



BETTER SHIPS, BLUE OCEANS

**Do-It Deterministische Golfradar
Openbaar Eindrapport**

Report No. : 29626-5-PaS
Date : 02 september 2019
Version : 1.0

Project titel : Do-It Deterministische Golfradar

MARIN opdracht No. : 29626
RVO ref. : TEHE116351
MARIN Project Manager : Ir Jos Koning
MARIN JIP Manager : Ir Henk van den Boom

Project periode: : 10 februari 2017 - 30 juni 2019

Classificatie : Openbaar
Aantal pagina's : 15

Penvoerder : MARIN JIP
Medeaanvragers : RADAC, Delft
: Damen Shipyards, Gorinchem
: Next Ocean, Delft

Dit project is uitgevoerd met subsidie van het Ministerie van Economische Zaken, Nationale regelingen EZ-subsidies, Topsector Energie uitgevoerd door Rijksdienst voor Ondernemend Nederland

Dit rapport is op aanvraag kosteloos verkrijgbaar bij MARIN

Auteurs : Henk van den Boom
Gecontroleerd door : Jos Koning, Rolf van der Vlugt

Version	Date	Version description	Checked by	Released by
01	02september2019	final	JK & RvdV	HvdB

INHOUD	PAGE
SAMENVATTING.....	4
1 ACHTERGROND	5
2 DOELSTELLING	7
3 DE ONTWIKKELING	8
4 DEMONSTRATIE EN VALIDATIE AAN BOORD	11
5 RESULTATEN	12
6 CONCLUSIES.....	14

SAMENVATTING

Ten behoeve van snelle kleine vaartuigen op zee is een nieuw type 'phased array' radarsysteem ontwikkeld waarmee deterministisch golven kunnen worden bepaald. Tevens kunnen met het systeem de golf geïnduceerde bewegingen ongeveer 20 seconden voordat zij optreden, worden gevisualiseerd aan boord. Zo'n systeem kan de veiligheid en efficiency van kleine snelle boten zoals CTV's, crewtenders, RHIBS en reddingboten verbeteren met name bij slecht zicht zoals 's nachts en in regen of mist.

Binnen het Do-It project is door Radac, Marin, Damen en NextOcean zo'n nieuw radarsysteem ontwikkeld, getest en gedemonstreerd. Het nieuwe systeem bestaat uit een compacte robuuste en vaste phased array FMCW radar die over een sector van 90 graden tot 500 m ver de golven signaleert. Vervolgens wordt hieruit het 3-D golfbeeld bepaald en de golven naar het schip gepropageerd. Met deze golven worden de komende bewegingen en golfimpacts berekend en zichtbaar gemaakt voor de roerganger.

Het systeem is door de partners ontwikkeld en getest in nauwe samenwerking met de KNRM die hiervoor met de "Jeanine Parqui", vanuit Hoek van Holland verschillende testvaarten heeft uitgevoerd. Op 27 Juni 2019 is het systeem met de verificatie resultaten gepresenteerd aan potentiële gebruikers.

Op korte termijn zal Radac de Phased Array Radar beschikbaar maken als remote wave sensor waarmee aan boord van schepen en platforms de ongestoorde golven gemeten kunnen worden. Ook kunnen met dit systeem real time aan boord de aankomende golven worden gevisualiseerd voor de roerganger. Vervolgens zullen de andere functionaliteiten zoals de bewegings- en impact predictie en visualisatie, beschikbaar komen voor gebruikers.

Het systeem kan ook de sloopssnelheid door het water nauwkeurig meten. Dit is van belang voor de analyse van snelheid/vermogen prestaties van alle sloopstypen. Op termijn biedt het systeem ook perspectief voor verdere automatisering van snelle boten middels ride control en autonoom varen.



