



Teknisk Dokumentation

Erik Andersson

Version 1.0

Status

Granskad		
Godkänd		



Autopositionering för utlagda undervattenssensorer

2007-05-22

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	erian754@student.liu.se
Peter Westman	Dokumentansvarig(DOK)	0739-852 454	petwe062@student.liu.se
Mikael Andersson	Sondansvarig(SD)	0709-957 560	mikan652@student.liu.se
Petter Wallin	Simuleringsansvarig(SIM)	0733-360 519	petwa615@student.liu.se
Martin Skoglund	Testansvarig(TEST)	0702-407 328	marsk584@student.liu.se
Jonas Callmer	Positioneringsansvarig(POS)	0704-968 394	jonca328@student.liu.se
Simon Gidlöf	Designansvarig(DES)	0702-294 128	simgi023@student.liu.se

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

Hemsida: <http://www.isy.liu.se/edu/projekt/tsrt71/underwater/>

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

Kursansvarig: Anders Hansson, (ISY-reglerteknik)

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

Beställare: Henrik Ohlsson (ISY-reglerteknik)



Innehåll

1. INLEDNING	1
1.1. PARTER	1
1.2. MÅL	1
1.3. ANVÄNDNING	1
1.4. DEFINITIONER	1
2. ÖVERSIKT AV SYSTEMET	2
2.1. GROV BESKRIVNING AV PRODUKTEN	2
2.2. INGÅENDE DELSYSTEM	2
3. SIMULERINGSSYSTEMET	4
3.1. FUNKTIONELL BESKRIVNING	4
3.1.1. <i>Simulering</i>	4
3.1.2. <i>Generering av data</i>	5
3.2. ANVÄNDARGRÄNSSNITTET(GUI)	5
3.2.1. <i>Sensorfliken</i>	6
3.2.2. <i>Fartygsfliken</i>	8
3.2.3. <i>Miljöfliken</i>	10
3.2.4. <i>Simuleringsfliken</i>	12
3.3. FARTYG	13
3.3.1. <i>Fartygets akustiska signatur</i>	13
3.3.2. <i>Fartygets elektriska signatur</i>	16
3.3.3. <i>Fartygets magnetiska signatur</i>	17
3.3.4. <i>Tryck</i>	18
3.4. MILJÖ	19
3.4.1. <i>Akustiskt bakgrundsbrus</i>	19
3.4.2. <i>Magnetiskt bakgrundsbrus</i>	20
3.4.3. <i>Schumanresonans</i>	20
3.5. SONDER	21
3.5.1. <i>Akustisk sond</i>	22
3.5.2. <i>Magnetisk sond</i>	22
3.5.3. <i>Elektrisk sond</i>	23

**Autopositionering för utlagda undervattenssensorer****2007-05-22**

3.5.4.	<i>Tryckkänslig sond</i>	24
3.6.	GPS-SIGNAL	24
3.7.	FARTYGETS RUTTGENERERING	24
3.8.	FÖRSLAG PÅ FORTSATT ARBETE	25
4.	POSITIONERINGSSYSTEMET	25
4.1.	INLEDANDE BESKRIVNING AV POSITIONERINGSSYSTEMET	25
4.2.	GRÄNSSNITT MOT ANDRA MODULER	25
4.3.	POSITIONERINGSSYSTEMETS UPPBYGGNAD	26
4.4.	MODELL FÖR FARTYGET	26
4.5.	BESKRIVNING AV SIGNALER	27
4.5.1.	<i>Korrelation mellan akustiska signaler</i>	28
4.5.2.	<i>Kommentarer om korreleringsfelsuppskattningen</i>	29
4.5.3.	<i>Förfiltrering av elektriska signaler</i>	29
4.6.	PARTIKELFILTER	30
4.7.	EXTENDED KALMANFILTER	32
4.7.1.	<i>Filtrets funktionalitet</i>	32
4.7.2.	<i>Utan GPS</i>	33
4.7.3.	<i>Med GPS</i>	34
4.8.	BEGRÄNSNINGAR	35
4.9.	VIDAREUTVECKLING	35
5.	KARTSYSTEMET	36
5.1.	KARTA	36
5.2.	TIDSPLOTTAR	37
6.	FUNKTIONSANROP	39
7.	REFERENSER	42



Autopositionering för utlagda undervattenssensorer

2007-05-22

Dokumenthistorik

version	datum	Utförda förändringar	utförda av	granskad
1.0	2007-05-22	Hemsidadress införd	POS	TEST,SD
0.13	2007-05-21	Uppdatering av referenser och lite annat	PL	
0.12	2007-05-20	Uppdatering av Simuleringssystemet	SIM	
0.11	2007-05-20	Uppdatering av Positioneringssystemet	TEST,POS	
0.1	2007-05-07	Första utkastet	ALLA	



Autopositionering för utlagda undervattenssensorer

2007-05-22

1. Inledning

Detta är den tekniska dokumentationen till projektet ”Autopositionering för utlagda undervattenssensorer”. Projektets syfte var att med hjälp av verktyget Matlab ta fram en simuleringsmiljö åt SAAB Underwater Systems AB i Motala. Denna simuleringsmiljö kan användas till autopositionering av undervattenssensorer. Simuleringsmiljön styrs med ett grafiskt interface där man kan mata in omvärldsp parametrar 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 var att konstruera en simuleringsmiljö för autopositionering av undervattenssensorer. Svar på vad som krävs av ingående komponenter och hur bra prestanda man kan uppnå skulle 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

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.



2007-05-22

2. Översikt av systemet

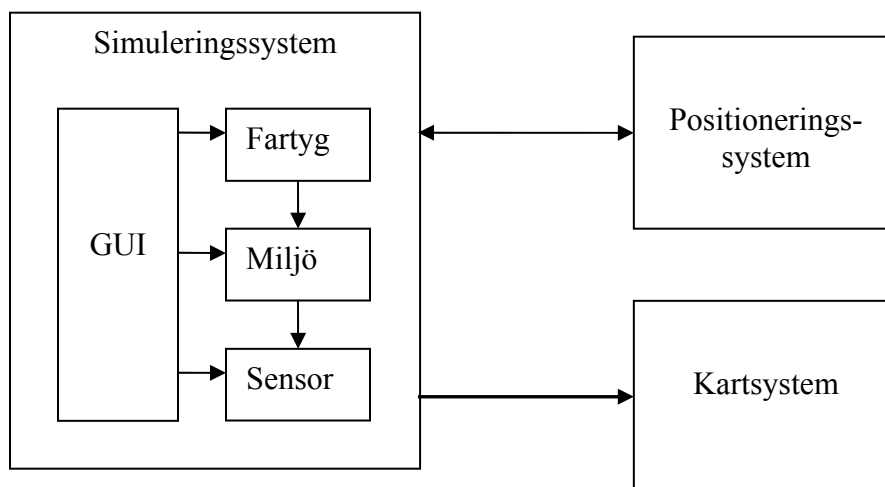
I det här kapitlet ges en översiktlig beskrivning av systemet.

2.1. Grov beskrivning av produkten

Simuleringsmiljön simulerar ett fartyg som kör omkring på vattenytan. Fartyget lämnar ifrån sig signaturer i form av ett elektriskt och magnetisk fält, akustiska signaler samt en tryckförändring. På havsbotten finns ett antal undervattenssensorer utlagda men dess inbördes position är okänd. Simuleringsmiljön 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 finns även ett grafiskt användarinterface, för att kunna variera situationen för simuleringen.

2.2. Ingående delsystem

Simuleringsmiljön innehåller tre delsystem, simuleringsystem, kartsystem och positioneringssystem, se *Figur 1*.



Figur 1. Schematisk översikt av systemet

Simuleringsystemet 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 positioneringssystemet.

Positioneringssystemet gör en skattning av sensorernas inbördes position med hjälp av rådata som sänds från simuleringsystemet.

Kartsystemet består av ett fönster som öppnas när positioneringssystemet körs med grafiskt utritade symboler för fartyget och dess rutt samt sensorers verkliga och skattade positioner.



Autopositionering för utlagda undervattenssensorer

2007-05-22

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

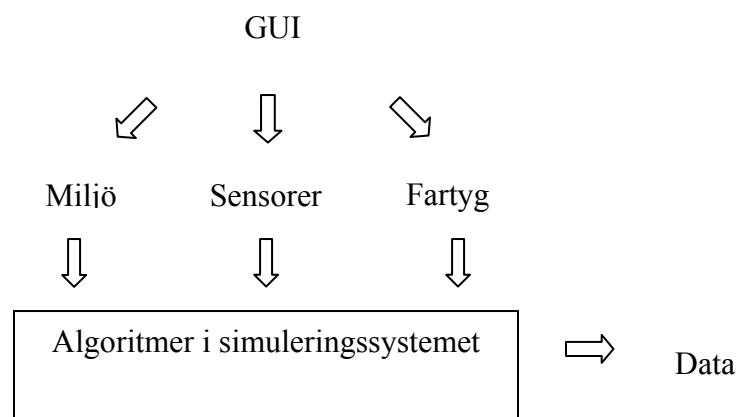


3. Simuleringsystemet

I det här kapitlet ges en grundlig beskrivning över hur simuleringsystemet är implementerat.

3.1. Funktionell beskrivning

När programmet startas laddas GUI:t 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 simuleringsystemet

3.1.1. Simulering

När användaren väljer att starta en simulering börjar simuleringsystemet med att samla in information om vart sensorerna är placerad. Sedan sparas alla sonder som finns i sensorerna undan med dess specifika egenskaper i ett sensorprotokoll. Vilket betyder att om en sensor saknar en sond av specifik typ, kommer även sondprotokollet att sakna den sonden. Efter det så skapas en färdväg för fartyget. Färdvägen samplas sedan om och läggs in i två positionsprotokoll. Ett med exakta positionerna längs färdvägen vilket senare kommer att användas som referens i kartsystemet. Ett där en GPS signal moduleras som sedan kommer att användas av positioneringssystemet. Sedan sorteras sonder in efter vilken typ de är dvs. akustiska-, magnetiska-, elektriska- och trycksonder. Därefter genereras mätdata till sonderna, se rubrik 3.1.2 Generering av data. Modeller för fartyg, miljö och sond är specifika för sondens typ.



Autopositionering för utlagda undervattenssensorer

2007-05-22

3.1.2. Generering av data

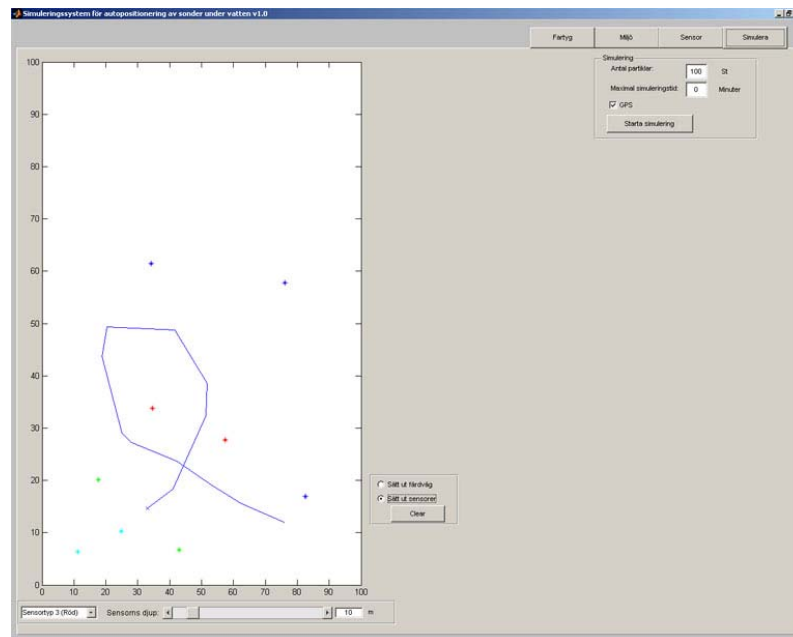
När data ska genereras för sönerna så börjar systemet med att plocka ut alla trycksonder. Sedan gås sönerna igenom en i taget med förfarandet att data genereras och sparas undan i sondprotokollet. En sådan datagenerering startas med att positionen för sensorn där sonden ingår hämtas. Sedan hämtas samplingsfrekvensen för den specifika sonden och man kollar om det finns en fartygsbana med positioner som matchar den givna samplingsfrekvensen. Om inte, skapas en sådan genom interpolering. Varvid tryckmätvärden från fartygsmodellen för trycket beräknas mha. fartygets bana och sensors position. Sedan läggs ett brus på som beräknas från en miljömodell för trycket. Slutligen behandlas mätvärdena enligt en sensormodell för trycksonder mha. sondens egenskaper som finns med sondprotokollet. Slutligen sparas resultatet i sondprotokollet. Detta upprepas tills alla trycksonder fått sina mätvärden. Sedan är det de elektriska sönernas tur som behandlas med de specifika modellerna som gäller för den. Var på de magnetiska och akustiska sönerna följer.

