. First, it can help delineate the reasons for the differences noted by the ROC analysis described above. It does this by identifying those structures that are not being

adequately imaged or displayed. With this information we can determine what types of improvements we need to make. Second, the checklist procedure can be used as a mean to get the systems to be compared up to maximum capability before running the ROC analysis. This helps speed up the process of evaluation by decreasing the number of times that a ROC study has to be run. ROC studies take large amounts of time and manpower. Anything that can help minimize the number of studies to be run is a valuable adjunct. Checklists, used properly, do just that.

CERTAINTY SCALE

- 0 - ABSOLUTELY CERTAIN, NORMAL
- 1 - RELATIVELY CERTAIN, NORMAL
- 2 - JUST GUESSING, NORMAL
- 3 - JUST GUESSING, ABNORMAL
- 4 - RELATIVELY CERTAIN, ABNORMAL
- 5 - ABSOLUTELY CERTIAN, ABNORMAL

figure 1 - The certainty scale to be used in the ROC experiments

SEEABILITY SCALE

- 0 - NOT PRESENT
- 1 - PRESENT, NOT SEEN
- 2 - SEEN, NOT ADEQUATE
- 3 - SEEN, ADEQUATE
- 4 - SEEN, EXCELLENT

figure 2 - The scale used in deliniating the seeability of diagnostically important structures in the image.

2. How is psychophysics used?

One of the groups I work with at the University of Arizona is called the digital imaging group. Its main purpose is to develop a totally digital radiology department (TDRD). As a consequence PACS research is of major importance. The research philosophy of this group is to integrate information from physical, psychophysical, and clinical research to define the requirements of and subsequently develop the TDRD. An overview of our long term goals, our research philosophy, and progress to date can be found elsewhere [1]. If you are going to build a TDRD with its consequent PACS system, then some basic questions still need to be investigated. These are: 1. What is the needed spatial resolution?; 2. How well does computed radiography compare to

conventional radiography?; 3. How effective are the present digital work stations?; and 4. What image manipulation techniques will prove useful for incorporation into such a system?

The following is a short overview of some of the PACS related research now being conducted at our department using psychophysical techniques to try and answer these questions.

2.1 Resolution Comparisons

One of the major questions that needs to be answered quickly in developing a PACS or a TDRD is how much spatial resolution is really necessary for a radiologist to make an accurate diagnosis. In our laboratories research relating to this question has been going on for some time. Clinical images have been selected that have structures of diagnostic import that would disappear as resolution is lowered. Using the above described techniques we define the lowest useful resolution for radiologists and for different disease states. A paper published in the February 1987 AJR details the latest findings of my psychophysical laboratory [4]. Another paper extends the work to review consoles [5]. Results to date seem to indicate that for images of the thorax, which we are using as a standard because these images comprise 50% to 80% of general radiology, 2.5 lp/mm or a display matrix of 2048 X 2048 is sufficient spatial resolution for most cases found in the clinic. However, on displays of lower resolution the ability to roam and zoom can make up for not having the full resolution displayed at once.

2.2 Computed Radiography Prospective Studies

We have a computed radiography system (CR) built by Toshiba and have been comparing its capabilities to the standard film screen (FS) system again using actual clinical images. As in all of the cases described in this paper, ROC type data and checklist-rating data forms the basis of our research. The CR has been evaluated for both urography [3] and myelography [6]. Four studies have also been completed but not yet reported in the areas of biliary, vascular, venography, and pneumothorax. Planned are two pediatric studies, five orthopedic, two mammographic, and TCR tomographic studies. The last uses a book cassette and will define the TCR's capability to detect renal stones. To date, data from the completed studies indicates that although quality evaluations sometimes decline, there is no difference between TCR and FS in terms of diagnosis capability. In addition, dose is lowered. CR has proved especially useful in portable examinations. Reducing exposure and saving in time due to only one image having to be taken in place of the multiple images necessary for getting a useful image in FS radiology.

2.3 Evaluation of Digital Displays and Workstations

We have just completed an evaluation of the Matrix/Azuray display. With appropriate contrast manipulation capabilities it gives the same diagnostic information to the radiologist as we found in other studies. We have also just recently reported [5] our first evaluation of a review console built by our group. It has 1024 X 1536 spatial resolution, window and leveling capability, roam, zoom, and high and low pass filtering capabilities. We find that even though it cannot display images at full 2.5 lp/mm resolution, it is capable of rendering the same diagnostic information to the radiologist as that found on film. In all cases clinical images were used and the radiologists responded using the experimental paradigm described above.

2.4 Image manipulation/enhancement

Image manipulation and enhancement plays an important role in all of our research. One recently completed study looked at the efficacy of using histogram equalization combined with histogram hyperbolization (cube root) to increase detection of simulated nodules. We were able to increase true positives to virtual perfection for two radiologists, while false positives were held to only one. However images produced by this technique produced images which were not considered as realistic chest images. We are now in the process of producing images that we feel will give the same detection accuracy while maintaining the acceptability of the resultant image.

Another undertaking, that is not directly being carried on in our laboratories, deals with evaluation of image compression techniques. As mentioned above, this research is being conducted as a joint project between the University of Arizona Radiology Department and four groups here in the Netherlands. A detailed description of the philosophy and goals of this work is described elsewhere [2]. In the next section of this paper, I will give a general overview of the project and the first results of this successful collaboration.

3 A specific experiment

One thing I cannot emphasize enough is that work of this type must be a collaboration. At the University of Arizona and now here in the Netherlands successful completion of such projects take careful planning and allocation of expertise. Without one component, the rest cannot do their job adequately. To aid in this, the five groups have built what we call a computer based diagnostic quality assessment chain. Its main purpose is to aid us in evaluating the effects of system components, image manipulation, and system integration within the area of PACS. Our system lets us design studies, run them, and do analysis in a very speedy and controlled manner. To do this we have created a series of software programs that control all aspects of the research cycle. These

programs have been implemented on both mini and micro computers to further facilitate the research process. These programs are based on the checklist and ROC analysis techniques described above. In addition to all this we have begun to develop a digital image library.

To test this image evaluation chain we designed a series of studies to test the diagnostic performance of an image compression technique that was developed at TU Delft and is based on sub-band coding. It was applied to CT scans of the upper abdomen supplied first by the Radiology Department at Nijmegen for initial tests and subsequently by the Radiology Department AZL. Through BAZIS/IMAGIS endeavors the work is being sponsored by the Netherlands Organisation for the Advancement of Pure Research, ZWO (National Informatics Facility).

The area of image compression has a tremendous potential in the PACS field. If the number of bits in an image can be reduced, then transmission and storage limitations with present technology can be mitigated. However, we must be certain that the image that is reconstructed after compression is of sufficient diagnostic quality to enable the radiologist to render a proper diagnosis. Thus, psychophysical studies are a must for calibrating the algorithms and for verifying the diagnostic content of the compressed images.

This research was carried out in two stages. The results of which are being reported here for the first time. In the first, the compression algorithm was "tuned". To do this we initiated an interactive procedure between the developers of the algorithm and the radiologists. Ten clinical images were used in this phase of the research. The original CT images were selected by experts in the field and then be compressed and uncompressed using different values of the compression algorithm. Two radiologists from the Radiology Department, AZL then rated the original and the compressed images as to structure seeability. After analyzing these responses and inconference with the radiologists, the developers of the algorithm, and myself, it was decided that a training set of four images was necessary for making the code book or look-up-table to be used in the algorithm, and that compressions of up to 20:1 seemed feasible.

