

Verplaatsingsmetingen met behulp van een beeldverwerkingssysteem

Citation for published version (APA):

Gruyters, C. T. M., Peters, G. W. M., & Verduin, M. (1985). *Verplaatsingsmetingen met behulp van een beeldverwerkingssysteem*. Technische Hogeschool Eindhoven.

Document status and date:

Gepubliceerd: 01/01/1985

Document Version:

Uitgevers PDF, ook bekend als Version of Record

Please check the document version of this publication:

- A submitted manuscript is the version of the article upon submission and before peer-review. There can be important differences between the submitted version and the official published version of record. People interested in the research are advised to contact the author for the final version of the publication, or visit the DOI to the publisher's website.
- The final author version and the galley proof are versions of the publication after peer review.
- The final published version features the final layout of the paper including the volume, issue and page numbers.

[Link to publication](#)

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
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal.

If the publication is distributed under the terms of Article 25fa of the Dutch Copyright Act, indicated by the "Taverne" license above, please follow below link for the End User Agreement:

www.tue.nl/taverne

Take down policy

If you believe that this document breaches copyright please contact us at:

openaccess@tue.nl

providing details and we will investigate your claim.

Verplaatsingsmetingen met behulp van
een beeldverwerkingssysteem

Door: C.T.M. Gruyters

Juni 1985

Afstudeerperiode	: 06-03-85 t/m 12-06-85
Bedrijf	: TH-Eindhoven
Afdeling	: Werktuigbouwkunde
Vakgroep	: WFW
Begeleiders	: Ir. G.W.M. Peters Ing. M. Verduin
Begeleidend docent	: Ir. G.G. Noteboom
Gekommiteerde	: Ir. J.A.C.M. de Maat

Errata behorende bij verslag (WFW 85.035):
Verplaatsingsmetingen met behulp van een beeldverwerkingssysteem,
door C.T.M. Gruyters, juni 1985.

Bladzijde 6:

In figuur 3 is het signaal van de comperator-uitgang een halve centimeter naar rechts verschoven t.o.v. het video-sigitaal. De eerste flank in het uitgangssigitaal van de comperator moet precies onder het punt liggen waar het video-sigitaal het referentie-sigitaal snijdt.

Bladzijde 21:

In figuur 15 staat helemaal onderaan: Word $(NBIT/2)*(NLIN/2)$. Dit moet zijn: Word $256+(NBIT/2)*(NLIN/2)$ omdat het eerste blok (256 words lang) ook meegeteld moet worden.

Bladzijde 25:

In figuur 17 staat helemaal onderaan onder beide outputfiles:

Word $(NBIT/2)*(NLIN/2)$.

Dit moet zijn: Word $256+(NBIT*(NLIN/2))$. Er moet 256 bij opgeteld worden omdat het eerste blok ook meegeteld moet worden. Vermenigvuldigen met NBIT omdat alle NBIT x-coördinaten worden benut door het veranderde programma TVFOT.

Errata behorende bij verslag (WFW 85.035):
Verplaatsingsmetingen met behulp van een beeldverwerkingssysteem,
door C.T.M. Gruyters, juni 1985.

Toevoeging aan bijlage I:

PerScan.

De PerScan is een desk-top leesstation voor grafische voorstellingen en teksten en is specifiek ontwikkeld voor koppeling aan een IBM-PC (of compatible). Dit apparaat digitaliseert, met behulp van een optisch lineair array (2048 pixels breed) dat met een stappenmotor 3360 stappen wordt verdraaid, een foto of document van maximaal 21,5 bij 35,5 cm. De foto of het document wordt als pure zwart-wit informatie weggezet op diskette of hard disk. Het totale gebied afscannen gebeurt in ongeveer 40 seconden, maar omdat vaak slechts een klein gebied relevante informatie bevat kan door middel van een window het gebied afgebakend worden. Hierdoor kan de scantijd aanzienlijk worden gereduceerd.

De PerScan Graphic Editor en Scan Image File Handler maken het mogelijk om grafische afbeeldingen te verwerken. De afbeeldingen kunnen zo worden vergroot/verkleind, samengevoegd, aangepast en in elkaar worden geschoven alvorens te worden afgedrukt of op andere wijze worden uitgevoerd.

Errata behorende bij verslag (WFW 85.035):
Verplaatsingsmetingen met behulp van een beeldverwerkingssysteem,
door C.T.M. Gruyters, juni 1985.

Toevoeging bijlage II:

Bladzijde 3:

Prijs Datacopy Model 900: \$ 19.900,-- excl. BTW.

Prijs Datacopy Model 90 (camera zonder autofocus): \$ 14.900,-- excl. BTW.

Fabrikant :E.I.T.
Systeem :PerScan
Leverancier :Info 80
Kleurverdeling :zwart-wit (1 bit)
Resolutie :2048x3360
Processor :IBM PC
Beeldbew. snelh.:minder dan 40 sek. afhankelijk van grootte window
Interface :voor IBM PC
Software :beschikbaar
Beeldbewerking :-windowing
-zoom
-datareduktie
-etc.
Prijs :Fl 14.375,20 incl. BTW, excl. PC
Toepassingen :-character recognition
-analyse
-tekstverwerking
-metingen

Samenvatting.

In dit verslag wordt het onderzoek naar het gebruik van een beeldverwerkingssysteem t.b.v. verplaatsingsmetingen beschreven.

Om een idee te krijgen van de mogelijkheden van beeldverwerkingssystemen in het algemeen worden in hoofdstuk 2 de resultaten van een marktonderzoek gegeven.

Verder is een, op de TH Twente ontwikkeld, beeldverwerkingssysteem gebruikt om metingen mee verrichten. Hiervan wordt eerst in hoofdstuk 3 de hardware beschreven en in hoofdstuk 4 en 5 de software en de aanpassingen en uitbreidingen die hieraan noodzakelijk waren.

De uitvoering en resultaten van de metingen zijn in hoofdstuk 6 ondergebracht.

Tenslotte worden in hoofdstuk 7 een aantal conclusies getrokken uit dit onderzoek.

Summary.

In this report an investigation of the usage of an image processing system for displacement measurements is described.

To get some idea of the possibilities of image processing systems in general, the results of a market analysis are given in chapter 2.

An image processing system, developed at the University of technology of Twente, is used to do some measurements.

In chapter 3 the hardware of this system is described and in chapters 4 and 5 the software and the necessary adjustments and extensions of the software. The way the measurements are performed as well as the results are given in chapter 6.

Finally, the conclusions are made in chapter 7.

Inhoud.

<u>Hoofdstuk</u>	<u>Titel</u>	<u>Pagina</u>
1	Inleiding.	1
2	Het marktonderzoek.	2
3	De hardware van Telescan.	3
3.1	Inleiding.	3
3.2	De werking van Telescan.	3
3.3	De hoofdgroepen van de Hardware.	4
3.4	De videopreprocessor.	5
3.4.1	De video-versterker.	5
3.4.2	De comperator.	6
3.4.3	De synchronisatiescheider.	7
3.4.4	De frame generator.	7
3.4.5	De monitor control.	9
3.5	De kwalificatie-unit.	10
3.5.1	Horizontale klok.	10
3.5.2	Vertical frame.	11
3.5.3	Horizontal frame.	12
3.5.4	Frame generator.	12
3.5.5	Horizontal readout counter.	13
3.5.6	Vertical readout counter.	13
3.5.7	Vertical continue counter.	13
3.5.8	De dubbele puls generator.	14
3.5.9	De odd-even detektor.	14
3.6	Central controle unit.	15
3.6.1	Adres selector.	15
3.6.2	De keuze flipflops.	16
3.6.3	De fase flipflops.	16
3.6.4	De control readout counters (ROC's).	16
3.6.5	Interrupt.	16
3.7	De verticale scanmode.	17
3.8	De horizontale scanmode.	18

<u>Hoofdstuk</u>	<u>Titel</u>	<u>Pagina</u>
4	De bestaande software voor de beeldinname.	20
4.1	THSCAN.	20
4.2	TVFOT.	20
4.3	Veranderingen aan TVFOT.	22
4.4	TVFOT nu.	24
5	De nieuwe software voor de beeldbewerking.	27
5.1	Omzetten van 2 outputfiles naar 1 nieuwe outputfile.	28
5.2	Omzetten van de outputfile naar coördinatenparen.	29
5.3	De markerdetektie.	30
5.4	Het berekenen van het zwaartepunt van een marker.	31
5.5	Het berekenen van het zwaartepunt van een groep markers.	32
5.6	Het berekenen van de verplaatsing van twee groepen markers t.o.v. elkaar.	32
5.7	Het wegschrijven van belangrijke resultaten naar een printable file.	33
6	De metingen.	34
7	Conclusies.	38
8	Literatuurlijst.	40

Bijlagen:Aantal Pagina's

I	Korte omschrijving van de onderzochte beeldverwerkingssystemen.	6
II	Tabel van de belangrijkste eigenschappen van de onderzochte beeldverwerkingssystemen.	3
III	Het blokschema van de hardware van Telescan.	1
IV	Standaard zwart-wit videosignaal.	1
V	De nieuwe software.	
V.a	Het programma VOEGSAMEN voor het samenvoegen van 2 outputfiles tot 1 nieuwe outputfile.	5
V.b	Het programma BEELD voor de beeldbewerking.	11
VI	Listing van de outputfile van BEELD.	5
VII	De afleiding van de gebruikte formules voor de geschatte variantie.	2
VIII	Berekeningen van de geschatte waarden voor de standaard deviatie $\hat{\sigma}$.	4
IX	Berekeningen van de theoretische schatting voor de standaard deviatie σ_e .	1

Hoofdstuk 1 Inleiding.

Binnen de vakgroep WFW (Fundamentele Werktuigbouwkunde) is enkele jaren geleden een biomechanica project gestart genaamd het elleboog project. In dit project wordt onderzoek gedaan naar het mechanisch gedrag van het elleboog gewricht.

Het onderzoek richt zich op de bindweefselstructuren rondom het elleboog gewricht en is van experimentele aard. Hierbij moeten o.a. (in vitro) kontaktloos verplaatsingen worden gemeten.

Kontaktloos omdat:

a stuktuur en eigenschappen van het weefsel niet mogen worden beïnvloed.

b het aanbrengen van opnemers op het weefsel een moeizame zaak is, mede vanwege:

c de kleine afmetingen van de opnemers, terwijl ze toch snel moeten worden aangebracht (i.v.m. bederf van het weefsel).

Op grond van deze voorwaarden is besloten om na te gaan of meting m.b.v. een video systeem mogelijkheden biedt.

Om de mogelijkheden van beeldverwerkingssystemen te onderzoeken en de nauwkeurigheid te bepalen is eerst een marktonderzoek gedaan.

Hierbij is vooral gelet op de resolutie, beeldinnamesnelheid, beeldbewerkingsmogelijkheden en prijs.

Met een beeldverwerkingssyteem dat op de T.H. Twente ontwikkeld is (hard- en software) zijn metingen verricht. Hiertoe was het wel noodzakelijk om de software aan te passen. Het doel van de metingen is om na te gaan wat de nauwkeurigheid van dit systeem is.

Hoofdstuk 2 Het marktonderzoek.

Voor het marktonderzoek zijn een 17-tal beeldverwerkingssystemen onderzocht. Van deze commerciële systemen blijkt de gemiddelde resolutie 512x512 pixels te zijn. Hogere resolutie heeft een exponentieel hogere prijs tot gevolg. De meeste systemen zijn opgebouwd rond een normale video-camera.

Verder zijn er nog systemen die met een digitale camera werken, met een laser een foto afscannen, met op en neer bewegende vlakke lichtbundels werken of d.m.v. pulserende LED's posities in de ruimte vastleggen.

Van de meeste onderzochte systemen is een korte omschrijving opgenomen in bijlage I.

Verder is in bijlage II een tabel te vinden waarin de belangrijkste eigenschappen van alle systemen zijn weergegeven. Voor zover mogelijk zijn ook de prijzen en de importeurs/leveranciers vermeld.

Hoofdstuk 3 De hardware van Telescan.

3.1 Inleiding.

Bij de vakgroep Regeltechniek van de Technische Hogeschool Twente is een televisiescansysteem ontworpen (Telescan genaamd) waarmee informatie van tekeningen, foto's e.d. geschikt kan worden gemaakt voor verwerking door een digitale computer.

Door de Telescan aan te sluiten op een general purpose computer, zal moeten worden bekeken of dit systeem geschikt is voor de in hoofdstuk 1 genoemde verplaatsingsmetingen.

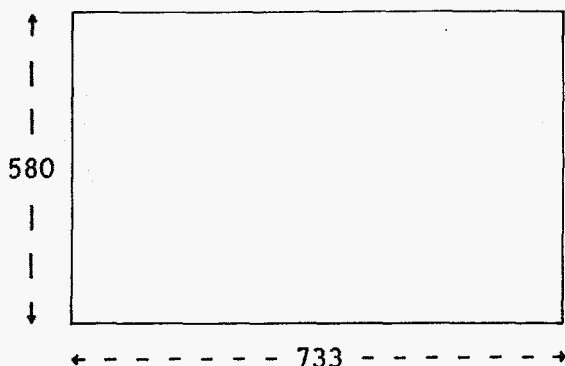
3.2 De werking van Telescan.

Door een instelbaar frame wordt het gedeelte van het beeld dat gedigitaliseerd moet worden, afgebakend.

Het aangeboden video-sigitaal dat binnen dit frame ligt, wordt m.b.v. een referentiespanning omgezet in een signaal dat uitsluitend zwart-wit informatie bevat.

Het aldus gevormde beeld kan, als het hele beeld wordt gedigitaliseerd, bestaan uit maximaal 625 beeldlijnen die elk onderverdeeld zijn in 832 posities. De maximale resolutie van het systeem bedraagt echter 580x733 pixels (pixel = picture element). Deze vermindering van de resolutie komt door het feit dat er enkele beeldlijnen gebruikt worden om er zeker van te zijn dat het scannen bij de camera en de receiver/monitor op dezelfde manier plaats vindt.

Verder bevat de lijntijd slechts 52 μ sek nuttige informatie (zie bijlage IV) terwijl de 832 posities over 59 μ sek zijn verspreid.



Figuur 1: De werkelijke resolutie van Telescan.

Naar gelang het frame kleiner wordt gekozen, wordt het aantal pixels binnen dit frame ook kleiner (want het aantal pixels blijft over het hele beeld gezien gelijk).

Als het digitale beeld binnen de framelijnen wordt afgescand, wordt van iedere pixel de x- en y-coördinaat naar de computer doorgegeven met de informatie of het betreffende pixel wit, dan wel zwart is.

In praktijk blijkt de computer niet snel genoeg om deze gegevens direct te verwerken. Daarom zullen er trucjes moeten worden toegepast om het beeld toch te kunnen verwerken.

Twee van deze trucjes zijn:

- de horizontale scanmode, waarbij datareductie plaatsvindt door alleen de zwart-wit of wit-zwart overgangen in het beeld door te geven .
- de verticale scanmode, waarbij achtereenvolgens de onder elkaar gelegen pixels worden afgescand, waardoor de computer gedurende één lijntijd (64 μ sek) de gegevens van een pixel kan verwerken.

3.3 De hoofdgroepen van de hardware.

Van het systeem zal allereerst globaal de hardware behandeld worden aan de hand van een blokschema (zie bijlage III).

De Telescan heeft als signaalinput het zwart-wit videosignaal.

Dit videosignaal wordt in de video-preprocessor dusdanig behandeld, dat het geschikt is voor digitale bewerking.

Het signaal gaat vervolgens naar de kwalificatie-unit, die ervoor zorgt dat de computer de juiste gegevens krijgt.

Als laatste onderdeel bevat de Telescan een central control unit.

Deze unit zorgt ervoor dat alle opdrachten van de computer juist worden geïnterpreteerd en dat de gegevensoverdracht naar de computer op het juiste tijdstip plaats vindt.

Achtereenvolgens zullen nu de drie hoofdgroepen worden besproken.

3.4 De videopreprocessor.

De videopreprocessor splitst het door de video-camera afgegeven signaal in:
-synchronisatiepulsen (lijn- en rasterpulsen).

-beeldinformatie.

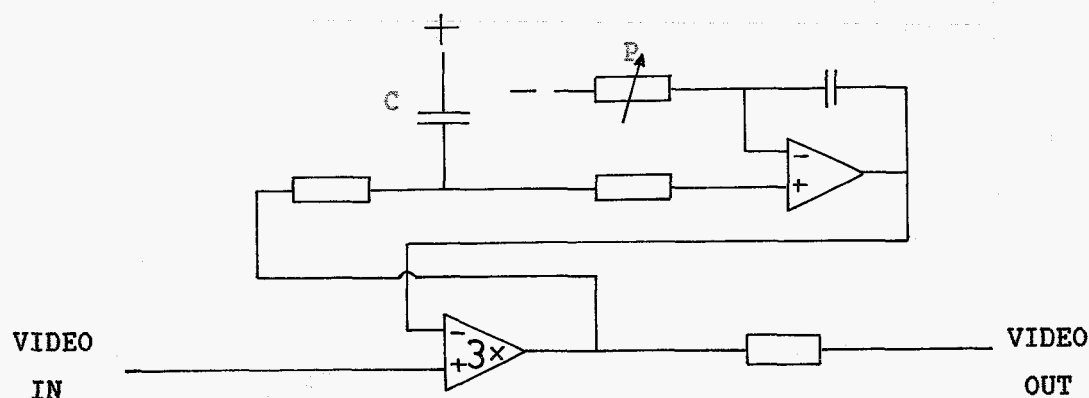
Bovendien wordt de beeldinformatie hier omgezet in pure zwart-wit informatie.

Tevens bevinden zich hier de schakelingen voor het maken van het frame en het sturen van een monitor.

3.4.1 De video-versterker.

Aangezien de videosignalen van diverse camera's vaak verschillende DC-niveau's kunnen hebben (variërend tussen ongeveer -2V en +2V) vindt eerst DC-aanpassing plaats d.m.v. een video-versterker. Deze versterker is uitgerust met een offset-regeling, waarmee het niveau van het binnenkomend signaal kan worden afgeregeld.

Deze offset-regeling is als terugkoppeling in de versterker opgenomen en werkt als volgt:



Figuur 2: Het schema van de videoversterker.

Condensator C laadt zich bij iedere sync.-puls op tot het meest negatieve punt. De spanning over de condensator komt op de + ingang van de integrator. Deze geeft een bepaalde uitgangsspanning die instelbaar is door potmeter P. Het uitgangssignaal van de integrator dient als correctie-signaal voor de video-versterker.

Verandert nu de gemiddelde spanning op C, dan wordt ook het correctie-sig-naal aangepast, want de integrator integreert net zolang tot zijn twee ingangsspanningen gelijk zijn.

Met potmeter P kan dus het DC-niveau van "video-uit" ingesteld worden. Het video-sig-naal wordt ook 3x versterkt, waardoor een betere grijsresolutie wordt bereikt.

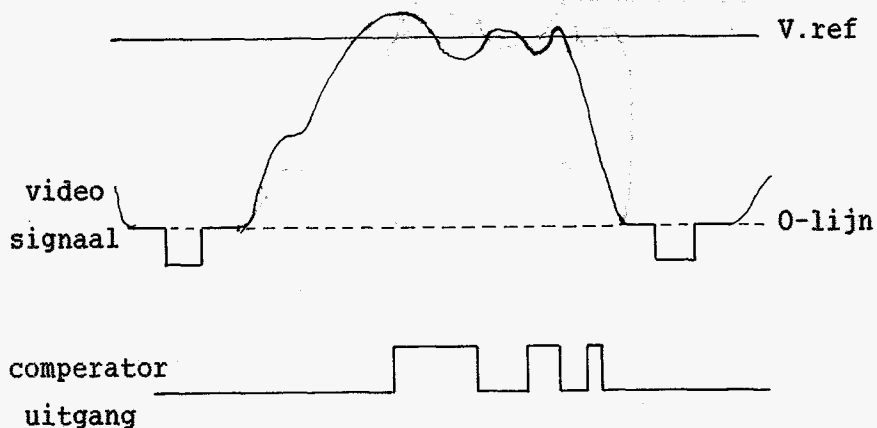
Deze laatste uitspraak zal in de volgende paragraaf (§ 3.4.2) worden toegelicht.

