

MASTER

Beeldverwerking in de meettechniek : implementatie van een CCD camera in een 2-D meetmachine

Verhoeven, G.H.W.

Award date:
1991

[Link to publication](#)

Disclaimer

This document contains a student thesis (bachelor's or master's), as authored by a student at Eindhoven University of Technology. Student theses are made available in the TU/e repository upon obtaining the required degree. The grade received is not published on the document as presented in the repository. The required complexity or quality of research of student theses may vary by program, and the required minimum study period may vary in duration.

General rights

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain

Take down policy

If you believe that this document breaches copyright please contact us providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

Opmerkingen : p 13, 65, 74, 82, 85

- ook kalibreren, in calibreren!
- Het is voor 'd' en 't' komt zeer vaak voor
- Voor te stellen d over hand |
Lithografie opzet is mogelijk & wordt vaak gedaan.
(zie opstellen voor schrift WPA : ca 20 p)
- 'is in' is die f. f. is 'the middle of nowhere' - p 68
- Evaluatie van de is gestaptes richting kan ik niet goed begrijpen! op p 85

Beeldverwerking in de meettechniek

Implementatie van een CCD camera
in een 2-D meetmachine

G.H.W. Verhoeven

Rapport nr.: WPA 1189, november 1991

Verslag afstudeeropdracht

Afstudeerhoogleraar : Prof.dr.ir. P.H.J. Schellekens
Begeleider : Ing. K.G. Struik

Technische Universiteit Eindhoven
Faculteit der Werktuigbouwkunde
Vakgroep Produktietechnologie en -Automatisering
Laboratorium voor Geometrische Meettechniek

SAMENVATTING

Voor het verrichten van onderzoek op het gebied van beeldverwerking in de meettechniek is door het Laboratorium voor Geometrische Meettechniek een beeldverwerkend systeem aangeschaft, gebaseerd op een videocamera. Als eerste toepassing van beeldverwerking zal dit systeem in een bestaande 2-D meetmachine, die voor optische aantasting geschikt is, worden geïntegreerd om te komen tot een geautomatiseerd meetsysteem dat de 2-D geometrie van voorwerpen bepaalt.

Voor de integratie van dit beeldverwerkend systeem is een camera op twee manieren in de bestaande 2-D meetmachine ingebouwd. Ten behoeve van deze inbouw zijn twee adapters ontworpen en vervaardigd. De integratie bestaat verder uit de koppeling van het beeldverwerkend systeem aan de meetsystemen van de 2-D meetmachine. Hiervoor is het uitlezen van de meetsystemen door middel van een computer gerealiseerd.

Voor de toepassing van beeldverwerking met videosignalen is een niet-standaard uitlezing van de videocamera ontworpen en gerealiseerd. Verder zijn software programma's ontwikkeld die het meten met het beeldverwerkend systeem en de meetmachine mogelijk maken.

De nauwkeurigheid van het resulterende meetsysteem is getest door een aantal metingen aan testobjecten. De herhalingsnauwkeurigheid van de metingen met het beeldverwerkend systeem met optiek, die 1 maal vergroot, is $1 \mu\text{m}$. Na calibratie van het systeem werd een herhalingsnauwkeurigheid van $0,2 \mu\text{m}$ gemeten.

Afstudeeropdracht : G.H.W. Verhoeven
Afstudeerhoogleraar : Prof.dr.ir. P.H.J. Schellekens
Begeleider : Ing. K.G. Struik
Onderwerp : Installatie van een beeldverwerkend systeem op
een 2-D meetmachine ten behoeve van het bepalen
van geometrische afmetingen.

Omschrijving opdracht:

Doel van de opdracht is het ontwerpen en het opbouwen van een camera meetsysteem om de 2-D geometrie van voorwerpen te bepalen. Hierbij dient gebruik te worden gemaakt van een 2-D meetmachine en een beeldverwerkend systeem gebaseerd op een CCD camera.

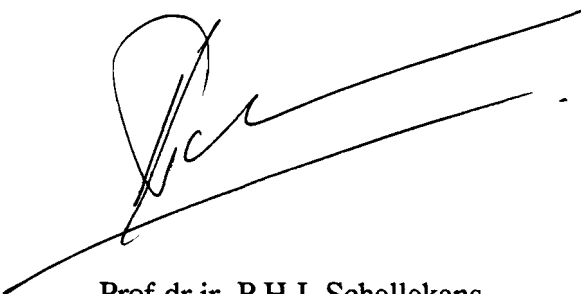
Het eerste deel van de opdracht bestaat uit het installeren van het beeldverwerkend systeem op de 2-D meetmachine. Hiervoor dienen twee uitvoeringen te worden gerealiseerd:

- De CCD camera (sensor en optiek) van het beeldverwerkend systeem wordt onder de meetkop van de 2-D meetmachine gemonteerd
- De CCD sensor wordt in het brandvlak van de optiek van de 2-D meetmachine geplaatst. Met deze opstelling wordt gebruik gemaakt van de optiek van de meetmachine.

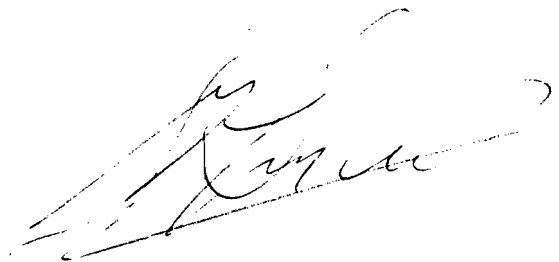
Het tweede deel van de opdracht is het realiseren van een nauwkeurige uitlezing van de camera door de rest van het beeldverwerkend systeem.

Het derde deel betreft het ontwikkelen van programmatuur voor het bepalen van de coördinaten van de randen van voorwerpen met subpixel nauwkeurigheid. Deze coördinaten moeten worden ingevoerd in een bestaand 2-D meetpakket waarmee de geometrie van het voorwerp bepaald kan worden.

Het laatste onderdeel betreft het testen en het bepalen van de meetonnauwkeurigheid van het camera meetsysteem



Prof.dr.ir. P.H.J. Schellekens



Ing. K.G. Struik

BEGRIPPENLIJST

A/D convertor	Een elektronisch apparaat dat een analoog spanningssignaal omzet in een digitale representatie van dat signaal. Een A/D convertor wordt gekarakteriseerd door de resolutie (het aantal bits waarmee het signaal gerepresenteerd wordt) en de tijd benodigd voor de omzetting.
Beeldpunt	Kleinste deel van een ruimtelijk bemonsterd beeld.
Cameraklok	Klok die de frequentie bepaald waarmee de camera de sels uitleest.
Coherente belichting	Belichting bestaande uit licht met een vaste relatie tussen de fasen van de lichtgolven.
Digitaliseren	Het omzetten van een analoog signaal naar een aantal getallen die geschikt zijn voor digitale bewerking.
DiffRACTIE	Verschijsel dat de intensiteitsverdeling van een lichtgolf ruimtelijk verandert na het passeren van een obstakel.
Frame grabber klok	Klok waarmee de frame grabber de frequentie voor het sampelen van het videosignaal bepaald als er geen uitwendige klok gebruikt wordt.
Frame grabber kolom	Kolom beeldpunten in het beeldgeheugen van de frame grabber.
Frame grabber lijn	Rij beeldpunten in het beeldgeheugen van de frame grabber.
Grijswaarde	Intensiteitswaarde van een pixel, is een getal tussen 0 en 255 bij een 8-bits digitalisatie van het videosignaal.
Incoherente belichting	Belichting bestaande uit licht zonder vaste relatie tussen de fasen van de lichtgolven.

Interliniëring	Techniek waarvoor eerst de even en daarna de oneven beeldlijnen als videosignaal worden verzonden.
Jitter	Verschijsel waardoor het lijkt alsof het beeld, dat gedigitaliseerd wordt, beweegt ten opzichte van een eerder opgenomen beeld. Dit verschijnsel wordt veroorzaakt door niet correcte synchronisatie tussen de camera en de frame grabber.
Klok	Oscillator met een hoog frequent vierkant golfsignaal, gebruikt om operaties op elkaar af te stemmen.
Masterklok	Klok die zowel de camera als de frame grabber aanstuurt.
MS	Afkorting voor MicroSoft, producent van software.
Pixel	Beeldpunt in het beeldgeheugen van de frame grabber (picture element).
PLL	Phase Locked Loop, elektronische schakeling voor het synchroniseren van twee kloksignalen door het minimaliseren van het faseverschil tussen de beide signalen.
Sel	Beeldpunt op de sensor (sensor element).
UMM	Afkorting voor Universal MessMikroskop, een 2-D meetmachine voor het optisch aantasten van voorwerpen.

INHOUD

Samenvatting	2
Opdrachtsomschrijving	3
Begrippenlijst	4
1. Inleiding	8
2. Beschrijving van de componenten van het 2D-meetsysteem met beeldverwerking	10
2.1 Inleiding	10
2.2 De 2-D meetmachine	11
2.3 Het beeldverwerkend systeem	14
2.4 Inbouw camera in de UMM-meetmachine	18
3. Pixelsynchrone uitlezing	24
3.1 Inleiding	24
3.2 Het videosignaal	24
3.3 Uitlezen van de camera	27
3.4 Interface voor pixelsynchrone uitlezing	31
3.5 Testen van de interface	36
4. Bepaling van randen met behulp van subpixelinterpolatie	46
4.1 Inleiding	46
4.2 Subpixelinterpolatie technieken	47
4.3 De edgel subpixel interpolatie techniek	53
4.4 Bepaling van de positie van de centrale pixel	57
4.5 Omzetting van de pixel- naar vaste wereld coördinaten	57
5. Softwareprogramma voor metingen met beeldverwerking op de UMM 2-D meetmachine	63
5.1 Inleiding	63
5.2 Koppeling van een MS Pascal programma aan een TP programma	64
5.3 Opdeling van de te verrichten taken	65
5.4 Het MS programma	66
5.5 Het TP programma	69
5.6 Programmatuur voor het testen van het meetsysteem	70

hand v

6. Calibratie en testen van het camerameetsysteem	72
6.1 Inleiding	72
6.2 Bepaling herhalingsnauwkeurigheid van de randdetectie	73
6.3 Bepaling van de invloeden van de uitlezing en de subpixelinterpolatie	74
6.4 Calibreren	77
6.5 Bepaling van de herhalingsnauwkeurigheid met de correcte factoren	82
7. Conclusies en aanbevelingen	84
 Literatuur	 86
 Bijlagen	
 Bijlage 1 : Uitlezing Heidenhain meetlinialen	 88
Bijlage 2 : Specificaties van de camera	97
Bijlage 3 : Specificaties van de frame grabber	101
Bijlage 4 : Specificaties van de frame processor	104
Bijlage 5 : Specificaties voor de inbouw van de sensor	106
Bijlage 6 : Bepaling van de randpositie noodzakelijk voor edgel-algoritme	109

1. INLEIDING

In het Laboratorium voor Geometrische Meettechniek wordt onderzoek verricht naar de toepassing van nieuwe technieken in de geometrische meettechniek. Door het maken van een beeld van een voorwerp, en het verwerken van dit beeld, kunnen geometrische eigenschappen van het voorwerp worden bepaald. Het verkrijgen van gegevens door het bewerken van een opgeslagen beeld van een fysieke scène wordt beeldverwerking genoemd. Om te bepalen in welke mate beeldverwerking geschikt is voor toepassing in geometrische meettechniek is een onderzoek gestart.

Als eerste toepassing van beeldverwerking wil het Laboratorium voor Geometrische Meettechniek een bestaande 2-D meetmachine uitrusten met een beeldverwerkend systeem om zodoende te komen tot een meetsysteem voor het bepalen van de 2-D geometrie van voorwerpen (het 2-D meetsysteem). Het beeldverwerkende systeem moet de functie van de operator voor het bepalen van de positie van de randen van de voorwerpen vervangen. Hierdoor wordt het systeem onafhankelijk van menselijke fouten en kan het totale systeem nauwkeuriger worden.

Voor het bepalen van de randen met behulp van beeldverwerking kunnen twee methoden worden onderscheiden:

- het in één keer opnemen van het gehele voorwerp en de positie van de randen uitsluitend in dit beeld meten;
- het opnemen van een gedeelte van het te meten voorwerp en in dit beeld de positie van de rand meten. Hierna wordt het voorwerp of de opnemer verplaatst en een ander deel van het voorwerp opgenomen en wordt dit beeld verwerkt. De gemeten posities in het beeld worden gekoppeld aan de verplaatsing van het voorwerp of de opnemer.

Het doel van deze afstudeeropdracht is het integreren van een beeldverwerkend systeem in een bestaande 2-D meetmachine en alsmede het verkrijgen van inzicht in de nauwkeurigheid waarmee randen door dit camera meetsysteem bepaald kunnen worden. Het resulterende 2-D meetsysteem moet beide methoden voor randbepaling mogelijk maken.

Aan deze opdracht is een literatuuronderzoek voorafgegaan naar de werking van de componenten van beeldverwerkende systemen. In het verslag van dit onderzoek [VER 91] wordt de werking van beeldverwerkende systemen uitgebreid beschreven. In dit verslag zullen slechts ~~alleen~~ de belangrijkste zaken kort besproken worden, voor gedetailleerde uitleg wordt naar het literatuuronderzoek verwezen.

had ✓

Aan hand van het literatuuronderzoek zijn de componenten van het beeldverwerkend systeem aangeschaft: twee video camera's, frame grabber en een frame processor. De camera's voor het opnemen van het beeld van een fysieke scene, de frame grabber en frame processor voor de opslag en de verwerking van een verkregen beeld. Er zijn twee camera's aangeschaft omdat de beschikbare 2-D meetmachine zowel de mogelijkheid biedt om een complete camera onder de meetkop te monteren als een camera zonder optiek in te bouwen. Als één van de camera's wordt ingebouwd is deze niet meer geschikt voor andere toepassingen. De andere camera kan ook onder andere 2-D meetmachines worden gemonteerd en blijft daarnaast geschikt voor andere toepassingen.

plan
werk-
mond!

Als eerste wordt een overzicht van het totale systeem gegeven, daarna worden de afzonderlijke onderdelen besproken waaronder ook de inbouw en montage van de camera's in de 2-D meetmachine. Vervolgens wordt uitgebreid ingegaan op de uitlezing van de camera door het beeldverwerkend systeem. Uit het literatuuronderzoek is gebleken dat deze uitlezing een zeer grote invloed heeft op de meetnauwkeurigheid en dat er grote nadelen kleven aan de gebruikelijke methoden voor de uitlezing van de camera. Er wordt ^{een} methode voor verbeterde uitlezing beschreven. Deze methode is ⁱⁿ ~~uit~~gevoerd en getest. Hierna wordt beschreven hoe met behulp van beeldverwerking de positie van een rand bepaald wordt. Vervolgens wordt de software die ontwikkeld is voor het meten met de 2-D meetmachine met het geïntegreerde beeldverwerkende systeem behandeld. Tenslotte wordt de kalibratie en het testen van het 2-D meetsysteem beschreven.

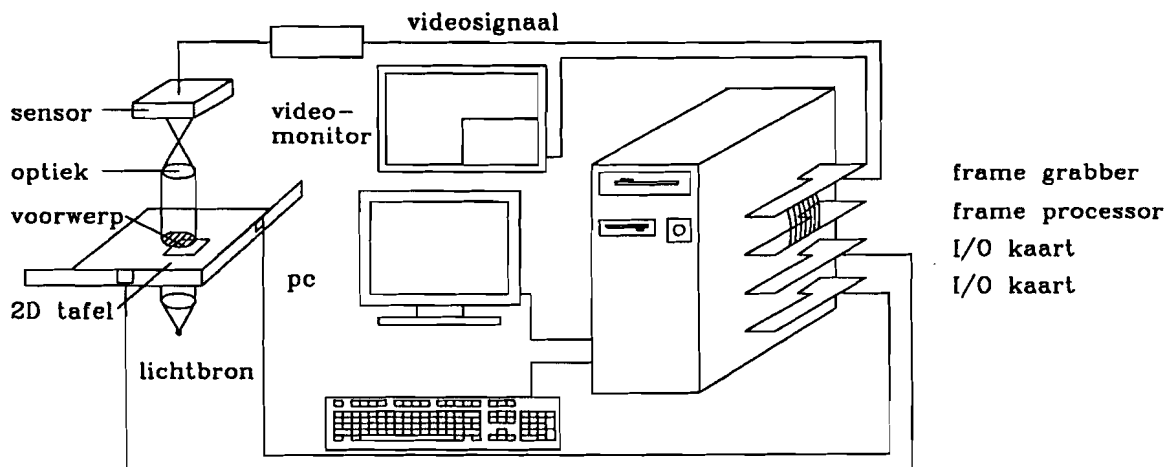
had ✓

had ✓

2. BESCHRIJVING VAN DE COMPONENTEN VAN HET 2-D MEETSYSTEEM MET BEELDVERWERKING

2.1 Inleiding

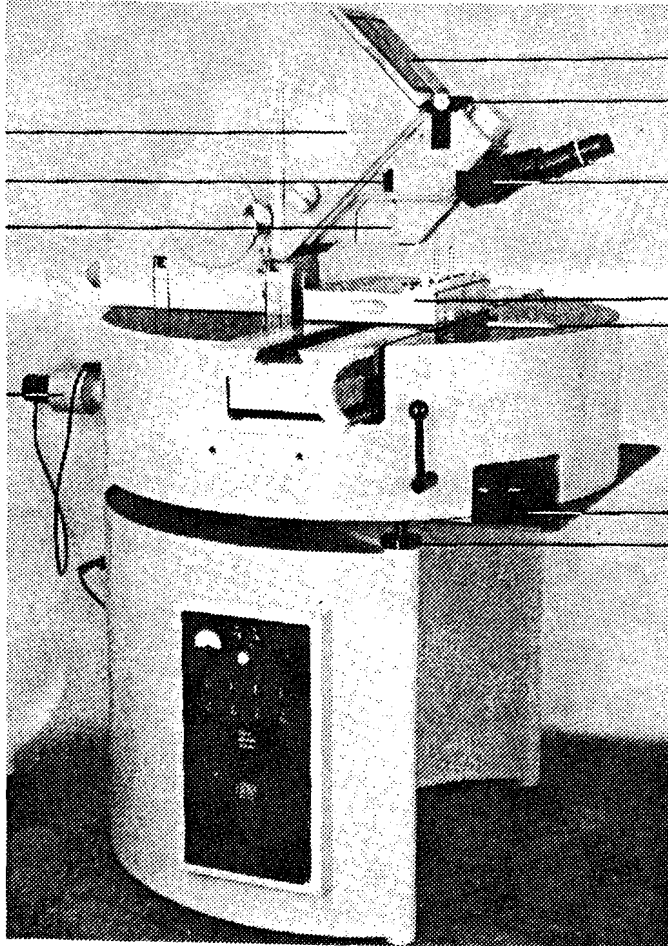
Het te realiseren 2-D meetstelsel bestaat uit een 2-D meetmachine met optische aantasting, een beeldverwerkend systeem en een personal computer (zie fig 2.1). Het 2-D meetstelsel moet de coördinaten van de randen van een voorwerp op de 2-D meetmachine bepalen. Dit gebeurt door het uitlezen van de meetsystemen van de 2-D meetmachine en het inlezen en bewerken van een beeld van de te meten rand. De coördinaten van de randen worden daarna ingevoerd in een software pakket dat hieruit de afmetingen van het voorwerp kan bepalen. Doordat het 2-D meetstelsel een samenstelling is van verschillende componenten is het niet mogelijk deze strikt gescheiden te behandelen. De onderstaande indeling beschrijft hoe de hoofdzaken zijn onderverdeeld. Als eerste wordt het beeldverwerkend systeem behandeld, daarna de 2-D meetmachine en vervolgens de inbouw van de camera's van het beeldverwerkend systeem in de 2-D meetmachine.



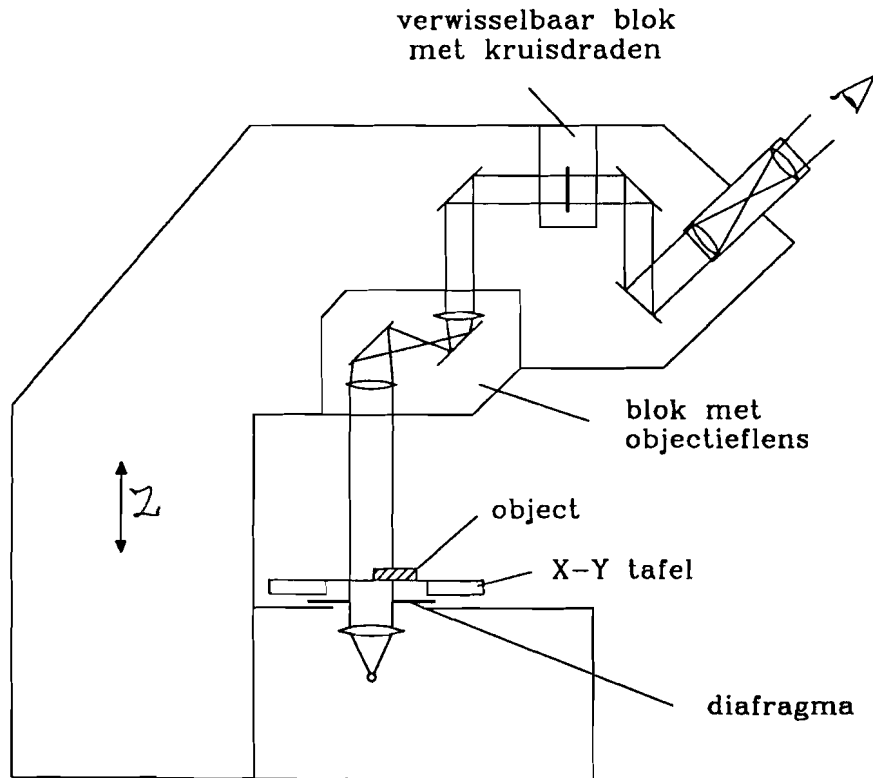
Figuur 2.1: Schematisch overzicht van het 2-D meetstelsel.

2.2 De 2-D meetmachine

De 2-D meetmachine is een UMM (Universal Messmikroskop) van Zeiss (zie figuur 2.2). Deze machine is bedoeld voor het optisch aantasten van voorwerpen om 2-D geometrie eigenschappen te bepalen. Hiervoor bestaat de UMM uit een XY-tafel, belichtings apparatuur en een meetkop met optiek voor de optische aantasting (zie figuur 2.3).



Figuur 2.2: 2-D meetmachine UMM.



Figuur 2.3: Opbouw van de UMM.

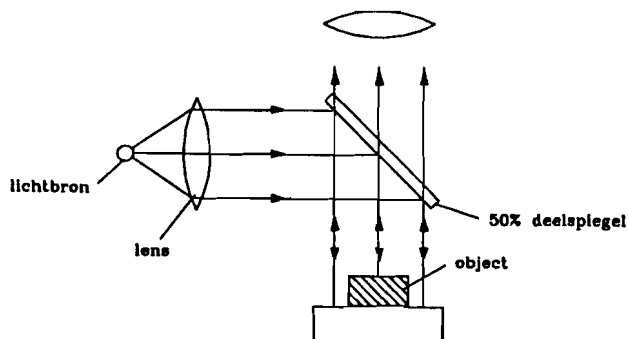
Voor het uitlezen van de verplaatsing is de meetmachine oorspronkelijk uitgerust met glaslinialen met optische uitlezing. Later is deze machine uitgebreid met meetsystemen van Heidenhain voor digitale uitlezing van de verplaatsing in X en Y richting. Deze meetsystemen kunnen aan een computer worden aangesloten zodat de uitlezing van de meetlinialen direct door een programma kan worden gedaan (zie bijlage 1). De meetkop bestaat uit optiek voor het afbeelden van het te meten voorwerp op het netvlies van de operator. Samen met het voorwerp wordt ook een kruisdraad die de optische as aangeeft afgebeeld. Door de kruisdraad op een rand van het voorwerp te positioneren en dan de X en Y as uit te lezen wordt de positie van de rand bepaald. De meetkop is in hoogte (Z richting) instelbaar voor het scherpstellen van de afbeelding van het voorwerp op het netvlies. De optische componenten zijn samengevoegd in verwisselbare elementen. Dit maakt het mogelijk om de vergroting van het systeem te veranderen en verschillende soorten kruisdraden te gebruiken. Door deze componenten door een camera te vervangen is het mogelijk om het beeldverwerkend systeem in te bouwen in de UMM (zie paragraaf 2.4).

De resolutie van het Heidenhain meetsysteem is 0.1 μm . De 2-D meeton nauwkeurigheid van deze machine is 1.5 μm . De standaardafwijking voor het aantasten van een streep door een geoefende waarnemer is 0.3 μm [DOC 88]. Er is echter niet aangegeven met welke vergroting dit is bepaald.

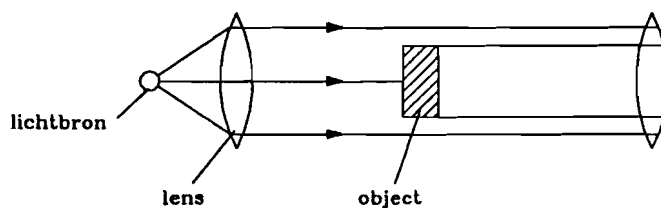
Voor de belichting van het voorwerp heeft deze machine twee mogelijkheden:

- opvallende belichting (zie figuur 2.4);
- doorvallende belichting (zie figuur 2.5).

*Maak je dat
eigenlijk geen
kennelijk UMY
nodig gehad?*



Figuur 2.4: Opvallende belichting.



Figuur 2.5: Doorvallende belichting.

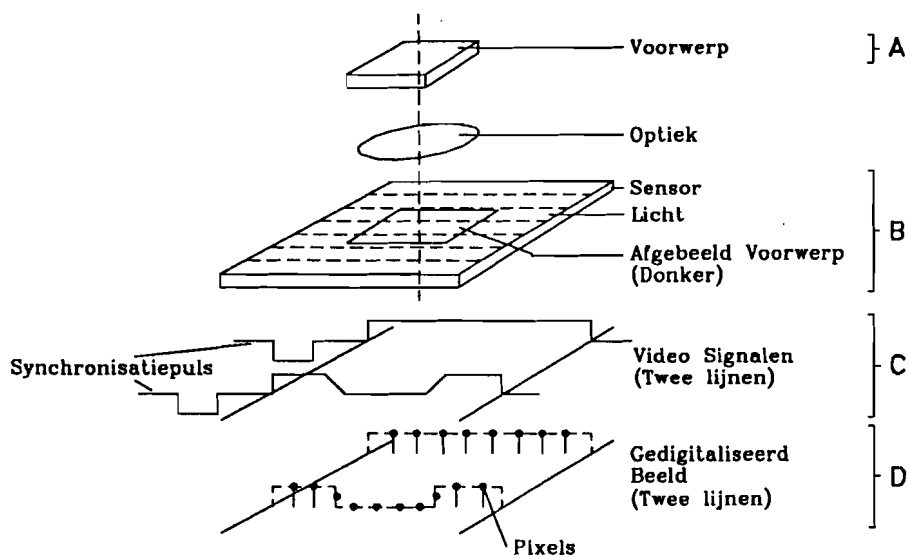
De doorvallende belichting is mogelijk doordat de XY tafel gedeeltelijk uit een glazen plaat bestaat waardoor voorwerpen van onderen belicht kunnen worden. Deze belichting geeft een parallelle bundel op de plaats waar het voorwerp verlicht wordt. De intensiteit van de lichtbron is regelbaar en de diameter van de bundel kan worden gevarieerd doordat in de lichtweg een diafragma is opgenomen. Door het vergroten of verkleinen van de diafragma opening kan de scherpte diepte worden ingesteld. Omdat bij de kantdetectie een contrastrijk beeld de beste resultaten oplevert en omdat bij doorvallend belichting het grootste contrast ontstaat beperken wij ons tot deze belichting.

2.3 Het beeldverwerkend systeem

Het beeldverwerkend systeem bestaat in dit geval uit de volgende componenten (zie figuur 2.1):

- belichtingsapparatuur;
- video camera;
- interface tussen camera en computer systeem (frame grabber + frame processor);
- computer systeem.

De werking van een beeldverwerkend systeem kan als volgt worden omschreven. Door de belichting van een voorwerp (figuur 2.6 a) ontstaan er contrast verschillen tussen het voorwerp en de omgeving of tussen verschillende structuren op het voorwerp. Deze intensiteits verschillen worden door de optiek op de beeldsensor van de camera afgebeeld (figuur 2.6 a-b). Het licht, dat het beeld op de sensor vormt, wordt (door de sensor elementen, sels) ruimtelijk bemonsterd en omgezet in elektronen. Door elektronische componenten op de sensor worden de elektronen omgezet in een spannings signaal. Van dit spannings signaal wordt door andere elektronische componenten van de camera een videosignaal gemaakt (figuur 2.6 b-c). De frame grabber is een insteek kaart voor een computer die een videobeeld kan digitaliseren, opslaan en weer als videobeeld kan weergeven (figuur 2.6 c_d). Het gedigitaliseerde en opgeslagen beeld kan men zien als een matrix van intensiteits waarden. De geheugenplaatsen in de frame grabber worden pixels (picture elements) genoemd. De positie in de matrix staat voor een positie in het afgebeelde beeld en daarmee in de opgenomen scène. De waarde van een pixel is de gedigitaliseerde intensiteitswaarde van dat punt in de opgenomen scène (uitgedrukt in grijswaarden, een waarde tussen 0 en 255). Hoewel de pixels alleen een getal in een geheugen plaats zijn worden ze in het beeld meestal voorgesteld als een blokje met een bepaalde intensiteit. Dit wordt gedaan omdat de opgeslagen waarde het gedeelte van het beeld beschrijft dat op een sel wordt afgebeeld. Omdat de beeldinformatie van een opgenomen voorwerp nu volledig gedigitaliseerd is kan de beeldinformatie door de computer of door speciale beeldverwerkende apparatuur bewerkt worden om onder andere de afmeting van het opgenomen voorwerp te bepalen.



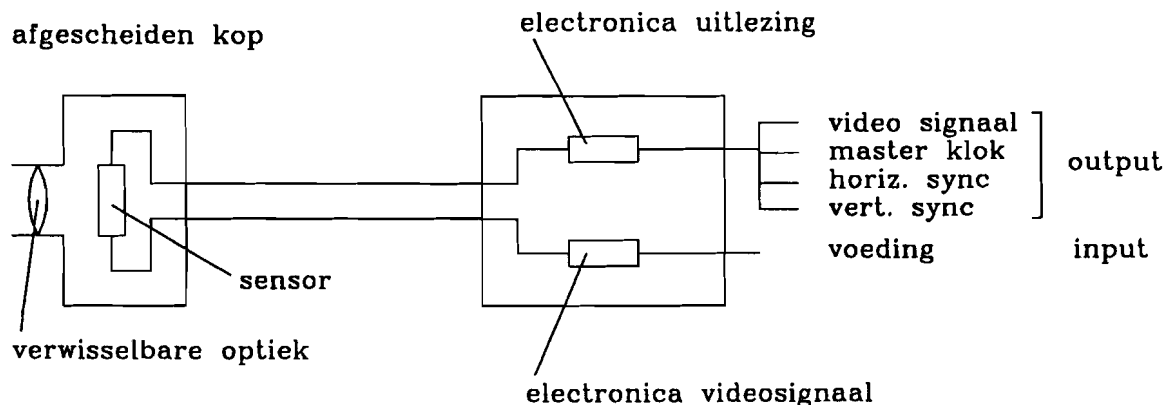
Figuur 2.6: Omzetting van een voorwerp naar een digitaal beeld in de frame grabber.

Belichtingsapparatuur

Omdat de 2-D meetmachine bedoeld is voor het optische aantasten van randen heeft deze machine eigen belichtings apparatuur. Voor het beeldverwerkend systeem zal gebruik worden gemaakt van deze belichtingsapparatuur, deze is al in paragraaf 2.2 behandeld.

Video camera

Een video camera bestaat uit optiek, een sensor en elektronische componenten voor de uitlezing van de sensor (zie figuur 2.7). De sensor en de elektronica horen bij elkaar, de optiek is verwisselbaar.



