



# Autonoma fartygs sensorteknik

Thomas Holmberg

Datateknik  
Fakulteten för naturvetenskaper och teknik  
Åbo Akademi University  
Åbo, Finland, 2021

# Innehållsförteckning

Innehållsförteckning.....	2
1. Inledning.....	4
1.1 Bakgrund .....	5
1.2. Problemformulering och syfte .....	6
1.3. Avgränsningar .....	6
2. Sensorer för navigation .....	6
2.1. Satellitnavigationssystem .....	7
2.2. Radar.....	8
2.3. Tröghetsnavigering.....	10
2.4. ECDIS.....	12
3. Sensorer för observation.....	12
3.1. AIS.....	13
3.2. Lidar.....	16
3.3. Sonar.....	17
3.4. Kamera.....	19
3.5. Meteorologiska sensorer.....	19
4. Sammanfattning .....	19
Källförteckning.....	19

Figurer ..... 21

# 1. Inledning

Ämnet autonoma fartygs sensorteknik valdes av flera orsaker. Det är ett relativt nytt koncept och därför intressant för branchen. Det är även något jag kunde tänka mig att jobba med i framtiden. Sjöfart är något jag överlag är intresserad av och får ta del av via mina hobbyer som sjöscout och seglare. Det kändes därmed naturligt att kombinera mina fritidsintressen med min utbildning.

## 1.1 Bakgrund

Då konventionella fartyg opererar på havet, sjöar eller andra vattendrag finns det alltid en sjökaptan, styrman eller motsvarande person som ansvarar för att fartyget framförs korrekt och säkert. Den här ansvarspersonen har hela tiden en lägesbild över var fartyget är och vad som händer omkring det. Den här lägesbilden byggs upp genom att observera omvärlden både fysiskt och med hjälp av olika slags hjälpmedel.

Vid konstruktionen av autonoma fartyg, blir problemet att försöka skapa samma sorts lägesbild som ansvarspersonen normalt har. Detta problem försöker lösas genom att använda olika slags sensorer och elektroniska hjälpmedel på fartyget. Dessa sensorer och hjälpmedel är delvis sådana som även används vid manuell styrning, men också sådana som lagts till enkom för autonomt bruk.

För att ett autonomt fartyg ska vara fullständigt autonomt ska det kunna operera utan någon interaktion med en människa. Detta görs med hjälp av artificiell intelligens (AI). AI:n tar in data från alla de olika sensorerna och gör på basis av den data beräkningar för hur fartyget ska styras. Ju fler sensorer, och därmed även mera data man har, desto bättre beräkningar kan AI:n göra. Verkligheten är dock att sensorer kostar, så i praktiken får en kompromiss

hittas där så få sensorer som möjligt används, men godtyckliga beräkningar ändå kan garanteras.

## **1.2. Problemformulering och syfte**

Syftet med detta arbete är att undersöka olika sensorer som kan tänkas behövas för att konstruera ett autonomt fartyg. Grundproblemet är att skapa en lägesbild över fartygets rörelse och omgivning. Det kommer att gås igenom olika sensorer och vilken nytta de har för att skapa denna lägesbild.

## **1.3. Avgränsningar**

Detta arbete har valt att fokusera på fartyg, men principerna kan även implementeras för båtar, färjor eller andra vattenburna farkoster. Arbetet är ingalunda en komplett lista på alla tänkbara sensorer utan behandlar några av de mer centrala sensorerna. Fokuset är på sensorernas användningsområde och inte på detaljnivå hur sensorerna fungerar. Arbetet är inriktat på den tekniska biten i att konstruera autonoma fartyg och tar inte någon större ställning till huruvida det är juridiskt möjligt eller hur det påverkar affärslivet.

## **2. Sensorer för navigation**

Elektroniska hjälpmedel har varit en väsentlig del av utvecklingen av säker sjöfart. Satellitnavigationssystem och radarn hör till de klassiska navigationsinstrumenten som revolutionerat sjöfarten. Idag används även andra hjälpmedel så som tröghetsnavigeringsinstrument.