3.2. Användargränssnittet(GUI)

Användargränssnittet är utformat med hjälp av verktyget Guide i Matlab. Det grafiska användargränssnittet används för att göra inställningar i systemet lätthanterliga och enkla att förstå. I GUI:t finns fyra huvudflikar, där man kan specificera olika inställningar för simuleringen. Dessa fyra huvudflikar är *Fartyg*, *Miljö*, *Sensorer* samt *Simulera*. Förutom dessa fyra flikar finns även en karta över färdväg samt sensorernas placering. Denna karta är hela tiden synlig oavsett vilken flik man väljer att göra ändringar i. Man kan göra diverse val om sensorernas placering och utformning samt fartygets körrutt. Man kan även välja antalet partiklar som positioneringssystemet skall använda och ställa in slutvillkor för simuleringen. Det är i sin tur dessa val som kommer att ligga till grund för simuleringen. I *Figur 3* syns GUI:t, som det möter användaren.



Autopositionering för utlagda undervattenssensorer 2007-05-22



Figur 3. GUI

3.2.1. Sensorfliken

Under denna flik görs inställningar för sensorer och sonder. Man kan som mest använda sig av fyra olika sensorspecifikationer. Sensorfliken ser ut som i *Figur 4*.

Antal sensortyper

I rullgardinslistan längst upp i denna flik kan man ange hur många olika sensortyper man ska använda sig av. För olika val av antal sensortyper kommer grafiken att uppdateras därefter så att varje sensortyp kan specificeras. Man kan ändra och lägga till egna sondtyper genom att editera filen "defaultsonder.m"



Autopositionering för utlagda undervattenssensorer

2007-05-22

2 sensortyper

Sensortyp 1

		Brus	
Akustisk	Känslighet: -180 dB, Linj.fel: 0 %, Sampl.frekv.: 2000 Hz	-Inf	dB
Tryck	Känslighet: 140 Pa, Linj.fel: 2 %, Mätområde: 6895000 Pa, Sampl.frekv.: 20 Hz	0	Pa
Magnetisk	Känslighet: 0 T, Linj.fel: 0.0015 %, Sampl.frekv.: 50 Hz	0	uT
Elektrisk	Känslighet: 0 V/m, Linj.fel: 0 %, Avstånd A/K: 0.375 m, Sampl.frekv.: 50 Hz	0	V/m

Sensortyp 2

		Brus	
Akustisk	Känslighet: -180 dB, Linj.fel: 0 %, Sampl.frekv.: 2000 Hz	-Inf	dB
Tryck	Känslighet: 140 Pa, Linj.fel: 2 %, Mätområde: 6895000 Pa, Sampl.frekv.: 20 Hz	0	Pa
Magnetisk	Känslighet: 0 T, Linj.fel: 0.0015 %, Sampl.frekv.: 50 Hz	0	uT
Elektrisk	Känslighet: 0 V/m, Linj.fel: 0 %, Avstånd A/K: 0.375 m, Sampl.frekv.: 50 Hz	0	V/m

Figur 4. Val för sensortyper

Akustisk

Här anges vilken akustiksond man vill använda sig av i den aktuella sensortypen. Söndernas värden anges i rullgardinslistorna för att ge en bra överblick av söndernas prestanda.

Tryck

Här anges vilken tryckkänslig sond man vill använda sig av. Standardvärdena ändras på samma sätt som för de akustiska sönderna.

Magnetisk

Här anges vilken magnetisk sond man vill använda sig av. Standardvärdena ändras på samma sätt som för de akustiska sönderna.

Elektrisk

Här anges vilken elektrisk sond man vill använda sig av. Standardvärdena ändras på samma sätt som för de akustiska sönderna.

Slumpa ut sensorernas positioner

För att generera sensorernas positioner på ett slumpartat sätt kan denna funktion användas. Man ställer in ett intervall för hur djupt sensorerna ska ligga samt hur många av varje skapad sensortyp man vill ha. Därefter trycker man på *Slumpa* för att Sprida ut sensorerna. Detta visas i *Figur 5*.



Autopositionering för utlagda undervattenssensorer

2007-05-22

Slumpa ut sensorernas positioner

Djupast: [m]

Grundast: [m]

Sensortyp 1 [st]

Sensortyp 2 [st]

Sensortyp 3 [st]

Sensortyp 4 [st]

Figur 5. Val för slumpning av sensorer

3.2.2. Fartygsfliken

Under denna flik görs inställningar för fartyget. Parametrar såsom magnetiskt dipolmoment, strömdipolmoment etc kan specificeras.

Magnetiskt dipolmoment

Det magnetiska dipolmomentet kan ändras längs tre axlar. X- och Y- axeln anger hur starkt dipolmomentet ska vara i det horisontella planet, Z-axeln anger fartygets magnetiska dipolmoment i vertikal led. Kryssrutan för *CRM signatur* anger huruvida fartygets elektriska specifikation även ska inverka på den magnetiska signaturen, genom att det elektriska fältet ger upphov till ett tillägg i det magnetiska fältet. Se *Figur 6*.

Magnetiskt dipolmoment

X-led [nJ/T]

Y-led [nJ/T]

Z-led [nJ/T]

CRM signatur

Figur 6. Val för magnetiskt dipolmoment.

Strömdipolmoment

Fartygets strömdipolmoment anges enligt samma axlar som det magnetiska dipolmomentet. Kryssrutan för *Jordmagnetisk Induktion* anger huruvida det jordmagnetiska fältet ska inverka på fartygets elektriska fält. Se *Figur 7*.



Autopositionering för utlagda undervattenssensorer

2007-05-22

Ström dipol		
X-led	630	[Am]
Y-led	630	[Am]
Z-led	630	[Am]
<input type="checkbox"/>	Jordmagnetisk induktion	

Figur 7. Val för strömdipolmoment

Skrovets dimensioner

Fartygets längd, bredd och djupgående specificeras. Detta har signifikant inverkan på hur fartygets tryck-signatur kommer att se ut. Se *Figur 8*.

Skrovets dimensioner		
Längd	16	[m]
Bredd	8	[m]
Djup	6	[m]

Figur 8. Val för skrovets dimensioner

Akustisk signatur

Under *Akustisk signatur* anges propellerns eller impellerns varvtal beroende på om fartyget drivs med propeller eller vattenjet. Detta anges i varv per minut som sedan konverteras till varv per sekund i simuleringsprogrammet. Antal propellerblad kommer bara att inverka om fartyget drivs med en propeller, dvs om valet för *propeller drivning* är markerad. Vid vattenjet kommer detta värde att ignoreras och kan då sättas till vad som helst utan att det kommer att inverka på simuleringen. Rutan för intensitet anger hur högen första frekvenstoppen ska vara vid propellerdrift, eller hur hög frekvenstoppen vid 1000Hz ska vara vid drift med vattenjet. Skalning anger hur mycket propellerbladens frekvenstoppar ska skalas gentemot den första frekvenstoppen. Detta värde ska anges i decibel-skala och ser typiskt ut som -5 och gör då att frekvenstopparna för propellerbladen skalas med -5 dB. Detta val kommer inte heller att inverka vid drift med vattenjet. Se *Figur 9*.



Autopositionering för utlagda undervattenssensorer

2007-05-22

Akustisk signatur		
Propellerns varvtal	800	[rpm]
Antal propellerblad	3	[st]
Intensitet	100	[dB]
<input checked="" type="radio"/> Propeller drivning		
<input type="radio"/> Vattenjet drivning		

Figur 9. Val för akustisk signatur

Bangenerering

Här anges den maximala farten för fartyget i meter per sekund. *Svängradie* anger hur snävt fartyget kan svänga. Se *Figur 10*.

Bangenerering		
Hastighet	10	[m/s]
Svängradie	700	[m]

Figur 10. Val för bangenerering

3.2.3. Miljöfliken

Under denna flik görs inställningar för miljön. Samtliga parametrar, förutom *Kartans storlek*, under miljöfliken bestämmer brus-parametrar som påverkar sensorerna mätdata negativt.

Miljöpåverkan på trycket

I denna ruta anges hur miljöns tryck störningar ska se ut. *Surge* anger lågfrekventa störningar som kommer från fysikaliska fenomen såsom tidvatten. *Våghöjd* anger vågornas höjd, och *våglängd* anger vågornas längd. Se *Figur 11*.



Autopositionering för utlagda undervattenssensorer

2007-05-22

Miljöpåverkan på trycket		
Surge	<input type="text" value="0.3"/>	[m]
Våghöjd	<input type="text" value="4"/>	[m]
Våglängd	<input type="text" value="46"/>	[m]

Figur 11. Val för miljöpåverkan på trycket

Miljöpåverkan på det magnetiska fältet

Här anges parametrar för solvindar i miljön, som ger upphov till störningar i det magnetiska fältet som fartyget ger upphov till. *Placering topp* anger var i frekvensspektrumet som den karaktäristiska toppen kommer att ligga. *Amplitud på topp* anger hur hög denne topp ska vara och *Amplitud på höga Hz* anger vilken amplitud frekvensspektrumet ska ha för höga frekvenser. Se *Figur 12*.

Miljöpåverkan på det magnetiska fältet		
Placering topp	<input type="text" value="3"/>	[mHz]
Amplitud på topp	<input type="text" value="-70"/>	[dB]
Amplitud på höga Hz	<input type="text" value="-80"/>	[dB]

Figur 12. Val för miljöpåverkan på det magnetiska fältet

Miljöpåverkan på det elektriska fältet

Här anges parametrar för Schumanresonanserna i miljön. Dessa ger upphov till störningar i det elektriska fältet som fartyget ger ut. *Skalning schumann* bestämmer vilken amplitud den första toppen i Schumanresonanserna ska ha. *Salthalt* anger vattnets salinitet i psu. Se *Figur 13*.

Miljöpåverkan på det Elektriska fältet		
Skalning av schumann	<input type="text" value="6"/>	[dB]
Salthalt	<input type="text" value="4"/>	[psu]

Figur 13. Val för miljöpåverkan på det elektriska fältet

Jordmagnetiska fältet

Här anges jordens magnetfält i nordlig, västlig och vertikal led i nT. Se *Figur 14*.



Autopositionering för utlagda undervattenssensorer

2007-05-22

Jordmagnetiska fältet		
Norrut	<input type="text" value="2"/>	[nT]
Västerut	<input type="text" value="2"/>	[nT]
Uppåt	<input type="text" value="2"/>	[nT]

Figur 14. Val för jordmagnetiska fältet

Miljöpåverkan på akustiken

I textrutan *Skalning på brusmodell* anges en skalning i dB från ”Moderate shipping” och ”Seastate 3”. Denna skalning anger hur mycket högre eller lägre amplituderna ska vara jämfört med dessa standardvärden. Se *Figur 15*.

Miljöpåverkan på akustiken	
Skalning av brus modell	<input type="text" value="0"/> [dB]

Figur 15. Val för miljöpåverkan på akustiken

Kartans storlek

Man kan ändra storleken på kartan genom att ändra värdena i respektive ruta här. Se *Figur 16*

Kartans storlek	
Nord - syd	<input type="text" value="100"/> [m]
Öst - väst	<input type="text" value="100"/> [m]

Figur 16. Val för kartans storlek

Nord-Syd motsvarar y-axeln och Öst-väst x-axeln.