3.4.2 De comperator.

De comperator heeft een ingang voor het gecorrigeerde en versterkte video-sig-naal en een ingang voor een referentiespanning.

Als de waarde van de videospanning hoger is dan het referentie-sig-naal, is de uitgang van de comperator hoog (een logische "1").

Ligt de waarde onder de referentiespanning, dan is de uitgang laag (een logische "0"). Zie figuur 3.

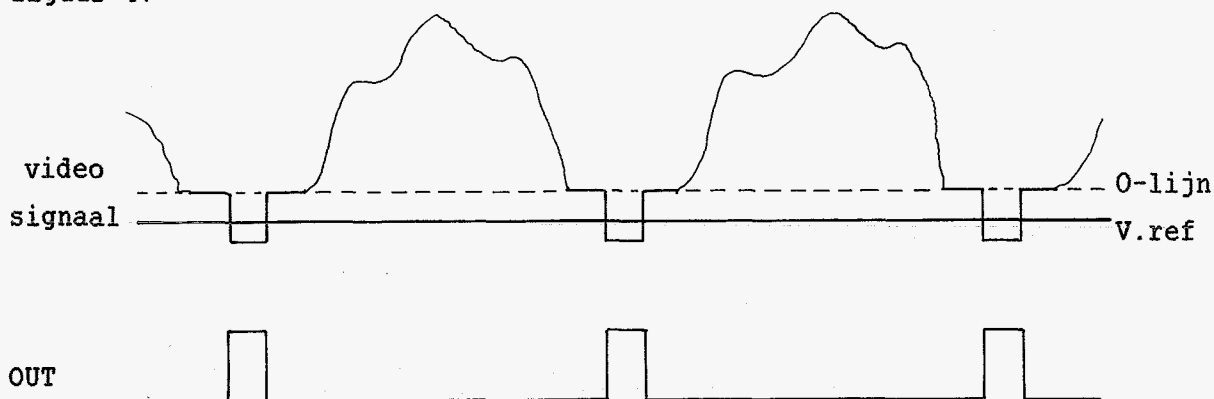


Figuur 3: De werking van de comperator.

Omdat het video-sig-naal versterkt is en er dus met een hogere spanning wordt gewerkt, heeft de referentiespanning een betere sig-naal/ruis verhouding en zal bovendien het instabiliteitsgebied van de comperator een kleinere rol gaan spelen. Dit leidt tot een betere grijsresolutie.

3.4.3 De synchronisatiescheider.

Om de beeldinformatie en synchronisatiepulsen van elkaar te scheiden, wordt het aangepaste en versterkte video-sigitaal aangeboden aan een comparator, die alleen gedurende de synchronisatiepulsen een logische "1" afgeeft. Zie figuur 4.



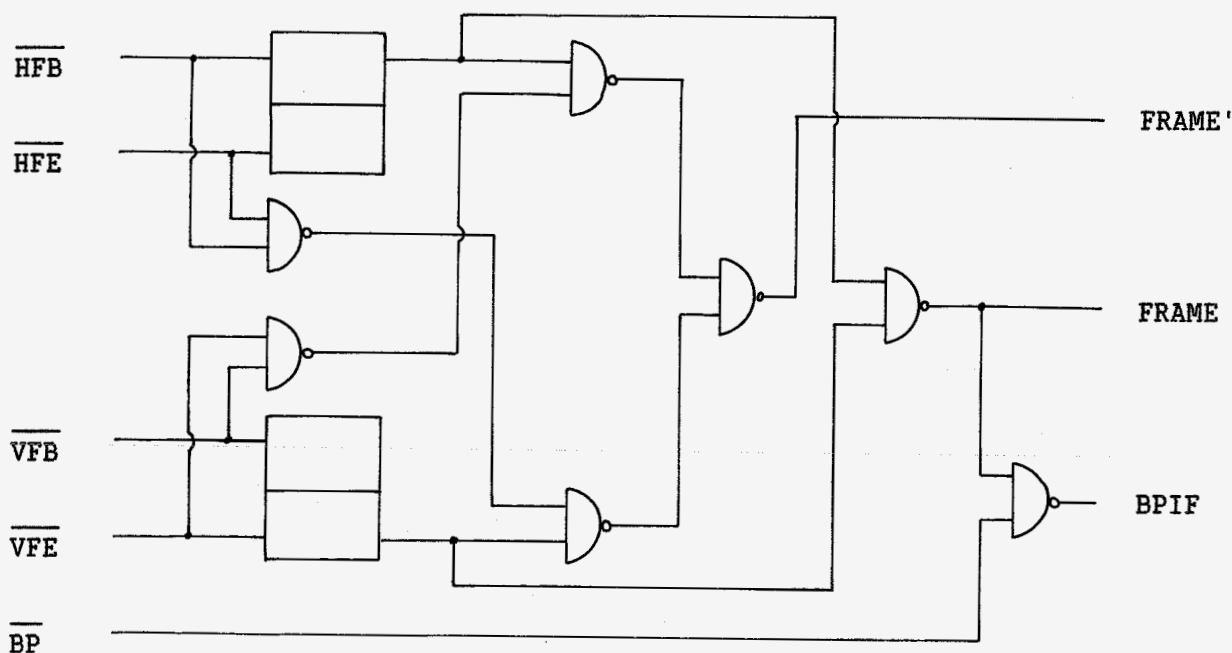
Figuur 4: De werking van de synchronisatiescheider.

Het signaal OUT bevat de synchronisatiepulsen. De lijnpulsen en rasterpulsen, die in OUT zitten, worden van elkaar gescheiden d.m.v. drie one-shots en twee flipflops.

Het in figuur 4 getekende signaal bevat alleen de lijnpulsen.

3.4.4 De frame generator.

De frame generator behandelt de aangeboden framepulsen van de kwalificatieunit (zie § 3.5.2 en § 3.5.7) dusdanig, dat de beeldpunten (pixels) een indicatie meekrijgen of ze zich al dan niet binnen het frame bevinden. Ook worden hier de FRAME' pulsen gemaakt. Deze pulsen zorgen ervoor, dat de framelijnen op de monitor komen.



Figuur 5: De framegenerator.

HFB = horizontal frame begin HFE = horizontal frame end.
VFB = vertical frame begin VFE = vertical frame end.
BP = beeldpuls. BPIF= beeldpuls in frame.

Er zijn twee flipflops, een voor de verticale lijnen en een voor de horizontale. Beide flipflops worden geset door de frame begin signalen en gereset door de frame end signalen.

Het aldus gemaakte BPIF signaal wordt gebruikt voor de analyse van het aangeboden beeld.

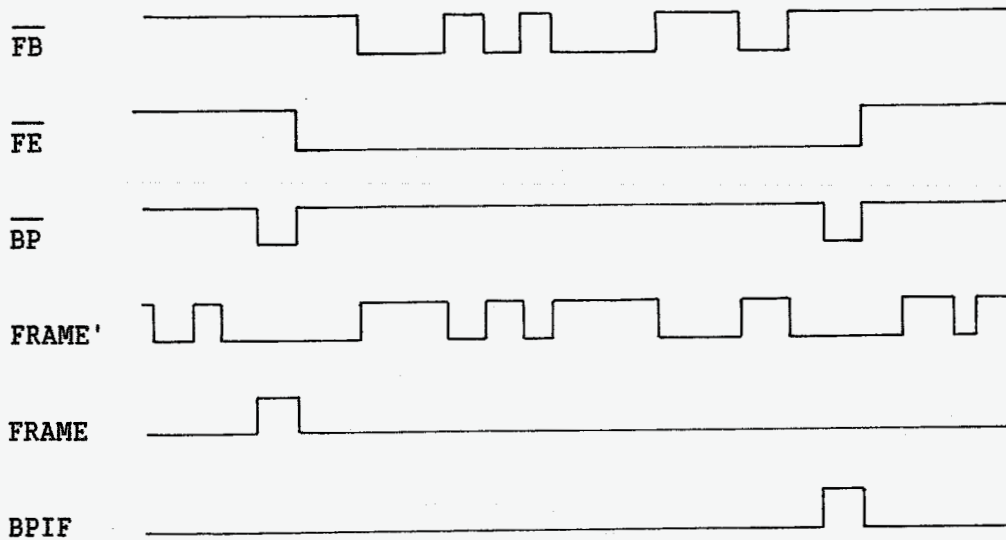
In figuur 6 zijn alle signalen in een timingdiagram weergegeven.

Een monostabiele multivibrator met een pulsbreedte van ongeveer 140 ns triggert op de neergaande flank van het VFB of VFE signaal.

Het uitgangssignaal van de monostabiele multivibrator is het FRAME' -signaal, dat de framelijnen op het analoge beeld tekent.

De framelijnen zijn 140 ns, dus $(0,00000014 / \frac{0,000059}{832} = 1,974 \text{ pixels})$ ongeveer 2 pixels breed.

Het FRAME-sigitaal wordt afgeleid van FRAME'. De functie van FRAME is dat dit als een venster over \overline{BP} (= het digitale video-sigitaal) wordt gelegd om BPIF eruit te halen (BPIF is het digitale video-sigitaal dat binnen het frame ligt).



Figuur 6: Het timingdiagram van de frame signalen.

3.4.5 De monitor control.

De monitor control bestaat uit enige emitter-volgers, waar de signalen die de monitor sturen op de juiste wijze worden gemengd. M.b.v. twee relais kan gekozen worden tussen het analoge beeld en het digitale. Als het oorspronkelijke analoge beeld wordt weergegeven, worden de FRAME' signalen meegestuurd. Deze "tekenen" het frame op het analoge beeld.

Als het digitale beeld wordt weergegeven, wordt alleen het beeld binnen de framelijnen zichtbaar; het gebied buiten de framelijnen is zwart. Het digitale beeld is opgebouwd uit BPIF signalen (dus uitsluitend zwart-wit). Als het scanproces gestart wordt, geeft een bewegende stip (een CES puls, zie § 3.5.2) aan, welk punt van het beeld geanalyseerd wordt.

De wijze waarop de monitor gestuurd wordt (digitaal of analoog), kan gekozen worden via een drukknop op het front van de kast, waarmee de twee relais omgeschakeld worden. Deze omschakeling kan ook plaats vinden d.m.v. de computer.

De monitor control is dusdanig uitgevoerd, dat de omschakeling geen hinderlijke invloed uitoefent op de beeldsynchronisatie.

3.5 De kwalificatie-unit.

Deze unit bestaat uit de volgende schakelingen:

- een horizontale klok met een horizontale continue counter, die iedere beeldlijn in 832 posities (adressen) verdeelt.
- een verticale continue counter, die iedere beeldlijn een adres geeft.
- een detektieschakeling voor een even of oneven raster.
- een dubbele pulsgenerator.
- twee "readout" counters, die een te analyseren pixel een x- en y-coördinaat meegeven.
- vier "frame" schakelingen, die de framepulsen voor de betreffende schakelingen op de videoprocessor leveren.

3.5.1 Horizontale klok.

De horizontale klok bestaat uit een a-stabiele multivibrator, waarvan de frekwentie d.m.v. een kristal op 56,406736 MHz wordt gehouden.

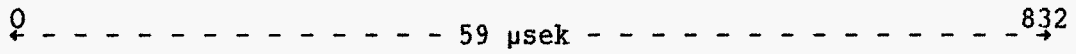
De aldus opgewekte frekwentie wordt door 4 gedeeld en door de LP (lijnpuls) telkens onderbroken. Dankzij deze schakeling liggen gelijke posities op iedere beeldlijn niet meer dan $\frac{1}{8}$ positie van elkaar verschoven.

De blokfrequentie wordt aan de horizontale continue counter aangeboden.

Deze counter telt in 59 μ sek tot 832 en begint dan weer opnieuw.

Als we nu gaan terugrekenen, blijken de getallen allemaal met een behoorlijke nauwkeurigheid te kloppen.

De grondfrequentie waarmee gewerkt wordt bedraagt 56,406736 MHz. Deze frekwentie wordt door 4 gedeeld en wordt zo op 14,101684 MHz teruggebracht. Dus als met deze frekwentie een teller wordt aangestuurd, telt deze in 59 μ sek (lijntijd min terugslagtijd) tot $14101684 \cdot 0,000059 = 831,999356 = 832$.



Figuur 7: De functie van de horizontale klok; het in 832 posities verdelen van een beeldlijn.

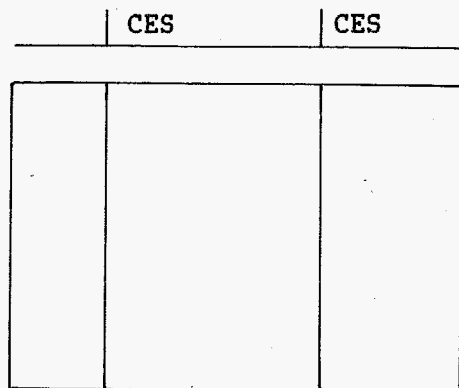
Om de "skew" tot een minimum te beperken wordt hier snelle Scottky logica toegepast.

3.5.2 Vertical frame.

De verticale framelijnen worden gemaakt door twee identieke schakelingen, n.l. vertical frame begin (VFB) en vertical frame end (VFE) schakelingen. Een zo'n schakeling bestaat uit een geheugenschakeling en een serie digitale comperators.

Vanuit de computer wordt in het geheugen een bepaalde positie gezet. Dit getal staat op de ingang van de comperator. Op de andere ingang is de horizontale continue klok aangesloten.

Als beide getallen aan elkaar gelijk zijn, wordt een counters equal signal (CES) puls gegenereerd, die het begin of eind van het frame aangeeft.

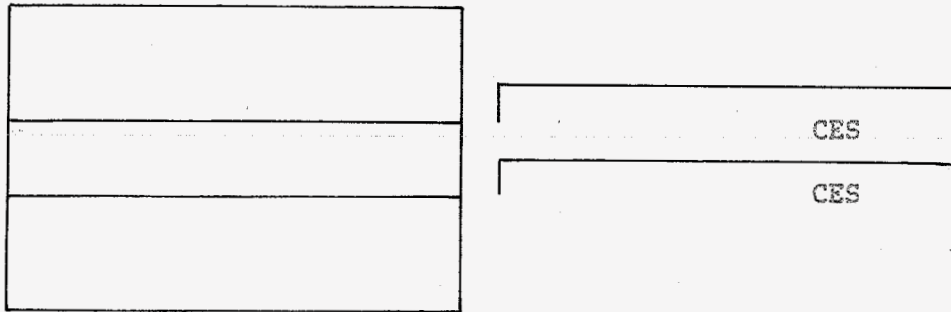


Figuur 8: De Counter Equal Signal pulsen voor de verticale framelijnen.

3.5.3 Horizontal frame.

De horizontal frame schakelingen zijn identiek aan die voor het vertical frame en werken op dezelfde manier. Ze worden alleen door de verticale continue klok gestuurd.

De CES-puls is hier een hele beeldlijn breed, omdat van de hele beeldlijn een framelijns moet worden gemaakt.

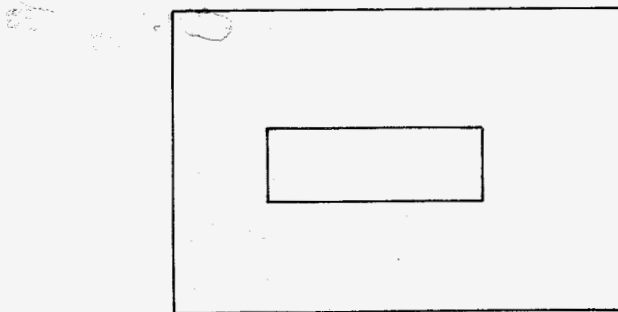


Figuur 9: De Counter Equal Signal pulsen voor de horizontale framelijnsen.

3.5.4 Frame generator.

De frame generator zorgt ervoor dat de lijnen die door de vertical frame en horizontal frame schakelingen zijn gegenereerd, worden samengevoegd en dat hiervan een rechthoek wordt gemaakt.

Deze schakeling discrimineert dus als het ware die gedeelten van de framelijnsen, die buiten de rechthoek vallen.



Figuur 10: Het uiteindelijke frame (kader).

3.5.5 Horizontal readout counter.

De horizontal readout counter geeft, evenals de frame schakelingen, een (CES) puls af als de getalinformaties op de ingang van de schakeling gelijk zijn.

De werking is als volgt:

Op een ingang van de schakeling wordt via de computer een getal gezet dat een positie op een beeldlijn voorstelt.

Op de andere ingang staat de horizontal continue counter (zie § 2.5.1), die de positie waar de scanner zich op dat moment bevindt, steeds doorgeeft.

Als de scanner op het punt is aangekomen dat door de computer is aangegeven wordt de zwart-wit informatie van dat punt (pixel) overgenomen.

Verder wordt er dan via een CES puls aan de computer doorgegeven dat er data overgenomen kunnen worden. De CES puls van de horizontal readout counter wordt gecombineerd met de CES puls van de vertical readout counter (zie § 3.5.6), zodat bij de goede horizontale (x) en verticale (y) coördinaat de zwart-wit informatie wordt overgenomen.

Door de gemaakte keuze van de logica zijn deze data echter geïnverteerd, dus de getalinformatie 0000111100110101 staat als 1111000011001010 beschikbaar om door de computer te worden overgenomen.

3.5.6 Vertical readout counter.

Deze counter is identiek aan de horizontal readout counter. De vertical readout counter wordt echter door de vertical continue counter gestuurd.

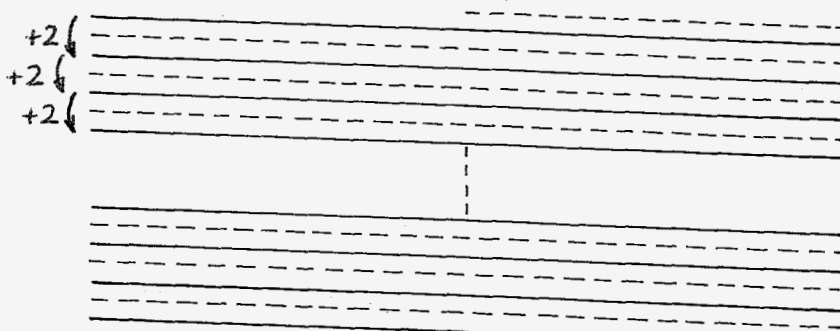
3.5.7 Vertical continue counter.

De vertical continue counter wordt gestuurd door de dubbele puls generator (zie § 3.5.8) en door de rasterpuls telkens gereset.

De counter moet telkens twee stappen opgehoogd worden omdat een normaal TV-beeld geïnterliëerd is.

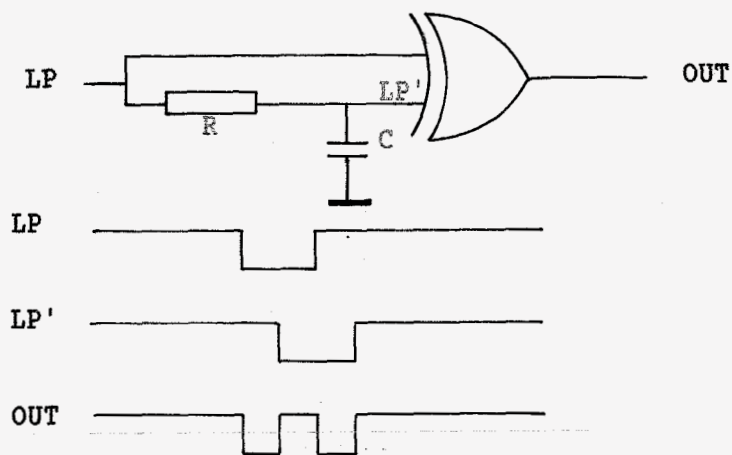
Ook moet de counter onderscheid maken tussen een even of oneven raster en resp. op 0 of 1 beginnen te tellen. Zie figuur 11.

Hiervoor zorgt de odd-even detector (zie § 3.5.9).



Figuur 11: De werking van de vertical continue counter.

3.5.8 De dubbele puls generator.



Figuur 12: Het schema van de dubbele puls generator.

Deze schakeling bestaat uit een exclusiv-OR die, dankzij een ingebouwde RC-vertraging, van iedere lijnpuls twee telpulsen maakt. Zie figuur 12.

