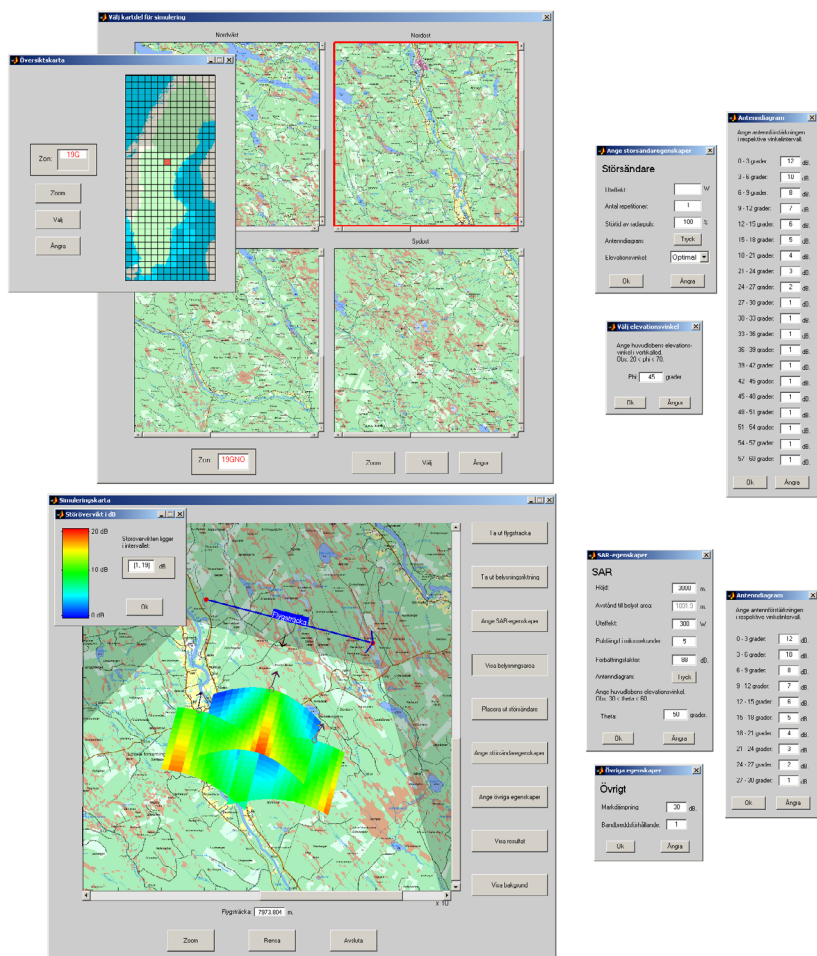


Johan Einarsson

Störsimulering mot SAR, version 2.0



TOTALFÖRSVARETS FORSKNINGSinSTITUT

Ledningssystem

Box 1165

581 11 Linköping

FOI-R--1127—SE

December 2003

ISSN 1650-1942

Teknisk rapport

Johan Einarsson

Störsimulering mot SAR, version 2.0

Utgivare Totalförsvarets Forskningsinstitut - FOI Ledningssystem Box 1165 581 11 Linköping	Rapportnummer, ISRN FOI-R--1127--SE	Klassificering Teknisk rapport
	Forskningsområde 6. Telekrig	
	Månad, år December 2003	Projektnummer E7855
	Verksamhetsgren 5. Uppdragsfinansierad verksamhet	
	Delområde 61 Telekrigföring med EM-vapen och skydd	
Författare/redaktör Johan Einarsson	Projektleddare Veine Jernemalm	
	Godkänd av Stefan Ahlgren	
	Uppdragsgivare/kundbeteckning Försvarets materielverk (FMV)	
	Tekniskt och/eller vetenskapligt ansvarig Veine Jernemalm	
Rapportens titel Störsimulering mot SAR, version 2.0		
Sammanfattning (högst 200 ord) Syntetisk apertur radar (SAR) tillhandahåller högupplösande markbilder oberoende av regn, dimma eller mörker. I militära scenarion placeras störsändare ut för att neutralisera SAR som en källa för strategisk information. Dessa störsändare är designade att orsaka störsignaler in i radarnas mottagare vilka skiljer sig från de sanna reflekterade ekosignalema genom påförda modulationer i amplitud, fas eller frekvens. Maskeringsarean, dvs området som täcks in av störsändarna, och dess olika störeffektnivåer beror på en mängd olika parametrar och geometriska förhållanden specifika för det aktuella SAR-systemet och de utplacerade störsändarna. Då simulering är ett kostnads- och tidseffektivt sätt att få en verklighetsuppfattning om ett eventuellt störsscenario är det önskvärt att ta fram ett simuleringsprogram som utifrån indata om ett givet störsscenario genererar en estimerad maskeringsarea, knuten till geografiska punkter, där störöverbikten visualiseras med en lämplig skalning. Detta möjliggör att lämpliga positioner för störsändare kan tas fram med hjälp av simuleringar, då ett speciellt område önskas maskeras. Denna rapport beskriver ett sådant program.		
Nyckelord SAR, störsändare, störöverbikt, antennförstärkning, antenndiagram		
Övriga bibliografiska uppgifter	Språk Svenska	
ISSN 1650-1942	Antal sidor: 51 s.	
Distribution enligt missiv	Pris: Enligt prislista	

Issuing organization FOI – Swedish Defence Research Agency Command and Control Systems P.O. Box 1165 SE-581 11 Linköping	Report number, ISRN FOI-R--1127--SE	Report type Technical report
	Programme Areas 6. Electronic Warfare	
	Month year December 2003	Project no. E7855
	General Research Areas 5. Commissioned Research	
	Subcategories 61 Electronic Warfare including Electromagnetic Weapons and Protection	
Author/s (editor/s) Johan Einarsson	Project manager Veine Jernemalm	
	Approved by Stefan Ahlgren	
	Sponsoring agency Defence Materiel Administration (FMV)	
	Scientifically and technically responsible Veine Jernemalm	
Report title (In translation) Simulation of SAR jamming, version 2.0		
Abstract (not more than 200 words) Synthetic Aperture Radar (SAR) provides high resolution ground images independently of weather or time of day conditions. In military scenarios, jamming transmitters are used to neutralize SAR as a source of strategic information. These jamming transmitters are designed to cause jamming signals in the receiver of the radar which separate themselves from the true reflected echo signals by means of modulation in amplitude, phase or frequency. The area of disguise, i.e. the area covered by the jamming transmitters, and its different levels of jamming power depend upon many various parameters and geometric conditions specific for the SAR-system and jamming transmitters in question. Since simulation is a cost and time efficient way of getting a reality perception about a future jamming scenario it is desirable to develop a simulation program that according to input data generates an estimated area of disguise, bound to geographic points, where the jamming overweight is visualized with a suitable scaling. This makes it possible to extract suitable locations for the jamming transmitters from simulations when a certain area of interest needs protection. In this report such a program is described.		
Keywords SAR, jammer, jamming overweight, antenna gain, antenna diagram		
Further bibliographic information	Language Swedish	
ISSN 1650-1942	Pages 51 p.	
	Price acc. to pricelist	

Innehåll

1	Inledning	1
1.1	Bakgrund	1
1.2	Syfte	2
1.3	Disposition	2
2	SAR	3
2.1	SAR-beskrivning	3
2.2	Störning mot SAR	7
3	Programutformning	9
3.1	Simuleringsprogrammet i korthet	9
3.2	Störöverbikt	9
3.3	Inparametrar	11
3.3.1	SAR	11
3.3.2	Störsändare	12
3.3.3	Övrigt	14
3.4	Förbättringar, förenklingar och beräkningar	14
3.4.1	Omgivning	15
3.4.2	Radar	15
3.4.3	Störsändare	17
3.4.4	Störöverbikt	18
4	Implementering	21
4.1	Kartmodulen	21
4.1.1	Fönster för översiktskarta	23
4.1.2	Fönster för inmatning av enhetsbeteckning	24
4.1.3	Fönster för val av kartdel	24
4.2	Huvudmodulen	25
4.3	SAR-modulen	27
4.3.1	SAR-fönstret	27
4.3.2	Antennndiagram för SAR	28
4.4	Störsändarmodulen	28
4.4.1	Fönster för störsändaregenskaper	28

4.4.2	Antenndiagram för störsändare	29
4.4.3	Fönster för inmatning av elevationsvinkel	30
4.5	Parametermodulen	30
4.6	Belysningsareamodulen	30
4.7	Resultatmodulen	31
5	Kort användarguide	33
5.1	Simuleringsfönstrets knappsats	33
5.2	Tolkning av resultatet	35
5.2.1	Störscenario med ensam störsändare	38
5.2.2	Störscenario med flera störsändare	39
5.2.3	Störsändare utan inverkan	41
6	Avslutning	43
6.1	Slutsatser	43
6.2	Kända fel	43
6.3	Förbättringar	44
6.3.1	Omgivning	44
6.3.2	SAR-system	44
6.3.3	Störsändare	44
6.3.4	Användarvänlighet	45
	Litteraturförteckning	47
	Figurer	49

Kapitel 1

Inledning

Detta kapitel innehåller en kort beskrivning av bakgrunden till simuleringsprogrammet, dess problemområde och syfte. Även en kort sammanfattning i form av en disposition finns att läsa.

1.1 Bakgrund

Syntetisk apertur radar (SAR) är ett högupplösande radarsystem som med hjälp av avancerad signalbehandling kan generera en stor antenn på syntetisk väg i syfte att förbättra upplösningen. Ett SAR-system placeras vanligen i flygplan eller satelliter och används både för civila och militära ändamål. SAR används främst för att ta högupplösande bilder av marken. Upplösningen är så hög att bilderna blir fotolikhande. Detta, till skillnad från optiska kameror, oberoende av mörker, regn eller dimma. Ur ett militärt perspektiv är det därför av stort värde att kunna störa ut ett SAR-system så att en eventuell fiende kan hindras från att ta bilder av markområden vilka kan avslöja strategisk information.

Detta kan göras genom att placera ut störsändare. Dessa är designade att orsaka störsignaler in i radarns mottagare vilka skiljer sig från de sanna reflekterade ekosignalerna genom påförda modulationer i amplitud, fas eller frekvens. Maskeringsarean, dvs området som täcks in av störsändarna, och dess olika störeffektnivåer beror på en mängd olika parametrar och geometriska förhållanden specifika för det aktuella SAR-systemet och de utplacerade störsändarna. Då simulering är ett mycket bra och billigt sätt att få en verklighetsuppfattning om ett eventuellt störscenario är det önskvärt att ta fram ett simuleringsprogram som utifrån indata om ett givet störscenario genererar en estimerad maskeringsarea, knuten till geografiska punkter, där störövertikten visualiseras med en lämplig skalning. Detta möjliggör att lämpliga positioner för störsändare kan tas fram m h a simuleringar, då ett speciellt område önskas maskeras.

Det utarbetade simuleringsprogrammet är en vidareutveckling av ett tidigare pro-

gram presenterat i en FOI-rapport [1] med rapportnummer FOI-R--0049--SE.

1.2 Syfte

Syftet med det utförda arbetet har varit att tillgodose en beställning från Försvarets Materielverk (FMV) angående leverans av ett simuleringsprogram som simulerar störscenarion mot SAR.

1.3 Disposition

Här ges en kort beskrivning av rapportens innehåll.

Kapitel 1: Inledning. Bakgrund till simuleringsprogrammet, dess syfte samt en disposition.

Kapitel 2: SAR. Kort beskrivning av SAR och de principer som ligger till grund för dess funktionalitet. Även en kort genomgång av hur störning mot sådana system går till. En störsändares egenskaper och funktionalitet beskrivs.

Kapitel 3: Programutformning. Simuleringsprogrammets funktionalitet definieras. Dess inparametrar beskrivs och i slutet av kapitlet ges en redogörelse av de förbättringar som gjorts sedan det föregående simuleringsprogrammet. Även kvarvarande förenklingar av verkligheten redogörs för.

Kapitel 4: Implementering. Kapitlet ger en översikt av programmets uppbyggnad.

Kapitel 5: Kort användarguide. En kort genomgång hur programmet fungerar och används.

Kapitel 6: Avslutning. Slutsatser samt kända fel presenteras. Förslag på framtida förbättringar ges.

Kapitel 2

SAR

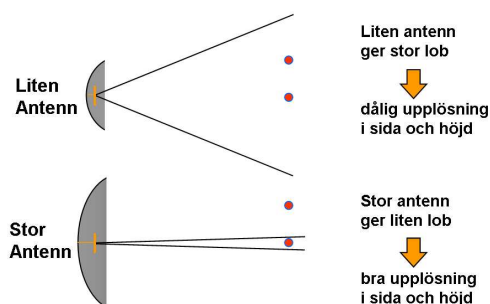
SAR-tekniken har funnits sedan 50-talet men det är inte förrän på senare år som den har börjat tillämpas. Detta beror på de stora krav den ställer i form av snabba minnen och processorer till följd av den mängd information som samlas in. Tack vare den snabba utvecklingen inom signal- och informationsbehandlingsområdet, vilket lett till billigare och allt mer kraftfullare tekniklösningar, har SAR-system för höghöjds- och satellitspaning inom såväl militär som civil verksamhet blivit allt vanligare i många länder.

2.1 SAR-beskrivning

För en radarantenn gäller att dess lobstorlek bestäms av aperturen. Apertur är benämningen på den "öppning", alternativt tvärsnittsarea, i radarantennens reflektor där radarpulsarna strålar ut och tas emot. En antenn med stor apertur erhåller en smalare lob än en antenn med mindre. I radarsystem är detta av stor betydelse då upplösningen, dvs förmågan att skilja mellan två föremål, blir högre med en smalare lob jämfört med en bredare. Detta illustreras i figur 2.1. För mer om detta se [2] och [3].

För att kunna uppnå hög azimuth upplösning, dvs kunna skilja på meterstora eller decimeterstora föremål i sidled, måste således ett radarsystem ha en mycket stor antenn (alt. apertur). Då en sådan skulle bli alldeles för stor för placering på exempelvis flygplan, genererar istället SAR en stor antenn på syntetisk väg. Detta görs med hjälp av avancerad signalbehandling.

Grundprincipen för en flygburen SAR är att flyga en s k integrationsträcka, vilken motsvarar den längd en reell antenn med samma upplösning skulle ha, under vilken radarpulser sänds ut med en mindre antenn. Radarekona från marken registreras av ett massminne. När hela integrationssträckan är avverkad görs en fasriktig addition av ekona från respektive avstånd varefter en radarbild, via bildprocessning, kan skapas på samma sätt som om en reell antenn använts. På så sätt kan även små



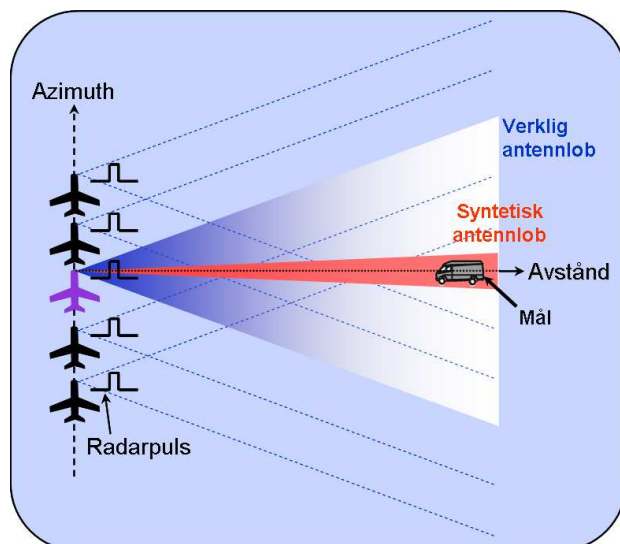
Figur 2.1: Ett radarsystem med en stor antenn erhåller en smalare lob än ett radarsystem med en liten antenn. Fördelen med en smalare lob är bättre upplösningssförmåga.

målekon urskiljas. Figur 2.2 visar en principbild över hur den syntetiska antennen genereras.

