



Årsrapport 2013, Syntetiska aktörer

LINUS J. LUOTSINEN, JOHAN HEDSTRÖM, KRISTOFFER HULTGREN,
TORBJÖRN HÄRJE, EMIL SALLING

Linus J. Luotsinen, Johan Hedström,
Kristoffer Hultgren, Torbjörn Härje,
Emil Salling

Årsrapport 2013, Syntetiska aktörer

Titel	Årsrapport 2013, Syntetiska aktörer
Title	Annual report 2013, Synthetic actors
Rapportnr / Report no	FOI-R--3751--SE
Månad / Month	December
Utgivningsår / Year	2013
Antal sidor / Pages	40p
ISSN	1650-1942
Kund / Customer	FM
FoT område	Modellering och simulering
Projektnr / Project no	E36709
Godkänd av / Approved by	Lars Høstbeck
Ansvarig avdelning	Informations- och aerosystem

Detta verk är skyddat enligt lagen (1960:729) om upphovsrätt till litterära och konstnärliga verk. All form av kopiering, översättning eller bearbetning utan medgivande är förbjuden.

This work is protected under the Act on Copyright in Literary and Artistic Works (SFS 1960:729). Any form of reproduction, translation or modification without permission is prohibited.

Sammanfattning

Denna rapport beskriver verksamhet och resultat från projektet *Syntetiska aktörer* (FoT nr 922:01.03) under året 2013. Projektet har sedan behovsanalysen, som genomfördes tillsammans med Markstrids-skolan under 2009, utvecklat en prototyp, POPSIM, som är en simulator där populationer och dess beteenden modelleras och simuleras på individnivå i en syntetisk stadsmiljö. Vidareutveckling av POPSIM har varit huvudaktiviteten i projektets verksamhet under året. Några av höjdpunkterna i arbetet har varit: införandet av modeller för simulering av åsikter i populationen; ruttplanering för fotgängare; visualisering av lägesbilder med avseende på övningsledare och utövare; samt beskrivning och implementation av ett scenario där en verklig stab förväntas kunna öva och förbättra sin förmåga att väga informationsanskaffning kontra risk i krigshärjade stadsmiljöer.

Utöver arbetet med POPSIM har projektet:

- tillsammans med Luftvärnsregementet (LV6) och Flygvapnets luftstridssimuleringscentrum (FLSC) diskuterat framtida behov av beteendemodeller för luftvärn,
- etablerat kontakt och planerat samarbete med internationella forskare inom forskningsområdena data-driven beteendemodellering och lärande/adaptiva agenter.

Planen för nästa år, som är projektets slutår, är främst att vidareutveckla POPSIM samt att genomföra en övning i syfte att utvärdera och identifiera åtgärds punkter med avseende på verktyget och dess ingående modeller.

Nyckelord

Intelligent agenter, multi-agent system, multi-agent simulering, agent-baserad modellering, populationssimulering, datorgenererade aktörer, data-driven beteendemodellering, beteendeträd

Abstract

This report describes the work that was carried out within the project *Synthetic actors* (FoT nr 922:01.03) in 2013. The project has since the requirements analysis that was performed in collaboration with the Swedish ground combat school in 2009 developed a prototype, POPSIM, which is a tool targeting the modeling and simulation of human populations, on an individual level-of-abstraction, within synthetic city environments. The development of POPSIM has been the main activity of 2013. Some of the highlights in this year's work has been: the ability to simulate opinions within the population; path-planning for pedestrians; visualization of situational awareness with respect to the exercise leader and the trainee; and finally, a description and an implementation of a scenario targeting the training of a real-world military staff and its capability to trade-off information acquisition vs. risk within the urban warfare domain.

Besides the development of POPSIM, the project has:

- in collaboration with the Swedish anti-aircraft regiment (LV6) and the Swedish air force combat simulation centre (FLSC) discussed future needs and requirements of behavior models representing anti-aircraft systems,
- established contact and planned for future collaboration with international scientists within the research fields data-driven behavior modeling and learning/adaptive agents.

The plan for next year, which is the project's final year, is to continue improving and developing the POPSIM prototype and to perform an exercise to evaluate and to identify shortcomings with respect to the tool and its models.

Keywords

Intelligent agents, multi-agent systems, multi-agent simulation, agent-based modeling, population simulation, computer generated forces, data-driven behavior modeling, behavior trees

Innehåll

1	Introduktion	7
1.1	Bakgrund	7
1.2	Projektet syntetiska aktörer	7
1.3	Verksamhet	7
1.4	Syfte med rapporten	8
1.5	Genomförd rapportering och leveranser	8
1.6	Tillgång till resultat	9
1.7	Läsanvisning	9
2	POPSIM: Populationssimulering	10
2.1	Bakgrund	10
2.2	Årets verksamhet	10
2.3	Arbetsflöde	12
2.4	Scenario	13
2.5	Populationssyntes	15
2.6	Infrastruktur och omvärld	17
2.7	Beteendemodeller	21
2.7.1	Fotgängare	21
2.7.2	Framkomlighet i trafik	22
2.7.3	Kultur och religion	23
2.8	Effektmodeller: Opinionsdynamik	23
2.9	Visualisering: Lägesbilder	24
2.10	Experimentella resultat	27
3	Doktrinmodeller	28
4	Internationella samarbeten	30
4.1	FFI: Data-driven beteendemodellering	30
4.2	NATO: IST-121-RTG-060	30
4.3	U.S. Army RDECOM: SHADE	31
5	Slutsatser	32

Litteraturförteckning	33
A Litteraturstudie: Modellering och simulering av fotgängare	36
A.1 Makroskopiska angreppssätt	36
A.1.1 Regressionsmodeller	36
A.1.2 Ruttplaneringsmodeller	36
A.1.3 Modeller baserade på strömningslära	37
A.2 Mikroskopiska angreppssätt	37
A.2.1 Regelbaserade modeller	37
A.2.2 Modeller baserade på sociala krafter	38
A.2.3 Cellulär automata modeller	39
A.2.4 Agentbaserade modeller	39

1 Introduktion

1.1 Bakgrund

Simuleringsbaserade verktyg används inom Försvarmakten (FM) för bl.a. tränings- och beslutsstödsändamål samt för att generera stimuli vid test, verifiering och utveckling av materiel. Simulatorer används i situationer som anses vara alltför tidskrävande, kostsamma, farliga, oetiska eller av andra skäl omöjliga att öva på, analysera eller utvärdera i verkligheten.

En viktig komponent i flertalet simulatorer är de agenter, eller syntetiska aktörer, som helt eller delvis autonomt medverkar i den simulerade omgivningen. Agenter används redan idag bland annat för att simulera pilotbeteenden i Flygvapnets Luftstridssimuleringscentrum (FLSC) samt inom FM och Markstridsskolan (MSS) för att simulera soldater i taktiska markstridsträningssimulatorer, t.ex. Virtual Battlespace 2 (VBS2).

1.2 Projektet syntetiska aktörer

Syntetiska aktörer (SA) är ett FoT-projekt (FoT nr 922:01.03), inom området Modellering och Simulering (M&S), vars huvudsakliga syften är att:

- anskaffa kunskap, utveckla verktyg, metoder och algoritmer för att skapa eller underlätta skapandet av syntetiska aktörer för användning i FMs nuvarande och framtida simuleringsbaserade verktyg för träning och beslutsstöd,
- tillgodose Markstridsskolans behov av förbättrad simuleringsbaserad träning av staber vid militära insatser i urban miljö med fokus på populationen och dess tillstånd.

Nyttan som projektet ämnar tillföra FM är expertstöd i form av kunskap, verktyg, metoder, modeller och prototyper vid framtagning av individuella och samverkande agenter för användning i FMs simuleringsbaserade verktyg. Projektet förväntas även resultera i: ökad förmåga hos FM och MSS att bedriva operativ samt taktisk träningsverksamhet i simulerade stadsmiljöer; ökad förståelse för simulering av urbana samhällen och komplexa socio-tekniska system; samt ökad förståelse för skadeutfallet vid t.ex. en olycka eller ett antagonistiskt angrepp hos en befolkning.

1.3 Verksamhet

Projektets huvudaktivitet består av att vidareutveckla modellerna i prototypen, POPSIM, som är en simulator där mänskliga populationer och dess tillstånd kan modelleras och simuleras i en virtuell stadsmiljö. POPSIM har under

året utökats med opinionsdynamikmodeller vilka möjliggör för simulering av individers åsikter i utvalda frågor eller ämnen (t.ex. åsikter om regimen, den militära närvaron i staden, osv.). I och med denna förbättring anses populationsmodellen mognat tillräckligt för att kunna utvärderas i en övning med en verklig stab. För att möjliggöra en sådan utvärdering under nästkommande år har POPSIM under 2013 bl.a. utökats med perspektiv vilka beskriver både övningsledarens och den övande stabens lägesbilder. Vidare har ett scenario skapats och delvis implementerats i POPSIM där fokus är att öva stabens förmåga att väga informationsanskaffning kontra risk vid irreguljära militära operationer i urban miljö.

Utöver POPSIM har projektets verksamhet under 2013 varit att:

- etablera kontakt och identifiera Luftvärnsregementets (LV6) samt FLSCs behov beteendemodeller för luftvärn,
- tillsammans med Forsvarets forskningsinstitut (FFI) i Norge utveckla en plan för ett framtida samarbete inom ramen för data-driven beteendemodellering,
- sammanfatta och rapportera huvudsakliga forskningsresultat från EUSAS projektet som avslutades 2012 (se Kapitel 1.5).

1.4 Syfte med rapporten

Syftet med denna rapport är att sammanställa och redovisa verksamhet och resultat av projektet *Syntetiska aktörer* under 2013.

1.5 Genomförd rapportering och leveranser

Leverans av milstolpe per 2013-06-10:

- Statusrapport, redovisas i FOI Memo, [1].

Leverans av milstolpe per 2013-12-02:

- Demonstration av POPSIM, redovisas i FOI Memo, [2].
- Konferensbidrag, redovisas i FOI Memo, [3].
- Årsrapport (denna rapport).

Övriga rapporter (som inte är milstolpar inom projektet):

- Sammanfattning av EUSAS, redovisas i FOI Memo, [4].
- Introduktion till beteendeträd, redovisas i FOI Memo, [5].

1.6 Tillgång till resultat

Projektets resultat i form av rapporter och publikationer redovisas i Kupal¹. Resultat i form av implementerade prototyper, mjukvara och källkod finns tillgänglig på begäran.

1.7 Läsanvisning

Projektet är ett fortsättningsprojekt vilket medför att delar av denna rapport bygger vidare på resultat från föregående års verksamhet. Läsaren rekommenderas därför att för ökad förståelse även läsa årsrapporten från 2012 [6].

I Kapitel 2 beskrivs framsteg och vidareutveckling av POPSIM och dess ingående modeller. I Kapitel 3 beskrivs arbetet som genomförts gentemot Luftvärnsregementet (LV6) och FLSC med avseende på beteendemodellering av luftvärn. I Kapitel 4 diskuteras internationella samarbeten som genomförts och planerats under året. Slutsatser och framtida arbete beskrivs i Kapitel 5.

