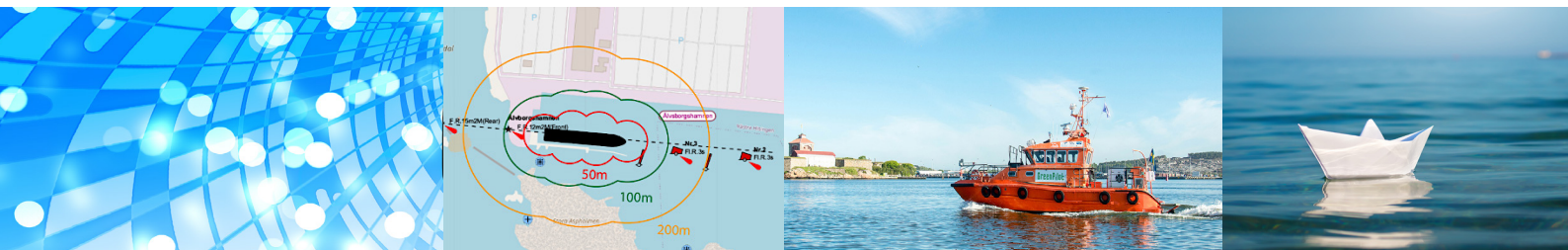


LIGHTHOUSE REPORTS

Nya sensorer – autonom säkerhet

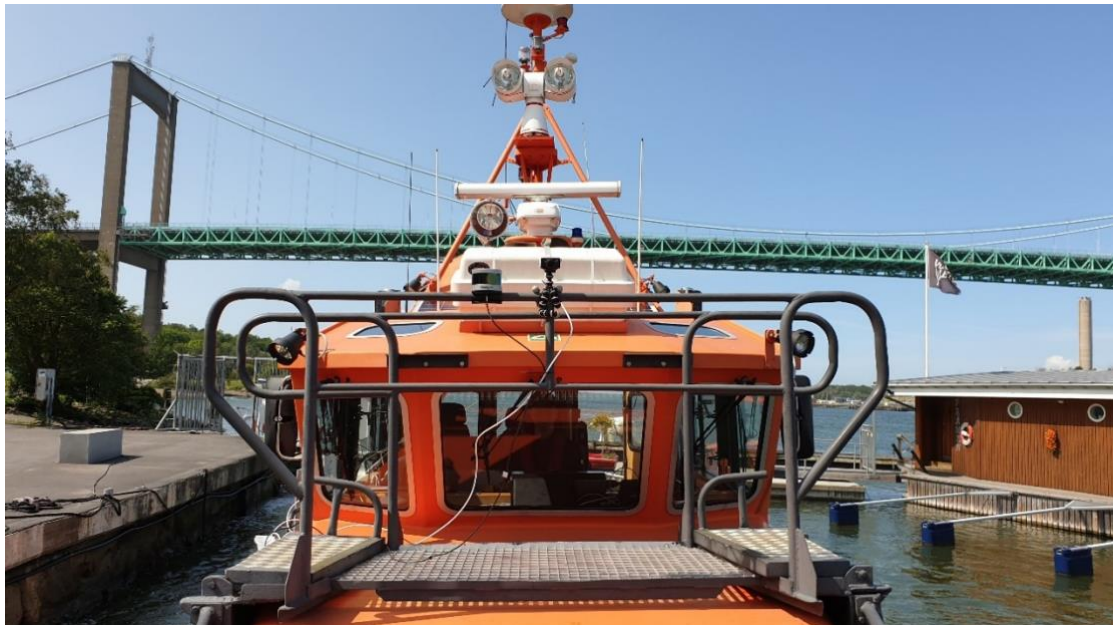
Fordons objekt-detekteringssensorer från aktiva säkerhetssystem, potentiell tillämpning och klassning för maritimt bruk.



**Ett innovationsprojekt utfört inom Trafikverkets
branschprogram Hållbar sjöfart som drivs av Lighthouse,
publicerad oktober 2021**

Nya sensorer – autonom säkerhet

Fordons objekt-detekteringssensorer från aktiva säkerhetssystem, potentiell tillämpning och klassning för maritimt bruk.



Författare

Robert Rylander, Erik Sandberg, Ted Sjöblom RISE Research Institutes of Sweden

Ola Benderius Chalmers tekniska högskola

I samarbete med

Stena Rederi, Trafikverket Färjerederiet, Wallenius Marine, Volvo Penta, ABB Marine, DNV

Summary

Vehicle sensors can supplement today's marine sensors, where these have limited operational coverage and contribute with new information in object detection and identification. Depending on the field of application, the vehicle sensors may need to be marine classified to secure operational stability in the maritime environment, especially if these new sensors will be part of operation critical systems. For object detection today, radar is mainly used, and this equipment has well-defined performance requirements set by the IMO. As such, operators can expect a certain level of performance regardless of the model or brand of the equipment. If new types of sensors are to be applied in navigation equipment, these must at least comply with current standards and regulations. Possible changes or additions may also be needed depending on how the new sensors will be used.

The LIDAR sensor has great potential to create a radar-like image for the immediate area near the vessel and thus be an addition to today's marine radar system. LIDAR could be included or adapted within the radar standard, but more work is needed to fully understand the LIDAR limitations, capabilities, redundancy, and performance degradation before requirements are defined. This study shows that LIDAR provides opportunities for new 3D visualization over the ship's nearby area, providing accurate identification and detection of objects, thereby being a new information source for mariners.

The optical cameras have great potential in marine applications. Object detection and identification on radar or chart information can be optically validated by a camera system. But the biggest challenge with the optical camera lies in how the systems are to be validated/certified to guarantee the correct performance requirements, since image analysis technology often uses machine learning algorithms, which turns some systems into black box solutions. Due to the camera having existed for a long time, the technology is mature and well known, the pricing is favourable relative to potential added value, and the possibility of systems with non-moving parts can provide good reliability. However, this type of sensor is strongly dependent on visibility and needs to be combined with other sensor systems.

These new sensors have limitations and disturbances that can create misleading information to the operator. Thus, the limitations should be well communicated to the operators, potentially through new training to ensure safe operation with the new sensor types integrated into navigation. Extra precaution should be applied to not create a false sense of security, with too high performance and accuracy expected from the new systems.

Implementation of goal-based requirements or self-certification to a greater degree, could be beneficial for the innovation and new technology entrance to the maritime market. This already exists partly in current standards and regulations but might

need to be overlooked to better fit high technical solutions. New test methods for validating "black-box" software will probably be needed soon for detection and identify algorithms that are largely based on neural networks or complex machine learning models.

A method to identify necessary performance requirements for sensor resolution with specified application area is proposed. This method is based on finding the lowest resolution needed to identify or detect an object in sensor data, by allowing human observers to try to identify the object from sensor data in different resolution, a minimum resolution limit can be found.

In order to maintain the competitiveness of marine electronics, validation and marine classification of equipment must be low cost. If the cost of certification is high, it will prevent small and medium-sized enterprises from entering or remaining in the maritime market.

Sammanfattning

Fordonssensorer har potential att komplettera dagens marina sensorer där de har begränsad operationell täckning och bidra med ny information inom objektidentifiering. Beroende på tillämpningsområdet kan dessa sensorer behöva klassas för marina tillämpningar för att ge operationell stabilitet i den maritima miljön, särskilt om de nya sensorerna skall ingå i systemkritisk utrustning. För objekt-detektering används idag främst radar och denna utrustning har väldefinierade prestandakrav satta av IMO. Detta leder till att operatörer förväntar sig en viss prestanda oberoende av modell eller märke på utrustningen. Om nya typer av sensorer skall tillämpas inom kategorin navigationsutrustning måste dessa åtminstone följa dagens standarder och regelverk. Även möjliga förändringar eller tillägg kan behövas göras beroende på hur dessa nya sensorer kommer att användas.

LIDAR-sensorn har stor potential att skapa en radarliknande bild för närområdet och på så vis vara ett tillägg inom en radarsysteminstallation. Detta gör att LIDAR potentiellt skulle behövas inkluderas eller anpassas inom radarstandarderna, men först behövs mer förståelse av LIDAR:s begränsningar, möjligheter, visualiseringsmetod, redundans samt prestandakrav. Denna studie visar att LIDAR även ger möjligheter för 3D visualisering över fartygets närliggande område, vilket kan ge god noggrannhet för identifiering och detektering av objekt.

Optisk kamera har stor potential inom marin tillämpning, och kan, genom objekt-detektering och identifiering, optiskt validera objekt som upptäcks på radar eller via sjökortsinformation. Men den största utmaningen med den optiska kameran ligger i hur systemen skall valideras/certifieras för att garantera korrekta prestandakrav på grund av att bildanalysteknik använder ofta maskininlärningsalgoritmer, vilket gör vissa system till blackbox-lösningar. Den optiska kameran kan ingå i många applikationer inom alla användningsområden som har diskuterats i denna studie. Genom kamerans mångåriga utveckling är prissättningen förmånlig i förhållande till det potentiella mervärdet, och möjligheten till system med icke rörliga delar kan ge god pålitlighet. Dock är denna sensortyp starkt beroende av sikten och behöver därmed kombineras med andra sensorsystem.

De ovan beskrivna sensorerna har begränsningar och störningar som kan skapa missledande information till operatören, och därmed behöver begränsningarna vara väl kommunicerade till operatörerna. Det är viktigt med relevant utbildning så att nya sensortyper inte skapar en falsk trygghet.

Implementering av målbaserad kravställning skulle kunna vara lämpligt eller en högre grad av egencertifiering, vilket till viss del redan existerar i dagens standarder och regelverk. Även nya testmetoder för "black-box" mjukvaror behövs för detekterings- och identifieringsalgoritmer som baserar sig till stor grad på neurala nätverk eller komplexa maskininlärningsmodeller.

En metod för att identifiera nödvändiga prestandakrav för sensorers upplösning med specificerat applikationsområde föreslås. Denna metod är baserad på att hitta den lägsta upplösning som behövs för att identifiera eller detektera ett objekt i

sensordata, och genom att låta mänskliga observatörer försöka identifiera objektet från sensordata i olika upplösningar kan en lägsta upplösnings gräns finnas.

För att möjliggöra tillgänglighet av konkurrenskraftig marinelektronik måste validering och marin klassificering av utrustning kunna ske till en relativt låg kostnad. Om kostnaderna för certifiering är höga kommer det att hindra små och medelstora företag att komma in på eller stanna kvar på den maritima marknaden.

Innehåll

1	Inledning	8
1.1	Syfte och omfattning.....	8
1.2	Avgränsning.....	8
1.3	Bakgrund.....	8
1.4	Rapportstruktur.....	9
1.5	Förkortningar	10
2	Genomförande och metod.....	11
2.1	Genomförande	11
2.2	Metodik	12
3	Omvärldsanalys.....	13
3.1	Inledning	13
3.2	Sensorer i fordonsindustrin.....	13
3.3	Nya marina sensorer	16
3.4	Sensordata.....	16
3.5	Marin objekt-detektering och identifiering	17
3.6	Projektioner av sensordata	19
3.7	Resultat från internationella tester av sensorer.....	19
3.8	Klassning av marin utrustning samt jämförelse med certifiering av fordonsutrustning 22	
3.8.1	Säkerhetskritiska tillämpningar.....	22
3.9	Sammanfattning av omvärldsanalysen	26
4	Beskrivning av tester.....	27
4.1	Tester inom projektet	27
4.1.1	Testutrustning & installationen på lotsbåt 729.....	28
4.2	Sensordataanalys.....	30
4.3	Testresultat.....	30
4.4	Enkätstudien om mänsklig objektidentifiering.....	33
4.5	Enkätresultat.....	35
5	Utvärdering.....	38
5.1	Inledning	38
5.2	Beskrivning av användningsområden.....	38

5.2.1	Navigering i farled	39
5.2.2	Manövrering i hamn	40
5.2.3	Tilläggnig/avgång kaj	42
5.3	Utvärderingskriterier	43
5.3.1	Prestandakrav för radar	45
5.3.2	Sjöfararens prestandakrav	45
5.3.3	Navigering i farled	46
5.3.4	Manövrering i hamn	46
5.3.5	Tilläggnig/avgång kaj	47
5.4	Utvärdering av LIDAR	47
5.4.1	Beskrivning av LIDAR-sensor	48
5.4.2	Navigation i farled – utvärdering	50
5.4.3	Manövrering i hamn – utvärdering	51
5.4.4	Tilläggnig/avgång kaj – utvärdering	51
5.5	Utvärdering av kamera	51
5.5.1	Beskrivning av kamerasensor	52
5.5.2	Navigation i farled – utvärdering	53
5.5.3	Manövrering i hamn – utvärdering	54
5.5.4	Tilläggnig/avgång kaj – utvärdering	54
5.6	Utvärdering av fordonssensorer för maritimt bruk	54
6	Referenser	55

1 Inledning

1.1 Syfte och omfattning

Detta dokument utgör slutrapporten av Innovationsprojektet IP_1_2019 med namnet ”Nya sensorer – autonom säkerhet, vilket är ett projekt i Trafikverkets branschprogram Hållbar sjöfart som drivs av Lighthouse. Projektet har genomförts av RISE Research Institutes of Sweden (RISE) som koordinator tillsammans med Chalmers tekniska högskola (Chalmers). För att få en hög relevans för industrin ingår parter från rederi – Stena Rederi, Färjerederiet, Wallenius Marine (Wallenius); från tillverkningsindustrin – Volvo Penta, ABB Marine, samt från klassningsbolag – DNV.

Projektet adresserar målet med en hållbar och säker sjöfart genom att utnyttja utvecklingen inom digitalisering och automation samt bidra till att öka svensk industris kompetens inom området autonom säkerhet. Huvudmålet är att öka säkerheten för fartyg med hjälp av nya sensorer och beslutsstödsystem.

Syftet med projektet är att genomföra utvärdering av sensorer som idag används för aktiv säkerhet för självkörande fordon, för att se om de även kan användas för marin navigation, manövrering och anti-kollision i en verklig marin miljö. Projektet har undersökt möjligheterna för dessa sensorer att komplettera dagens traditionella navigationssensorer för att ge bryggteamet en bättre överblick i sitt närområde, för att på så sätt minska antalet olyckor och incidenter. Projektet har fokuserat på sensorer som kan detektera omgivande objekt och identifiering, och inte sensorer för positionering.

Denna slutrapport innehåller en möjlighetsstudie för användning av sensorer från fordonsindustrin i marin miljö samt fartygs operationella aspekter utifrån sensorplattformens prestanda samt summering av utförda studier.

1.2 Avgränsning

Projektet begränsar sig till sensorer som kan detektera och identifiera objekt i den maritima miljön. Identifiering av objekt valideras på grunden av sensors potential att identifiera objektet i ett slutet system och därmed utan extern information som assisterar i identifiering eller positionering.

På grund av corona-restriktioner under 2020/2021 har de planerade testerna fått begränsas till bara lotsbåten, se vidare kapitel 4.

1.3 Bakgrund

Den hållbara utvecklingen inom transportsektorn i Sverige idag har stort fokus på hjulbundna transporter medan sjöfarten står för kring 85% av all import och export. Sjöfarten har stor potential till att bidra till ett hållbarare samhälle med lägre utsläpp av CO₂ och mindre total energiförbrukning per ton förflyttad last och kan assistera i framtida behov av säkra och effektiva transporter. Arbete görs nu internationellt och i Sverige för att dra nytta av digitalisering och automation inom

transportsektorn. I Lighthouse-förstudien ”Autonom säkerhet för fartyg - digitaliseringens möjligheter för ökad säkerhet”, (LIGHT, 2016), identifierades flera möjligheter för svenskt näringsliv och akademi att ta tätpositioner inom området digitalisering och automatisering av sjöfart. Ett svenskt initiativ för smarta fartyg som bygger på svenska styrkor bedöms som mycket viktigt för att höja säkerheten ombord och att höja kompetensen inom det svenska maritima klustret. Nyttan går i fyra riktningar; till dem som arbetar ombord, myndigheter och svensk industri och rederiverksamhet som leder säkerheten framåt, samt framtida kompetensförsörjning.

Huvudmålet med projektet är att öka säkerheten för fartyg med hjälp av nya sensorer och beslutsstödsystem. Konkret mål är att utvärdera om sensorer, som idag används för aktiv säkerhet för självkörande fordon, även kan användas för marin navigation, manövrering och anti-kollision i en verklig marin miljö.

Sensorer som används inom fordonsmarknaden tillverkas i stora volymer och blir därmed troligen billigare än de som erbjuds för marint bruk. Utmaningen är att påvisa god operationell pålitlighet för maritimt bruk, men eftersom fordonssensorer är certifierade för fordonbruk skulle ytterst liten eller ingen komplettering behövas för att uppfylla marina standarder. Detta kommer dock kräva nya riktlinjer för validering av sensorers förväntade prestanda och tillförlitlighet. Navigatörer som kommer använda dessa nya system behöver vara medvetna om sensorsystemens begränsningar och dess funktionaliteter. Detta kan leda till nya krav inom navigationsutbildning, tilläggs-certifikat eller implementering i STCW för att uppnå säker användning. Utmaningen är att hantera frågorna på ett sätt som möjliggör att i närtid tillämpa innovativ teknologi inom den maritima sektorn på ett kostnadseffektivt sätt och då även bidra till skapande av mervärde i logistikkedjan.

1.4 Rapportstruktur

Denna slutrapport är strukturerad enligt följande:

Kap 1 Inledning - ett inledande avsnitt som definierar syfte och projektmål.

Kap 2 Metod - definierar arbetssättet för studien.

Kap 3 Omvärldsanalys - presenterar resultaten från omvärldsanalysen

Kap 4 Tester - beskriver testerna och ger resultatet från testerna

Kap 5 Utvärdering - en utvärdering av sensorerna baserat på utvärderingskriterier

1.5 Förkortningar

AHRS	Attitude and Heading Reference System
AP	Arbetspaket
AtN	Aids to Navigation
CCRP	Consistence common reference point
Chalmers	Chalmers tekniska högskola
GHz	Giga Hertz frequency
GNSS	Global Navigation Satellite System
GPS	Global Positioning System
IMU	Internal Measurement Unit
IP	Innovationsprojekt
LIDAR	Laser Imaging Detection, And Ranging
MED	Marine Equipment Directive
MEMS	Micro-Electro-Mechanical Systems
RADAR	RADio Detection And Ranging
RISE	Research Institutes of Sweden
RoPax	Roll on / Roll off passagerarfartyg
SAR	Search And Rescue
SART	Search And Rescue Transponder
SLAM	Simultaneous Localization And Mapping
STCW	International Convention on Standards of Training, Certification and Watchkeeping for Seafarers
SWIR	Short Wave IR
TrV	Trafikverket

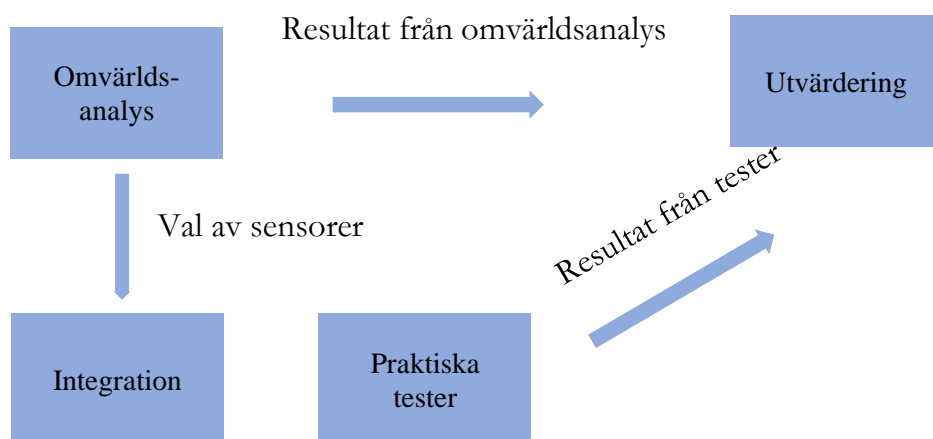
2 Genomförande och metod

Projektet är ett innovationsprojekt där flera typer av sensorer, som idag används för aktiv säkerhet och självkörande fordon, har testats i en marin miljö i den mån det varit möjligt under rådande coronapandemis rekommendationer och restriktioner. Projektplanen fick justeras eftersom möjligheterna till installation av sensorplattformar begränsades. Istället fick nya tester utformas som tog i beaktande restriktioner och rekommendationer och fokus blev användning av tidigare insamlade data.