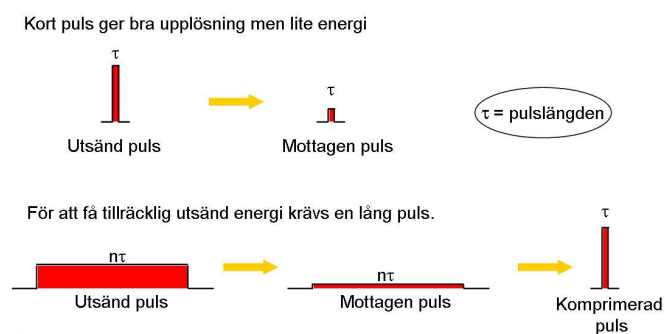
För att få bra räckvidd och upplösning i avstånd använder SAR-system vanligtvis modulationsformen linjär FM tillsammans med pulskompression. Anledningen till detta är att radarsystem med dessa egenskaper kräver pulser med hög energi och stor bandbredd. För en vanlig puls betyder detta att den måste vara mycket kort för att uppnå stor bandbredd och ha väldigt höga effekttoppar för att uppfylla energikravet. Det finns dock praktiska gränser för hur höga effekttoppar som kan användas. Korta pulser medför även dålig Doppler-upplösning vilket ej är önskvärt hos ett radarsystem.

Genom att använda mer sofistikerade vågformer kan dessa till synes inkompatibla egenskaper på ett bättre sätt tillmötesgå. Vågformen som används är linjär FM. Denna vågform möjliggör användandet av långa pulser så att hög energi kan erhållas även med måttlig storlek på effekttopparna. Således kan bra Doppler-upplösning och bra räckvidd erhållas. Upplösning i avstånd kan åstadkommas med hjälp av pulskompression, se figur 2.3. Genom att filtrera de inkommande ekopulserna genom ett signalanpassat filter, som trycker ihop pulserna, blir dessa kortare vilket resulterar i bra upplösning i avstånd. I figur 2.4 illustreras den syntetiska träffytan i förhållande till den verkliga träffytan, där den föregående beror på den syntetiska antennens antennlob och den senare på den reella antennens antennlob.

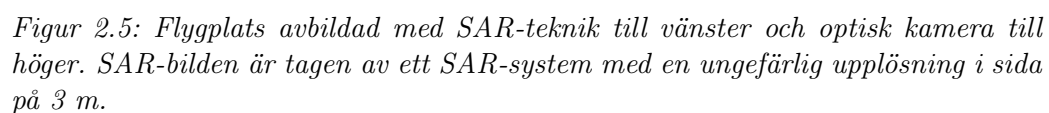
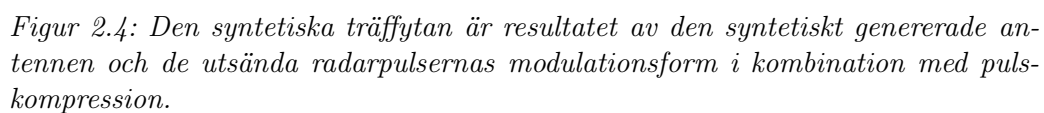
Som det nämns i avsnitt 1.1 så är det möjligt att uppnå mycket hög upplösning hos SAR-bilder. Nuförtiden är detaljnivån nästan lika hög som hos optiska fotografier. Exempel på detta kan ses i figur 2.5. Fördelen med SAR-bilder är dock att dessa kan tas oberoende av mörker, regn eller dimma. Det finns därför ett stort behov av att kunna störa ut SAR-system ifall strategiskt viktiga områden ska kunna skyddas från fientlig spaning.



Figur 2.2: För att generera en syntetisk antenn flyger en SAR en integrationssträcka vilken motsvarar längden på en reell antenn med samma upplösning. Under integrationssträckan sänds radarpulser ut med en mindre antenn vars eko registreras. Då sträckan passerats signalprocessas ekoen varpå en radarbild, via bildprocessning, kan skapas.



Figur 2.3: För att ett radarsystem ska kunna uppnå bra räckvidd och hög upplösning måste de utsända radarpulserna vara korta och energirika. Sådana pulser är dock praktiskt svåra att generera. Istället används pulskompression som tillåter användandet av långa energirika pulser med måttlig storlek på effekttopparna.



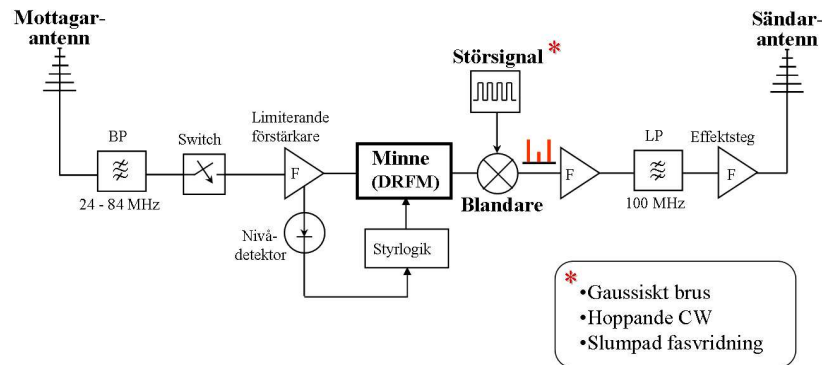
2.2 Störning mot SAR

Metoder för att störa eller vilseleda radarsystem delas vanligen upp i aktiva eller passiva störmetoder. En passiv störmetod genererar inte någon egen energi utan reflekterar eller absorberar enbart energin utsänd av radarn. Ett exempel på en vanligt förekommande sådan är s k "remsfällning" där en stor mängd metallöverdragna remsor sprids ut i form av ett moln. Detta remsmoln ger upphov till skenekon som kan maskera ett verkligt mål och därmed vilseleda en radar. En annan passiv störmetod är att använda sig av "smygteknik". Då anpassas en farkosts utformning och material i syfte att minimera radarmålytan och därmed uppnå en kamouflerande effekt.

I SAR-system så är det, till skillnad från vanliga radarsystem, marken inklusive befintliga mål som befinner sig på den som är målet. Arbetsfrekvenserna är normalt sett i storleksordningen GHz. SAR-system, såsom CARABAS, som använder sig av lägre frekvenser i VHF-bandet (20-90 MHz) kan lättare penetrera vegetation och maskeringar tack vare den större våglängden. Detta betyder att traditionell kamouflering i form av passiva störmetoder inte räcker till. För att skydda strategiskt viktiga områden placeras därför störsändare ut. Dessa är designade att orsaka störsignaler in i radarns mottagare vilka skiljer sig från de sanna reflekterade ekosignalerna genom påförda modulationer i amplitud, fas eller frekvens. Sådana motmedel kallas *aktiva elektroniska motmedel*.

Eftersom alla elektroniska komponenter genererar brus av varierande styrka kan detta användas för att dölja ett radareko. En radarmottagare kan inte skilja mellan brus som kommer från dess komponenter och termiskt brus som kommer utifrån. Om det inkommande bruset från en störsändare är starkt "drunknar" ekona i bakgrundsbruset och radarn kan ej filtrera ut dem. Störning med en aktiv störmetod kan delas upp i bredbandig- och smalbandig störning. Bredbandig störning sprider ut sin energi över ett bredare frekvensintervall, radarns totala bandbredd. Smalbandig störning försöker koncentrera sig på ett mindre intervall, radarns momentana bandbredd. Av dessa sätt är det senare att föredra. Anledningen är att det föregående resulterar i att energiåtgången blir stor samt att andra mottagare inom radarns bandbredd riskerar att bli utstörda. Därför är det bra om störning görs så smalbandig som möjligt.

I nuläget används repeterstörsändare för att uppnå så smalbandig störning som möjligt. En sådan tar emot och spelar in en kort del av den inkommande radar-pulsen. Denna repeteras sedan efter pålagd modulation varvid maskering i avstånd erhålls. Vanligt är att modulera med smalbandigt brus eller alternativt med CW-signaler (eng. CW = Continuous Wave). I fallet med smalbandigt brus medför detta att en fasriktig addition och pulskompression av de uppsamlade ekona i SAR-mottagaren omöjliggörs om störeffekten är tillräckligt hög. Detta leder till den redan beskrivna "drunknings"-effekten. Då CW-signaler används ger de upp-



Figur 2.6: Principskiss över en repeterstörsändare mot VHF-SAR.

hov till falska ekon över maskeringsarean. Detta gör det svårt för SAR-systemet att avgöra vilka ekon som är verkliga och vilka som är falska. Figur 2.6 visar en principskiss över en repeterstörsändare.

Störsändarnas antenner är inte rundstrålande utan riktade vilket betyder att deras antennlobber är begränsade inom ett visst vinkelintervall både i horisontal- och vertikalplanet. Följden av detta blir att maskering av ett särskilt område blir beroende av hur störsändarna placeras ut, vilken riktning deras antenner ges, vilken flygriktning SAR-systemet har i förhållande till dessa faktorer osv. Det kan därför vara svårt att optimera maskering av ett utvalt skyddsområde då potentiella störscenarion är många och möjligheterna att genomföra autentiska störförsök är begränsade till följd av bl a tillgången på finansiella medel. En bra lösning på detta är därför att försöka utveckla ett simuleringsprogram som på ett billigare och effektivare sätt kan ge svar på vilka egenskaper störsändare bör ges och hur deras positioner ska väljas för att uppnå bästa möjliga maskering av ett önskat skyddsområde.

Kapitel 3

Programutformning

Målet har varit att konstruera ett datorprogram med vilkens hjälp relevanta stör-situationer kan simuleras. Inparametrar till programmet är således radarns och störsändarnas egenskaper, lägeskoordinater etc. Ytterligare påverkande faktorer såsom markdämpning tas också på bästa möjliga sätt hänsyn till så att verkligheten så nära som möjligt efterliknas. Till grund för arbetet har ett tidigare simuleringsprogram legat vilket beskrivs i en FOI-rapport med rapportnummer FOI-R-0049-SE varför detta ska ses som en fortsättning och vidareutveckling av det.

3.1 Simuleringsprogrammet i korthet

Programmet beräknar och presenterar styrkan av störsändarnas sammanlagda störöverbikt längs den integrationssträcka som SAR-systemet har tillryggalagt. Presentationen av resultatet åskådliggörs grafiskt genom att styrkan hos maskeringsareans störöverbikt representeras av olika färger. Vidare så framgår det tydligt ur presentationen var SAR-systemets integrationssträcka, störsändarnas geografiska placering samt störöverbiktens utbredningsområde är lokaliserade.

3.2 Störöverbikt

Med störöverbikt avses storheten:

$$\frac{J}{S} = \frac{\text{mottagen effekt från störsändaren}}{\text{mottagen effekt från målet}}$$

Detta uttryck används i programmet som ett villkor för att detektera antingen ekoeffekt eller störsändareffekt. Då värdet på störöverbikten överstiger 1 så är den mottagna störsändareffekten J större än den mottagna ekoeffekten S och radarsystemet kan ej detektera ekosignaler. Maskering antas därmed ha uppnåtts.

I [4] definieras de båda effektstorheterna J och S :

$$J = \frac{P_j \cdot G_j}{4\pi \cdot R_j^2} \cdot \frac{1}{\alpha} \cdot \frac{G_r \cdot \lambda^2}{4\pi} \text{ och } S = \frac{P_r \cdot G_r}{(4\pi \cdot R_r^2)^2} \cdot \sigma \cdot \frac{G_r \cdot \lambda^2}{4\pi}$$

där j = jammer (störsändare), r = radar.

Dessa uttryck utgör grundstommen i det modifierade uttryck för störövertikten vilket har implementerats i programmet, se 3.4.4. Anledningen till att förenklingar och modifieringar av de ursprungliga uttrycken är nödvändiga är de avgränsningar som måste införas p g a implementeringskomplexitet, datorprestanda, tidsåtgång etc. De ingående komponenterna har följande betydelse:

G_j = Störsändarens antennförstärkning i den riktning mot mottagaren där störövertikten ska beräknas, dimensionslös.

G_r = Radarsystemets antennförstärkning i den riktning mot störsändaren där störövertikten ska beräknas, dimensionslös.

$\frac{G_r \cdot \lambda^2}{4\pi}$ = Radarantennens effektiva area, ofta 10-60 % mindre än den fysiska antennarean. λ = radarpulsens våglängd.

P_j = Den uteffekt med vilken störsändaren sänder.

P_r = Den uteffekt med vilken radarsystemet sänder.

$4\pi \cdot R_j^2$ = Avståndet mellan radar och störsändare bestämmer storleken på den sfäriska area där störsändarens uteffekt fördelas.

$(4\pi \cdot R_r^2)^2$ = Avståndet mellan radar och mål bestämmer storleken på den sfäriska area där radarsystemets uteffekt fördelas. Den yttre kvadraten förklaras av att pulsen färdas sträckan mellan radar och mål tur och retur.

$\frac{1}{\alpha}$ = Dämpningsfaktor. Radarsystemets antennförstärkning, G_r , varierar med vinkelavvikelsen från antennens huvudlobriktning med en tillhörande dämpningsfaktor.

σ = Föremålets effektivarea, den så kallade radarmålytan. Faktorn indikerar hur stort målet verkar vara när det betraktas i radarsystemet.

Uttrycket för störövertikt skrivs således enligt [4]:

$$\frac{J}{S} = \frac{4\pi \cdot R_r^4 \cdot P_j \cdot G_j \cdot \beta}{R_j^2 \cdot P_r \cdot G_r \cdot \alpha \cdot \sigma \cdot \gamma}$$

Notera att uttrycket kompletterats med ytterligare två faktorer, β och γ . β tar hänsyn till hur störsändarens effekt avtar i de fall då störpulsens frekvensband inte täcks in helt av ekopulsens frekvensband, se avsnitt 3.3.3. γ representerar en förbättringsfaktor av SNR som SAR-systemet erhåller via utnyttjandet av pulskompression och integration av flera utsända radarpulser, se [5].

3.3 Inparametrar

För att kunna bestämma SAR-systemets, störsändarnas och omgivningens egenskaper på ett så enkelt och bra sätt som möjligt och därmed skapa förutsättningar för simulering av ett realistiskt störsscenario har en mängd olika inparametrar definierats. Dessa beskrivs i följande avsnitt.

3.3.1 SAR

Flygsträcka: SAR-systemets flygsträcka (alt. integrationssträcka) bestämmer den syntetiska antennens position i det gällande referenssystemet.

Höjd: SAR-system arbetar på en viss höjd. Exempelvis har det egenutvecklade SAR-systemet CARABAS haft en arbetshöjd på 3000-8000 m vid tidigare fältförsök utförda på FOI.

Belysningsriktning: Denna riktning anger antennlobens utbredningsriktning i horisontalplanet och är vinkelrät mot SAR-systemets flygriktning.

Avstånd till belyst area: Detta avstånd anger det horisontella avståndet mellan farkostens lodlinje och närmaste utkant av det aktuella avsökningsområdet. Vidare så är det beroende av vilken elevationsvinkel SAR-systemets antenn(er) har. I programmet går det därför inte, via användargränssnittet, att tilldela denna parameter något värde. Värdet definieras istället automatiskt genom härledning från värdet på elevationsvinkeln. Elevationsvinkeln beskrivs i texten som följer.

Uteffekt: Effekten med vilken radarpulserna sänds ut. Exempelvis utnyttjar CARABAS en ungefärlig uteffekt på ca 300 W.

