



# Designspecifikation

Simon Gidlöf

Version 1.0

## Status

Granskad	Peter Westman	2007-02-26
Godkänd	Henrik Ohlsson	2007-02-26



## Autopositionering för utlagda undervattenssensorer

2007-02-26

LITH

### Projektidentitet

Autopositionering för utlagda undervattenssensorer, VT2007

Linköpings tekniska högskola, Institutionen för systemteknik, ISY

Namn	Ansvar	Telefon	E-post
Erik Andersson	Projektledare(PL)	0703-004 039	<a href="mailto:erian754@student.liu.se">erian754@student.liu.se</a>
Peter Westman	Dokumentansvarig(DOK)	0739-852 454	<a href="mailto:petwe062@student.liu.se">petwe062@student.liu.se</a>
Mikael Andersson	Sondansvarig(SD)	0709-957 560	<a href="mailto:mikan652@student.liu.se">mikan652@student.liu.se</a>
Petter Wallin	Simuleringsansvarig(SIM)	0733-360 519	<a href="mailto:petwa615@student.liu.se">petwa615@student.liu.se</a>
Martin Skoglund	Testansvarig(TEST)	0702-407 328	<a href="mailto:marsk584@student.liu.se">marsk584@student.liu.se</a>
Jonas Callmer	Positioneringsansvarig(POS)	0704-968 394	<a href="mailto:jonca328@student.liu.se">jonca328@student.liu.se</a>
Simon Gidlöf	Designansvarig(DES)	0702-294 128	<a href="mailto:simgi023@student.liu.se">simgi023@student.liu.se</a>

**E-postlista för hela gruppen:** nolifeatall@gmail.com

**Hemsida:** kommer

**Kund:** Saab Underwater Systems, Agneshögsgatan 273, Box 910  
591 29 Motala, Sweden

**Kontaktperson hos kund:** Mattias Källstrand 0141-22 45 83, [mattias.kallstrand@underwater.saab.se](mailto:mattias.kallstrand@underwater.saab.se)

**Kursansvarig:** Anders Hansson, (ISY-reglerteknik)

**Handledare:** Johan Sjöberg (ISY - reglerteknik), Mattias Källstrand (SUS AB)

**Beställare:** Henrik Ohlsson (ISY-reglerteknik)

TSRT71 Reglerteknisk projektkurs

Peter Westman

Designspec10.pdf





## Innehåll

<b>1. INLEDNING .....</b>	<b>1</b>
1.1. PARTER.....	1
1.2. MÅL.....	1
1.3. ANVÄNDNING .....	1
1.4. DEFINITIONER.....	1
<b>2. ÖVERSIKT AV SYSTEMET.....</b>	<b>2</b>
2.1. GROV BESKRIVNING AV PRODUKTEN .....	2
2.2. INGÅENDE DELSYSTEM .....	2
<b>3. SIMULERINGSSYSTEMET .....</b>	<b>4</b>
3.1. FUNKTIONELL BESKRIVNING.....	4
3.1.1. Enkel simulering.....	4
3.1.2. Monte Carlo-simulering.....	4
3.2. ANVÄNDARGRÄNSSNITT .....	5
3.2.1. Sensorernas placering .....	5
3.2.2. Sensorernas uppbyggnad .....	5
3.2.3. Fartygets rutt .....	6
3.2.4. Fartygets signatur.....	6
3.2.5. Slutvillkor.....	6
3.2.6. Utdata .....	6
3.3. MILJÖMODELL .....	6
3.3.1. Akustiskt bakgrundsbrus .....	7
3.3.2. Schumannresonans .....	7
3.3.3. Filtrering av Schumannresonans:.....	8
3.4. FARTYGSMODELL .....	8
3.4.1. Fartygets ruttgenerering.....	8
3.4.2. Fartygets trycksignatur.....	9
Fartygets akustiska signatur.....	9
3.4.3. Fartygets elektriska signatur .....	9
3.4.4. Fartygets magnetiska signatur.....	10
3.5. SONDMODELLER .....	10

**Autopositionering för utlagda undervattenssensorer****2007-02-26**

3.5.1.	<i>Akustik</i> .....	11
3.5.2.	<i>Tryck</i> .....	12
3.5.3.	<i>Magnetfält</i> .....	13
3.5.4.	<i>Elektriskt fält</i> .....	14
<b>4.</b>	<b>POSITIONERINGSSYSTEMET</b> .....	<b>15</b>
4.1.	INLEDANDE BESKRIVNING AV POSITIONERINGSSYSTEMET .....	15
4.2.	GRÄNSSNITT MOT ANDRA MODULER .....	15
4.3.	POSITIONERINGSSYSTEMETS UPPBYGGNAD.....	15
4.3.1.	<i>Beskrivning av signaler</i> .....	16
4.3.2.	<i>Sensor-Fartyg-positionering</i> .....	16
4.3.3.	<i>Sensorernas relativa positionering</i> .....	17
<b>5.</b>	<b>KARTSYSTEMET</b> .....	<b>19</b>
5.1.	KARTSYSTEMET VISAR.....	19
<b>6.</b>	<b>PROTOKOLL</b> .....	<b>20</b>
6.1.	POSITIONSPROTOKOLL .....	20
6.2.	SENSORPROTOKOLL .....	20
	<b>REFERENSER</b> .....	<b>22</b>



## Autopositionering för utlagda undervattenssensorer

LITH

2007-02-26

### Dokumenthistorik

version	datum	Utförda förändringar	utförda av	granskad
1.0	2007-02-26	Godkänd 1.0	DOK, SD	
0.3	2007-02-26	Layout ändringar enligt beställare	PL, TEST, POS	PL, TEST, POS
0.2	2007-02-23	Ändringar enligt beställare och kund	Alla	PL, TEST, POS
0.1	2007-02-21	Första utkastet	Alla	Alla



2007-02-26

## 1. Inledning

Syftet med projektet är att med hjälp av verktyget Matlab ta fram en simuleringsmiljö åt SAAB Underwater Systems AB i Motala. Denna simuleringsmiljö skall kunna användas till autopositionering av undervattenssensorer samt vid mån av tid till målföljning av ytoobjekt. Simuleringsmiljön skall kunna styras med hjälp av ett grafiskt interface där man kan mata in omvärldsparametrar såsom sensorernas känslighet och precision samt omvärldens brusparametrar.

### 1.1. Parter

Kund är Mattias Källstrand från Saab Underwater Systems AB och beställare är Henrik Ohlsson vid ISY Reglerteknik. Projektet utförs av en grupp bestående av 7 studenter på kursen Reglerteknisk projektkurs, TSRT71.

### 1.2. Mål

Målet med projektet är att konstruera en simuleringsmiljö för autopositionering av undervattenssensorer. Svar på vad som krävs av ingående komponenter och hur bra prestanda man kan uppnå skall levereras.

### 1.3. Användning

Simuleringsmiljön skall användas av SAAB Underwater Systems AB för att utvärdera möjligheten att utveckla ett motsvarande system i verkligheten.

