

PIAS-PhotoShip

Reconstructie van bestaande scheepsvormen

De methoden die doorgaans gebruikt worden om bestaande scheepsvormen te reconstrueren brengen bepaalde specifieke nadelen met zich mee, en zijn vaak niet erg flexibel en breed inzetbaar. Bovendien is er in de meeste gevallen een aanzienlijke tijd nodig voor nabewerking van de verzamelde data.

PhotoShip, een nieuwe PIAS-module, maakt het mogelijk om vrijwel elk schip in vrijwel elke omgeving te reconstrueren, waarbij relatief weinig tijd nodig is voor nabewerking. De gebruikte techniek, fotogrammetrie, wordt op tal van terreinen toegepast.

Inleiding

Reconstructie van bestaande scheepsvormen valt onder de veel gebezigde verzamelnaam 'Reverse Engineering', wat zoveel wil zeggen als 'het recreëren van een bestaande 3D geometrie in de vorm van een digitaal model'. Reverse engineering in de scheepsbouw kan diverse doelen dienen, bijvoorbeeld reparatiewerkzaamheden, aan-, her- of verbouw, het uitvoeren van berekeningen of toetsing aan bepaalde eisen. De noodzaak tot reverse engineering wordt in de meeste gevallen veroorzaakt door een gebrek aan documentatie. Ons uiteindelijke doel is het verkrijgen van een solid model, een model dat met PIAS-Fairway bewerkt kan worden. Fairway is de scheepsvorm-generatie en -bewerkingsmodule binnen het PIAS pakket.

Er zijn verschillende reconstructiemethoden beschikbaar. De grenzen van deze methoden qua praktische haalbaarheid en effectiviteit worden echter al snel genaderd, of overschreden bij de reconstructie van schepen van aanzienlijke afmetingen, of schepen die in een omgeving met veel obstructies liggen.

Het SARC heeft voor ogen gehad een meetmethode te implementeren in de vorm van

een PIAS-module, waarmee het in principe mogelijk moet zijn om alle mogelijke scheepsvormen te reconstrueren, ongeacht de afmetingen van het betreffende schip, of de omgeving waarin het betreffende schip zich bevindt. Bovendien is er ook als voorwaarde gesteld dat er geen grote bedragen zouden hoeven te worden geïnvesteerd in de benodigde meetapparatuur, waardoor het mogelijk blijft om de kosten per reconstructie relatief laag te houden.

Vanuit deze oogpunten gezien is fotogrammetrie de meest geschikte methode. Letterlijk betekent fotogrammetrie het meten met behulp van foto's. Het houdt in dat er foto's worden gemaakt van een object, vervolgens worden de foto's ingelezen in de computer, en ten slotte wordt er een digitaal 3D model gereconstrueerd. Een bijkomend voordeel van fotogrammetrie is dat er relatief weinig (na)bewerking van de meetdata nodig is om tot een bruikbaar model te komen.

Meetmethoden

Vier in de scheepsbouw gebruikte methoden zullen worden besproken. Dit zijn: directe meting, laserscanning, triangulatie en fotogrammetrie.

• Directe meting

De 3D coördinaten van een bepaald aantal punten worden met de hand gemeten op de binnenkant van de huid. Er wordt gemeten ten opzichte van constructiedelen waarvan de exacte locatie in het scheepsassenstelsel bekend is. Directe meting is alleen mogelijk indien de huid van binnenuit op alle plaatsen goed toegankelijk is. Dit is meestal niet het geval, door de aanwezigheid van de dubbele huid, tanks, isolatie, betimmering, etc. Het is ook mogelijk aan de buitenkant van de huid te meten, maar dan moet er ook nog een referentievlak gecreëerd worden, wat meestal niet eenvoudig is. Bovendien lopen de kosten in beide gevallen snel op door het grote aantal benodigde manuren.

• Laserscanning

De romp wordt als het ware 'afgetast' met behulp van een scanner. Met behulp van een laser wordt de afstand van de scanner tot het meetpunt gemeten. Doordat de oriëntatie van de laser ook wordt gemeten, kunnen de 3D coördinaten van het meetpunt berekend worden. Op deze manier kunnen in korte tijd een groot aantal punten ingemeten worden. Een nadeel is dat er vrij zicht op de gehele romp is vereist. Ook deze methode brengt hoge kosten met zich mee, veroorzaakt door de grote investering, die nodig is voor de aanschaf van een laserscanner.