1 ACHTERGROND

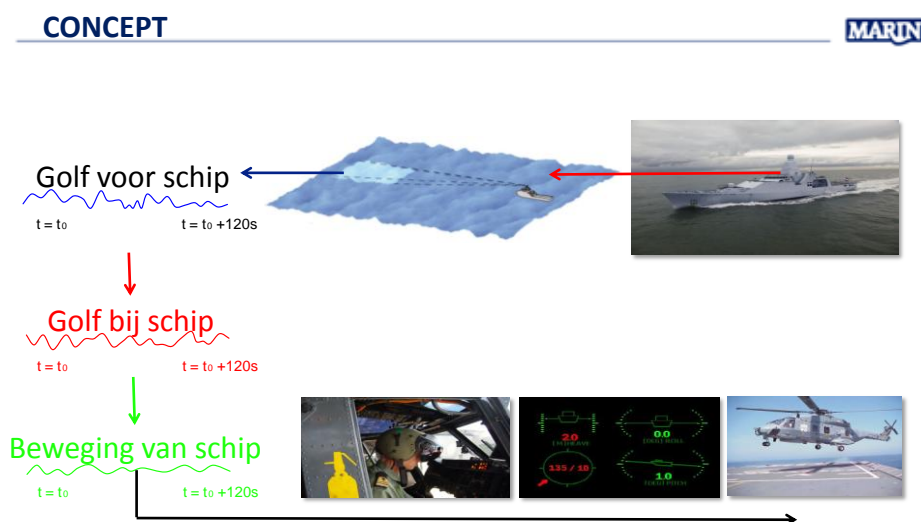
Voor het onderhoud van windturbines op zee, wordt gebruikgemaakt van Crew Transfer Vessels (CTV's). Deze relatief kleine snelle vaartuigen zorgen voor het vervoer en het overzetten van onderhoudstechnici. Het gedrag van CTV's in golven is bepalend voor de werkbaarheid, het comfort aan boord en de efficiency van het onderhoud. In slecht weer en bij slecht zicht kan niet gevaren worden, bij zeeziekte van een van de passagiers, wordt de trip afgebroken en bij grote bewegingen is de overstap op de turbine te gevaarlijk. Daarmee is het zeegangsgedrag van deze vaartuigen een kritieke factor in de uptime van offshore windparken.

Ook bij veel andere operaties op zee, zoals beloodsing, helikopterlandingen en lift-operaties, zijn de golf geïnduceerde bewegingen een kritieke factor in de werkbaarheid en veiligheid.

De operationele beslissing of een operatie al dan niet veilig uitgevoerd kan worden, is traditioneel gebaseerd op ervaring van de operationele staf en op de statistische omschrijving van de onregelmatige golven. Zo kan bijvoorbeeld de criteria voor de inzet van CTV's zijn dat de significante golfhoogte minder is dan 0.7 m, dat het zicht goed is en alleen bij daglicht mensen overstappen. Om deze reden worden in offshore windparken de golfhoogte en richtingen vaak continue gemeten [1].

Als de golven en de scheepsbewegingen vooraf betrouwbaar bekend zouden zijn kan hier echter door de roerganger en door automatische stuursystemen op geanticipeerd worden. Bij snelle schepen kan daarmee ook bij slecht zicht beter gestuurd worden en gas teruggenomen worden voordat een impact plaats vindt. Tevens kunnen perioden van weinig beweging (zogenaamde quiescent periods) geïdentificeerd worden, in deze periode kunnen dan korte bewegingskritieke operaties zoals het overstappen op een OWT of het landen van een helikopter uitgevoerd worden. Recent onderzoek heeft aangetoond dat het projecteren van het naderende golfoppervlak en de verwachte scheepsbewegingen, kunnen bijdragen aan het reduceren en zelfs voorkomen van zeeziekte aan boord van kleine snelle schepen.

In de afgelopen 10 jaar is een concept ontwikkeld om golf geïnduceerde bewegingen van grote platforms en schepen met lage snelheid, real time aan boord zo'n 2 minuten van tevoren te voorspellen [2].



Dit concept is gebaseerd op het vastleggen van het golfpatroon tot 2 mijl voor het schip met een X-band navigatie radar. Middels een golfpropagatiemodel wordt vervolgens berekend hoe het golfpatroon er over 2 minuten bij het schip uit ziet. Vervolgens wordt er met een scheepsbewegingen

model, de scheepsbewegingen over 2 minuten voorspeld. De haalbaarheid van dit concept is in 2008 voor het eerst aangetoond in het On board Wave and Motion Estimator (OWME) project

Een belangrijke beperking van het concept wordt veroorzaakt door gebruik van de X-band navigatie radar. Deze sensor is wel geschikt voor het bepalen van de golfrichting en golflengte maar levert geen betrouwbaar signaal voor de golfhoogte. De intensiteit van de back-scatter die hiervoor wordt gebruikt is meer een maat voor de windsnelheid dan voor de golfhoogte. Met aanvullende informatie zoals de gemeten scheepsbewegingen en de relatieve golfhoogte gemeten ter plaatse van de boeg kan de kwaliteit van de 3-D golf data aanzienlijk worden verbeterd [3].