## 2.1. Satellitnavigationssystem

Satellitnavigationssystem hänvisar till en konstellation av satelliter som skickar signaler från rymden som överför positionerings- och tidtagningsdata till mottagare. Satelliterna mäter avståndet till mottagaren med hjälp av tiden det tar för signalerna att skickas till mottagaren och tillbaka. På basis av avstånden kan systemet sedan triangulera mottagarens position.

Av affärstekniska och geopolitiska skäl finns det olika satellitnavigationssystem av olika aktörer, men principen för dem är den samma. Fördelen med att det finns flera system är att man kan övergå till ett annat i det fallet att det primära systemet för tillfället inte går att använda. Systemen utvecklades först för militärt bruk, men öppnades senare upp för civilt bruk. I dag är dessa system en hörnsten i vårt digitaliserade samhälle. Några exempel på satellitnavigationssystem är det amerikanska GPS, ryska GLONASS, europeiska Galileo samt kinesiska BeiDou. [1]

Satellitnavigationssystem är ett viktigt hjälpmedel för navigeringen av fartyg. Med satellitnavigationssystem kan fartyget hela tiden veta var det befinner sig. Positioneringsdatan som fartyget får från satelliterna kan överföras till ett sjökort för att visualisera positionen. Med hjälp av detta kan fartyget styra så att det håller sig till inprogrammerade rutter och områden. I figur 1 ses fartygets position inritat på ett sjökort. I figuren ses också en farled som fartyget kör längs med samt en vektor för att illustrera vart fartyget är påväg.