• Triangulatie

Triangulatie betekent letterlijk driehoeksmeting. Y- en Z-coördinaten van punten op de romp worden gemeten op regelmatige lengtematen. Deze punten worden gemeten met behulp van speciale meetapparatuur. Een voorbeeld van dergelijke apparatuur wordt gegeven in figuur 1. Het bestaat uit een constructie, waaraan twee spoelen zijn gemonteerd. Door het aantal omwentelingen van de spoel te meten, wordt de lengte van de afgeholde lijnen (R1 en R2) berekend. De Y- en Z-coördinaat worden teruggerekend aan de hand van de lengtes van de twee lijnen. Deze methode vereist dat de romp geheel vrij staat. Het opmeten van schepen van grotere

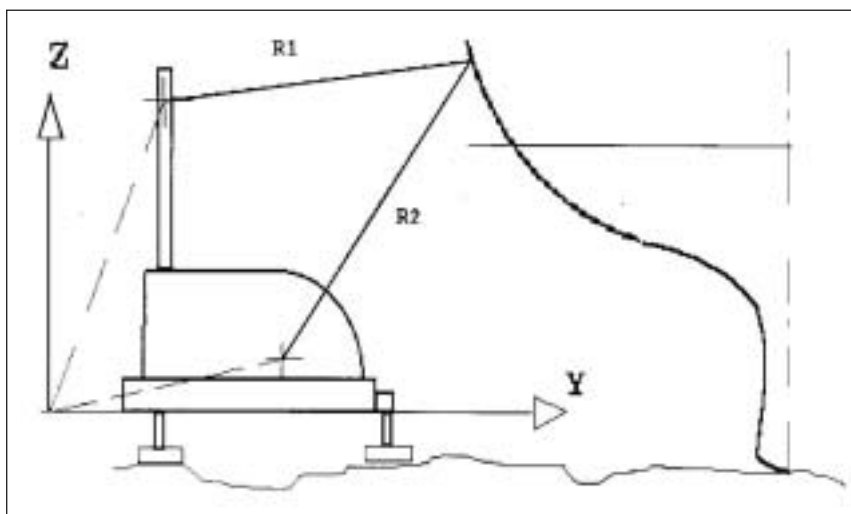


Fig.1 Bepalen van 3D coördinaten door triangulatie

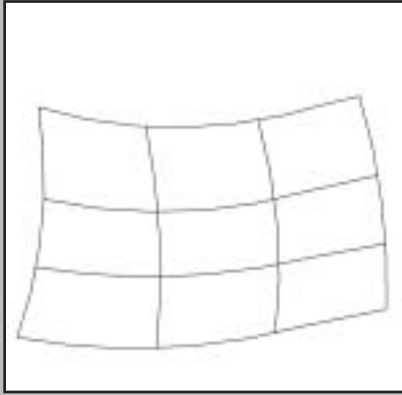


Fig. 3a. Regelmatig netwerk

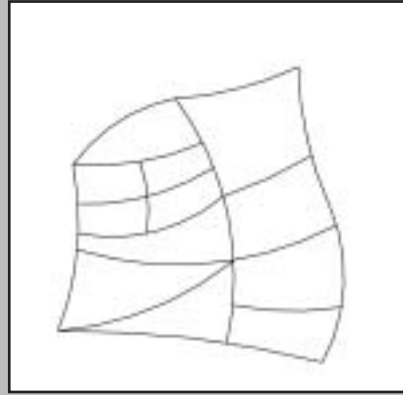


Fig. 3b. Onregelmatig netwerk

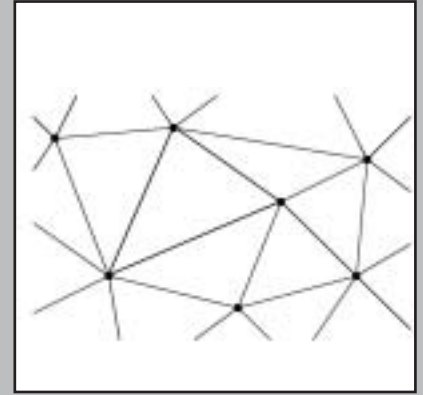


Fig. 3c. Getriangulariseerd netwerk

afmetingen is niet mogelijk met deze methode, omdat de meetapparatuur een beperkt bereik heeft.

• Fotogrammetrie

De 3D coördinaten van meetpunten worden berekend op basis van de afbeeldingen van deze meetpunten op meerdere foto's, en de coördinaten van een aantal referentiepunten. Bij het nemen van de foto's is men vrij in de keuze van locatie van de camera. Er moet wel aan een aantal voorwaarden worden voldaan, maar deze leggen in de praktijk weinig of geen beperkingen op. Hierdoor is fotogrammetrie een erg flexibele methode. Het is een lang beproefde methode, en wordt gebruikt op het gebied van, onder andere, de architectuur, de medische en biologische wetenschap en de industrie. Ook in de scheepsbouwwereld bestaat er een historie op het gebied van fotogrammetrie (Ref 1, Ref 2).