Met OUT wordt dan de vertical continue counter aangestuurd, zodat deze na elke lijn telkens met twee stappen worden opgehoogd.

3.5.9 De odd-even detektor.

Bij een oneven raster komt, na de rasterpuls, de 1^e lijnpuls na 32 μ sek en bij een even raster na 64 μ sek (zie figuur 11). De detektor bevat een one-shot met een vertragingstijd van 51 μ sek en een flipflop.

Na iedere rasterpuls wordt de flipflop geset. Komt de eerste lijnpuls nu binnen de one-shot tijd (dus bij een oneven raster), dan wordt de flipflop gereset, anders niet. Aan de stand van de flipflop kan dan worden afgeleid of het een even ($Q=1$) of een oneven ($Q=0$) raster is.

3.6 Central control unit.

Deze unit zorgt voor alle sturfuncties, en bestaat uit de volgende schakelingen:

- adres selector, die gestuurd wordt vanuit de computer.
- drie flipflops, die door de adres selector worden gestuurd en bepalen of er horizontaal of verticaal wordt gescand, of er op een zwart-wit overgang of wit-zwart overgang wordt geselecteerd en of de BPIF wordt uitgevoerd.
- twee flipflops, die aangeven in welke fase het scanproces zich bevindt.
- een schakeling die de readout counters bestuurt.
- een interrupt schakeling, die via request B aan de computer meldt, dat er data gereed staan.
- een master clear schakeling, die bij het inschakelen van het apparaat alle in aanmerking komende flipflops en tellers in een gedefinieerde stand zet. Deze schakeling kan ook vanuit de computer geactiveerd worden.

3.6.1 Adres selector.

De stuurcommando's die door de computer worden gegeven op de bits 12 t/m 15 van de 16-bits input bus, worden door de adres selector gedecodeerd en naar de diverse schakelingen gevoerd.

Als de 4 databits zijn ingesteld, geeft de computer een DATA-READY signaal af.

Dit signaal triggert een one-shot die ervoor zorgt, dat de uitgeselecteerde commandolijn gedurende een bepaalde tijd actief ("0") wordt.

Als dit signaal wordt gebruikt om data in een van de frameschakelingen of readout counters te zetten duurt de one-shot 2 μ sek, anders duurt de one-shot 10 μ sek (zie bijlage III: adres selektor). Gedurende deze tijd mogen geen nieuwe data op de adres selector worden gezet. Daarom is een INHIBIT-NEW-DATA-lijn aangesloten op de request A ingang van de computer.

3.6.2 De keuze flipflops.

Met het mode-selector signaal wordt een flipflop omgezet, die bepaalt of er horizontaal dan wel verticaal wordt gescand. De beginstand komt altijd overeen met de horizontale scanmode.

Bij de black-white selector komt de beginstand van de flipflop altijd overeen met een zwart-wit overgang.

Met het strobe BPIF signaal wordt een flipflop uitgelezen waarin de BPIF puls met een CES signaal geklokt is.

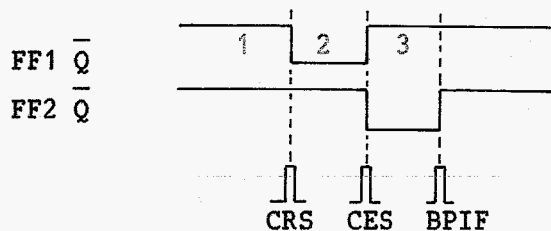
3.6.3 De fase flipflops.

Deze twee flipflops kennen drie toestanden waarin ze zich kunnen bevinden,

nl: -de Counter Ready Signal (CRS) toestand.

-de Counter Equal Signal (CES) toestand.

-de BeeldPuls In Frame (BPIF) toestand.



Figuur 13: De standen van de fase flipflops.

Afhankelijk van de stand van de flipflops gaat de central control unit reageren op een CRS-puls, een CES-puls of een BPIF.

3.6.4 De control readout counters (ROC's).

Deze schakeling zorgt ervoor, dat de readout counters klokpulsen krijgen aangeboden als de scanner in de horizontale scanmode opereert.

3.6.5 Interrupt.

Dit is een one-shot die via een puls van 5 μ sek de aandacht van de computer vraagt voor het feit dat er een BPIF, een CES-puls of een einde raster is geweest.

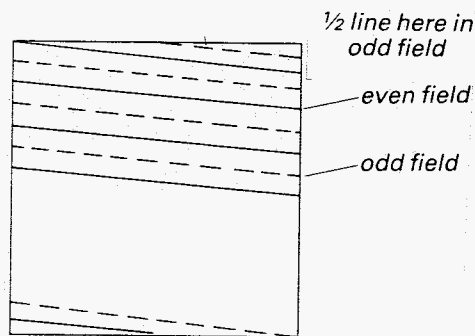
3.7 De verticale scanmode.

Bij de verticale scanmode wordt het beeld vrij langzaam ingelezen. Het duurt n.l. maximaal (bij het inlezen van het totale beeld) $832 \text{ beelden} = 832 \times \frac{1}{25} \text{ sek} = 33,28 \text{ sek}$ voordat de zwart-wit informatie van ieder pixel door de computer is verwerkt. Bij een kleiner frame duurt het korter.

De verticale scanmode werkt als volgt:

De horizontal continue counter loopt met de opbouw van het beeld mee en verdeelt een beeldlijn in 832 posities.

De vertical continue counter "nummert" de beeldlijnen en moet vanwege de interliniëring steeds na iedere lijnpuls met twee opgehoogd worden (zie figuur 14).



Figuur 14: De interliniëring van het TV-beeld.

Via de computer worden er getalgegevens (coördinaten) in de readout counters gezet. De coördinaten geven het eerste punt (pixel) binnen de framelijnen aan, waarvan de zwart-wit informatie moet worden opgevraagd.

Op de readout counters zijn ook de continue counters aangesloten die aangeven waar de beeldscanner zich op dat moment bevindt. Zijn de getalgegevens gelijk, d.w.z. is de beeldscanner op het punt aangekomen dat door de computer wordt aangegeven, dan wordt de zwart-wit informatie van dat punt binnengehaald.

Via een interrupt wordt de computer er op attent gemaakt dat de data gereed staat om overgenomen te worden (16 bits parallel).

Als de computer de data heeft overgenomen wordt de vertical readout counter met twee opgehoogd, zodat een lijntijd ($64 \mu\text{sek}$) later de zwart-wit informatie van het volgende pixel kan worden overgenomen.

Deze cyclus herhaalt zich totdat de onderste framelijns wordt bereikt. Hierna wordt op hetzelfde horizontale niveau hetzelfde gedaan voor het andere, tussenliggende, halve beeld, omdat het beeld geïnterliniëerd is. Als de onderste verticale framelijns weer wordt bereikt zal vanuit de computer de getalinformatie op de horizontale readout counter met 1 worden opgehoogd. Nu kan de scancyclus weer worden gestart zodat, totdat de rechter framelijns wordt bereikt, het hele gebied binnen de framelijns, kolom voor kolom wordt afgescand.

3.8 De horizontale scanmode.

Bij de horizontale scanmode wordt een enorme data-redukatie gepleegd, door alleen naar zwart-wit of wit-zwart overgangen in het beeld te kijken. In tegenstelling tot de verticale scanmode volgt deze scanmode de opbouw van het beeld op de voet en geeft, voor zover de computer dat bij kan houden, alle zwart-wit of wit-zwart overgangen binnen de framelijns door. Het aftasten van één beeld duurt dan ook maximaal (bij het totale beeld) $\frac{1}{25}$ sek (de beeldtijd).

De werking is als volgt:

Met de black-white selector (zie blokschema bijlage III) wordt ingesteld welke overgang (zwart-wit of wit-zwart) gedetekteerd moet worden.

Als de scanner zich binnen de framelijns bevindt, wordt het BPIF-sigitaal gegenereerd. Dit pure zwart-wit sigitaal wordt aan de black-white selector toegevoerd. Als nu het BPIF-sigitaal de juiste overgang (op- of neergaande flank) vertoont, wordt er door de black-white selector een puls gegenereerd.

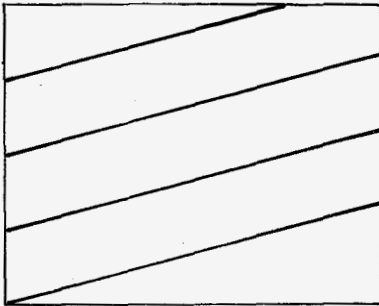
Met deze puls wordt de tweede fase flipflop (FF2) bestuurd, die dan m.b.v. de interrupt schakeling voor een interrupt op de request B lijn zorgt. Ook worden de control readout counters door FF2 aangestuurd. Deze zorgen ervoor dat beide readout counters de x- en y-coördinaat van de overgang overnemen van de continue counters.

De computer zal op de interrupt reageren door een commando op de adres selector te zetten en tevens het DATA-READY-sigitaal afgeven.

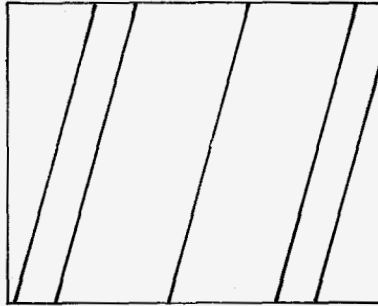
Door de INHIBIT-NEW-DATA op de request A lijn wordt het verboden om nieuwe data op de adres-selector te zetten.

Nadat de data (de x- en y-coördinaat van de overgang) is overgenomen, zal de computer weer wachten op een nieuwe interrupt zodat binnen één lijn meerdere overgangen kunnen worden gedetekteerd.

Door afwisselend (om het halve of hele beeld) naar de zwart-wit en wit-zwart overgangen te kijken kan er vrij nauwkeurig en snel een beeld worden gereconstrueerd. Voorwaarde is wel dat er niet te veel -of liever- niet te kort achter elkaar dezelfde overgangen in een beeldlijn mogen zitten, want dan houdt de computer de datastroom niet meer bij (zie figuur 14).



overgangen wel detekterbaar



overgangen niet allemaal detekterbaar

Figuur 14: Het wel of niet detekterbaar zijn van de zwart-wit of wit-zwart overgangen bij de horizontale scanmode.

Hoofdstuk 4 De bestaande software voor de beeldinname.

De bestaande software is geschreven in MACRO-assembler en geïmplementeerd op een DEC PDP11/34. Deze software, ongeveer 300 kbyte, bestaat uit een aantal complete programma's voor de besturing van de Telescan met de daarbij benodigde routines.

Twee programma's, t.w. THSCAN en TVFOT, leken voor de beoogde metingen geschikt om als besturingsprogramma voor de Telescan te dienen.

Naast het besturingsprogramma zal dan nog een verwerkingsprogramma geschreven moeten worden, dat uit de gegevens van het ingelezen beeld de van belang zijnde pixeldata destilleert, omzet en daarna zwaartepunt- en verplaatsingsberekeningen uitvoert.

4.1 THSCAN.

Het besturingsprogramma THSCAN is gebaseerd op de horizontale scanmethode (zie horizontale scanmode § 3.8).

THSCAN blijkt niet bruikbaar te zijn omdat de PDP11/34 niet snel genoeg is om meerdere zwart-wit of wit-zwart overgangen per beeldlijn te detekteren. Anders gezegd; de PDP11/34 heeft ongeveer één lijntijd (64 μ s) nodig om het handshake-protocol voor de data-overname af te handelen.

Maar aangezien er sprake is van statische metingen is het voordeel van de horizontale scanmethode t.o.v. de verticale scanmethode (de veel snellere beeldinname) niet van groot belang.

Hierdoor ligt het gebruik van de tragere, maar nauwkeurigere verticale scanmethode voor de hand.

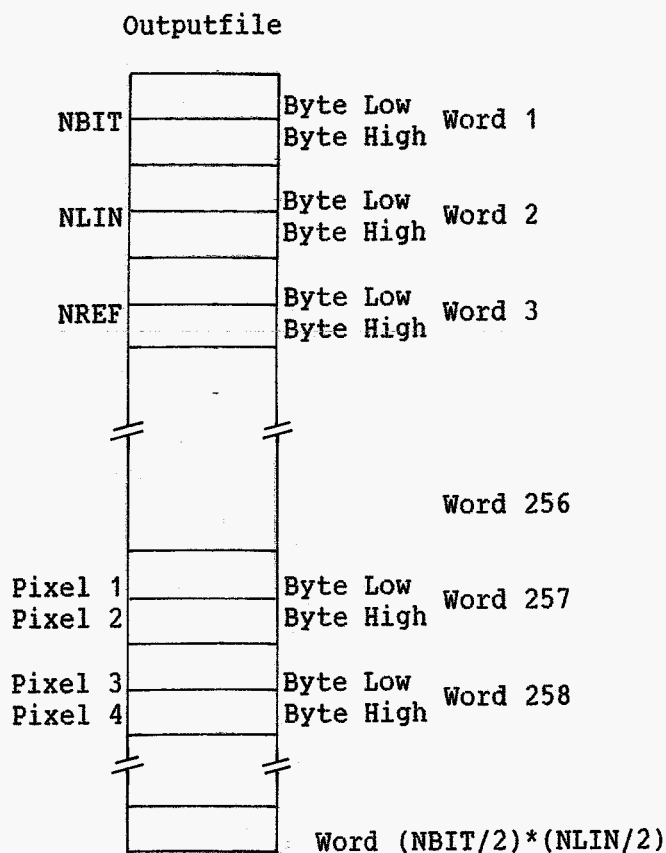
4.2 TVFOT.

Het besturingsprogramma TVFOT is gebaseerd op de verticale scanmethode (zie verticale scanmode § 3.7).

TVFOT is een demonstratieprogramma dat werd gebruikt om digitale foto's mee te maken. Het blijkt echter ook geschikt, na enkele aanpassingen en wijzigingen, om er statische metingen mee te gaan verrichten.

De opzet is om de outputfile van TVFOT zo te wijzigen dat hier alle van belang zijnde data in komt te staan zodat zonder problemen zwaartepunt- en verplaatsingsberekeningen kunnen worden uitgevoerd. De outputfile van TVFOT is een binaire file die bestaat uit blokken van 256 words (=512 bytes).

De eerste 3 words van de file worden gebruikt om het aantal pixels in horizontale richting per beeldlijn (NBIT), het aantal afgescande beeldlijnen (NLIN) en het aantal ingestelde referentieniveau's (NREF) in op te bergen. Deze gegevens zijn belangrijk voor het lezen van de file, omdat hieruit berekend kan worden hoeveel bytes er gelezen moeten worden en wat de inhoud van de bytes is. B.v. als NBIT=150 en NLIN=125, dan volgt hieruit dat de outputfile $150 \times 125 = 18750$ bytes beeldinformatie (=18750 pixels) bevat. Als NREF=2 dan zullen de bytes 00000000, 00000001 of 00000010 bevatten (bij n referentieniveau's zijn n+1 grijswaarden mogelijk). De vorm van de binaire outputfile van TVFOT is in onderstaand figuur geschetst.



Figuur 15: De oorspronkelijke binaire outputfile van TVFOT.

Er zijn enkele wijzigingen in het programma aangebracht voordat het mogelijk was er metingen mee te kunnen verrichten. Enkele vervelende eigenschappen van TVFOT zijn:

1. Er wordt slechts de digitale beeldinformatie van een kwart van het beeld binnen het kader in de outputfile gezet.
2. De positie van het kader wordt niet in de outputfile gezet.
3. Er kunnen meerdere grijswaarden ingesteld worden.
4. De inname van één beeld duurt vrij lang (enkele seconden, afhankelijk van de grootte van het kader).

In de volgende paragraaf zullen deze eigenschappen nader worden omschreven en de eventuele oplossingen worden toegelicht.

4.3 Veranderingen aan TVFOT.

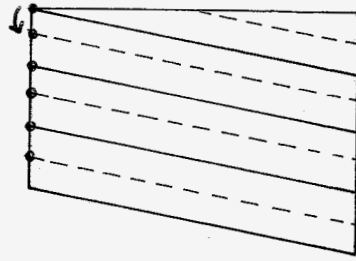
1. De opzet van TVFOT was, zoals eerder vermeld, het maken van digitale foto's. Om het digitaal zijn van de foto te accentueren, liet men een gedeelte van de beeldinformatie weg door alleen de even of oneven pixels van een beeldlijn af te scannen. Hetzelfde gebeurt ook in verticale richting want alleen de even of oneven beeldlijnen worden afgescand. Hierdoor wordt de beeldinformatie tot een kwart gereduceerd. Voor precisie metingen is dit een slechte zaak want dan is er juist zo veel mogelijk pixeldata gewenst.

Het eerste euvel (alleen even of oneven pixels) zit in de subroutine SCANF en kan simpel verholpen worden door 2 instructies te wijzigen. De tweede beeldinformatie verminderende eigenschap is moeilijker te verhelpen.

Er zijn 3 mogelijkheden om ook de beeldinformatie van het andere halve beeld in de outputfile te krijgen:

- a. De beeldlijnteller niet steeds met 2 maar met 1 ophogen.

Deze oplossing kan zonder meer worden vergeten omdat de beeldinnametijd hierbij gigantisch uit de hand loopt. Voor de inname van één pixel wordt dan $\frac{1}{50}$ seconde gebruikt omdat steeds de volgende pixel in het volgende halve beeld ligt (zie figuur 16).



Figuur 16: Het volgende pixel ligt in het volgende halve beeld.

Voor een kader van normale grootte (NBIT=150 en NLIN=125) betekent dit een beeldinnametijd van $125 \cdot 150 \cdot 0.02 = 6$ minuten en 15 seconden.

- b. Na de eerste verticale scan de beeldlijnteller terugzetten op de beginstand+1 (bij dezelfde stand van de horizontale teller).

Dit is wellicht de meest voor de hand liggende manier, maar nu kom je weer met het probleem te zitten dat er om de beurt NLIN pixels van de even beeldlijnen en dan weer NLIN pixels van de oneven beeldlijnen in de outputfile komen te staan. Vooral wanneer NLIN oneven is wordt het uitlezen van de file een vrij moeilijke zaak, omdat in PASCAL de file per woord (als integers) wordt gelezen terwijl de pixels byte voor byte worden weggezet.

- c. Na de inname van een beeld het kader 1 beeldlijn naar onder verschuiven en dan weer een beeld innemen.

Dit kan natuurlijk alleen maar bij statische metingen. Later kunnen dan de twee files worden samengevoegd tot een grote file met de pixels van de even en oneven beeldlijnen netjes op de juiste plaats: na een pixel van een even beeldlijn een pixel van de volgende oneven beeldlijn etc.

De outputfile komt er dan hetzelfde uit te zien als in het geval van oplossing a met als verschil de veel kortere beeldinnametijd.

