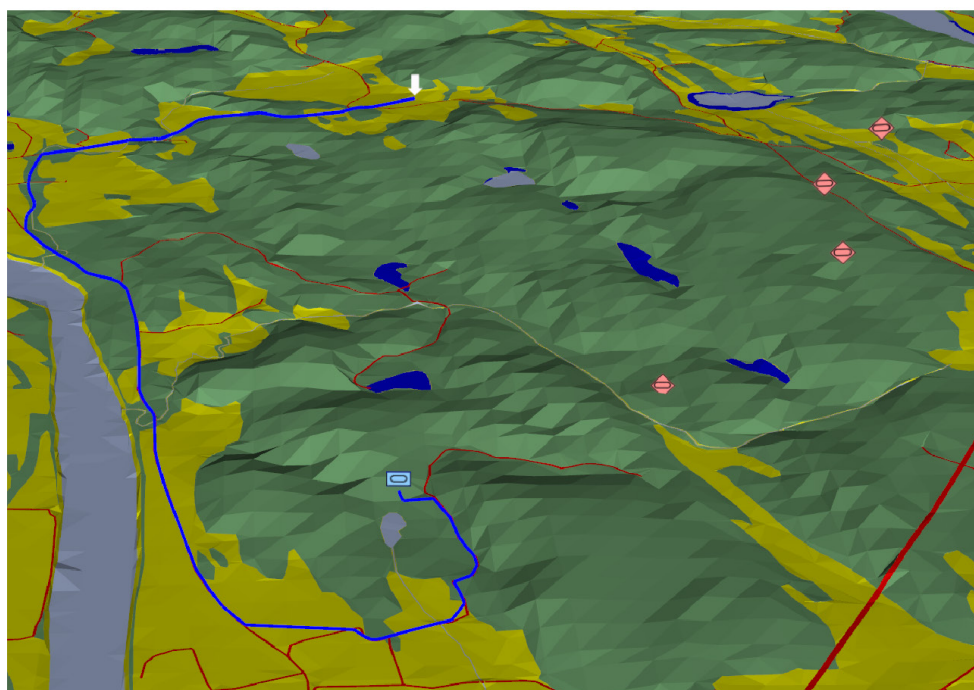
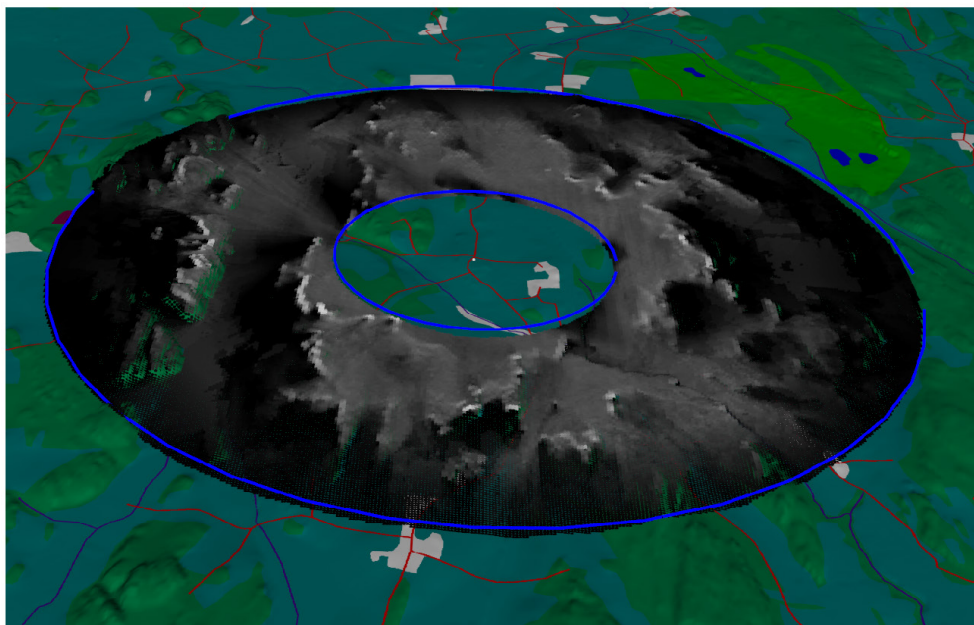


GUSTAV TOLT, JOHAN HEDSTRÖM, PETER FOLLO



Gustav Tolt, Johan Hedström, Peter Follo

Terränganalys för simuleringstillämpningar

Slutrapport

Titel	Terränganalys för simuleringstillämpningar – slutrapport
Title	Terrain Analysis for Simulation Applications – final report
Rapportnr/Report no	FOI-R--4537--SE
Månad/Month	December
Utgivningsår/Year	2017
Sidor/Pages	34 p
Kund/Customer	Försvarmakten
Forskningsområde	12. Övrigt
FoT-område	Välj ett objekt.
Projektnr/Project no	E72686
Godkänd av/Approved by	Christian Jönsson
Ansvarig avdelning	Ledningssystem
Exportkontroll	Innehållet är granskat och omfattar ingen information som är underställd exportkontrollagstiftningen.

Detta verk är skyddat enligt lagen (1960:729) om upphovsrätt till litterära och konstnärliga verk, vilket bl.a. innebär att citering är tillåten i enlighet med vad som anges i 22 § i nämnd lag. För att använda verket på ett sätt som inte medges direkt av svensk lag krävs särskild överenskommelse.

This work is protected by the Swedish Act on Copyright in Literary and Artistic Works (1960:729). Citation is permitted in accordance with article 22 in said act. Any form of use that goes beyond what is permitted by Swedish copyright law, requires the written permission of FOI.

Sammanfattning

Den här rapporten sammanfattar verksamheten för projektet Terränganalys för simuleringstillämpningar (TAST) 2015-2017 och beskriver de uppnådda resultaten kopplat till projektets frågeställningar. Projektets syfte har varit att visa hur större hänsynstagande till terrängens möjligheter och begränsningar kan förbättra kvaliteten på simulering av militära enheter och förband på lägre nivåer (enskilda fordon – pluton). De huvudsakliga resultaten kan sammanfattas enligt följande:

- Algoritmer för automatisk ruttplanering och detektion av intressepunkter i terrängen;
- Ett vidareutvecklat, robust och användarvänligt mjukvarubibliotek för terränganalys (Geo Analyst Library) som idag används av flera FOI-projekt för olika typer av terränganalys;
- Ökad kunskap om nyttan med bättre och mer detaljerad geografiska data i militära sammanhang;
- Ökad kunskap om möjligheter och begränsningar med existerande ramverk för simuleringsbaserad övning och träning.

Ett värde av automatiska metoder för terränganalys, såsom ruttplanering och detektion av stridsställningar, är att de minskar behovet av detaljerat skriptade scenarion och stödpersonal som spelar egna och motståndarens förband. Det frigör resurser och ger större möjligheter att fokusera på analyser på en högre nivå och mer komplexa scenarion. Terränganalysverktyg kan också användas som stöd i framtagandet av scenarion för att exempelvis uppskatta tidsåtgång för olika moment och skapa beredskap för olika handlingsalternativ och utfall.

Projektet har visat att det är möjligt att göra terränganalysalgoritmer som tar hänsyn till flera grundläggande faktorer samtidigt i val av framryckningsväg och observationspunkter. Detta har bekräftats genom flera kontakter med och demonstrationer för militära ämnesexperter.

Nyckelord: Terränganalys, simuleringar, geografisk information, 3D-modeller, ruttplanering, detektion av stridsställningar

Summary

This report summarizes the activities within the project Terrain Analysis for Simulation Applications 2015-2017 and describes the results achieved in relation to the project's research questions. The purpose of the project has been to show how taking possibilities and limitations of the terrain into account to a higher degree can improve the quality of simulation of military units on lower levels (vehicles – platoon level). The main results can be summarize as follows:

- Algorithms for automatic path planning and detection of interest points in the terrain;
- A further developed, robust and user-friendly terrain analysis software library (Geo Analyst Library) that is currently used in a number of projects at FOI;
- Increased knowledge about the benefits of more detailed geographical data in military contexts;
- Increased knowledge about the possibilities and limitations of existing frameworks for simulation-based exercise and training.

A value of automatic techniques for terrain analysis, such as path planning and detection of firing positions is that they reduce the need for detailed scripting of scenarios and support staff playing own and enemy units during the exercise. That frees up resources and gives better possibilities to focus on analyses on a higher-level and more complex scenarios. Terrain analysis tools can also be used when preparing scenarios to estimate timing of events and create a preparedness for different courses of action.

The project has shown that it is possible to make terrain analysis algorithms that take several fundamental aspects into account at the same time when choosing movement paths and observation points. This has been confirmed through regular contacts with and demonstrations for military subject matter experts.

Keywords: Terrain analysis, simulations, geographical information, 3D models, path planning, firing positions

Innehållsförteckning

1	Inledning	7
1.1	Om den här rapporten.....	7
1.2	Projektet Terränganalys för simuleringstillämpningar	7
1.2.1	Bakgrund.....	7
1.2.2	Syfte och mål	8
2	Ruttplanering	9
2.1	Kostnadsfunktion.....	9
2.2	Faktorer i ruttplaneringen	10
2.2.1	Faktorer.....	10
2.2.2	Indata till beräkningarna.....	13
2.3	Ruttprofiler.....	14
2.3.1	Exempel	14
2.4	Webserverlösning	17
3	Detektion av eld- och observationsställningar	19
3.1	Simuleringstillämpningar	19
3.2	Observation och skydd	19
3.2.1	Observation.....	20
3.2.2	Skydd	20
3.3	Implementation.....	20
3.4	Demonstrationsapplikation.....	21
4	Geo Analyst Library	24
4.1	Mål och syfte	24
4.2	Arkitektur	24
5	Internationellt samarbete	26
5.1	Syfte och mål	26
5.2	Integration av terränganalysfunktioner i simuleringsramverk	27
6	Demonstrationer	28
6.1	Workshops inom TASA-samarbetet.....	28
6.2	Demonstrationer på Markstridsskolan, Skövde	30
7	Kunskapsspridning och avtappning	31
8	Resultat och diskussion	32
	Referenser	34

1 Inledning

1.1 Om den här rapporten

Den här rapporten sammanfattar verksamheten för projektet Terränganalys för simuleringstillämpningar (TAST) 2015-2017 och beskriver de uppnådda resultaten kopplat till projektets frågeställningar.

Nedan beskrivs bakgrunden till projektets inriktning och samt dess syfte och mål. I kapitel 2 och 3 sammanfattas arbetet kring projektets kärnområden: teknik för ruttplanering respektive detektion av eld- och observationsställningar. Kapitel 4 beskriver översiktligt den programvara för terränganalys som projektet utvecklat och underhållit och som är avsedd att kunna integreras i olika tillämpningar. Projektets samarbete med FFI (Norge) sammanfattas i kapitel 5. I kapitel 6 och 7 redogörs för projektets demonstrationer och samverkan med andra projekt. Slutligen sammanfattas och diskuteras projektets huvudsakliga resultat i kapitel 8, kopplat till projektets frågeställningar.

1.2 Projektet Terränganalys för simuleringstillämpningar

Projektet har studerat hur större hänsynstagande till terrängens möjligheter och begränsningar kan förbättra kvaliteten på simulering av militära enheter och förband på lägre nivåer (enskilda fordon – pluton). Projektet utnyttjar härvidlag högupplösta geografiska data i syfte att kunna utnyttja även små terrängvariationer och kunna presentera och analysera resultaten med en hög detaljnivå.

1.2.1 Bakgrund

Bättre tillgång till detaljerade, realistiska och mångfacetterade simulatorer gör att simuleringbaserad träning och övning blir ett allt mer kostnadseffektivt sätt att träna befattningshavare på olika nivåer. Verklighetsstrogna tredimensionella virtuella miljöer, noggrant modellerade objekt, fysikaliskt grundad simulering av fordonsrörelser, vapenverkan och sensorer, gränssnitt som gör att interaktionen i allt högre grad kan efterlikna en verklig situation och ramverk för samverkan mellan simulatorsystem ger en enorm potential för träning, övning och utbildning.