Samengevat zou men dus kunnen stellen dat van alle vier hierboven genoemde methoden alleen fotogrammetrie werkelijk flexibel is, en geschikt is om zowel schepen van grote afmetingen, als schepen die zich in een omgeving met veel obstructies bevinden, te reconstrueren. Bovendien hebben de andere drie methoden nog een gezamenlijk nadeel, dat een grote rol speelt in de nabewerking van de meetgegevens. Er wordt namelijk geen enkel verband gelegd tussen de meetpunten, er wordt slechts een zogenaamde 'puntenwolk' gegenereerd. Dit probleem kan door het gebruik van fotogrammetrie op eenvoudige wijze overwonnen worden.

Van puntenwolk tot solid model

Ons einddoel van de reconstructie is het verkrijgen van een ondubbelzinnig model van de rompvorm, wat in ons geval een solid model is. Het is echter niet eenvoudig om van een puntenwolk tot een solid model te komen. In het verleden zijn op dit punt dan ook al diverse projecten stukgelopen. Een object kan op verschillende manieren gerepresenteerd wor-

den, zie figuur 2. Een puntenwolk is een verzameling punten, zonder im- of expliciete geometrische informatie van het object. Een lijnenmodel of een vlakkenmodel bevat wel

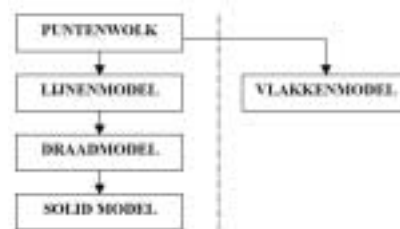


Fig. 2 Van puntenwolk tot solid model

impliciete geometrische informatie. In geval van een draadmodel is er ook nog expliciete informatie aanwezig over de snijpunten van de verschillende lijnen. De representatievorm die beoogd wordt, het solid model, bevat behalve geometrische informatie (de vorm) ook

nog topologische informatie (de 'samenhang' van de vorm) ten aanzien van het model.

Nu zijn er tal van software pakketten te koop die werken op basis een vlakkenmodel. Dit heeft echter een groot aantal nadelen, wat destijds voor SARC een belangrijke reden is geweest om Fairway (dat werkt op basis van solid models) te ontwikkelen (Ref. 3). In het kader van reversed engineering is het belangrijkste probleem, dat het alleen mogelijk is om van een puntenwolk tot een vlakken model te komen, als de punten een rechthoekige, regelmatige verdeling over de romp vormen (zie figuur 3a). Veel gebieden op een romp passen niet in zo'n verdeling. Gebruik van een onregelmatige verdeling (zie figuur 3b) van punten is dus gewenst. Fairway is wel in staat te werken met een model dat wordt beschreven door een onregelmatig netwerk van punten en lijnen (Ref. 4).

Hier ligt de grondslag van de beslissing om fotogrammetrie als methode te gebruiken.