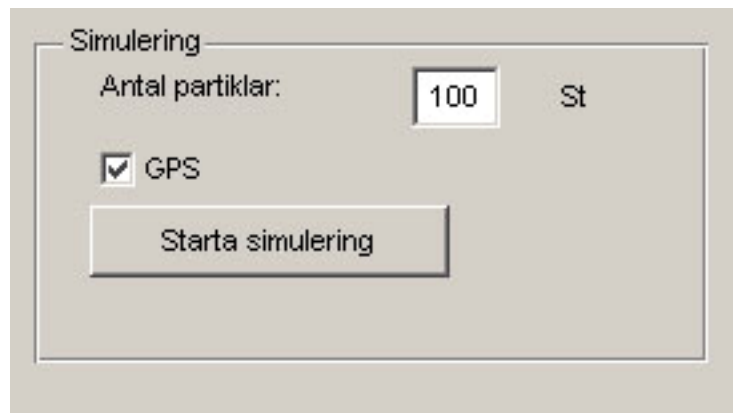
3.2.4. Simuleringsfliken

Under denna flik görs inställningar för själva simuleringen. Se *Figur 17*.



Autopositionering för utlagda undervattenssensorer

2007-05-22



Figur 17. Val för simuleringen av positioneringssystemet

Antal partiklar

Här bestämmer man hur många partiklar som positioneringssystemet ska använda sig av i partikelfiltret. Ett lägre värde minskar precisionen, medan ett högre värde ökar precisionen, men gör även att simuleringen tar längre tid.

GPS

Kryssrutan anger om positioneringssystemet kommer att ha tillgång till fartygets position via GPS. GPS:en har approximativa värden för fartygets position i X- och Y-led samt ungefärliga värden för dess fart och kurs.

Starta simulering

Genom att trycka på denna knapp startas simuleringen med de parametrar som har angivits under respektive flik i det grafiska användarinterfacet.

3.3. Fartyg

3.3.1. Fartygets akustiska signatur

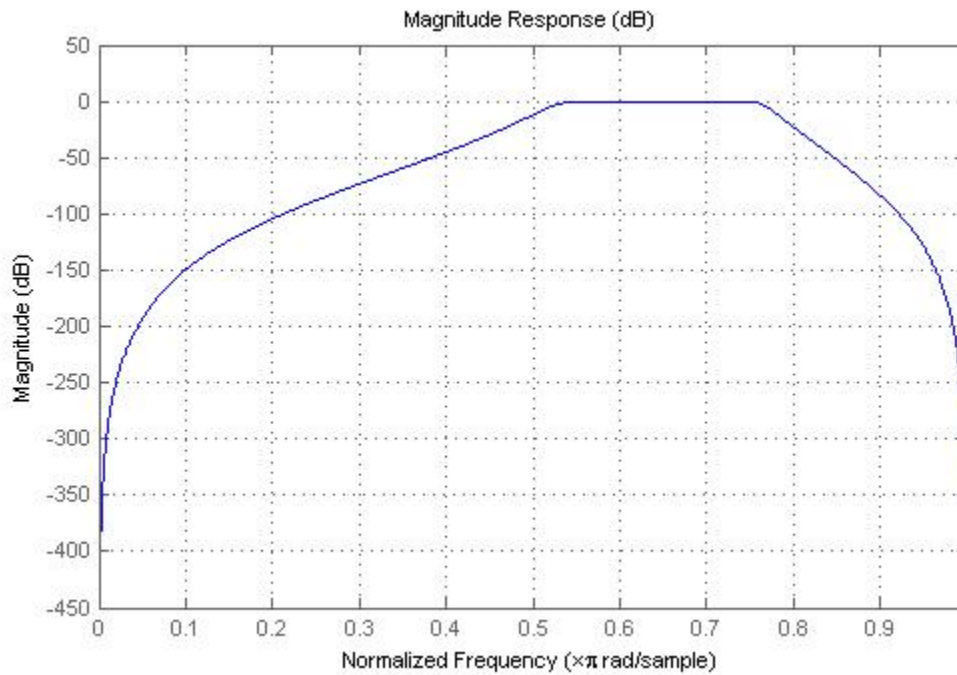
Fartygets akustiska signatur tas fram med hjälp av sinussignaler, filter och vitt brus. Beroende på om fartyget drivs med vattenjet eller med propeller kommer signaturen att se annorlunda ut med avseende på sinussignalerna. Ett fartyg som drivs med propeller ger ifrån sig ett antal frekvenskaraktistiska toppar, medan ett fartyg som drivs av vattenjet endast har en frekvenstopp vid 1000 Hz. Grundtonen, vid propellerdrift, kommer från propellerns rotation och övertonerna härleds till propellerbladen.

När signalen tas fram adderas ett antal sinusfunktioner med frekvenser efter multiplar av propelleraxelns rotation. Därefter filtreras vitt brus genom ett bandpassfilter för att få fram karakteristiskt ljud från motorbuller i frekvensområdet 500-800 Hz. Filtrets utseende kan ses i *Figur 18*. I *Figur 19* ges ett exempel för en signatur i frekvensplanet med propellervarvtal 10 rps och 120 dB intensitet på grundtonen. Övertonerna är skalade med -15 dB.



Autopositionering för utlagda undervattenssensorer

2007-05-22

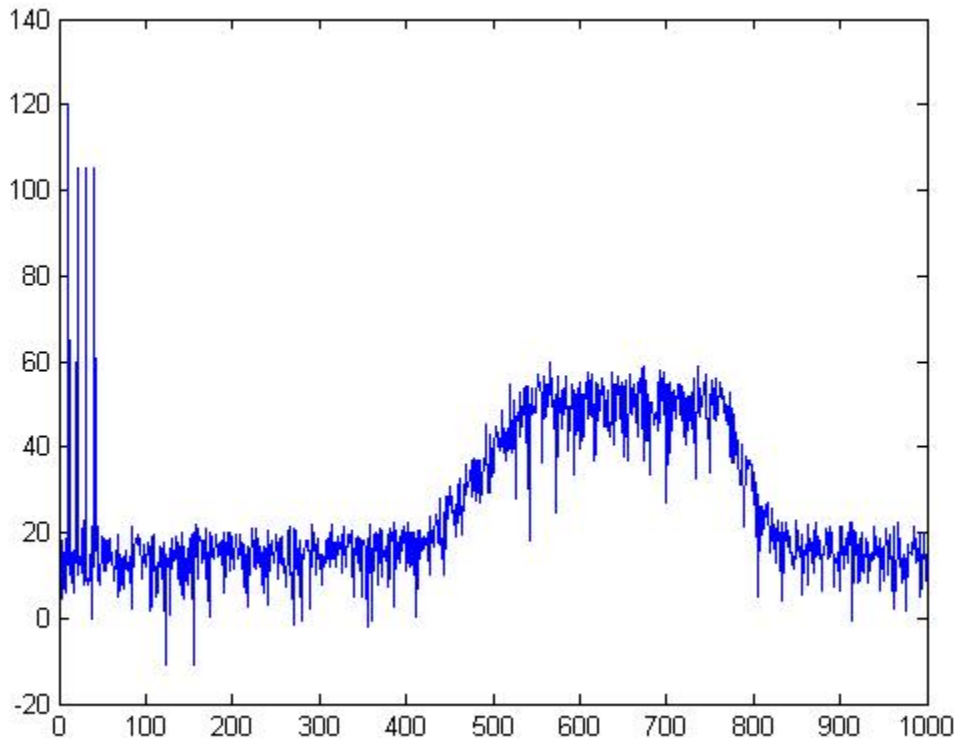


Figur 18. Filtret som används för att behandla motorns buller



Autopositionering för utlagda undervattenssensorer

2007-05-22



Figur 19. Exempel på akustisk fartygssignal med 10 rps varvtal, 120 dB grundintensitet, -15 dB skalning på övertoner

Ljudstyrkan avtar med i storleksordningen 0.001-0.1 dB/km i de frekvensområden som vi tittar på. Om man jämför detta med signalstyrkan som är i storleksordningen 100 dB så är detta försvinnande litet. Bruset på signalen har också en mycket högre storleksordning än detta, varför den fallande ljudstyrkan på signalen försummas. För att fortfarande ha kvar komplexiteten i systemet tittar vi på okorrelerat miljöbrus med en storleksordning på runt 60-80 dB i frekvensområdet från 0 till 1000 Hz.

När mätdata skapas blir värdena aningen fel. I verkligheten fördröjs ljudet från fartyget eftersom det måste färdas genom vattnet innan det når fram till sensorn. För att simulera detta används följande algoritm:

- Vid tidpunkten T beräknas avståndet mellan fartyg och sensor mha deras nuvarande positioner.
- Den tid, ΔT , för vilket det tar för ljudet att nå fram till sensorn beräknas mha av avståndet i steg 1.



Autopositionering för utlagda undervattenssensorer

2007-05-22

- Ljudet som fartyget genererade vid $T - \Delta T$ lagras sedan som mätvärde för sensorn vid tidpunkten T .

Denna algoritm har ett fel i sig, eftersom avståndet beräknats med T 's position på fartyget istället för den position den hade vid $T - \Delta T$, men detta antar vi är en rimlig förenkling av problemet. ΔT är så pass liten att fartygets förflyttning över denna tidsperiod är försumbar, och beräkningarna för att göra detta mer exakt hade gjort exekveringstiden avsevärt större, för en försumbart bättre anpassning till verkligheten.

3.3.2. Fartygets elektriska signatur

Fartygets elektriska signatur även kallad UPE kommer att modelleras som en elektrisk dipol. Men beräkningarna kommer att utgå från beräkningen av elektriska potentialer. Förenklingar i modellen är att signaturen genereras som en som en diskret punkt i form av en elektrisk dipol. Men även antagandet att dipolen är statisk är felaktigt. Dipolen placeras i fartygets centrum vid vattenytan, borde ligga lite under. I de elektriska sondaerna kommer potentialerna räknas om till elektriska fält eftersom varje sond kommer att ha två mätpunkter i samtliga orienteringsaxlar. Dvs sonden elektriska fält i x-axeln kommer att beräknas genom att man placerar två mätpunkter som orienteras i x-riktningen. Skillnaden i avstånd och potential mellan mätpunkterna kommer att ge ett elektriskt fält i x-axeln. Potentialen kommer att beräknas enligt Ekvation 1.

$$V_i = \frac{1}{4\pi\sigma} \frac{p_0 \cos \theta_i}{r^2}$$

Ekvation 1. Elektrisk potential från elektrisk dipol

Där p är ett elektriskt dipolemoment, θ är vinkeln till mätpunkten i dipolens orientering, σ är vattnets ledningsförmåga och r är avståndet till mätpunkten. Dessa tre dipoler kommer att modelleras i de tre axlarna på fartyget. Det elektriska dipolemomentet p kommer att vara en summa av p_0 och p_{B_j} . p_0 kommer att vara inställningsbar från användargränssnittet och kan bl.a. ses som den elektrolytiska effekt som man kan få när man använder sig av olika material i skrov, offernod och propeller. p_{B_j} kommer av induktion när fartyget passerar det jordmagnetiska fältet. p_{B_j} i y- och z-riktningarna ges av den inducerade potentialen som beräknas enligt Ekvation 2.

$$\Delta V = v \times B_j l$$

Ekvation 2. Potentialskillnad från induktion

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, ΔV är potentialskillnaden för det inducerade elektriska fältet.



