

Gunnar Holm

# Gränserna för distribuerad simulering

TOTALFÖRSVARETS FORSKNINGSINSTITUT

Systemteknik  
172 90 Stockholm

FOI-R--0413--SE

Mars 2002

ISSN 1650-1942

**Användarrapport**

Gunnar Holm

# Gränserna för distribuerad simulering

<b>Utgivare</b> Totalförsvarets Forskningsinstitut - FOI Systemteknik 172 90 Stockholm	<b>Rapportnummer, ISRN</b> FOI-R--0413--SE	<b>Klassificering</b> Användarrapport
	<b>Forskningsområde</b> 2. Operationsanalys, modellering och simulering	
	<b>Månad, år</b> Mars 2002	<b>Projektnummer</b> E6027
	<b>Verksamhetsgren</b> 5. Uppdragsfinansierad verksamhet	
	<b>Delområde</b> 21 Modellering och simulering	
<b>Författare/redaktör</b> Gunnar Holm	<b>Projektledare</b>	
	<b>Godkänd av</b>	
	<b>Uppdragsgivare/kundbeteckning</b> FM	
	<b>Tekniskt och/eller vetenskapligt ansvarig</b>	
<b>Rapportens titel</b> Gränserna för distribuerad simulering		
<b>Sammanfattning (högst 200 ord)</b> Försvarsmaktens inriktning mot att basera all modellutveckling på HLA (High Level Architecture) förväntas avsevärt underlätta återanvändning av modeller och samverkan mellan dem i gemensamma simuleringar. Detta är i allmänhet värdefullt, men under vissa förhållanden torde andra metoder vara bättre lämpade.  Beträffande valet mellan distribuerade HLA-federationer och monolitiska ramverksbaserade modeller beror det på vilka aspekter som väger tyngst i det aktuella modelleringsfallet. De som fr.a. bör styra valet är projektets utvecklingstid, skalbarheten, valideringen och verifieringen, användarvänligheten, prestanda, säkerheten, återanvändningen, samarbetet över gränser samt långsiktigheten i modellinvesteringarna.  För vissa tillämpningar kan HLA i sig upplevas vara alltför stelbent och tungrott. En jämförande studie har därför inletts mellan HLA:s RTI (Runtime Infrastructure) och ett engelskt förslag till en mer dynamisk produkt, GRIDS (Generic Runtime Infrastructure for Distributed Simulation).  Ett samarbete med National University of Singapore har inletts med avsikt dels att testa processmodellen för konstruktion och exekvering av HLA-federationer, FEDEP, i ett långväga internationellt samarbete, dels att öka förståelsen för hur samverkan mellan heterogena modeller av olika typer kan fungera.		
<b>Nyckelord</b> Distribuerad simulering, HLA, simuleringsramverk, GRIDS		
<b>Övriga bibliografiska uppgifter</b>	<b>Språk</b> Svenska	
<b>ISSN</b> 1650-1942	<b>Antal sidor:</b> 22 s.	
<b>Distribution enligt missiv</b>	<b>Pris:</b> Enligt prislista	

<b>Issuing organization</b> FOI – Swedish Defence Research Agency Systems Technology SE-172 90 Stockholm	<b>Report number, ISRN</b> FOI-R--0413--SE	<b>Report type</b> User report
	<b>Research area code</b> 2. Operational Research, Modelling and Simulation	
	<b>Month year</b> March 2002	<b>Project no.</b> E6027
	<b>Customers code</b> 5. Commissioned Research	
	<b>Sub area code</b> 21 Modelling and Simulation	
<b>Author/s (editor/s)</b> Gunnar Holm	<b>Project manager</b>	
	<b>Approved by</b>	
	<b>Sponsoring agency</b> Swedish Armed Forces	
	<b>Scientifically and technically responsible</b>	
<b>Report title (In translation)</b> The Limitations of Distributed Simulation		
<b>Abstract (not more than 200 words)</b> <p>The introduction of HLA (High Level Architecture) is expected to facilitate the reuse of models and their co-operation in common simulations. That is valuable in general, but in some situations other methods would be better suited.</p> <p>In the choice between distributed HLA federations and monolithic models based on simulation frameworks one has to consider which aspects that are most important in the current modelling case. The main choice guiding aspects are the time scale of the project, the scalability, the validation and verification, the user friendliness, the performance, the security, the potential co-operation between organisations or nations and the long term strategy of the model investments.</p> <p>For certain applications HLA in itself could be seen as too rigid and heavy. A comparative study of the RTI (Runtime Infrastructure) of the HLA and an English prototype of a more dynamic product, GRIDS (Generic Runtime Infrastructure for Distributed Simulation), has been initiated.</p> <p>A co-operation has been initiated with the National University of Singapore with the intention to test the process model for development and execution of HLA federations, FEDEP, in a long distance international co-operation. Besides it will extend the understanding of how interoperability between models of different types will work.</p>		
<b>Keywords</b> Distributed simulation, HLA, Simulation frameworks, GRIDS		
<b>Further bibliographic information</b>	<b>Language</b> Swedish	
<b>ISSN</b> 1650-1942	<b>Pages</b> 22 p.	
<b>Price acc. to pricelist</b>		

## Innehåll

Sammanfattning	5
1. Uppdraget	6
2. Distribuerad simulering kontra simuleringsramverktyg	8
2.1. Metodik	8
2.2. Fördelar och nackdelar med ramverk och HLA-baserade system	8
2.3. Slutsatser	11
3. Alternativ till HLA	13
4. HLA-samverkan mellan olika typer av modeller	16
5. Intressanta utvecklingstendenser	18
6. Kunskapsspridning	20
7. Fortsatt arbete	21
8. Referenser	22

## Sammanfattning

Under 2001 har vid FOI bedrivits en studie av "Gränserna för distribuerad simulering". Syftet har varit att ge en fördjupad förståelse för hur distribuerad simulering baserat på HLA (High Level Architecture) skall tillämpas. Vi har därvid fokuserat dels på under vilka förhållanden ramverktygsbaserade lösningar är att föredra framför detta koncept och vice versa, dels på i vad mån alternativa lösningar till HLA kan tänkas förebåda vad som kan komma efter denna nu etablerade standard. Dessutom har förberedelser gjorts för att i internationellt samarbete pröva olika modelltypers lämplighet i HLA-baserade federationer.

Beträffande relationen mellan distribuerade HLA-federationer och monolitiska ramverksbaserade modeller har vi funnit att det sällan eller aldrig är direkt olämpligt att välja vare sig den ena eller den andra lösningen, och att detta gäller för i princip alla normala militära tillämpningsområden. Däremot kan man träffa ett bättre eller mindre bra val beroende på vilka aspekter som väger tyngst i det aktuella modelleringsfallet.