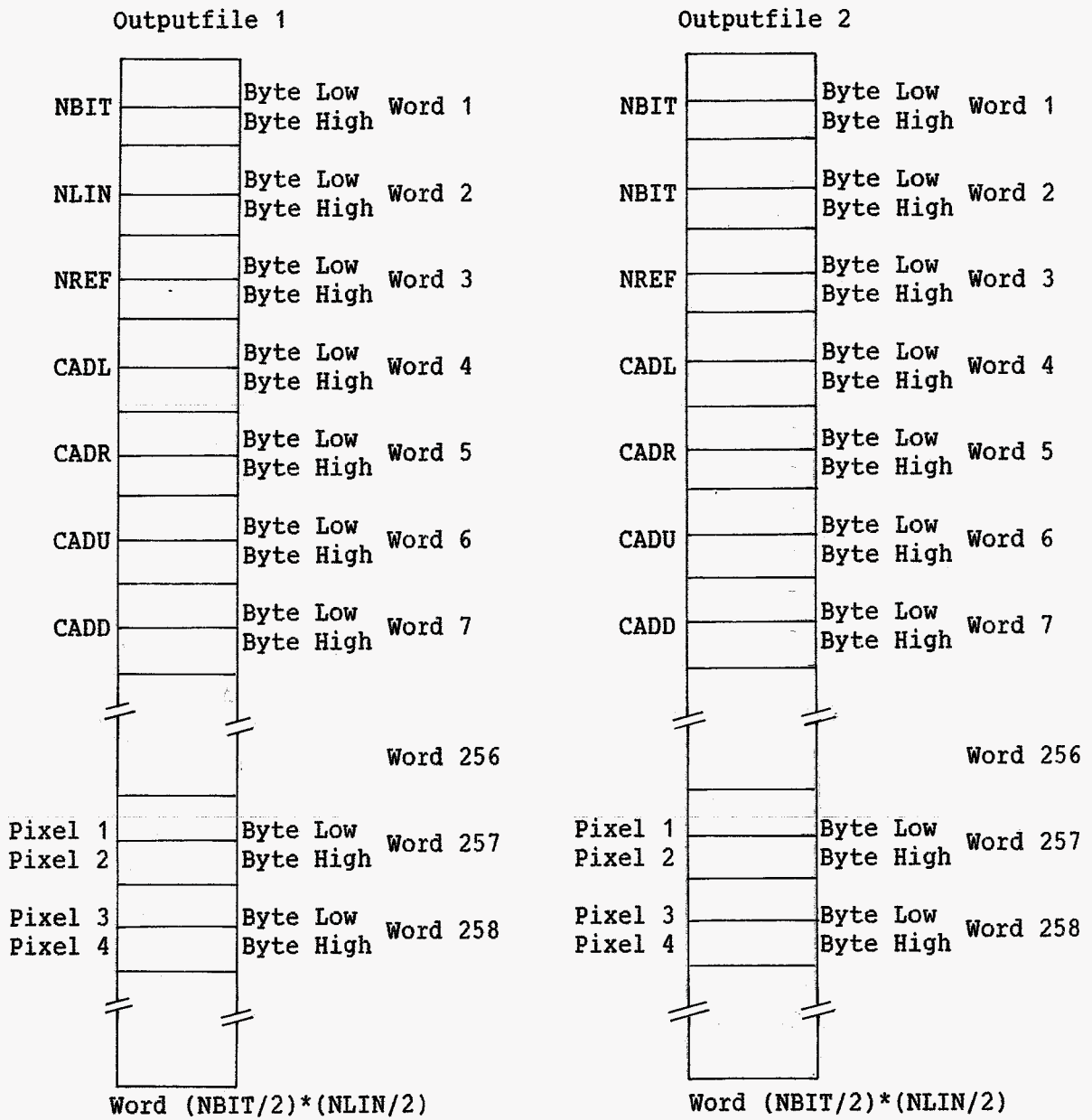
Oplossing c is wat beeldinnametijd gezien in het nadeel t.o.v. oplossing b, maar het probleem dat de file per woord wordt ingelezen is hier niet van toepassing want er zijn net zoveel pixels van even als van oneven beeldlijnen zodat er per verticale scan in totaal een even aantal pixels wordt weggezet.

Gekozen is voor de laatste oplossing vanwege de snelheid en omdat het vrij gemakkelijk te realiseren is om de twee files samen te voegen tot een file.

2. De positie van het kader wordt niet in de outputfile gezet zodat de exacte coördinaten van de pixels niet te achterhalen zijn. Dit is voor verplaatsingsmetingen natuurlijk van primair belang. Door een wijziging in het hoofdprogramma worden de posities van de 4 kaderlijnen op het 4^e t/m 7^e word van de outputfile gezet. Deze staan nu als CADL, CADR, CADU en CADD na NREF in het eerste blok (CADL is de x-positie van de linker kaderlijn, CADR is de x-positie van de rechter kaderlijn, CADU is de y-positie van de bovenste kaderlijn en CADD is de y-positie van de onderste kaderlijn).
3. Er kunnen meerdere grijswaarden ingesteld worden. In het geval van de digitale foto's kan door meerdere grijswaarden te kiezen het beeld verfraaid worden. Voor metingen kunnen de contrast verschillen het beste worden geaccentueerd met één referentieniveau. Omdat de defaultwaarde van het aantal referentieniveau's op 9 stond was het noodzakelijk om bij elke meting bij de vraag Referentieniveau's (9): een 1 in te voeren. Door de defaultwaarde op 1 te zetten is nu een return bij deze vraag voldoende.
4. De inname van één beeld duurt vrij lang (ongeveer 5 seconden). Deze eigenschap is niet te beïnvloeden omdat bij de verticale scanmode de maximale datasnelheid vast ligt, nl.: er wordt per lijntijd de zwart-wit informatie van één pixel overgezonden. Zolang de computer deze datasnelheid bij kan houden (de PDP11/34 kan dit in single-user operation (RT11)) ligt de benodigde tijd, voor de inname van een beeld met een bepaalde grootte, vast. Maar omdat er sprake is van statische metingen is dit niet van belang, mits de beeldinnametijd in de orde van enkele seconden blijft.

4.4 TVFOT nu.

Nu de veranderingen aan TVFOT zijn aangebracht zal de uitvoerfile nog eens bekeken worden om een beter inzicht te krijgen hoe het te schrijven bewerkingsprogramma de file moet lezen en bewerken.



Figuur 17: De nieuwe binaire outputfiles van TVFOT.

Van file 1 en file 2 zijn NBIT, NLIN, NREF, CADL en CADR hetzelfde. De waarden van CADU en CADD van file 2 zijn 1 hoger dan CADU en CADD van file 1, vanwege de verschuiving van het kader met een beeldlijn naar onder (t.o.v. het kader van file 1). In de nieuwe file moet dus CADU van file 1 en CADD van file 2 komen te staan.

Als we nu het tweede blok bekijken (beginnende bij word 257) zien we dat de pixeldata als volgt moet worden weggezet: pixel 1 van file 1 in het low-order byte van word 257 en pixel 1 van file 2 in het high-order byte van word 257, pixel 2 van file 1 in het low-order byte van word 258 en pixel 2 van file 2 in het high-order byte van word 258, etc.

De lengte van de pixeldata in deze nieuwe file wordt $NBIT * NLIN$ words.

Hoofdstuk 5 De nieuwe software voor de beeldbewerking.

Bij het schrijven van de nieuwe software is uitgegaan van de volgende punten:

- a. De binaire outputfiles van TVFOT zien er uit zoals ze in § 4.4 zijn beschreven.
- b. Met de programmatuur hoeft alleen, met behulp van een aantal metingen na gegaan kunnen worden wat de nauwkeurigheid van Telescan is.
- c. De programmatuur hoeft niet uit te blinken wat gebruikersvriendelijkheid betreft, een goede werking is hier veel belangrijker.
- d. De meetopstelling is van te voren bekend (aantal markers en wijze van plaatsing van de markers).

Aan de hand van deze uitgangspunten kan er een beeld geschetst worden van wat de software allemaal moet doen. De belangrijkste taken in de volgorde waarop ze uitgevoerd moeten worden zijn:

1. Het omzetten van 2 binaire outputfiles van TVFOT naar een nieuwe binaire outputfile zoals beschreven is in § 4.4.
2. Het omzetten van deze file naar coördinatenparen van alleen de pixels die zwart zijn (de markers zijn zwart en de achtergrond is wit).
3. Het toekennen van de juiste pixels aan de juiste marker (marker detectie).
4. Het berekenen van het zwaartepunt van een marker.
5. Het berekenen van het zwaartepunt van een groep markers.
6. Het berekenen van de verplaatsing van twee groepen markers t.o.v. elkaar.
7. Het wegschrijven van belangrijke resultaten naar een printable file.

Deze taken zullen in deze volgorde in de volgende paragrafen worden toegelicht samen met de bijbehorende programmatuur.

5.1 Omzetten van 2 outputfiles naar 1 nieuwe outputfile.

In § 4.3.1 is uitgelegd waarom er is gekozen voor het twee keer afscannen van dezelfde groep markers met bij de tweede scan het kader een beeldlijn naar onder verschoven. In deze paragraaf zal worden uitgelegd hoe de twee outputfiles worden samengevoegd tot de nieuwe, bruikbare outputfile.

In het eerste word van beide outputfiles staat dezelfde waarde voor NBIT. Deze waarde kan ook in de nieuwe outputfile (outputfile 3) worden gezet want in de x-richting blijft het aantal pixels gelijk.

In het tweede word van de outputfiles staat NLIN. In outputfile 3 komen per x-coördinaat $2 * NLIN$ bytes pixeldata te staan dus wordt NLIN van outputfile 3 verdubbeld t.o.v. NLIN van outputfile 1 en 2.

Het derde t/m het vijfde word kan worden overgenomen van outputfile 1 of 2 omdat deze hetzelfde zijn en ook blijven (NREF, CADL en CADR).

In het zesde word van outputfile 3 komt CADU van outputfile 1 te staan omdat deze de y-coördinaat van de eerste gescande beeldlijn aangeeft.

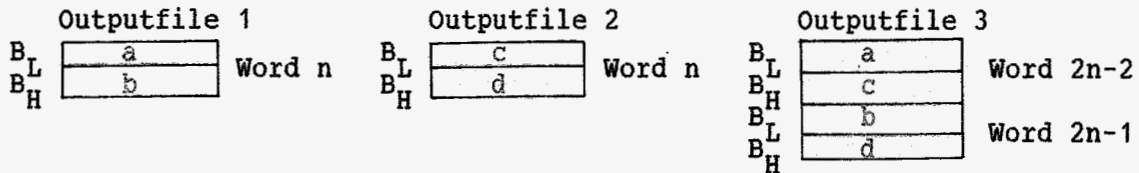
In het zevende word van outputfile 3 komt CADD van outputfile 2 te staan omdat deze de y-coördinaat van de laatste gescande beeldlijn aangeeft.

De pointers van de drie outputfiles kunnen op 257 gezet worden zodat uit outputfile 1 en 2 het eerste word pixeldata kan worden gelezen en in outputfile 3 het eerste word pixeldata kan worden weggezet.

Het inlezen en wegzetten van de pixeldata gebeurt in een FOR-loop (1 TO NBIT*NLIN). Bij elke stap wordt hetzelfde gedaan:

- testen van de waarde van de n-de ingelezen integers van outputfile 1 en 2.
- wegzetten van het low-order byte van outputfile 1 in het low-order byte van word $256+2n$ van outputfile 3.
- wegzetten van het low-order byte van outputfile 2 in het high-order byte van word $256+2n$ van outputfile 3.
- wegzetten van het high-order byte van outputfile 1 in het low-order byte van word $256+2n+1$ van outputfile 3.
- wegzetten van het high-order byte van outputfile 2 in het high-order byte van word $256+2n+1$ van outputfile 3.

Het manipuleren met de low- en high-order bytes kan duidelijk worden gemaakt met het volgende voorbeeld:



Figuur 18: De organisatie van de outputfiles.

5.2 Omzetten van de outputfile naar coördinatenparen.

In OMSI-PASCAL, waarin de nieuwe software geschreven is, is het niet mogelijk om een binaire file byte voor byte met integer-variabelen in te lezen.

Het byte voor byte inlezen van een binaire file kan alleen als deze file gedeclareerd wordt van het type TEXT. Dan kunnen de gegevens in de file byte voor byte als characters gelezen worden. Het onhandige hiervan is dat dan steeds naar de ASCII-waarde van het character moet worden gekeken om te weten te komen of er een 0 of een 1 in dat byte staat. Echt onhandig wordt het pas als uit de eerste zeven words van de file de juiste integerwaarde moet worden gehaald (deze 7 integers zijn belangrijk voor het verdere inlezen van de file).

Aangezien de file toch uit een even aantal pixels per x-coördinaat bestaat valt het nog wel mee om de file word voor word, dus als integers, te gaan lezen.

Er zijn echter een paar dingen waar rekening mee gehouden dient te worden. Het inlezen van de file begin met het lezen van de eerste 7 words. Als deze ingelezen en weggezet zijn kan de pointer, die aanwijst welk word gelezen gaat worden, op 257 gezet worden. Op deze plaats begint de pixeldata.

Nu kan d.m.v. twee FOR-loops de pixeldata ingelezen worden.

De eerste FOR-loop (1 TO NBIT) loopt de x-coördinaten af en de tweede FOR-loop (1 to NLIN/2) loopt de y-coördinaten af. In de tweede FOR-loop dient er rekening mee worden gehouden dat als er word is gelezen het low-order byte het n-de pixel bevat en het high-order byte het (n+1)-e pixel bevat.

De volgende testen moeten worden uitgevoerd:

- a. controleren of de integer de waarde 0 heeft; er hoeft dan niets worden weggezet.
- b. controleren of de integer de waarde 1 heeft; de x- en y-coördinaten van het n-de pixel moeten dan worden weggezet.
- c. controleren of de integer de waarde 256 heeft; de x- en y-coördinaten van het (n+1)-e pixel moeten dan worden weggezet
- d. controle of de integer de waarde 257 heeft; de x- en y-coördinaten van zowel het n-de als van het (n+1)-e pixel moeten dan worden weggezet (zie figuur 19).

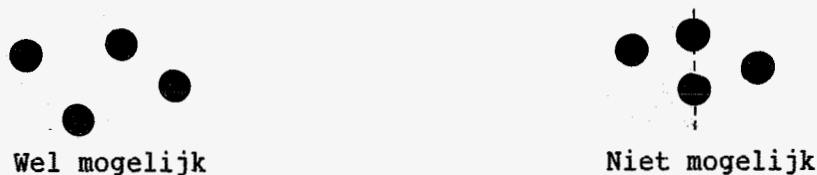
Als deze twee FOR-loops zijn afgelopen hebben we van alle zwarte pixels de x- en y-coördinaat in een array staan en door een teller steeds op te hogen als er een coördinatenpaar is weggezet is ook het aantal coördinatenparen bekend (dit komt van pas om het array uit te lezen).

0000 0000	==>0	0000 0001	==>1	0000 0000	==>256	0000 0001	==>257
0000 0000		0000 0000		0000 0001		0000 0001	

Figuur 19: De inhoud van de low- en high-order bytes m.b.t. de waarde van de integer.

5.3 De marker detektie.

Omdat de meetopstelling bekend is, zie uitgangspunt d van dit hoofdstuk, 'weet' deze subroutine dat er 4 markers in het beeld zitten en dat er op een verticale lijn nooit meer dan 1 marker zit (zie figuur 20). Wel moet er eventuele ruis uit het beeld gefilterd worden om te voorkomen dat deze in de zwaartepuntberekeningen wordt meegenomen.



Figuur 20: De posities van de markers.

Het detekteren van de markers gebeurt in de procedure ZOEKM.

Deze procedure maakt gebruik van de twee locale procedures ZOEK en ZETWEG.

De procedure ZOEK voert een aantal testen uit om erachter te komen hoe een coördinatenpaar ligt ten opzichte van het vorige coördinatenpaar uit het array ARPIX (in ARPIX zitten alle coördinatenparen van de zwarte pixels van een beeld). Als uitgezocht is tot welke marker het coördinatenpaar behoort (of eventueel ruis is) zorgt ZETWEG ervoor dat het coördinatenpaar in het juiste array wordt weggezet.

ZOEKM hoeft er alleen nog maar voor te zorgen dat het volgende coördinatenpaar klaar wordt gezet voor ZOEK.

5.4 Het berekenen van het zwaartepunt van een marker.

Het berekenen van het zwaartepunt van een marker is vrij eenvoudig te realiseren met behulp van de benaderingsformules:

$$C_{xz} = \frac{\sum_{p=1}^N C_{x_p}}{N} \quad (5.1) \quad \text{en} \quad C_{yz} = \frac{\sum_{p=1}^N C_{y_p}}{N} \quad (5.2)$$

Waarbij: C_{xz} = x-coördinaat van het zwaartepunt van de marker.

C_{yz} = y-coördinaat van het zwaartepunt van de marker.

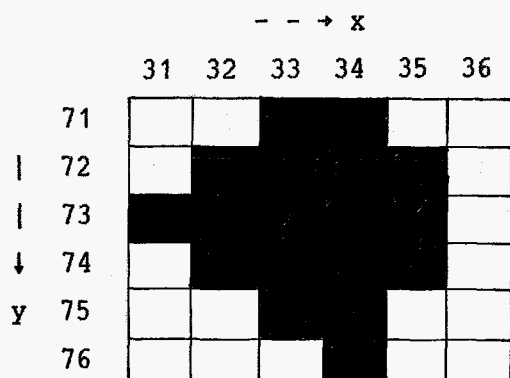
C_{x_p} = x-coördinaten van de pixels van de marker.

C_{y_p} = y-coördinaten van de pixels van de marker.

N = het aantal pixels van de marker.

Om beide formules toe te lichten het volgende voorbeeld:

In onderstaande figuur is een voorbeeld van een marker getekend.



Figuur 21: Een voorbeeld van de positie van een marker in het beeld.

Uit formule 5.1 volgt: $Cxz = (1*31 + 3*32 + 5*33 + 6*34 + 3*35)/18$
 $= 33.389$

Uit formule 5.2 volgt: $Cyz = (2*71 + 4*72 + 5*73 + 4*74 + 2*75 + 1*76)/18$
 $= 73.167$

Het zwaartepunt van de in figuur 21 getekende marker ligt in het punt (x,y) (33,389 , 73,167).

De procedure ZWAARTEPUNT berekent op deze wijze het zwaartepunt van een marker.

5.5 Het berekenen van het zwaartepunt van een groep markers.

Dit kan op dezelfde manier gebeuren als de berekening van het zwaartepunt van één marker. Het verschil met de berekening van het zwaartepunt van een marker is dat de elementen Cx_p en Cy_p geen gehele getallen zijn maar reals. De procedure ZWAARTEPUNT kan niet gebruikt worden omdat de invoervariabelen als integer zijn gedeclareerd. De procedure ZWRPNTREAL berekent op dezelfde manier als de procedure ZWAARTEPUNT een zwaartepunt uit maar dan met real invoervariabelen.

5.6 Het berekenen van de verplaatsing van twee groepen markers t.o.v. elkaar.

Het berekenen van de verplaatsing van twee groepen markers t.o.v. elkaar kan, nu de zwaartepunten van de groepen markers bekend zijn, eenvoudig worden berekend. De meting bestaat globaal omschreven uit het innemen van twee groepen markers vóór en het innemen van dezelfde twee groepen markers ná een verplaatsing van de markers. Van de vier groepen markers zijn de coördinaten van de zwaartepunten berekend zodat de relatieve verplaatsing van het ene zwaartepunt t.o.v. het andere als volgt kan worden berekend:

$$Xverpl = (CxzR_b - CxzL_b) - (CxzR_a - CxzL_a) \quad (5.3)$$

$$Yverpl = (CyzR_b - CyzL_b) - (CyzR_a - CyzL_a) \quad (5.4)$$

Waarin: Xverpl = relatieve verplaatsing in de x-richting.

$CxzR_a$ = de x-coördinaat van het zwaartepunt van de rechtse groep markers in de beginsituatie.

$CxzL_a$ = de x-coördinaat van het zwaartepunt van de rechtse groep markers in de beginsituatie.

$CxzR_b$ = de x-coördinaat van het zwaartepunt van de rechtse groep markers in de situatie na het verplaatsen van de markers.

$CxzL_b$ = de x-coördinaat van het zwaartepunt van de rechtse groep markers in de situatie na het verplaatsen van de markers.

Verplaatsing en coördinaten in de y-richting zijn op dezelfde wijze gedefinieerd.

Hieruit volgt voor de afstandsverandering ΔL tussen de zwaartepunten van de markergroepen:

$$\Delta L = \sqrt{(Xverpl^2 + Yverpl^2)} \quad (5.5)$$

5.7 Het wegschrijven van belangrijke resultaten naar een printable file.

Deze file wordt gecreëerd om de resultaten van de meting in tabelvorm en voorzien van tekst nog eens rustig door te kunnen kijken. In deze file staat o.a.:

- Het aantal zwarte pixels dat er in een beeld is gedetekteerd.
- Het aantal gedetekteerde markers per beeld.
- Het aantal pixels per marker.
- Het aantal pixels ruis per beeld.
- Het zwaartepunt van elke marker.
- Het zwaartepunt van de ruis.
- Het zwaartepunt van elke groep markers.
- De relatieve verplaatsing in de x- en y-richting.
- De totale relatieve verplaatsing.

Hoofdstuk 6 De metingen.

Om de nauwkeurigheid van Telescan te bepalen zijn de volgende metingen verricht:

In de beginsituatie worden twee groepen van 4 markers elk op een willekeurige afstand van elkaar geplaatst. Elke groep markers wordt 3 keer afzonderlijk afgescand.