Autopositionering för utlagda undervattenssensorer

2007-05-22

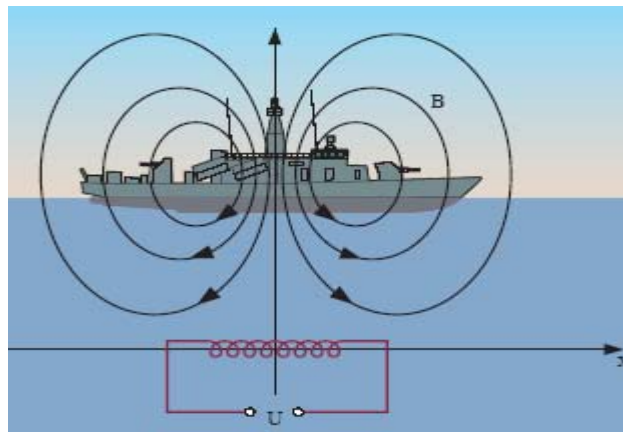
Denna potentialskillnad kommer sedan att moduleras som en elektrisk dipol. Formeln för att räkna ut p_{B_j} är uppställd så att potentialskillnaden på sträckan l ska bli ΔV när dipolen är i mitten, se Ekvation 3.

$$p_{B_j} = \frac{\sigma \pi l^2}{2} \Delta V$$

Ekvation 3. Elektriskt dipolmoment från potentialskillnad

3.3.3. Fartygets magnetiska signatur

Fartygets magnetiska signatur kommer att bestå av två delar, en ferromagnetisk och en CRM signatur som sedan summeras. Där den ferromagnetiska signaturen är inbyggd i metallen i fartyget, se *Figur 20*. Förenklingar i modellen är att signaturen genereras som en som en diskret punkt i form av en magnetisk dipol. Dipolen placeras i fartygets centrum vid vattenytan, borde ligga lite under.



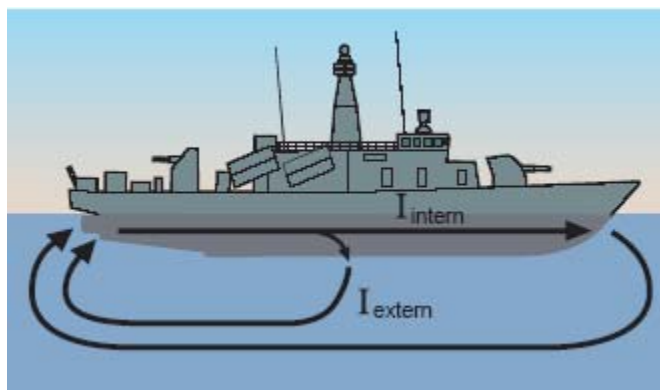
Figur 20. Magnetisk dipol i ett fartyg

CRM signaturen uppstår när man har potentialskillnader i skrovet som genererar strömmar i skrovet och i vattnet runt den, se *Figur 21*. Dessa strömmar kommer att ge upphov till ett magnetfält. Beräkningen av CRM signaturen innehåller ganska många förenklingar. Dels så antas potentialskillnaden vara punktformig i form av en elektrisk dipol. Den elektriska dipolen kommer även antas vara statisk. Men det antas också att all materia som omsluter den elektriska dipolen är vatten. Framför allt kommer gränsskikten vatten luft, vatten havsbotten ge upphov till felkällor eftersom det är olika strömläsningsförmågor i de olika materierna. Dipolen placeras i fartygets centrum vid vattenytan, borde ligga lite under.



Autopositionering för utlagda undervattenssensorer

2007-05-22



Figur 21. Strömmar i vatten från potentialskillnader

Den ferromagnetiska signaturen moduleras som en magnetisk dipol enligt Ekvation 4.

$$B = \frac{\mu_0}{4\pi|R|^5} (3(R \bullet m)R - |R|^2 m)$$

Ekvation 4. Magnetfält från magnetiskdipol

Där m är vektorn för det magnetiska dipolmomentet, R är vektorn fartyg till sond.

Dipolens orientering och styrka kommer att vara inställningsbar från användargränssnittet.

CRM signaturen kommer att modelleras enligt Ekvation 5 som beskrivs i [1] (Ultra Electronics PMES, United Kingdom).

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

Ekvation 5. Magnetiskfält från elektriskt dipolmoment

3.3.4. Tryck

Fartyget ger upphov till en tryckförändring i vattnet. Denna tryckförändring kan trycksonden detektera. Fil för att simulera fartygets tryckpåverkan på trycksond och miljöpåverkan har erhållits från kund.



2007-05-22

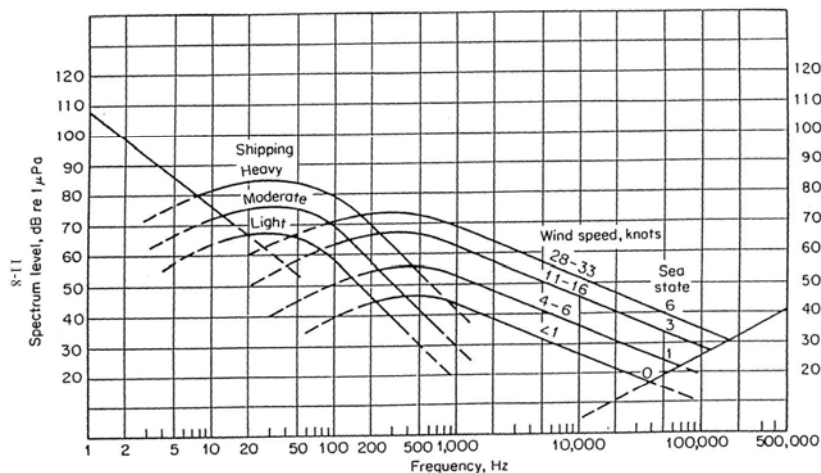
3.4. Miljö

3.4.1. Akustiskt bakgrundsbrus

Bakgrundsbruset antas bero på fartygstrafik och havstatus. Andra källor som vi inte räknar med är tidvatten, seismisk aktivitet och turbulens.

Intensiteter och frekvenser tas från Wentz kurva. Vi antar Moderate Shipping och Seastate 3, ifrån *Figur 22* nedan, som grundutseende för bruset.

Bakgrundsbruset genereras genom att en överföringsfunktion byggs upp, se Ekvation 6 nedan, där ovan nämnda nivåer på bruset superpositioneras. Därefter filtreras vitt brus genom denna överföringsfunktion för att ge ett korrekt utseende på bruset. Det akustiska bakgrundsbruset är okorrelerat mellan sensorerna för att ge en mer realistisk beskrivning av verkligheten.



Figur 22. Wentz-kurva för bakgrundsbrus i vatten

$$G = 10^{0,4} \frac{s(s+100)^3(s+150)}{(s+35)(s+45)^2(s+60)(s+600)^2}$$

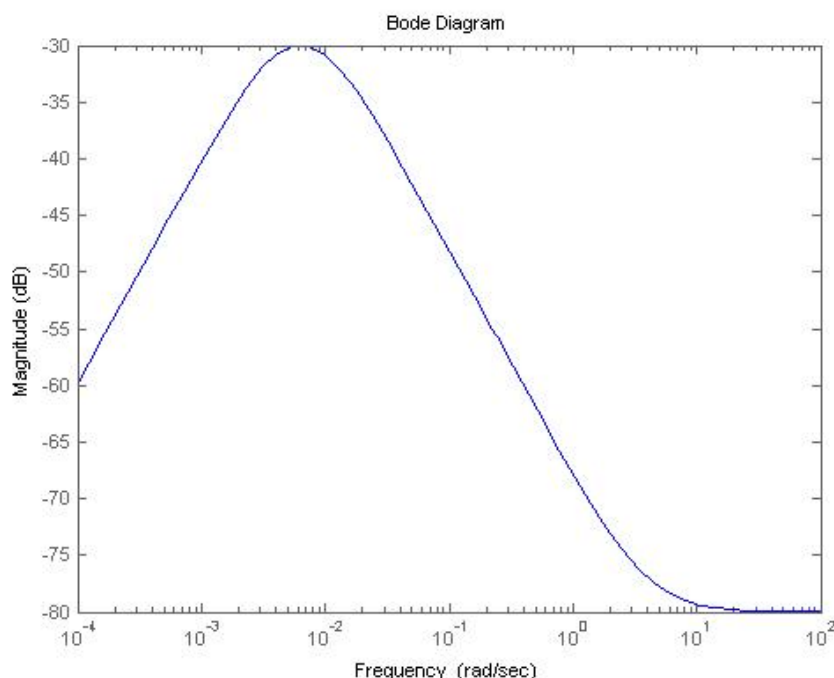
Ekvation 6. Överföringsfunktion för akustiskt miljöbrus



2007-05-22

3.4.2. Magnetiskt bakgrundsbrus

Det magnetiska bakgrundsbruset uppkommer till huvudsak av solvindar och genereras genom att låta vitt brus simuleras genom en överföringsfunktion. Överföringsfunktionen som används har en frekvenstopp för att sedan falla mot ett konstant värde, se *Figur 23*. I användargrensnittet kan man ställa in på vilken frekvens frekvenstoppen ska ligga och vilken amplitud. Amplituden för de högre frekvenserna går också att ställa in. bruset i de tre riktningarna är okorrelerat och amplituden man ställer in i användargrensnittet gäller för riktningarna var för sig. Förenklingar i miljömodellen är att den saknar det jordmagnetiska fältet.



Figur 23. Överföringsfunktion för magnetisk bakgrundsbrus

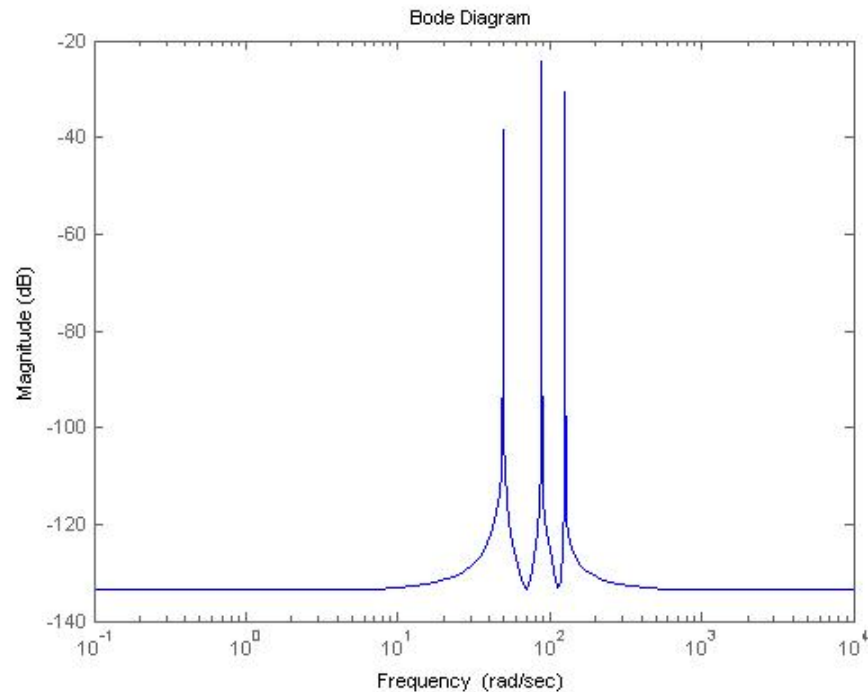
3.4.3. Schumanresonans

Det elektriska bakgrundsbruset uppstår på grund utav atmosfäriska störningar. Dessa störningar benämns schumannresonanser och är ett antal specifika frekvenstoppar. Den första grundtonen ligger vid ungefär 7.83 Hz och övertonerna ligger sen vid 14, 20, 26, 33, 39 och 45 Hz.

I modellen så är grundtonen och de två första övertonerna modellerade, se *Figur 23* Den tredje övertonen och uppåt har ringa inverkan och är därför ej modellerade. Användaren kan genom GUI:t ställa in skalningen av kurvan.



Autopositionering för utlagda undervattenssensorer 2007-05-22



Figur 24. Överföringsfunktion för elektriskt bakgrundsbrus

Schumannresonanserna genereras genom att låta vitt brus filtreras genom en överföringsfunktion, se Ekvation 7.

$$G = 6,31 \cdot 10^{-7} \frac{(s + 0,9999)^2 (s + 4147)^2 (s + 5165)^2 (s + 13659)^2}{(s + 1)^2 (s + 2407)^2 (s + 7714)^2 (s + 15757)^2}$$

Ekvation 7. Överföringsfunktion för Schumanresonanser

3.5. Sonder

Simuleringssystemet simulerar sonder av olika typer och slag. Sondernas samplar mätdata, där samplingsfrekvensen kan variera mellan olika typer av sonder, och sparar därefter datat enligt sondprotokollet. I sondprotokollet sparas även sondernas egenskapsvektor.