### 1.4. Definitioner

**Sond:** En anordning med möjlighet att mäta och representera en fysikalisk storhet.

**Sensor:** En enhet bestående av ett flertal sonder.

**UEP:** Underwater Electronic Potential

**ELFE:** Extra Low Frequency Electric Field

**TMA:** Målföljning (Target Motion Analysis).

**CRM:** Corrosion Related Magnetic field. dvs. Magnetfält som uppkommer från elektriska potentialer

**Sensorprotokoll:** Det protokoll som definierar kommunikation om sensorers mätdata mellan delsystemen.

**Positionsprotokoll:** Det protokoll som definierar kommunikation om sensorers position mellan delsystemen.

**Position:** En sensors position beskriver var sensorn befinner sig, antingen i förhållande till de andra sensorerna eller i rummet.

**Orientering:** En sensors orientering beskriver en sensors rotation kring tilltänkta axlar i rummet.



2007-02-26

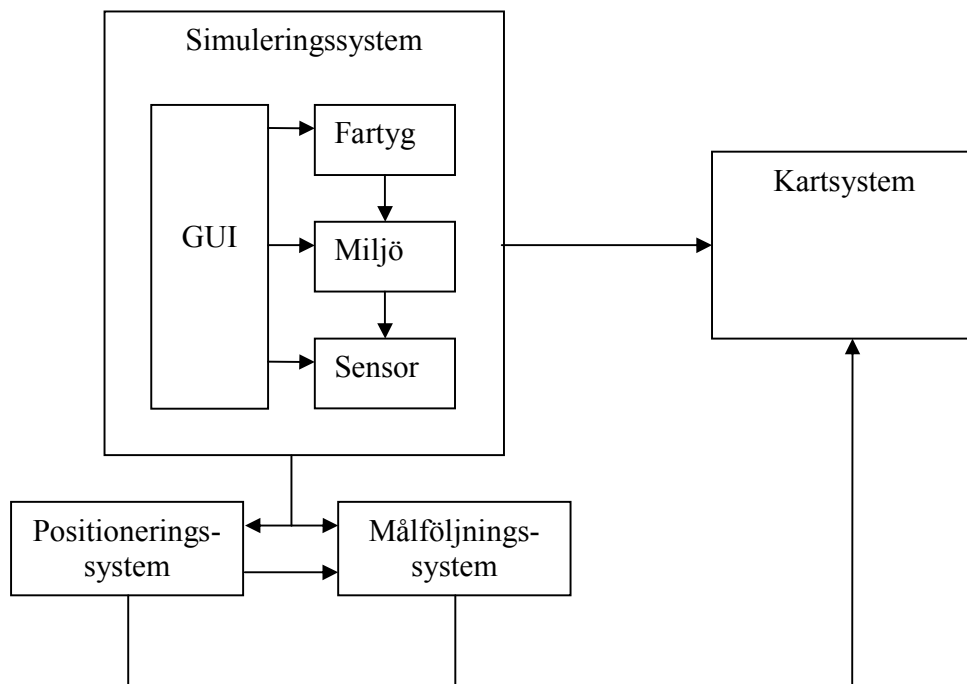
## 2. Översikt av systemet

### 2.1. Grov beskrivning av produkten

Simuleringssystemet ska simulera ett fartyg som kör omkring på vattenytan. Detta fartyg lämnar signaturer i form av ett elektriskt och magnetisk fält, akustiska signaler och en tryckförändring. På havsbotten finns ett antal undervattenssensorer utlagda men dess inbördes position är okänd. Systemet har som uppgift att skatta sensorernas inbördes positioner för att det ska kunna användas effektivt vid målsökning. Denna skattning kommer att bli möjlig när två eller fler sensorer ser fartyget samtidigt. Det ska även finnas ett grafiskt användarinterface, för att kunna variera situationen för simuleringen. Vid mån av tid så kan det även tillkomma ett målföljningssystem som med kända positioner på sensorerna ska kunna målfölja fartyg med okänd signatur.

### 2.2. Ingående delsystem

Systemet är tänkt att innehålla fyra delsystem, simuleringssystem, kartsystem, positioneringssystem och målföljningssystem, se *Figur 1*.



Figur 1. Schematisk översikt av systemet

Simuleringssystem är det system som användaren med hjälp av användarinterfacet styr hela simuleringen med. Det har även uppgiften att simulera fram rådata från sensorerna som sedan ska kunna användas av positionerings- och målföljningssystemet.

Positioneringssystemet gör en skattning av sensorernas inbördes position med hjälp av



## **Autopositionering för utlagda undervattenssensorer**

**2007-02-26**

rådata som sänds från simuleringssystemet. Kartsystemet ska bestå av ett fönster som öppnas när positionerings- och målföljningssystemet körs med grafiskt utritade symboler för fartyget och dess rutt samt sensorers verkliga och skattade positioner. Målföljningssystemet kommer att skatta fartyg med okänd signatur med avstånd och varians.

I användargränssnittet kommer det gå att välja vilka sonder som ska användas och dess prestanda. Det ska även gå att köra simuleringen med varierande signaturer på fartyget för att kunna utvärdera vad som krävs av fartygets signatur för att få en bra autopositionering.



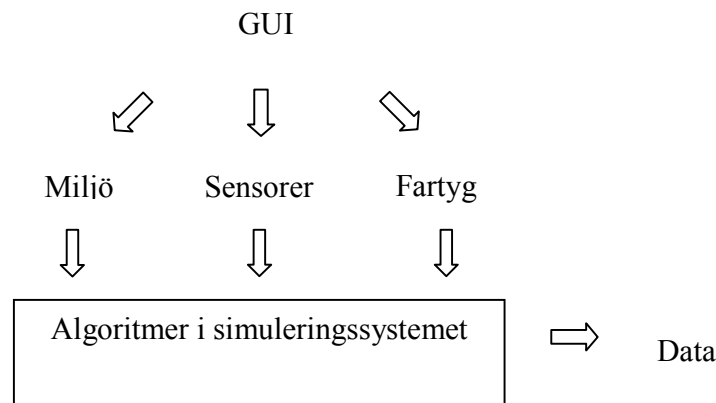


2007-02-26

### 3. Simuleringssystemet

#### 3.1. Funktionell beskrivning

När programmet startas laddas GUIt dvs. användargränssnittet. Där får användaren ställa in olika parametrar och starta en simulering. Med hjälp av modeller för fartyg, miljö och sensorer skapas data som skickas vidare till de andra delsystemen, se *Figur 2*.



*Figur 2. Schematisk översikt av simuleringssystemet*

##### 3.1.1. Enkel simulering

- Från de inmatade punkterna i rutten genereras en samplad färdväg, en samplingsserie för varje sondtyp med överensstämmande samplingsintervall för respektive typ.
- Mätserier genereras från färdvägarna utifrån respektive fartygsmodell.
- Mätserierna behandlas utifrån respektive miljömodell.
- De nya mätserierna behandlas utifrån respektive sondmodell.
- De nya mätserierna skickas till positioneringssystemet
- Resultatet från positioneringssystemet redovisas för användaren.