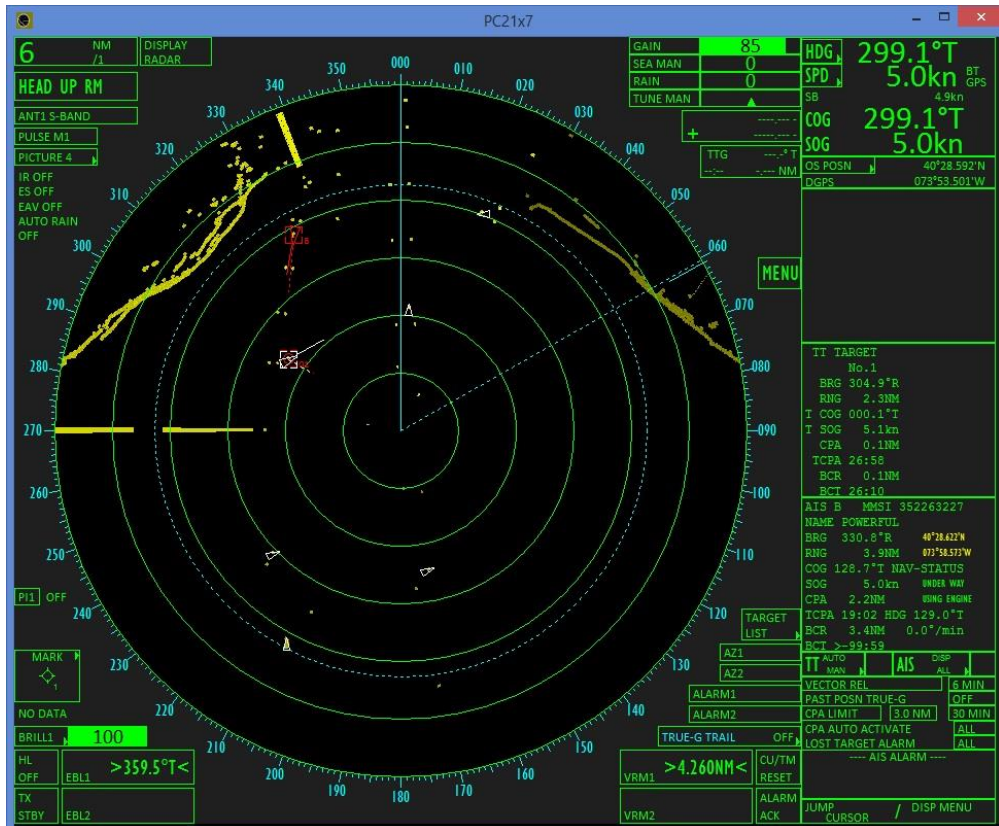


Radarn för marint bruk finns vanligtvis i två typer, X-band och S-band. X-band radar opererar på 9,2-9,5 GHz spektret medan S-band radar opererar på 2,9-3,1 GHz spektret. Eftersom X-band radar opererar på högre frekvens än S-band radar, ger de i regel en mer detaljerad bild men är mer känsliga för störningar. S-band radar ger som kontrast till X-band radar en lite mindre detaljerad bild, men är inte lika känsliga för störningar så som regn eller dimma. Båda typerna har alltså sina fördelar, och därför använder fartyg ofta båda typerna för att de kompletterar varandra. [3]

Radarn är ett av de viktigaste hjälpmedlen ombord. Traditionellt är radarn det ända hjälpmedlet som möjliggjort fartyg att säkert navigera i förhållanden med dålig sikt, så som mörker eller dimma. Förutom att radarn hjälper till med att navigera så hjälper den till med att undvika kollisioner. Radarns fördel är att den detekterar alla objekt oberoende av deras karaktär. Till skillnaden från AIS så kan alltså radarn upptäcka alla båtar och fartyg oberoende om de har speciella sändare eller inte. Radarn är ett så viktigt hjälpmedel att det finns lagstiftning på att den måste användas om det finns en ombord. [4]

I figur 2 ses ett exempel på hur en radarskärm kan se ut. De gula strecken visualiserar kustlinje och de gula prickarna är troligen remmare som markerar farledens kanter. De gröna ringarna är en sjömil från varandra och används för avståndsreferens. Den blåa streckade cirkelns radie kan justeras och används för avståndsmätning. Den blåa streckade linjens vinkel kan justeras och används för att ta ut bäring till föremål.





Figur 2: Exempel på hur en radarskärm kan se ut.