In het Promised project werd deze aanpak toegepast door de gemeten scheepsbewegingen op basis van een lineaire overdrachtsfunctie terug te rekenen naar de golfhoogte. Daarmee werden aan boord van grotere schepen bij lage snelheid en matige golfcondities goede resultaten behaald [4].

Snelle kleine vaartuigen kenmerken zich echter door een sterk niet-lineair zeegangsgedrag waarbij de verticale versnellingen op de boeg een belangrijke maat is voor de golfimpacts (Paaltje pikken) [5]. Verder is de X-band roterende scanner qua omvang en kosten minder geschikt voor deze snelle boten. Daarom is in het project Forward Radar projectonderzoek gedaan aan FMCW (Frequency Modulated Continuous Wave) starende radarantennes als 3-D golfsensor. Met dit type radarantenne kunnen hoogfrequent de orbitaal snelheden van de waterdeeltjes worden gemeten waaruit de golfhoogte bepaald kan worden. Dit is in het Salute project aangetoond voor grote schepen en matige sloopssnelheden.

Voor de toepassing op snelle kleine vaartuigen gelden een aantal aanvullende eisen. Het is voor de beoogde toepassing voldoende om de bewegingen circa 10 tot 20 sec. vooraf beschikbaar te hebben. De antenne kan echter maar zo'n 5 tot 6 m boven het wateroppervlak geplaatst worden en heeft dus maar beperkt zicht naar voren vanwege het schaduw effect van de golven en vanwege de verticale scheepsbewegingen. Daarbij komt dat door de hoge snelheid van de boot (tot 30 knoop), de ontmoetingsfrequentie met de golven zeer hoog is en de golven het de boot snel naderen.

De radarantenne moet hoogfrequente informatie leveren over een horizontale sector van 90 graden. Daarnaast moet de radar compact en robuust zijn en bestand zijn tegen forse versnellingen door scheepsbewegingen en trillingen van de mast. Tevens moet het radarsysteem betaalbaar zijn voor relatief kleine schepen.

2 DOELSTELLING

Het Do-It Radar project heeft als doelstelling om een specifieke radar te ontwikkelen waarmee op kleine snelle vaartuigen het golfpatroon kan worden bepaald en waarmee de relevante golf geïnduceerde scheepsbewegingen 10 tot 15 seconden vooraf kunnen worden voorspeld. Tevens moet dit systeem Crew Transfer Vessels (CTV's) in staat stellen om 'quiescent periods' in de bewegingen te identificeren waarin het mogelijk is om veilig over te stappen naar de windturbine.



3 DE ONTWIKKELING

Om de doelstellingen te realiseren was een intensieve samenwerking nodig van specialisten op het gebied van moderne radar technologie, 3-D golf modelering, berekening van het gedrag van snelle boten in golven en van real time/fast time simulatietechnieken. Daartoe hebben Radac, MARIN, Damen en NextOcean de handen ineengeslagen en deze specialisten bijeengebracht in het Do-It projectteam. De KNRM, als potentiële gebruiker van zo'n systeem om hun reddingsboten ook bij slecht zicht met hoge snelheid zee op te sturen, sloot zich bij het projectteam aan. Het KNRM-team in Hoek van Holland voerde alle testvaarten uit ten behoeve van de component verificaties en uiteindelijk de test en demonstratie van het integrale systeem.

Het golfradar systeem dat door het Do-It projectteam is ontwikkeld bestaat uit de volgende onderdelen:

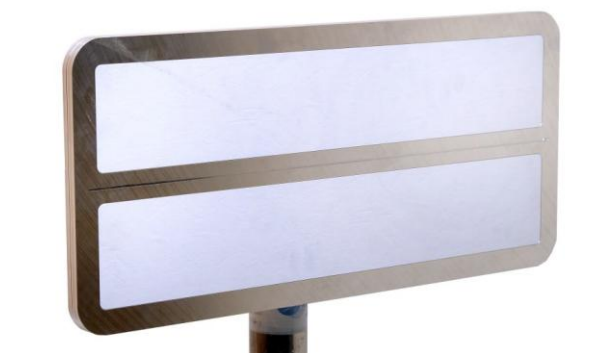
- Phased Array Radar
- Deterministisch 3-D golfmodel incl. golfvoortplanting
- Berekeningsmodel voor bewegingen en impacts voor snelle kleine schepen
- Integratie in een realtime/fast time XMF simulatie omgeving
- Grafische Presentatie van de resultaten
- Implementatie op een laptop voor realtime gebruik aan boord.