Datorgenererade styrkor (s.k. CGF, Computer Generated Forces) kan användas som motståndare eller som del i egna styrkor för att minska behovet av stödpersonal i övningen eller för att kunna öka scenarios omfattning och komplexitet. Många simuleringsramverk lider dock av bristande realism när det gäller hur simulerade enheter uppträder. Brister i simuleringen på lägre nivåer kan få stora konsekvenser på högre nivåer. Det kan till exempel hända att kloka beslut som en övad chef fattar, baserat på hur han eller hon skulle agera i en verklig situation, leder till ologiska händelseförlopp i simuleringen så att utfallet blir orealistiskt och ogynnsamt. Det är därför viktigt att simulerade enheter uppför sig på ett så naturligt sätt som möjligt i en (virtuell) 3D-miljö.

Samtidigt pågår en smärre revolution avseende tillgången på geografiska data. Högupplösta, näst intill fotorealistiska, 3D-data kan idag enkelt framställas från flygbilder och högupplösta satellitbilder. Laserskanning är sedan flera år en etablerad metod för 3D-datafångst och bland dess fördelar kan nämnas avsevärt bättre möjligheter till modellering av markytan i vegetationsområden jämfört med fotogrammetriska tekniker. Tredimensionella data kan kompletteras med olika typer av grunddata såsom väginformation, markslagsklassning och skogliga data.

Mycket geografisk information finns idag fritt och enkelt tillgänglig på nätet och mer tillkommer den närmaste tiden. Den goda tillgången på geografiska data gör det enklare

och billigare att framställa väldigt detaljerade simuleringsmodeller men ökar samtidigt kraven på att de simulerade enheterna kan utnyttja terrängen på ett realistiskt vis.

Hög upplösning i geografiska data ger också utmaningar vad gäller beräkningsprestanda. Om inte algoritmerna kan leverera noggranna resultat i tid utan att behöva göra kraftiga förenklingar riskerar mervärdet med den detaljerade informationen att utebli. Om algoritmen ska ingå som en del i ett simulatorsystem och leverera svar på terränganalysfrågor är det än viktigare att vinnlägga sig om att beräkningarna sker på ett effektivt sätt.

1.2.2 Syfte och mål

Huvudsyftet med projektet är att bidra till att förbättra beteendet för simulerade enheter genom att de på ett mer realistiskt sätt ska ta hänsyn till terrängens egenskaper.

Det övergripande målet är att besvara följande frågeställningar:

- Hur kan ökat hänsynstagande till terrängegenskaper förbättra kvaliteten i simuleringstillämpningar?
- Hur kan algoritmer för terränganalys utformas för att avspegla ett militärt uppträdande?
- Hur kan metoder och algoritmer utvecklas för att ge ett modulärt, återanvändbart och beräkningseffektivt terränganalysramverk?

Se kapitel 8 för en diskussion om dessa frågeställningar kopplat till projektets resultat.

2 Ruttplanering

I ramverk för dynamisk stridssimulering, såsom exempelvis FLAMES, VR-Forces, SteelBeasts eller VBS3, krävs funktioner för att få enheter att röra sig från en punkt A till en annan punkt B. Uppgiften att välja väg kallas *ruttplanering*, eller ibland *vägsökning*. Det allra enklaste och vanligaste i de simulatorer som används idag är att låta enheterna ta kortaste vägen, givet vissa bivillkor såsom områden som inte får passeras (t.ex. nära ett hot eller genom en minering) eller marktyper som bör undvikas.

Diskussioner med militära ämnesexperter ger vid handen att många olika faktorer bör kunna tas i beaktande för att valet av rutt ska kunna göras på ett sätt som är relevant ur ett stridstekniskt och taktiskt perspektiv. Förutom grundläggande faktorer såsom var fordonet överhuvudtaget kan ta sig fram är det viktigt att kunna ta hänsyn *till hur en uppgift ska lösas*. Det sistnämnda är viktigt för att den föreslagna rutten ska vara förenlig med normalt militärt uppträdande och ligga i linje med chefens intentioner. En orealistisk och oflexibel ruttplanering kan få till följd att simulatören inte förmår omsätta den tränade personalens planer och beslut på rätt sätt, vilket kraftigt kan inskränka träningseffekten.

Den bästa rutten för att lösa en spaningsuppgift utan hårda tidskrav skiljer sig ofta väsentligt från vilken väg man bör ta om syftet är att anfalla mot en viss position eller för att på enklaste sätt förflytta sig genom ett område under egen kontroll. Ju fler faktorer man tar hänsyn till och ju högre upplösning data har, desto mer utmanande blir problemet ur ett beräkningsperspektiv. Det är därför viktigt att redan från början vinnlägga sig om en effektiv implementation så att funktionen kan användas i scenarion med ett stort antal enheter eller i massimuleringar.

Arbetet kring ruttplanering har i stora delar utförts tillsammans med FFI (Norge) inom ramen för samarbetet TASA (Terrain Analysis and Synthetic Agents). Se avsnitt 5. Nedan ges en sammanfattning av den föreslagna tillsammans med några exempel. För vidare läsning hänvisas till ett FOI- och FFI-gemensamt konferensbidrag (Tolt m fl., 2017).

2.1 Kostnadsfunktion

En ruttplaneringsalgorithm söker den optimala rutten givet någon typ av funktion som säger hur mycket det kostar för en den aktuella enheten att flytta sig mellan två punkter i terrängen.

Den i projektet framtagna algoritmen är i grunden traditionell. Den bygger på en princip med ett navigationssystem av noder förbundna med kanter (eller bågar). Till varje kant hör en kostnad för att förflytta sig mellan två noder.

En optimeringsalgorithm appliceras sedan för att hitta den väg som sammantaget ger den minsta kostnaden. I vårt fall har vi använt den välkända A*-algoritmen, och detta av två skäl. Dels är det en i grunden enkel metod som gör det relativt lätt att värdera och analysera resultatet under test och utveckling. Dels ingår en, som det verkar, effektiv implementation av A* i ett kodbibliotek som vi använt för att skapa och hantera navigationsstrukturer.

Utgångspunkten för vårt arbete är en kostnadsfunktion som FFI tagit fram utifrån krav på vilka matematiska egenskaper en sådan funktion bör ha. Exempelvis ska nya faktorer enkelt kunna läggas till och att man vill även på ett intuitivt sätt koppla isär de grundläggande parametrar som är gränssättande för hur ett fordon kan röra sig (statiska värden) och de parametrar som kan ändras dynamiskt för att uppnå önskat beteende (Bruvoll, 2014).

I samband med detaljerade analyser och jämförelser i projektet upptäcktes vissa brister med den ursprungliga kostnadsfunktionen. Bland annat saknades möjligheten att helt stänga av faktorer (vilket visade sig nödvändigt för tester) och dessutom saknades en

normalisering för att förhindra att numeriska värden blev för stora i förhållande till varandra. Detta ledde så småningom fram till en modifierad kostnadsfunktion.

$$C(i, j) = \frac{\sum_{k=1}^N 2^{p_k} w_k(i, j) d(i, j)}{\sum_{k=1}^N 2^{p_k}}, \quad (1)$$

där $C(i, j)$ beskriver den sammanvägda kostnaden att flytta sig från nod i till nod j . N är antalet faktorer som algoritmen tar hänsyn till, p_k är ett värde ("prioritet") som styr vilket inflytande faktor k ska ha på resultatet, $w_k(i, j)$ är kostnaden för faktor k att ta sig mellan i och j och $d(i, j)$ är avståndet mellan i och j , så att kostnaden står i proportion till det tillryggalagda avståndet.

2.2 Faktorer i ruttplaneringen

Vi har i det här projektet fokuserat mest på de underliggande delkostnaderna (w_k i ekvation 1 ovan) som tillsammans bygger upp den totala kostnaden (se föregående avsnitt) och hur man kan väga samman olika typer av i grunden olika aspekter på vad som utgör en lämplig rutt. Den huvudsakliga utmaningen har varit att formulera och parametersätta de faktorer som kostnadsfunktionen kombinerar. Även här utgick vi från resultat från FFI som i dialog med militära ämnesexperter har definierat ett antal faktorer (Bruvoll, 2014).

Vid en närmare analys av dessa upptäcktes två svagheter. För det första antogs det att motståndarenheter alltid måste vara knutna till bestämda geografiska positioner så att man med hjälp av siktlinjesberäkningar kan avgöra huruvida de utgör hot mot den egna enheten. Detta anser vi är en inte särskilt realistisk förutsättning; enheters uppträdande måste kunna simuleras utifrån en realistisk informationsmängd, och att ha detaljerad kunskap om exakt var hoten står är ett för hårt krav, anser vi. Även i en simulering, där visserligen varje enhets position är känd, bör man kunna simulera ett beteende som motsvarar att man endast vet på ett ungefär var fientliga styrkor kan befinna sig.

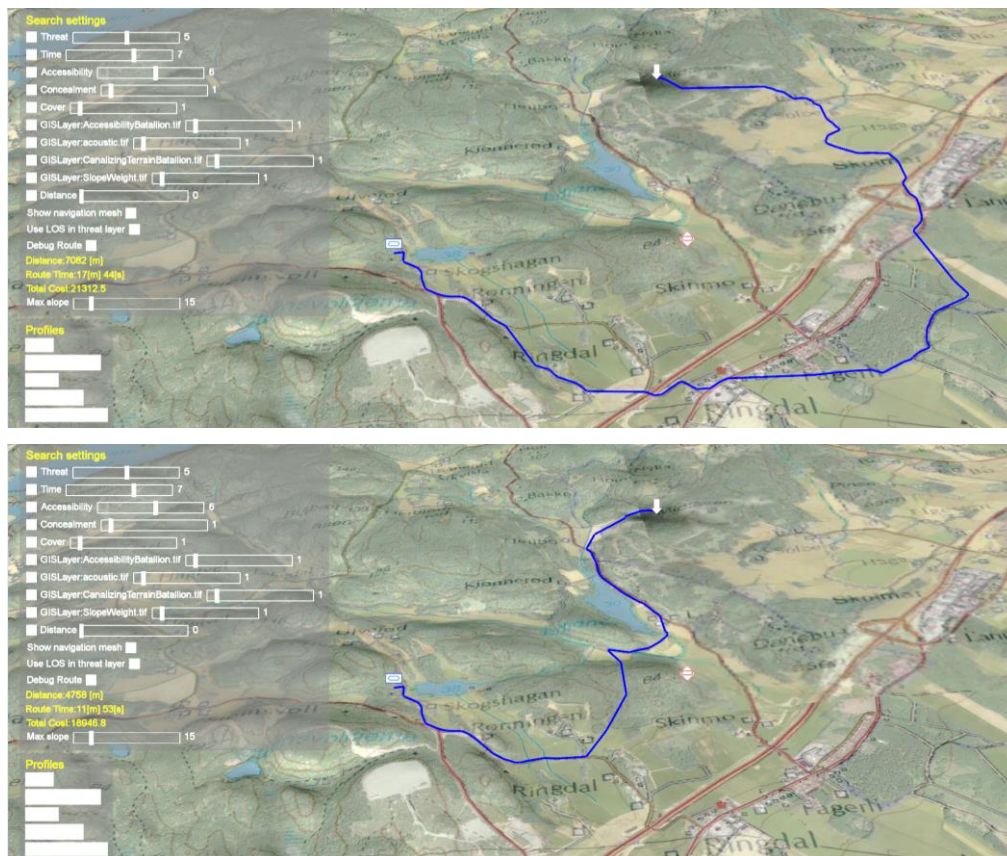
Dessutom upptäcktes ett betydande ömsesidigt beroende mellan olika faktorer; flera faktorer var avhängiga av huruvida det var fri sikt till målet vilket gjorde det svårt att få till ett taktiskt rimligt och varierat uppträdande när det inte var sikt till målet.

2.2.1 Faktorer

Nedan följer en kort beskrivning av de olika faktorer som ruttplaneringen kan ta hänsyn till.