2.1 Genomförande

Projektteamet har bestått av såväl forskare inom aktiv säkerhet för fordon som forskare och rederi med maritim domänkompetens samt industrideltagare med kunskap om sensorteknik. Projektets forskare inom aktiv säkerhet har redan världsledande expertis inom arbete med sensorer och hantering av stora mängder data från motsvarande applikationer på fordonssidan, både avseende hårdvara och mjukvara. Till viss del har hårdvara som t.ex. sensorer från fordonstillämpningar lånas ut till projektet. Flera typer av sensorer har integrerats i en sensorplattform som skulle kunnat placeras på olika fartygstyper men enbart blev tillämpad på en lotsbåt. Den öppna mjukvaran OpenDLV, som tidigare har använts för tester av kontrollfunktioner på mindre fartyg, har använts i projektet.

Projektlogiken är illustrerad nedan:



Figur 1 Projektlogik och genomförande.

Testresultaten analyserades med avseende på detekterings- och identifieringsförmåga för avsedda användningsområden och syften, med olika krav på mål och avstånd. En operationsanalys genomfördes för att se i vilket operationellt sammanhang som sensorerna skulle kunna bidra utöver dagens sensorupplägg på fartygen. För de sensorer som ansågs ha potential för tillämpning inom det marina området gjordes en bedömning kring möjligheten till få sensorerna marinklassade.

Projektmålet uppnåddes genom stegvist arbete med aktiviteterna i projektlogikens fyra arbetspaket (AP).

- AP1 Omvärldsanalys
- AP2 Integration
- AP3 Genomföra praktiska tester
- AP4 Utvärdering av resultaten av tester

2.2 Metodik

Urvalet av sensorer baserades på omvärldsanalysen och tidigare studier. Med utvalda sensorer utfördes praktiska tester i skärgårdsmiljö ombord på en lotsbåt för att ta fram data relaterad till objekt-detektion och identifiering och delvis landbaserad sensordatainsamling. För att evaluera sensorers objekt-detektering användes främst visualiserad data, ämnad för mänsklig tolkning. Kvalitativa studiemetoder som expertintervjuer och kvantitativa metoder i form av enkäter utnyttjades för att definiera sensorers prestanda avseende objekt-detektering och identifiering.

Sensorernas testresultat jämfördes med utvärderingskriterierna, vilka är baserade på tre tillämpningsområden:

- Navigation i farled
- Anti-kollision i farled
- Manövrering i hamn

Baserat på denna jämförelse kan vissa sensorer rekommenderas för tillämpning inom viss maritim operation och aktivitet. Denna del påvisar även behovet av kravställning och klassning av sensorer för operation i marin miljö samt lyfter fram utmaningar för implementering av nya sensorer. För utvärdering av sensorers upplösning, bildkvalitet, möjlighet till objekt-detektering och identifiering, genomfördes kvantitativ enkätundersökning och kvalitativa expertintervjuer samt sammanställning av resultat från tidigare studier. Testdata har samlats in i Göteborgsregionen i hamn, stads- och skärgårdsmiljö. Resultaten evaluerades genom fokusgrupper och förslag på fortsättningsstudier har tagits fram baserat på testresultat samt informationsluckor som kommit fram under studien.

3 Omvärldsanalys

3.1 Inledning

Projektet är en del i att utnyttja digitaliseringens och automatiseringens utveckling för att utveckla en säker och hållbar sjöfart med ökad effektivitet och minskad miljöpåverkan. Detta projekt, adresserar främst sjösäkerhet genom att möjliggöra en bättre överblick för bryggteamet i sitt närområde för att på så sätt minska antalet olyckor och incidenter. Fartygsstorleken har ökat ständigt under det senaste decenniet och därmed det visuella avståndet för navigering och manövrering, vilket kan visa sig problematiskt vid operationer inom tätt trafikerade områden eller områden med begränsade manövreringsutrymmen. För att upprätthålla god överblick i begränsade manövreringsområden som exempelvis vid hamnmanövrering används idag radiokommunikation mellan navigationsbryggan och utplacerad utkik. I vissa fall finns videokameror uppsatta men dessa lösningar är främst för övervakning och därför finns oftast begränsningar i överföringen av information till personen som manövrerar fartyget.

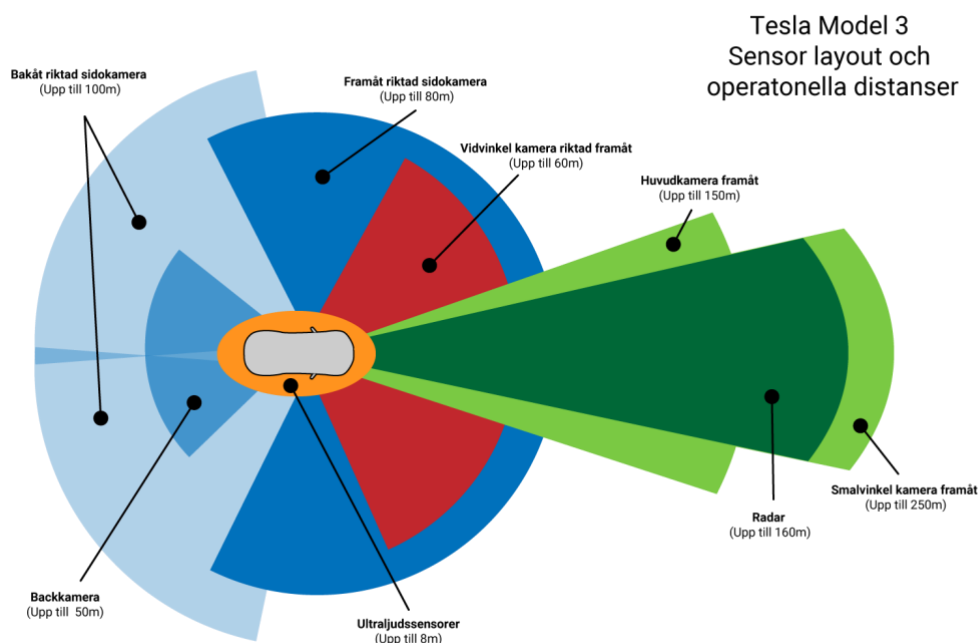
3.2 Sensorer i fordonsindustrin

Det växande behovet av objektdektivering och identifieringssensorer inom fordonsmarknaden utgör en av drivande faktorer för den snabba tekniska utvecklingen. Dessa nya sensorer tillämpas inom automatisering och aktiva säkerhetssystem, som utnyttjar sensordata för automatiserade analyser av omgivningen. Resultat från analyserna används för assisterade körningsfunktionaliteter och ge ökad situationsmedvetenhet till föraren. Med potentiellt höga produktionsvolymerna av sensorer kan enhetspriset bli konkurrenskraftigt i relation till mervärdet som skapas.

MEMS (Micro-Electro Mechanical Systems) är ett samlingsnamn för integrerade sensorer, ursprungligen rate-gyron och accelerometrar, för att mäta ett fordon rörelsedynamik i syfte att stötta olika aktiva fordonssystem och då främst säkerhetssystem. Arbetsprincipen för sensorerna har varit kända och utnyttjats på fartyg som solitära mekaniska gyrokompasser sedan 1910-talet och som tröghetsnavigeringssystem tillsammans med accelerometrar sedan 1950-talet. Tröghetsnavigeringssystem har också använts inom flyget. När satellitnavigeringssystemen blev tillgängliga civilt (t.ex. GPS) begränsades behovet av tröghetsnavigeringssystem huvudsakligen till militär användning. Det som istället drivit på utvecklingen av sensorerna har i huvudsak varit säkerhets- och komfortlösningar inom fordonsindustrin samtidigt som integrering av sensorer i andra konsumentprodukter bidragit till stora serier och låga tillverkningskostnader. En ökad efterfrågan av renodlade navigationsprodukter för "Indoor-navigation", exempelvis automation för fordon i gruvsdrift och ledning av räddningstjänst i tunnelbanesystem har också bidragit positivt i utvecklingen. Samlingsnamnet MEMS behöver dock idag sättas i en kontext för att förstås, t.ex. RF MEMS för radarsensorer på fordon eller Aerospace MEMS för flyg och mindre rymdsatelliter.

Fordonsindustrins automation och utveckling mot autonoma funktioner integrerar nya tekniker och nya funktioner som stödjer avancerad maskininlärning, vilket bedöms kunna utnyttjas för maritima applikationer. Integrerade triader av rate-

gyron, accelerometrar, magnetometrar (IMU/AHRS MEMS) med stöttning av traditionella fartygssensorer bör kunna ge tillräcklig noggrannhet för automation med hjälp av LIDAR (Laser Imaging Detection, And Ranging), närområdesradar och olika kameraigenkänningstekniker. Dessa användningsområden beskrivs mer i 5.2.



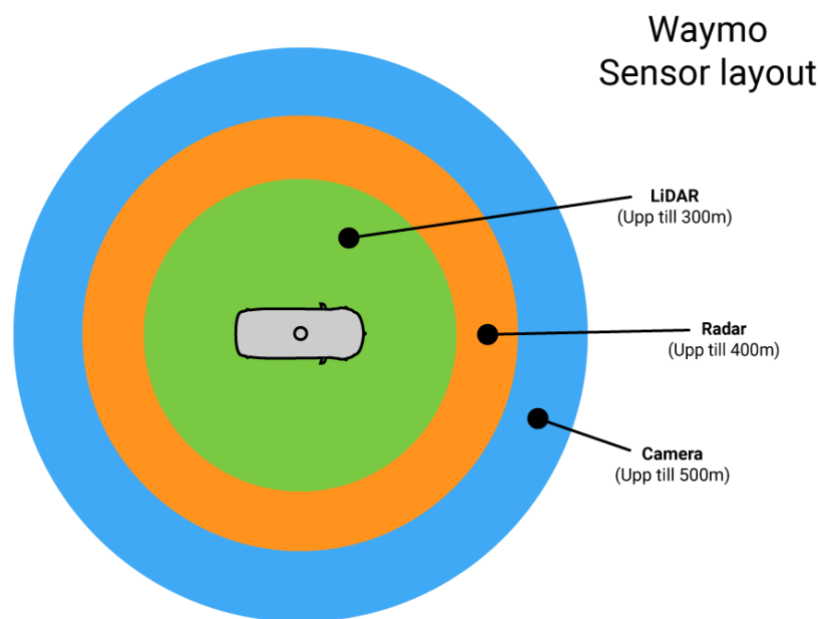
Figur 2 Tesla Model 3 sensorer upplägg med vy sektorer samt maximal operationella distanser (Yoshida, 2021).

I början av 2021 är Tesla en av de mest omtalade biltillverkarna som utlovar autonoma/smarta funktioner i bilar de lanserat på marknaden. Lösningar som presenterats är bland annat autopilot samt fjärrstyrning av bilen från en telefonapplikation ämnad för användning på parkeringsplatser, vilken har skapat mycket uppmärksamhet. För att skapa dessa smarta funktionaliteter krävs en omfattande sensoruppsättning som kan detektera och identifiera objekt runt fordonet. Teslas Model 3 sensoruppsättning från slutet av 2020 baserar sig på åtta kameror, en radar och tolv ultraljudssensorer. De tillhörande distanserna och vyvinklarna för det specifika sensorupplägget kan ses i Figur 2. Detta sensorupplägg ger en 360-gradersvy täckning av optiska kameror, radar ger förbättrad objektidentifiering framför fordonet och förbättrad detekteringsförmåga vid reducerade siktförhållanden samt ultraljudssensorer för objektidentifiering nära fordonet. Den framåtriktade radarenheten på Teslan är en Continental ARS4-B med en räckvidd på 250 m och noggrannhet inom 0,2 m. Tesla har valt en riktning och uppsättning som inte inkluderar LIDAR, vilket annars är en vanlig sensor att inkludera i andra smarta och självkörande lösningar. Tesla anser att LIDAR är en för dyr sensor som inte skapar tillräckligt mervärde, vilket är en annan inriktning jämfört med andra biltillverkares planer och demonstrationsprojekt för framtida system (Yoshida, 2021).

Framför fordonet är avståndsbehovet längre för detektering och identifiering av objekt, vilket kräver mer av sensorernas prestanda. Tesla har implementerat en

lösning bestående av en radar och en utsättning av 3 kameror. Dessa kameror har samma sensor på 1,2 megapixelar men har olika objektivuppsättningar för att täcka den operationella räckvidden för objekt-detektering upp till 250 m. En liknande uppsättning med 3 kameror finns implementerad på vissa modeller av BMW där enheten är tillverkad av ZF Mobileye. Skillnaden mellan systemen är främst var sensorinformationen bearbetas. Tesla centrerar sensordata-processeringen till en central enhet medan ZF Mobileye processerar sensordata till större delen inom kameraenheten (Yoshida, 2021).

Utvecklingen av LIDAR har lett till att prisutveckling har drastiskt minskat under de senaste åren enligt Yole Développement. Detta beror främst på strategier hos LIDAR-tillverkare och inte enbart på att produktionsvolymerna av LIDAR har ökat. Det lägre priset har bidragit till nya användningsområden, främst inom fordonsautomation samt industriella applikationer. Prognoserna framtagna av Yole visar att marknaden för LIDAR kommer att öka med 19% från 2020 till 2025 med största ökning inom fordonsmarknaden. LIDAR-tillverkaren Velodyne har kommit med strategin att reducera priset på LIDAR från \$17 900 år 2017 till \$600 år 2024 (IVWORKS, 2021).



Figur 3 Waymo sensorer upplägg med vy sektorer samt maximal operationella distanser (Jeyachandran, 2021).

Bilmodellen Honda Legend EX lanserades tidigt i mars 2021 enbart på den japanska konsumentmarknaden med en godkänd nivå 3 av självkörande system. Audi hade redan 2017 planer på att sätta in ett nivå 3 system i bilmodellen A8 men på grund av lagstiftningen inom området för ansvarstagande vid olycksfall skulle Audi göras ansvariga för eventuella olyckor inom EU och därmed fullföljde de aldrig planerna (Beresford, 2021). I USA har Waymo lanserat en självkörande taxiservice i Arizona, där självkörandet till viss del är begränsat och i slutet av 2020 krävdes ännu en person som övervakar den självkörande taxin. Denna service är lanserad främst inom specifika urbana områden som Waymo har kartlagt med hög precision.

Sensorkonfigurationen på Waymos fordon täcker 360 graders operationellt område runt fordonet som visualiseras i figur 2. Sensorernas operationella område överlappas av ett flertal sensorer, vilket möjliggör sensorfusion. Waymos sensoruppsättning består av 5 LIDAR sensorer, 5 radarsensorer och 29 kameror (Jeyachandran, 2021).

Waymo tillgängliggör insamlade sensordata till alla intresserade, främst för att främja mjukvaruutveckling inom detektering och objektspårning. Waymo publicerar utmaningar avseende objekt-detektion, identifiering och spårning där utvecklarna kan tävla emot varandras algoritmer ”lösningar för att ha chansen till att vinna upp till \$15 000” (Waymo, 2021). För att visa hur säkerheten hanteras tekniskt och förebyggande åtgärder som vidtas publicerar Waymo en säkerhetsrapport (Waymo, 2021).

3.3 Nya marina sensorer

Inom det maritima området används i princip enbart radar som sensor för teknisk objekt-detektering. Här finns även navigatören som håller utkik och har kikare som hjälpmedel för att öka räckvidden. Andra system som AIS och sjökortsinformation baserar sig på externa system och insamlade data, och faller utanför detta projekts område, men dessa system skall inte bortses från när nya smarta och automatiserade system utvecklas. Behovet av nya system som assisterar i objekt-detektering och identifiering blir mer aktuella vid högre grad av automatisering, minskade besättningsstorlekar och större fartyg.

Maritim utrustning som används i navigationssyfte och faller under internationella konventioner måste godkännas enligt Europaparlamentets och rådets direktiv 2014/90/EU om marin utrustning (MED), i de fall de ska placeras ombord ett EU-fartyg, vilket beskrivs utförligare i 5.3. Utvecklingen av nya marina sensorer och integrerade system drivs av flera marknader och aktörer. Några av de större är: kommersiell kappsegling, fritidsbåtmarknad, Indoor Navigation, offshoreindustri, försvarsindustri och UAV/drönarutveckling. Idag finns det redan på marknaden nya sensorer för sjöfart som exempelvis OPAL™ Marine LIDAR som har certifierats IP66/67 (Opal, 2021).

Ett test utfört för validering av en optisk kameras förmåga i relation till den mänskliga utkiken har utförts av Lehtovaara och Kalevi. Det beräknades enligt sjöfartsstandarder och rekommendationer till att utkiken skulle kunna detektera en båt på 5,8 km avstånd. Test av en full HD kamera med 30x optisk zoom visade att kameran kunde detektera båten på 6,8 km avstånd (Lehtovaara & Kalevi, 2021). Detta visar att under rätta förhållanden har tekniken redan idag potential att överträffa människans estimerade förmåga.

3.4 Sensordata

Sensorer producerar data som sedan skall tolkas av en mänska eller algoritmer. Sensorernas upplösning är en avgörande faktor för mängden information sensorbilden innehåller, som potentiellt kan utnyttjas för detektering och identifiera av objekt. Man kan indela sensorers detekteringsteknologi i 2 kategorier, den ena är sensorer som sänder ljus eller radiovågor och sedan lyssnar på samma frekvens för

att detektera reflektioner i signalen, den andra är sensorer som enbart fångar in ljus eller radiovågor och därmed är beroende av extern optisk energi. Sensorers begränsningar och prestanda inom den maritima miljön bör vara kända av operatörerna för att undvika en för hög tilltro av den genererade data som ger falsk trygghet. Det finns många studier avseende prestandan av sensorer och även tillverkarnas egna specifikationer, men begränsad information om hur sensorerna påverkas av effekter som vattenstänk, saltbildning, isbeläggning och andra fenomen inom maritima miljön. Sensordatadegradering på grund av extern miljöpåverkan borde kartläggas för att säkerhetsställa att förväntad operationell förmåga bibehålls eller för att göra operatören medveten om sensorns begränsning.

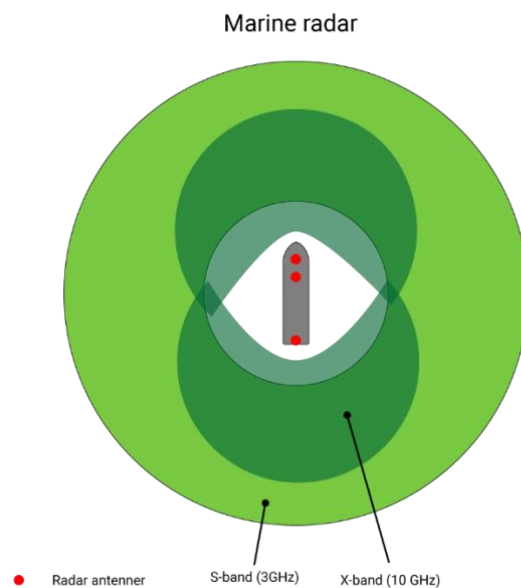
Beroende på ändamålet samt tolkningsmetod av sensorinformationen kommer behovet av upplösning att variera. Eftersom de flesta autonoma/smarta lösningar även i framtiden i olika grad involverar mänsklig interaktion utgår vi från att en människa skall kunna tolka sensorinformationen i de allra flesta fall. För att kunna ta över från automatiken behöver människan få en situationsöverblick genom tillgång till data som beskriver omgivningen.