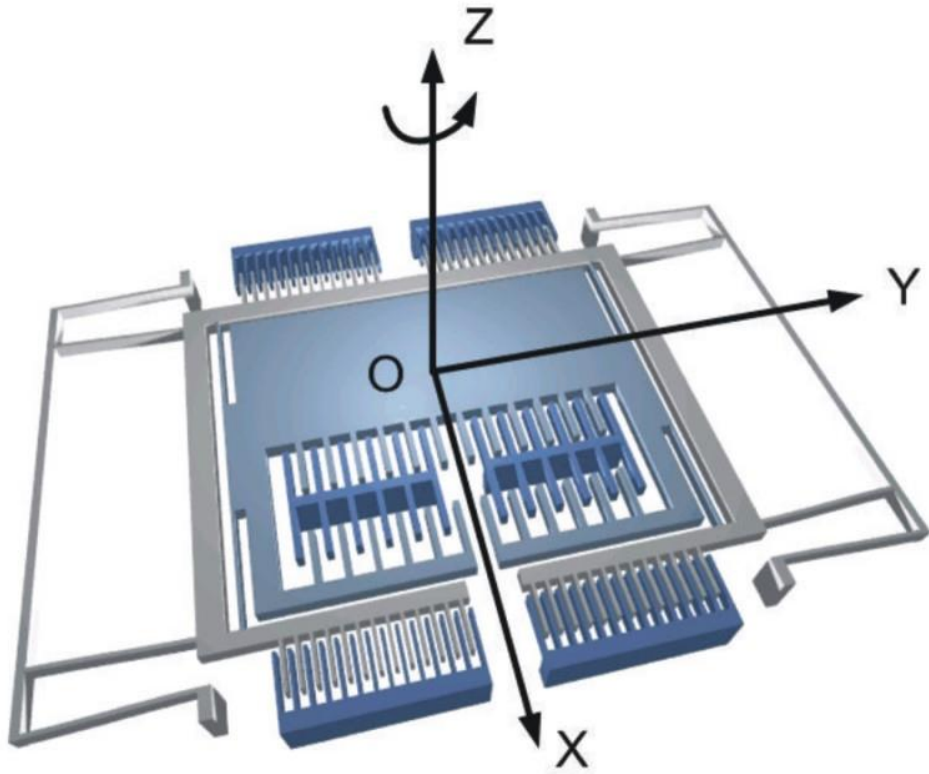
### 2.3. Tröghetsnavigering

Inertial Navigation System (INS), eller tröghetsnavigeringsystem som det heter på svenska, är ett system som kan bestämma ett föremåls riktning och hastighet på basen av Newtons första lag [8]. Systemet innehåller en accelerometer som mäter acceleration och en gyroskopisk sensor som mäter rotation. Vissa tröghetsnavigeringsystem använder även höjdmätare och magnetometer.

Moderna MEMS (Micro Electro Mechanical System) sensorer är väldigt små och effektiva. De baserar sig på att en massa med utstickande armar är fastsatt

med fjädrar mellan sensorgafflar. Då sensorn blir utsatt för rörelse, ändrar den upphängda massan position i relation till sensorgafflarna. Se figur 3 för att visuellt få en uppfattning om hur det här kan se ut. Skillnaden i avståndet mellan enskilda utstickande delar av massan och sensorgafflarna kan mätas med kapacitans. På basen av skillnaderna i kapacitansen i de olika delarna i sensorn, kan det räknas ut i vilken riktning eller vridmoment föremålet utsatts för. [9]

Nyttan med tröghetsnavigeringssystem är att fartyget kan få reda på vilken hastighet och vilken kurs det har, utan att behöva sända signaler av något slag. Systemet kan även komma till nytta vid hamnmanövrar då fartyget med hög precision behöver veta hur det förflyttar sig.



Figur 3: Exempel på hur en MEMS sensor kan se ut

## 2.4. ECDIS

TODO

## 3. Sensorer för observation

Ett fartyg under gång måste ständigt hålla utkik på sin omgivning. Konstant observation är ett krav för att kunna få en lägesbild över trafiken och andra hinder i omgivningen. Traditionellt har utkik skötts med hjälp av Automatic Identification System (AIS), radar och genom att fysiskt observera. Då fysisk

observation av en människa inte är möjlig på autonoma fartyg, måste extra sensorer och hjälpmedel användas. Dessa extra sensorer kan vara bland annat kameror eller lidars.

### **3.1. AIS**

Automatic Identification System (AIS) är ett system som automatiskt identifierar fartyg på havet. Systemet baserar sig på att fartygen har en sändare och en mottagare som de överför data med över VHF-radio (Very High Frequency). Systemet är alltså begränsat till räckvidden av VHF-radion som är ungefär 10-20 sjömil. Det finns dock landstationer som mottar dessa AIS-signaler och sänder vidare dem över internet så i praktiken finns det täckning längs med alla kuster. Det är även där som AIS behövs mest då där förekommer mest trafik. [2]

AIS finns i tre olika klasser; klass A, klass B+ och klass B. Klass A är ämnad för yrkestrafik och har därmed högre sändningsprioritet och högre sändningseffekt på 12,5 W än klass B. Klass A varierar sändningsintervallet enligt fartygets hastighet så att ju högre hastighet, desto kortare sändningsintervall upp till 2 sekunder. Klass B är ämnad för nöjestrifika och har lägre sändningsprioritet och lägre sändningseffekt på 2 W än klass A. Klass B har ett fast sändningsintervall på 30 sekunder. Klass B+ är en nyare standard och har samma sändningsprioritet som klass A och lite högre sändningseffekt på 5 W än klass B. Klass B+ varierar sändningsintervallet på samma sätt som klass A men upp till 5 sekunder. [2]