- **Tid**
Tidsfaktorn kommer in på så sätt att varje materialtyp (väg, öppet fält, skog, vatten, etc) associeras med en viss hastighet. Utmaningen ligger här i att formulera en kostnad för tidsåtgång som gör det möjligt att kombinera den med övriga faktorer.
- **Hot**
Den här faktorn styr hur viktigt det är att enheten ska undvika kända (eller förmodade) hot i en viss position. Varje hot är associerat med en upptäcktsradie.
I vår implementation kan man välja mellan två varianter att hantera hot:
1) att sträva efter att hålla sig utanför cirkeln som hotets upptäcktsradie beskriver eller
2) att använda siktlinjesberäkningar på höjdmodellen för att avgöra om man syns eller inte från hotets position.
Den första varianten är lämplig för lågupplöst terräng eller då hotets position är osäker och man vill undvika att komma för nära. Den andra varianten är avsedd för situationer då hotpositionen är känd och terrängdata är så pass pålitliga att man är beredd att vistas inom hotets upptäcktsavstånd utan extra kostnad så länge man är i skyl från hotets position.

Se exempel på de båda varianterna i Figur 1.



Figur 1. Exempel på ruttplanering med ett hot (röd symbol) i närområdet. Målet här är att hitta en rutt som erbjuder god framkomlighet och hög framryckningshastighet. Överst: Här är målet att hålla sig utanför hotets räckvidd. Förslaget blir en rutt som går via vägnätet och över lättåkt terräng i en omväg kring hotet. Nederst: Här utnyttjas information om siktförhållanden för att ta fram en rutt som går i skyl från målets position.

- **Skydd**

Faktorn skydd representerar hur skyddad den egna enheten är givet eld från fiendliga enheter från en viss position. Här utnyttjas vi siktlinjesberäkningar och formulerar följande enkla regler:

- 1) om enheten är direkt synlig är skyddet lågt (=hög kostnad).
- 2) om enheten är i skyl från hotet är skyddet högt tack vare att terrängen skyddar (dvs. lägre kostnad),
- 3) om enheten är i skyl och dessutom befinner sig i ett vegetationsområde är skyddsnivån högre än om enheten står i öppen terräng (lägst kostnad)

- **Visuell upptäcktsrisk**

För att få simulerade enheter att exponera sig så lite som möjligt även utan positionsbestämda hot i terrängen har vi tagit fram en enkel modell för visuell upptäcktsrisk. Målet var att få ett mått som beskriver hur terrängens skylande egenskaper varierar i olika riktningar. Med ett sådant mått kan enheter fås att uppträda klokt och framrycka i skydd av terrängen, t.ex. längs ett skogsbryn. Vi anser att detta är ett lämpligare och mer flexibelt sätt att uppnå grundläggande beteenden. Ett alternativ skulle annars kunna vara att klassificera ett särskilt område som skogsbryn och genom att sätta en låg kostnad där premiera förflyttning i det området. Vi vill istället beskriva effekten av att röra sig i skogsbrynet, dvs. att risken för upptäckt är mindre. Eftersom vegetationen

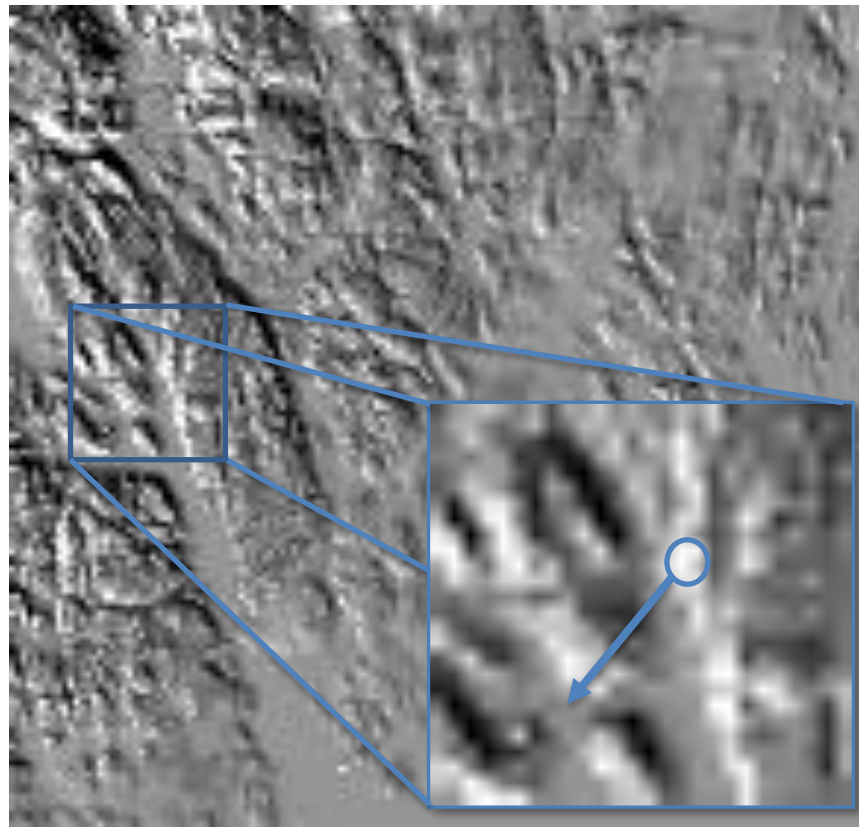
erbjuder olika grader av skyl i olika riktningar så vill vi att ett fordon endast rör sig längs ett skogsbryn om det erbjuder skyl i den farliga riktningen. Det är dessutom ett sätt att få fordon att passera vegetationsområden på ”rätt” sida även om den vägen är längre än den andra, mer exponerade rutten.

Grundidén med måttet är att uppskatta hur stor del av synfältet som upptas av vegetation och höjder i en viss riktning.

1) Ju högre upp terräng och vegetation befinner sig jämfört med höjden i punkten P, desto bättre är det visuella skylet i P och omvänt – ju högre upp P befinner sig ovanför omgivningen, desto lägre är skylet.

2) Ju närmare höjderna och vegetationen är, desto bättre är det visuella skylet.

En utförligare diskussion och definition av måttet återfinns i (Tolt m fl, 2017). I Figur 2 illustreras visuellt skyl i en specifik riktning.



Figur 2. Illustration av hur måttet för visuellt skyl varierar över i det aktuella området. Den aktuella hotriktningen i exemplet är sydväst (se pilen), vilket innebär att det är mest fördelaktigt (låg kostnad, svart färg) att vistas i områden med mycket vegetation eller höjder sydväst om sig. Det är mer ofördelaktigt att vistas i öppna, platta områden (grå) och maximalt ogynnsamt att befinna sig på sydvästsidan av höjder utan särskilt mycket vegetation (vitt), som t.ex. i det inringade området.

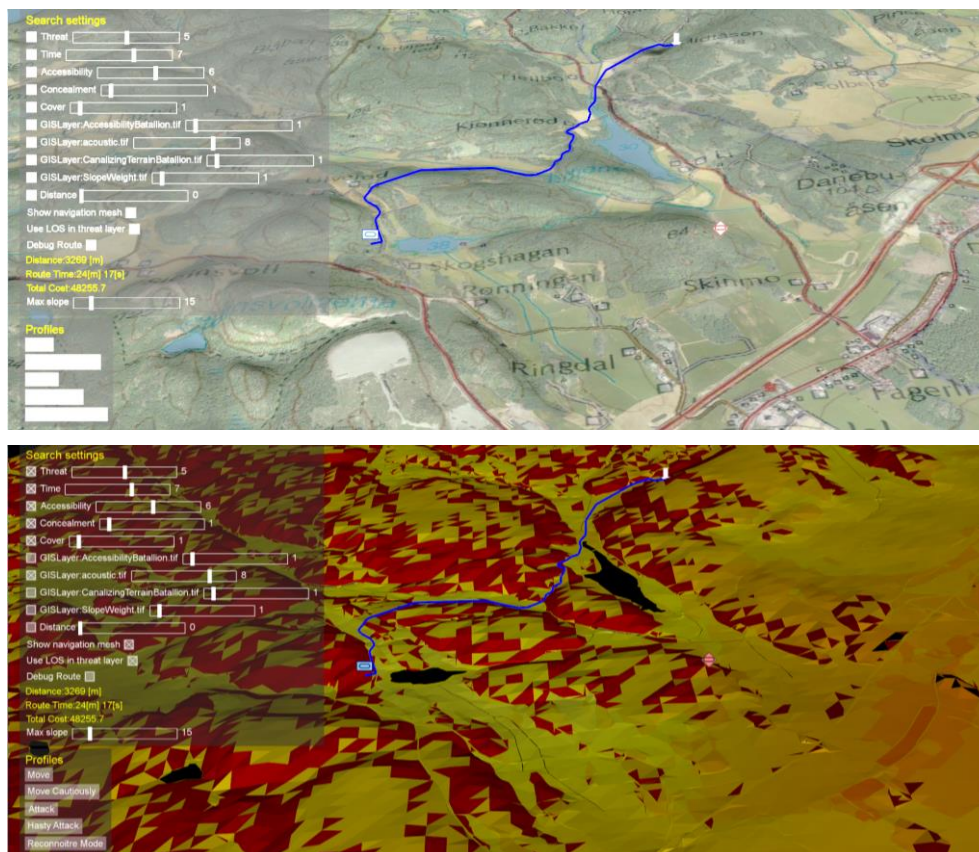
- **Framkomlighet**

Framkomlighet i det här sammanhanget handlar inte bara om möjligheten för fordon att överhuvudtaget kunna ta sig fram i olika miljöer utan är ett sätt att kunna få de simulerade fordonen att av olika anledningar föredra vissa typer av terräng framför andra. Det kan handla om rent framkomlighetsmässiga faktorer såsom markens bärighet och trädens densitet och stamdiameter men kan också representera risken för att få bandkrängning på stenig mark, skada sikten i tät vegetation eller att man inte vill riskera att inte komma uppför hala backar.

Vi har förenklat detta kraftigt genom att ge varje terrängklass ett värde som motsvarar kostnaden för att färdas där, oavsett anledningen till det. Faktorn är på så sätt en möjlighet att väga in olika aspekter genom att ändra parametervärdena.

- **Akustisk upptäcktsrisk**

Vi kan även ta hänsyn till risken att det egna fordonet upptäcks akustiskt, för att kunna hantera scenarion med begränsad sikt. Detta åstadkoms genom att i varje pixel i höjddata uppskatta upptäcktsavståndet i olika riktningar. Till detta används en (kraftigt förenklad) ljudkaraktistik för ett typiskt stridsfordon, standardiserade modeller för ljudutbredning i vegetation och antaganden om atmosfärskaraktistik (vind, lufttryck, luftskikt, etc). Se ett exempel i Figur 3.



Figur 3. Samma exempel som i Figur 1 fast nu även med hög prioritet att framrycka med låg akustisk upptäcktsrisk. Det som händer är att ruten i större utsträckning går genom och nära stora vegetationsområden som dämpar ljudutbredningen. Den nedre bilden illustrerar kostnaden för att färdas genom olika områden. Kostnaden är en sammanvägning av flera faktorer, varav akustiken är viktigast. Ju rödare områden, desto högre kostnad.

2.2.2 Indata till beräkningarna

För att räkna ut de olika måtten som beskrivs ovan används en höjdmodell och en markklassningsinformation. Höjddata används för att räkna ut siktförhållandena och för att uppskatta marklutning.

Dessutom används en tabell som beskriver vad de olika markklasserna betyder i termer av framkomlighet, skydd, etc. för olika typer av fordon. Denna information har vi för enkelhets skull ansatt tämligen godtyckligt för att kunna fokusera på att använda sådan information snarare än att ta fram den.

Utöver det används information om hotens upptäcktsradie och höjd på olika fordon för att som indata till beräkningar av siktförhållanden. Också dessa värden är ansatta mer eller mindre godtyckligt men kan enkelt ändras.