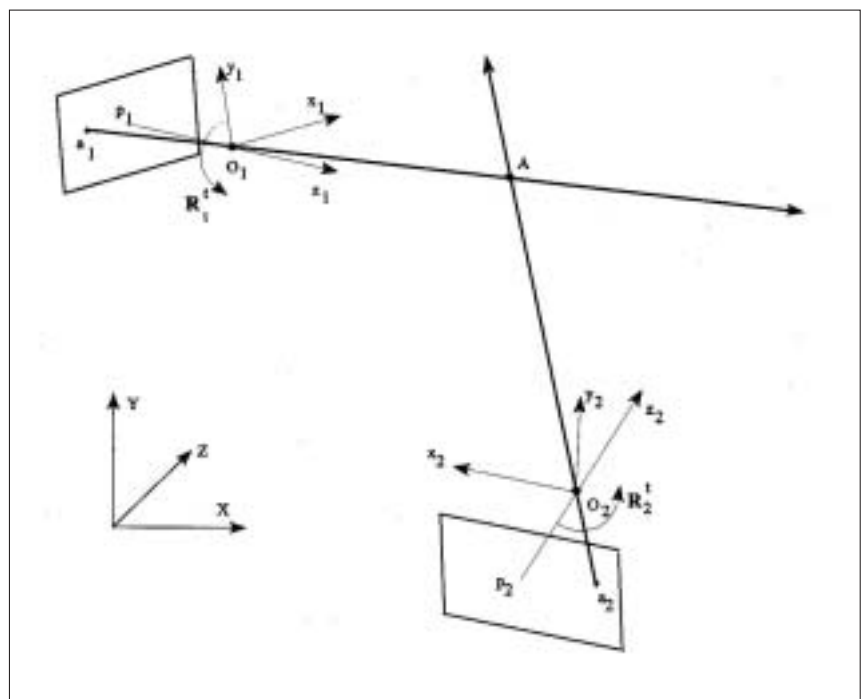


Fig. 4 Berekenen 3D coördinaten van een meetpunt met snijdende zichtlijnen

Omdat er met foto's wordt gewerkt, waarop zowel de meetpunten als het object te zien zijn, kan het verband tussen de meetpunten op eenvoudige wijze door de gebruiker gedefinieerd worden. Op deze wijze ontstaat er uit de puntenwolk een draadmodel, dat met behulp van de PIAS-module To_Fair kan worden omgezet in een solid model (Ref. 5). Bij gebruik van andere methoden is het zeer bewerkelijk om de gebruiker het verband tussen de meetpunten te laten definiëren, omdat er slechts een verzameling losse punten bestaat, en er geen visuele steun is in de vorm van foto's.

Ook de beslissing om zelf een module te implementeren, en niet een bestaand fotogrammetrisch pakket te kopen, hangt met deze problematiek samen. Bij de meeste pakketten bestaat namelijk niet de mogelijkheid om verband tussen de meetpunten aan te geven. De enkele pakketten die deze mogelijkheid wel hebben, werken op basis van een vlakkenmodel.

Volledigheidshalve dient ook triangularisatie besproken te worden. Triangularisatie is een methode om een oppervlak te genereren op basis van een puntenwolk. Tussen de punten worden middels een bepaald algoritme drie-

hoeken gevormd (zie figuur 3c). Deze driehoeken beschrijven de vorm van het object. Het resultaat is echter slechts een weergave van het object. Er kunnen dus geen bewerkingen worden uitgevoerd.

Grondbeginselen van de fotogrammetrie

De werking van fotogrammetrie berust op stereovisie. De 3D coördinaten van meetpunten worden berekend op basis van de afbeeldingen van deze meetpunten op meerdere foto's. Men kan hier een vergelijking trekken met de mens, die om diepte te zien ook twee ogen nodig heeft. Dit principe wordt geïllustreerd in Figuur 4.

Te zien zijn de afbeeldingen a1 en a2 van punt A op twee verschillende foto's. Vanuit a1 en a2 kunnen twee zichtlijnen worden getrokken die door de brandpunten O1 en O2 gaan. Het snijpunt van deze twee zichtlijnen definieert de 3D coördinaten van A. Dit principe noemt men 'intersection'. De locatie en oriëntatie van de camera ten tijde van het nemen van elke foto dienen bekend te zijn. Deze worden berekend aan de hand van zogenaamde referentiepunten. Dit zijn meetpunten waarvan de 3D coördinaten al

bij voorbaat bekend zijn, en die tevens gebruikt worden om het uiteindelijke model de juiste schaal en oriëntatie te geven.

Omdat er met gemeten waarden wordt gewerkt, zullen de zichtlijnen elkaar echter niet exact snijden, en kan er dus ook geen exacte oplossing worden gevonden. Daarom wordt het hele systeem van meetpunten en camerolocaties en oriëntaties numeriek geoptimaliseerd met de kleinste kwadraten methode. Het resultaat hiervan is de meest nauwkeurige set 3D coördinaten van de meetpunten. Op deze manier wordt met meerdere foto's en meerdere meetpunten een object compleet in kaart gebracht.

Verzamelen van meetgegevens

Onder meetgegevens wordt verstaan: de foto's van het object en de coördinaten van de referentiepunten. De volgende stappen worden gewoonlijk genomen ten behoeve van het verzamelen van meetgegevens in een fotogrammetrisch proces:

1. *Plaatsen en inmeten van referentiepunten*
Er zijn minimaal 4 referentiepunten nodig. In de praktijk wordt meestal het dubbele aantal gebruikt; dit om meer zekerheid in te bouwen. Bovendien is het rekenkundig gezien



Fig.5 De 7 Provinciën in aanbouw



Fig.7 Plaatsen meetpunten



Fig.6 Markeren referentiepunten

gunstig om zoveel mogelijk referentiepunten te gebruiken. Deze punten kunnen zich op het te meten object bevinden, maar ook op een willekeurige plek daarbuiten. Voorwaarde is wel dat de punten een goede spreiding moeten hebben, om uiteindelijk tot nauwkeurige resultaten te kunnen komen. Na plaatsing moeten de referentiepunten worden ingemeten, wat doorgaans gebeurt middels conventionele methoden. Het is ook mogelijk om slechts één of twee coördinaten van een bepaald punt te gebruiken, indien het niet mogelijk is drie coördinaten (x,y,z) te achterhalen. Het assenstelsel waarin uiteindelijk de coördinaten van de meetpunten gegeven worden.