De aspekter som fr.a. bör styra valet är projektets utvecklingstid, skalbarheten, valideringen och verifieringen, användarvänligheten, prestanda, säkerheten, återanvändningen, samarbetet över gränser och långsiktigheten i modellinvesteringarna. Av dessa talar skalbarhets-, återanvändnings- och samarbetsaspekterna i allmänhet för en lösning baserad på HLA, medan prestanda-, säkerhets- och i viss utsträckning användarvänlighetsaspekten talar för den ramverksbaserade lösningen. Övriga aspekter är mera sammankopplade med yttre faktorer eller ramverktygets specifika egenskaper för att kunna bedömas generellt.

Genomgående för de båda alternativen är att deras framgång i stor utsträckning beror på tillgången till användbara delmodeller.

En intressant kritik mot HLA är att dess RTI (Runtime Infrastructure) är för stelbent. Vid Brunel University har framtagits en alternativ lösning, GRIDS (Generic Runtime Infrastructure for Distributed Simulation), vilken tillåter en mera dynamisk hantering av tjänster. Man kan således sålla bort obehövlig tjänster liksom enkelt lägga till nya tjänster allt efter den aktuella tillämpningens behov. I samverkan med konstruktörerna har en jämförande studie inletts, vilken kommer att slutföras under år 2002.

Likaså har ett samarbete mellan FOI och National University of Singapore inletts med avsikt att skapa en gemensam HLA-federation. Avsikten är dels att testa processmodellen för konstruktion och exekvering av HLA-federationer, FEDEP, i ett långväga internationellt samarbete, dels att öka förståelsen för hur samverkan mellan heterogena modeller av olika typer kan fungera. Även detta arbete kommer att ha sin tyngdpunkt under år 2002. Som ett led i detta projekt har flygsimulatorn Fenix HLA-anpassats.

## 1. Uppdraget

Under 2001 har på uppdrag av Försvarsmakten genomförts ett projekt ”Gränserna för distribuerad simulering” vid FOI. Projektets ursprungliga syfte var att ”stödja FM med rekommendationer beträffande gränsdragningsfrågor vid tillämpningen av dess M&S-inriktning avseende utnyttjandet av distribuerad simulering. Detta förutsätter en fördjupad förståelse för

- möjligheten att utföra innehållsmässigt meningsfulla distribuerade simuleringar med modeller med varierande detaljeringsgrad,
- relationen mellan distribuerad simulering och simulering med hjälp av monolitiska simuleringsramverk.”

För att uppnå detta angavs följande verksamheter:

”Projektet kommer att ha två huvudaktiviteter:

- 1) Att analysera teoretiskt och i viss mån experimentellt hur några intressanta kombinationer av tekniskt och metodmässigt olika modelltyper skall kunna samverka i gemensamma interaktiva distribuerade simuleringar. Härvid förutsätts möjligheten att i samverkan utnyttja erfarenheter även från andra forskningsorganisationer.
- 2) En förstudie av hur man skall analysera fördelar och nackdelar med distribuerad simulering kontra modellering med hjälp av simuleringsramverk av typen FLAMES eller STAGE för olika typer av simuleringar.”

Under den tid som förflöt från det projektplanen skrevs tills FM:s beställning inkom skedde emellertid vissa förändringar i såväl personalläget vid FOI som i den allmänna utvecklingen i världen. Detta innebar att det var lämpligt att vidta vissa tyngdpunktsförskjutningar i projektet, något som bejakades av beställaren.

Vi har således genom att engagera en intresserad exjobbare fått en kraftfullare inriktning på den del som handlar om relationen mellan distribuerad simulering och simuleringsramverktyg. Därigenom har vi alltså nått betydligt längre under det aktuella året än vad enbart en förstudie skulle ha inneburit.

Ett annat viktigt inslag i projektet har varit att ”följa den fortsatta utvecklingen inom området distribuerad simulering fr.a. i USA och Europa”. Speciellt har då inriktningen varit att spana efter vad som kan komma bortom HLA. Bl.a. kan det vara intressant att se vilken kritik som riktas mot konceptet och vilka alternativ som föreslås. Ett sådant är GRIDS (Generic Runtime Infrastructure for Distributed Simulation). Vi fick kontakt med utvecklaren, Simon Taylor vid Brunel University, som också besökte oss. Resultatet blev att vi har låtit en exjobbare ta sig an att tillsammans med en doktorand i England göra en jämförande studie av användbarhet och användarvänlighet m.m. för de båda koncepten. Detta är alltså en verksamhet som svällt ut ur omvärldsbevakningen och där vi funnit det vara värdefullt att fånga ett tillfälle i flykten.

Dessa satsningar har naturligtvis inneburit att våra möjligheter vad beträffar den andra huvudlinjen beträffande olika modellteknikers lämplighet för distribuerad simulering minskat. Till en del anses detta kompenseras med en fördjupning av de redan etablerade kontakterna med National University of Singapore. Då vi under våren hade en gästforskare därifrån placerad vid FOI institution för Systemmodellering, ledde diskussionerna fram till en överenskommelse att utforma och exekvera en HLA-federation med ett par modeller i vardera nationen. Förutom att därigenom kunna pröva samverkan mellan modeller av olika typer skulle vi få en intressant test av såväl FEDEP som av själva exekveringsproblematiken i ett internationellt och långväga samspel. Ett problem i sammanhanget var dock att de budgetmässiga rutinerna i Singapore omöjliggjorde en projektstart från deras sida förrän tidigast i oktober, varför allt väsentligt arbete kommer att äga rum först under år 2002. Från vår sida har dock de väsentligaste förberedelserna beträffande HLA-anpassning av lämpliga modeller kunnat genomföras.

Deltagare i projektet har varit Gunnar Holm (projektledare), Farshad Moradi, Johan Pelo, Mariana García Lozano, Linus Eklund, Robert Suzić och Vahid Mojtahed.



## 2. Distribuerad simulering kontra simuleringsramverktyg

Denna del av projektet har huvudsakligen bedrivits som ett examensarbete [1]. Utgångspunkten var att det inte minst inom försvarsmakten finns två huvudtrender vad gäller utvecklingen av modeller och simuleringar. Den ena är att sätta ihop simuleringar av löst kopplade modeller i form av distribuerade simuleringar, där endast gränssnitten mellan simuleringarna och den gemensamma kommunikationskanalen behöver vara klart specificerade. Den andra är att utnyttja simuleringsramverk, vilka erbjuder många användbara tjänster, men där de egna delmodellerna integreras på ett fastare sätt i helheten. Den förra typen representeras av HLA-federationer, den senare av simuleringar i FLAMES och STAGE. Det förefaller vara uppenbart att den ena lösningen i vissa fall är klart överlägsen den andra, men gråzonen, inom vilken valet kan vara svårare att göra, är stor. Det är därför önskvärt att analysera denna för att kunna ge rekommendationer av när den ena eller andra lösningen är att föredra.