¹<https://kupal.se/Dokument/Projekt/99900.aspx>

2 POPSIM: Populationssimulering

2.1 Bakgrund

Populationssimulatorens, POPSIM, har sedan behovsanalysen [7], som genomfördes tillsammans med MSS under 2009, successivt förädlats. Under 2011 utvecklades den första prototypen där rutinmässiga beteenden hos en större population (ca. 20 000-30 000 individer) kunde simuleras och visualiseras i realtid med endast en standard PC [8]. Under 2012 vidareutvecklades prototypen ytterligare bl.a. genom att populationens rutinmässiga beteenden förbättrades som en följd av att populationssyntesverktyget (som används för att skapa det initiala tillståndet hos populationen) försågs med möjligheter att generera syntetiska relationer i form av familje- och vänskapsband. Dessutom infördes en infrastrukturmodell vilken möjliggjorde för individer i populationen att kommunicera med varandra via mobiltelefoner [6]. Prototypen nyttjades under 2012 av flertalet forskningsprojekt, bl.a. för att beräkna skadeutfall vid katastrofer i form av kemiska vådautesläpp i urbana miljöer [9]. Dessutom nyttjades prototypen för att demonstrera konceptet *Social Coverage Maps* (SCM) [10]. SCM är en visuell representation som ger insikt i hur ett samhälle i sin helhet kan påverkas av lokala störningar i kritisk infrastruktur, t.ex. mobiltelefoninätet.

2.2 Årets verksamhet

I årets verksamhet har fokus varit att införa opinioner eller åsikter samt att koppla dessa till beteenden inom populationen. Exempel på typiska åsikter är populationens inställning till den militära insatsstyrkan, till den styrande regimen, etc. Projektet genomförde under 2012 en litteraturstudie [6] där flertalet opinionsdynamikmodeller identifierades. Ett urval av dessa har i år implementerats i POPSIM (se Kapitel 2.8). Utöver detta har ett scenario, som en första ansats att utvärdera verktyget, tagits fram och delvis implementerats i POPSIM (se Kapitel 2.4). I scenariot ingår att en stab skall interagera med populationen, vinna dess tycke, anskaffa information för att förbättra lägesbild och situationsuppfattning och samt att identifiera, åtgärda eller neutralisera eventuella hot i form av irreguljära styrkor, IED:er, extremistgrupperingar, osv.

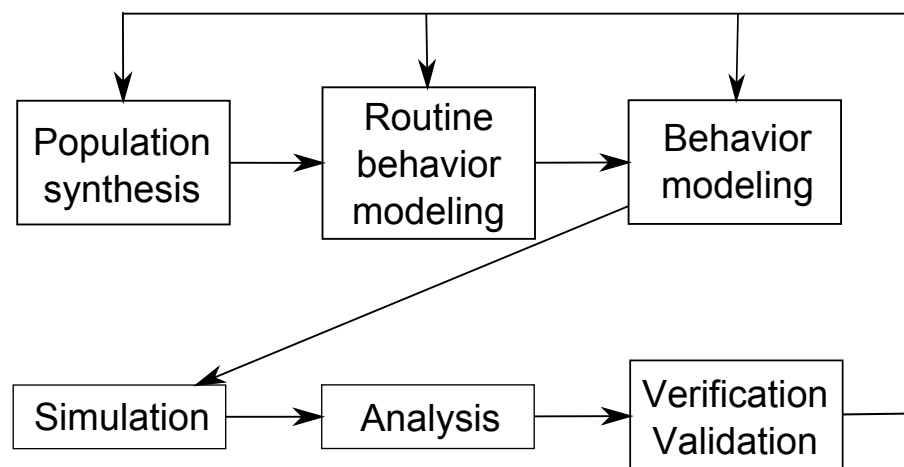
I detta kapitel har vi delat upp POPSIM i ett antal komponenter som i reserande delar av kapitlet kommer att beskrivas var för sig. Tabell 2.1 beskriver övergripande alla POPSIMs komponenter, inklusive de funktioner som utvecklades under 2011-2012, samt de funktioner som utvecklats och vidareutvecklats under 2013.

Komponent	2011	2012	2013
Populationssyntes	• Demografi • Geografi	• Relationer	• Opinioner • Användargränssnitt
Infrastruktur och omvärld	• Byggnader • Vagnät • Ruttplanerare för fordon	• Mobiltelefoni • Elevationsdata	• Terränganalys (line-of-sight, hotanalys) • Ruttplanerare för fotgängare • Sektorbaserad field-of-view (FOV)
Beteendemodeller	• Rutinbeteende hos befolkning	• Förbättrad rutinbeteendemodell (relationer till familj och vänner samt kommunikation via mobiltelefoni) • Inspel för patrullering, vägspärr, transport (av t.ex. VIP eller materiel) och störning av mobiltelefoni	• Fotgängare (litteraturstudie) • Framkomlighetsmodell för fordons trafik • Inspel för identifikation och avaktivering av IED:er samt tillfångatagande av irreguljära styrkor
Effektmodeller	• -	• Hälsoeffekter vid exponering av luftburna kemikalier • Opinionsdynamik (litteraturstudie)	• Opinionsdynamik (implementation) samt koppling av opinionstillstånd till beteenden
Visualisering	• Karta (byggnader, vagnät, agenter) • Tid • Agenttillstånd • Stapeldiagram	• Karta med intensitetslager (populationstäthet, täckningsdiagram, koncentration av kemikalier, opinion) • Inspelsvy • Linjediagram	• Lägesbilder och perspektiv för övningsledare och träningsobjekt • Vy för inkommande rapporter samt visualisering av dessa på karta • Kontinuerliga fördelningsdiagram (kernel-density estimator)
Övrigt	• -	• Stöd för distribuerad simulering (HLA Evolved via MOSART) • Videoinspelning	• Databas för kulturella och religiösa händelser • Förslag på arbetsflöde • Framtagning och implementation av scenario med syftet att utvärdera verktyget i en verklig övning

Tabell 2.1: Översikt av POPSIM komponenter och funktioner utvecklade under perioden 2011-2013.

2.3 Arbetsflöde

Vid skapandet av en modell eller ett scenario i POPSIM har modelleringsarbetet delats upp i delmoment enligt arbetsflödet som presenteras i Figur 2.1. I det första momentet skapas populationens egenskaper och dess initiala tillstånd med hjälp av populationssyntesverktyget som presenteras i Kapitel 2.5. I nästa steg skapas agenternas rutinmässiga planer där aktiviteter som t.ex. sova, äta och jobba kopplas till tidpunkter under dygnet. I det tredje momentet skapas beteendemodeller som är domän- eller applikationsspecifika. Efter detta är modellen redo att simuleras, analyseras och slutligen verifieras och valideras (V&V). V&V är en utmanande uppgift att genomföra i POPSIM likväl som i andra verktyg där mänskligt beteende modelleras. V&V processen består ofta av att jämföra simuleringens utfall med data från verkliga händelser, alternativt med hjälp av återkoppling från ämnesområdesexperter (SME:er). Utmaningen ligger i att data från verkliga händelser ofta saknas och att SME-bedömningar av naturliga skäl är subjektiva. Efter V&V, oavsett arbetets komplexitet, är modellen antingen färdig att användas eller så måste den korrigeras för att bättre efterlikna verkligheten enligt tillgänglig data eller SME-bedömningar.



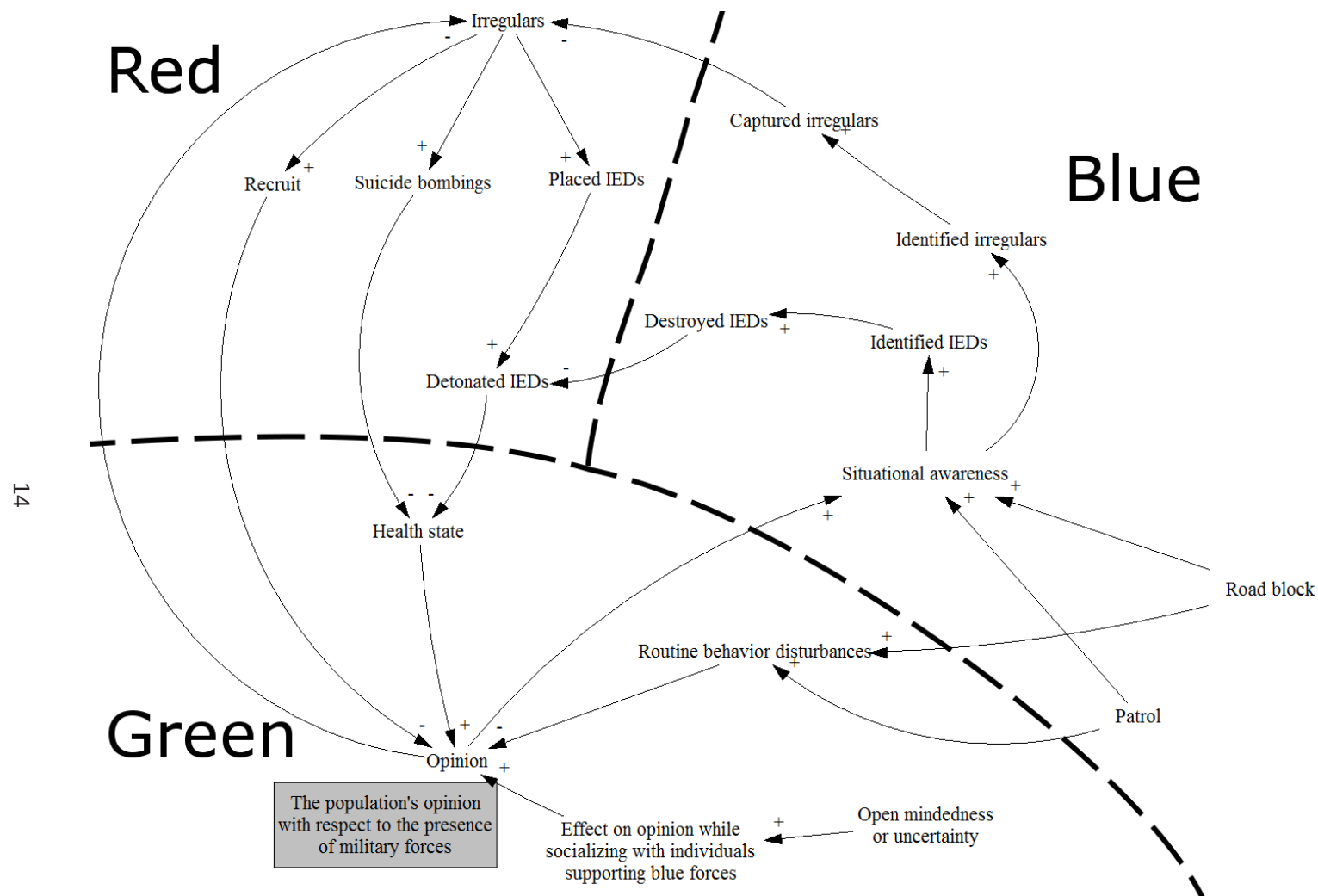
Figur 2.1: Arbetsflöde vid skapandet av modell eller scenario i POPSIM.

2.4 Scenario

POPSIM har efter årets verksamhet, även om mycket arbete kvarstår innan verktyget kan användas i skarpa övningar, mognat tillräckligt för att kunna utvärderas och användas i en övning där en verklig stab tränar sin förmåga att genomföra militära operationer i urban miljö. I årets verksamhet har ett scenario skapats där målet är för staben att vinna populationens tycke (*hearts and minds*) och samtidigt bekämpa antagonister i form av irreguljära styrkor. I scenariot ingår: blå aktör som motsvarar stabens militära insatsstyrkor; röd aktör som motsvarar de irreguljära styrkorna; samt, grön aktör som representerar populationen.

I Figur 2.2 har scenariot sammanfattats i ett kausaldiagram. I diagrammet används plus- (+) och minustecken (-) för att representera påverkan eller förändring av tillstånd, där plus representerar förändring i samma riktning och minus representerar förändring i motsatt riktning. Till exempel ger en *ökning* av militära operationer, t.ex. patrullering, *ökar* stabens situationsuppfattning, dessvärre stör *ökningen* också populationens dagliga rutiner vilket i sin tur *minskar* populationens opinion, osv. Hur stora tillståndsförändringarna blir beror på hur parametrarna i POPSIM modellerna konfigurerats.