Informationen som sänds varierar från fartyg till fartyg men informationen som kan sändas är:

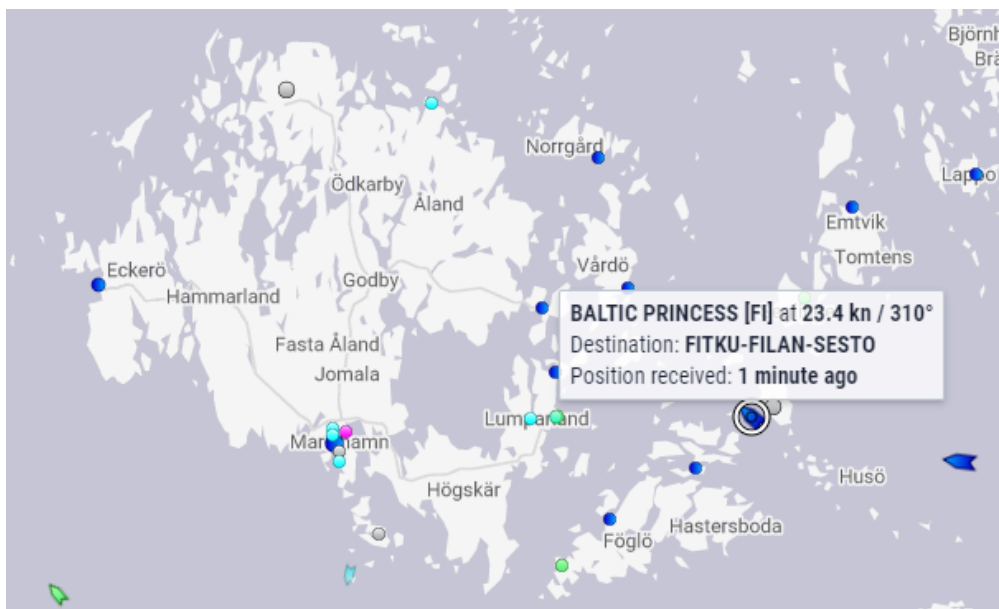
- **Fartygets Maritime Mobile Service Identity (MMSI) nummer**, en unik identifieringsnummer
- **Fartygets status**, exempelvis ”för ankar” eller ”under gång, för motor”
- **Fartygets svängningsgrad**, åt styrbord eller babord och anges som grader per minut
- **Fartygets fart över grund**, fartygets verkliga hastighet i knop
- **Fartygets position**, latitud och longitud
- **Fartygets kurs över grund**, verkliga kursen fartyget rör sig enligt
- **Fartygets kurs**, riktningen fören pekar mot i 0-360 grader
- **UTC tid**, ger en tidsstämpel på meddelandet i UTC för att kunna referera till andra fartyg

Utöver dessa kan även följande information sändas men med betydligt kortare sändningsintervall på 6 minuter:

- **Fartygets namn**, max 20 tecken
- **Fartygets International Maritime Organization (IMO) nummer**, internationell unik identifieringsnummer
- **Fartygets anropssignal**, anropssignal för radiokommunikation
- **Fartygets typ**, exempelvis lastfartyg eller passagerarfartyg
- **Fartygets last**, exempelvis olja eller containers
- **Fartygets dimensioner**, längd och bredd till närmaste metern
- **Fartygets djupgående**, anges i meter med en decimals noggrannhet
- **Typ av positioneringssystem**, exempelvis GPS eller Galileo
- **Placeringen av positioneringssystemets antenn**, anges i meter från fören samt meter åt styrbord eller babord
- **Fartygets destination**, max 20 tecken
- **Fartygets estimerade anländningstid**, klockslag i UTC tid [2]

