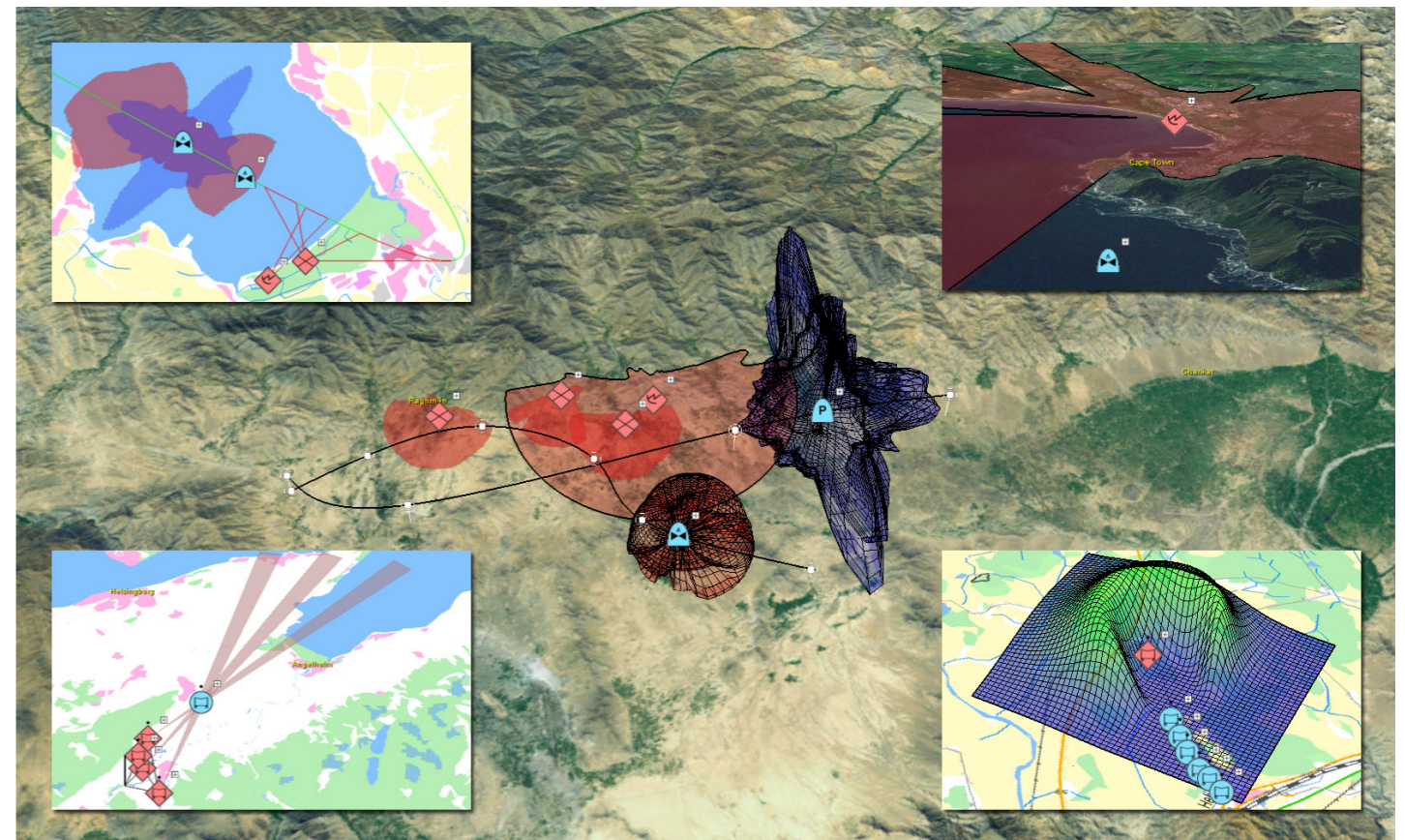


LARS TYDÉN, HANNA ANDERSSON, PER BRÄNNSTRÖM,
LEIF FESTIN, TORBJÖRN HÄRJE, MIKAEL PETERSSON



FOI är en huvudsakligen uppdragsfinansierad myndighet under Försvarsdepartementet. Kärnverksamheten är forskning, metod- och teknikutveckling till nytta för försvar och säkerhet. Organisationen har cirka 1000 anställda varav ungefär 800 är forskare. Detta gör organisationen till Sveriges största forskningsinstitut. FOI ger kunderna tillgång till ledande expertis inom ett stort antal tillämpningsområden såsom säkerhetspolitiska studier och analyser inom försvar och säkerhet, bedömning av olika typer av hot, system för ledning och hantering av kriser, skydd mot och hantering av farliga ämnen, IT-säkerhet och nya sensorers möjligheter.

Lars Tydén, Hanna Andersson, Per Brännström,
Leif Festin, Torbjörn Härje, Mikael Petersson

Planeringsverktyg EWPlan v3.3

Planeringsverktyg med yttäckningsberäkningar för

kommunikation, radar och optronik

Titel Planeringsverktyg EWPlan v2
Title Planning tool EWPlan v2

Rapportnr/Report no FOI-R--3067--SE

Rapporttyp Metodrapport
Report Type

Sidor/Pages 67 p

Månad/Month December

Utgivningsår/Year 2010

ISSN 1650-1942

Kund/Customer

Projektnr/Project no E53219

Godkänd av/Approved by

FOI, Totalförsvarets Forskningsinstitut

Avdelningen för Informationssystem

Box 1165

581 11 Linköping

FOI, Swedish Defence Research Agency

Information Systems

Box 1165

SE-581 11 Linköping

Sammanfattning

Rapporten beskriver verktyget EWPlan som är ett planeringsstödverktyg utvecklat inom projektet *Duellsimulering framtida telekriginsatser*. EWPlan är idag inte inriktat på någon specifik ledningsnivå utan det verktyg vi tagit fram har sin grund i att kunna se vilken effekt telekrigssystem har för sensorer, radiosystem och vapen. Då verktyget fokuserar på telekrig måste det ge stöd för de ofta komplexa situationer som uppstår när mål, sensorer och störare grupperade i terrängen interagerar med varandra. Därför räcker inte enklare metoder som t.ex. att rita direkt på en papperskarta. Istället behövs stöd i form av ett programverktyg. Planeringsverktyget EWPlan är då den testbänk där man kan prova idéer som i en framtid kan tänkas bli operativa. Genom den plugin-baserade arkitekturen i EWPlan är det mycket enkelt att utveckla nya moduler. Modulen som skapar diagram med täckningsområden markerar på en karta områden som uppfyller diagramtypens kriterier. Dessa kriterier kan t.ex. ge diagram som svarar på vilket område en sensor kan överblicka eller var en störare kan placeras för att ha önskad effekt. Modellerna av system är generiska och blir inte hemliga förrän de parametersatts med hemlig information. Användningsområdena för de diagram och resultat som beskrivs i detta arbete kan vara att minimera upptäcktsområde för sina egna plattformar, både för gruppering och för vägval under förflyttning. De kan även användas för att lista ut hur man bör förflytta eller placera sig för att få större chans att upptäcka fienden.

Nyckelord: Telekrig, Planering

Summary

This document describes a planning tool, EWPlan, developed within the *Future Electronic Warfare Duel Simulation* project. The planning tool's purpose is to show the influence of electronic warfare systems on sensors, radio systems and weapons. As electronic warfare is in focus, a planning tool must offer support for complex situations with interactions between sensors and other objects positioned in a terrain model. Therefore, a planning tool needs to be computerized and rather sophisticated; simply drawing on a map will not suffice. The planning tool EWPlan is the testing ground for ideas that can become operational in the future. With the plugin-based architecture, new modules are easily added to the planning tool. The coverage diagram module of EWPlan offers ways of showing different types of coverage diagrams as area markings on a map. These diagrams can be used e.g. for showing what area is covered by a certain sensor or where a jammer might be placed to get the desired effect on a sensor. All system models are generic and only turn secret after secret information has been entered into the parameters. Coverage diagrams may help in e.g. minimizing the area where your platforms risk detection, deciding the route to take to new locations and deciding where to place your sensors to increase your chances of detecting the enemy. The diagrams can also be used to plan movement and positioning to achieve better chances of detecting the enemy.

Keywords: Electronic Warfare, Planning

Innehållsförteckning

1	Inledning	7
1.1	Läsanvisning	7
1.2	Bakgrund	7
1.3	Metod	7
2	EWPlan	8
2.1	Diagramtyper	8
2.1.1	Line-of-sight	8
2.1.2	Indata	8
2.2	Datorutnyttjande	11
2.3	Radar	13
2.3.1	Teori	13
2.3.2	Indata	15
2.3.3	Radarmålarea hos målobjekt	15
2.3.4	Presentation	16
2.4	Upptäcktsområde med elektrooptisk målsökare	23
2.4.1	Teori	23
2.4.2	Indata	24
2.4.3	Signatur hos målobjekt	24
2.4.4	Presentation	25
2.5	Optikspaning	27
2.5.1	Frågeställningar	27
2.5.2	Teori	27
2.5.3	Indata	28
2.5.4	Presentation	28
2.6	Optisk sensor störd med bländlaser	30
2.6.1	Frågeställningar	30
2.6.2	Teori	30
2.6.3	Indata	31
2.6.4	Presentation	32
2.7	Laservarnare	36
2.7.1	Teori	36
2.7.2	Indata	36
2.7.3	Presentation	36
2.8	Kommunikation	38
2.8.1	Teori	38
2.8.2	Indata	41
2.8.3	Presentation	41
2.9	Kommunikationsspaning	44

2.9.1	Teori	44
2.9.2	Indata	46
2.9.3	Presentation	46
2.10	Konnektivitet.....	50
2.10.1	Teori	50
2.10.2	Indata	50
2.10.3	Presentation	51
2.11	Signalstyrkepejl	53
2.11.1	Teori	53
2.11.2	Indata	54
2.11.3	Presentation	55
2.12	Synlighet utmed brytpunktsbanor	57
2.12.1	Teori	57
2.12.2	Indata	57
2.12.3	Presentation	57
3	Diskussion	59
4	Fortsatt arbete	61
4.1	Nätverks störkänslighet.....	61
4.2	Kombinerade signalspaningstyper.....	61
4.3	Områdesövervakning.....	62
4.4	Kombinera diagram.....	62
4.5	Nya presentationstyper	63
4.6	Scriptstöd för dynamiska algoritmer.....	64
5	Referenser	65
	Bilaga 1 Signatortabeller	66

1 Inledning

Rapporten beskriver verktyget EWPlan vilket är en modul till scenarioprogrammet Netscene och gör detta till ett planeringsstödverktyg. Programmet/ modulen är vidareutvecklat inom projektet *Dynamisk duellsimulering telekrig* under 2009 och 2010. Planering är en viktig och naturlig del av ledningen oavsett om man befinner sig på strategisk, operativ, taktisk eller stridsteknisk nivå. Vi har idag inte riktat in oss på någon specifik ledningsnivå utan de verktyg vi tagit fram har sin grund i att kunna se vilken effekt telekrigssystem har för sensorer, radiosystem och vapen. Då fokus ligger på telekrig måste ett planeringsverktyg ge stöd för de ofta komplexa situationer som uppstår när mål, sensorer och störare grupperade i terrängen interagerar med varandra. Därför räcker inte enklare metoder som t.ex. att rita direkt på en papperskarta, utan stöd behövs i form av ett programverktyg. Planeringsverktyget EWPlan är den testbänk där man kan prova idéer som kan tänkas bli operativa i kombination med tillägg för funktions specifika implementationer vilket vi nu har ett par stycken som börjar ta form. Genom den plugin-baserade arkitekturen är det mycket enkelt att utveckla nya moduler. Verktyget kommer att fortsätta utvecklas iterativt där synpunkter från användare tas till vara till nästa iteration.

Utveckling av denna typ av verktyg är ett mycket mer omfattande arbete än man kan missledas tro från början. Ur ett internationellt perspektiv så satsar USA två miljarder dollar på ett *Joint Mission Planning System (JMPS)* [1] där telekrig ingår som en integrerad del. Trots att ordet Joint ingår i namnet så stöder verktyget i stort sett endast marin och flyg.

1.1 Läsanvisning

Syftet med rapporten är att redovisa arbetet med planeringsverktyget EWPlan samt dokumentera det för framtiden. Rapporten förutsätter att man är insatt i telekrig. I rapporten redovisas utförliga teoriavsnitt, vilka främst är avsedda för att ge spårbarhet. Dessa kan hoppas över vid en översiktlig genomläsning. Även attribut som är valbara för en användare redovisas, och dessa stycken kan med lätthet hoppas över av den som inte kommer att använda programmet utan endast vill skapa sig en överblick av vad programmet kan. I kapitel 2 redovisas i huvudsak det som idag är implementerat. Därefter följer på sedvanligt vis diskussion samt fortsatt arbete. Det finns mycket mer teoretiskt arbete genomfört än det som redovisas i kapitel 2.

1.2 Bakgrund

EWPlan ingår som en del i simuleringsramverket EWSim [3] vars syfte är att simulera telekriginsatser. I en simulering ingår scenarioridigering, planering, dynamisk duellsimulering samt analys. EWPlan kan dels användas som en helt fristående applikation och dels tillsammans med de dynamiska simuleringsmodellerna, där EWPlan då utgör en del i simuleringen som används innan, under och efter duellsimuleringen.

1.3 Metod

Eftersom planeringen sker som en naturlig del innan simuleringen startas och även som hjälp för att sätta upp scenariot som ska simuleras valdes planeringsverktyget att implementeras som en utvidgning av NetScene. NetScene är det scenarioridigeringsverktyg som används inom *Duellsimulering framtida telekriginsatser*. Mer information om NetScene finns i [2] och [3]. En fördel med att planeringsverktyget blir kopplat till scenarioridigeringen är att det då inte behövs några extra steg från planeringen tills att scenariot kan startas, men det hindrar inte att EWPlan även kan användas som beslutsstöd under simuleringens gång.

2 EWPlan

EWPlan är namnet på den insticksmodul i scenarioredigeringsprogrammet NetScene, som gör programmet till ett planeringsverktyg. EWPlan innehåller verktyg för att kunna beräkna olika typer av täckningsdiagram. Genom att åskådliggöra t.ex. olika upptäcktsförhållanden och kommunikationsmöjligheter är dessa diagram till hjälp vid planering av scenarion, både om syftet är att avgöra hur ett scenario ska utformas (spelledning) och om syftet är att kunna planera hur man ska agera under givna förhållanden med de resurser man har (spelare). I det här avsnittet presenteras först grundtyperna av diagram som alla diagram bygger på. Sedan följer en kort förklaring av hur verktyget använder en modern dators prestanda. Därefter beskrivs de olika yttäckningsdiagram som finns implementerade i EWPlan.

2.1 Diagramtyper

I dagsläget finns fyra grundtyper av täckningsdiagram implementerade, ett polärt, ett sfäriskt polärt, ett rektangulärt diagram samt ett länkdiagram. Hos det polära diagrammet ligger beräkningspunkterna på ett valbart avstånd i ett antal radier utgående från ett föräldraobjekt. Dessa radier ligger på en given höjd eller given höjdvinkel sett från föräldraobjektet, och det resulterande diagrammet är ett yttäckningsdiagram i det aktuella planet. Hos det sfäriska diagrammet beräknas längsta synsträcka utmed radier i en sfär runt ett föräldraobjekt, och resultatet presenteras som ett volymtäckningsdiagram. Beräkningspunkter för ett rektangulärt diagram ligger på jämna avstånd inom en vald rektangel i kartbilden, och för länkdiagram beräknas täckning enbart för vissa givna punkter vilket används t ex för beräkningar av länkar mellan radiosystem.

2.1.1 Line-of-sight

I implementationen av polära och sfäriska täckningsdiagram är terränghänsyn i form av *line-of-sight* inkluderade. *Line-of-sight* är en beräkning av hur långt man kan se i en viss riktning utgående från en viss punkt, här föräldraobjektets position, beroende på terrängens höjddata. Beräkningen utförs med hjälp av radier skapade i terrängnivån utgående från föräldraobjektets projektion på terrängen. Genom att stegvis beräkna höjdvinkeln mellan föräldrpositionen och punkter på en sådan radie beräknas vilka terrängavsnitt i en viss azimutvinkel som är synlig från föräldrpositionen. Kommunikationsdiagrammen inkluderar ingen *line-of-sight*-beräkning eller annat terrängberoende. I stället anges en extern modell, exempelvis *Detvag* [4], som står för beräkningar där hänsyn tas till terrängen.

2.1.2 Indata

Under ett täckningsdiagrams *properties*-dialog kan användaren sätta ett antal parametrar som, förutom att de anger fysikaliska egenskaper specifika för varje enskild diagramtyp, bestämmer utseende och noggrannhet hos det utritade diagrammet. Parametrar som är gemensamma för alla polära diagram som använder sig av *line-of-sight*-beräkningar presenteras i Tabell 1, och de parametrar som är gemensamma för sfäriska diagram visas i Tabell 2. Parametrar som är gemensamma för alla rektangulära diagram presenteras i Tabell 3. Tabellerna innehåller parametrarnas namn som de står i *properties*-dialogen, var och en med en kort beskrivning och i förekommande fall deras defaultvärde. För länkdiagram finns inga gemensamma parametrar, utan varje typ av länkdiagram har sitt eget parameterset.

Parameternamn	Defaultvärde	Beskrivning
ID		Namn på yttäckningsdiagrammet
Parent		Den plattform som diagrammets radier ska utgå ifrån
Visible	true	Anger om diagrammet ska ritas ut eller ej
NoOfAngles	360	Antal vinklar i azimutled i grader som ska beräknas
MaxRadius	5000	Längsta avstånd i meter från förälder som diagrammet ska täcka
ObjectHeightOrPitch	COVERAGE_HEIGHT_OFFSET	Enum med tre beräkningsalternativ: <ul style="list-style-type: none"> • COVERAGE_OBJECT_HEIGHT Räknar mot ObjectHeight meter över noll i lat-long. • COVERAGE_HEIGHT_OFFSET Objektet befinner sig ObjectHeight meter över marken. • COVERAGE_OBJECT_PITCH Objectet befinner sig längs ObjectPitch grader pitch vinkel från plattformen.
ObjectHeight	2	Den höjd i meter som beräkning ska ske emot. Se ObjectHeightOrPitch.
ObjectPitch	0	Den pitch vinkel som beräkningen ska ske emot. Se ObjectHeightOrPitch.
ObserverHeight	0	Höjd över plattformen där betraktaren är belägen. Kan användas i stället för ett separat antenn-objekt.
ForwardConeAngle	180	Vinkel i grader som anger en beräkningskon i plattformens riktning, 180 ger en full sfär.
Trace	false	Anger om ett spår ska ritas ut efter TraceObject.
TraceObject		Plattform som ska spåras.
Gridstep	Auto	Täthet i beräkningar utmed en radie, anges i antal linjer i höjddatat eller Auto då lämpligt gridstep räknas ut från MaxRadius.
PolygonMode	POLYGON	Typ av presentation för diagrammet. RAY= radierna ritas ut, POLYGON= polygoner interpoleras mellan beräkningspunkterna, POLYGON_WITH_RIM= utritning av polygoner med konturlinje

AppendImages	false	Utritningsläge över tiden. Falskt= enbart aktuellt diagram ska visas, Sant= utritade diagram ska sparas och byggas på över tiden
Color	(0.8, 0.1, 0.1)	Diagrammets färg (RGB)
AlphaColor	0.5	Diagrammets genomskinlighet i utritningen (alphavärde)

Tabell 1 Attribut för polärt diagram med *line-of-sight*-beräkningar

Parameternamn	Defaultvärde	Beskrivning
ID		Namn på yttäckningsdiagrammet
Parent		Den plattform som diagrammets radier ska utgå ifrån
Visible	true	Anger om diagrammet ska ritas ut eller ej
Azimuth Angles	100	Antal vinklar i azimutled som ska beräknas
Elevation Angles	100	Antal vinklar i elevationsled som ska beräknas
Range	10000.0	Längsta avstånd i meter från förälder som diagrammet ska täcka
Color	(0.9, 0.0, 0.0)	Diagrammets färg (RGB)
Alpha	0.2	Diagrammets genomskinlighet i utritningen (alphavärde)
Use Terrain	false	Avgör om en line-of-sight beräkning ska göras.
Use Concurrency	false	Avgör om flera kärnor ska användas, kan förbättra beräkningshastigheten för kraftfulla datorer.

Tabell 2 Attribut för sfäriskt diagram, valbart med *line-of-sight*-beräkningar

Parameternamn	Defaultvärde	Beskrivning
ID		Namn på yttäckningsdiagrammet
Parent	null	Används ej
Visible	true	Anger om diagrammet ska ritas ut eller ej
Corner1		Ett hörn av diagrammets begränsningsrektangel. Väljs med hjälp av verktygsfältet och visas här i geocentrisk WGS84.
Corner2		Diagonala hörnet relativt Corner1 av diagrammets begränsningsrektangel. Väljs med hjälp av verktygsfältet och visas här i geocentrisk WGS84.
Resolution or GridSize	Resolution	Anger om Resolution värdet eller GridSize ska användas. Resolution är bra om man vill täcka en specifik yta medan GridSize är bra om man vill uppfylla en specifik

		noggrannhet.
Resolution	100	Upplösning för beräkningstäthet. Värdet 100 betyder att ytan delas in i 100x100 punkter som kommer behandlas.
GridSize	10	Beräkningstäthet
Alpha	0.5	Digrammets genomskinlighet i utritningen (alphavärde)
ColorMax	(1, 0, 0)	Den färg som i diagrammet motsvarar status "osynlig" (RGB)
ColorMin	(0, 1, 0)	Den färg som i diagrammet motsvarar status "synlig" (RGB)
PolygonMode	Polygon	Typ av presentation för diagrammet. POLYGON= polygoner interpoleras mellan beräkningspunkterna, FILLRECT= samma som polygon men utan interpolation, Inverse= Inverterad täckning.

Tabell 3 Attribut för rektangulärt diagram med externt terrängberoende

2.2 Datorutnyttjande

EWPlans täckningsdiagram utför beräkningar i bakgrunden i en separat tråd¹. Detta innebär att varken simuleringen eller användargränssnittet blir långsamt av att beräkningar utförs samtidigt. För att detta ska fungera optimalt behövs dock minst två beräkningskärnor (CPU) i datorn men det är inget krav för att EWPlan ska fungera.

För att en användare ska få information om beräkningstid och status på ett diagram sparas tiden ett diagram tog på sig att beräknas och uppskattad tid för nästa beräkning visas för användaren. Figur 1 visar visualiseringen av status för ett diagrams beräkning. Till vänster visas den första beräkningen där beräkningstiden är okänd. Till höger visas beräkningstiden relativt föregående beräkning. Om beräkningstiden är kortare än en halv sekund visas inte denna status.



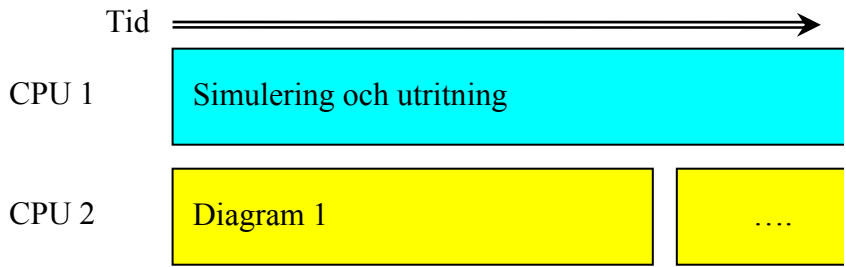
Figur 1 Beräkningsförlopp för ett diagram. Till vänster visas visualiseringen för ett nyinladdat diagram. Till höger visas visualiseringen då nästa beräkning pågår, beräkningen har gått ungefär halvvägs.

Multicore teknologi är på stark frammarsch och vi kan förbättra beräkningstider avsevärt med stöd för detta i framtiden. Multicore betyder att en dator har flera beräkningskärnor vilket är standard för en modern dator. Antalet kärnor i en vanlig bärbar dator i dagsläget (2010) ligger på 2-4 och kommer inom ett år troligtvis vara 8-24st. För att utnyttja multicore och framtidens datorer behöver beräkningar delas upp i mindre komponenter som kan beräknas parallellt. Eftersom de flesta diagram beräknar en ekvation i en mängd punkter eller i en mängd strålar kan dessa delas upp i fristående beräkningar.