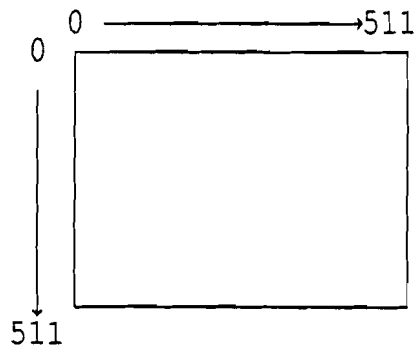
Figuur 2.7: Overzicht van een camera met gescheiden sensor.

De aangeschafte camera's zijn zwart/wit CCD camera's, model MXR van HCS Vision Technology. Bij deze camera's is de sensor door een 2 m lange kabel met de elektronica verbonden, hierdoor is het sensor gedeelte compact. De technische gegevens staan in bijlage 2. Deze camera's zijn aangeschaft omdat deze de videosynchronisatie signalen via aparte uitgangen uitgeeft, dit is zeer belangrijk in verband met de in hoofdstuk 3 beschreven pixelsynchrone uitlezing. De optiek die bij de camera voor montage onder de meetkop gebruikt kan worden zijn foto of film objectieven en met adapters ook speciale meetobjectieven. De aangeschafte optiek voor deze camera is een enkelvoudige lens met brandpunt afstand 16 mm en een diafragmagetal 1.4. Bij de inbouw in de 2-D meetmachine wordt gebruik gemaakt van een gedeelte van de optiek van deze machine. Dit wordt in paragraaf 2.4 behandeld.

Frame grabber (en frame processor)

De frame grabber is de interface tussen de camera en het computer systeem. Deze interface moet van het videosignaal van de camera een digitaal beeld maken en opslaan zodat het beeld verwerkbaar is door de computer. De frame grabber heeft daarom een A/D convertor en een opslag voor vier beelden van 512*512 pixels met 256 grijswaarden (8 bits) per pixel. De frame grabber is model DT 2862 van Data Translation. Deze frame grabber kan het inkomende videosignaal op de gebruikelijke wijze digitaliseren, met behulp van een PLL schakeling, maar ook met behulp van een externe klok via de zogenaamde slow scan ingang. Omdat deze laatste ingang kan digitaliseren tot 12 Mhz is het mogelijk om via deze ingang ook de videocamera uit te lezen. Het digitaliseren heeft een grote invloed op de kwaliteit van het opgeslagen beeld. Daarom wordt het digitaliseren uitgebreid in hoofdstuk 3 behandeld. De specificaties van de frame grabber zijn opgenomen in bijlage 3.

Bij deze frame grabber wordt een software bibliotheek geleverd. In deze bibliotheek zijn beeldverwerkende functies voor de frame grabber uitgewerkt zodat door het aanroepen van een bibliotheek functie de frame grabber een aantal handelingen verricht. Deze functies kunnen worden aangeroepen door MS pascal programma's. Voor het besturen van de frame grabber maakt de bibliotheek gebruik van een driver. Een driver is een software interface tussen een programma en randapparatuur (in dit geval de frame grabber) waarin staat hoe de randapparatuur aangestuurd moet worden. Voor de adressering van het geheugen is een coördinatensysteem voor de frame grabber gedefinieerd door de fabrikant (zie figuur 2.8).



Figuur 2.8: Het coördinaten systeem van de pixels in de frame grabber [DAT 90].

De frame processor is een extra insteek kaart die beeldinformatie opgeslagen op de frame grabber kan bewerken door middel van speciale beeldverwerkende hardware. Door het gebruik van de speciale hardware wordt een snellere bewerking van de beelden bereikt. Deze frame processor wordt door dezelfde software bibliotheek als de frame grabber bestuurd. De specificaties van de frame processor staan in bijlage 4.

Voor de frame grabber en de frame processor is een programma geschreven, Vision, bij de vakgroep Meet en Regeltechniek van de Faculteit elektrotechniek waarmee de beeldbewerkende mogelijkheden van de frame grabber en frame processor gebruikt kunnen worden [SAB 90].

Het computer systeem

De computer is niet alleen een onderdeel van het beeldverwerkende systeem maar is ook een belangrijke component van het 2-D meetsysteem. Hier worden alleen de mogelijkheden van de computer om beelden te verwerken beschreven. Met behulp van programma's die op de p.c. draaien is het mogelijk om de frame grabber in te stellen en te activeren. Daarnaast kan de p.c. direct beeldinformatie uit het frame grabber geheugen inlezen en bewerken. Dit gaat langzamer dan beeldverwerking op de frame grabber zelf maar op deze wijze kunnen ingewikkelder algoritmen in software worden uitgevoerd.

2.4 Inbouw camera in de UMM meetmachine

De inbouw van een camera in de UMM kan op twee manieren geschieden [VER 91]:

- door de camera met optiek onder de meetkop van de UMM te hangen in plaats van het blok met de objectief lenzen;
- door alleen de sensor van de camera op de plaats van de kruisdraadhouder in de meetkop in te bouwen. Hierbij wordt gebruik gemaakt van de optiek van de UMM.

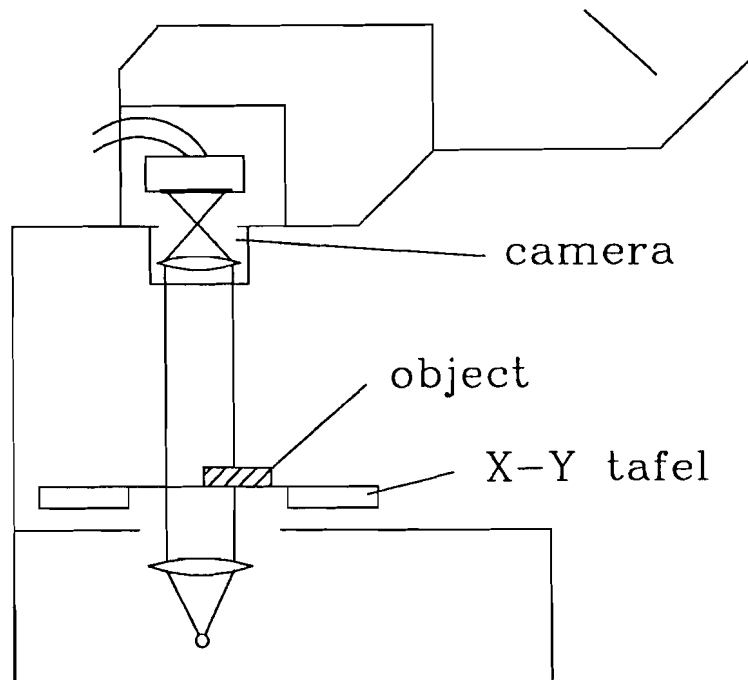
Besloten is om beide methoden uit te voeren. Doordat door het vervangen van de objectief lenzen door een camera geen beeld meer ontstaat in de kruisdraadhouder kunnen beide mogelijkheden niet tegelijkertijd gebruikt worden.

Montage onder de meetkop

De camera vervangt in dit geval het blok met de objectief lenzen (zie figuur 2.9). Dit wordt schematisch weergegeven in figuur 2.10.

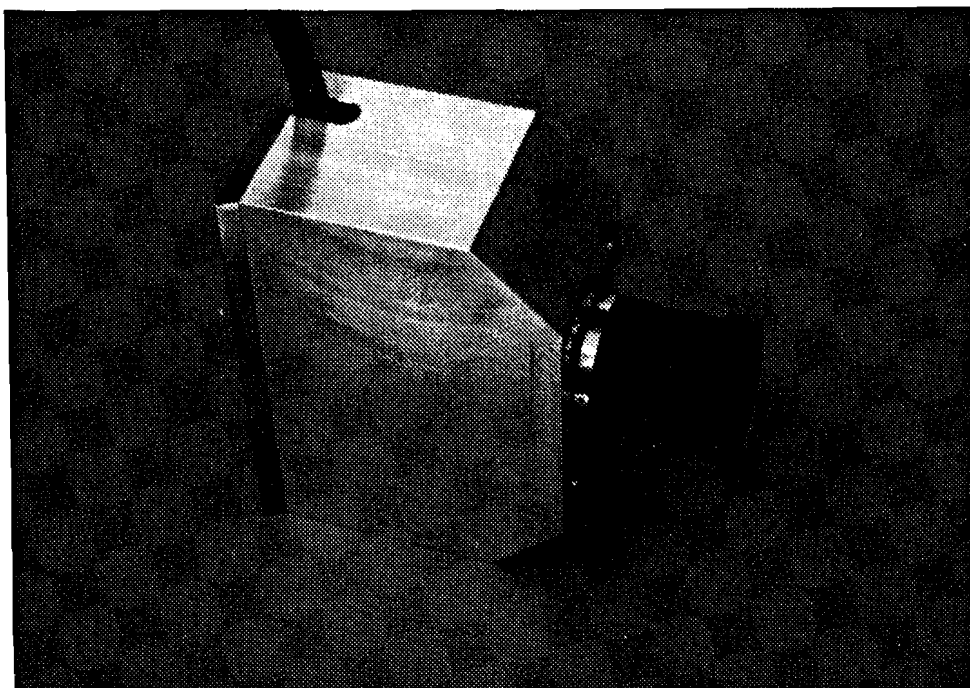


Figuur 2.9: Blok met objectief lenzen in de UMM.



Figuur 2.10: Schematisch overzicht van de UMM met camera onder de meetkop.

Het voorwerp wordt door de optiek van de camera direct op de sensor afgebeeld. In verband met de belichting is het noodzakelijk dat de lens van de camera op de zelfde positie, in x en y richting, wordt geplaatst als de eerste objectief lens van de UMM. Hiervoor wordt een positie nauwkeurigheid van 0.1 mm geëist. Voor deze montage is een blok gemaakt dat op dezelfde wijze als het blok met objectief lenzen aan de UMM bevestigd kan worden (zie figuur 2.11).



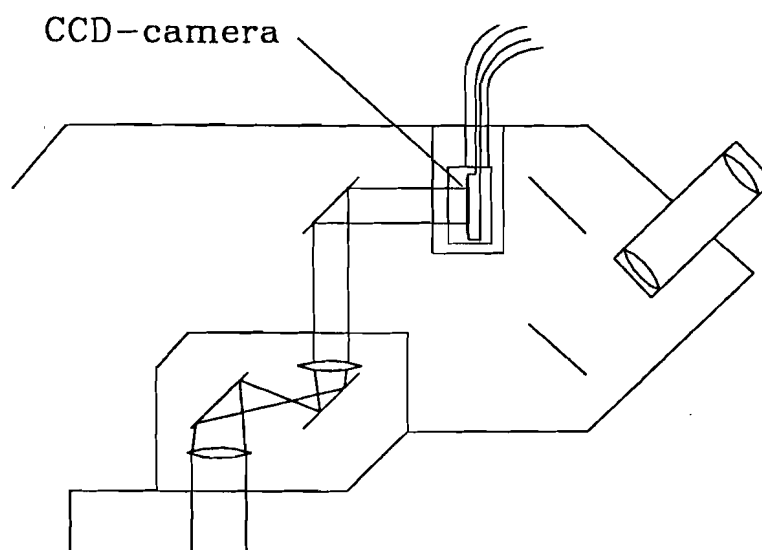
Figuur 2.11: Camera met blok voor montage onder de meetkop.

Het scherpstellen kan nu op twee manieren geschieden, door het verplaatsen van de lens ten opzichte van de camera of door het verplaatsen van de meetkop in z richting. Bij de eerst methode veranderen voorwerps- en beeldafstand en daarmee ook de vergrotingsfactor waarmee het voorwerp wordt afgebeeld. Doordat bij de aangeschafte camera de aansluiting van de kabel aan de losse kop aan de achterzijde van de losse kop zit is veel ruimte nodig voor het laten uittreden van de kabel. Dit kan vermeden worden door de aansluiting van de kabel aan de zijkant van de losse kop te plaatsen. Overleg met de fabrikant toonde aan dat dit mogelijk was echter tegen een aanzienlijke meerprijs waardoor dit niet is gerealiseerd.

nee ✓

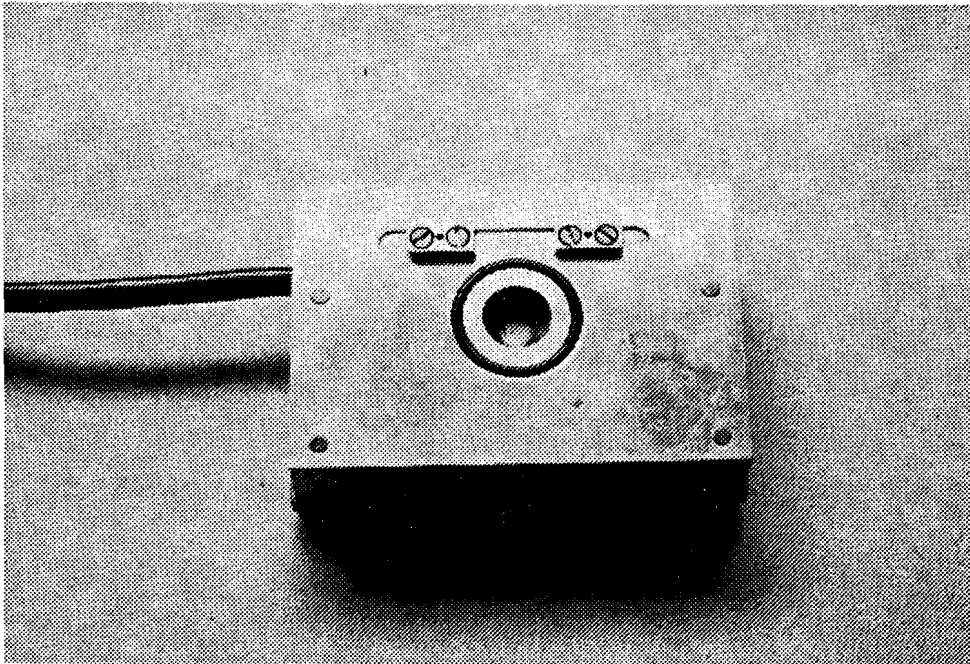
Montage in de meetkop

De sensor van de camera wordt hierbij zonder optiek in een blok gemonteerd dat de kruisdraadhouder van de UMM vervangt. Dit wordt schematisch weergegeven in figuur 2.12.

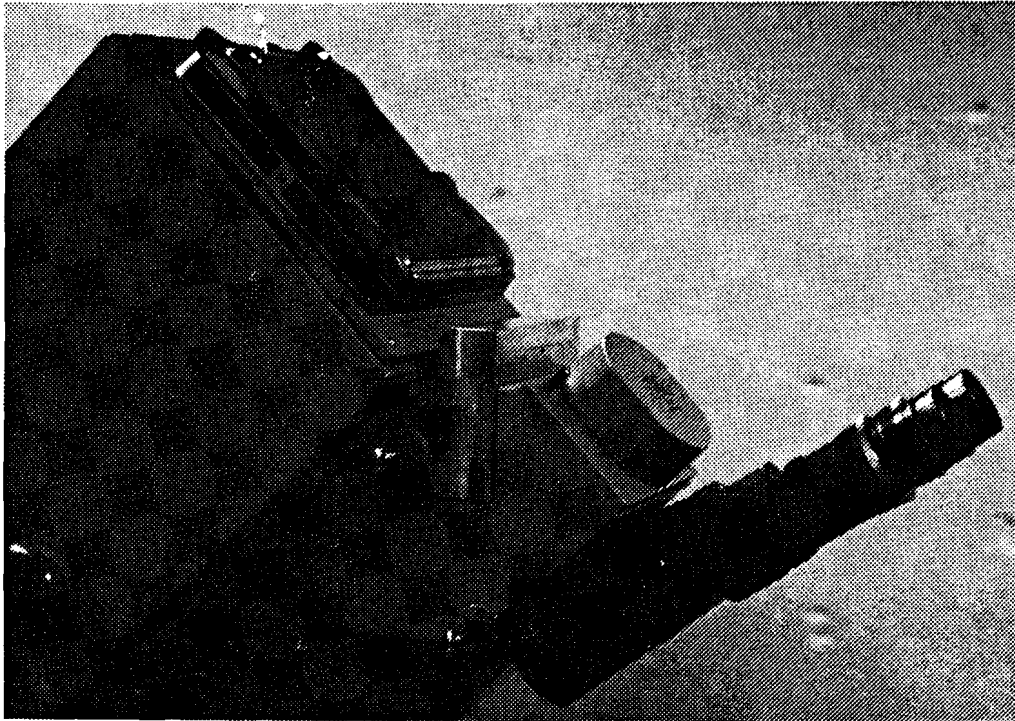


Figuur 2.12: Schematisch overzicht van de UMM met sensor in plaats van de kruisdraad houder.

Op de positie van de kruisdraad wordt door de optiek een reëel beeld aangemaakt. Dit is noodzakelijk om zowel het voorwerp als de kruisdraad zichtbaar te maken voor de operator. Door het bestaan van dit reële beeld kan het voorwerp op de sensor worden afgebeeld. Het is niet noodzakelijk dat de sensor exact op de positie van de sensor wordt gemonteerd. De afwijking in de beeldafstand kan gecorrigeerd worden door het instellen van de goede voorwerpsafstand. Hierdoor verandert wel de vergrotingsfactor maar deze kan door calibratie bepaald worden (zie paragraaf 4.5). Voor de positionering van de sensor in het vlak loodrecht op de optische as wordt 0.1 mm geeist. De montage van de sensor in dit blok wordt in bijlage 5 behandeld. Het complete blok wordt getoond in figuur 2.13. figuur 2.14 toont dit blok met camera gemonteerd in de meetmachine.



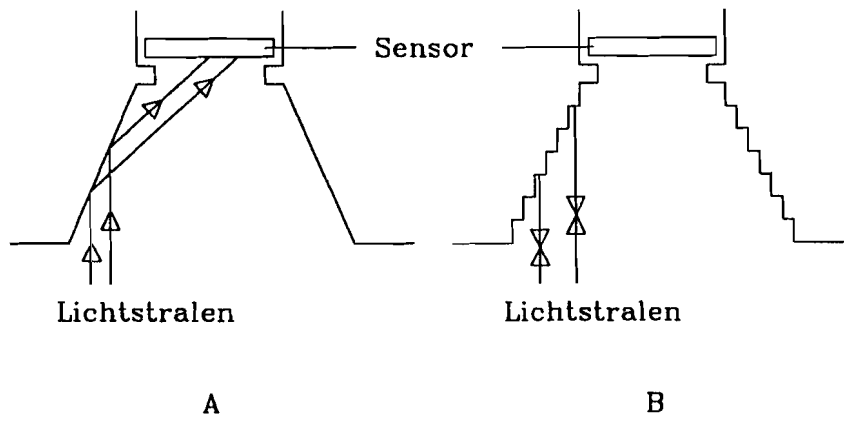
Figuur 2.13: Sensor in het blok voor inbouw in de meetkop.



Figuur 2.14: Blok voor inbouw gemonteerd in de meetmachine.

Omdat de sensor vast in dit blok zit en daardoor niet kan bewegen ten opzichte van de optiek kan het scherpstellen alleen bereikt worden door het verstellen van de meetkop in z richting. Hierdoor wordt een goed gefocuseerd beeld altijd met dezelfde vergrotingsfactor afgebeeld.

Bij het eerste ontwerp van dit blok is gebleken dat strooilicht op de sensor terecht kan komen door reflectie van dit licht op de overgang van de sensor naar de 2-D meetmachine. Deze overgang is in het eerste ontwerp als schuin glad vlak uitgevoerd. De optiek van de UMM heeft op de positie van de sensor een licht bundel met een grotere diameter dan de sensor zelf. Het licht dat niet direct op de sensor valt wordt gereflecteerd op de gladde overgang. Hierdoor ontstaat de situatie zoals geschetst in figuur 2.15 a. Het op de sensor vallende strooilicht resulteert bij hoge lichtintensiteit in een lichtvlek op het midden van de sensor die het beeld in sterke mate verstoort. Dit probleem is in het tweede ontwerp opgelost door de overgang naar de sensor getrappt te laten verlopen (zie figuur 2.15 b) en het oppervlak van het getrapte gedeelte een anti reflectie behandeling te geven (zoals opruwen en donker maken). Dit is een bekende techniek bij het maken van optische componenten.



Figuur 2.15: Ontwerpfout in het blok voor inbouw.

a) Reflectie van de lichtbundel op de schuine overgang.

b) Getrapte overgang.

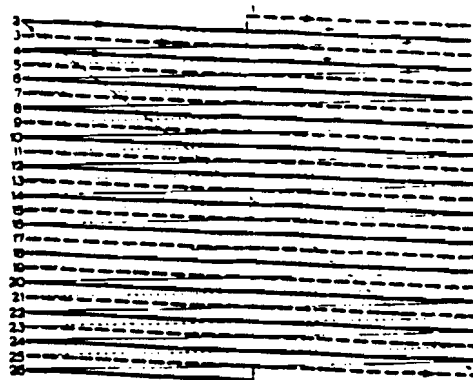
3. PIXELSYNCHRONE UITLEZING

3.1 Inleiding

Het omzetten van de beeldinformatie van de camera naar de frame grabber (het uitlezen van de camera) bepaald in hoge mate de kwaliteit van het opgeslagen beeld [VER 91]. Deze uitlezing kan op een aantal manieren worden gedaan. Uit het literatuuronderzoek is naar voren gekomen dat pixelsynchrone uitlezing de beste mogelijkheden voor kwalitatief goede uitlezing biedt. Bij de aanschaf van de componenten van het beeldverwerkend systeem was het een eis dat pixelsynchrone uitlezing mogelijk is. Het aangeschafte systeem bezit deze mogelijkheid niet direct maar door het toevoegen van een stuk elektronica is pixelsynchrone uitlezing realiseerbaar. Om duidelijk te maken waarom pixelsynchrone uitlezing de voorkeur verdient wordt de uitlezing van de camera beschreven. Hiervoor moet eerst het videosignaal, dat door de camera wordt aangemaakt, worden behandeld. Hierna wordt op de verschillende uitleesmethoden ingegaan en worden de invloeden die zij hebben op het opgeslagen beeld behandeld. Voor de pixelsynchrone uitlezing moet een elektronische interface worden toegevoegd aan het systeem. In paragraaf 3.4 wordt de werking van deze interface behandeld. Deze interface is gemaakt bij de vakgroep Meet en Regeltechniek van de Faculteit Elektrotechniek. In paragraaf 3.5 wordt het testen van deze interface beschreven.

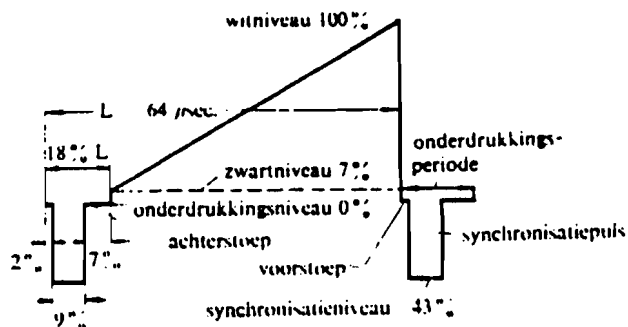
3.2 Het video signaal

De norm voor zwart/wit videosignalen in Nederland is de CCIR-B norm [CCI 70]. Deze norm is gebaseerd op "televisie kijken" met een beeldbuis. Hierbij vindt de beeldopbouw plaats door de helderheidsmodulatie van een lichtstip (spot) die in een geordend lijnpatroon over het beeldscherm wordt bewogen (zie figuur 3.1). Het CCIR-B videosignaal bevat 25 beelden per seconde. Deze beelden zijn geïnterlinieerd, hetgeen wil zeggen dat elk beeld is opgebouwd uit twee halfbeelden (rasters) waarvan het ene halfbeeld de even lijnen en het andere halfbeeld de oneven lijnen bevat. Eerst wordt het ene halfbeeld verstuurd, daarna het andere. Het totale beeld is opgebouwd uit 625 lijnen. In figuur 3.1 zijn naast de lijnen die het beeld vormen (de vet gedrukte lijnen en stippellijnen) ook de lijnen te zien waarlangs de spot terugspringt naar het begin van een nieuwe lijn en naar het begin van het tweede raster (de dun gedrukte lijnen en stippellijnen). Dit noemt men de lijn- en rasterterugslag.

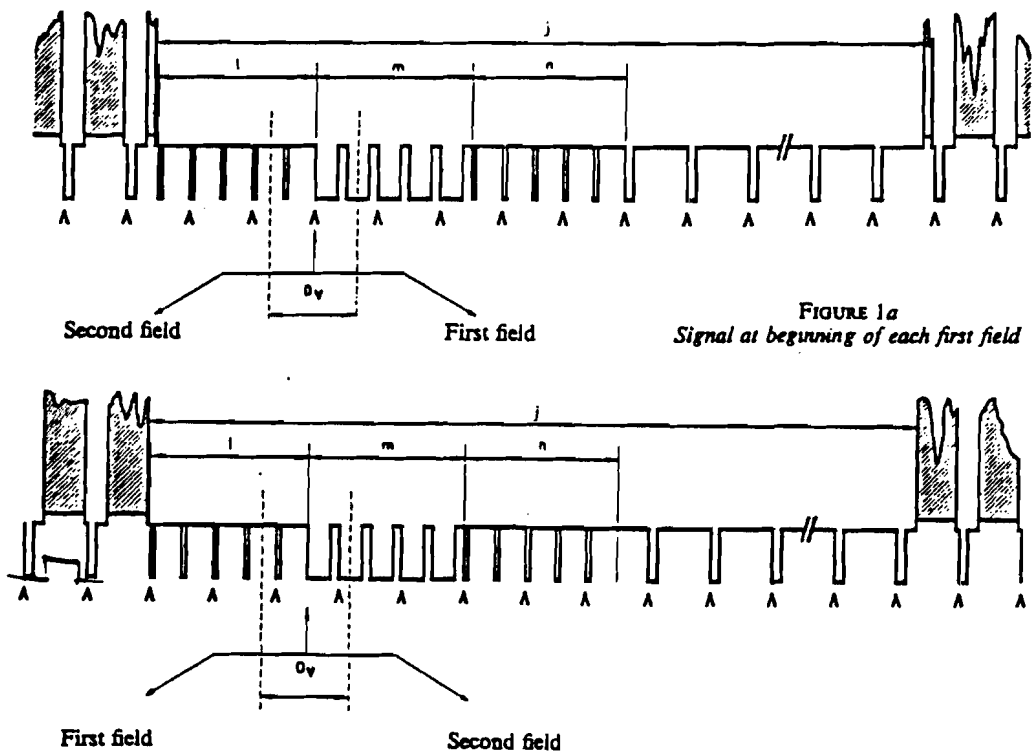


Figuur 3.1: Lijnpatroon van de lichtspot bij het CCIR videosignaal [VLI 90].
(vereenvoudigd weergegeven als een beeld met 26 lijnen)

Om een goede gelijkloop van de aftastelektronica in camera en weergever te garanderen worden synchronisatiepulsen met het videosignaal meegestuurd. We onderscheiden lijnsynchronisatiepulsen (horizontale sync pulsen) (zie figuur 3.2) en rastersynchronisatiepulsen (verticale sync pulsen) (zie figuur 3.3). In het weergave-apparaat met beeldbuis (monitor) wordt het videosignaal gesplitst in een helderheidssignaal, een lijnsynchronisatiesignaal en een rastersynchronisatiesignaal. Het helderheidssignaal wordt gebruikt om de intensiteit van de spot te regelen.



Figuur 3.2: Het videosignaal van een lijn met synchronisatiepuls [VLI 90].
(verticaal: spanning, horizontaal: tijd)



Figuur 3.3: De rastersynchronisatie. Met O_v wordt de scheiding tussen de halfbeelden aangegeven. Alle pulsen onder j zijn de rastersynchronisatiepulsen (20 lijnen volgens de CCIR norm) [CCIR normblad].
(verticaal: spanning, horizontaal: tijd)

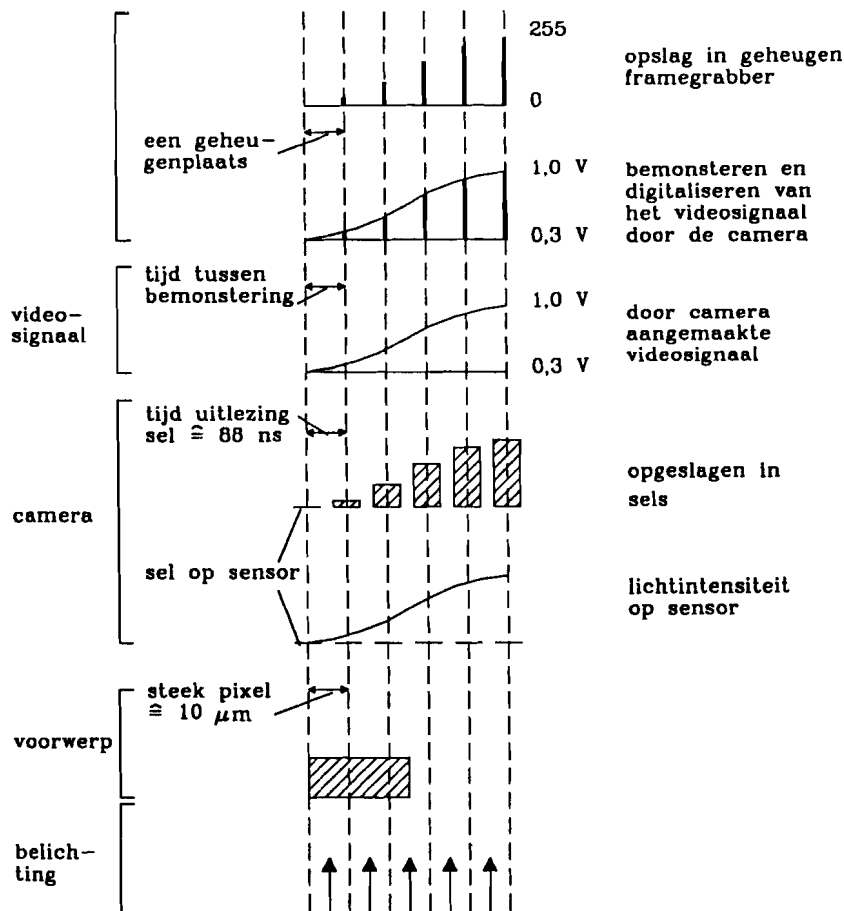
Het lijnsynchronisatiesignaal wordt toegevoerd aan de schakeling voor de horizontale afbuiging van de elektronenstraal. Het rastersynchronisatiesignaal wordt toegevoerd aan de schakeling die de verticale afbuiging verzorgt. De rastersynchronisatie neemt 20 lijnen per halfbeeld in beslag. Deze lijnen kunnen geen beeldinformatie bevatten. Per beeld, dus per twee halfbeelden, blijven 585 lijnen over die wel beeldinformatie kunnen bevatten.

Figuur 3.2 toont het signaal van een lijn. In dit signaal kunnen we een aantal niveaus onderscheiden. Ten eerste moet het helderheidssignaal in staat zijn om de weergever tot een maximale lichtopbrengst (witste wit) uit te sturen. Anderzijds moet ook zwart kunnen worden bereikt. Voor een ongestoorde weergave is dit echter nog niet voldoende. Tijdens de lijn- en rasterterugslag is het van belang om het helderheidssignaal beneden zwartniveau te drukken omdat eventuele stoorpulsjes, die op het signaal gesuperponeerd zijn, dan minder kans krijgen om tijdens de lijn- en rasterterugslag hinderlijke spikkels in het beeld te veroorzaken. In spanning uitgedrukt is de lijnsynchronisatiepuls 0 Volt en het witniveau 1,0 Volt.

Volgens de norm duurt het signaal voor een lijn $64 \mu\text{s}$. Voor de beeldinformatie blijft ongeveer $52,5 \mu\text{s}$.