Autopositionering för utlagda undervattenssensorer

2007-05-22

I de fall då egenskaper för sönerna saknas i de tekniska specifikationerna har rimliga värden för dessa egenskaper antagits. Om så önskas kan andra värden för dessa egenskaper specificeras enligt användarmanualen.

De signaler som simuleringssystemet genererar behandlas med sönernas egenskaper med avseende på linjärt fel, känslighet samt egenbrus. Varje sond tilldelas ett eget linjärt fel, så att de linjära felen varierar mellan de olika sönerna, detta för att ta hänsyn till variationer när sönerna tillverkas.

3.5.1. Akustisk sond

Den akustiska sonden har en bandbredd på 1000 Hz. Denna begränsning är främst gjord för att mängden data blir enorm om man anpassar samplingsfrekvensen till respektive sönns mätområde.

Egenskapsvektor och mätdata lagras i sondprotokollet enligt nedan.

Egenskapsvektor:

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

Mätdata:

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

Sond:

Sond	Känslighet	Linjäritetsfel	Mätområde	Referens nummer
1	-180 dB	0	0,2-50000 Hz	[2]
2	-194 dB	0	1-2000 Hz	[3]
3	-175 dB	0	1-30000 Hz	[4]

3.5.2. Magnetisk sond

Fluxgatesönerna (magnetiksonerna) har en bandbredd på 25 Hz. Detta för att den ska kunna mäta både statiska och dynamiska magnetfält.

Egenskapsvektor och mätdata lagras i sondprotokollet enligt nedan.

Egenskapsvektor:

**Autopositionering för utlagda undervattenssensorer****2007-05-22**

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

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	Referensnummer
1	0	<0.0015%	$\pm 100 \mu\text{T}$	[5]
2	200 fT	<0.1%	$\pm 100 \mu\text{T}$	[6]
3	4 nT	<0.5%	$\pm 200 \mu\text{T}$	[7]

3.5.3. Elektrisk sond

ELFE/UEP-sonderna (elektriska sonder) har en bandbredd på 25 Hz. Detta för att vi ska kunna behandla de tre första topparna i Schumanresonanserna.

Egenskapsvektor och mätdata lagras i sondprotokollet enligt nedan.

Egenskapsvektor:

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

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	Referensnummer
1	0	0	0-3kHz	375 mm	[8]
2	0	0	5mHz-14kHz	200 mm	[9]



Autopositionering för utlagda undervattenssensorer

2007-05-22

3.5.4. Tryckkänslig sond

Tryck-sonderna har en bandbredd på 20 Hz. Den kommer att mäta det totala trycket.

Egenskapsvektor och mätdata lagras i sondprotokollet enligt nedan.

Egenskapsvektor:

Känslighet	Linjäritetsfel	Brusparameter	Mätområde	Samplingsfrekvens
------------	----------------	---------------	-----------	-------------------

Mätdata:

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

Sond:

Sond	Känslighet	Linjäritetsfel	Mätområde(FS)	Referensnummer
1	140 Pa	< 2%	6895 kPa	[10]
2	140 Pa	< 2%	68950 kPa	[11]
3	3,5 kPa	< 2%	172350 kPa	[12]

3.6. GPS-signal

För att generera fartygets GPS-signal så används positionsprotokollet för fartygets verkliga position. På denna adderas ett normalfördelat brus och därefter kvantiseras signalen med en viss upplösning. Upplösningen syftar till att beskriva en GPS osäkerhet i position. Vi använder oss av en GPS med en upplösning på 2 meter i simuleringsprogrammet. Detta ska vara en normal upplösning på en GPS. GPS-signalen sparas som ett nytt positionsprotokoll så att positioneringssystemet kan använda datat. Osäkerheten för GPS:ens skattning av hastighet och riktning är mindre intressant eftersom dessa ändå inte används i positioneringssystemet.

3.7. Fartygets ruttgenerering

Fartygets ruttgenerering görs i en klass med namn fardvag, som initieras med att en fartygsrutt skapas. Förfarandet går till som så att man simulerar ett fartyg som regleras mot varje punkt i färdrutten som valts i användarinterfacet. När rutt har genererats färdigt så lämnar den ifrån sig en matris med fartygets tillstånd genom hela körningen. Denna matris sparas sedan undan i klassen. Klassen kan sedan anropas för att lämna en omsamplad version av rutten vilket passar en specifik sonds samplingsfrekvens.



2007-05-22

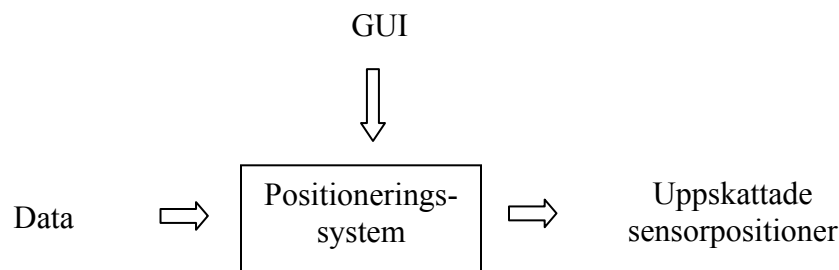
3.8. Förslag på fortsatt arbete

- Den elektriska fartygsmodellen är modulerad som en statisk elektriskdipol, men i verkligheten innehåller den även en lågfrekvent signal. Denna signal borde antagligen ses som brus och därigenom ingå i modellen.
- Den magnetiska fartygsmodellens CRM modulering är mycket förenklad och bör ses över. Dessutom lider CRM genereringen av samma problem som den elektriska fartygsmodellen, eftersom den är starkt beroende av den.
- Förutom trycket så ger alla fartygsmodeller ut sina signaler i mitten av fartyget vid vatten nivån. Det är en orealistiskt och kan påverka resultatet för en autopositionering.

4. Positioneringssystemet

I detta kapitel ges en grundlig beskrivning över hur positioneringssystemet är implementerat samt hur det fungerar.

4.1. Inledande beskrivning av positioneringssystemet



Figur 25. Flödet av data genom positioneringssystemet

Positioneringssystemets uppgift är att ta emot sensorernas mätdata enligt sensorprotokollet och att bearbeta detta för att skatta sensorernas och fartygets inbördes positioner samt deras osäkerheter. Dessa positioner ska sedan vidarebefordras enligt positionsprotokollet. Positioneringssystemets dataflödet visas i *Figur 25*

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 hur många partiklar som skall användas i partikelfiltret.



Autopositionering för utlagda undervattenssensorer

2007-05-22

4.3. Positioneringssystemets uppbyggnad

Inkommande data från akustiska sonder måste förbehandlas genom att filtrera bort så mycket brus som möjligt med hjälp av FIR-filter. GPS-signalen lågpasfilteras med ett fjärde ordningens Butterworthfilter i positioneringssystemet.

Signalerna kan delas in i två kategorier.

- Signaler som direkt relaterar till fartygets position i förhållande till sensorn såsom magnetik- och elsignaler.
- Signaler som relaterar till sensorers relativa förhållande till varandra via fartyget såsom akustiska signaler.

Trycksignaler används endast för att bestämma sensorns djup.

Positioneringssystemet är uppbyggt i två steg. Varje sensor har ett partikelfilter (PF) som beskriver fartygets färdväg relativt dess egna position med hjälp av el- och magnetisk signaler. Skattingen av fartygets färdväg relativt sensorn med skattad osäkerhet skickas till ett Extended Kalmanfilter (EKF) från varje sensor. Här tas även de skattade skillnaderna i avstånd till fartyget in, som kommer ifrån de akustiska signalerna. EKF:n sammanväger alla dessa data och skattar sensorernas relativa positioner och fartygets relativa färdväg med skattad osäkerhet. Om GPS används skattas fartygets globala position och även sensorernas. Filtret erhåller då fartygets färdväg relativt GPS-origo. Med GPS-origo menas origo i det koordinatsystem som GPS-datat är mätt i.

Detta är en intuitiv lösning som har sin styrka i att beräkningsbördan delas upp och att partikelfiltren kan exekveras parallellt i en verklig implementering. Lösningen har dock matematiska brister, varför det är svårt att säga vad osäkerhetsskattningarna innebär och vilket mått på kovarians som de är. Positioneringen fungerar dock utmärkt i praktiken.

4.4. Modell för fartyget

Fartyget beskrivs här av en fem-dimensionell olinjär tillståndsmodell. Dessa är:

- x-koordinat(x_1)
- y-koordinat(x_2)
- hastighet(v)
- färdriktning(h)
- vinkelhastighet(w)

Denna modell väljs eftersom ett fartyg till sjöss har större accelerationer i vinkelled än i längsled. Fartygets antas även befinna sig på ytan utan rörelse i roll- eller tipp-led.

Eftersom modellen är olinjär behöver denna linjäriseras och för att den skall kunna realiseras i dator så måste differentialekvationerna diskretiseras. Detta görs med en linjäriserad diskretisering enligt [13]. Här börja man med att diskretisera



Autopositionering för utlagda undervattenssensorer

2007-05-22

tillståndsmodellen för att därefter linjärisera den med en första ordningens Taylorutveckling. Modellen för fartyget blir då enligt Ekvation 8.

$$x_1(t + T) = x_1(t) + \frac{2v(t)}{\omega(t)} \sin(\omega(t)T) \cos\left(h(t) + \frac{\omega(t)T}{2}\right)$$

$$x_2(t + T) = x_2(t) - \frac{2v(t)}{\omega(t)} \sin(\omega(t)T) \sin\left(h(t) + \frac{\omega(t)T}{2}\right)$$

$$v(t + T) = v(t)$$

$$h(t + T) = h(t) + \omega(t)T(t)$$

$$\omega(t + T) = \omega(t)$$

Ekvation 8. Tillståndsmodell för fartyget

Denna modell används i alla partikelfilter samt i EKF:n för att följa fartygets rörelser.

4.5. Beskrivning av signaler

De magnetiska sönerna är treaxlade och mäter förändringen i magnetfältet i tre dimensioner då en båt passerar. Magnetfältet beror av sensorns avstånd till målet, fartygets riktning samt även dess hastighet. Viktigast är dock avståndet till målet eftersom signalstyrkan avtar med kuben när avståndet minskar. För varje extra magnetisk sond som används tillkommer tre magnetiksignaler.

Elektriska sönerna är också treaxliga och verkar likt de magnetiska sensorerna. Båda dessa signaler används av partikelfiltret för att med god precision fastställa fartygets position relativt fartyget. Varje extra elsond ger tre extra mätsignaler.

De akustiska sönernas signaler korreleras för att få information om två sensorers skillnad i avstånd till fartyget. Genom att jämföra tre sensorers avståndsskillnader kan även skattningarnas osäkerhet skattas. Dessa signaler och osäkerheterna används av EKF:en för att underlätta positioneringen. Varje extra akustisk sond som används ger upphov till lika många korrelations signaler som det fanns sonder innan nästa tillkom. Läger man till en åttonde akustisk sond ska denna korreleras mot samtliga andra sonder vilket ger sju nya signaler.

Trycksensorerna används för att bestämma vilket djup sensorn ligger på. Sonden kan även användas för att upptäcka den tryckförändring som ett fartyg ger upphov till då det passerar nära sonder. Dock kan inte denna signal användas för att skatta fartygets position relativt sensorn då den är starkt beroende av både fartygets position, hastighet och färdriktning. En signal kan inte användas för att skatta fyra tillstånd då de möjliga kombinationerna i detta fall blir oändligt många.



2007-05-22

4.5.1. Korrelation mellan akustiska signaler

Korrelering av akustiksignalen används för att få ett mått på hur stor längdskillnad två sensorer har mot båten, alltså hur mycket närmre fartyget den ena sensorn ligger jämfört med den andra. När ljudet sprider sig från båten kommer i stort sett samma signal snappas upp av alla sensorer, och genom att hitta förskjutningarna för dessa kan man avgöra varje sensorpars innebörders längdskillnad mot fartyget. För att få uppdaterade värden för dessa, delas den uppmätta signalen sensorerna tar emot upp i segment och därefter jämförs dessa segment mellan två sensorer. Ifall en del av signalen återfinns i båda segmenten kan man använda förskjutningen av denna del till att skatta hur deras innebörders avstånd mot båten ser ut. Genom att öka segmentens längd kan man hitta större avståndsskillnader, och genom att sänka deras längd kan man öka frekvensen på korreleringarna.