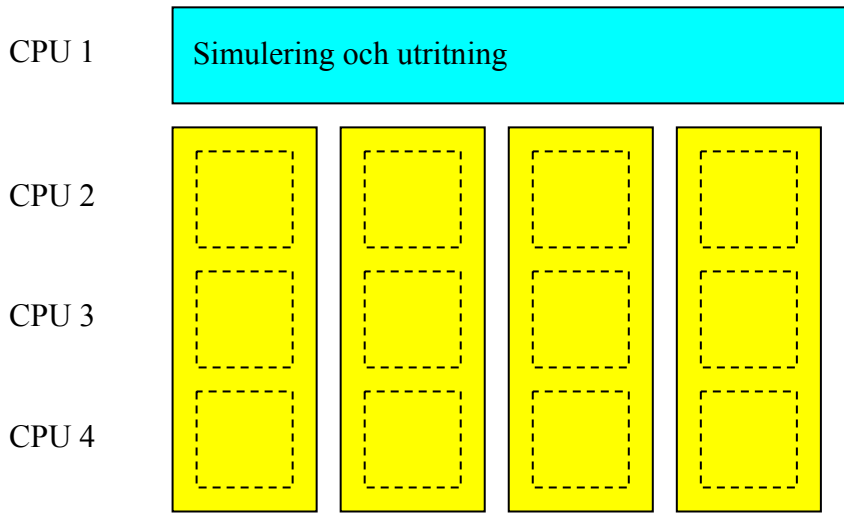
De sfäriska täckningsdiagrammen beräknar alltid ett avstånd i en riktning oberoende av de andra riktningarna. Då denna nya typ av diagram implementerades valdes att också implementera stöd för multicore. Detta gjordes genom att varje vinkel i azimut beräknas oberoende av varandra som en komponent. Det gör att ett diagram med 100 vinklar i azimut och elevation delas upp till 100 olika beräkningskomponenter, dessa komponenter

¹ Tråd (eng Thread) betyder ett separat programflöde som delar data med resten av programmet men som kan utföra beräkningar och funktioner parallellt.

fördelas därefter upp på datorns tillgängliga kärnor. Generellt kommer en kärna lämnas till simuleringskritiska beräkningar och utritningen, se Figur 2. Om antalet beräkningskärnor ökas från två till fyra kommer alltså beräkningstakten öka med en faktor tre. Figur 3 visar hur diagram som är anpassade till multicore delas upp och beräknas på de olika kärnorna.



Figur 2 Utnyttjande av kärnor på en dator med 2 kärnor då diagram beräknas.



Figur 3 Utnyttjande av kärnor på en dator med 4 kärnor då diagram som stödjer multicore beräknas.

2.3 Radar

Planeringsverktygets radardel kan till exempel användas för att antingen placera ut ett radarsystem med så stor yttäckning som möjligt eller att givet en utplacerad radarstation bestämma bästa rutt för en plattform för att minimera upptäckt.

Om plattformen inte är utrustad med någon form av täckande störning är det väsentligen *line-of-sight* (LOS) och radarns räckvidd samt plattformens uppvisade radarmålarea som bestämmer om plattformen upptäcks. Att använda LOS är en förenkling och i framtiden kan inverkan av ledskikt vara aktuellt att ta med. Om däremot plattformen är utrustad med en brusstörare måste hänsyn tas till genombrottsavstånd, d.v.s. om radarekot vinner över störningen i radarmottagaren.

Vid planering för utplacering av radarsystemet är det intressanta att se hur stort område radarn ser, och om den kan upptäcka ett mål med eventuell störare i en given position, med given radarsignatur och med given störeffekt.

Vid planering för uppträdande hos plattformen är det intressant att se om plattformen kan ta sig från punkt A till punkt B utan att radarn kan registrera ett måleko från plattformen. Taktiken kan anpassas genom att störarens antenn riktas lämpligt och också genom att visa upp lägst radarsignatur mot radarsystemet.

Naturligtvis bör man kunna ha flera mål med eller utan störare som samtidigt påverkar radarn.

2.3.1 Teori

Spaningsradarn kan ha olika signalförbättrande egenskaper varför det är svårt att ta fram en ekvation som täcker in alla specialfall. I radarmodellen i EWSim finns koherent integration och pulskompression implementerade som sådana egenskaper. Om dessa är definierade och används kommer signalbehandlingen att ge en ökning av signaleffekten för mottagna radarekon. För att få med detta i beräkningarna är det lättast att ändra P_r , d.v.s. radarns utsända effekt enligt de definierade egenskaperna (eftersom det är den effekten egenskaperna har på radarpulserna i signalbehandlingen). Med samma komplexitetsnivå som används i radarmodellen i EWSim kommer koherent integration av flera pulser ge en ökning av signaleffekten med faktorn N , som är antalet pulser som integreras. Pulskompression ger på samma sätt en ökning av signaleffekten med *pulskompressionsfaktorn*.

Om radarn använder både koherent integration och pulskompression modifieras alltså P_r i uttrycken nedan till: $P_{r, ny} = P_r * N * \text{pulskompressionsfaktorn}$

Utan störare

Om $P_{m, min}$ är den minsta mottagna effekt som krävs för måldetektering (anges i radarmodellen i NetScene), ges maximalt avstånd till plattformen för detektion i radarn av:

$$R_{\max} = \sqrt[4]{\frac{P_r G_r^2 \sigma \lambda^2}{(4\pi)^3 P_{m, \min}}}$$

där

P_r	utsänd effekt från radarn [W]
G_r	radarantennens gain i riktning mot plattformen
σ	plattformens uppvisade radarmålarea [m ²]
λ	våglängd [m]

Observera att det maximala detektionsavståndet för radarn är beroende av målets radarsignatur. Vanligt är att en radars detektionsavstånd anges relativt en definierad radarmålararea (t ex 1 m^2).

Med brusstörare på en eller flera plattformar

För varje mål som ska detekteras måste brusnivån först beräknas för att se om signaleffekten är tillräcklig för att komma över brusnivån. Brusnivån beräknas lämpligen en gång och återanvänds sedan till alla mål.

Sätt SNR_{det} som det signal- brusförhållande som gäller för detektion i radarn.

Mottagen signaleffekt från eko i plattform:

$$P_{m,radar} = \frac{P_r G_r^2 \sigma \lambda^2}{(4\pi)^3 R^4}$$

där

P_r	utsänd effekt från radarn [W]
G_r	radarantennens gain i riktning mot plattformen
σ	plattformens uppvisade radarmålararea [m^2]
λ	våglängd [m]
R	avstånd mellan mål och radar [m]

Mottagen signaleffekt från störare på plattform:

$$P_{m,störare} = \frac{P_j (B_{\text{överlapp}}) G_j G_r \lambda^2}{(4\pi R)^2}$$

där

P_j	utsänd effekt från störaren [W]
$B_{\text{överlapp}}$	del av störarens bandbredd som överlappar radarns (ligger mellan 0 och 1)
G_j	störarantennens gain i riktning mot radarn
G_r	radarantennens gain i riktning mot störaren
λ	störsignalens våglängd [m]
R	avstånd mellan störare och radar [m]

Faktorn $B_{\text{överlapp}}$ tjänar till att kompensera för de fall då störsignalens bandbredd är större än eller ligger utanför radarmottagarens.

Signalen detekteras då SNR_{det} är uppfyllt, d.v.s. då:

$$SNR_{det} \leq \frac{P_{m,radar}}{\sqrt{\sum_{störare} P_{m,störare}^2}}$$

2.3.2 Indata

Eftersom radarn i princip kräver fri sikt för att kunna detektera ett mål bygger radarns täckningsdiagram vidare på funktionalitet i *line-of-sight*-diagrammet. Indata är därför delvis lika. De attribut som är speciella för radardiagrammet beskrivs i Tabell 4 nedan.

Parameternamn	Beskrivning
InverseVisibility	Falskt = Måldetektion ger täckning, Sant = inverterat
UnknownPosition	Anger vilken ingående komponent som inte har känd position. Kan vara: JAMMER, SENSOR eller TARGET.
Use All Jammers	Sant om alla störare i scenariot ska användas. Om falskt används bara de som finns i Jammers.
Jammers	Lista av de aktiva störarnas plattformar.
Sensor	Sensors plattform
Target	Målets plattform
TargetRadarArea	Radarmålarea som diagrammet gäller för

Tabell 4 Attribut för radardiagram

Utöver dessa indata plockas även parametrar direkt från radar och störare i scenariot. Både radarns och störarens position samt antennlobens utseende tas från respektive antenn. Frekvens och bandbredd hämtas automatiskt från störaren. Från radarn hämtas effekt, pulslängd, pulsantal, pulsgruppering, våglängd, detektionströskel samt SNR.

2.3.3 Radarmålarea hos målobjekt

Radarmålarea för entiteter sätts up i parameterfältet TargetRadarArea. Här kan anges antingen en konstant radarmålarea i form av ett siffervärde eller en vinkelberoende målarea som definieras i tabeller med ett format som visas i Bilaga 1. Användandet av dessa tabeller anges med hjälp av taggar i TargetRadarArea, där kan man välja att antingen direkt ange en tabell eller att ange filnamn med sökväg till en signaturtabell. Då en tabell skrivs in direkt anges det genom att parametervärdet påbörjas med taggen TABLE, och på motsvarande sätt markerar taggen FILE att parametern anger en filsökväg, vilket kan se ut enligt:

FILE RadarSignatureData/Debug_Az.inc

Har man tillgång till flera olika tabeller beroende på polarisation, kan dessa anges genom taggen FILESET följt av grundnamnet för filernas sökväg. Exempelvis använder sig parametervärdet

FILESET RadarSignatureData/default

av tabellfilerna RadarSignatureData/default_HH.inc, RadarSignatureData/default_HV.inc, RadarSignatureData/default_VH.inc och RadarSignatureData/default_VV.inc för respektive polarisationsriktning.

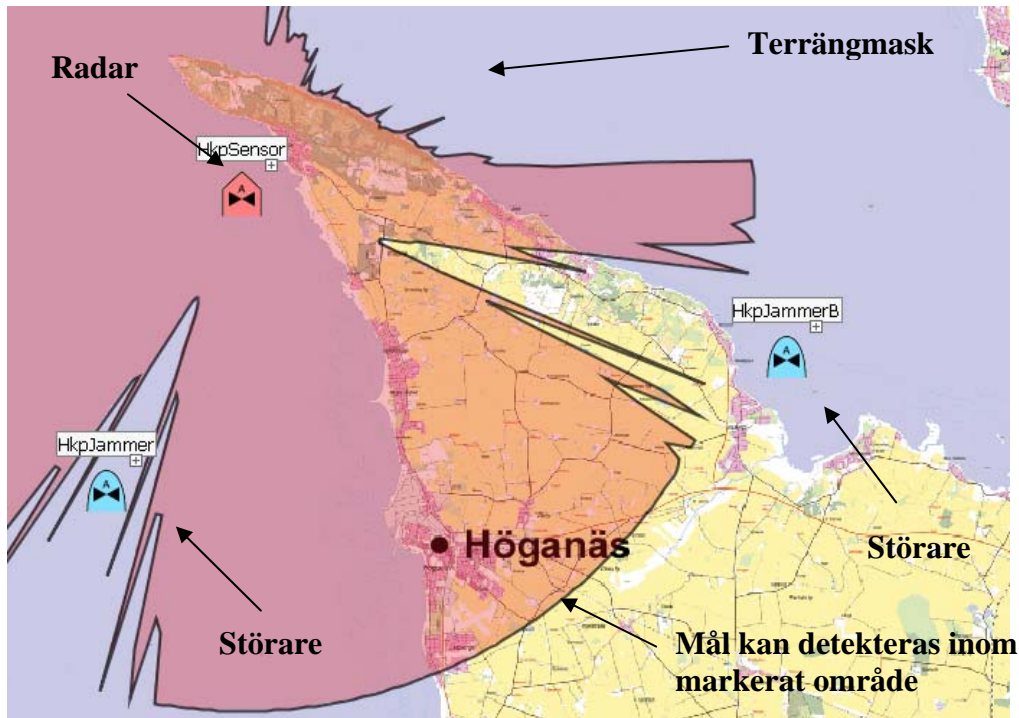
Lämnas fältet TargetRadarArea tomt hämtas signaturtabeller baserat på plattformens entityType från filer i mappen RadarSignatureData innehållande default tabelldata för ett objekt med den entityTypeen. Namngivningen är sådan att för exempelvis en plattform med entityType 1:2:0:0:0:0 ligger tabeller för dess radarmålarea i filerna 1_2_0_0_0_0_HH.inc, 1_2_0_0_0_0_HV.inc, 1_2_0_0_0_0_VH.inc och 1_2_0_0_0_0_VV.inc.

2.3.4 Presentation

Då radardiagrammet bygger på *line-of-sight*-diagrammet visualiseras det på samma sätt. Ett radiellt täckningsdiagram projicerat på en karta. Presentationen av radartäckningen kan fås som tre olika fall som visas nedan i Figur 4, Figur 6 och Figur 8. Alla tre fallen utgår från principen detektion eller icke-detektion. Skillnaden beror på vilken av de ingående delarna (radar, mål eller störare) som inte är positionsbestämd. *Line-of-sight*-beräkningen görs mellan de punkter i diagrammet som representerar den okända samt det objekt som är satt som utgångspunkt (förälderobjekt) för diagrammet. Förälderobjektet sätts så att *line-of-sight*-beräkningen påverkar fallet detektion/icke-detektion. T.ex. så är siktförhållanden mellan störare och mål helt oväsentliga medan de mellan mål och sensor är helt avgörande. Beräkningsområde för den okända positionen sätts genom funktionalitet i *line-of-sight*-diagrammet vilket innebär att man kan välja på höjd relativt marken, höjd relativt havsnivå samt elevationsvinkel från förälderobjektets position.

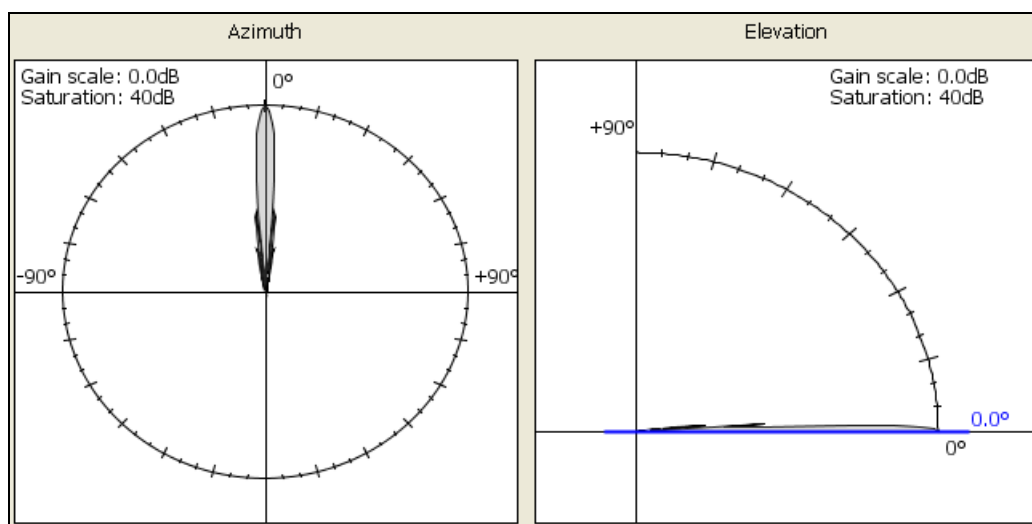
Yttäckning radarmål

Av de tre olika fallen är den mest intuitiva det då målets position är okänd men man vet var radarn och eventuella störare befinner sig, se Figur 4 som visar en radarsensor och två störare. Diagrammet visar det område som radarn täcker och kan övervaka. Med andra ord var någonstans ett mål (med given radarmålarea) kan befinna sig och fortfarande synas på radarn. *Line-of-sight*-beräkningen görs mellan sensor och mål vilket tydliggörs i övre delen av Figur 4 där vissa möjliga målpositioner döljs av terrängen. Andra delar döljs av störarna.



Figur 4 Radarsensorn kan detektera mål inom markerat område

Störeffekten avtar vågformigt tack vare interferenser i radarnantennens sidolober. Radarantennen använder i dessa exempel algoritmen *cosine lobe* och kan visualiseras i EWPlan, se Figur 5.



Figur 5 Antennendiagram för *cosine lobe*.

Yttäckning radarstör

I fallet då störarens position är den okända fås ett diagram som visar var en störare kan placeras för att dölja målet för radarn, se Figur 6. Eftersom det i detta fall är mest intressant var radarn inte kan detektera målet är diagramtäckningen inverterad så att det täckta området betyder icke-detektion medan områden utanför är det som ger fallet att radarn detekterar målet. *Line-of-sight*-beräkningen i detta fall gäller att störaren måste ha fri sikt till radarn. Observera effekter från radarns sidolober vilka syns som avtagande vågmönster i täckningsdiagrammet. Om störaren placeras tillräckligt nära radarn kan den dessutom störa ut radarn i alla riktningar vilket ses som det cirkulära området närmast radarn.



Figur 6 Täckningsdiagram för placering av radarstörare för att gömma ett mål.

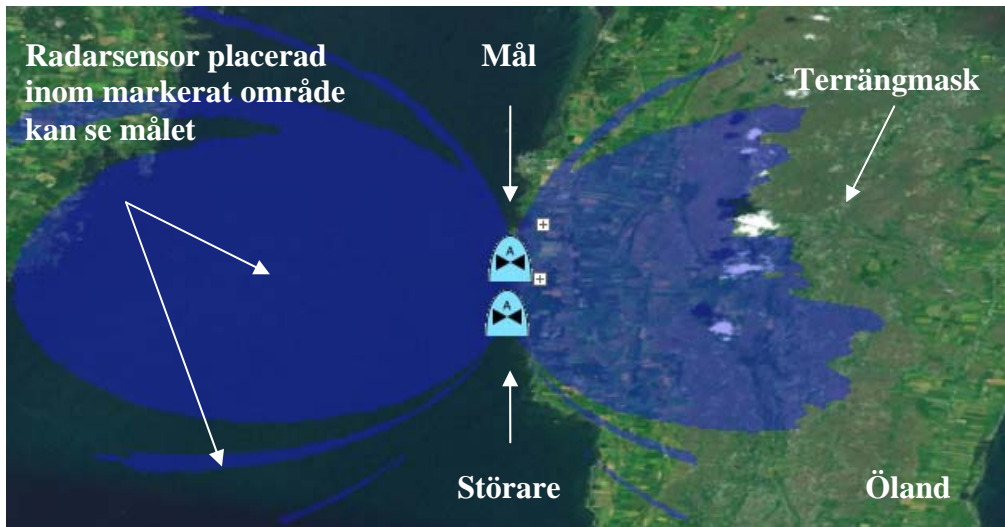
Nedan visas samma sorts yttäckningsdiagram med en *rectangular lobe* antenn. Denna antenn har fler sidolober och sämre dämpning i oönskade riktningar. Detta leder till högre känslighet för störning. Helikoptern är därför placerad på halva avståndet från radarsensorn jämfört med föregående exempel.



Figur 7 Visar yttäckning för placering av störare då radarsensorn har en antenn av *rectangular lobe* typen (se diagram). Kartan som används är en satellitkarta i lat-long format från NASA.

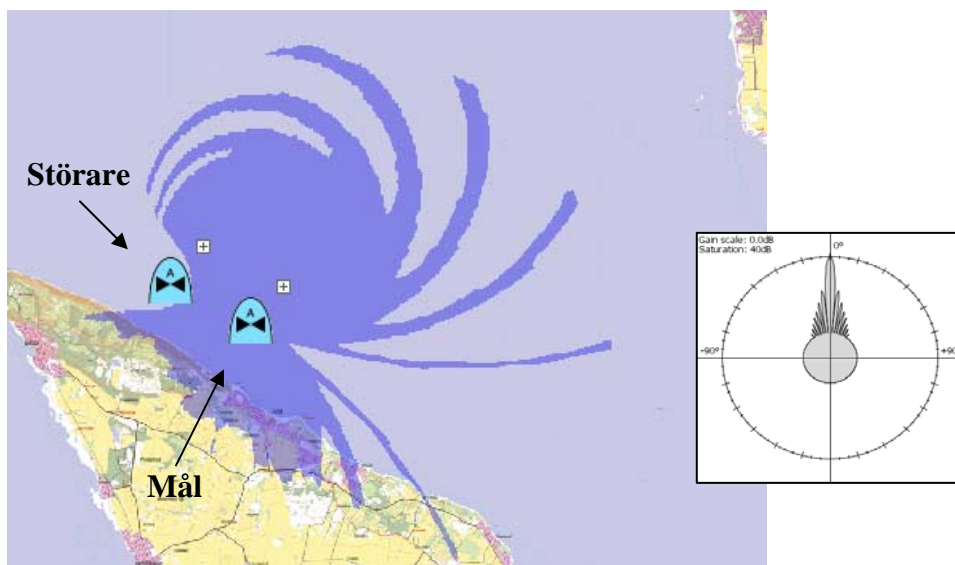
Yttäckning radarsensor

Det tredje fallet gäller då radarns position inte är bestämd. Utan störare blir det ett enkelt avståndsdigram med *line-of-sight*-beräkning. Med en eller flera störare blir det en mer komplex bild, se Figur 8. I figuren ses hur en helikopter kan detekteras från olika positioner på marken med en delvis störd radarsensor. Störningen har stor effekt i riktningar parallellt med målet medan effekten avtar snabbt för andra riktningar. Effekten av störning i radarns sidolober ger upphov till halvmåneformade områden med växelvis störda och ostörda områden. Jämför med Figur 4 och Figur 6 där dessa effekter genererar enklare och mer intuitiva geometriska områden.



Figur 8 Radarsensorer placerade inom det markerade området kan detektera målet

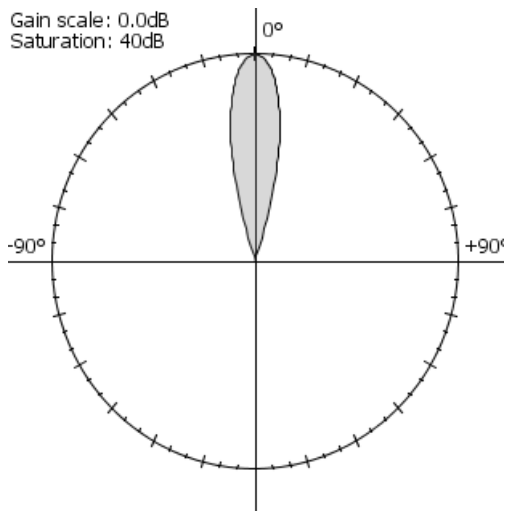
För en sensor med fler sidlobar får yttäckningen fler halvmåneformade områden. I Figur 9 visas ett exempel med *rectangular lobe* antennen som användes i Figur 7.



Figur 9 Yttäckning för placering av en radarsensor med *rectangular lobe*.

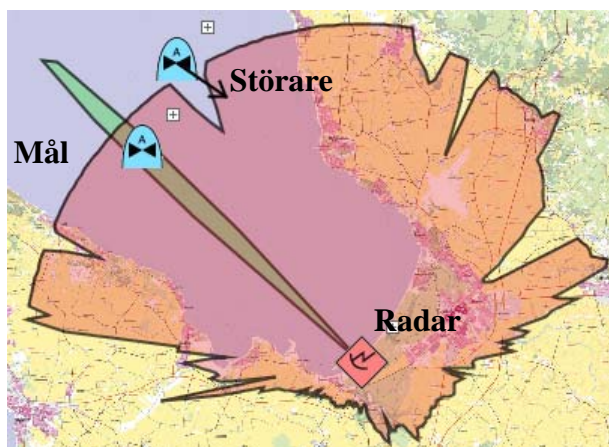
Riktad störning

För att få effektiv men begränsad störning kan man använda riktad störning. Störningen riktas genom att antenndiagrammet har olika dämpning i olika vinklar. Figur 10 visar ett exempel på *exponential lobe* algoritmens azimuth dämpning. Lobbredden är 10 grader.