Sjöfartens lagstiftning, regelverk och rekommendationer från internationella konventioner som SOLAS, STCW och COLREG lägger vikt på objekt-detektering i förhållande till sjömannens förmågor och marin radar. Genom definierade krav i dagens lagstiftning för sjöfararen kan dessa omvandlas till tekniska funktionskrav för objektidentifiering och anges som prestandakrav för ett tekniskt utkikssystem. Tester utförda av Lehtovaara och Kalevi visar att tekniken i vissa fall kan vara bättre än den förväntade mänskliga utkiks förmåga (Lehtovaara & Kalevi, 2021).

3.5 Marin objekt-detektering och identifiering

På den maritima sidan är marin radar i huvudsak den sensor som används för att detektera objekt samt spåra objektet för att beräkna en trolig förutsagd väg av hur objektet kommer färdas. Marin radar är bra på att detektera objekt men för att identifiera objektet behövs en annan informationskälla. Korsreferering görs främst mot det visuella, därefter mot AIS och sjökortsinformation. Användningsapplikationen är främst för att undvika kollision och för positionering, men har även en funktion inom SAR-operationer (Search And Rescue) som inkluderar SART (Search And Rescue Transponder), vilken är identifierbar på en 9 GHz radar.

Radarbilden behöver vara korrekt inställd för att kunna observera relevanta objekt. Det är främst upp till navigatören att besluta om radarbilden är optimal och vilka objektet som är relevanta och bör följas upp, i och med detta ligger en del av detekteringen hos navigatören. Vid högt belastade navigationssituationer eller vid distraktioner då uppmärksamheten går åt annat håll än navigering kan objekt-detektering ske sent eller inte alls av relevanta objekt som är kritiska. Radar har till viss inbyggd automatik för objektspårningsaktivering och kan därefter larma om kritiska objekt, men dessa system har ofta begränsningar i antalet mål som kan följas och kan ej skilja mellan fartyg och fasta objekt, såsom öar, och därmed används denna funktionalitet främst på öppet hav.



Figur 4 Marint radarsystem - uppsättning och operationella områden.

Marina radarsystem kan vara uppsatta och konfigurerade på många sätt men de flesta uppsättningar samt tekniska begränsningar gör att uppsättningen har en död vinkel i fartygets direkta närområde, vilket illustrerar i Figur 4. Därmed finns det potential till förbättring inom objekt-detektering inom fartygets närområde samt objekt-identifiering på alla distanser. På fordonsidan används bland annat LIDAR och kamera för objekt-detektering och identifiering genom sensorer.

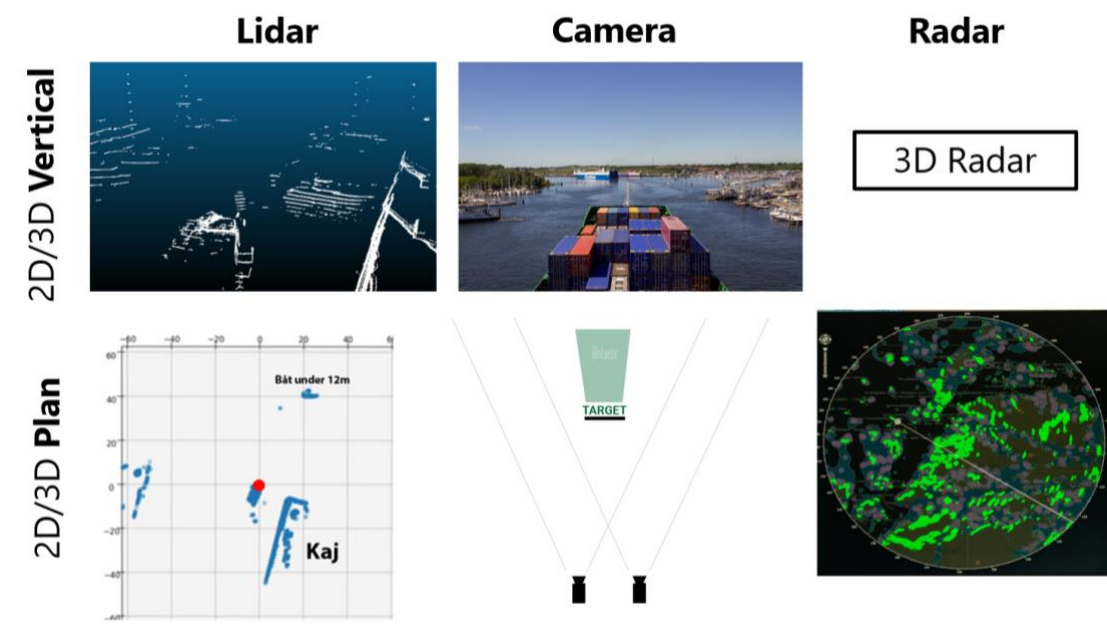
För objekt-detektering och identifiering använder optiska kameror och LIDAR-bildanalystekniker som baserar sig på maskininlärning eller neurala nätverk. Detta område inom datavetenskapen är extremt populär och snabba framsteg sker inom ämnet med drivkraft från effektivare/optimerade inlärningsmodeller, större databeräkningskapaciteter och även tillgång till träningsdata lämpad för maskininlärningsmodeller. Vid framställning av nya modeller är träningsdata kritisk för tillverkning av modellerna. På fotosidan inom väg finns detta tillgängligt, vilket har möjliggjort de senaste årtiondets snabba utveckling. Inom det maritima området finns begränsad mängd träningsdata och relativt lite i jämförelse med andra sektorer, speciellt med inriktning på navigation. Objekt-detektering från en kameran sensor beror till stor grad på objektets bakgrund, atmosfäriska förhållanden, ljusförhållanden, objektets synliga proportioner/struktur, objekt som blockerar eller delvis blockerar målet och storleken som objektet upptar på bild (Lilius, Soloviev, Zelioli, & Iancu, 2021).

Dagens algoritmer för objekt-detektering och identifiering på LIDAR och kameradata inkluderar ofta maskininlärningsmodeller som resulterar i "black box"-lösningar. "Black box" definieras som algoritmer som är för komplexa att förstå till en noggrann nivå om hur algoritmen eller neurala nätverket tar besluten. Detta försvårar validering av sådana modeller om man har svårt att förutspå beteendet. För att kunna validera dessa modeller i utvecklingen använder man sig av testdatamängder som modellen inte har sett innan, som exempelvis kan vara 20 till

30 % av den totalt tillgängliga datamängden. Genom att testa hur väl algoritmer hanterar den nya datamängden kan en uppfattning skapas om hur modellen kommer att prestera i applikationsområdet. Utmaningen är att ha en datamängd som tillräckligt väl reflekterar vår komplexa verklighet och oförutsägbara händelser som applikationen kan stöta på. Därmed krävs, vid utveckling och testning, att man har en datamängd som visar de komplexa förhållandena och att datafördelningen är relativt jämn så att partiskheten inte blir för stor.

3.6 Projektioner av sensordata

Idag är sjöfarare vana och väl bekanta med 2D radarbild samt den förväntade prestationsförmågan och tillförlitligheten hos radar. Sjöfararens kunskapskrav styrs av den internationella standarden STCW, som fastställer användarens kunskapsnivå för användning och tolkning av radarsystemen. Genom att nya sensorer introduceras till det maritima området kommer det finnas nya möjligheter att visualisera data mot slutanvändaren. Detta ställer krav på att operatörerna känner till de nya visualiseringsteknikernas begränsningar och möjligheter samt tillförlitlighet. I Figur 5 visas möjliga nya visualiseringstekniker som 3D-projektioner, både för plan och vertikal vy, att jämföra med dagens radar i nedre högra hörnet.



Figur 5 Visualisering av potentiella nya sensorprojektioner och jämförelse mot klassiska radarbilden i nedre högra hörnet.

3.7 Resultat från internationella tester av sensorer

Under de senaste fem åren har ett flertal lösningar för den maritima marknaden lanserats som bidrar till assistans och ökad situationsmedvetenhet ombord och även landstationer. Dessa lösningar baserar sig på integrering av optiska sensorer som använder sig av optimerade frekvensområden för objektidentifiering och spårning.

Integrerade sensorer i systemen är främst LIDAR, radar, videokamera och IR videokamera. Dessa system enskilt har både fördelar och nackdelar avseende upplösning, räckvidd, känsligheten för extern miljöinverkan på sensordata och krav på beräkningskapacitet för tolkning av sensordata. Genom integrering av nämnda optiska/radar-sensorer blir svagheter i enskilda sensorsystem kompletterade av styrkor från andra sensorer. Denna integrering har möjliggjorts genom framsteg i analysmodeller, datorers beräkningseffektivitet och algoritmoptimering. Främsta begränsningen för analyser av multisensorsystem i realtid är ofta relaterad till beräkningseffektivitet och energiförsörjning som exempelvis 12V- eller 24V-system i bilar. Kombinationen av sensordata (sensorfusion) hjälper till att minska och i vissa fall även eliminera döda vinklar, samt skapar möjligheter till nya informationskällor och visuella presentationsmetoder för ökad omgivningsmedvetenhet, exempelvis genom fågelperspektiv av fartyg vid hamnmanövrering.

På den maritima marknaden finns företag som Kongsberg, Wärtsilä och ABB som kan anses vara ledande inom utnyttjande av sensorintegrering för att skapa smarta produkter inom automatisering, och hjälpmedel för ökad situationsmedvetenhet inom navigation.

Avseende konceptstudier och demonstrationer från nämnda företag finns:

- Rolls-Royce Commercial Marine och Finferries demonstrerade tillsammans, i december 2018, en vägfärja kapabel att navigera autonomt med inkluderad funktionalitet som kollisionundvikande manövrering, automatisk dockning samt fjärrstyrning från en landstation (Rolls-Royce, 2018). Sensorer som kan identifieras från projektbilder och ur förstudien Advanced Autonomous Waterborne Applications (AAWA) inkluderar LIDAR, optisk videokamera, IR-kamera och radar. AAWA studie summerar att LIDAR är bra för distansmätning medan kameror och IR-kameror är ett billigare alternativ och har högre upplösning för objektidentifiering medan radar är starkast i användningsområden som förekommer under svåra väderförhållanden (AWAA, 2016).
- AWAA nämner att videokamera är en naturlig sensor att inkludera i situationsmedvetenhetssystem. Utvecklingen av digitala kameror går snabbt och stora produktionsvolymerna ger låga priser, och det finns stor kunskapsbas och utvecklade lösningar inom bildanalys för objektidentifiering och spårning. Några negativa aspekter och utmaningar vid användning av kameror är den stora mängd data som produceras och måste hanteras. Bildanalyserna kräver databeräknings- och energiresurser. På medelstora och större fartyg finns ofta goda utrymmen och energikällor medan mindre fartyg eller fritidsbåtar har begränsningar i utrymme och energi. Om video skall sändas externt via ett kommunikationsnätverk kommer dataöverföringshastigheten och kostnaden vara avgörande och kan snabbt bli en begränsning. Kameror har idag begränsningar vid användning i sämre väderförhållanden medan Short-Wave IR (SWIR) har god potential, och för att skapa en komplett situationsbild behöver även ljud inkluderas enligt AWAA (AWAA, 2016).

- Från och med 2019 är Rolls-Royce Commercial Marine en helt integrerad del av Kongsberg Maritime. Under år 2017 inledde Yara och Kongsberg ett partnerskap för att bygga världens första autonoma fartyg med eldrift, år 2020 levererades fartyget och skall stegvis övergå till fullt autonom operation fram till år 2022. Wilhelmsen och Kongsberg etablerade världens första autonoma fartygsrederi Massterly under 2018. Detta sätter Kongsberg i en världsledande roll och i en nyckelroll i utvecklingen av autonoma fartyg. Under de senaste åren har ett flertal demonstrationsprojekt och uppvisningar ägt rum men sensortekniken som används är mycket begränsat beskriven (Kongsberg, 2021).
- Kongsberg har situationsmedvetenhetssystem för fartyg på marknaden, och dessa system har som mål att bidra till en öka säkerhet. Systemet ProximityView kan ge en 360 graders överblicksbild baserad på realtidsdata från kameror och inkluderar funktioner som exempelvis objektidentifiering och klassificering, planerad färdväg, hastighet och distanser till närliggande objekt. Systemet SeaAware ger navigatörer en situationsbild från en ”information interface” över alla objekt, både stationära och rörliga föremål genom användning av sensorintegrering från radar- och elektrooptiska sensorer, positionerings- och AIS-sensordata. Kongsberg påstår att de kan leverera beslutsstödsystem som följer sjövägsreglerna (Kongsberg, 2021).
- ABB Marine och Helsinki City Transport demonstrerade fjärrstyrning med passagerarfärjan Suomenlinna II i Helsingfors hamn år 2018. Systemen som användes utvecklades till ABB Ability™ Marine Pilot, vilket ger operatören en situationsbild i realtid över det närliggande området, baserat på flertal sensorsystem. Systemet är ämnat att öka säkerheten genom att ge operatören pålitlig information som är validerad från flera källor, och kan på så vis skapa en pålitlig omgivningsbild både för operatörer ombord på fartyget eller vid en landstation (ABB news, 2021). ABB, Keppel Marine och Deepwater Technology har ett pågående kommersiellt projekt med målsättningen att fjärrstyra en bogserbåt för brandbekämpning i Singapores hamn (ABB Press release, 2021). Projektet inkluderar ett tekniskt system som möjliggör fjärrstyrning, autonom navigation och autonom anti-kollision, dock kan inte fartyget opereras autonomt ännu på grund av nuvarande regelverk. Vidare arbetar ABB i andra kommersiella projekt, tex tillsammans med Eckerö Line, för att öka säkerheten vid hamnmanövrering och tilläggning med hjälp av system och sensorer ombord.
- Bolaget Guidens Marine, som är en del av Wärtsiläkoncernen, har utvecklat sensorer för att förbättra situationsmedvetenheten som går att integrera med navigationssystemet. De har lösningar för hamnmanövrering: SmartQuay som baserar sig på kameran sensorer med en räckvidd på 30 m, och RangeGuard som är en radarsensor med räckvidd på 300 m (Guidance, 2021). Dessa system användes i Wärtsiläs auto-dockingslösning som monterades på en kustfärja i Folgefonn, Norge 2018. Wärtsilä har en portfölj av smarta sensorer för den marina marknaden som inkluderar kameror, positioneringssensorer, radar med 9 GHz eller 24 GHz och laserbaserade sensorer.

För att sensorer skall bidra till en ökad situationsöverblick, och kunna assistera i objektidentifiering och spårning behöver sensordata kunna processas och analyseras inom relevant tidsram. Därmed behöver datorberäkningskraften balanseras mot sensordatamängden som skall processas och analyseras. Utvecklingen av kraftfullare och energieffektivare processorer går snabbt men är inte kritisk för maritima applikationer, där utrymme och en god kraftförsörjning möjliggör installation av kraftfulla och energikrävande dataprocessorer. Kamerateknologin har utvecklats under det senaste decenniet och kostnaden för optiska sensorer har drastiskt sjunkit i pris samtidigt som kvaliteten förbättrats, troligen beroende på ökad efterfrågan och större produktionsvolym. En liknade utveckling förväntas även för LIDAR-sensorer.

3.8 Klassning av marin utrustning samt jämförelse med certifiering av fordonsutrustning

Styrande regelverk och direktiv för klassning av maritim utrustning för sjöfarten baseras på SOLAS, MARPOL, COLREG, MED och nationella föreskrifter. Största skillnaden mellan klassning av utrustning för marint bruk respektive fordon är att vägfordon kan typgodkännas i sin helhet medan det för marin utrustning generellt är enskilda system eller systemdelar som godkänns. Utmaningen att klassa ny utrustning för maritimt bruk är främst att identifiera och ta fram nödvändiga dokument som påvisar tillverkningsstandard för alla inkluderade komponenter samt utförda tester, främst gällande hårdvaran. För mjukvaran kontrolleras främst funktionskraven och cybersäkerhet.

3.8.1 Säkerhetskritiska tillämpningar

3.8.1.1 Marin utrustning

Beroende på applikationsområde för den nya marina utrustningen/sensorn samt om integrering ska ske till befintlig utrustning sätter klassningen standard och krav på det systemgodkännande som behövs för installation. Främst handlar det om att identifiera om den nya utrustningen kommer inkludera eller kopplas till operationskritiska system eller om den nya utrustningen kommer fungera helt separat från all systemkritisk utrustning. Om systemet kommer vara helt separat och självgående kommer ingen klassning eller godkännande behövas men före installation måste man kontrollera att den nya utrustningen inte på något sätt försämrar eller stör befintlig systemkritisk utrustning enligt (TSFS 2016:81).

Säkerhetskritisk utrustning och navigationsutrustning som regleras av direktivet för marin utrustning ska Ratten-märkas och inte CE-märkas. Rattmärket visar att produkten uppfyller kraven enligt direktiven, Europaparlamentets och rådets direktiv 2014/90/EU om marin utrustning som är satt i kraft genom lagen (2016:768) om marin utrustning och förordningen (2016:770) om marin utrustning tillsammans med Transportstyrelsens föreskrifter (TSFS 2016:81) om marin utrustning.

Det är huvudsakligen två områden i direktivets utrustningslista som projektet omfattar:

- Scoop of Navigation; avsnitt 4, Navigationsutrustning
- Scoop of Radio; avsnitt 5, Radiokommunikationsutrustning

För fartyg som inte räknas som konventionsfartyg (SOLAS-fartyg) har flaggstaten möjlighet att reglera utrustningen i annan ordning och med andra krav. Nationell sjöfart behöver i vissa fall bara uppfylla funktionskrav. Nya artiklar som godkänns regleras enligt Kommissionens genomförandeförordning (EU) 2018/773 från den 15 maj 2018 om utformnings-, konstruktions- och prestandakrav samt provningsstandarder för marin utrustning och om upphävande av genomförandeförordning (EU) 2017/306. Godkännande enligt direktivet kan inte genomföras endast av tillverkaren själv, utan prövning och godkännande sker genom någon av de godkända anmälda organen (Notified Bodies).

Vilka standarder som tillämpats i respektive Marine Equipment Directive (MED) godkännande måste identifieras från fall till fall för att ge möjlighet till jämförelse med andra sensorer som är CE-märkta eller tillhör trafikslagsenskilda eller systemgodkännanden. I 2 kap 2§ finns förenklade bestämmelser om marin utrustning som tillverkas individuellt eller i små kvantiteter. MED-certifierad navigationsutrustning är definierad enligt 3 kap TSFS 2011:2.

Tillämpliga undantag (TSFS 2016:81):

1 kap 7 § Tekniska nyheter

Transportstyrelsen kan medge att marin utrustning, som innebär en teknisk nyhet och som inte uppfyller direktiven gällande marin utrustning, beviljas undantag men ska ha ett certifikat som visar att utrustningen får placeras ombord på fartyget. Certifikatet ska innehålla uppgifter om alla restriktioner eller bestämmelser som rör utrustningens användning.

1 kap 8 § Provnings och utvärdering

Transportstyrelsen kan medge att marin utrustning som inte uppfyller förfarandena för bedömning av överensstämmelse eller inte har beviljats undantag enligt 7 §, tillfälligt får placeras ombord på ett svenskt fartyg i provnings- eller utvärderingssyfte.

Marin utrustning som avses i första stycket får inte användas i stället för utrustning som uppfyller kraven enligt lagen om marin utrustning eller föreskrifter meddelade i anslutning till lagen och den får inte heller ersätta sådan utrustning, vilken ska finnas kvar ombord på EU-fartyget i funktionsdugligt skick och vara klar för omedelbar användning. Marin utrustning som beviljas undantag ska ha ett certifikat som visar att utrustningen får placeras ombord på fartyget. Certifikatet ska innehålla uppgifter om alla restriktioner eller bestämmelser som rör utrustningens användning.