Next we applied the algorithm to a large set of clinical images to evaluate the capability of the algorithm to deliver diagnostic information. During the process of writing these newly compressed images to film it was noted that some images were not as good quality as others and that those that were not of adequate quality differed in size from the better images. Subsequent analysis showed that the algorithm was size dependent. Thus, a new code book was developed for these smaller images and the quality of the reconstructed images improved dramatically.

These findings demonstrate the usefulness of the psychophysical procedure for aiding in the development of a new technique. This information might have been discovered otherwise, but by formally testing the algorithm with real images in the normal work setting, specific improvements that relate to the needs of the radiologists can be identified quickly and easily and then implemented in a timely fashion before actual verification of the process begins.

In stage two, the forty-eight images selected for the study were compressed using two different levels (16:1 and 20:1). Three subsets of the images were set up in which no image was repeated. This was done to avoid bias due to the radiologist remembering what he had responded previously to the same patient. Each set consisted of sixteen originals, sixteen 16:1 compression images, and sixteen 20:1 compression images. These sets were then shown to three radiologists (one each), and ROC and checklist information gathered. Again to avoid bias due to memory, none of these radiologists in this stage had participated in the "tuning" phase of this study. In addition to ROC and checklist data, another set of data was also gathered. After each radiologist had responded to all of the images in his set, they looked at the images again, one at a time, and tried to discern if it was an original image or a compressed image. This was done to assess how good the quality of the compressed images were compared to the originals. Results from this stage showed: 1. The compressed images contained all the diagnostic information necessary for making an accurate diagnosis; 2. All structures were evaluated as excellent or good even in the highest compression images; and 3. Up to half of the 16:1 compression images were called originals by all three radiologists and one radiologist called 1/5 of the 20:1 images, original.

With the success of both stages of this research, we feel that we have shown: 1. Psychophysics is a definite aid in developing or evaluating image manipulation techniques in real time; 2. The sub-band coding technique of compression can easily be used on CT scans with up to 20:1 compression; and 3. Research of this type benefits greatly from combining the expertise of many different disciplines.

References

- [1] Dallas, W.J., T.W. Ovitt, M.P. Capp, H. Roehrig, G.W. Seeley, R. Martinez, K.M. McNeill, R. Vercillo, R.D. Lamoreaux, C. Archwamety, M. Mematbakhsh, M. Kakegawa, K. Komatsu, E. Nishihara, M. Suzuki, T. Ozeki, H. Umino
Prototype totally digital radiology department. Conception and initiation.
Proc. Medical Imaging Conference, SPIE, Vol. 767 (1987) paper 116.
- [2] Valk, J.P. de, H. Kroon, D.E. Boekee, G.L. Reijns, L. van Erning, G.W. Seeley, R. Reemer, R. Bor, A.R. Bakker
The set-up of a diagnostic image quality evaluation chain.
Proc. Medical Imaging Conference, SPIE, Vol. 767 (1987) paper 90.
- [3] Fajardo, L.L., B.J. Hillman, T.B. Hunter, H.R. Claypool, B.R. Westerman, B. Mockbee
Excretory urography using a computed radiography system.
Radiology (In Press 1987).

- [4] Seeley, G.W., H.D. Fisher, M.O. Stempski, M. Borgstrom, J. Bjelland, M.P. Capp
Total digital radiology department: Spatial resolution requirements.
AJR, February 1987.
- [5] Seeley, G.W., E. Robles, G. Cannon, J.C. Bjelland, T.W. Ovitt, J. Standen, M.P. Capp, H.D. Fisher, W.J. Dallas
The use of psychophysics as a system design aid: comparison of film-screen to an electronic review console.
Proc. Medical Imaging Conference, SPIE, Vol. 767 (1987) paper 77.
- [6] Yang, P.J., G.W. Seely, R.E. Carmody, J.F. Seeger, M.T. Yoshino, B. Mockbee
Conventional vs. Computed radiography: evaluation of myelography.
(Submitted to AJNR, January 1987).

TECHNICAL ASPECTS IN PACS-SYSTEMS

H. Ecklundt

I want to discuss technical issues of the PACS. As I'm with Philips, this presentation is based on our experience in PACS implementation with MARCOM, the Philips product.

There are six major items to talk about:

- * hospital organization
- * data and images
- * archiving
- * communication
- * image presentation and manipulation
- * future trends

Organizational aspects

PACS provides a service to the radiological department. In these departments there are certain proceedings today, which hospitals most probably want to retain but supported by PACS. Therefore we need to mirror these procedures into our implementation. However, one of the consequences of PACS will be change-over to new procedures in the future. And today, the procedures we are faced with vary from hospital to hospital. All this requires a flexible design.

When a PACS is in service, you most probably would like to use it at every possible point of entry. These may be simple terminals or may be the actual imaging equipment via a user interface. Data should be entered only once into the system and then must be accessible everywhere.

Access to information must be fast, if we are to provide efficient service. This constrains the use of relational databases today. They support a number of access keys, but at the cost of slower response. At the moment therefore hierarchical databases are preferred.

Data and images

We have data of various types and descriptions in a PACS. The first category is alphanumeric data, in this case demographic data, relating to the images. The second category is the images themselves (e.g. pixel data). The images represent 98% of the bits handled in the system, but only 2% of all the accesses, whereas demographic data and commands represent 98% of all the accesses. Because of this inhomogeneous data flow, there was a time when we had separation of physical links in mind

for the two categories. But as standards are set now, both are handled in mixed traffic, allowing for one physical communications medium. This change necessitates a more complex handling by the system software.

Archiving

The problem of archiving lies in the dump and access requirements. Of course everyone would like to have this happen instantaneously, which is technically not possible today. The amount of data to be archived may reach or even exceed 1 Gigabyte per week. Today's modalities don't procedure that much, but with computed radiology, 1 Gigabyte, about the amount which can be stored on half an optical disk, will be reached.

With the number of DR's written increasing, storage can't be online. Fortunately access decreases over time, so that requirements can be lessened and be substituted by organizational means.

Only the latest disks or those still in frequent use are kept in direct access, which means available in less than 5 seconds. Older disks are kept in jukeboxes as on-line archive and available in less than 12 seconds. Rarely used old disks may be kept offline; they require operator intervention before they can be accessed. However, the system has to be in a position to inform you about the availability of images, wherever they are stored.

To limit the shortcomings of this procedure, optical media are used for archiving. Only optical storage offers the capacity we need. However, we have to accept one disadvantage: The direct access is not as fast as that with winchester disks. But it is the only technique of mass storage, which is available today and has had time to mature. Improvements may be expected over time.

Communication

The Communications requirement is also of common to all users. Communication must be very fast, 1 Megabyte in one second is the present, challenging goal. We hope to come close to it by the use of fiber optics.

The traffic is primarily point-to-point, not cross-way. Thus the topology is of the star-type. A PACS is not like computer network systems, because the nodes are used in a different way.

In order to come to an appropriate solution for our application, a special standard was set up. This standard will only improve efficiency, if all modalities adhere to it. At present, manufacturers of imaging equipment are slowly moving towards it, but it will take time for its implementation across the whole system.

Viewing

Viewing stations are the most challenging task in PACS. Manual flip or rotation of paper images is quite a simple thing. But it's easy to imagine the difficulty of doing either by electronic means.

