# *Samenvatting*

Dit proefschrift onderzoekt de mogelijkheid om röntgen-bagageinspectie te verbeteren door de inspecteur een ruimtelijke indruk van de bagage te geven. Het Delft Virtual Window System werd gebruikt om de inspecteur een zo'n ruimtelijke indruk van de bagage te geven op een gewoon monitorbeeldscherm. Het systeem geeft de inspecteur een ruimtelijke indruk van de bagage door de positie van de röntgencamera te koppelen aan de kijkpositie van de waarnemer. Bijvoorbeeld, als de inspecteur naar rechts beweegt wordt een beeld getoond dat de koffer meer van rechts laat zien.

Elke opname stelt de bagage bloot aan een bepaalde röntgendosis, en de maximaal toegestane dosis is bereikt na zo'n 25 opnames. Daarom moeten we zorgvuldig overwegen welke aanzichten de inspecteur kan checken. Verder, gegeven de state of the art technieken om scherpe röntgenbeelden te maken met een lage röntgendosis, hebben de aanzichten ongebruikelijke perspectief eigenschappen: ze bevatten convergent perspectief in, zeg, de horizontale richting in het beeld, maar parallel perspectief in de vertikale richting. Gezien de kosten prefereren wij het gebruik van bestaande technieken. Daarom zullen de perspectief-eigenschappen van de beelden zorgvuldig gekozen moeten worden om acceptabele aanzichten te krijgen als de beelden interactief met het DVWS gepresenteerd worden. Hoofdstuk 3 schetst de mogelijkheden om efficiënt meerdere van zulke röntgenbeelden op te nemen met de huidige bagage-inspectie technologieën.

Zo komen we vanuit de bruikbaarheid van het DVWS voor bagage-inspectie tot de volgende vragen:
1 Wat betekent 'nuttig' precies voor bagage-inspectie, en hoe testen we dat?
2 Wat zijn de nuttige beelden (welke beeldkwaliteit; welk aanzicht, hoe veel aanzichten)?
3 Hoe moet de inspecteur het gewenste aanzicht controleren?
4 Hoe kunnen we de beelden het best aanbieden, voor optimale prestaties van de inspecteur?

Vooral de eerste vraag is moeilijk te beantwoorden. Toepassing van het DVWS is nuttig als het de vaardigheden van de inspecteurs in het vinden van verdachte voorwerpen verhoogt in vergelijking met röntgen-inspectiesystemen zonder het DVWS. Omdat verwacht werd dat een bagagescanner op basis van het DVWS vooral gebruikt zal gaan worden voor ruimbagage, waar bommen de belangrijkste bedreiging zijn, werden de 'verdachte voorwerpen' beperkt tot 'bommen'. Gewoonlijk bestaat een bom uit een batterij, een ontsteker, een tijdmechanisme, een draad die deze delen verbindt en explosieven, en we kunnen aannemen dat het detecteren van zulke onderdelen belangrijk is voor bagage-inspectie. Maar de precisering van de vage term 'verdacht' tot 'bom' helpt ons niet veel bij een wetenschappelijke analyse van de bagage-inspectietaak, omdat deze bom-onderdelen geen vaste vorm hebben en omdat deze onderdelen niet altijd in een bom zitten. Bijvoorbeeld, explosieven en batterijen kunnen elke vorm hebben, en draden kunnen achterwege blijven.

Om het aantal nuttige aanzichten en de manier waarop de waarnemer het gewenste aanzicht selecteert te bepalen, begon ik met een experimenteel onderzoek naar de beeldkwaliteit, het benodigde aantal aanzichten, en de manier waarop de waarnemer het aanzicht moet selecteren. Experimenten 1 tot 3 (Hoofdstuk 4-6) gaan over deze vragen. Vervolgens bekeek ik een moeilijker vraag, namelijk de beste manier om de aanzichten af te beelden (Hoofdstuk 3 en 7). De resultaten van deze experimenten trokken de belangstelling van een luchthaven en een producent van röntgenscanners (Heimann GmbH). Wij werkten samen om het nut van aanbieden van meerdere aanzichten voor echte bagage-inspectie te testen (Hoofdstuk 8).

In het eerste experiment (Hoofdstuk 4) probeerde ik aan te tonen dat het DVWS de zichtbaarheid van scherpe kanten verhoogt. Deze taak is relevanter voor handbagage dan voor ruimbagage, maar op dat moment had ik nog niet besloten om mij te concentreren op ruimbagage. Ik vond veel onverwachte resultaten, bijvoorbeeld dat de reactietijd groeide en dat de prestaties daalden met het aantal beschikbare aanzichten.