2.3 Ruttprofiler

Den framtagna ruttplaneringsmetoden innehåller ett stort antal vikter och parametrar som påverkar resultatet och vår erfarenhet är att det krävs en hel del tester för att välja bra parametrar. För att undvika en situation där varje användare måste ha detaljerad kunskap om vad alla parametrar motsvarar och hur de bör väljas definierar vi dessutom ett antal *profiler*.

En profil är en fördefinierad uppsättning parametervärden tänkt att motsvara en viss typ av beteende hos enheten. Syftet är att skapa ett mellanlager som gör det enkelt att integrera ruttplaneringen i olika tillämpningar, där en rutt kan begäras utifrån önskat beteende istället för att specificera parametrar. Förutom ett enkelt användargränssnitt skapar det frihet att utveckla, utvidga eller byta ut själva algoritmerna utan att användargränssnittet påverkas.

Nedan följer en kort beskrivning av profilerna:

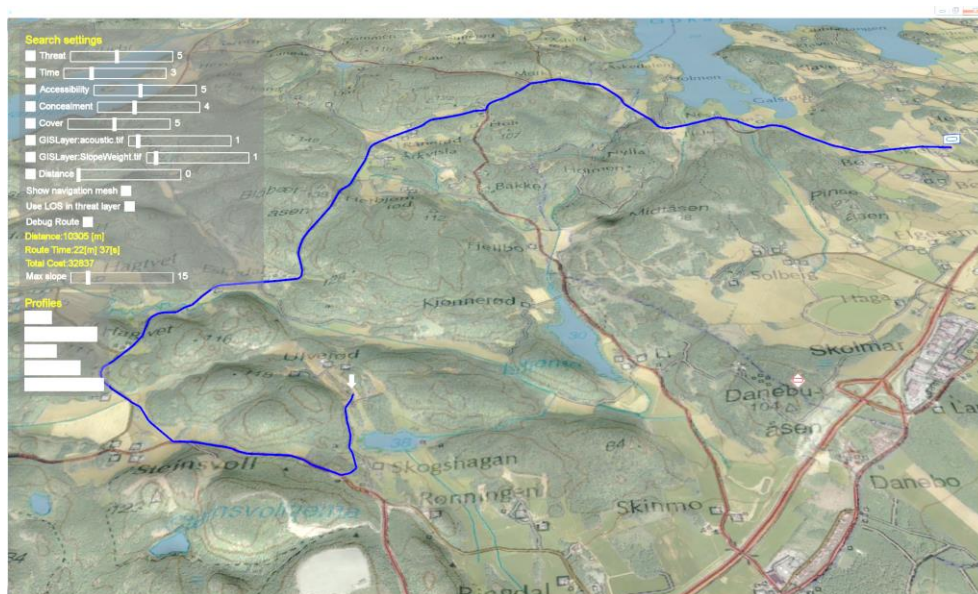
- **Move**
Profilen "Move" är avsedd för förflyttning genom säkra områden, där man på enklaste sätt tar sig fram snabbt och säkert genom att utnyttja vägar och genom lätt framkomliga områden. Faktorer som skyl och skydd prioriteras ned.
- **Move Cautiously**
Den här profilen är bättre lämpad för förflyttning i situationer där det kan vara fiender i närheten. Här prioriteras framkomlighet och tid ned och större hänsyn tas till skydd och att hålla sig undan hot.
- **Attack**
Attack kan användas när man närmar sig fientliga enheter i syfte att konfrontera dem eller för framryckning under strid. Här är det viktigare att hålla sig i skydd än att hålla avstånd till fiendeenheter.
- **Hasty Attack**
Den här profilen är ett alternativ till Attack och är avsedd för att genomföra överraskande attacker eller att snabbt understödja enheter i strid. I Hasty Attack är tidsfaktorn särskilt viktig och mindre hänsyn tas till huruvida rutten går genom områden som annars gärna undviks. Exempel på sådana områden kan vara stenig och fuktig mark eller skogsområden.
- **Reconnoiter**
Det här alternativet kan användas för enheter på spaningsuppdrag utan snäva tidsramar. Faktorena skydd och skyl är viktiga, liksom att hålla avstånd till hot, medan tidsfaktorn har låg prioritet.

2.3.1 Exempel

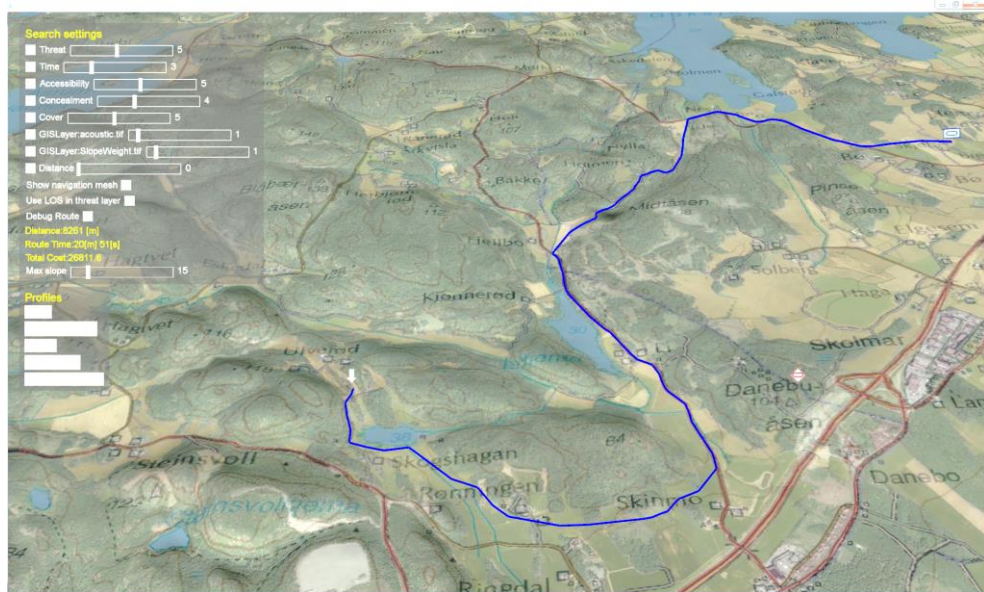
I Figur 4-Figur 7 visas några exempel på olika typer av rutter erhållna med den framtagna metoden. Figur 8 visar den bakomliggande terrängrepresentationen som algoritmen internt utnyttjar för beräkningarna.



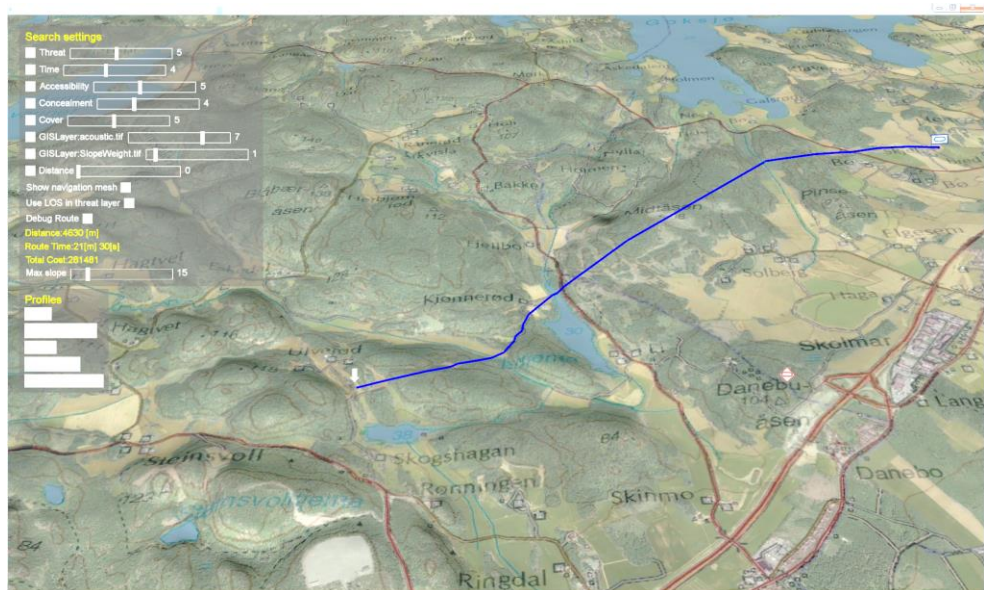
Figur 4. Profilen "Move" prioriterar hastighet och genererar en rutt som inte tar hänsyn till fienden i närheten.



Figur 5. Profilen "Move Cautiously" föredrar vägar eller lättåtkomlig terräng och undviker i möjligaste mån att ta sig närmare än ett visst avstånd till fienden. Hur viktigt det är att hålla avståndet styrs mha vikter.



Figur 6. Samma profil som i Figur 5 ("Move Cautiously") med skillnaden att rutten planeras utifrån siktförhållanden från fiendens position; rutten tillåts gå närmare fienden så länge den bedöms vara i skyl.



Figur 7. I det här exemplet har en rutt valts med avseende på akustiskt upptäcktsrisk. Notera hur rutten huvudsakligen går genom skogsområden eftersom vegetation dämpar ljudutbredningen.



Figur 8. Figuren visar den underliggande datastruktur för vägsökningsalgoritmen – ett s.k. *navigation mesh*. Färgerna motsvarar olika terrängtyper: vatten (blått), skog (grönt), öppet fält (gult), bebyggelse (orange) samt väg (rött).

2.4 Webserverlösning

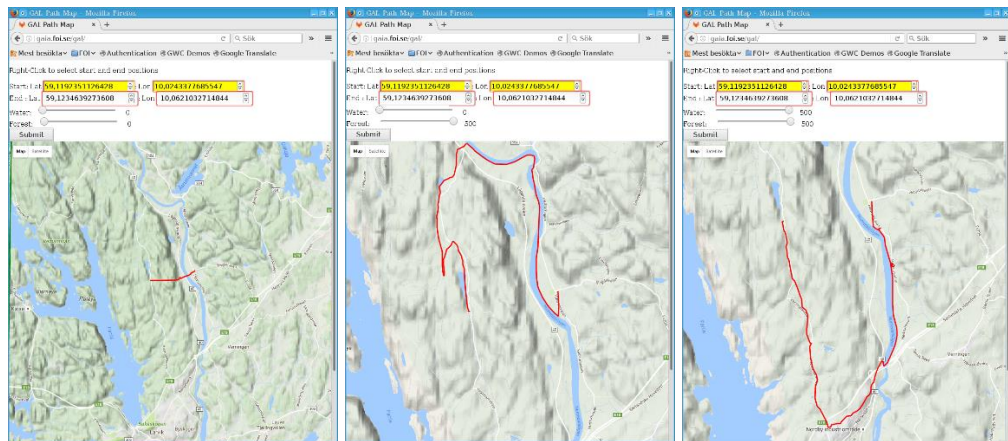
Inom projektet har även andra sätt att integrera terränganalysfunktionalitet i olika tillämpningar undersökts. Som ett första steg genomfördes ett test med att integrera Geo Analyst Library (GAL, se kapitel 4) i en webserverlösning med hjälp av ramverket POCO¹. I Figur 9 nedan visas hur en webbklient implementerad med hjälp av AngularJS² interagerar med serverlösningen. Några av fördelarna med webserverlösning + webbklient är skalbarhet samt att man inte behöver installera någon särskild klient förutom en webbläsare.

Slutsatsen är att det är tämligen enkelt att sätta upp en serverlösning så att användare kan komma åt den här typen av funktionalitet via sin webbläsare eller GIS-verktyg, exempelvis ArcGIS.

I exemplet i Figur 9 är parametrarna som styr ruttplaneringen annorlunda än de som beskrivs i avsnitt 2.2. Det beror på att de funktioner som utvecklas tillsammans med FFI inte ännu integrerats i kärnan av GAL utan lagts till som ett tillämpningsspecifikt lager ovanpå. Principen är dock densamma.

¹ <https://pocoproject.org/>

² <https://angularjs.org/>



Figur 9. Vänster: Kortaste vägen, utan hänsyn till vare sig vatten eller skog. Mitten: En (tämligen orealistisk) rutt som undviker skog men går över vatten norröver. Höger: Hänsyn tagen till både vatten och skog. Notera att rutten undviker både skog och vatten och nu i stället går söderut över vägbro.