We are thus in the heights of technology. For archiving the processing speed must exceed that of the normal computers we have today. We need image manipulation etc. of images which are 2k by 2k pixel in size and 12 bit in depth. At the moment there are simple workstations at which we can look at the images, but it's not the end of the road by far.

To sum up, we want to get rid of the "silver" operation. This will result in image processing with more than 4 Megabyte executed in fractions of a second. Additionally the handling of such a system must be ergonomical. User interfaces have to be developed. This requires close cooperation with the user, because it goes beyond a "simple" technical task.

Future aspects

As just mentioned, proper operation of the system requires input and feedback from users. What we are dealing with, is an expert system, probably one of the most fascinating of expert systems. The user interface is just one aspect. The way radiologists work with the whole system, and how it reaches into departmental organization, makes it more characteristic of an expert system. It will run through several iterations before it gets fully developed and accepted.

Conclusion

We have got the technologies to build a PACS today. But it's not technology that meets all the demands expressed. For this reason all of us working together, researchers, manufacturers and users, will have to move toward the final PACS goal step by step. This is a proper approach, too, when we consider the impact PACS has on departmental organization. And this will prove a long term element of PACS, as we increasingly grow to understand PACS as an expert system. We are just at the beginning.

PACS; IN VOGELVLUCHT DOOR EUROPA, USA EN JAPAN

J.P.J. de Valk

Achtergrond

Gedurende een aantal jaren wordt onderzoek verricht naar een "Systematisch ontwerp van een geïntegreerd beeld informatie systeem voor ziekenhuizen". In het kader van dit project NFB 62-504 zijn enige studiereizen gemaakt. Buiten Europa was dat in 1985 een reis naar de U.S.A. [2, 3] en onlangs, mei 1987, een reis naar Japan [4], waar in de loop van twee weken een bezoek gebracht werd aan zes prominente instituten en drie grote bedrijven. Een selectie vond vooraf plaats, middels voorkennis gebaseerd op persoonlijke contacten, aanbevelingen vanuit Japan en publicaties, op grond van het niveau van activiteiten op het gebied van de Picture Archiving and Communication Systems, afgekort PACS. Beide studiereizen werden gefinancierd door ZWO in het kader van de nationale Faciliteit Informatica en georganiseerd door K. Bijl en mijzelf.

De delegatie naar Japan was samengesteld uit de projectleiders: prof.dr. A.R. Bakker (RUL/BAZIS), prof.ir. G.L. Reijns (TU Delft), dr.ir. J.P.J. de Valk (BAZIS) en onderzoekers/betrokkenen bij het Nederlandse nationale PACS-project: ir. K. Bijl (BAZIS), prof.dr.ir. D.E. Boeke (TU Delft), dr.ir. B.M. ter Haar Romeny (AZU) en F. Linnebank, radioloog (secr. Ned. Ver. voor Radiodiagnostiek). Ten behoeve van dit project werken samen AZU, BAZIS, TU Delft en Philips International (Medical Systems Division). Door het Ministerie van WVC is een voorlopige subsidie toegekend tot 1990.

De reis naar Japan zal ruim behandeld worden.

Een uitgebreid, Engelstalig, rapport hierover is samengesteld [4]. Momenteel wordt bij BAZIS het secretariaat gevoerd van de Europese PACS-organisatie, EUROPACS, en is ook via die weg de EUROPACS Newsletter [5], die een overzicht van de stand van zaken in Europa geeft, te verkrijgen. Teruggrijpend op de ervaringen opgedaan tijdens de reis naar de U.S.A. zal deze Europese PACS-situatie belicht worden. De volgende instellingen zijn bezocht in Japan (in chronologische volgorde):

NEC, Tokyo

Konica, Tokyo

Kitazato University Hospital, Tokyo

Kanagawa Cancer Center, Tokyo

National Cancer Center, Tokyo

Toshiba Medical Systems, Nasu

Hokkaido University Hospital, Sapporo

Kochi Medical School, Kochi

Kyoto University Hospital, Kyoto

De studiereis naar Japan

NEC, Tokyo

NEC concentreert zich met name op het door hun, met 'C&C' aangeduide, terrein van computers en communicatie.

Momenteel is het zogenaamde MediFile-1000 stand-alone archiverings-systeem leverbaar voor medische toepassingen op PACS gebied; dit, al wat verouderde, systeem is op diverse plaatsen in Japan in gebruik en werd ook aan onze delegatie gedemonstreerd.

Nog in de ontwikkelingsfase is het zogeheten NEPACS 1000 systeem, dat kortweg de volgende karakteristieken zal hebben:

- 1) Maximaal 2 NEC digitale taperecorders met een beeldopslagcapaciteit van 106 Gigabytes per tape (12 inch), en een datatransmissiesnelheid van 800 Kilobytes per seconde, 6 minuten geïndexeerde spoeltijd, 'helical scan'-principe. Dit zou de opslag van 320.000 beelden van 2000 bij 2000 beeldpunten (elk 10 bits), na een data compressie met factor 16, mogelijk moeten maken volgens NEC.
- 2) Een halfgeleider buffergeheugen van 32 Megabytes.
- 3) Een CCD-digitizer om beelden van 2000 bij 2000 punten met een resolutie van 10 lijnpaaren per millimeter te digitaliseren.
- 4) Een optische disk eenheid met 2 Gigabytes opslagcapaciteit.
- 5) Een beeldwerkstation met minimaal 2 hoge resolutie beeldschermen.

NEC lijkt de enige Japanse firma te zijn die zich bezighoudt met de toepassing van magnetische recorders voor beeldopslag binnen PACS. Er bestaat van oudsher veel ervaring met videotechneken, die daarom ook zoveel mogelijk binnen hun PACS-ontwerpen worden toegepast. Het plan is om beelden na compressie met een factor 16 over een glas-fiber ringnetwerk te transporteren. De compressie zou uitgevoerd worden door speciaal daarvoor ontworpen hardware, die in 2,8 seconden een beeld van 2000 bij 2000 beeldpunten zou kunnen bewerken. Een jukebox voor optische disks wordt momenteel verder ontwikkeld.

Konica, Tokyo

De activiteiten van Konica op PACS gebied zijn geconcentreerd op ontwikkelingen die gerelateerd zijn aan fotografisch materiaalgebruik. Het hoofdonderzoek houdt zich bezig met digitaliseren van fotomateriaal en digitale radiodiagnostiek, waarbij men fotomateriaal in- of uitvoert. Onze delegatie kreeg de laatste snufjes op dit gebied te zien, die in feite bedoeld zijn om op OEM-basis in PACSysteem verwerkt te worden. Konica werkt nauw samen met de UCLA-groep van professor Huang [1]. Hoewel men ook hier de noodzaak van datacompressie benadrukte, heeft men de eigen methodieken nog niet diagnostisch geëvalueerd. Naast dit hoofdonderzoek werd er ook gekeken naar onderzoek omtrent database management en de optimale beeldpresentatie aan de menselijke

waarnemer.

Met name standaardisatie in beeldopslag en communicatie werd benadrukt als zeer belangrijk.

Kitazato University Hospital, Tokyo

Het bezoek aan de afdeling radiologie viel in drie delen uiteen:

- 1) Presentatie per videotape met toelichting, van het functionerende (al wat verouderde) Hitachi ziekenhuisinformatiesysteem, dat voor ons weinig nieuws bevatte; opvallen was het surplus aan HIS hardware, vooral voor opslag van gegevens.
- 2) Rondleiding door de afdeling, waarbij wij de indruk kregen dat dit een plaats is waar veel fabrikanten graag apparatuur willen installeren uit overweging van de public relations.
- 3) Bespreking met werknemers van de afdeling, waarbij met name door taalproblemen weinig diepgang bereikt kon worden.

