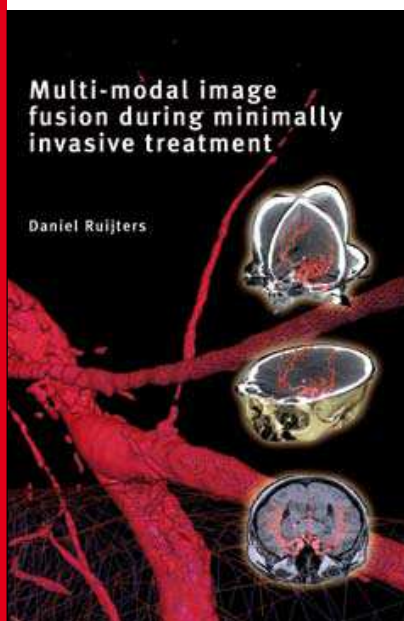


Multi-modal image fusion during minimally invasive treatment



DANIEL RUIJTERS

In dit proefschrift wordt de fusie van verschillende typen van beelden beschreven (zoals fluoroscopie, MR, CT, 3DRA, etc.) om de arts meer relevante data tijdens de procedure aan te bieden. De technische stappen die dit mogelijk maken omvatten snelle en intuïtieve visualisatie van de gefuseerde data en snelle coregistratie van meerdere beeldgegevensbronnen die tijdens de behandeling kunnen worden gerealiseerd.



AVM	arterioveneuze malformatie
CTO	chronisch totaal geoccludeerd
3DRA	driedimensionale rotatieangiografie
L CX	linker circumflex kransslagader
MPR	multiplanaire reconstructie

1 ACHTERGROND

Dit proefschrift richt zich met name op behandelingen waarbij de navigatie middels röntgenbeelden geschiedt. Deze beschreven technieken betreffen visualisatiemethoden en methoden voor de beeldregistratie van de verschillende beelden. De nadruk wordt daarbij gelegd op snelle algoritmes en intuïtieve visualisatie. Snelheid is zeer belangrijk, omdat het rekenwerk wordt uitgevoerd terwijl de klinische interventie aan de gang is. Intuïtieve interactie is eveneens essentieel, aangezien de arts zijn aandacht moet verdelen over het verloop van de behandeling en de stimuli die van de patiënt en de vele apparaten in de operatieruimte afkomstig zijn.

2 VISUALISATIE

De intraoperatieve setting en dynamiek verschillen behoorlijk op belangrijke punten van die van een diagnostische omgeving. Aangezien de navigatie van de minimaal invasieve instrumenten geschiedt aan de hand van de live beelden die middels de beeldvormende apparatuur worden gemaakt, zijn deze beelden van eminent belang.

Al deze factoren leiden tot de eis dat de interactie met de beelden eenvoudig is en dat de intraoperatieve visualisaties eenvoudig te interpreteren zijn, zonder compromissen te sluiten in de visualisatie van de klinisch relevante details. Daarom is een eenvoudige 3D-weergave vereist. Dit is een uitdagende opgave, aangezien gefuseerde data een zeer grote hoeveelheid informatie binnen een beperkt volume pakken en de resulterende visualisatie vaak moeilijk in een oogopslag te begrijpen is. Verder is er vaak veel tijd

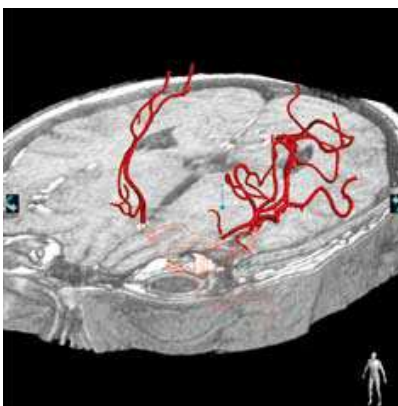
nodig om een afbeelding uit de enorme hoeveelheid data te genereren, wat interactieve manipulatie bemoeilijkt. Dit proefschrift beoogt technische oplossingen te vinden voor de geschetste problemen door middel van fusie van de verschillende beeldgegevensbronnen in een enkele 3D-afbeelding (Figuur 1), en deze optioneel te visualiseren op een autostereoscopische monitor (3D-scherm, waarbij de kijker geen speciale bril hoeft te dragen).