För att kunna se stora längdskillnader och samtidigt ha en hög samplingsfrekvens har en mindre modifikation gjorts. För att få ut den initiala skillnaden hos signalerna görs följande. Ett större fönster skapas i vilket den initiala avståndsskillnaden förväntas komma med. I mitten på detta fönster tas sedan ett mindre segment av ena signalen, det fasta segmentet, ut för att jämföras med ett antal lika stora segment från den andra sensorn. Genom att korrelera det fasta segmentet i ena signalen med de i den andra signalen kommer värden för hur mycket likheter som finns för varje segment fås. Förskjutningen mellan det fasta segmentet och det segment i den andra signalen som ger största värdet på korrelationen kommer sedan att användas som en initial förskjutning mellan signalerna.

Genom denna metodik kan vi alltså uppnå en hög samplingsfrekvens på korrelationen samtidigt som vi kan upptäcka stora avstånd. Att korta intervall på signalen jämförs gör att dopplereffekten får väldigt liten inverkan eftersom risken för att få en både positiv och negativ dopplereffekt, alltså en kraftigt deformerad signal, i samma del av signalen blir väldigt liten. Effekten av både positiv och negativ dopplereffekt uppstår när fartyget passerar rakt ovanför en sensor. Algoritmen för uppdatering av avståndsskillnad beskrivs nedan:

1. Ta ut två fönster, sig1_del och sig2_del, som är förskjutna mot varandra enligt tidsskillnad
2. Korrelera mellan dessa fönster, och lagra deras innebörders förskjutning i delta_tidsskillnad
3. Uppdatera tidsskillnad med delta_tidsskillnad
4. Återgå till steg 1.



4.5.2. Kommentarer om korreleringsfelsuppskattningen

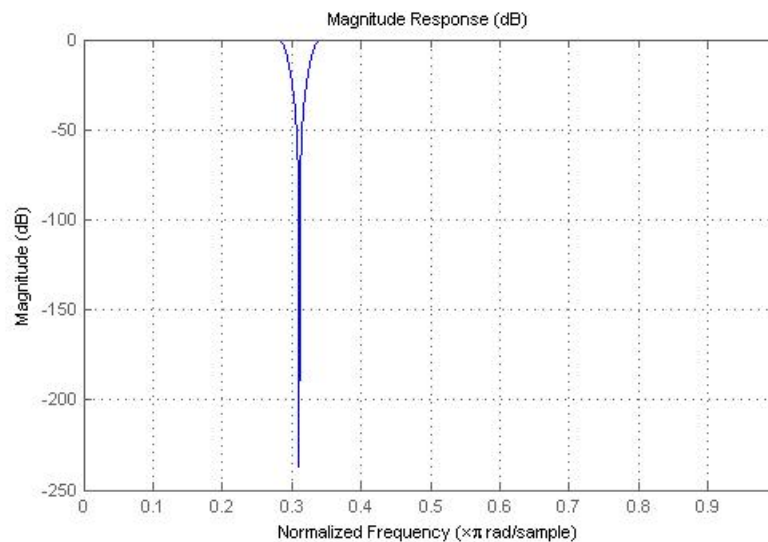
När korrelering har gjorts mellan sensorerna x_i och x_j kan man hitta ett antal andra sensorer x_k , $k=3$ och använda korrelationerna x_1-x_i och x_2-x_i för att kontrollera rimligheten i korreleringarna. Funktionen $f_{ijk}(t) = |\text{korr}(x_i, x_k)(t) - \text{korr}(x_i, x_j)(t) - \text{korr}(x_j, x_k)(t)|$ för alla t blir en uppskattning för hur väl man prickat in korrelationen, och för alla tidpunkter då man gjort rätt gäller $f_{ijk}(t) = 0$. Storleken på $f_{ijk}(t)$ kan användas som ett mått på rimligheten för de tre sensorernas korreleringar. Genom att för en sensor räkna ut alla

dessa felfunktioner och sedan väga ihop dem enligt $f_{ij} = \frac{a}{\sum_{k=1}^a \frac{1}{f_{ijk}(t)}}$, där a = antalet

sensorer får vi ett värde på just hur väl korreleringen mellan x_i och x_j stämmer.

4.5.3. Förfiltrering av elektriska signaler

För att få bort Schumanresonanserna i de elektriska signalerna används två notch-filter, samt ett lågpasfilter. De två notch-filtrena tar hand om Schumanresonansernas första två toppar utan att förstöra fartygets elektriska signal för mycket. Lågpas-filtret av Chebychev-typ tar hand om den tredje toppen. Filtrena kan ses i *Figur 26 - Figur 28* nedan.

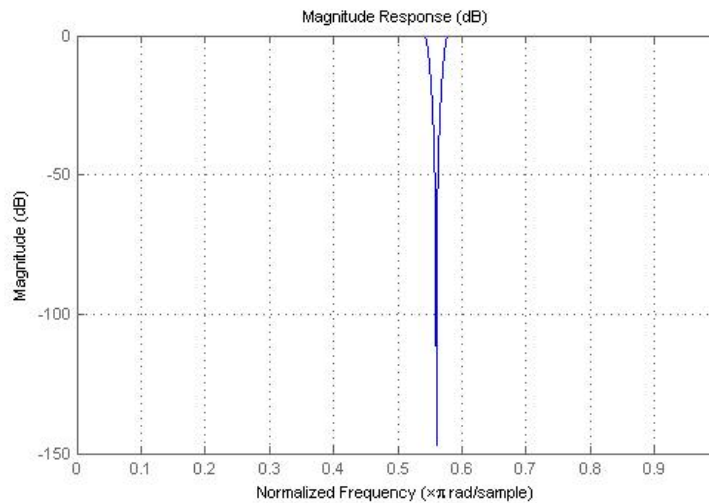


Figur 26. Notch-filter för att ta hand om den första Schumantoppen

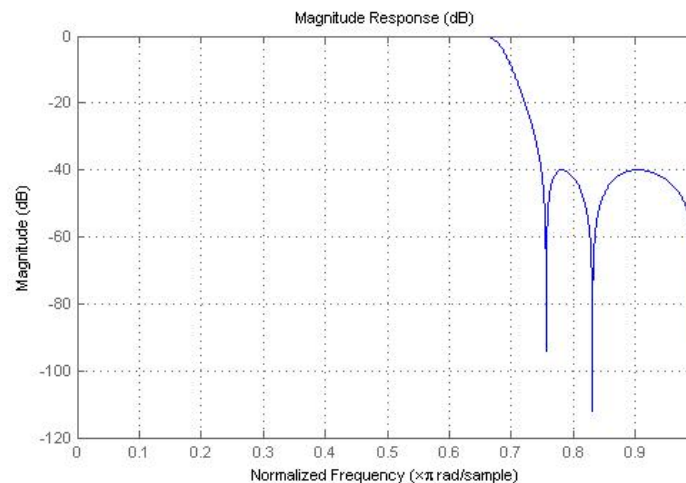


Autopositionering för utlagda undervattenssensorer

2007-05-22



Figur 27. Notch-filter för att ta hand om den andra Schumantoppen



Figur 28. Lågpas-filter för att ta hand om den tredje Schumantoppen

4.6. Partikelfilter

Partikelfiltret använder sig av de elektriska och magnetiska signalerna för att följa fartyget, och av trycket för att bestämma sensorns djup.

Ett partikelfilter fungerar så att det slumpar fram ett stort antal tillståndskombinationer. Varje sådan kombination av tillstånd kallas en partikel. Varje partikel representerar alltså en möjlig fartygsposition relativt sensorn, fartygets hastighet, körriktning och vinkelhastighet. För varje partikel räknar man sedan ut vad mätsignalen borde vara ifall fartyget befann sig på just den platsen med de tillstånden. Denna skattning jämförs sedan



Autopositionering för utlagda undervattenssensorer

2007-05-22

med den verkliga mätsignalen för att få fram skillnaden. Denna skillnad sätts sedan in i en täthetsfunktion, a priori-fördelningen, här en gaussisk sådan, för att få fram hur sannolik varje partikels tillståndsuppsättning är. Sannolikhetsvikterna normeras så att summan av sannolikheterna alltid blir ett. Det mest sannolika tillståndet skattas sedan genom att väga samman alla partiklarnas tillstånd efter varje partikels sannolikhetsvikt enligt Ekvation 9.

$$\hat{x}_{t|s} = \sum_{i=1}^M \tilde{q}_t^{(i)} x_{t|s}^{(i)}$$

Ekvation 9. Skattar mest trolig tillståndsvektor

\tilde{q} är de normaliserade vikterna för varje partikel i . $\hat{x}(t)$ är det sammanvägda skattade tillståndet och x är de olika partiklarna.

Sannolikhetsvikterna används även för att bestämma vilka partiklar som ska tas bort och vilka som ska få vara kvar. De partiklar som tas bort ges nya tillstånd nära de mest sannolika. Att ta bort de minst sannolika och lägga till de nära de mest sannolika kallas för en omsampling. Den omsamlingsalgoritm som används här kallas *systematic resampling*, [14]. Denna algoritm har bland annat fördelen att beräkningsbördan är mindre än för *simple-*, *stratified-* eller *residualresampling*. Efter omsamlingen genomgår varje partikel en tidsuppdatering för att därigenom skatta fartygets nästa position. Därefter börjar man om med att skatta nästa mätsignal som varje partikel skulle ge upphov till.

Anledningen till att man gör såhär är oftast för att mätsignalerna härrör från väldigt olinjära funktioner och ofta saknar invers. I det här fallet är det elsignalerna och magnetiksignalerna som används som mätsignaler. Från en magnetisk signal är det inte möjligt att räkna ut fartygets position, men det är möjligt att säga om en slumpad position är trolig eller ej. Dessutom är det sällan så beräkningskrävande att få fram vilken signal ett tillstånd borde ge upphov till.

Vårt filter använder sig av trösklar för att bestämma när signalens styrka är tillräckligt stor så att inte det inte bara skulle kunna vara brus. Dessa trösklars värde är förutbestämda och har satts genom att studera mätsignalerna i simuleringarna. I de fall då fartyget inte skattas sätts nästa position av tidsuppdateringen av $\hat{x}(t-1)$ och osäkerheten sätts hög. Ifall endast den ena mätsignalen är tillräckligt stark för att målföljning ska kunna ske, används den tillgängliga signalen till att skatta fartyget. Detta gör även att filtret kan följa fartyget även om det saknar magnetik- eller elsond. En stor fördel med detta är även att partikelfiltret tar lite beräkningskraft i anspråk då filtret inte ser någonting.

Vi skattar även tillståndens osäkerhet genom att beräkna kovariansmatriser. Detta görs enligt Ekvation 10, som förklaras ytterligare i [15].



Autopositionering för utlagda undervattenssensorer

2007-05-22

$$\hat{P}_{t|s} = \sum_{i=1}^M \tilde{q}_t^{(i)} (x_{t|s}^{(i)} - \hat{x}_{t|s})(x_{t|s}^{(i)} - \hat{x}_{t|s})^T$$

Ekvation 10. Skattning av kovariansmatris

Eftersom partiklarnas vikter normeras kommer alltid den sammanlagda sannolikheten att vara 1, oberoende av hur sannolika tillstånden är. Ifall endast en partikel är i närheten av målet kommer den att inledningsvis få en låg sannolikhet. Ingen av de andra partiklarna har dock någon sannolikhet att tala om, varför den partikeln kommer att ha all vikt efter normeringarna. Detta ger stora problem i Ekvation 10 eftersom det innebär att q kommer att vara 0 för alla partiklar utom en och för denna kommer differensen mellan partikeln $\hat{x}(t)$ vara 0 då den partikeln hade all vikt vid då $\hat{x}(t)$ skattades. Detta innebär alltså att $P = 0$. Osäkerheten i de skattade tillstånden är alltså oändligt liten när verkligheten är precis tvärtom. För att undvika detta kan man undersöka vad summan av alla vikterna är före omsamlingen. Denna summa jämförs med en tröskel och kovariansmatrisen skattas endast i de fall som den samlade sannolikheten är relativt hög. Observera att det inte är fel att följa endast en partikel om den har hög sannolikhet men annars kan det vara katastrofalt. Genom denna tröskling undviker man att skatta kovariansmatrisen då filtret har divergerat. Trösklingen kan även i andra sammanhang användas för att påvisa att filtret har divergerat.