##### 3.1.2. Monte Carlo-simulering

- Från de inmatade punkterna i rutten genereras en samplad färdväg, en samplingsserie för varje sondtyp med överensstämmande samplingsintervall för respektive typ.
- Slumptal genereras inom det valda intervallet för parametrar i fartygssignaturen.



## Autopositionering för utlagda undervattenssensorer

2007-02-26

- Mätserier genereras från färdvägarna utifrån respektive fartygsmodell.
- Mätserierna behandlas utifrån respektive miljömodell.
- De nya mätserierna behandlas utifrån respektive sondmodell.
- De nya mätserierna skickas till positioneringssystemet.
- Resultatet från positioneringssystemet sparas undan.
- Börjar om från punkt 2.
- Slutar när valt antal simuleringar gjorts eller simuleringstiden är slut.

### 3.2. Användargränssnitt

Användargränssnittet kommer att utformas med hjälp av verktyget Guide i Matlab. I gränssnittet kommer man kunna göra diverse val om sensorernas placering och utformning samt fartygets körrutt. Man skall även kunna välja vilken implementering av positioneringssystemet som skall användas och ställa in slutvillkor för simuleringen. Det är i sin tur dessa val som kommer att ligga till som grund för simuleringen eller simuleringarna.

Valen som går att göra i systemet är uppdelade kring sensorernas uppbyggnad, sensorernas placering, fartygets rutt samt simuleringen.

Många val kommer gå att välja med högsta och lägsta värde för att kunna variera dem under en Monte Carlo-simulering. Utdatat från en sådan simulering kommer att behöva ändras från det vi beskriver nedan eftersom mycket mer data kommer genereras.

#### 3.2.1. Sensorernas placering

- Antal sensorer skall gå att variera från 2 till 32.
- Sensorernas placering skall gå att välja genom inmatning av koordinater (till exempel  $x,y,z$ ), eller så kan de slumpas ut över ett område.
- Man skall kunna ställa in miljöns yta och sensorernas placeringsyta separat, för att kunna simulera en båt som inte alltid kör precis ovanför sensorerna.

#### 3.2.2. Sensorernas uppbyggnad

Sönderna i sensorerna skall gå att variera, både i uppbyggnad och antal. Det är inte säkert att alla typer av sonder finns i varje sensor. Det skall även gå att ställa in hur exakt de sensorer som används mäter.

- Man skall kunna ställa in söndernas mätfel, egenbrus och dylikt i användargränssnittet.
- Man skall kunna välja mellan fördefinierade sonder, där mätfel och egenbrus är specificerat från verkliga sensorer.
- Man skall kunna välja ingående sondtyper i sensorerna, sensor för sensor.



## Autopositionering för utlagda undervattenssensorer

2007-02-26

### 3.2.3. Fartygets rutt

- Man skall kunna välja mellan olika körmönster som fartyget skall följa.
- Man skall kunna ställa in medelhastigheten och kunna välja hur den varierar under körningen.

### 3.2.4. Fartygets signatur

- Fartyget signatur ska kunna bestämmas. I signaturen ingår längd, bredd, djup, styrka och orientering på elektriskt dipolmoment, styrka och orientering på magnetiskt dipolmoment samt styrka på akustisk.
- Styrka på magnetiskt och elektriskt dipolmoment och styrka på akustiken ska kunna ställas på ett intervall för Monte Carlo simuleringar.
- Det ska även gå att stänga av och sätta på CRM signaturen.
- Det ska även gå att stänga av och sätta på elektrisk potential från induktionen av det jordmagnetiska fältet.

### 3.2.5. Slutvillkor

- Slutvillkor för simuleringen skall kunna ställas in genom att välja en slutlig osäkerhet för sensorernas position eller en total körtid för fartyget
- Man skall kunna ställa in en maximal simuleringstid, varefter körningen anses avslutad.
- Man skall kunna välja hur många simuleringar som skall utföras.

### 3.2.6. Utdata

Den information som skall finnas tillgänglig efter en körning kommer till en början visas i textform samt grafer. Vid mån av tid kommer även ett kartsystem utvecklas, där man kommer att kunna se allting på ett mer intuitivt överskådligt sätt.

- Konvergenstid för systemet, en tid för hela systemet samt tiden för den snabbaste respektive långsammaste sensorn.
- Konvergensen i tid, plottad.
- Skattningskovariansen och felet i positionsbestämningarna skall skrivas ut.

## 3.3. Miljömodell

Miljömodellen genererar det brus som uppstår på grund av fysikaliska fenomen i omgivningen.



## Autopositionering för utlagda undervattenssensorer

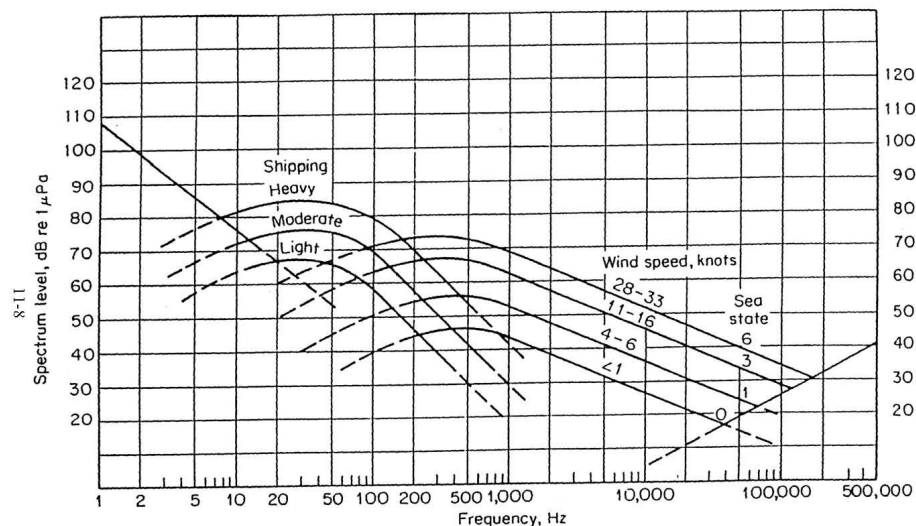
2007-02-26

### 3.3.1. Akustiskt bakgrundsbrus

Bakgrundsbruset antas bero på fartygstrafik och havstatus. Andra källor som vi inte räknar med är tidvatten, seismic och turbulens. Bruset kommer implementeras så att bruset från fartygstrafiken summeras med bruset ifrån havsstatus enligt följande formel:

$$NL_{\text{tot}} = NL_{\text{fartyg}} \oplus NL_{\text{Havsstatus}} \quad (\text{United States Naval Academy, 2007})$$

Intensiteter och frekvenser tas från Wentz kurva. Vi antar medeltrafik och sjöstatus 3 ifrån *Figur 3* nedan. Åska kan ge upp till 260 dB vid 1 Hz.