3 REGISTRATIE

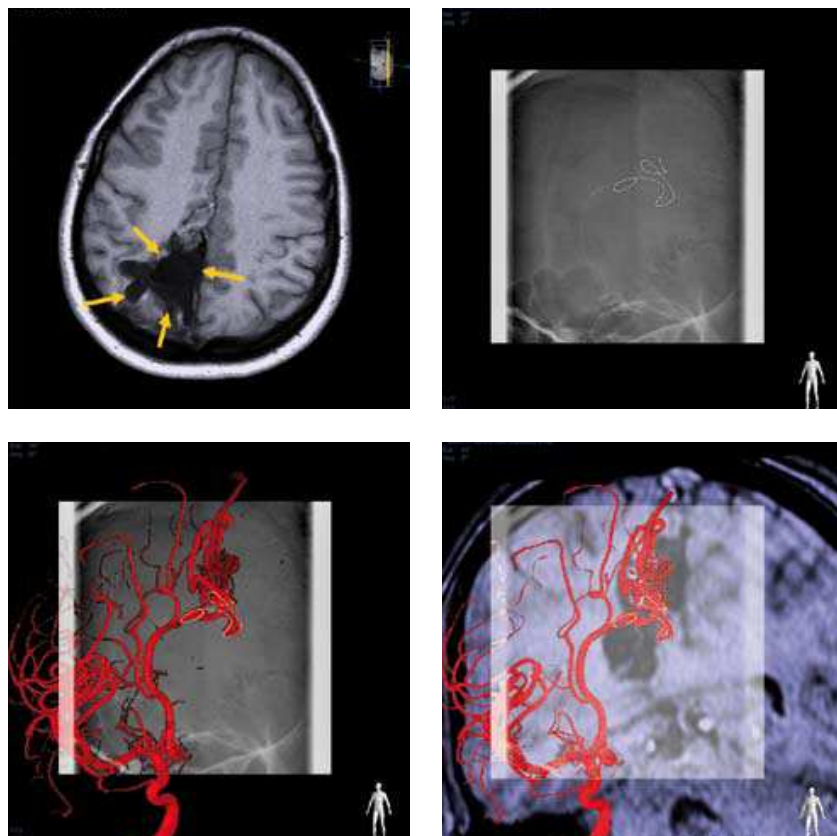
Registratie is een proces waarbij het doel is twee beeldgegevens van hetzelfde onderwerp spatiaal dusdanig op elkaar af te beelden dat dezelfde anatomie in beide beelden over elkaar heen ligt.

Een van de invalshoeken die zijn uitgewerkt betreft acceleratie van niet-rigide registratie. Hierbij wordt het vervormingsveld van de floating dataset gevormd door een elastisch netwerk met controlepunten op regelmatige afstanden. De versnelling van het algoritme wordt enerzijds gehaald uit het parallelisme in de grafische hardware, en anderzijds door de elastische vervorming op efficiënte wijze te berekenen. Deze aanpak leidt tot een snelheidswinst van ongeveer factor 50 ten opzichte van een rechttoe rechtaan-versie.

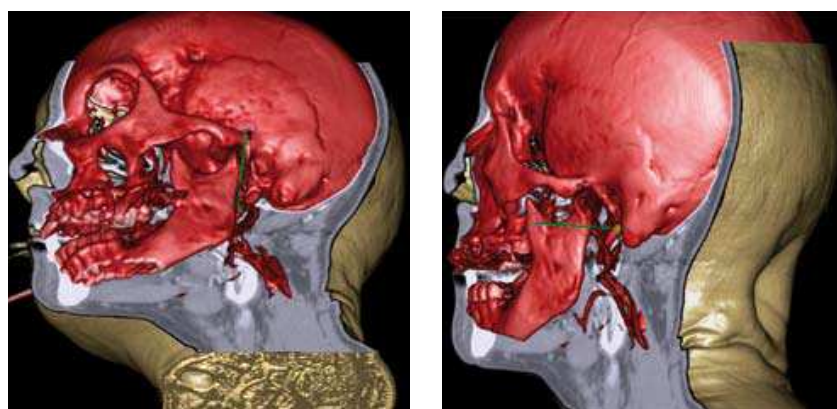
Een andere registratiemethode die uitgewerkt is in dit proefschrift betreft de 2D-3D-registratie van vaten in fluoroscopie en CT-beelden. De primaire toepassing van deze methode is de registratie van hartkransslagaders. Van deze vaten zijn namelijk geen subtractieangiografiebeelden beschikbaar, en daardoor is de