Binnen het Do-It ontwikkeltraject zijn bovenstaande onderdelen ontwikkeld en geverifieerd, vervolgens geïntegreerd in een real time simulatieomgeving en geïmplementeerd op een laptop voor gebruik aan boord. Tenslotte is het systeem gevalideerd en gedemonstreerd aan boord van de KNRM 'Jeanine Parqui' tot snelheden van 30 knoop. Hieronder zijn de belangrijkste ontwikkelingen en specificaties van het systeem in meer detail beschreven.

1. Phased Array Radar

Door Radac is, in nauwe samenwerking TNO, een geheel nieuw Phased Array Radar (PAR) systeem ontwikkeld. In eerste instantie werd een single beam systeem ontwikkeld waarmee diverse testen zowel onshore, near shore als offshore werden uitgevoerd. Op basis van de goede resultaten werd vervolgens een multi beam systeem ontwikkeld en gebouwd. Dit solid state systeem kan met 6000 Hz elektronisch een horizontale sector van 90 graden scannen. Op basis van de eerdere analyses is besloten om de golfdata over 5 richtingen in te zamelen.

De radarantenne is uitgevoerd in een compact (0.60 x 0.30 x 0.10 m) en robuust huis waaraan ook een motion sensor unit is gemonteerd.

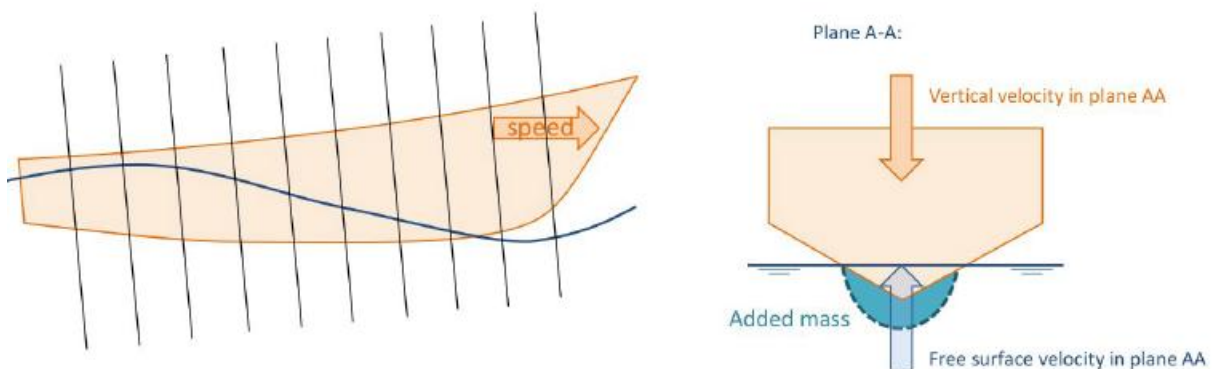


2. Ontwikkeling en verificatie van 3-D golfmodel uit PAR

Een belangrijk onderdeel van het Do-It systeem is het mathematische model waarmee het instantané onregelmatige 3-D golfoppervlak wordt afgeleid uit de radarsignalen. Hierbij wordt gebruik gemaakt van de orbitaal snelheids-informatie van de waterdeeltjes die de Phased Array Radar levert. Deze informatie wordt gekoppeld aan de fysische kenmerken van golven zoals de dispersie relatie. Voor de starende single beam FMCW-radar was hiervoor reeds een model ontwikkeld in het Salute project. Voor de nieuwe Phased Array Antenne is door MARIN een nieuw mathematisch model ontwikkeld, waarbij gebruik wordt gemaakt van de informatie over 5 richtingsstralen over de sectoren van + 45 graden tot -45 graden ten opzichte van de hartlijn van het schip. Door de snelheid van de boot is de ontmoetingsfrequentie van de golven hoog en daarom wordt het 3-D golfbeeld ververst met 10 Hz. Iedere 5 seconden wordt het golfbeeld opnieuw gepropageerd naar de locatie van de boot en wordt deze informatie doorgespeeld naar de berekening van de scheepsbewegingen.