2. Markeren van de meetpunten

Om meetpunten te creëren worden bepaalde locaties op het object gemarkeerd met stickers, verf of kalk. Indien het object een grote omvang heeft, wordt er gebruik gemaakt van stellingen of een kraan. Hiernaast kunnen ook natuurlijke markeringen als meetpunten worden gebruikt, bijvoorbeeld hoekpunten of snijpunten van lasnaden.

3. Nemen van foto's

De foto's worden vanuit verschillende posi-

ties worden genomen, om het effect van stereovisie te kunnen benutten. Hierbij moet elk meetpunt op minstens twee foto's voorkomen. Er wordt gebruik gemaakt van een speciale digitale metrische camera. Een dergelijke camera heeft een relatief kleine, constante en bekende lensafwijking. Deze afwijking wordt later gecorrigeerd, om nauwkeurigere resultaten te verkrijgen. Het is echter ook mogelijk om een niet-metrische digitale camera of een normale filmcamera en een scanner te gebruiken. Een nadeel hierbij is dat er met minder nauwkeurige resultaten genoeg zal moeten worden genomen.

Verwerken van meetgegevens met PhotoShip

Ook nu wordt er in verschillende stappen gewerkt:

1. Inlezen van de foto's

De meest geschikte foto's worden door de gebruiker geselecteerd en ingelezen. Daarnaast worden de cameragegevens ingevoerd. Onder cameragegevens wordt verstaan de brandpuntafstand, de afmetingen van de CCD-chip (de lichtsensor waarmee het beeld wordt vastgelegd), en eventueel

een aantal parameters die betrekking hebben op de lensafwijking.

2. Aanwijzen van meetpunten op foto's

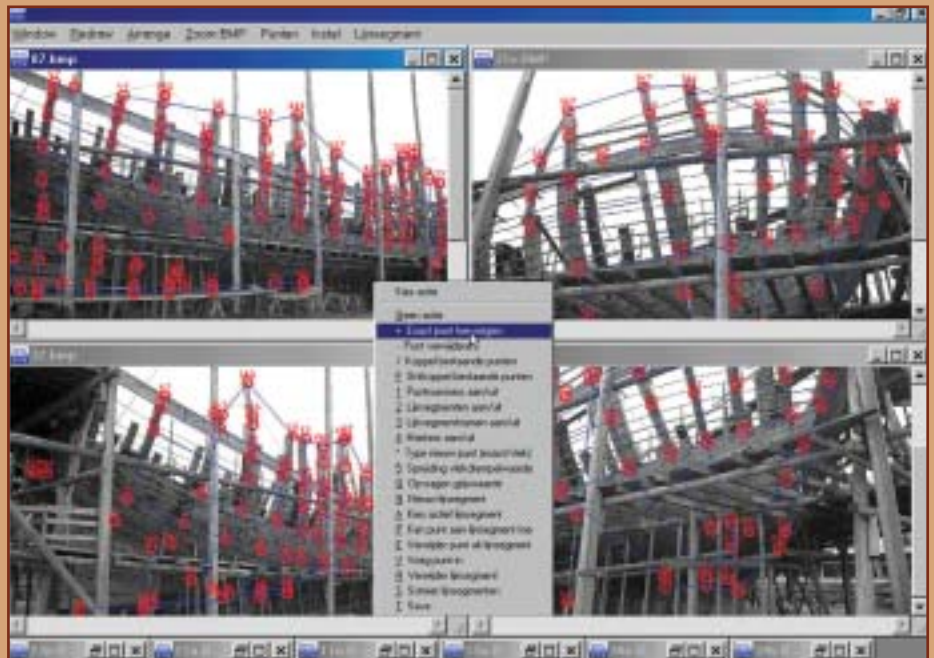
De gebruiker wijst de meetpunten aan, waarna de software de coördinaten berekent in het assenstelsel van de foto, en vervolgens het punt markeert. Men heeft hier twee mogelijkheden. De eerste mogelijkheid is het exact aanwijzen van een punt. Aangezien het beeld is opgebouwd uit een eindig aantal pixels, kan er maar tot op een bepaald niveau (pixelniveau) worden ingezoomd. Hierdoor is de precisie waarmee het punt kan worden aangewezen beperkt.