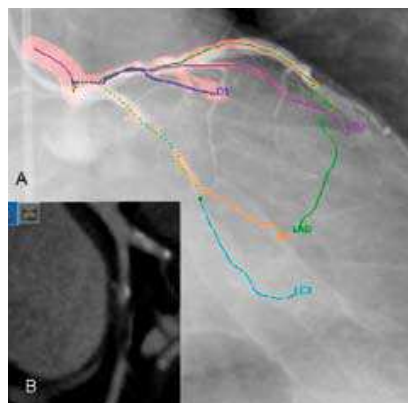
Figuur 1. Links: de silhouetvisualisatie maakt het mogelijk de verdeckte delen van de vatenboom in relatie met de contextuele data te tonen, terwijl het beeld toch eenvoudig te bevatten blijft. De cerebrale bloedvaten zijn hier gecombineerd met een volume-gerenderd gedeelte van een MR-dataset. Het aneurysma, dat door de MR-data bedekt is, blijft dankzij het silhouet toch zichtbaar. Rechts: een fluoroscopiebeeld gemixt met de 3DRA-vatenboom en een dwarsdoorsnede van een CT-dataset.



Figuur 2. Linksboven: een MR-beeld toont een arterioveneuze malformatie (AVM) en het getroffen hersenweefsel (gele pijlen). Rechtsboven: het live fluoroscopiebeeld zonder contrastmiddel laat de voedraad zien, maar niet de relatie met de vatenboom en zachte weefsels. Linksonder: het fluoroscopiebeeld gemixt met de 3DRA-vatenboom voegt de vasculaire context toe aan de live data. Rechtsonder: het fluoroscopiebeeld, de 3DRA-vatenboom en een dwarsdoorsnede van de MR-data. De MR-dwarsdoorsnede staat altijd parallel haaks op de kijkrichting en is gepositioneerd op het voedraaduiteinde.



Figuur 3. De preoperatieve CT-data (geel) en de intraoperatieve C-arm cone-beam CT-data (rood) worden samen met het geplande pad (groen) getoond. Links: schuin aanzicht van links. Rechts: posterieur schuin aanzicht.



segmentatie van de live fluoroscopiebeelden niet triviale. Onze proeven met gesimuleerde en klinische data laten zien dat de aanpak in het proefschrift beter werkt dan de referentiemethode (iterative closest point).

Figure 4. A) Gefuseerd beeld van cardiale CT-data (rood) en live röntgenbeelden (grijs) voor de navigatie in een chronisch totaal geoccludeerd (CTO) vat. Het door middel van de katheter geïnjecteerd contrastmiddel (wit) penetreert de circumflex (LCX) niet, terwijl het traject van het vat wel zichtbaar blijft via de CT-overlay. (B) De corresponderende gekromde MPR laat de CTO en retrograde vulling van het vat zien.

4 TOEPASSINGEN

De hier beschreven technische oplossingen zijn gezamenlijk geëvalueerd in een drietal concrete klinische toepassingen:

- 1 Het navigeren van de katheter op basis van meerdere beeldinformatiebronnen tijdens de behandeling van arterioveneuze malformatie (AVM) in de hersenen (Figuur 2).
- 2 Het plannen en navigeren van een punctie-naald op basis van diagnostische CT-beelden en tegelijkertijd live fluoroscopische beelden (Figuur 3).
- 3 Het optimaal plaatsen van een stent in een vernauwing in een kransslagader, eveneens op basis van navigeren en plannen met behulp van diagnostische CT-beelden gemixt met live angiografische beelden (Figuur 4).

De algoritmes zijn hiertoe in klinische prototypes geïmplementeerd die door het ziekenhuispersoneel zelfstandig bediend konden worden. Tijdens vijf internationale klinische conferenties zijn er live puncties en angiografische behandelingen uitgezonden vanuit de interventiekamer, waarbij de genoemde prototypes werden gebruikt. De beschreven technologieën zijn vervolgens geïntegreerd in commercieel beschikbare producten (Philips Allura 3D-RA, met meer dan 500 exemplaren verkocht, en Philips Allura XperGuide), die in ziekenhuizen over de hele wereld geïnstalleerd zijn.

TAKE-HOME POINTS

- Minimaal invasieve behandelingen zijn vaak minder belastend voor de patiënt.
- Middels beeldfusie kunnen preoperatieve diagnostische beelden tijdens de behandeling gebruikt worden.
- Algoritmes die tijdens interventies gebruikt worden dienen snel en eenvoudig te bedienen te zijn.

Eindhoven, 15 februari 2010

Dr.ir. D. Ruijters

Promotoren:

Prof.dr.ir. B.M. ter Haar Romeny,
Faculteit Biomedische Technologie, Technische Universiteit Eindhoven

Prof.dr.ir. P. Suetens,
Faculteit Ingenieurswetenschappen, Katholieke Universiteit Leuven