3.3 Uitlezen van de camera

Het uitlezen van een video camera houdt in het aanmaken van de beeldinformatie van het videosignaal door de camera en het omzetten van deze beeldinformatie naar het geheugen van de frame grabber. De beeldinformatie van een video lijn wordt door de camera aangemaakt door de sels van een rij aan een D/A convertor toe te voeren (het uitlezen van de sels). Voor één rij sels wordt weergegeven in figuur 3.4. De streeplijnen in deze figuur geven de "posities" weer van de beeldinformatie in het beeldverwerkend systeem. In de camera zijn dit de posities van de sels op de lijn, in het videosignaal het tijdstip waarop de beeldinformatie van de sels is omgezet naar het videosignaal en in de frame grabber is dit de positie van de pixels op een rij. In het ideale geval zijn deze "posities" rechtstreeks gekoppeld, het praktische situatie wordt later behandeld. De omzetting verloopt in de figuur van onder naar boven. Als eerste wordt de omzetting van een rand naar de intensiteits verdeling op de sensor getoond. Dit heeft niet direct iets met de omzetting van de camera te maken maar omdat het 2-D meetsysteem randen moet detecteren is dit een goed voorbeeld om de uitlezing van de camera te verduidelijken.



ideale situatie

Figuur 3.4: Aanmaak van het digitale beeld in de frame grabber.

Het uitlezen van de sels gebeurt met een bepaalde frequentie, geleverd door de camera klok. Het omzetten van het videosignaal naar het geheugen van de frame grabber is een A/D conversie van de beeldinformatie van het videosignaal. Hiervoor wordt het videosignaal bemonsterd en de spanning op het tijdstip van bemonstering wordt gedigitaliseerd. De bemonstering wordt uitgevoerd met een bepaalde frequentie, geleverd door de pixel klok. De gedigitaliseerde waarde wordt opgeslagen in het geheugen van de frame grabber. Om het beeld optimaal in te lezen is het wenselijk dat het tijdstip van bemonsteren door de frame grabber dezelfde informatie oplevert als het uitlezen van de sels. Dit wordt pixelsynchrone uitlezing genoemd.

Het totale beeld wordt gevormd door de opeenvolgende rijen sels uit te lezen zoals hierboven beschreven.

Bij het bemonsteren kunnen fouten optreden in:

- De frequentie waarmee bemonsterd wordt;
- Het faseverschil tussen het uitlezen van een sel en de bemonstering van het videosignaal.

Door deze fouten wordt het videosignaal op verkeerde plaatsen bemonsterd en gedigitaliseerd. Hierdoor wordt het opgeslagen beeld vervormd ten opzichte van het beeld op de sensor. Deze vervorming treedt alleen in horizontale richting op omdat het bemonsteren alleen in de videolijnen gebeurt. De omzetting van sensor naar frame grabber in verticale richting wordt bepaald door het aanmaken van de opeenvolgende videolijnen. Uit de literatuur blijkt dat per lijn beide fouten optreden maar dat deze niet systematisch en verschillend van grootte zijn [LUH 87, DÄH 87].

Bij de frame grabber kunnen bij het bemonsteren (binnenhalen) van een beeld twee methoden worden gebruikt:

- a) De frame grabber bepaalt de frequentie en het aanvangstijdstip van het bemonsteren met behulp van de synchronisatiesignalen uit het videosignaal van de camera (via de normale videoingang);
- b) De frame grabber maakt gebruik van signalen buiten het videosignaal voor het bepalen van de frequentie en de bepaling van het aanvangstijdstip (via de slow scan ingang). Deze extra signalen zijn dan het pulssignaal van de klok waarmee de camera de sels op de sensor uitleest en de synchronisatie pulsen die de camera buiten het videosignaal aanmaakt.

ad a) Via de videoingang

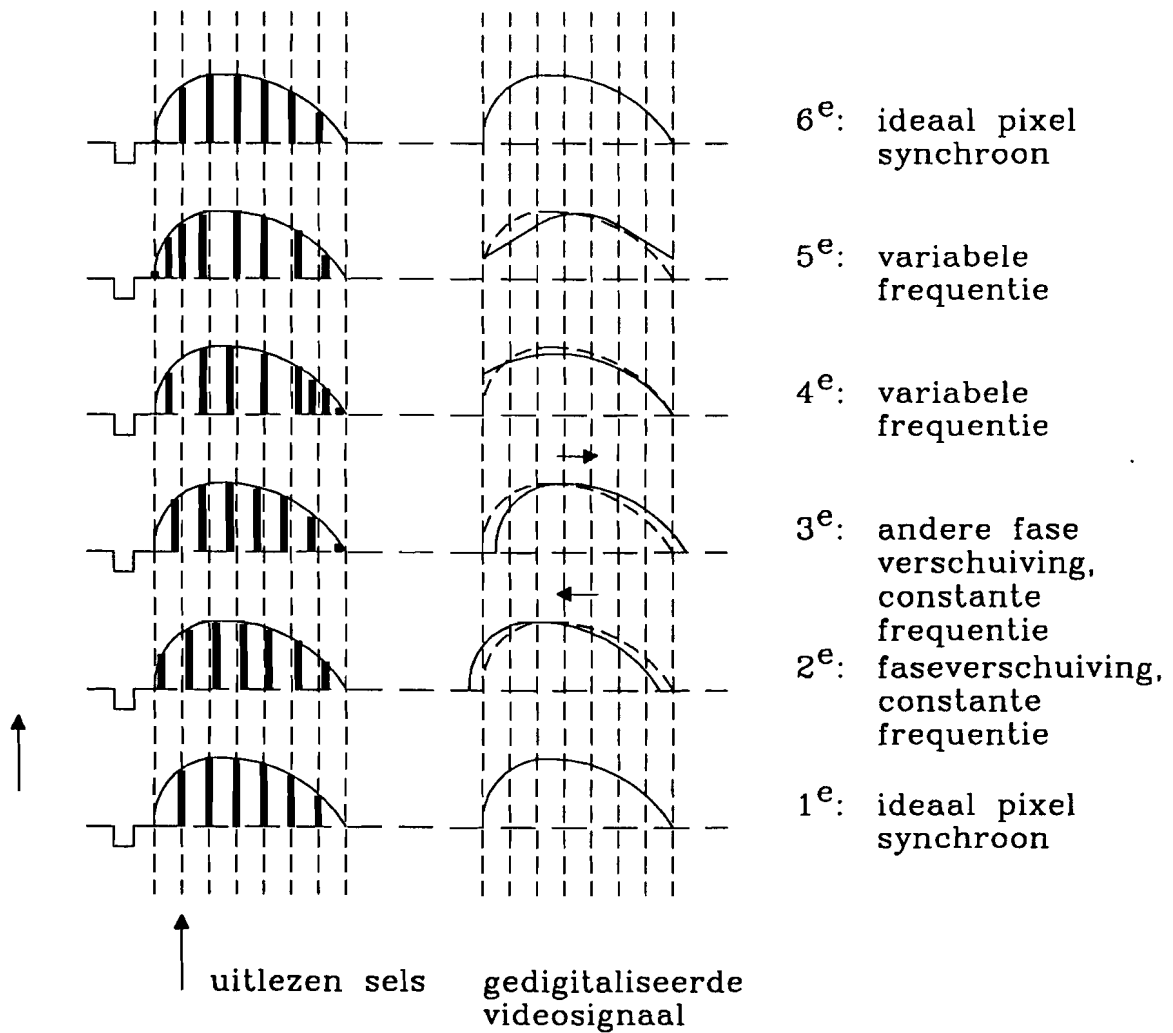
Deze methode bepaalt het begin van een videolijn uit de lijnsynchronisatie puls van het videosignaal. De detectie van het begin van een lijn kan variëren door spanningsvariaties in het videosignaal. Dit heeft als gevolg dat de fase verschuiving per lijn varieert [DÄH 87]. De bemonsterfrequentie wordt per videolijn bepaald uit het verschil van twee synchronisatie pulsen. Dit betekent dat wanneer de frequentie van de camera klok verandert de bemonsterfrequentie aangepast wordt. Doordat deze regeling als PLL schakeling wordt uitgevoerd is er altijd een afwijking van de bemonsterfrequentie [KRA 89]. Een PLL schakeling bepaald de frequentie uit het verschilsignaal tussen de, op een eerder tijdstip, aangemaakte frequentie en de frequentie die als ingang dient. Bij het videosignaal wordt de ingangsfrequentie bepaald uit de frequentie van de horizontale synchronisatie pulsen. Door de regeling is altijd een verschil tussen de twee frequenties.

Dit houdt in dat de tijdstippen van bemonstering niet gelijkmatig verdeeld zijn. Omdat de frequentie bepaald wordt uit twee synchronisatie pulsen treedt ook hier de eerder beschreven variatie van de detectie op. Dit resulteert in verschillende bemonsterfrequenties per lijn.

ad b) Via de slow scan ingang

Deze methode gebruikt de uitlees frequentie van de sels voor het bemonsteren van het videosignaal. De camera verstuurd hiervoor de pulssignalen van de camera klok. Het begin van het bemonsteren wordt bepaald uit het horizontale synchronisatie signaal dat ook door de camera aangemaakt wordt. Hierdoor is de afwijking tussen deze frequenties en afwijkingen van het fase verschil minimaal. De afwijkingen worden in dit geval alleen veroorzaakt door het versturen van de pulssignalen zelf maar niet door de bepaling van de frequenties van deze pulssignalen in de frame grabber. Echter doordat deze pulssignalen via andere wegen verlopen als het videosignaal is het wel mogelijk dat er faseverschuiving optreedt.

De invloed van de bovenstaande afwijkingen wordt in figuur 3.5 weergegeven ten opzichte van een perfect bemonsterd signaal. Uit het bovenstaande blijkt dat de beste uitlezing van de sensor bereikt wordt bij methode b) als bij deze methode de faseverschuiving weg geregeld kan worden. Met methode b) wordt dan pixelsynchrone uitlezing gerealiseerd. Pixelsynchrone uitlezing kan bij dit beeldverwerkend meetsysteem gerealiseerd worden door het bouwen van een interface die de signalen van de camera op de frame grabber afstemt en het instellen van de faseverschuiving mogelijk maakt. Dit wordt in de volgende paragraaf beschreven.



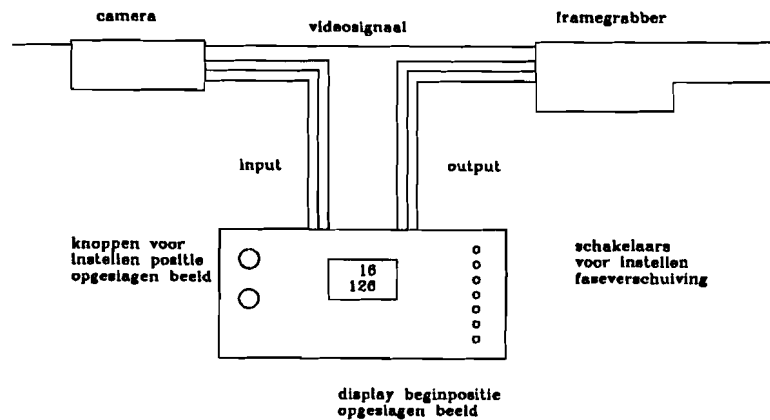
Figuur 3.5: Overzicht van de afwijkingen bij het bemonsteren.

3.4 Interface voor pixelsynchrone uitlezing

Aan de te ontwerpen interface worden de volgende eisen gesteld:

- De interface moet de camerasignalen correct omzetten naar de stuursignalen voor de frame grabber.
- De fase verschuiving tussen het uitlezen van de sels en het bemonsteren van het videosignaal moet instelbaar zijn met een bereik van minimaal de waarde die één pixel vertegenwoordigd (88 ns).
- De instelling van de fase verschuiving moet in stappen van maximaal 1/10 pixel (9 ns) verlopen.

De interface wordt aangesloten op de camera en de frame grabber (zie figuur 3.6).



Figuur 3.6: De interface in het camera meetsysteem.

Uit de camera komen naast het videosignaal de volgende signalen:

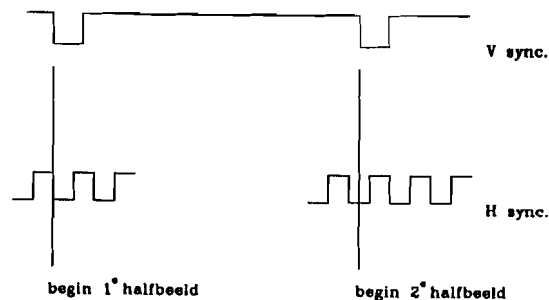
- Camera klok , geeft de frequentie waarmee de sels worden uitgelezen;
- Horizontale sync , geeft het begin van een videolijn aan;
- Verticale sync , geeft het begin van een halfbeeld aan

De frame grabber heeft bij het gebruik van de slow scan ingang de volgende stuursignalen nodig:

- Scan Trigger , geeft het begin van een nieuw beeld aan;
- Pixel Clock , geeft het moment van bemonstering aan.
- Clock Enable , geeft aan wanneer het beeldsignaal moet worden bemonsterd:

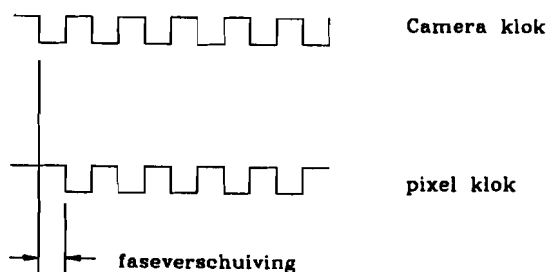
Het bemonsteren van het videosignaal wordt zowel door de Pixel Clock als de Clock Enable bepaald. Alleen als het signaal op de Clock Enable ingang "hoog" is en er treedt een puls binnen op de Pixel Clock ingang dan wordt het videosignaal bemonsterd.

De Scan Trigger moet worden bepaald uit het begin van het eerst halfbeeld. Dit begin wordt aangegeven door de combinatie van Horizontale en Verticale synchronisatie (zie figuur 3.7).



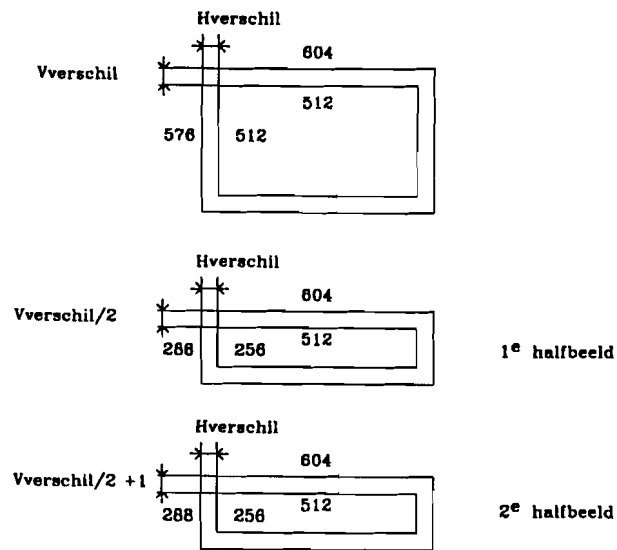
Figuur 3.7: Bepaling van de Scan Trigger.

Voor pixelsynchrone uitlezing is het nodig dat de Pixel Clock dezelfde frequentie heeft als de Camera klok. Voor het instellen van de faseverschuiving tussen uitlezing van een sel en de bemonstering moet het echter mogelijk zijn om een faseverschuiving aan te brengen tussen de Camera klok en de Pixel Clock (zie figuur 3.8).



Figuur 3.8: Fase verschuiving tussen Camera klok en Pixel Clock.

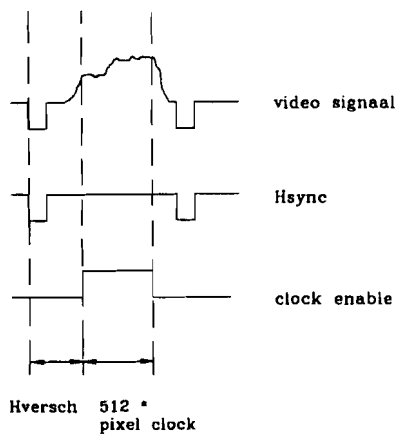
Het signaal op de Pixel Clock ingang bepaald wanneer het videosignaal bemonsterd wordt. Het signaal op de Clock Enable bepaald het gedeelte van het videosignaal dat bemonsterd wordt. Door de pixelsynchrone uitlezing komt een sel op de sensor overeen met een pixel in de frame grabber. Omdat de frame grabber 512*512 pixels heeft en de camera 604*576 sels moet de Clock Enable zo worden gemaakt dat het video signaal van 512*512 aaneengesloten sels wordt bemonsterd. Hierdoor wordt maar een gedeelte van het aangemaakte beeld in de frame grabber opgeslagen (zie figuur 3.9 a). De positie van het opgeslagen beeld ten opzichte van het aangemaakte beeld wordt aangegeven door de positie van de linkerbovenhoek van het opgeslagen beeld in het camera beeld. Omdat het videosignaal is opgebouwd uit twee halfbeelden zal dit in werkelijkheid uitzien als figuur 3.9b.



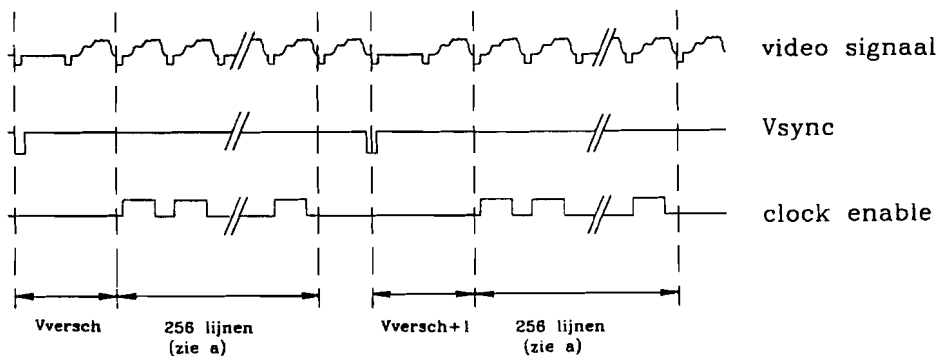
Figuur 3.9: Verschil tussen door camera aangemaakte beeld en door frame grabber ingelezen beeld.

- a) resulterende beeld;
- b) werkelijk geïnterlinieerde beeld.

Het signaal voor de Clock Enable moet dus in 256 opeenvolgende lijnen in één halfbeeld voor 512 pulsen van de Pixel Clock hoog zijn. De eerst lijn waarbij de Clock Enable omhoog moet gaan wordt bepaald door de Verticale sync en door de y-positie van het opgeslagen beeld in het camera beeld. De eerst pixel in een lijn waarbij de Clock Enable omhoog moet wordt bepaald door de Horizontale sync en de x-positie van het opgeslagen beeld. Het vereiste verloop van de Clock Enable is weergegeven in figuur 3.8.



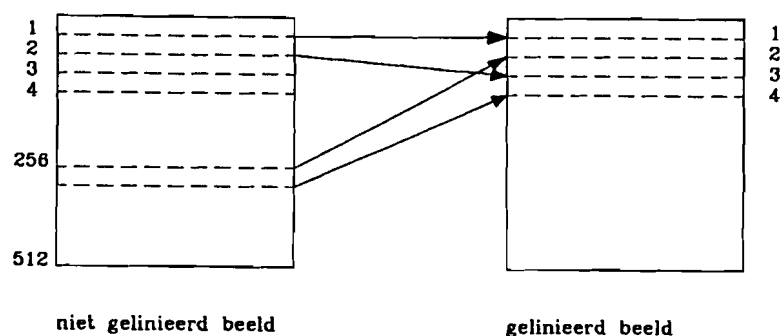
A



B

Figuur 3.10: Het vereiste verloop van het Clock Enable stuursignaal.

Door de interliniëring van het videobeeld treedt een nadeel op van het gebruik van de slow scan ingang. Deze ingang verwacht een niet. Het toevoeren van een geïnterlinieerd beeld resulteert in de opslag van de twee halfbeelden boven elkaar in het frame grabber. Het beeld kan in de goede toestand worden gebracht door de pixels van de eerste 256 rijen naar de oneven rijen te verplaatsen en de pixels van de tweede 256 rijen naar de even rijen te verplaatsen (figuur 3.11).



Figuur 3.11: Samenstellen van het geïnterlinieerde beeld.

Dit verplaatsen kan worden gedaan door het aanroepen van functies in de software bibliotheek door een programma. De verplaatsing wordt door de computer uitgevoerd en niet door de frame grabber zelf. Doordat een heel beeld verplaatst moet worden (een beeld is 256 Kb) door de computer is dit een trage oplossing. Het interliniëren van het beeld kost ongeveer twee seconden. Dit probleem is alleen op te lossen als de frame grabber zo kan worden aangepast om, net als via de normale ingang, een geïnterlinieerd beeld kan inlezen.

Het definitieve ontwerp van deze interface wordt elders beschreven [VRI 91].

3.5 Testen van de interface

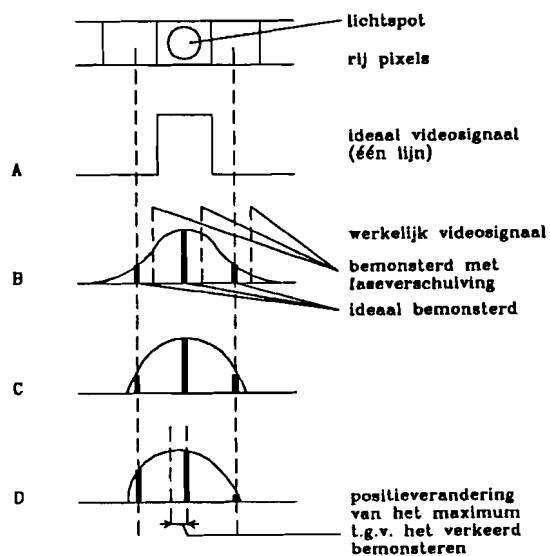
Het testen van de interface bestaat uit de volgende delen:

- a) Testen of beelden kunnen worden ingelezen via de slow scan ingang met behulp van de interface;
- b) Testen of de fasevertraging zo is in te stellen dat het uitlezen van een sel en het moment van bemonsteren samenvallen;
- c) Testen of in de beelden via de slow scan ingang minder jitter optreedt dan in beelden opgenomen via de normale video ingang.

Voordat het eigenlijke testen wordt beschreven wordt eerst de methode voor het instellen van de faseverschuiving behandeld. Deze methode is ontwikkeld in het begin van het ontwerpen van interface. De methode is ook geschikt voor het bepalen van de jitter in een lijn in opeenvolgende beelden. Bij het toepassen van deze methode is gebleken dat ook de jitter in een beeld bepaald kan worden.

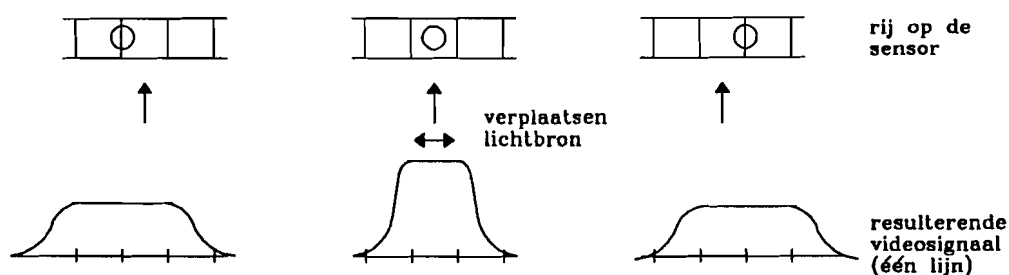
Bepaling van de faseverschuiving en de jitter.

Voor het instellen van de faseverschuiving is een methode bedacht die uitgaat van het belichten van een sel. Wanneer één sel (of één kolom sels) op de sensor belicht wordt en de omzetting naar het videosignaal perfect is ontstaat in de videolijn, die aangemaakt wordt door de rij waar de belichte sel in ligt, een puls van 88 ns breed is (zie figuur 3.11 a). De puls heeft deze breedte omdat de uitleesfrequentie van de sels 11.25 Mhz is. Dit komt overeen met een uitleestijd per sel van 88 ns. Omdat de D/A conversie niet perfect is ontstaat een op een puls lijkende kromme die breder is dan 88 ns (zie figuur 3.11b). Wanneer deze kromme in het videosignaal bemonsterd wordt moet het tijdstip van bemonsteren samenvallen met het maximum van de kromme. Dit betekent dat het maximum van deze kromme in de frame grabber precies op een pixel moet vallen. Voor het bepalen van de positie van dit maximum in de frame grabber wordt een tweedegraads kromme door drie pixels in een rij bepaald. Deze pixels zijn de pixel met de hoogste grijswaarde en zijn beide buurpixels. De positie van het maximum van de tweedegraads kromme kan wiskundig worden berekend. Deze positie wordt berekend in fracties van de pixel afstand. De positie van dit berekende maximum moet overeenkomen met een het midden van een pixel (zie figuur 3.11c). Als de frame grabber niet correct bemonsterd valt de positie van het maximum tussen twee pixels (zie figuur 3.11d).



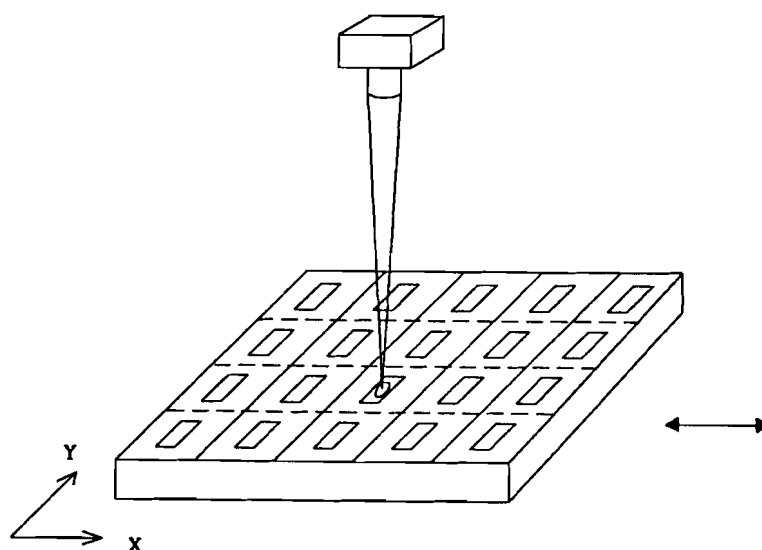
Figuur 3.11: Verlichten van een sel door een lichtspot.

Voor het belichten van een sel moet de sensor beschreven worden met een lichtspot kleiner dan $10\ \mu\text{m}$. De afzonderlijke lijnen van het videosignaal kunnen worden bestudeerd op een oscilloscoop. Deze lichtbundel kan met behulp van het videosignaal en een oscilloscoop op een sel worden gepositioneerd. Als de lichtbundel boven een sel staat is de kromme in het videosignaal smal en hoog, als de spot op de scheiding tussen twee pixels staat ligt het maximum van de kromme lager en is de kromme zelf breder het licht dan over twee sels verdeelt wordt (zie figuur 3.12).

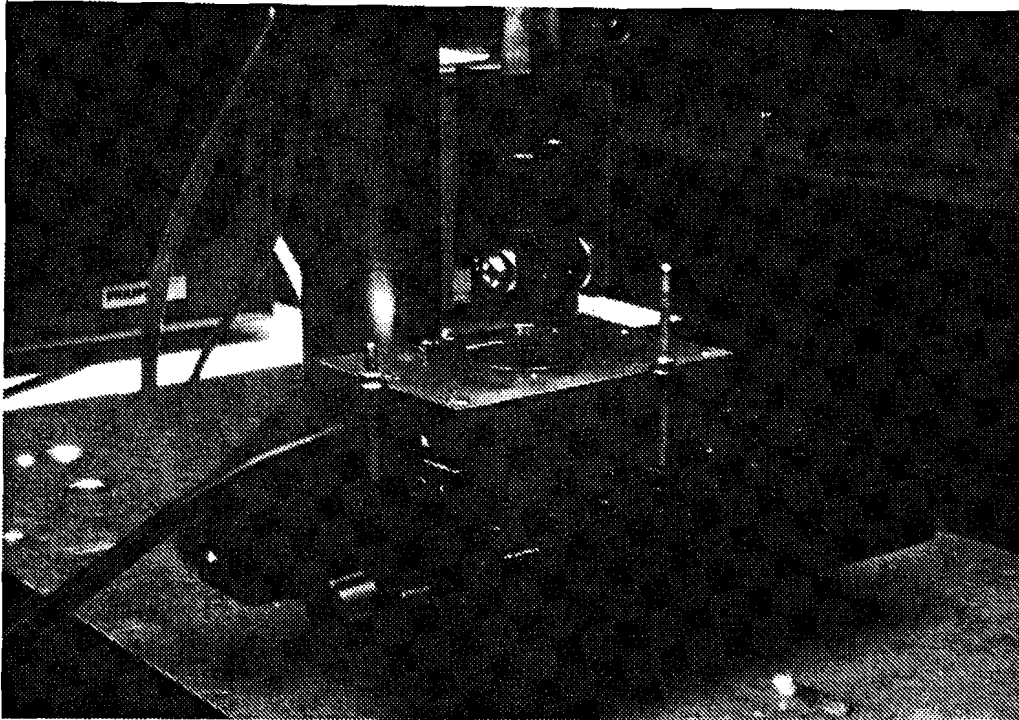


Figuur 3.12: Positioneren van de sel onder de laserspot.

Het bovenstaande is toegepast in een opstelling (zie figuur 3.13 en figuur 3.14). Met behulp van een diode laser en een lens wordt een spot geprojecteerd op de CCD sensor. De camera is aangesloten op een monitor.



Figuur 3.13: Belichten van een sel door een diode laser.

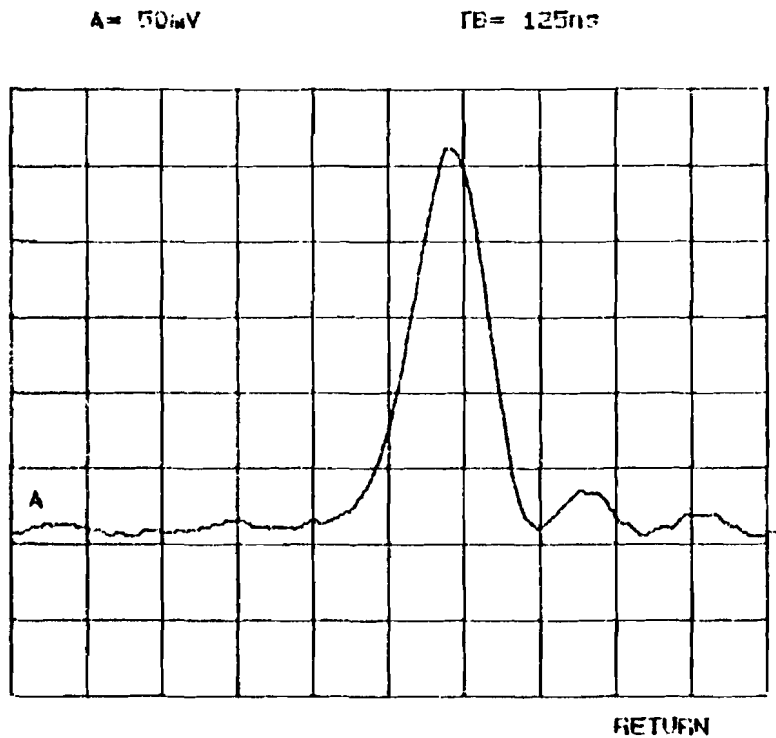


Figuur 3.14: Opstelling voor het belichten van de sensor met een diode laser.