Met de tweede mogelijkheid, 'marker matching', kan met een grotere precisie worden gewerkt. Het algoritme waar marker matching op is gebaseerd, kan meetpunten op foto's herkennen op basis van een verschil in contrast met zijn achtergrond. Anders gezegd, er wordt afgewogen welke pixels wel, en welke pixels niet tot het gemarkeerde meetpunt behoren. Vervolgens wordt de ligging van het zwaartepunt van alle tot het meetpunt behorende pixels berekend. Hierbij wordt de mate van contrast met de achtergrond als gewichtsfactor meegenomen, waardoor pixels die op de grens van



Fig.8 Foto's nemen

Fig.9 foto's, meetpunten en verbindingen van de 7 Provinciën



het meetpunt en de achtergrond liggen, en die dus een minder scherp contrast hebben, ook minder zwaar gewogen worden. Op deze manier wordt er dus op sub-pixel niveau gemeten. Hierdoor kunnen aanzienlijk nauwkeuriger eindresultaten worden verkregen. Indien er gebruik wordt gemaakt van marker matching, moet het contrast tussen markering en achtergrond zo groot mogelijk zijn. Aangezien het algoritme pixels selecteert op basis van hun grijswaarde, betekent dit in de praktijk dat er of witte, of zwarte markeringen gebruikt worden (afhankelijk van de kleur van het object).

3. Koppelen van aangewezen punten

Handmatig wordt aangegeven welke markeringen afbeeldingen van hetzelfde meetpunt op verschillende foto's zijn.

4. Aangeven verband tussen meetpunten

In verband met verdere verwerking van het model van het te meten object worden de meetpunten geordend langs denkbeeldige lijnen, waardoor het eerder genoemde lijnenmodel ontstaat. Ook deze activiteit wordt door de gebruiker uitgevoerd, die met behulp van de foto's een netwerk opbouwt.

5. Invoeren coördinaten van referentiepunten

Deze informatie is noodzakelijk om het 3D model de juiste absolute oriëntatie en schaal te geven, en de cameraplocaties te kunnen berekenen.

6. Berekenen cameraplocatie en -oriëntatie

Om eerder besproken redenen worden de positie en oriëntatie van elke foto berekend op basis van de referentiepunten. Dit gebeurt met behulp van een algoritme dat is gebaseerd op conventionele fotogrammetrische technieken (Ref. 6). Tevens worden in het verloop van dit proces aannames voor de 3D coördinaten van de meetpunten verkregen.

7. Berekenen van 3D coördinaten van meetpunten

De aannames voor de coördinaten worden geoptimaliseerd met behulp van de kleinste kwadraten methode. Er is nu een 3D draadmodel van het object. De volgende stap bestaat uit de nabewerking die nodig is om het model bruikbaar te maken, wat ons op PIAS-niveau brengt:

De plaats van PhotoShip in PIAS

Omdat Fairway werkt op basis van solid models en er slechts een draadmodel voor handen is, moet er nog een tussenstap genomen worden. Deze tussenstap wordt

uitgevoerd met behulp van de PIAS-module To_Fair. To_Fair genereert een solid model op basis van het uit PhotoShip geïmporteerde draadmodel. Dit solid model wordt in Fairway ingelezen, waarna de nabewerking plaatsvindt. Hierbij kan worden gedacht aan het aangeven van kniklijnen, plaatsen van een dek, eventueel stroken van het model, etc.

Reconstructie van de 7 Provinciën

Om PhotoShip en de praktische haalbaarheid van de gebruikte methode te testen, is er een project uitgevoerd, bestaande uit de reconstructie van de in aanbouw zijnde "7 Provinciën", een schip van de volgende afmetingen: (LxBxH) 46.14x12.14x4.74 m (figuur 5) Dit schip is een reconstructie van het origineel, dat in 1665 is gebouwd, en in zijn glorieedagen het vlaggenschip van Admiraal Michiel de Ruyter was. Het kan bezichtigd worden op de Bataviawerf te Lelystad, en meer informatie kan gevonden worden op de website www.bataviawerf.nl.

In juli 2002 zijn op de Bataviawerf foto's genomen. Met behulp van in totaal 86 foto's en door gebruik van PhotoShip is er een compleet 3D model gecreëerd, waarbij de bak-