Pulslängd i mikrosekunder: Längden på pulsen avgör hur bra upplösning i avstånd ett radarsystem kan erhålla, ju kortare desto bättre. Detta står dock i konflikt med den effekt en puls sänds ut med. För att få bra räckvidd måste ett radarsystem sända ut pulser med hög energi. Ett högt effektuttag under en kort tidsperiod kan generera strömöverslag vilket förstör komponenter i utrustningen. För att förhindra detta används, som tidigare nämnts, vågformen lineär FM med pulskompression. Detta möjliggör användandet av långa pulser så att hög energi kan erhållas även med måttlig storlek på effekttopparna.

Förbättringsfaktor: SNR (eng. Signal-to-Noise Ratio) för ett radarsystem vid mottagandet av en ensam puls ges av radarekvationen, se sid 21.15 i [5]. I SAR-system, som använder pulskompression, förbättras SNR med förhållandet mellan den okomprimerade pulslängden τ_i och den komprimerade pulslängden τ_0 , dvs $\frac{\tau_i}{\tau_0}$. Vidare gäller det även att det uppstår ytterligare en förbättringsfaktor p g a den integration som görs av antalet utsända pulser. Således gäller det att det existerar

en total förbättringsfaktor av SNR som beror på pulskompressionen av de utsända radarpulserna samt dess antal. För att begränsa antalet inparametrar och därmed komplexiteten har programmets grafiska gränssnitt utformats så att endast den totala förbättringsfaktorn kan anges. Detta eftersom antalet utsända pulser i sin tur beror på ytterligare ett antal parametrar osv, se sid 21.15 i [5].

Upplösningsarea: På sidan 21.16 i [5] beskrivs radarmålytan med uttrycket $\sigma = \rho \delta_r \delta_{az} \sin \psi$, där δ_r och δ_{az} anger SAR-systemets avstånds- respektive azimut-hupplösning och ρ representerar markens reflektivitet. Termen $\sin \psi$ representerar projektionen. För att i programmet kunna beräkna σ har möjligheter att ange upplösningsarean, $v = \delta_r \delta_{az}$, och dämpningsfaktorn, D , i form av inparametrar lagts in. Tillsammans med höjd- och avståndsinformation är det möjligt att via dessa inparametrar göra nödvändiga beräkningar för att erhålla σ . Markdämpningsparametern, D , beskrivs i avsnitt 3.3.3.

Antenndiagram: En exakt analytisk formel utan förenklingar existerar inte för en radars antenntförstärkning i horisontal- och vertikalplanets alla tänkbara riktningar. För att ändå kunna efterlikna radarantennens uppförande så verklighets-troget som möjligt kan en antens förstärkning i olika riktningar mätas upp och sammanställas i ett s k antenndiagram. Principen med denna förenkling är att om en radarantens lober delas upp i jämna vinkelintervall kan dessa ses som gränser inom vilka effekten antas vara konstant. Genom att i antenndiagrammet återspegla förstärkningen i en viss riktning erhålls en uppfattning om hur en antens lobutformning ser ut i just den riktningen. Viktigt att tänka på är att ju fler värden som används i diagrammet desto mer verklighetsanpassat blir resultatet från simuleringen. I figur 3.1 illustreras hur SAR-systemets antennlob utformats i simuleringsprogrammet.

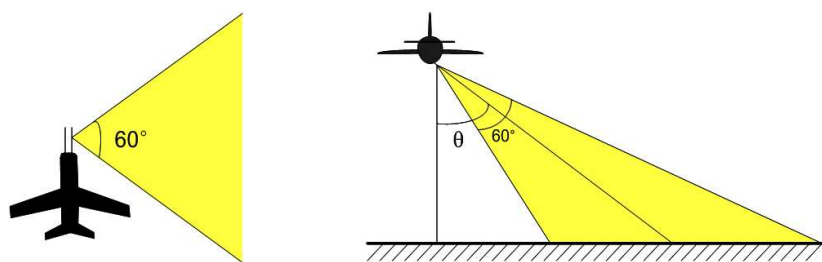
Elevationsvinkel: För att kunna avgöra vilken del av markens yta som SAR-systemet belyser måste dess antens elevationsvinkel anges. Denna vinkel anger antens huvudlobriktning i vertikalplanet. Se figur 3.1.

3.3.2 Störsändare

Position: När en störsändare placeras ut ska dess position kunna anges i förhållande till det aktuella referenssystemet.

Uteffekt: Effekten som störpulserna sänds ut med. I tidigare störförsök gjorda på FOI har under rådande förhållanden en relativt stor uteffekt använts för att uppnå tillräcklig störning. På senare år har dock försök med nya och effektivare störsändare gjorts. Dessa har visat att en mycket mindre uteffekt ger tillfredställande störning under samma förhållanden.

Antal repetitioner: Beroende på hur stort stördjup som önskas åstadkommas



Figur 3.1: SAR-systemets lobutformning i simuleringsprogrammet. θ anger elevationsvinkeln. Utformningen innebär att antenndiagrammet begränsas till $\pm 30^\circ$ i förhållande till huvudlobsriktningen.

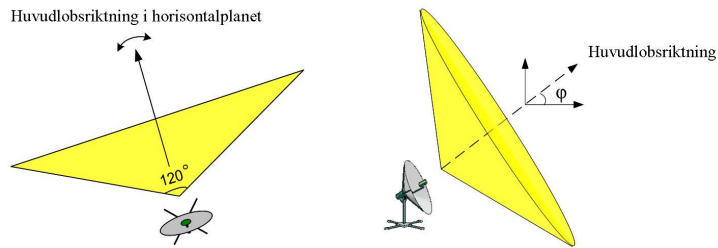
kan den inspelade radarpulsdelen vid användning av repeterstörsändare repeteras ett godtyckligt antal gånger. Ju fler gånger desto längre störtid och därmed ökat stördjup enligt: $s = \frac{ct}{2}$, där c är ljushastigheten. I CARABAS-sammanhang har störtiden varit ca $15 \mu s$ per utsänd radarpuls vilket motsvarar ett maskerat avstånd på ca 3 km.

Störtid av radarpuls: På lägre frekvensband, exempelvis VHF-bandet, kan det p g a s k “rundgång” i systemet vara svårt att lyssna och störa samtidigt. För att garantera att störning av en radarpuls sker under rätt tidsintervall kan viss intelligens byggas in i störsystemet. Detta görs genom att dela upp lyssnings- och sändarperioderna i flera mindre delintervall för att på så sätt erhålla ett lyssna-sänd-mönster. Antalet delintervall och storleken på dessa kan efter behov ändras, men ju mindre den procentuella sändningsdelen blir desto lägre blir också den totala störeenergin i enlighet med att $W = P \cdot t$, där W är använd energi. Med anledning av detta används den procentuella störtiden som en dämpningsfaktor vilken ligger i intervallet $[0,1]$.

Antenndiagram: På samma sätt som för att kunna återspegla en radars lobutformning ska en störsändares antenndiagram kunna anges i form av en inparameter till programmet. I figur 3.2 illustreras hur störsändarnas antennlober utformats i simuleringsprogrammet.

Huvudlobsriktning i horisontalplanet: Då störsändarnas antenner ej är av rundstrålande karaktär, dvs då den utsända energin begränsas till ett visst vinkelintervall i horisontalplanet, måste huvudlobsriktningen i horisontalplanet anges så att antenndiagrammet kan representera korrekt vinkelintervall i det aktuella referenssystemet, se figur 3.2.

Elevationsvinkel: Liksom huvudlobsriktningen måste anges i horisontalplanet så måste den även anges i vertikalplanet, se figur 3.2.



Figur 3.2: Störsändarnas lobutformning i simuleringsprogrammet. φ ger elevationsvinkeln. Utformningen innebär att antenndiagrammet begränsas till $\pm 60^\circ$ i förhållande till huvudlobriktningen.

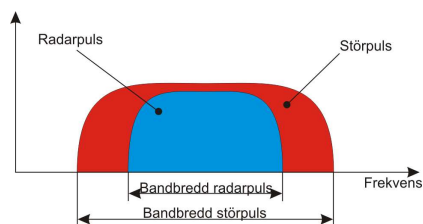
3.3.3 Övrigt

Frekvensbandsförhållande: Frekvensbandsförhållandet β anger hur stor del av störpulsens frekvensband som täcks in av radarpulsens. Liksom *störtid av radarpuls* är denna storhet en slags dämpningsfaktor och antar ett värde i intervallet $[0, 1]$. Syftet med parametern är att ge användaren möjlighet att beskriva hur stor del av den utsända störpulsens effekt som når in i SAR-systemets mottagare. För att uppnå maximal störverkan bör den utsända störpulsens frekvensband helt överlappas av radarpulsens. Detta anges med $\beta = 1$. I verkligheten är det dock vanligt att störsändarna antar ett lägre β -värde då det är svårt att generera en störpuls vars frekvensband helt överlappas av radarpulsens, se figur 3.3. Det viktiga i sammanhanget är dock att frekvensbandsförhållandet inte får bli för litet, då detta i sin tur bidrar till att störöverbikten minskar.

Markdämpning: Beroende på det avspanade områdets absorptions- och spridningsegenskaper kommer energin från en utsänd radarpuls att dämpas olika. Som exempel kan nämnas att vatten totalt sett har en mindre dämpningsfaktor och därmed reflekterar mer energi än torr ökensand. I vågutbredningssammanhang förekommer även atmosfärisk dämpning men enligt Simson (1998) är denna dämpning mycket liten för frekvenser under 0.1 GHz. Exempelvis för CARABAS som använder frekvenser i bandet 20-88 MHz så kan den atmosfäriska dämpningen försummas och markens dämpningsfaktor uppskattas till ca 40 dB.

3.4 Förbättringar, förenklingar och beräkningar

Som det redan nämnts så är detta simuleringsprogram en vidareutveckling av ett tidigare simuleringsprogram. Då modellering och simulering av verkligheten är mycket krävande har förenklingar och antaganden varit en naturlig del i utvecklingsarbetet av båda programmen. Detta avsnitt syftar till att klargöra vad som förbättrats från det föregående programmet samt vilka förenklingar som fortfarande kvarstår och således kan vidareutvecklas och göra det nya programmet mer



Figur 3.3: Frekvensbandsförhållande som återspeglar ett β -värde mindre än 1.

flexibelt och verklighetstroget.

3.4.1 Omgivning

Förbättringar:

- Ett grafiskt gränssnitt för inläsning av geografisk data har implementerats. Gränssnittet är anpassat för inläsning av GSD-Grön kartbild vilket är en uppsättning datafiler som tillsammans beskriver huvuddelen av Sverige i kvadratiska rutor om 25×25 km. Detta gör det möjligt att knyta SAR-systemets flygsträcka och störsändarnas positioner till geografiska punkter.

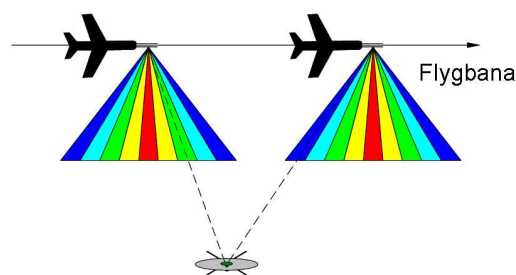
Förenklingar:

- Då det i modellen inte förekommer några andra föremål än själva störsändarna samt då kartdatat är 2-dimensionellt, dvs inte innehåller något höjddata, så är en plan markyta det enda måleko som antas förekomma. Denna förenkling medför att alla målekon med samma avstånd returnerar samma effekt och beräkningen av störövertikten i varje punkt längs flygbanan underlättas därmed. Beräkningen i en viss punkt (en pixel på skärmen) görs genom att den mottagna ekoeffekten jämförs med den mottagna störsändareffekten. Som framgår av uttrycket beskrivet i avsnitt 3.1 har den mottagna ekoeffekten ett omvänt avståndsberoende vilket betyder att den största mottagna ekoeffekten återfinns vid det kortaste avståndet, dvs inga starkare ekon kan förekomma bortanför det kortaste avståndet då den plana ytan endast tillåts ha en homogen markdämpning. Eller annorlunda uttryckt; är störövertikten större än 0 i aktuell punkt så visas den uppnådda störövertikten representerad med lämplig färg, annars visas den plana ytan som representerar marken.

3.4.2 Radar

Förbättringar:

- Möjligheten att ange SAR-systemets antenndiagram har byggts in. Denna möjlighet finns inte i det tidigare simuleringsprogrammet. Detta medför att



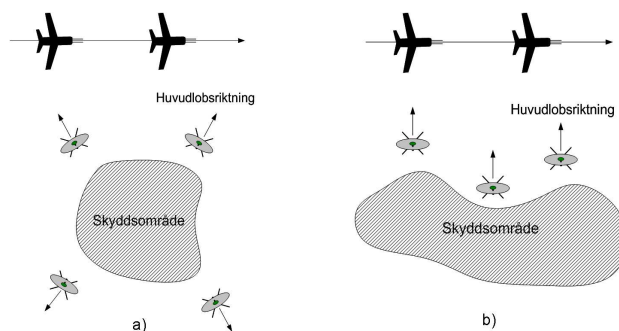
Figur 3.4: En störsändare påverkas av olika antennförstärkningar i SAR-systemets antenndiagram allteftersom integrationssträckan avverkas.

en mer verklighetstrogen störöverbikt kan beräknas då en störsändare påverkas av olika vinkelintervall i antenndiagrammet allteftersom integrationssträckan avverkas, se figur 3.4.

- Möjligheten för en användare att lägga in en godtycklig flygbana har byggts in. Detta går inte göra i det föregående simuleringsprogrammet. Där antas endast att SAR-systemet förflyttar sig längs den vertikala axeln i det gällande koordinatsystemet. Detta är naturligtvis ett väldigt realitetsbegränsande antagande varför det tagits bort i detta program.
- Störsändning antas påbörjas när SAR-systemet kommer till en punkt på integrationssträckan vilket medför att en störsändare träder in i dess verkansområde och därmed exponeras för dess utsända radarpulser. I föregående simuleringsprogram antas störsändning påbörjas när SAR-systemet träder in i störsändarnas respektive verkansområden. Detta är en följd av att SAR-systemet endast antas förflytta sig längs den vertikala axeln i det gällande koordinatsystemet och är därför felaktigt.

Förenklingar:

- Som det nämns i avsnitt 3.3.1 så existerar det inte en exakt analytisk formel för en radars antennförstärkning i horisontal- och vertikalplanets alla tänkbara riktningar. Därför måste antenndiagrammet, hur det än utformas, ses som en förenkling av verkligheten. Vad som dock skulle kunna göras för att förbättra den befintliga utformningen av SAR-systemets antenndiagram är att införa fler och därmed tätare vinkelintervall. Detta skulle dock leda till en negativ effekt på beräkningsbördan och därmed göra programmet slöare varför detta inte genomförts. Vid ett senare stadie skulle dock detta vara en fullt möjlig och motiverad förbättring förutsatt att hårdvaran som finns tillgänglig är kraftfullare än den nu befintliga.

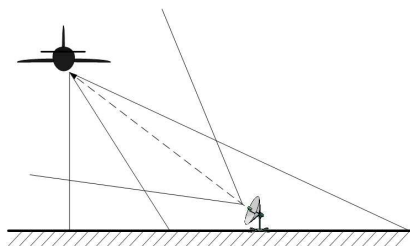


Figur 3.5: Scenario a) beskriver hur ett område kan skyddas, genom utplacering av störsändare, i det aktuella simuleringsprogrammet. Scenario b) beskriver hur detta kan göras i det föregående.