Figur 3. Wentz-kurva för bakgrundsbrus i vatten

### 3.3.2. Schumannresonans

Schumannresonans är ett antal frekvenstoppar orsakade av åskväder som man bör ta hänsyn till vid modellering av det elektromagnetiska fältet. Den första grundtonen ligger vid ungefär 7.83 Hz och övertonerna ligger sen vid 14, 20, 26, 33, 39 och 45 Hz.

I modellen kommer grundtonen och de två första övertonerna att modelleras med lämplig amplitud, den tredje övertonen och uppåt har ringa inverkan och modelleras därför ej.



## Autopositionering för utlagda undervattenssensorer

2007-02-26

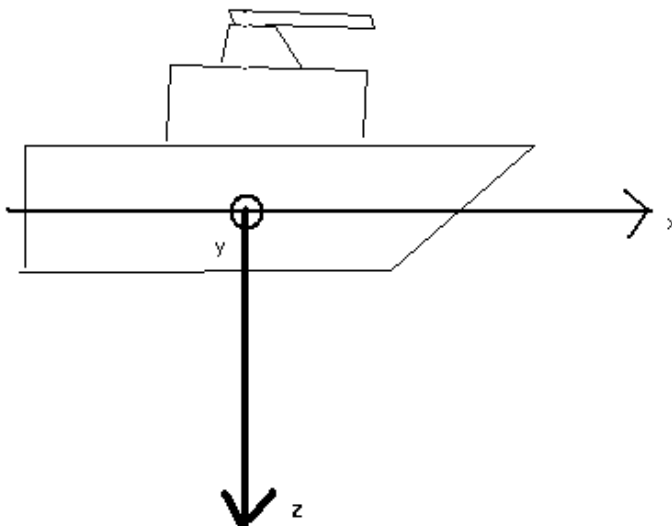
Filtreringen av Schumann topparna kommer att ske i frekvensplanet där bandpassfilter av lämplig ordning kommer att användas för att minimera effekterna på systemet.

### 3.3.3. Filtrering av Schumannresonans:

Filtreringen av Schumann topparna kommer att ske i frekvensplanet. Lämpligt filter kommer att väljas för att minimera dess effekt på systemet.

### 3.4. Fartygsmodell

I Figur 4 definieras fartygets koordinatsystem.



Figur 4. Fartygets koordinatsystem

#### 3.4.1. Fartygets ruttgenerering

Fartygets rutt kommer att genereras som en matris med vektor för position till fartyget och färdriktningsvinkeln. Multipla uppsättningar samplas med de sondspecifika samplingsintervallen. Rutten ska genereras så att den går igenom alla punkter som väljs i användarinterfacet. För att inte positioneringssystemet ska få problem antas att det



2007-02-26

behövs genereras någon form av kurvgenerering. Antagligen kommer hastigheten att variera, men inom ett begränsat område. Hur det ska lösas avvaktas tills vi fått tillgång till kod från kunden.

### 3.4.2. Fartygets trycksignatur

Fartygets trycksignatur är trycket som båten gör upphov till i en punkt (x,y,z) meter från båten. Trycket kommer att beräknas med hjälp av pre.m, som är en Matlab-fil som erhållits från kund.

### Fartygets akustiska signatur

Målets akustiska signatur bestäms av de ljudvågor som målet sänder ut. Dessa bestäms av de tryck och tillhörande frekvenser som båten genererar. Exempelvis en isbrytare genererar 193 dB. Ljudets avtagande på avståndet r ifrån båten beräknas enligt ekvation (1) och uppmätta ljudet vid källan enligt (2).

$$TL(f, r) = \left( \frac{0.1f^2}{10f^2} + \frac{100f^2}{10f^2 + f^2} \right) r \text{ dB/km. } f \text{ är i kHz och } r \text{ i km.} \quad (1)$$

$$TM(TS, TL) = 10 \log_{10} (10^{TS/10} - 10^{TL/10}) \text{ där } TS \text{ är källans intensitet i decibel.} \quad (2)$$

### 3.4.3. Fartygets elektriska signatur

Fartygets elektriska signatur även kallad UPE kommer att modelleras som elektriska dipoler enligt ekvation 3.

$$V_i = \frac{1}{4\pi\sigma} \frac{p \cos \theta_i}{r^2} \quad (3)$$

Där p är ett elektriskt dipolemoment,  $\theta$  är vinkeln till mätpunkten i dipolens orientering,  $\sigma$  är vattnets ledningsförmåga och r är avståndet till mätpunkten. Dessa tre dipoler kommer att modelleras i de tre axlarna på båten. Dipolerna  $p_0$  kommer att vara inställningsbara från användargränssnittet. Dipolerna i y- och z- riktningarna kommer att kunna få ett bidrag från den inducerade potentialen som kommer från det jordmagnetiska fältet enligt ekvation 4.

$$\Delta V = v \times B_j l \quad (4)$$

Där  $v$  är båtens hastighetsvektor,  $B_j$  är det jordmagnetiska fältet, och  $l$  är antingen bredden eller djupet på båtens skrov som är under vattnet, beroende på vilken dipol som är intressant,  $\Delta V$  är potentialskillnaden för det inducerade elektriska fältet.

Denna potentialskillnad kommer sedan att moduleras som en elektrisk dipol. Formeln för att räkna ut p är uppställd så att potentialskillnaden på sträckan  $l$  ska bli  $\Delta V$  när dipolen är i mitten, se ekvation 5.

**Autopositionering för utlagda undervattenssensorer****2007-02-26**

$$p_{B_j} = \frac{\sigma \pi d^2}{2} \Delta V \quad (5)$$

Denna potential kommer att kunna adderas till det sammanlagda dipolmomentet  $p$  enligt ekvation 6.

$$p = p_0 + p_{B_j} = \begin{bmatrix} p_x \\ p_y \\ p_z \end{bmatrix} \quad (6)$$

**3.4.4. Fartygets magnetiska signatur**

Fartygets magnetiska signatur kommer att modelleras på två olika sätt beroende på dess ursprung. Den första härstammar från den ferromagnetiska signaturen som är inbyggd i metallen i båten. Den andra kommer av de potentialskillnader som finns i skrovet även kallad CRM. Dessa har sitt ursprung från de strömmar som korsar skrovet och sedan går i en båge i vattnet.

Den ferromagnetiska signaturen moduleras som en magnetisk dipol enligt ekvation 7.

$$B = \frac{\mu_0 m}{4\pi R^3} (a_R 2 \cos \theta + a_\theta \sin \theta) \quad (7)$$

Där  $m$  är det magnetiska dipolmomentet,  $R$  är avståndsvektorn i sfäriska koordinater,  $a_R$ ,  $a_\varphi$  och  $a_\theta$  är basvektorer i ett sfäriskt koordinatsystem där vektorn för det magnetiska dipolmomentet har samma orientering som  $a_R$  när  $\theta$  är noll.