In het tweede experiment toonde ik aan dat, voor het detecteren van verbindende draden tussen twee objecten, de prestatie stijgt met het *camera-bereik* (de hoekafstand tussen de extreme beschikbare aanzichten). Verder kan een lagere beeldkwaliteit (resolutie en aantal grijswaarden) gecompenseerd worden door het aantal beschikbare aanzichten te verhogen. Voor deze taak werd aangetoond dat drie extreme aanzichten voldoende zijn, en dat het verhogen van het aantal aanzichten binnen een bereik de prestaties niet verhoogt. Ik concludeerde dat het voor bagage-inspectie nodig is om de inspecteur extreme aanzichten aan te bieden. Een ander bruikbaar resultaat was dat, voor deze taak, waarnemers even goed presteerden als ze het aanzicht met de hand kozen in plaats van via hun hoofdbewegingen. Een aanzicht kiezen met een knop is minder vermoeiend dan met hoofdbewegingen, en maakt dure hoofdpositie-bepalers overbodig. Ondanks dat drie aanzichten voldoende bleken om verbindende draden tussen objecten te detecteren verwachtte ik dat de beschikbaarheid van slechts drie aanzichten een beperkte ruimtelijke indruk geeft, en daarom onvoldoende kan zijn voor een taak in een meer complexe scene.

Het derde experiment toonde aan dat een groot camerabereik niet voldoende is om een draad door een halftransparante knoop te volgen. De prestaties verbeterden met het aantal beschikbare aanzichten binnen een vast horizontaal bereik, tot horizontaal continue aanzichten. Het aanbieden van zowel horizontaal als verticaal continue aanzichten verbeterde de prestaties niet in vergelijking met alleen horizontaal continue aanzichten. De reactietijden daalden met het aantal beschikbare aanzichten. De benodigde beeldkwaliteit en aantal aanzichten lijkt af te hangen van de ruimtelijke complexiteit van de scene. Voor bagage-inspectie werd verwacht dat het aantal benodigde aanzichten ergens tussen het aantal nodig voor deze taak en het aantal nodig voor de detectie van draden tussen objecten zal liggen.

De beste manier om de beelden te presenteren – de optimale configuratie van verschillende perspectief- en afbeeldingsmogelijkheden – werd onderzocht in Hoofdstuk 3 en Hoofdstuk 7. In Hoofdstuk 3 werd een groot aantal perspectief- en afbeeldingsmogelijkheden onderzocht, maar het aantal was te groot om grondig experimenteel te onderzoeken.

Het vierde experiment (Hoofdstuk 7) testte de effecten van een fout in de gemeten kijkpositie en van de manier waarop de camera-instellingen gekoppeld zijn aan het kijkpunt van de waarnemer op de prestaties van de waarnemer. Er zijn minstens twee manieren om een aanzicht te maken gegeven een kijkpunt: men kan de camera gericht houden op een punt in de scene (*on-axis koppeling*) of men kan de camera zonder te roteren naar het nieuwe kijkpunt verschuiven (*off-axis koppeling*). Het DVWS is een on-axis koppeling. Geometrisch gezien is off-axis koppeling de juiste keus, omdat alleen met off-axis koppeling objecten dezelfde optische hoek maken als echte objecten. Verder kunnen meetfouten op de kijkpositie van de waarnemer ervoor zorgen dat de scene er anders uitziet dan een echte scene (*distortie*). Zowel de koppelingsmethode als fouten in de gemeten kijkpositie kunnen de prestaties van de waarnemer verlagen. Ik toonde aan dat vervormingen optreden zoals geometrisch voorspeld, ondanks dat waarnemers ze meestal niet opmerken. Echter, menselijke waarnemers gebruiken ook andere dan geometrische diepte-informatie voor hun taak, en de gevonden distorties lijken minder relevant voor röntgen-bagageinspectie. Voor bagage-inspectie lijkt on-axis koppeling (dus, het DVWS) de juiste keus, vooral als het aanzicht met een knop geselecteerd wordt.

Het laatste experiment (Hoofdstuk 8) testte het effect van het aantal beschikbare aanzichten op 'echte' röntgen-bagageinspectie. Een expert van een luchthaven vulde 68 koffers, en verstopte complete bommen in 15 ervan. De koffers werden gescand op een röntgen bagage-scanner. Deze aanzichten werden met het DVWS gepresenteerd aan ervaren bagage-inspecteurs op de luchthaven, en hen werd gevraagd om bommen te detecteren. Uit de resultaten bleek geen effect van het aantal beschikbare aanzichten op de beslissing van de inspecteurs, hoewel de denktijd toenam als twee in plaats van een aanzicht beschikbaar was. Deze resultaten suggereren dat de inspecteurs een grondige training nodig hebben om de ruimtelijke indruk van de bagage te interpreteren. Mogelijk, en dit is niet ongebruikelijk met nieuwe technologieën, is het zelfs noodzakelijk nieuwe inspecteurs zonder ervaring met de traditionele röntgen-bagageinspectie te gebruiken.

Concluderend vond ik voor bagage-inspectie en gerelateerde taken de volgende antwoorden op de vier vragen die gesteld werden in het begin van deze samenvatting:

1 In het algemeen is het essentieel om de taak duidelijk te operationaliseren in perceptuele termen.
2 In afhankelijkheid van de taak zijn twee aanzichten voldoende of continue aanzichten benodigd.
3 Voor sommige taken is een knop voldoende om het benodigde aanzicht te selecteren, terwijl voor andere taken een koppeling met het huidige kijkpunt van de waarnemer zijn prestaties kan verbeteren.
4 De perspectief-eigenschappen van de aanzichten kunnen de waarnemer storen, afhankelijk van de keuzen die bij punt (3) gemaakt werden.