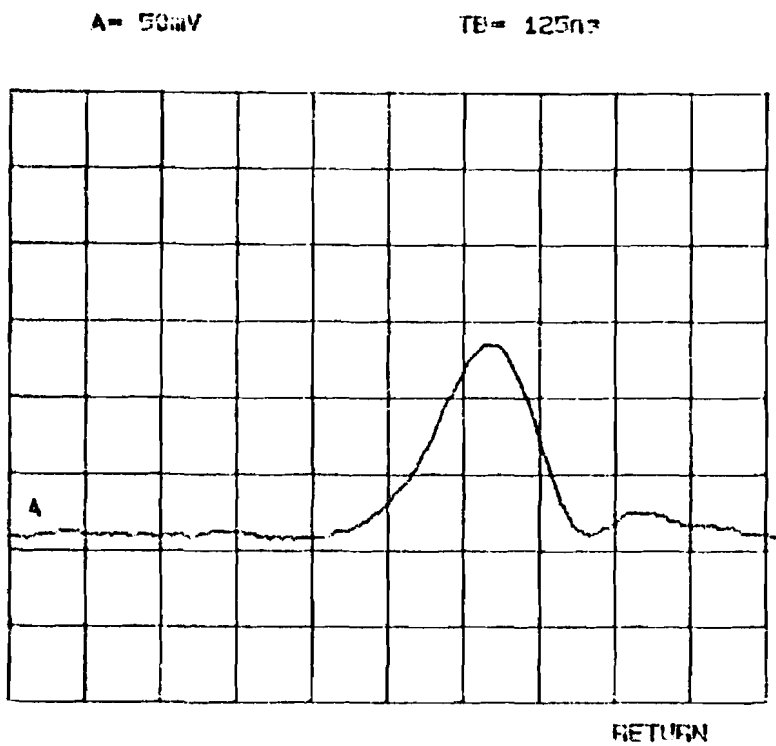
De minimale spot diameter is volgens de specificaties $4 \mu\text{m}$. In de praktijk blijkt het niet mogelijk één pixel te belichten. Oorzaken hiervoor zijn:

- De bundel diameter is groter dan in de specificaties aangegeven;
- Er treedt blooming op, dit is het wegstromen van gegenereerde ladingsdragers

Als de laser op de sensor is gefocusseerd en de licht intensiteit wordt opgevoerd treedt smear op. Smear is het wegstromen van elektronen in de kolom van de CCD sensor. De elektronen stromen in de kolom weg omdat de scheiding tussen de kolommen sterker is als tussen de rijen. Dit heeft zijn oorzaak in de techniek en daardoor de opbouw van de sensor. Hierdoor is het mogelijk om een kolom pixels te belichten. Het effect van de smear is dat een kolom pixels lading afgeeft alsof alleen deze kolom belicht is. Dit toont zich als een verticale lijn op de monitor. Met een oscilloscoop wordt het analoge uitgangssignaal van de camera bekeken. Als de spot boven een kolom staat bereikt de kromme in de videolijn zijn hoogste punt (zie figuur 3.15), als de spot twee pixels in één rij belicht is de kromme breder en het maximum heeft zijn laagste waarde (figuur 3.16). De verplaatsing van de spot wordt gerealiseerd door een translatie tafel. Met behulp van de oscilloscoop en de translatie tafel is het eenvoudig om de camera zo te positioneren dat het maximum van de kromme in het videosignaal de hoogste waarde bereikt.



Figuur 3.15: Plot van een met de oscilloscoop opgenomen videolijn met de laserspot boven één sel.



Figuur 3.16: Plot van een met de oscilloscoop opgenomen videolijn met de laserspot boven de scheiding van twee sels.

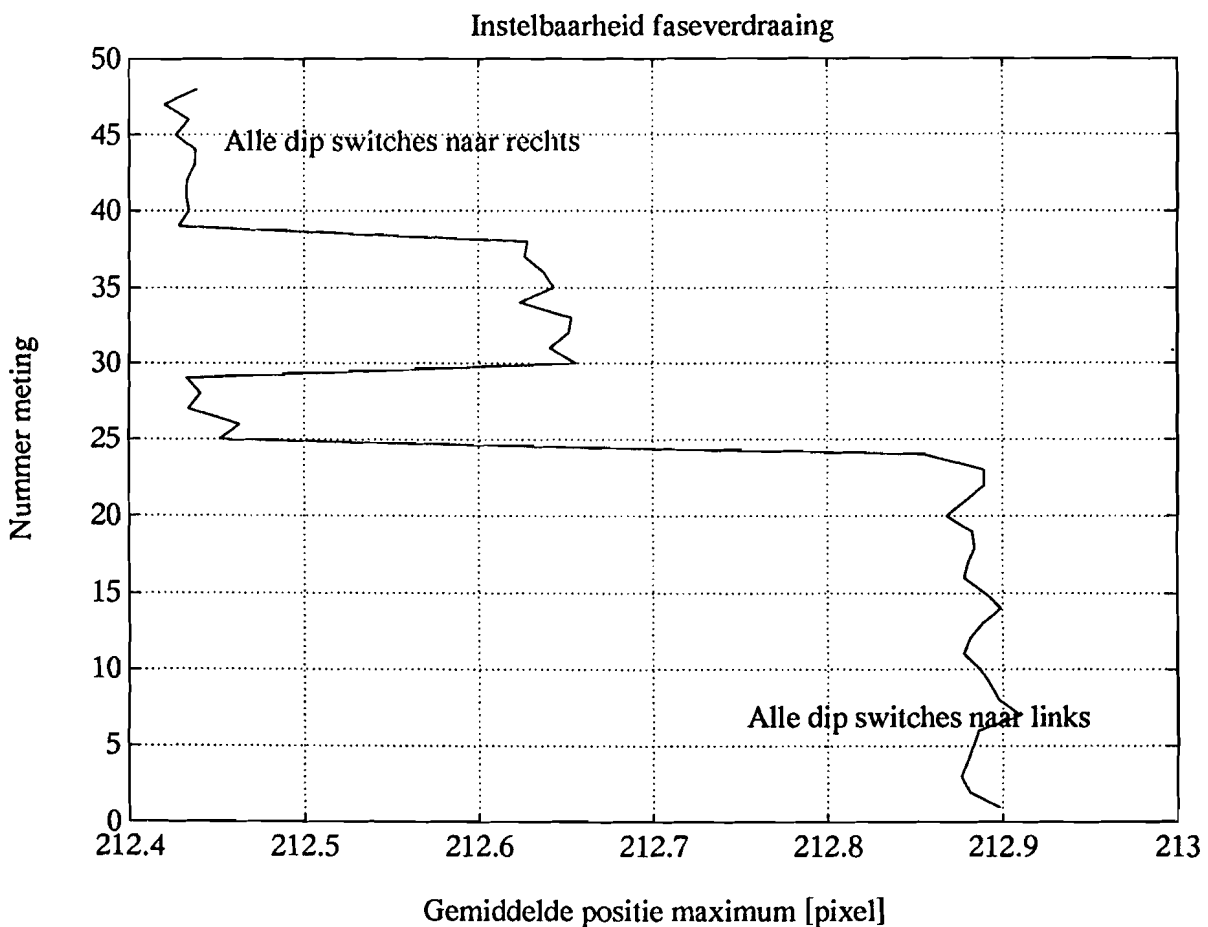
De lijn die door dit smear effect ontstaat kan net als een belichte sel worden gebruikt om de faseverschuiving in te stellen en de jitter in het beeld te bepalen. Door het bekijken van het maximum in meerdere rijen kan gemeten worden hoe groot de jitter in een beeld is.

ad a) Het testen van de werking van de interface

Het is mogelijk om met de interface beelden in te lezen. Echter het systeem werkt niet perfect. Onder bepaalde omstandigheden krijgt de frame grabber geen Scan Trigger aangeleverd. Dit betekent dat de frame grabber het laatst opgenomen beeld vasthoudt en wacht tot op een nieuwe Scan Trigger puls. Dit komt voor als ongeveer de helft van het beeld belicht en de andere helft verduisterd is. Ook is het wegvallen van de Scan Trigger afhankelijk van de instelling voor de faseverschuiving van de interface en de voedingspanning van de camera. Het wegvallen van de Scan Trigger is daarom hoogst waarschijnlijk afhankelijk van de combinatie van de elektronica in de camera en de interface. Omdat dit probleem geen invloed heeft op de meetnauwkeurigheid en meten toch mogelijk is, is dit probleem niet verder onderzocht.

ad b) Het instellen van de faseverschuiving

Voor het instellen wordt in negen beelden de positie van het maximum op een lijn bepaald en uit de negen metingen de gemiddelde positie bepaald. In figuur 3.17 is de positie van dit gemiddelde afgebeeld voor een aantal instelling van de dip switches, waarmee de faseverschuiving instelbaar is. Uit deze figuur blijkt dat het mogelijk is om de faseverschuiving aan te passen. Ook is duidelijk zichtbaar dat het bemonsteren te veel jitter (zie ook ad c) in het gedigitaliseerde beeld veroorzaakt om het berekende maximum van de kromme samen te laten vallen met één pixel zelfs na het middelen over negen beelden.

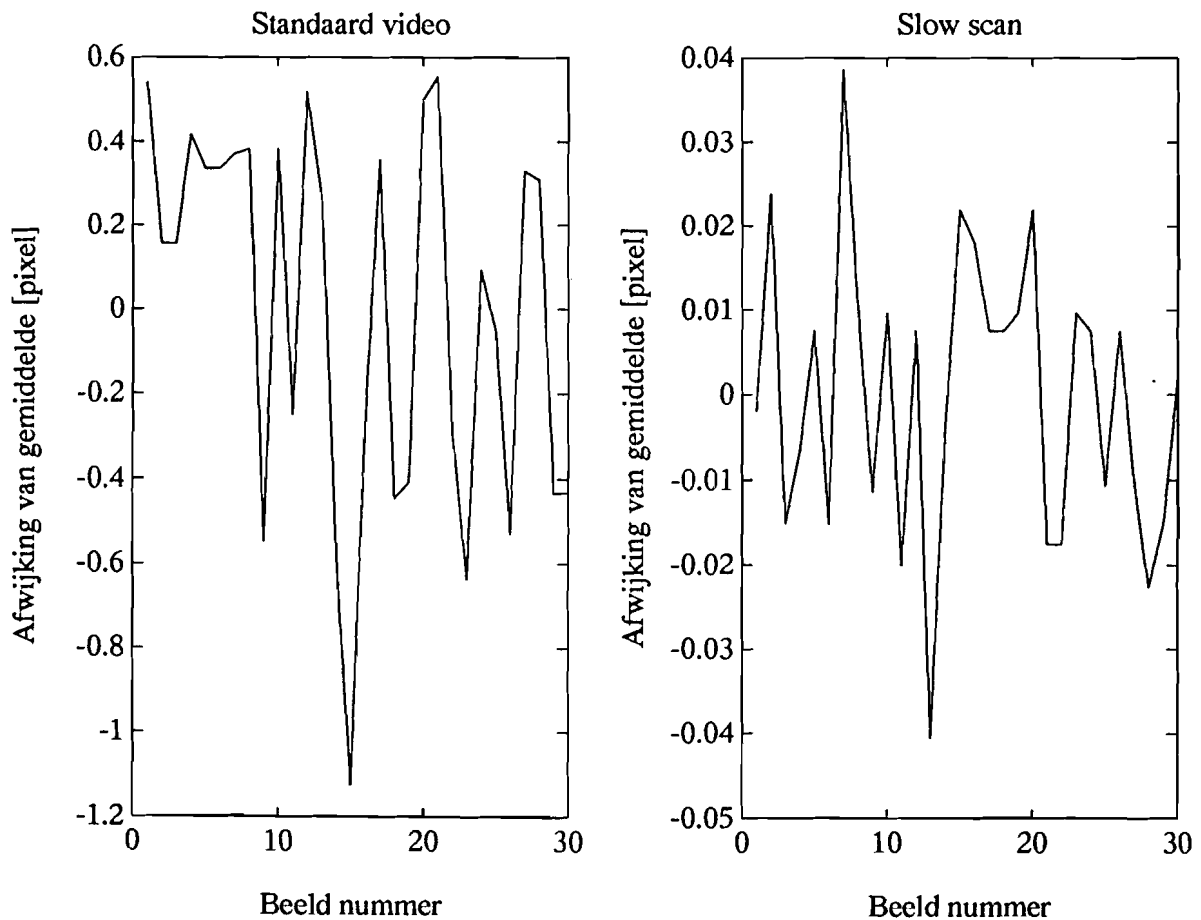


Figuur 3.17: Instellen van de faseverschuiving, iedere meting is het gemiddelde van negen beelden.

ad c) Het meten van de jitter

De lijn die door het smeer effect ontstaat wordt nu gebruikt om te meten hoe goed het bemonsteren van het videosignaal door de frame grabber wordt uitgevoerd. Omdat deze lijn wordt gegenereerd in de sensor en niet wordt vervormt door optica is dit een zeer goede benadering van een rechte lijn.

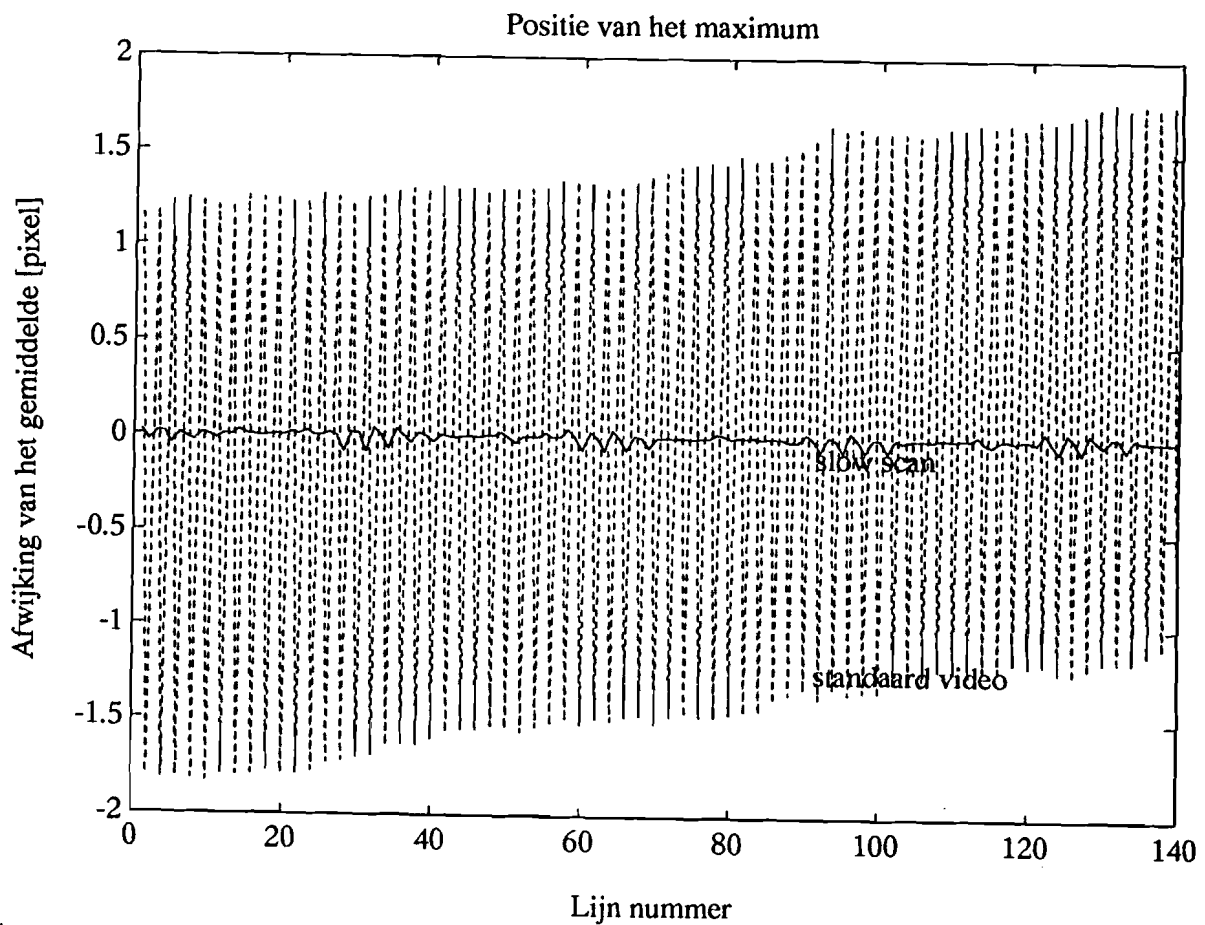
Voor het bepalen van de mate van jitter in opeenvolgende beelden is een programma geschreven dat de positie van het maximum op een lijn bepaalt in verschillende beelden. Hiermee is de positie van het maximum bepaald in normale video beelden (figuur 3.18 a) en slow scan beelden (figuur 3.18b).



Figuur 3.18: Jitter van een punt in 30 beelden.
 a) via de normale video ingang;
 b) via de slow scan ingang.

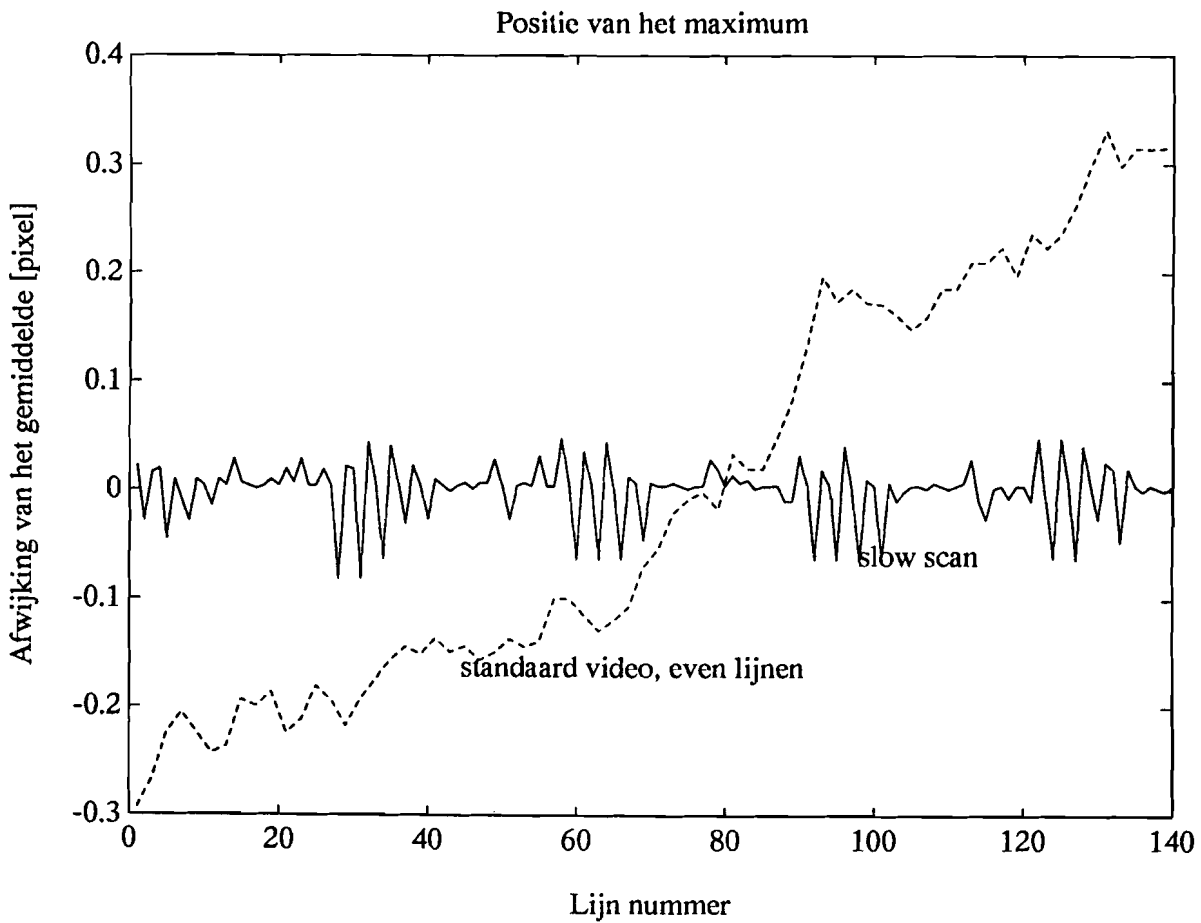
De uitlezing van de camera via de slow scan ingang is beter dan via de normale video ingang. Met slow scan liggen de waarden tussen +0.04 en -0.04 pixel, met de normale video liggen de waarden tussen +0.6 en -1.2 pixel.

Ook is een programma geschreven dat de posities van het maximum op meerdere lijnen in het beeld bepaalt. Ook dit is uitgevoerd voor uitlezing van de camera via de slow scan (figuur 3.19). In deze figuur is duidelijk zichtbaar dat de synchronisatie tussen de camera en de frame grabber bij het gebruik van de normale video ingang niet goed verloopt. Tussen de positie van het maximum op de even lijnen en de oneven lijnen zit een verschil van 2.8 pixel. Met de slow scan ingang is er geen verschil tussen de twee halfbeelden.



Figuur 3.19: Positie van het maximum.

In figuur 3.20 zijn alleen de posities van het maximum in de even lijnen van het normale video beeld getoond samen met het de posities van de maxima in het slow scan beeld. Ook in dit geval is het resultaat met de uitlezing via de slow scan ingang beter



Figuur 3.20: Jitter in de slow scan lijnen en de even normale video lijnen.

Uit deze metingen is niet te achterhalen of de jitter wordt veroorzaakt door verschillende bemonster frequenties of doordat de fase verschuiving verandert per lijn. Dit kan wel worden gemeten door twee kolommen te belichten en naar het verschil tussen de posities van de maxima te kijken. Als alleen de fase verschuiving per lijn verandert^t zullen beide posities evenveel veranderen. Als ook de bemonsterfrequentie per lijn verandert^t wordt het videosignaal, tussen de twee pieken van de verlichte kolommen, per lijn verschillend bemonsterd. Hierdoor lijkt het dan dat de positie van het maximum verandert^t terwijl alleen maar vaker tussen de twee pieken is bemonsterd. De bepaling van de oorzaken van de jitter zijn van belang voor het verder verbeteren van de uitlezing van de camera.

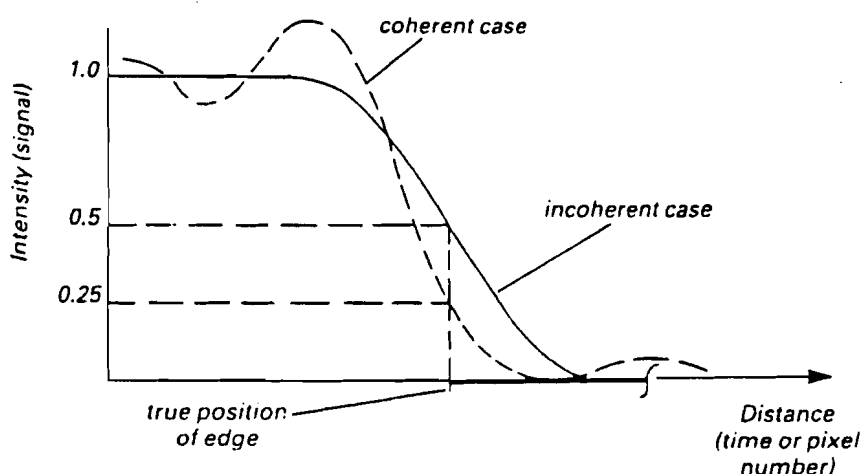
med ✓
med ✓
med ✓

4. BEPALING VAN RANDEN MET BEHULP VAN SUBPIXEL INTERPOLATIE

4.1 Inleiding

Door diffractie ontstaat bij het afbeelden van een voorwerp op de sensor wordt een rand van dit voorwerp omgezet in een intensiteitskromme over enkele sels op de sensor. In het vorige hoofdstuk is beschreven hoe een dergelijke intensiteitskromme wordt omgezet van de sensor naar de frame grabber en in de frame grabber wordt opgeslagen als pixels. Nu moet uit dit gedigitaliseerde beeld de positie van de rand van het afgebeelde voorwerp worden bepaald. Subpixel interpolatie technieken zijn technieken die de positie van een rand in het digitale beeld bepalen met een resolutie kleiner dan één pixel [NEG 87]. Dit lijkt onmogelijk omdat de pixels de kleinst te onderscheiden deeltjes van het gedigitaliseerde beeld zijn. Subpixel interpolatie is echter mogelijk door uit de pixels de intensiteitskromme van de rand te reconstrueren, en met behulp van deze reconstructie tussen de pixels te interpoleren. Voor subpixel interpolatie is het nodig om een model van de intensiteitskromme te maken en aan te geven welke positie in dit model overeenkomt met de werkelijke rand. Deze modellering is sterk afhankelijk van het voorwerp en de belichting [BAT 85].

Voor doorvallende belichting met incoherent licht is de intensiteit op de rand 50 % van de maximale intensiteit. Uit de literatuur zijn een aantal subpixel interpolatie technieken die hierop berusten bekend (zie figuur 4.1).



Figuur 4.1: Afbeelding van een rand op de sensor bij coherente en incoherente belichting.

In de volgende paragraaf wordt in het kort een aantal van deze technieken besproken. Een van deze technieken is uitgekozen om te worden toegepast in het camera meetsysteem. In paragraaf 4.3 wordt de gekozen techniek uitgewerkt. Voor het bepalen van de rand bewerkt deze techniek een aantal pixels in de buurt van de rand. Het is daarom noodzakelijk om eerst de rand met pixelnauwkeurigheid te bepalen, dit betekend ^t een pixel bepalen waar de rand door loopt. Paragraaf 4.4 behandelt ^t de methode die is toegepast om deze pixel te vinden. het ✓
het ✓

Door het gebruik van de subpixel interpolatie techniek is de positie van de rand in het digitale beeld bekend (uitgedrukt in pixel coördinaten). Om de werkelijke coördinaten te verkrijgen moeten de pixel coördinaten worden omgezet naar vaste wereld coördinaten. Deze omzetting wordt in paragraaf 4.5 beschreven.

4.2 Subpixel interpolatie technieken

De volgende uit de literatuur bekende subpixel interpolatie zullen kort worden besproken:

- rulers;
- edgels;
- 2-D rulers;
- template matching.

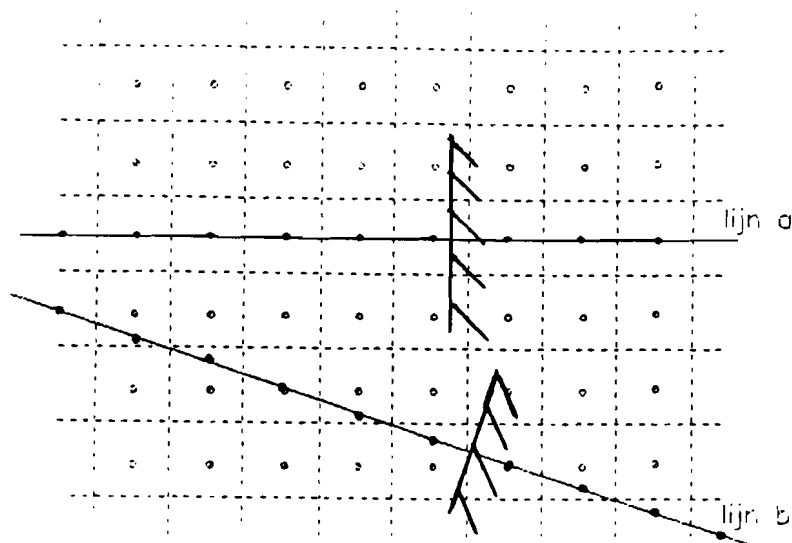
Enkele andere technieken zijn :

- maximum likelihood edge estimation;
- moment base edge locator;
- bilinear interpolation. ✓

Deze laatsten kunnen niet worden besproken omdat alleen het bestaan van deze technieken uit het literatuuronderzoek bekend is. De werkwijze van deze technieken was niet beschikbaar voor dit onderzoek.

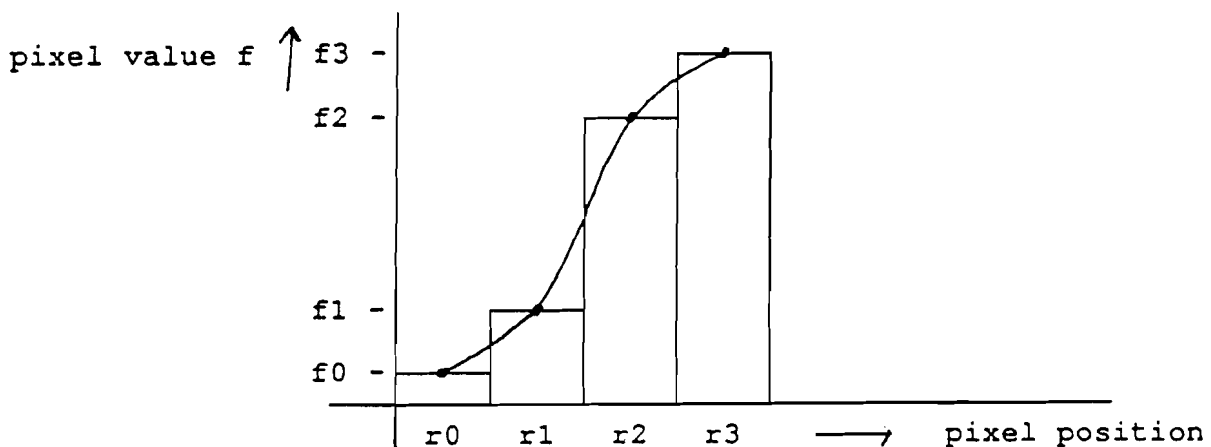
- Rulers [AND 87, ARE 88, POL 88]

Bij de ruler (liniaal) techniek wordt gekeken naar de grijswaarden op een lijn die in het digitale beeld loodrecht op de te meten rand gelegd. Indien de rand loodrecht op een rij of een kolom staat kunnen de grijswaarden van de pixels op de rij of de kolom worden gebruikt (figuur 4.2 lijn a). Als de rand niet loodrecht op een rij of kolom staat loopt de ruler niet door het midden van de pixels (figuur 4.2 lijn b), in dit geval moeten de grijswaarden op de ruler bepaald worden uit de pixels die in de omgeving van de ruler liggen.



Figuur 4.2: Ruler langs een rij (lijn a) en niet langs een rij of een kolom (lijn b) [POL 88].

De grijswaarden op de ruler worden mathematisch bewerkt om de positie van de rand te bepalen. De positie van de rand kan als volgt worden bepaald. Eerst wordt door de grijswaarden van de pixels op de ruler een derde graads polynoom gelegd (zie figuur 4.3). Daarna kan deze polynoom gesneden worden met een lijn die representatief is voor de positie van de rand.



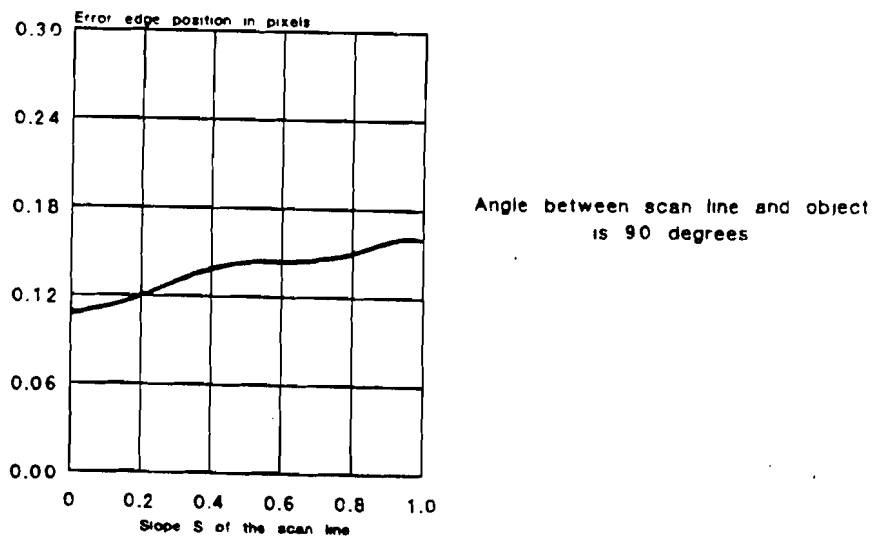
Figuur 4.3: Derde graads polynoom door een aantal pixels [ARE 88].

Een andere methode, die alleen bij incoherente belichting gebruik kan worden, berust op het feit dat de positie van de rand daar is waar de helling van de intensiteits kromme het steilst is [BAT 85]. De positie van de rand is daar waar de afgeleide van het derde graads polynoom maximaal is.

De nauwkeurigheid van de ruler techniek wordt aangegeven als:

- 0,25 pixel [AND 87];
- 0,1 pixel [POL 88];
- 0,1 pixel [ARE 89].

Een probleem bij het gebruik van rulers is dat de meetonnauwkeurigheid afhankelijk is van de hoek tussen de ruler en de kolommen (zie fig 4.4 en tabel 4.1).