Intressanta länkar i diagrammet är främst kopplingen mellan populationens opinion och stabens situationsuppfattning. En ökning i opinion leder till att populationen är mer villig att dela med sig av information om t.ex. misstänkta aktiviteter, planerade demonstrationer, osv. Värt att nämna är också att bl.a. opinion ingår i ett flertal återkopplingsslingor, vilket är en indikation på att tillståndet i simuleringen i rask takt kan förvärras eller förbättras.



FOI-R-3751-SE

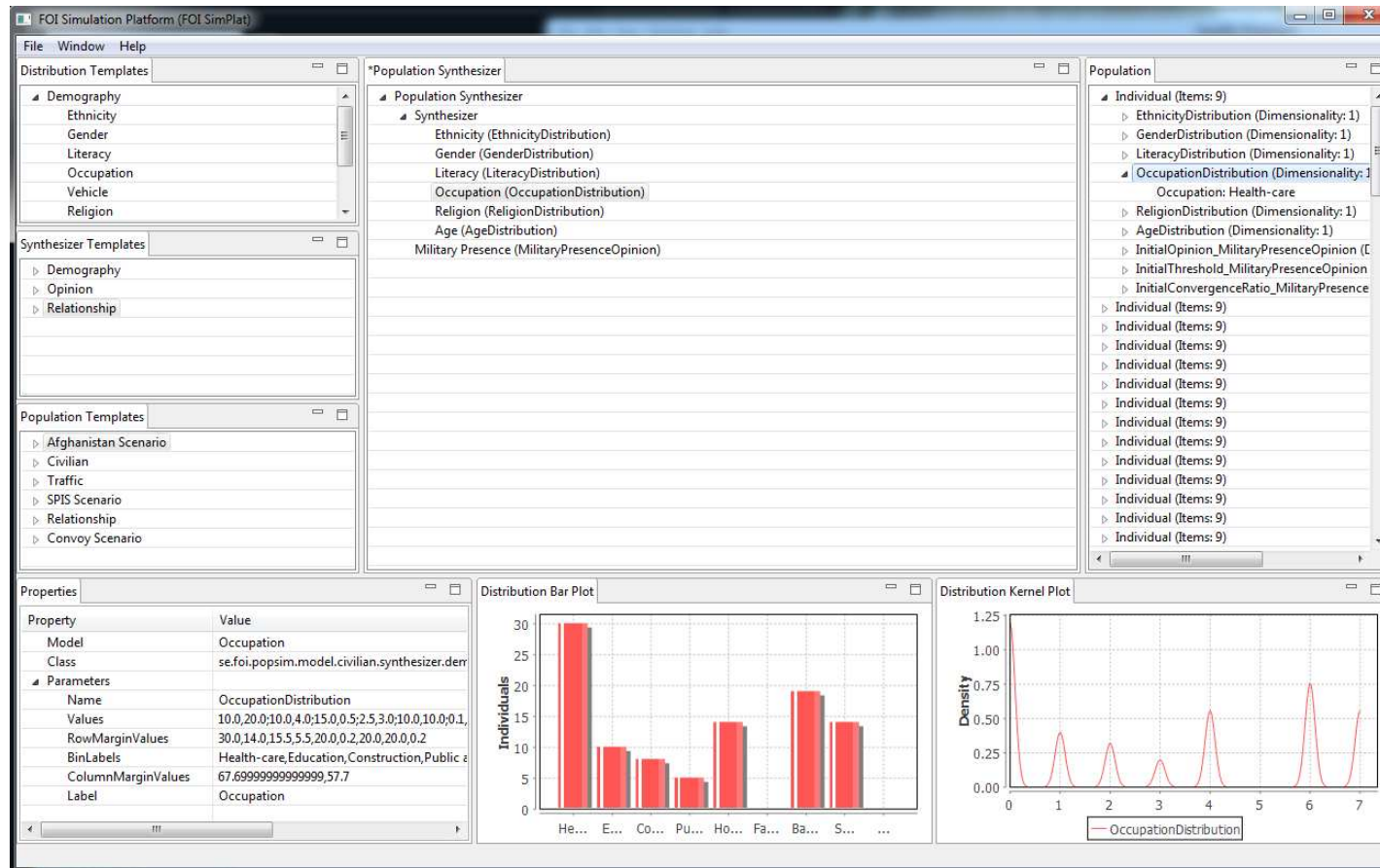
Figur 2.2: Kausaldiagram som övergripande beskriver scenariot inklusive dess aktörer och deras aktioner samt de huvudsakliga tillståndsvariablerna.

2.5 Populationssyntes

Populationssyntesverktyget, som används i POPSIM för att modellera det initiala tillståndet hos populationen, har under året försetts med ett grafiskt användargränssnitt. Det huvudsakliga syftet med att skapa ett separat gränssnitt för populationssyntesverktyget har varit att förenkla samt bättre fördela och kommunicera modelleringsarbetet i POPSIM mellan t.ex. modellerare, SME och övningsledare. Värt att notera är också att verktyget är tillräckligt generellt för att kunna användas av andra agent-baserade simulatorer i behov av att kunna skapa initiala tillstånd givet statistiska indata.

En användare eller modellerare kan med verktyget skapa egenskaper hos populationen genom att parametersätta återanvändbara *mallar* som t.ex. representerar demografiska egenskaper hos populationen. Utöver demografi tillgodoser verktyget mallar för att modellera relationer (vänner och familj) samt det initiala opinionstillståndet hos populationen.

Figur 2.3 visar en skärmdump av populationssyntesverktyget. Vyerna till vänster (*distribution*-, *synthesizer*- och *population templates*) listar alla mallar som går att använda vid skapandet av populationsmodellen. Distributionsmallarna representerar lägsta nivån av egenskaper (t.ex. ålder, kön, religion, etc.), syntesmallarna innehåller en samling distributionsmallar och, slutligen, populationsmallarna i sin tur innehåller en samling syntesmallar. En mall instansieras genom att dra mallen (*drag-n-drop*) in i modellens trädstruktur som återfinns i huvudvyn (*population synthesizer*) i mitten av gränssnittet. Alla parametrar som återfinns i mallinstanserna kan editeras med egenskapsvyn (*properties*) längst ner till vänster. I populationsvyn (*population*) till höger visas alla egenskaper för den genererade populationen på individnivå. Fördelningen över populationens egenskaper visualiseras längst ner i gränssnittet i både diskreta stapeldiagram (*distribution bar plot*) samt kontinuerliga täthetsdiagram (*distribution kernel plot*).



Figur 2.3: Skärmdump av populationssyntesverktøget.

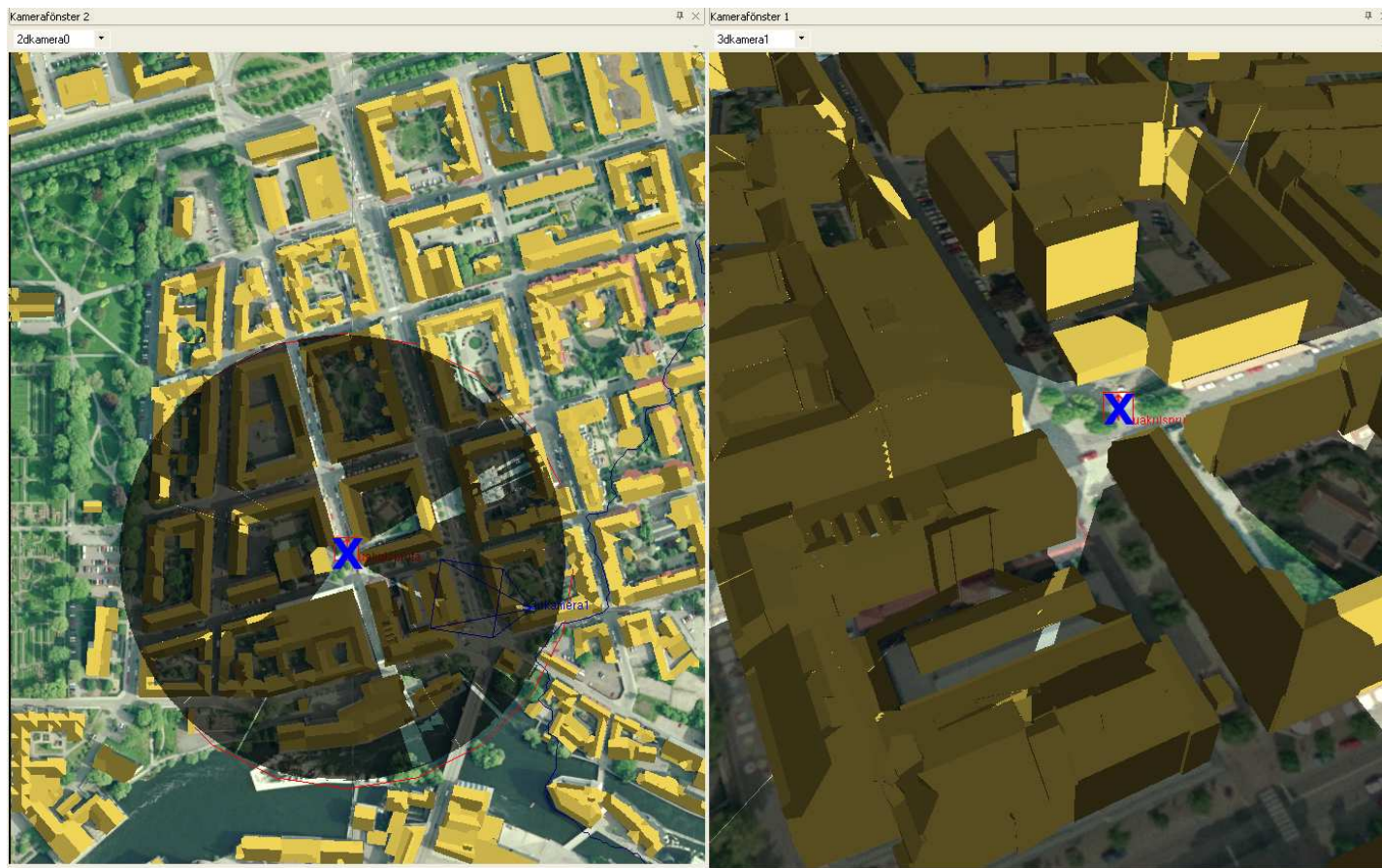
2.6 Infrastruktur och omvärld

En viktig del av POPSIM är de modeller som används för att simulera omvärld och infrastruktur. För att säkerställa god kvalitet i dessa modeller samarbetar projektet med FoT-projektet *Omvärldsmodellering* där omvärldsdata samt metoder för att skapa omvärldsdata i form av bl.a. GIS-databaser och 3D-modeller finns att tillgå [11].