Systemperspektiv

Om ett tekniskt system integrerar eller inkluderar flera säkerhetsfunktioner med övrig icke säkerhetskritisk styrning behöver hela systemet hanteras som säkerhetskritiskt. Det är därför önskvärt att särskilja säkerhetsfunktionerna från ”den vanliga styrningen” för att inte få en alltför dyrbar konstruktions- och

verifieringsprocess, det vill säga att försöka att få någon form av oberoende mellan dessa.

Inom sjöfarten hanteras de hela system som är säkerhetskritiska inom ISM-kodens ram i kapitel 10, ”Critical Systems”, vilket i realiteten definieras av rederiets/fartygets SMS, under någon kontroll av ett klassningssällskap. För nationell trafik gäller att fartygets kvalitetssystem skall beskriva att funktionskraven uppfylls. Det finns även regler om CE-godkännande avseende elektromagnetisk kompatibilitet för bryggutrustning.

Mänskliga funktioner och förmågor

Vissa mänskliga funktions- och prestandakrav regleras i medicinska krav, bemanningsföreskrifter och föreskrifter om vakthållning. Även utbildning måste härledas till kvalitetsgodkännande för en individ.

Då detta projekt fokuserar på sensorer för att detektera andra omgivande objekt kommer både befintliga tekniska och mänskliga funktioner, t.ex. utkikens funktion ombord, att utvärderas, mer om detta i kapitel 0. Klassificering av mänskliga förmågor och funktioner är inte alltid jämförbara med tekniska standarder; standarder för t.ex. vakthållning (STCW) ger i många fall en god bild av vilka mänskliga ”lägsta krav” som måste uppfyllas och som potentiellt även kommer ställas på tekniska lösningar i framtiden. När marin utrustning som ersätter eller kompletterar mänskliga funktioner och förmågor introduceras, är det viktigt att hänsyn tas till hela systemperspektivet, både teknik och operatörens kunnighet.

3.8.1.2 Vägfordon

Vägfordon kan typgodkännas i sin helhet, vilket normalt bygger på att de tillverkas i större serier än fartyg. Typgodkännande kan beviljas för hela fordon eller för en komponent, ett system eller en separat teknisk enhet som ingår i fordonet.

Europaparlamentets och rådets direktiv 2007/46/EU från den 5 september 2007 fastställer en ram för godkännande av motorfordon och släpvagnar till dessa fordon samt av system, komponenter och separata tekniska enheter som är avsedda för sådana fordon. Särldirektiv kan finnas mot ramdirektivet. Bland annat finns nationella godkännanden. Ett typgodkännande är ett bevis på att en fordons- eller komponenttyp uppfyller de aktuella tekniska kraven. I Sverige är Transportstyrelsen godkännandemyndighet. Övriga medlemsstater i EU erkänner ett internationellt typgodkännande som har beviljats av en annan medlemsstat.

Typgodkännande av fordon

Fordonet i sin helhet är typgodkänt.

Typgodkännande av system

Med system avses sådan utrustning i ett fordon som utgör en väsentlig del av fordonet och som i allmänhet inte kan lösgöras i separata komponenter. Exempel kan vara bromssystem, avgasreningssystem eller inredningsdetaljer.

En komponent är en anordning som är avsedd att utgöra en del av ett fordon och som kan lösgöras eller installeras i fordonet och typgodkänds enskilt, såsom strålkastare.

Typgodkännande av komponenter

En separat teknisk enhet är en anordning som är avsedd att utgöra en del av ett fordon. Anordningen hänför sig till en viss fordonstyp och kan typgodkännas enskilt eller som en del av den fordonstypen. Ett exempel är underkörningsskydd.

Nya artiklar

I direktivets Artikel 20 om undantag för ny teknik eller nya principer medges medlemsstaterna att bevilja en tillverkares begäran om ett EU-typgodkännande för ett system, en komponent eller en separat teknisk enhet där teknik eller principer utnyttjas som är oförenliga med bestämmelserna i en eller flera av de rättsakter som förtecknas i del I i bilaga IV, förutsatt att kommissionen lämnar sitt tillstånd i enlighet med förfarandet i artikel 40.3.

3.8.1.3 Utblick om godkännande

Radar som den enda godkända sensorn för objektdektivering, navigering och kollisionens bedömning, inkluderar kravställning på tekniska specifikationer som exempelvis operationellt frekvensområde för sändning och mottagning, vilket begränsar tillämpningen av likvärdig teknologi. En funktionskravsättning skulle kunna vara effektivare och lämna fritt rum för produktutvecklare att använda andra sensorer för att uppnå minst samma funktionalitet. Dagens regelverk för marin utrustning tar begränsad ställning till utrustning som operas från land, vilket kan bli aktuellt med introducerande av nya smarta operationskritiska system. Hur och om dessa landbaserade system skall omfattas av MED-certifiering eller typgodkännande som radar och ECDIS är en pågående diskussion.

Om sensorsystemen är riktade mot att ersätta mänskliga uppgifter som exempelvis utkik kommer detta högst troligt kräva en ny sektion och potentiell omskrivning av existerande lag. Om en ny sensor ska vara en ersättande sensor för exempelvis radar kräver detta omfattande lagstiftningsförändringar eftersom radar är inkluderat i regelverk, riktlinjer och direktiv på internationell nivå som SOLAS och COLREG. Detta visar begränsningen i att ha tekniska specifikationer som är definierade för en unik sensortyp, då detta begränsar innovation och tillämpning av nya sensorer eller sensorsystem som inkluderar flertal nya sensortyper för att uppnå samma prestanda. Genom att sätta prestationsmål för objektdektivering och identifiering som definitioner utan teknisk specifikation, finns en större möjlighet till teknisk innovation och implementering. Dock finns begränsningar som, men ej begränsat till, tillåtna sändningsfrekvenser styrda från annan lagstiftning än IMO:s direktiv och riktlinjer, kommunikationsutrustning eller etablerad tekniska lösningar som SART-kompabilitet (Search And Rescue Transponder) med radar.

Om nya sensorer kommer in som en integrerad del i existerande system kan mindre eller inga lagjusteringar behövas, beroende på applikationsområdet och om det faller utanför systemkritiska komponenter. Om nya sensorer läggs till som ett separat system och detta system inte påverkar, inte ersätter eller inte modifierar existerande lösningar kan dessa installeras ombord utan MED-certifiering.

3.9 Sammanfattning av omvärldsanalysen

Analysen visar att en sensorteknik som utvecklas och redan tillämpas på fordon har stor potential inom det maritima området. Demonstrationsprojekt inom sjöfartsindustrin visar vägen mot en ökad automation och smarta system. Dessa nya sensorsystem inkluderar, men är inte begränsade till, optisk kamera och LIDAR för att identifiera och detektera objekt, och enskilda sensorers egenskaper kan kompletteras genom sensorfusion.

Utmaningen ligger i hur dessa nya system skall verifieras och möjligen inkluderas inom säkerhetskritiska system. För utrustning som omfattas av MED finns typgodkännande att förhålla sig till avseende applikationsområde som borde guida till lägsta funktionalitets- och precisionskrav. För CE-godkänd utrustning behöver det först redas ut vad CE-godkännandet avser och specificeras var tillägg behövs för att kunna garantera operationell prestanda.

4 Beskrivning av tester

Inom projektet har sensorevalueringstester utförts för att uppnå en jämförelse mellan dagens maritima sensorer och fordonsensorers prestationer i en marin miljö. I viss mån har dessa sensorer ställts mot varandra och mot den mänskliga förmågan inom objektetektering och identifiering. Testerna utformades med inspiration från hur prestanda för marin radar bedömer teknologisk funktionalitet och definierar prestandakrav.

4.1 Tester inom projektet

Detta avsnitt rapporterar och beskriver AP3 ”Genomföra praktiska tester”. Praktiska tester har varit begränsade på grund av coronapandemin och planerade installationer på tre typer av fartyg gick ej att utföra till fullo med för att inte utsätta besättningsmedlemmar ombord och andra aktörer för en högre smittorisk. Utvärderingarna av sensorerna och i kapitel 0 definierade användningsområden fick en starkare teoretisk inriktning för att uppnå projektresultaten. (Denna koppling åskådliggörs i tabellen nedan i Tabell 1)

Användningsområde	Fartyg	Kommentar
Navigering i farled	Lotsbåt 729	Integrationstester, mindre fartyg i farled
	Färja	Inställt pga. av coronapandemin
	Stena RoPax färja	Inställt pga. av coronapandemin
	Enkätstudie	
Manövrering i hamn	Lotsbåt 729	Integrationstester, mindre fartyg i manövrering
	Färja	Inställt pga. av coronapandemin
	Stena RoPax färja	Inställt pga. av coronapandemin
	Enkätstudie	
Tilläggnig/avgång	Lotsbåt	Integrationstester, mindre fartyg som genomför tilläggnig/avgång
	Färja	Inställt pga. av coronapandemin
	Stena RoPax färja	Inställt pga. av coronapandemin

Tabell 1 Tabell över användningsområde och utförda tester.

För att kunna genomföra de praktiska testerna med sensorer behövde en prototyp byggas som installerades på lotsbåt 729, där monteringen och tester utfördes i mitten av juli och oktober 2020. Sensormontering och tester av plattformen genomfördes först i Chalmers Revere Lab, d.v.s. montering med hård- och mjukvaruutveckling av prototypplattformen, dess komponenter, kommunikationsgränssnitt, initialprogrammering och grundläggande funktioner. Plattformen inkluderade LIDAR och optisk kamera, samt delsystemen för insamling av relaterade metadata om GPS system. Plattformens detektion, identifiering och analyser av objekt implementerades i efterhand på insamlade data. De olika sensorerna har testats under fördelaktiga förhållanden, vilket innebär är klar sikt, växlande molnighet och vind under 8 m/s.

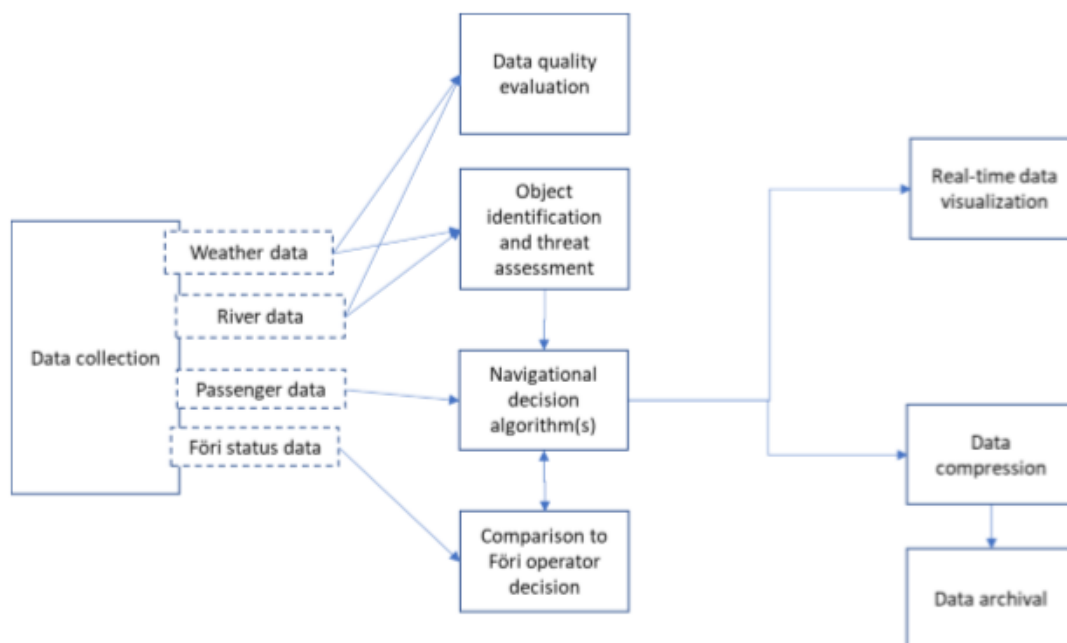
Då systemet i vissa avseenden skall jämföras med mänskliga funktionskrav genomfördes jämförandestudier mot mänsklig funktionsprestanda. Testerna som utfördes begränsades till objekt-detektering och identifiering från sensordata, med förväntningar att tekniska lösningar skulle prestera på samma nivå som en människa eller även bättre.

4.1.1 Testutrustning & installationen på lotsbåt 729

Testutrustning som har använts i de praktiska testerna består av två delar:

- Sensoruppsättning bestående av
 - 1st LIDAR, Velodyne Puck (VLP-16)
 - 8 st. optiska kameror av serien AXIS F1005-E HD
 - 1 st GNSS mottagare, Trimble SPS
- Databearbetning och lagring bestående av serverhårdvara och mjukvara

Figur 6 nedan visar ett blockschema för server- och sensorinstallation, alla delar implementerades dock inte på grund av coronapandemin. Grundläggande data för sensorvalidering av optisk kamera och LIDAR samlas in med relevant metadata. Sensorena är monterade på en fixtur för flexibel placering på respektive fartyg. Respektive sensor har också kablage för dataöverföring och kraftförsörjning. För att hantera inspelning och lagring av sensordata användas OpenDLV, och detta verktyg möjliggjorde en noggrann tidsstämpling av insamlad information och hantering av datamängderna.



Figur 6 blockschema för server och sensorinstallation.

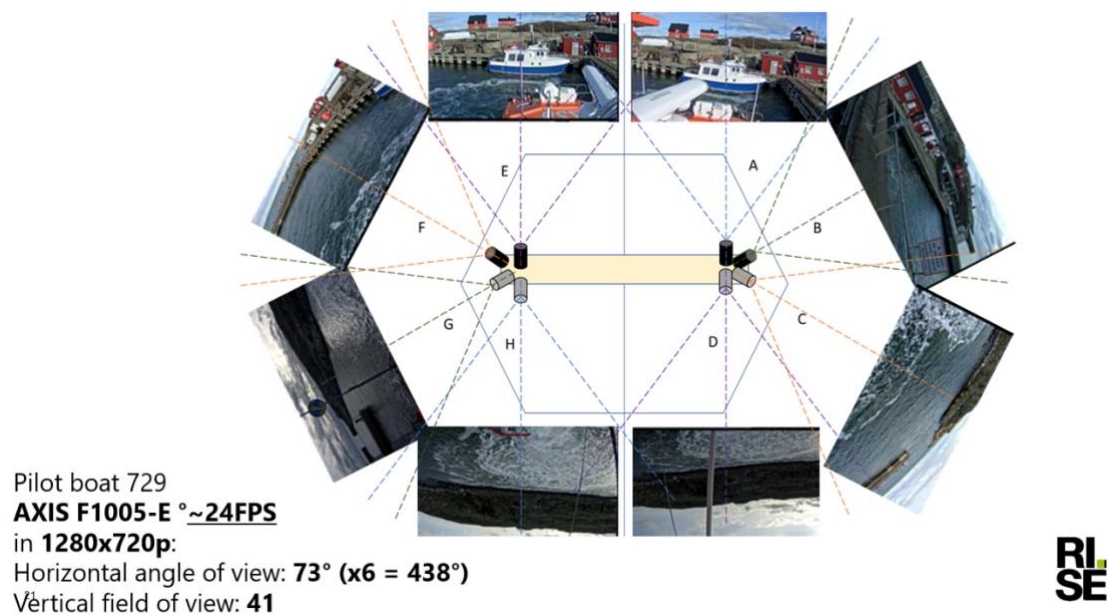
Testerna som utfördes samlade in LIDAR- och optiskkameradata från specificerade operationsområden som navigering i farled, manövrering och tilläggning/avgång kaj. Sensorerna installerades för om styrhytten på ungefär 3 m höjd över vattnet och

med klar sikt förut. LIDAR-sensorns horisontella operationsområde är 360 grader, så genom prioritering av området framför fartyget blev delvis aktervyn blockerad av strukturer på styrhytten. Sensorinstallationen kan ses i Figur 7 där LIDAR är placerad till vänster och optisk kamera till höger.



Figur 7 LIDAR och optisk kamerauppsättningsinstallation på lotsbåt.

För att uppnå samma potentiella vy som en mänsklig utkik och en LIDARs horisontella operationsområde installerades en kamerauppsättning som gav en 360 graders horisontell vy. Detta uppnåddes med en installation av 6 optiska kameror som gav möjlighet till en 360 graders visualisering, installation kan ses i Figur 8. Den enskilda kameran har en horisontell sektor på 73 grader och alla kameror har sammanlagt 438 graders horisontell sektor, vilket möjliggör överlappning av bilderna och därmed kan bilderna sammanfogas genom bildbearbetning.



Figur 8 Optisk kamerainstallation på Lotsbåt 729 med 360 graders horisontell vy.

4.2 Sensordataanalys

Sensordata har analyserats genom att kombinera LIDAR, optisk kamera, mänskliga observationer samt positioneringsdata. Genom att visualisera sensordata för enskilda tidpunkter kunde vi jämföra LIDAR och optiska kamerans prestationer i specificerade operationsområden. Inspelning utfördes med verktyget OpenDLV, som tillät lagring av data i OpenDLV filformat ".rec", detta format komprimerar sensordata med en noggrann tidsstämpel. Första steget i analysen blir därmed att konvertera inspelade datafiler till ett format lämpat för bearbetning i olika visualiseringsverktyg. Sensordata från optiska kameror konverterades direkt till bilder eller video, LIDAR-data konverterades till punktmoln medan metadata så som GNSS-position konverterades till CSV-filer. GNSS-spåret från lotsbåt 729 där delar av observationerna gjorde visualiseras i **Error! Reference source not found.** Observationer av GNSS-positioneringen visar att ett fåtal positioner har förskjutits från vår förväntade position med vissa positioner även registrerade på land, vilket till viss del kan bero på den urbana miljön med höga byggnader intill som störde GNSS-signalen.

LIDAR-sensordata visualiserades i 2D plan och 2D horisontell vy och optiska kameran visualiserades i 2D horisontell vy, även 3D LIDAR visualiseringsjämförelser mot optisk kamera och mänskliga utkiksobservationer. Evalueringsvisualiseringar för sensordata togs fram med verktygen OpenDLV, Python scripts, CloudCompare och klassiska bildredigeringsverktyg. Visualiseringarna användes för att jämförde de olika sensortyperna genom att observatörer försökte identifiera objekt i den visade sensordatan.

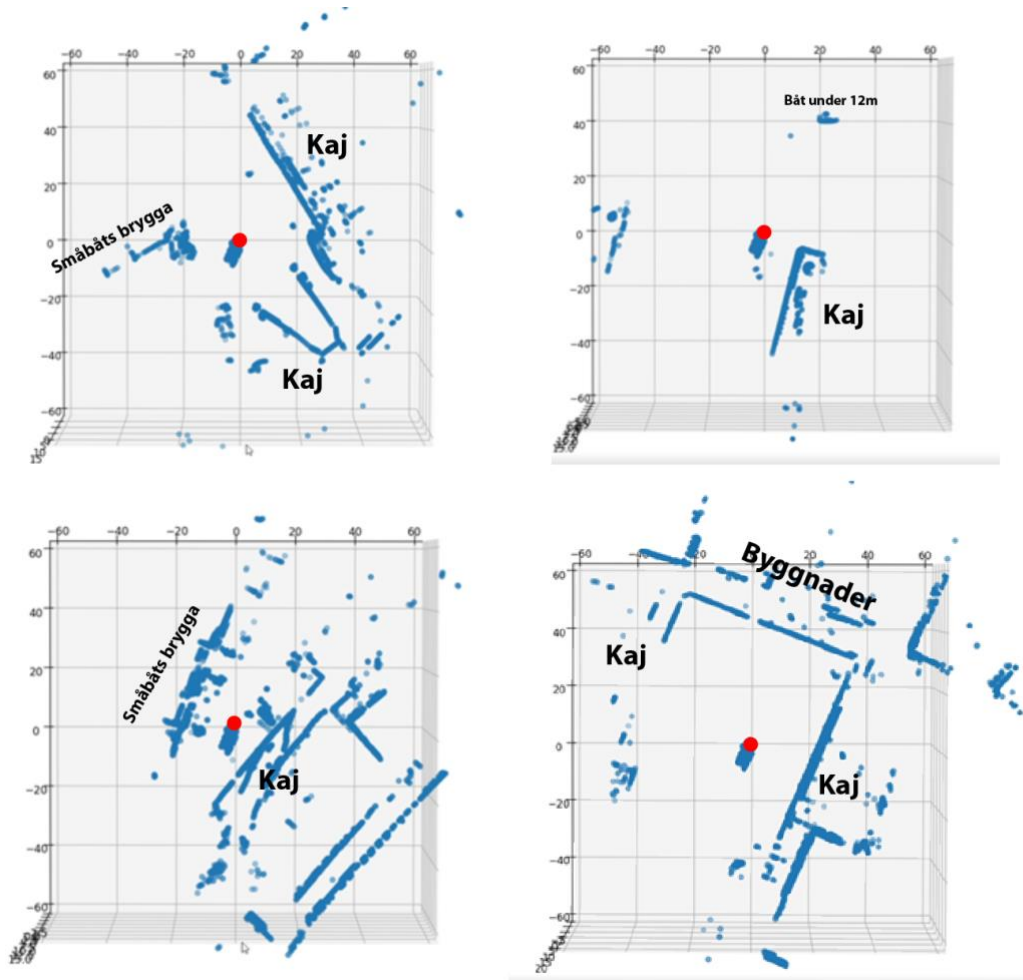
Slutresultat och valideringar av sensordata beskrivs i nästa sektion.