Vervolgens wordt de rechtse groep markers naar rechts verschoven om een afstandsverandering tussen de twee groepen te creëren. Na deze verschuiving zullen beide groepen markers weer 3 keer afzonderlijk worden afgescand.

De data in de outputfiles van deze 12 scans wordt verder verwerkt.

Allereerst zal het programma VOEGSAMEN (zie bijlage V.a) van de 24 outputfiles 12 nieuwe, voor het programma BEELD (zie bijlage V.b) bruikbare, outputfiles maken.

(Helaas bleek er geen tijd meer te zijn om het programma VOEGSAMEN te perfektioneren, zodat er alleen een meting met de even beeldlijnen mogelijk was. Deze meting is echter ook geschikt om conclusies te trekken t.a.v. de nauwkeurigheid van het systeem.)

Het programma BEELD berekent de coördinaten van de zwaartepunten van elke marker.

Met behulp van deze zwaartepuntcoördinaten wordt (m.b.v. enkele statistische formules) een schatting bepaald voor de standaard deviatie van de coördinaten van deze zwaartepunten en deze schatting wordt vergeleken met een theoretische verwachting van de standaard deviatie.

De gebruikte formule voor de geschatte waarde van de variantie wordt afgeleid op bijlage VII met als eindresultaat :

$$\hat{\sigma}^2 = \frac{\sum_{i=1}^n \Delta x_i^2 - \hat{\lambda}^2 \sum_{i=1}^n \Delta x_{oi}^2}{n-1} \quad (6.1) \quad \text{met} \quad \hat{\lambda} = \frac{\sum_{i=1}^n \Delta x_{oi} \cdot \Delta x_i}{\sum_{i=1}^n \Delta x_{oi}^2} \quad (6.2)$$

De geschatte variantie $\hat{\sigma}^2$ heeft een χ^2 -verdeling.

Het voorgaande wordt nu aan de hand van een rekenvoorbeeld toegelicht:

	MARKER 1 (x)	MARKER5 (x)	
	voor	voor	Δx_o
SCAN1	184,03101	560,51007	376,47906
SCAN2	184,36719	560,60265	376,23546
SCAN3	184,09375	560,63158	376,53785
	na	na	Δx
SCAN1	184,04687	574,87248	390,82561
SCAN2	184,09375	574,76190	390,66815
SCAN3	184,49242	574,91946	390,42704

$$\sum_{i=1}^3 \Delta x_{oi}^2 = 425070,3414 \quad \sum_{i=1}^3 \Delta x_{oi} \cdot \Delta x_i = 441131,4198 \quad \sum_{i=1}^3 \Delta x_i^2 = 457799,5344$$

$$\hat{\lambda} = \frac{\sum_{i=1}^3 \Delta x_{oi} \cdot \Delta x_i}{\sum_{i=1}^3 \Delta x_{oi}^2} = 1,037784519$$

$$\hat{\sigma}^2 = \frac{\sum_{i=1}^3 \Delta x_i^2 - \hat{\lambda}^2 \cdot \sum_{i=1}^3 \Delta x_{oi}^2}{2} = 0,08805 \quad \Rightarrow \quad \hat{\sigma} = 0,297$$

Voor de andere 3 markerparen is berekend dat (zie bijlage VIII):

$$M2 - M6 : \hat{\sigma} = 0,165$$

$$M3 - M7 : \hat{\sigma} = 0,120$$

$$M4 - M8 : \hat{\sigma} = 0,336$$

De gemiddelde standaard deviatie voor de x-richting is: $\hat{\sigma}_{xgem} = 0,229$

Voor de y-richting is berekend (zie bijlage VIII):

$$M1 - M5 : \hat{\sigma} = 0,290$$

$$M2 - M6 : \hat{\sigma} = 0,130$$

$$M3 - M7 : \hat{\sigma} = 0,276$$

$$M4 - M8 : \hat{\sigma} = 0,227$$

De gemiddelde standaard deviatie voor de y-richting is: $\hat{\sigma}_{ygem} = 0,231$

In lit. 3 (zie Hoofdstuk 8) is een theoretische schatting afgeleid voor de variantie van de coördinaten van het zwaartepunt van een marker:

$$\sigma_{zw}^2 = \frac{\sigma^2}{2\sqrt{N_{pix}}} \quad (6.3)$$

Hierin is:

σ^2 : de variantie van de positie van de rand van de marker binnen een randpixel. Deze positie heeft een rechthoekige kansverdeling ($\sigma^2 = \frac{1}{12}$ (pixeleenheid)).

N_{pix} : het aantal pixels waaruit de marker bestaat.

Dit geldt voor zowel de x- als de y-coördinaat.

Verondersteld is dat het verband tussen Δx_0 en Δx te schrijven is als:

$$\Delta x = \lambda \cdot \Delta x_0$$

waarin: $\Delta x_0 = x_{oi} - x_{oj}$ en $\Delta x = x_i - x_j$

De variantie van Δx_0 en Δx is dus:

$$\sigma_{\Delta x}^2 = \sigma_{zwi}^2 + \sigma_{zwj}^2 \quad (6.4)$$

Schrijven we:

$$e = \Delta x - \lambda \cdot \Delta x_0$$

Dan is de variantie van e (met de veronderstelling dat $\lambda \approx 1$):

$$\sigma_e^2 = \sigma_{\Delta x_0}^2 + \sigma_{\Delta x}^2 \quad (6.5)$$

Voorbeeld:

$$\text{Marker 1: } N_{\text{pix}} = 128 \text{ pixels, } \sigma^2 = \frac{1}{12} \implies \sigma_{\text{zw1}}^2 = \frac{1}{12 \cdot 2 \cdot \sqrt{128}} = 0,003683$$

$$\text{Marker 5: } N_{\text{pix}} = 150 \text{ pixels, } \sigma^2 = \frac{1}{12} \implies \sigma_{\text{zw5}}^2 = \frac{1}{12 \cdot 2 \cdot \sqrt{151}} = 0,003391$$

De theoretische schatting van de variantie vóór de verplaatsing van de markers wordt dus: $\sigma_{\text{zw1}}^2 + \sigma_{\text{zw5}}^2 = \sigma_{\text{zw1-5}}^2 = 0,007074$

Ná de verplaatsing van de markers wordt dit:

$$\sigma_{\text{zw1}}^2 = \frac{1}{12 \cdot 2 \cdot \sqrt{129}} = 0,0036685 \text{ en } \sigma_{\text{zw5}}^2 = \frac{1}{12 \cdot 2 \cdot \sqrt{148}} = 0,0034250$$

dus:

$$\sigma_{\text{zw1-5}}^2 = 0,0070935.$$

Om de theoretische schatter te kunnen vergelijken met de 'gemeten schatter' wordt de standaard variantie berekend:

$$\sigma_{\text{zw1-5}} = \sqrt{(0,007074 + 0,007094)} = 0,119.$$

In bijlage IX worden op dezelfde manier de andere standaard varianties berekend, met de volgende resultaten:

$$\sigma_{\text{zw2-6}} = 0,119$$

$$\sigma_{\text{zw3-7}} = 0,121$$

$$\sigma_{\text{zw4-8}} = 0,119$$

Als deze resultaten ($\sigma_{\text{gem}} = 0,12$) worden vergeleken met de eerder berekende 'gemeten schatters' voor de standaard deviatie ($\hat{\sigma}_{\text{gem}} = 0,23$) dan blijken de laatste in dezelfde orde van grootte te liggen, d.w.z. ze zijn slechts een faktor 2 groter.

Hoofdstuk 7 Conclusies.

De conclusies zijn onder te verdelen in 3 groepen;

a. Conclusies t.a.v. het marktonderzoek.

Van de tientallen beeldverwerkingssystemen is slechts een kleine groep geschikt om metingen mee te verrichten. De meeste systemen zijn ontworpen voor beeldherkenning. De resolutie van de onderzochte systemen ligt tussen 256x256 en 10000x10000 pixels, terwijl de gemiddelde resolutie bij 512x512 ligt. De prijzen liggen nogal uiteen; van \$300 voor een optische RAM tot \$300.000 voor een compleet systeem. De prijzen van de complete systemen zijn sterk afhankelijk van de mogelijkheden en resolutie

b. Conclusies t.a.v. Telescan.

Het aanpassen van dit bestaande systeem is een moeizame zaak.

De belangrijkste oorzaken hiervan zijn de povere documentatie van de hardware en de afwezigheid van de documentatie van de software.

Om de aanpassingen van de software tot een minimum te beperken zijn de mogelijkheden van de metingen beperkt (constant aantal markers en de markers mogen niet boven elkaar in het beeld liggen).

c. Conclusies t.a.v. de metingen.

Uit de metingen mag worden geconcludeerd dat het systeem voldoet aan de verwachtingen ($\sigma_{\text{gemeten}} = 2\sigma_{\text{theoretisch}}$). Wel moet hierbij worden opgemerkt dat er gemeten is onder vrijwel ideale omstandigheden; grote contrastverschillen tussen de markers en de achtergrond terwijl het gebruik van matte materialen de glinstering tot een minimum beperkte. Hierdoor is het gebruik van een normale 60 Watt lamp voldoende. De afwijkingen van de 'gemeten schatters' voor de standaard deviatie t.o.v. de theoretische schatting voor de standaard deviatie zijn voornamelijk te wijten aan de instabiliteit van het TV-beeld (jitter).

Door uitbreiding van de programmatuur (meting met even én oneven beeldlijnen) zal er in de toekomst geëxperimenteerd moeten worden met de grootte en de vorm van de markers alsmede met de belichting.

Als laatste stap kan dan de matte papieren achtergrond vervangen worden door het glinsterende weefsel. Hierbij zal extra aandacht aan de belichtingstechniek moeten worden besteed, b.v. gebruik van fosforiserende markers in combinatie met UV-licht of het gebruik van gepolariseerd licht.

Hoofdstuk 8 Literatuurlijst.

- 1 Batchelor, B.G., Hill, D.A. and Hodgson, D.C.,
Automated Visual Inspection,
IFS (Publications) Ltd, UK, 1985, blz. 215-253.

- 2 Opgenoorth, Ir. W.J., Holtkamp, W.J. en Wijnands, G.A.,
Beschrijving van een TV-Scanner Systeem (Deel I),
TH Twente, Kenmerk: 1241.1296 Ogo/Rcs, 1975, blz. 1-42.

- 3 Prinzen, T.T., Arts, T., Prinzen, F.W. and Reneman, R.S.,
Mapping of Epicardial Deformation Using a Video Processing Technique,
University of Limburg, Maastricht, 1985, blz. 1-33.

- 4 Kreyszig, E.,
Advanced Engineering Mathematics,
John Wiley & Sons Inc., New York, 1983, blz. 887-988.

MicronEye.

Camera en software rondom een lichtgevoelig array van 128x256 pixels.
Zonder problemen aan te sluiten op een Apple of IBM personal, zodat de personal een 'oog' krijgt.

Maximale beeldsnelheid bedraagt 5 beelden/sekonde.

Geen geheugen.

Machine Intelligence VS-100 en VS-100P Vision System.

Dmv een camera wordt er een beeld gemaakt van een object dat gedigitaliseerd wordt (256x256 pixels).

Het gedigitaliseerde beeld wordt gereduceerd tot een aantal gegevens waarmee de vorm van het object vast ligt.

Dit object kan microscopische klein of erg groot zijn.

Gebaseerd op de DEC LSI11/23 CPU.

Geheugenopslag voor 2 beelden.

De software biedt de mogelijkheden voor windowing (alleen een afgebakend gebied bekijken), adding (oninteressante gegevens verwijderen) en differencing (vergelijken met een ander beeld).

Met deze routines kunnen de verschillen tussen twee beelden van minimaal 0.5 procent van het totale beeld gedetekteerd worden.

De verwerkingssnelheid bedraagt voor de meeste toepassingen 6 beelden/sekonde.

Toepassingen zijn patroonherkenning, inspectie en controle.

IIS System 575.

Methode vergelijkbaar met bovengenoemd systeem, echter uitgebreider.
Bij dit systeem wordt er een beeld gevormd van 2048x2048 pixels en wordt er met een window gewerkt van maximaal 512x512 pixels.
Er kunnen 16 beelden in het geheugen worden opgeslagen die kunstmatig gekleurd (8 bits) kunnen worden.
De beeldverwerkingssnelheid is 30 beelden/sekonde.
Alle denkbare beeldmanipulaties zijn op modules verkrijgbaar.
Er zijn veel toepassingen voor dit systeem te bedenken waaronder patroonherkenning.
Aansluiting op een PRIME behoort tot de mogelijkheden.

Computer Recognition System 1000.

Ook dit systeem digitaliseert het videosignaal en verwerkt het daarna.
Tot 8 bits 512x512 pixel grijsniveau's kunnen verwerkt worden door dit op Motorola's 68000 CPU gebaseerd systeem, dat gebruik maakt van de standaard VME-bus.
Er bestaat tevens de mogelijkheid om maximaal 16 beelden op te slaan in het geheugen, dat eventueel 16 bits parallel uitgelezen kan worden.
De verwerkingssnelheid bedraagt 25 beelden/sekonde.
De software is geschreven in PASCAL, behalve de tijdkritische routines die in machinetaal zijn geschreven.

Tecmar Video Van Gogh.

Dit is een vrij langzaam systeem dat een videosignaal in digitale informatie omzet, geschikt voor een IBM PC (1 beeld per 6 seconden).
De resolutie bedraagt 256x256 pixels met elk 256 grijsniveau's.

Computolog Imago.

Dit systeem digitaliseert het videosignaal met een maximale resolutie van 1024x1024 pixels met 256 grijsniveau's.

Er kan 1 beeld in het geheugen opgeslagen worden, dat via een Q-bus naar een DEC PDP 11 gezonden kan worden.

De beeldverwerkingssnelheid bedraagt 25 beelden/sekonde.

Er is een uitgebreid software pakket aanwezig dat in FORTRAN aangeroepen kan worden.

Tevens zijn er meerdere modules verkrijgbaar voor verschillende toepassingen zoals lengtemeting en oppervlaktemeting.

Selcom Selspot II.

Een aantal LEDs worden geplaatst op interessante punten van het te meten objekt. De LEDs zenden infrarood licht uit met een bepaalde frekwentie van maximaal 10 kHz. De lichtsterkte wordt aangepast aan de afstand tussen de camera en het objekt.

Met de camera wordt de positie van de LEDs gemeten.

De lichtpuls, die een LED uitzendt, wordt opgevangen door de lens en komt op een lichtgevoelige plaat terecht.

De elektronika bepaalt de x- en y-coördinaten.

Deze worden gedigitaliseerd, zodat ze opgeslagen en verwerkt kunnen worden in de computer. De resolutie van dit systeem bedraagt 0,025 procent van het totale beeldoppervlak, met een onnauwkeurigheid van 0,5 procent.

Oxford Medical Computers' Vicon.

Op het meetobject worden een aantal goed reflekterende merktekens aangebracht.

Er wordt gemeten met een infrarood camera.

De infrarood pulsen, die worden uitgezonden, worden gereflekteerd door de merktekens.

Elk lichtpunt, dat in het TV beeld verschijnt, veroorzaakt een korte puls in het video signaal.

De TV camera is gekoppeld aan een Marker Detektor, die de pulsen omzet in digitale timingspulsen.

Een Coordinate Generator zet de timingspulsen om in de posities van de lichtpunten.

De werking berust op het tellen van de lijnnummers (vert. posities) en van de tijdsintervallen per lijn (horiz. posities) en het uitlezen van de tellerstand bij een timingspuls.

De eerste stap in de databewerking is de data te reduceren tot coördinatenparen, die corresponderen met de centra van de merktekens.

In de volgende fase moet de operator via een grafische terminal elk punt een label (baannummer) geven.

De Vicon software doorloopt alle beelden en wijst ieder punt toe aan een gelabelde baan. Er ontstaat een 2-dimensionale file met coördinaten, die gerangschikt zijn naar cameranummer, baannummer en beeldnummer.

Hieruit kunnen de banen van de merktekens worden verkregen. De resolutie is 1000x600 pixels (HxV) en de nauwkeurigheid bedraagt 0,1 procent.

Movement Techniques CODA-3.

Dit systeem is gebaseerd op het afscannen van een ruimte dmv drie heen en weer bewegende vlakke lichtbundels.

De drie lichtbronnen zijn ondergebracht in een aparte kast die voor het te onderzoeken object wordt geplaatst.

Twee verticale vlakke lichtbundels bewegen van links naar rechts en een horizontale vlakke lichtbundel beweegt van onder naar boven.

Door maximaal 8 kleine prisma's (14x14x10 mm) op het object te bevestigen kan de positie van een punt op het object worden bepaald (3-dimensionaal).

De prisma's bezitten de eigenschap om het invallende licht in precies dezelfde richting te weerkaatsen, zodat de positie van de prisma's steeds bekend is.

De software levert de bij de reflektiepunten behorende ruimtelijke coördinaten.

De maximale sampling-rate is 300 Hz en de hoogst mogelijke resolutie wordt bereikt bij een sampling-rate van 50 Hz (bij een afstand van 2 m tot het object) en bedraagt dan 0.1 mm.

Optronics OASIS.

Dit zeer exclusief beeldverwerkingssysteem tast met een laser foto's af die op een roterende drum zijn bevestigd. Met deze werkwijze wordt een resolutie bereikt van 10.000x10.000! pixels. Achter elk pixel zit dan ook nog 24 bit voor de kleuring.

Het OASIS systeem bestaat uit een C4500 colormation high-resolution scanner/film recorder, een op een PDP 11 gebaseerde CPU en een color display van 512x512 pixels met 32 bit kleurniveau's.

De processor is uitgerust met 256 Kbyte main memory en heeft daarnaast nog de beschikking over 300 Mbyte disk memory.

Datacopy Model 900.

Dit systeem is opgebouwd rond een ECD (Electronic Digitizing Camera) met een zeer hoge resolutie (1728x2846 pixels met 256 grijsniveau's).

De camera (Model 610F) wordt door de computer bestuurd via een meegeleverd interface voor een IBM PC of PDP 11. Via de computer kan dan worden geselecteerd uit verschillende scanmodes: high resolution, programmeerbare scan tijden en met instelbare window's. Voor het verkrijgen van een zo goed mogelijke beeldkwaliteit kan de operator gebruik maken van focus en frame features.

Door een optische, door de lens projectie methode kan de camera gemakkelijk boven het object worden gepositioneerd.

Bijgeleverd wordt ook een zogenaamde camera stand en belichting waarmee het mogelijk is om (gebruik makend van de standaard lens) objecten tot 11x17 inch te bekijken.

Verder zorgt de WIPS (Word Image Processing System software) voor de nodige beeldmanipulaties zoals control EDC modes, change data capture modes, manipulate, display en print captured images.

De minimale scantijd voor een volledig beeld bij maximale resolutie en (waarschijnlijk) 2 grijsniveau's (zwart-wit) bedraagt 11,3 seconden.