In de discussies werd een vrij passieve houding ten opzichte van industriële partners getoond. Men wacht klaarblijkelijk gewoon hun aanbiedingen af. Een duidelijke filosofie over de aanpak van PACS-problematiek bleek (nog) niet aanwezig, o.a. mede doordat men zich pas sedert april 1987 echt in deze materie heeft verdiept. Serieuze ontwikkelingen binnen deze afdeling worden pas per maart 1988 voorzien.

Kanagawa Cancer Center, Tokyo

De ontwikkelingen op weg naar een volledig digitale radiodiagnostiek binnen dit instituut leken ons veelbelovend, hoewel een van de grote momentele tekortkomingen is het ontbreken van een radiologie, informatie systeem (RIS) en daarmee samenhangend is met het ziekenhuis informatie systeem (HIS). Men is begonnen met zogeheten Computed Radiography (digitaal uitleesbare platen i.p.v. analoog fotomateriaal), en met de integratie van twee afbeeldingsmodaliteiten, te weten CT en MRI. Computed Radiography is veel verder verbreid in Japan dan elders in de wereld.

Bij het Kanagawa Cancer Center kon men ons geen kosten/batenschatting geven voor CR. Men is er van overtuigd dat de introductie van CR de beste weg is om, zoveel mogelijk met instandhouding van de bestaande afbeeldingsapparatuur, in de toekomst een volledig digitale afdeling te realiseren. Daarbij worden bijvoorbeeld afbeeldingskwaliteit en aantal benodigde opnameherhalingen in de gaten gehouden. Meer geavanceerde PACS-technieken dan de introductie van CR en koppeling van modaliteiten onderling worden een stadium later voorzien. Men geloofde vooralsnog niet in een filmloze afdeling, met name niet omdat sommige afbeeldingen in analoge vorm het beste tot hun recht zouden komen, en vanwege de toch wel grote hanteerbaarheid van de huidige films, naar het oordeel van de meeste radiologen ter plekke.

National Cancer Center, Tokyo

De getoonde PHD (Personal Health Data) apparatuur van het Nationaal Cancer Center zou belangrijk kunnen zijn in relatie tot PACS. Het zogenaamde PHD systeem is gebaseerd op het idee dat de klinische status (inclusief beelden) van een patient opgeslagen zou kunnen worden op een door de patient te dragen medium. In 1982 werd het eerste Japanse project om dit idee te toetsen gestart. Momenteel bestudeert men o.a. het optimale opslagmedium en problemen met name standaardisatie-kwesties.

Een van de grote problemen hierbij is de introductie van zo'n systeem in het gehele land. Hierbij zou de patient een grote verantwoordelijkheid moeten hebben. Er moet gebruik gemaakt worden van een zeer omvangrijke en consistente database.

Het National Cancer Center PHD-project staat nog in de kinderschoenen. Er is geen kosten-effectiviteitsonderzoek gedaan. Verder is het nog onduidelijk, welke gegevens een PHD zou moeten bevatten. Misschien dat de Japanse mentaliteit (discipline/betrokkenheid bij moderne techniek) het eenvoudiger maakt PHD in te voeren; in elk geval lijkt dit nog ver weg voor de huidige Westerse maatschappij.

Toshiba Medical Systems, Nasu

Toshiba is als een vooraanstaand fabrikant van medische afbeeldingsapparatuur, uiteraard geïnteresseerd in PACS. Het bedrijf kan beschikken over veel hardware, software en menselijke expertise op het gebied van PACS, en met name de beeldverwerking.

Al enige tijd is het TDIS beeldwerkstation direct leverbaar. Het is te zien als een eerste poging om een stand-alone werkstation te realiseren, dat gekoppeld kan worden aan elke acquisitie-eenheid en op die wijze een PACS component wordt.

De toekomstige opzet voor een Toshiba PACS is nog onduidelijk, maar er wordt aanzienlijk geïnvesteerd op dit terrein. Toshiba ziet Philips als een van de grote concurrenten hier.

Het lijkt erop dat Toshiba, met name in software, een behoorlijke achterstand heeft met RIS/HIS ontwikkelingen, hoewel men krachtige pogingen doet de achterstand te overbruggen.

Voor zover wij de meest recente onderzoeksresultaten en productontwikkelingen te zien kregen, troffen we veel overeenkomsten aan met ontwikkelingen in Nederland [6]. Onderwerpen van onderzoek waren bijvoorbeeld koppeling en integratie van PACS met RIS/HIS, computer modellering en simulatie en beeldkwaliteitsevaluatie gerelateerd aan datacompressie en menselijke waarneming. De Toshiba pilotstudie in Kochi (zie verderop) vertoonde overeenkomsten met de Nederlandse pilotstudy. Hoewel men benadrukte dat het prototype-stadium nog maar net bereikt was, lijkt Toshiba de breedst georiënteerde Japanse toekomstige PACS leverancier, zowel door haar achtergrond als toekomstige doelstellingen.

Hokkaido University, Sapparo

Er bestaan hier zeer ambitieuze plannen betreffende activiteiten op PACS en HIS gebied. Er is een budget van 4,5 miljoen gulden per jaar aangevraagd bij de Japanse regering. Men wil met behulp van NEC apparatuur op, naar onze mening, zeer korte termijn een volledig PACSysteem realiseren. Men denkt binnen twee jaar een systeem operationeel te hebben en binnen vier jaar zonder fotografisch materiaal te kunnen werken. PACS wordt als een essentieel onderdeel van een HIS gezien. Tijdens de rondleiding bleek er een grote hoeveelheid (nogal incoherente) nieuwe apparatuur aanwezig te zijn, waaronder:

- Optische disksystemen, die in normaal gebruik leken te zijn
- Het eerder genoemde MediFile-1000 systeem van NEC
- Laserscanner en printer
- Fuji CR systemen

Hoewel de projectomschrijving (alleen in Japanse versie beschikbaar) zeer ambitieus is en men groot enthousiasme vertoonde, lijkt het projectmanagement (nog) zwak en het tijdschema zeer krap in onze ogen. Wellicht worden door de Japanse regering aan Sapporo, evenals aan Kochi, extra faciliteiten toegekend om politiekege redenen en vanwege geografische aspecten.

Kochi Medical School, Kochi

In Kochi wordt momenteel een PACS pilotstudy uitgevoerd (binnen een periode van 5 jaar), die sterk gebaseerd is op directe klinische interactie. Het is niet duidelijk hoeveel mensen er direct betrokken zijn bij deze studie. Een gunstige omstandigheid is de locale ondersteuning door Toshiba met 2 tot 3 part-time ingenieurs.

De apparatuur die Toshiba in januari-maart 1987 installeerde, is nog in een experimenteel stadium. Het blijkt dat Kochi na de University of Arizona [7], de grote testsite voor Toshiba is.

Er is een verbinding met het (IBM) HIS gepland voor het definitieve PACS. Drie radiologen werken met twee experimentele TDIS PACS consoles en een aparte HIS-terminal.

Er zijn veel gegevens betreffende het beeldgebruik op de afdeling radiologie verzameld, die ook gebruikt worden voor het bepalen van de uiteindelijk noodzakelijke beeldopslagstructuur. Men streeft er naar het uiteindelijk geheel zonder filmmateriaal te werken en voorziet dit binnen 5 jaar.