3. Ontwikkeling en verificatie van het scheepsbewegingen model KARMAN

MARIN beschikte reeds over een bewegingsmodel voor snelle kleine boten genaamd KARMAN. KARMAN is gebaseerd op een vereenvoudigde beschrijving van de scheepsromp middels een aantal dwarsscheepse wiggen. Per wig worden de hydrodynamische krachten in een onregelmatige golf berekend en vervolgens worden de totale krachten en momenten op het schip bepaald en de bewegingen ten gevolge van deze krachten berekend. Daarbij worden alle 6 graden van vrijheid en ook de effecten van voortstuwing en roeren meegenomen [5].



Aangezien het hier om snelle planerende schepen gaat, is het krachtenspel veel complexer dan voor conventionele langzame schepen. Met name de verticale versnellingen van de boeg zijn van groot belang voor het correct berekenen van de golf impacts (paaltje pikken) die kritiek zijn voor de prestaties, de veiligheid en het comfort van dit scheepstype [5].

Ten behoeve van Do-It is dit rekenmodel opnieuw geprogrammeerd in XMF (Extended Marin Framework) format zodat dit in een realtime en fast time simulatieomgeving bruikbaar werd. Verder is het model uitgebreid getest en zijn systematische variaties van invoer onderzocht. Voor een drietal schepen zijn de resultaten van KARMAN vergeleken met de beschikbare resultaten van zeegangmodelproeven. Hierbij is geconcludeerd dat het KARMAN-model niet perfect maar wel 'fit for purpose' is.

In het Do-It systeem wordt KARMAN fast-time gedraaid. Voor het golfbeeld dat wordt aangeleverd door het golfmodel, worden voor de komende 20 seconden de scheepsbewegingen berekend. Daarmee zijn de scheepsbewegingen 20 sec. van tevoren bekend. Deze predictie wordt iedere 5 sec. ververst.

Tenslotte is voor de “Janine Parqui” van de KNRM een volledig KARMAN-model geconfigureerd ten behoeve van de full scale trials en demo van het systeem.

4. Integratie & implementatie van PAR, 3-D golfmodel en KARMAN in XMF

Alle softwaremodellen zijn door MARIN geïntegreerd in de real time/ fast time simulatieomgeving XMF en geïmplementeerd op een laptop zodanig dat de output van de PAR als input gelezen wordt, de radar data geprocessed wordt tot 3-D golf data, het 3-D golfbeeld gepropageerd wordt tot de scheepspositie, de krachten op het schip worden berekend en vervolgens de scheepsbewegingen worden voorspeld tot 20 sec. vooruit. Tenslotte worden deze golven en scheepsbewegingen gevisualiseerd voor de roerganger.

Een belangrijk knelpunt hierbij, is het gebruik van de verschillende tijdschalen van de modules. Terwijl het gehele systeem real time draait, moet het voorspellingsgedeelte fast time draaien. Daarbij moet de rekentijd minimaal zijn omdat deze af gaat van de voorspellings tijd (20 sec). Het systeem draait momenteel aan boord op een separate laptop maar kan geïntegreerd worden in bestaande computers en displays op de brug.