3 Detektion av eld- och observationsställningar

Diskussioner med militära ämnesexperter har gjort tydligt hur rutter ofta planeras via hållpunkter (ofta eng: *waypoints*) med ganska täta mellanrum snarare än längre sammanhängande segment. Hållpunkterna väljs naturligtvis inte godtyckligt utan utifrån deras lämplighet för att lösa en viss uppgift och för att koordinera rörelse inom förbandet exempelvis enligt bestämda synkroniseringslinjer.

Vår slutsats var att vårt terränganalysramverk behövde funktioner för att detektera sådana punkter för att bättre kunna avspegla verkliga beteenden och bedömningar. Därför har verksamheten från och med hösten 2016 fokuserats på detta.

3.1 Simuleringstillämpningar

En metod för detektion av denna typ av positioner i terrängen utvecklas i projektet primärt för två konkreta tillämpningar. Den första är att inom ramen för ett samarbete med FFI (se kapitel 5) använda metoden som ett, till att börja med, fristående hjälpmedel för att sätta upp scenarion. De utvecklade algoritmerna kan hjälpa övningsledningen att välja lämpliga positioner för de simulerade enheterna. Idag sker det arbetet utan hjälpmedel och det är svårt att utan stöd avgöra vilka order och målpositioner simulerade förband ska ges. Om detta slår väl ut kan metoden integreras som en automatisk funktion i multiagentramverket SWAP (avsnitt 5.2).

En annan tänkt tillämpning är i ramverket FLAMES som ett stöd att bestämma utgångsgruppering för fordon i konstruktiva simuleringar. Om man vill göra ett väldigt stort antal simuleringar med olika ingångsvärden (s.k. Monte-Carlo-teknik) bör även val av utgångsgruppering för de simulerade förbanden kunna ske dynamiskt, kontrollerat och inom rimliga gränser. Vi ser att våra framtagna tekniker och detaljerade analyser kan stödja detta arbete.

3.2 Observation och skydd

En lång rad faktorer spelar in när det gäller var ett fordon bör befinna sig för att lösa en viss uppgift. Vi har valt att börja med två grundläggande faktorer: möjlighet till *observation* och *skydd*.

Oavsett om syftet är att kunna spana eller verka mot ett terrängavsnitt eftersträvas positioner som ger möjlighet att observera mot den aktuella målterrängen. Detta räcker dock inte som kriterium; man vill naturligtvis inte att fordonet ska stå helt öppet. För att minimera risken för att själv bli upptäckt och för att kunna åtnjuta skydd av terrängen vid ev. beskjutning väljs en stridsställning om möjligt så att fordonet snabbt och enkelt kan röra sig mellan en punkt som erbjuder goda observationsmöjligheter till en som ger skydd av terrängen.

I det slutliga valet av position är det naturligtvis dessutom helt avgörande huruvida man kan ta sig dit; en i sig bra position är ointressant om det inte finns någon praktisk möjlighet att nå den. Vi har medvetet valt att inte integrera den aspekten i själva detektionsmetoden då vi ser att det med fördel kan omhändertas i ett efterföljande steg där man låter ruttplaneraren undersöka huruvida en föreslagen position går att nå på ett acceptabelt sätt.

I de allra flesta sammanhang kan man inte veta exakt var en fiende kommer att kunna dyka upp. Om man visste det skulle det räcka långt med en traditionell siktfältsanalys för att avgöra varifrån ett mål är synligt. En sådan funktion kan fortfarande vara användbar men den är väldigt begränsande. Ett mer realistiskt antagande är att den ungefärliga riktningen i vilken fientliga enheter förväntas kunna dyka upp är känd utifrån en övergripande

lägesbild. Vi vill därför beskriva vilka möjligheter och begränsningar generella egenskaper har i olika riktningar utan att explicit anta målets position, i analogi med diskussionen i avsnitt föregående kapitel. Här har vi emellertid utvecklat konceptet vidare både vad gäller upplösning, noggrannhet och beräkningsprestanda genom att utnyttja beräkningar på grafikkort.

3.2.1 Observation

För att uppskatta möjligheterna till observation i en viss position används tre typer av geografiskt underlag: en markhöjdmodell, en ythöjdmodell och en vegetationskarta.

De används för att avgöra huruvida en punkt är

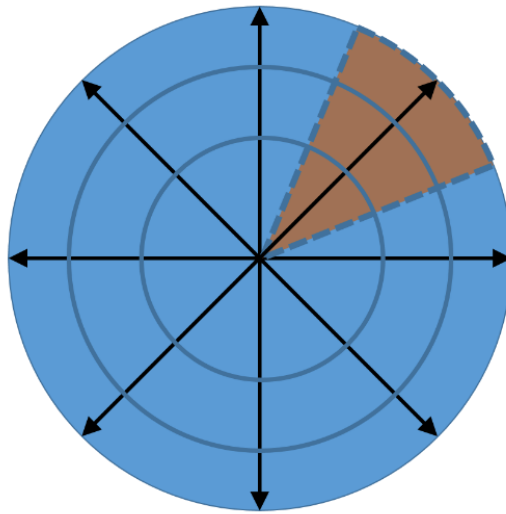
- definitivt synlig (dvs. fri sikt enligt ythöjdmodellen),
- möjligen synlig (dvs. synlig enligt markmodellen men ligger i ett vegetationsområden) eller
- inte alls synlig (dvs. marken blockerar).

3.2.2 Skydd

Vi antar att det som ger det egna fordonet skydd från en viss position är när det är skylt av marken. I grunden är det därför även här frågan om siktlinjesberäkningar. Även vegetation kan erbjuda skydd, men vegetationsområden skiljer sig mycket åt och det leder lätt till gissningar och osäkerheter istället för generella utsagor. För att ändå kunna laborera med vegetation ur ett skyddsperspektiv har vi valt att implementera detta genom att man kan variera en parameter som säger vid vilket avstånd i skogen en skyddseffekt uppnås.

3.3 Implementation

Beräkningarna av observation och skydd sker på ett raster av punkter regelbundet fördelade över det aktuella området. I våra exempel valdes ett punktavstånd på 8 m som en kompromiss mellan spatiell upplösning, beräkningstid och filstorlek. Dessutom definieras N_r riktningar och N_a avståndsintervall. Dessa kan väljas efter behov och sattes i våra exempel till $N_r=8$ riktningar och $N_a=3$ avståndsintervall enligt illustration i Figur 10. Detta ger ett slags ”mall” med $N_r \times N_a$ fält som sveps över det aktuella området.



Figur 10. Bilden visar den "mall" som används för att uppskatta observation och skydd i de riktningar som markeras med pilar. Runt varje huvudriktning definieras en vinkelsektor (markerad med brunt) som delas in i olika avståndintervall. För varje fält skapas sedan ett mått som säger hur stor andel av fältet som är synligt.

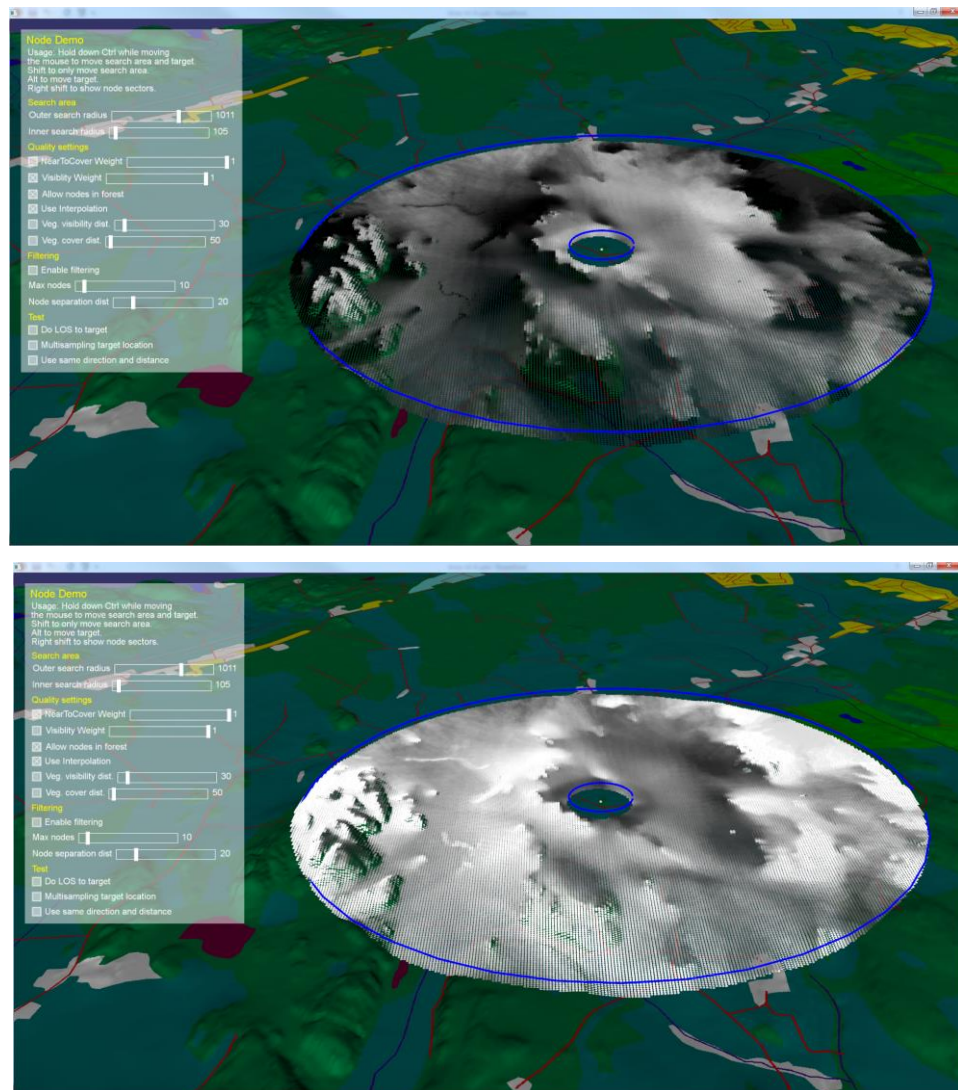
I en punkt P görs ett stort antal siktlinjesberäkningar, där man utifrån en höjdmodell avgör huruvida det är fri sikt mot olika punkter i terrängen. Från P skjuts strålar mot varje punkt innanför det området som täcks av mallen. Andelen strålar som kommer fram till sin målpunkt inom varje sektor registreras, vilket resulterar i ett värde mellan 0 och 1 för var och av sektorena i mallen. Denna typ av beräkning görs två gånger: dels med en ren markmodell och dels med en höjdmodell innehållande vegetation och byggnader. Det hela resulterar i $N_r \times N_a \times 2$ värden mellan 0 och 1 (i vårt exempel $8 \times 3 \times 2 = 48$). Dessutom lagras information om hur lång sträcka strålarna i snitt passerar på sin väg från punkten P till de olika slutpunkterna på marken. Beräkningarna sker i det här skedet oberoende av vegetationstyp så att man i efterhand kan styra hur olika vegetationstypers egenskaper ska påverka resultaten. Detta är en viktig skillnad mot traditionell siktanalys där vegetation ofta betraktas som helt ogenomtränglig.

För att inte behöva kräva att en specifik punkt i terrängen ska erbjuda både goda observationsmöjligheter och högt skydd analyserar vi närområdet (här: 20 m) bakom varje position (utifrån en tänkt observationsriktning) och låter skyddet i en punkt P definieras av det högsta skyddsvärdet i det området. Det motsvarar att fordonet har möjlighet att enkelt rulla ner i skydd från en plats med goda observationsmöjligheter.