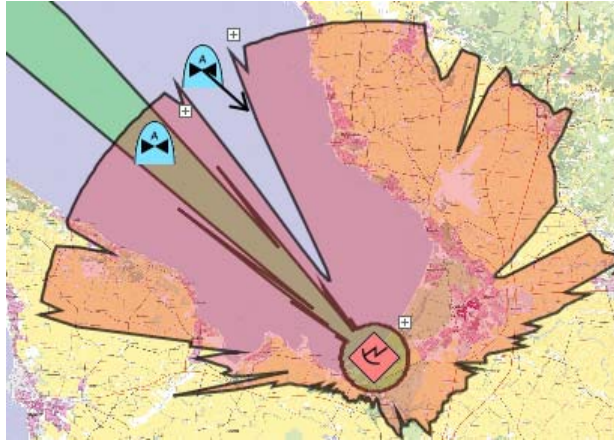


Figur 10 Azimuth diagram för *exponential lobe*.

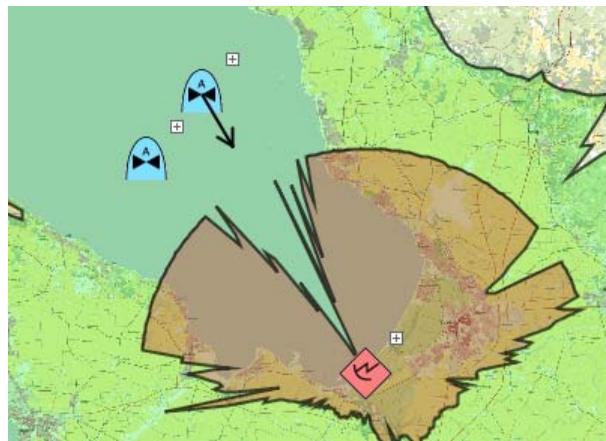
Nedan visas yttäckning för radarsensorn och radarstöraren enl. ovan. Figur 11 visar störeffekten då störaren inte är riktad mot radarsensorn. I Figur 12 är störaren vänd nog mycket mot sensorn för att effekten ska bli synlig. När störaren riktas rakt mot sensorn i Figur 13 blir räckvidden så begränsad åt alla håll att störarens position inte spelar någon större roll förutsatt att störaren når sensorn.



Figur 11 Visar effekten av radarstörningen då störaren inte är riktad mot sensorn. Rött område visar sensorns yttäckning medan grönt visar möjligt positionsområde för störaren för att gömma målet.



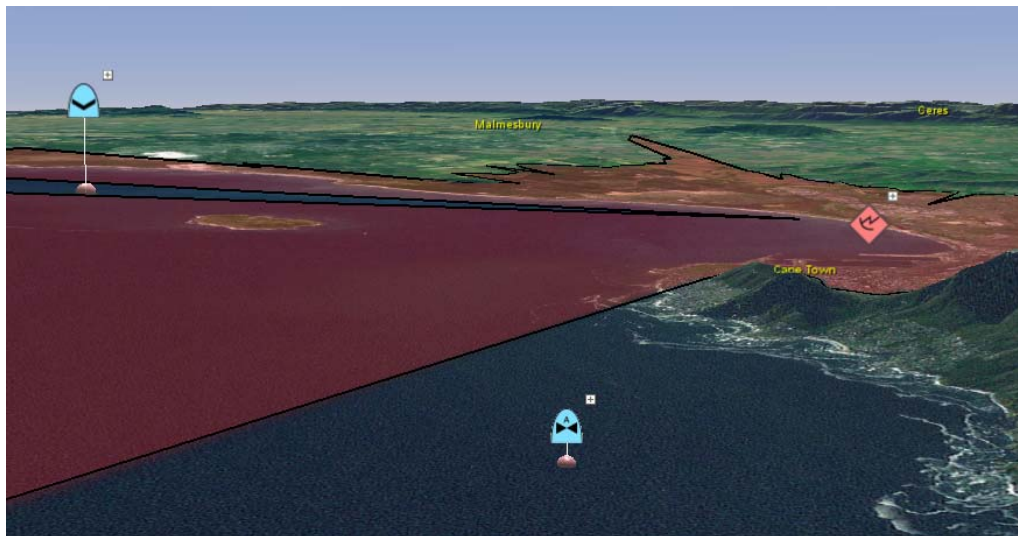
Figur 12 Visar hur effekten av radarstörningen blir märkbar då störaren är vänd mot sensorn. Rött område visar sensorns yttäckning medan grönt visar möjligt positionsområde för störaren för att gömma målet.



Figur 13 Visar att störning med optimal vinkel ger en kraftig störning. Rött område visar sensorns yttäckning medan det gröna området visar att störarens position inte spelar någon större roll.

Yttäckning i 3D

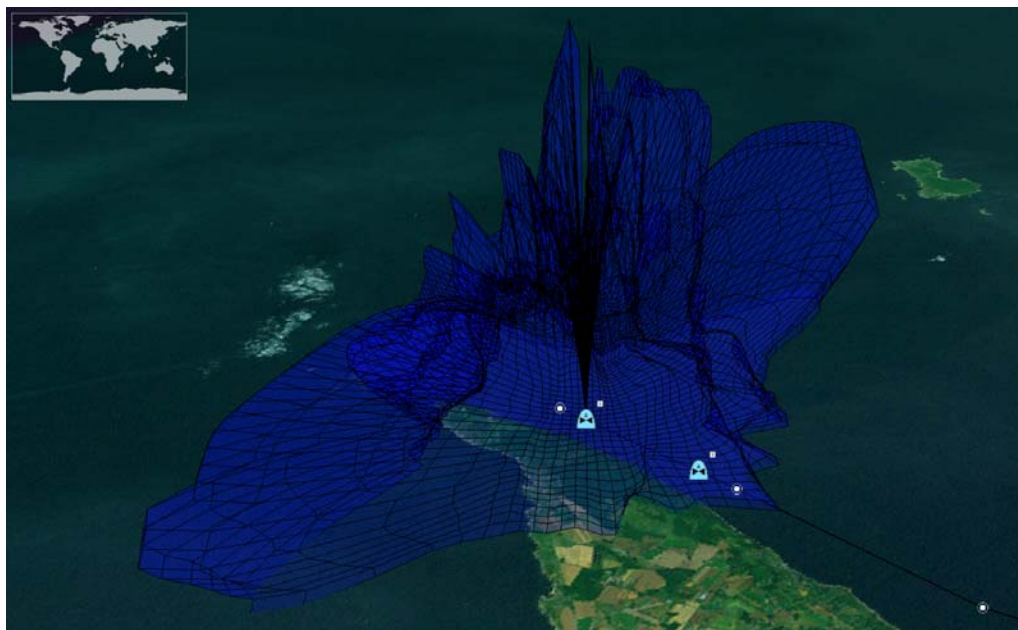
Radardiagrammen kan även visas i 3D. Figur 14 visar yttäckning för en radar vid Kapstaden. De höga bergen som skymmer radarn kan ses tack vare 3D vyn med terräng.



Figur 14 Yttäckning för en radar placerad vid Kapstaden. Radarn är delvis skyddad från vattnet av höga berg.

Volymtäckning

Volymtäckning kan också beräknas baserat på teorin beskriven tidigare i det här kapitlet. Utgående från ett objekt beräknas radarekvationen på en uppsättning strålar i ett antal azimuth- och elevationsvinklar. Baserat på RCS, antennlobber och störare beräknas ett genombrottsavstånd i alla vinklar där detektion av målet är möjligt. Den volym som dessa genombrottsavstånd ger visas som en volymtäckning. Figur 15 visar volymen med möjliga positioner för en radaremitter där en helikopter med RCS data kan detekteras. I det här exemplet är ingen störning på.



Figur 15 Volymtäckning som beskriver upptäcktsområde för en helikopter med RCS från datafil.

2.4 Upptäcktsområde med elektrooptisk målsökare

Planeringsverktyget används för att bestämma varifrån ett objekt med en given IR-signatur är synligt för vapen med elektrooptisk (EO) målsökare. Målobjekt och målsökare är parametersatta och den ena av dem befinner sig på en given position. Om målobjektets position är känd är uppgiften att ta reda på från vilka positioner på en given höjd över marken en robotskytt kan avfira sitt vapen, och om målsökarens position är känd blir uppgiften att bestämma de positioner på en given höjd ett målobjekt kan befinna sig för att målsökaren ska kunna låsa på det. För att pålåsning skall kunna ske måste i båda fallen fri sikt råda och SNR måste överstiga tröskelvärde, T_{SN} .

2.4.1 Teori

Signal, S:

$$I_P = I_R A \Omega \approx I_R A \left(\frac{\phi^2 / 2}{4\pi d} 4\pi \right) = I_R A \frac{\phi^2}{2d^2}$$

där

I_P	mottagen effekt [W]
I_R	radians från målet [$\text{W m}^{-2} \text{sr}^{-1}$]
A	area på mål [m^2]
ϕ	diameter på mottagande appertur [m]
d	avstånd [m]

Brus, N

$$P_{RMS} = NEI \frac{\phi^2}{2}$$

där

P_{RMS}	bruseffekt [W]
NEI	noise equivalent irradiance [W m^{-2}]
ϕ	diameter på mottagande apertur [m]

Signal till brusförhållande, SNR, med hänsyn tagen till Beer's lag $\{\tau = \exp(-\alpha d / 1000)\}$, där α är extinctionskoefficient [km^{-1}], och d är avstånd [m] :

$$SNR = \frac{I_P}{P_{RMS}} \exp\left(-\frac{\alpha d}{1000}\right) = \frac{I_R A}{d^2 NEI} \exp\left(-\frac{\alpha d}{1000}\right)$$

$I_R A$ är målets signatur och fås ur tabell med olika ingångsvärden beroende på hur data för specifika mål har erhållits. Typiskt kan signaturen vara beroende av t. ex. våglängdsband, motoreffekt, azimut och elevation.

För att roboten skall kunna låsa på måste SNR överstiga ett tröskelvärde, T_{SN} .

2.4.2 Indata

Indata till diagram för upptäcktsområde med EO-målsökare bestäms i diagrammets *properties*-dialog. De parametrar som är unika för diagramtypen presenteras i Tabell 5. Parametervärden som hämtas från de objekt som länkas till som sensor och mål presenteras i Tabell 6 respektive Tabell 7. Eftersom fri sikt krävs bygger täckningsdiagrammet på ett *line-of-sight*-diagram. Indata som är gemensam för alla *line-of-sight*-diagram presenteras i Tabell 1, avsnitt 2.1.2.

Parameternamn	Defaultvärde	Beskrivning
Sensor		Länk till målsökarobjektet, som ska vara av typ EOSensor
Target		Länk till målobjektet, som ska vara av typ Platform
ExtinctionCoeff	0.4	Atmosfärsdämpning [km^{-1}]
EngineIndex	0	Motoreffektindex
Thrust	0	Gaspådrag hos målobjekt, används enbart om målobjektet är av typ JAS
TargetAzimuth	0	Azimuthvinkel hos målobjekt i [$^{\circ}$]. Används om målobjektets position är den okända.

Tabell 5 Attribut för beräkning av diagram för upptäckt av mål med EO-målsökare

Parameternamn	Defaultvärde	Beskrivning
NEI	10^{-7}	Noise equivalent irradiance [W m^{-2}]
SNRThreshold	8	Tröskelvärde för signal-brusförhållande
ThreatType	M1B	Hottyp. Det finns fyra namnkodade typer att välja på. Används för att avgöra vilket våglängsband som används

Tabell 6 Attribut hos EO-målsökare som används för beräkning av diagram

Parameternamn	Defaultvärde	Beskrivning
IRSignatureData		Definierar en tabell eller en sökväg till fil som innehåller tabell med IR-signaturdata för objektet. Se avsnitt 2.4.3
Type		Om IRSignatureData lämnas tom används objektets entitetstyp för att definiera en fil med default-signatur för objekt av den typen.

Tabell 7 Attribut hos målobjekt som används för beräkning av diagram

2.4.3 Signatur hos målobjekt

Signaturdata för entiteter definieras i tabeller med ett format som visas i Bilaga 1. Användandet av dessa tabeller sätts upp i plattformens parameterfält IRSignatureData, där kan man välja att antingen direkt ange en tabell eller att ange filnamn med sökväg till en signaturtabell. Då en tabell skrivs in direkt anges det genom att parametervärdet påbörjas med taggen TABLE, och på motsvarande sätt markerar taggen FILE att parametern anger en filsökväg. Då taggen FILE används kan man även välja att kombinera tabellvärden

tagna från flera filer. Filerna separeras då med semikolon, ”!” markerar att azimutintervallet är [0 180] och ”-” markerar att azimutvinkeln i tabellen ska byta tecken. Ett exempel på parametersättning kan vara:

```
FILE !IrSignatureData/engine1.inc;!-IrSignatureData/engine1.inc
```

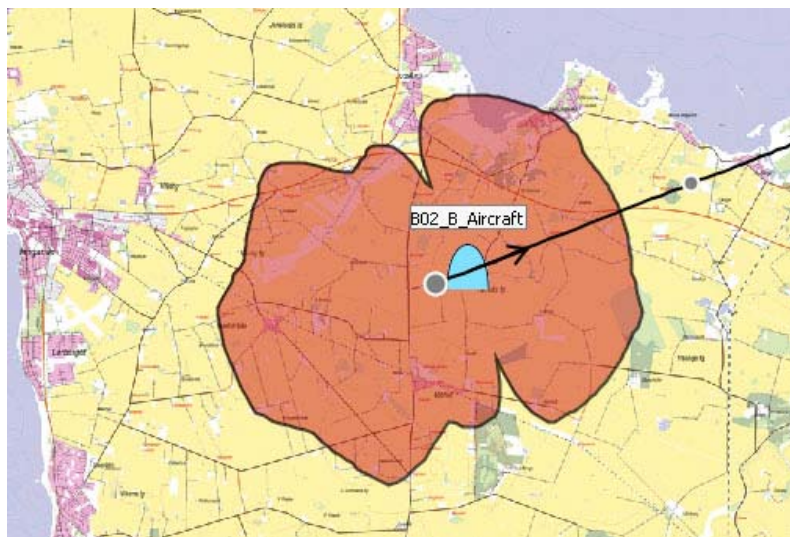
som betyder att i azimutintervallet 0-180 grader hämtas data från filen IrSignatureData/engine1.inc, och i azimutintervallet -180-0 grader hämtas data från samma fil, men att tabellen speglas.

För de tre målmodellerna JAS, Hkp10 och Tp84 finns mer utförliga signaturmodeller inlagda. Dessa hämtar tabelldata från flera filer. Ska någon av dem användas anges taggen FILESET + typ i fältet för IrSignaturData, dvs. för JAS skrivs ”FILESET JAS”, för Tp84 skrivs ”FILESET Tp84” och för Hkp10 skrivs ”FILESET Hkp10”.

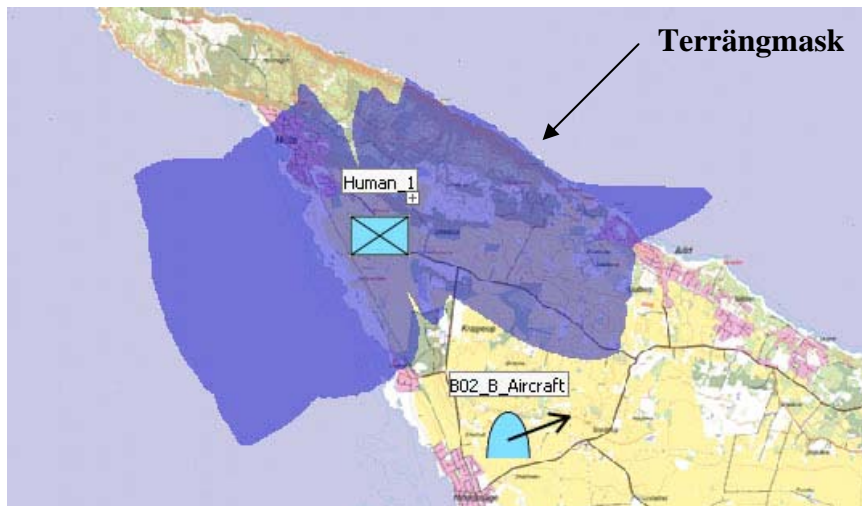
Lämnas fältet IrSignatureData tomt hämtas signaturtabeller baserat på plattformens entityType från en fil i mappen IrSignatureData innehållande default tabelldata för ett objekt med den entityTypeen. Namngivningen är sådan att exempelvis en plattform med entityType 1:2:0:0:0:0 söker efter filen 1_2_0_0_0_0_0.txt. Innehållet i dessa filer följer samma regler som parametern IRSignatureData, och kan alltså ha taggarna TABLE, FILE eller FILESET.

2.4.4 Presentation

Modulen letar efter den area inom vilken en robotskytt har fri sikt och S/N överstiger tröskelvärdet, T_{SN} . EO-sensors upptäcktsområde visualiseras som ett polärt täckningsdiagram projicerat på en 2D-karta. Typiskt utseende från simulering visas i Figur 16 och Figur 17. I Figur 16 visar rödmarkerat område terrängområden där en IR-sensor på en höjd given av *ObjectHeight* över marken kan upptäcka flygplanet, som i det här fallet befinner sig på ungefär 600 m höjd. I Figur 17 visar blåmarkerat område terrängområde där IR-sensorn kan upptäcka ett flygplan på 150 m höjd.

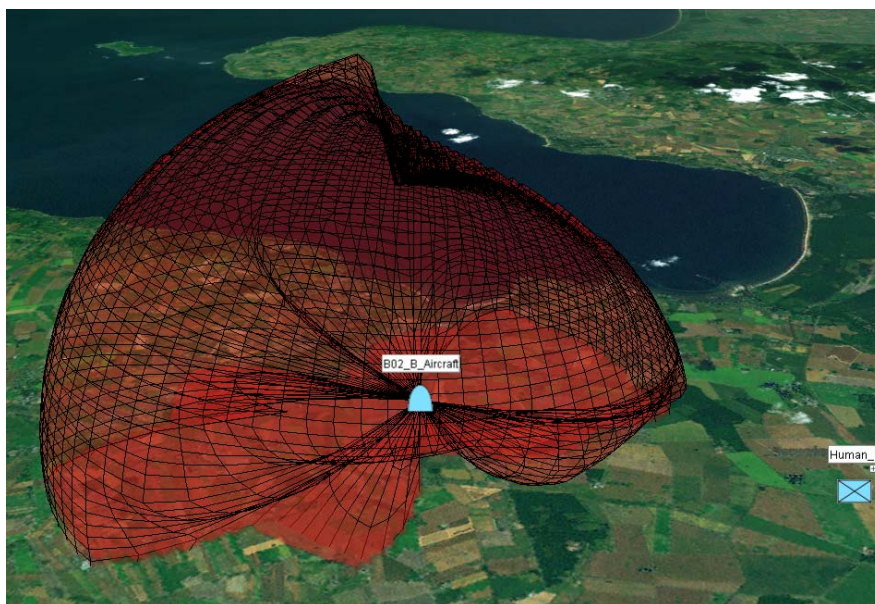


Figur 16 Diagram för upptäckt med EO-målsökare. Rött område markerar terräng där flygplanet kan bli upptäckt av en EO-målsökare.



Figur 17 Diagram för upptäckt med EO-målsökare. Blått område markerar terräng där målsökaren kan upptäcka ett flygplan riktat så som indikeras av flygplansobjektet.

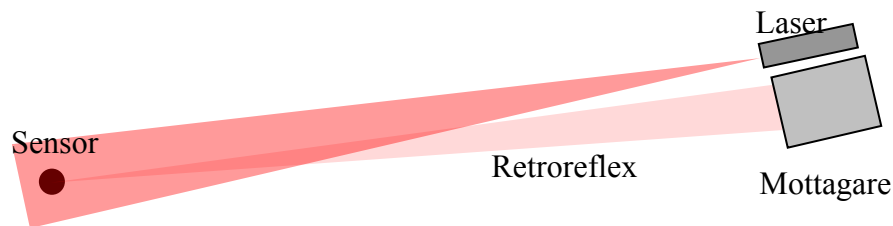
Samma teori och diagramparameterar kan användas för att visa ett volymtäckningsdiagram i 3D för vinklar i både azimuth- och elevationsled. I Figur 18 visas samma situation som tidigare men med volymtäckning. Den rödmarkerade volymen är det område där en IR-sensor kan upptäcka flygplanet.



Figur 18 Sfäriskt volymtäckningsdiagram för upptäckt med EO-målsökare. Rött område markerar terräng där flygplanet kan bli upptäckt av en EO-målsökare.

2.5 Optikspaning

Planeringsverktyget används för att visa var en optikspanare kan se en viss sensor. Ingående delar är en optisk sensor och en optikspanare med laser och mottagare, se Figur 19. Sensorn är riktad mot lasern (kan t.ex. vara ett sikte som används för att spana mot plattformen där optikspanaren sitter eller en optisk målsökare som är låst mot plattformen). Lasern belyser sensorn och registrerar strålningen som reflekteras i sensorn (retroreflex).



Figur 19 Schematisk beskrivning av förhållandet optikspanare/ målsensor

2.5.1 Frågeställningar

- (1) Givet positionen på lasern (optikspanaren), inom vilket område kan sensorn detekteras?
- (2) Givet positionen på sensorn, inom vilket område kan lasern vara placerad för att upptäcka sensorn?

Frågorna (1) och (2) är olika formuleringar av samma fråga, d.v.s. de kommer båda att ge samma svar. Lasern och sensorn kan byta plats utan att något förändras.

2.5.2 Teori

Irradiansen, E_{retro} , vid den mottagande sensorn (vid lasern) till följd av retroreflexen ges av laserradarekvationen:

$$E_{retro} = \frac{4P_l \eta_l t_A}{\pi \phi_l^2 d^2} \cdot \eta_s^2 A_\Delta \cdot \frac{\eta_m t_A}{d^2} = \frac{4P_l \eta_l \eta_s^2 \eta_m A_\Delta \exp(-\alpha d/1000)^2}{\pi \phi_l^2 d^4}$$

där

P_l	lasereffekt [W]
ϕ_l	laserdivergens [rad]
η_l	laserns transmission
η_s	sensorns transmission
η_m	mottagarens transmission
A_Δ	sensorns lasermålarea [m^2/sr]
d	avstånd [m]
α	extinktionskoefficient (dämpning i atmosfär) [km^{-1}]

För detektion krävs att förhållandet mellan irradiansen framför den mottagande sensorn och brusirradiansen överstiger ett tröskelvärde som ges av användaren.

2.5.3 Indata

Eftersom fri sikt krävs för optikspanaren, bygger yttäckningsdiagrammet på ett *line-of-sight*-diagram. De parametrar som är unika för optikspaning presenteras i Tabell 8. Parametervärden hämtas även från de objekt som länkas till som sensor, laserkälla och mål. De värden det gäller presenteras i Tabell 9, Tabell 10 och Tabell 11. Eftersom fri sikt krävs bygger yttäckningsdiagrammet på ett *line-of-sight*-diagram. Indata som är gemensam för alla *line-of-sight*-diagram presenteras i Tabell 1, avsnitt 2.1.2.