Dipolens orientering och styrka kommer att vara inställningsbar från användargränssnittet och det kommer vara en av de parametrar som ska gå att köra Monte Carlo simuleringar med.

Det magnetiska fältet som kommer från de elektriska dipolerna kommer att modelleras enligt ekvation 8 (Ultra Electronics PMES, United Kingdom).

$$B = \frac{\mu_0}{4\pi R^3} \begin{bmatrix} 0 & z & -y \\ -z & 0 & x \\ y & -x & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} p_x \\ p_y \\ p_z \end{bmatrix} \quad (8)$$

Man kan observera att det magnetiska fältet som kommer från  $p_x$  kommer att bero av hur mycket man väljer den parametern till i användargränssnittet.

**3.5. Sondmodeller**

Simuleringsystemet simulerar sonder av olika typ och slag. Sondernas samplar mätdata, där samplingsfrekvensen kan variera mellan olika typer av sonder, och sparar därefter datat på ett utrymmeseffektivt och lättåtkomligt sätt. Detta sker diskret under en viss tidsperiod. När en tillräckligt lång mätserie är insamlad förfiltreras de tidsdiskreta



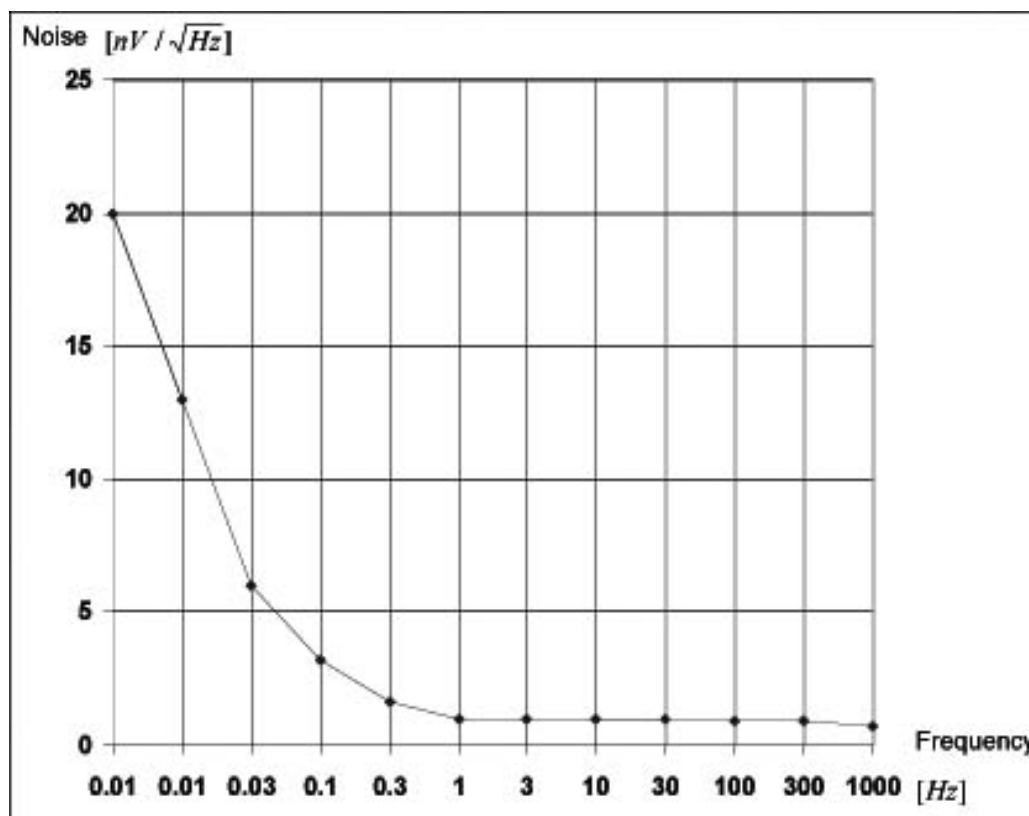
## Autopositionering för utlagda undervattenssensorer

2007-02-26

signalmatriserna från de olika sönerna för att få bort miljöbrus som kommer från miljömodellen, t.ex frekvenserna för Schuman resonanser. Här kommer även sönernas egenbrus att adderas till signalen, detta för att mer verklighetstroga signaler ska erhållas. Positioneringssystemet tar sedan emot information från sensorerna via sensorprotokollet som finns beskrivet under rubriken ”Sensorprotokoll”.

Sönernas egenbrus som läggs på signalen kommer till en början vara ett frekvensoberoende brus för att se hur bruset inverkar överhuvudtaget. Efter att brusets inverkan har studerats kommer förmodligen ett mer verklighetstroget brus att läggas på istället för det frekvensoberoende bruset. Ett verklighetstroget brus för en elektrisk sond kan ses i Figur 5 nedan.

I de fall tekniska specifikationer saknas för t.ex. känslighet kommer dessa att, till en början, sättas till rimliga värden, och därefter testas fram. Detta för att veta vilka värden som är nödvändiga för att sonden överhuvudtaget ska ge användbara mätvärden.



Figur 5. Graf över hur bruset typiskt beror av frekvens för en elektrisk sond. Typutseendet är detsamma för en magnetisk sond. (Ref [www.polyamp.com](http://www.polyamp.com))

### 3.5.1. Akustik

Akustik-sonden bör ha en bandbredd som täcker intervallet 2-1000 Hz.





## Autopositionering för utlagda undervattenssensorer

2007-02-26

Egenskapsvektorn kommer att innehålla känslighet, linjäritetsfel samt brusparameter. Mätdatavektorn kommer att bestå av den tidpunkt då datat är insamlat, samt en ljudintensitet i decibel relaterade till nivån 1  $\mu\text{Pa}$ , som gäller för vatten.

Egenskapsvektor:

Känslighet	Linjäritetsfel	Brusparameter
------------	----------------	---------------

Mätdata:

Tidpunkt	Ljudintensitet
----------	----------------

Sond:

Sond	Känslighet	Linjäritetsfel	Mätområde
1	-180 dB	N/A	0,2-50000 Hz
2	-194 dB	N/A	1-2000 Hz
3	-175 dB	N/A	1-30000 Hz

1. Cetacean Research Technology, CR1, <http://www.cetaceanresearch.com/hydrophones/cr1-hydrophone/index.html>
2. Sensortech, SQ08, <http://www.sensortech.ca/site/content/2006HydrophoneSQ08.pdf>
3. ITC, ITC-8112, [http://www.itc-transducers.com/\\_storefiles/137.pdf](http://www.itc-transducers.com/_storefiles/137.pdf)

### 3.5.2. Tryck

Tryck-sonden har en låg bandbredd. Den kommer att mäta det dynamiska trycket.

Egenskapsvektorn kommer att innehålla känslighet, linjäritetsfel samt brusparameter. Mätdatavektorn kommer att bestå av den tidpunkt då den är insamlad, samt en tryckintensitet.