De problem som finns med partikelfiltrering är att signalens styrka är av väldigt stor betydelse. För en väldigt svag signal, μV , kommer partiklarnas ”signaler” också att vara mycket små. Däremot är en skillnad på $0.1 \mu\text{V}$ stor i det här fallet medan skillnaden i vanliga fall får anses som liten. En sådan signal behöver en väldigt smal a priori-fördelning att kunna avgöra om partikeln är sannolik eller inte. Skulle sedan signalstyrkan öka med ett par tiopotensen behövs inte alls en så smal priori-fördelning, varför detta filter inte kommer att kunna följa fartyget. Samtidigt måste varje filter ha en tröskel för när signalen är tillräckligt stark för att inte kunna vara bara brus.

4.7. Extended Kalmanfilter

Extended Kalmanfiltret får in varje partikelfilters skattning av fartygets relativa färdväg samt de skattade avståndsskillnaderna till målet mellan alla sensorer med akustiksond. Filtret sammanväger datat och skattar sensorernas inbördes positioner och fartygets färdväg. Två versioner har utvecklats; en där filtret har tillgång till GPS-data över fartygets globala färdväg och en där det inte har det.

4.7.1. Filtrets funktionalitet

Ett Kalmanfilter löser ett problem på tillståndsform, Ekvation 11, optimalt då $f(x(t))$ och $h(x(t))$ är linjära funktioner.

**Autopositionering för utlagda undervattenssensorer****2007-05-22**

$$\dot{x}(t) = f(x(t)) + w(t)$$

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

Ekvation 11. Diskret tillståndsform

För olinjära funktioner finns flera andra metoder för att hantera problemet. Ett av de vanligaste är Extended Kalmanfilter där de olinjära funktionerna linjäriseras med en första ordningens Taylorutveckling enligt Ekvation 12.

Ekvation 12. Första ordningens Taylorutveckling av Ekvation 11

$$\dot{x}(t) = f(\hat{x}(t)) + f'(\hat{x})(x - \hat{x}) + \frac{1}{2}(x - \hat{x})^T f''(\xi)(x - \hat{x}) + w(t)$$

$$y(t) = h(x(t)) + e(t) \approx h(\hat{x}_{t|t-1}) + \left. \frac{dh(x)}{dx} \right|_{x = \hat{x}_{t|t-1}} (x(t) - \hat{x}_{t|t-1}) + e(t) = h(\hat{x}_{t|t-1}) + H_t (x(t) - \hat{x}_{t|t-1}) + e(t)$$

Ekvation 13. Första ordningens Taylorutveckling av Ekvation 11

EKF:en linjäriserar alltså ett olinjärt problem för att sedan lösa det med samma linjära metoder som ett vanligt Kalmanfilter. Fördelen är att det är en effektiv metod då Kalmanfiltret inte är så beräkningskrävande och att det blir ett enkelt problem som får en optimal lösning. Nackdelen är att ett EKF ger en optimal lösning, men på fel problem.

Metoden kan därför bara användas då problemet är "lite" olinjärt. I de fall då resttermen i Taylorutvecklingen är stor ger approximationen problem och filtret blir oanvändbart. För sådana problem kan det vara värt att prova ett Second order Compensated EKF som linjäriserar problemet med en andra ordningens Taylorutveckling, eller ett Unscented Kalmanfilter.

4.7.2. Utan GPS

Ett system som saknar GPS saknar samtidigt globala referenser. Sensorerna och fartyget kan endast positioneras lokalt och en fast referenspunkt måste väljas bland dessa. Ett naturligt val är att sensor 1 definieras som origo och att alla andra sensorer och fartyget positioneras relativt denna. Detta får till följd att sensor 1:s position saknar osäkerhet. Något externt origo går inte att välja då mätningar relativt denna punkt helt saknas.

Tillståndsvektorn innehåller en femdimensionell fartygsmodell enligt Ekvation 8, och två tillstånd, x- och y-position, för varje sensor utöver den första.

Alla sensorer förutsätts vara riktade åt norr, med z-axeln uppåt, i det globala koordinatsystemet. I ett verkligt fall kan man beräkna sensorernas orientering genom att studera jordens magnetfält och därefter vrida det lokala koordinatsystemet rätt.



Autopositionering för utlagda undervattenssensorer

2007-05-22

Som R-matris, kovariansen för mätbruset, används de skattade osäkerheterna i varje partikelfilters skattning av fartygets färdväg, samt osäkerheten i varje korrelation. Denna matris blir tidsberoende.

Filtret linjäriserar systemet för varje iteration och beräknar då en ny H-matris. Dimensionen beror på hur många sensorer och akustiksonder som används. Dimensionen bör även variera över tiden beroende på om ett partikelfilter kan följa fartyget eller inte, men då Matlab inte tillåter matriser med varierande antal rader eller kolonner är detta inte implementerbart off-line. I en on-lineimplementering är detta naturligtvis önskvärt.

Samtliga sensorer kan inte följa fartyget eftersom de magnetiska och elektriska störningarna har begränsad räckvidd. Det är dock dessa som positionerar fartyget rätt varför sensorerna måste vara tätt placerade för att positioneringen av sensorerna ska bli framgångsrik. Sensorer som ligger så pass nära varandra att de kan följa fartyget samtidigt kommer att positioneras väl relativt varandra.

Om man har två kluster av sensorer som inte kan följa fartyget samtidigt kan dessa endast positioneras väl mot varandra om fartyget kör precis som filtret förväntar sig. Det är dock inte alls säkert att denna mörkerkörning kommer att ge en framgångsrik positionering, men det kan ske. Ett säkrare sätt att positionera sensorer långt ifrån varandra är att fartygets färdväg registreras med GPS.

4.7.3. Med GPS

Ett system med GPS har en global referenspunkt. GPS-signalen visar fartygets färdväg relativt det globala koordinatsystem som GPS-systemet använder.

För att kunna använda informationen måste det lokala systemet därför positioneras i det globala systemet vilket kräver två tillstånd till. Alla sensorer positioneras fortfarande relativt sensor 1, men eftersom sensor 1 positioneras relativt GPS-origo blir i praktiken alla sensorer fria att positioneras. Samtliga sensorer blir också positionerade globalt.

Anledningen till att vi fortfarande positionerar alla sensorer relativt sensor 1 är för att systemet ska bli så generellt som möjligt. Det är mer praktiskt att bara lägga till två tillstånd i de linjäriserade matriserna, än att skapa ett helt nytt system de gånger som GPS-signalen finns tillgänglig. Förfarandet begränsar inte heller sensorernas positionering i praktiken på något sätt.

Fördelarna med GPS är att fartygets färdväg är känd vilket leder till att sensorer långt ifrån varandra kan positioneras med god precision om fartyget har kört nära båda, eftersom systemet är helt säkert på var fartyget befinner sig. Sensorerna måste alltså inte överlämnas till varandra för att kunna positioneras väl. Samtidigt blir allting positionerat globalt vilket är bättre än att bara känna deras lokala positioner.



2007-05-22

4.8. Begränsningar

En brist är att partikelfilteren ej kan hantera godtycklig signalstyrka och SNR. Detta leder till att godtyckligt fartyg ej kan följas trots förhandsinformation. Partikelfiltren behöver trimmas för specifika mål. Körningar med ett många sensorer, säg fler än 15, ger ofta dåligt konditionerade matriser i EKF:en vilket i sin tur ger upphov till numeriska problem när inverser på dessa skall beräknas.

4.9. Vidareutveckling

Ett stort steg i en vidareutveckling av positioneringssystemet skulle vara att eliminera ovan nämnda begränsningar. För att lösa dessa problem kan man tänkas gå till väga på många olika sätt. Problemet med varierande signalstyrka och SNR kan möjligtvis lösas med tillståndsberoende a priori fördelningar. Ett annat alternativ kan vara filterbankar för att hantera olika signalstyrkor. Numeriska problem med dåligt konditionerade matriser kan lösas genom att använda till exempel singularvärdesdekomposition (SVD).

Att lägga in en EKF i ett partikelfilter, marginaliserat partikelfilter, som har tillstånd för alla sensorer skulle vara en god centraliserad lösning som dessutom naturligtast blir en online version.



5. Kartsystemet

När simuleringen och positioneringen är klar kommer grafik på resultatet att genereras. Grafiken kommer att bestå av de två huvuddelarna *Karta* och *Tidsplottar*.

5.1. Karta

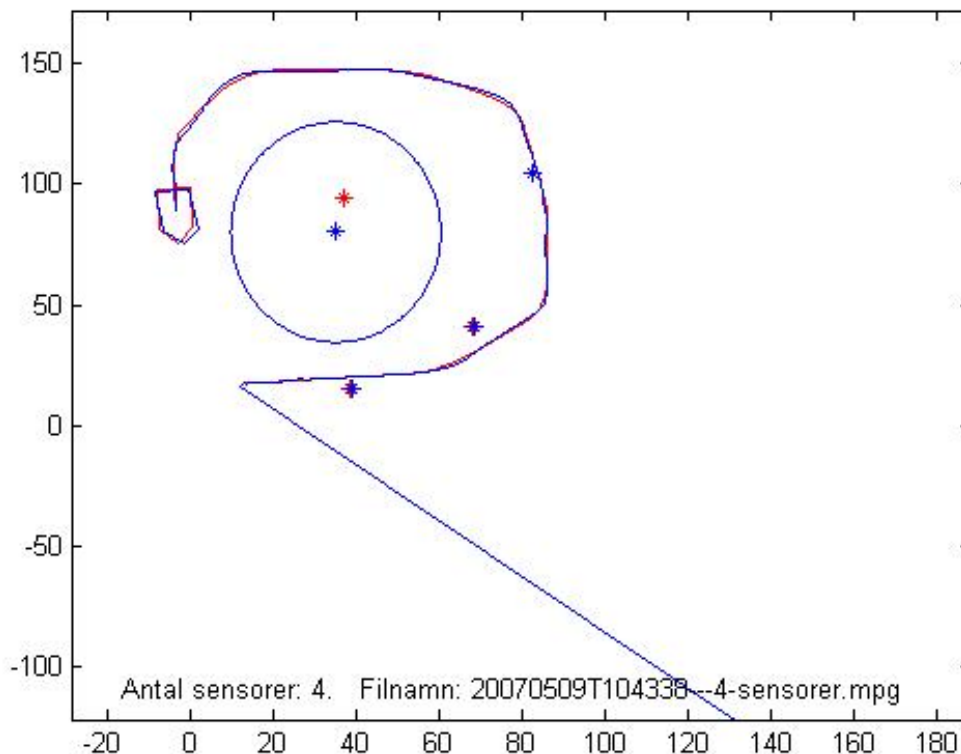
I denna del av grafiken kan man se fartygets exakta färdväg samt dess skattade färdväg med skattad osäkerhet. Även sensorernas exakta positioner, deras skattade positioner och skattade osäkerhet kommer att ritas ut i samma fönster. Fartygets färdväg och skattade färdväg kommer att ritas ut från tiden noll fram till aktuellt mätvärde i figuren.

Sensorernas värden kommer att plottas en gång för varje unikt mätvärde. Grafiken kommer på så sätt att visualisera hur fartyget rör sig på kartan samt hur sensorernas skattade position förändras ju längre simuleringen fortgår. Man kan se hur detta kan tänkas se ut i *Figur 29* nedan.

När alla mätvärden har genomlöpts skapas en mpeg-film över hur körningen har sett ut. Denna sparas i en fil med ISO-standardens datummarkning samt hur många sensorer den använder, till exempel "20070506T163316---3-sensorer.mpg".