### 2.1. Metodik

Den valda metodiken går ut på att först identifiera ett antal väsentliga parametrar och kriterier och att sedan analysera de båda modelleringsalternativen för olika modellfall utgående från denna uppsättning. De kriterier som därvid visat sig vara de mest utslagsgivande är projektets utvecklingstid, skalbarheten, valideringen och verifieringen, användarvänligheten, prestanda, säkerhet, återanvändning, samarbete över gränser och långsiktigheten i modellinvesteringarna. Andra kriterier, som beaktats men inte befunnits vara lika utslagsgivande, är samverkan mellan modeller på olika abstraktionsnivåer, interoperabilitet och fidelitet.

Modellfallen har valts för att täcka ett så brett spektrum av militära tillämpningar som möjligt, från operativ nivå till teknisk nivå. De innefattar modeller för utbildning och träning, analys och forskning liksom taktik- och materielutveckling, och exemplen har hämtats såväl inom som utanför FOI. Kunskap och synpunkter har inhämtats genom intervjuer med sakkunniga och genom litteraturstudier. Under arbetets gång har vi uppmärksammat en fransk studie [2] med ett delvis överlappande innehåll, vilken har ytterligare befruktat vårt arbete.

Utifrån de sålunda genomförda analyserna har vi försökt dra generella slutsatser.

### 2.2. Fördelar och nackdelar med ramverk och HLA-baserade system

Under arbetet med att analysera hur ramverk och distribuerade lösningar passar in för olika modelleringsfall har åtskilliga egenskaper hos de båda koncepten observerats. Här presenteras en kortfattad sammanställning av de viktigaste iakttagelserna, för en mera ingående diskussion hänvisas till [1]. Dessa egenskaper är av mycket skiftande slag och betydelse, men de ligger till grund för de slutsatser som så småningom kunnat dras. De har grupperats efter vad som i allmänhet kan upplevas som för- resp. nackdelar för resp. lösning.

Fördelar med ramverk:

- Genom att använda ramverk optimeras användningen av modelleringsresurserna, eftersom utvecklarna kan fokusera sina insatser på det mest väsentliga, mycket av det administrativa kring en simuleringsmodell får man på köpet.
- Fri tillgång till många modeller och servicemoduler, vilka kanske inte behövs i en aktuell tillämpning, men som lätt kan införlivas i ett senare skede, om så skulle behövas.
- Man får i allmänhet många delmodeller och applikationer på köpet, åtminstone om ramverkets tänkta tillämpningsområde stämmer någorlunda med det aktuella projektet.
- Enklare användning och återanvändning av allmänt användbara modeller från tidigare tillämpningar, som sparats i ramverktygets bibliotek.

- Ramverk kan alltså minska tiden signifikant vid konstruktionen av komplexa tränings- och andra simuleringssystem, i varje fall om ramverkets huvudsakliga tillämpningsområde överensstämmer med det aktuella projektet.
- Det går snabbt att åstadkomma prototyper.
- Det är vanligen enkelt att modifiera eller ersätta medföljande objektmodeller.
- Ramverken är användarvänliga, eftersom användaren alltid arbetar i samma miljö och möter ett välkänt gränssnitt.
- Den objektorienterade utformning, som kännetecknar de flesta ramverk, är ett gott stöd för modelleraren att utveckla sin egen kod enligt objektorienterade metoder.
- Ramverken är i allmänhet försedda med verktyg som ger stöd för utveckling av egen programkod, vilket bidrar till att man får ett konsistent program med färre buggar.
- Om ramverktyget understöds av ett stabilt företag, som kan garantera framtida underhåll och utveckling av programvaran, kan det bidra till att förhindra att modellen med tiden blir omodern eller obrukbar.
- HLA-baserade ramverktyg skulle kunna tjäna som central resurs i en distribuerad simulering. Sådana har nu också börjat dyka upp i mer eller mindre utvecklade former (exempelvis STRIVE [3]).

#### Nackdelar med ramverk:

- De kan ha en hög inlärningströskel (särskilt för personer utan datalogisk bakgrund).
- De kan innebära en alldeles för stor kostym, d.v.s. de innehåller mycket mer än vad som behövs i en aktuell tillämpning, vilket leder till att den som skall realisera en ny tillämpningsmodell ställs inför fler valsituationer än vad som skulle vara nödvändigt.
- Simuleringsramverk är i allmänhet utvecklade med ett visst tillämpningsområde i åtanke, vilket kan medföra att de har stora brister inom andra för kunden lika viktiga områden.
- Vanligen är objektmodeller och programmoduler mycket nära knutna till ramverkets arkitektur, varför det kan vara svårt att återanvända dem i en annan miljö än den egna. T.ex. har ett ramverktyg en kärna, som tillhandahåller en stor mängd i och för sig användbara men inte standardiserade tjänster. Den aktuella uppsättningen kan sätta begränsningar för vilka modeller som kan inkorporeras i en tillämpning.
- Varje ny delmodell måste alltså anpassas till ramverktyget. Finns den redan i kodad form kan den behöva skrivas om till något av ramverktyget understött språk eller för att passa in i ramverkets allmänna struktur.
- En delmodell, som erhållits från en leverantör, som utvecklar sina produkter i ett annat system och inte vill ge direkt insyn i hur algoritmerna ser ut, blir i praktiken oanvändbar, då den inte kan integreras i ramverkets modellbibliotek.
- Tillgängliga delmodeller, som t.ex. av plattformar, sensorer eller terrängen, kan styra modelleringsarbetet i otillbörlig grad, därför att de är "nästan rätt" för aktuell tillämpning, så att man frestas att använda dem och modifiera sin ursprungliga frågeställning till att passa modellen i stället för att utveckla nya modifierade delmodeller.
- Scenariogenereringshjälpmedlen ger i allmänhet stora friheter åt användaren, som därmed också får ett stort ansvar. Vissa fel och inkonsistenser kan lätt passera utan att upptäckas.
- I många fall är de grafiska gränssnitten gammalmodiga och inte så intuitiva, och det kan vara svårt eller omständigt att ersätta dem med andra.

#### Vissa egenskaper hänger ihop med att ramverk är kommersiella programvaruprodukter.

- Ur säkerhetssynpunkt kan det vara mindre tillfredsställande att vara beroende av kod som man inte har full insyn i.
- Dokumentationen kan ibland vara bristfällig eller inaktuell, vilket ställer till problem vid utveckling och användning.
- Ibland är nya versioner av ramverken inte bakåtkompatibla.

- Leverantören kan försvinna från marknaden, vilket snabbt gör produkten allt mindre användbar.
- Ett simuleringsramverk är ofta dyrt, det medför höga licenskostnader och kostsam utbildning och träning, varför det sällan lämpar sig för enstaka små eller korta projekt.