Fabrikant	: Selcom	Micron Techn.	Computer Recognition Sys.
Systeem	: Selspot II	Microneye	CRS 1000
Leverancier	: DIFA	DIFA	DIFA
Kleurverdeling	:	grijswaarden	grijswaarden (8 bit)
Resolutie	: 0,025% van het meetgebied	(2x) 128x256	512x512
Meetfrequentie	: max. 10 kHz	2-5 beelden/sek	max. 25 beelden/sek
Camera	: Selspot (max 16)		Vidicon (CCTV, CCD)
Processor/bus	:	IS Optic RAM	MC 68000/VME bus
Processor snelh	: real time		
Interface	: 16 bits parallel	RS232 of TTL ser	RS232
Software	: MACRO/FORTRAN IV	source code	PASCAL/Assembly
Software voor	: HP 1000/DEC	APPLE/IBM PC	
Beeldbewerkingen:	-interpolatie		-filtering
	-filtering		-middeling
	-differentiatie		-detektie randen
	-stick figure		-etc.
	-baanbeschrijving v.e. punt		
Prijs	: ± f 225.000,--	\$300,--	
Toepassingen	: bewegingsmeting	-metingen	-inspektie
		-herkenning	-robotvision
		-inspektie	
		-bewaking	
Baudrate	:	153600	
Max. afstand	: 200 m	7,6 m	

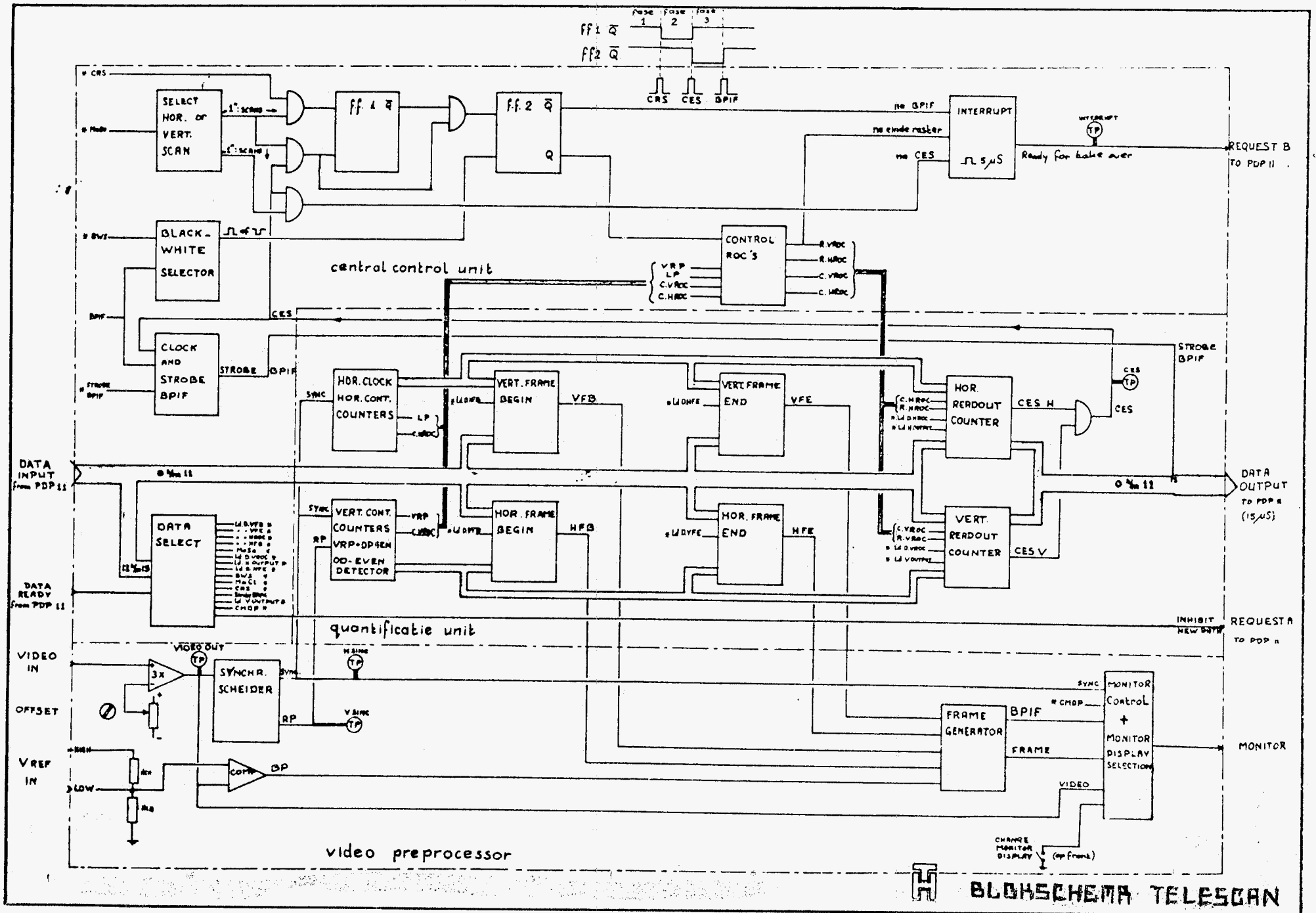
Fabrikant	: Hamamatsu	Hamamatsu	Hamamatsu
Systeem	: C 1000	C 1901	C 1867
Leverancier	: Digicom	Digicom	Digicom
Kleurverdeling	: grijsw. (8 bit)	grijsw. (16 bit)	grijsw. (8 bit)
Resolutie	: 1024x1024	512x512	1024x256 (512x1024)
Meetfrequentie	: max. 60 bld/sek	max. 50 bld/sek	max. 50 bld/sek
		bij C1000 camera	bij C1000 camera
Camera	: Vidicon	raster scan	C1000 camera
Processor/bus	:		8085 en 8088
Processorsnelh.	:	real time	real time
Interface	: beschikbaar	GPIB/RS232C/DMA/	GPIB/RS232C/Centronix
		Centronix	
Software voor	: DEC/DATA GENERAL		
Grafische term.	: Tektronix/HP		
Beeldbewerkingen:	modules	-integratie	-oppervlakte meting
	-korr. vervorm.	-aftrekken	-breedte meting
	-video slicing	-video slicing	-hoogte meting
	-X,Y coördinaat	-8 bit kleuring	-X,Y coördinaat bepaling
	-opp. meting	-overlay	
	-breedte meting		
	-deeltjestelling		
Prijs	: f 17.000,--		
Toepassingen	: -metingen	zie C1000	zie C1000
	-inspektie		
	-robotvision		

Fabrikant	: IIS	Tecmar	Compulog
Systeem	: System 575	Video Van Gogh	IMAGO II
Leverancier	: ICOS	Canberra	
Kleurverdeling	: kleuren (8bit)	grijsw. (8 bit)	grijsw. (8,12,16 bit)
Resolutie	: 512x512	256x256	max. 1024x1024
Meetfrequentie	: 30 beelden/sek	1 beeld/6 sek	50 beelden/sek (512x320x8)
Camera	:	diverse	diverse
Processor/bus	: LSI 11/23 (DEC)		
Processor snelh.	: real time		real time
Interface	: RS170		beschikbaar
Software	: FORTRAN 77/	machine code	assembler
Software voor	: PDP11/VAX11/ HP3000/MC68000	IBM PC	DEC
Beeldbewerking	: -video slicing	-inversie	-video slicing
	-kunstm. kleur	-kunstm. kleur	-kunstmatige kleuring
	-window	-window	-window
	-look up table	-middeling	-middeling
	-overlay	-aanwijzen punt	-overlay
	-histogram	met cursor	-histogram
	-optellen	-aftrekken	-optellen/aftrekken
	-etc.		-opp, omtrek, lengte meting
Prijs	:	f 4300,--	
Toepassingen	: -inspektie	-inspektie	
	-herkenning	-herkenning	
	-metingen	-robotvision	

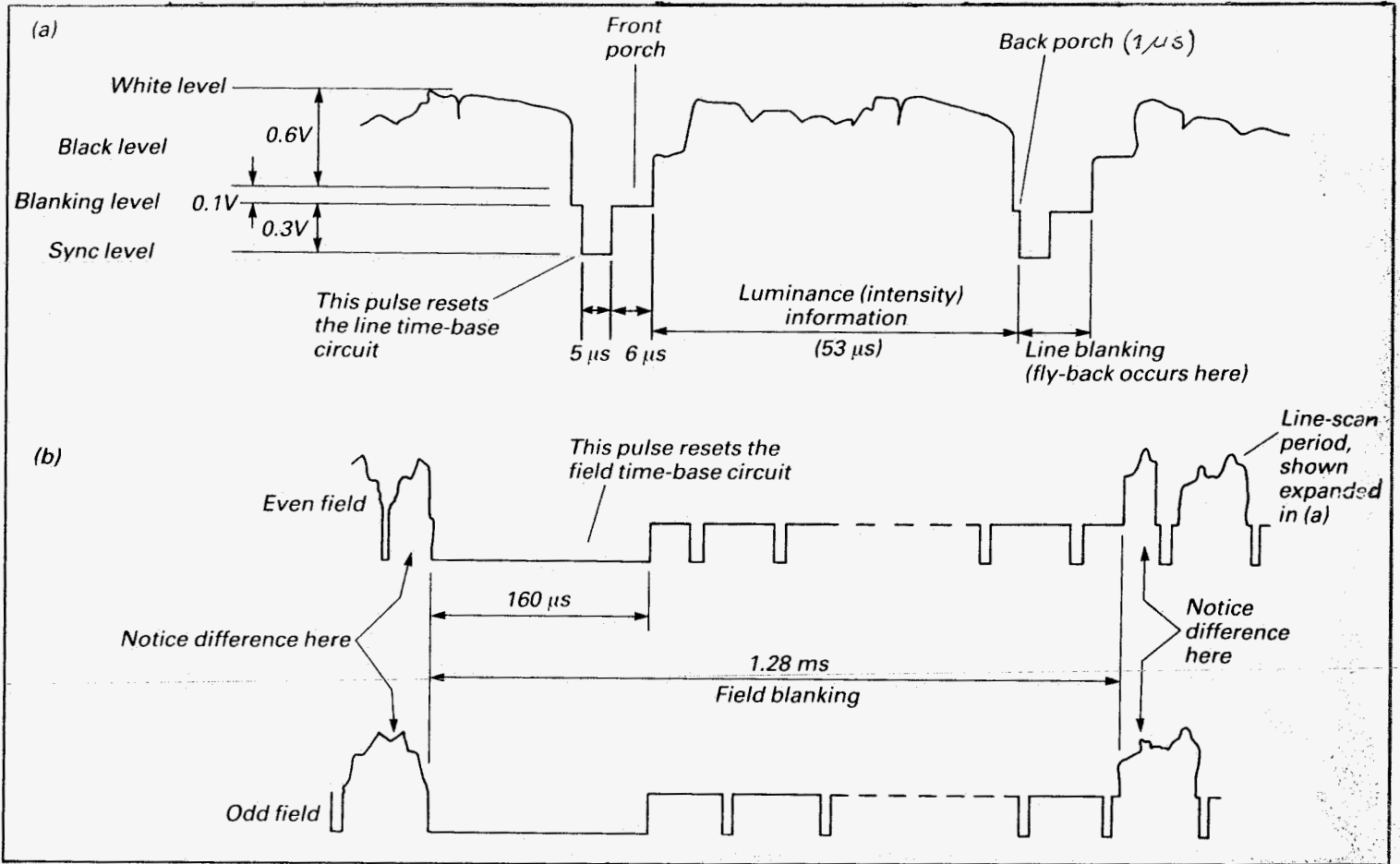
Fabrikant	: Oxford Med Comp	TVE Digital Vid.	Colorado Video Inc
Systeem	: Vicon	MVD	Video Digitizer 270A
Leverancier	: Oxford Instr Ned		Holland Video Research
Kleurverdeling	:	grijsw. (8 bit)	grijsw. (8 bit)
Resolutie	: 1024x625	max. 512x2048	max. 1024x950 (270 A-2)
Meetfrequentie	: max 25 bldn/sek	625 lijnen/sek	1 beeld/9 sek (270 A-2)
Camera	: Vidicon (max 7)	diverse	diverse
Processor snelh.:		real time	
Interface	: DMA	DRV11C/IEEE/RS232	16 bits duplex
Software	: MACRO11		
Software voor	: PDP11 of VAX11		
Grafische term.	: Tektronix 4010		
Beeldbewerking	: -stick figure	-filtering	2 modulatie
	-baanbeschrijv. van een punt	-optellen/aftrek. -window -overlay	
Toepassingen	: bewegings- metingen	-look up table -metingen -herkenning	
Max. afstand	: 7 m	-inspektie	

Fabrikant	: ICOS	Micro Consultants	Machine Intelligence
Systeem	: ICOS 20000	RETINA	VS 100(P)
Leverancier	: ICOS		M.I. Europe BV
Resolutie	: 512x512	512x512	256x256
Camera	: verschillende		MI-820V (max 4) optional
Processor/bus	: MC68000		LSI-11/23 / RS232
Beeldbew. snelh.	: beeldoper/6-8 ms	beeldoper/40 ms	
Processorsnelh.	: 40 M instr/sek	10 M instr/sek	
Interface	: 2 ser/4 par I/O		16 bit parallel
Software	: operation softw.		
Grafische term.	:		12" display monitor
Software voor	:	MC68000/DEC	
Beeldbewerking	: -data reduceren	-ruisreduktie	-masking
	tot aantal ken-	-integratie	-optellen
	merken	-aftrekken	-aftrekken
	-selektieve data	-beeldp. transf.	
	opslag	-histogram	
	-integratie	-videoslicing	
	-extremen bep.	-opp, omtrek ber.	
	-afstand bep.	-telling	
	-look up table	-logic operations	
		-vorm verandering	
Prijs	: \$30-40.000, --		
Toepassingen	: -metingen	-analyse	-locatie objekt
	-inspektie	-inspektie	-inspektie
	-herkenning		-herkenning

Fabrikant	: Datacopy	Optronics	
Systeem	: Model 900	OASIS	
Leverancier	: Datacopy USA	Anru BV	
Kleurverdeling	: 8 bits grijs	8 bits kleur	
Resolutie	: 1728x2846	25x25 micron van	
		foto (23x23 cm)	
Camera	: Datacopy	Laser scanner	
	Model 610F		
Processor/bus	: IBM PC, LSI 11,	PDP 11/34	
	IEEE 796		
Beeldbew. snelh.	: max. 11,3 bld/s	76 min/beeld bij	
	(instelbaar)	9200x9200 pixels	
Interface	: voor IBM PC,	voor PDP 11 en	
	LSI 11, IEEE 796	IEEE422 interface	
Software	: Word Image Pro-	beschikbaar	
	cessing System		
	Software		
Grafische term.	: 15" (1728x2200)	512x512 color	
Software voor	: IBM PC, LSI 11	PDP 11 (RSX-11M)	
Beeldbewerking	: -windowing	-zoom	
	-reduction	-scroll	
	-zoom	-change color	
	-rotate	-etc.	
	-etc.		
Prijs	:	\$ 300.000, --	
Toepassingen	: -analyse	-analyse	
	-metingen	-metingen	



BIJLAGE IV



Practical video waveform (CCIR standard): (a) line-sync pulses and luminance information, and (b) field-sync pulses

```
PROGRAM VOEGSAMENS;
```

```
TYPE FINT = FILE OF INTEGER;  
  CHR10 = ARRAY[1..100] OF CHAR;
```

```
VAR I,J,NRIT,NLIN,HULP1,HULP2 : INTEGER;  
    F,G,H : FINT;  
    INAMES : ARRAY[1..240] OF CHR10;  
    ONAMES : ARRAY[1..120] OF CHR10;
```

```
BEGIN
```

```
  INAMES[11] := 'SM1LEA.FOT';  
  INAMES[12] := 'SC1L0A.FOT';  
  INAMES[13] := 'SC2LEA.FOT';  
  INAMES[14] := 'SC2L0A.FOT';  
  INAMES[15] := 'SC3LEA.FOT';  
  INAMES[16] := 'SC3L0A.FOT';  
  INAMES[17] := 'SC1REA.FOT';  
  INAMES[18] := 'SC1R0A.FOT';  
  INAMES[19] := 'SC2REA.FOT';  
  INAMES[100] := 'SC2R0A.FOT';  
  INAMES[111] := 'SC3REA.FOT';  
  INAMES[121] := 'SC3R0A.FOT';  
  INAMES[131] := 'SC1LEB.FOT';  
  INAMES[141] := 'SC1LOB.FOT';  
  INAMES[151] := 'SC2LEB.FOT';  
  INAMES[161] := 'SC2LOB.FOT';  
  INAMES[171] := 'SC3LEB.FOT';  
  INAMES[181] := 'SC3LOB.FOT';  
  INAMES[191] := 'SC1REB.FOT';  
  INAMES[201] := 'SC1ROB.FOT';  
  INAMES[211] := 'SC2REB.FOT';  
  INAMES[221] := 'SC2ROB.FOT';  
  INAMES[231] := 'SC3REB.FOT';  
  INAMES[241] := 'SC3ROB.FOT';  
  ONAMES[11] := 'SCN1LA.FOT';  
  ONAMES[12] := 'SCN2LA.FOT';  
  ONAMES[13] := 'SCN3LA.FOT';  
  ONAMES[14] := 'SCN1RA.FOT';  
  ONAMES[15] := 'SCN2RA.FOT';  
  ONAMES[16] := 'SCN3RA.FOT';  
  ONAMES[17] := 'SCN1LB.FOT';  
  ONAMES[18] := 'SCN2LB.FOT';  
  ONAMES[19] := 'SCN3LB.FOT';  
  ONAMES[100] := 'SCN1RE.FOT';  
  ONAMES[111] := 'SCN2RE.FOT';  
  ONAMES[121] := 'SCN3RE.FOT';
```

```

FOR I:=1 TO 12 DO
BEGIN
  RESET(F, INAMES(2*I-1));
  RESET(G, INAMES(2*I));
  REWRITE(H, ONAMES(I));
  NBLT:=F^A; HA:=F^A; PUT(H); GET(F); GET(G);
  NLIN:=F^A; HA:=F^A+G^A; PUT(H); GET(F); GET(G);
  FOR J:=1 TO 4 DO
  BEGIN
    HA:=G^A; PUT(H); GET(F); GET(G)
  END;
  HA:=F^A; PUT(H); GET(F); GET(G);
  FOR J:=1 TO 248 DO
  BEGIN
    HA:=F^A; PUT(H); GET(F); GET(G)
  END;
  FOR J:=1 TO ((NBLT*NLIN)DIV 2) DO
  BEGIN
    GET(F); GET(G);
    HULP1:=F^A;
    HULP2:=G^A;
    IF HULP1=0
    THEN
    BEGIN
      IF HULP2=0
      THEN
      BEGIN
        HA:=0; PUT(H);
        HA:=0; PUT(H)
      END
    ELSE
    BEGIN
      IF HULP2=1
      THEN
      BEGIN
        HA:=256; PUT(H);
        HA:=0; PUT(H)
      END
    ELSE

```

```

BEGIN
  IF HULP2=256
  THEN
    BEGIN
      HA:=0; PUT(H);
      HA:=256; PUT(H)
    END
  ELSE
    BEGIN
      HA:=256; PUT(H);
      HA:=256; PUT(H)
    END
  END
END
END
END
ELSE
BEGIN
  IF HULP1=1
  THEN
    BEGIN
      IF HULP2=0
      THEN
        BEGIN
          HA:=1; PUT(H);
          HA:=0; PUT(H)
        END
      ELSE
        BEGIN
          IF HULP2=1
          THEN
            BEGIN
              HA:=257; PUT(H);
              HA:=0 ; PUT(H)
            END
          ELSE
            BEGIN
              IF HULP2=256
              THEN
                BEGIN
                  HA:=1; PUT(H);
                  HA:=256; PUT(H)
                END
            END
          END
        END
      END
    END
  END