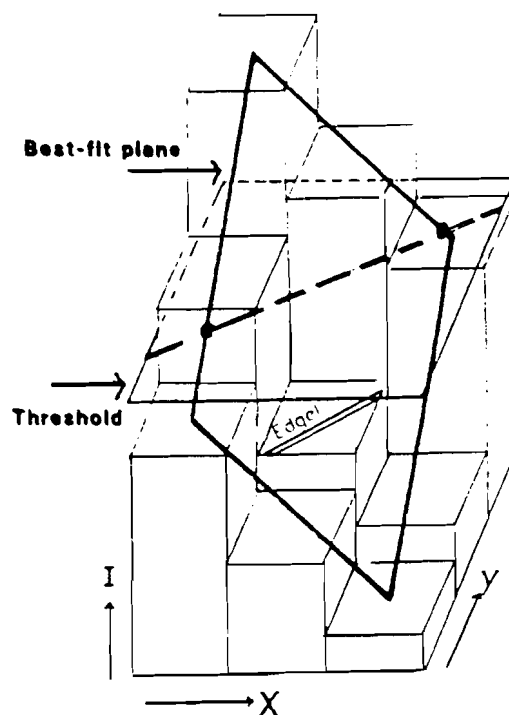
Figuur 4.4: Fout in het bepalen van de positie van een rand afhankelijk van de hoek met de horizontale [ARE 89].

rulerrichting	nauwkeurigheid in pixelpositie
22.5°	± 0.13
45°	± 0.10
90°	± 0.10

Tabel 4.1: Nauwkeurigheid bij plaatsbepaling afhankelijk van de hoek met een rij [POL 88].

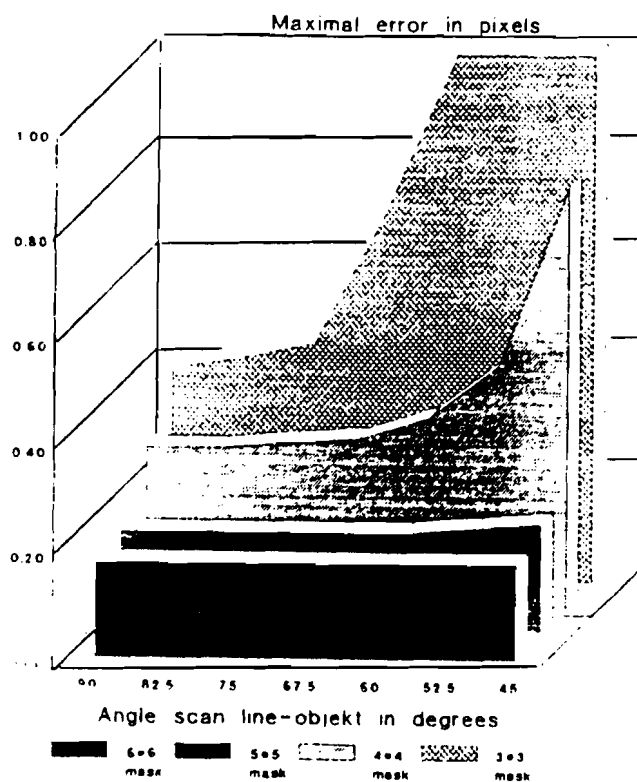
- Edgels [ARE 88]

De edgel interpolatie methode is gebaseerd op het bepalen van een vlak door de intensiteitswaarden van een groep van 3*3 pixels (een edgel) die op de te meten rand van het gedigitaliseerde voorwerp liggen. Dit vlak wordt gesneden met een vlak met constante intensiteitswaarde (het drempelvlak) (zie figuur 4.5), deze intensiteitswaarde is representatief voor de positie van de rand. Het resultaat van het snijden van deze twee vlakken is een lijn die zich op de rand bevindt. Het instellen van het vlak dat de intensiteit van de rand aangeeft is afhankelijk van het model van de rand en van de calibratie van het totale camera meetstelsel.



Figuur 4.5: Schets van een edgel [ARE 89]

De onnauwkeurigheid voor het meten van een spleet (twee randen) met edgels is 0.18 pixel [ARE 89], hierbij wordt de intensiteit van het drempelvlak bepaald door de het gemiddelde van de intensiteitswaarde van vier hoek pixels van het threshold masker. Dit is van een groep pixels (afmeting kan groter zijn dan 3*3) waarvan de centrale pixel samenvalt met de centrale pixel van de edgel. Dit is voor verschillende afmetingen van het threshold masker gedaan. De afmeting van het threshold masker, en daarmee de afstand van de hoekpixels tot de centrale pixel, heeft grote invloed op de nauwkeurigheid en de richtingsgevoeligheid van deze techniek (zie figuur 4.6).

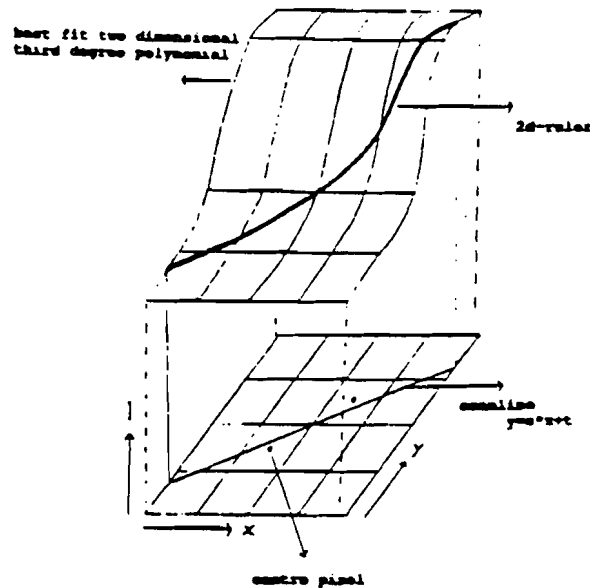


Figuur 4.6: Meetnauwkeurigheid afhankelijk van de hoek met een rij voor meerdere threshold maskers [ARE 89].

- 2-D rulers [ARE 89]

Bij deze methode wordt een gekromd vlak door de grijswaarden van een groep pixels gelegd met behulp van de kleinste kwadraten methode. Voor het gekromde vlak wordt een beschrijving gekozen met derde graads polynomen (zie figuur 4.7). Hierna wordt een ruler over de te meten rand gelegd. De grijswaarden op de ruler worden bepaald uit het gekromde vlak.

De positie van de rand wordt dan via de ruler techniek bepaald. Het voordeel van deze methode is dat voor het bepalen van de intensiteitswaarden op de ruler rekening wordt gehouden met een groter gedeelte van de rand. Het nadeel van deze methode is dat de berekeningen meer tijd kosten dan de eerder voorgestelde methoden daarom is deze methode niet verder onderzocht [ARE 89]. Dit is ook de reden dat van deze methode geen nauwkeurigheid bekend is.



Figuur 4.7: Schets van een 2-D ruler [ARE 89].

- Template matching (SIL 87 en NEG 87)

Een template (kernel of model) is een aaneengesloten groep pixels. De grijswaarden van deze pixels vormen een referentie patroon voor het zoeken van een kenmerk in het digitale beeld. Het referentie patroon is een benadering van het te vinden kenmerk, in ons geval het patroon van een rand. De template wordt op een positie in het digitale beeld gelegd en er wordt een berekening (een convolutie) uitgevoerd met de grijswaarden in de template en de grijswaarden van de onder de template liggende digitale beeld.

Uit deze berekening volgt een waarde, de correlatiefactor, die aangeeft hoe goed de template past in het beeld op deze positie. Vervolgens wordt de template een pixel opgeschoven en wordt de correlatiefactor opnieuw bepaald. Door een aantal van deze correlatiefactoren uit te zetten tegen de positie van het template en hier een kromme door te trekken kan bepaald worden waar de template het beste past, het maximum van de kromme, en daarmee wat de positie van de rand is. Voor deze methode moeten een groot aantal berekeningen worden uitgevoerd zelfs als maar een klein gedeelte van de het beeld wordt bewerkt. Een groter nadeel is dat alleen randen die aan de template voldoen precies zullen worden gemeten. Randen die een hoek maken met de rand waarvoor de template is ontworpen zullen niet zo nauwkeurig worden bepaald. Dit kan worden opgelost door voor elke te meten rand een eigen template te maken. Maar dit houdt in dat zelfs voor eenvoudige voorwerpen zeer veel templates nodig zullen zijn en daarmee nog meer berekeningen moeten worden uitgevoerd. De nauwkeurigheid van deze techniek is 0,1 tot 0,25 pixel [SIL 87].

Uit de bovenstaande technieken wordt de edgel techniek gekozen voor toepassing in het camera meetsysteem. Voordelen van deze techniek zijn:

- voldoende nauwkeurigheid (0.1 pixel komt overeen met 1 μm bij 1 maal vergroting) voor het bepalen van één rand;
- richtingsonafhankelijkheid (bij een threshold masker van 7*7 pixels, zie figuur 4.5)
- geringe verwerkingstijd.

4.3 Edgel subpixel interpolatie techniek

Met de edgel techniek wordt de rand van een voorwerp gemodelleerd als een schuin vlak in een 3-D ruimte met de intensiteit als de derde dimensie. Dit vlak wordt bepaald uit de grijswaarden van de edgel (een groep van 3*3 pixels). De positie van de middelste pixel, de centrale pixel, wordt zo bepaald dat deze op de rand ligt, dit wordt in de volgende paragraaf beschreven. Een vlak in een 3-D ruimte wordt als volgt beschreven:

$$I = A * x + B * y + C$$

x = x coördinaat;

y = y coördinaat;

I = intensiteits waarde;

A, B en C zijn coëfficiënten.

De coëfficiënten A en B zijn de lokale afgeleiden van de centrale pixel, de coefficient C is de gemiddelde waarde van het vlak. Deze drie coëfficiënten worden bepaald met behulp van drie standaard beeldbewerkingsoperaties. Deze operaties worden normaal gebruikt om een geheel beeld te bewerken. Het resultaat van een dergelijke filtering is een nieuw beeld. De waarden van de pixels in dit nieuwe beeld worden berekend uit de waarden van de pixels uit het oude beeld en de waarden van het filter. Een dergelijk filter is een matrix gevuld met weegfactoren en wordt kernel genoemd. Voor het berekenen van de waarde van een pixel, met coördinaten (x,y) in het nieuwe beeld wordt de kernel op de pixel met dezelfde coördinaten in het oude beeld gezet. De berekening voor de waarden van de pixels is een convolutie tussen de kernel en de grijswaarden die samenvallen met de kernel. De berekening van de nieuwe waarde is als volgt:

$$G(x,y) = \sum_{m,n=0}^{M,N} g(x+m,y+n) * W(m,n)$$

G(x,y) zijn de grijswaarden van de pixels in het nieuwe beeld;
g(x,y) zijn de grijswaarden van de pixels in het oude beeld;
W(m,n) zijn de weegfactoren in de kernel (m = 0..M, n = 0..N).

Voor A, de afgeleide in x-richting, wordt gebruik gemaakt van de Sobel filter voor de x-richting. Voor de coëfficiënt B, de afgeleide in y-richting, wordt bepaald door de Sobel filter voor de y-richting. Voor het bepalen van C wordt een laag doorlatend filter gebruikt.

De kernel voor het Sobel filters en het laag doorlatende filter worden in figuur 4.8 getoond. Het resultaat van het Sobel filter in x-richting wordt Sx genoemd en is gelijk aan 8*A door het gebruik van de weegfactoren, in y-richting Sy (= 8*B) en het laag doorlatend filter Si (= 16*I).

-1	0	1
-2	0	2
-1	0	1

Sx

-1	-2	-1
0	0	0
1	2	1

Sy

1	2	1
2	4	2
1	2	1

Si

Figuur 4.8: De kernels voor de Sobel en het laag doorlatende filter.

De vergelijking van het vlak wordt na vermenigvuldiging met 16 als volgt:

$$2 S_x * x + 2 S_y * y + S_i = 16 I$$

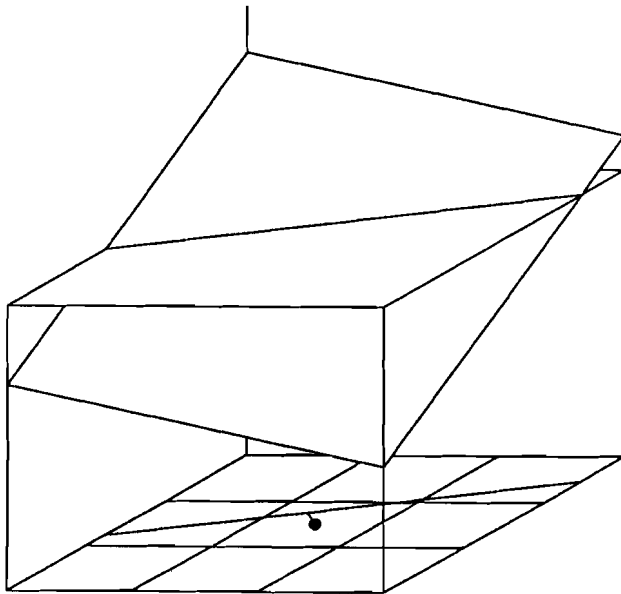
De positie van de rand wordt bepaald door te kijken waar in het edgel vlak de intensiteit overeen komt met de intensiteitswaarde van de rand. Daarom wordt het edgel vlak gesneden met het drempel vlak, een vlak met een vaste grijswaarde waarde heeft. Bij incoherente belichting zou deze waarde 50 % van de maximale grijswaarde in het beeld moeten zijn. Doordat het totale meetsysteem afwijkingen zal hebben is het beter deze waarde aan de hand van calibraties met het meetsysteem vast te stellen. Ook is het mogelijk om de waarde van het drempel vlak te bepalen uit lokale omstandigheden door de waarde te bepalen als het gemiddelde van de hoekpunten van het threshold masker.

Het snijden van de twee vlakken levert een lijn die het verloop van de rand representeert. Door het invullen van de grijswaarde van het drempelvlak ontstaat de vergelijking van een lijn in het grondvlak. Dit is de projectie van de werkelijke snijlijn op het grondvlak. Deze lijn wordt als volgt beschreven:

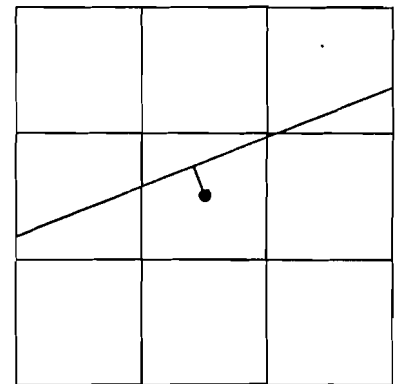
$$2 S_x * x + 2 S_y * y = 16 I_t - S_i,$$

waarbij I_t de intensiteitswaarde is van het drempelvlak.

Deze lijn geeft het verloop van de rand aan. Uit deze lijn kan zowel de positie als de richting van de rand worden bepaald. Voor het 2-D meetsysteem wordt geëist dat de positie van de rand als punt wordt bepaald. Om een punt op de rand te bepalen moet een punt van de, op het grondvlak geprojecteerde, snijlijn worden gekozen (zie figuur 4.9).



A



B

Figuur 4.9: Het bepalen van een punt met de edgel methode.

- a) het snijden van het edgel vlak en het drempel vlak.
- b) het bepalen van een punt op de geprojecteerde lijn.

Het edgel algoritme is gebaseerd op het een model van de rand. Dit model wordt bepaald om de centrale pixel daarom is het aannemelijk dat de overeenkomst tussen model en werkelijkheid het grootst is in de buurt van de centrale pixel. Voor het punt dat we op de geprojecteerde snijlijn moeten bepalen nemen we dat punt van deze lijn dat het dichtst bij de centrale pixel ligt. Dit punt is het snijpunt tussen deze lijn en de loodlijn vanuit de centrale pixel op deze lijn. De coördinaten ten opzichte van de centrale pixel worden dan (bijlage 6):

$$x = \frac{S_x (16 I_t - S_i)}{2 (S_x^2 + S_y^2)}$$

$$y = - \frac{S_x}{S_y} * x + \frac{16 I_t - S_i}{2 S_y}$$

4.4 Bepaling van de positie van de centrale pixel

In de vorige paragraaf is beschreven hoe de edgel techniek werkt met de grijswaarde van een groepje pixels op de te bepalen rand. In deze paragraaf wordt besproken hoe dit groepje pixels zo goed mogelijk op de rand kan worden gelegd. Dit groepje moet zo worden gelegd dat de te meten rand het dichtst bij de centrale pixel ligt. Doordat incoherente belichting gebruikt wordt ligt de centrale pixel daar waar de kromme het steilste is. Dit is dus de pixel die het grootste verschil heeft met zijn buur pixels

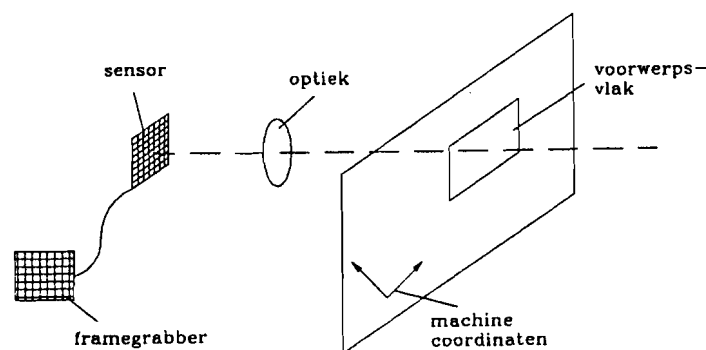
Om de centrale pixel te vinden wordt een algoritme gebruikt dat de som van de absolute waarde van het verschil van een centrale pixel met zijn 8 naburige pixels bepaald. Deze waarde is delta genoemd. Gezocht wordt naar de pixel met de grootste delta. Door deze berekening in een beperkt gebied te doen is dit toch een snelle methode. De delta is een maat voor de steilheid van de overgang en daarmee ook van het edgel vlak. Hierdoor is de delta ook een maat voor de kwaliteit van het meetresultaat.

4.5 Omzetting van de pixel- naar machinecoördinaten

De omzetting van pixel naar machinecoördinaten wordt opgesplitst in twee stappen:

- a) van pixel- naar voorwerpsvlakcoördinaten;
- b) van voorwerpsvlak- naar machinecoördinaten.

Het voorwerpsvlak is het gedeelte van het vaste wereld vlak dat op de sensor wordt afgebeeld, het machinecoördinaten systeem is in dit geval het coördinaten systeem van de UMM bepaald door de XY tafel. De relatie tussen de frame grabber, de camera, het voorwerpsvlak, en de machinecoördinaten wordt aanschouwelijk gemaakt in figuur 4.10.



Figuur 4.10: Overzicht van het camerameetsysteem voor het terug rekenen van de coördinaten.

De eerste stap (a) is een coördinaten transformatie bepaald door de karakteristiek van het beeldverwerkend systeem. De tweede stap (b) is een coördinatentransformatie bepaald door de voorwerpsvlak- en machinecoördinaten systemen. Als eerste wordt A uitgewerkt, daarna de B en tenslotte worden beide samengevoegd.

ad) Omzetting van pixel- naar voorwerpsvlakcoördinaten

Om de omzetting van pixel- naar vaste wereld coördinaten duidelijk te maken wordt eerst in het kort herhaald hoe het beeld in de frame grabber gevormd wordt. Het voorwerp wordt door de optiek afgebeeld op de sensor van de camera en daar door de sels ruimtelijk bemonsterd. De beeldinformatie wordt omgezet naar het videosignaal en dit wordt wederom bemonsterd en gedigitaliseerd door de frame grabber. Bij het terug rekenen moet rekening worden gehouden met de invloed van alle bovenstaande omzettingen en met eventuele afwijkingen door deze omzettingen. Voor dit systeem wordt alleen gekeken naar de invloed van de omzettingen en niet naar de invloed van de afwijkingen. Wel zal worden aangegeven wat de afwijkingen zijn en hoe ze mee kunnen worden genomen in de omzetting van de pixel coördinaten naar vaste wereld coördinaten.

- Afbeelding door optiek

Bij het afbeelden van een voorwerp op de sensor wordt uitgegaan van de paraxiale benadering van de lenzen. Het uitgangspunt van deze benadering is dat hoeken tussen invallende lichtstralen en de optische as klein zijn en dat de dikte van de lens te verwaarlozen is [VLI 90]. Dit is een eerste orde benadering die leidt tot de bekende lensformules waaronder de formule voor de vergroting:

$$b = M \cdot v$$

b is de grootte van het beeld;

v is de grootte van het voorwerp;

M is de vergrotingsfactor.

Bij deze benadering worden lensfouten verwaarloosd. Deze fouten zijn:

- sferische aberratie;
- coma;
- astigmatisme en beeldveld kromming;
- distorsie;
- chromatische aberraties.

De invloed van de fouten wordt bepaald door de lens en door de rest van het optische systeem. De rest van het optische systeem bepaald hoe groot de hoek tussen de optische as en de invallende licht bundel is en daarmee nauwkeurigheid van de paraxiale benadering. Als door de lens of de rest van het optische systeem toch afwijkingen worden geïntroduceerd kunnen ze software matig worden gecorrigeerd door het modelleren van deze afwijkingen. De parameters van dit model moeten dan door calibratie van de lens worden bepaald. Deze methode is in LEN 87 uitgevoerd voor radiale afwijkingen.

- Omzetting op de sensor en naar de frame grabber

Deze twee omzettingen moeten samen worden behandeld omdat hoewel de omzetting op de sensor van groot belang ^{is} deze niet beschreven kan worden zonder omzetting naar de frame grabber mee te behandelen. Het belang van de omzetting op de sensor zit in de bemonstering van het beeld door de discrete sels en vooral in de steek tussen de sels. Bij pixelsynchrone uitlezing is dit "de afstand" tussen de pixels in de frame grabber. Deze steek is verschillend voor de rijen en de kolommen. Voor de camera's in dit systeem is de steek in horizontale richting $10 \mu\text{m}$ en in de verticale richting $7,8 \mu\text{m}$ volgens de gegevens van de fabrikant. Afwijkingen kunnen optreden in de sensor geometrie en door het aanmaken en weer bemonsteren van het videosaal. Afwijkingen in de geometrie zijn zeer klein [LEN 88] hoewel het mogelijk is dat de steek niet geheel overeenkomt met de gegevens van de fabrikant. De afwijkingen die kunnen ontstaan bij niet pixelsynchrone uitlezing zijn uitvoerig behandeld in hoofdstuk 3.

hvd v

Voor de omzetting van pixel- naar voorwerpsvlakcoördinaten moeten nog twee zaken gedefinieerd worden:

- 1) de positie van de oorsprong;
- 2) de oriëntatie van het assenstelsel.

In het beeldverwerkend systeem is maar een oriëntatie van het assenstelsel die nuttig is, een oriëntatie gelijk aan de kolommen en rijen van de sensor. De schaal factor voor de het terug rekenen wordt bepaald door de eigenschappen van de omzetting. Door de paraxiale (lineaire) benadering van de optiek kan de oorsprong overal genomen worden.

Voor het camera meetsysteem kiezen we de pixel in rij 256 en kolom 256 als oorsprong. Wanneer voor fouten in de optiek gecorrigeerd wordt kan het beste het punt waar de optische as de sensor snijdt als oorsprong gekozen worden. Dit omdat de meeste lens fouten symmetrisch ten opzichte van de optische as zijn. Als dit snijpunt als de oorsprong wordt genomen is het mogelijk dat de oorsprong tussen de pixels kan komen te liggen omdat de optische as niet op het midden van een sel hoeft te vallen en daarom door een subpixel interpolatie methode moet worden bepaald positie tot stand komt door een berekening die de positie nauwkeuriger kan berekenen dan één pixel [LEN 86].

De terug rekening van pixel naar voorwerpsvlakcoördinaten ziet er dan als volgt uit:

$$X_{vw} = \frac{1}{M} * S_x * X_{pi} = F_X * X_{pi}$$

$$Y_{vw} = \frac{1}{M} * S_y * Y_{pi} = F_Y * Y_{pi}$$

X_{vw} en Y_{vw} zijn de voorwerpsvlakcoördinaten;

M is de vergrotingsfactor;

S_x is de steek in x richting;

S_y is de steek in y richting;

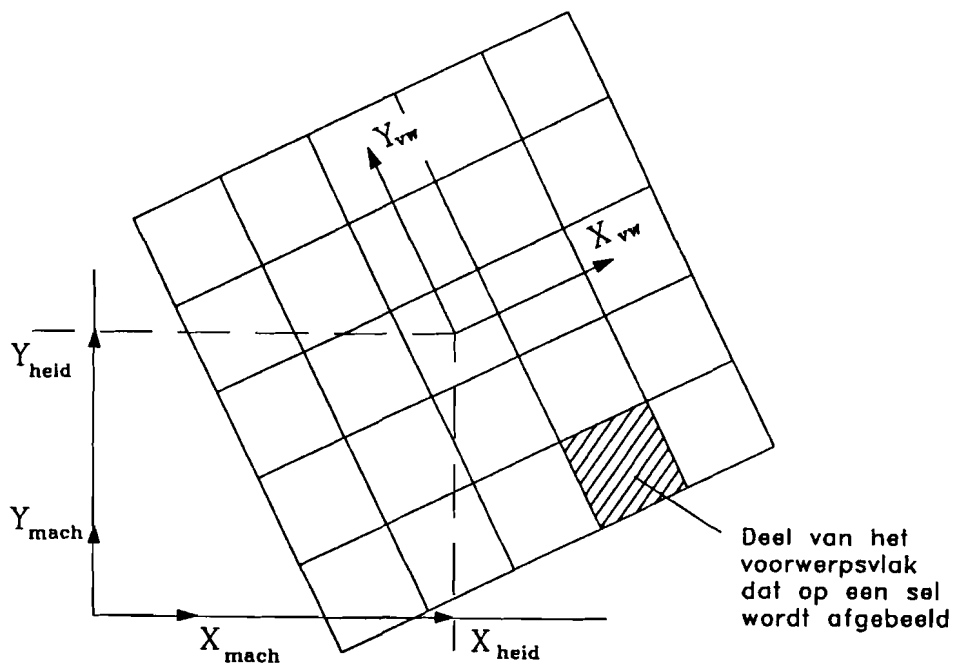
X_{pi} en Y_{pi} zijn de pixelcoördinaten;

F_X en F_Y zijn omreken factoren in X respectievelijk Y richting.

Indien de vergrotingsfactor of de afmeting van de sels niet bekend is kunnen de omreken factoren uit metingen bepaald worden. In dit model wordt geen rekening gehouden met de vervorming van het beeld door het gebruik van de normale video ingang. Wanneer deze ingang gebruikt wordt moet in ieder geval de F_X uit metingen bepaald worden.

Omzetting van voorwerpsvlak- naar machinecoördinaten

Het onderscheid dat gemaakt wordt tussen de machinecoördinaten en de voorwerpsvlakcoördinaten is gebaseerd op de mogelijkheid dat de camera verdraaid is gemonteerd ten opzichte van de beweging van de XY tafel en dat de oorsprong van de machinecoördinaten niet samenvalt met de oorsprong van de voorwerpsvlakcoördinaten. Dit wordt getoond in figuur 4.11.



Figuur 4.11: Weergave van het voorwerpsvlak in relatie met de sels op de camera en het machine coördinatensysteem.

De oorsprong van het voorwerpsvlakcoördinaten systeem is verbonden met het machinecoördinaten systeem door de uitlezing van de Heidenhain linialen. Voor de machinecoördinaten geldt:

$$X_{ma} = \cos \theta * X_{vw} - \sin \theta * Y_{vw} + X_{Heid}$$

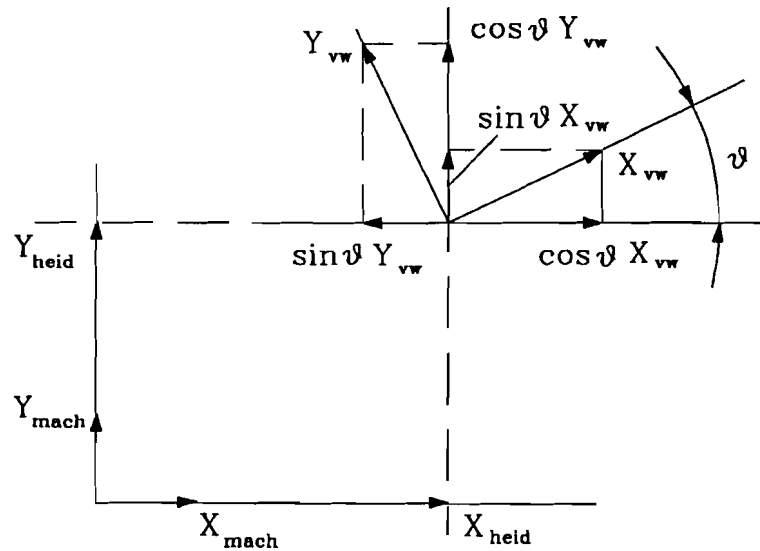
$$Y_{ma} = \sin \theta * X_{vw} + \cos \theta * Y_{vw} + Y_{Heid}$$

θ is de hoek tussen de twee coördinaten stelsels (zie figuur 4.12);

X_{ma} en Y_{ma} zijn de machinecoördinaten;

X_{vw} en Y_{vw} zijn de voorwerpsvlakcoördinaten;

X_{Heid} en Y_{Heid} zijn de uitlezing van de meetlinialen.



Figuur 4.12: Verdraaiing van het voorwerpsvlakcoördinaten systeem ten opzichte van het machinecoördinaten systeem en niet samenvallen van de beide oorsprongen.

Bij het monteren van de camera's is er op gelet dat de hoek θ klein is. Voor het meten met het meetsysteem wordt zo klein verondersteld dat deze verwaarloosbaar is.

ϑ

7
1

5. SOFTWARE PROGRAMMA VOOR METINGEN MET BEELDVERWERKING OP DE UMM 2-D MEETMACHINE

5.1 Inleiding

Voor het uitvoeren van een meting met het camera meetsysteem en het verkrijgen van geometrische informatie moet een software programma geschreven worden. Dit programma moet de hier onder beschreven handelingen uitvoeren of toelaten. De te meten rand van een voorwerp moet onder de camera, die in de UMM is ingebouwd, gepositioneerd worden. Dit positioneren gebeurt met behulp van de XY-tafel van de UMM. Als de rand gepositioneerd is moet het beeld van de rand worden ingelezen in de frame grabber en moeten de Heidenhain linialen worden uitgelezen. Hiermee is het beeld en de positie van het beeld ten opzichte van het coördinaten systeem van de UMM vastgelegd. Hierna moet met een kruisdraad worden aangegeven waar op de rand de positie van de rand met subpixelinterpolatie moet worden bepaald. De kruisdraad wordt door de frame grabber aangemaakt. Deze kruisdraad wordt op de video monitor vertoond en kan, door het aanroepen van functies uit de software bibliotheek van de frame grabber, op alle plaatsen in het monitor beeld worden geplaatst. De positie van de rand wordt omgerekend naar de voorwerpsvlakcoördinaten en deze waarde wordt gecombineerd met de positie van de XY-tafel en omgezet naar de machinecoördinaten.

Doordat de frame grabber bestuurd wordt door middel van een software bibliotheek die aanroepbaar is uit Microsoft Pascal (MS) moet het gehele programma of een gedeelte in deze programmeertaal geschreven worden. Omdat dit programma ook met een 2-D meetprogramma, geschreven in Turbo Pascal (TP), moet samen werken is het noodzakelijk dat het programma geïntegreerd wordt in een TP programma. Het programmeren in TP biedt grote voordelen door de geïntegreerde debugger, de hulp mogelijkheden en de aanwezige ervaring in het LGM met het programmeren in deze taal. Omdat TP de bovenstaande grote voordelen biedt en het uiteindelijke programma geïntegreerd moet worden in een TP programma voor de verwerking van de meetgegevens is het zinvol het programma op te splitsen in een MS programma en een TP programma. Alleen het meest noodzakelijke zal in het MS programma onder gebracht worden. De resterende taken van het programma worden in het TP programma ondergebracht. De beide programma's moeten wel gekoppeld worden om de taken uit te voeren. Het TP programma kan later worden omgeschreven als procedure en dan als procedure worden aan geroepen door het programma voor de verwerking van de meetgegevens.

Verder moeten de volgende mogelijkheden gerealiseerd worden:

- Meten van meerdere punten in hetzelfde beeld;
- Inlezen van beelden zonder de meetlinialen uitlezen;
- Besturen van de cursor met behulp van een mouse.

Uit de laatste mogelijkheid volgt dat wenselijk is andere commando's aan het programma via de mouse toetsen door te geven om het wisselen tussen de mouse en het toetsenbord te vermijden. Dit is een extra mogelijkheid die in het programma geïntegreerd moet worden.