#### Fördelar med (HLA-baserade) distribuerade modeller

- Modellutvecklarna leds till att utveckla modulariserade program, där man kan dölja intern information och upprätthålla en klar åtskillnad mellan modeller och servicefunktioner.
- Tack vare modulariseringen är det enklare att ta bort, lägga till och förändra delar i modellen, något som även gäller gemensamma funktioner som grafiska gränssnitt m.m.
- Det är i princip lätt att koppla ihop modeller utan att man för den skull behöver känna till deras interna strukturer, bara deras gränssnitt mot omvärlden.
- Det är enklare att samköra modeller med olika tidshantering eller tidsstegsupplösning i gemensamma simuleringar.
- Återanvändning av modeller är relativt enkel, de kan införas i ett repositorium med standardiserad varuspecifikation, en s.k. *Simulation Object Model (SOM)*. SOM:arna innehåller i princip all nödvändig information för att avgöra om en modell är adekvat för en ny tillämpning.
- Det bör vara lättare att finna användbara och återanvändbara modeller i en marknad som baseras på en internationellt accepterad standard.
- Det är relativt enkelt att anpassa modeller till HLA, vilket underlättar integrationen av externa delmodeller och programvara från tredjepartsleverantörer. Att modifiera gränssnittet på en redan HLA-anpassad modell för att den skall passa till en ny tillämpning är mycket enkelt.
- HLA är en internationell standard, den är understödd av US DoD och ganska allmänt accepterad inom fr.a. den försvarsrelaterade delen av M&S-samfundet.
- Samverkan internationellt underlättas, men fortfarande behövs en omfattande administration och planering för att det skall fungera.

#### Nackdelar med (HLA-baserade) distribuerade modeller

- Det är en hög inlärningströskel.
- Det kan ta längre tid att utveckla och köra en simuleringsmodell distribuerat.
- Exekveringen av en simulering kan gå långsammare på grund av att all trafik måste gå via RTI:n.
- Det kan vara något omständigare att starta en simulering som är distribuerad geografiskt.
- Då modeller är lösare kopplade till varandra som i en HLA-federation, så löper man större risk att råka ut för bristande fidelitet mellan dem.
- Validering och verifiering kan vara svårt, då en simulering kan ha ingående delmodeller vars inre egenskaper inte är kända för användaren.
- Validering och verifiering kan också vara svårare på grund av fördröjningsproblem och andra effekter av att utnyttja ett datornätverk i stället för en enstaka dator.
- Det är svårare att hantera säkerhetsproblemen i en distribuerad miljö.
- Fullkomlig distribution uppnås inte så länge inte också RTI:n är fullständigt distribuerad.

Även i HLA-sammanhang finns också vissa problem som hänger samman med att RTI:n är en kommersiell programvara (DMSO:s utgåva är dock fritt tillgänglig). I princip gäller här samma potentiella problem som för ramverken, dock är situationen något bättre, då RTI:n är en implementering av ett standardiserat gränssnitt med en given uppsättning tjänster. Det är då lättare (men inte alltid trivialt) att ersätta en RTI-implementation med en annan.

### 2.3. Slutsatser

Ett resultat av analysen är att för militära tillämpningsområden är vare sig en HLA-baserad eller ramverktygsbaserad lösning sällan eller aldrig direkt olämplig. Däremot kan man träffa ett bättre eller mindre bra val beroende på vilka aspekter som väger tyngst i det aktuella modelleringsfallet.

Genomgående för de båda alternativen är att deras framgång i stor utsträckning beror på tillgången till användbara delmodeller.

Om **utvecklingstiden** är en begränsande faktor vid framtagande av en modell, så kan man notera, att med ett ramverktyg kan man relativt snabbt och enkelt få till stånd en modellprototyp, åtminstone om tillämpningsproblemet ligger inom verktygstillverkarens föreställningsvärld. Om man å andra sidan måste vidga begreppsvärlden genom att införa flera nya delmodeller, så kan de restriktioner som ramverket sätter medföra svårigheter som avsevärt förlänger utvecklingstiden (samtidigt som det är en investering för framtiden). I detta fall torde HLA-konceptet erbjuda möjligheter till en snabbare lösning. Dels är det större sannolikhet att hitta lämpliga delmodeller i ett repositorium av HLA-anpassade modeller, eftersom HLA är mycket generellare och mera spritt än ett ramverktyg någonsin kan bli. Dels kan det vara lättare att HLA-anpassa en existerande modell än att anpassa den till ett ramverktyg.

Beaktar vi **skalbarheten**, d.v.s. möjligheten att successivt bygga ut vår modell med fler delmodeller eller kunna simulera med ökande antal inblandade objekt, så finns det anledning att välja en HLA-lösning. En sådan är till sin natur skalbar och begränsas endast av datorernas och nätverkets prestanda. Ett ramverktyg kan däremot innehålla begränsningar som påtagligt hämmar skalbarheten.

Ser vi till **valideringen och verifieringen** av modellen, så innebär en distribuerad lösning uppenbart vidgade problem. Det gäller såväl då delmodellernas inre struktur inte är kända (hålls dolda av leverantören) utan bara gränssnitten mot omvärlden, som på grund av speciella effekter hos nätverket som varierande fördröjningar för meddelanden o.dyl. Å andra sidan kan valideringen och verifieringen vara minst lika svåra för modeller utvecklade med hjälp av ramverk, då man i allmänhet saknar detaljerad insyn i de funktioner som bygger upp själva simuleringskärnan.

Vad beträffar **användarvänligheten**, så bör man skilja mellan två typer av användare, dels modellutvecklaren som användare av verktyget / konceptet, dels modellanvändaren som skall använda modellen för simuleringar. För den förre finns i regel mycket som underlättar arbetet i ramverktyget, men problem med bristande bakåtkompatibilitet vid versionsbyten och eftersläpande dokumentation är inte helt ovanliga och kan ställa till betydande oreda. HLA-konceptet är i detta fall tämligen neutralt, det är framför allt tillgången på bra modeller och servicemoduler i det aktuella repositoret som bestämmer användarvänligheten härvidlag.

För den senare användarkategorin bör det vara en fördel att kunna arbeta i en invand miljö med känt användargränssnitt. Under förutsättning att användaren tidigare träffat på samma verktyg och dess användargränssnitt är tillräckligt bra, så är därför ramverkslösningen fördelaktig. Med HLA-lösning finns det däremot ingenting som garanterar ett sådant förhållande. En annan aspekt härvidlag är att det kan vara lättare att genomföra simuleringar med monolitiska modeller än med distribuerade. De senare kan fordra mer organisation och fler handgrepp för att starta upp. Varje federatägare kan eventuellt behöva engageras vid varje simuleringsfall.

Om **prestanda** vid simuleringarna är en viktig aspekt, t.ex. då man konstruerar en realtids-simulator med många interagerande objekt, kan det innebära att en HLA-baserad distribuerad

lösning ter sig mindre attraktiv än en tätare sammanhållen lösning. I varje fall kan man hävda, att frågan om prestanda kräver större observans i det förra fallet.

Ytterligare en annan aspekt att beakta är att man enklare kan hålla kontroll över de **säkerhets-**mässiga aspekterna om man kör i en isolerad miljö än över ett nätverk. Detta gör att en HLA-lösning kan bli mindre attraktiv än en monolitisk lösning med hjälp av ramverktyg.