3.4.3 Störsändare

Förbättringar:

- För att i en verklig situation på bästa möjliga sätt kunna maskera ett speciellt skyddsområde bör detta inneslutas av de utplacerade störsändarna, se figur 3.5a. Vidare bör störsändarnas antenner vara riktade bort ifrån det aktuella skyddsområdet. I det föregående simuleringsprogrammet är dock de utplacerade störsändarnas antenner per definition riktade mot en gemensam front, dvs mot den tänkta flygbanan, se figur 3.5b. Denna förenkling leder till att programmet blir väldigt oflexibelt och orealistiskt. I det nya simuleringsprogrammet har detta därför ändrats och dess riktningar går att välja på ett godtyckligt sätt.
- I en verklig situation erhålls en optimal störverkan om störsändaren kan följa SAR-systemets rörelser utmed dess flygsträcka, dvs upprätthålla en optimal elevationsvinkel relativt flygsträckan. I föregående program har antagandet gjorts att SAR-systemets antenn är riktad i exakt linje med riktningen på störsändarantennen då detta medför förenklingar av de beräkningar som är nödvändiga vid uträkning av störöverbikten, se figur 3.6. I verkligheten så fungerar störsändarna dock inte så. Därför har det i detta program införts vissa ändringar vilka bättre ska kunna efterlikna deras verkliga funktionalitet. Dessa ändringar utgörs av införandet av två olika moder. Den ena moden antar att störsändarna intar en optimal elevationsvinkel under hela störobjektets rörelsebana. Den andra moden innebär att elevationsvinkeln sätts av användaren i form av en inparameter. Anledningen till att två moder införts är att jämförelser ska kunna göras mellan dem. Se figur 3.2 för förklaring av elevationsvinkeln.



Figur 3.6: SAR-systemets huvudlobriktning sammanfaller med störsändarens.

Förenklingar:

- Så fort radarsystemet i programmet har rört sig till en sådan position att någon eller flera av de utplacerade störsändarna befinner sig i dess belysningsarea antas störning påbörjas utan tidsfördröjning, dvs störsändarna svarar direkt på mottagen puls. På detta vis simuleras att störning alltid utförs vid rätt tidpunkt och ingen hänsyn till radarsystemets pulsrepetitionsfrekvens behöver tas. Resultatet blir att beräkningen av störöverbikten i en viss punkt kan begränsas till att ske endast för de pixlar längs flygbanan som ligger i respektive störsändares verkansområde. För varje sådan pixel jämförs sedan de erhållna eko- och störsändareffekterna vilka i sin tur kan antas komma från en punktkälla av en pixels storlek.
- Liksom SAR-systemets antenndiagram måste ses som en förenkling av verkligheten så måste detsamma även gälla för störsändarnas, se avsnitt 3.4.2.

3.4.4 Störöverbikt

I uttrycket för störöverbikt beskrivet i avsnitt 3.1 har en del justeringar genomförts som en följd av de förenklingar i omgivningens, radarsystemets och störsändarnas egenskaper enligt avsnitt 3.4.1, 3.4.2 respektive 3.4.3. Till stor del handlar det om att eliminera de faktorer som på grund av dessa förenklingar ej längre anses relevanta.

- Då det i simuleringsprogrammet inte förekommer några punktmål för radarsystemet att detektera kan radarmålytan, σ , uttryckas med hjälp av SAR-systemets upplösningsarea, v , och markdämpningsfaktorn, D . Hänsyn tas också till projektionen varför faktorn $\sin\psi$ även inkluderas. Se avsnitt 3.3.1 för mer om upplösningsarean.
- Markdämpningsfaktorn, D , representerar markegenskaperna, se avsnitt 3.3.3. Den antas vara konstant i intervallet $[0, 1]$ och oberoende av radarpulsens infallsvinkel. Ett D nära 0 beskriver stor dämpning av radarpulsens effekt,

medan ett D nära 1 betyder att större delen av den utsända effekten reflekteras. Dämpningens storlek beror på markens beskaffenhet samt de mål som finns på den.

- I och med användandet av radarsystemets antenndiagram kan förlustfaktorn α för radarantennförstärkningen slopas. Förlustfaktorn α ingår på sätt och vis i antenndiagrammet.
- För att på något sätt ta hänsyn till inparametern *störtid av radarpuls*, se avsnitt 3.3.2, så införs denna som en dämpningsfaktor T vilken ligger i intervallet $[0, 1]$.

Ovan beskrivna faktorer och förenklingar leder till att det slutliga uttrycket som implementeras i simuleringsprogrammet får följande utseende:

$$J = \frac{P_j \cdot G_j \cdot \beta \cdot T}{4\pi \cdot R_j^2} \cdot \frac{G_r \cdot \lambda^2}{4\pi} \text{ och } S = \frac{P_r \cdot G_r \cdot D \cdot \gamma \cdot v \cdot \sin\psi}{(4\pi \cdot R_r^2)^2} \cdot \frac{G_r \cdot \lambda^2}{4\pi}$$

När beräkningen av J och S i aktuell punkt är avklarad jämförs de båda effekterna. Är $J > S$ fås maskering som återges grafiskt på skärmen. Det kan påpekas att då det i verkligheten finns punktmål som reflekterar en mycket stor del av infallande energi kan en verklig radarbild, som jämförs med en simulering, uppvisa starka punktmål trots att god störverkan indikeras av simuleringsprogrammet. Detta beror på att simuleringsprogrammet inte tar hänsyn till punktmål. Det bör även påpekas att då det i simuleringen förekommer två eller fler störsändare kommer J att bli en summa av respektive störsändares uteffekt förutsatt att den aktuella punkten längs flygbanan ligger inom störsändarnas verkansområden.

Kapitel 4

Implementering

I detta kapitel kommer en översiktlig bild av implementeringen ges. För mer detaljerade programmeringslösningar hänvisas läsaren till källkoden.

Källkoden i simuleringsprogrammet är skriven i ett för MatLab 6.5 interpreterbart språk. En av fördelarna med detta är att en funktion under utvecklingsarbetet kan plockas ut och enskilt testas utan att först kompileras. En annan är tillgången på beräkningsfunktioner och funktioner för grafiska gränssnitt. Även stöd för kurvritning finns inbyggt.

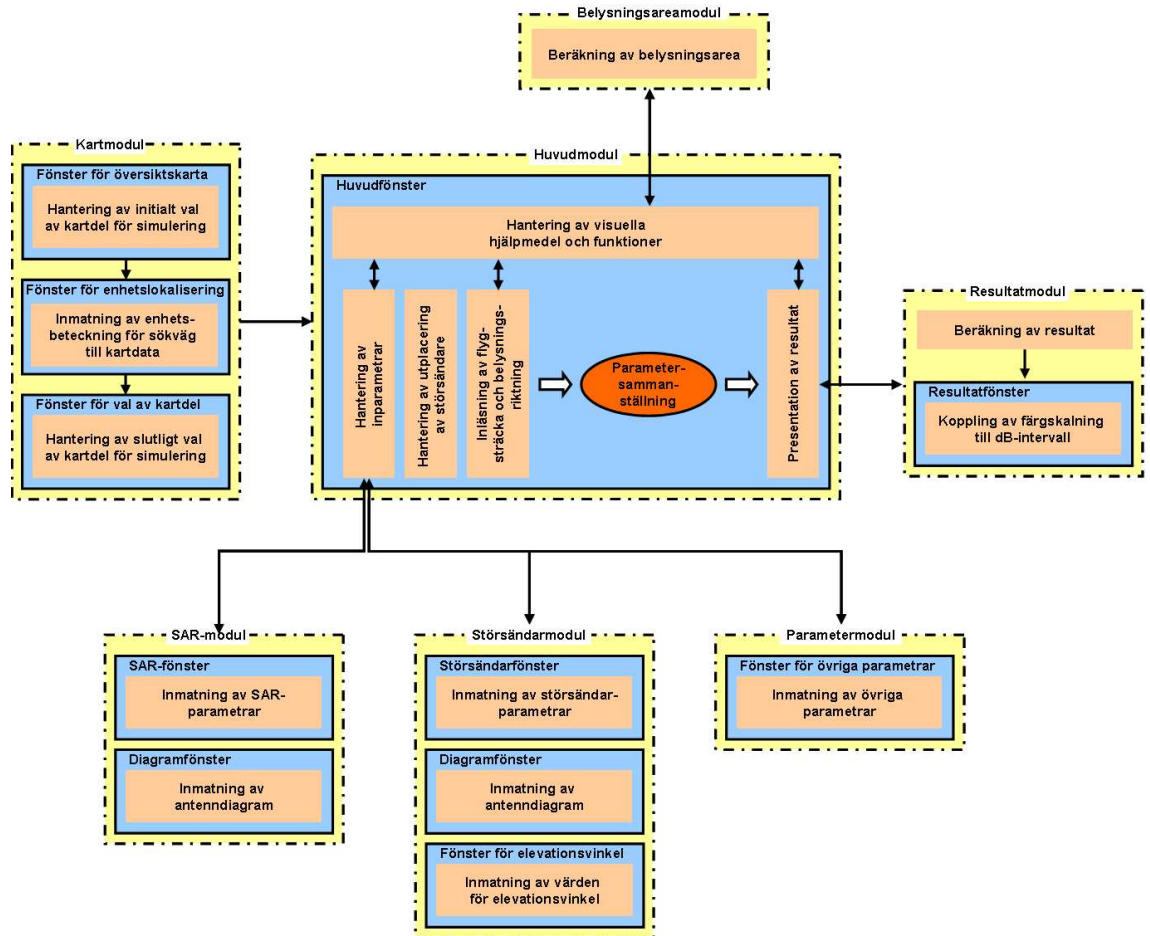
Den följande beskrivningen sker utifrån de moduler som programmet består av. En modul utgörs av en del av programmet och har ofta som uppgift att utföra en speciell uppgift, exempelvis inläsning av en störsändares egenskaper. De olika användargränssnitten i form av fönster har till stor del påverkat den valda moduluppdelningen, se figur 4.1.

4.1 Kartmodulen

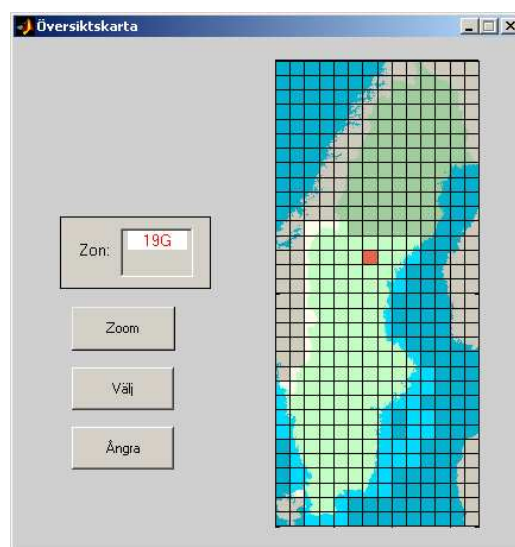
För att inte begränsa programmet som helhet till ett visst kartformat eller en viss uppsättning kartdata har all karthantering förpassats till en egen modul. Detta gör att modifiering av programmet underlättas om det ska användas tillsammans med inkompatibel kartdata.

I sitt nuvarande tillstånd är kartmodulen specialdesignad efter GSD¹-Grön kartbild vilket är en uppsättning datafiler som tillsammans beskriver huvuddelen av Gröna kartan i rasterform [6]. Den är därför med största sannolikhet inte applicerbar på annan kartdata. Detta påverkar dock inte programmet i övrigt då modulen lätt kan frikopplas och ersättas med någon annan eller alternativt modifieras för att passa eventuell annan kartdata.

¹Geographical Swedish Data



Figur 4.1: Principskiss av simuleringsprogrammets modulstruktur.



Figur 4.2: Översiktsfönstret underlättar inläsning av rätt geografiska område. De skuggade områdena indikerar att kartdata ej finns tillgänglig för dessa. Den röda markören visar vilket område som för tillfället är valt.

Liksom figur 4.1 visar utgörs modulen av tre olika fönster. Dessa fönster har som uppgift att tillsammans verka som ett grafiskt gränssnitt för GSD-Grön kartbild och underlätta urvalsprocessen av rätt bakgrundskarta till störsimuleringen. De tre fönsterna beskrivs i texten som följer.

4.1.1 Fönster för översiktskarta

När användaren startar upp simuleringsprogrammet möts denne av en översiktskarta över Sverige, se figur 4.2. Kartan är rutindelad efter Rikets koordinatsystem 1990 (RT 90 2.5 gon V 0:-15) vilket är det plana koordinatsystem som erhålls efter användning av den för Sverige mest lämpade kartprojektion, för mer information om detta se [7]. Den geografiska indelningen som rutnätet avspeglar går strikt efter indelningen av Sverige i storrutor. Varje storruta bär en zonbeteckning och utgörs av fyra mindre rutor vilka vardera beskriver en Grön kartbild på 25×25 km. Exempel på en zonbeteckning ges i figur 4.2 där den rödmarkerade storrutan benämns 19G.

Syftet med översiktkartan är att i ett första steg mappa geografiska områden till de kartfiler som finns tillgängliga för inläsning i simuleringsprogrammet och därmed underlätta den urvalsprocess som användaren måste genomgå för att hitta rätt kartfil till sitt tänkta simuleringsområde. Alternativet är att låta användaren göra sitt val utifrån kartfilernas namn, detta måste dock ur användarvänlighetssynpunkt anses som en mycket sämre lösning då “en bild säger mer än tusen ord”.

4.1.2 Fönster för inmatning av enhetsbeteckning

När användaren angivit ett område på översiktskartan som är av intresse och tryckt på "Välj" så kommer ett fönster, se figur 4.3, att öppnas som ber om enhetsbeteckningen för kartfilernas sökväg, exempelvis *f:*. Anledningen till att ett sådant fönster har implementerats är att kartfilsuppsättningen som kartmodulen är anpassad efter är lagrad på CD-rom skivor. Då olika datorer kan ha olika enhetsbeteckningar på sina respektive CD-rom spelare så innebär detta att en entydig sökväg ej går att anta för alla datorer som kan tänkas använda programmet. Därför går det heller inte implementera en sådan. En lösning på detta problem är då att låta användaren själv ange enhetsbeteckningen och därefter komplettera sökvägen.



Figur 4.3: I fönstret anges enhetsbeteckningen för kartfilernas sökväg.

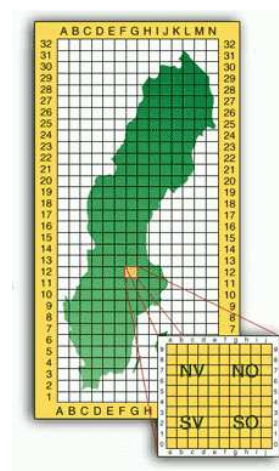
För att snabba upp inläsningen av kartdatat till simuleringsprogrammet rekommenderas att katalogstrukturen med samtliga kartfiler överförs från CD-rom skivorna till hårddiskens rotkatalog på datorn. I fönstret ska då hårddiskens beteckning anges istället för CD-rom spelarens. Felhantering för att undvika programkrasch vid inmatning av annat än giltig enhetsbeteckning har lagts in liksom hantering av situationer då kartdata ej existerar på angiven enhet.