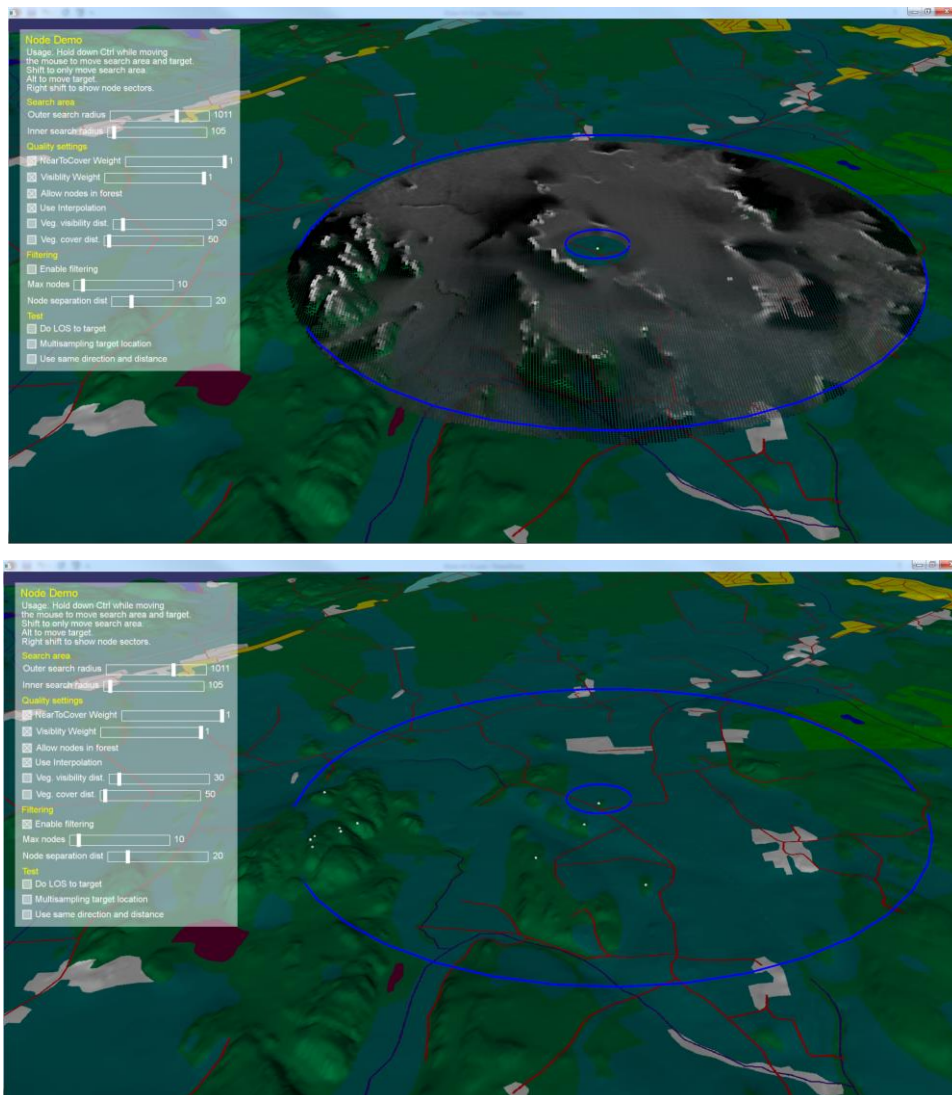
Slutligen kombineras de två värdena för observation (O) och skyddsnivå (S) till ett kvalitetsmått för var och en av positioner. Som en första ansats har vi valt att multiplicera värdena så att det slutliga kvalitetsmättet (K) för en ställning ges av: $K = O \times S$.

3.4 Demonstrationsapplikation

På samma sätt som för ruttplaneringstekniken skapade vi en applikation för att visualisera resultatet från beräkningarna. Se exempel i Figur 11 och Figur 12. Denna applikation är ett värdefullt verktyg för både utveckling och interaktion med militära ämnesexperter.



Figur 11. Illustration av observation och skydd. Målpositionen är i mitten av den inre cirkeln. Överst: *observation* (ju vitare, desto bättre sikt mot målpositionen). Nederst: *skydd* (vit betyder att det i den aktuella positionen eller dess omedelbara närhet finns goda möjligheter till skydd)



Figur 12. Illustration av detektion av observationsställningar. Den tänkta målpositionen är i mitten av den inre cirkeln. Överst: det kombinerade måttet, dvs. både observation och skydd (se Figur 11). Nederst de *tio bästa observationsställningarna*.

4 Geo Analyst Library

När det gäller att utföra beräkningar på terrängdata av olika slag har projektet utvecklat och underhållit ett kodbibliotek med funktioner för hantering och analys av terrängdata, kallat *Geo Analyst Library* (GAL). Detta bibliotek utökas vartefter med nya funktioner när sådana bedöms mogna, generella och robusta nog att ingå i biblioteket. Här spelar olika tester och feedback från ämnesexperter och systemintegratörer en viktig roll. En fördjupad diskussion om önskad funktionalitet och design av terränganalyssystem återfinns i (Tolt m fl, 2015).

4.1 Mål och syfte

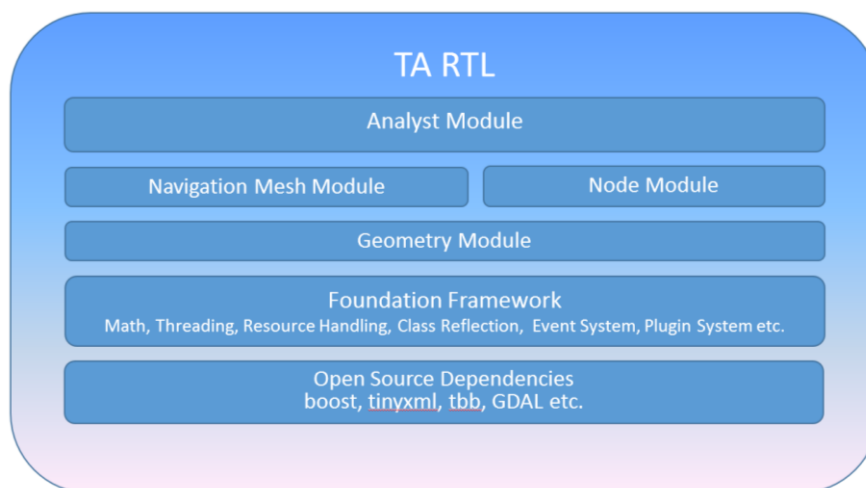
Målet med Geo Analyst Library har ända sedan början varit att ta fram ett beräkningseffektivt, väldokumenterat, plattformsoberoende kodbibliotek med användbara och efterfrågade funktioner för terränganalys.

Syftet med GAL är att tvådelat. Dels handlar det om att på ett systematiskt och effektivt sätt kunna återanvända och kombinera funktioner för att utföra alltmer avancerade och komplexa analyser utan att behöva börja om varje gång.

Det handlar dessutom om att underlätta för utvecklare och systemintegratörer att integrera GAL i olika tillämpningar och därigenom på ett enkelt sätt få tillgång till robusta, beräkningseffektiva terränganalysmetoder för att därigenom förbättra kvaliteten och höja realismen i t.ex. simuleringar.

4.2 Arkitektur

GAL är en samling integrerade mjukvarukomponenter som stödjer hantering och analys av flera typer av geografiska data på olika nivåer (Figur 13).



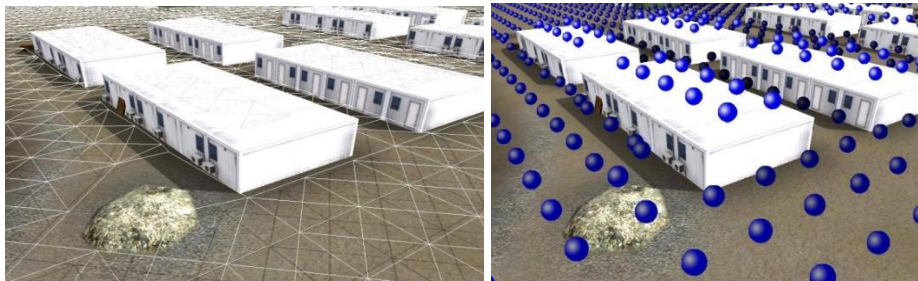
Figur 13. Strukturen i GAL (Geo Analyst Library). TA RTL står för Terrain Analysis Run Time Library.

I botten finns olika bibliotek för att läsa, skriva och konvertera dataformat. Till detta kommer ramverk för grundläggande generella funktioner för att bygga olika typer av applikationer. Det finns vidare en geometrimodul som hanterar den inlästa geometrin och som bl.a. används för kollisionsberäkningar och koordinattransformationer.

Baserat på den grundläggande geometrin finns två olika moduler som används för att representera och analysera terrängen på olika sätt, beroende på vilket som passar bäst i den aktuella tillämpningen. *Navigation Mesh Module* representerar den ursprungliga geometrin

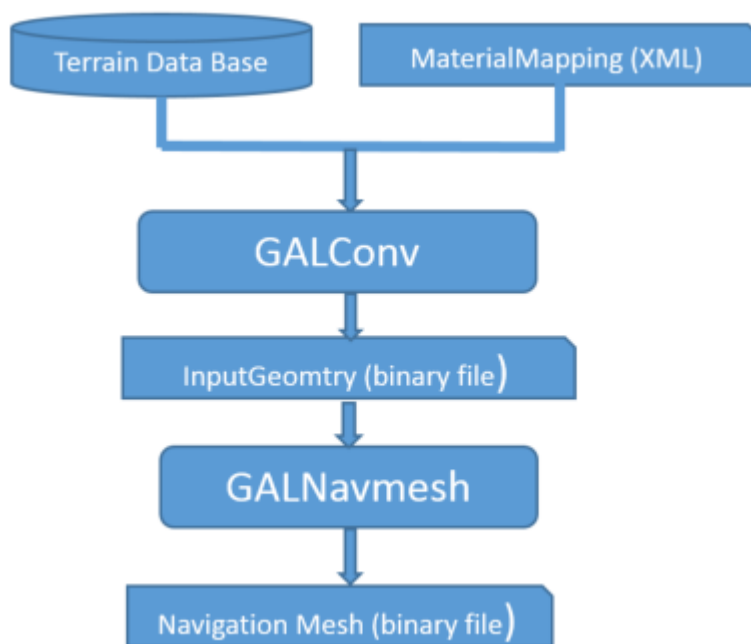
som sammanhängande polygoner, vilket bl.a. kan användas för snabbt ta reda på var ett objekt får plats. *Node Module* hanterar fall då man vill tillskriva olika punkter i terrängen olika egenskaper. De båda modulerna kan dessutom användas tillsammans.

På den översta nivån finns sedan en analysmodul som utnyttjar geometrin på olika sätt för att svara på frågor från en användare eller en dator.



Figur 14. Bilden illustrerar två olika sätt att representera information om en 3D-miljö. Vänster: Navigation Mesh. Höger: Ett system med noder.

Utgående från detta kan sedan olika applikationer byggas som packar ihop funktioner i GAL till fristående, exekverbara program. Detta är ett enkelt och användarvänligt sätt att paketera funktionalitet och ge andra projekt möjlighet att utnyttja resultat från det här projektet. Figur 15 visar ett exempel där två program GALConv och GALNavmesh används för att gå från grunddata till en navigation mesh-representation som direkt kan användas för ruttplanering.



Figur 15. Generation av s.k. *Navigation mesh* för ruttplanering.

5 Internationellt samarbete

Tillsammans med projektet Syntetiska Aktörer (SA) har Terränganalys för simuleringstillämpningar representerat FOI i det bilaterala samarbetsprojektet *Terrain Analysis and Synthetic Agents*³ (TASA) mellan FOI och FFI (Kjeller, Norge).

5.1 Syfte och mål

Syftet med TASA är att tillsammans undersöka och utveckla verktyg för att höja kvaliteten på simuleringsbaserad övning och träning. TASA startade andra halvåret 2014 som ett treårigt projekt och förlängdes 2017 med några månader för att projektets slutleverans i form av en workshop skulle passa bättre med respektive parts övriga verksamhet. FOIs och FFIs respektive insats i projektet har enligt avtalet planerats till sex personmånader per år, varav TAST och SA stått för tre var. På grund av TAST-projektets begränsade omfattning (ca sju personmånader per år) har dock verksamheten i övrigt så långt som möjligt fokuserats på frågeställningar relevanta för samarbetet, detta för att få maximal utväxling av arbetet och undvika onödig splittring av projektet.