Beträffande **återanvändning** av ärvda modeller kan man konstatera att med en ramverktygsbaserad lösning blir man förmodligen tvungen att anpassa dem till ramverkets arkitektur och infrastruktur, vilket kan innebära att en del intressanta modellkandidater inte kan användas alls. En distribuerad lösning har å andra sidan fördelen att modellerna inte behöver anpassas till varandra lika hårt. De behöver endast kunna kommunicera med varandra via RTI:n. Därigenom behövs i allmänhet mindre programmeringsmässig insats att få till stånd en federation än en monolitisk modell, som skall bestå av bidrag från olika håll.

Då man kan förutse att den modell man utvecklar kommer att bli intressant för andra att använda, enskilt eller tillsammans med andra modeller, bör man satsa på en HLA-baserad design. Eftersom HLA är en internationell standard med god spridning, så är det då en klart större sannolikhet att man i ett **internationellt samarbete** kan nyttiggöra sig av modellen än om den skulle vara utvecklad inom ramen för ett ramverktyg.

Om man vill använda ett ramverk, så måste man vara beredd att göra en **långsiktig satsning**. Inköpskostnader och en relativt hög inlärningströskel talar för att den ekonomiska och tidsmässiga vinsten med ett sådant system inte får genomslag förrän i ett andra eller kanske t.o.m. först i ett tredje projekt. Då man skaffar ett ramverk, köper man också kunskap. Det gäller dock att underhålla licenser och inte minst relationen till leverantören. Man måste därför tänka på att budgetera för att vidmakthålla detta liksom den egna användarkompetensen även under perioder då inga projekt har akut behov av ramverktyget.

Sannolikt skulle det i allmänhet finnas en hel del att vinna på kombinera de båda metoderna, så att ramverktygen kan utnyttjas för och som federater i en HLA-federation. Sådana lösningar är också på väg, då flera ramverktyg har börjat anpassas till HLA. Det finns även exempel på nya verktyg på väg, vilka från början konstrueras på HLA-grund, fr.a. STRIVE.

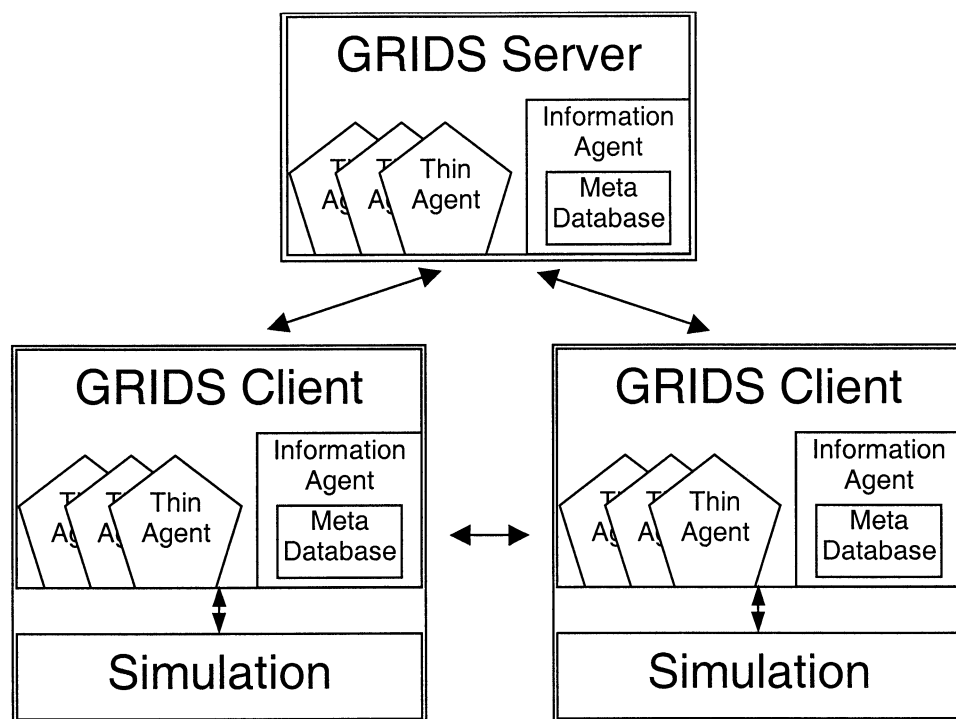
### 3. Alternativ till HLA

I omvärldsbevakningen har speciell vikt lagts vid att finna vad kritiken mot HLA-konceptet främst inriktar sig mot, och om det dyker upp konkreta modifieringsförslag eller alternativa lösningar till HLA eller delar därav. Därigenom är förhoppningen att tidigt kunna fånga in de trender som kommer att dominera den dag då HLA skall ersättas med något annat.

En sådan konkret alternativlösning är GRIDS (Generic Runtime Infrastructure for Distributed Simulation), som utvecklats vid Brunel University i Storbritannien av en grupp kring dr Simon Taylor. Den presenterades vid SIW hösten 2000 [4] och väckte där ett stort intresse. Vi tog därför kontakt med Simon Taylor och inbjöd honom till FOI där han presenterade sitt koncept.

Utgångspunkten för GRIDS-projektet är att man vid användning av HLA i simulering av industriella processer, speciellt produktionsflödet, hade funnit att RTI är onödigt stelbent vad avser uppsättningen av tjänster. Ofta behöver man endast en mindre del av alla de tjänster som anges i gränssnittsstandarden, varför det skulle vara en fördel att kunna skala bort de överflödiga. Likaså skulle man i vissa fall vilja tillföra nya tjänster som skulle underlätta hanteringen i den aktuella tillämpningsfederationen. GRIDS är alltså ett sådant dynamiskt alternativ till RTI.