Egenskapsvektor:

Känslighet	Linjäritetsfel	Brusparameter
------------	----------------	---------------

Mätdata:

Tidpunkt	Tryckintensitet
----------	-----------------

Sond:

TSRT71 Reglerteknisk projektkurs

Peter Westman

Designspec10.pdf

**Autopositionering för utlagda undervattenssensorer****2007-02-26**

Sond	Känslighet	Linjäritetsfel	Mätområde(FS)
1	140 Pa	< 2% FS	6895 kPa
2	140 Pa	< 2% FS	68950 kPa
3	3,5 kPa	< 2% FS	172350 kPa

1. PCB, Piesotronics 138A01,  
[http://www.pcb.com/contentstore/docs/PCB\\_Corporate/Pressure/products/specsheets/138A01\\_F.pdf](http://www.pcb.com/contentstore/docs/PCB_Corporate/Pressure/products/specsheets/138A01_F.pdf)
2. PCB, Piesotronics 138A26,  
[http://www.pcb.com/contentstore/docs/PCB\\_Corporate/Pressure/products/Manuals/138A26.pdf](http://www.pcb.com/contentstore/docs/PCB_Corporate/Pressure/products/Manuals/138A26.pdf)
3. PCB, Piesotronics 138A26,  
[http://www.pcb.com/contentstore/docs/PCB\\_Corporate/Pressure/products/Manuals/138A26.pdf](http://www.pcb.com/contentstore/docs/PCB_Corporate/Pressure/products/Manuals/138A26.pdf)

**3.5.3. Magnetfält**

Fluxgate-sonden bör ha en bandbredd på mellan 0 och 25 Hz. Detta för att den ska kunna mäta både statiska och dynamiska magnetfält. Egenskapsvektorn kommer att bestå av känslighet, linjäritetsfel samt mätområde. Mätdatavektorn kommer att innehålla tidpunkten då datat är insamlat, samt magnetfältet i tre olika riktningar.

Egenskapsvektor:

Känslighet	Linjäritetsfel	Brusparameter
------------	----------------	---------------

Mätdata:

Tidpunkt	Bx	By	Bz
----------	----	----	----

Där Bx är magnetfältet i x-led, By är magnetfältet i y-led och Bz är magnetfältet i z-led.

Sond:

Sond	Känslighet	Linjäritetsfel	Mätområde
1	N/A	<0.0015%	±100 μT
2	200 fT	<0.1%	±100 μT
3	4 nT	<0.5%	±200 μT

**Autopositionering för utlagda undervattenssensorer****2007-02-26**

1. Bartington, MAG03-MSS,  
[http://www.gmw.com/magnetic\\_measurements/Bartington/Mag-03\\_Specs.html](http://www.gmw.com/magnetic_measurements/Bartington/Mag-03_Specs.html)
2. Systemtechnik Ludwig, DM-010,  
<http://www.stl-gmbh.de/mediaup/pdf/DigitalMagnetometerHP.pdf>
3. Honeywell, HMC2003,  
<http://sensors-transducers.globalspec.com/SpecSearch/PartSpecs?PartId=%7BBBD83B29A-45A6-46B5-9C60-224559FBA1E4%7D&VID=270&Comp=4144&QID=8706916>

Brusparametrarna för fluxgatesonderna ser typiskt ut som  $X \text{ pT}/\sqrt{\text{Hz}}$  vid 1 Hz, där X är ett tal mellan 1 och 100. Jämfört med jordens magnetiska fält som ligger på mellan 30 och 60  $\mu\text{T}$  så är detta försvinnande litet, varför vi har bestämt oss för att strunta i denna brusparameter.

**3.5.4. Elektriskt fält**

ELFE/UEP-sonden bör ha en bandbredd på mellan 0 och 15 Hz. Egenskapsvektorn kommer att bestå av känslighet, linjäritetsfel samt avståndet mellan anod och katod i sonden. Mätdatavektorn kommer att innehålla tidpunkten då datat är insamlat, samt det elektriska fältet i tre olika riktningar.

Egenskapsvektor:

Känslighet	Linjäritetsfel	Brusparameter	Avstånd anod-katod
------------	----------------	---------------	--------------------

Mätdata:

Tidpunkt	Ex	Ey	Ez
----------	----	----	----

Där Ex är det elektriska fältet i x-led, Ey är det elektriska fältet i y-led och Ez är det elektriska fältet i z-led.

Sond:

Sond	Känslighet	Linjäritetsfel	Mätområde	Avstånd A-K
1	N/A	N/A	0-3kHz	375 mm
2	Se länk	Se länk	5mHz-14kHz	N/A

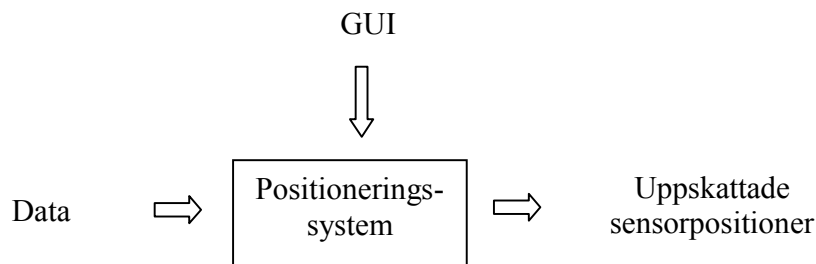
1. Ultra Electronics, Compact <http://www.ultra.demon.co.uk/compact.htm>
2. Polyamp, EL-AMP01 <http://www2.foi.se/rapp/foir1303.pdf>



2007-02-26

## 4. Positioneringssystemet

### 4.1. Inledande beskrivning av positioneringssystemet



Figur 6. Flödet av data genom positioneringssystemet

Positioneringssystemets uppgift är att ta emot sensorernas mätdata enligt sensorprotokollet och att bearbeta detta för att bestämma sensorernas och fartygets inbördes positioner med varianser. Dessa positioner ska sedan vidarebefordras enligt positionsprotokollet. Positioneringssystemets dataflödet visas i *Figur 6*

### 4.2. Gränssnitt mot andra moduler

Positioneringssystemet tar emot data enligt sensorprotokollet samt skickar data enligt positionsprotokollet.

I den del av det grafiska användarinterfacet (GUI) som styr positioneringssystemet kan användaren specificera parameterinställningar för ingående filter.

### 4.3. Positioneringssystemets uppbyggnad

Inkommande data måste förbehandlas genom att filtrera bort så mycket brus som möjligt med hjälp av lämpliga FIR-filter. Eftersom magnetfältet är olinjärt blir överföringsfunktionen för magnetiska dipolmoment, fartygets position och hastighet olinjär. Denna funktion kan ej enkelt inverteras för att bestämma tillståndsvektorn.

Sensorernas inbördes position kan skattas parvis genom att utnyttja hur de är relaterade till samma mål. Varje sensor måste därför skatta var de är i förhållande till fartyget med så god precision som möjligt. Detta kan fusioneras med att de akustiska signalerna och autokorrelation kan ge skillnaden i avstånd till målet. Den sensorfusion som kan ske är dock främst inom samma sensor där olika sonders information kan fusioneras för att bättre relatera båten till sensorn.