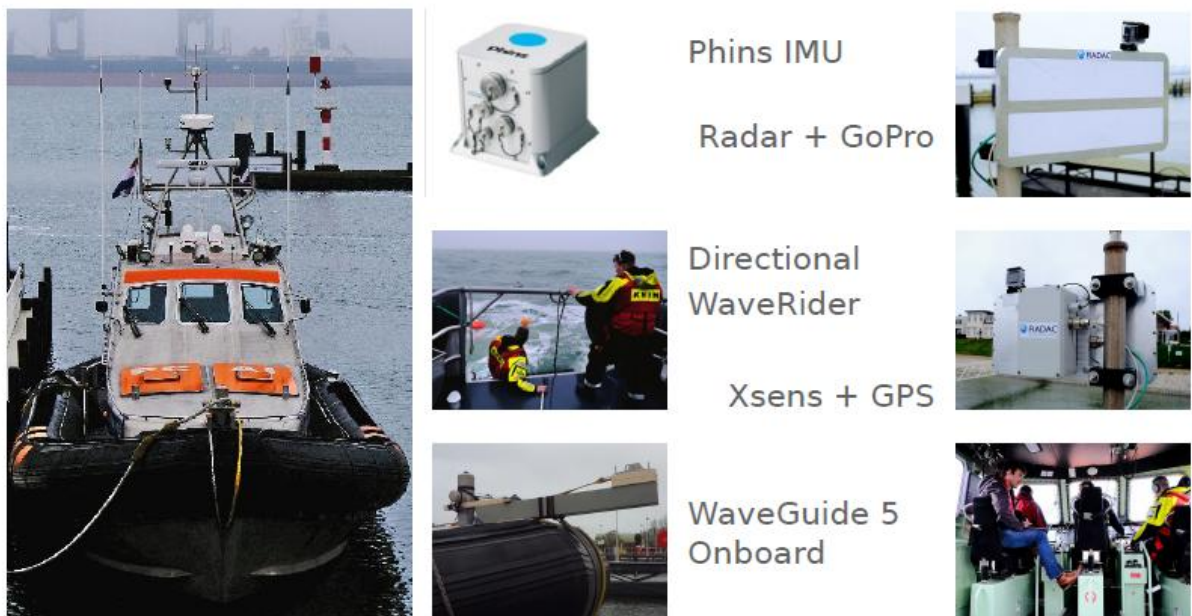
4 DEMONSTRATIE EN VALIDATIE AAN BOORD

De KNRM heeft de ontwikkeling van de DO-It golfradar ondersteunt met de uitvoering van testvaarten vanuit station Hoek van Holland. Voor de testvaarten werd de “Jeanine Parqui” steeds uitgerust met de volgende instrumentatie, die ook is weergegeven in onderstaande figuur:

- Do-It Radar in de mast (aanvankelijk single beam later multi beam)
- Xsens motion en GPS sensor in de radar
- Gopro video camera in de mast
- Wave Guide , Down looking radar op de boeg
- PHINS Inertia navigation sensor in de stuurhut
- Directional wave rider buoy in het test gebied
- Marin data acquisitiesysteem in de stuurhut

Tijdens de eerste test vaarten lag de nadruk op de werking van de individuele componenten van het Do-It systeem en het verzamelen van relevante data sets. In de eindfase lag de nadruk meer op de demonstratie van het integrale systeem en de verificatie daarvan. De finale verificatie en demonstratie test werd uitgevoerd op 20 mei 2019. De weersomstandigheden die dag waren ideaal om het systeem te testen. Bij een golfhoogte van 1.1 m konden de testen uitgevoerd worden tot een bootsnelheid van 30 knoop.

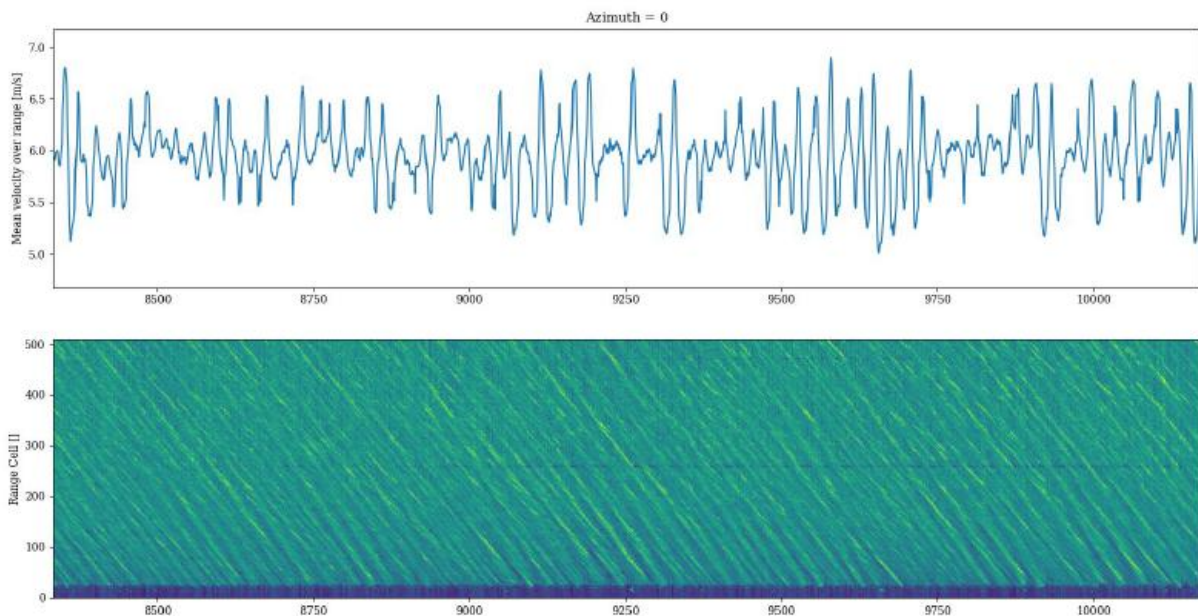
In deze omstandigheden is de definitieve Multi-beam phased array antenne in combinatie met het golfanalyse model en het scheepsbewegingen-predictiemodel vergeleken met de, door een golfboei gemeten, golfconditie en de gemeten scheepsbewegingen.