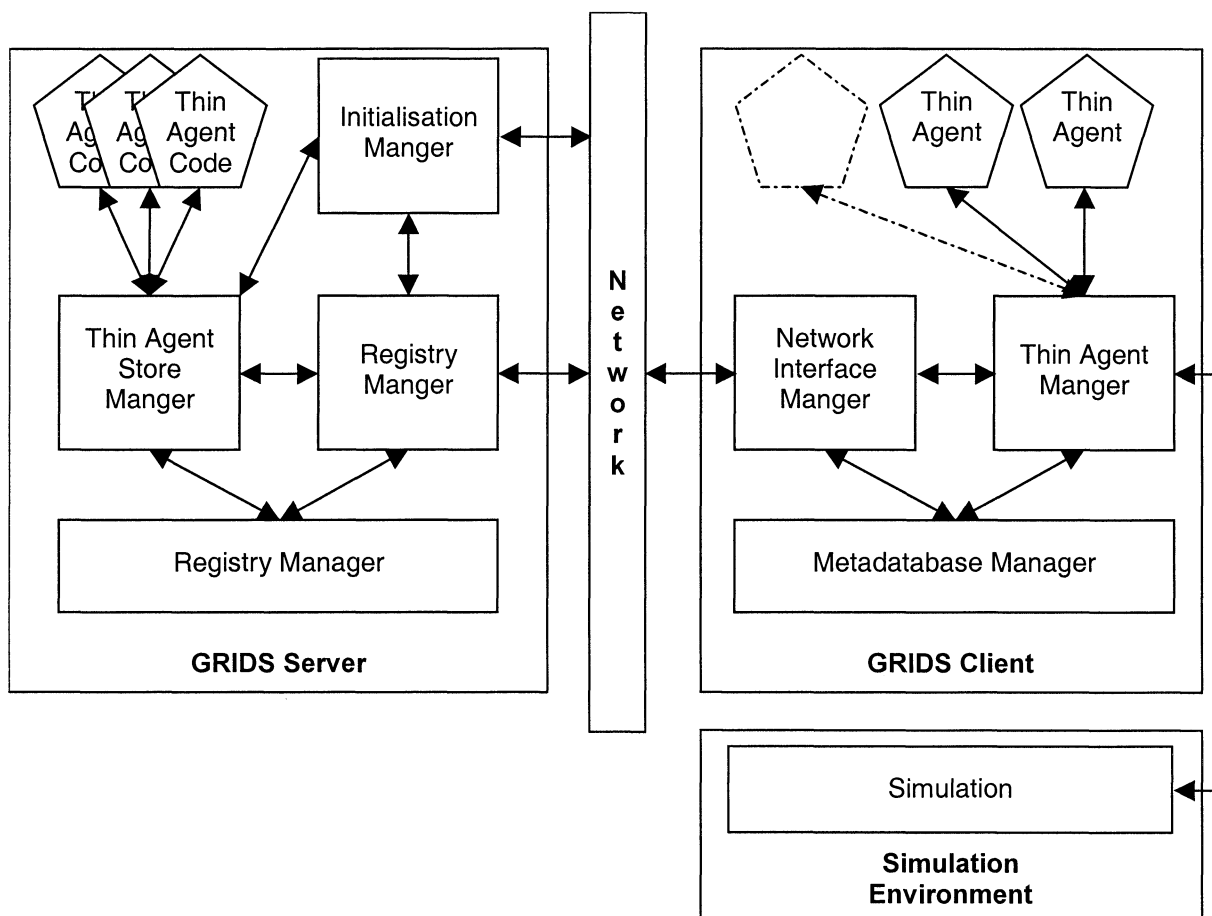
GRIDS beskrivs bäst som en exekveringsmiljö som kan betjäna olika simuleringar av stor variationsrikedom. Dess primära uppgift är att samordna aktiviteterna i de distribuerade delmodellerna med hjälp av ett meddelandebaserat schema. GRIDS' tjänjbara arkitektur bygger på en ny modell för tjänstedistribution, som kallas "tunna agenter". Varje delmodell förses med en GRIDS-klient, och tunna agenter distribueras till de deltagande klienterna och instan-



Figur 1. Principskiss över klient-server-arkitekturen i GRIDS.

tieras till att tillhandahålla de av respektive delmodell efterfrågade tjänsterna. De tunna agenterna kan registrera sig själva i en metadatabas som administreras i en GRIDS-server.

Dataöverföringar och andra tjänster utförs med hjälp av anrop till procedurerna `sendMessage` och `receiveMessage`. Själva meddelandet innehåller en beskrivning av den uppgift som skall utföras. Meddelandena skickas mellan agenterna via en `ThinAgentManager`, vars uppgift är att uppfånga alla meddelanden, som agenterna kan behöva, och fungera som ett ombud för de tunna agenterna. De data som skickas dirigeras till önskad destination med hjälp av en topologisk "karta" som byggs upp vid registreringsprocessen. Denna karta beskriver de relationer som infrastrukturen måste upprätthålla för att den distribuerade simuleringen skall kunna genomföras. Därigenom kan delmodellerna producera data, som GRIDS-klienten med hjälp av lämplig tunn agent via kartan kan skicka till rätt adressat. Om ingen adressat finns så hanteras data lokalt.



Figur 2. Den interna strukturen i servern respektive klienterna.

Gemensamt med Simon Taylor har utarbetats en modell med syfte att framhäva de egenskaper som är speciella för GRIDS och för RTI. Det blev en enkel modell, som beskriver ett luftvärnsförsvarat område som angrips av attackflyg. Realismen är kanske inte den bästa, men det är alltså inte heller det väsentliga målet med modellen. Dess primära syfte är att den dels skulle innehålla moment av död räkning, dels av filtrering i samband med datadistributionen. Det förra kan lätt införas som en extratjänst i GRIDS, medan det senare är en styrka i RTI-konceptet genom dess Data Distribution Management-tjänster.

Modellen har programmerats som en HLA-federation av en examensarbetare vid FOI, och den skall nu skrivas som en GRIDS-applikation av en doktorand vid Brunel University, var- efter jämförelsen av för- och nackdelar avseende användbarhet och användarvänlighet m.m. kan göras gemensamt. Tyvärr kommer denna jämförelse knappast att kunna slutföras förrän en bit in under år 2002.



#### 4. HLA-samverkan mellan olika typer av modeller

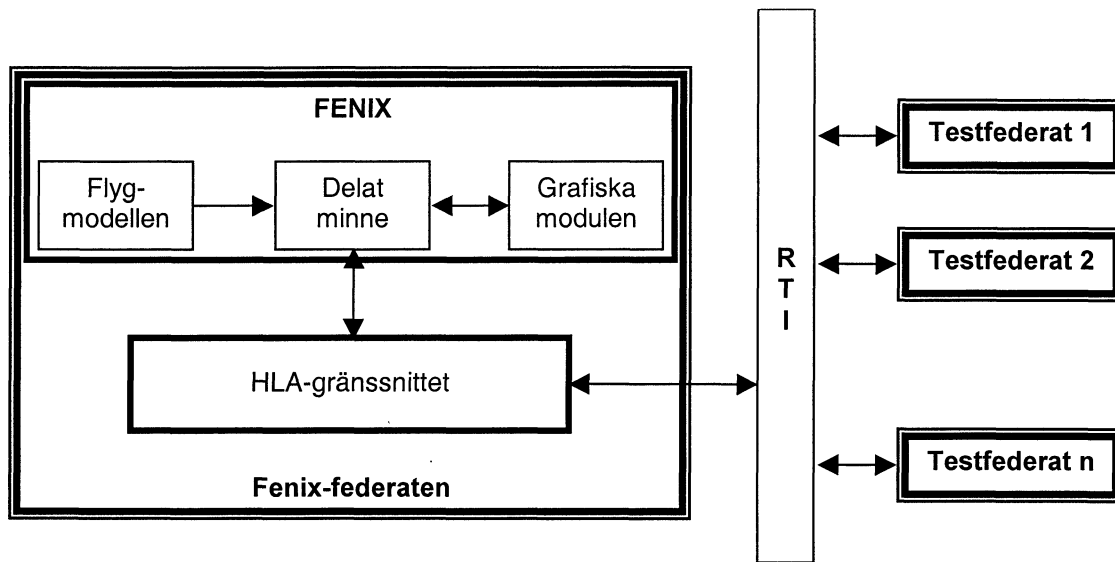
Satsningarna på relationen mellan ramverk och distribuerad simulering och på jämförelsen mellan GRIDS och HLA/RTI har som tidigare nämnts inneburit att våra möjligheter beträffande forskning om olika modellteknikers lämplighet för distribuerad simulering minskat. Till en del genomförs det dock i samband med det fördjupade samarbete som redan tidigare etablerats med National University of Singapore (NUS) [5]. Under perioden 9/4 – 3/5 2001 var dr Gary Tan från detta lärosäte gästforskare vid FOI och KTH. Därvid utarbetades en plan för hur vi skall prova att utforma och exekvera en HLA-federation med ett par modeller i vardera nationen.