Parameternamn	Defaultvärde	Beskrivning
SensorOpticsSurveillanceUnit		Länk till optikspanarobjektet, som ska vara av typ OpticsSurveillance och ha underobjekt för sensor och laserkälla av typ EOSensorOptics respektive LaserSourceExtended
TargetOptics		Länk till den optiska sensor som är målobjekt, ska var av typen EOSensorOptics
ExtinctionCoeff	0.4	Atmosfärsdämpning [km^{-1}]

Tabell 8 Attribut för optikspanardiagram

Parameternamn	Defaultvärde	Beskrivning
NEI	10^{-7}	Noise equivalent irradiance [W m^{-2}]
SNRThreshold	8	Tröskelvärde för signal-brusförhållande
OpticsTransmission	1.0	Optikens transmission

Tabell 9 Attribut hos optikspanares optiska sensor som används för beräkning av diagram

Parameternamn	Defaultvärde	Beskrivning
Power	10^{-7}	Lasereffekt [W]
Transmission	1.0	Laserkällans transmission
Divergence	1.0	Laserdivergens [rad]

Tabell 10 Attribut hos optikspanares laserkälla som används för beräkning av diagram

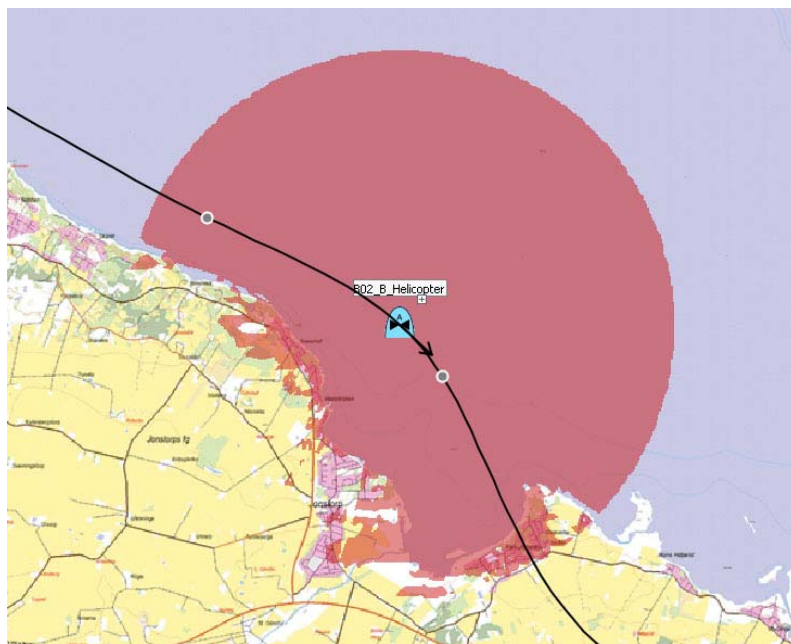
Parameternamn	Defaultvärde	Beskrivning
LaserTargetArea	1.0	Optikens lasermålarea [m^2/sr]
OpticsTransmission	1.0	Optikens transmission

Tabell 11 Attribut hos målsensor som används för beräkning av diagram

2.5.4 Presentation

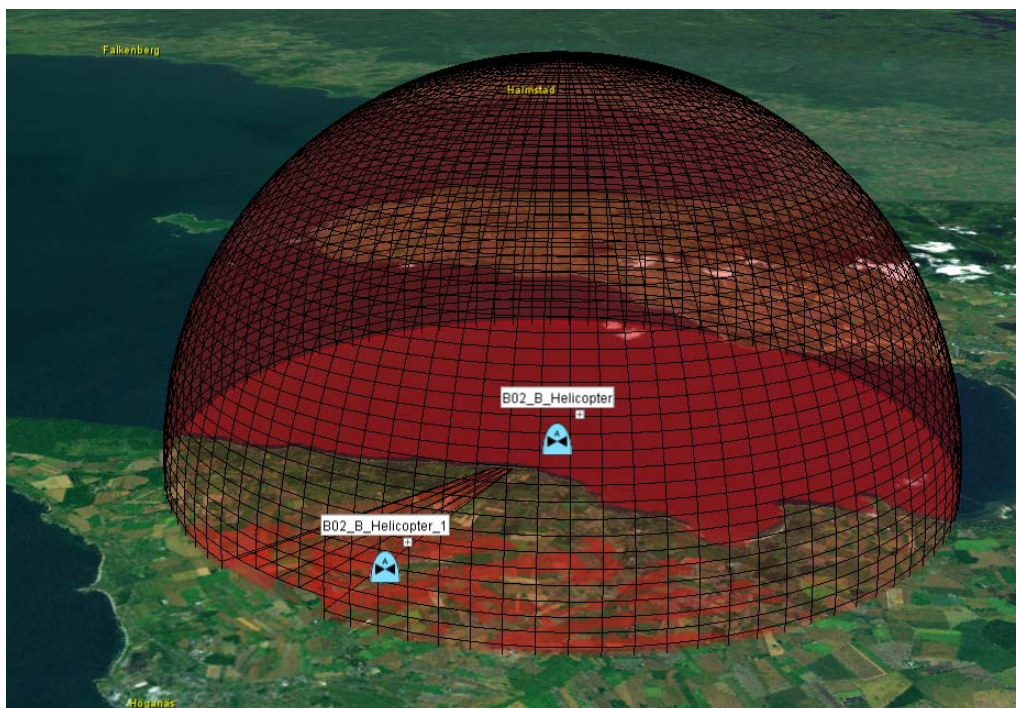
Diagrammet bygger på *line-of-sight*-diagrammet, och visualiseras som ett polärt yttäckningsdiagram projicerat på en 2D-karta. Typiskt utseende från en simulering visas i Figur 20. Optikspanare på helikoptern på dess givna position utmed banan kommer att kunna se optiska sensorer på en höjd över marken angiven i *ObjectHeight* inom det

rödmarkerade området. Eftersom situationen blir densamma om optikspanare och sensor byter plats, blir det rödmarkerade området likadant om det som visas är det terrängområde där en optikspanare på en höjd *ObjectHeight* över marken upptäcker optik på helikoptern.



Figur 20 Presentation av ett yttäckningsdiagram för optikspanare. Optikspanare på helikoptern i centrum av diagrammet kan detektera optik inom det röda området.

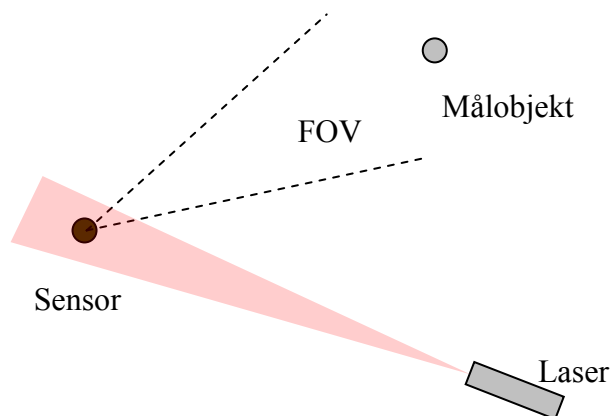
I Figur 21 visas samma situation som tidigare men som en volymtäckning, där gränsavståndet för när en optikspanare upptäcker en optisk sensor beräknats för både olika azimuth- och elevationsvinklar. Den rödmarkerade volymen är det område där optik kan detekteras.



Figur 21 Presentation av sfäriskt volymtäckningsdiagram för optikspanare. Optikspanare på helikoptern i centrum av diagrammet kan detektera optik inom det röda området.

2.6 Optisk sensor störd med bländlaser

Planeringsverktyget används för att visa laserstörverkan för olika inbördes placering av laser, sensor och målobjekt. Den optiska sensorn är placerad i terrängen och överblickar ett område. Lasern är riktad mot sensorn och belyser sensorn för att blända ut den, se Figur 22 nedan. Frågeställningen gäller hur man ska kunna blända en sensor eller själv undgå bländning.



Figur 22 Riktad optisk sensor störd med bländlaser

2.6.1 Frågeställningar

(1a) Givet en viss sensorplacering (position och inriktning), var kan man placera lasern för att blända ut sensorn?

(1b) Givet en viss sensorplacering samt ett mål som observeras av sensorn, var kan man placera lasern för att få störövertikt? Målets strålning är given. Störövertikt sätts valfritt, t.ex. en faktor 1 eller en faktor 30.

(2) Givet placeringen av lasern och positionen på ett mål som ska observeras av sensorn, var kan sensorn placeras för att undgå bländning? För att kunna observera/verka mot målet (ange störövertikt) då målstrålningen är känd?

(3) Givet positionen på lasern och positionen på sensorn, vilket målområde blir utbländat?

Lasereffekten är i samtliga fall given från början (väljs av användaren).

2.6.2 Teori

Laserns irradians, $E_{l,ap}$, vid sensoraperturen som funktion av avståndet, d , mellan laser och sensor, ges av:

$$E_{l,ap}(d) = \frac{P_{l,ap}(d)}{A_{beam}(d)} = \frac{4P_l \cdot \eta_l \cdot \eta_s \cdot \exp(-\alpha \cdot d/1000)}{\pi\phi_l^2 d^2}$$

där

P_l	lasereffekt [W]
ϕ_l	laserdivergens [rad]
η_l	laserns transmission

η_s	sensors transmission (kan ersättas med våglängdskänslighet)
d	avstånd [m]
α	extinktionskoefficient (dämpning i atmosfär) [km^{-1}]

För att avgöra om sensorn bländas av lasern jämförs laserirradiansen med sensors NEI. Följande fall kan förekomma:

A. Innanför synfältet på en stirrande sensor.

Blomningseffekter bländar ut sensorn vid tillräckligt kraftig belysning. Detta antas gälla vid en nivå som ges i förhållande till sensors NEI (för punktmål). Faktorn ligger i storleksordningen 10^{10} .

B. Utanför synfältet på en stirrande sensor.

Sensorn bländas av ströljus vid kraftig belysning. Hur mycket effekt som når ett givet detektorelement bestäms av PST, Point source transmittance, för optiken. PST:n antas vara samma för alla detektorelement och endast bero av vinkeln mellan sensors LOS och laserns infallsriktning. Den infallande irradiansen multipliceras med PST:n och resultatet jämförs med sensors NEI. För utbländning krävs en faktor högre än NEI, en faktor som anges som sensors dynamik, vanligen i storleksordningen 10^5 .

C. Skannande sensor.

En skannande sensor bländas av ströljus vid kraftig belysning. Beskrivningen sker som i fall 2 som en första uppskattning. Verkligheten torde dock vara mer komplicerad med en skannande optik. I fallet med en skannad optik bör dessutom alltid FOV/2 adderas till vinkeln mellan LOS och laserns infallsriktning vilket svarar mot att detektorn är längst ut i synfältskanten (bort från lasern).

Obs att NEI för sensorn förutsätter punktmål. PST-beskrivningen av ströljuset ska innefatta att målet inte är ett punktmål utanför synfältet (då ljuset sprids). PST:n anger hur stor del av strålningen som når ett enda detektorelement i sensorn.

I de fall som man inte är intresserad av en total bländning av sensorn beräknas irradiansen på sensorn från ett givet mål, för att sedan relateras till laserstrålningen. Målets irradians, $E_{m,ap}$, ges av:

$$E_{m,ap} = \frac{I_m \cdot \eta_s \cdot \exp(-\alpha \cdot d/1000)}{d^2}$$

där

I_m	målets intensitet [W/sr] (tas från tabell s.f.a. aspektvinkel m.m.)
η_s	sensors transmission (kan ersättas med våglängdskänslighet och integration över alla våglängder)
d	avstånd [m]
α	extinktionskoefficient (dämpning i atmosfär) [km^{-1}]

2.6.3 Indata

Inmatning för all indata som behövs för diagrammen är samlad i *properties*-dialogen. Förutom inställningar baserade på *line-of-sight*-diagrammet behövs de data som listas i Tabell 12. Parametervärden hämtas även från de objekt som länkas till som sensor, laserstörare och mål. De värden det gäller presenteras i Tabell 13, Tabell 14 och Tabell 15. Eftersom fri sikt krävs bygger yttäckningsdiagrammet på ett *line-of-sight*-diagram. Indata som är gemensam för alla *line-of-sight*-diagram presenteras i Tabell 1, avsnitt 2.1.2.

Parameternamn	Defaultvärde	Beskrivning
Jammer		Länk till laserstöraren, som ska vara av typ LaserSourceExtended
Sensor		Länk till sensorn, som ska vara av typ EOSensorOptics
Target		Länk till målet, som ska vara av typ Platform
ExtinctionCoeff	0.4	Atmosfärsdämpning [km^{-1}]

Tabell 12 Indata för störning med bländlaser

Parameternamn	Defaultvärde	Beskrivning
NEI	10^{-7}	Noise equivalent irradiance [W m^{-2}]
SNRThreshold	8	Tröskelvärde för signal-brusförhållande
OpticsTransmission	1.0	Optikens transmission
FOV	5.0	Sensors <i>Field of view</i> , synfält [$^{\circ}$]
SensorDynamics	10000	Sensors dynamik
SensorBlooming	10^{10}	Sensors tröskelnivå för att blomningseffekt ska uppstå
SensorPstAtFovEdge	0.01	<i>Point source transmittance</i> vid synfältskanten
SensorPstFalloff	8.0	PST avtagandegrad i förhållande till infallsvinkel

Tabell 13 Attribut hos sensorn som används för beräkning av diagram

Parameternamn	Defaultvärde	Beskrivning
Power	10^{-7}	Lasereffekt [W]
Transmission	1.0	Laserkällans transmission
Divergence	1.0	Laserdivergens [rad]

Tabell 14 Attribut hos laserstöraren som används för beräkning av diagram

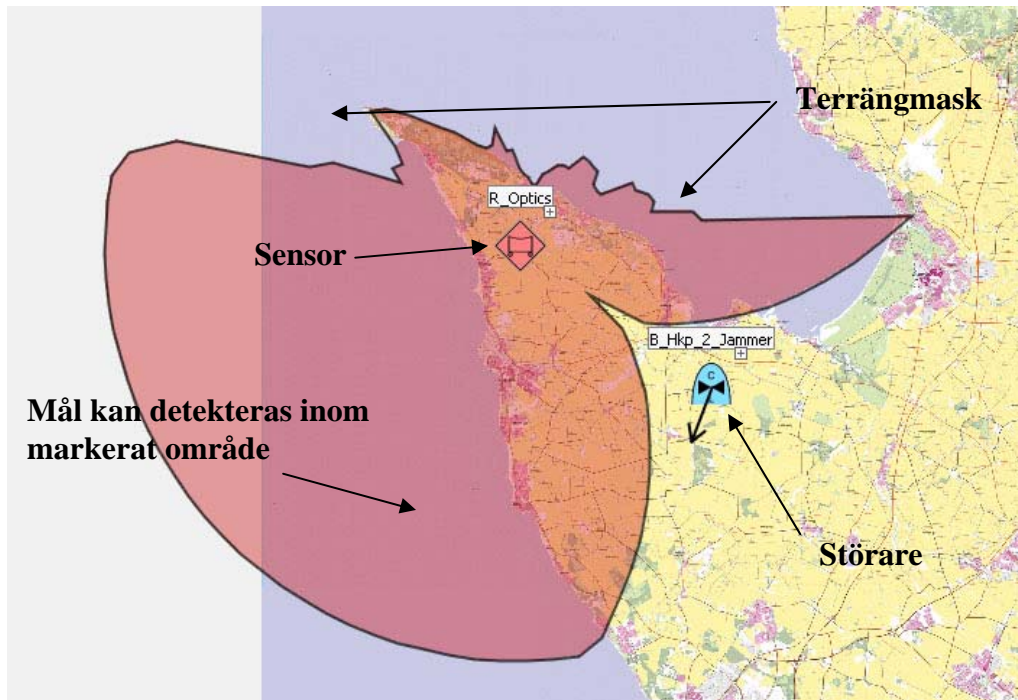
Parameternamn	Defaultvärde	Beskrivning
IRSignatureData		Målplattformens signatur [W/sr]

Tabell 15 Attribut hos målet som används för beräkning av diagram

Förutom inställningar baserade på *line-of-sight*-diagrammet behövs de data som listas i Tabell 12. För mer ingående beskrivningar se avsnittet Teori ovan.

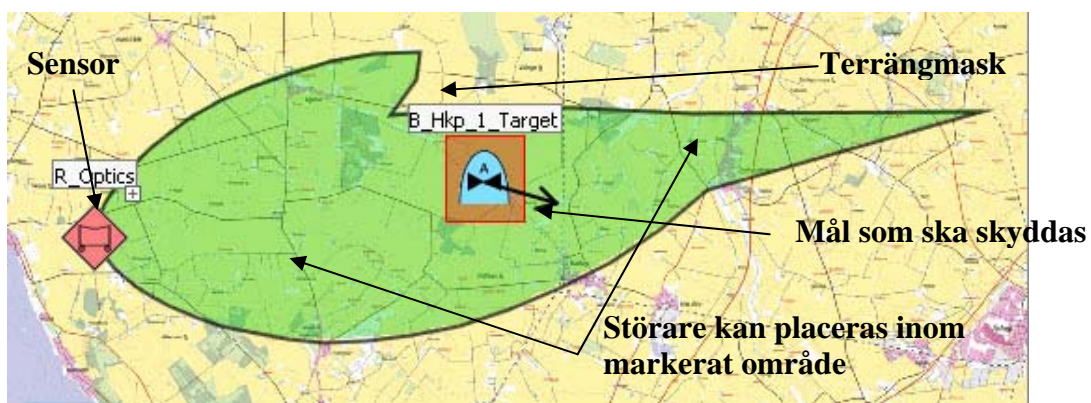
2.6.4 Presentation

Precis som i fallet där radarn störs av brus finns här tre olika fall för vilka positioner som är kända och vilken som ska visas i diagrammet. Någon av sensorn, störaren eller målet har en okänd position för vilken det genereras ett diagram. Diagrammet visar vilka positioner som ger upphov till att sensorn kan detektera eller inte detektera målet. På samma sätt som radardiagrammet bygger detta diagram på *line-of-sight*-diagrammet och dess beräkningar för vilka områden som skuggas av terrängen.



Figur 23 Optiska sensorn kan detektera mål inom markerat område

Fallet då sensorns och störarens positioner är kända visas i Figur 23. Mål som befinner sig inom det markerade området kommer att detekteras av sensorn. Diagrammet gäller för mål på 150 meters höjd som uppvisar den signaturintensitet som angetts i diagraminställningarna. Störaren är flygburen på 150 meters höjd medan sensorn befinner sig 5 meter över terrängens yta. Den yttre gränsen ut över havet är ostörd och beror enbart på sensorns förmåga att se genom atmosfären. I övre delen av bilden framgår hur terrängen skymmer delar av sensorns möjliga synfält. Själva störningen påverkar endast delarna av diagrammet på högra sidan i figuren. Den smala kil vars spets pekar mot sensorn är det område där störaren kommer att befinna sig innanför sensorns synfält. Då kan blomningseffekter blända sensorn eller så kan lasern få störövertikt gentemot målet. De övriga delarna av det störda området beror på att ströljus bländar sensorn. Gränsen då detta inträffar syns som två symmetriska bågar speglade i linjen mellan störare och sensor.

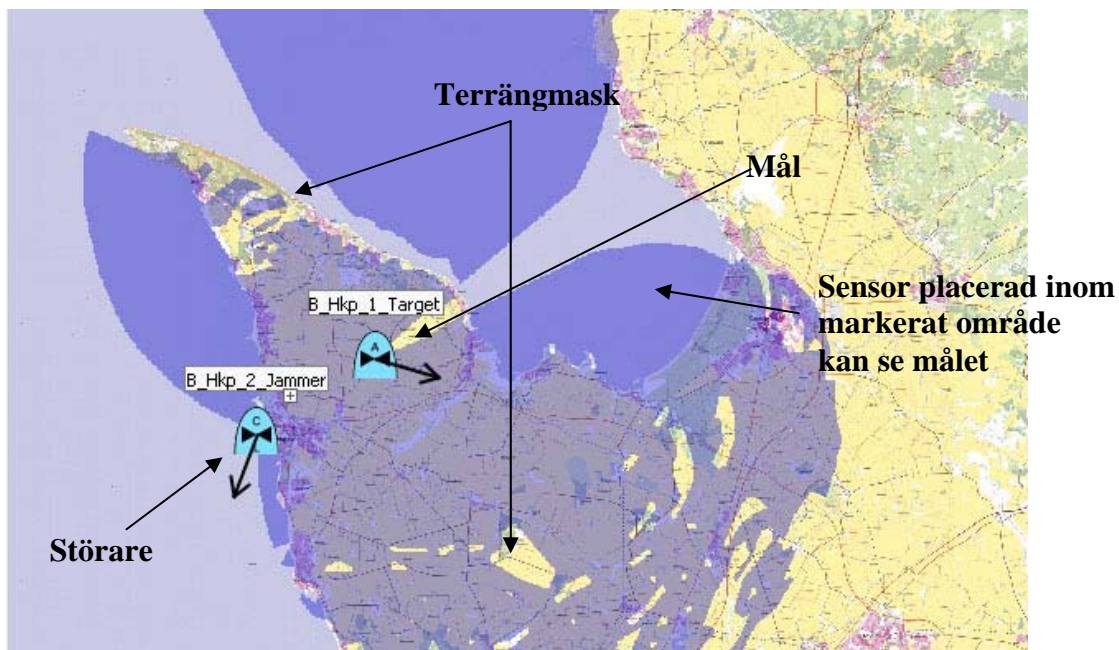


Figur 24 Optiska sensorn kan inte detektera målet om en störare placeras inom markerat område

Med kända positioner för sensor och mål kan man som i Figur 24 få ett diagram som visar var en bländlaser kan placeras för att störa ut sensorn. I figuren befinner sig sensorn 5 meter över terrängytan medan målet är flygandes på 150 meters höjd. Även störarens diagram avser höjden 150 meter. För det smalare området, bort från sensorn, befinner sig störlasern i sensorns synfält och kan antingen få störövertikt eller blända ut sensorn. Då

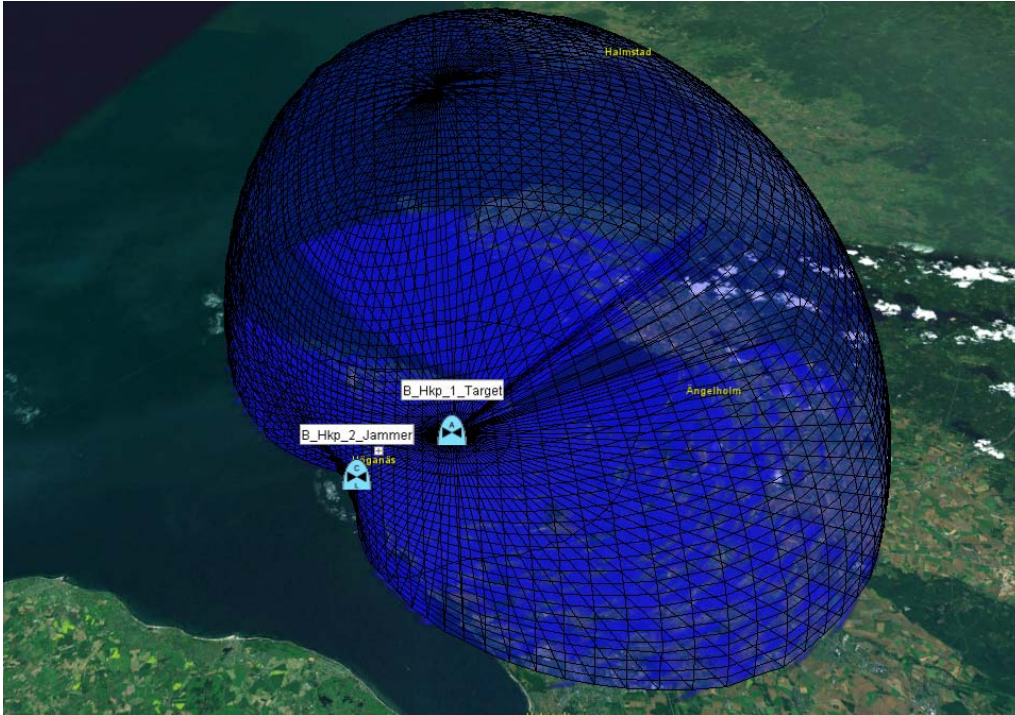
störaren hamnar utanför sensorns synfält kan störning endast ske med bländning i form av ströljus, vilket ger det ovala störområdet närmare sensorn.