5 RESULTATEN

De resultaten van het Do-It project kunnen als volgt worden samengevat:

1. Een nieuwe compacte en robuuste multi-phase array radar voor het nauwkeurig meten van 3-D golven vanaf snel varende kleine vaartuigen,
2. Een nieuw golfanalyse model dat uit de phased array radarsignalen een 3-D golfbeeld met een nauwkeurige golfhoogten bepaalt en de golfhoogte ter plaatse van de boot 20 sec. vooruit berekent,
3. Een simulatiemodel voor niet-lineaire bewegingen van kleine snelle vaartuigen in golven gevalideerd aan de hand van modelproeven,
4. Een geïntegreerd systeem van bovenstaande modules dat geïmplementeerd op een laptop aan boord van een snel varende klein vaartuig, real time de golven en scheepsbewegingen tot 20 seconden vooruit berekend en zichtbaar maakt voor de bemanning.
5. De demonstratie en verificatie van het bovengenoemde systeem middels testvaarten vanuit Hoek van Holland aan boord van KNRM Hoek van Holland reddingsboot "Jeanine Parqui".



Het Do-It systeem levert een belangrijke bijdrage aan de veiligheid en werkbaarheid van kleine snelle boten in limiterende golfcondities. Met name de Offshore Wind Turbine Parken zijn voor hun onderhoud afhankelijk van Crew Transfer Vessels. De inzetbaarheid en werkbaarheid van deze relatief kleine boten, is sterk afhankelijk van het golfklimaat. Het Do-It systeem stelt deze schepen in staat ook met slecht zicht te varen, zeeziekte aan boord te verminderen en tijdens de overstap naar de turbine quiescent periods in de bewegingen te identificeren en benutten.

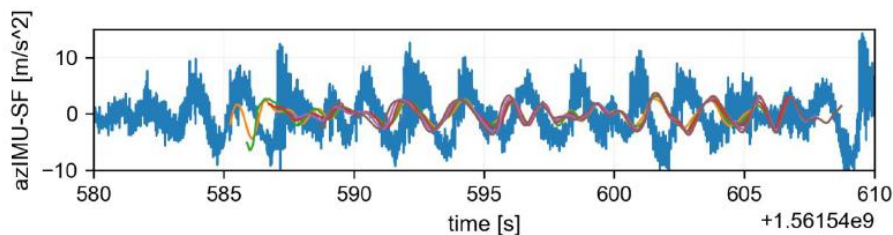
Gebleken is dat met het nieuwe systeem niet alleen nauwkeurig de 3-D deterministische golven gemeten kunnen worden maar dat de phased array radar ook nauwkeurig de scheepssnelheid door het water levert. Dit is een belangrijke spin-off omdat conventionele scheepsloggen notoir onnauwkeurig zijn en voor de performance analyse en brandstofbesparing aan boord van schepen, de snelheid door het water een cruciale parameter is.

De resultaten laten zien dat de ontwikkelde compacte, robuuste en betaalbare phased array FMCW-radar in staat is om nauwkeurig het 3-D golfbeeld tot 500 m ver vanaf een snel varende klein vaartuig vast te leggen. Dit is een grote stap voorwaarts ten opzichte van het gebruik van X-band puls radarsystemen die geen betrouwbare golfhoogte-informatie verstrekken. Ook het feit dat de nieuwe antenne deze golfinformatie verschaft tot bootsnelheden van 30 knoop, is een belangrijke verbetering van de bestaande technologie.

De volledige keten van radar, golfanalyse en scheepsbewegings- en impactpredictie is geïntegreerd en geïmplementeerd in een XMF simulatieomgeving die real-time aan boord draait op een krachtige laptop. Het systeem is in staat om de golven en scheepsbewegingen inclusief de versnellingen op de boeg tot 20 sec. vooruit te berekenen. De vergelijking tussen deze predictie en de feitelijk gemeten bewegingen 20 sec. later, laten in het golffrequente gebied een redelijke correlatie zien. Hoewel het scheepsbewegingenpredictie model als 'fit for purpose' beoordeeld is, zijn de ontwikkelaars zich bewust van de beperkingen van dit relatief eenvoudige numerieke model. De randvoorwaarde dat dit model veel sneller dan real time moet kunnen werken brengen deze beperkingen met zich mee. Hierdoor kan geen perfecte match tussen de voorspelling en de meetresultaten worden verwacht.