Målet med samarbetet är tvåfaldigt. Dels får vi en intressant test av såväl de etablerade processmodellen för konstruktion och exekvering av HLA-federationer, FEDEP (Federation Execution and Development Process), som av själva exekveringsproblematiken i ett internationellt och långväga samspel. Dels skapas en storskalig distribuerad federation av heterogena modeller. Tanken var att involvera inte bara FOI och NUS utan även KTH i Kista och CSO (Command, Control, Communications & Computer Systems Organisation) under Ministry of Defence i Singapore och köra en federat på respektive ställe. Tanken är att från svensk sida delta med luftvärnssimuleringsmodellen FbSim, som skall köras i Kista, och flygsimulatoren Fenix [6], som skall köras i Ursvik. Från singaporiensk sida kommer man att bidra med kompletterande modeller för flyg- och markstridssimulering.

På grund av projektetableringsrutinerna i Singapore kunde genomförandet dock inte starta förrän i oktober. Det har dock visat sig svårt att få med CSO i verksamheten, främst p.g.a. sekretessproblem, varför ytterligare fördröjning är för handen. Under december kommer dock förnyade diskussioner att föras, vilka förhoppningsvis skall leda till att federationsbygget kommer igång på allvar.

Från vår sida har vi i avvaktan på att man skall bli startberedd i Singapore vidtagit nödvändiga förberedelser beträffande våra modeller. FbSim var redan tidigare HLA-anpassad [7], men Fenix hade inte någon sådan koppling. En sådan anpassning har dock nu genomförts, även om den, liksom för övrigt även den för FbSim, med visshet kommer att behöva justeras något för att passa den kommande federationen.

Fenix består av två processer, flygmodellen och den grafiska modulen. Dessa kommunicerar med varandra via en delad minnesarea, som lagrar uppdaterade data från flygmodellen. Härtill har nu fogats ytterligare en process, HLA-gränssnittet, som också kommunicerar via den delade minnesarean. Den är ett objektorienterat C++-program som består av en objektinstans av vardera klassen Federatambassadör och Simuleringsmodellen. Den sistnämnda tar emot data från Fenix och levererar dem via RTI-ambassadören till RTI. Ändringar av positionerna i andra federater meddelas från RTI via federatambassadören till simuleringsmodellen som sköter kommunikationen till Fenix. Andra federaters objekt kan därför visualiseras i Fenix via den grafiska modulen.



*Figur 3. Fenix-modellens inre struktur och koppling via HLA-gränssnittet och RTI:n till en hypotetisk federation.*

## 5. Intressanta utvecklingstendenser

För att följa utvecklingen och skapa kontakter har projektmedlemmar deltagit såväl i de båda Simulation Interoperability Workshops (SIW), som hållits i Orlando i mars och september 2001, som i den första europeiska motsvarigheten (EuroSIW), som ägde rum i London i juni samma år.

Vid vårens SIW deltog FOI i en svensk utställningsmonter. Inför detta evenemang utarbetades en broschyr om modellering och simulering vid FOI [8], vari projektet tog verksam del. Denna broschyr har sedermera kommit till vidsträckt användning.

Genomgående kan sägas att det för närvarande presenteras ganska få nyheter med bäring på vårt projekt vid dessa konferenser. Ett område som dock framhålls rör behovet av simuleringsmiljöer med multipel upplösning [5, 9], ett problem, som behandlats ingående vid FOA under tidigare år.

Ett annat hett område, som åtminstone delvis tangerar projektet, rör interoperabilitet mellan simuleringsystem och C<sup>4</sup>ISR-system. Här kan framhållas brittiska erfarenheter, då man försökt demonstrera hur man med kommersiella tekniker och ärvda modeller använda för nya tillämpningar kan förhöja effektiviteten hos individuella plattformssystem och interoperabiliteten mellan olika plattformssystem. Man har utvecklat en testuppsättning för marina ledningssystemstudier, där man utför C<sup>4</sup>I-applikationen som ett CORBA-nätverk och simuleringarna i ett HLA-nätverk. I det senare fallet utgörs det delvis av ett DIS-nätverk, som kommunicerar med resten via en gateway. Kommunikationen mellan de båda sköts via ett CORBA-HLA-gränssnitt [10, 11].

De utmaningar som låg i att integrera de ärvda modellerna i systemet var främst av tre slag. För det första behövde man enas om koordinatsystem och skapa konverteringsfederater. För det andra måste man ensa sig om hur tiden skulle hanteras, eftersom modellerna i allmänhet inte går i realtid medan ledningssystemet gör det. För det tredje behövs en samsyn på hur man startar upp systemet och hur aktuellt scenario skall distribueras.

Följande observationer har redovisats från utvecklingsarbetet:

- Anpassning av ärvda modeller kräver medverkan av såväl domän- som HLA-expert och den tar tid.
- Diskussionerna inför integrationsarbetet kräver noggrann hantering. Detta gäller såväl behovet att diskutera scenariot och att komma överens om ansvarsfördelningen som behovet att diskutera inte bara innehållet i meddelandena utan även deras dynamik.
- Noterades att interaktiv FOM-utveckling kan vara ganska kostsam. FOM-mötena tog massor av tid.
- Allting kan inte åstadkommas i möten. Det behövs dessutom en kraftfull ordförande för utvecklingsmötena. Undervärdera inte den tid och de resurser som krävs när många organisationer skall samverka!
- Det finns ett behov av korsbefruktning mellan idéer. Ett centralt bibliotek av FOM:ar är behövligt.
- FOM:en får inte vara en isolerad företeelse, även ”concepts of operation” måste dokumenteras parallellt.
- Man kunde också konstatera att det blev en del extra problem med interoperabiliteten när man skulle integrera tredjepartsprodukter.
- Man bör från början distribuera ut ett gemensamt verktyg för objektbeskrivning (OMDT) till alla deltagande federatkonstruktörer. Se också till att man har kompatibilitet med de verktyg som man väljer att använda på resp. ställe.

- Användningen av HLA möjliggjorde att tiden kunde hanteras på ett bra sätt även för system av ärvda modeller som inte går i realtid.
- Det uppstod mycket debatt om hur ”varseblivningsdata” skulle representeras, eftersom det inte var intuitivt uppenbart.