När sensorn inte är positionsbestämd utgår man istället från mål samt störare och får då vad som visas i Figur 25. Området för upptäckt gäller för en sensor 5 meter över terrängytan. Mål och störare befinner sig på 150 meters höjd. Då sensorn hela tiden antas vara riktad mot målet är det sensorns avstånd och vinkel mot bländlasern som skapar diagrammets utseende. Utseendet är förutom terrängmask helt symmetriskt eftersom målet här har en signatur oberoende av betraktningvinkel. Med riktningberoende signatur blir det svårare att tolka diagrammets geometriska utseende. Bäst störverkan fås för positioner längs en linje genom mål och störare, därefter avtar förmågan till störning med ökat avstånd från denna linje. Områden mellan bländlaser och mål kan av naturliga skäl inte störas då lasern träffar sensorn bakifrån. Det speciella fallet med lasern inom sensorns synfält gestaltar sig här som ett ovallt område på bortsidan av målet från störaren sett.



Figur 25 Optiska sensorer placerade inom det markerade området kan detektera målet.

I Figur 26 visas samma situation som i Figur 25, men som en volymtäckning där gränsavståndet för när en sensor påverkad av störare upptäcker ett mål beräknats för både olika azimuth- och elevationsvinklar. Den blåmarkerade volymen är det området där en sensor måste vara placerad för att kunna upptäcka målet.



Figur 26 Sfäriskt volymtäckningsdiagram med laserstörare och mål. Optiska sensorer placerade inom det markerade området kan detektera målet.

2.7 Laservarnare

Ingående delar är en laser och en sensor/varnare. Lasern kan t.ex. tänkas vara en laserledstråle för att styra en missil mot ett mål.

2.7.1 Teori

De fysikaliska samband som gäller för detektion av laserstrålning i en sensor är samma som i avsnittet 2.6.2 ovan om laserstörning. Här jämförs dock irradiansen, $E_{l,ap}$, med en detektionsnivå i stället för en nivå för bländning.

2.7.2 Indata

Inmatning för all indata som behövs för diagrammet är samlad i *properties*-dialogen och visas i Tabell 16. Parametervärden hämtas även från de objekt som länkas till som sensor och mål. De värden det gäller presenteras i Tabell 17, respektive Tabell 18. Eftersom fri sikt krävs bygger yttäckningsdiagrammet på ett *line-of-sight*-diagram. Indata som är gemensam för alla *line-of-sight*-diagram presenteras i Tabell 1, avsnitt 2.1.2.

Parameternamn	Defaultvärde	Beskrivning
Sensor		Länk till sensorn, som ska vara av typ EOSensorOptics
TargetLaserSource		Länk till lasern, som ska vara av typ LaserSourceExtended
ExtinctionCoeff	0.4	Atmosfärsdämpning [km^{-1}]

Tabell 16 Indata för laservarnare

Parameternamn	Defaultvärde	Beskrivning
NEI	10^{-7}	Noise equivalent irradiance [W m^{-2}]
SNRThreshold	8	Tröskelvärde för signal-brusförhållande
OpticsTransmission	1.0	Optikens transmission

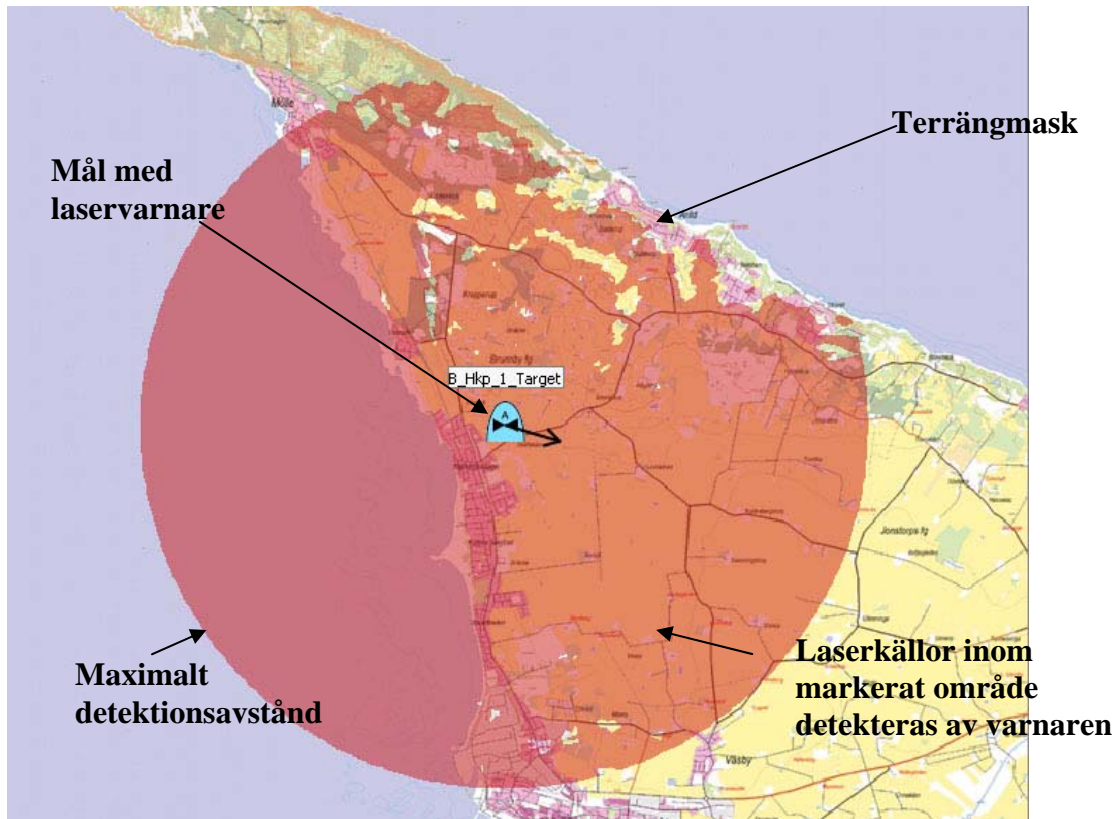
Tabell 17 Attribut hos sensorn som används för beräkning av diagram

Parameternamn	Defaultvärde	Beskrivning
Power	10^{-7}	Lasereffekt [W]
Transmission	1.0	Laserkällans transmission

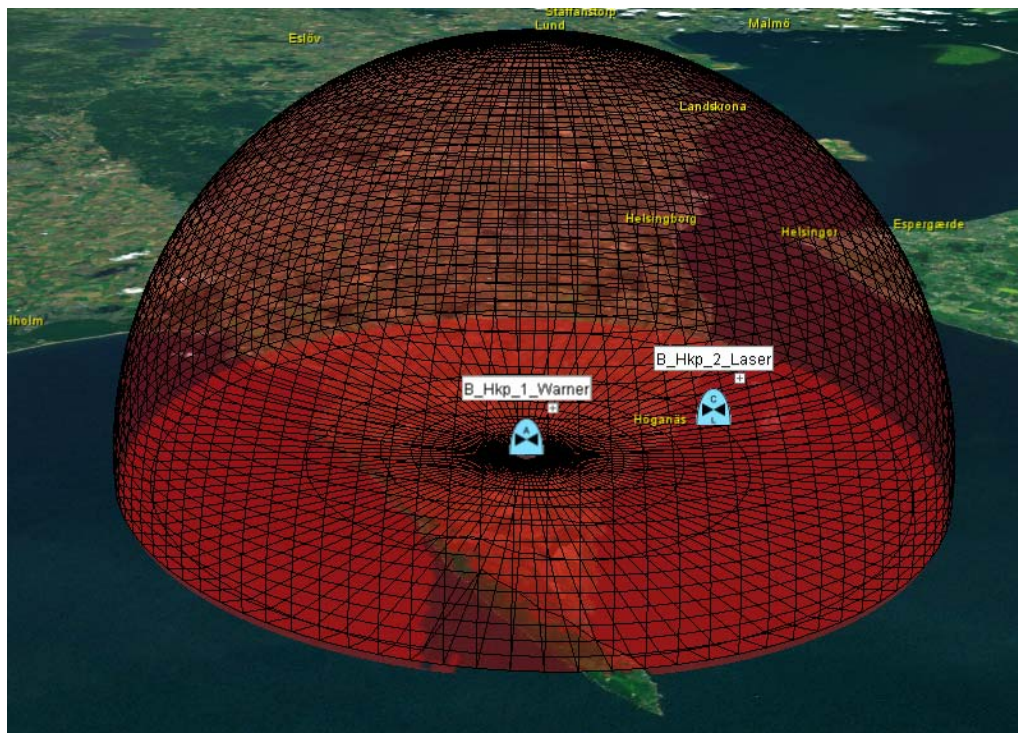
Tabell 18 Attribut hos lasern som används för beräkning av diagram

2.7.3 Presentation

Resultatet presenteras som ett område inom vilket en laserkälla kan detekteras, antaget att laserkällan är riktad mot det mål som varnaren sitter på. Beräkningarna där lasern ingår ger det maximala detektionsavstånd som ger den yttre radien i Figur 27. Utöver detektionsavstånd beräknas var fri sikt mellan laser och varnare finns. Figuren visar en varnare 50 meter över marken som belyses med en laserkälla placerad 1 meter över marknivån. Genomförs beräkningen för en hel volym istället för att använda en specifik höjd på laserkällan fås det volymdiagram som visas i Figur 28. Det rödmarkerade området visar även här det område inom vilket laservarnaren kan detektera en laserkälla.



Figur 27 Laservarnaren i mitten kan detektera en laserkälla placerad inom markerat område.



Figur 28 Sfäriskt volymtäckningsdiagram som visar var laservarnaren kan detektera en laserkälla.

2.8 Kommunikation

Planeringsverktyget för kommunikation används för att se vilken yta som kan täckas för kommunikation. Störsändningar behandlas som brus och minskar en sändares täckningsområde genom att signal-brusförhållandet (SNR) sänks i berörda mottagare. Verktöget beräknar om kommunikation är möjlig givet parametrar hos sändare, mottagare och en eller flera störare som ingår i ett uppsatt scenario. Verktöget kan besvara frågor av typen:

- Givet en sändare och eventuellt en eller flera störsändare, var kan en mottagarenhet placeras för att den ska förmå kommunicera med sändaren.
- Givet en kommunikationslänk (sändare + mottagare) och en störsändare, var kan störaren stå för att få effekt.
- Givet en mottagare och eventuellt en eller flera störsändare, var kan en sändare vara placerad för att få största möjliga område där kommunikation är möjlig.

2.8.1 Teori

Länkdämpning

Enkla länkdämpningar, utan hänsyn till terrängen, erhålls av:

$$L_{bf} = \frac{(4\pi \cdot r)^2}{\lambda^2}, \text{ frirymd, isotropiska antenner.}$$

$$L_{bpe} = \frac{r^4}{(h_T h_R)^2}, \text{ } h_T h_R \ll \lambda r/4, \text{ planjord, isotropiska antenner.}$$

där

L_b	Elementär länkdämpning
λ	våglängd ($\lambda=c \cdot f$)
c	ljushastigheten ($3 \cdot 10^8$ m/s)
f_c	bärfrekvens [Hz]
r	avståndet mellan sändare och mottagare [m]
h_T	sändarantennens höjd.
h_R	mottagarantennens höjd.
POS_R	mottagarens position
POS_T	sändarens position
POL	radiovågens polarisation

Bättre, men långsammare, modeller för länkdämpning som tar hänsyn till höjdprofil och markbeklädnad erhålls av Detvag90 [4]:

$$L_{bDV} = L_{bDV}(f_c, h_T, h_R, POS_R, POS_T, POL)$$

Inparametrar är frekvens, sändarens och mottagarens positioner, sändarens och mottagarens antennhöjder samt radiovågens polarisation. Resultatet är sträckdämpningen mellan sändaren och mottagaren. Detvag90 är ett paket av olika vågutbredningsmodeller. I

våra beräkningar används den s.k. *kvadratrotmodellen* som är en sammanvägning av två modeller; *sfärisk-jord* och *diffraction*.

Sfärisk-jord-modellen tar hänsyn till terräng (d v s till markens ledningsförmåga) men **inte höjd**. Däremot tar man, vilket hörs på namnet, hänsyn till jordens krökning.

En "ren" *sfärisk-jord*-modell innebär att man i många fall - dock inte vid utbredning över öppet hav eller mycket "platt" landskap - **överskattar** sin räckvidd/sambandskvalitet. Hur stor överskattningen är varierar mycket beroende på landskapet men är även beroende av frekvensen.

En diffractionsmodell fungerar så att ett antal knivsegg (dominerande höjder) väljs ut för förbindelsen. Därefter beräknas radiovågornas diffraction (avböjning) över dessa egg för att se hur mycket av signalen som kommer fram till mottagaren. Denna modell tar som synes hänsyn till höjd- men **inte terrängdata**. I våra beräkningar används 3 knivsegg.

Ingen av beräkningarna ovan tar hänsyn till flervägsutbredning. I princip skulle detta vara möjligt, men det skulle medföra en orimligt stor beräkningsbörda och därmed göra yttäckningsberäkningarna så långsamma att interaktiviteten skulle bli begränsad.

Mottagen effekt

Detta är den signaleffekt som verkligen når in i mottagaren. Den kan t ex användas för att beräkna signal-brusförhållande och kan jämföras med t ex lägsta detekterbara signaleffekt.

$$S = \frac{P_T G_T G_R}{L_b}$$

där

$S=P_R$	mottagen effekt (W)
P_T	utsänd effekt (W)
G_T	sändarens antennvinst (i mottagarens riktning)
G_R	mottagarens antennvinst (i sändarens riktning)
L_b	elementär länkdämpning

Antennvinsten är beroende av frekvens, polarisation och signalvägens riktning relativt antennens huvudriktning i höjd och horisontell ledd:

$$G = G(f_c, POL, \varphi_{Az}, \varphi_{Alt})$$

där

f_c	bärfrekvens (Hz)
φ_{Az}	azimutvinkel (grader)
φ_{Alt}	höjdvinkel (grader)
POL	polarisation

Hänsyn tas inte till antennlobber utan alla antenner antas isotropa. Det innebär att $G_t = G_r = 1$.

Brus

Till varje mottagen signal adderas brus på ett eller annat sätt. Bruset kan komma in via antennen eller genereras i mottagaren. Normalt hanteras det så att en brusfaktor läggs på det s.k. "kTB-bruset", så att det totala bruset blir:

$$N = kT_0 B \cdot (F_{sys} + F_{ext})$$

där

F_{sys}	systemets brusfaktor
F_{ext}	extern brusfaktor (miljöberoende)
k	Boltzmanns konstant ($1.38 \cdot 10^{-23}$)
T_0	brustemperatur = 290 (°K)
B	bandbredd (Hz)

Effekt från sändare som i mottagaren ej anses som nytosändare räknas som brus, S_N .

Störning

Störeffekten från en störare i mottagaren beräknas:

$$J = \frac{P_J G_J G_R}{L_b} \cdot Q_B$$

där

J	mottagen effekt från störaren (W)
P_J	utsänd effekt (W)
G_J	störarens antennvinst (i mottagarens riktning)
G_R	mottagarens antennvinst (i sändarens riktning)
L_b	elementär länkdämpning
Q_B	bandbreddskvot, hur stor del av störarens bandbredd som ryms inom mottagarens bandbredd

Alla simultana störarens energibidrag adderas till bruset i varje mottagare:

$$J_{TOT} = \sum_i^{alla\ störare} J_i$$

Signal-Brusförhållande

Avgörande för den upplevda signalkvaliteten är signal-brusförhållandet, SNR . Bruset, N , består här inte bara av brus utan även av onyttiga sändningar och störsändningar:

$$N = N + S_N + J_{TOT}$$

Kommunikation anses vara möjlig om SNR överstiger ett valbart tröskelvärde.

2.8.2 Indata

Diagrammet bygget på ett rektangulärt yttäckningsdiagram, och de inparametrar som är gemensamma för alla sådana presenteras i Tabell 3, avsnitt 2.1. De parametrar som är unika för kommunikationsdiagrammet presenteras i Tabell 19.

Parameternamn	Beskrivning
Transmitter	Namn på sändare i scenariot
Receiver	Namn på mottagare i scenariot
Jammer	Namn på störare i scenariot. Flera separeras med semikolon
MovingUnit	Anger namn på Transmitter, Receiver eller Jammer som är okänd i täckningsdiagrammet
ReceiverSNRThreshold	Tröskelvärde för signal-brusförhållande hos mottagaren
LbCalcModel	Anger modell för terrängberäkning, kan vara FREESPACE, PLANE EARTH, COMMON EARTH, DVAGFS, DVAGFE, DVAGVOG eller DVAGSQRT.
HeightDataFile	Namn på höjddatafil(er) som ska användas. Flera filer separeras med semikolon.

Tabell 19 Indata för kommunikationstäckning.

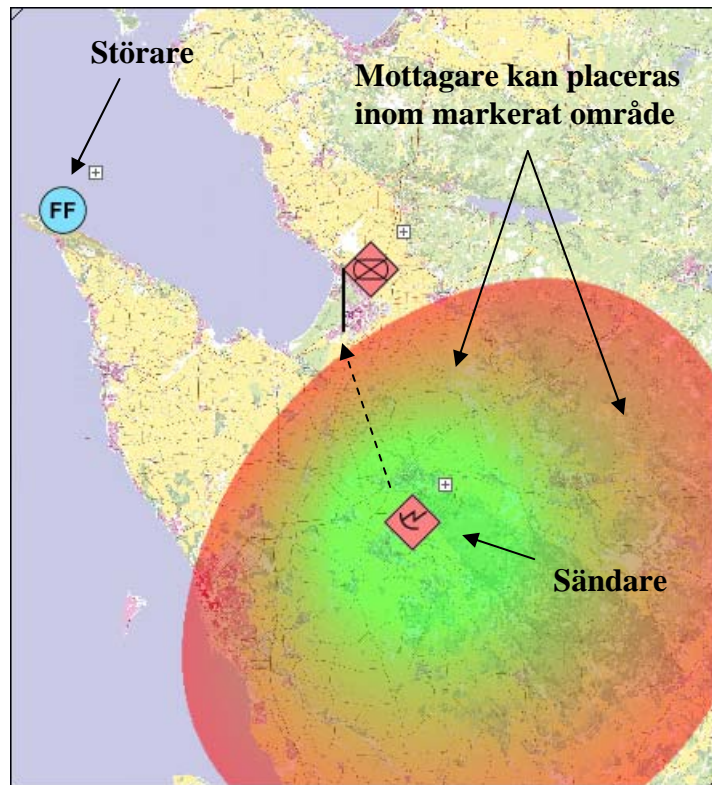
Det krävs en delmängd av parameteruppsättningen från både sändare och mottagare för att kunna utföra täckningsberäkningar. Det går inte att beräkna täckning för en viss sändare, det måste även finnas en tänkt mottagare ”i andra änden”. Dessa parametrar hämtas direkt från de namngivna objekten i scenariot.

2.8.3 Presentation

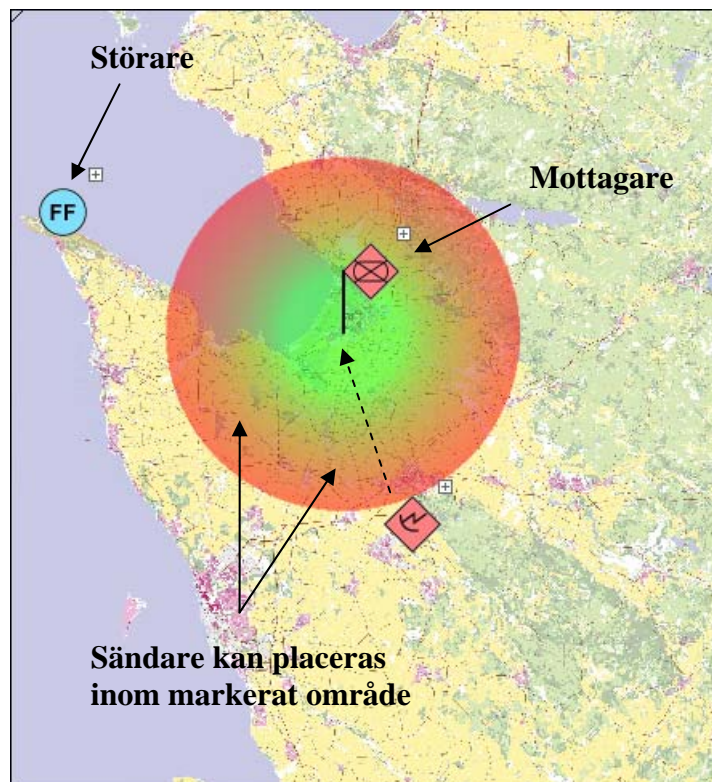
Presentationen av kommunikationstäckningen kan fås som tre olika fall. Alla tre fallen utgår från om kommunikation är möjlig eller ej. Skillnaden beror på vilken av de ingående delarna (sändare, mottagare eller störare) som anges i *MovingUnit* och inte är positionsbestämmd. Den enhet som är angiven som *MovingUnit* provplaceras för täckningsberäkning i alla punkter i rektangeln. Dess valda position i scenariot saknar alltså betydelse, men den måste ändå finnas med eftersom parametrar hämtas för den uppsatta radiomottagaren.

Fallet där mottagaren resp. sändaren är *MovingUnit* visas i Figur 29 resp. Figur 30. Grön färg visar var kommunikationen är 20dB över tröskelvärdet *ReceiverSNRThreshold*. Ofärgat betyder att kommunikation inte kommer att vara möjlig. Figur 31 visar var störsändaren kan placeras för att kommunikation mellan sändare och mottagare inte ska vara möjlig. Grönt område visar nu var störningen kommer vara 20dB över tröskelvärdet.

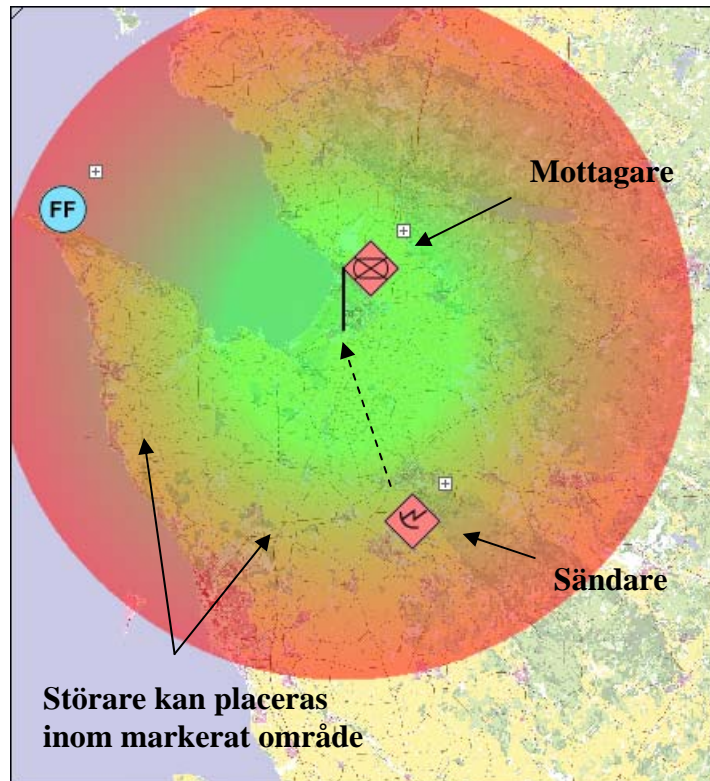
Beräkningarna kan även göras med Detvag. Detvag metoderna FS och FE räknar frirymd resp. rund jord. VOG och SQRT är mer exakta och räknar med terräng. Figur 32 visar yttäckningen för rörlig mottagare beräknad med SQRT.