4.1.3 Fönster för val av kartdel

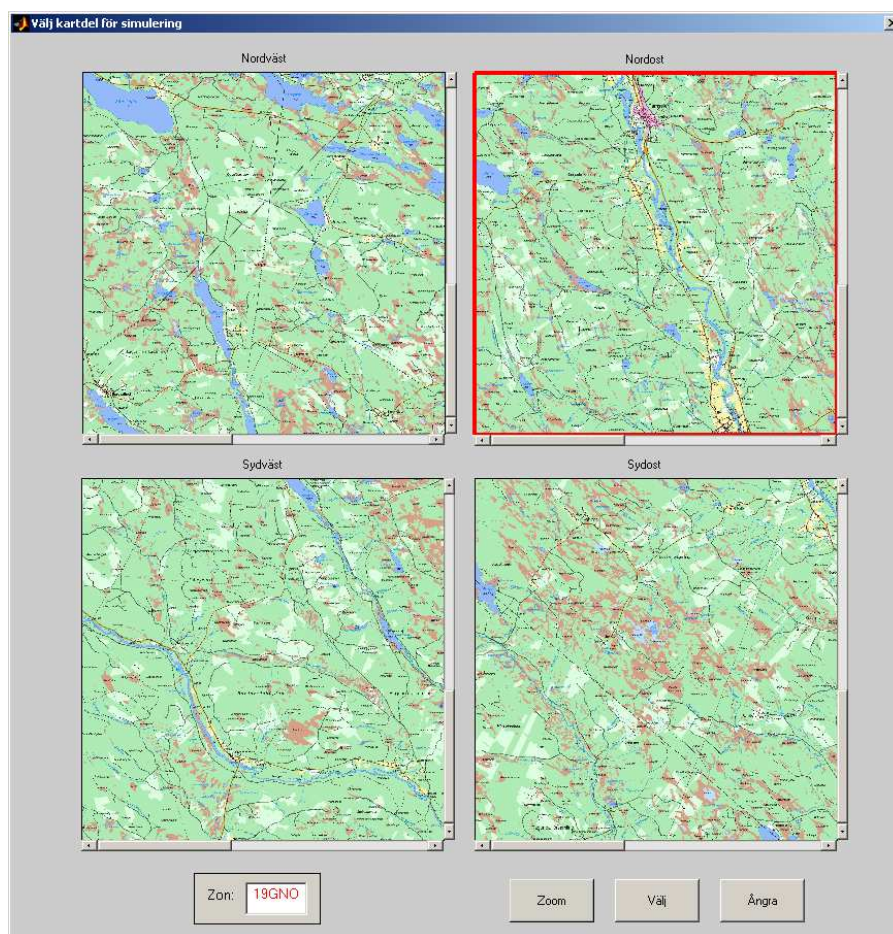
För att slutföra mappningen av ett önskat geografiskt område till en kartfil har ett tredje fönster implementerats i kartmodulen. Detta fönster visar de Gröna kartbilder vilka beskriver den valda storrtutan från översiktskartan. Utformningen har hämtats från Rikets koordinatsystem, se figur 4.4, vilket medfört ett utseende enligt figur 4.5.

Anledningen till att en sådan implementering har varit nödvändig är att översiktskartan inte är tillräckligt detaljerad för att kunna bestämma ett önskat område och följaktligen inte heller vilken kartfil som ska läsas in. Grundliga efterforskningar har dock genomförts för att hitta en ännu lämpligare översiktskarta, dvs mer detaljrik, men dessa har ej givit resultat.

Som det framgår i figur 4.4 så har fönstret försetts med en zoomfunktion så att mycket hög detaljrikedom ska kunna uppnås samt att den för tillfället valda kartdelen markeras



Figur 4.4: Rikets koordinatsystem.

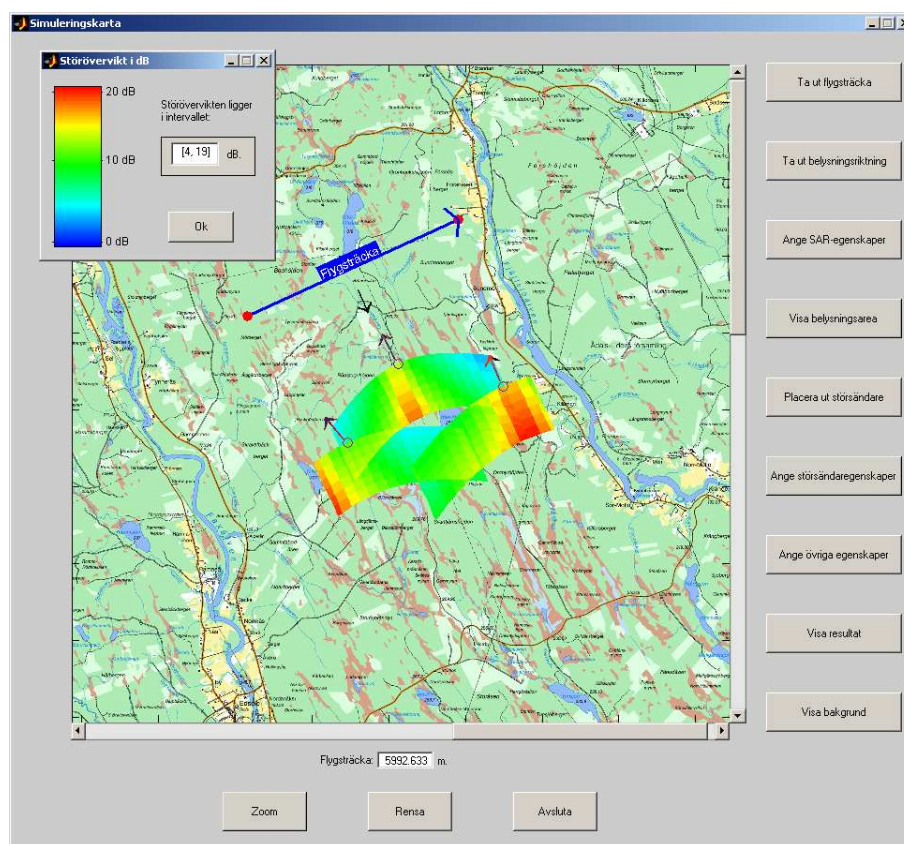


Figur 4.5: De fyra kartdelarna utgör den valda storrtutan 19G från översiktskartan. I figuren framgår det att zon 19GNO för tillfället är vald. Detta markeras med en röd ram runt denna kartdel.

med röd inramning. Således gäller det att när rätt simuleringsområde identifierats och denna kartdel är markerad med den röda ramen så är det bara för användaren att trycka på "Välj" för att gå vidare till simuleringsfönstret, se figur 4.6. Annars finns det en "Ångra"-knapp vilken har som funktion att låta användaren återvända till fönstret med översiktskartan så att ett nytt val kan göras där.

4.2 Huvudmodulen

Huvudmodulen är den viktigaste delen i programmet och representeras av simuleringsfönstret, se figur 4.6. I simuleringsfönstret definieras själva störscenariot via utplacering av störsändare, uttagning av flygsträcka och belyningsriktning för



Figur 4.6: I simuleringsfönstret definieras, simuleras och presenteras det önskade störscenariot. Resultatfönstret kopplar ihop den visualiserade maskeringsareans störöverbikt med det aktuella dB-intervallet.

SAR:en m m. Det är även där som störsimuleringen exekveras och presenteras i form av en grafisk visualisering av störöverbikten. Dock kan inte all nödvändig information matas in direkt i simuleringsfönstret. Istället samlas även en stor del in via kommunikation med andra moduler, se figur 4.1. Dessa presenteras i avsnitt 4.3-4.7. Illustrativt fungerar huvudmodulen som spindeln i nätet.

Fördelen med att på det här sättet frikoppla moduler och undvika att integrera all funktionalitet i huvudmodulen märks när programmet ska byggas om eller modifieras. En modul kan enkelt läggas till eller tas bort och förändringar kan skötas på respektive modulnivå vilket är en stor fördel. Efter att inläsning och kommunikation med övriga moduler har skett samlas varje inparameter in från sin respektive lagringspost till en gemensam inmatningspost när resultatet ska presenteras. Denna post skickas till resultatmodulen där beräkning av själva störöverbikten sker.

Viss grundläggande felhantering har lagts in för att undvika programkrasch vid ofullständiga störsceenarion, dvs om störsändare ej placerats ut eller om flygsträcka ej tagits ut osv.

4.3 SAR-modulen

SAR-modulen representeras av två stycken fönster och har som uppgift att tillgodose användaren med ett grafiskt gränssnitt för att kunna definiera det aktuella SAR-systemets egenskaper via de parametrar som beskrivs i avsnitt 3.3.1. Det kan påpekas att modulen inte har något att göra med inmatning av egenskaper såsom SAR-systemets flygsträcka eller belysningsriktning. Detta sköts istället av huvudmodulen.

4.3.1 SAR-fönstret

När användaren trycker på knappen “Ange SAR-egenskaper” i simuleringsfönstret öppnas ett fönster, se figur 4.7, vilket möjliggör inmatning av parametrar specifika för det aktuella SAR-systemet. För inmatning av SAR-systemets antenndiagram sker kommunikation med ett speciellt antenndiagram-fönster, se figur 4.8, vilket anropas via en knapp i SAR-fönstret. Tillsammans utgör de två fönsterna SAR-modulen.

För att undvika att användaren ska behöva knappa in alla inparametrar från början varje gång en mindre ändring behöver göras har samtliga parametrar tilldelats ett i förväg definierat värde. Några av dessa fördefinierade värden är de standardvärden som beskrivs i avsnitt 3.3.1.

Även i detta fönster har viss grundläggande felhantering lagts in för att undvika programkrasch. Tex går det inte att mata in felaktiga tecken såsom bokstäver eller att tilldela parametrar orimliga värden. När alla SAR-parametrar har matats in lagras de tillfälligt i en gemensam post för senare vidarebefodring till den slutliga inmatningsposten vilken nämns i föregående avsnitt.



Figur 4.7: Fönster för inmatning av parametrar specifika för det aktuella SAR-systemet.

4.3.2 Antenndiagram för SAR

I antenndiagramfönstret, se figur 4.8, behöver bara hälften av parametervärdena anges. Anledningen till detta är att SAR-systemets antenndiagram antas vara symmetriskt kring den riktning mot vilken antennen pekar. Vidare har vinkelintervallet begränsats till att gälla från -30° till $+30^\circ$. Anledningen till detta kan härledas till en antennlobs frekvensberoende vilket medför att det valda vinkelintervallet täcker in de flesta av de frekvenser som dagens SAR-system opererar på, dvs väldigt få av dagens SAR-system har antennlobber med bredare vinkelintervall än $\pm 30^\circ$.

Vidare är antenndiagrammet indelat i mindre delintervall om 3° inom vilka aktuella antennförstärkningar antas vara konstanta. För varje sådant delintervall anges antennförstärkningen i antal decibel, dB, där varje 3 dB motsvarar en fördubbling av uteffekten medan varje -3 dB utgör en effekthalvering.

Liksom i föregående fönster finns det fördefinierade värden vilka på ett rimligt sätt beskriver s k standardvärden för antennförstärkningen i de olika delintervallen. Även felhantering med syfte att förhindra programkrasch vid inmatning av bokstäver eller orimliga värden finns inlagd.

Antenndiagram	
Ange antennförstärkningen i respektive vinkelintervall.	
0 - 3 grader:	12 dB.
3 - 6 grader:	10 dB.
6 - 9 grader:	8 dB.
9 - 12 grader:	7 dB.
12 - 15 grader:	6 dB.
15 - 18 grader:	5 dB.
18 - 21 grader:	4 dB.
21 - 24 grader:	3 dB.
24 - 27 grader:	2 dB.
27 - 30 grader:	1 dB.
Ok Ångra	

Figur 4.8: Fönster för inmatning av SAR-systemets antennförstärkning.

4.4 Störsändarmodulen

Störsändarmodulen representeras av tre stycken fönster och har som uppgift att tillgodose användaren med ett grafiskt gränssnitt för att kunna definiera de utplacerade störsändarnas egenskaper via de parametrar som beskrivs i avsnitt 3.3.2. Det kan påpekas att modulen inte har något att göra med själva utplaceringen av störsändare eller uttagandet av deras respektive antenners huvudlobriktningar i horisontalplanet. Detta sköts istället av huvudmodulen.

4.4.1 Fönster för störsändaregenskaper

När användaren trycker ner knappen "Ange störsändaregenskaper" i simuleringsfönstret aktiveras möjligheten att med muspekaren trycka på en utplacerad störsändare och på så sätt öppna dess egenskapsfönster. Exempel på ett sådant fönster ges i figur 4.9. Detta tillåter användaren att mata in värden på de parametrar som karakteriserar störsändaren. På de ställen i fönstret där inmatning inte kan göras direkt överläts uppgiften till två andra fönster vilka tillsammans med det aktuella representerar störsändarmodulen. De två andra utgörs dels av ett antenndiagram-



Figur 4.9: I fönstret kan en störsändares egenskaper definieras via inmatning av parametrar specifika för störsändare.

fönster för inmatning av en störsändares antennförstärkning samt ett fönster för inmatning av dess antens elevationsvinkel vilken bestämmer huvudlobsriktningen i vertikalled.

När det gäller val av elevationsvinkel kan användaren välja mellan att själv bestämma en godtycklig vinkel, genom att i rullgardinsmenyn välja "Välj" vilket öppnar fönstret för inmatning av en elevationsvinkel, eller att låta elevationsvinkeln anta ett optimalt värde genom att välja "Optimal". Om användaren väljer att låta elevationsvinkeln vara optimal behöver inget värde matas in utan det antas att störsändaren kan justera sin antenn efter de vinkelvariationer som uppstår i vinkelförhållandet mellan sig själv och SAR-systemet allteftersom integrationssträckan avverkas.

Liksom i föregående fönster kommer det att finnas fördefinierade värden vilka beskriver uppskattade standardvärden för respektive inparameter. Även felhantering vilken förhindrar programkrasch vid inmatning av bokstäver eller orimliga värden finns inlagd.

4.4.2 Antenndiagram för störsändare

Antenndiagramfönstret för störsändare är utformat på nästan precis samma sätt som SAR-systemets antenndiagramfönster, se avsnitt 4.3.2 och figur 4.8. Enda skillnaden är att vinkelintervallet har begränsats till $\pm 60^\circ$ istället för $\pm 30^\circ$. På så sätt är möjligheterna större att på ett korrekt sätt beskriva olika störsändares antennförstärkning.

4.4.3 Fönster för inmatning av elevationsvinkel

Om användaren i rullgardinsmenyn för störsändarens elevationsvinkel, se figur 4.9, anger "Välj" kommer fönstret i figur 4.10 att öppnas. Där har användaren möjlighet att mata in ett godtyckligt värde på elevationsvinkeln i intervallet $20^\circ < \varphi < 70^\circ$, där φ anger elevationsvinkeln.

Anledningen till att just detta vinkelintervall har valts är det inte kan anses rimligt att vinkla störsändarantennen utanför dessa gränser. Effekten av detta skulle endast bli att en stor del av antennloben riktades antingen kraftigt under eller kraftigt över ett SAR-systems förväntade flygbana.

Utöver det nämnda vinkelintervallet har även begränsningar i form av felhantering vid inmatning av bokstäver lagts in. Detta för att programmet inte ska krascha vid felaktig inmatning. Vidare har en elevationsvinkel på 45° lagts in som fördefinierat värde då det medför att en stor del av antennlobens vinkelintervall utnyttjas på ett effektivt sätt, dvs ligger centralt i intervallet 0° till 90° vilket måste anses vara ett troligt målområde.



Figur 4.10: Fönster för inmatning av en störsändares elevationsvinkel.

4.5 Parametermodulen

Parametermodulen har som uppgift att via ett grafiskt gränssnitt ge användaren möjlighet att mata in parametrar vilka hjälper till att beskriva övriga egenskaper såsom markdämpning och bandbreddsförhållande, se avsnitt 3.3.3. Det gör den via fönstret i figur 4.11.