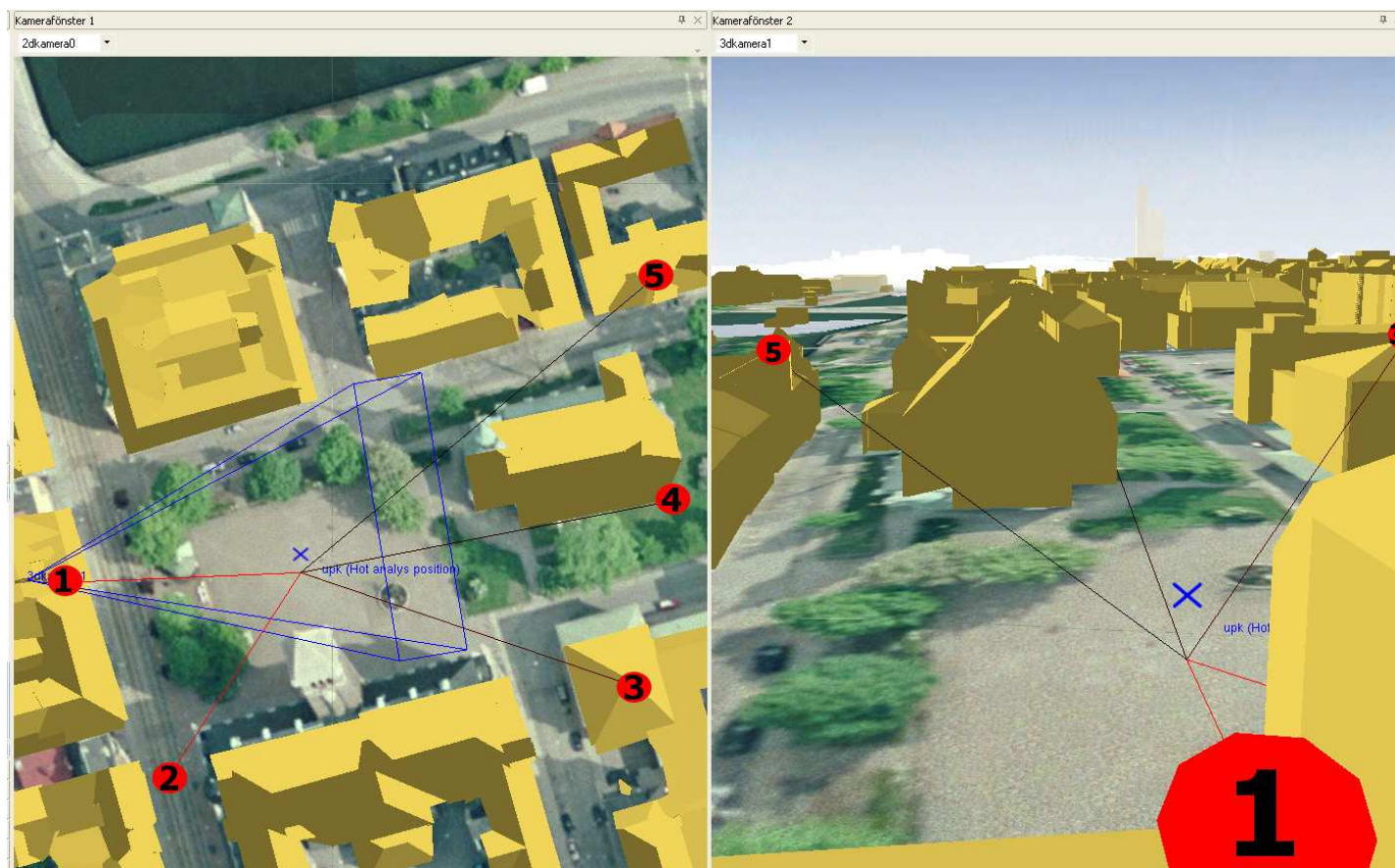
I POPSIM är de ingående agenterna till stor del autonoma vilket innebär att de måste kunna analysera och resonera givet den syntetiska omgivningen. I årets verksamhet har därför projekten *Syntetiska aktörer* och *Omvärldsmodellering* samarbetat med målet att skapa ett återanvändbart terränganalysverktyg, *Geo-Analyst Library (GAL)*, där nedan nämnda funktioner är exempel på vad som kan tänkas ingå i verktyget:

- Siktfältsanalys: Uppskattar vad som är synligt och icke-synligt givet agentens positionering och maximala synfältsradii samt den syntetiska omgivningen. En skärmdump av en typisk siktfältsanalys återfinns i Figur 2.4 där icke-synliga områden har grå-markerats givet agentens position som i detta fall representeras av ett blått kryss i figuren.
- Hotanalys för direkteld: Identifierar potentiella angreppspositioner för direkteld givet en agents positionering i den syntetiska omgivningen. I Figur 2.5 har fem potentiella angreppspunkter identifierats givet agentens position som är markerad med ett blått kryss i mitten av torget.
- Hot- och riskbaserad ruttplanering: Ruttplanering är normalt baserad på optimering av restid eller sträcka. I krigshärjade miljöer krävs mer avancerad ruttplanering för att t.ex. ta hänsyn till hot och risker. I Figur 2.6 illustreras ett exempel på hur rutter kan beräknas både med avseende på kortaste avstånd (röd rutt) och med avseende på risk att bli beskjuten av kända hot (grön rutt). Volymerna (gul och lila) i figuren representerar icke-synliga områden (beräknad med ovannämnda siktfältsanalysfunktion) för hoten som i sin tur ligger till grund för beräkningen av den gröna ruten.

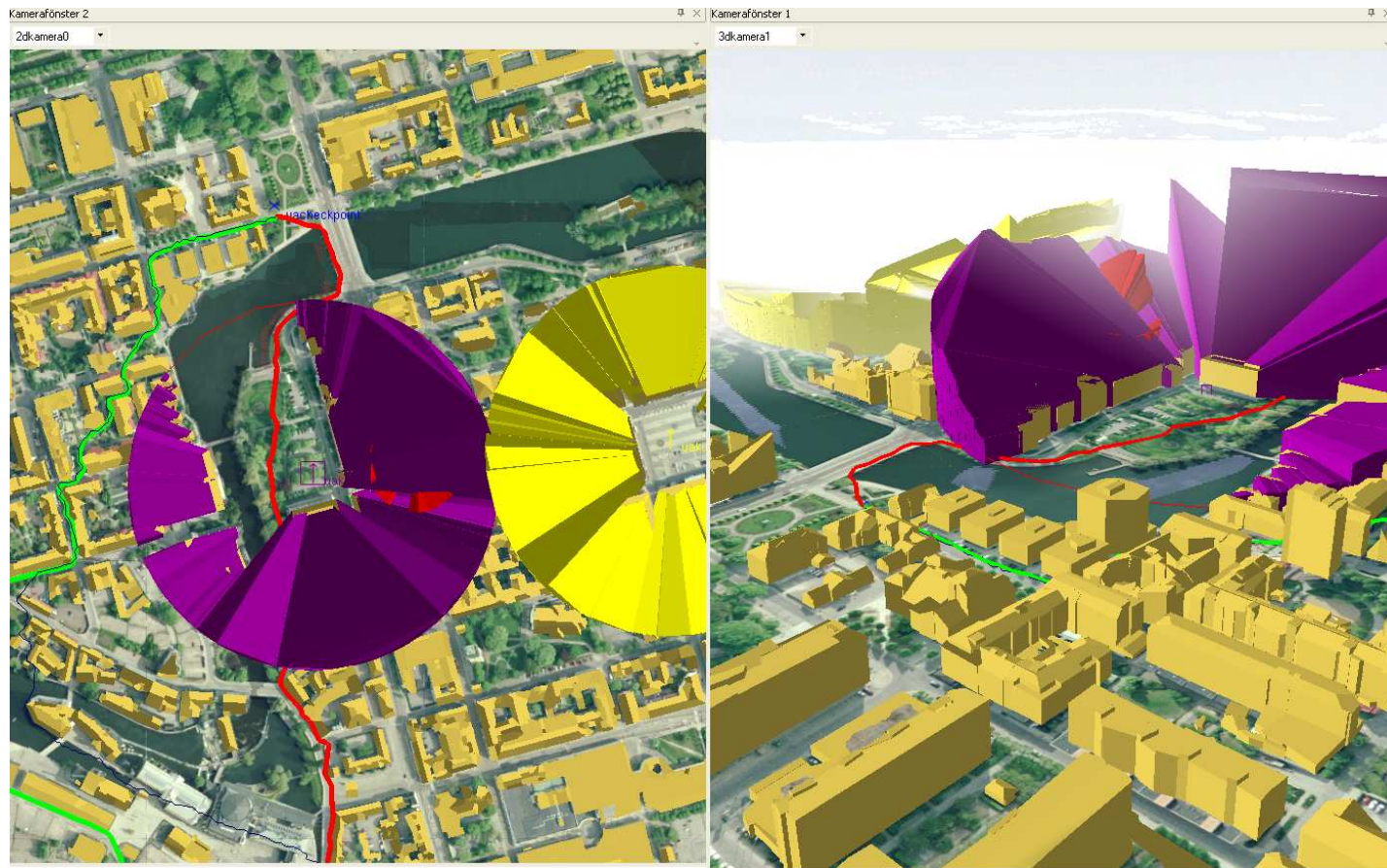
Värt att nämna är att ovannämnda exempel, med flera, på terränganalysfunktioner redan finns implementerade (se [12]) men att de dessvärre är utspridda i diverse forskningsprototyper. Ett arbete har därför påbörjats med att extrahera och sammanställa dessa implementationer i terränganalysverktyget. Initialt kommer terränganalysverktyget primärt att användas av POPSIM med ändamålet att förbättra POPSIM-agenternas beteenden. När verktyget mognat förväntas det även kunna nyttjas av andra verktyg, utöver POPSIM, som är i behov av geografisk information och avancerad terränganalys. Det långsiktiga syftet med verktyget är att stimulera forskning och teknikutveckling av framtida terränganalysfunktioner som med stor sannolikhet kommer att bygga på de grundfunktioner som redan skapats i verktyget.



Figur 2.4: Exempel på siktfältsanalys där grå-markerade områden representerar icke-synliga områden för agenten baserat på dess position som i figuren markerats med ett blått kryss.



Figur 2.5: Exempel på hotanalys för direkteld. Givet agents position som representeras av ett blått kryss i mitten av torget har 5 potentiella hotpositioner identifierats. Hotpositionerna representeras av numrerade röda punkter.



Figur 2.6: Exempel på ruttplanering som tar hänsyn till hot och risker. Den röda ruten representerar den kortaste sträckan mellan start- och slutpunkt. Den gröna ruten, som är längre, tar hänsyn till två kända kulsprutehot. Volymerna (lila och gul) representerar områden som är icke-synliga för respektive kulsprutehot och därmed säkra att röra sig inom.

2.7 Beteendemodeller

2.7.1 Fotgängare

Projektet har via konferensbidrag fått kritik för att inte kunna hantera fotgängare på ett realistiskt och bra sätt [13]. En av begränsningarna har varit att fotgängare enbart kunnat förflytta sig via vägnätet. I ett försök att åtgärda detta har projektet dels genomfört en litteraturstudie (se Appendix A) vilken berör modellering och simulering av fotgängare och folksamlingar som uppstår vid diverse evenemang. Utöver detta har en ruttplanerare skapats och integrerats i ovan nämnda terränganalysverktyg. Ruttplaneraren möjliggör för agenter att planera rutter i vilken både vägar och öppna ytor (t.ex. parker, torg, osv.) är inkluderade i sökrymden. I Figur 2.7 illustreras ett exempel på en rutt som har skapats över både öppna ytor såväl som på vägar och trottoarer.



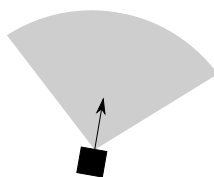
Figur 2.7: Exempel på ruttplanering som tar hänsyn till både vägnät och öppna ytor som t.ex. parker och torg.

2.7.2 Framkomlighet i trafik

POPSIM nyttjar idag en omvärldsmodell som tillsammans med en ruttplanerare och en beteendemodell möjliggör för individer i den simulerade populationen att förflytta sig mellan t.ex. arbetsplats och bostad. Under 2013 har beteendemodellen som är kopplad till förflyttning i vägnätet förbättrats i den mån att individer anpassar sin hastighet beroende på trafiksituationen enligt nedanstående regler, där Field-of-View (FOV) beräknas enligt Figur 2.8.

```
IF other individual in FOV
  slow down
IF speed < desired speed
  speed up
IF speed > desired speed
  slow down
```

Effekterna av denna förbättring är att individer nu anpassar sin hastighet så att deras FOV är fri från andra individer. I POPSIM anpassas dessutom storleken på FOV dynamiskt enligt *tresekundersregeln* med hjälp av rådande väghastighet, vilket resulterar i större avstånd mellan individer på vägar med högre hastigheter och mindre avstånd på vägar med lägre hastigheter. Detta kan i sin tur resultera i att trafikstockning uppstår som ett s.k. emergent fenomen i simuleringen när många individer samtidigt försöker förflytta sig från en plats till en annan eller om inspel som t.ex. vägspärrar genomförs på tungt trafikerade vägar. Idé och implementation är inspirerad av det amerikanska trafiksimuleringsprojektet TRANSIMS [14].