Nyttan med AIS är att fartyget kan få information om trafiken runt omkring det. Fartyget kan även få sådan information som inte skulle gå att få med optisk observation eller radare, exempelvis på fartyg som befinner sig bakom en ö. Fartyget kan alltså förutse hur trafiken kommer att se ut och på basis av detta göra ruttbeslut eller vidta andra åtgärder. AIS är även ett hjälpmedel för att undvika kollisioner, men ska inte användas som primärt verktyg för kollisionsundvikning. Informationen som sänds via AIS beror på befälhavaren eller användaren på de andra båtarna och fartygen. Nackdelen med det är att informationen som fås inte är pålitlig. Det finns även båtar och fartyg som inte har en AIS över huvudtaget så lägesbilden över trafiken som byggs upp av AIS:en är varken fullständig eller fullt pålitlig.

Figur 4 visar ett exempel på hur AIS-data kan visualiseras. Figuren är tagen från [marinetraffic.com](http://marinetraffic.com) som är nätsida där användarna kan se AIS-data från hela världen. Informationen på sidan uppdateras inte tillräckligt ofta och kartan är inte tillräckligt noggrann för att sidan skall kunna användas i praktiken. Den kan dock bra användas för att följa med bekanta fartyg för nöjets skull. I figur 1 däremot visualiseras AIS-data på ett noggrannt sjökort och fartygen har en vektor som indikerar vart de är påväg.



Figur 4: Exempel på hur AIS-data kan visualiseras.

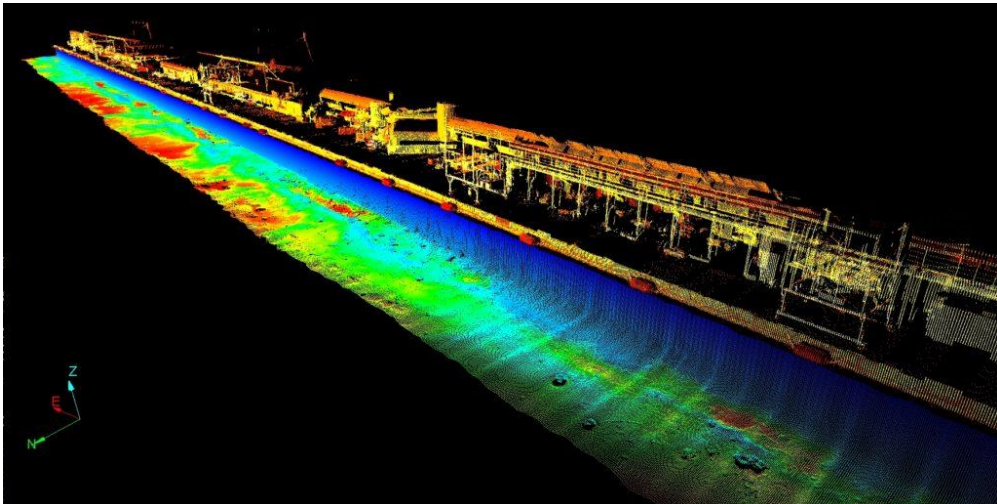
### 3.2. Lidar

Lidar, som är en akronym från engelskans Light Detection and Ranging, är ett system som mäter avstånd med hjälp av laserstrålar. Lidarn skickar ut laserstrålar och mäter tiden det tar för dem att reflekteras tillbaka och kan på så sätt räkna ut distansen till reflektionen. Laserstrålarna skickas ut som punktformade strålar, vilket gör att lidarn kan skanna omgivningen tredimensionellt. Lidarn visualiserar reflektionerna till så kallade punktmoln. [5]

Fördelen med lidar gentemot radarn är att lidarn kan skapa en tredimensionell bild, medan radarn bara kan skapa en tvådimensionell bild. Lidarn har även snabbare uppdateringsintervall. Nackdelen med lidarn är att den är väldigt känslig för regn och dimma. En annan nackdel är att lidarn bara kan skanna

omgivningen i en sektor. Detta kan dock lösas genom att installera flera enheter riktade åt olika håll. [5]