Kyoto University Hospital, Kyoto

In Kyoto richt men zich in eerste instantie met name op de volledige opslag van CT-beelden in het PACS-prototype, dat in samenwerking met Hitachi ontwikkeld wordt. Er werd ons een operationele juke-box met 32

optische disks getoond met elk een opslagcapaciteit van 2.6 Gigabyte per kant. Men acht de evaluatie van beeldwerkstations en de werkwijze ermee van groot belang, doch de plannen daaromtrent werden niet duidelijk.

Voorzover het de planning betrof, verschilde deze duidelijk van die van Kochi en Sapporo, in die zin dat men zich veel optimistisch uitliet (terecht?). Over het algemeen kregen we de indruk dat er hier systematischer nagedacht is en wordt over PACS en met name de ermee samenhangende problemen, dan op de andere bezochte locaties. Ook heeft men al internationaal gepubliceerd [8]. Het Hitachi (HIPACS) werkstation, met alle drie muis- en ikoon bestuurd hoge resolutie beeldschermen (1280*1024), maakte veel indruk op ons.

Samenvatting en conclusies

Hoewel er de afgelopen jaren veel vooruitgang is gerapporteerd op PACS terrein, kan er nog steeds nergens ter wereld een compleet en werkend systeem bekeken worden.

In tegenstelling echter tot de verwachting tijdens onze studiereis door de U.S.A. in 1985, verwachtten we tijdens de studiereis door Japan niet (meer) om zo'n compleet systeem aan te treffen. Intussen zijn echter aanzienlijke vorderingen gemaakt op de terreinen van beeldopslag, communicatie en beeldstation ontwerp, ontwikkelingen, die wij wilden onderzoeken en waarop wij wilden selecteren voor een bezoek.

Een van de conclusies na de PACS studiereis door de U.S.A. in 1985 was het ontbreken van een algemeen concept als basis voor het ontwerp van PACS. Bovendien bestond er op geen van de bezochte lokaties een duidelijk plan over de introductie van PACS in de medische werkomgeving. Ook ontbrak er een uitsluitend op PACS gerichte organisatie (afgezien van het hoofdzakelijk op standaardisatie gerichte ACR/NEMA committee). In Japan is er wel een dergelijke organisatie bestaat er wel in Japan onder de naam JAPACS. Deze JAPACS is, in tegenstelling tot de EUROPACS, samengesteld met uitsluitend vertegenwoordigers van de grote (uiteraard Japanse) bedrijven, die zich met PACS bezighouden.

Alle bezochte instellingen spreidden een eigen aanpak van PACS gebied ten toon. Met name de beoogde omvang van de systemen waar men aan werkt is zeer verschillend, variërend van PACS 'op kleine schaal', beperkt tot een afdeling, tot een PACS 'in volle omgang' voor het gehele ziekenhuis.

Het lijkt erop dat in Japan momenteel in elk geval veel serieuzer op een echt scenario voor de ontwikkeling en introductie van PACS gestudeerd wordt dan in de U.S.A. (in elk geval in 1985). Wij constateerden dit met name op het gebied van opslag, communicatie en klinisch beeldwerkstation ontwerp.

Hoewel veel Japanse onderzoekers zich tijdens ons bezoek zeer geïnteresseerd toonden in de beoordeling van beeldkwaliteit [9] en de inte-

gratie van PACS met HIS/RIS, konden ons (nog) geen overtuigende resultaten op deze terreinen getoond worden. Gaandeweg werd (net als tijdens de Amerikaanse studiereis) het ons steeds duidelijker dat met name vereiste software en de complexiteit van de systeemstructuur van PACS onderschat worden.

Men kan zonder meer stellen dat de Japanse ontwikkelingen minstens zo 'technology-driven' zijn als de Amerikaanse, hoewel in Japan de bedrijven de voornaamste stuwende kracht blijken te zijn. In de U.S.A. zijn dit duidelijk de Universiteitsinstituten. In elk geval leek ons de situatie in Nederland, waar multidisciplinair samengewerkt wordt op PACS gebied door instellingen als AZU, BAZIS, TU Delft en Philips International evenwichtiger. Hetgeen overigens vaak door de Japanse gastheren bevestigd werd.

Aangezien het personeelsbestand, werkzaam op PACS gebied bij de bezochte instellingen nooit groter was dan het Nederlandse project, waren de geplande tijdschema's in Japan naar onze mening zeer krap. Men rekent op 5 jaar of minder (met uitzondering van Kyoto), in tegenstelling tot onze eigen schatting van 10 jaar of meer. Overigens was soms merkbaar dat de Japanse gemeenschap veel opener lijkt te zijn ten opzichte van nieuwe technologieën en ontwikkelingen en daarop ook minder kritiek heeft, dan in West-Europa gebruikelijk is. Dit is natuurlijk een prettige situatie voor de Japanse fabrikanten. Deze kunnen rekenen op een betrouwbare en stabiele thuismarkt voor hun producten. Een kosten/baten analyse van PACS en daarmee samenhangend onderzoek werd ons nergens getoond. Misschien ziet men de noodzaak daartoe in Japan ook minder in dan bij ons.

Zeer opmerkelijk is het klinisch gebruik op dit moment van meer dan 100 Computed Radiography (CR) systemen in Japan. In de U.S.A. is dit aantal veel geringer vergeleken en in Europa vrijwel nul. De relatief eenvoudige invoering daarvan in Japan kan o.a. te maken hebben met de zeer beknopte wijze van verslaggeving van de Japanse radiologen in combinatie met hun positieve houding t.a.v. technologische innovatie en met de actieve steun die de Japanse overheid verleent aan de ontwikkeling van dergelijke technologieën.

Veel van de waargenomen technologische ontwikkelingen verschilden niet veel van die in Europa en de U.S.A.. Zoals bekend is bestaat er een nauwe relatie tussen het vakgebied van 'image processing' en PACS, met alle gevolgen van dien voor wederzijdse inbreng. Voor de beeldopslag worden uitgaande van de video-technologie, naast optische media ook magnetische media bestudeerd. Er is een sterke tendens om de werkgeheugen in beeldwerkstations zoveel mogelijk uit halfgeleider RAM op te bouwen, ten nadele van snelle disktechnologie te gebruiken. Uiteraard houdt dit ook verband met de beschikbaarheid van geheugenchips met een steeds grotere capaciteit.

Men steekt veel energie in de bestudering van presentatie van beelden

aan de menselijke waarnemer, maar echt nieuwe ontwikkelingen hebben we niet gezien. Er wordt met name hard gewerkt aan de toepassing en verfijning van bestaande en welbekende principes en technieken.

Fundamenteel onderzoek, zoals bijvoorbeeld naar benodigde resolutie en toelaatbare datacompressie voor een bevredigende diagnostiek, wordt niet gedaan, voor zover wij zagen, en de meeste beslissingen zijn gebaseerd op hoofdzakelijk pragmatische en soms zeer subjectieve gronden (o.a. kleurtoepassing). Wel is er grote belangstelling voor resultaten van fundamenteel onderzoek elders en blijkt men daar over het algemeen ook goed van op de hoogte te zijn.

We hadden gehoopt om nieuwe benaderingen voor het opzetten en hanteren van een database voor medische beelden of voor beeldcommunicatie over snelle netwerken te zien, hetgeen niet gebeurd is.