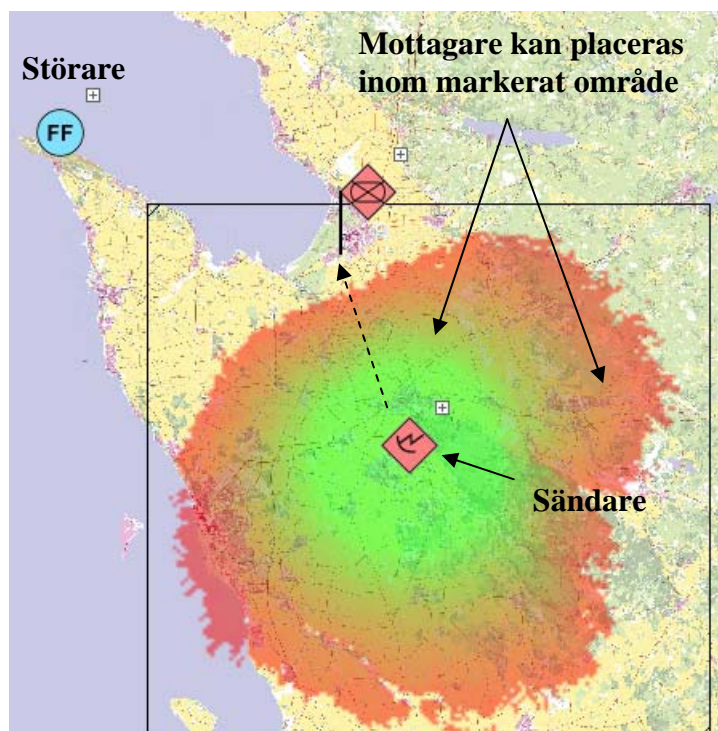
Figur 29 Kommunikationstäckning med rörlig mottagare. Färgat område markerar var en mottagare kan placeras för att kommunicera med sändaren.



Figur 30 Kommunikationstäckning med rörlig sändare. Färgat område markerar var en sändare kan placeras för att kommunicera med mottagaren.



Figur 31 Kommunikationstäckning med rörlig störare. Färgat område markerar var störaren kan placeras för att sändaren inte ska kunna kommunicera med mottagaren.



Figur 32 Yttäckning med rörlig mottagare beräknad mer exakt mha Detvag.

2.9 Kommunikationsspaning

En radiopejl är en radiomottagare som söker av frekvensband och mäter upptäckta signaler. En uppmätt signal innehåller oftast inte nog information för att vara användbar i sig själv men om mätningar från olika positioner kombineras kan man bestämma position på sändaren.

2.9.1 Teori

I EWPlan har vi två olika system för kommunikationsspaning, fjärrpejl som producerar bäringar (bäringsystem) och TDOA som producerar hyperblar (hyperbelsystem). Mätdata från pejlsystemen fusioneras sedan i en sambandscentral kallad TVC. Telekrig kan tillämpas mot ett pejlsystem genom

- att störa ut en frekvens egna enheter använder för att dölja den för pejlsystemet. Egen kommunikation kan givetvis också bli utstörd om inte gruppering och styrka på störningen är noggrant förberedd.
- att störa ut pejlsystemets sambandsnät eller TVC enhetens samband till övriga delar av ledningsystem,

Gemensamt för pejlsystemen är också att positionsuppskattningar ges i form av en osäkerhetsellips. För att avgöra kvalitet på positionsuppskattningar används ett mått kallat *PositionQuality* som är den största axeln i säkerhetsellipsen.

Bäringsystem (fjärrpejl)

För bäringsmätande pejlsystem gäller att om en pejl tar emot en signal med ett nog högt SNR värde kan den direkt uppskatta en bäring mot sändaren. SNR värden räknas ut på samma sätt som i kapitel 2.8. Om två eller fler enheter får bäring mot sändaren kan en positionsuppskattning erhållas.

För att beräkna osäkerhetsellips i två dimensioner beräknas först några hjälpvariabler: λ , μ , ν och c .

$$\lambda = \sum_{i=1}^{N_{\text{Bäringsar}}} \left(\frac{\sin(B_i)}{\sigma_i * D_i} \right)^2$$

$$\mu = \sum_{i=1}^{N_{\text{Bäringsar}}} \left(\frac{\cos(B_i)}{\sigma_i * D_i} \right)^2$$

$$\nu = \sum_{i=1}^{N_{\text{Bäringsar}}} \left(\frac{\sin(B_i) * \cos(B_i)}{(\sigma_i * D_i)^2} \right)$$

$$c = -2 \log(1 - P)$$

där

B	bäringsvinkel [rad] från sändare till mottagare
D	avstånd från sändare till pejl
σ	bäringsosäkerhet [rad], i vårt fall 2 grader
P	sannolikheten att det verkliga målet ligger innanför ellipsen, i vårt fall 0.68

Ellipsens stor- respektive lillaxel (a resp. b) fås då av

$$R_1 = \sqrt{(\mu + \lambda)^2 + 4v^2 - 4\lambda\mu}$$

$$a = \sqrt{\frac{2c}{\mu + \lambda - R_1}}$$

$$b = \sqrt{\frac{2c}{\mu + \lambda + R_1}}$$

Ellipsens storaxels lutning θ relativt bäring 0 grader kan därefter räknas ut från hjälpvariablerna λ , μ och v .

Hyperbelsystem (TDOA)

För TDOA gäller att två enheter måste detektera en signal för att tillsammans skapa en bäring. Eftersom två bäringar behövs för att skapa en position krävs tre TDOA enheter för att hitta positioner. Bärningar från TDOA system är i form av hyperblar och därför är en positionsuppskattning inte entydig – hyperblarna kan ha skärningspunkter på fler än ett ställe. Om TDOA systemet har 4 mätenheter kan däremot falska skärningar enklare förkastas och generellt försummas.

Osäkerhetsellipsen för TDOA fås från egenvärden och egenvektorer till Cramer Rao Matrix Bound (CRMB) [5] matrisen, \overline{CRMB} , som beräknas enligt

$$\overline{GG} = \overline{g} \left(M * \overline{I} - M \right) \overline{g}^T$$

$$\overline{J} = \frac{1}{c^2} * \frac{T}{2\pi} * \frac{(2\pi F_b)^3 + 12 * (2\pi F_c)^2 * 2\pi F_b * SNR^2}{6} * \frac{SNR^2}{1 + M * SNR} * \overline{GG}$$

$$\overline{CRMB} = \overline{J}^{-1}$$

där

M	Antal TDOA pejlare som detekterat sändning
\overline{g}	matris med normerade vektorer från mottagare till sändare
F_b	bandbredd [Hz]
F_c	modulationsfrekvens [Hz], i vårt fall 0 Hz (dvs ej medräknat)
T	mättid [s], i vårt fall används $20000/F_b$
SNR	genomsnittlig SNR för mottagen signal

Positionskvalitet blir då $\sqrt{\lambda_{\max}}$ där λ_{\max} är det största egenvärdet till \overline{CRMB} .

2.9.2 Indata

Diagrammet bygget på ett rektangulärt yttäckningsdiagram, och de inparametrar som är gemensamma för alla sådana presenteras i Tabell 3, avsnitt 2.1. De parametrar som är unika för kommunikationsdiagrammet presenteras i Tabell 20.

Parameternamn	Beskrivning
Transmitter	Namn på sändare i scenariot
TVC	Namn på TVC enhet som samordnar sensordata
PositionQuality	Tröskelvärde för bra positionssäkerhet
ReceiverSNRThreshold	Tröskelvärde för signal-brusförhållande hos mottagaren
DFCDetectionSNRThreshold	Tröskelvärde för det signal-brusförhållande en DFC pejl behöver för att upptäcka sändaren
DFCBearingSNRThreshold	Tröskelvärde för det signal-brusförhållande en DFC pejl behöver för att få bäring till sändaren
TDOADetectionSNRThreshold	Tröskelvärde för det signal-brusförhållande en TDOA pejl behöver för att upptäcka sändaren
LbCalcModel	Anger modell för terrängberäkning, kan vara FREESPACE, PLANEEARTH, COMMONEARTH, DVAGFS, DVAGFE, DVAGVOG eller DVAGSQRT.
HeightDataFile	Namn på höjddatafil(er) som ska användas. Flera filer separeras med semikolon.

Tabell 20 Indata för kommunikationsspaning.

2.9.3 Presentation

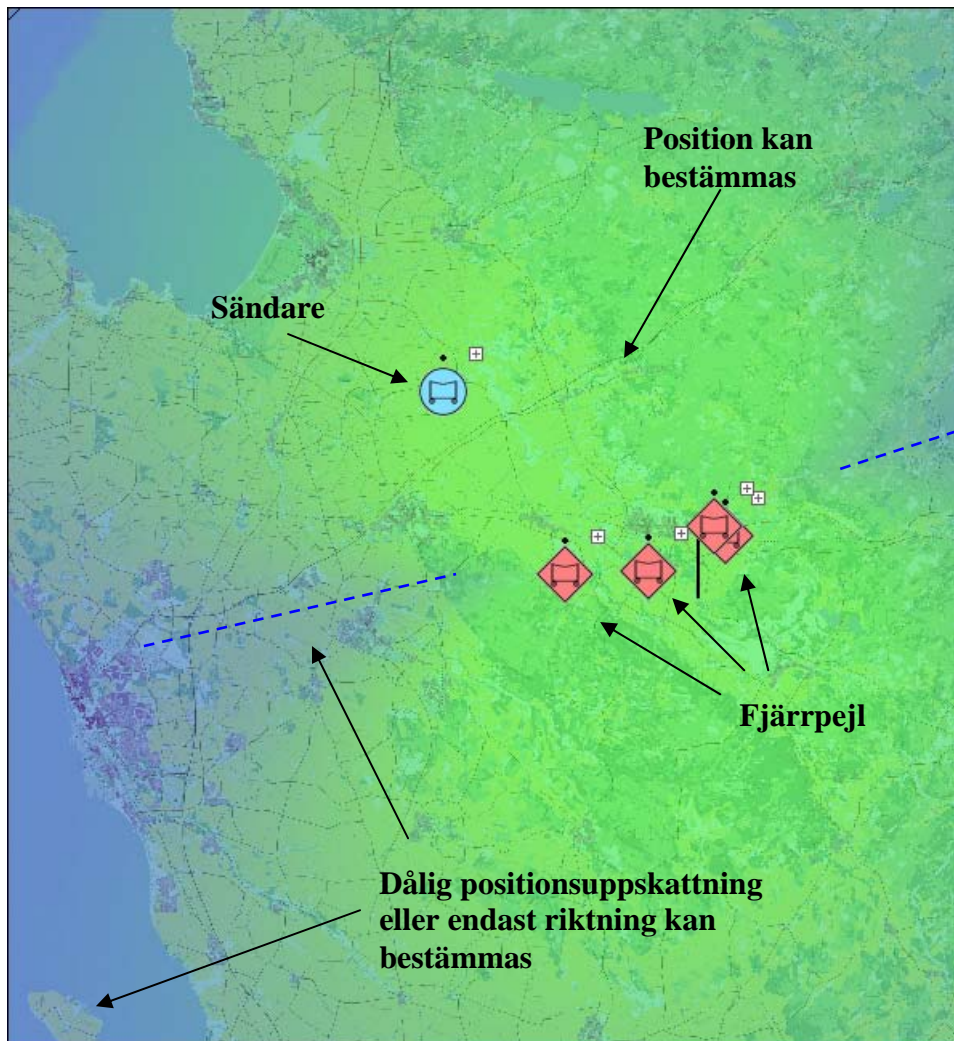
En positionsuppskattning presenteras som grön färg i yttäckningen. Detektion och bäring visas som nyanser av blått medan ingen detektion visas som genomskinligt.

Färg	Beskrivning
Klargrön	Bra positionsuppskattning
Grön	Positionsuppskattning
Blå	Pejlgruppen kan uppskatta bäring
Klarblå	En pejl kan detektera sändning
Genomskinligt	Ingen detektion

Tabell 21 Färgnyanser och deras betydelse i yttäckningen.

Fjällpejl

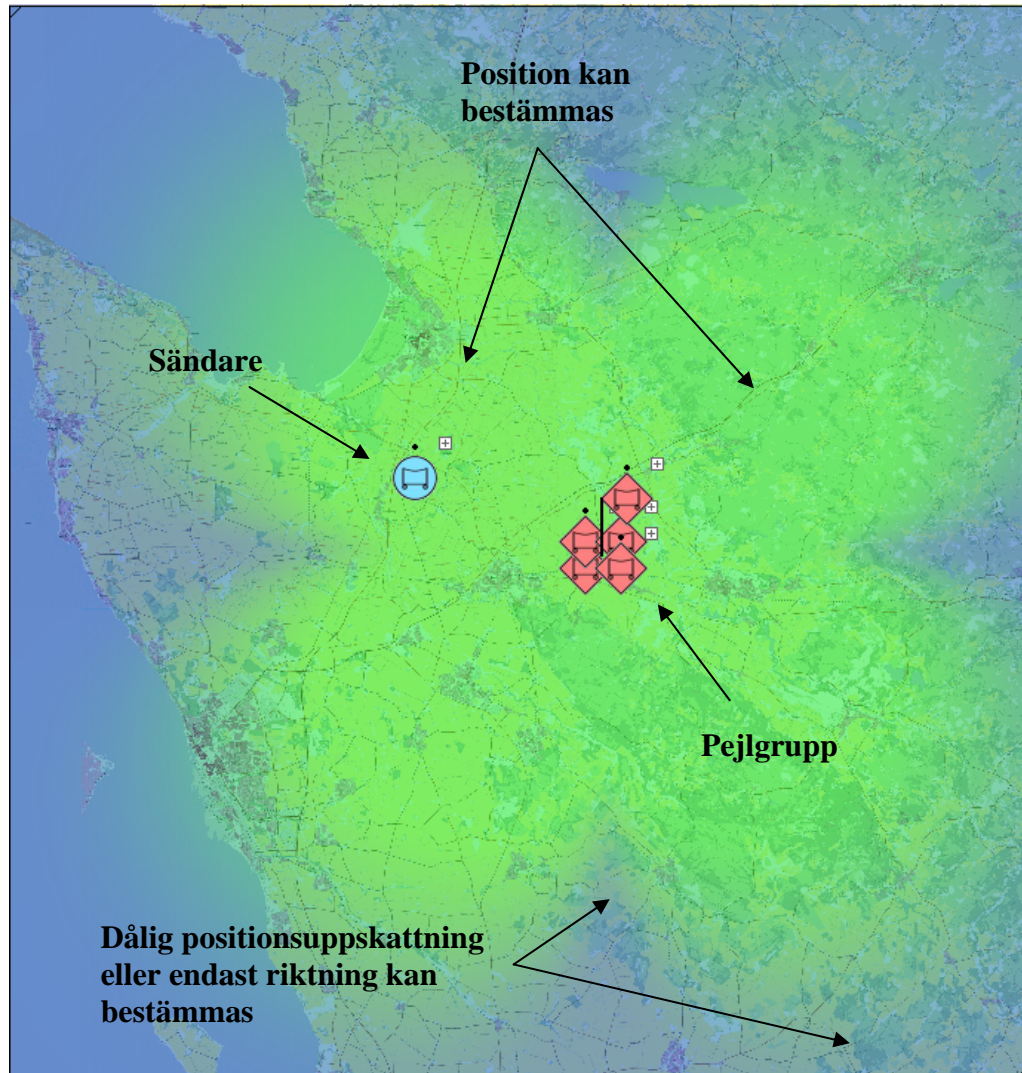
Ett scenario med tre fjällpejlheter, en sambandsenhet och en sändare visas i Figur 33. Pejlheterna är positionerade i en båge och får på så vis bäst täckning nordnordväst i diagrammet. Med sändaren i linje med två av pejlheterna blir positionsuppskattningen dålig och ses i diagrammet av två kilar. För att förtydliga är kilarna markerade med en streckad blå linje i figuren.



Figur 33 Yttäckning för ett bäringsmätande pejlsystem med tre pejlheter.

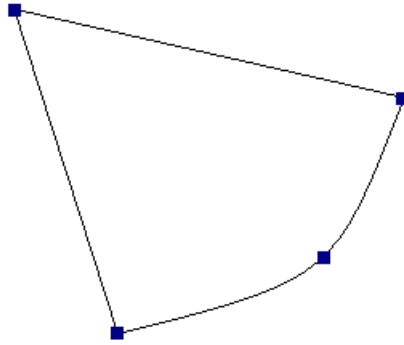
TDOA

I Figur 34 visas yttäckningen för ett TDOA-pejlsystem med fyra spaningsenheter. Enheterna är placerade i en rektangel vilket ger upphov till en yttäckning i form av en fyrklöver. Enheterna kan grupperas med större avstånd sinsemellan vilket skulle leda till bättre täckning men större känslighet för störning av sambandsmedlet.

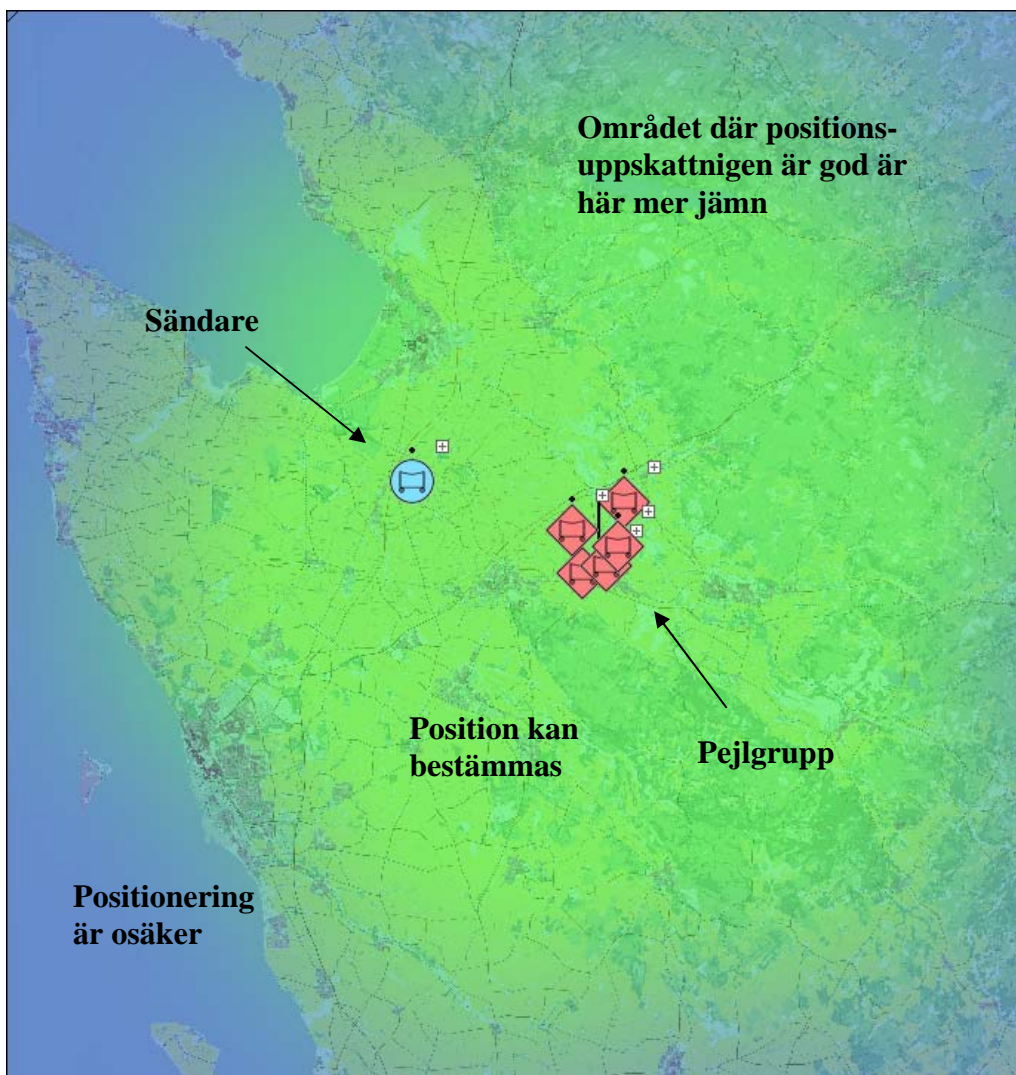


Figur 34 Yttäckning för ett pejlsystem med fyra TDOA enheter grupperade som en kvadrat.

Yttäckningen kan enkelt förbättras genom att omgruppera TDOA-enheterna. Om enheterna i föregående exempel grupperas enligt Figur 35 fås yttäckningsdiagrammet som visas i Figur 36. (Detta är ett exempel och inte optimal gruppering.)



Figur 35 Bättre gruppering för TDOA enheter.



Figur 36 Yttäckning för TDOA grupp efter omgruppering.

2.10 Konnektivitet

Kommunikationssamband i en egen gruppering och effekten av fientlig störning är mycket viktigt ur planeringssynpunkt. Diagrammet för konnektivitet är skapat för detta behov. Diagrammet räknar ut konnektivitet mellan alla radioapparater i ett scenario och visar näten i olika färger. Dessutom kan diagrammet visa bäringar och osäkerhetsellipser för pejlsystem.

2.10.1 Teori

Beräkningarna för konnektivitet bygger på länkberäkningar beskrivna i 2.8.1 och bärings- och positioneringsberäkningar för kommunikationsspaning beskrivna i 2.9.1.

2.10.2 Indata

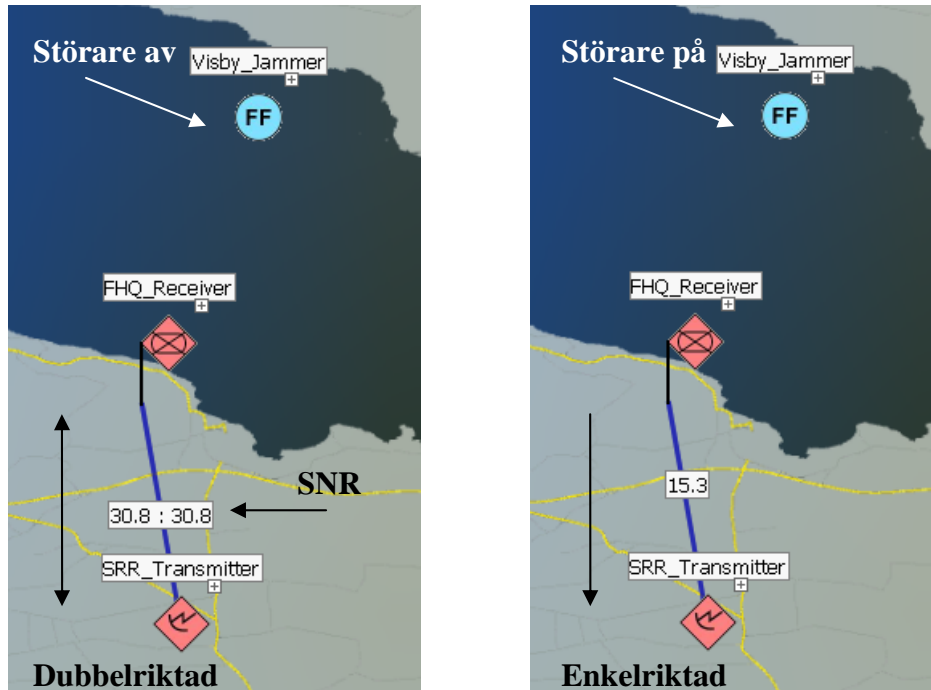
Konnektivitet bygger på länkdiagrammet, alla parametrar beskrivs därför av Tabell 22.

Parameternamn	Beskrivning
CommunicationLinks	Vilken typ av länkar som ska visas, Radio, Cable eller både och.
ShowTVCDData	Anger om osäkerhetsellipser ska ritas ut om möjligt.
ShowSensorData	Anger om obehandlad sensordata ska visas, mer specifikt menas bäringar.
Active TVC	Namn på TVC enheter som ska inkluderas i beräkningarna.
ReceiverSNRThreshold	Tröskelvärde för signal-brusförhållande i radiomottagare
DFCDetectionSNRThreshold	Tröskelvärde för det signal-brusförhållande en DFC pejll behöver för att upptäcka sändaren
DFCBearingSNRThreshold	Tröskelvärde för det signal-brusförhållande en DFC pejll behöver för att få bäring till sändaren
TDOADetectionSNRThreshold	Tröskelvärde för det signal-brusförhållande en TDOA pejll behöver för att upptäcka sändaren
LbCalcModel	Anger modell för terrängberäkning, kan vara FREESPACE, PLANEEARTH, COMMONEARTH, DVAGFS, DVAGFE, DVAGVOG eller DVAGSQRT.
HeightDataFile	Namn på höjddatafil(er) som ska användas. Flera filer separeras med semikolon.

Tabell 22 Indata för konnektivitet.