## Autopositionering för utlagda undervattenssensorer

2007-02-26

Att positionera sensorerna relativt varandra blir därför huvudsakligen en sammansättning av två algoritmer. Först relateras sensorn till fartyget så att avståndet och vinkeln mellan dessa kan skattas. Därefter kan denna information sättas in i en enkel tillståndsmodell där alla sensorernas positioner kan relateras till en förutbestämd sensors position.

### 4.3.1. Beskrivning av signaler

De akustiska sensorernas signaler kommer att kunna användas till att ungefärligt positionsbestämma ett mål då sensorernas positioner är kända. Deras känslighet och räckvidd gör de även lämpliga till att verka som aktiverare av hela systemet om implementering av något dylikt blir aktuellt. Autokorrelation av signalerna kan användas till att beräkna skillnaden i avstånd till målet.

De magnetiska sensorerna är treaxlade, dessa mäter förändringen i magnetfältet då en båt passerar. Då ingen båt är närvarande kan signalen användas till att bestämma sensors orientering i tre dimensioner genom att läsa av jordens magnetfält. Då en båt passerar kan en förändring i magnetfältet i tre dimensioner mätas. Magnetfältet kommer att bero av sensors avstånd till målet, fartygets riktning samt troligtvis även fartygets hastighet.

Elektriska sensorerna är också treaxliga och verkar likt de magnetiska sensorerna.

Trycksensorena kan bestämma vilket djup sensorn ligger på samt upptäcka om en båt är på väg att köra över den. Då båten kör över trycksensorn märker den dynamiska trycksensorn detta vilket kan användas för att bestämma sensors position kontra fartygets position.

### 4.3.2. Sensor-Fartyg-positionering

Varje sensor måste enskilt kunna skatta sin position relativt båten för att alla sensors relativa positioner ska kunna skattas.

Att skatta en sensors position relativt ett fartyg genom att studera magnetisk, elektrisk, akustisk och trycksignatur är allt annat än ett linjärt problem. För att lösa detta krävs därför troligtvis ett partikelfilter för varje sensor som skattar fartygets vinkel och avstånd till sensorn. Varje sensor löser alltså ett eget problem i ett eget koordinatsystem. Orienteringen för alla dessa koordinatsystem kommer dock att vara detsamma.

Systemet sätts upp på tillståndsform där varje sensor placeras med x- och y-koordinat noll samt med en bestämd z-koordinat som baseras på vilket djup sensorn ligger på. Fartygets position och hastighet modelleras med fyra tillstånd. Vattenytan ges z-koordinaten noll. Detta tidsdiskreta problem kan skrivas på formen

$$x(t+1) = f(x(t)) + w(t)$$

$$y(t) = h(x(t)) + e(t)$$

Här kommer  $f(x(t))$  att vara linjär medan  $h(x(t))$  blir olinjär. Bruset antas vara additiva.



## Autopositionering för utlagda undervattenssensorer

2007-02-26

Positioneringen löses nog enklast med ett partikelfilter. Partiklar slumpas ut enligt en initial gissning och kommer att representera ett stort antal möjliga tillstånd för fartyget. Varje partikel kommer i sin tur att ha ett antal frihetsgrader såsom dipolmoment, riktning och hastighet och därmed representera ett möjligt mål. Med hjälp av modeller för dipolmoment, tryck, med mera, kommer man att kunna skatta vad en sensor borde mäta om fartyget befinner sig vid en given partikel. Dessa skattningar subtraheras från sensorns observation varefter partikelns rimlighet som fartygsposition kan beräknas genom att jämföra resultatet med brusets,  $e(t)$ :s, täthetsfunktion. De partiklar vars tillstånd som är minst troliga tas bort och placeras ut nära de partiklar som var de mest troliga. Därefter nollställs sannolikheterna för partiklarna så att alla partiklar är lika troliga. Nu genomförs en ny mät- och tidsuppdatering vilket ger nya skattningar och nya mätdata, så att beräkningarna kan göras om. Efter ett antal iterationer kommer spridningen av antalet möjliga positioner att ha minskat drastiskt förutsatt att filtret är väl trimmat. Ett avstånd och en vinkel till målet kommer nu att kunna skattas.

Bruset  $e(t)$  kommer till en börjar antas vara gaussiskt. Detta kan dock vara felaktigt vilket i så fall skulle leda till att brusets fördelning och täthetsfunktion måste skattas så att det kan användas i partikelfiltret.

Naturligtvis kan inte samma modell användas för att skatta de förväntade mätsignalerna i partikelfiltret, som man använder för att generera sensorns verkliga mätsignaler. Detta skulle innebära att valideringsdata är samma som träningsdata vilket inte är en lämplig metod. Modellerna måste därför ändras eller förenklas något innan de kan användas till partikelfiltret.

### 4.3.3. Sensorernas relativa positionering

När två sensorers positioner relativt fartyget har bestämts, kan detta användas för att bestämma sensorernas inbördes positioner. Dessutom kan autokorrelation mellan de två sensorernas akustiska signaler ge ett mått på skillnaden i avstånd till målet. Systemet sätts även här upp på tillståndsform, en sensors position i x- och y-led väljs som origo. Alla sensorer förutsätts vara riktade åt norr i det globala koordinatsystemet eller kommer att kunna räkna ut sin orientering med hjälp av jordens magnetfält och därefter vrida det lokala koordinatsystemet mot norr.

Tillståndsmodellen blir här

$$x(t+1) = f_2(x(t)) + w_2(t)$$

$$y(t) = h_2(x(t)) + e_2(t)$$

Tillstånden  $x$  anger här alla sensorers positioner i två dimensioner, projicerade upp på vattenytan för att få ett tvådimensionellt-problem. Dessutom modelleras fartyget med fyra tillstånd, position och hastighet i xy-planet. De mätta signalerna  $y$  utgörs av vinklar och avstånd till fartyget från varje sensor, skattade av sensorns partikelfilter, samt skillnaden i avstånd båt  $\rightarrow$  sensor mellan sensorerna, uppmätt med autokorrelation på den akustiska signaturen. Ifall sensorernas koordinater anges på kartesisk form kommer



## Autopositionering för utlagda undervattenssensorer

2007-02-26

$f(x(t))$  att vara linjär medan  $h(x(t))$  blir olinjär. Anges koordinaterna på polär form blir  $h(x(t))$  linjär medan  $f(x(t))$  nog kan bli olinjär.

Ifall  $f(x(t))$  och  $h(x(t))$  är linjära samt bruserna  $w(t)$  och  $e(t)$  är gaussiska är detta ett enkelt problem som får en optimal lösning genom Kalman-filtret. Om inte allt detta är uppfyllt får andra olinjära metoder användas som Extended Kalman-filtrering eller även här ett partikelfilter. Är delar av systemet linjärt kan detta utnyttjas genom att de linjära delarna kan lösas med ett vanligt Kalmanfilter.