4.3 Testresultat

Analys och tester av den optiska kameran och LIDAR visar att sensorerna har god potential att assistera operatören i att uppnå en god situationsmedvetenhet genom att ge nya informationskällor för objekt-detektering och identifiering. Testerna fokuserade på hur en mänsklig operatör kan tolka sensordata och därmed identifiera och detektera objekt med olika visualiseringsmetoder. Den optiska kameran evalueras mer ingående i enkätstudien och därmed fokuserar denna sektion främst på LIDAR-sensorer.

I ett tidigt skede inom projektet identifierades att LIDAR har potential att täcka närområdet intill fartyget där dagens marina radar inte har operationell täckning. Detta område beskrivs närmare i avsnitt 3.5, men handlar om ett område runt fartyget på distansen 20-60 m beroende på radaruppsättningen. LIDAR-testerna utfördes med Velodyne Punk (VLP-16) med en operationell räckvidd för objekt-detektering som under goda förhållanden förväntas upptäcker en båt under 12 m på 60 m avstånd. Detta detekteringsavstånd är starkt beroende av målobjektets visuella yta och form, vilket innebär att en båt med hög utsida och hytt förväntas ge en god detekteringsdistans medan en gummibåt med samma längd och låg visuell yta kan falla mellan de horisontella mätlinjerna. I **Error! Reference source not**

found. visas hur gummibåten på 20 m avstånd faller mellan skanningslinjerna med enbart ett fåtal mätpunkter identifierade på gummibåten. Större objekt med god reflektionsyta som byggnader kan detekteras på över 60 m avstånd. En del av dessa referensobjekt kan ses i **Error! Reference source not found.** som är en plan-vy visualisering av LIDAR-data från lotsbåt 729 som innehåller enbart en skanning. Enheterna på x, y och z axlarna är i enheten meter.



Figur 9 Plan-vy visualisering av LIDAR-data som innehåller enbart en skanning av området, LIDAR positionerad vid rödmarkeringen och x, y och z axlarna är i enheten meter.

I Figur 9 kan vi observera att 2D plan-vy av LIDAR-data har stora likheter med den radarbild som sjöfarare idag är vana att tolka. Genom denna likhet och med samma perspektiv som radar kunde LIDAR-data potentiellt inkluderas i befintlig radarbild på små distansskalor. Viktigt att belysa är att LIDAR har andra egenskaper än radar, exempelvis är området bakom objekten blinda sektioner för LIDAR i likhet med skuggor, att jämföra med radar som har möjlighet att detektera objekt i samma bäring men kräver ett minimumavstånd mellan objektet för att kunna urskilja dem.

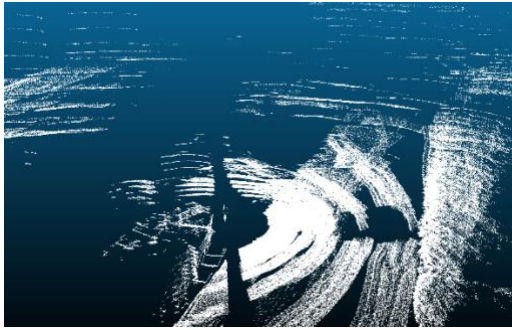
Kajkanter högre än 1 m var i de flesta fall lätta att detektera med LIDAR även på längre avstånd som 40-50 m medan flytbryggor krävde avstånd under 20 m då de var svårare att detektera pga. låg höjd. Detektionsgraden beror främst på hur

LIDAR ljusskanningsmätpunkterna fördelas över objekten, dvs hur separationen mellan mätpunkterna och skanningslinjerna fördelas över objektet. Beroende på tillämpningsområdet kunde mätpunkterna fokuseras, exempelvis under horisontlinjen för detektering av objekt på vattenytan för större detektionsgrad av mindre objekt.



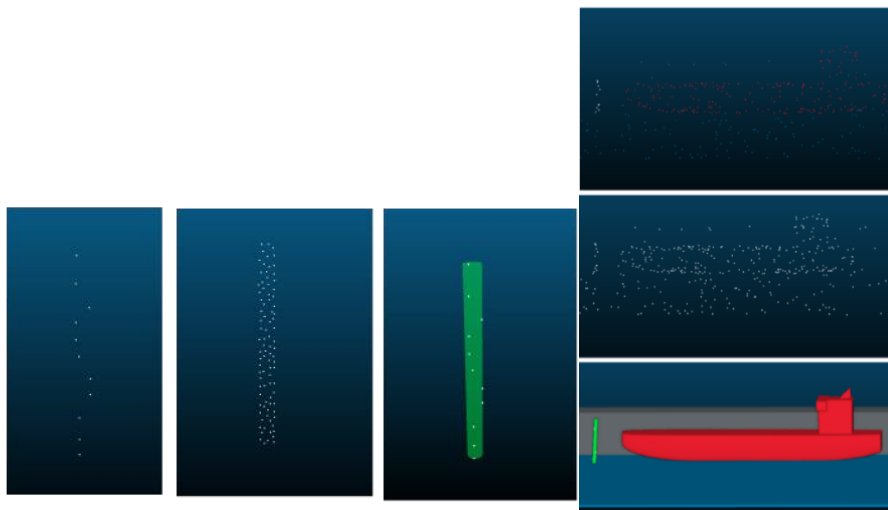
Figur 10 Visualisering av LIDAR-data i 3D vertikal projektion, bilden till vänster innehåller data från en skanning och bilden till höger innehåller data från tio skanningar.

I Figur 10 visar vertikala projektioner av optisk kamera och LIDAR-data, vita punkter i Figur 10 är LIDAR sensorns mätpunkter. Fördelningen mellan mätpunkterna aggregeras till horisontella täta linjer av denna typs LIDAR sensor, två skanningar är visualiserade på vänstra bilden och tio på den högra. Genom att skanningarna görs med en frekvens av 5-20 Hz kan flera skanningar visualiseras samtidigt för att få flera mätpunkter per objekt och öka detekteringsgraden utan att inkludera allt för mycket oskärpa. Men om LIDAR-sensorn förflyttas och flertal skanningar visualiseras kan det skapa rörelseoskärpa, vilket visualiseras i **Error! Reference source not found.** där lotsbåten avgår från kajen med 243 skanningar. Därmed, måste antalet skanningar som visualiseras förhålla sig till fartygets relativa rörelse till närliggande objekt. Denna effekt kan förminskas avsevärt om visualiseringen tar i beaktande hur LIDAR-sensorn har rört sig relativt de fasta objekten och kan fixera fasta objekt relativt till LIDAR-sensorernas rörelse, men kräver att LIDAR-data processeras med data över hur LIDAR-sensorerna har förflyttat sig under skanningarna. Detta går att göra på flera sätt men främst används två tekniker, SLAM (Simultaneous Localization And Mapping) som beräknar sensorförflyttning respektive användning av förflyttningsdata från en IMU-enhet (Inertial measurement unit / tröghetsmätningseenhet). Ju högre IMU-prestanda desto lägre blir rörelseoskärpan. Detta leder till att data som visualiseras är historisk data och hur denna visualiseras med realtidsdata måste klargöras för att undvika misstolkning av sensordata.



Figur 11 LIDAR-data där rörelseoskärpa skapats av för många skanningar i förhållande till den relativa rörelsen.

Genom att LIDAR skapar 3D mätpunktsmoln möjliggörs objektidentifiering. Detta kräver förstås en viss mätpunktstäthet och mätpunktsdistribution på objektet. Med ett känt mätpunktsmoln kan sedan 3D visualiseringstekniker användas. Ett exempel på teknik som kunde användas är att rita ut polygoner mellan mätpunkterna och på så vis skapa 3D objekt med yta mellan punkter som kan hjälpa en observatör att tyda mätpunktsmolnet. Det finns många olika visualiseringstekniker som kan assistera människan att uppfatta objekt från LIDAR-data som kunde testas i fortsatta studier. Exempel på hur en 3D objektrendering kan se ut visualiseras i Figur 11 och Figur 12.



Figur 12 Visualisering av 3D objekt i mätpunktsmoln.

Utmaningar med LIDAR-sensorn är främst den operationella räckvidden, fördelningen av skannade horisontella linjers täthet med objekt som faller mellan linjerna och okända effekter i den maritima miljön som påverkar LIDAR-sensorn.

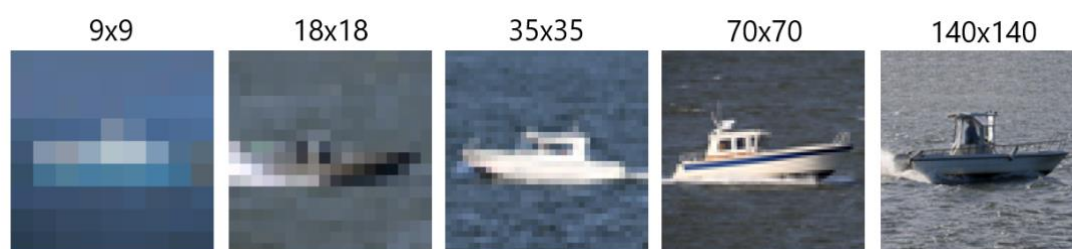
4.4 Enkätstudien om mänsklig objektidentifiering

Syftet med denna enkätstudie är att testa en metodik för att definiera minsta nödvändiga kameraupplösning för maritim objekt-detektering och identifiering för en mänsklig observatör som tolkar sensordata. Enkätstudiens fokus ligger på den optiska kameran men samma metodik kunde användas för andra sensortyper där upplösningen är en betydande faktor för identifiering och detektering av objekt. Metodiken analyserar enbart nödvändig upplösning för objekt-detektering och

identifiering inom den maritima sektorn, däremot är bildskärpa och tydlighet lika viktigt för objekt-detektering och objektidentifiering från en bild. I likhet med befintliga prestandakrav på marin radar skulle standard kunna skapas för den optiska kamerans sensorapplicering för operationskritiska system inom maritima sektorn.

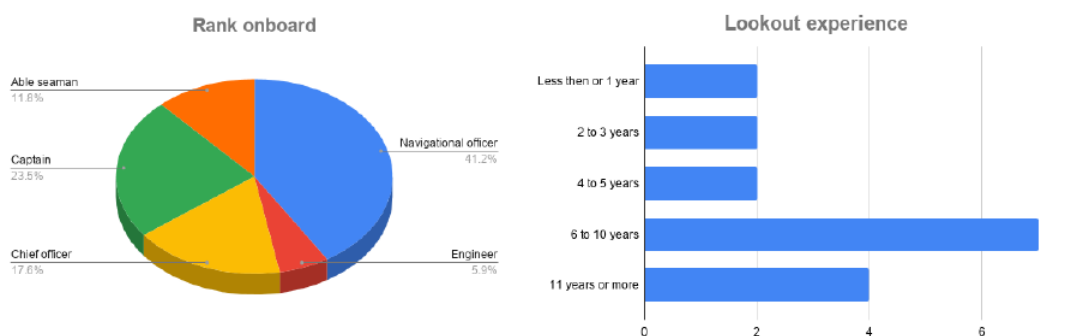
Genom att sätta en gräns för minsta bildupplösning hos den optiska sensorn och kameraobjektivitet horisontella vinkel finns en teoretisk potential för en detekterings- och identifieringsgrad av objekt inom den utsatta arbetsdistanzen och därmed kan en förväntad tillförlitlighet och prestationsnivå fastställas. Kamerans resolution är bara en faktor som definierar den optiska kamerans egenskaper, sensorns ljuskänslighet, brus i bilden och fokusområdet bör även tas i beaktande vid framtagande av prestandakrav för optisk kamera. EMVA standard 1288 utfärdad av European Machine Vision Association skulle kunna tas i beaktande vid utformning av krav på optiska kamerasensorer för tillämpning som inkluderar maskinbildanalysteknik (European Machine Vision Association, 2021). Även ISO-standard 18383:2015, som är en kamerastandard för att möjliggöra rättvis jämförelse på konsumentmarknaden mellan kameror, skulle kunna användas för kontinuerliga och standardiserade specifikationer (ISO, 2021).

Bilderna som användes i enkäten för objektidentifiering är tagna i förhållanden som är fördelaktiga för en optisk kamera, vilket innebär att bilderna är tagna under dagtid, vid klar sikt och med objektet lokaliserat i motsatt riktning till solen. Alla bilder har i original hög upplösning och har sedan skalats ner till den relevanta upplösningen i enkäten. Bilderna är tagna från skärgårdsområdet runt Göteborg och i farvatten mellan Helsingfors och Stockholm. Totalt presenterades 38 objekt för deltagarna i en slumpmässig ordning och alla bilderna var från unika objekt och områden och på så vis kunde inte deltagarna korrelera bildens kulör till tidigare observerade bilder. Figur 13 visar uppsättningen av objektet båt under 12 m samt relaterad pixelupplösning.



Figur 13 Bildupplösningarna som användes i enkätstudien.

Målgruppen för enkäten var sjöfarare med utkikserfarenhet som hade eller hade haft ett giltigt sjömansläkarintyg utan förändringar i hälsostatusen, demografin illustreras i **Error! Reference source not found.** En stor del (82,3%) av deltagarna var navigationsbefäl och ungefär 65% hade mera än 6 års erfarenhet av utkikserfarenhet. Alla svar samlades in anonymt med hjälp av verktyget Google forms.



Figur 14 Enkättagarnas demografi.

4.5 Enkätresultat

Utvärderingen av enkätsvaren visar att med relativt låg upplösning kan maritima objekt detekteras och identifieras vid förhållanden som är gynnsamma för en optisk kamera. En summering över enkätens minsta upplösning och med korrelation till detektering och identifiering av objekt visas i Tabell 2. Fem olika nivåer av upplösning användes i enkäten vilket gav möjlighet att detektera objektet med antingen högre eller lägre upplösning. På detta sätt kan ett riktigt område erhållas för vilken upplösning som potentiellt skulle krävas för objekt-detektering och identifiering.

För detektering av ett maritimt objekt krävs enligt enkätresultaten att upplösningen på objektet bör vara minst 18x18px till 35x35px. För identifiering av ett maritimt objekt är kravet på upplösning korrelerat till objektets detaljer och form som ger objektets kännetecken för identifiering, enkätsvaren visar ett upplösningsskrav mellan 35x35px och 140x140px beroende på objektet som skall identifieras. Denna variation inom identifiering av objekt kan bero på att vissa objekt är mer komplexa och har mindre detaljer än andra objekt, även objektets konturer kan inverka samt oskarpa i bilden.

Objekt	Detektering	Identifiering
Båt under 12m	18x18	35x35
Fartyg över 50m	18x18	35x35px – 70x70
Lotsbåt*	18x18	>140x140
Lateralmärke Grön	9x9 - 18x18	35x35
Lateralmärke Röd	18x18	35x35
Kardinalmärke Öst*	35x35	70x70 – 140x140
Kardinalmärke Väst*	35x35	140x140
Kardinalmärke Syd	18x18	70x70
Kardinalmärke Nord	35x35	70x70

*Alla upplösningar ej existerande för objektet.

Tabell 2 Potentiell pixelupplösning som behövs för objekt-detektering och identifiering.

Kraven på upplösning för detektering och identifiering, som är framtagna ur enkätsvaren för de enskilda objekten, är där deltagarna kunde detektera eller

identifiera det korrekta objektet. Från resultatet kan en teoretisk pixelupplösning identifieras som en undre gräns för detektering och identifiering av specificerat objekt. Baserat på denna information kan sensorupplösningen och objektivets horisontella vy vinkel korreleras till distanser där objekten anses kunna bli detekterade eller identifierade av en mänsklig observatör av sensor data. I Tabell 3 visas vilka dimensioner som användes för beräkning av de teoretiska avståndsgränserna. Dessa mått baserar sig på uppskattningar och är därmed förenklade.

Objekt	Höjd (Vertikalt)	Bredd (Horisontellt)	Observationsyta
Båt under 12m	1m	5m	5m ²
Fartyg över 50m	10m	100m	1000m ²
Navigations boj	3m	0,5m	1,5m ²

Tabell 3 Förenklade objektdimensioner använda i beräkningarna.

Formeln som användes för beräkning av de teoretiska maximala distanserna är följande:

$$DEGREES \left(ATAN \left(\frac{\frac{OHL}{2}}{\frac{ROR}{\frac{SR}{2}}}}{Dis} \right) \right) * 2 = HVA$$

där

HVA = Horisontell observations vinkel

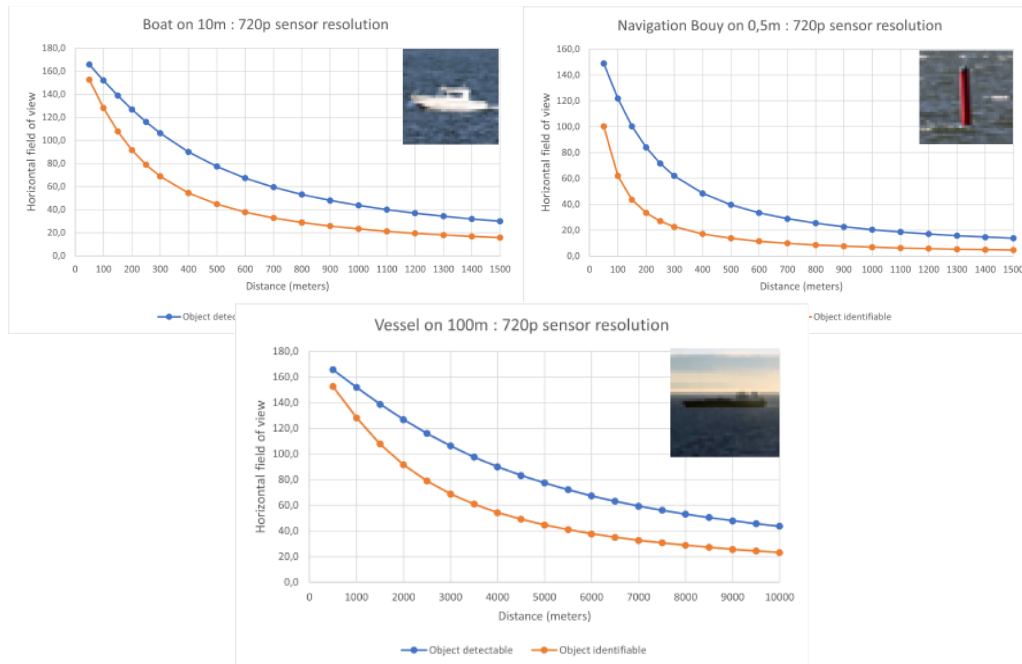
OHL = Mål objekt horisontella längd

ROR = Nödvändig horisontella upplösning av mål objektet

SR = Sensor horisontella upplösning

Dis = Distans

Beräkningarna gav följande resultat:



Figur 15 720x480p sensorupplösning för detektering och identifiering av respektive objekt.