Figur 2.8: Field-of-view (FOV) hos en individ som förflyttar sig på vägnätet representeras av det grå området. Individen anpassar sin hastighet enligt uppsatta regler med målet att FOV skall vara fri från andra individer.

2.7.3 Kultur och religion

Även om religiösa och kulturella faktorer påverkan på människors beteenden och välmående ofta är subjektiva och därmed kontroversiella är det viktigt att POPSIM i någon mån tar höjd för dessa. Under året har en textbaserad databas skapats i vilken religiösa och kulturella händelser kan listas för att sedan kunna användas vid modellering av agenternas beteenden. Med hjälp av databasen har vi t.ex. under året skapat beteenden där troende agenter under högtider oftare besöker religiösa byggnader för predikan och bön. En intressant sideeffekt av firandet av högtider är att den simulerade populationen blir mer social, vilket i sin tur resulterar i ökad påverkan av åsikter och opinioner.

2.8 Effektmodeller: Opinionsdynamik

Föregående år genomfördes en litteraturstudie där ett antal opinionsdynamikmodeller identifierades med syftet att simulera åsikter eller opinioner i POPSIM [6]. I modellerna påverkas opinionen när individer i populationen socialiserar med varandra t.ex. i hemmet, på jobbet eller vid religiösa och kulturella högtider. Under 2013 har modellen vidareutvecklats bl.a. genom att individers åsikter kan påverkas av aktioner som t.ex. utförs av en militär insatsstyrka samt när agenter kommunicerar med varandra via mobiltelefoni. För att förenkla modelleringsarbetet har populationssyntesverktyget dessutom försetts med en *opinionsdynamikmall*, se Kapitel 2.5, som används för att skapa det initiala opinionstillståndet i populationen.

I POPSIM har två kända opinionsdynamikmodeller implementerats. Den första modellen, Deffaunt modellen [15], används för att beräkna opinionsförändring i situationer där individer träffas en-och-en eller i mindre grupper, t.ex. i hemmet eller på arbetsplatsen. Deffaunt modellen beskrivs matematiskt i Ekvation 2.1:

$$x_i(t+1) = \begin{cases} x_i(t) + \mu[x_j(t) - x_i(t)], & \text{if } |x_i - x_j| \leq \epsilon \\ x_i(t), & \text{otherwise} \end{cases} \quad (2.1)$$

där x_i , x_j representerar opinionen för agent i och agent j , μ är en konvergensfaktor som styr hur mycket agentens opinion kan förändras vid en uppdatering och ϵ är ett tröskelvärde som representerar hur osäker, alternativt öppen, agenten är för att påverkas av andras åsikter.

Den andra modellen, Hegselmann-Krause (HK) modellen [16], används när individer samlas i större grupper, t.ex. vid religiösa och kulturella händelser. Ekvation 2.2 beskriver HK-modellen:

$$x_i(t+1) = \frac{1}{|I|} \sum_{j \in I} x_j(t) \quad (2.2)$$

där I representerar alla agenter, inklusive i , som uppfyller villkoret $|x_i - x_j| \leq \epsilon$.

Ovannämnda modeller är kontinuerliga modeller där varje individ i populationen har ett kontinuerligt opinionsvärde inom intervallet $[0,1]$. Vad som menas med ett lågt respektive högt opinionsvärde är upp till modelleraren. Till exempel, i scenariot som beskrivs i Kapitel 2.4 representerar opinionsvärden nära 0 respektive 1 individer som tycker illa respektive bra om den militära insatsstyrkans närvaro i området.

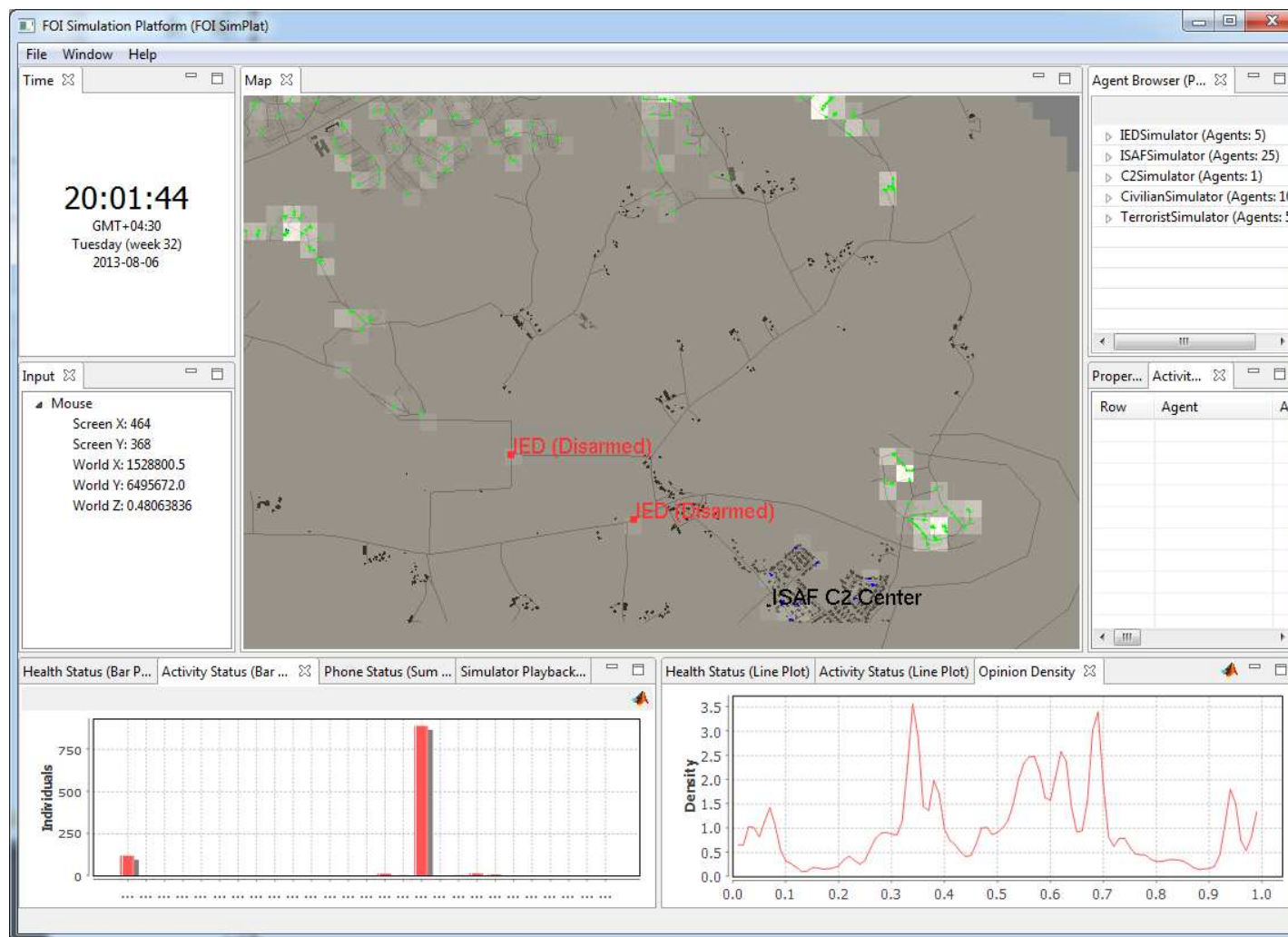
2.9 Visualisering: Lägesbilder

För att POPSIM skall kunna användas för träning krävs att information från simuleringen presenteras till användaren beroende på dess roll. Vi har under 2013 skapat perspektiv, vilka i sin tur består av en samling vyer, för att visualisera simuleringens lägesbild utifrån rollerna som *övningsledare* samt *spelare*. Övningsledarens perspektiv visar simuleringens *faktiska* tillstånd medans spelarens perspektiv visar den *uppskattade* lägesbilden som i sin tur beror på hur aktiv spelaren har varit i sin informationsanskaffning.

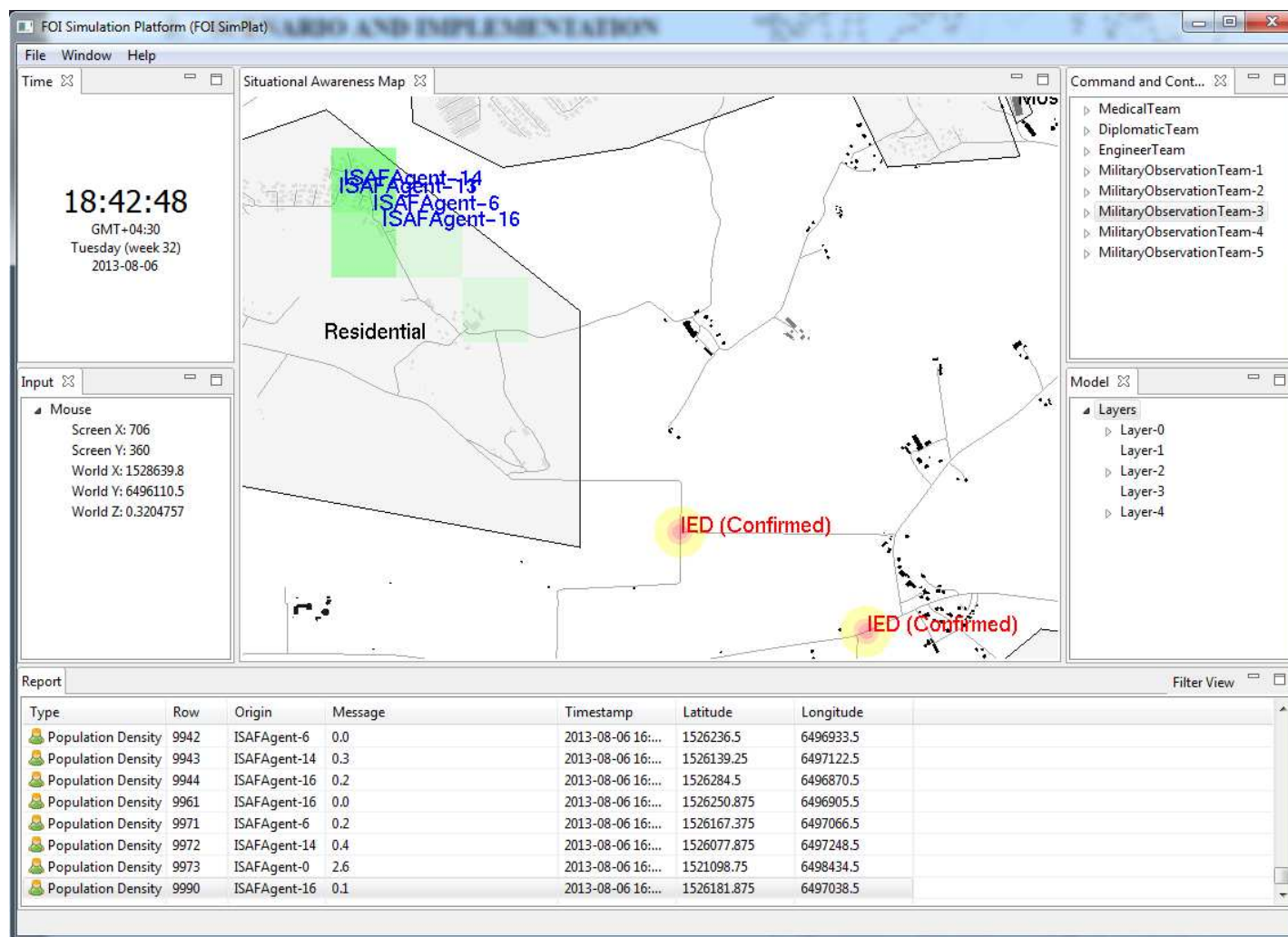
Figur 2.9 illustrerar en skärmdump av övningsledarens perspektiv av simuleringen som bland annat består av: en tidsvy; en kartvy där agenter inklusive position och riktning samt byggnader och vägnät visualiseras; samt ett antal stapel- och linjediagram för att visualisera populationens aktuella tillstånd med avseende på opinion, hälsa, sysselsättning, osv. I kartvyn används dessutom en intensitetskarta för visualisering av populationstäthet där ljusa områden representerar hög täthet och mörkgrå områden låg täthet.