Bruset  $e(t)$  är okorrelerat då tillstånden anges i polära koordinater, men inte då dessa anges i kartesiska.

Alla sensorer kommer inte ha tillgång till all data samtidigt varför inte alla sensorer kan positionsbestämmas samtidigt. Den magnetiska signaturens räckvidd är begränsad varför inte fler än 2-3 sensorer kan antas känna av fartyget samtidigt.

För att kunna positionsbestämma alla sensorer relativt varandra måste därför en "överlämning" ske mellan de sensorer vars positioner är bestämda och de vars positioner är okända. Varje sensor kommer att kunna bestämma sin position relativt fartyget, men om ingen annan sensor ser fartyget kommer inte sensorernas inbördes position att kunna bestämmas. Det enkla fallet med två kluster av sensorer som ligger långt ifrån varandra ger att sensorerna i varje kluster kommer att kunna positionera sig relativt de övriga i klustret, men vi vet inte hur de två klustren förhåller sig till varandra om de inte kan se samma mål samtidigt.

Eftersom alla sensorer inte kommer att kunna mäta målet samtidigt, men alla tillstånd skall ingå i tillståndsbeskrivningen, så kommer  $h(x(t))$  att variera i dimension med tiden, alltså  $\dim(h) = \dim(h,t)$ . Om ett tillstånd skall tas med i mätuppdateringen eller ej kommer att avgöras genom att se på storleken av signalenergin hos sensorn jämfört med ett lämpligt tröskelvärde. Liknande metoder kan även användas i målsökningsläge, till exempel kan akustiksensorer användas för aktivering av systemet. Genom att använda fel-detekteringsalgoritmer kan fel detekteras och isoleras.



2007-02-26

## 5. Kartsystemet

Kartsystemet kommer att anropas av antingen målföljningssystemet, positionssystemet eller simuleringssystemet via positionsprotokollet.

### 5.1. *Kartsystemet visar*

Kartsystemet visar grafiskt utritade symboler för fartyget och dess rutt samt sensorers verkliga och skattade positioner i ett separat fönster. Även variansen kommer att skattas för sensorerna. Om målföljningssystemet implementeras så kommer även en varians skattas för fartyget.





2007-02-26

## 6. Protokoll

### 6.1. Positionsprotokoll

Positionsprotokollet används när ett delsystem vill skicka en position för en sensor till ett annat delsystem. När en sensorposition skickas identifieras den aktuella sensorn med sitt unika sensor-id. Därtill skickas också sensorns skattade eller exakta position, beroende på vilket delsystem som skickar, samt variansen för sensorns skattade position. Tidpunkten för skattningen skickas också med för att lätt kunna följa hur positioneringsprocessen fortgår med avseende på tiden. När simuleringssystemet skickar med positionsprotokollet sätts variansen till noll, eftersom det delsystemet känner till sensorns exakta position. Detta behövs för att kunna jämföra den skattade positionen med den exakta. Positionen skickas som koordinater i x-, y- och z-led utgående från det globala koordinatsystemet. Variansen skickas som varians i x- och y-led. När, i mån av tid, målföljningssystemet implementeras kommer fartygets position också att skickas med positionsprotokollet.

Protokollet beskrivs enligt:

Objekt id	Tid	Px	Py	Pz	Vx	Vy
-----------	-----	----	----	----	----	----

- Objekt id: En siffra mellan 1 och 32 som berättar vilken sensor den aktuella positionen tillhör. Siffran är då sensorns id-nummer. För eventuell målföljning kommer fartyget att ha objekt id 0.
- Tid: Tidpunkten då positionen är skattad.
- Px: Position i x-led relativt det globala koordinatsystemet.
- Py: Position i y-led relativt det globala koordinatsystemet.
- Pz: Position i z-led relativt det globala koordinatsystemet.
- Vx: Varians i x-led relativt det globala koordinatsystemet. Sätts till 0 om simuleringssystemet skickar positioner.
- Vy: Varians i y-led relativt det globala koordinatsystemet. Sätts till 0 om simuleringssystemet skickar positioner.

### 6.2. Sensorprotokoll

Sensorprotokollet används för att skicka mätdata från sönerna. När en sond skickar identifierar den sig genom vilken sensor den tillhör, vilken sondtyp den är, vilket sond id den har samt vilka egenskaper denna modell av sondtyp har, se exempel nedan. Varje sensor och sondtyp antas ha egna, unika id som identifierar dem. Sondtyp skickas i klartext för att underlätta felsökning. Egenskaper skickas som en vektor som ser olika ut för olika sensortyper. Sist skickas mätdata i en vektor som även den beror av sondtypen. Mätdata innehåller tiden då mätdata genererades samt mätdata i sig.

**Autopositionering för utlagda undervattenssensorer****2007-02-26**

Protokollet beskrivs enligt:

Sensor id	Sondtyp	Sond id	Egenskaper	Mätdata
-----------	---------	---------	------------	---------

- Sensor id: En siffra mellan 1 och 32 som berättar vilken sensor den aktuella sonden tillhör.
- Sondtyp: De typer av sonder som finns är ELFE/UEP, magnetik, akustik samt tryckkänslig sond. Fältet sondtyp kommer att bestå av en av dessa fyra i klartext.
- Sond-id: En siffra som berättar vilken sond på sensorn som skickar datat. Sond-id behövs för att flera sonder av samma typ ska kunna finnas på samma sensor.
- Egenskaper: En vektor innehållandes specifika egenskaper som beskriver den aktuella sensorn. Dessa kan till exempel vara linjäritetsfel, känslighet och/eller brusparameter. Egenskapsvektorn kan se olika ut för varje sondtyp. Se närmare beskrivning på varje sondtyp under rubriken "Sondtyper".
- Mätdata: En vektor som innehåller tidpunkt då mätdata är insamlat, samt mätdata i sig. Vektorn med mätdata ser olika ut för varje sondtyp. Se närmare beskrivning på varje sondtyp under rubriken "Sondtyper".



## Referenser

United States Naval Academy, 2007

<http://usna.edu/Users/physics/ejtuchol/Chapter11.pdf>

Åtkomstdatum: 2007-02-21

National Geophysical data center, 2007

<http://www.ngdc.noaa.gov/seg/geomag/jsp/IGRFWMM.jsp>

Åtkomstdatum: 2007-02-21

Discovery of Sound in the Sea

<http://dosits.org/science/ssea/refs.htm>

Åtkomstdatum: 2007-02-21

Polyamp, 2007

<http://www.polyamp.com/systems/Products/UEP/uep.html>

Åtkomstdatum: 2007-02-21

Ultra Electronics PMES, United Kingdom, 1999

[http://www.ultra-pmes.com/downloads/Research\\_Papers/Multi-Influence%20Range.pdf](http://www.ultra-pmes.com/downloads/Research_Papers/Multi-Influence%20Range.pdf)

Åtkomstdatum: 2007-02-21