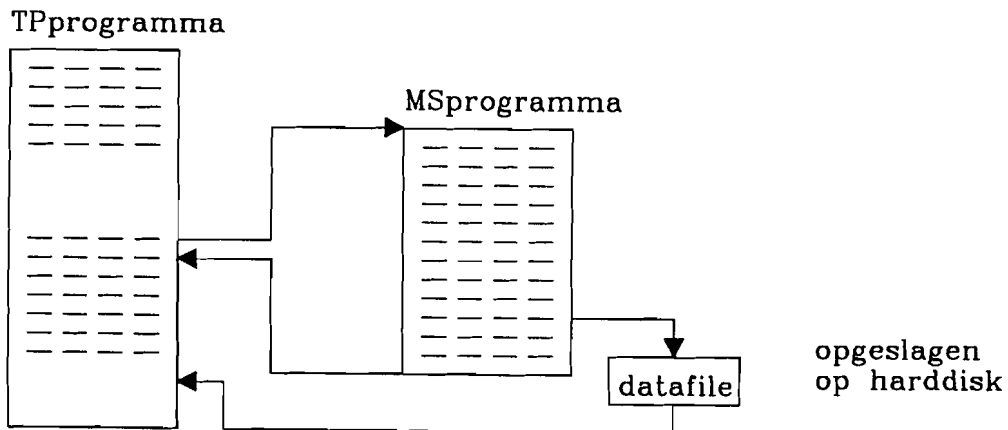
Eerst zal worden behandeld hoe de koppeling tussen het TP en MS programma gerealiseerd kan worden. Daarna wordt in paragraaf 5.3 het taken pakket tussen de twee programma's opgesplitst. De daarop volgende paragraaf behandelt het MS programma, paragraaf 5.5 gaat over het TP programma. Voor het testen van het camera meetsysteem zijn twee programma's geschreven deze worden uitgewerkt in paragraaf 5.6.

5.2 Koppeling van een MS Pascal programma aan een TP programma

In TP bestaat de mogelijkheid om in een programma A een ander programma, programma B, aan te roepen en als dit programma B afgelopen is terug te keren naar programma A. Het programma dat wordt aangeroepen (programma B) hoeft alleen als execute-file aanwezig te zijn en kan dus in elke taal worden geschreven. Het aanroepen gebeurt met de TP procedure EXEC. Bij deze procedure is het mogelijk om parameters mee te geven indien het op te starten programma deze parameters verwacht. Deze parameters worden door middel van een zogenaamde commandline meegegeven. Het is mogelijk om een MS programma te schrijven dat parameters uit een commandline accepteert.

Na het beëindigen van het MS programma zijn de gegevens die door het MS programma gegenereerd zijn verdwenen en kunnen niet worden gebruikt in het TP programma. In zowel MS als TP is het mogelijk om data files aan te maken en in te lezen. Het MS programma kan dus een data file aanmaken die na beëindiging van het MS programma en na terugkeer naar het TP programma in dit programma kan worden ingelezen. Hiermee zijn de gegevens die door het MS programma worden aangemaakt toegankelijk voor het TP programma en kunnen deze gegevens verder worden bewerkt.

Uit het boven staande volgt dat het mogelijk is om een TP programma en een MS programma te koppelen. De werking van deze koppeling wordt schematisch weergegeven in figuur 5.1.



Figuur 5.1: Overzicht van de koppeling tussen het MS programma en het TP programma.

5.3 Opdeling van de te verrichten taken

MS programma:

De taken die in het MS programma moeten worden verricht zijn die taken waarbij de frame grabber wordt aangestuurd. Een extra taak die niets met de frame grabber te maken heeft is het uitlezen van de Heidenhain meetsystemen. Deze taak moet echter ook in het MS programma worden opgenomen omdat het uitlezen van de camera en van de Heidenhain meetsystemen gelijktijdig moet gebeuren. Dit betekent dat dit in één programma moet gebeuren. In het uiteindelijke programma worden de meetsystemen voor en na het uitlezen van de camera binnengehaald in de computer en vergeleken. Wanneer er tussen beide uitlezingen verschil is moet het uitlezen van de camera nogmaals geschieden.

hand ✓

*dit kan toch en
wer helder nu schijnt
er!*

Taken in verband met het aansturen van de frame grabber:

- Continu beelden inlezen en op de video monitor tonen. Dit is noodzakelijk om een voorwerp onder de camera te positioneren;
- Beeld inlezen in de frame grabber;
- Bepalen van de centrale pixel voor de subpixel interpolatie techniek met behulp van de in paragraaf 4.4 beschreven methode;
- Tonen van de gevonden pixel in een vergroot beeld om te controleren of de goede rand zal worden verwerkt;
- Het aan maken van een data file met de uitlezing van de linialen, met de positie van de centrale pixel in pixelcoördinaten en met de grijswaarden van een groep pixels (afmeting als parameter die door het TP programma meegestuurd kan worden) om de centrale pixel.

TP programma:

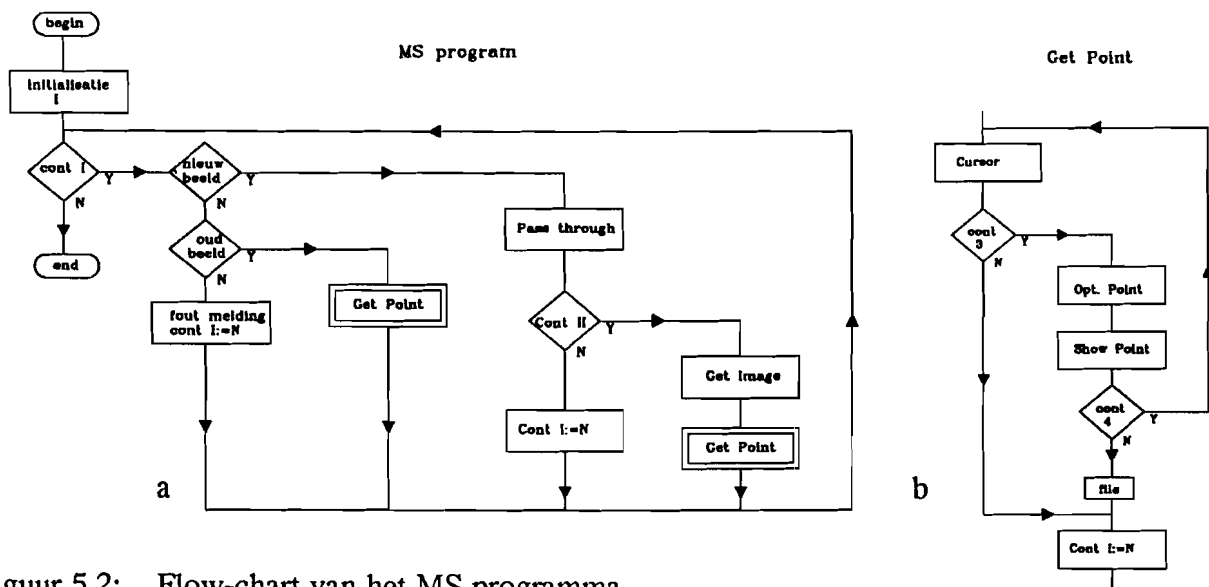
In het TP programma kunnen alle taken worden opgenomen die niet direct betrekking hebben op het aansturen van de frame grabber:

- Aanroepen van het MS programma met eventuele parameters;
- Inlezen van de data file;
- Bepalen van de positie van de rand ten opzichte van de centrale pixel met subpixel nauwkeurigheid met de in paragraaf 4.3 beschreven interpolatie methode;
- Omrekenen van de positie van de rand naar vast wereld coördinaten zoals in paragraaf 4.5 behandeld.

5.4 Het MS programma

Uit de eis dat het programma alleen commando's van de mouse kan aannemen volgt dat er maar twee commando's gegeven kunnen worden, accepteren (linker mouse knop) en afwijzen (rechter mouse knop). Accepteren houdt in dat het programma naar de volgende stap gaat, afwijzen houdt in dat terug wordt gesprongen naar het TP programma.

Hierop is een uitzondering, als na het tonen van de centrale pixel deze wordt afgewezen gaat het programma terug naar het gedigitaliseerde beeld en heeft de bediener de mogelijkheid de rand beter of een andere rand aan te tasten. De centrale pixel kan drie maal geweigerd worden daarna wordt weer naar het TP programma terug gegaan. Terug gesprongen wordt naar een plaats in het TP programma waar het MS programma direct weer kan worden opgestart indien per ongeluk een meetpunt afgewezen werd. Dit alles is om te voorkomen dat foutief aangetaste randen onopgemerkt worden omgezet in meetpunten. Het bovenstaande en de taken uit paragraaf 4.3 zijn omgezet naar een flow-chart voor het programma (zie figuur 5.2).



Figuur 5.2: Flow-chart van het MS programma.

- a) Flow-chart van het totale programma;
- b) Flow-chart van het onderdeel Get Point.

Bij het programmeren van de taken voor dit programma zijn een aantal problemen aan het licht gekomen in het gebruik van MS Pascal zoals:

- Voor het uitlezen van de Heidenhain linialen is het nodig om de getallen naar I/O adressen te sturen en getallen uit I/O adressen te lezen. MS Pascal heeft hiervoor geen functies of procedures. Het is mogelijk om programma's geschreven in andere talen als MS te linken aan een MS programma. Dit houdt in dat bepaalde functies kunnen worden aangemaakt in bijvoorbeeld assembler, een lagere programmeer taal. In deze assembler taal is het wel mogelijk om I/O adressen te bewerken. Er zijn daarom in assembler twee kleine programma's geschreven die aan het MS programma gelinkt kunnen worden. Een om I/O adressen te lezen en een om naar I/O adressen te schrijven. Het is mogelijk om bij het gebruik van deze programma's het adres van de I/O poort als parameter mee te geven en bij het lezen de gelezen waarde mee terug te nemen naar het MS programma.

- Om de mouse te kunnen gebruiken in een programma moeten getallen naar de mouse gestuurd worden en moeten getallen uit de mouse worden uitgelezen. Dit gaat totaal anders dan de uitlezing van I/O kaarten. Voor het schrijven naar de mouse moeten de waarden naar een aantal registers van de computer worden gestuurd. Hierna moet het software programma een commando geven aan het besturingssysteem van de computer (MS-DOS). Dit commando legt de processen in de mouse stil. De mouse houdt met behulp van eigen tellers bij hoe vaak de knoppen op de mouse zijn ingedrukt en hoeveel de mouse is verplaatst. Deze processen worden door het commando stilgelegd (Engels: interrupted). Dit commando wordt dan ook wel software interrupt genoemd omdat het stil leggen van een proces is dat door het software programma. Na deze interrupt worden de gegevens van de mouse door de mouse naar de eerder genoemde registers geschreven. Deze kunnen vandaar weer door het programma worden ingelezen. Noch het schrijven naar en lezen van registers noch het genereren van de software interrupt is mogelijk in MS Pascal. Het lezen van en schrijven naar registers en het genereren van de software interrupt zijn wel mogelijk in assembler programma's. Daarom is een assembler programma geschreven dat de registers vult met waarden die meegegeven worden door het MS programma, de software interrupt gegenereerd en daarna de registers uitleest en deze waarden doorgeeft aan het MS programma.

Een ander probleem wordt veroorzaakt door de driver die door de software bibliotheek voor de frame grabber gebruikt wordt (zie hoofdstuk 2). Het is noodzakelijk om met deze driver in te stellen of er gebruik gemaakt wordt van de slow scan ingang of van de normale video ingang. Het is niet mogelijk deze instelling te veranderen in een programma. Dit is een probleem omdat voor het instellen van de camera op een rand een continu doorlopend normaal video beeld het beste is. Dit is niet mogelijk via de slow scan ingang. De beeld acquisitie via deze ingang verloopt trager dan via de normale video ingang. Het beeld op de monitor begint daarom hinderlijk te knippen. Ook wordt dit beeld niet geïnterlinieerd vertoond en zijn de afzonderlijke halfbeelden onder elkaar te zien. Dit laatste is het grootste probleem. De opgeslagen halfbeelden hebben in verticale richting maar de halve grote. Het probleem is niet dat de frame grabber niet beide ingangen achter elkaar aan kan maar dat de driver dit niet kan. Dit probleem is op te lossen door de driver in te stellen voor de normale video ingang en voor het binnenhalen van een slow scan beeld de frame grabber direct via zijn I/O adressen te programmeren.

Dit is mogelijk in MS door de eerder beschreven assembler programma's. Het direct programmeren van de frame grabber is geprobeerd maar dit leverde geen resultaat. Het direct programmeren lukte niet omdat de procedures voor het programmeren van deze kaart niet uitgebreid in de handleiding zijn beschreven en omdat het aan kennis over de werking van het programmeren van een frame grabber ontbrak. De driver moet dus in gesteld worden voor de slow scan ingang met de boven beschreven nadelen.

Omdat het programmeren met MS Pascal minder makkelijk gaat dan het programmeren in TP Pascal is geprobeerd het MS programma universeel te maken door belangrijke parameters voor dit programma als commandline te definiëren. Hierdoor kunnen bij het opstarten van het MS programma, door bijvoorbeeld het TP programma, parameters mee worden gegeven. De belangrijkste parameter die zijn opgenomen in de commandline zijn:

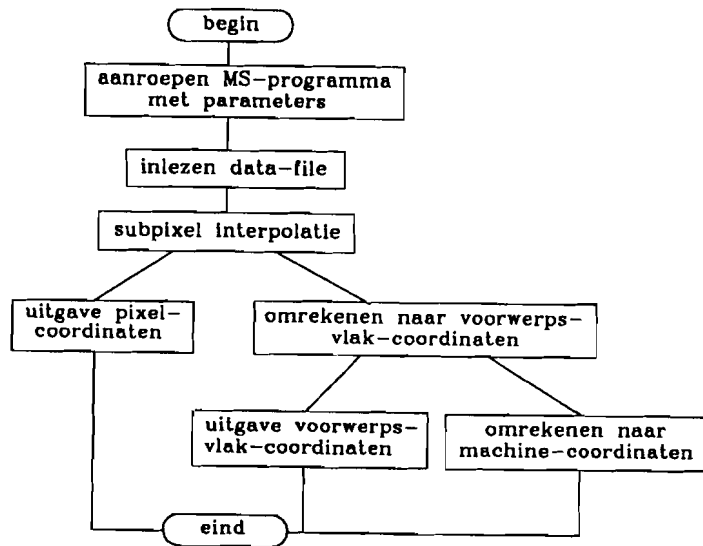
- inlezing via de slow scan ingang (y/n);
- inlezing via de normale video ingang (y/n);
- uitlezen van de Heidenhain meetsystemen (y/n);
- meten in een eerder opgenomen beeld (y/n);
- de grootte van de matrix waarin de centrale pixel wordt gezocht (100*100);
- de grootte van de matrix waarvan en datafile wordt aangemaakt (100*100).

Hierdoor kunnen andere subpixel interpolatie methoden, die andere eisen stellen aan de te bewerken pixels, in TP worden aangemaakt zonder dat het MS programma hoeft te worden aangepast.

5.5 Het TP programma

Dit programma hoeft alleen het MS programma op te starten, de aangemaakte data file in te lezen en daarna de ingelezen waarden omzetten in de machinecoördinaten.

Dit is weergegeven in een flow-chart in figuur 5.3.



Figuur 5.3: Flow-chart van het TP programma.

Het bovenstaande programma is omschreven als een procedure in een unit zodat het inhalen van coördinaten door andere TP programma's als procedure kan worden aangeroepen.

5.6 Programmatuur voor het testen van het meetsysteem

Voor het instellen van de parameters en het testen van het camera meetsysteem zijn twee programma's aangemaakt.

Het eerste programma heeft als doel het instellen van de parameters (de steek van de sels, de vergroting van de optiek en de hoogte van het drempelvlak) en het bepalen van de nauwkeurigheid van de positie bepaling van de rand met behulp van de subpixel interpolatie. Het tweede programma heeft als doel het bepalen van de subpixel interpolatie.

Het eerste programma

Dit programma maakt gebruik van de in paragraaf 5.5 beschreven procedure voor het bepalen van de rand en het omrekenen naar machinecoördinaten. Voor het bepalen van de meetnauwkeurigheid moeten meerdere metingen uitgevoerd worden. Het aantal metingen dat moet worden uitgevoerd kan tijdens het draaien van het programma worden ingevoerd en gewijzigd. De gemeten waarden worden opgeslagen in een datafile. De waarden zijn zodanig opgeslagen dat deze kunnen worden ingelezen in een rekenkundig programma (Matlab) waar de gegevens bewerkt kunnen worden om de gewenste informatie te verkrijgen.

De metingen kunnen op de volgende manieren worden uitgevoerd:

- beelden binnenhalen via de normale video of de slow scan ingang;
- één nieuw beeld binnen halen en alle metingen in dit beeld doen;
- alle metingen in een al aanwezig beeld verrichten;
- elke meting in een nieuw beeld doen;
- de meetwaarde uitdrukken in pixel-, voorwerpsvlak of machinecoördinaten.

Hierdoor kunnen de in een programma verschillende aspecten van het meetsysteem worden gebruikt. Het is met dit programma ook mogelijk om niet alleen randaantasting te doen maar ook het meten van een voorwerp in één keer. Enkele van de mogelijke metingen zijn uitgevoerd, de resultaten hiervan worden in hoofdstuk 6 beschreven.

Het tweede programma

Dit programma bepaald voor een aantal kolommen de positie van de rand van een voorwerp (bijvoorbeeld een eindmaat). Hiermee is het mogelijk om de profielen van de randen vast te leggen en te verwerken. In deze profielen zitten ook de verstoringen die door het uitlezen van de camera of door het subpixel interpolatie algoritme worden geïntroduceerd. Hierdoor kan worden bekeken hoe goed de randen met de interpolatie methode worden bepaald. We gebruiken hiervoor de in paragraaf 5.3 beschreven subpixel interpolatie methode. Echter de centrale pixel moet anders worden bepaald dan in paragraaf 4.4 omdat nu een aantal naast elkaar lijnen en kolommen moet worden bewerkt. Het gehele programma is in MS Pascal geschreven. De reden hiervoor is het groot aantal metingen waardoor de bewerkingstijd te groot wordt. Dit test programma haalt op verschillende manieren coördinaten binnen te stellen en slaat de gegevens zo in een file op dat deze meetdata later kan worden bewerkt in het programma Matlab.

met ✓

Kalibrering!

6. CALIBREREN EN TESTEN VAN HET CAMERA MEETSISTEEM



6.1 Inleiding

Het calibreren en het testen van het meetsysteem is niet bedoeld als diepgaand onderzoek naar de te bereiken meetnauwkeurigheid maar is vooral bedoeld voor het instellen van de drie parameters besproken in hoofdstuk 5 en het verkrijgen van inzicht in de werking van de subpixel interpolatie en de werking van het totale systeem. Het instellen van de parameters is nodig voor de omzetting van pixelcoördinaten naar machinecoördinaten. Met metingen uitgedrukt in de machinecoördinaten kunnen uitspraken over de meetnauwkeurigheid in millimeters worden uitgedrukt.

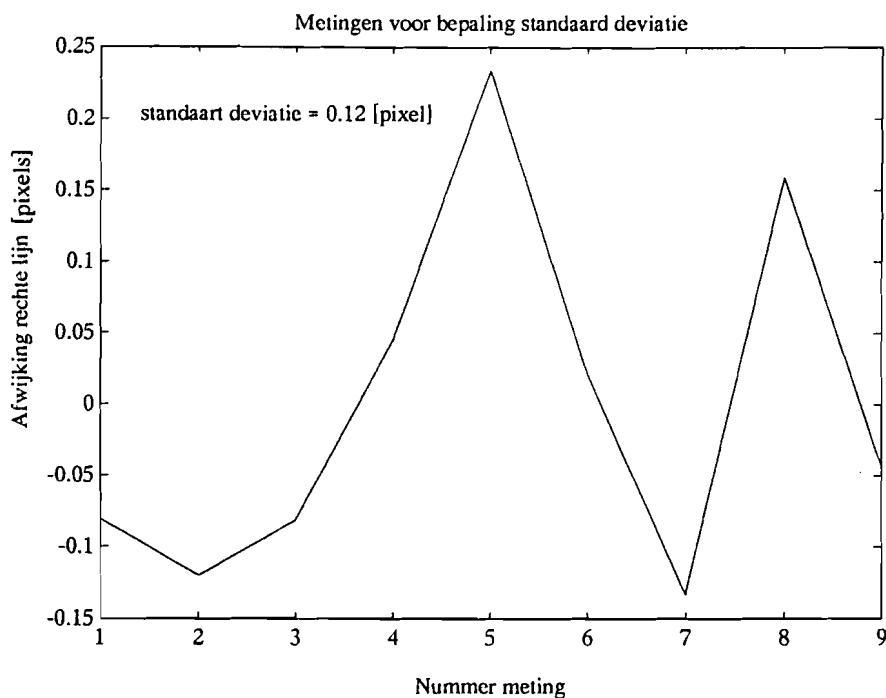
De metingen zijn beperkt tot het meten van eindmaten met doorvallend licht door de ingebouwde camera met objectief lenzen die in totaal 1x vergroting hebben. Dit om invloeden van de belichting en de optiek klein te houden. Er is voor eindmaten gekozen omdat voor het calibreren van het systeem een voorwerp met bekende nauwkeurige afmeting nodig is. De vergroting van 1 maal is gekozen omdat hiermee het grootste beeldveld ontstaat. Alle metingen zijn uitgevoerd via de slow scan ingang omdat aangetoond is dat deze uitleesmethode minder jitter in het beeld produceert.

Als eerste is herhaalnauwkeurigheid van het beeldverwerkende gedeelte van het 2-D meetsysteem bepaald. De invloeden van de camera uitlezing en van de subpixel interpolatie techniek zijn onderzocht door het profiel van de rand van een eindmaat te meten. Vervolgens zijn de parameters F_x , F_y en waarde van het drempelvlak bepaald met een afschatting van de nauwkeurigheid waarmee dit gebeurt. Daarna zijn een aantal eindmaten gemeten om het de kwaliteit van de bepaling van de drempel correctie te testen. Ook is de kwaliteit van het camera meetsysteem in samenwerking met de meetsystemen van de XY-tafel bekeken. Hieruit kunnen conclusies over het bepalen van de F_x en F_y worden gehaald. Tenslotte is nogmaals de herhaling nauwkeurigheid bepaald, nu met de in paragraaf 6.4 bepaalde correctie factor en de omzetting naar de machinecoördinaten.

6.2 Bepaling herhalingsnauwkeurigheid van de randdetectie

De herhalingsnauwkeurigheid is bepaald door negen maal één rand aan te tasten en uit deze metingen de standaarddeviatie van de rand te berekenen. Omdat de centrale pixel in een gebied van 20*20 pixels kan liggen kan niet één positie op de rand worden aangetast. Daarom wordt door de negen metingen eerst een kleinste kwadraten lijn van de eerste orde bepaald. Vervolgens wordt ten opzichte van deze lijn de standaard deviatie bepaald. Hiervoor wordt de formule gebruikt die bij normale verdeling van toepassing is. Het gebruik van deze methode is gerechtvaardigd omdat de metingen voldoen aan de normale verdeling.

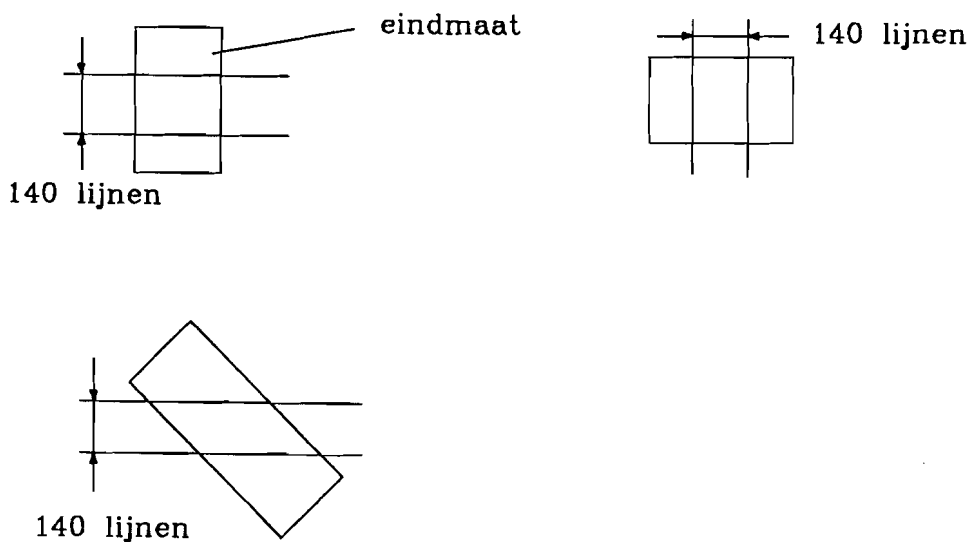
Voor de standaard deviatie van het meetsysteem met de boven beschreven beperkingen is 0,12 pixel gevonden (zie figuur 6.1).



Figuur 6.1: Bepaling van de aantast nauwkeurigheid.

6.3 Bepaling van de invloeden van de uitlezing en de subpixel interpolatie

Voor het bepalen van de kwaliteit van de uitlezing en de subpixelinterpolatie wordt een rand van een eindmaat, loodrecht op de x-as, gemeten over 140 rijen. De eindmaat wordt loodrecht op de y-as geplaatst en over 140 kolommen gemeten. Tenslotte wordt de eindmaat onder een hoek van 45° met de x-as geplaatst en nogmaals over 140 rijen gemeten (zie figuur 6.2). Verwacht wordt dat het resultaat van de meting een rechte lijn zal zijn. Afwijkingen van de rechte zijn voornamelijk te wijten aan fouten in uitlezing en interpolatie omdat door kwaliteit van de optiek en de belichting de invloed hiervan verwaarloosd kan worden. Omdat de eindmaat niet loodrecht op de kolommen of de rij hoeft te liggen wordt eerst een rechte kleinste kwadraten lijn door de metingen getrokken. Ten opzichte van deze lijn wordt dan de standaarddeviatie bepaald.

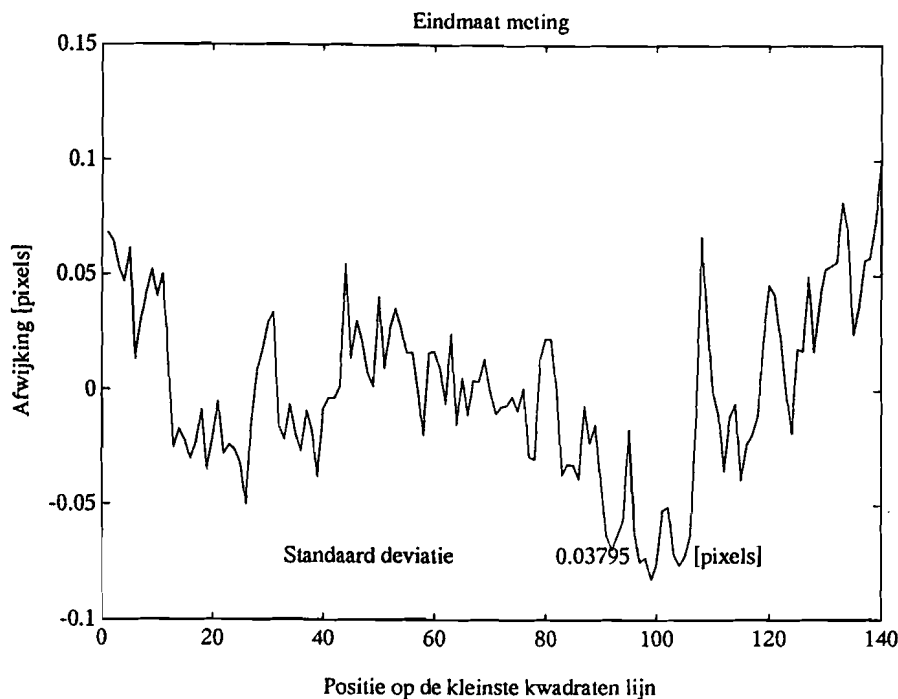


Figuur 6.2: Eindmaatmeting over 140 rijen.

De volgende metingen zijn verricht:

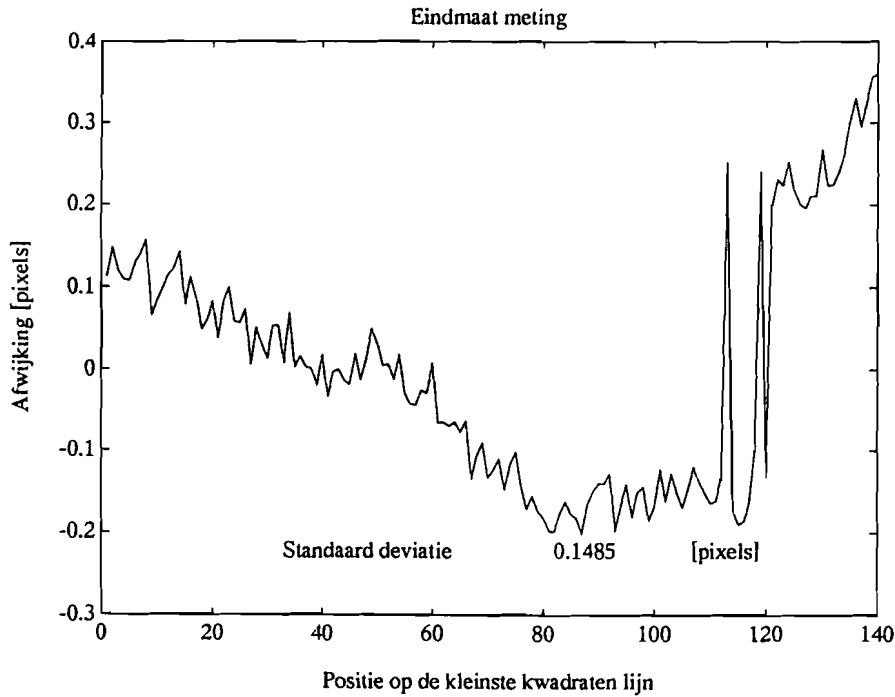
- | | |
|--|--------------------------|
| A) eindmaat loodrecht op de y-as | st. dev.: 0,04 [pixels]; |
| B) eindmaat loodrecht op de x-as | st. dev.: 0,16 [pixels]; |
| C) eindmaat onder een hoek van 45° met de x-as | st. dev.: 0,18 [pixels]. |

Deze metingen zijn uitgevoerd met de correctie factor 1 omdat de juiste correctie factor op het moment van deze metingen niet bekend was. De afwijkingen veroorzaakt door de belichting en de optiek zijn niet richtingsafhankelijk. Daarom kunnen de bovenstaande metingen alleen worden verklaard door de invloed van de omzetting van de sensor naar de frame grabber. Uit hoofdstuk 3 is bekend dat de omzetting van de sels naar het videosignaal alleen in x-richting optreedt. De informatie van sels in y-richting wordt nauwelijks door deze omzetting beïnvloed. Dit volgt ook uit de metingen A en B. Bij meting A (figuur 6.3) liggen alle meetwaarden tussen $\pm 0,05$ [pixel].

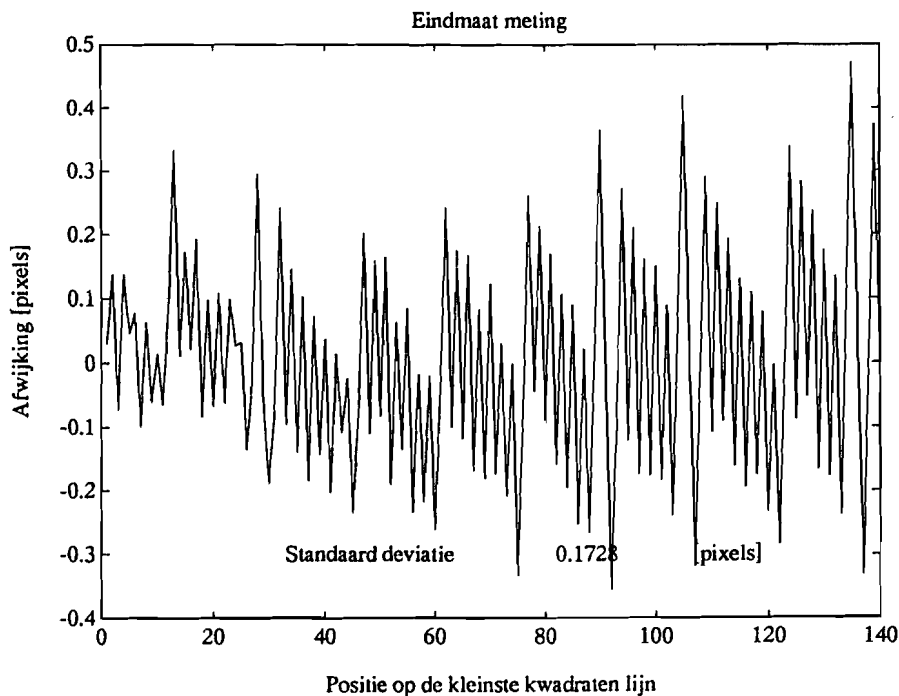


Figuur 6.3: Meting eindmaat loodrecht op y-as.