Spelarens perspektiv presenteras i Figur 2.10. I spelarens perspektiv ingår vyer för att presentera den uppskattade lägesbilden i form av en tidsvy, kartvy, och rapportvy. I kartvyn visualiseras populationstäthet återigen med en s.k. intensitetskarta där i detta fall ljusgröna områden och mörkgröna områden representerar låg respektive hög befolkningstäthet. I kartvyn visas även positioner för de agenter som spelaren kontrollerar via sina inspel samt upptäckta hot i form av t.ex. IED:er som placerats ut av antagonister. Rapportvyn längst ner i figuren, visar den rådata som ligger till grund för visualiseringen i kartvyn. För att spelaren skall kunna påverka simuleringen med hjälp av diverse inspel har dessutom en inspelsvy (högst upp till höger) skapats.

Värt att notera är också att visibiliteten av kartvyns olika lager kan kontrolleras av både övningsledaren och spelaren för att på så sätt visa mer eller mindre information.



Figur 2.9: Skärmdump av övningsledarens perspektiv. Överskådliga lägesbilder av simuleringens tillstånd presenteras i stapel- och linjediagram samt i GIS kartor där individer och deras positioner projiceras i form av färgkodade triangulära objekt.

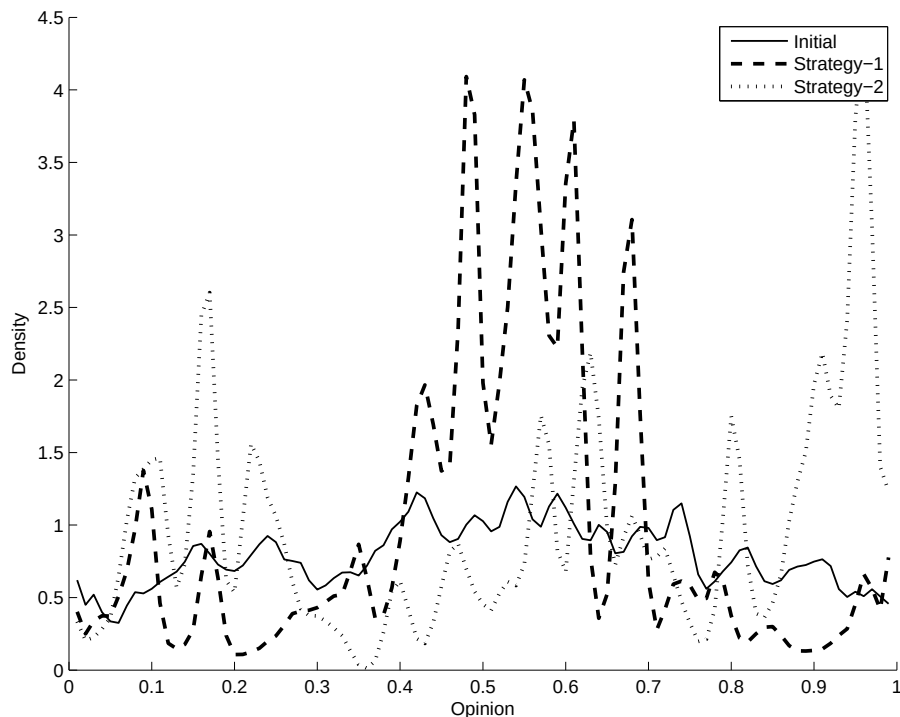


Figur 2.10: Skärmdump av spelarens perspektiv. Rapportvyn längst ner i bilden visa rådata som i sin tur visualiseras i kartvyn. Inspelsvyn högst upp till höger kan användas för att skapa inspel för att t.ex. anskaffa information om populationens tillstånd.

2.10 Experimentella resultat

I detta kapitel redovisas experimentella resultat där implementationen av scenariot från Kapitel 2.4 simulerats i POPSIM med fokus på hur populationens opinionsmässiga tillstånd förändrats över tid.

I Figur 2.11 visas ett linjediagram där varje linje representerar populationens opinionsmässiga fördelning initialt samt efter två genomförda experiment. I det första experimentet använder blå sida en passiv strategi, d.v.s. endast ett fåtal militära insatser genomförs, vilket har som följd att populationens opinion tenderar att konvergera mot mitten vilket betyder att huvuddelen av individerna i populationen inte vet vilken sida (blå eller röd) dom skall stödja. I det andra experimentet är blå mer aktiv och påverkar därför populationen mer i både positiv och negativ riktning. Effekterna av den andra strategin är att populationens opinion polariseras och att mindre extremistgrupperingar bildas inom populationen. Om dessa resultat är i enlighet med verkligheten och hur väl stabens åtgärdsstrategier fungerar återstår att utvärdera under nästkommande år (se Kapitel 5).



Figur 2.11: Experimentella resultat som visar populationens initiala opinionsfördelning samt fördelningen efter två genomförda simuleringar där blå sida är passiv (strategi-1) och aktiv (strategi-2).

3 Doktrinmodeller

För att agenter som är utvecklade i syfte att efterlikna militära förmågor eller system skall vara användbara i simuleringsbaserad militär träning, är det en förutsättning att agenterna följer gällande militära doktriner. Att överbrygga militära doktriner och kunskapen hos operativ personal till beteendemodeller är en viktig och återkommande aktivitet inom många av FM:s simuleringsbaserade projekt. Dessvärre är modellering av doktrinbeteenden en kostsam och utmanande uppgift då olika vapenslag, förband, nationer, etc. följer olika militära doktriner samt att doktrinerna kontinuerligt utvecklas, förbättras och anpassas.

Projektet har under året, i ett försök att effektivisera framtida modelleringsarbete inom FM med avseende på doktrinbeteenden, vidareutvecklat tankar och idéer från tidigare års verksamhet där beteendeträd [5] nyttjats för att modellera och simulera pilotbeteenden hos FLSC. Till skillnad från tidigare års verksamhet är planen i detta arbete bl.a. att utreda om och hur beteendeträd kan nyttjas för att:

- visualisera en doktrin för att i ett och samma statiska diagram kunna överskåda doktrinen, både i sin helhet och på detaljnivå, i syfte att underlätta träning av noviser samt för att generellt öka förståelsen av doktriner hos militära förband eller användare,
- med simulering visualisera och återkoppla dynamiska förlopp för träning och ökad förståelse av doktriner,
- med *what-if*-simulering identifiera svagheter/styrkor i en doktrin samt att jämföra, utvärdera och ge förslag på förbättringar av doktriner.

För att genomföra detta arbete har en inledande behovsdiskussion genomförts i syfte att identifiera både lämpliga typfall och mottagare av arbetet. Diskussion har förts med representanter från både FLSC och Luftvärnsregementet (LV6) och följande huvudsakliga, och delvis gemensamma, behov har identifierats:

- Luftvärnsregementet (LV6) har uttryckt ett intresse för en simuleringsmiljö där de kan utvärdera luftvärnssystem samt åskådliggöra beslutsprocessen inom dessa i syfte att träna operativ personal,
- FLSC har under året uttryckt ett behov av en modell som kan simulera ett mer kapabelt luftvärn. En sådan modell skulle bl.a. minska behovet av extra resurser för den operativa personalen (white force) hos FLSC.

Både LV6 och FLSC har alltså behov av luftvärnsmodeller fast för olika ändamål. Projektet kommer främst att jobba mot LV6 då deras behov närmare berör arbetets frågeställningar. Det skall dock poängteras att arbetet som

genomförs tillsammans med LV6 med stor sannolikhet kommer att vara direkt användbar även för FLSC.

Efter den inledande behovsanalysen har projektet under året genomfört intervjuer med personal från LV6 för att identifiera de luftvärnssystem som initialt skall modelleras. Ett statiskt beteendeträd utvecklades sedan i grafisk form baserat på doktriner för respektive luftvärnssystem. Vidare har innehållet i de statiska beteendeträden implementerats och modellerna kan i dagsläget simuleras i en skrivbordssimulatormiljö. Värt att notera är att modellerna är implementerade i MERLIN-arkitekturen [17] och att de exekverar inom MDA-applikationen [18], som är integrerad i FLSC-miljön, vilket innebär att modellerna som utvecklas inom projektet med enkelhet kan nyttjas av FLSC i framtiden. Beteendemodellerna kan på grund av sekretess inte diskuteras vidare i detta dokument, men de finns tillgängliga på begäran för behöriga både i form av ett sekretessbelagt arbetsdokument och i kod.

Arbetet har hittills resulterat i att ett antal brister inom doktrinerna har identifierats. Dessa upptäckter gjordes redan vid framtagandet av koncepten, d.v.s. den trädbaserade strukturen, hos beteendeträden som utgör beteendemodellerna. Detta har i sin tur resulterat i en intresseinjektion och en ökad förståelse för nyttan med beteendemodeller hos LV6.

Under nästa år planerar projektet att färdigställa beteendemodellerna för att tillgodose behoven hos LV6. Projektet planerar också att genomföra experiment tillsammans med LV6 för utvärdera modellerna och dess förmåga att besvara arbetets övriga frågeställningar.

4 Internationella samarbeten

4.1 FFI: Data-driven beteendemodellering

Ett potentiellt mycket användbart verktyg inom beteendemodellering är maskininlärning (ML). Vi har under senare år sett flertalet framgångsrika exempel på system (t.ex. IBM Watson¹, Google Translate², etc.) där ML-algoritmer har nyttjats för att lösa problem som varit alltför komplexa att lösa med traditionella AI-metoder som t.ex. regelbaserade expertsystem. Fördelen med ML-algoritmer är att de har en förmåga att finna samband i stora mängder data som annars är svåra att upptäcka.

Under perioden 2011-2012 utvecklades en prototyp där konceptet data-driven beteendemodellering kunde demonstreras i en förenklad hockey-simulator. Träningsdata, i form ett antal passningsövningar, matades in i maskininlärnings-algoritmer vilka i sin tur automatiskt skapade beteendemodeller i form av beslutsträd för passningar och neurala nätverk för positionering. Beteendemodellerna exekverades sedan av de artificiella hockeyspelarna. I ett av exemplen lärde sig spelarna att undvika att passa pucken till medspelare i passningsskugga (p.g.a. täckande motspelare) med hjälp av endast ett fåtal observationer [6].

Planen för 2013 och framåt är att vidareutveckla och anpassa ovan idéer för användning i militära simuleringsverktyg som t.ex. VBS2, VR-forces, FLAMES eller POPSIM. I ett första steg i detta arbete har projektet under året påbörjat en diskussion angående samarbete inom forskningsområdet data-driven beteendemodellering med Forsvarets Forskningsinstitut (FFI) i Norge. De inledande diskussionerna har varit positiva, ett s.k. *Technical Agreement* (TA) har utarbetats, och förhoppningen är nu att ett samarbete med FFI kan påbörjas under 2014.