Ett antal gemensamma projektmöten har hållits

- 2015-02-10 (Kista)
- 2015-10-05 (Kjeller)
- 2016-03-02 (Kista)
- 2016-10-05 (Kjeller)
- 2017-03-02 (Kista)

Dessutom har tre arbetsmöten med fokus på implementation och integration av terränganalysfunktioner hållits:

- 2016-03-30 (Kjeller)
- 2016-06-22 (Linköping)
- 2017-04-25—26 (Linköping)

Därutöver har två möten per år med projektets styrgrupp (TAMG) anordnats, det senaste i Kjeller 2017-11-14.

Samarbetet mellan FOI och FFI kring terränganalys har skett nära såtillvida att programkod utvecklas gemensamt, delats parterna emellan och testats och integrerats i respektive miljöer. Samarbetet har gett FOI

- ökad kunskap om frågeställningar kopplade till simuleringsbaserad övning och träning,
- ökad kunskap om möjliga tillvägagångssätt och analysmetoder för att förbättra simulerade fordons beteenden och
- förbättrad programvara för terränganalys.

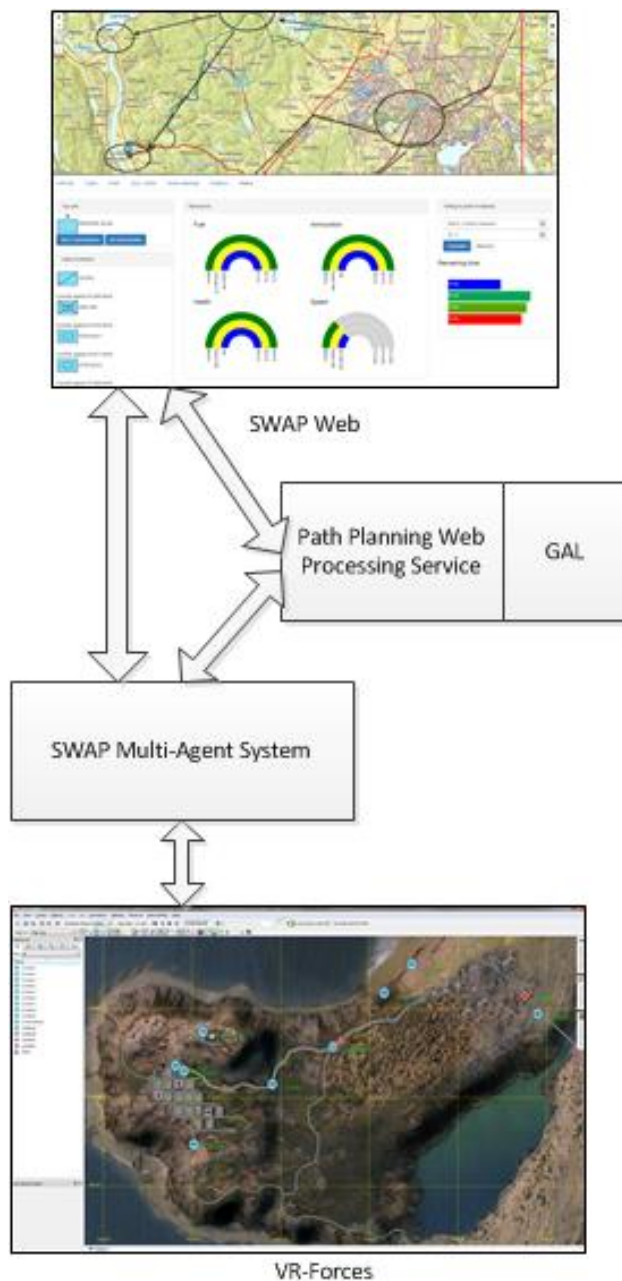
Det bör påpekas att det finns spårbarhet vad gäller koden så att det vid behov går att isolera FOIs egenutvecklade kod från det som tagits fram gemensamt i projektet.

Arbetet inom TASA har även resultaterat i ett konferensbidrag (Tolt m fl, 2017).

³ TECHNICAL ARRANGEMENT No 4 FFI-FOI

5.2 Integration av terränganalysfunktioner i simuleringsramverk

I Figur 16 illustreras hur terränganalysfunktionerna är tänkta att integreras i ett ramverk för simuleringsbaserad träning och övning. Kärnan i ramverket är ett multiagentsystem (SWAP) som simulerar ledningsfunktioner, automatiskt tar fram order för simulerade förband utifrån order uppifrån (från den tränande personalen) och sänder instruktioner till stridssimuleringsprogrammet (VR-Forces) där själva händelseförloppet utspelas.



Figur 16. Schematisk beskrivning av ramverk för simuleringsbaserad övning och träning inom TASA-projektet. (Bild: FFI)

6 Demonstrationer

6.1 Workshops inom TASA-samarbetet

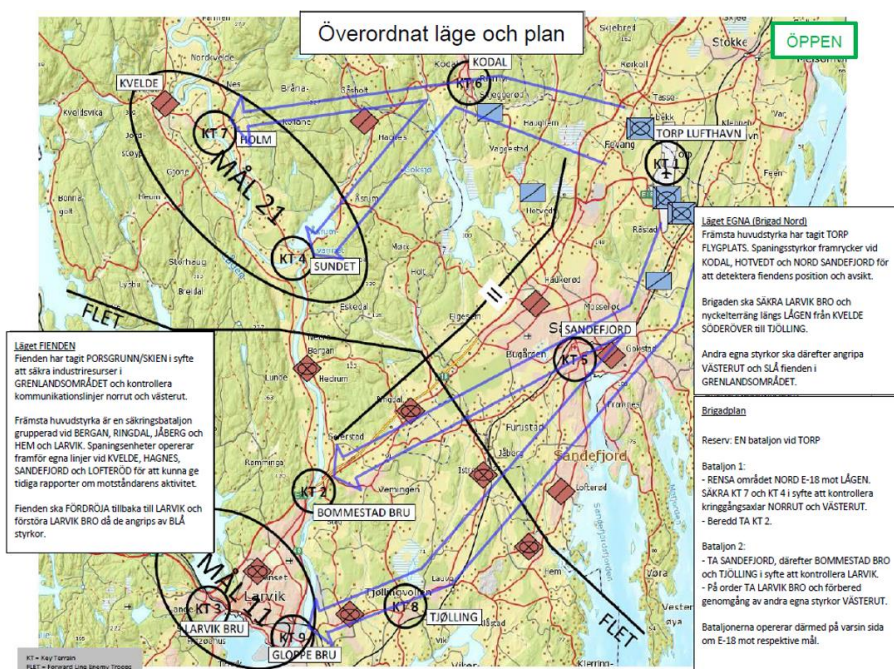
Inom ramen för TASA-projektet arrangerade FOI och FFI 2016 två s.k. *mid-time workshops*, en 31/3 på FFI, Kjeller, Norge och en 8/4 på Ledningsträningsanläggningen (LTA), Skövde, Sverige. Syftet med workshopparna var att få återkoppling från militära ämnesexperter på de metoder och verktyg för ruttplanering vi utvecklar gemensamt i projektet.

För workshopparna förberedde vi ett visualiseringsverktyg baserat på GAL (avsnitt 4) och OpenSceneGraph för att på ett interaktivt sätt visualisera resultatet från våra beräkningar. Vi utgick från ett redan existerande scenario som FFI tagit fram och som utspelar sig i trakterna kring Larvik, Norge. Scenariot innehöll ett antal vinjetter som var och en representerade ett avgränsat moment med egna och fientliga styrkors utgångsgruppering och uppgifter för att uppnå ett delmål inom scenariot.

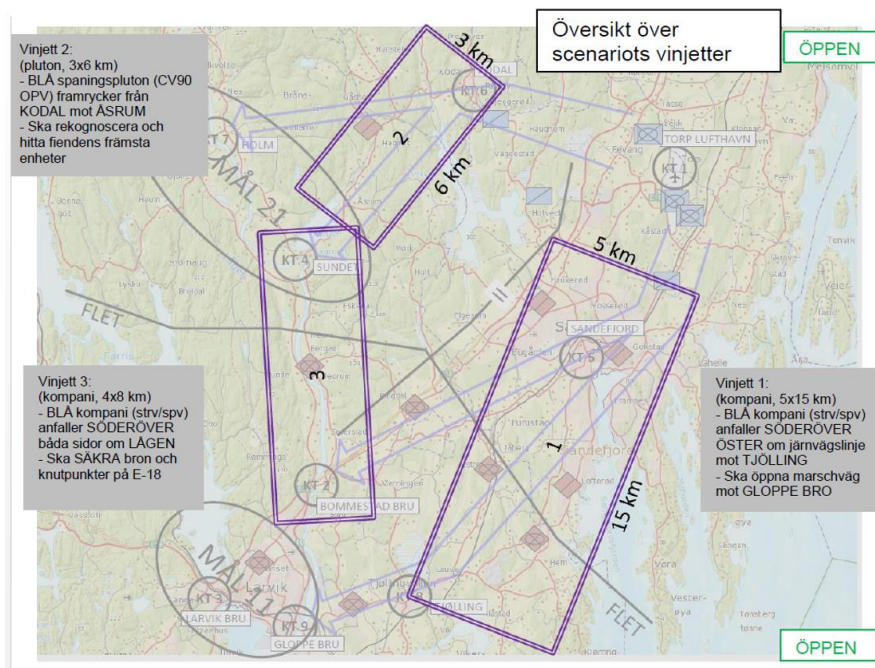
Agendorna för respektive workshop var desamma sånär som på en något längre session i Sverige och att vi bytte ut en vinjett mot en annan som vi bedömde kunde skapa ännu bättre underlag för diskussionerna.

Vi inledde workshopen med en kort introduktion av samarbetet och om behovet och värdet av förbättrad terränganalys i simuleringstillämpningar. Därefter presenterades scenariot och vinjetterna.

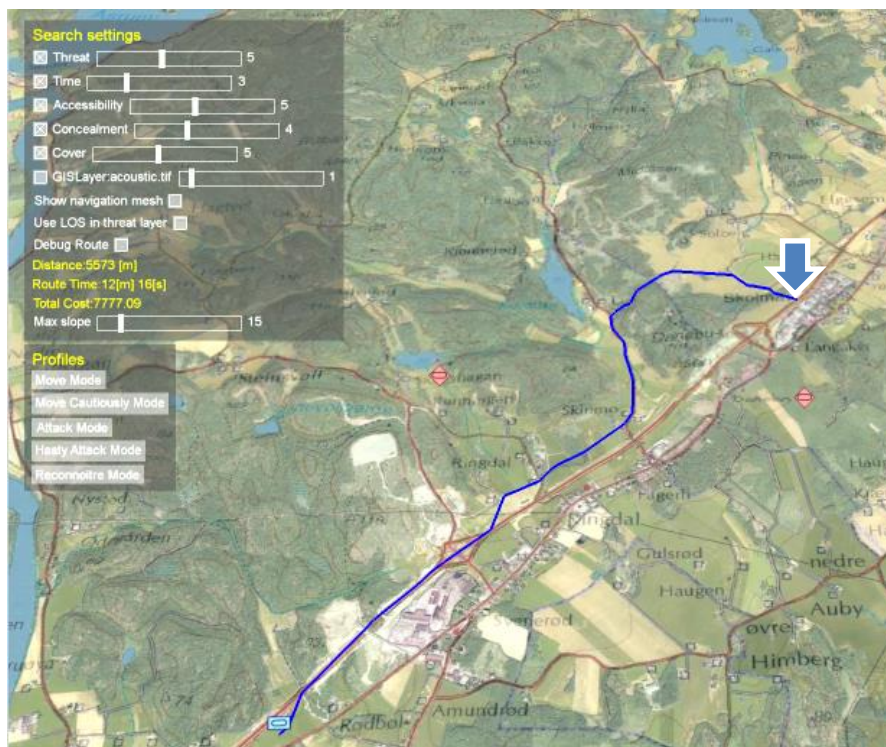
För var och en av vinjetterna skrev vi ut papperskartor och gav till workshop-deltagarna tillsammans med uppgiften att rita och förklara hur de skulle lösa den militära uppgiften i vinjetter, med fokus på vilken väg de skulle låta sina fordon ta och varför. Därefter använde vi vårt ruttplaneringsverktyg för att undersöka hur väl det kunde återskapa de föreslagna rutterna samt om det skulle kunna skapa realistiska förslag till rutter som workshopdeltagarna inte tänkt på. Slutligen diskuterades huruvida föreslagna verktyg och metoder kan tillföra något till existerande simulatorer och vilka förbättrings- och vidareutvecklingsmöjligheter deltagarna såg.