Nyttan med lidar är att fartyget kan få en detaljerad bild över omgivningen. Detta är speciellt användbart vid hamnmanövrar eller andra situationer där noggrann manövrering av fartyget krävs. I figur 5 ses ett exempel på hur ett punktmoln kan se ut. För att bättre kunna visualisera omgivningen ritas lidarn upp olika avstånd i olika färger. På bilden ses streck eller vågiga artefakter som beror på att sensorn rört på sig medan den har skannat omgivningen.



Figur 5: Exempel på hur ett punktmoln från en lidar kan se ut.

### 3.3. Sonar

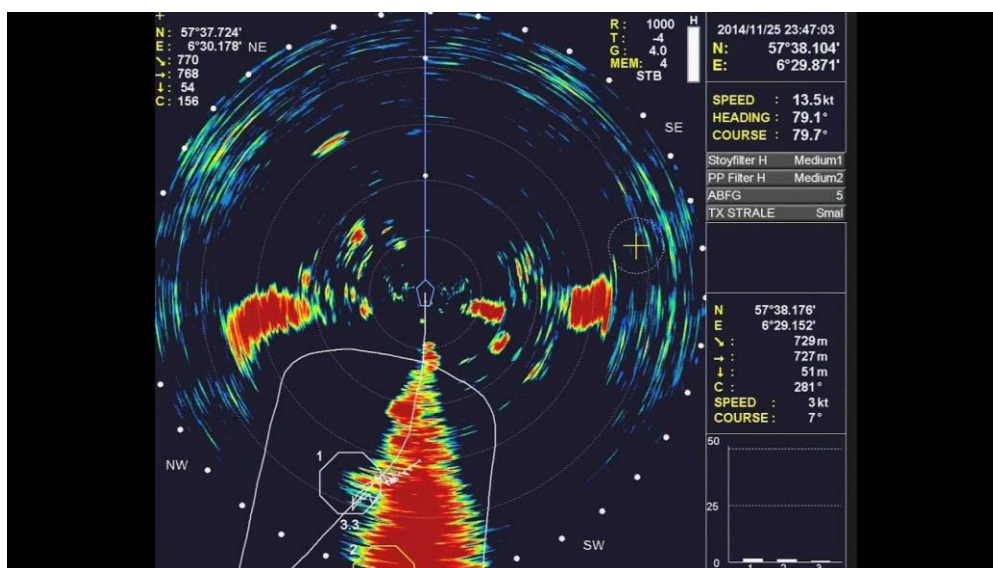
Sonar, som är en akronym från engelskans Sound Navigation and Ranging, är ett system som mäter avstånd med hjälp av ljudvågor. Systemet skickar ut ljudvågor och mäter sedan tiden det tar för ljudvågorna att reflekteras. På basen av tiden och mediet ljudvågorna har rört sig i, kan systemet räkna ut avståndet



till reflektionspunkten. I och med att ljudets hastighet varierar enligt mediet det färdas i, måste sonarn ta detta i beaktande i sina uträkningar. [6]

För marint bruk används sonar oftast för att mäta djupet. Detta kallas även för ekolodning och sonarn kallas i det fallet för ekolod. Vattnets temperatur och salthalt påverkar vattnets karaktär och ändrar därmed på hur snabbt ljudet färdas i vattnet. Det här är något som ekolodet måste beakta för att kunna göra noggranna beräkningar. [7]

Nyttan med ekolod är att fartyget kan ha överseende över hur djupt vattnet är framför det. Djupet är viktigt att veta så att fartygen kan undvika att köra på grund. I figur 6 ses ett exempel på hur informationen från sonarn kan visualiseras. De olika färgade områden representerar olika avstånd. Det röda sektorformade området bakom fartyget beror antagligen på fartygets svallvågor. Utöver djupet ses också annan väsentlig navigationsinformation så som fart, kurs och position.