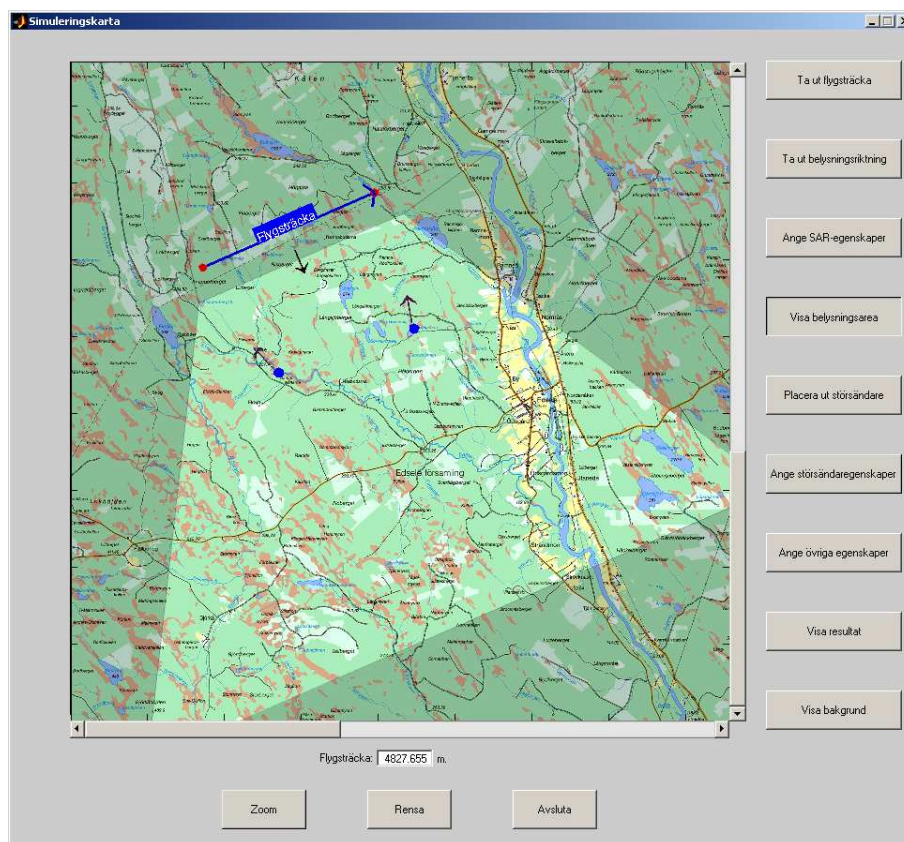
Det fördefinierade värdet för markdämpningen sätts till 40 dB då detta anses vara ett rimligt värde. Vidare sätts bandbreddsförhållandet till 1 vilket antar att störning sker på rätt frekvenser. Felhantering för att undvika programkrasch vid inmatning av bokstäver eller orimliga värden har liksom i tidigare fönster lagts in.



Figur 4.11: Fönster för inmatning av övriga egenskaper.

4.6 Belysningsareamodulen

Denna modul har som uppgift att via information om SAR-systemet beräkna dess belysningsarea. I simuleringsfönstret finns en knapp "Visa belysningsarea". Trycker användaren på denna knapp sedan inmatning av flygsträcka, belysningsriktning och övriga inparametrar relevanta för det aktuella SAR-systemet har skett, kommer



Figur 4.12: Genom att trycka på knappen “Visa belysningsarea” kan användaren få en uppfattning om vilken markarea som exponeras av de från SAR-systemet utsända radarpulserna.

den markarea, vilken uppskattas exponeras av de utsända radarpulserna att lysas upp i simuleringsfönstret, se figur 4.12. Detta kan vara ett användbart hjälpmedel ifall osäkerhet råder huruvida en viss störsändarpositionering kommer att leda till att aktuell störsändare får någon störfunktion i den kommande störsimuleringen.

4.7 Resultatmodulen

Resultatmodulen har som uppgift att beräkna den resulterande maskeringsarean och storleken på dess störöverbikt. Vidare har den också som uppgift att relatera den grafiska visualiseringen av störöverbikten till ett lämpligt dB-intervall så att användaren lätt kan se vilka områden som erhåller bra maskering och vilka som erhåller sämre. Det senare görs via ett resultatfönster vilket visas i figur 4.13. I fönstret går det se att det nämnda dB-intervallet har satts till $[0, 20]$ dB. Anledningen till detta är att 20 dB anses vara en fullt tillräcklig störöverbiktnivå för att



Figur 4.13: Fönstret anger maskeringsareans störövertiktintervall samt kopplar det till den grafiska färgvisualiseringen i simuleringsfönstret via ett färgspektrum med dB-skalning.

uppnå tillfredställande störning.

Kapitel 5

Kort användarguide

Syftet med detta kapitel är att kortfattat försöka förklara hur simuleringsprogrammet fungerar och används. Eftersom processen med att välja rätt bakgrundskarta till en störsimulering är väldigt enkel och förmodligen framgår av avsnitt 4.1 kommer kapitlet bara behandla användning av programmet med utgångspunkt från simuleringsfönstret vilket utgör själva kärnan i programstrukturen.

5.1 Simuleringsfönstrets knappsats

Detta avsnitt har för avsikt att klargöra vilka funktioner knappsatsen i simuleringsfönstret har varför en kort beskrivning av varje knapp ges:

Ta ut flygsträcka: För att ta ut en flygsträcka i simuleringsfönstret trycker användaren på knappen “Ta ut flygsträcka”. Detta aktiverar ett nytt utseende på muspekaren i form av ett kors. Syftet med den nya muspekaren är att öka precisionen vid uttagandet av flygsträckan vilket görs genom att med vänster musknapp trycka på två olika punkter på kartan. Detta leder till att den uttagna flygsträckan målas upp mellan dessa två punkter. Önskas en speciell längd på flygsträckan så finns det en liten ruta placerad strax under simuleringsfönstret, se figur 5.1, vilken efter den första mustryckningen kontinuerligt talar om avståndet mellan den första punkten och muspekarens senaste position. När den andra punkten tagits ut visar rutan avståndet på den valda sträckan.

Ta ut belysningsriktning: För att definiera SAR-systemets belysningsriktning i horisontalplanet så trycker användaren på knappen “Ta ut belysningsriktning”. Detta gör att två pilar riktade vinkelrätt ut från flygsträckan visar sig på skärmen, se figur 5.1. Genom att föra muspekaren över en av dessa pilar kommer dess vita bakgrund att bli röd. Väljer användaren att i ett sådant läge trycka på den vänstra musknappen så kommer den pil som hade den röda bakgrunden att sättas som belysningsriktning för SAR-systemet.

Ange SAR-egenskaper: För att ange SAR-systemets övriga egenskaper trycker användaren på knappen “Ange SAR-egenskaper” vilket medför att fönstret i figur 4.7 öppnas. Via fönstret kan sedan användaren fritt mata in de SAR-egenskaper som önskas.

Visa belysningsarea: Trycker användaren på knappen “Visa belysningsarea” aktiveras en hjälpfunktion som tillåter användaren att se vilket markområde som exponeras av SAR-systemets radarpulser. Då knappen är av toggle-typ innebär detta att den befinner sig i nedtryckt läge så länge hjälpfunktionen är aktiv. Funktionen inaktiveras genom att användaren än en gång trycker på knappen vilket får den att återgå till normalt läge. Användning av funktionen förutsätter att ovan beskrivna knappfunktioner redan använts.

Placera ut störsändare: Trycker användaren på knappen “Placera ut störsändare” aktiveras möjligheten att med muspekaren placera ut en störsändare på kartan genom att trycka på den vänstra musknappen. En störsändare representeras av ett rött cirkelformat objekt när dess egenskaper ej är definierade och ett blått cirkelformat objekt när detta tillstånd har ändrats, se figur 5.1.

I och med att en störsändare placeras ut aktiveras även möjligheten att ta ut dess huvudlobsriktning i horisontalled genom att med vänster musknapp trycka på det cirkelformade objektet (störsändaren) och därefter, med fortsatt nedtryckt musknapp, röra muspekaren i den riktning som huvudloben önskas ha. Huvudlobsriktningen representeras i simuleringsfönstret av en pil riktad ut från aktuell störsändare, se figur 5.1.

Ange störsändaregenskaper: För att definiera en störsändares egenskaper trycker användaren på knappen “Ange störsändaregenskaper”. Detta aktiverar möjligheten att med vänster musknapp trycka på en utplacerad störsändare och på så sätt öppna dess egenskapsfönster, se figur 4.9. Därefter kan användaren fritt mata in önskade egenskaper. På det här sättet kan varje störsändare ges individuella egenskaper. Om en störsändare ej givits några egenskaper tidigare övergår dess färg från att vara röd till att bli blå när detta ändras.

Ange övriga egenskaper: För att ange de övriga egenskaper som beskrivs i avsnitt 3.3.3 trycker användaren på knappen “Ange övriga egenskaper”. Detta leder till att fönstret i figur 4.11 öppnas vilket i sin tur möjliggör inmatning av önskade parametrar.

Visa resultat: När hela störs scenariot är definierat och användaren önskar se den resulterande maskeringsareans störöverbikt finns knappen “Visa resultat” att tillgå. Denna knapp startar de beräkningar som är nödvändiga för att estimeras störöverbikten samt öppnar det resultatfönster som visas i figur 4.13.

Visa bakgrund: När användaren trycker ned knappen “Visa bakgrund” aktiveras en hjälpfunktion vars syfte är att göra färgvisualiseringen av störövertikten genomskinlig så att dess underliggande kartområde syns, se figur 5.2. Tanken med detta är att det tydligt ska gå att se om ett önskat skyddsområde verkligen erhåller tillfredställande maskering eller inte. För att återgå till ursprungligt läge trycks knappen ned igen. Användandet av funktionen förutsätter att störövertikt finns presenterad i simuleringsfönstret.

Zoom: Genom att trycka ned knappen “Zoom” aktiveras möjligheten att zooma in och ut i simuleringsfönstret. Så länge zoomfunktionen är aktiv stängs all övrig funktionalitet av. Att funktionen är aktiv indikeras med att knappen stannar i nedtryckt läge, dvs den är av toggle-typ. Inzoomning sker genom att med vänster musknapp trycka någonstans i kartan medans höger musknapp används för utzoomning. Varje musknapptryckning medför en zoomning med en faktor 2. För att inaktivera funktionen trycker användaren på knappen igen vilket får den att återgå till normalt läge.

Rensa: För att rensa simuleringsfönstret på objekt så trycker användaren på knappen “Rensa”.

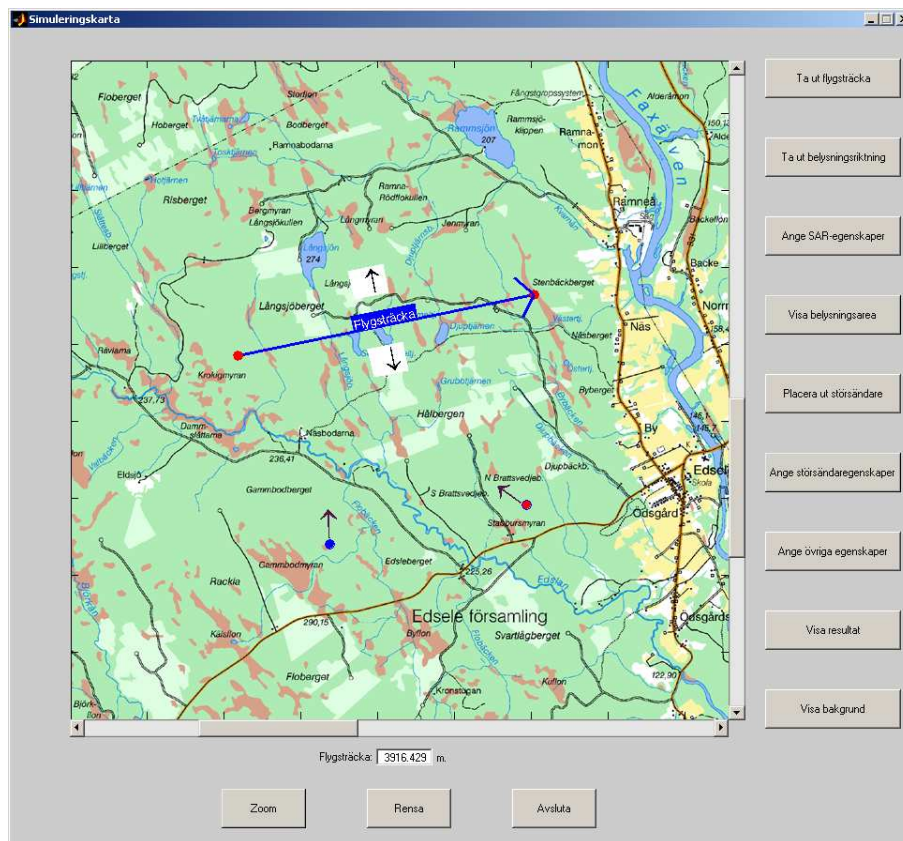
Avsluta: För att avsluta simuleringsprogrammet trycker användaren på knappen “Avsluta”.

5.2 Tolkning av resultatet

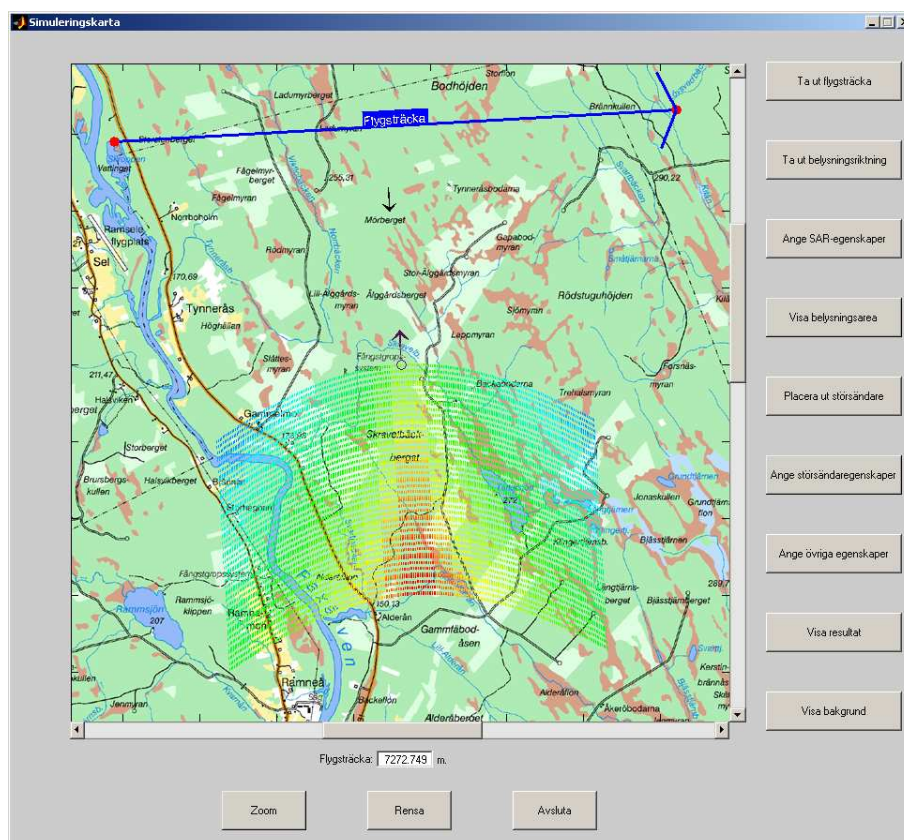
Detta avsnitt syftar till att förklara varför presentationen av ett störscenario får det utseendet som det får.

Resultatet av en störsimulering ges i form av en grafisk presentation av maskeringsareans störövertikt. Beräkningen av störövertikten sker med utgångsläge från varje punkt längs den definierade flygsträckan vilken resulterar i att SAR-systemet befinner sig i en störsändares verkansområde samt belyser denna. För att se styrkefördelningen på störövertikten har denna givits en RGB-kombination, där R = röd motsvarar den starkaste störövertikten och B = blå motsvarar den svagaste. På de områden där ingen störövertikt råder visas den bakomliggande kartan.