4.2 NATO: IST-121-RTG-060

Projektet har under året deltagit i ett kick-off möte med NATO-gruppen IST-121-RTG-060, *Machine Learning Techniques for Autonomous CGEs*, under ledning av Dr. Jan Joris Roessingh, National Aerospace Laboratory (NRL). Mötet genomfördes hos Thales i Paris 2013-10-17–2013-10-18. Syftet med deltagande var att bilda en uppfattning huruvida NATO-gruppens arbete ligger i linje med projektets syfte och mål.

I gruppen planerar man att undersöka om och hur maskininlärning kan nyttjas för att skapa mer realistiska beteenden hos syntetiska aktörer för användning i simuleringsbaserad träning och beslutsstöd. I arbetet ingår att identifiera potentiella barriärer, styrkor och svagheter med främst online- men även

¹ <http://www-03.ibm.com/innovation/us/watson/>

² <http://research.google.com/pubs/MachineTranslation.html>

offline-inlärningsmetoder. Med online-inlärning menas, till skillnad från offline-inlärning, att agenter kan lära sig nya förmågor under simuleringens gång t.ex. med hjälp av reinforcement learning³.

Arbetet är nära besläktat med det förstnämnda FFI-samarbetet. Ett deltagande i gruppen skulle med stor sannolikhet vara värdefull som forum för att diskutera relevanta forskningsfrågor och forskningsproblem med internationella forskare inom området. Ett deltagande skulle dessutom effektivisera framtagandet av en litteraturstudie, som också planerats att genomföras inom ramen för ovan nämnda FFI-samarbete, över *state-of-the-art* inom forskningsområdet. Gruppen planerar att leverera en NATO-slutrapport samt att delta med minst ett konferensbidrag vid I/ITSEC-konferensen under 2014 alternativt 2015.

4.3 U.S. Army RDECOM: SHADE

Projektet har under året samarbetat med U.S. Army RDECOM i Orlando, USA. Ett informationsutbyte har skett där den av RDECOM utvecklade produkten SHADE⁴ (SHared Architecture for Dynamic Environment), som är en terränghanteringsmotor för propagering av dynamiska terrängförändringar mellan olika simuleringsmiljöer, anskaffats i utbyte mot POPSIM.

³http://en.wikipedia.org/wiki/Reinforcement_learning

⁴<http://www.youtube.com/watch?v=sodV0rVxvRY>

5 Slutsatser

I denna rapport har höjdpunkterna från verksamheten inom FoT projektet *Syntetiska aktörer* för 2013 belysts. Projektet har under året fokuserat på att vidareutveckla prototypen POPSIM med målet att under slutåret 2014 kunna genomföra en övning med en verklig stab. Syftet med övningen att utvärdera och identifiera åtgärds punkter med avseende på verktyget och dess ingående modeller, men även för att undersöka verktygets träningseffekt med avseende på om och hur staben förbättrar sin förmåga eller inte. För att möjliggöra denna övning kommer projektet under 2014 att fortsätta utveckla POPSIM och det scenario som beskrivits i Kapitel 2.4. POPSIM kommer under nästa år att förses med möjlighet att "spela in" och sammanställa både kvantitativ och kvalitativ data som sedan kan användas för efteranalys (After Action Review).

Utöver POPSIM har projektet inlett en diskussion med både Luftvärnsregementet (LV6) och FLSC angående modellering av doktrinbeteenden med avseende på luftvärn. Arbetet har bl.a. resulterat i att LV6 med stöd från *Syntetiska aktörer*-projektet planerar att påbörja ett eget internt projekt där beteendeträd används för att beskriva dagens doktriner för att på så sätt identifiera förbättringsmöjligheter inom dessa.

Projektet har under året deltagit i ett flertal internationella initiativ till samarbeten som ligger inom ramen för projektets forskningsområden. Ett arbete med avseende på data-driven beteendemodellering planeras att genomföras fr.o.m. 2014 i samfund med FFI i Norge. Projektet ämnar dessutom delta i en NATO-grupp för att undersöka hur online-inlärningsmetoder kan nyttjas för att skapa syntetiska aktörer som kan anpassa och lära sig nya förmågor under simuleringens gång. Utöver detta har, under året, RDECOM:s terrängmotor SHADE anskaffats i utbyte mot POPSIM.

Slutligen kan poängteras att det vid den årliga demonstrationen av POPSIM konstaterades att projektets verksamhet fortsatt ligger i linje med vad projektets huvudmottagare, MSS, förväntar sig. Behovet av populationsmodeller för simuleringsbaserad träning kvarstår både för träning av staber hos MSS men även för ledningsträning hos Ledningsregementet (LedR) [2].

Litteraturförteckning

- [1] Linus J. Luotsinen. Statusrapport juni 2013, Syntetiska aktörer, FoT nr 922:01.03. *FOI-MEMO-4471*, pages 1–9, 2013.
- [2] Linus J. Luotsinen. Redovisning av milstolpe kv4 2013 för projekt Syntetiska aktörer, FoT nr 922:01.03 (demonstration). *FOI-MEMO-4619*, pages 1–3, 2013.
- [3] Linus J. Luotsinen. Redovisning av milstolpe kv4 2013 för projekt Syntetiska aktörer, FoT nr 922:01.03 (konferensbidrag). *FOI-MEMO-4620*, pages 1–2, 2013.
- [4] Peter Svenmarck. Sammanfattning av EUSAS: Syntetiska agenter för planeringsstöd och träning av insats mot folkmassor. *FOI-MEMO-4622*, 2013.
- [5] Kristoffer Hultgren, Agnes Rensfelt, Emil Salling, and Petter Ögren. En introduktion till beteendeträd. *FOI-MEMO-4630*, 2013.
- [6] Linus J. Luotsinen, Fredrik Johansson, Mikael Lundin, Petter Ögren, and Emil Salling. Årsrapport 2012, Syntetiska aktörer. *FOI-R-3557-SE*, pages 1–68, 2012.
- [7] Mikael Lundin. Beteendemodeller, POPSIM, Utvecklingsmöjligheter. *FOI-MEMO-2739*, pages 22–23, 2009.
- [8] Mikael Lundin and Linus Luotsinen. Simulering av befolkning i stadsmiljö. *FOI-MEMO-3540*, 2011.
- [9] Per Leffler, Christian Carling, Erik Carlson, Linus J. Luotsinen, Oscar Björnham, Jan Burman, Robert Forsgren, Bo Koch, Fredrik Näsström, Oskar Parmhed, and Carl Troeng. A simulation based crisis management laboratory (SIMBRA). *The 11th International Symposium on Protection against Chemical and Biological Warfare Agents*, June 2013.
- [10] Magnus Jändel, Sinna Lindquist, and Linus J. Luotsinen. Social coverage maps. *The 10th International Conference on Informations Systems for Crisis Response and Management (ISCRAM)*, pages 241–230, may 2013.
- [11] Gustav Tolt, Peter Follo, Johan Hedström, and Torbjörn Härje. Årsrapport för Omvärldsmodellering 2012. *FOI-R-3553-SE*, pages 1–21, 2012.
- [12] Simon Ahlberg, Joakim Bergman, Joakim Dahlman, Martin Folkesson, Robert Forsgren, Niklas Hallberg, Håkan Hasewinkel, Johan Hedström, Mattias Johansson, Birgitta Kylesten, Ulf Söderman, Anders Törne, and Christina Ölvander. Teknik för ledning av insats i urban miljö - TEBE II slutrapport. *FOI-R-2176-SE*, pages 1–65, 2006.

- [13] Linus J. Luotsinen. Redovisning av milstolpe kv4 2012 för projekt Syntetiska aktörer, FoT nr 922:01.03. *FOI-MEMO-4230*, 2012.
- [14] Kai Nagel and Marcus Rickert. Parallel implementation of the TRANSIMS micro-simulation. *Parallel Computing*, 27(12):1611–1639, 2001.
- [15] Guillaume Deffuant, David Neau, Frederic Amblard, and Gérard Weisbuch. Mixing beliefs among interacting agents. *Advances in Complex Systems*, 3:87–98, 2000.
- [16] Rainer Hegselmann and Ulrich Krause. Opinion dynamics driven by various ways of averaging. *Computational Economics*, 25(4):381–405, 2005.
- [17] Emil Salling, Peter Strömbäck, Jan Lindh, Casper Hildings, Niklas Wallin, and Mats Fredriksson. MERLIN Software Architecture Document. *FOI-R-2486-SE*, pages 1–42, 2012.
- [18] Emil Salling and Peter Strömbäck. MERLIN Defence Analyzer v1.2 User Manual. *FOI-R-3625-SE*, pages 1–52, 2012.
- [19] Rose Challenger, Chris W. Clegg, and Mark A. Robinson. Understanding crowd behaviours: Supporting evidence, 2009. Available via <http://www.cabinetoffice.gov.uk/resource-library> [accessed November 19, 2013].
- [20] Richard Leggett. Real time crowd simulation: A review, 2004. Available via <http://www.leggettnet.org.uk/> [accessed November 19, 2013].
- [21] Xiaoshan Pan, Charles S. Han, and Kincho H. Law. A multi-agent based simulation framework for the study of human and social behavior in egress analysis. In *Proceedings of the International Conference on Computing in Civil Engineering*, pages 12–15, 2005.
- [22] Xiaoshan Pan, Charles S. Han, Ken Dauber, and Kincho H. Law. Human and social behavior in computational modeling and analysis of egress. *Automation in Construction*, 15(4):448–461, 2006.
- [23] Joseph Milazzo, Nagui Roupail, Joseph Hummer, and D. Allen. Effect of pedestrians on capacity of signalized intersections. *Transportation Research Record*, 1646(1):37–46, 1998.
- [24] Serge Hoogendoorn and Piet Bovy. Simulation of pedestrian flows by optimal control and differential games. *Optimal Control Applications and Methods*, 24:153–172, 2003.
- [25] Dirk Helbing. A fluid dynamic model for the movement of pedestrians. *Complex Systems*, 6:391–415, 1992.
- [26] R. A. Smith. Density, velocity and flow relationships for closely packed crowds. *Safety Science*, 18(4):321–327, February 1995.

- [27] Roger L. Hughes. The flow of human crowds. *Annual Review Of Fluid Mechanics*, 35:169–182, 2003.
- [28] Craig W. Reynolds. Flocks, herds and schools: A distributed behavioral model. In *Proceedings of the 14th Annual Conference on Computer Graphics and Interactive Techniques*, SIGGRAPH '87, pages 25–34, New York, NY, USA, 1987. ACM.
- [29] Craig W. Reynolds. Steering behaviors for autonomous characters. In *Proceedings of the 1999 Game Developers Conference*, pages 763–782, 1999.
- [30] Naoki Saiwaki, Toshiaki Komatsu, and Shogo Nishida. Automatic generation of moving crowds in the virtual environment. *Advanced Multimedia Content Processing*, 1554:422–432, 1999.
- [31] Dirk Helbing, Illés Farkas, and Tamás Vicsek. Simulating dynamical features of escape panic. *Nature*, 407:487–490, September 2000.
- [32] Timothy J. Lightfoot and George J. Milne. Modelling emergent crowd behaviour. In *Proceedings of the 1st Australian Conference on Artificial Life*, pages 159–169, Canberra, 2003.
- [33] Joshua M. Epstein and Robert L. Axtell. *Growing Artificial Societies: Social Science from the Bottom Up (Complex Adaptive Systems)*. The MIT Press, 1st edition, November 1996.
- [34] Susan M. Sanchez and Thomas W. Lucas. Exploring the world of agent-based simulations: simple models, complex analyses. In *Proceedings of the Winter Simulation Conference*, volume 1, pages 116–126, 2002.