Een belangrijke observatie is verder dat de gemeten versnellingen (blauwe lijn in onderstaande registraties) veel meer hoogfrequente energie laten zien dan de gesimuleerde waarden. Deze hoogfrequente energie is gerelateerd aan de feitelijke trillingen van de antennemast. De bewegings sensor was namelijk gemonteerd in de radarantenne. Deze trillingen worden uiteraard niet mee genomen in het scheepsbewegingsmodel Karman.

20 second prediction of acceleration



De doelstelling om een systeem te ontwikkelen waarmee aan boord van snelle kleine vaartuigen de golven en scheepsbewegingen 15 sec. vooraf kunnen worden voorspeld is gerealiseerd. De absolute nauwkeurigheid van de bewegingsvoorspelling laat daarbij nog te wensen over zowel in de fase als in de amplitude van de versnellingen op de boeg. Deze verschillen komen naar verwachting met name voort uit het gebruikte scheepsbewegings- en impactmodel.

Verder dient de radarantenne trillingvrij te worden opgesteld, dan wel dienen de effecten van de trillingen uit de voorspelde bewegingen gefilterd te worden.

6 CONCLUSIES

In het Do-It Radar project is succesvol een nieuw radarsysteem ontwikkeld waarmee het 3-D golfbeeld tot 500 m ver kan worden bepaald vanaf een klein snel vaartuig. Deze radar is solid state, compact, robuust en betaalbaar. Het geheel is geïntegreerd met een golfvoortplantingsmodel en een scheepsbewegingen model en geïmplementeerd in een real time simulatieomgeving op een laptop. Met dit systeem kunnen aan boord real time de scheepsbewegingen en impacts 20 seconden vooruit worden voorspeld.

Hoewel de verificatie en demonstratie testvaarten hebben laten zien dat het systeem werkt en het 3-D golfveld nauwkeurig wordt gemeten door het systeem, kunnen de absolute waarden van de voorspelde bewegingen en versnellingen nog niet als nauwkeurig en betrouwbaar aangemerkt worden. De waargenomen verschillen tussen predicties en meetwaarden dienen verder onderzocht en geanalyseerd te worden. Duidelijk is wel dat de scheeps- en mast trillingen hebben bijgedragen aan deze verschillen maar dat ook het scheepsbewegingen- en impactmodel vatbaar is voor verbetering.

Dit project is uitgevoerd met subsidie van het Ministerie van Economische Zaken, Nationale regelingen EZ-subsidies, Topsector Energie uitgevoerd door Rijksdienst voor Ondernemend Nederland

Wageningen, september 2019
MARITIME RESEARCH INSTITUTE NETHERLANDS



Dr. ir. H. Bogaert
Head of Department Performance at Sea

LITERATUUR

1. "Wave Directional Radar Array"; Van der Vlugt, T., Stelwagen, U., Peters, H. Kokke, J. and Van den Boom, H., Published by TNO, 1999.
2. "On board Wave and Motion Estimator (OWME)"; Jens Dannenberg, Katrin Hessner, Peter Naaijen, Henk van den Boom and Konstanze Reichert, The International Society of Offshore and Polar Engineers (ISOPE), 2010.
3. "Comparisons of Means for Estimating Sea States from an Advanced Large Container Ship", Ulrik Dam Nielsen, Ingrid Marie Vincent Andersen and Jos Koning; PRADS 2013, Changwon City Korea 2013.
4. "Reducing Operational Risks by On-Board Phase Resolved Prediction of Wave Induced Ship Motions"; Peter Naaijen, Karel Rosen and Rene Huijsmans, ASME 2016 35th International Conference on Ocean, Offshore and Arctic Engineering
5. "Seakeeping Behavior of High Speed Ships, an Experimental and Numerical Study", Pepijn de Jong, PhD-Thesis, Delft 2011.
6. "A computational tool for the design of ride control systems for fast planing vessels"; Rijkens, A., Keuning, J.A. and Huijsmans R.H.M., International Shipbuilding Progress 58, 2011.

MARIN
P.O. Box 28

6700 AA Wageningen
The Netherlands

T +31 317 49 39 11
E info@marin.nl

I www.marin.nl
   