In het geval van meting B (figuur 6.4) vallen de meeste meetwaarden binnen een band van $\pm 0,2$ [pixel] met uitschieters tot $0,8$ [pixel]. Dit kan alleen verklaard worden door fouten in de het bemonsteren van het videosignaal. Meting C (figuur 6.5) toont aan dat de subpixel interpolatie werkt maar nog niet perfect is. De schuingeplaatste rand wordt ook met subpixelnauwkeurigheid bepaald maar in het gemeten signaal zit een periodische afwijking die niet optreedt op bij de beide andere metingen.



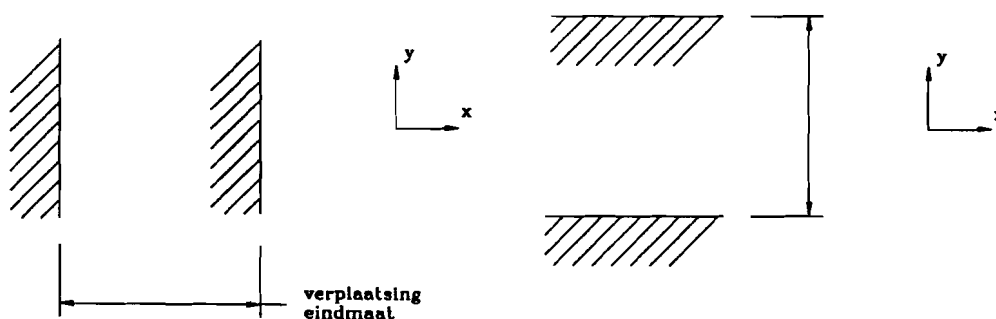
Figuur 6.4: Meting eindmaat loodrecht op x-as.



Figuur 6.5: Meting eindmaat onder 45° met de x-as.

6.4 Kalibreren

Om de drempel factor te bepalen moeten eerst de omreken factoren van pixels naar millimeters (F_x en F_y) bekend zijn. Voor het bepalen van F_x wordt een eindmaat loodrecht op de x-as geplaatst en wordt zowel de x-positie van deze rand in pixelcoördinaten als de x-positie van de XY-tafel gemeten. Vervolgens wordt de eindmaat met behulp van de XY-tafel in x-richting verplaatst. De verplaatsing is voor het camerameetsysteem even groot als voor het meetsysteem van de XY-tafel. Zowel de x-positie van dezelfde rand als de x-positie van de XY-tafel worden nogmaals bepaald. Door de verplaatsing van de XY-tafel te delen door het verschil in de x-posities (in pixels) kan de F_x bepaald worden (zie figuur 6.6).



Figuur 6.6: Verplaatsing van de eindmaat voor het bepalen van F_x en F_y .
a) in x-richting voor F_x ;
b) in y-richting voor F_y .

F_x is de combinatie van de steek van de sels en de vergrotingsfactor van de optiek. Dezelfde procedure wordt gebruikt voor het bepalen van F_y maar dan met de eindmaat loodrecht op de y-as en de verplaatsing in de y-richting. Uit deze metingen volgt:

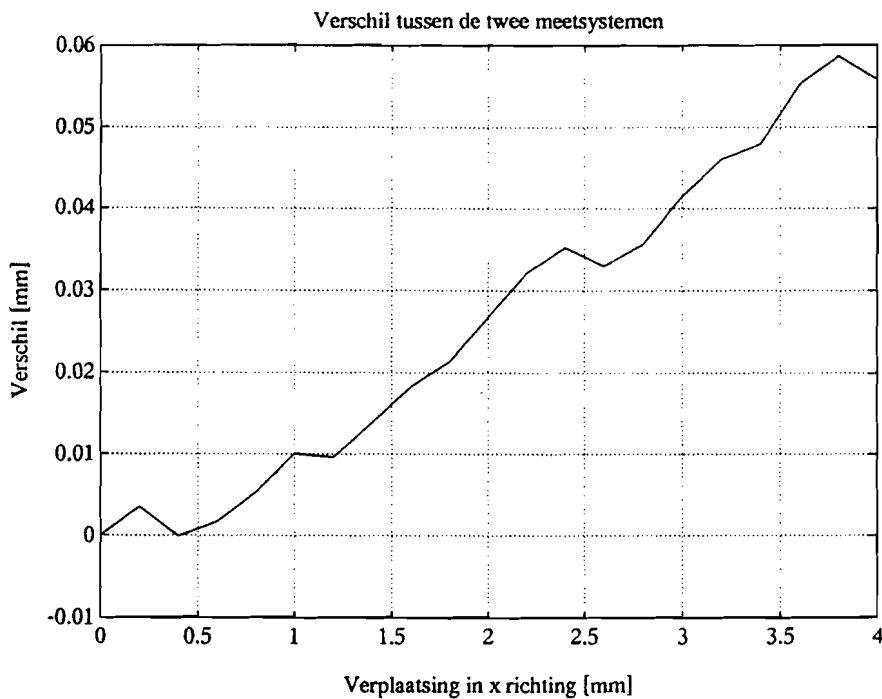
$$F_x = 0,0099 \pm 0,0001 \text{ mm} ;$$
$$F_y = 0,0078 \pm 0,0001 \text{ mm}.$$

De meetonzekerheid wordt afgeschat door het bekijken van de fouten die op kunnen treden en de lengte waarover gemeten wordt (1,0000 mm). De waarden voor de steek van de pixels gespecificeerd door de fabrikant zijn:

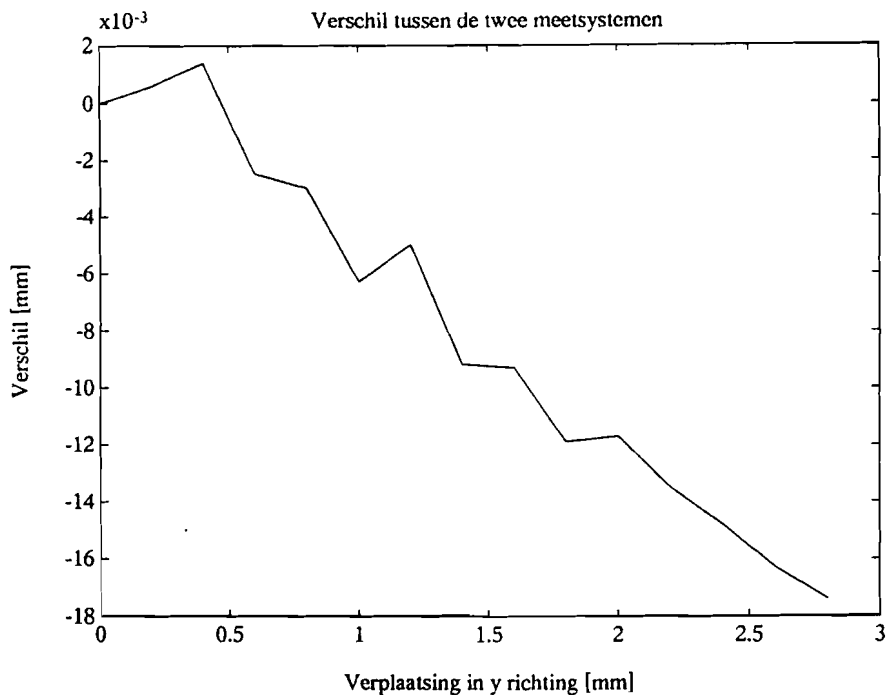
$$S_x = 0,0010 \text{ mm};$$
$$S_y = 0,0078 \text{ mm}.$$

Hieruit volgt dat de vergroting 1 maal is.

Voor het testen van de ~~calibratie~~calibratie is een vergelijkingsmeting tussen de Heidenhain meetsystemen en het camera meetsysteem uitgevoerd. Door de verplaatsing van een eindmaat zowel door de meetsystemen van de XY-tafel als door het camera meetsysteem te meten kan bepaald worden hoe goed het systeem gecalibreerd is (zie fig 6.8).



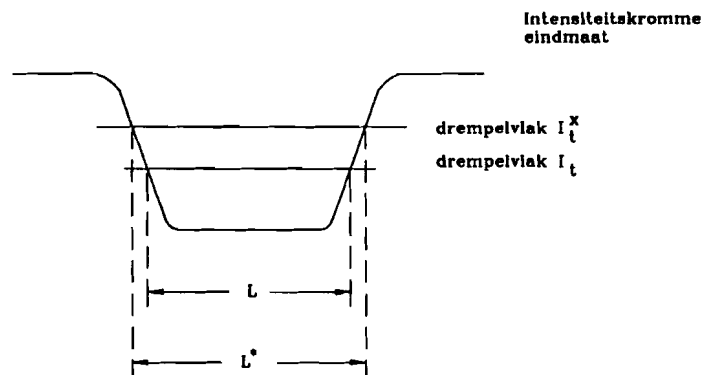
Figuur 6.7: Vergelijk camera meetsysteem en Heidenhain meetsysteem in de x-richting.



Figuur 6.8: Vergelijk camera meetsysteem en Heidenhain meetsysteem in de y-richting.

Het verschillen tussen Heidehainmeetsystemen en het camerameetsysteem hebben beide een lineair verband. Uit dit lineaire verband kan worden geconcludeerd dat de afwijkingen tussen de meetsystemen systematisch zijn. Deze afwijkingen kunnen zowel worden veroorzaakt doordat de F_x en F_y niet nauwkeurig genoeg bepaald zijn als door hoek tussen het camera coördinatensysteem en het coördinatensysteem van de meetmachine.

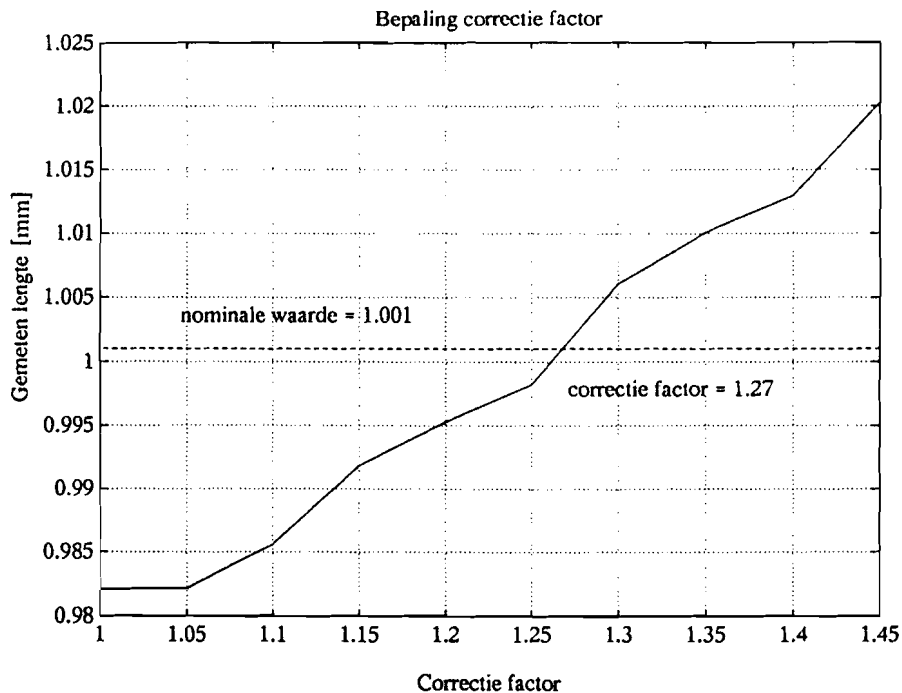
Voor het bepalen van de intensiteit van het drempelvlak wordt gebruik gemaakt van een eindmaat. De nominale lengte van deze eindmaat is bekend ($l_{no} = 1,001$ mm). Door de lengte van deze eindmaat met het camera meetsysteem op te nemen en deze te vergelijken met de nominale waarde kan worden bepaald of het drempelvlak een te hoge of te lage waarde heeft (zie figuur 6.9).



Figuur 6.9: Invloed van het drempelvlak op de gemeten lengte.

Als de gemeten lengte groter is als de nominale ligt het drempel vlak te hoog (zie fig??). De hoogte van het drempelvlak wordt bepaald uit het gemiddelde van de vier hoekpunten van de threshold masker (7*7 pixels) vermenigvuldigd met een correctiefactor.

De lengte van de eindmaat wordt bepaald door drie punten op de eindmaat aan te tasten, twee aan een kant van de eindmaat en de derde aan de andere kant. De lengte is dan gelijk aan de loodrechte afstand tussen het derde punt en de lijn door de eerst twee punten. In figuur 6.10 staat het verloop van de gemeten lengte van de eindmaat uit gezet tegen de correctie factor.



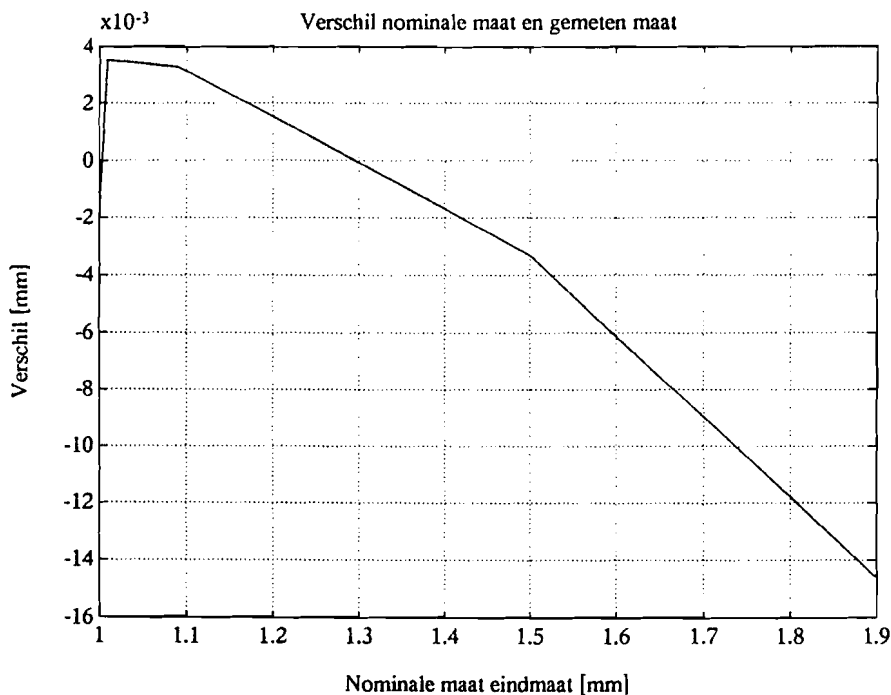
Figuur 6.10: De gemeten waarde als functie van de correctie factor.

Uit deze figuur volgt dat bij correctie factor = 1,27 de nominale maat en de gemeten waarde overeen komen. Deze waarde is ingevoerd in de berekening voor de subpixel interpolatie.

De meeton nauwkeurigheid van de correctie factor wordt bepaald door de volgende factoren:

- verschil temperatuur van de eindmaat;
- scheef ligging van de eindmaat ten opzichte van de lichtbundel;
- invloed van de hoogte van de rand van de eindmaat;
- vervorming door de optiek;
- afwijking van de F_x en F_y ;
- positie bepaling van de drie meetpunten.

Omdat voor de meeste van deze factoren alleen maar een schatting kan worden gedaan is afgezien van de berekening van de meetonnauwkeurigheid van de correctiefactor. In plaats hiervan zijn vijf eindmaten van verschillende nominale lengte gemeten. In figuur 6.11 zijn de gemeten waarden uitgezet tegen de nominale waarden.



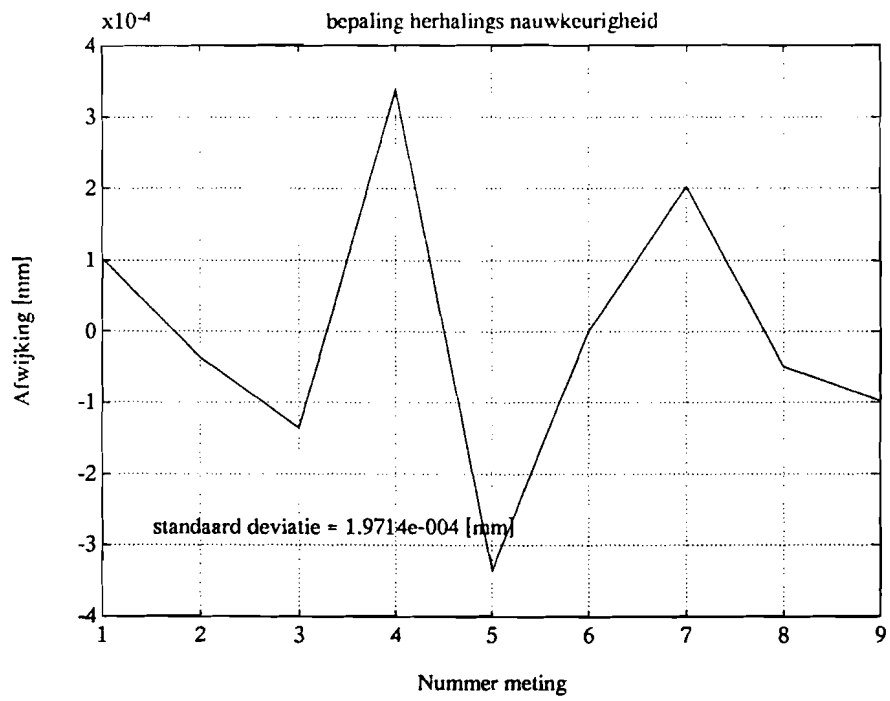
Figuur 6.11: Meting van vijf eindmaat met verschillende nominale maat.

Uit deze figuur blijkt dat de afwijking voor de grootste eindmaten de grootste afwijking heeft kan dit zowel beteken dat een fout in de bepaling van de correctiefactor is opgetreden als een fout de bepaling van de F_x .

6.5 Bepaling van de herhalingsnauwkeurigheid met de correcte factoren

Als laatste meting is nogmaals de herhalingsnauwkeurigheid bepaald door negen maal de rand van een eindmaat in een nieuw beeld te meten. Deze meting is uitgevoerd met de juiste correctie factor (= 1,27) en is omgerekend naar de machinecoördinaten. De standaarddeviatie van deze meting is $0,2 \mu\text{m}$ (zie figuur 6.12). Hieruit blijkt dat de reproduceerbaarheid van de metingen sterk afhankelijk is van de correctiefactor.

Betekent dit dat dat de omstandigheden steeds veranderen?



Figuur 6.12: Bepaling van de herhalingsnauwkeurigheid met correctiefactor 1,27.

7. CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN

Er is aangetoond dat een beeldverwerkend systeem kan worden gecombineerd met een 2-D meetmachine en dat daardoor een nauwkeurige automatiseerbare contactloze meetmachine ontstaat.

Een methode voor het meten van de faseverschuiving tussen uitlezing van de camera en bemonsteren van het videosignaal is ontwikkeld en toegepast. Deze methode is ook toepasbaar voor het bepalen van de jitter in een beeld en in meerdere opeenvolgende beelden.

Door het toepassen van een subpixel interpolatietechniek is het mogelijk om de positie van randen te bepalen met een herhalingsnauwkeurigheid van minder dan één pixel. De herhalingsnauwkeurigheid van het aantasten van een rand in het gedigitaliseerde beeld is 0,1 [pixel]. Dit geeft een resolutie van $1 \cdot 10^{-4}$ in het voorwerpsvlak. Voor dit systeem met 1 maal vergroting geeft dit een herhalingsnauwkeurigheid van $1 \mu\text{m}$ bij een voorwerpsveld van $4,8 \times 4 \text{ mm}$. Onder goede omstandigheden kan met dit systeem een herhalingsnauwkeurigheid van $0,2 \mu\text{m}$ worden bereikt. Dit is vooral afhankelijk van de instelling van het drempelvlak.

Het gebruik van pixelsynchrone uitlezing is absoluut noodzakelijk voor het verichten van metingen met subpixelnauwkeurigheid. Dit omdat de jitter veroorzaakt door het gebruik van de normale video-ingang (met PLL regeling) meerdere pixels kan bedragen.

Voor het realiseren van de pixelsynchrone uitlezing is een interface tussen camera en frame grabber ontwikkeld. De uitlezing van de camera met deze interface is verbeterd maar is nog niet goed genoeg om de faseverschuiving te regelen.

Het gerealiseerde systeem is sterk richtingsgevoelig. Dit wordt veroorzaakt door de niet-pixelsynchrone uitlezing en de signaalbehandeling bij de omzetting van de sensor naar de frame grabber. Als in het systeem de normale videoingang wordt gebruikt is de richtingsgevoeligheid nog sterker.

De oorzaken van de resterende jitter bij het gebruik van pixelsynchrone uitlezing moeten nader worden onderzocht. Indien mogelijk moet de interface voor de pixelsynchrone uitlezing worden verbeterd zodat de resterende jitter minimaal wordt. Als dit mogelijk is kan vervolgens de invloed van de faseverschuiving worden onderzocht en deze zo worden ingesteld dat het gedigitaliseerde beeld optimaal wordt.

Dit onderzoek is beperkt tot metingen onder goede condities. Het is van groot belang om te bepalen hoe het totale systeem op omgevingsinvloeden reageert omdat dit in grote mate de praktische toepassbaarheid zal bepalen.

Door het uitbreiden van de edgel subpixel interpolatietechniek met meer pixels in de edgel of door andere modellen van de rand kan mogelijk de nauwkeurigheid van deze techniek verbeterd worden. Indien dit niet mogelijk blijkt moeten andere interpolatietechnieken worden toegepast.

Het model voor de terugrekening van pixel- naar machinecoördinaten moet worden uitgebreid met correcties voor afwijkingen van de sensorgeometrie en voor afwijkingen van de optiek.

De invloeden van de signaalbewerking voor het aanmaken van het videosaal moeten worden onderzocht. Indien deze omzetting een grote invloed op de meetnauwkeurigheid heeft, zullen andere camera's moeten worden gebruikt die niet meer met een videosaal werken maar die digitaal worden uitgelezen. Deze camera's bestaan al wel, maar zijn een factor tien duurder en een factor vier langzamer bij het uitlezen van de beeldinformatie.

Moet je er nu wel of niet mee doorgaan?

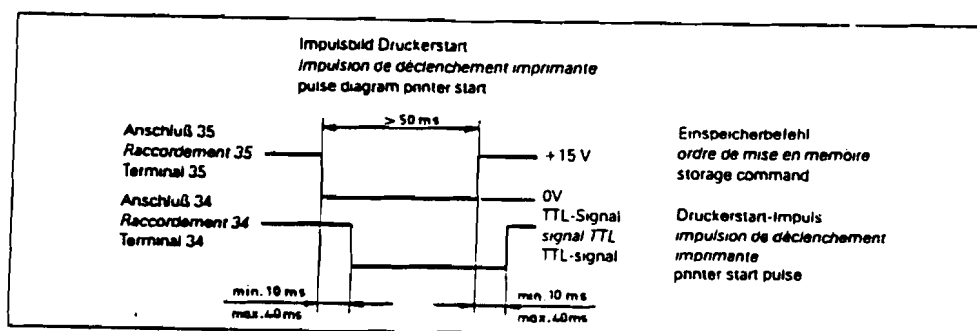
LITERATUUR

- AND 87 Andresen F.P., Roth S.D., Shimano B.E., Rulers: A simple and versatile inspection tool. In: Vision 87.
- ARE 89 Arets J.M.A., Accurate edge detection and gauging with CCD - cameras. Afstudeerverslag Electrotechniek, vakgroep Meten en regelen, Technische Universiteit Eindhoven 1989.
- BAT 85 Batchelor B.G., Hill D.A., Hodgson D.C., Automated visual inspection. IFS (Publications) Ltd, UK 1985.
- CCI 70 CCIR international radio consultative committee, 10th plenary assembly, volume 5 part 2, Characteristics of monochrome television systems. International telecommunication union 1970.
- DÄH 87 Dähler J., Problems in digital image acquisition with CCD cameras. In: ISPRS conference 1987.
- HCS 89 User manual MXR CCD camera. HCS VISION TECHNOLOGY B.V. 1989.
- KRA 89 Kramer E.P.G.M., Het ontwerp en de implementatie van een camera-meetsysteem. Afstudeerverslag Electrotechniek, vakgroep Meten en regelen, Technische Universiteit Eindhoven 1989.
- LEN 88 Lenz R., Zur Genauigkeit der Videometrie mit CCD-sensoren. In: 10. DAGM 1988.
- LEN 86 Lenz R., Tsai R.Y., Techniques for calibration of the scale factors and image center for high accuracy 3D machine vision metrology. Industrial machine vision project manufacturing research, IBM 1986

- MEI 88 Meijers P.J.G., Ontwikkeling van een software-pakket voor 2D-geometriemeting. Afstudeerverslag Werktuigbouwkunde, vakgroep Productietechnologie en -Automatisering, Technische Universiteit Eindhoven 1988. WPA nr: 0618.
- NEG 87 Negin M., Subpixel resolution methodology limitations. In: Vision 87.
- POL 88 Polderdijk F.J., Een automatisch optisch inspectiesysteem voor de geometrie van de messen van scheerapparaten. Afstudeerverslag Electrotechniek, vakgroep Meten en regelen, Technische Universiteit Eindhoven 1988.
- SCH 85 Schellekens P.H.J., Struik K., Schoot H.W.P. van der, Werktuigkundige Meettechniek. Collegedictaat Werktuigbouwkunde, vakgroep Productietechnologie en -Automatisering, Technische Universiteit Eindhoven 1985.
- VER 91 Voorstudie voor de ontwikkeling van een camerameetsysteem voor toepassing in de geometrische meettechniek. Verslag onderzoeksopdracht Werktuigbouwkunde, vakgroep Productietechnologie en -Automatisering, Technische Universiteit Eindhoven 1991. WPA nr: 1039.
- VLI 90 Vliet R.G. van, Beeldverwerking. Collegedictaat Capita Selecta uit de Meettechniek nr. 5734, Technische Universiteit Eindhoven 1990.

BIJLAGE 1: UITLEZING HEIDENHAIN MEETLINIALEN

De UMM is uitgerust met 2 meetlinialen van het merk Heidenhain [MEI 88]. De positie van de XY-tafel wordt op twee displays getoond. Deze display's kunnen met behulp van een BCD-bus worden uitgelezen. Om de positie van de XY-tafel uit te lezen door de computer is elke display gekoppeld aan een I/O-insteekkaart. Voor het uitlezen moet de computer via de I/O-kaart een puls (storage command) naar de display sturen, de waarde op de display wordt dan opgeslagen. Als de correcte waarde is opgeslagen geeft de display een signaal (printer start) op de BCD-bus waarna de display door de I/O-kaart kan worden uitgelezen. Om de in de I/O-kaarten opgeslagen positie te gebruiken moet in een programma de I/O-kaarten worden uitgelezen en de waarden worden omgerekend. De specificaties van de storage command en de printer startpuls zijn weergegeven in figuur B1.1.



Figuur B1.1: Specificaties storage command en printer startpuls [MEI 88].

Het display heeft acht cijfers, voor elk cijfer op de display zijn 4 I/O-lijnen nodig. Verder is één lijn nodig voor het teken, één voor het storage command, één voor de printer start en één voor de aarde. Dit levert een totaal van 36 I/O-lijnen (zie figuur B1.2).

HEIDENHAIN MEETSYSTEEM		IO-KAART VAN COMPUTER	
Pin-nummer BCD-bus	kleur verbindinsskabel:	pin-nr. op IO-kaart	poort- nummer:
1	grijs	8 → PA0	PORT 1
2	zwart	5 → PA1	PORT 1
3	rood	6 → PA2	PORT 1
4	groen	4 → PA3	PORT 1
5	bruin	18 → PA4	PORT 1
6	bruin & zwart gestippeld	17 → PA5	PORT 1
7	wit & zwart gestippeld	20 → PA6	PORT 1
8	geel & zwart gestippeld	19 → PA7	PORT 1
9	groen & zwart gestippeld	32 → PB0	PORT 1
10	geel & blauw gestippeld	34 → PB1	PORT 1
11	paars	36 → PB2	PORT 1
12	rood & blauw gestippeld	35 → PB3	PORT 1
13	wit	33 → PB4	PORT 1
14	geel	31 → PB5	PORT 1
15	rose	29 → PB6	PORT 1
16	grijs & rose gestippeld	27 → PB7	PORT 1
17	blauw	13 → PA0	PORT 2
18	groen & blauw gestippeld	14 → PA1	PORT 2
19	wit & rose gestippeld	15 → PA2	PORT 2
20	wit & grijs gestippeld	16 → PA3	PORT 2
21	rose & bruin gestippeld	17 → PA4	PORT 2
22	grijs & bruin gestippeld	18 → PA5	PORT 2
23	wit & blauw gestippeld	19 → PA6	PORT 2
24	bruin & rood gestippeld	20 → PA7	PORT 2
25	wit & rood gestippeld	31 → PB0	PORT 2
26	geel & bruin gestippeld	33 → PB1	PORT 2
27	wit & groen gestippeld	35 → PB2	PORT 2
28	groen & bruin gestippeld	36 → PB3	PORT 2
29	bruin & blauw gestippeld	34 → PB4	PORT 2
30	grijs & groen gestippeld	32 → PB5	PORT 2
31	geel & grijs gestippeld	30 → PB6	PORT 2
32	wit & geel gestippeld	28 → PB7	PORT 2
33	rose & groen gestippeld	26 → PC0	PORT 1
34	geel & rose gestippeld	25 → PC1	PORT 1
35	geel & rood gestippeld	23 → PC4	PORT 1
36	bruin & groen gestippeld	1 → GND	PORT 1

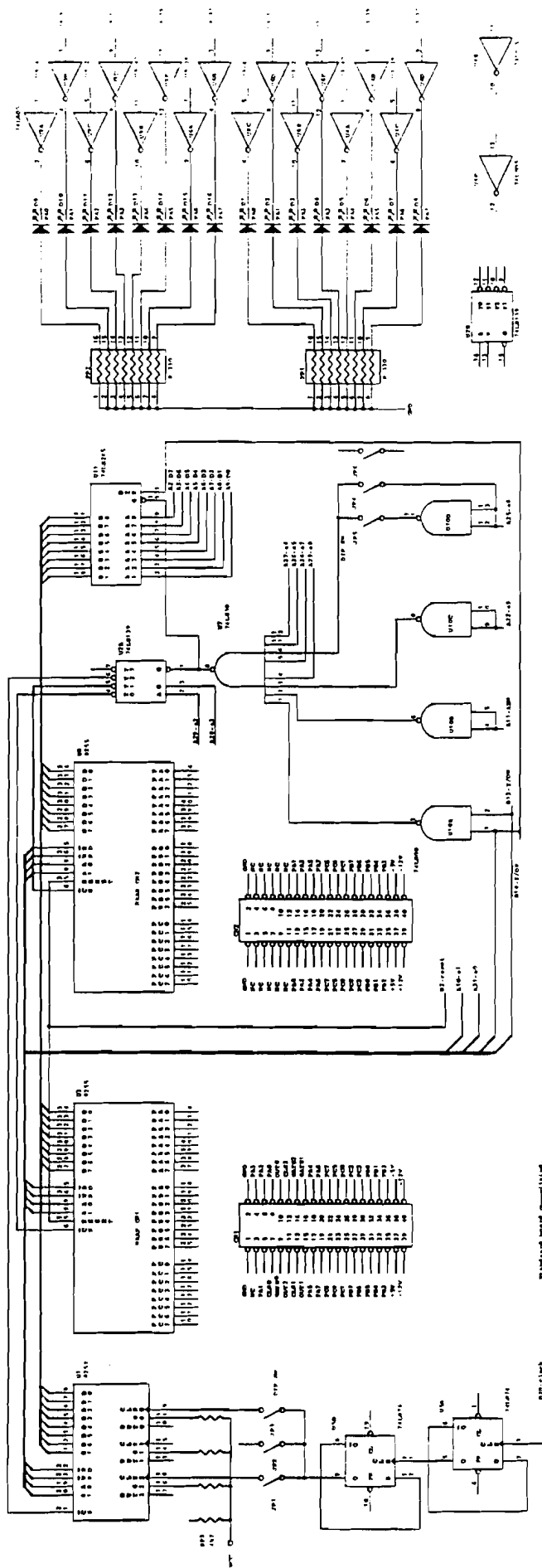
Figuur B1.2: Aansluitingen van de I/O-lijnen aan de Heidenhain display [MEI 88].