Dessa synpunkter rimmar väl med andra redovisade erfarenheter. En sådan är att medan C<sup>4</sup>I-systemet alltid går i realtid, så kan simuleringarna köras snabbare än realtid. Förvirrade situationer kan lätt uppstå när simuleringen inte går i takt med ledningssystemet. En annan erfarenhet är att C<sup>4</sup>I-meddelandena kommer in med eftersläpning. Likaså att återstart av simuleringen vanligtvis ger problem på C<sup>4</sup>I-sidan [12].

Erfarenheterna av att använda simuleringssmodeller tillsammans med ledningssystem i samband med stabsövningar, där simuleringarna tenderade att överlasta ledningssystemet, medför att man ser ett behov av ett certifieringssystem för simuleringssmodeller som skall användas för sådant syfte. Ett sådant certifieringsprogram har föreslagits, som består av två huvuddelar, dels validering av meddelandena, dels stressande av ledningssystemet. Detta är inte detsamma som VV&A, men det ingår som en del i VV&A. Man bör också lägga märke till, att för varje ny version av ledningssystemet måste alla modeller, som samarbetar med systemet, certifieras på nytt [13].

Från tysk sida diskuteras krav för att åstadkomma en sammanläggning av NATO:s M&S-ansatser och tekniska C<sup>3</sup>-arkitektur [14]. Fr.a. pekades på att alla ingående komponenter måste vara delar i en överbryggande arkitektur. För att åstadkomma detta föreslogs tre åtgärder

- Integration av HLA i US Defence Information Infrastructure (DII) Common Operating Environment (COE).
- Datafederationer, vilka behöver data management, en gemensam datamodellering och klargjorda och entydiga relationer mellan data i olika domäner. Det fordras också en vidareutveckling av ärvda system så att de kan delta i informationsutbytet via en gemensam typ av standardiserade dataelement.
- Skapandet av entydiga relationer mellan arkitekturer, datamoduler och procedurer.

## **6. Kunskapsspridning**

Den kunskap som genererats inom projektgruppen, har, förutom med denna rapport, förmedlats till omvärlden även på andra sätt.

Viss rådgivning om HLA och FEDEP har givits till FKSC. I samband med undervisning om modellering och simulering vid FHS informeras även om olika aspekter av distribuerad simulering. Likaså har rådgivning och undervisning skett till andra projekt inom FOI.

Till Försvarsmakten har med jämna mellanrum lämnats underhandsinformation om projektets utveckling och delresultat.

Kunskapsspridning sker regelbundet genom diskussioner och föredrag i MoSiS (Föreningen Modellering och Simulering i Sverige).

## 7. Fortsatt arbete

Vid FOA och sedermera FOI har i stort sett kontinuerligt bedrivits forskning kring distribuerad simulering och dess användbarhet sedan 1995. Detta har skett i projekt, som har haft lite olika inriktningar, men det centrala innehållet har hela tiden kretsat kring frågan om under vilka förhållanden distribuerad simulering kan tillämpas på ett substantiellt och meningsfullt sätt. Eftersom detta nu börjar vara någorlunda väl förstått, kan det vara dags att avrunda vårt forskningsarbete inom detta problemområde för att bereda rum för nya projekt som kan belysa andra frågeställningar inom domänen avancerad distribuerad simulering. Denna avslutande verksamhet skall ske i ett mindre projekt under år 2002 där de verksamheter slutförs, som inte kunnat avslutas under 2001, och där de erfarenheter och produkter som framkommit under de senaste årens forskning säkras för framtida återanvändning.

Projektet innefattar följande delar:

- En fortsättning och avslutning av det under hösten 2001 inledda samarbetet med National University of Singapore kring utformning och exekvering av en HLA-federation.
- Slutförande av jämförelsen mellan GRIDS och HLA/RTI.
- Delar av projektets resultat under 2001 kommer förmodligen att presenteras och diskuteras vid EuroSIW 2002.
- Anpassning och dokumentation av den programvara som utvecklats för forskning kring aggregerings/disaggregeringsproblematiken vid distribuerad simulering så att den kan utnyttjas i framtida distribuerade simuleringstillämpningar inom FM.
- Den fortsatta utvecklingen nationellt såväl som internationellt inom området skall följas.

## 8. Referenser

- [1] García Lozano, Marianela: "Finding One's way through Simulation Space. A study of Methods and Parameters for Model and Simulation Development in the Swedish Defense". Examensarbetsrapport vid KTH under utgivning.
- [2] Igarza, Jean-Louis & Sautereau, Christian: "Distribution, Use and Reuse: Questioning the cost effectiveness of re-using simulations with and without HLA". Simulation Interoperability Workshop, september 2001, 01F-SIW-002.
- [3] <http://www.cae.com/military/strive.shtml>: "Military Simulation & Controls. Military Simulation Training. STRIVE™".
- [4] Sudra, Rajeev; Taylor, Simon J E & Janahan, Tharumasegaram: "Interoperability in Distributed Supply Chain Simulation using GRIDS". Simulation Interoperability Workshop, september 2000, 00F-SIW-051.
- [5] Tan, Gary; Ng, Wee Ngee & Moradi, Farshad: "Aggregation/Disaggregation in HLA Multi-Resolution Simulation". Proceedings of DSRT'01 Fifth IEEE International Workshop on Distributed Simulation and Real-Time Applications, augusti 2001, p 76-83.
- [6] <http://www.foi.se/fenix/>: "FENIX flygdynamiksimulator".
- [7] Holm, Gunnar; Mojtahed, Vahid; Moradi, Farshad & Sköld, Sven: "Aggregering och disaggregering inom ramen för HLA. Utveckling av en provfederation". FOA mars 1998.-34 s. FOA-R--98-00745-202--SE.
- [8] "Modeling and Simulation. Some current research activities". FOI broschyr, mars 2001.
- [9] Zimmerman, Philomena: "Lead, Integrate & Leverage M&S for the Warfighter, A Great Adventure". Featured Speaker. European Simulation Interoperability Workshop, juni 2001, Speaker 005.
- [10] White, Sally A: "Development and Use of a Naval Combat System Simulation Environment with Legacy Models and HLA". European Simulation Interoperability Workshop, juni 2001, 01E-SIW-032.
- [11] Walters, Stephen G: "Derivation of a C4I FOM". European Simulation Interoperability Workshop, juni 2001, 01E-SIW-033.
- [12] Wittman Jr, Robert L: "JSIMS Interface to the Global Command and Control System (GCCS): Getting Past the Tough Stuff". European Simulation Interoperability Workshop, juni 2001, 01E-SIW-016.
- [13] Diem, John W; Allred, Norman L; Black, Christopher A & Whitson, Stephen R: "Certification of U.S. Army Simulations Interfaces with C4I Systems". European Simulation Interoperability Workshop, juni 2001, 01E-SIW-073.
- [14] Tolk, Andreas: "Integrating NATO M&S efforts and the NATO CG Technical Architecture". European Simulation Interoperability Workshop, juni 2001, 01E-SIW-095.