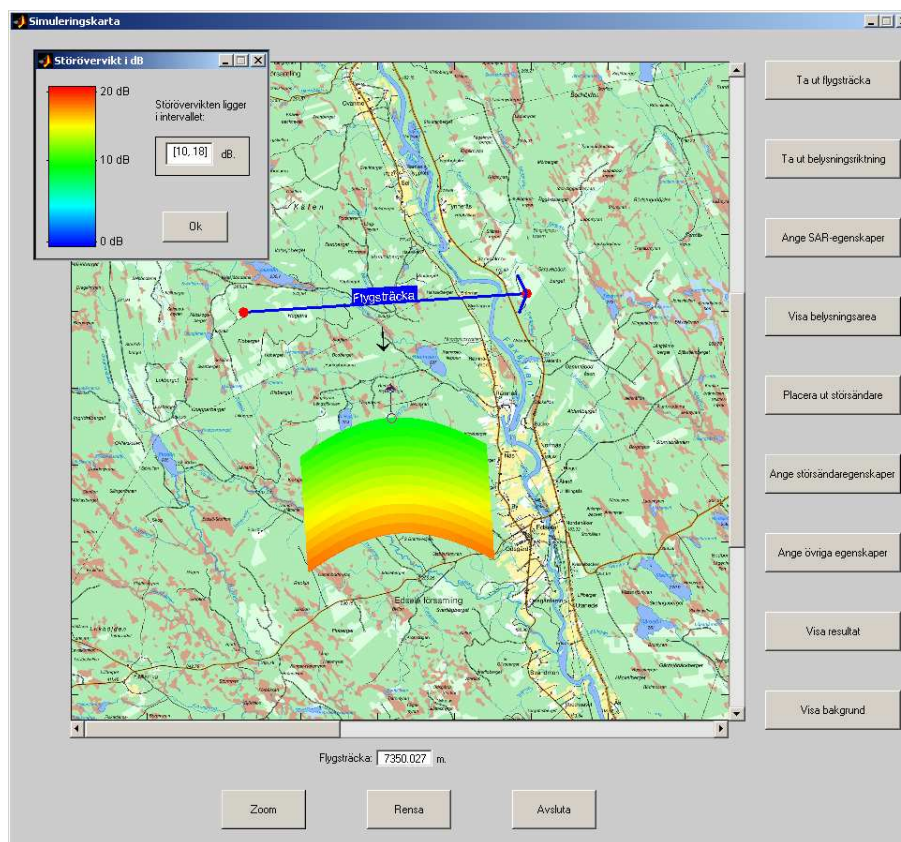
Det hyperbelliknande utseendet på maskeringsarean beror på att SAR-systemet registrerar ett eko som om det kommer ifrån den riktning i vilken radarantennen är riktad, dvs vinkelrätt mot färdriktningen. Detta betyder att när SAR-systemet tar emot störsändareffekt, oavsett vilken riktning den kommer ifrån, tolkas det ändå som om den kommer ifrån en punkt vinkelrät mot flygsträckan. Anledningen till att maskeringsarean breder ut sig precis bakom störsändarna är att störning antas påbörjas direkt efter mottagen radarpuls.



Figur 5.1: Belysningsriktningen i horisontalld tas ut genom att med vänster musknapp trycka på någon av pilarna med vit bakgrund. Två störsändare är utplacerade varav den ena är röd vilket indikerar att dess egenskaper ännu ej har definierats samt en andra, vilken är blå, vilket indikerar att dess egenskaper har definierats.



Figur 5.2: Genom att trycka ned knappen “Visa bakgrund” kan användaren göra färgvisualiseringen av störöverbikten genomsiktig så att underliggande kartområde syns. På så sätt framgår det tydligare om ett önskat skyddsområde erhåller tillfredsställande maskering eller ej. För att återgå till ursprungligt läge trycks knappen ned igen. Störscenariot är samma som det i figur 5.4.

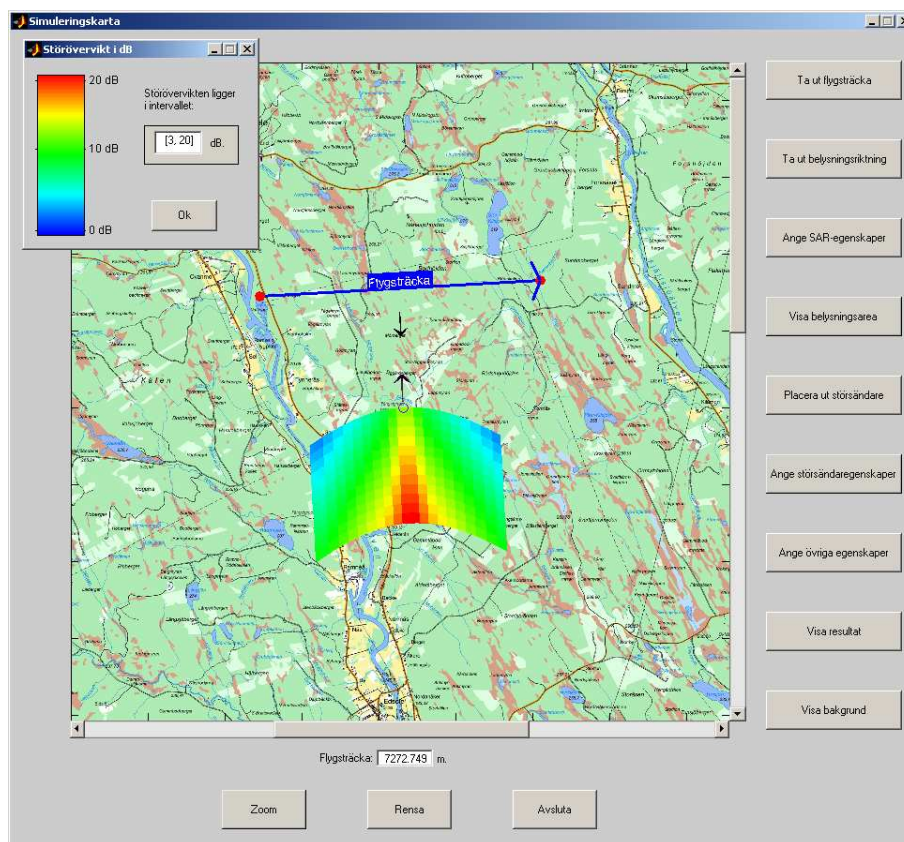


Figur 5.3: Störsändarens antennförstärkning är konstant i antennlobens alla riktningar vilket medför att störöverbikten i en punkt på maskeringsarean till stor del bestäms av ekoeffektens omvända avståndsberoende.

5.2.1 Störscenario med ensam störsändare

För att åskådliggöra hur valet av en störsändares antenndiagram påverkar maskeringsareans störöverbikt har två olika störscenarion med en ensam störsändare simulerats. Dessa visas i figur 5.3-5.4. I båda fallen har SAR-systemets antenndiagram definierats enligt värdena i figur 4.8.

I figur 5.3 har störsändarens antenndiagram givits en konstant förstärkning över alla delintervall, nämligen 9 dB. Resultatet av det blir att störsändaren sänder ut en lika stor störeffekt i antennlobens samtliga riktningar vilket medför att variationen i störöverbikt mellan två punkter på maskeringsarean till stor del bestäms av skillnaden i reflekterad ekoeffekt från dessa. Eftersom ekoeffekten har ett omvänt avståndsberoende, dvs minskar med avståndet, leder detta till att störöverbikten blir som störst i den punkt där avståndet från SAR-systemet är som längst och som minst i den punkt där avståndet är som kortast.

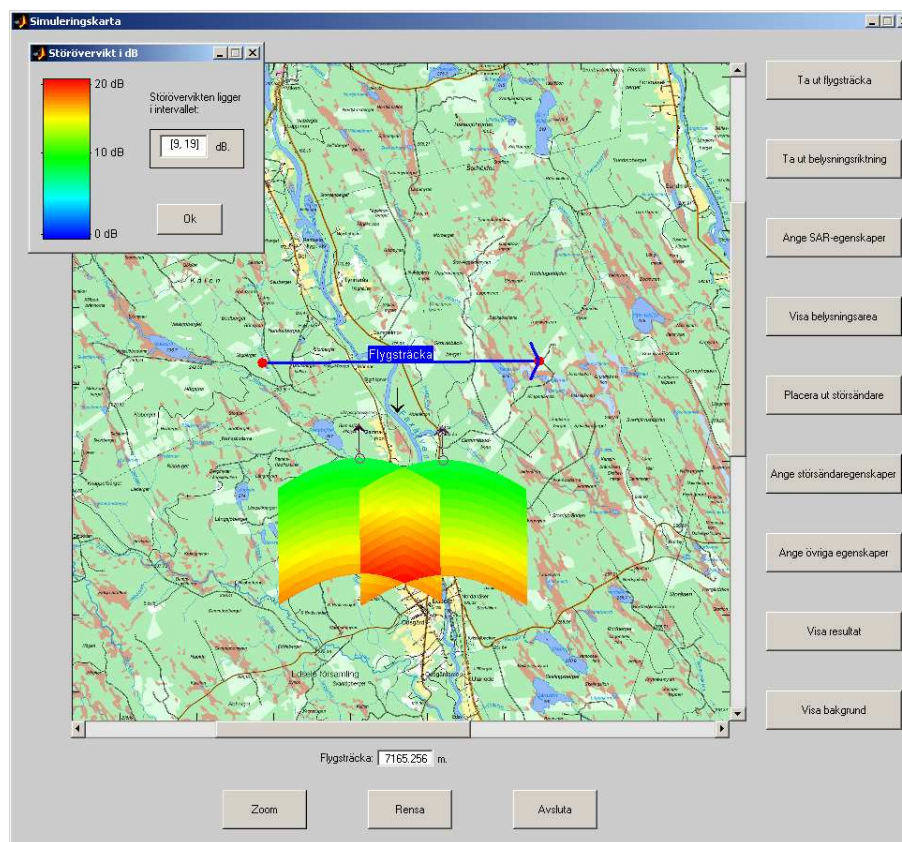


Figur 5.4: Störsändarens antennförstärkning är som störst i huvudbelysningsriktningen och avtar sedan i styrka för att bli som minst i periferin. Tillsammans med störsändareffektens och ekoeffektens omvända avståndsberoende ger detta den presenterade störöverbikten.

I figur 5.4 har störsändarens antenndiagram givits en variabel förstärkning vilken är som störst i huvudbelysningsriktningen för att sedan gradvis avta i styrka via de delintervall som leder ut mot antenndiagrammets utformning. Detta syns tydligt i figur 5.4 då maskeringsareans störöverbikt får en spegelvänd fördelning rakt bakom störsändaren relativt antenndiagrammets utformning. Även här är ekoeffektens omvända avståndsberoende tydlig då störöverbikten för en punkt på maskeringsarean ökar i takt med att avståndet från SAR-systemets flygsträcka blir större.

5.2.2 Störscenario med flera störsändare

Genom att placera ut fler än en störsändare kan ett strategiskt känsligt område på ett bättre sätt skyddas. Är utplaceringen sådan att störsändarnas maskeringsareor överlappar varandra blir störöverbikten i dessa områden summan av störöverbik-

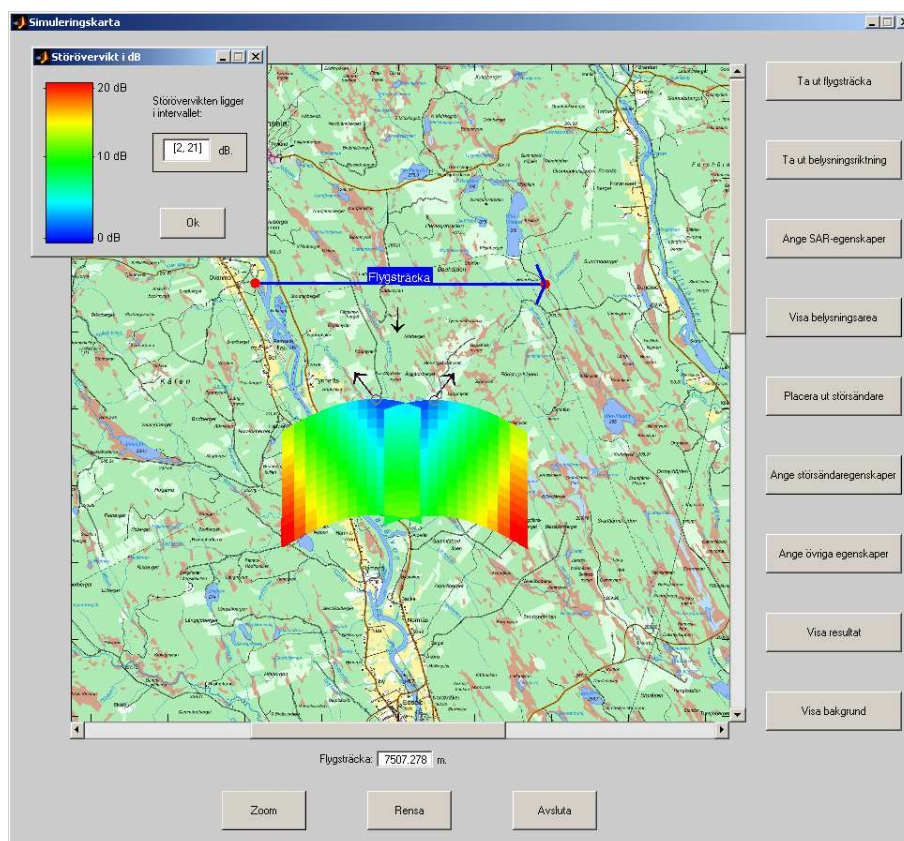


Figur 5.5: Störsändarnas maskeringsareor överlappar varandra. I snittet blir störövertikten summan av de genererade störövertikerna från respektive störsändare varför detta område erhåller bättre störning. För att underlätta visualiseringen av detta har störsändarnas antenndiagram givits en konstant antenntförstärkning över alla delintervall.

terna genererade av respektive enskild störsändare. Detta syns tydligt i figur 5.5 där snittet mellan de två genererade maskeringsareorna erhåller en högre störövertiktnivå än de ytor som utgör differensen mellan dem. Det kan nämnas att störsändarnas antenndiagram har givits en konstant förstärkning över alla delintervall då detta leder till en distinktare visualisering av effekten.