```

1/2 line here in
even field


```
        BEGIN
            H^:=257; PUT(H);
            H^:=256; PUT(H)
        END
    END
END
ELSE
BEGIN
    IF HULP1=256
    THEN
    BEGIN
        IF HULP2=0
        THEN
        BEGIN
            H^:=0; PUT(H);
            H^:=1; PUT(H)
        END
        ELSE
        BEGIN
            IF HULP2=1
            THEN
            BEGIN
                H^:=256; PUT(H);
                H^:=1; PUT(H)
            END
            ELSE
            BEGIN
                IF HULP2=256
                THEN
                BEGIN
                    H^:=0; PUT(H);
                    H^:=257; PUT(H)
                END
                ELSE
                BEGIN
                    H^:=256; PUT(H);
                    H^:=257; PUT(H)
                END
            END
        END
    END
END
ELSE
```

```
      BEGIN
        IF HULP2=0
        THEN
          BEGIN
            HA:=1; PUT(H);
            HA:=1; PUT(H)
          END
        ELSE
          BEGIN
            IF HULP2=1
            THEN
              BEGIN
                HA:=257; PUT(H);
                HA:=1; PUT(H)
              END
            ELSE
              BEGIN
                IF HULP2=256
                THEN
                  BEGIN
                    HA:=1; PUT(H);
                    HA:=257; PUT(H)
                  END
                ELSE
                  BEGIN
                    HA:=257; PUT(H);
                    HA:=257; PUT(H)
                  END
                END
            END
          END
        END
      END
    END
  END
END;
CLOSE(H);
CLOSE(F);
CLOSE(G)
END.
```

```
PROGRAM BEELD;
```

```
CONST ARRAYGRENS = 1200;
```

```
  AANTAL = 12;
```

```
TYPE FINT = FILE OF INTEGER;
```

```
  DIM5 = ARRAY[1..5] OF INTEGER;
```

```
  DIM7 = ARRAY[1..7] OF INTEGER;
```

```
  CHR10 = ARRAY[1..10] OF CHAR;
```

```
  GEGEVENS = ARRAY[1..AANTAL,1..7] OF INTEGER;
```

```
  XYARRAY = ARRAY[1..ARRAYGRENS,1..2] OF INTEGER;
```

```
  XYZARRAY = ARRAY[1..5,1..ARRAYGRENS,1..2] OF INTEGER;
```

```
  REALAR = ARRAY[1..4,1..2] OF REAL;
```

```
VAR BYTES,I,J,LENF,LENG,NLIN,NBIT,M,N;
```

```
  CADL,CADR,CADU,CADD,K,L,NUM,COUNT1 : INTEGER;
```

```
  XCZLA,YCZLA,XCZRA,YCZRA,CXZ1,CYZ1;
```

```
  XCZLB,YCZLB,XCZRB,YCZRB,XVERPL,YVERPL,RELVERPL : REAL;
```

```
  GOTIT,FILEFOUND : BOOLEAN;
```

```
  ARPIX1 : XYARRAY;
```

```
  ARMARKERS : XYZARRAY;
```

```
  TEL : DIM5;
```

```
  GEGS : GEGEVENS;
```

```
  FNames : ARRAY[1..AANTAL] OF CHR10;
```

```
  FILES : ARRAY[1..3] OF FINT;
```

```
  CXYZ : ARRAY[1..AANTAL] OF REALAR;
```

```
  CXYZGEN : ARRAY[1..AANTAL,1..2] OF REAL;
```

```
  A : REALAR;
```

```
  CCXZ,CCYZ : ARRAY[1..AANTAL,1..5] OF REAL;
```

```
  NUM5 : 1..5;
```

```
  OUT : TEXT;
```

```
  OUTFIL : CHR10;
```

```
PROCEDURE ZOEKN(VAR A : XYZARRAY; VAR TEL : DIMS;
                ARPIXEL : XYARRAY; COUNT : INTEGER);
```

```
VAR I,XC,YC,POINT : INTEGER;
```

```
PROCEDURE ZOEK(VAR A : XYZARRAY; VAR TEL : DIMS;
               VAR POINT : INTEGER; XC,YC : INTEGER);
```

```
VAR I,J,HULP,KEER : INTEGER;
    FOUND,VOL : BOOLEAN;
```

```
PROCEDURE ZETWEG(VAR A : XYZARRAY; VAR TEL : DIMS;
                 VAR POINT : INTEGER; XC,YC : INTEGER);
```

```
BEGIN [***PROCEDURE ZETWEG***]
```

```
  A[POINT,TELIPOINT],1:=XC;
```

```
  A[POINT,TELIPOINT],2:=YC;
```

```
  TELIPOINT:=TELIPOINT+1;
```

```
  [ WRITELN('XC=',XC:3,' YC=',YC:3,' A:',POINT:1,' ',
            TELIPOINT:3,' ',1)=' ',A[POINT,TELIPOINT]-1,1:3,
            ' A:',POINT:1,' ',TELIPOINT:3,' ',2)=' ',
            A[POINT,TELIPOINT]-1,2:3)
  ]
```

```
END; [***PROCEDURE ZETWEG***]
```

```
BEGIN [***PROCEDURE ZOEK***]
```

```
  HULP:=POINT;
```

```
  IF XC=A[POINT,TELIPOINT]-1,1]
```

```
  THEN
```

```
  BEGIN
```

```
    IF (YC-A[POINT,TELIPOINT]-1,2)<=3
```

```
    THEN
```

```
    BEGIN
```

```
      ZETWEG(A,TEL,POINT,XC,YC)
```

```
    END
```

```
  ELSE
```

```
  BEGIN
```

```
    POINT:=5;
```

```
    ZETWEG(A,TEL,POINT,XC,YC)
```

```
  END
```

```
END
```

```
ELSE
```

```

BEGIN
IF (XC-(AR[POINT,TEL[POINT]-1,1]))>5
THEN
BEGIN
POINT:=POINT+1;
HULP:=POINT;
ZETWEG(A,TEL,POINT,XC,YC)
END
ELSE
BEGIN
IF ((YC-AR[POINT,TEL[POINT]-1,2])>-50) AND
((YC-AR[POINT,TEL[POINT]-1,2])<10)
THEN
BEGIN
ZETWEG(A,TEL,POINT,XC,YC)
END
ELSE
BEGIN
POINT:=5;
ZETWEG(A,TEL,POINT,XC,YC)
END
END
END;
POINT:=HULP;
END; [***PROCEDURE ZOEK***]

BEGIN [***PROCEDURE ZOEKM***]
AR[1,1,1]:=ARPIXEL[1,1];
AR[1,1,2]:=ARPIXEL[1,2];
FOR I:=2 TO 5 DO
TELI[I]:=1;
TELI[I]:=2; POINT:=1;
FOR I:=2 TO COUNT DO
BEGIN
XC:=ARPIXEL[I,1];
YC:=ARPIXEL[I,2];
ZOEK(A,TEL,POINT,XC,YC)
END;
FOR I:=1 TO 5 DO
TELI[I]:=TELI[I]-1;
END; [***PROCEDURE ZOEKM***]

```



```
PROCEDURE ZWAARTEPUNT(VAR ARZW : XYARRAY; TELLER : INTEGER;
                      VAR CXZ,CYZ : REAL);
```

```
VAR I      : INTEGER;
    H      : REAL;
```

```
BEGIN [***PROCEDURE ZWAARTEPUNT***]
  CXZ:=0; CYZ:=0;
  FOR I:=1 TO TELLER DO
  BEGIN
    H:= ARZW(I,1)/TELLER;
    CXZ:=CXZ+H;
    H:= ARZW(I,2)/TELLER;
    CYZ:=CYZ+H;
  END;
END; [***PROCEDURE ZWAARTEPUNT***]
```

```
PROCEDURE ZWRPNTREAL(VAR RARRAY : REALAR; TELLER : INTEGER;
                     VAR CXZ,CYZ : REAL);
```

```
VAR I : INTEGER;
    H : REAL;
```

```
BEGIN [***PROCEDURE ZWRPNTREAL***]
  CXZ:=0; CYZ:=0;
  FOR I:=1 TO TELLER DO
  BEGIN
    H:=RARRAY(I,1)/TELLER;
    CXZ:=CXZ+H;
    H:=RARRAY(I,2)/TELLER;
    CYZ:=CYZ+H;
  END
END; [***PROCEDURE ZWRPNTREAL***]
```



```

PROCEDURE ZETFILE(VAR NAMEF : CHAR10; VAR F : FINT;
                 VAR GEG : BIN7;
                 VAR FOUND : BOOLEAN);

```

```

VAR LENF, L, BYTES : INTEGER;

```

```

BEGIN I***PROCEDURE ZETFILE***I
  FOUND:=TRUE;
  RESET(F, NAMEF, '.FOT', LENF);
  IF LENF=-1
  THEN
  BEGIN
    WRITELN('FILE ', NAMEF, ' ONTREENT');
    FOUND:=FALSE
  END
  ELSE
  BEGIN
    FOR I:=1 TO 6 DO
    BEGIN
      GEG(I):=F^;
      GET(F)
    END;
    GEG(7):=F^;
    FOR I:=1 TO 249 DO
    BEGIN
      GET(F);
      BYTES:=F^
    END
  END;
END; I***PROCEDURE ZETFILE***I

```

```

BEGIN [***MAIN BEELD***]
  FILEFOUND:=TRUE;
  FNAME$11:='SCN1LA.FOT';
  FNAME$12:='SCN2LA.FOT';
  FNAME$13:='SCN3LA.FOT';
  FNAME$14:='SCN1RA.FOT';
  FNAME$15:='SCN2RA.FOT';
  FNAME$16:='SCN3RA.FOT';
  FNAME$17:='SCN1LB.FOT';
  FNAME$18:='SCN2LB.FOT';
  FNAME$19:='SCN3LB.FOT';
  FNAME$110:='SCN1RB.FOT';
  FNAME$111:='SCN2RB.FOT';
  FNAME$112:='SCN3RB.FOT';
  OUTFIL:='OUTBLD.LST';
  REWRITE(OUT,OUTFIL);
  WRITELN(OUT,'
  WRITELN(OUT,'
  WRITELN(OUT,'
  FOR I:=1 TO 5 DO
    WRITELN(OUT);
  FOR N:=1 TO 4 DO
  BEGIN
    FOR I:=1 TO 3 DO
    BEGIN
      WRITELN; WRITELN;
      WRITELN(OUT); WRITELN(OUT);
      N:=(N*3)-(3-1);
      ZETFILE(FNAME$1N,FILES(I),GEG$1N,FILEFOUND);
      IF FILEFOUND
      THEN
      BEGIN
        LEESBEELD(GEG$1N,21,GEG$1N,11,GEG$1N,41,GEG$1N,61;
          ARPIX1,COUNT1,FILES(I));
        CLOSE(FILES(I));
        I WRITELN('DE VOLGENDE COORDINATEN BEHOREN TOT DE MARKERS ',
          'VAN FILE ',FNAME$1N,':');
        FOR J:=1 TO COUNT1 DO
          WRITELN(ARPIX1(J,1):3,' ',ARPIX1(J,21):3);
        I ZOEKN(ARMARKERS,TEL,ARPIX1,COUNT1);
          NUM:=1; GOTIT:=FALSE;
          WHILE (NOT(GOTIT) AND (NUM<5)) DO
          BEGIN
            IF TEL(NUM)>1
            THEN

```

```

      BEGIN
        NUM:=NUM+1;
      END
    ELSE
      GOTIT:=TRUE;
    END; NUM:=NUM-1;
    WRITELN(OUT,'ER ZIJN ',NUM:1,' MARKERS GEVONDEN',
           ' IN FILE ',FNAME$[M], ' MET IN TOTAAL ',
           COUNT1:3,' PIXELS');
    WRITELN('ER ZIJN ',NUM:1,' MARKERS GEVONDEN',
           ' IN FILE ',FNAME$[M]);
  ] FOR K:=1 TO NUM DO
    BEGIN
      FOR L:=1 TO TELNUM1 DO
        WRITELN('MARKER ',K:1,' POSITIE ',L:1,' (',
              ARMARKERSINUM,L,1:3,' ',ARMARKERSINUM,L,2:3,
              ')');
      END;
    ] WRITELN: WRITELN(OUT);
    FOR K:=1 TO NUM DO
      BEGIN
        WRITELN('MARKER ',K:1,' BESTAAT UIT ',TELIK1:3,' PIXELS');
        WRITELN(OUT,'MARKER ',K:1,' BESTAAT UIT ',TELIK1:3,' PIXELS');
      END;
      WRITELN: WRITELN(OUT);
      NUM5:=NUM;
      FOR K:=1 TO NUM5 DO
        BEGIN
          ZWAARTEPUNT(ARMARKERS[K],TELIK1,CCXZIN,K,CCYZIN,K);
          WRITELN('HET ZWAARTEPUNT VAN DE ',K:1,'-E MARKER LIGT IN HET ',
                'PUNT (X,Y): (',CCXZIN,K:8:5,',',CCYZIN,K:8:5,')');
          WRITELN(OUT,'HET ZWAARTEPUNT VAN DE ',K:1,'-E MARKER LIGT',
                ' IN HET PUNT (X,Y): (',CCXZIN,K:8:5,',',
                CCYZIN,K:8:5,')');
        END
      END
    END
  END;
  END;
  END;
  END;

```

```

WRITELN: WRITELN:
WRITELN(OUT); WRITELN(OUT);
FOR I:=1 TO 12 DO
BEGIN
  FOR J:=1 TO 4 DO
  BEGIN
    CXYZII,J,1J:=CCXZII,JJ;
    CXYZII,J,2J:=CCYZII,JJ;
  END;
  ZWRPNTREAL(CXYZII,4,CXYZGEMII,1J,CXYZGEMII,2J);
END;
FOR I:=1 TO 3 DO
BEGIN
  WRITELN('HET ZWAARTEPUNT VAN GROEP SCN',I:1,'LA LIGT IN HET ',
    'PUNT: ',CXYZGEMII,1J:8:5,' ',CXYZGEMII,2J:8:5);
  WRITELN(OUT,'HET ZWAARTEPUNT VAN GROEP SCN',I:1,'LA LIGT IN ',
    'HET PUNT (X,Y): ',CXYZGEMII,1J:8:5,' ',
    CXYZGEMII,2J:8:5);
  AI,I,1J:=CXYZGEMII,1J;
  AI,I,2J:=CXYZGEMII,2J;
END;
ZWRPNTREAL(A,3,XCZLA,YCZLA);
FOR I:=4 TO 6 DO
BEGIN
  WRITELN('HET ZWAARTEPUNT VAN GROEP SCN',(I-3):1,'RA LIGT IN HET ',
    'PUNT: ',CXYZGEMII,1J:8:5,' ',CXYZGEMII,2J:8:5);
  WRITELN(OUT,'HET ZWAARTEPUNT VAN GROEP SCN',(I-3):1,'RA LIGT IN ',
    'HET PUNT (X,Y): ',CXYZGEMII,1J:8:5,' ',
    CXYZGEMII,2J:8:5);
  AI(I-3),1J:=CXYZGEMII,1J;
  AI(I-3),2J:=CXYZGEMII,2J;
END;
ZWRPNTREAL(A,3,XCZRA,YCZRA);
FOR I:=7 TO 9 DO
BEGIN
  WRITELN('HET ZWAARTEPUNT VAN GROEP SCN',(I-6):1,'LB LIGT IN HET ',
    'PUNT: ',CXYZGEMII,1J:8:5,' ',CXYZGEMII,2J:8:5);
  WRITELN(OUT,'HET ZWAARTEPUNT VAN GROEP SCN',(I-6):1,'LB LIGT IN ',
    'HET PUNT (X,Y): ',CXYZGEMII,1J:8:5,' ',
    CXYZGEMII,2J:8:5);
  AI(I-6),1J:=CXYZGEMII,1J;
  AI(I-6),2J:=CXYZGEMII,2J;
END;

```

```
ZWRPNTREAL(A,3,XCZLB,YCZLB);
FOR I:=10 TO 12 DO
BEGIN
  WRITELN('HET ZWAARTEPUNT VAN GROEP SON',(I-9):1,'RB LIGT IN HET',
    ' PUNT: ',CXYZGEMII,11:8:5,', ',CXYZGEMII,21:8:5);
  WRITELN(OUT,'HET ZWAARTEPUNT VAN GROEP SON',(I-9):1,'RB LIGT IN',
    ' HET PUNT (X,Y): ',CXYZGEMII,11:8:5,', ',
    CXYZGEMII,21:8:5);
  AI(I-9),11:=CXYZGEMII,11;
  AI(I-9),21:=CXYZGEMII,21;
END;
ZWRPNTREAL(A,3,XCZRB,YCZRB);
XVERPL:=(XCZRB-XCZLB)-(XCZRA-XCZLA);
YVERPL:=(YCZRB-YCZLB)-(YCZRA-YCZLA);
RELVERPL:=SQRT(SQR(XVERPL)+SQR(YVERPL));
WRITELN;
WRITELN(OUT); WRITELN(OUT);
WRITELN('DE VERPLAATSING IN DE X-RICHTING IS: ',XVERPL:8:5);
WRITELN('DE VERPLAATSING IN DE Y-RICHTING IS: ',YVERPL:8:5);
WRITELN(OUT,'DE VERPLAATSING IN DE X-RICHTING IS: ',XVERPL:8:5);
WRITELN(OUT,'DE VERPLAATSING IN DE Y-RICHTING IS: ',YVERPL:8:5);
WRITELN;
WRITELN(OUT); WRITELN(OUT);
WRITELN('DE TOTALE VERPLAATSING IS: ',RELVERPL:8:5);
WRITELN(OUT,'DE TOTALE VERPLAATSING IS: ',RELVERPL:8:5);
CLOSE(OUT)
END. [***MAIN BEELD***]
```

```
*****  
*   OUTPUT VAN PROGRAMMA BEELD   *  
*****
```

ER ZIJN 4 MARKERS GEVONDEN IN FILE SCN1LA.FOT MET IN TOTAAL 511 PIXELS

MARKER1 BESTAAT UIT 129 PIXELS
MARKER2 BESTAAT UIT 134 PIXELS
MARKER3 BESTAAT UIT 120 PIXELS
MARKER4 BESTAAT UIT 128 PIXELS

HET ZWAARTEPUNT VAN DE 1-E MARKER LIGT IN HET PUNT (X,Y): (184.03101,362.82946)
HET ZWAARTEPUNT VAN DE 2-E MARKER LIGT IN HET PUNT (X,Y): (221.99254,284.55224)
HET ZWAARTEPUNT VAN DE 3-E MARKER LIGT IN HET PUNT (X,Y): (253.70000,356.08333)
HET ZWAARTEPUNT VAN DE 4-E MARKER LIGT IN HET PUNT (X,Y): (294.01562,321.50000)

~~ER ZIJN 4 MARKERS GEVONDEN IN FILE SCN2LA.FOT MET IN TOTAAL 508 PIXELS~~

~~MARKER1 BESTAAT UIT 128 PIXELS
MARKER2 BESTAAT UIT 134 PIXELS
MARKER3 BESTAAT UIT 119 PIXELS
MARKER4 BESTAAT UIT 127 PIXELS~~

~~HET ZWAARTEPUNT VAN DE 1-E MARKER LIGT IN HET PUNT (X,Y): (184.36719,362.84375)
HET ZWAARTEPUNT VAN DE 2-E MARKER LIGT IN HET PUNT (X,Y): (222.05224,284.47761)
HET ZWAARTEPUNT VAN DE 3-E MARKER LIGT IN HET PUNT (X,Y): (253.86555,356.19328)
HET ZWAARTEPUNT VAN DE 4-E MARKER LIGT IN HET PUNT (X,Y): (294.14961,321.31496)~~

ER ZIJN 4 MARKERS GEVONDEN IN FILE SCN3LA.FOT MET IN TOTAAL 503 PIXELS

MARKER1 BESTAAT UIT 128 PIXELS
MARKER2 BESTAAT UIT 133 PIXELS
MARKER3 BESTAAT UIT 114 PIXELS
MARKER4 BESTAAT UIT 127 PIXELS

HET ZWAARTEPUNT VAN DE 1-E MARKER LIGT IN HET PUNT (X,Y): (184.09375,362.98437)
HET ZWAARTEPUNT VAN DE 2-E MARKER LIGT IN HET PUNT (X,Y): (222.04511,284.72932)
HET ZWAARTEPUNT VAN DE 3-E MARKER LIGT IN HET PUNT (X,Y): (253.80702,356.19298)
HET ZWAARTEPUNT VAN DE 4-E MARKER LIGT IN HET PUNT (X,Y): (293.90551,321.39370)

ER ZIJN 5 MARKERS GEVONDEN IN FILE SCN1RA.FOT MET IN TOTAAL 588 PIXELS

MARKER1 BESTAAT UIT 149 PIXELS
MARKER2 BESTAAT UIT 150 PIXELS
MARKER3 BESTAAT UIT 140 PIXELS
MARKER4 BESTAAT UIT 143 PIXELS
MARKER5 BESTAAT UIT 6 PIXELS

HET ZWAARTEPUNT VAN DE 1-E MARKER LIGT IN HET PUNT (X,Y): (560.51007;261.19463)
HET ZWAARTEPUNT VAN DE 2-E MARKER LIGT IN HET PUNT (X,Y): (606.88667;313.21333)
HET ZWAARTEPUNT VAN DE 3-E MARKER LIGT IN HET PUNT (X,Y): (636.20714;244.22857)
HET ZWAARTEPUNT VAN DE 4-E MARKER LIGT IN HET PUNT (X,Y): (674.77622;286.29371)
HET ZWAARTEPUNT VAN DE 5-E MARKER LIGT IN HET PUNT (X,Y): (684.50000;288.00000)