Denna potentiella metodik användes för att ta fram upplösningskrav och objektiv uppsättning för system som inkluderar optisk kamera som en systemkritisk komponent. Metodiken inkluderar följande steg i ordningen:

- 1) Identifiera viktiga objekt inom det tänkta applikationsområdet som måste kunna detekteras eller identifieras. Från dessa identifierade objekt, välj ut det minsta objektet eller den minsta detaljen på ett objekt som måste kunna identifieras.
- 2) Definiera på vilket avstånd som det minsta objektet eller detalj skall kunna detekteras eller identifieras. Ifall det nödvändiga operationella detekterings eller identifieras avstånden är stora mellan objekten bör försiktighet tas i val av objekt eftersom stora objekt på långt avstånd kan ockupera mindre pixlar ett små objekt nära.
- 3) Beräkna vilken nödvändig kameraupplösning och objektivets horisontella vy vinkel är nödvändig för tillämpningsområdet.

I denna studie användes en anonymiserad enkätundersökning riktad till erfarna sjöfarare med utkiks erfarenhet, men metoden hade begränsningar i hur deltagarna tolkade enkätens målsättning och enkätkategoriseringen av objekt. Detta ger inte insikt i hur deltagarna resonera kring valen de gjorde. En fokusgrupp med noggrant utvalda navigatörer med erfarenhet skulle kunna vara en bättre metodik för att få fram upplösningskrav, genom att kombinera med frågor om hur säkra de känner sig med informationen de kan tyda i bilden. För att göra beräkningar om teoretiska maxgränser bör även objektens storlek i bilderna vara kända.

5 Utvärdering

5.1 Inledning

Detta avsnitt rapporterar och beskriver AP4 ”Utvärdering av resultaten av tester” Sensorerna i detta projekt utvärderas utifrån tre applikationsområden. Detta avsnitt beskriver dessa scenarier och kopplingar till utvärderingskriterier samt ger slutsatserna från själva utvärderingen.

5.2 Beskrivning av användningsområden

Sensorerna som har utvärderats i detta projekt är sensorer som detekterar objekt och fartygets omgivning. De applikationsområden som definieras ställer olika krav på förståelse om omgivningen och verkar på olika avstånd till de objekt som behöver detekteras. Följande applikationsområden har studerats:

- Navigation i farled
- Manövrering i hamn
- Tilläggning/avgång till kaj

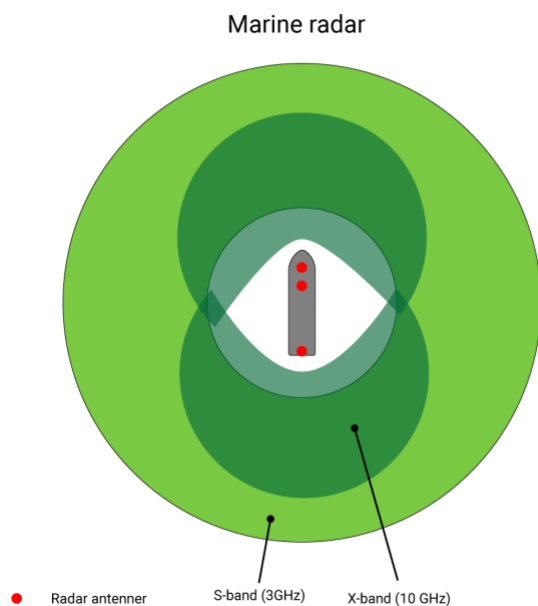
I alla applikationer utvärderas sensorerna främst utifrån hur de kan bidra till ökad säkerhet. Sensorerna kan antingen användas ”stand alone” eller integreras i andra system.

Det som är gemensamt för alla sensoruppsättningar är att de i princip skall fungera dygnet runt, under dygnets olika ljusförhållanden, olika vågtillstånd och siktförhållanden. Det operationella området, med en kombination av sensorer, skall ofta täcka 360° vy runt fartyget. I alla applikationsområden är det viktigt att sensorerna kan detektera, positionera relativt och identifiera objekt. När sensorerna utvärderas enligt kriterierna nedan skall man också ta beaktande att två sensorer tillsammans uppfyller ett kriterium genom sensorfusion.

Utvärderingskriterier:

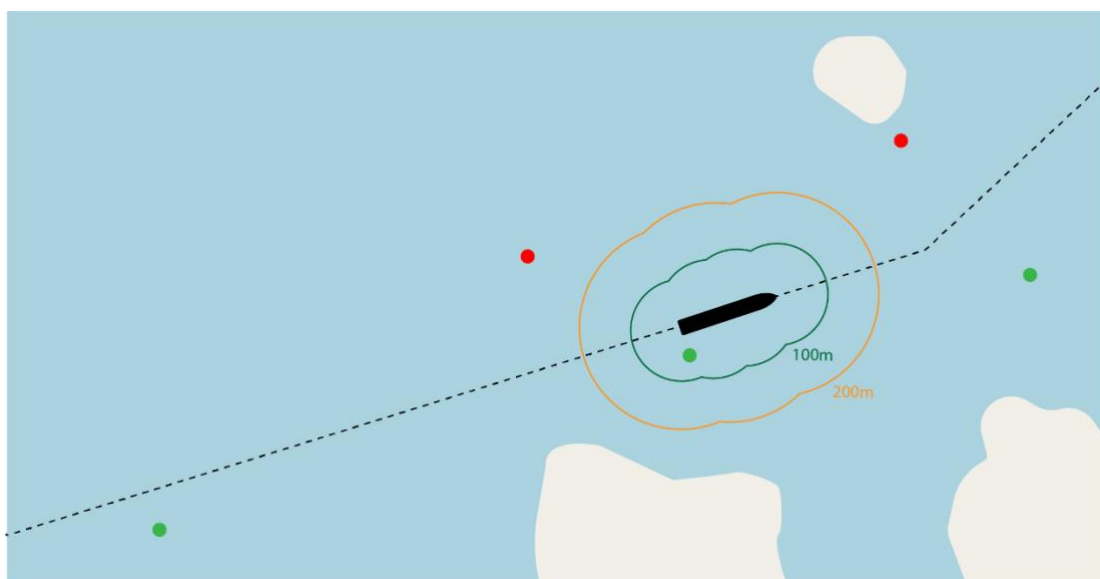
- 1) Tillräckligt bra upplösning för att en operatör eller autonom algoritm kan detektera och identifiera objektet, med prioritering på visualisering för människan.
- 2) Ange objektets relativa position (avstånd, bäring) från fartyget. I kombination med positioneringssystem kan sedan objektets absoluta position i latitud och longitud beräknas. Detektera, klassificera, identifiera objekt och positionera dessa relativt till fartyget systematiskt.
- 3) För att uppnå fullständig lösning kan en till flera sensortyper ingå i systemet och sensordata sammanfogas genom sensorfusion.

Som referensfartyg används ett fartyg på LOA 200 m och bredd 30 m. Utvärderingen utfördes med fartygets navigationsbrygga vid 1/5 av fartygets längd från fören och 1/5 av fartygets längd från aktern. Det antas även att fartyget har S-bandsradar positionerad midskepps på centerlinjen på en höjd av 15 m och minst en X-bandsradar placerad 1/5 av fartygets längd från fören. Vissa fartygstyper kan även ha X-bandsradar placerad i aktern. Utkik med kikare har möjlighet att positionera sig var som helst på fartyget för att få full observationsförmåga.



Figur 16 Field of view för radarinstallationer på referensfartyget.

5.2.1 Navigering i farled



Figur 17 Use Case: ett östgående fartyg på 200m passerar ett grönt lateralmärke, relativa sensordistanser ut markerade i grönt 100m och orange 200m.

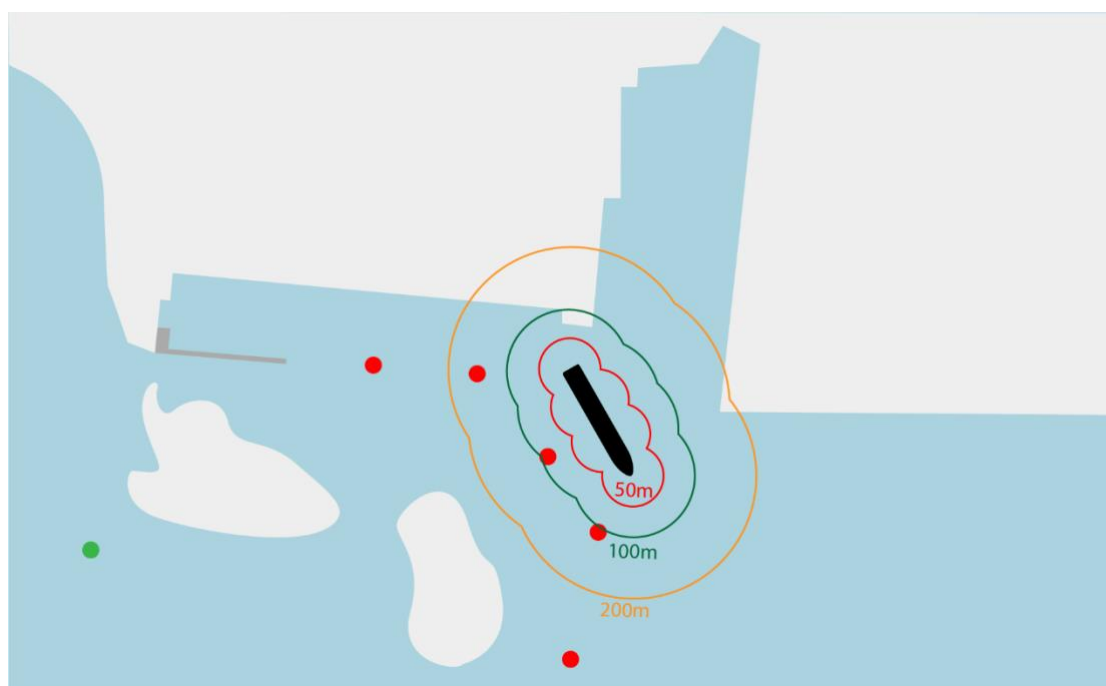
I detta användningsområde, navigation i farled kan de nya sensorerna potentiellt stödja besättningen ombord genom att detektera, klassificera, identifiera objekt och positionera dessa systematiskt relativt till fartyget. Därmed finns potential att assistera inom följande områden men ej begränsat till:

- Upptäcka och observera navigationsmärken, Aids to Navigation (AtN)
- Upptäcka och observera farliga områden som öar, grundområden och andra objekt

- Assistera i beslut om en antikollisionsmanöver enligt de internationella sjövägsreglerna
 - Snabba små båtar nära fartyget (vattenskoter)
- Övervaka lotsbåt vid på och avhämtning av lots
- Övervaka svallet för markant squat-effekt

Fartygen rör sig med relativt hög fart och det kan finnas fartbegränsningar i farleden som leder till en variation på fart mellan maxfart, ned till cirka 5 knop. Styrsöbolagets höghastighetsfärjor navigerar med 30 knop i farleden medan större handelsfartyg håller 15 knop. Även skrovvibrationer och slagsida vid gir kan förekomma i olika grader. Fartyg som har en snabb rotations-/girhastighet skall även tas i beaktande. Farledsområdet kan bli mycket komplext med flera objekttyper och ett antal rörliga respektive fast installerade objekt. Visuella begränsningar som öar och andra hinder kan begränsa sikten och dölja objekt.

5.2.2 Manövrering i hamn



Figur 18 Use case: fartyg positionerat mitt under en hamnmanövrering, relativa sensordistanser utmarkerade.

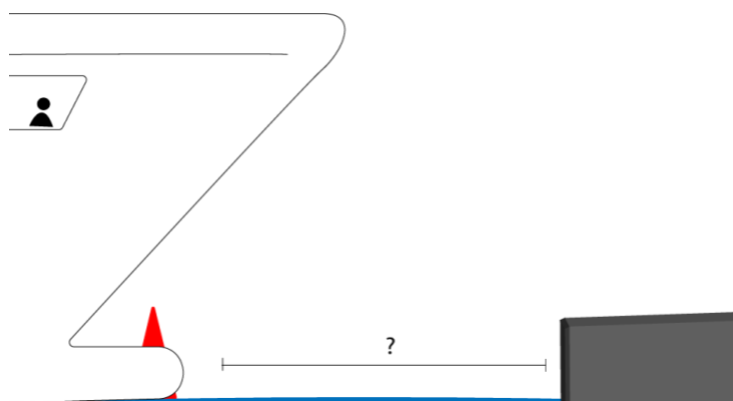
I användningsområdet hamnmanövrering kan de nya sensorerna potentiellt stödja besättningen ombord genom att detektera, klassificera, identifiera objekt och positionera dessa systematiskt relativt till fartyget. Därmed, finns potential att assistera inom följande områden, men ej begränsat till:

- Observera sjömärken, Aids to Navigation (AtN)
- Observera farliga områden som kajkonstruktioner, grundområden och andra objekt.
- Assistera i beslut om en antikollisionsmanöver enligt de internationella sjövägsreglerna

- Extra hänsyn till mindre båtar/farkoster som kan befinna sig längs motsatt utsidan från manövrerings bryggvingen.
- Övervaka avstånd till närmaste objekt som exempelvis kajhorn och andra fartyg
- Identifiera objekt som kan ta skada av propellervattenflödet (främst POD drivna fartyg)
- Observera hinder som kan störa manövreringen
- Detektera och positionera flytande objekt i vattnet, t.ex. stockar, tampar och mera
- Övervakning och lägesbild för bogserbåtsoperation

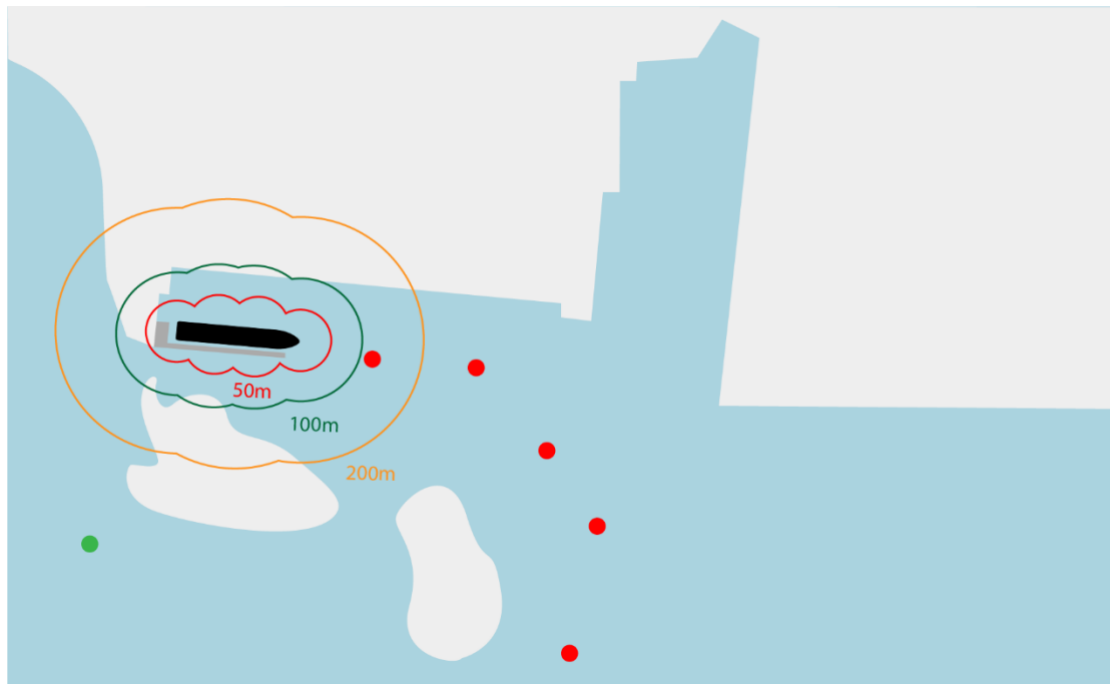
I detta fall rör sig fartygen i låg fart, 3 till 8 knop. Fartyget kan röra sig framåt, bakåt, åt sidan och kombinationer av detta samt snabba rörelser. Vid hamnmanövrering kan användning av maskiner och roder medföra att fartyget börjar rulla eller får tillfällig slagsida och även starka vibrationer från maskin vid manövrering till/från kaj kan uppstå i skrovet, vilket kan påverka sensorer. Landinfrastruktur nära fartyget som exempelvis höga byggnader eller starka ljuskällor på land (som ej är för navigation) kan vara utmanade för flera sensoruppsättningar. Inom hamnområden finns många olika objekt, såväl rörliga som fast installerade.

En utmaning vid hamnmanövrering är att kontinuerligt känna till distanserna till närliggande objekt, vilka kan finnas i visuella dödvinklar från navigationsbryggan. Därför måste extra utkik placeras vid en observationspunkt ombord på fartyget för att täcka dessa visuella dödvinklar från navigationsbryggan. Nästan alla fartyg har åtminstone en blindsektion för om fartyget p.g.a. skrovkonstruktionen, kranar eller last på däck, men hur stor denna sektion är beror främst på navigationsbryggans position på fartyget. Blindsektionerna kan vara från några meter, upp till eller mer än två fartyglängder. Observationspunkterna som används för att täcka de blinda sektionerna kan vara högt ovanför vattenlinjen med begränsad sikt, och i vissa fall utan referensmärken uppskattar utkiken distanser till närliggande objekt. Från dessa observationspunkter kan det vara svårt att bedöma hela fartygets rörelse och det kan leda till desorientering, på grund av att utkiken fokuserar på ett litet område. Distanserna som uppskattas av utkiken förmedlas muntligt över radio i flesta fall till navigations brygga, detta kan leda till bristfällig eller felaktig information och även långsam uppdateringsfrekvens.



Figur 19 Utkik placerad i fören med begränsad situationsmedvetet.

5.2.3 Tilläggning/avgång kaj



Figur 20 Use case: fartygstillägning/ avgång.

I detta användningsområde, intill och vid kaj skall de nya sensorerna stödja besättningen ombord genom att detektera, klassificera, identifiera objekt och positionera dessa systematiskt relativt till fartyget. Därmed finns potential att assistera inom följande områden, men ej begränsat till:

- Observera hinder som kan störa manövreringen
- Identifiera kajer och kajplats
- Detektera och positionera flytande objekt i vattnet, tex stockar, tampar etc.
- Övervakning av landgångar och ramper
- Identifiera mängden is mellan kaj och fartyg
- Kajfelaktigheter längs kajen
- MOB från eget fartyg eller kaj
- Oljespilldetektering vid fartygets utsida.
- Notering när trossarnas skickas, är på pollaren, är uppspända och om de brister.

I detta fall rör sig fartygen i låg fart 0 till 5 knop. Vid manövrering rör sig fartyget mot respektive ut från kajen samt förflyttas parallellt längs kajen. Inom hamnområden finns många objekt, såväl rörliga som fast installerade. Trafik inom hamnen handlar oftast om fartyg som gör anlop eller avgår men även mindre fartyg/ båtar kan befinna sig i hamnområdet som exempelvis bogserbåtar, fritidsbåtar och bunkerbåtar. Beroende av fartygstypen kommer situationen nära kajen se mycket annorlunda ut, med variationer som akterförtöjning (Medelhavsförtöjning),

förtöjning i fören och parallell förtöjning på en sida, även förtöjningsbojar och ankar kan användas.