De I/O-kaart is een programeerbare interface tussen de computer en randapparatuur. Aan de kant van de randapparatuur bezit deze kaart 48 I/O-lijnen die geprogrammeerd moeten worden als input lijn (binnen halen van waarden) of output lijn (geven van stuursignalen). Aan de computer kant heeft de I/O-kaart een adressen set voor de I/O-bus van de computer. Deze adressen set bestaat uit 12 adressen van een byte, zes van deze adressen zijn voor input en output naar de rand apparatuur, twee zijn voor het programmeren van de 48 I/O-lijnen en de resterende adressen worden gebruikt om counters in te stellen. De adressen voor de counters worden verder niet gebruikt. Voor deze adressen set zijn twee mogelijke instellingen, van \$1B0 tot \$1BB en van \$1F0 tot \$1FB, deze worden ingesteld door dip-switches. Omdat beide kaarten identiek zijn zijn ook de adressen sets voor beide kaarten hetzelfde. Dit leverde een probleem toen de kaarten van een XT- naar de AT-computer van het camerameetsysteem werden over geplaatst. De adressen set van de fixed disk van de AT-computer loopt van \$1F0 tot \$1F8 en valt samen met dat van een van de I/O-kaarten. Dit is opgelost door op een I/O-kaart de contacten A6 voor de I/O-adresbus om te wisselen (zie figuur B1.3) waardoor deze kaart de adressen set \$1D0 tot \$1DB heeft (met de dip-switches op deze kaart ingesteld op set \$1B0 tot \$1BB).

Adreslijn no.	:	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
adres \$1B0	:	0	0	0	1	1	0	1	1	0	0	0	0
adres \$1B0	:	0	0	0	1	1	1	0	1	0	0	0	0

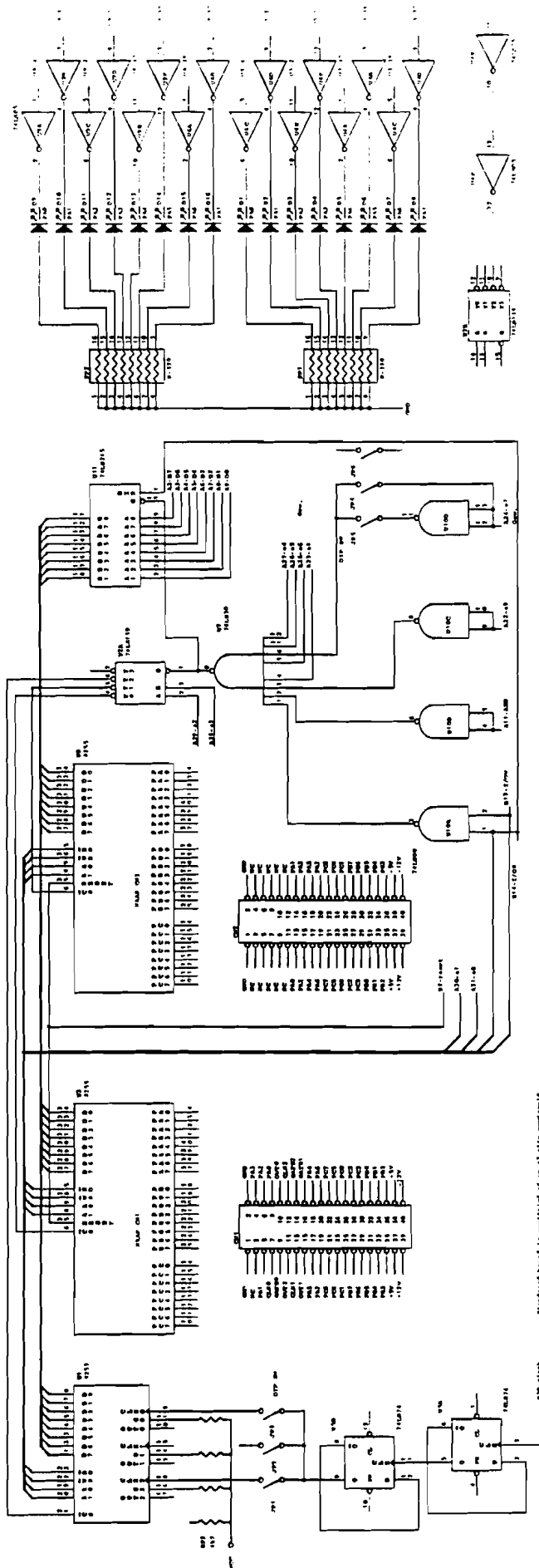
Figuur B1.3: Omschakkeling van het I/O-adres van een van de insteekkaarten.

Het schema van de ongewijzigde kaart staat in figuur B1.4, het schema van de gewijzigde I/O-kaart staat in bijlage B1.5.



TUE Geom.Meettechniek	
Get.G.J.Iheuus	
PC 8255 I/O CARD	
Size	Document Number
C	GM
Date	November 13, 1991 Sheet 1 of 1

Figuur B1.4 Schema van de ongewijzigde I/O-kaart.



Figuur B1.5 Schema van de gewijzigde I/O-kaart.

TUE Geom. Meettechniek	
Get. G.J. IJedus	
PC 8255 I/O CARD	
Title	REV
Size	Document Number
C	GH
Date	November 13, 1991
Sheet	1 of 1

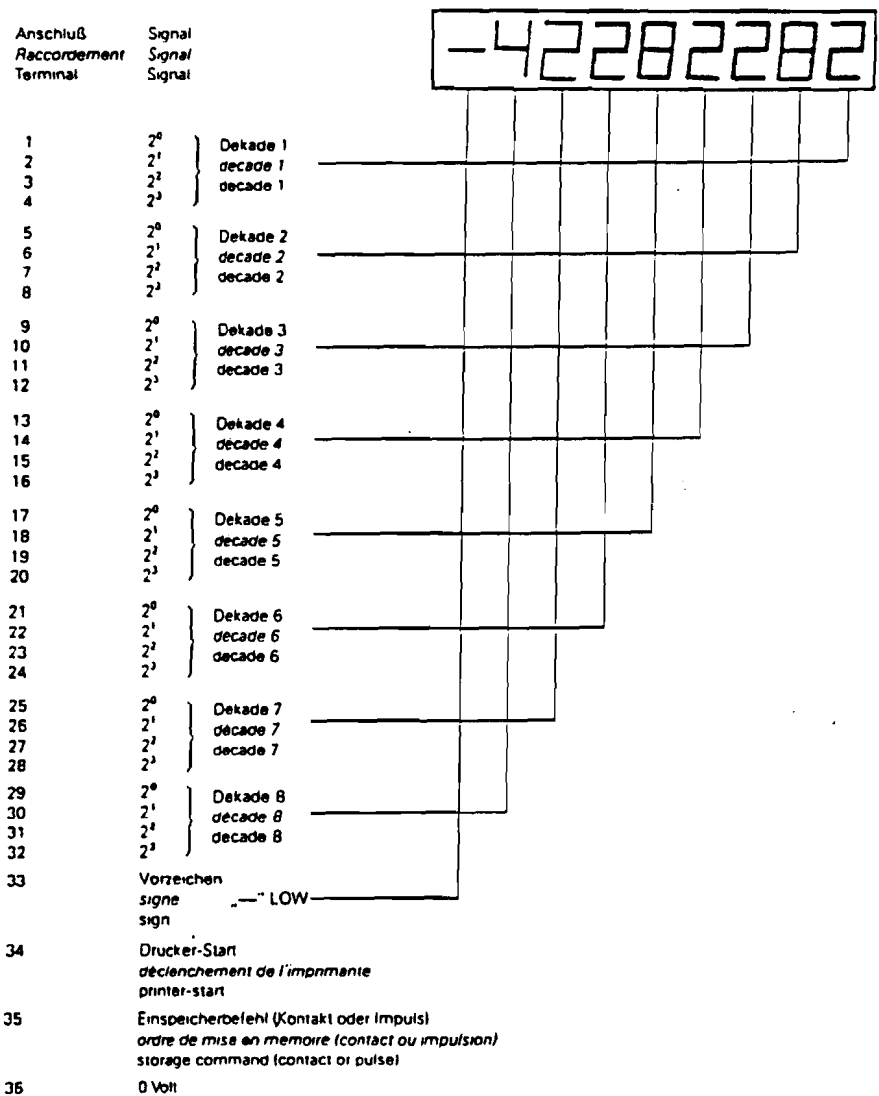
In het programma voor de uitlezing hebben de adressen van de I/O-kaart namen gekregen (zie tabel B1.1).

XPort1A = #1B0	YPort1A = #1D0
XPort1B = #1B1	YPort1B = #1D1
XPort1C = #1B2	YPort1C = #1D2
XPort1R = #1B3	YPort1R = #1D3
XPort2A = #1B4	YPort2A = #1D4
XPort2B = #1B5	YPort2B = #1D5
XPort2C = #1B6	YPort2C = #1D6
XPort2R = #1B7	YPort2R = #1D7

Tabel B1.1: Programmanamen van de adressen van de I/O-kaart.

De aansluiting van de verbinding tussen een I/O-kaart en een display van de Heidenhain wordt in tabel B1.2 weergegeven. Voor deze verbinding heeft de I/O-kaart twee parallelle poorten, in de tabel Port 1 en Port 2 genoemd. Deze aansluitingen zijn zodanig gekozen dat een cijfer van de display overeenkomt met één nibble (4-bits) op een I/O-adres. Voor het uitlezen worden de I/O-kaarten geprogrammerd zodat ze 40 ingangen en 8 uitgangen hebben.

INTERFACING HEIDENHAIN-MEETSYSTEEM MET COMPUTER



Tabel B1.2: Aansluiting van I/O-kaart aan de display [MEI 88].

Voor het uitlezen van een linialen door een programma moeten de volgende stappen ondernomen worden:

- De twee insteekkaarten moeten worden geprogrammeerd door het sturen een getal (control word) naar twee poorten van iedere kaart.

getal 93 hex naar adressen Xport1A en Xport2A;

getal 93 hex naar adressen Yport1A en Yport2A.

- De displays moeten het storage command krijgen.

getal 00 hex naar adres Xport1C;

getal 00 hex naar adres Yport1C.

- Er moet gewacht worden of de opgeslagen worden geldig zijn.

Xport1C uitlezen tot deze 2 is;

Xport1C uitlezen tot deze 2 is.

- De displays uitlezen en de uitgelezen waarden omzetten in een voor de computer bruikbaar formaat. Dit wordt beschreven voor een programma in Pascal.

Inlezen:

```
INX[0]:=INPORTBYTE(XPort1A);
```

```
INX[1]:=INPORTBYTE(XPort1B);
```

```
INX[2]:=INPORTBYTE(XPort1C);
```

```
INX[3]:=INPORTBYTE(XPort2A);
```

```
INX[4]:=INPORTBYTE(XPort2B);
```

```
INY[0]:=INPORTBYTE(YPort1A);
```

```
INY[1]:=INPORTBYTE(YPort1B);
```

```
INY[2]:=INPORTBYTE(YPort1C);
```

```
INY[3]:=INPORTBYTE(YPort2A);
```

```
INY[4]:=INPORTBYTE(YPort2B);
```


Omzetting (voor een richting, als Pascal functie uitgevoerd):

```
W[1]:=ABS(ORD(INN[4]) div 16);
W[2]:=ABS(ORD(INN[4]) mod 16);
W[3]:=ABS(ORD(INN[3]) div 16);
W[4]:=ABS(ORD(INN[3]) mod 16);
W[5]:=-2;
W[6]:=ABS(ORD(INN[1]) div 16);
W[7]:=ABS(ORD(INN[1]) mod 16);
W[8]:=ABS(ORD(INN[0]) div 16);
W[9]:=ABS(ORD(INN[0]) mod 16);
Totval:=1000,0*W[1]+100,0*W[2]+10,0*W[3]+W[4];
Totval:=Totval+W[6]/10,0+W[7]/100,0+W[8]/1000,0
      +W[9]/10000,0;

{ Bit 0 van XPort1C representeert het teken }

IF (INN[2] AND 1)=0 THEN Totval:=-Totval;
```

- De display's moeten weer gereed worden gemaakt om nieuwe meetwaarden in te lezen.

```
getal 10 hex naar adres Xport1C
getal 10 hex naar adres Yport1C
```

Door het bovenstaande als programma uit te voeren zijn de linialen uit te lezen.

BIJLAGE 2: SPECIFICATIES VAN DE CAMERA

Technical Specifications MXR

Image sensor	
type	Frame transfer CCD NXA 1011/NXA 1031
Number of pixels	604 (H) x 576 (V) (CCIR) 610 (H) x 490 (V) (RS 170)
Pixel size	10 x 15,6 μm (CCIR) 9.9 x 18.6 μm (RS 170)
Light sensitive area	7.5 mm diagonally
Anti blooming	7 stops
TV standard	CCIR (625 lines) RS 170 (525 lines) non-interlaced scanning possible
Number of defected pixels	0
Electrical	
Video signal	1 Vpp a 75 Ohms
Supply voltage	12V +10/-2 % ripple included
Power consumption	190 mA a 12V
Resolution	More than 450 TV lines horizontal
Bandwidth	5.8 MHz -6 dB
Internal oscillator	X-tal
Geometric distortion	None
Minimum sensor illumination	0.05 lux for -6 dB output voltage 0.02 lux for acceptable picture

Signal to noise ratio	More than 46 dB weighted at -5 lux sensor illumination - AGC off - Gamma off - Temperature 25 °C
Gamma correction	User switchable to 0.45 or 1
Automatic gain control	10 x switchable
Black level reference	fixed or dynamic user selectable
Output signals	H-sync TTL compatible V-sync TTL compatible Pixelclock TTL compatible (10,25 MHz) 22,5 MHz
Input signals	External Gain Control (Voltage controlled) Non interlace mode select
Synchronisation	Internal free running X-tal based External: Gen-lock (CVBS 300 mV negative sync.)
to frame store	Pixel clock with H- and V-sync)

Mechanical

Dimensions:

Body	110 x 35 x 45 mm
Head with cable	44 x 35 x 45 mm
Lens mount	"C"mount or "CS"mount with user adjustable backfocus, or mini bayonet
Sensor position	\pm 4 pixels in x and y.
Weight	225 gr (without lens)
Tripod attachment	UNC 5/8"

Environmental

Ambient temperatures:	- operating	-30 to +60 °C
	- storage	-40 to +80 °C

for all data 20 to 95 % relative
humidity, 600 to 1100 mBar.

Humidity test	In accordance with IEC 68-2-30 test Db; 40 deg. Celsius, 21 days
---------------	---

Resistance to vibration	In accordance with IEC 68-2-6 test Fc (10 - 150 Hz) severity 0.15 mm 10 - 150 Hz
-------------------------	--

Resistance to shock	In accordance with IEC 68-2-29 test Ea (60 grams) 3 shocks in each direction
---------------------	--

Resistance to bump	In accordance with IEC 68-2-29 test Eb; 3x 1000 bumps, 10 g.
--------------------	---

RF-interference	according to CENELEC/CISPR requirements, Cat II VDE 871, class B.
-----------------	--

BIJLAGE 3: SPECIFICATIES VAN DE FRAME GRABBER

SPECIFICATIONS

Typical at +25°C and rated voltage unless otherwise specified

STANDARD MONOCHROME VIDEO INPUT

Input Signal

DT2861-60Hz and DT2862-60Hz, RS-170, RS-330, NTSC; ac-coupled, dc restoration

(or)

DT2861-50Hz and DT2862-50Hz, CCIR, PAL; ac-coupled, dc restoration

Interlaced; a jumper-selectable chrominance notch filter is available to eliminate color information from NTSC and PAL signals

A/D

8-bit at 10 MHz with dc restoration

Frame Grab Speed

1/30s

Sync Signal

Composite from external input; or internal with sync output (for inputs without composite sync)

Resolution

480 lines x 512 pixels (DT2861-60Hz and DT2862-60Hz)

512 lines x 512 pixels (DT2861-50Hz and DT2862-50Hz)

ARITHMETIC LOGIC UNIT (ALU) AND LOOK-UP TABLES (LUTs)

ALU Size

8-bit operands; 8-bit plus carry result

ALU Speed

100ns per pixel (one 512 x 512 x 8-bit image frame in 1/30s)

Function

Logic AND, OR, XOR; addition and subtraction; identity (passthrough) (see Table 1)

Input LUTs

Eight, 256 x 8-bit each

Result Input LUTs

Four, 512 x 8-bit each

SLOW-SCAN AND NON-STANDARD VIDEO AND CONTROL INPUTS

Scan Trigger Input

Falling edge initiates digitization of a complete frame; presents one LSTTL load

Pixel Clock Input

Falling edge initiates digitization of active pixel; presents one LSTTL load

Clock Enable Input

When low, indicates active pixel presence; presents one LSTTL load

Pixel Rate

0 to 12 million pixels per second

Video Input Signal

Jumper-selectable ac or dc coupling, dc restoration

Jumper-selectable 75Ω termination

Video Input Ranges

0.340 to 1.000V, jumper-selectable

0.000 to 0.660V, jumper-selectable

0.000 to 0.660 - 1.320V, resistor-selectable

Format

Non-interlaced

PROGRAMMABLE, HARDWARE WINDOW

Size

1 to 512 lines, increments of 1;

16 to 512 pixels/line, increments of 16;

Start and end at any legal increment

RGB OR MONOCHROME VIDEO OUTPUT

Output Signal

DT2861-60Hz and DT2862-60Hz, RS-170, dc-coupled

DT2861-50Hz and DT2862-50Hz, CCIR, dc-coupled

Interlaced

D/A

(3) 8-bit D/As, one each for RGB

16 million colors, RGB output

256 gray levels, monochrome output

Output LUTs

Eight, 256 x 24 bits each

Sync Signal Outputs

Composite, embedded in the Red, Green, and Blue outputs

Composite sync

Composite blanking

Vertical drive

Horizontal drive

Pixel Aspect Ratio

4:3

FRAME-STORE MEMORY

Frame-Store Memory

DT2861, sixteen (4 Mbytes total), 512 x 512 x 8-bit each (256 Kbytes each);

DT2862, four (1 Mbyte total), 512 x 512 x 8-bit each (256 Kbytes each);

memory-mapped

Access

Transparent from bus; read or write any time

INTERFACE CHARACTERISTICS**Compatible Bus**

IBM Personal Computer AT bus; Compaq 386,
Apollo DN3000, and Apollo DN4000 compatible

Interface Type

I/O for control registers;

Memory-mapped for frame-store memory buffers

Addressing

10-bit I/O, 24-bit memory

I/O Base Address

230 (hex) factory configuration; jumper-selectable by
user

Frame Store Memory Base Address

A00000 (hex) factory configuration; jumper-
selectable by user

Bus Loading

Board presents 1 ac bus load

Board presents 1 dc bus load

Interrupt

1 interrupt

Interrupt Sources

Vertical sync, not busy

Interrupt Level

3, 5, 10, or 15, jumper-selectable

Data Path

16-bit I/O, 8- or 16-bit memory

POWER REQUIREMENTS

+5V

± 10%, @2.5A typical

+12V

± 10%, @0.080A typical

-12V

± 10%, @0.080A typical

PHYSICAL/ENVIRONMENTAL**Board Size**

Standard IBM Personal Computer AT board

14"H x 5"W x .75"D

(35.6 x 12.7 x 1.9 cm)

Operating Temperature Range

0 to 50°C (32 to 122°F)

Storage Temperature Range

-25 to +70°C (-13 to +158°F)

Relative Humidity

0 to 95% (non-condensing)

CONNECTORS**Video Input/Output (J1)**

16-pin AMP connector (mating connector AMP
226733-5)

Slow-Scan Control (J2)

10-pin 3M-type connector (mating connector 3M
3473-7010)

External I/O Ports (J3, J4)

(2) 16-pin 3M-type connectors (mating connector 3M
3452-7016)

CABLES**J1**

8 coaxial lines for video I/O

(see Accessories, Ordering Guide)

J2

10 coaxial lines

(see Accessories, Ordering Guide)

J3, J4

(2) 26-conductor flat ribbon

(16 conductors are active)

BIJLAGE 4: SPECIFICATIES VAN DE FRAME PROCESSOR

SPECIFICATIONS

Typical at +25°C and rated voltage unless otherwise specified

GENERAL OPERATIONS

Processing Functions

Multiplication and Division
Normalization
Addition and Subtraction
Frame Average
Convolution
Histogram
Logic AND, OR, XOR
Zoom (x2, x4, x8)
Pan
Scroll

Additional Functions

FRAME-STORE MEMORY

On-Board Frame-Store Memory
Access
Pixel Size
Speed

512 X 512 X 16-bit (512 Kbytes)
1 pixel per word; read or write any time
16-bit
400ns per pixel

CONVERSION TABLE

Size
Function

6 X 256 X 16-bit, RAM
Multiplication and division; thresholding and contrast enhancement

ARITHMETIC LOGIC UNIT (ALU)

Size
Speed
Function

16-bit
400ns per pixel
Logic AND, OR, XOR
Addition and Subtraction (see Table 1)

INTERFACE CHARACTERISTICS

Compatible Bus
Interface Type
Addressing
I/O Base Address
Frame-Store Memory Base Address
Bus Loading

IBM Personal Computer AT bus
I/O for control registers; Memory-mapped for frame-store memory
10-bit I/O, 24-bit memory
240 (hex) factory configuration; jumper-selectable by user
A80000 (hex) factory configuration; jumper-selectable by user
Board presents 1 ac bus load
Board presents 1 dc bus load
1 interrupt
Source Done
3 thru 15, jumper-selectable
16-bit I/O, 8- or 16-bit memory

Interrupt
Interrupt
Interrupt Level
Data Path

POWER REQUIREMENTS

+5V

+/-10%, @2A typical

PHYSICAL/ENVIRONMENTAL

Board Size
Operating Temperature Range
Storage Temperature Range
Relative Humidity

Standard IBM Personal Computer AT board
14"H x 5"W x .75"D (35.6 x 12.7 x 1.9 cm)
0 to 50°C (32 to 122°F)
-25 to +70°C (-13 to +158°F)
0 to 95% (non-condensing)

CONNECTORS

External I/O Ports

(2) 16-pin 3M-type connectors

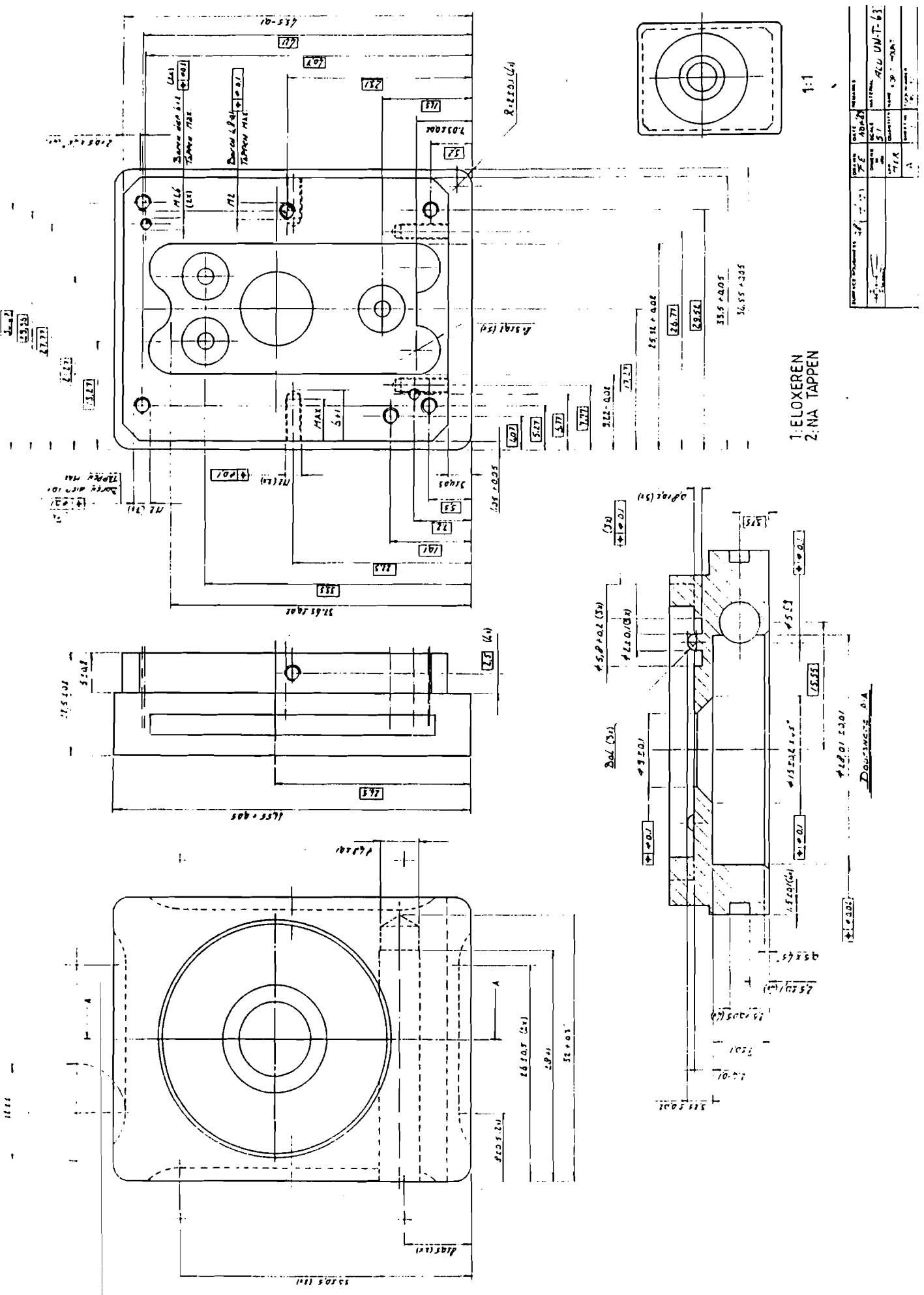
CABLES

External I/O Ports

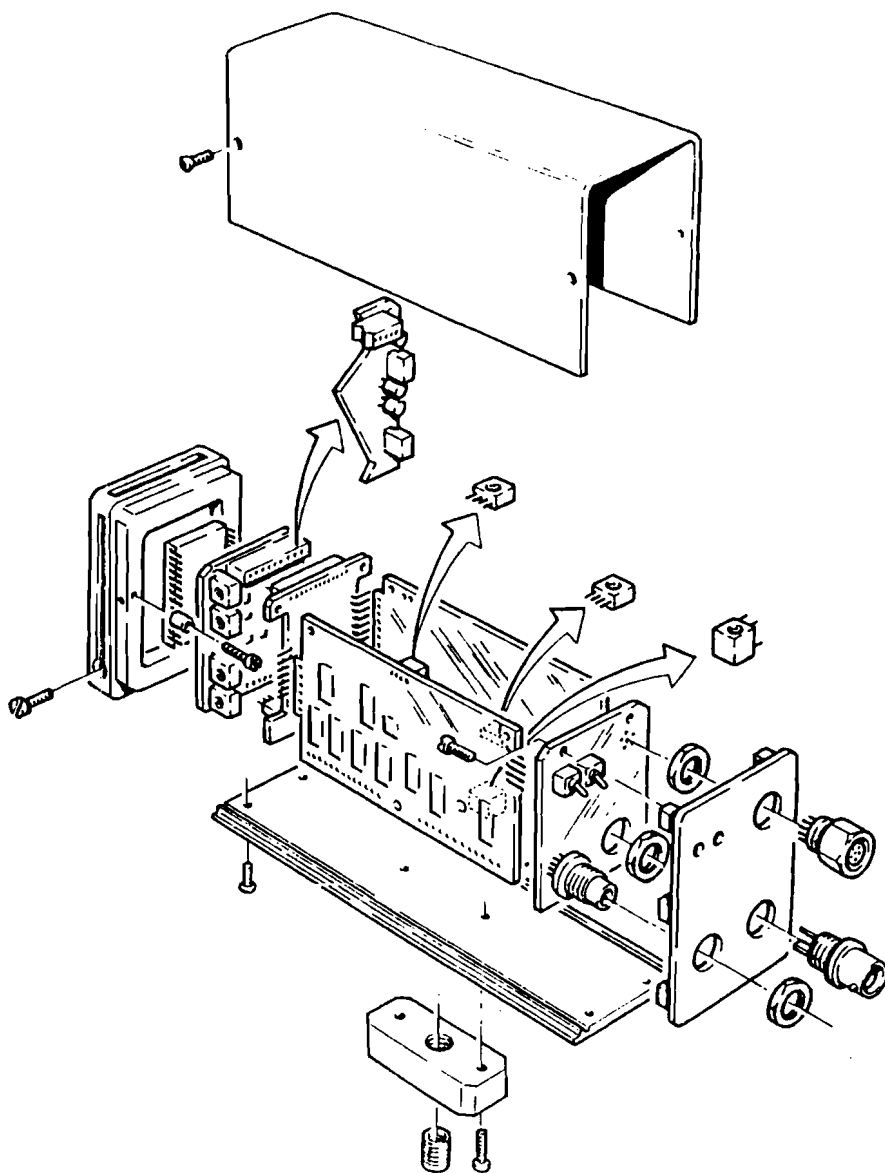
(2) 16-conductor ribbon cable

BIJLAGE 5: SPECIFICATIES VOOR DE INBOUW VAN DE SENSOR

De specificaties voor het inbouwen van de camera werden aan geleverd door de firma HCS VISION TECHNOLOGY, de producent van de camera. Volgens deze specificaties is een vervanging voor de kruis draadhouder van de UMM meetmachine vervaardigd waar de sensor in kan worden gemonteerd. De specificaties voor het inbouwen zijn aangeleverd in de vorm van een werktekening (figuur B5.1). Ook bijgeleverd is een overzichtstekening van een camera waar de sensor montage in zichtbaar is (figuur B5.2).



Figuur B5.1: Werktekening voor de montage van de sensor in een camera [HCS 89].



Figuur B5.2: Overzichts tekening van de montage van de sensor in een camera [HCS 89].

BILAGE 6: BEPALING VAN DE RANDPOSITIE NOODZAKELIJK VOOR EDGEL ALGORITME

In hoofdstuk 4 wordt de vergelijking afgeleid, welke het verloop van de rand beschrijft. de lijn wordt als volgt weergegeven:

$$2 S_x * x + 2 S_y * y = 16 I_t - S_i$$

Uit deze lijn kan zowel de positie als de richting van de rand worden bepaald. Het edgel algoritme is gebaseerd op een model van de rand. Dit model wordt bepaald om de centrale pixel. Voor het punt dat we op de geprojecteerde snijlijn moeten bepalen nemen we dat punt van deze lijn dat het dichtst bij de centrale pixel ligt. Dit is het snijpunt tussen bovenstaande lijn en de loodlijn vanuit de centrale pixel op deze lijn.

De coördinaten ten opzichte van de centrale pixel kunnen dan als volgt worden bepaald.

Veronderstel de vergelijking van een lijn:

$$y = A * x + B$$

Bovenstaande lijn in deze vorm geschreven geeft:

$$y = - \frac{S_x}{S_y} * x + \frac{16 I_t - S_i}{2 S_y}$$

De lijn loodrecht op deze lijn door de centrale pixel (0,0) heeft dan als vergelijking:

$$y = \frac{S_y}{S_x} * x$$

Uit de twee bovenstaande vergelijkingen kan voor x worden afgeleid:

$$x = \frac{S_x (16 I_t - S_i)}{2 (S_x^2 + S_y^2)}$$