ER ZIJN 4 MARKERS GEVONDEN IN FILE SCN2RA.FOT MET IN TOTAAL 585 PIXELS

MARKER1 BESTAAT UIT 151 PIXELS
MARKER2 BESTAAT UIT 149 PIXELS
MARKER3 BESTAAT UIT 140 PIXELS
MARKER4 BESTAAT UIT 145 PIXELS

HET ZWAARTEPUNT VAN DE 1-E MARKER LIGT IN HET PUNT (X,Y): (560.60265;260.90066)
HET ZWAARTEPUNT VAN DE 2-E MARKER LIGT IN HET PUNT (X,Y): (606.75839;313.00671)
HET ZWAARTEPUNT VAN DE 3-E MARKER LIGT IN HET PUNT (X,Y): (636.32857;243.97143)
HET ZWAARTEPUNT VAN DE 4-E MARKER LIGT IN HET PUNT (X,Y): (674.93103;286.45517)

ER ZIJN 4 MARKERS GEVONDEN IN FILE SCN3RA.FOT MET IN TOTAAL 584 PIXELS

MARKER1 BESTAAT UIT 152 PIXELS
MARKER2 BESTAAT UIT 146 PIXELS
MARKER3 BESTAAT UIT 140 PIXELS
MARKER4 BESTAAT UIT 145 PIXELS

HET ZWAARTEPUNT VAN DE 1-E MARKER LIGT IN HET PUNT (X,Y): (560.63158;261.05263)
HET ZWAARTEPUNT VAN DE 2-E MARKER LIGT IN HET PUNT (X,Y): (606.87671;313.09589)
HET ZWAARTEPUNT VAN DE 3-E MARKER LIGT IN HET PUNT (X,Y): (636.42143;244.08571)
HET ZWAARTEPUNT VAN DE 4-E MARKER LIGT IN HET PUNT (X,Y): (675.29655;286.34483)

ER ZIJN 4 MARKERS GEVONDEN IN FILE SCH1LB.FOT MET IN TOTAAL 516 PIXELS

MARKER1 BESTAAT UIT 128 PIXELS
MARKER2 BESTAAT UIT 136 PIXELS
MARKER3 BESTAAT UIT 120 PIXELS
MARKER4 BESTAAT UIT 131 PIXELS

HET ZWAARTEPUNT VAN DE 1-E MARKER LIGT IN HET PUNT (X,Y): (184.04687,362.96875)
HET ZWAARTEPUNT VAN DE 2-E MARKER LIGT IN HET PUNT (X,Y): (221.73529,284.91176)
HET ZWAARTEPUNT VAN DE 3-E MARKER LIGT IN HET PUNT (X,Y): (253.80000,356.51667)
HET ZWAARTEPUNT VAN DE 4-E MARKER LIGT IN HET PUNT (X,Y): (293.91603,321.77863)

ER ZIJN 4 MARKERS GEVONDEN IN FILE SCH2LB.FOT MET IN TOTAAL 510 PIXELS

MARKER1 BESTAAT UIT 128 PIXELS
MARKER2 BESTAAT UIT 134 PIXELS
MARKER3 BESTAAT UIT 119 PIXELS
MARKER4 BESTAAT UIT 129 PIXELS

HET ZWAARTEPUNT VAN DE 1-E MARKER LIGT IN HET PUNT (X,Y): (184.09375,363.04688)
HET ZWAARTEPUNT VAN DE 2-E MARKER LIGT IN HET PUNT (X,Y): (221.73134,284.73134)
HET ZWAARTEPUNT VAN DE 3-E MARKER LIGT IN HET PUNT (X,Y): (253.66387,356.22689)
HET ZWAARTEPUNT VAN DE 4-E MARKER LIGT IN HET PUNT (X,Y): (294.10078,321.65116)

ER ZIJN 4 MARKERS GEVONDEN IN FILE SCH3LB.FOT MET IN TOTAAL 521 PIXELS

MARKER1 BESTAAT UIT 132 PIXELS
MARKER2 BESTAAT UIT 138 PIXELS
MARKER3 BESTAAT UIT 119 PIXELS
MARKER4 BESTAAT UIT 131 PIXELS

HET ZWAARTEPUNT VAN DE 1-E MARKER LIGT IN HET PUNT (X,Y): (184.49242,363.18182)
HET ZWAARTEPUNT VAN DE 2-E MARKER LIGT IN HET PUNT (X,Y): (221.60145,284.97101)
HET ZWAARTEPUNT VAN DE 3-E MARKER LIGT IN HET PUNT (X,Y): (253.79832,356.47899)
HET ZWAARTEPUNT VAN DE 4-E MARKER LIGT IN HET PUNT (X,Y): (294.06870,321.96183)

ER ZIJN 4 MARKERS GEVONDEN IN FILE SCH1RB.FOT MET IN TOTAAL 583 PIXELS

MARKER1 BESTAAT UIT 149 PIXELS
MARKER2 BESTAAT UIT 144 PIXELS
MARKER3 BESTAAT UIT 143 PIXELS
MARKER4 BESTAAT UIT 147 PIXELS

HET ZWAARTEPUNT VAN DE 1-E MARKER LIGT IN HET PUNT (X,Y): (574.87248,261.30201)
HET ZWAARTEPUNT VAN DE 2-E MARKER LIGT IN HET PUNT (X,Y): (612.61111,303.75000)
HET ZWAARTEPUNT VAN DE 3-E MARKER LIGT IN HET PUNT (X,Y): (642.04196,263.94406)
HET ZWAARTEPUNT VAN DE 4-E MARKER LIGT IN HET PUNT (X,Y): (674.74150,298.58503)

ER ZIJN 4 MARKERS GEVONDEN IN FILE SCH2RB.FOT MET IN TOTAAL 588 PIXELS

MARKER1 BESTAAT UIT 147 PIXELS
MARKER2 BESTAAT UIT 145 PIXELS
MARKER3 BESTAAT UIT 143 PIXELS
MARKER4 BESTAAT UIT 152 PIXELS

HET ZWAARTEPUNT VAN DE 1-E MARKER LIGT IN HET PUNT (X,Y): (574.76190,261.64626)
HET ZWAARTEPUNT VAN DE 2-E MARKER LIGT IN HET PUNT (X,Y): (612.47586,303.72414)
HET ZWAARTEPUNT VAN DE 3-E MARKER LIGT IN HET PUNT (X,Y): (641.98601,263.93007)
HET ZWAARTEPUNT VAN DE 4-E MARKER LIGT IN HET PUNT (X,Y): (674.67105,298.92105)

ER ZIJN 4 MARKERS GEVONDEN IN FILE SCH3RB.FOT MET IN TOTAAL 592 PIXELS

MARKER1 BESTAAT UIT 149 PIXELS
MARKER2 BESTAAT UIT 149 PIXELS
MARKER3 BESTAAT UIT 141 PIXELS
MARKER4 BESTAAT UIT 153 PIXELS

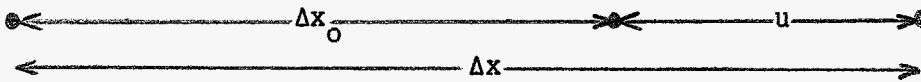
HET ZWAARTEPUNT VAN DE 1-E MARKER LIGT IN HET PUNT (X,Y): (574.91946,261.58389)
HET ZWAARTEPUNT VAN DE 2-E MARKER LIGT IN HET PUNT (X,Y): (612.72483,303.65101)
HET ZWAARTEPUNT VAN DE 3-E MARKER LIGT IN HET PUNT (X,Y): (642.03546,263.97163)
HET ZWAARTEPUNT VAN DE 4-E MARKER LIGT IN HET PUNT (X,Y): (674.85621,298.65359)

HET ZWAARTEPUNT VAN GROEP	SCN1LA	LIGT IN HET PUNT (X,Y):	238.43479,331.24126
HET ZWAARTEPUNT VAN GROEP	SCN2LA	LIGT IN HET PUNT (X,Y):	238.60864,331.26740
HET ZWAARTEPUNT VAN GROEP	SCN3LA	LIGT IN HET PUNT (X,Y):	238.46285,331.32510
HET ZWAARTEPUNT VAN GROEP	SCN1RA	LIGT IN HET PUNT (X,Y):	619.59503,276.23256
HET ZWAARTEPUNT VAN GROEP	SCN2RA	LIGT IN HET PUNT (X,Y):	619.65516,276.08349
HET ZWAARTEPUNT VAN GROEP	SCN3RA	LIGT IN HET PUNT (X,Y):	619.80657,276.14477
HET ZWAARTEPUNT VAN GROEP	SCN1LB	LIGT IN HET PUNT (X,Y):	238.37455,331.54395
HET ZWAARTEPUNT VAN GROEP	SCN2LB	LIGT IN HET PUNT (X,Y):	238.39743,331.41407
HET ZWAARTEPUNT VAN GROEP	SCN3LB	LIGT IN HET PUNT (X,Y):	238.49022,331.64841
HET ZWAARTEPUNT VAN GROEP	SCN1RB	LIGT IN HET PUNT (X,Y):	626.06676,281.89528
HET ZWAARTEPUNT VAN GROEP	SCN2RB	LIGT IN HET PUNT (X,Y):	625.97371,282.05538
HET ZWAARTEPUNT VAN GROEP	SCN3RB	LIGT IN HET PUNT (X,Y):	626.13399,281.96503

DE VERPLAATSING IN DE X-RICHTING IS: 6.45393

DE VERPLAATSING IN DE Y-RICHTING IS: 5.54073

DE TOTALE VERPLAATSING IS: 8.50605



Met : Δx_0 = de afstand tussen twee punten (zwaartepunten van twee markers) in de begintoestand.

u = de verplaatsing.

Δx = de afstand tussen twee punten ná de verplaatsing.

$$\lambda = \frac{\Delta x}{\Delta x_0} \quad \text{met } \lambda = \text{de verlengingsfaktor.}$$

Dus geldt :

$$\Delta x = \lambda \cdot \Delta x_0$$

Verondersteld wordt dat er alleen toevallige fouten optreden die we als volgt in rekening brengen :

$$\Delta x_i = \lambda \cdot \Delta x_{0i} + e_i \quad (1)$$

waarin de onder index i de i -de meting aangeeft en e_i de fout is die daarbij optreedt.

Bovendien veronderstellen we dat e_i normaal verdeeld is en waarvoor geldt :

$$E(e_i) = 0$$

en

$$E(e_i^2) = \sigma^2$$

$E(e_i)$ is de te verwachten waarde en $E(e_i^2)$ de variantie van de fout e_i .

Voor de som van alle metingen kan opgeschreven worden dat :

$$\sum_{i=1}^n (\Delta x_i - \lambda \cdot \Delta x_{0i})^2 = \sum_{i=1}^n e_i^2 \quad (2)$$

Voor het minimaliseren van de fout wordt (2) naar λ gedifferentieerd.

$$\frac{d}{d\lambda} \left(\sum_{i=1}^n (\Delta x_i - \lambda \cdot \Delta x_{oi})^2 \right) = \frac{d}{d\lambda} \sum_{i=1}^n e_i^2$$

hieruit volgt :

$$\sum_{i=1}^n (-2 \cdot \Delta x_i \cdot \Delta x_{oi} + 2\lambda \cdot \Delta x_{oi}^2) = 0$$

en

$$\lambda \cdot \sum_{i=1}^n \Delta x_{oi}^2 = \sum_{i=1}^n \Delta x_i \cdot \Delta x_{oi}$$

Dus geldt voor de geschatte waarde van λ ($\hat{\lambda}$) :

$$\hat{\lambda} = \frac{\sum_{i=1}^n \Delta x_i \cdot \Delta x_{oi}}{\sum_{i=1}^n \Delta x_{oi}^2} \quad (3)$$

Voor de geschatte waarde van σ^2 ($\hat{\sigma}^2$) geldt (χ^2 verdeeld) :

$$\hat{\sigma}^2 = \frac{KS_n}{n-1}$$

waarbij KS_n = de restkwadratensom.

n = het aantal metingen.

Als dit wordt uitgeschreven is het eindresultaat :

$$\hat{\sigma}^2 = \frac{\sum_{i=1}^n \Delta x_i^2 - \hat{\lambda}^2 \cdot \sum_{i=1}^n \Delta x_{oi}^2}{n-1}$$

	MARKER 2 (x)	MARKER 6 (x)	
	voor	voor	Δx_o
SCAN1	221,99254	606,88667	384,89413
SCAN2	222,05224	606,75839	384,70615
SCAN3	222,04511	606,87671	384,8316
	na	na	Δx
SCAN1	221,73529	612,61111	390,87582
SCAN2	221,73134	612,47586	390,74452
SCAN3	221,60145	612,72483	391,12338

$$\sum_{i=1}^3 \Delta x_{oi}^2 = 44237,6735 \quad \sum_{i=1}^3 \Delta x_{oi} \cdot \Delta x_i = 451284,2647 \quad \sum_{i=1}^3 \Delta x_i^2 = 458442,685$$

$$\hat{\lambda} = 1,01586221$$

$$\hat{\sigma}^2 = 0,0272295 \implies \hat{\sigma} = 0,165$$

	MARKER 3 (x)	MARKER 7 (x)	
	voor	voor	Δx_o
SCAN1	253,7	636,20714	382,50714
SCAN2	253,86555	636,32857	382,46302
SCAN3	253,80702	636,42143	382,61441
	na	na	Δx
SCAN1	253,8	642,04196	388,24196
SCAN2	253,66387	641,98601	388,32214
SCAN3	253,79832	642,03546	388,23714

$$\sum_{i=1}^3 \Delta x_{oi}^2 = 438983,4606 \quad \sum_{i=1}^3 \Delta x_{oi} \cdot \Delta x_i = 445569,3044 \quad \sum_{i=1}^3 \Delta x_i^2 = 452253,9808$$

$$\hat{\lambda} = 1,015002487$$

$$\hat{\sigma}^2 = 0,014424 \implies \hat{\sigma} = 0,120$$

MARKER 4 (x)		MARKER 8 (x)		
	voor		na	Δx_o
SCAN1	294,01562		674,77622	380,7606
SCAN2	294,14961		674,93103	380,78142
SCAN3	293,90551		675,29655	381,39104
	na		na	Δx
SCAN1	293,91603		674,74150	380,82547
SCAN2	294,10078		674,67105	380,57027
SCAN3	294,06870		674,85621	380,78751

$$\sum_{i=1}^3 \Delta x_{oi}^2 = 435432,2497 \quad \sum_{i=1}^3 \Delta x_{oi} \cdot \Delta x_i = 435146,3667 \quad \sum_{i=1}^3 \Delta x_i^2 = 434860,8968$$

$$\hat{\lambda} = 0,99934345$$

$$\hat{\sigma} = 0,1127 \Rightarrow \hat{\sigma} = 0,336$$

In y-richting:

	MARKER 1 (y)	MARKER 5 (y)	
	voor	voor	Δx_o
SCAN1	362,82946	261,19463	-101,63483
SCAN2	362,84375	260,90066	-101,94309
SCAN3	362,98437	261,05263	-101,93174
	na	na	Δx
SCAN1	362,96875	261,30201	-101,66674
SCAN2	363,04688	261,64626	-101,40062
SCAN3	363,18182	261,58389	-101,59793

$$\sum_{i=1}^3 \Delta x_{oi}^2 = 31112,11189 \quad \sum_{i=1}^3 \Delta x_{oi} \cdot \Delta x_i = 31026,02815 \quad \sum_{i=1}^3 \Delta x_i^2 = 30940,35114$$

$$\hat{\lambda} = 0,997233111$$

$$\hat{\sigma}^2 = 0,08427445 \implies \hat{\sigma} = 0,29030062$$

	MARKER 2 (y)	MARKER 6 (y)	
	voor	voor	Δx_o
	284,55224	313,21333	28,66109
	284,47761	313,00671	28,5291
	284,72932	313,09589	28,36657
	na	na	Δx
	284,91176	303,75000	18,83824
	284,73134	303,72414	18,9928
	284,97101	303,65101	18,68

$$\sum_{i=1}^3 \Delta x_{oi}^2 = 2440,02992 \quad \sum_{i=1}^3 \Delta x_{oi} \cdot \Delta x_i = 1611,65951 \quad \sum_{i=1}^3 \Delta x_i^2 = 1064,548138$$

$$\hat{\lambda} = 0,660508093$$

$$\hat{\sigma}^2 = 0,016994 \implies \hat{\sigma} = 0,130361037$$

MARKER 3 (y)		MARKER 7 (y)		
	voor	voor		Δx_o
SCAN1	356,08333	244,22857		-111,85476
SCAN2	356,19328	243,97143		-112,22185
SCAN3	356,19298	244,08571		-112,10727
	na	na		Δx
SCAN1	356,51667	263,94406		-92,522264
SCAN2	356,22689	263,93007		-92,29682
SCAN3	356,47899	263,97163		-92,60736

$$\sum_{i=1}^3 \Delta x_{oi}^2 = 37673,27094 \quad \sum_{i=1}^3 \Delta x_{oi} \cdot \Delta x_i = 31088,73384 \quad \sum_{i=1}^3 \Delta x_i^2 = 25655,19544$$

$$\hat{\lambda} = 0,825219925$$

$$\hat{\sigma}^2 = 0,076409 \implies \hat{\sigma} = 0,276421779$$

MARKER 4 (y)		MARKER 8 (y)		
	voor	voor		Δx_o
SCAN1	321,5	286,29371		-35,20629
SCAN2	321,31496	286,45517		-34,85979
SCAN3	321,39370	286,34483		-35,04887
	na	na		Δx
SCAN1	321,77863	298,58503		-23,1936
SCAN2	321,65116	298,92105		-22,73011
SCAN3	321,96183	298,65359		-23,30824

$$\sum_{i=1}^3 \Delta x_{oi}^2 = 3683,11103 \quad \sum_{i=1}^3 \Delta x_{oi} \cdot \Delta x_i = 2425,854943 \quad \sum_{i=1}^3 \Delta x_i^2 = 1597,875033$$

$$\hat{\lambda} = 0,65864289$$

$$\hat{\sigma}^2 = 0,051460745 \implies \hat{\sigma} = 0,226849608$$

BIJLAGE IX

MARKER 2 - MARKER 6

Vóór de verplaatsing :

$$\text{MARKER 2 : Npix} = 134 \implies \sigma_{zw2}^2 = 0,003599$$

$$\text{MARKER 6 : Npix} = 148 \implies \sigma_{zw6}^2 = 0,003425$$

$$\implies \sigma_{zw2-6}^2 = 0,007024$$

Ná de verplaatsing :

$$\text{MARKER 2 : Npix} = 136 \implies \sigma_{zw2}^2 = 0,003573$$

$$\text{MARKER 6 : Npix} = 146 \implies \sigma_{zw6}^2 = 0,003448$$

$$\implies \sigma_{zw2-6}^2 = 0,007021$$

$$\text{Dus : } \sigma_{zw2-6} = 0,119$$

MARKER 3 - MARKER 7

Vóór de verplaatsing :

$$\text{MARKER 3 : Npix} = 118 \implies \sigma_{zw3}^2 = 0,003836$$

$$\text{MARKER 7 : Npix} = 140 \implies \sigma_{zw7}^2 = 0,003521$$

$$\implies \sigma_{zw3-7}^2 = 0,007357$$

Ná de verplaatsing :

$$\text{MARKER 3 : Npix} = 119 \implies \sigma_{zw3}^2 = 0,003820$$

$$\text{MARKER 7 : Npix} = 142 \implies \sigma_{zw7}^2 = 0,003497$$

$$\implies \sigma_{zw3-7}^2 = 0,007317$$

$$\text{Dus : } \sigma_{zw3-7} = 0,121$$

MARKER 4 - MARKER 8

Vóór de verplaatsing :

$$\text{MARKER 4 : Npix} = 127 \implies \sigma_{zw4}^2 = 0,003697$$

$$\text{MARKER 8 : Npix} = 144 \implies \sigma_{zw8}^2 = 0,003472$$

$$\implies \sigma_{zw4-8}^2 = 0,007169$$

Ná de verplaatsing :

$$\text{MARKER 4 : Npix} = 130 \implies \sigma_{zw4}^2 = 0,003654$$

$$\text{MARKER 8 : Npix} = 151 \implies \sigma_{zw8}^2 = 0,003391$$

$$\implies \sigma_{zw4-8}^2 = 0,007045$$

$$\text{Dus : } \sigma_{zw4-8} = 0,119$$