5.3 Utvärderingskriterier

Baserat på användningsområden ovan har utvärderingskriterier identifierats. Dessa utgår från operationella aspekter i respektive scenarier med en centraliserad synpunkt för tillämpningsområden och applikationer. Utvärderingen baserar sig i första hand på:

- Objektdetektering i förhållande till radar och utkik
- Objektidentifiering i förhållande till radar och utkik
- Objektpositionering relativt till fartyget
- Mjukvara som hanterar
 - Operationellt beskrivande och prediktivanalys
 - Beslutsstödsunderlag och potentiellt förslag
- Visualisering av sensordata

Utvärderingen baserar sig i första hand på professionell sjöfart och med tidigare beskriven fartygsmodell. De operationella specifikationerna och krav på prestationsförmåga är främst diskussionsunderlag.

Riktlinjer som kan appliceras på alla användningsområden:

Detektering

För definition av detekteringskrav kommer det minsta objektet eller minsta detaljen som bör identifieras på bestämd distans ligga till grund för sensorernas prestandakrav. Om prestandakrav skulle sättas utifrån identifiering av definierade minsta objekt eller minsta detalj på specificerad distans, skulle detta bli en funktionell kravställning utan teknisk specifikation på hur målet uppnås.

Detta finns redan idag delvis definierat för marin radar i MSC.192/5.4.1, att en antenn placerad på 15 m höjd över havet ska detektera ett objekt (en navigationsboj) med RCS på 10 m² för X-band och RCS 1 m² för S-band på ett horisontellt avstånd av 40 m. MSC.192/5.5.1: objekt åtskilda med 40 m eller 2,5 grader på samma distans ska särskiljas som två distinkta föremål.

En viktig del av utkikens uppgift är att identifiera nödsignaler och om ett system har som målsättning att ersätta utkiken måste detta tas i beaktande. Livräddningssignalerna finns dokumenterade i Internationell signalbok och IAMSAR Manual Volume III.

Även SART-enheter som idag är kompatibla med X-bandsradar bör kunna detekteras. Med ny teknik som AIS-baserade lokaliseringlösningar kommer sådan kravställning kanske falla bort i framtiden.

I IEC s62676-4 standard för videoövervakning definieras detektering som förmåga att upptäcka närvaron av ett objekt. Detta tyder Lehtovaara och Kalevi som att betydelsen i sjöfart skulle vara något i stil med, ”något annat än vatten ” (Lehtovaara & Kalevi, 2021).

Upplösning och identifiering

Upplösningskravet kan tas fram genom metodiken beskriven i avsnitt 4.5, som beskriver mänsklig objekt-detektering och identifieringsförmåga av sensordata. Upplösningen som tas fram måste sedan kompletteras med ljus känslighet och hur bildskärpan hålls på en rimlig nivå.

Ett av de potentiellt minsta objekten som bör kunna detekteras inom navigering är dagermärken, som exempelvis klotmärket med en diameter av minst 0,6 m.

Visualisering och alarm

När nya applikationer introduceras måste informationen till navigatörens balanseras så att inte överbelastning av information sker och skapar hög arbetsbelastning. Exempelvis kan nya larm som inte är väsentliga skapa distraktion vid navigation, eller medföra att viktiga alarm inte prioriteras tillräckligt högt och navigatören förblir omedvetande om alarmet. Dagens ECDIS har många larm och varningar som löser ut vid exempelvis farledsnavigering och övervakning av dessa kan i vissa fall bli en distraktion.

Om detekteringen baserad på sensordata görs manuellt av en människa måste sensordata kunna representeras visuellt. Denna visualisering bör vara tydlig och med en sensorupplösning på en lämplig detaljnivå, i MSC.191/8.4: läggs en minsta skärmupplösning på 1280×1024p. Operatören måste utbildas för att tolka och tyda visualiseringen.

Uppdateringsfrekvensen för ny information från sensorn bör vara baserad på applikationsområdets relativa hastighet och händelseförloppets tidsintervall. Beroende på fartygets manöverförmåga, toppfart samt områdets visuella reaktionstid behöver uppdateringsfrekvensen tas i beaktande. Prestationsstandard för radar baseras på rotationshastigheten för antennen, som varierar enligt fartygets karaktär, där rekommenderad mini rotationshastighet är 20 rpm och för höghastighetsfartyg 40 rpm.

Visualiseringen av sensordata bör även ta i beaktande att människans förmåga att uppfatta rörelse som kontinuerlig ligger runt 24 Hz.

Krav på existerade utkik

I sjövägsreglerna Sektion 1 Regel 5 gällande utkik står följande ”Varje fartyg skall ständigt hålla noggrann utkik såväl med syn och hörsel som med alla andra tillgängliga och under rådande förhållanden och omständigheter användbara medel, så att en fullständig bedömning av situationen och risken för kollision kan göras” (Transportstyrelsen, 2021) Detta kan användas som riktlinje för ett system som strävar efter att ersätta dagens utkik.

Detektering av objekt efter solnedgång till soluppgång

Enligt sjölagen skall fartyg över 50 m föra navigationsljus med en lysvidd av toppljus på 6 NM och övriga 3 NM, fartyg med en längd över 20 m och under 50 m skall föra ett toppljus med lysvidd på 5 NM och fartyg under 20 m till 12 m skall föra toppljus på 3 NM (Transportstyrelsen, 2021). Dessa krav på lysvidds kan fungera som riktlinjer för en kameras ljusupptagningsförmåga.

Formel för beräkning av nödvändig ljusstyrka

$$I = 3,43 \times 10^6 \times T \times D^2 \times K^D$$

I = ljusstyrkan i candela under drift

T = tröskelvärde 2×10^{-7} lux

D = fartygets ljusets siktbara gräns i nautisk mil

K = atmosfärens transmissionsfaktor

Maritima miljön

Marina radarsystem har krav på att hårdvaran skall klara av vibrationer och stötar med accelerationskraft på 100 m/s med en varaktighet på 25 ms. Nya sensorer bör klara liknande krav, och även klara av den tuffa marina miljön med både väderrelaterade effekter samt effekter från fartygets rörelse och konstruktion varav några är:

- Skrovvibrationer
- Slagsida och rullning (radarprestandakrav: +/- 10° rullning och pitching skall inte markant påverka radarbilden)
- Fartygets girhastighet
- Nederbörd (regn och snö)
- Vind
- Saltvattenstänk
- Dimma
- Dag och nattförhållanden

5.3.1 Prestandakrav för radar

Radar är idag den främsta sensorn för objekt-detektering ombord på fartygen och har väl definierade prestations- och installationskrav samt hårdvara som skall vara klassad och godkänd. Dessa krav leder till att sjöfarare kan använda olika tillverkares system och ändå kunna de grundläggande funktionaliteterna och förväntad prestanda. Några urplock från internationella konventioner. Radarn är den enda sensorsystem som tas i beaktande inom de internationella sjövägsreglerna Regel 6, 7, 8 och 19. MSC.192/5.25.4.1 sätter krav för objektspårning att objektets relativa rörelse-trend skall visas inom en minut och en prediktion baserat på objektets rörelse skall visas inom 3 minuter. MSC.192(79) sätter krav på att radarsystemet skall minst kunna samtidigt spåra 40st objekt med mål som rör sig relativt upp till 100 knop.

5.3.2 Sjöfararens prestandakrav

Sjömän som går navigationsvakt skall ha en giltig behörighet baserad på STCW-standard och ett giltigt läkarintyg för sjömän. För ett godkänt läkarintyg krävs en synundersökning som påvisar synskärpa med minst 0,7 på ena ögat och 0,5 på andra ögat på 5 m distans i ett väl upplyst rum samt att sjöfararen inte får vara färgblind. Detta kan vägleda vid framtagande av tekniska krav.

5.3.3 Navigering i farled

Baserat på ovan beskrivna användningsområden har utvärderingskriterier identifierats. Dessa utgår från operationella aspekter i respektive scenario. Genom att ta hänsyn till grundmodellen som beskrevs tidigare och med fokus på att digitalisera utkikens uppgifter är följande kriterier definierade.

- Systemet skall kunna detektera objekt tillförlitligt och med god precision
- Kunna spåra och identifiera ett stort antal objekt (+100)
- Fungera både dag och natt samt vid nedsatta siktförhållanden
- Sensorprestanda maximal degradering av väderfenomen -20%
- Identifiera navigationsljus
- Urskilja var säkert vatten förekommer
- Bäring till objekt med +/- 1 grads noggrannhet
- Distansmätning närmaste 200 m, med 0,5 m noggrannhet
- Potentiellt minsta objekt som kräver identifiering är dagmärken med radie 0,6 m
- Potentiell minsta detalj (ej form) som kräver identifiering är linjetavlor
- Minimera mål-förväxling och hantera snabba objekt nära båten (småbåtstrafik)
- Vid integration till existerade navigationssystem ska sensordata visualiseras enligt dagens ECDIS- och radarstandarder
- Tilläggsystems får inte förhindra eller skapa konflikt med navigationssystemet eller annat operationskritiskt system
- Uppdateringsfrekvens på 360 graders sektion 24 Hz på området under 100 m
- Observationsförmåga 360 graders horisontellt och avstånd 2 m – 100 m

5.3.4 Manövrering i hamn

Baserat på ovan beskrivna användningsområden har följande utvärderingskriterier identifierats, vilka utgår från operationella aspekter i respektive scenarier. Genom att ta hänsyn i grundmodellen och med fokus på att digitalisera utkikens uppgifter har följande kriterier definierats:

- Systemet skall kunna detektera objekt tillförlitligt och med god precision
- Kunna spåra och identifiera ett stort antal objekt (+100)
- Fungera både dag och natt samt vid nedsatta siktförhållanden
- Sensorprestanda, maximal degradering av väderfenomen -20%
- Identifiera navigationsljus
- Urskilja var säkert vatten förekommer
- Bäring till objekt med +/- 1 grads noggrannhet
- Distansmätning närmaste 100 m, med 0,05 m noggrannhet
- Potentiellt minsta objekt som kräver identifiering är dagmärken radie 0,6 m
- Potentiellt minsta detalj (ej form) som kräver identifiering linjetavlor

- Vid integration till existerande navigationssystem ska sensordata visualiseras enligt dagens ECDIS- och radar standarder
- Tilläggsystems får inte förhindra eller skapa konflikt mednavigationssystemet eller annat operationskritiskt system
- Uppdateringsfrekvens på 360 graders sektion 24 Hz på området under 100 m
- Observationsförmåga 360 graders horisontellt och 0,1m – 100 m

5.3.5 Tilläggning/avgång kaj

Baserat på ovan beskrivna användningsområden har utvärderingskriterier identifierats. Dessa utgår från operationella aspekter i respektive scenarier. Genom att ta i hänsyn grund modellen beskriven tidigare och med fokus på att digitalisera utkiks uppgifter är följande kriterier definierade.

- Systemet skall kunna detektera objekt tillförlitligt och med god precision
- Kunna spåra och identifiera kajkonstruktioner
- Fungera både dag och natt samt vid nedsatta siktförhållanden
- Sensorprestanda maximal degradering av väderfenomen -20%
- Urskilja var säkert vatten förekommer
- Bärning till objekt med +/- 1 grads noggrannhet
- Distansmätning närmaste 20 m, med 0,01m noggrannhet
- Potentiellt minsta objekt som kräver identifiering är pollare
- Potentiellt minsta detalj (ej form) som kräver identifiering linjedistansmarkering
- Uppdateringsfrekvens på 360 graders sektion 24 Hz på området under 20 m
- Observationsförmåga 360 graders horisontellt och avstånd 0,1 m – 20 m
- Identifiera föremål i omgivningen

5.4 Utvärdering av LIDAR

Inom det marina området har LIDAR-sensorer egenskaper som visar potential för tillämpning men även aspekter som sätter begränsningar för användning för detektering och identifiering. LIDAR-sensorernas operationella förmåga och begränsningar inom den maritima miljön summeras nedan:

Fördelar

- Hög noggrannhet i relativ bärings- och avståndsmätning
- Externa ljusförhållanden påverkar sensorn ytterst lite vilket innebär att den är operationell både dag och natt
- God objekt-detekteringsförmåga av föremål som flyter med liten höjd över vattenytan som exempelvis stockar och containers
- Minskade vattenreflektionstörningar nära fartyget jämfört med radar
- Möjlighet att kategorisera objekt vid observation

- Högt antal mätpunkter och snabb uppdateringsfrekvens
- LIDAR-sensor och analysteknik utvecklas snabbt
- LIDAR har använts länge inom 3D-kartläggning på land

Nackdelar

- Nederbörd begränsar räckvidd och datakvalitet
- Stabilisering av molnpunktmätningar relativt mellan mätningar
- Blinda sektioner bakom objekt
- Navigationsljus kan ej detekteras
- Räckvidd och installationsuppsättning
- Maskininlärningsalgoritmer baserar sig ofta på Black Box-programvara som neuralt nätverk och om dessa implementeras kommer det finnas nya utmaningar inom validering av systemprestation och pålitlighet
- LIDAR-sensorer är fortfarande dyra men detta förändras snabbt
- Infraröda vågor från solen eller andra källor kan skapa brus/störningar för sensorn

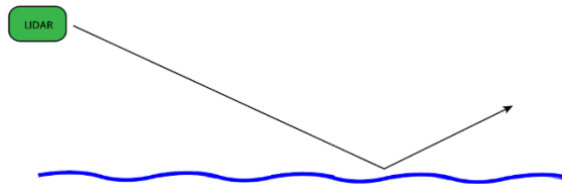
5.4.1 Beskrivning av LIDAR-sensor

LIDAR (Light Detection and Ranging) är en teknik som baserar sig på att sensorenheten sänder ut riktat ljus som är nära infraröda området i en snabb pulserade takt. Ljuset från närliggande objekt reflekteras och sensorns mottagare kan registrera reflektionen. Genom att man känner till hur snabbt ljuset färdats genom atmosfären samt tiden det tog från sändning till mottagande av ljuset kan man avgöra hur långt borta objekt är relativt sensorn. Genom att ljuset är riktat är den relativa vinkeln känd och bäring samt relativ horisontell distans kan bedömas, därmed har man en noggrann mätpunkt definierad i relation till sensorn (Wasser, 2021).

Genom att lägga ihop alla mätpunkter som LIDAR-enheten detekterar kan en 3D molnpunkt skapas och visualiseras eller användas i beräkningsmodeller. Beroende på sensorns prestanda varierar antalet mätpunkter per sekund och variationen är stor mellan sensorerna - allt från några tusen till några miljoner punkter per sekund. I denna studie testades en Velodyne LIDAR puck V16 som klarar av att mäta upp till 300 000 mätpunkter per sekund.

En kritisk komponent för LIDAR-enheten är IMU (Internal Measurement Unit) som mäter hur enheten rör sig relativt till omgivningen. Denna information används för att sätta mätningarna i relation till varandra för en enhet som är rörlig. Om IMU:n har låg precision leder det till att LIDAR-observationer kan börja driva/förflyttas och resulterar i att den relativa bäringen och distansen inte stämmer överens med de fysiska objektens verkliga position. Detta är identifierat som en utmaning inom sjöfarten på grund av fartygens rörelser och vibrationer. LIDAR har även svårigheter att detektera reflekterande ytor som exempelvis vatten, eftersom ljuset inte reflekterar tillbaka till LIDAR-enheten, se **Error! Reference source not found.** för illustration av fenomenet. För applikationsområdet navigering kan detta visa sig fördelaktigt eftersom minskade störningar möjliggör lättare detektering av

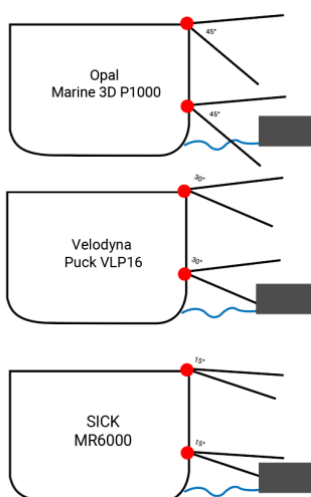
objekt med reflekterande yta som flyter just vid vattenytan. Detta gör att stockar, containers och andra föremål med yta som ger reflektioner upptäcks väl eftersom objektet omges av vatten och därmed existerar enbart/till största delen mätpunkter på de flytandeobjektet.



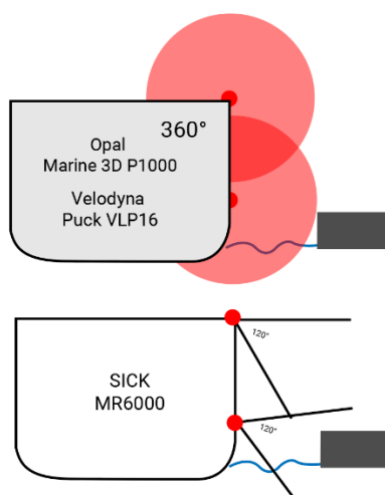
Figur 21 LIDAR-ljuset reflekteras bort från LIDAR-enheten vid reflektiva ytor som vatten i detta exempel.

Operationella räckvidden för LIDAR på fordonsmarknaden är under 200 m men variationer förekommer beroende på användningsområde. LIDAR-noggrannheten för distansmätningar rör sig runt +/- 2-3 cm, vilket är mycket hög precision för navigering av fartyg. Upplösning eller mätpunktstäthet beror främst på om LIDAR-enheten är ämnad för 2D-mappning eller 3D-mappning. Med fokus på 3D-mappning som även möjliggör objektidentifiering till en viss grad, kan sensorprestandan valideras från spridningen eller distansen mellan mätpunkterna i både x och y-riktning på definierad distans samt längsta distansen mellan 2 mätpunkter. Genom dessa specifikationer kunde man bedöma på vilket avstånd objekt reflekterar tillräckligt många mätpunkter för att detekteras och identifieras.

Vid installation av LIDAR-sensorer på fartyg över 50 m, kommer den operationella distansen och vyfältet vara avgörande. Utmaningen med fordonssensorer för installation är att de har begränsad horisontell vyhöjd. Detta kan visa sig utmanande vid val av installationsposition på fartyget, för att uppnå täckning på hela området under radarräckvidden utan att sätta sensorerna på en position som är utsatt för externa effekter och krafter. I **Error! Reference source not found.** kan vi se LIDAR-sensorer markerade i röda punkter och korrelerande vertikala vyvinklarna tagna från tillverkarnas specifikationer som visar potentiella täckningsområdet. Alternativt kunde sensorerna placeras med vertikala vyfältet horisontellt och därmed istället begränsa det horisontala vyfältet men detta medför stor osäkerhet i hur sensorernas orientering påverkar den operationella förmåga samt livslängden. Det finns ett stort utbud av sensorer med olika vyfälts prioriteringar och beroende på applikationsområdet bör sensor väljas och installeras efter tillverkarens rekommendationer.



Figur 22 Horisontellt vyfält och prioritering vid fartygets utsida med kaj som målobjekt.



Figur 23 Vertikalt vyfält och prioritering vid fartygets utsida med kaj som målobjekt.

På samma sätt som radar har typgodkännande, utritningskrav ombord, prestandakrav och provningsstandarder, så skulle en process för LIDAR kunna efterlikna detta.

5.4.2 Navigation i farled – utvärdering

LIDAR-sensorn har god potential att öka situationsmedveten i närområdet av fartyget. Från den normala körpositionen vid centerlinjen kan navigatören inte observera händelser direkt intill fartygets sidor och där skulle kameror kunna bidra med extra information till navigatören. Men hur mycket tilläggsvärde sådan information skapar för navigatören är starkt beroende på navigationsområdet, operationen och navigatörens behov av mer informationsunderlag.

Området där LIDAR-sensor kan bidra är att detektera och spåra objekt nära fartyget under radarräckvidden, exempelvis båtar eller navigationsbojar som befinner sig nära fartygs utsida. Utmaningen inom farledsnavigering är att det är en komplex miljö med många objekt som kan ha många former, och analysteknologi att

detektera och identifiera är kritisk samt hur informationen presenteras till operatören.