A Litteraturstudie: Modellering och simulering av fotgängare

Modellering av fotgängare och folksamlingar är ett brett forskningsfält som inkluderar flera olika vetenskapliga discipliner som sociologi, psykologi och olika grenar av datavetenskap. Resultat och rön inom detta forskningsfält används inom olika tillämpningsområden som arkitektur, stadsplanering, säkerhet, datorspel, film och underhållning, planering för krissituationer.

Denna relativt korta studie gör inga anspråk på att vara heltäckande utan ger istället en övergripande bild av de mest relevanta inriktningarna inom modellering och simulering av fotgängare.

Det finns huvudsakligen två olika infallsvinklar och modellkategorier för fotgängare och folksamlingar: makroskopiska och mikroskopiska modeller [19, 20, 21, 22]. Viss forskning föreslår att en kombination av metoder på både makro- och mikronivå är mest fördelaktig, eftersom den möjliggör att kombinera värdefulla aspekter av båda angreppssätten, d.v.s. makromodellernas effektivitet med mikromodellernas detaljrikedom.

A.1 Makroskopiska angreppssätt

Makroskopiska modeller fokuserar på fotgängare som ett helt/monolitiskt system och studerar kollektivets beteende. Detta tillvägagångssätt modellerar hellre egenskaperna hos flödet av fotgängare som en helhet än den lokala interaktionen mellan individer.

A.1.1 Regressionsmodeller

Regressionsmodeller studerar flödet av fotgängare under specifika förhållanden, beroende på den befintliga infrastrukturen som formar fotgängarens rörelser, till exempel trappor, korridorer och utrymningsvägar. Man använder sig av fastställda statistiska relationer mellan olika flödesvariabler. Dessa modeller kan vara enkla Excel-blad som innehåller flödesvariabler som flödets tempo, rörelsehastighet och täthet [19, 23].

A.1.2 Ruttplaneringsmodeller

Dessa modeller beskriver hur fotgängare som helhet bestämmer sin färdväg baserade på antagandet att människor väljer sin färdväg för att maximera nyttan i form av restid, ansträngning, komfort, etc. [19, 24].

A.1.3 Modeller baserade på strömningslära

Modeller baserade på strömningslära använder sig av idén att den kollektiva rörelsen av (en kompakt samling av) fotgängare liknar flödet av en ström och kan beräknas med liknande metoder [25, 26]. Dessa modeller är grundade på observationen att under vissa omständigheter individernas rörelsebanor i en grupp liknar strömlinjer i en vätska, där molekylerna har en viss rörelsefrihet och kan ha olika hastigheter och riktningar men ändå är bundna till strömmen. På samma sätt, i en tätt packad folkmassa är individuella rörelser begränsade och folkmassans rörelse i helhet kan bestämmas med hjälp av fysikaliska lagar liknande de i strömningslära. Enligt Hughes [27] kan man anta att fotgängare har följande beteenden:

- Fotgängarnas hastigheter bestäms av det underlag de promenerar på, tätheten av kringliggande individer och individernas beteendemönster.
- Individer har en gemensam förståelse av omgivningen och har samma drivkraft (kallad "potential"). Två individer med samma potential som befinner sig på olika positioner ser ingen fördel att byta plats.
- Individer söker till att minimera sin uppskattade restid mot ett särskilt mål, samtidigt som de försöker undvika områden med extremt täta folksamlingar.

A.2 Mikroskopiska angreppssätt

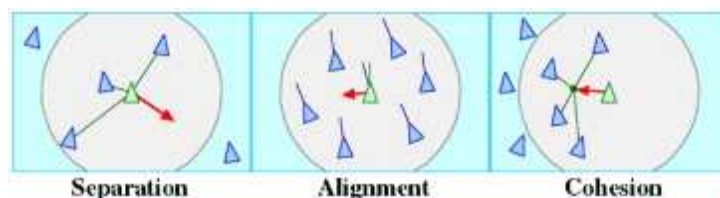
Den mikroskopiska infallsvinkeln fokuserar på olika beståndsdelar på individnivå och studerar beteenden och handlingar av individer och hur dem interagerar med omgivningen och med varandra.

A.2.1 Regelbaserade modeller

Regelbaserade modeller förklarar komplexa rörelser av en samling av individer baserat på hur dessa individer agerar utifrån sin lokala omgivning och ett antal enkla regler. Craig Reynolds var en av de första som utvecklade denna modell för simulering av fågelflockar [28, 29]. Individerna som Reynolds kallar *boider* följer tre enkla regler som skapar ett trovärdigt flockbeteende när de samspelar [28, 29, 30]:

- Individer håller ett minimum avstånd med varandra inom en given miljö för att förebygga kollision (*Separation*).
- Individer försöker hålla samma hastighet och riktning som medlemmar i närheten (*Alignment*).
- Individer försöker hålla sig när andra flockmedlemmar i närheten för att bilda en sammanhållen och koncentrerad flock (*Cohesion*).

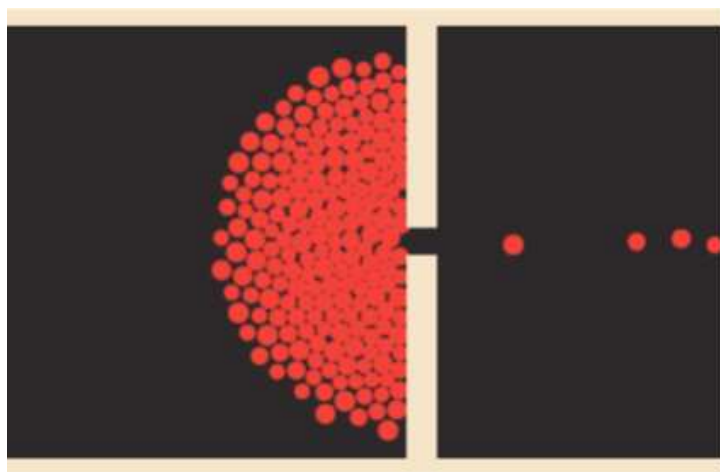
Figur A.1 illustrerar dessa tre regler.



Figur A.1: Tre regler som styr fåglarnas rörelser och skapar flockbeteende [29].

A.2.2 Modeller baserade på sociala krafter

Modeller baserade på sociala krafter förklarar fotgängares rörelser med hjälp av modeller av kraft som uppstår mellan individer i en samling, till exempel i paniksituationer där individer i en folkmassa vill lämna en lokal genom en enda utgång [31]. Denna modell beskriver det kollektiva beteendet hos en folkmassa med hjälp av ett system av många autonoma partiklar där varje partikel har ett mål och förflyttar sig mot målet. Fotgängare är benägna att förflytta sig i en viss riktning och viss hastighet samt anpassar sin hastighet för att hålla tillräcklig distans från andra individer och eventuella hinder. Figur A.2 illustrerar en ögonblicksbild av en simulering där en panikslagen folkmassa utrymmer en lokal.



Figur A.2: Simuleringsmodell baserad på sociala krafter visar beteendet hos en panikslagen folkmassa vid utrymning av en lokal via en enda utgång [31].

Varje individs rörelse är resultatet av kombinationen av socio-psykologiska

och fysiska krafter som attraherar och repellerar individerna. Individerna kan förflytta sig i det tvådimensionella och kontinuerliga rummet, vilket skapar en realistisk modell som genererar flertalet beteenden som även, trots modellens enkelhet, uppstår i verkligheten.

A.2.3 Cellulär automata modeller

Cellulär automata är en matrisbaserad modell som behandlar miljön som diskret och delar rummet till ett likformigt rutnät av diskreta celler. Varje cell representerar ett område på marken som kan vara ledigt, ockuperat av andra individer, eller innehålla ett hinder. Varje individ ockuperar en cell dvs. en position på rutsystemet och förflyttar sig från cell till cell enligt en uppsättning av regler, till exempel en individ flyttar till en granncell endast om denna inte är ockuperad. Modellen exekveras i en serie av diskreta tidssteg där värdet på en variabel i en cell beräknas med hjälp av värdet av en variabel i grannceller. Variabler i varje cell uppdateras samtidigt. På grund av sin enkelhet är cellulär automata mycket lämpliga för storskaliga simuleringar.

Figur A.3 illustrerar simulering av evakuering av en byggnad modellerad med cellulär automata. Ett potentialfält har använts för att lägga till den globala informationen om utgången. För varje position i miljön finns det en riktning som bestämmer den kortaste vägen till utgången. Potentialfältet har generats från utgången och den kortaste vägen till utgången hittas genom att välja den riktning från aktuella cellen som har det lägsta värdet i potentialfältet [32].

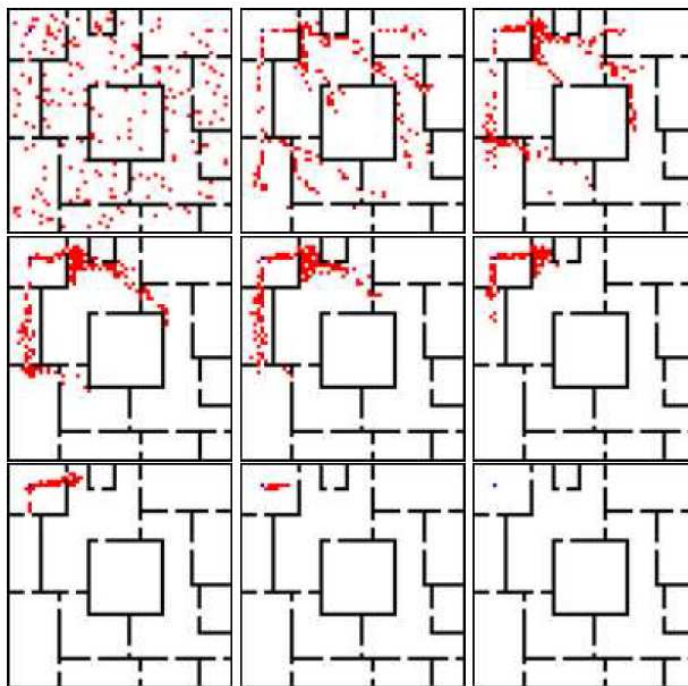
A.2.4 Agentbaserade modeller

Agentbaserade modeller, som består av en samling av intelligenta och autonoma agenter, representerar de mest komplexa och realistiska modellerna av fotgängare. Varje agent kan tilldelas individuella attribut som kön, ålder, rörlighet, storlek, hastighet och kan anpassa sitt beteende enligt rådande förhållanden.

Vidare kan dessa agenter själva resonera och "begripa" sin omgivning för att fatta oberoende beslut som leder till rationella och realistiska beteenden, till exempel att undvika hinder och att ta den kortaste vägen. På samma sätt som i verkligheten, är agentbaserade modeller kapabla att hantera individer med olika typer av attribut och egenskaper och på så sätt ge en mer realistisk representation av verkligheten [33, 34]. Agentbaserade modeller är mer lämpade för situationer där man har behov av heterogena agenter i dynamiska omgivningar.

Det finns oftast motstridiga mål i modellering av agenter; enkla agenter kräver mindre datorkraft men de är mindre realistiska, däremot komplexa agenter är mer realistiska men svårare att konstruera och kräver oftast mer datorkraft.

Simulering av ett stort antal fotgängare är en svår uppgift eftersom människor uppvisar beteenden med enorm variation, komplexitet och subtilitet. Modellen måste kunna representera individernas rörelser, omvärlden (t.ex. hinder och gränser) och den dynamiska interaktionen mellan människor. Modellen måste dessutom ta hänsyn till att människor dynamiskt omplanerar sina färd-



Figur A.3: Flödet av fotgängare har visats med 10 tidssteg mellan varje bildruta. Bildrutorna är ordnade från det översta vänstra hörnet till det nedre högra hörnet. Utgången ligger det översta vänstra hörnet [32].

vägar på grund av stockningar och andra dynamiska faktorer.

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