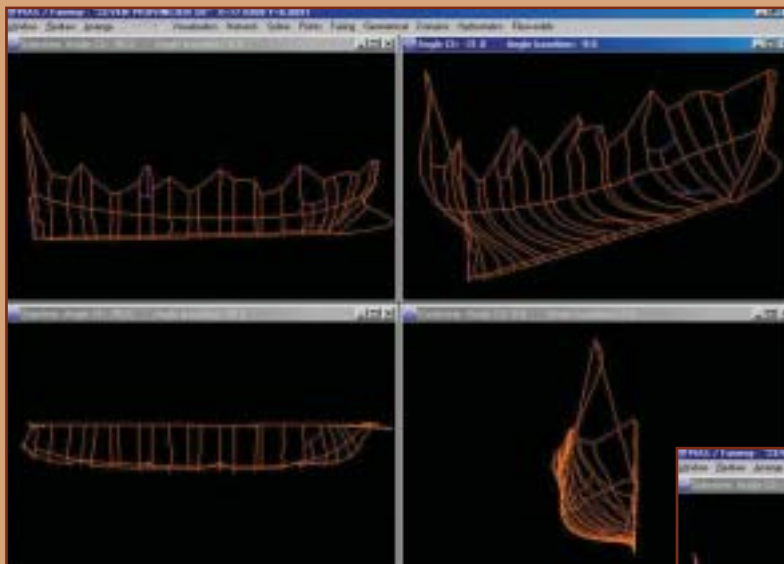
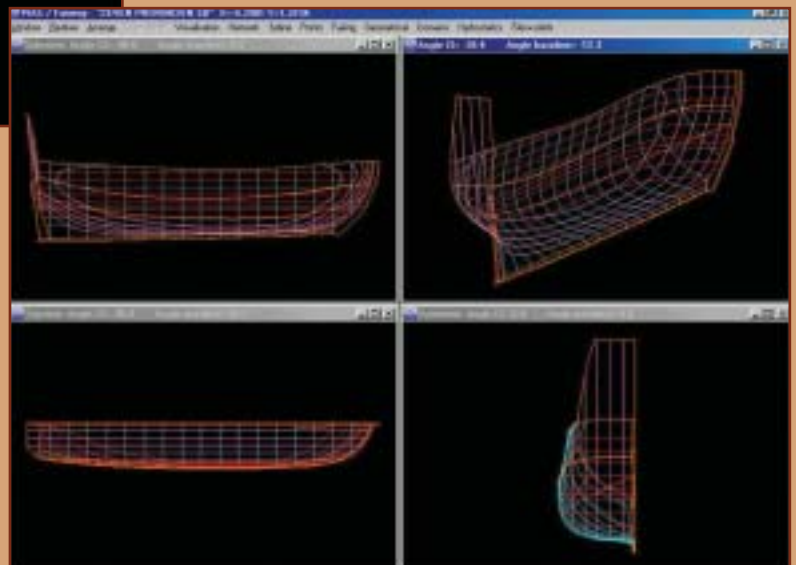


Fig.10 Ruw model van de 7 Provinciën in Fairway

Fig.11 Model van de 7 Provinciën na nabewerking



boordzijde en de stuurboordzijde afzonderlijk zijn gereconstrueerd. Dit project heeft bovenal de flexibiliteit van de gebruikte methode aangetoond. Ten eerste omdat er geen punten op de romp zelf als referentie gebruikt konden worden, wat is opgelost door zelf referentiepunten te creëren. Ten tweede was de romp omgeven door steigers, en bovendien gestut op een groot aantal palen. Hierdoor werd het zicht op de romp aanzienlijk belemmerd. Dit probleem is overwonnen door een relatief groot aantal foto's te gebruiken. Aan de hand van afbeeldingen, die kort zullen worden toegelicht, zal deze de reconstructie worden getoond:

Figuur 6, 7 en 8 tonen het verzamelen van de meetgegevens. Om referentiepunten te creëren zijn 3 loodlijnen opgehangen, waaraan markeringen zijn bevestigd (figuur 6). Als markering voor de meetpunten zijn houten schijfjes met een doorsnede van 5 cm gebruikt, die met behulp van een accuboormachine eenvoudig op de romp konden worden geschroefd. Om bij moeilijk bereikbare plekken te komen, is gebruik gemaakt van een kraan (figuur 7). Het nemen van de foto's werd bemoeilijkt doordat het zicht belemmerd werd

door steigers en stutten (figuur 8).

In het belangrijkste deel van de user-interface van PhotoShip (figuur 9) worden de foto's ingelezen, meetpunten (de genummerde rode cirkels) aangewezen en gekoppeld, en wordt tenslotte verband gelegd tussen de meetpunten (de blauwe lijnen). Na berekening van de 3D coördinaten van de meetpunten en generatie van een solid model door To_Fair, wordt het model in Fairway ingelezen (figuur 10). Omdat het schip nog steeds in aanbouw is, is er nog geen duidelijke deklijn aanwezig, en verspringt de begrenzing van het model aan de bovenzijde. Ook slingeren bepaalde lijnen (bijvoorbeeld de boeglijn) door, omdat nog niet is aangegeven welke meetpunten op een kniklijn liggen.