I figur 5.6 visas vilken inverkan valet av en störsändares huvudlobriktning kan ha på ett störscenari. I exempelscenariot har huvudlobriktningarna riktats mot ändarna på SAR-systemets flygsträcka vilket i detta fall leder till att störövertikten blir stor för de delar av maskeringsarean som befinner sig närmast rakt vinkelräta mot dessa. För den del av maskeringsarean som är riktad rakt vinkelrätt mot mitten av flygsträckan blir störövertikten mindre. Detta eftersom störsändarnas

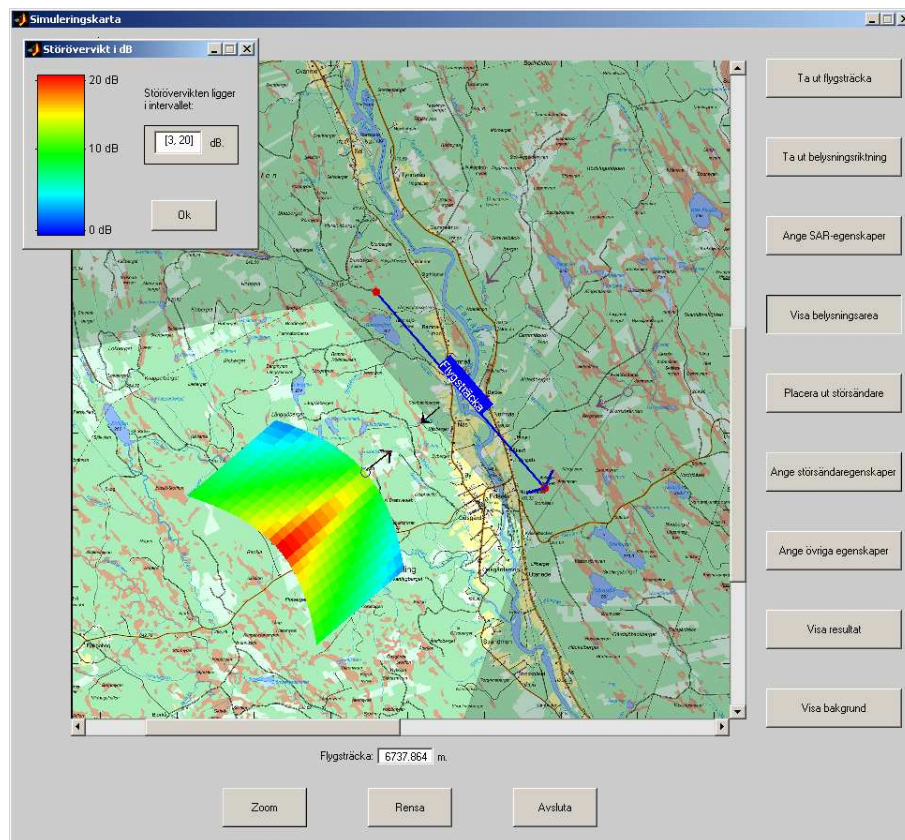
antennförstärkning är lägre i den riktning som pekar mot flygsträckans mitt. Därmed blir också den mottagna störeffekten mindre när SAR-systemet befinner sig där. Det går även att se att störsändarnas maskeringsareor överlappar varandra vilket får till följd att den gröna delen av maskeringsarean ser ut att utgöra ett W istället för ett V.



Figur 5.6: Störsändarnas huvudlobriktningar pekar mot flygsträckans båda ändar. Detta medför att störövertikten blir stor för de delar av maskeringsarean som befinner sig närmast rakt vinkelrät mot dessa. Vidare så överlappar störsändarnas respektive maskeringsareor varandra vilket får till följd att den gröna delen av den resulterande maskeringsarean ser ut att utgöra ett W istället för ett V.

5.2.3 Störsändare utan inverkan

Beroende på vilken position en störsändare ges i förhållande till SAR-systemets flygsträcka och belysningsriktning så kan den bli helt effektlös om den ej exponeras för de utsända radarpulserna. Detta illustreras i figur 5.7 där två stycken störsändare ej genererar någon maskeringsarea tack vare att de ej är positionerade



Figur 5.7: Två stycken störsändare är placerade på fel sida av flygsträckan vilket resulterar i att de inte exponeras för de utsända radarpulserna och därmed inte genererar någon maskeringsarea. En tredje störsändare är bättre placerad mitt i SAR-systemets belysningsområde vilket medför att en maskeringsarea genereras.

i SAR-systemets belysningsområde. En tredje störsändare är dock bättre placerad vilket medför att den kan trigga på de utsända radarpulserna och därmed generera den presenterade maskeringsarean.

Kapitel 6

Avslutning

I detta kapitel beskrivs de slutsatser som har dragits i utvecklingsarbetet av programmet. Kända fel identifieras liksom ytterligare förbättringar som kan genomföras för att bättra på framtida versioner.

6.1 Slutsatser

En direkt slutsats som kan dras från modelleringsarbete av det här slaget är att en hög noggrannhet i det slutliga resultatet kräver en hög detaljrikedom i modelleringen. Då en hög detaljrikedom föranleder en hög komplexitet i programmeringslösningarna är det slutliga resultatet därför en fråga om tid och resurser. I sitt nuvarande tillstånd har simuleringsprogrammet förbättrats på många håll jämfört med den föregående versionen. Dock finns det utrymme för fler förbättringar vilka ges exempel på i avsnitt 6.3.

En annan slutsats som kan dras är att designen av de grafiska gränssnitten blir starkt beroende av programmerarens personliga uppfattning om hur de bör utformas om dessa inte specificeras av en annan part innan implementering sker. Det kan därför vara lämpligt att konsultera en person med god erfarenhet av gränssnittsdesign innan implementeringsarbetet påbörjas så att resultatet blir så användarvänligt som möjligt.

6.2 Kända fel

I de fönster där det finns möjlighet att använda en zoomfunktion för att zooma in och ut i kartområden av intresse kan det uppstå problem om Matlabs inbyggda "klicka och dra"-funktion används. "Klicka och dra"-funktionen karakteriseras av att en gummibandsbox ritas upp när zoomfunktionen är aktiverad och användaren med vänster musknapp klickar och drar muspekaren över det aktuella koordinatsystemets axlar (i simuleringsprogrammet blir det över aktuellt kartområde). När musknappen släpps zoomar axlarna in på den region som innesluts av

gummibandsboxen. Anledningen till att problem uppstår är att kartbilderna som används är kvadratiska och beskriver områden om 25×25 km vilket endast tillåter in- och utzoomning av axlarna med en faktor 2, eller en multipel av en sådan, ifall symmetrin hos det aktuella kartområdet ska bibehållas. Fel uppstår därför i de fall då en gummibandsbox definieras som ej innebär en in- eller utzoomning med en faktor 2, eller en multipel av en sådan.

Då den implementerade zoomfunktionen i simuleringsprogrammet bygger på den zoomfunktion som redan finns inbyggd i Matlab och denna inte tillhandahåller något sätt att stänga av "klicka och dra"-funktionen följer denna med i simuleringsprogrammets zoomfunktion. Således gäller det att en helt ny zoomfunktion måste skrivas, om problemet helt ska kunna undvikas. Då detta dock ansågs för tidskrävande och den nuvarande zoomfunktionen fungerar utmärkt när användaren begränsar sig till att endast använda vänster och höger musknapp för in- respektive utzoomning har detta lämnats till eventuellt senare versioner av programmet. Se avsnitt 5.1 för beskrivning av "Zoom"-knappens funktionalitet.

6.3 Förbättringar

Utrymme för förbättringar finns alltid. Som det nämnts tidigare så begränsas dock utvecklingsarbetet av tillgången på tid och resurser. Under arbetets gång har därför vissa idéer som skulle förbättra programmet ej förverkligats. Detta avsnitt beskriver några av dessa.

6.3.1 Omgivning

För att på ett bättre sätt kunna avspegla ett kartområdes verkliga terrängkarakteristik skulle den nuvarande 2D-kartan kunna ersättas med en 3D-karta. På så sätt skulle hänsyn kunna tas till höjddata. Detta leder dock förmodligen till en mycket högre beräkningskomplexitet vilket kan få negativa konsekvenser på programmets exekveringstid varför en mycket kraftfull dator skulle vara nödvändig för att undvika långa väntetider.

6.3.2 SAR-system

För att erbjuda en förenklad och snabbare procedur att definiera SAR-systemets olika egenskaper skulle en funktion kunna implementeras vilken möjliggör inläsning av dessa från existerande filer. En databas över olika SAR-system skulle då kunna byggas upp från vilken filerna hämtas.

6.3.3 Störsändare

Även för störsändarna skulle det vara önskvärt att implementera en funktion för inläsning av egenskaper från fil. Främst för att snabbt kunna läsa in olika antenn-

diagram. Vidare så skulle möjligheten att välja olika störsignaler för störsändarna kunna byggas in.

6.3.4 Användarvänlighet

Då Matlab ännu inte har ett tillräckligt utvecklat verktyg för utformning av grafiska gränssnitt samt då tillgången på tid har varit begränsade har användarvänligheten hos simuleringsprogrammet stora förbättringsmöjligheter. Eftersom Matlab är ett mycket kraftfullt verktyg när avancerade beräkningar önskas göras men inte kan erbjuda samma utvecklingsmöjligheter som C/C++ när det grafiska gränssnittet ska utformas vore en bra lösning att kombinera Matlab-kod med C/C++-kod. Detta är möjligt genom att konvertera Matlab-koden till C/C++-kod via Matlab Compiler/COM Builder. På så sätt kan Matlabs alla beräkningsfunktioner utnyttjas samtidigt som utvecklingsmöjligheterna för användargränssnittet blir större i C/C++.

Litteraturförteckning

- [1] Brage, Mathias (2001), *Störsimulering mot SAR*. Totalförsvarets forskningsinstitut, Linköping. FOI-R--0049--SE.
- [2] Kingsley, Simon & Quegan, Shaun (1992), *Understanding radar systems*. McGraw-Hill, Inc., Maidenhead. ISBN 0-07-707426-2.
- [3] Levanon, N., *Radar principles*. 1988, John Wiley & Sons, New York. ISBN 0-471-85881-1.
- [4] Hyberg, Per (1993), *Radarmotmedelsteknik*. Totalförsvarets forskningsinstitut, Linköping. A 10052-1.1.
- [5] Skolnik, M., *Radar handbook. Second edition*. 1990, McGraw-Hill, Inc., Maidenhead. ISBN 0-07-057913-X.
- [6] Lantmäteriet (2003), *Terrängkartan*, http://www.lantmateriet.se/cms/files/pdf/pdf/produktblad_gi_gsd/rasterbilder.pdf
- [7] Lantmäteriet (2003), *Kartornas rutnät*, <http://www.lm.se/geodesi/kartprojektion/kartan/kartan.htm>

Figurer

2.1	Ett radarsystem med en stor antenn erhåller en smalare lob än ett radarsystem med en liten antenn. Fördelen med en smalare lob är bättre upplösning.	4
2.2	För att generera en syntetisk antenn flyger en SAR en integrationssträcka vilken motsvarar längden på en reell antenn med samma upplösning. Under integrationssträckan sänds radarpulser ut med en mindre antenn vars ekon registreras. Då sträckan passerats signalprocessas ekon varpå en radarbild, via bildprocessning, kan skapas.	5
2.3	För att ett radarsystem ska kunna uppnå bra räckvidd och hög upplösning måste de utsända radarpulserna vara korta och energirika. Sådana pulser är dock praktiskt svåra att generera. Istället används pulskompression som tillåter användandet av långa energirika pulser med måttlig storlek på effektopparna.	5
2.4	Den syntetiska träffytan är resultatet av den syntetiskt genererade antennen och de utsända radarpulsernas modulationsform i kombination med pulskompression.	6
2.5	Flygplats avbildad med SAR-teknik till vänster och optisk kamera till höger. SAR-bilden är tagen av ett SAR-system med en ungefärlig upplösning i sida på 3 m.	6
2.6	Principskiss över en repeterstörssändare mot VHF-SAR.	8
3.1	SAR-systemets lobutformning i simuleringsprogrammet. θ anger elevationsvinkeln. Utformningen innebär att antenndiagrammet begränsas till $\pm 30^\circ$ i förhållande till huvudlobsriktningen.	13
3.2	Störssändarnas lobutformning i simuleringsprogrammet. φ ger elevationsvinkeln. Utformningen innebär att antenndiagrammet begränsas till $\pm 60^\circ$ i förhållande till huvudlobsriktningen.	14
3.3	Frekvensbandsförhållande som återspeglar ett β -värde mindre än 1.	15
3.4	En störssändare påverkas av olika antennförstärkningar i SAR-systemets antenndiagram allteftersom integrationssträckan avverkas.	16
3.5	Scenario a) beskriver hur ett område kan skyddas, genom utplacering av störssändare, i det aktuella simuleringsprogrammet. Scenario b) beskriver hur detta kan göras i det föregående.	17

3.6	SAR-systemets huvudlobsriktning sammanfaller med störsändarens.	18
4.1	Principskiss av simuleringsprogrammets modulstruktur.	22
4.2	Översiktsfönstret underlättar inläsning av rätt geografiska område. De skuggade områdena indikerar att kartdata ej finns tillgänglig för dessa. Den röda markören visar vilket område som för tillfället är valt.	23
4.3	I fönstret anges enhetsbeteckningen för kartfilernas sökväg.	24
4.4	Rikets koordinatsystem.	24
4.5	De fyra kartdelarna utgör den valda storrtutan 19G från översiktskartan. I figuren framgår det att zon 19GNO för tillfället är vald. Detta markeras med en röd ram runt denna kartdel.	25
4.6	I simuleringsfönstret definieras, simuleras och presenteras det önskade störsценariot. Resultatfönstret kopplar ihop den visualiserade maskeringsareans störövertikt med det aktuella dB-intervallet. . . .	26
4.7	Fönster för inmatning av parametrar specifika för det aktuella SAR-systemet.	27
4.8	Fönster för inmatning av SAR-systemets antennförstärkning. . . .	28
4.9	I fönstret kan en störsändares egenskaper definieras via inmatning av parametrar specifika för störsändare.	29
4.10	Fönster för inmatning av en störsändares elevationsvinkel.	30
4.11	Fönster för inmatning av övriga egenskaper.	30
4.12	Genom att trycka på knappen "Visa belysningsarea" kan användaren få en uppfattning om vilken markarea som exponeras av de från SAR-systemet utsända radarpulserna.	31
4.13	Fönstret anger maskeringsareans störövertiktintervall samt kopplar det till den grafiska färgvisualiseringen i simuleringsfönstret via ett färgspektrum med dB-skalning.	32
5.1	Belysningsriktningen i horisontalld tas ut genom att med vänster musknapp trycka på någon av pilarna med vit bakgrund. Två störsändare är utplacerade varav den ena är röd vilket indikerar att dess egenskaper ännu ej har definierats samt en andra, vilken är blå, vilket indikerar att dess egenskaper har definierats.	36
5.2	Genom att trycka ned knappen "Visa bakgrund" kan användaren göra färgvisualiseringen av störövertikten genomskinlig så att underliggande kartområde syns. På så sätt framgår det tydligare om ett önskat skyddsområde erhåller tillfredställande maskering eller ej. För att återgå till ursprungligt läge trycks knappen ned igen. Störsценariot är samma som det i figur 5.4.	37
5.3	Störsändarens antennförstärkning är konstant i antennlobens alla riktningar vilket medför att störövertikten i en punkt på maskeringsarean till stor del bestäms av ekoeffektens omvända avståndsberoende.	38

-
- 5.4 Störsändarens antennförstärkning är som störst i huvudlobsriktningen och avtar sedan i styrka för att bli som minst i periferin. Tillsammans med störsändareffektens och ekoeffektens omvända avståndsberoende ger detta den presenterade störövertikten. 39
- 5.5 Störsändarnas maskeringsareor överlappar varandra. I snittet blir störövertikten summan av de genererade störövertikterna från respektive störsändare varför detta område erhåller bättre störning. För att underlätta visualiseringen av detta har störsändarnas antenndiagram givits en konstant antennförstärkning över alla delintervall. 40
- 5.6 Störsändarnas huvudlobsriktningar pekar mot flygsträckans båda ändar. Detta medför att störövertikten blir stor för de delar av maskeringsarean som befinner sig närmast rakt vinkelräta mot dessa. Vidare så överlappar störsändarnas respektive maskeringsareor varandra vilket får till följd att den gröna delen av den resulterande maskeringsarean ser ut att utgöra ett W istället för ett V. 41
- 5.7 Två stycken störsändare är placerade på fel sida av flygsträckan vilket resulterar i att de inte exponeras för de utsända radarpulserna och därmed inte genererar någon maskeringsarea. En tredje störsändare är bättre placerad mitt i SAR-systemets belysningsområde vilket medför att en maskeringsarea genereras. 42