2007-05-22



Figur 29. En bild över hur kartan kan se ut när positioneringen är färdig. Stjärnor är sensorer, ellipser är osäkerheter medan strecken visar fartygets färdväg. Rött är exakta värden och allt blått visar skattade värden.

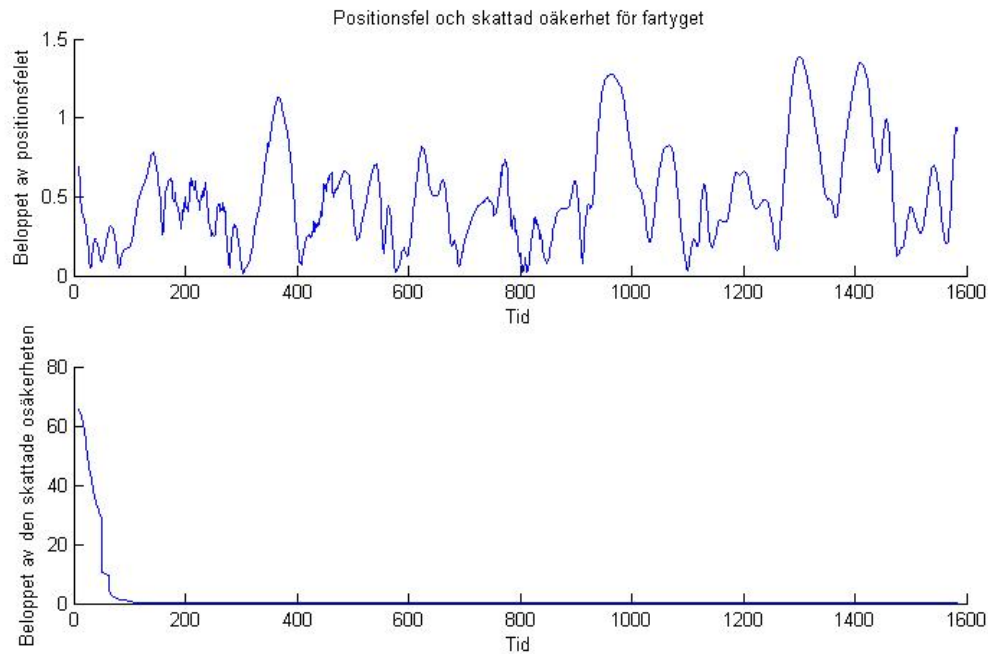
5.2. Tidsplottar

När simuleringen kört färdigt visas ett antal fönster, som beskriver hur körningen har närmat sig de slutgiltiga värdena. Ett fönster visar hur skattningen av fartygets position och osäkerhet varierar med tiden. Ett antal andra fönster beskriver, med 4 sensorer i varje fönster och två grafer per fönster, information för hur sensorernas mätvärden varierar med tiden. Den övre grafen innehåller positionsfel för sensorerna medan den nedre visar den skattade osäkerheten. Detta kan vara till användning för att se hur körningen har utvecklats. Ett exempel för hur tidsplottarna kan se ut visas i *Figur 30* och *Figur 31* nedan.

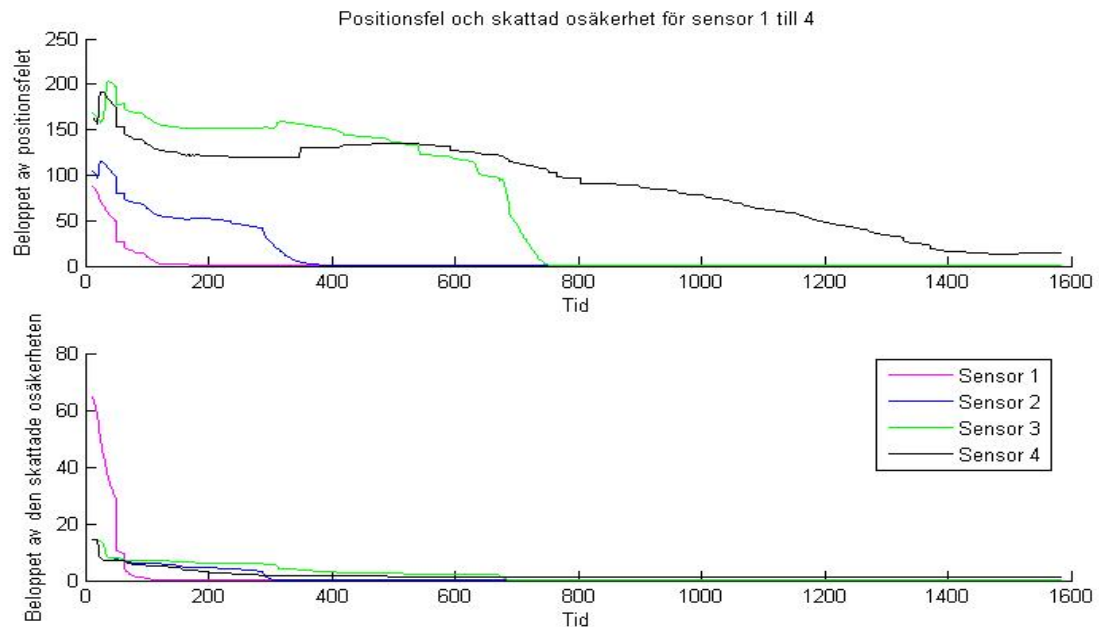


Autopositionering för utlagda undervattenssensorer

2007-05-22



Figur 30. Tidsplot över fartygets positionsfel och skattade osäkerhet



Figur 31. Tidsplott över sensorernas positionsfel och skattade osäkerheter för körning med 4 sensorer



Autopositionering för utlagda undervattenssensorer

2007-05-22

6. Funktionsanrop

Tabellen nedan visar vilka funktioner som anropar varandra. En funktion som blir anropad står i kolumnen till höger om den funktionen som anropar. Exempelvis anropar gui.m filerna karta.mat, korfall.mat osv. Funktioner som blir anropade av gui.m kan i sin tur anropa filer, dessa står då i kolumnen till höger om respektive fil.

gui.m	karta.mat	
	korfall.mat	
	fartyg.mat	
	miljo.mat	
	\@Sensor_protokoll\sensor_protokoll.m	
	\@Sensor_protokoll\ny_sond.m	
	\@Positions_protokoll\positions_protokoll.m	
	\@Positions_protokoll\nagra_positioner.m	
	sensor_pos.m	
	add_sensor2pos.m	
	defaultsonder.m	
	simulering_kor.m	
		fartyg.mat
		miljo.mat
		\@fardvag\fardvag.m
		\@fardvag\sampla_om.m
		\@fardvag\total_tid.m
		\@sensor_protokoll\nagra_matdata.m
		\akustik\aku_miljo.m
		\akustik\fartygakustik.m
		akustisksensorsignal.m
		\el_mag\electricfield.m
		\el_mag\magneticfield.m
		\el_mag\miljo_mag.m
		\el_mag\schuman.m
		elektrisksensorsignal.m
		magnetisksensorsignal.m
		sensor_pos.m
		skapa_gps_position.m
		\tryck\miljo_tryck.m
		\tryck\tryck.m
		trycksensorsignal.m
		\@Positions_protokoll\nagra_positioner.m
		\korrelation\korrelera_sonder.m
		\Positionering\magnetiskfiltrering.m
		\Positionering\elektriskfiltrering.m
		\Positionering\positioneringssystemet.m
	tabpanelfcn.m	
	\Positionering\positionsstart.m	



Autopositionering för utlagda undervattenssensorer 2007-05-22

\Kartsystem\kartsystem.m

\Kartsystem\mapmovie.m

\Kartsystem\maptime.m

\Kartsystem\mapmovieGPS.m

\Kartsystem\maptimeGPS.m

Fortsättning

fartyg.mat

miljo.mat

\@fardvag\fardvag.m

\@fardvag\sampla_om.m

\@fardvag\total_tid.m

\@sensor_protokoll\lagra_matdata.m

\akustik\aku_miljo.m

\akustik\fartygakustik.m

akustisksensorsignal.m

\el_mag\electricfield.m

\el_mag\jordmag2p.m

\el_mag\magneticfield.m

\el_mag\jordmag2p.m

\el_mag\miljo_mag.m

\el_mag\schuman.m

elektrisksensorsignal.m

magnetisksensorsignal.m

sensor_pos.m

skapa_gps_position.m

\@Positions_protokoll\positions_protokoll.m

**Autopositionering för utlagda undervattenssensorer****2007-05-22**

\tryck\miljo_tryck.m
\tryck\tryck.m
trycksensorsignal.m

\@Positions_protokoll\nagra_positioner.m
\tryck\spantfa.m
\tryck\spantff.m

\@Positions_protokoll\nagra_positioner.m
\korrelation\korrelera_sonder.m
\korrelation\korrelera_sinaler.m
\korrelation\hitta_forskjutning.m
\korrelation\autokorrelera.m

\Positionering\magnetiskfiltrering.m
\Positionering\elektriskfiltrering.m
\Positionering\positioneringssystemet.m
\@sensor_protokoll\hamta_mag.m
\@sensor_protokoll\hamta_el.m
\Positionering\PF.m
\Positionering\ekfgen.m
\Positionering\electricfieldPF.m
\Positionering\magneticfieldPF.m
\Positionering\Hkgenerator.m
\Positionering\Hgenerator.m
\Positionering\xkgenerator.m

\Kartsystem\mapmovie.m
\Kartsystem\ellipse.m
\Kartsystem\plotfartyg.m
Kartsystem\mpgwrite\mpgwrite.m
\@Positions_protokoll\hamta_positioner.m
\Kartsystem\plotfartygskattat.m

\Kartsystem\maptime.m
\Kartsystem\mapmovieGPS.m
\Kartsystem\ellipse.m
\Kartsystem\plotfartyg.m
Kartsystem\mpgwrite\mpgwrite.m
\@Positions_protokoll\hamta_positioner.m
\Kartsystem\plotfartygskattat.m

\Kartsystem\maptimeGPS.m



7. Referenser

- [1] Ultra Electronics PMES, United Kingdom, 1999
http://www.ultra-pmes.com/downloads/Research_Papers/Multi-Influence%20Range.pdf
- [2] Cetacean Research Technology, CR1,
<http://www.cetaceanresearch.com/hydrophones/cr1-hydrophone/index.html>
- [3] Sensortech, SQ08, <http://www.sensortech.ca/site/content/2006HydrophoneSQ08.pdf>
- [4] ITC, ITC-8112, http://www.itc-transducers.com/_storefiles/137.pdf
- [5] Bartington, MAG03-MSS,
http://www.gmw.com/magnetic_measurements/Bartington/Mag-03_Specs.html
- [6] Systemtechnik Ludwig, DM-010,
<http://www.stl-gmbh.de/mediaup/pdf/DigitalMagnetometerHP.pdf>
- [7] Honeywell, HMC2003, <http://sensors-transducers.globalspec.com/SpecSearch/PartSpecs?PartId=%7BBBD83B29A-45A6-46B5-9C60-224559FBA1E4%7D&VID=270&Comp=4144&QID=8706916>
- [8] Ultra Electronics, Compact <http://www.ultra.demon.co.uk/compact.htm>
- [9] Polyamp, EL-AMP01 <http://www2.foi.se/rapp/foir1303.pdf>
- [10] PCB, Piesotronics 138A01,
http://www.pcb.com/contentstore/docs/PCB_Corporate/Pressure/products/specsheets/138A01_F.pdf
- [11] PCB, Piesotronics 138A26,
http://www.pcb.com/contentstore/docs/PCB_Corporate/Pressure/products/Manuals/138A26.pdf
- [12] PCB, Piesotronics 138A26,
http://www.pcb.com/contentstore/docs/PCB_Corporate/Pressure/products/Manuals/138A26.pdf
- [13] Gustafsson, F. (2000). *Adaptive Filtering and Change Detection*. John Wiley & Sons, New York, USA.
- [14] Hol, J. D. (2004), *Resampling in particle filters*. ISRN LiTH-ISY-EX-ET-0283-2004
- [15] Schön, T. B. (2006). *Estimation of Nonlinear Dynamic Systems_Theory and Applications*. Dissertations No 998. Department of Electrical Engineering, Linköping University, Sweden.