Figur 17. Översikt av scenariot som låg till grund för workshopparna. Bild från FFI.



Figur 18. Översikt av scenariots vinjetter. Bild från FFI.



Figur 19. Exempel från en av workshopparna. I scenariot finns två fiendliga enheter och målet för den egna enheten är att ta sig till målet (markerat med en pil) utan att upptäckas.

Workshopparna var en mycket bra arena för givande samverkan med militära experter. Deras samlade kompetens med bakgrund som såväl befäl som simulatorexpert ledde till diskussioner om såväl vägval i terrängen som exempel på situationer i existerande simulatorer där nuvarande ruttplanering har klara brister. En hel del förslag till vidareutveckling kom upp.

De huvudsakliga slutsatserna från workshopparna var:

- Vi är rätt ute vad gäller ruttplaneringen, både vad gäller vilka aspekter algoritmen tar hänsyn till och möjligheten att lägga till nya. Workshopdeltagarna ansåg att det skulle höja kvaliteten på simulatorer och kunna minska behovet av personal för att spela motståndarsidan eller egna sidoförband.
- Ruttplanering är intressant även för planering av scenarion, till exempel för att öka övningsledarens förståelse för tidsaspekter och möjliga händelseförlopp i scenariot.
- När det gäller planering på stabsnivå inför en insats görs planering av framryckningsvägar mer i termer av brytpunkter och detektion av dessa är det mest intressanta. Behovet av automatiska metoder för att föreslå en rutt mellan brytpunkter är mindre intressant.
- Workshopdeltagarna gav flera förslag på aspekter som ruttplanering bör kunna ta hänsyn till. Flera av dessa kan tas hänsyn till genom att ändra existerande parametrar, t.ex. för att planera för olika typer av fordon (stridsvagn, stridsfordon, hjulfordon, etc) och för olika typer av upptäcktsavstånd. Andra faktorer skulle kunna läggas till som ytterligare lager med vikter. Exempel på ett sådant är radiotäckning.

6.2 Demonstrationer på Markstridsskolan, Skövde

Resultat från projektet har även visats vid ett antal andra tillfällen för olika delar av Markstridsskolan i Skövde:

- 2017-02-07: Presentation för studien Framtida Stridsfordon av ruttplanering samt en första version av detektion av intressepunkter. Syftet var att orientera om pågående verksamhet och vad nya högupplösta geografiska data kan erbjuda i termer av terränganalys på lägre nivåer (vagns-/plutonsperspektiv).
- 2017-02-27: Presentation för personal knutna till arbete med Ledningssystem och Ledningsträningssystem (LTA). Fokus här var hur terränganalysmetoder kan användas för planering på bataljon- och brigadstabsnivå och i framtida simulatorsystem.
- 2017-08-22: Seminarium med Taktikgruppen. Syftet var att visa på möjligheterna med olika typer av terränganalys och initiera en dialog kring hur sådana tekniker kan vara ett stöd i planering och genomförande av militära operationer.

7 Kunskapsspridning och avtappning

En prioriterad del av projektets verksamhet har varit att samverka med andra projekt och hjälpa dem integrera terränganalysfunktionalitet för att höja kvaliteten i sina tillämpningar. Följande projekt har använt terränganalysfunktioner utvecklade i detta projekt:

- **SSSV (Simuleringsbaserat Stöd till Spelverksamhet och Värdering)**

I detta projekt studeras hur olika teknikval och parametrar påverkar ett utfall i en sammanstöt mellan två mekaniserade förband. För att studera detta har olika typer av stridsituationer tagits fram och modellerats i simuleringsramverket FLAMES. Utfall från dessa stridsituationer har sedan studerats med hjälp av Monte-Carlo-simuleringar. Då det visade sig att terrängen i dessa simuleringar påverkade utfallet fanns ett behov att förbättra de simulerade enheternas beteende med avseende på hur de nyttjar terrängen vid förflyttning. Ett första steg för att uppnå ett mer realistiskt beteende var därför att nyttja den ruttplanerare som tagits fram i GAL. Med denna integration kan nu enheter skapa framryckningsvägar som automatiskt tar hänsyn till terrängens egenskaper.

Vidare har ett första steg tagits för att integrera den funktionalitet som finns i GAL för att hitta eldställningar och observationspunkter. Denna funktionalitet kan ses som indata till ruttplaneringen, dvs. ”vart vill jag förflytta mig?” Denna integration kommer att fortsätta under 2018.

- **Planeringsverktyg B för SUMMIT (uppdrag från MSB)**

I detta projekt används den av FOI utvecklade simuleringsmotorn Dispersion Engine. Dispersion Engine används för att simulera olika typer av partikelutsläpp och utvecklas kontinuerligt av spridningsgruppen vid FOI i Umeå. En central del i partikelsimulering är att kunna ta hänsyn till den omkringliggande terrängen, dvs. en enskild partikel måste veta om den träffar en yta och vilka materialegenskaper denna yta har. I detta projekt nyttjas GAL för att man enkelt ska kunna läsa in terrängdata över godtyckligt område (i Sverige) och därefter snabbt kunna göra olika typer av terrängförfrågningar (eng: *terrain queries*). En terrängfråga i det här fallet är typiskt att kontrollera om det finns någon terräng en partikel kan kollidera med mellan två simuleringssteg och i så fall den exakta kollisionspunkten samt vilket material och normal kollisionssytan har. Denna information används sedan för att avgöra hur mycket ytan kontamineras samt i vilken riktning och hastighet partikeln kommer att fortsätta förflytta sig. Eftersom dessa simuleringar innehåller en stor mängd partiklar är det viktigt att kollisionsberäkningarna utförs på ett effektivt sätt för att minimera simuleringstiden. Detta krav är något som även återkommer när siktlinjer, på ett liknande sett, ska beräknas och därav är denna funktionalitet optimerad i GAL.

- **Vapensystem i samverkan - värdering av stridseffekt (FoT).**

I projektet sker utveckling av verktyg för värdering av luftvärn. Man önskar bl.a. möjlighet till siktanalyser för luftvärnsenheter mot luftmål genom terräng. Under 2015-2017 har därför GAL anpassats och integrerats i simuleringsramverket MERLIN. Vidare har GAL i detta projekt utvecklats för att hantera siktlinjesberäkningar över långa avstånd där bl.a. jorden krökning påverkar sikten.

8 Resultat och diskussion

De huvudsakliga resultaten från projekten kan sammanfattas enligt följande:

- Algoritmer för ruttplanering och detektion av intressepunkter i terrängen
- Ett vidareutvecklat, robust och användarvänligt mjukvarubibliotek för terränganalys (Geo Analyst Library)
- Ökad kunskap om nyttan med bättre och mer detaljerad geodata i militära sammanhang
- Ökad kunskap om möjligheter och begränsningar med existerande system för simuleringsbaserad övning och träning
- Stärkt nätverk inom Försvarsmakten, vad gäller simuleringar och planering av operationer, och FOI, där flera projekt integrerat Geo Analyst Library i sina tillämpningar
- Meriterande publikation på konferens med *peer review*-granskning

Slutligen följer här svar på projektets frågeställningar.

Hur kan ökat hänsynstagande till terrängegenskaper förbättra kvaliteten i simuleringsstillämpningar?

Ett realistiskt hänsynstagande till terrängens inverkan på militära enheters uppträdande är en nödvändig förutsättning för utveckling av virtuella med- och motspelare i simuleringsbaserad övning och träning. Med automatiska analysmetoder som föreslår realistiska och lämpliga framryckningsvägar, observationsställningar, brytpunkter, etc, minskar behovet av detaljerat skriptade scenarion och stödpersonal som spelar egna och motståndarens förband. Det frigör resurser och ger större möjligheter att fokusera på analyser på en högre nivå och mer komplexa scenarion.

Vi ser också att terränganalysverktyg kan användas av personal som stöd i framtagande av tränings- och övningsscenarion, för att till exempel göra mer rättvisande tidslinjer, skapa beredskap för olika handlingsalternativ och utfall, introducera rätt typ av moment på rätt tid och plats för att uppnå maximal träningsseffekt.

Förbättrad terränganalys ger också fördelar i konstruktiv simulering. Exempel på det är de resultat från det här projektet som omhändertagits och integrerats i FLAMES-miljön inom projektet SSSV. Bättre terränganalys ger större realism och därmed större trovärdighet i de analyser som kan dras av datorsimuleringar av stridssituationer.

Hur kan algoritmer för terränganalys utformas för att avspegla ett militärt uppträdande?

Vi har visat att det är möjligt att göra terränganalysalgoritmer som tar hänsyn till flera grundläggande faktorer i val av framryckningsväg och observationspunkter. Algoritmerna bör utformas så att de enkelt kan anpassas för inkludera och ta hänsyn till nya faktorer. Vi har genom flera kontakter med militära ämnesexperter fått relevansen för detta bekräftat.

En bidragande orsak till dagens brister vad gäller hur simulerade enheter uppträder i terrängen är att det geografiska underlaget ofta är alltför lågupplöst för att det ska vara meningsfullt att fatta detaljerade beslut. Genom att använda mer noggranna och högupplösta data kan simulerade enheter i större grad utnyttja terrängens variationer på ett sätt som gör att det scenario som utspelas i simulatören blir mer verklighetstroget.

Hur kan metoder och algoritmer utvecklas för att ge ett modulärt, återanvändbart och beräkningseffektivt terränganalysramverk?

Inom projektet har utveckling och vidmakthållande av programvara för terränganalysberäkningar varit av central betydelse, dels för att relativt enkelt kunna ta

fram och visualisera nya koncept men inte minst också för att funktionerna ska vara lätt tillgängliga för andra projekt att integrera i sina tillämpningar.

Det viktigaste vad gäller utformning av beräkningsramverket är att redan från början analysera vilka behov och krav som kan tänkas uppkomma och utifrån det strukturera koden på ett väl genomtänkt sätt. Detta kan visserligen generera en del merarbete inledningsvis men detta betalar sig vanligen över tid.

Korta beräkningstider och hög upplösning står typiskt i konflikt till varandra. Vår erfarenhet är att det krävs noggranna tester och ibland ren "trial and error" för att hitta rätt balans mellan detaljnivå och exekveringstider. För att få beräkningseffektiva algoritmer finns det mycket att vinna på att använda teknik från datorspelsområdet och anpassa dessa till aktuella tillämpningar.

Dessutom är tester av kompatibilitet på olika typer av maskinvara och operativsystem är viktiga för att maximera möjligheterna att kunna återanvända funktioner i nya sammanhang.

Referenser

- Bruvoll, S., *Situation dependent path planning for computer generated forces*, Teknisk rapport, FFI-rapport 2014/01222, 2014.
- Tolt, G., Hedström, J., Kvernelv, V. och Bruvoll, S., *Terrain Analysis – System Design*, FOI-D-0692--SE
- Tolt, G., Hedström, J., Bruvoll, S. och Asprusten, M., *Multi-Aspect Path Planning for Enhanced Ground Combat Simulation*, IEEE CISDA (Computational Intelligence for Security and Defense Applications), Hawaii, USA, Nov. 2017.

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.



FOI
Totalförsvarets forskningsinstitut
164 90 Stockholm

Tel: 08-55 50 30 00
Fax: 08-55 50 31 00

www.foi.se