Figur 6: Exempel på hur sonarinformationen kan visualiseras.

### **3.4. Kamera**

TODO

### **3.5. Meteorologiska sensorer**

TODO

## **4. Sammanfattning**

TODO

## **Källförteckning**

[1] *Galileo & EGNOS – The EU satellite navigation programmes explained*, 2017, [https://www.gsa.europa.eu/sites/default/files/galileo-egnos\\_brochure\\_2017\\_web\\_1.pdf](https://www.gsa.europa.eu/sites/default/files/galileo-egnos_brochure_2017_web_1.pdf)

[] R. Glenn Wright, *Intelligent Autonomous Ship Navigation using Multi-Sensor Modalities*, GMATEK, Inc., Annapolis, MD, USA, 2019, DOI: 10.12716/1001.13.03.03

[] O. Valdez Banda et. al., *A systemic hazard analysis and management process for the concept design phase of an autonomous vessel*, Reliability Engineering and System Safety, 2019, DOI: 10.1016/j.res.2019.106584

[] E. Jokioinen et. al., *Remote and Autonomous Ships- The next steps*, AAWA project, Rolls Royce plc, 2016

- [1] M. A. Cervera et. al., *Satellite-based vessel Automatic Identification System: A feasibility*, international journal of satellite communications and networking, volume 9 issue 2, 2011, DOI: 10.1002/sat.957
- [2] S. Kos et. al., *Development of AIS and its influence on marine traffic control*, 8th GNSS Vulnerabilities and Solutions Conference, 2014, [https://www.researchgate.net/publication/333802094\\_Development\\_of\\_AIS\\_and\\_its\\_influence\\_on\\_marine\\_traffic\\_control](https://www.researchgate.net/publication/333802094_Development_of_AIS_and_its_influence_on_marine_traffic_control)
- [3] A. Bole et al., *Radar and ARPA Manual (Third Edition)*, 2014, DOI: 10.1016/C2010-0-68325-8
- [4] *Convention on the International Regulations for Preventing Collisions at Sea*, 1972, International Maritime Organization
- [5] N. D. Quadros et. al., *Integration of bathymetric and topographic LIDAR: A preliminary investigation*, 2008, [https://www.isprs.org/proceedings/XXXVII/congress/8\\_pdf/13\\_ThS-19/01.pdf](https://www.isprs.org/proceedings/XXXVII/congress/8_pdf/13_ThS-19/01.pdf)
- [6] A. Soloviev et. al., *Sonar Measurements in Ship Wakes Simultaneous With TerraSAR-X Overpasses*, IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing vol. 48, no. 2, 2010, DOI: 10.1109/TGRS.2009.2032053
- [7] F. J. Millero et. al., *Speed of sound in seawater as a function of temperature and salinity at one atmosphere*, The Journal of the Acoustical Society of America no. 57, 1975, DOI: 10.1121/1.380462
- [8] E. Hecht, *Origins of Newton's First Law*, The Physics Teacher, no. 53, 2015, DOI: 10.1119/1.4905802

[9] R. D. Christ, *The ROV Manual (second edition)*, 2014, DOI: 10.1016/C2011-0-07796-7

## **Figurer**

[1] <https://www.nauticexpo.com/prod/ad-navigation/product-36543-272593.html>

[2] <https://www.buffalocomputergraphics.com/pc21x7>

[3] <http://cas1.elis.ugent.be/cas/pic/GyroPrinciple.jpg>

[4] Skärmdump från [marinetraffic.com](http://marinetraffic.com) 27.03.2021.

[5] <https://www.gatewaycontainersales.com.au/worlds-first-fully-autonomous-containership-cheaper-greener-safer/>

[6] <http://www.marintec.co.nz/a/PSu3otl>