In Japan ligt momenteel de nadruk op ACR/NEMA achtige standaards (hun zogenaamde MIPS committee gebruikt de ACR/NEMA standaard als uitgangspunt) en is men unaniem vastbesloten een eigen Japanse standaard te ontwikkelen, waaraan geheel Japan zich zonder restrictie zal houden. Dit proces is in volle gang en lijkt momenteel sneller te vorderen dan soortgelijke ontwikkelingen in de U.S.A. en West-Europa.

Hoewel men bij de meeste van de bezochte instellingen het belang van de integratie tussen PACS en HIS/RIS onderschreef, soms zelfs sterk benadrukte, loopt men in het algemeen op dit terrein (met name softwarematig) enige jaren achter. Er bestaat geen samenwerking tussen groepen werkzaam op dit terrein bijvoorbeeld in academische ziekenhuizen en de voornaamste marktaandelen zijn in handen van Japanse giganten als Hitachi en Fujitsu (IBM heeft een zeer klein marktaandeel). Meestal wordt er door ontwikkelaars binnen de ziekenhuizen nauw samengewerkt met de hardware-leveranciers.

Over het algemeen zijn de problemen met PACS in Japan niet zo veel verschillend van die door onszelf ondervonden, hetgeen uit menige discussie met Japanse onderzoekers bleek. Wel zijn er soms grote verschillen in aanpak, zowel met ons, als onderling in Japan. Gebaseerd op eerste indrukken, constateren wij overeenkomsten tussen AZU en Kochi Medical School (klinische studie), tussen BAZIS en Kyoto University Hospital (totale projectfilosofie en opzet) en tussen Philips en Toshiba (als grote fabrikant en leverancier). Het onderzoek van andere bezochte fabrikanten (NEC en Konica), vertoonde soms vergelijkbare karakteristieken met onderzoek aan de TU Delft, hoewel de aanpak veel pragmatischer en toepassingsgerichter is. De overige instellingen hadden veel technische bezienswaardigheden en er werden ons interessante (meestal technisch-wetenschappelijke) resultaten getoond in beide Cancer Centers, Kizatatato University en Hokkaido University.

De studiereis kan zonder meer succesvol genoemd worden, en voldeed wat betreft opbrengst aan de verwachtingen (die overigens minder hoog-

gespannen waren dan tijdens de eerdere studiereis naar de U.S.A.). De opgedane ervaringen en ontvangen informatie zullen goed van pas komen bij de verdere ontwikkelingen in Nederland.

Literatuur

- [1] Huang, H.K., N.J. Mankovich, P.S. Cho, et al.
PACS in Japan - Commentary. American Journal of Röntgenology,
Vol. 148, februari 1987, blz. 427-429.
- [2] Valk, J.P.J. de, A.R. Bakker, K. Bijl, et al.
PACS reviewed: Possible and coming soon?
Journal of Medical Imaging, Vol. 1, 1987, blz. 77-84.
- [3] Bijl, K., J.P.J. de Valk
State of the art van PACS in de VS; verslag van een studiereis,
september-oktober 1985.
VMBI Tijdschrift voor Medische Informatica TMI, Vol. 15, no. 2,
1986, blz. 30-31.
- [4] Valk, J.P.J. de, A.R. Bakker, K. Bijl, B.M. ter Haar Romeny,
F. Linnenbank, G.L. Reijns, D.E. Boekee
Report study tour on PACS to Japan, may 9-22, 1987.
Gepresenteerd tijdens de Studiedag PACS, TU Delft, 18 juni 1987.
Report BAZIS, Leiden, august 1987.
- [5] Valk, J.P.J. de (editor)
EuroPACS Newsletters, BAZIS, Leiden, 1985-1987.
- [6] Valk, J.P.J. de
IMAGIS: een geïntegreerd medisch beeldverwerkingssysteem.
VMBI Tijdschrift voor Medische Informatica TMI, Vol. 14, no. 4,
1985, blz. 27-28.
- [7] Dallas, W.J., T.W. Ovitt, M.P. Capp, et al.
Prototype totally digital radiology department: conception and
initiation.
Proc. SPIE Conference on Medical Imaging.
R.H. Schneider and S.J. Dwyer (eds.).
SPIE, Vol. 767, 1987, blz. 700-707.
- [8] Komori, M., K. Minato, Y. Nakano, et al.
Pilot PACS with on-line communication between an image workstation
and CT scanners in a clinical environment.
Proc. SPIE Conference on Medical Imaging. R.H. Schneider and S.J.
Dwyer (eds.).
SPIE, Vol. 767, 1987, blz. 744-751.
- [9] Valk, J.P.J. de, H.M. Kroon, D.E. Boekee, et al.

Setup of a diagnostic image quality evaluation chain.
Proc. SPIE Conference on Medical Imaging, R.H. Schneider and S.J.
Dwyer (eds.).
SPIE, Vol. 767, 1987, blz. 772-781.

USER INTERFACE VAN EEN MULTIFUNCTIONEEL BEELDSTATION VOOR DE RADIOLOGIE

R. den Buurman

Inleiding

PAC Systemen voor interactief gebruik zijn in opmars [1]. Het user interface van de beeldstations vormt daarbij het contactvlak waar bediening en informatieuitwisseling tussen gebruiker en systeem zich afspelen. Systeemfuncties zijn slechts toegankelijk voor zover en op de wijze waarop zij door soft- en hardware van de user interface aan de gebruiker gepresenteerd worden. De user interface bepaalt derhalve in belangrijke mate de functionaliteit en de gebruiksvriendelijkheid van het systeem en daarmee de acceptatie door de gebruiker.

Hier komt het ontwerp van een user interface van een beeldstation voor de radiologie aan de orde zoals tot stand gekomen in het afstudeerproject [2] van, inmiddels, ir. J.H.W. Schuttenbeld, uitgevoerd in samenwerking tussen de Faculteit van het Industrieel Ontwerpen, TU Delft, het Academisch Ziekenhuis Utrecht en Philips Medical Systems.

Centraal bij het ontwerp stond het uitgangspunt dat directe acceptatie ervan door de gebruiker van cruciaal belang was voor de slaagkans van het gehele systeem.

Oriëntatie en analyse

In de oriëntatie- en analysefase van het ontwerpproces heeft een literatuuronderzoek plaatsgevonden op het gebied van PACS en vergelijkbare ontwikkelingen in de kantoorautomatisering. Vervolgens zijn de gangbare werkwijzen, procedures en hulpmiddelen van en rond radiodiagnosten en hun medewerkers bestudeerd, als mede, voor zover relevant, de verdere gang van zaken in het ziekenhuis. Daarna zijn interviews gehouden met radiodiagnosten en andere direct betrokkenen en zijn bestaande werkstations, zoals het Marview beeldstation [2], en ontwikkelingen zoals het ziekenhuis informatiesysteem (ZIS) [1,2] geëvalueerd. Dit heeft geleid tot een groot aantal ontwerprelevante conclusies.