Vervolgens vindt de nabewerking van het model plaats, waarna de gewenste doorsneden gegenereerd worden (figuur 11 en 12). Te zien is hoe er onder andere een vloeiend verlopende deklijn is geëxtrapoleerd. Het eindresultaat is het lijnenplan in figuur 13.

Ing. P.H.A Zevenbergen is werkzaam bij het Scheepsbouwkundig Advies en Reken centrum Centrum (SARC) te Bussum

Referenties:

- (1) Stijnen, P., "Fotogrammetrie als meettechniek in de scheepsbouw", Schip & Werf de Zee, no 8, 1982, pp.115-122.
- (2) Van Voorden, A., "Rondheidsbepaling van een onderzeebootsectie", Schip & Werf de Zee, no 2, 1991, pp. 77-81.
- (3) Koelman, H.J., "Ontwerpen en stroken met PIAS-Fairway", Schip & Werf de Zee, Oktober 1995, pp. 14-17.
- (4) Koelman, H.J., "Properties, resemblances and differences between CAD programs for hull form design", The Naval Architect, Januari 2002, pp. 42-45.
- (5) Koelman, H.J.; Soede, W.B. (2002), "Construction of a Manifold Ship Hull Model, Derived from a Wireframe Mesh", Proc. Fourth International Symposium on Tools and Methods of Competitive Engineering, April 22-26, Wuhan, China, pp. 221-228.
- (6) Kraus, K., "Photogrammetry", Vol. 1, 2000, and Vol. 2, 1997.
- (7) Atkinson, K. B., "Close Range Photogrammetry and Machine Vision", Whittles Publishing, Caithness, UK, 2001.

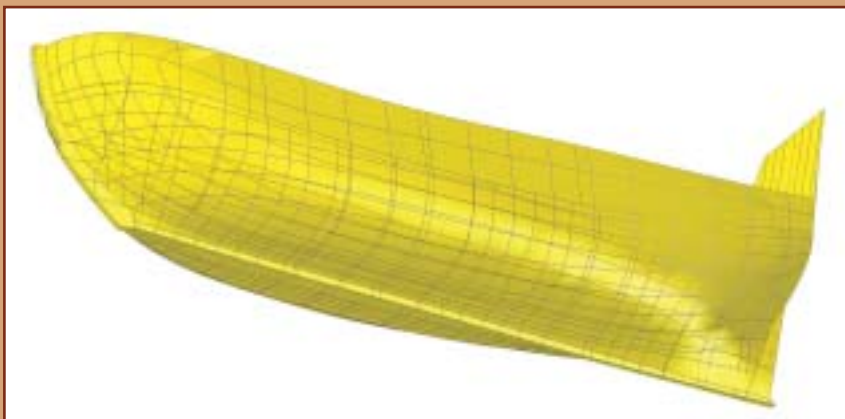


Fig.12 Gerenderd model van de 7 Provinciën

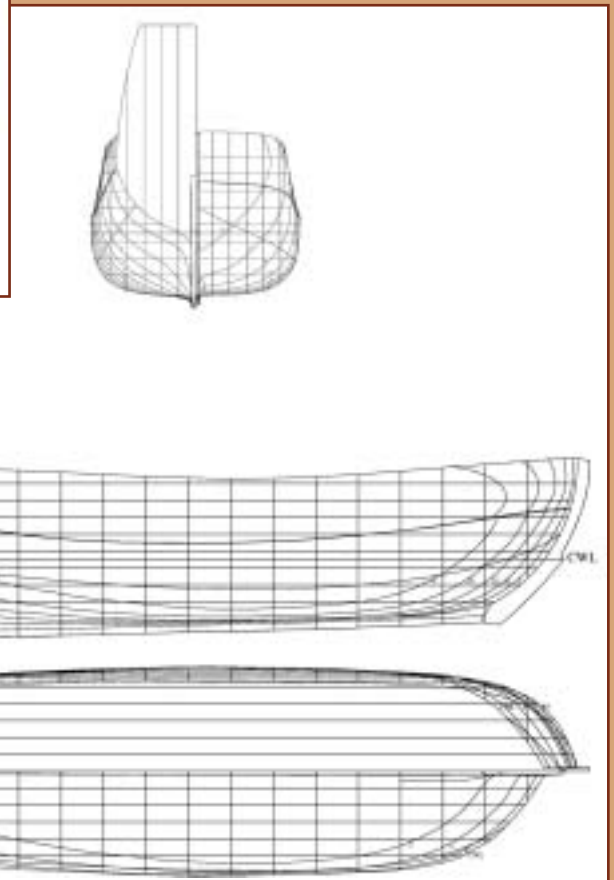


Fig.13 Lijnenplan van de 7 Provinciën