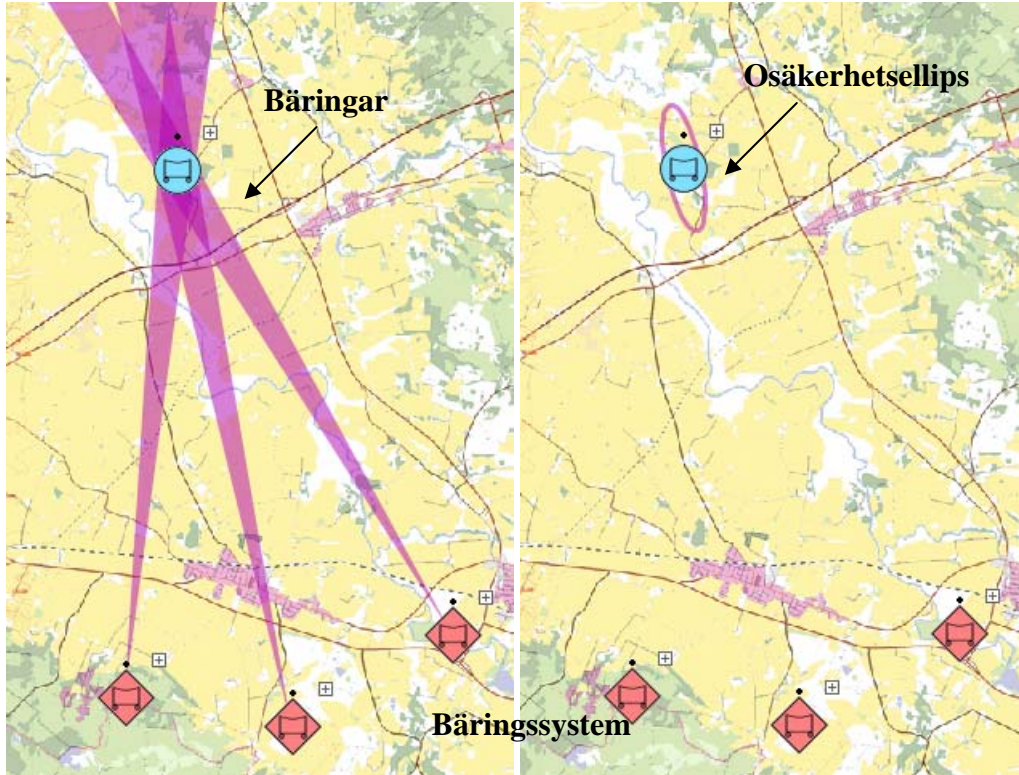
2.10.3 Presentation

Grundfunktionaliteten för konnektivitet är att visa om en radiosändare och -mottagare har kontakt. Konnektiviteten för två enheter utan och under störning visas i Figur 37. I det här exemplet blev kommunikationen enkelriktad under störning.

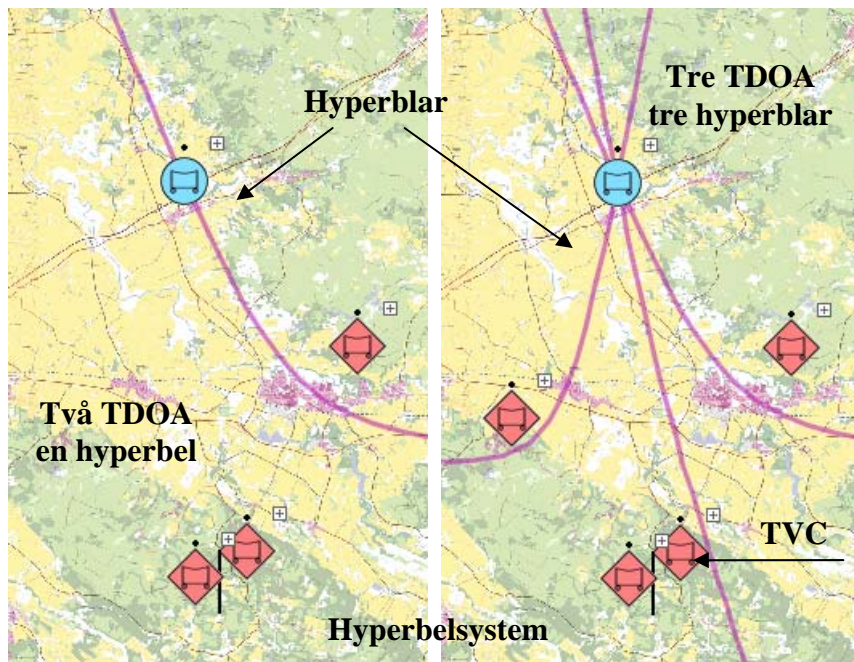


Figur 37 Konnektivitet mellan två enheter. Till vänster utan störning och till höger med störning. Kommunikationen är enkelriktad i fallet med störning på.

Presentation av konnektivitet för pejlsystem innebär visualisering av positionsuppskattning och bäringar mot de radionoder som finns i scenariot. Bäringar och osäkerhetsellips för ett bäringssystem och en radiosändare visas i Figur 38. Bäringar för ett hyperbelsystem visas i Figur 39 med två resp. tre TDOA pejlar. Med fyra TDOA pejlar fås på samma sätt sex bäringar.



Figur 38 Bäringar och osäkerhetsellips för ett bäringssystem.



Figur 39 Hyperblar för ett TDOA system med två resp. tre signalspaningsenheter.

2.11 Signalstyrkepejl

Att positionera en sändare med signalstyrkemätande mottagare har flera fördelar. Dels minskar kravet på specialiserade antenner som i bäringsmätande system eller kravet på noggrann tidssynkronisering som i fallet med TDOA. En enkel truppradio kan vara i lyssnande mod och mäta signalstyrka när den inte används till kommunikation. Den andra fördelen är att man kan få viss information om avstånd med signalstyrka till skillnad från de andra metoderna.

Problemet för ett pejlsystem baserat på signalstyrkemätningar är att signalstyrka kan variera väldigt mycket på ett sådant sätt att det kan vara svårt att modellera. Därför har en metod utvecklats som kan sammanfoga ett flertal mätningar från olika mottagare till att gemensamt minska osäkerheten i positionsuppskattningen.

2.11.1 Teori

Mottagen signalstyrka i en mottagare R_i från en sändare T modelleras som

$$P_{R_i} = P_T - L_i$$

där

$$P_{R_i} \quad \text{mottagen effekt i } dB$$

$$P_T \quad \text{utsänd effekt i } dB$$

$$L_i \quad \text{länkförlust}$$

Genom att använda kvoten (differens i decibel) av den mottagna effekten från två mottagare R_i och R_j kan man förkorta bort den utsända effekten och få en funktion som bara beror av länkförlusten enligt

$$P_{R_i} - P_{R_j} = L_j - L_i.$$

Genom att se denna kvot som ett mätvärde $y_{i,j}$ i dB och modellera länkförlust som en stokastisk variabel med en sannolikhetsfördelning i rummet baserat på en länkutbredningsmodell kan traditionella sensorfusionsmetoder [6] användas för att kombinera mottagen effekt i ett obegränsat antal mottagare. Länkförlusten är i dagsläget modellerat med ett medelvärde som motsvarar planjord och en osäkerhet baserad på snabb fädning, uttryckt i decibel blir formeln

$$L_i = \alpha(kr_i)_{dB} + N(0, \sigma)$$

där $\alpha = 4$ är planjord. Spridningen är normalfördelad med standardavvikelsen $\sigma = 5.6dB$, dvs log-normal fördelad i vanlig effekt. Detta är en approximation av den snabba fädningen då det inte förekommer line-of-sight mellan sändare och mottagare, alltså ett värsta fall värde. Notera att standardavvikelsen är mycket stor, $6dB$ motsvarar en faktor 4. Avståndet r_i mellan sändare och mottagare är okänd och, givet att mottagarens position är känd, leder det till sändarens position som är det sökta värdet. Med denna beskrivning av länkförlust kan kvoten av två mottagna effekter i decibel beskrivas med uttrycket

$$y_{i,j} = 10\alpha \log \frac{r_j}{r_i} + N(0, \sigma\sqrt{2}).$$

Med avståndet r_i mellan sändarens position x och mottagarnas positioner x_{R_i} och x_{R_j} utskrivet blir uttrycket

$$y_{i,j} = 10\alpha \log \frac{|x - x_{R_j}|}{|x - x_{R_i}|} + N(0, \sigma\sqrt{2}).$$

I EWPlan finns tre metoder för att fusionera data från flera mottagare implementerade.

1. **Skärningspunkter**

Om man studerar medelvärdet av funktionen ovan så kan man visa att det blir en cirkel på marken i 2D fallet. Baserat på detta kan man analytiskt beräkna skärningspunkter mellan cirklar som fås från varje effektkvot. Det blir en stor mängd skärningspunkter och den resulterande positionsuppskattningen och osäkerheten beräknas statistiskt från dessa punkter.

2. **Partikelfilter**

Efter att ha vält ett antal positioner i ett område där man anser det troligt att det kan finnas en sändare så använder man funktionen ovan för att räkna ut sannolikheten att en sändare finns i dessa positioner. Om sannolikheten att sändaren finns i en position är liten givet en kvot av effekt plockar man bort denna position som en kandidat medan man lägger till en ny position i närheten av en mer trolig position. Genom att upprepa detta för alla effektkvoter kommer man i slutskedet ha en grupp positioner, eller ”partiklar”, som ligger fördelade enligt den sammanvägda sannolikheten. Genom att räkna ut medelvärdet och kovarians för dessa positioner får man en estimering av sändarens position och dess osäkerhet.

3. **Point Mass Filter**

På liknande sätt som med partikelfiltret sprider man ut en mängd partiklar, men denna gång i ett fixerat rutnät. För varje effektkvot beräknar man varje partikels tyngd relativt de andra partiklarna. I slutskedet kan man då räkna ett viktat medelvärde och kovarians för att få position och osäkerhet.

Mer information om signalstyrkepejl finns i [7] och [8].

2.11.2 Indata

Diagrammet bygget på ett rektangulärt yttäckningsdiagram, och de inparametrar som är gemensamma för alla sådana presenteras i Tabell 3, avsnitt 2.1. De parametrar som är unika för signalstyrkepejl presenteras i Tabell 23.

Parameternamn	Beskrivning
SigStr Alpha	Anger vilket α -värde som ska användas i algoritmen. Ett värde på 4 är planjord och 2 är frirymd
Sensor Fusion Method	Anger metod för sensor fusion. Alternativen är Intersections, PointMassFilter och ParticleFilter
LbCalcModel	Anger modell för terrängberäkning, kan vara FREESPACE, PLANEARTH, COMMONEARTH, DVAGFS, DVAGFE, DVAGVOG eller DVAGSQRT.

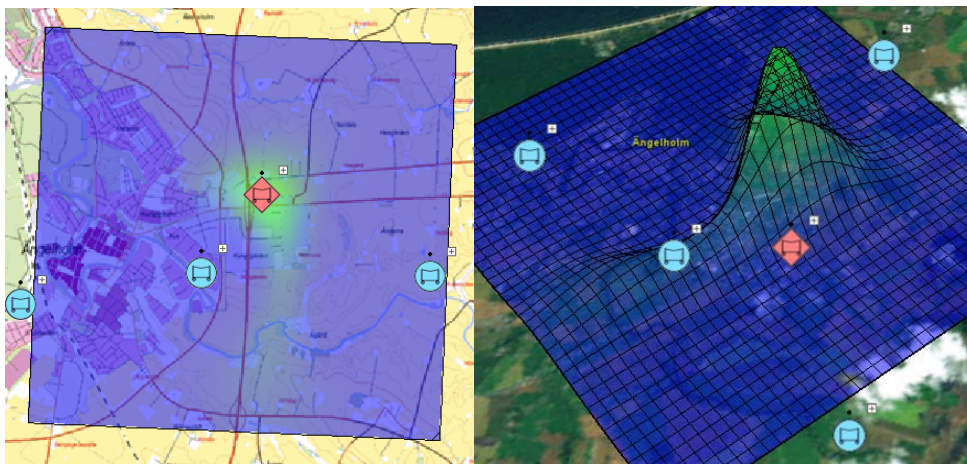
Tabell 23 Indata för signalstyrkepejl.

2.11.3 Presentation

Signalstyrkepejl kan visas med två olika metoder. Den första visar en sannolikhetsfördelning för sändarens position. Den andra visar algoritmens positionsuppskattning.

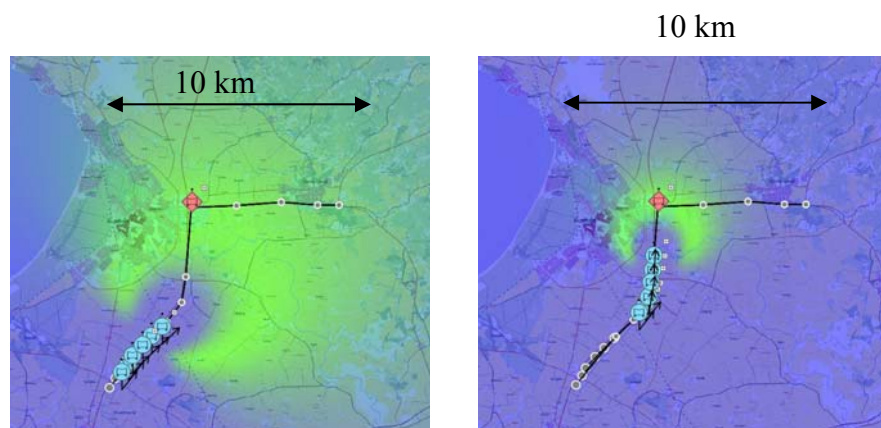
Fördelning

Den gemensamma sannolikheten för en sändarens position kan visas enligt Figur 40. I figuren representerar grönt område hög sannolikhet och blått område låg sannolikhet. Denna visualisering fungerar bara upp till 30st mottagare eftersom den gör en förenklad sammanslagning av mottagarnas mottagna effekt. Presentationen är tänkt att öka förståelsen för betydelsen av mottagarnas placering och hur sannolikhetsfördelningen påverkas.



Figur 40 Sannolikhetsfördelning för en sändarens position med fyra mottagare. Till höger visas fördelningen i 3D där sannolikhet räknats om till höjd.

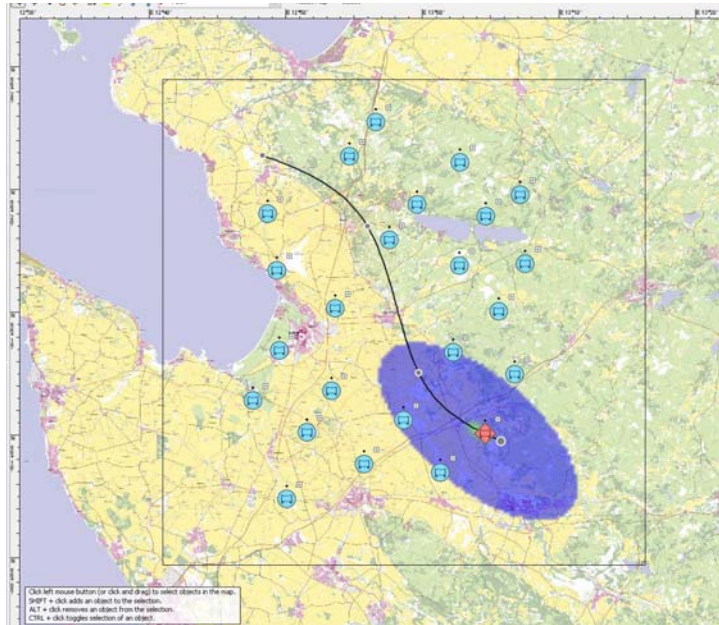
I Figur 41 visas sannolikhetsfördelningen för en grupp av mottagare som rör sig på linje med 500m avstånd sinsemellan mot en stationär sändare. Om man använder metoden presenterad i teoriavsnittet blir osäkerheten för stor för att ge en bra positionsuppskattning. Man kan dock se i denna figur att intressant information om sändarens position i form av avståndsinformation kan fås från sannolikhetsfördelningen.



Figur 41 Sannolikhetsfördelning för en grupp av mottagare som rör sig längs en väg med 500m avstånd sinsemellan.

Positionsuppskattning

Den resulterande positionsuppskattningen kan visas som en Gauss-fördelning kring den uppskattade positionen, se Figur 42. Medelvärdet av Gauss-fördelningen är sändarens uppskattade position medan standardavvikelsen är resultatets kovarians, dvs osäkerhetsellips.



Figur 42 Uppskattad position för röd sändare baserat på signalstyrka från 24 blå enheter.

2.12 Synlighet utmed brytpunktsbanor

När man vill planera färdväg är det av intresse att veta var en plattform kan befinna sig utan att bli upptäckt. Med hjälp av synlighetsberäkningar kan brytpunktsbanor som markerar färdvägar färgmarkeras efter vilka avsnitt som är synliga för olika sensorer givet vilken plattform som ska följa banan. Färgmarkeringen ger då en hjälp till hur justering av brytpunkterna påverkar synlighet under färdvägen.

2.12.1 Teori

Beräkningarna för en plattforms synlighet när den rör sig utmed en brytpunktsbana använder sig av samma beräkningar som används i andra diagramtyper. I dagsläget finns implementerat ett måls synlighet med EO-sensor och radar, se därför teorin för dessa i avsnitt 2.4.1 respektive 2.3.1. Om behov uppstår kan beräkningar för synlighet med andra typer av sensorer komma att läggas till i framtida versioner av EWPlan.

2.12.2 Indata

Diagrammet för synlighet utmed brytpunktsbanor ger inte någon fullständig yttäckning som resultat. Istället beräknas synlighet för vissa punkter specificerade av en bana givet sensorer på givna positioner i världen. Diagrammet bygger på ett länkdiagram, och samtliga inparameterar visas i Tabell 24. Parametern Target anger den plattform vars synlighet utmed banor ska beräknas, och via dess länk hämtas plattformens signatur i de frekvensband som är valda. Är parametern RadarVisibility vald testas synlighet för samtliga radarsensorer som ingår i aktuellt scenario och är IRVisibility vald testas synlighet för samtliga IR-sensorer. Synlighet utmed alla brytpunktsbanor i scenariot beräknas.

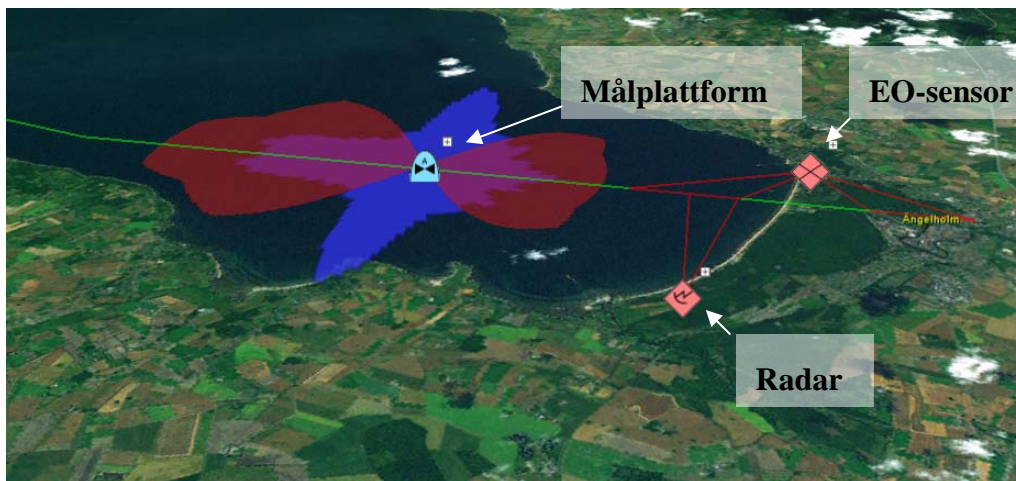
Parameternamn	Defaultvärde	Beskrivning
Visible		Anger om diagrammet ska vara synligt eller ej.
Target		Länk till målplattformen som färdas utmed undersökta brytpunktsbanor. Ska vara av typ Platform
RadarVisibility		Anger om radarberäkningar ska utföras eller ej.
IRVisibility		Anger om beräkningar för IR-sensorer ska utföras eller ej.
PathStep		Storlek på beräkningssteg utmed brytpunktsbanor. [m]
ExtinctionCoeff	0.4	Atmosfärsdämpning [km^{-1}]
EngineIndex	0	Motoreffektindex, används för IR-beräkningar.
Thrust	0	Gaspådrag hos målobjekt, används för IR-beräkningar och enbart om målobjektet är av typ JAS

Tabell 24 Indata som används vid beräkning av en plattforms synlighet utmed brytpunktsbana.

2.12.3 Presentation

En brytpunktbanas synlighet visas genom att bansträckningen markeras med grön färg där plattformen undgår upptäckt eller röd färg där plattformen detekteras av en sensor, som

visas i Figur 43. För de delar av en bana där plattformen blir upptäckt visas även vilken sensor som kan detektera den. I figuren syns också yttäckningsdiagram runt aktuell målplattform för upptäckt av radar (blått) respektive IR-sensor (rött). Dessa diagram presenteras i tidigare avsnitt och frågeställningen motsvaras av den som visas i Figur 8 respektive Figur 16. På banfärgen syns exempelvis att IR-sensorn får svårt att upptäcka plattformen rakt i sidled, och jämför man med IR-diagrammet stämmer detta med utseendet hos plattformens IR-signatur.



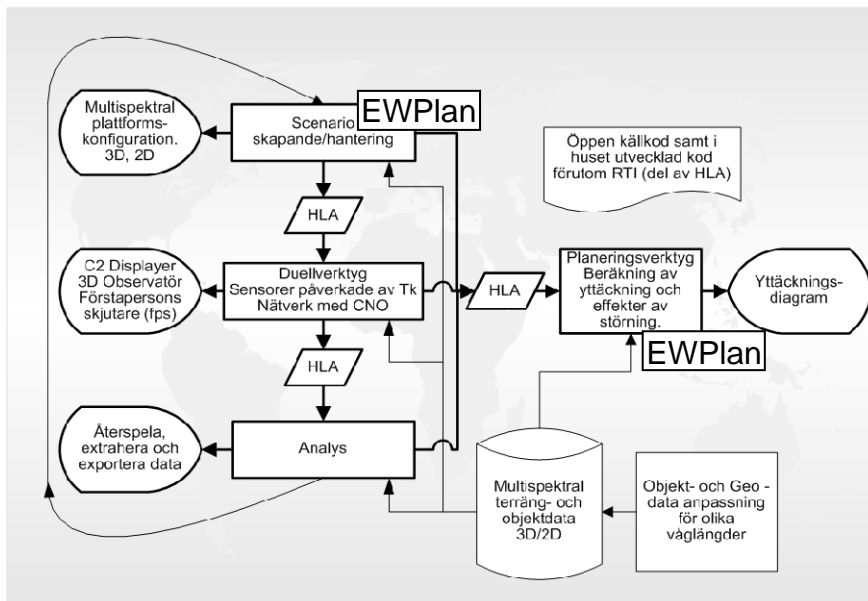
Figur 43 Synlighet utmed en brytpunktsbana. Bansträckningen är grönmarkerad där målet inte syns och rödmarkerad där någon sensor har detekterat plattformen. De röda markeringarna från bana till sensor visar vilken sensor som detekterat plattformen. Som jämförelse visas även den aktuella målplattformen på en position utmed banan med visning av yttäckningsdiagram för upptäckt av radar (blått) och EO-sensor (rött).

3 Diskussion

Användningsområdena för de diagram och resultat som beskrivs i detta arbete är många. Diagrammen kan vara till hjälp i hur man tekniskt taktiskt ska lägga upp en operation. De gör att man kan se upptäcktsområde både för egna plattformar och andras om man har kännedom om ungefär var de är placerade. För enkla fall kan man få en tydlig bild som ger konkret information. I andra fall blir det mer komplicerat och det kan vara svårt att som användare förstå vad man ska dra för slutsatser av det man ser. Till exempel om små parameterförändringar ger kraftig förändring av yttäckning. Då objekt som påverkar varandra förflyttas kan det vara svårt att få grepp om hur det kommer att påverka den totala bilden av situationen.