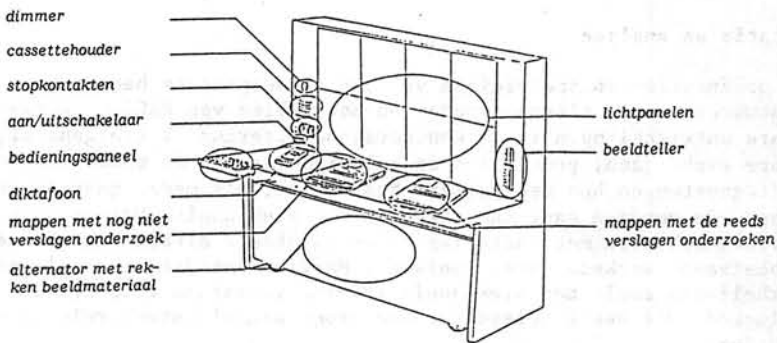
Belangrijke conclusies

Belangrijke conclusies uit de oriëntatie- en analysefase zijn:

- radiodiagnosten zijn in doorsnee tevreden met de huidige succesvolle en betrouwbare procedures, mogelijkheden en hulpmiddelen; met name zijn zij te spreken over de autoalternator (figuur 1), een combinatie van werktafel en gedeeltelijk geautomatiseerde lichtkast voor de

presentatie van meerdere röntgenfoto's tegelijk; radiodiagnosten zijn daarmee behoudend, in de zin dat ze niet op voorhand bereid zijn de huidige, vertrouwde en succesvolle, procedures en hulpmiddelen in te ruilen voor de onbekende hoedanigheden van een gecomputeriseerd systeem.

- een multifunctioneel beeldstation is voor het merendeel der radiodiagnosten de eerste kennismaking met digitale beeldverwerking en de eerste stap in de richting van een volledig gedigitaliseerde afdeling.
- de radiodiagnost, gevoelig als hij is voor alles wat het diagnosticeren kan verbeteren, is bereid tijd te investeren, maar dat slechts in een direct in de dagelijkse praktijk toe te passen systeem met een duidelijke meerwaarde; ook dan evenwel is hij niet genegen of in staat uitgebreide manuals te bestuderen.
- parallelle presentatie van meer beelden is gewenst voor het snel kunnen verkrijgen van overzicht.
- een zeer goede beeldkwaliteit alsmede goede mogelijkheden voor het manipuleren van beelden en het meten eraan zijn essentieel.
- bij het beeldmateriaal vindt veelvuldige raadpleging plaats van niet beeldinformatie, zoals gegevens omtrent de wijze waarop de beeldvorming en de presentatie van het beeld tot stand is gekomen.
- in ongeveer de helft van de gevallen wil ook de aanvragend geneesheer het beeldmateriaal zien.



Figuur 1 De autoalternator en zijn componenten en objecten.

- tussen de beeldsessies in heeft de radiodiagnost veel controlerende en administratieve taken.
- de autoalternator werkplek van de radiodiagnost is functioneel ingedeeld, doorgaans zeer ordentelijk, biedt inzicht in de beschikbaarheid en het functioneren van de componenten en een goed overzicht van afgehandeld en nog af te handelen werk.

Mede op grond van deze conclusies zijn uitgangspunten geformuleerd voor het ontwerp van de user interface.

Uitgangspunten voor het ontwerp van de user interfase

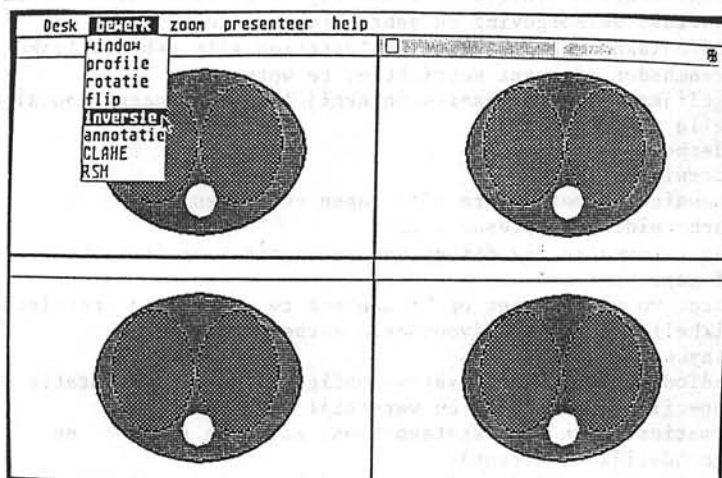
Belangrijke uitgangspunten bij het ontwerp zijn:

- het ontwerp is bedoeld voor de huidige omschakelingsfase (circa 10 jaar?) van autoalternator naar volledig gedigitaliseerde verwerking en afhandeling.
- alle informatie wordt elektronisch opgeslagen en overgedragen middels een netwerk; er zijn geen 'fysieke' (fotografische) informatiedragers, maar de terugkoppeling en de betrouwbaarheid die de fysiek aanwezige componenten op de autoalternator nu bieden, moeten behouden blijven, ondermeer door het simuleren van de fysieke aanwezigheid van het beeldmateriaal en het bieden van goede hard copy faciliteiten.
- het beeldstation sluit direct aan bij de huidige hulpmiddelen, procedures, werkomgeving en gebruikte benamingen.
- de radiodiagnost kan met het beeldstation alle gebruikelijke werkzaamheden adequaat verrichten, te weten:
 - * dagelijkse diagnosesessies (hierbij ligt het accent vooral op een snelle voortgang)
 - * onderzoek
 - * onderwijs
 - * communicatie met andere afdelingen en artsen
 - * voorbereiden van presentaties.
- alleen informatie die direct van belang is voor de taakuitoefening wordt gepresenteerd.
- er wordt vooruitgelopen op binnenkort te verwachten technische ontwikkelingen zoals bijvoorbeeld verbetering van de displaykwaliteit.
- de radiodiagnost kan de systeemconfiguratie en -presentatie aanpassen aan specifieke behoeften en werkstijl en beheerst de informatiestromen (het systeem toont zich een flexibel en doorgrondelijk assistent).
- het beeldstation biedt ruimte voor inbouw of installatie van telefoons, intercoms, microfoon, dictafoon enzovoort.
- het ontwerp voldoet aan te stellen antropometrisch en informationeel ergonomische eisen van bedienbaarheid, comfort, zichtbaarheid, overzichtelijkheid en gebruik door meerdere personen tegelijk.

Het ontwerp

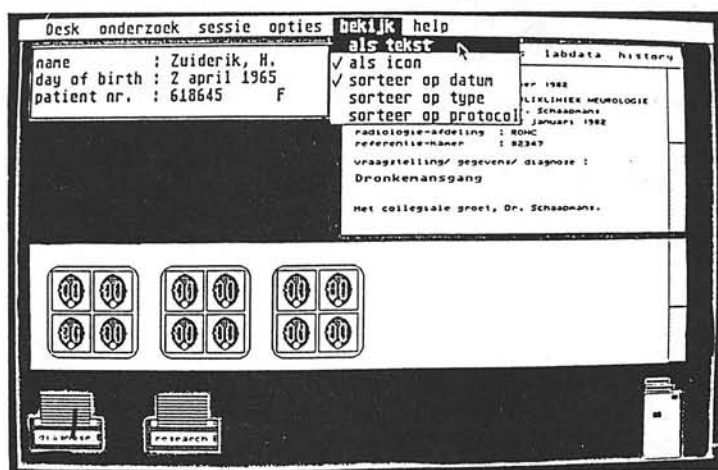
Het ontwerp is gebaseerd op een metafoor, zoals de in de kantoor-automatisering, in enigszins vergelijkbare overgangssituaties met onervaren systeemgebruikers, succesvol toegepaste 'desktop' metafoor (bijvoorbeeld Apple Macintosh). Hier worden bureaublad, kantoor-objecten en -omgeving op het beeldscherm gesimuleerd en kan de gebruiker, via vensters, ikonen en menu's, volgens het 'What you see is what you get'-principe door aanwijzen en activeren met muiscursor en muis, veel van de gewenste handelingen verrichten. Het is hier dus vooral een kwestie van zien, herkennen en aanwijzen van vertrouwde objecten en veel minder van, veelal problematisch, onthouden en intoetsen van commando's.