5.4.3 Manövrering i hamn – utvärdering

LIDAR-sensorer kan förbättra situationsmedvetenheten genom mätning av distanser till närliggande objekt samt identifiera objekt som flyter med liten höjd över vattenytan som stockar eller liknande. Om denna information skulle presenteras direkt till personen som manövrerar fartyget skulle muntlig misskommunikation minimeras mellan utkik och operatören.

5.4.4 Tilläggning/avgång kaj – utvärdering

LIDAR-sensorn inom detta användningsområde borde ha en hög detektionsgrad och god pålitlighet för kajobservationer med relativ distans och riktning. Detta handlar främst om att kunna detektera hinder eller skador i kajen som kan utsätta fartyget för skada. Även positionering av fartyget relativt till kajen skulle kunna vara en möjlig tillämpning men det är inte utvärderat i denna studie.

Utmaningen är att ha en LIDAR-opsättning som kan detektera kajen både på 60 m och under 1 m avstånd från fartygets skrov samt definiering av kajkanten. Med fendor och andra kajkonstruktioner kan det vara svårt för enskilda sensorer i vissa vinklar att identifiera var kajkanten ligger och därmed kan kompletterande extern information behövas eller flera sensorer för förbättrad detektion av kajlinjen.

5.5 Utvärdering av kamera

Marin navigering baserar sig främst på optisk validering och identifiering av navigationsmärken, ljus och andra objekt. Befintligt optiskt navigationssystem är designat för en mänsklig observatör, därtill är människans öga mycket effektivt inom det optiska området. Den optiska kameran är sensorn som närmast liknar människans synförmåga och kan därmed vara en viktig del inom framtida smarta system. Människans öga klarar av att identifiera navigationsmärken både under dygnets ljusa och mörka timmar. Detta sätter höga prestandakrav på kameror att fungera i sådan växlande miljö och vara ljuskänsliga, men som visats i tidigare studier och i denna studie har den optiska kameran goda möjligheter att bidra som hjälpmedel till dagens utkik och även i vissa förhållande vara bättre. Den optiska kameran operationella förmåga och begränsningar i den maritima miljön summeras nedan:

Fördelar

- Färger är detekterbara och navigationsljus och karaktärer kan urskiljas
- Text och siffror är identifierbara
- Sensoregenskaper närmast människans öga
- Kan utnyttja dagens visuella navigationssystem
- Kan identifiera/validera objekt på observation
- Avståndsmätning möjlig med stereoskopisk inställning

- Bildanalys har förbättrats snabbt under det senaste decenniet och är mycket populärt inom FoU
- Oftast hållbar utan rörliga delar
- Mycket bra förhållande mellan kostnad och prestanda

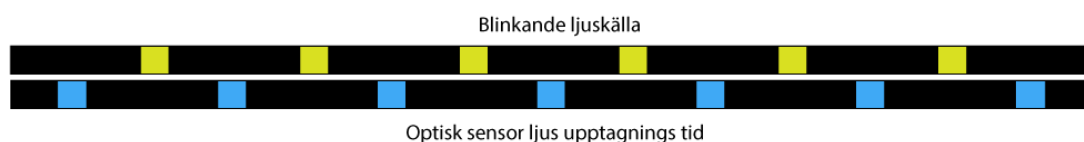
Nackdelar

- Begränsad i svagt ljus och minskad sikt (regn, dimma, mm.)
- Blinda områden bakom föremål
- Navigationsljus kan misstolkas på grund av att ljusmottagningen inte är aktiv när ljuskällan sprider ljus (LED vs glödlampa)
- Sensordatamängden kan bli stor och därmed ge hög belastning på nätverk, dator och lagring.
- Beräkningseffektbehovet kommer att vara högt
- Maskininlärningsalgoritmer baserar sig ofta på Black Box-programvara som neuralt nätverk och om dessa implementeras, kommer nya utmaningar inom validering av systemprestation och pålitlighet

5.5.1 Beskrivning av kameran sensor

De flesta moderna kameran sensorer använder idag Complementary Metal Oxide Semiconductor (CMOS) som grundteknik för att fånga upp ljus från det synliga spektrumet, vilket sker genom att en liten elektrisk laddning skapas då en elektron passerar sensorgaten. För att få fram färg används filter som enbart släpper igenom specifik ljudfrekvens för den individuella fotocellen som antingen är tilldelad rött, grönt eller blått och på så vis får vi fram färgbilder med en liten förlust i den potentiella ljus upptagningen. Sensorstorleken och antalet pixlar påverkar hur stor ytan är för individuella pixlar att fånga upp ljus, där större yta är fördraget och resulterar i att slutbilden har mindre brus (Golowczynski, 2021). Detta är grunden för den fysiska prestandan hos en optisk sensor men linsen och hur bilden processas digitalt är minst lika viktiga för att bedöma standarden.

Om lysfrekvensen och inspelningsljusets upptagningsfrekvens befinner sig i en olämplig fas kan lysfrekvensen förändras vid inspelningen. Detta kan även leda till att ljus som anses vara konstant lysande av en mänsklig observatör kan uppfattas som blinkande eller till och med ej lysande på det inspelade materialet.



Figur 24 Illustration över hur ljudfrekvens faller mellan optiska kamerans ljusupptagnings tid.

Med optiska kameror kan man bedöma och mäta distans passivt, men det kräver uppsättning av två kameror parallellt uppsatta i ett stereoskopiskt upplägg. Denna metod baserar sig på att beräkna den relativa skillnaden mellan två bilder tagna samtidigt av två kameror med ett känt avstånd emellan. Genom att känna till

avståndet mellan kamerorna kan den relativa vinkeln beräknas och distansen mätas. Noggrannheten för mätningen beror främst på bildupplösningen, optiska förvrängningar, distansen mellan kamerorna, tidsskillnaden mellan bildtagning och distansen till objektet. I ett test utfört av Mrovlje & Vrancic mättes noggrannheten +0,55 m på ett 10cmx10cm objekt placerat på 60 m avstånd från kamerorna (Mrovlje & Vrancic, 2008). Med denna noggrannhet kunde stereotypisk kamerauppsättning täcka distansmätning där marin radar inte kan mäta avståndet till närliggande objekt.

Datamängds estimering av kameran sensorn

För att få insikt i datamängden som sensorer skapar tittade vi närmare på videokamerafilers storlekar. Idag kan professionella videokameror spela in 75 fps in 8192 x 4320 (8K). Detta leder till att professionella videokameror med 8K upplösning och 75 fps producerar 121,5 GB data per minut (Signiant , 2021). Att hantera dessa stora datamängder i realtidssystem är en utmaning och därför behöver bildtagningsfrekvensen och upplösningen optimeras för tillämpnings- och användningsområde.

Frame size (MB)

Resolution	RGB 8bit	RGB 10bit	RGB 12bit	MC 8	MC 10	MC 12
720x480	0,99	1,24	1,48	0,33	0,41	0,49
1920x1080	5,93	7,42	8,9	1,98	2,47	2,97
3840x2160	23,73	29,66	35,6	7,91	9,89	11,87
7680x4320	94,92	118,65	143,38	31,64	39,55	47,46

File size (GB)

Resolution	Fps	Time (s)	RGB 8bit	RGB 10bit	RGB 12bit	MC 8	MC 10	MC 12
720x480	24	60	1,425	1,785	2,131	0,475	0,590	0,705
1920x1080	24	60	8,539	10,684	12,816	2,851	3,556	4,276
3840x2160	24	60	34,171	42,710	51,264	11,390	14,241	17,092
7680x4320	24	60	136,684	170,856	206,467	45,561	56,952	68,342

Figur 25 Kamera sensordata mängder ej komprimerat.

Radar har typgodkännande, utritningskrav ombord, prestandakrav och provningsstandarder som beskrivs i **Error! Reference source not found.**, och liknande krav skulle även kunna ställas på optiska kameran sensorsystem.

5.5.2 Navigation i farled – utvärdering

Kameran sensorn har god potential till att öka situationsmedveten i fartygets närområde. Från normal körpositionen vid centerlinjen kan navigatören inte observera händelser direkt intill fartygets utsidor men kameror skulle kunna bidra med extra information till navigatören. Men värdet av sådan information för navigatören är starkt beroende av navigationsområdet, operationen och navigatörens behov av mer informationsunderlag. Kamerans operationella räckvidd

och upplösning med distanser baserat på modeller som används inom fordonssidan kan vara lämplig för vissa ändamål inom farledsnavigering.

Ett område där kameran kan göra stor nytta är i att validera visuellt upptäckta objekt, exempelvis kan AIS-objekt valideras visuellt av ett kamerasystem och detsamma gäller sjömärken. Om målobjekten inte är upplysta eller har egen ljuskälla kan systemet behöva kombineras med en strålkastare för att fungera under dygnets alla timmar. Utmaningen inom farledsnavigering är att det är en komplex miljö med många objekt med komplexa former, växlande miljö och väderförhållanden, vilket kan vara utmanande för bildanalysteknologier att detektera, identifiera samt spåra i.

5.5.3 Manövrering i hamn – utvärdering

Den optiska kameran har samma förutsättningar som beskrivs ovan om navigering i farled. Men fokuset här ligger främst på att observera distanser vid fartygets närområde under radarräckvidd för objekt-detektering och identifiering. Genom en stereoskopisk uppsättning kan även distanser mätas.

5.5.4 Tilläggning/avgång kaj – utvärdering

Idag finns redan vissa kamerainstallationer som assisterar personen som manövrerar för att ge en bättre situationsmedvetenhet men dessa system sakar automatisk objekt-detektering och identifiering samt avståndsmätning. Andra funktioner utanför navigering som övervakning av trossar och bogser vajrar är möjliga med tillräckligt hög upplösning på kameran samt kontrast på trossen eller vajern mot bakgrunden.

5.6 Utvärdering av fordonssensorer för maritimt bruk

Sensorer som integreras i existerande system måste kunna hantera och behärska de dataformat som är mest använda eller standardiserade idag inom det maritima området och även påvisa att de inte förorsakar störningar i andra operationskritiska system. Även som GNSS, radarenheter idag är kalibrerade till CCRP (Consistence common reference point) bör även dessa nya system utgå från samma koordinatsystem. Beroende på nya systemapplikationsområden kan system bli operationskritiska och systemredundans behöver tas med i evalueringen.

Dessa nya sensorsystem behöver vara realtidssystem då de ger operatören en bild av nuläget. Storleken på en eventuell eftersläpning eller systemlatens beror av användningsområdet.

6 Referenser

- ABB Marine & Ports. (2021, 2 16). *ABB*. Retrieved from https://library.e.abb.com/public/12ae485d68b0428884dcd453baf0c296/3AFV6116339_A_en_Pilot_Vision%20Leaflet.pdf
- ABB news. (2021, 2 16). *Suomenlinna II*. Retrieved from <https://new.abb.com/marine/marine-references/suomenlinna-ii>
- ABB Press release. (2021, 2 16). *ABB to bring autonomous technology to the Port of Singapore*. Retrieved from <https://new.abb.com/news/detail/39090/abb-to-bring-autonomous-technology-to-the-port-of-singapore>
- AWAA. (2016). Remote and autonomus ship, The next step.
- Beresford, C. (2021, 3 9). *Car and Drive*. Retrieved from <https://www.caranddriver.com/news/a35729591/honda-legend-level-3-autonomy-leases-japan/>
- Cambridge in Colour. (2020, 3 3). *Cambridge in colour*. Retrieved from <https://www.cambridgeincolour.com/tutorials/camera-sensors.htm>
- DAMEN. (2019, augusti 1). <https://products.damen.com>. Retrieved from Multi Cat: <https://products.damen.com/en/ranges/multi-cat/multi-cat-3213>
- El Saddik, A. (2018). Digital Twins: The Convergence of Multimedia Technologies. *IEEE MultiMedia*, vol. 25, no. 2,, 87-92.
- European Machine Vision Association. (2021, 3 19). *Standard for Characterization of Image*. Retrieved from <https://www.emva.org/wp-content/uploads/EMVA1288-3.0.pdf>
- Golowczynski, M. (2021, 3 3). *What digital camera*. Retrieved from Digital camera sensors explained: <https://www.whatdigitalcamera.com/technical-guides/technology-guides/sensors-explained-11457>
- Guidance. (2021, 2 16). *Guidance Marine, Sensor Solutions for Autonomy*. Retrieved from [https://www.guidance.eu.com/assets/_managed/cms/files/Sensor%20Solutions%20for%20Autonomy%20\(2\).pdf](https://www.guidance.eu.com/assets/_managed/cms/files/Sensor%20Solutions%20for%20Autonomy%20(2).pdf)
- Houghtlen, M. (2021, 3 9). *MotorBiscuit*. Retrieved from How Often Does the Tesla Model 3 Update Itself?: <https://www.motorbiscuit.com/how-often-does-the-tesla-model-3-update-itself/>
- Infrastrukturdepartementet RST TM. (2021, 3 19). *Sveriges riksdag*. Retrieved from Lag (2016:768): https://www.riksdagen.se/sv/dokument-lagar/dokument/svensk-forfattningssamling/lag-2016768-om-marin-utrustning_sfs-2016-768
- ISO. (2021, 3 22). *ISO 18383:2015*. Retrieved from [iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:18383:ed-1:v1:en](https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:18383:ed-1:v1:en)
- IVWORKS. (2021, 3 1). *Intellectual Value Works*. Retrieved from <http://www.ivwkr.com/lidar-dropping-prices-and-low-volumes/#:~:text=Velodyne%20has%20announced%20a%20plan,%2C%20from%20%2417%2C900%20in%202017%E2%80%9D.&text=However%2C%20because%20of%20lower%20LiDAR,%24390%20million%20to%20%24567%20million.>
- Jeyachandran, S. (2021, 3 9). *Waymo blog*. Retrieved from <https://blog.waymo.com/2020/03/introducing-5th-generation-waymo-driver.html>

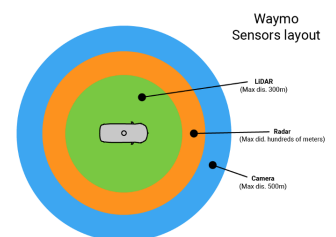
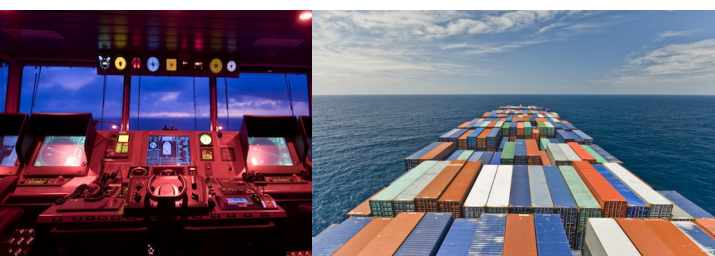
- Kongsberg. (2021, 2 11). *AUTONOMOUS SHIPPING*. Retrieved from <https://www.kongsberg.com/maritime/about-us/news-and-media/our-stories/intelligent-awareness/>
- Kongsberg. (2021, 2 12). *Kongsberg, Autonomus Shipping*. Retrieved from <https://www.kongsberg.com/maritime/support/themes/autonomous-shipping/>
- Lehtovaara, E., & Kalevi, T. (2021). Electronic lookout function for increased ship safety.
- Lilius, J., Soloviev, V., Zelioli, L., & Iancu, B. (2021). ABOSHIPS - AN INSHORE AND OFFSHORE MARITIME VESSEL.
- Maritimt Magasin. (2018, 4 27). <https://maritimt.com/>. Retrieved from Astrid Helene: <https://maritimt.com/nb/batomtaler/astrid-helene-052018>
- Mrovlje, J., & Vrancic, D. (2008). Distance measuring based on stereoscopic pictures. *9th International PhD Workshop on Systems and Control: Young Generation Viewpoint*, 1-3.
- Opal. (2021, 3 19). *Opal data sheet*. Retrieved from <https://www.neptectechnologies.com/wp-content/uploads/2020/07/OPAL-P-Series-Conical-FOV-88-00201-001-REV-B.pdf>
- Produktion2030. (2019). *Digital Sägverkstvilling för effektiv produktion och underhåll-MillTwin*. Retrieved from <https://produktion2030.se>: <https://produktion2030.se/projekt/digital-sagverkstvilling-for-effektiv-produktion-och-underhall-milltwin/>
- RISE . (2019, augusti 01). *Digital tvilling för utveckling och installation av produktionssystem*. Retrieved from [ri.se](https://www.ri.se): <https://www.ri.se/sv/vad-vi-gor/projekt/dip-digital-tvilling-utveckling-och-installation-av-produktionssystem>
- RISE. (2018, november 30). *Fullständig digital metalltving*. Retrieved from [ri.se](https://www.ri.se): <https://www.ri.se/sv/vad-vi-gor/projekt/fullstandig-digital-metalltving>
- Rolls-Royce. (2021, 2 11). *Rolls-Royce and Finferries demonstrate world's first Fully Autonomous Ferry*. Retrieved from <https://www.rolls-royce.com/media/press-releases/2018/03-12-2018-rr-and-finferries-demonstrate-worlds-first-fully-autonomous-ferry.aspx>
- Signiant . (2021, 2 11). *File sizes will continue to grow*. Retrieved from <https://www.signiant.com/resources/tech-articles/file-size-growth-bandwidth-conundrum/#:~:text=One%20hour%20of%208K%20RedCode,minute%20for%20raw%208K%20footage>.
- Svenska IVL. (2018, december 5). *Mått på cirkularitet testat på produkter*. Retrieved from <https://www.ivl.se/>: <https://www.ivl.se/toppmeny/pressrum/pressmeddelanden/pressmeddelande---arkiv/2018-12-05-matt-pa-cirkularitet-testat-pa-produkter.html>
- Tecnia. (2019). *Harsh-lab 1.0*. Retrieved from <https://www.tecnialia.com>: <https://www.tecnialia.com/en/energy-and-environment/infrastructure-a-equipment/harsh-lab-v10-en/harsh-lab-v10-en.htm>
- Torralba, A. (2009). How many pixels make an image? 1- 14.
- Trafikverket. (2019, juli 24). *Nu ökar innovationsupphandlingarna*. Retrieved from <https://www.trafikverket.se/>: <https://www.trafikverket.se/om-oss/nyheter/Nationellt/2018-06/nu-okar-innovationsupphandlingarna/>
- Transportstyrelsen. (2021, 3 19). *Transportstyrelsens föreskrifter*. Retrieved from https://transportstyrelsen.se/48f670/globalassets/global/regler/tsfs_svenska/tsfs-2011/tsfs_2011_117.pdf

- Transportstyrelsen. (2021, 3 19). *Transportstyrelsens föreskrifter och allmänna råd om sjövägsregler*. Retrieved from https://www.transportstyrelsen.se/TSFS/TSFS%202009_44k.pdf
- TSFS 2016:81. (2021, 3 19). *Transportstyrelsens föreskrifter om marin utrustning*. Retrieved from https://transportstyrelsen.se/TSFS/TSFS%202016_81.pdf
- Wasser, L. A. (2021, 3 25). *Neonscience*. Retrieved from <https://www.neonscience.org/resources/learning-hub/tutorials/lidar-basics>
- Waymo. (2021, 3 15). *Challenges*. Retrieved from <https://waymo.com/open/challenges/#>
- Waymo. (2021, 3 15). *Safety report*. Retrieved from <https://storage.googleapis.com/sdc-prod/v1/safety-report/2020-09-waymo-safety-report.pdf>
- Yoshida, J. (2021, 3 9). *EET Asia*. Retrieved from <https://www.eetasia.com/teslas-hardware-retrofits-for-model-3/>



Lighthouse samlar industri, samhälle, akademi och institut i triple helix-samverkan för att stärka Sveriges maritima konkurrenskraft genom forskning, utveckling och innovation. Som en del i arbetet för en hållbar maritim sektor initierar och koordinerar Lighthouse relevant forskning och innovation som utgår från industrin och samhällets behov.

Lighthouse – för en konkurrenskraftig, hållbar och säker maritim sektor med god arbetsmiljö



LIGHTHOUSE PARTNERS



LIGHTHOUSE ASSOCIATE MEMBERS