Användaren kan idag enkelt ändra positioner på plattformar och se hur diagrammen ändras. Det är visuellt interaktivt och skapar därmed intuitiv förståelse för hur man bäst placerar sina system. I denna version har användarvänlighet förbättrats jämfört med tidigare versioner även om betydligt mer kommer att göras. Ett arbete för att ytterligare utveckla gränssnittet pågår där en metod kallad rapid prototyping [9] används. Eftersom EWPlan är multispektralt krävs det kunskap om system inom alla de våglängdsområden som används i scenariot för att parametersättning ska kunna genomföras. För att underlätta detta har ett par olika skarpa hot och plattformar parametersatts med hemliga data och finns som färdiga plattformar att dra in i ett scenario.

En klar fördel med EWPlan är att det kan användas tillsammans med simuleringsramverket EWSim (se Figur 44), vilket ger möjlighet att testa nya koncept. EWPlan är baserat på egen kod samt öppen källkod vilket innebär att det inte finns några licenskostnader för att distribuera programvaran.



Figur 44 Planeringsverktyget som en del i EWSim. Där planering kan genomföras inför ett scenario ska simuleras samt under simuleringen och även vid efteranalys av vad som verkligen hände.

Modellerna i EWPlan bygger delvis på modeller från EWSim där validering av modellerna sker kontinuerligt. Att validera simuleringsresultatet från ett större scenario är svårt då det är många samverkande faktorer under en större simulering men ett sätt att göra det är att ha med områdes specialister som kan bedöma om resultaten är rimliga. Under utvecklingsarbetet av simuleringsverktyget EWSim används NetScene för att bland annat skapa scenarior. EWPlan ingår som en del i detta och validering kommer därför att ske efterhand. Modellerna av system är generiska och blir inte hemliga förrän de är parametersatta med hemlig information. En validerad parametersatt modell av ett

hotsystem blir därför ofta hemlig. Signaturer av plattformar är data som oftast är hemlig. Därför används under utvecklingsarbetet typdata, som inte är specifik för någon viss plattform, så att man slipper blanda in hemliga data i utvecklingsprocessen.

4 Fortsatt arbete

Arbetet med att kunna använda terräng från webserverar kommer att fortsätta. Till exempel vill vi även få tillgång till terrängtäckningsdata (skog, vatten, mm) på samma sätt som redan är gjort för terränghöjd. Det är framförallt kommunikationsberäkningarna som påverkas av den typen av data. Inkludering av väginformation i terrängdata skulle öppna för nya möjligheter t.ex. vad gäller ruttplaneringar och automatiska optimeringar av vägval. Öppna webserverar finns också för väderdata. Att kunna lägga in luftfuktighet från en webserver, t.ex. yr.no eller SMHI kan ge mycket för optronikmodellerna.

NetScene och EWPlan börjar bli användarvänligt och ett bra verktyg för planering men också en bra plattform för forskning och utveckling. Vi kommer att fortsätta jobba för att sprida användandet av verktyget. För närvarande finns, i samarbete med andra projekt, flera spår, t.ex. Försvarmaktens stödenhet telekrig (FM TK SE), Insatsstaben, SAAB Aerospace och även internt på FOI.

Det pågår ständigt ett arbete för att hitta fler EW-modeller som borde inkluderas i EWPlan för att öka verktygets användbarhet vid planeringar. Några exempel på sådana modeller är signalspaning mot störare, frekvenshoppare, TARAX avlyssning, mm. På längre sikt kan tänkas att även tidsberoende modeller läggs till. Exempelvis missiler med signatur som ändras med tiden efter avfyrning eller signalspaningssystem som lägger ihop mätningar tagna vid olika tidpunkter.

Den nuvarande radarmodellen använder cirkulärt antensvcp. Med tillgång till visualisering i 3D känns det aktuellt att även ha andra svepmönster, t.ex. monopuls, konisksvcp och spiralsvcp.

4.1 Nätverks störkänslighet

Inom telekrig mot kommunikation är det viktigt att känna till egna svagheter i nätverksstrukturen. Tappat samband med en eller ett par noder i ett nätverk kan leda till stor informationsförlust i en ledningsfunktion. Det är därför viktigt att i planeringsstadiet kunna identifiera och undvika dessa svagheter.

Modeller finns för både konnektivitet och routing i kommunikationsnätverk. Genom att kombinera dessa med övriga täckningsdiagram skulle man kunna visualisera en stabs tillgång till information givet att noder i det egna nätverket är ur funktion.

4.2 Kombinerade signalspaningstyper

Traditionella signalspaningssystem som bäringspejl och TDOA använder sig av beräkning av skärningspunkter för positionsestimering. Detta gör det problematiskt när man vill kombinera data från olika sensorer eftersom kurvorna skär varandra på olika sätt. I arbetet med positionering av radiosändare mha signalstyrka har nya metoder för kombination av sensordata använts. Istället för att nyttja skärningar mellan kurvor beräknas sannolikheten för att en sändare står i en viss punkt. Sannolikhetsfördelningarna från olika sensorer kombineras för att få den slutliga positionsuppskattningen. Dessa metoder kan utvecklas till att fungera även för traditionella pejlsystem. Att arbeta med sannolikhetsfördelningar innebär att data från olika källor kan kombineras på ett systemberoende sätt, se Figur 45.



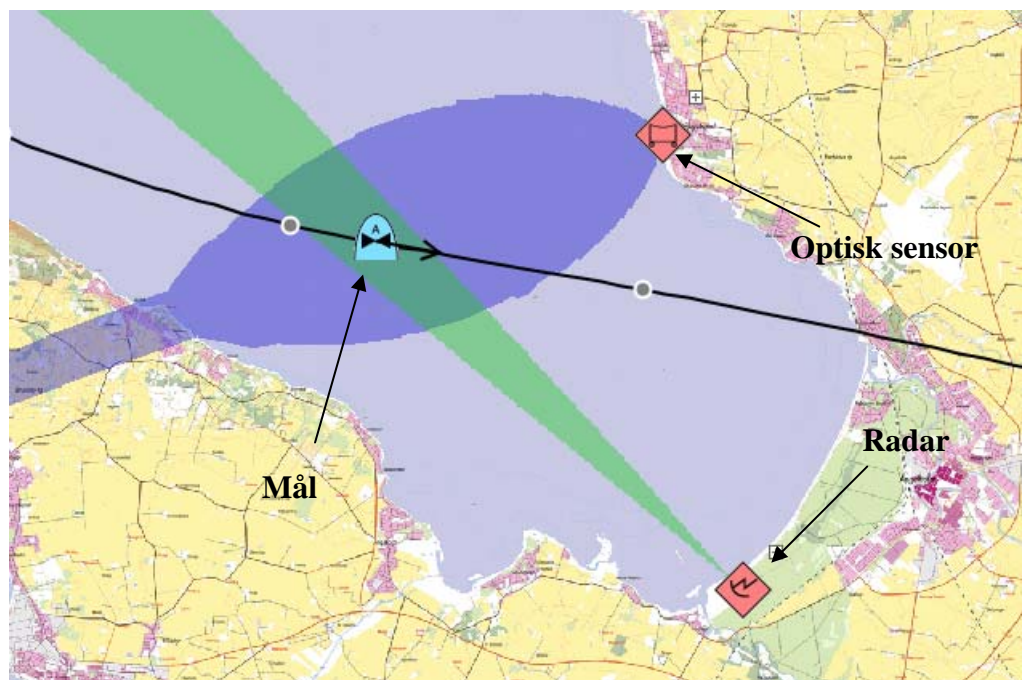
Figur 45 Sammanslagning av sannolikhetsfördelningar från olika signalspaningssystem.

4.3 Områdesövervakning

En fråga som är intressant vid planering är hur man ska placera sina sensorer för att få maximal täckning i ett visst område. Täckningsdiagrammen som finns i EWPlan idag kan vidareutvecklas så att sensorplacering för bästa områdesövervakning kan visualiseras givet terräng, område man befinner sig i och område som ska övervakas. Beräkningarna kan även inkludera hjälp till sensorplacering givet att en viss färdväg. Omvänt kan samma beräkningar t.ex. användas för att visualisera värsta möjliga placering av motståndares sensorer om en egen plattform följer en viss rutt, vilket blir till hjälp för att avgöra vilka platser som måste bevakas.

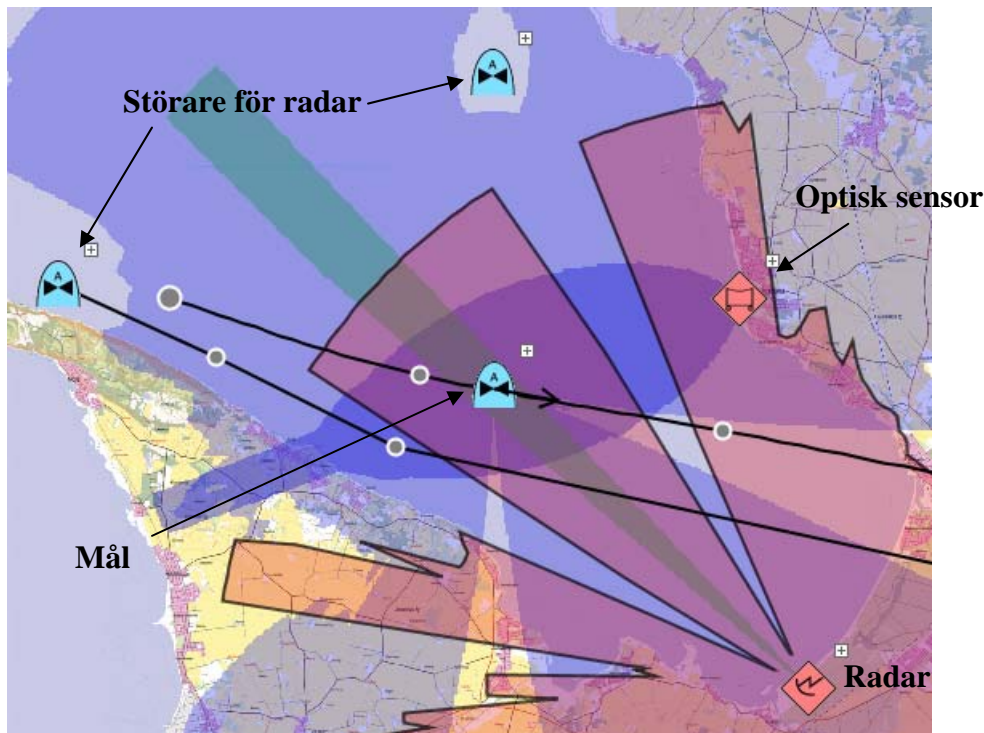
4.4 Kombinera diagram

Att kombinera information från flera typer av diagram kan ge värdefull information. I Figur 46 visas var en störare kan placeras för att kunna dölja målet för både en optisk sensor samt en radar. I detta fall ger överlagring mest information eftersom det visar de ingående delarna och varifrån de uppstått.



Figur 46 Placering av störare för att dölja målet för både radar och optik

Att överlagra diagram fungerar redan idag. I andra situationer är överlagring av diagram inte rätt väg att gå. Det kan vara i lägen som i Figur 47 då det helt enkelt är för mycket information som visas på en gång. Ett alternativ till överlagring behövs därför och skulle t.ex. kunna vara att kombinera diagram med hjälp av booleska operationer. Svårigheten med att kombinera diagram på det viset är att det göras på ett sätt som kan ge intressant information i det generella fallet, eftersom det är situationsbundet vad man vill titta på. Antagligen blir det bättre resultat att införa kombinerade diagram för de specialfall som man är intresserad av, något som t.ex. är gjort för synlighet utmed brytpunktsbanor, se avsnitt 2.12.



Figur 47 Överlagring räcker inte alltid till då information från flera diagram ska kombineras.

4.5 Nya presentationstyper

Förutom att kombinera täckningsdiagram på olika sätt skulle information kunna presenteras på helt nya sätt. Sensorer som upptäckt ett mål skulle kunna få en annan färg än de som inte upptäckt målet. Omvänt skulle upptäckta mål kunna särskiljas från oupptäckta med hjälp av extra symboler eller färgkodningar. När objekt med tillhörande täckningsdiagram rör sig längs banor skulle den information som beräknas kunna utnyttjas för bättre visualiseringar. Ett sätt är att ge täckningen olika transparens beroende på den tid tytan täckts under färderna.

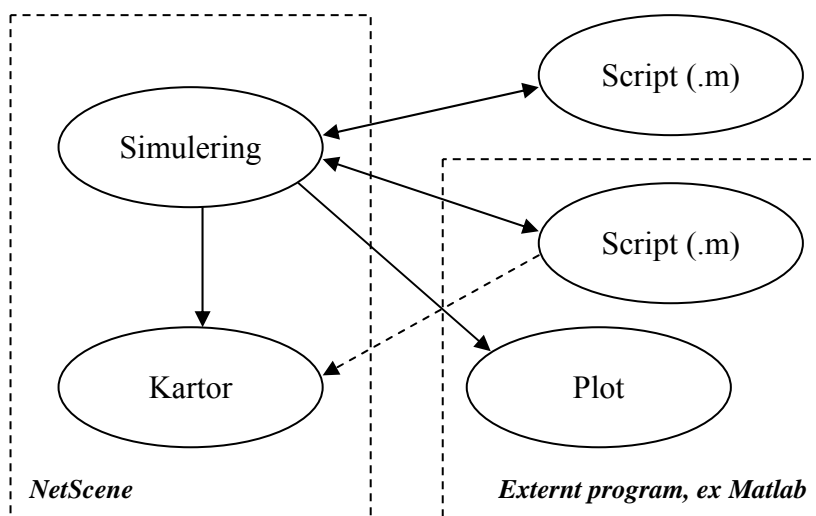
När flera diagram visas samtidigt och förflyttning av en enhet kan påverka många diagram utförs mycket beräkningar. För att förbättra verktyget i dessa fall kan diagram beräknas med olika noggrannhet. Funktionalitet finns redan för att utföra beräkningar med olika noggrannhet, men det ställer användaren in manuellt. Verktyget skulle istället kunna välja beräkningsnivå baserat på om man vill skissa en plan på några minuter eller finputs en detaljerad plan. Beroende på zoomnivå och nuvarande fokus i kartan skulle verktyget också kunna välja vilka beräkningar som är viktiga och då göra snabbare eller mer noggranna beräkningar för dessa diagram.

Ytterligare förbättringar skulle kunna vara att se pilar som visar tendens om man skulle flytta en viss brytpunkt på banan, d.v.s. vilket håll man ska dra åt för att bli mer/mindre synlig för sensorn. På ännu längre sikt är ett önskemål att även kunna generera optimal

banan utgående från en startposition och en slutposition (A till B) automatiskt utgående från preferenser vad gäller upptäckt, bekämpningsbarhet, bränsleförbrukning, tidsaspekter, etc.

4.6 Scriptstöd för dynamiska algoritmer

Det finns flera tillfällen då utbytbara algoritmer som inte är en del av NetScenes kod kan vara ett kraftfullt verktyg. Till exempel då en algoritm är hemlig. Eftersom koden i NetScene är öppen är det viktigt att allt hemligt är data som kan ligga vid sidan (ex. signaturer, RCS) eller som komponenter som kan tas bort. Dessutom kan modellförbättringar göras enklare under och efter utveckling. Just nu behöver kod ändras och det finns en tröskel som gör det svårt för en utomstående att göra modifieringar. Med stöd för script eller en koppling där data kan skickas till och från ett externt program underlättas dessa för framtiden, se Figur 48.



Figur 48 Konceptschema för hur ett externt program t.ex. Matlab skulle kunna användas i EwPlan.

Det scriptspråk och den kopplingen vi är intresserad av i första hand är Matlab. Dels finns en Matlabklon skriven i Java med LGPL med namnet JMathLib som kan integreras i NetScene som scripttolk. Det går också att göra en koppling för att skicka data mellan NetScene och ett körande Matlab på samma dator. Genom att lägga in funktionalitet som stöder båda dessa former fås en lätt version av en Matlabtolk inbyggd och dels en naturlig koppling mot det vanliga Matlab som används mycket för modellutveckling inom FOI. Dessutom får EWPlan ett bra stöd för att visualisera simuleringsresultat med Matlabplottar och möjlighet att visualisera data från Matlab i NetScenes kartor.

5 Referenser

- 1 Cote, S. A., JMPS Acquisition Strategy, Conference Mission planning and decision support, oktober 2006.
- 2 Horney, T. et. al, Slutrapport MOSART, FOI-R--1814--SE
- 3 Tydén, L. et. al, Slutrapport Duellsimulering Telekrig, FOI-R--1724--SE
- 4 Asp, B. et. al, Detvag-90-Final Report, FOA Rapport, FOA-R--97-00566-504--SE, ISSN 1104-9154
- 5 Johansson, A., Pejltekniker i ett taktiskt KOS system, FOI Memo 2581, december 2008
- 6 Gustafsson, F., Statistical Sensor Fusion, Studentlitteratur, ISBN 978-91-44-05489-6, 2010
7. Festin, L. Positionering genom signalstyrkemätningar – Inledande teoretisk studie, FOI Memo 3315, oktober 2010
- 8 Brännström, P., Festin, L., Transmitter localization using signal-strength analysis, to be published 2011
- 9 Benyon, D., Turner, P., & Turner, S. (2005). Designing Interactive Systems. Pearson Education Limited. England.

Bilaga 1 Signatortabeller

Tabellerna som används för radar- och EO-signaturer följer standarden för en fortrantabell, vilket även är standard för signatortabeller i ett flertal projekt som använder samma data. Utseendet hos dessa tabeller demonstreras med hjälp av två exempeltabeller nedan.

Den första exempeltabellen visas i Tabell 25. Det första ordet *TABLE* talar om att det är en tabell. *SHADE1* är namnet på tabellen, vilket inte används i EWPlan. Den första siffran, 2, berättar hur många ingångsparametrar som används (i det här fallet azimuth respektive elevation). 14 talar om antalet invärden som finns för den första parametern, d.v.s. hur många azimuthvinklar som finns i tabellen. 8 talar om antalet invärden som finns för den andra parametern, d.v.s. hur många elevationsvinklar som finns i tabellen. De 14 siffrorna härnäst är värden på azimuthvinklarna och de 8 följande är värden på elevationsvinklar. Om andra vinklar skickas in görs interpolation mellan värdena. Sedan följer 8 rader med 14 siffror i varje. Detta är tabellvärdena för olika vinklar, och den parameter som står först varierar först. Första raden motsvarar alltså elevation -42° och sista raden $+42^\circ$. Första kolumnen motsvarar azimuth 24° och sista kolumnen motsvarar 180° . Antalet parametrar och invärden i tabellen kan variera från fall till fall. Vilka parametrar som ska användas som invärden (i det här fallet azimuthvinkel och elevationsvinkel) framgår inte av tabellen, utan anges företrädesvis i en header i varje tabellfil. Rader som påbörjas med ! är kommentarsrader och läses inte in vid tabellinläsningar.

```
TABLE SHADE1, 2, 14, 8/&
24, 36, 48, 60, 72, 84, 96, 108, 120, 132, 144, 156, 168, 180, &
-42, -30, -18, -6, 6, 18, 30, 42, &
1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, &
1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, &
1, 1, 1, 1, 1, 1, 0, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, &
1, 1, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 1, 1, 1, 1, 1, &
1, 1, 1, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 1, 1, &
1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 0, 0, 0, 0, 1, 1, &
1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, &
1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1/
```

Tabell 25 Exempeltabell Shade1 som används för att bestämma skuggningseffekt beroende på vinkel.

Tabell 26 visar en lite större tabell som anger en motors EO-signatur beroende på våglängd, motoreffekt och azimuthvinkel. På samma sätt som tidigare betyder *TABLE* att det är en tabell, *assar* är namnet på tabellen och 3 är antalet ingångsparametrar. Den första parametern har 2 olika ingångsvärden i tabellen, vilket svarar mot två olika våglängdsband. Den andra parametern har 3 olika ingångsvärden vilket svarar mot använd motoreffekt. Den tredje parametern har 31 olika värden i tabellen vilket svarar mot azimuthvinkel. Därefter följer 2 värden på våglängdsbandsindex, 3 värden på motoreffektsindex (1 = start, 2 = normalflygning, 3 = landning) och slutligen innan siffrorna med tabellvärden kommer 31 olika azimuthvinklar. Sedan följer 31 rader med 6 kolumner. Kolumn 1,3 och 5 innehåller värden för det första våglängdsbandet, kolumn 2, 4 och 6 innehåller värden för det andra våglängdsbandet. Kolumn 1 och 2 innehåller värden för motoreffekt 1, kolumn 3 och 4 innehåller värden för motoreffekt 2 och kolumn 5 och 6 innehåller värden för motoreffekt 3. Rad 1 svarar mot azimuthvinkel 0° , rad 2 mot azimuthvinkel 12° , ..., rad 31 mot azimuthvinkel 360° .

TABLE assar, 3, 2, 3, 31 /&
 1, 2, 1, 2, 3, 0, 12, 24, 36, 48, 60, 72, 84, 96, 108, 120,
 132, &
 144, 156, 168, 180, 192, 204, 216, 228, 240, 252, 264, 276, &
 288, 300, 312, 324, 336, 348, 360, &
 10.2401, 20.7679, 1.9884, 2.9245, 5.9509, 10.7710, &
 20.6579, 40.2650, 2.8184, 4.3949, 10.1114, 20.7193, &
 30.9920, 60.4039, 3.0570, 6.5049, 15.7315, 30.1277, &
 40.6426, 80.4834, 4.8149, 8.5854, 20.7658, 40.9274, &
 50.2317, 100.5825, 5.7132, 10.3729, 25.2307, 50.4630, &
 60.4734, 120.7473, 6.1072, 12.1743, 30.7364, 60.2312, &
 70.2145, 140.6748, 7.0700, 14.2452, 35.1249, 70.9685, &
 80.1645, 160.6345, 8.8085, 16.4109, 40.4553, 80.2592, &
 90.6619, 180.4304, 9.4920, 18.1844, 45.4986, 90.8588, &
 100.9537, 200.4945, 10.7150, 20.2256, 50.3807, 100.4361, &
 110.0109, 220.3526, 11.0952, 22.5572, 55.1498, 110.0609, &
 120.0011, 240.3410, 12.9664, 24.1348, 60.9861, 120.1110, &
 130.3048, 260.1931, 13.8736, 26.7841, 65.6323, 130.9925, &
 140.5278, 280.5967, 14.7562, 28.7957, 70.5338, 140.7581, &
 150.4471, 300.6589, 15.4220, 30.2233, 75.2524, 150.0205, &
 160.3629, 320.0367, 16.3091, 32.8060, 80.1007, 160.0932, &
 150.0331, 300.9271, 15.7230, 30.0334, 75.7394, 150.6968, &
 140.3669, 280.7716, 14.8446, 28.8402, 70.8238, 140.4501, &
 130.4828, 260.0587, 13.9670, 26.3585, 65.8096, 130.3610, &
 120.7012, 240.6167, 12.7455, 24.7192, 60.8354, 120.2603, &
 110.6894, 220.9077, 11.8744, 22.6790, 55.3403, 110.2083, &
 100.4120, 200.6886, 10.6514, 20.5038, 50.8573, 100.9803, &
 90.9051, 180.6168, 9.4886, 18.6723, 45.3753, 90.4121, &
 80.2972, 160.5746, 8.6930, 16.2081, 40.9211, 80.3098, &
 70.0821, 140.2963, 7.9080, 14.4272, 35.6777, 70.3981, &
 60.5257, 120.9182, 6.5894, 12.2258, 30.1845, 60.0443, &
 50.3868, 100.9772, 5.9270, 10.3552, 25.0515, 50.8625, &
 40.9771, 80.7639, 4.8242, 8.0627, 20.3120, 40.4069, &
 30.1069, 60.4337, 3.0528, 6.6431, 15.1491, 30.6271, &
 20.7705, 40.5060, 2.6213, 4.4704, 10.3890, 20.2016, &
 10.6701, 20.9693, 1.8691, 2.5904, 5.9840, 10.9278/

Tabell 26 Exempeltabell assar som används för att bestämma en motors IR-signatur beroende av våglängd, motoreffekt och azimutvinkel.