Voor het beeldstation voor de radiologie is gekozen voor een auto-alternator metafoor, waarbij dus een autoalternator werkplek, gesimuleerd wordt met én rapporten en mappen, én voorzieningen voor de presentatie en manipulatie van beelden én apparatuur voor communicatie en het vastleggen van diagnoses.



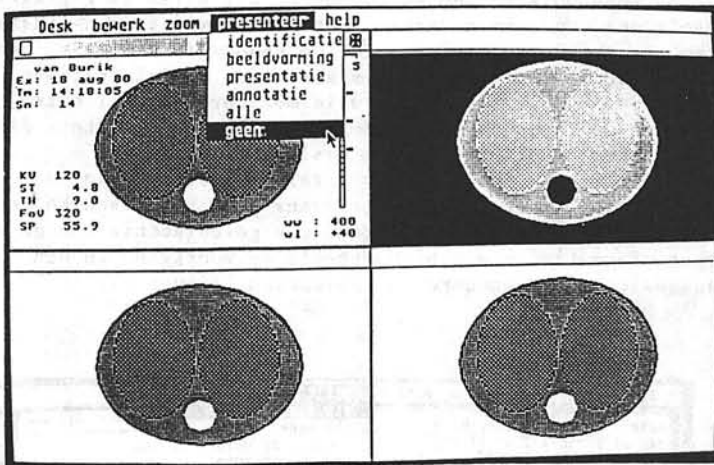
Figuur 2 Beeldvensters van 1/4 met het bewerkmenu.

Het ontwerp omvat een beeldstation met (maximaal) vier naast elkaar geplaatste monitors (35x35 cm) met elk een resolutie van 1280x1280 beeldpunten, een muis en een toetsenbord. Dit alles is geplaatst op een werkconsole met een ruim bureaugedeelte en ruimte voor de installatie van zaken als telefoon, en intercom. De opbouw is modulair. Een monitor is bestemd voor het weergeven van systeem- en administratieve informatie (de 'bureau' monitor), drie monitoren (de 'lichtkast' monitoren) presenteren de beeldinformatie. De beeldvensters die 1/16, 1/4 of het gehele monitorbeeldvlak beslaan (figuur 2). De 'bureau' monitoren hebben een viertal vensters waarin respectievelijk patiëntgegevens, gegevens over het beschikbare beeldmateriaal, gegevens over de medische geschiedenis van de patiënt en systeem-informatie, zoals bijvoorbeeld de voortgang in een diagnosesessie, gepresenteerd kunnen worden (figuur 3).



Figuur 3 'Bureau' monitor met het bekijsmenu.

Als de radiodiagnost het beeldmateriaal op de 'lichtkast' monitoren gaat bestuderen, heeft hij reeds kennis genomen van de informatie op de 'bureau' monitor. Hij concentreert zich nu op het beeldmateriaal en heeft diverse (beeldbewerkings)technieken tot zijn beschikking om het stellen van een juiste diagnose te vergemakkelijken. Tot zijn beschikking staan ondermeer vergroten en verkleinen van een beeld,



*Figuur 4 Beeldmateriaal, waaronder geïnverteerd beeld en
aangevuld met gegevens en het presenter menu.*

'inzoomen', contrastbeïnvloeding, roteren en het toevoegen van aantekeningen. Ook kan de radiodiagnost het beeldmateriaal doen aanvullen met gegevens over de wijze waarop de beeldvorming en de presentatie tot stand gekomen zijn en bijvoorbeeld met een centimeter-schaaltje (figuur 4).

Altijd staat een toegesneden helpfunctie tot zijn beschikking evenals bijvoorbeeld mogelijkheden om een hard copy te maken of de sessie te onderbreken voor het communiceren met collegae, eventueel met behulp van electronic mail, en zonodig de volgorde in de sessie te wijzigen.

Voor dit ontwerp, waarvan in het voorafgaande begrijpelijkerwijs slechts een aantal van de belangrijkste aspecten aan de orde gesteld kon worden, is een real time simulatie geschiktbaar. Een eerste evaluatie met enkele radiagnosten is bemoedigend. Een uitgebreide evaluatie staat op het programma.

Literatuur

- [1] Haar Romeny, B.M. ter, e.a.
Beeldopslag en communicatiesystemen voor ziekenhuizen (PACS:
Picture Archiving and Communication Systems), een overzicht,
Academisch Ziekenhuis Utrecht, en BAZIS Leiden, 1985.
- [2] Schuttenbeld, J.H.W.
Een multifunctioneel beeldstation voor de radiologie.
Afstudeerverslag. TU Delft, 1987.

KORTE SAMENVATTING

Foto's en films zijn vormen van beeldinformatie die bij opslag veel ruimte vragen en waarvoor zowel opslag als terugzoeken arbeidsintensief is. Het PACS maakt gebruik van digitale beeldtechnieken en optische registratie waardoor archivering veel minder ruimte zal behoeven en het terugzoeken snel en doelgericht kan worden uitgevoerd.

Het Academisch Ziekenhuis Utrecht, AZU, heeft onlangs een PAC -deel-Systeem in gebruik genomen. Ervaringen die het gebruik ervan opleveren, zullen benut worden bij de ontwikkeling van een PAC -totaal- Systeem waartoe samenwerken: AZU, Philips Nederland, RU Leiden, TU Delft.

Het Centrum Medische Techniek van de TU Delft heeft een studiedag georganiseerd op 18 juni 1987, waarmee beoogd is, betreffende PACS, de technische mogelijkheden van het moment en in de nabije toekomst naast het verwachtingspatroon van medici te schetsen. De manier van werken met PACS wijkt nogal af van de momenteel gangbare manier van werken en biedt ook geheel nieuwe mogelijkheden. Hieraan is tevens aandacht besteed. De recente ervaringen van het AZU zijn ter sprake gekomen, naast ervaringen met deelsystemen elders (Europa, U.S.A. en Japan).

De voordrachten van de studiedag zijn weergegeven in deze uitgave.

AUTEURS

Prof.dr.ir. E. Backer

Vakgroep informatietheorie, faculteit Elektrotechniek,
Voorzitter Centrum Medische Techniek,
Technische Universiteit Delft.

Dr. G.E. Thomas

Philips Natuurkundig Laboratorium, Eindhoven.

Prof.dr. P.F.G.M. van Waes

Vakgroep rontgendiagnostiek, faculteit Geneeskunde,
Rijksuniversiteit Utrecht.

Prof.ir. G.J. Reijns

Vakgroep schakeltechniek en techniek van informatieverwerkende
machines, faculteit Elektrotechniek,
Technische Universiteit Delft.

Prof.dr. G.W. Seeley

Radiology Department, University of Arizona, Health Science
Centre, Tucson, Arizona USA.

Dr. H. Ecklundt

C.A.F. Muller-Unternehmens Bereich der Philips GmbH
Medizinische Informationssystemen, Hamburg BRD.

Dr.ir. J.P.J. de Valk

Centrale Ontwikkel- en Ondersteuningsgroep Ziekenhuis Informatie
Systeem, Academisch Ziekenhuis Leiden.

Prof.dr.ir. R. den Burman

Vakgroep produktergonomie, faculteit Industrieel Ontwerpen,
Technische Universiteit Delft.



