

Unieke problemen vereisen unieke oplossingen

Database-replicatie in militaire systemen

Marco van der Meijden en Berry Jansen

Bij de ontwikkeling van militaire systemen is de trend ingezet om gebruik te maken van COTS (Commercial Off the Shelf) en MOTS (Military Off the Shelf) componenten.

De specifieke eisen die aan zulke systemen worden gesteld ten aanzien van bandbreedtegebruik, flexibiliteit en beschikbaarheid, alsmede de omgeving waarin ze moeten kunnen functioneren, wijkt echter nog steeds af van die van de meeste civiele toepassingen. COTS levert hier in veel gevallen geen (complete) oplossing. Dit geldt ook voor ISIS (Integrated Staff Information System) dat door het Command & Control Support Center (C2SC) van de Koninklijke Landmacht (KL) wordt ontwikkeld. In dit artikel wordt ingegaan op de specifieke oplossingen op het gebied van datamodellen en replicatie die voor dit systeem zijn gerealiseerd.

ISIS

ISIS 3.2 is recent in gebruik genomen door de 43e Brigade in het kader van de NATO Response Force (NRF), waarvan deze brigade gedurende de eerste helft van 2005 deel uitmaakt. Hierbij moet men denken aan een inzet van 650 ISIS workstations, verdeeld over een tiental commandoposten die via een combinatie van straalzenders en satellietcommunicatie met elkaar zijn verbonden. Deze netwerkinfrastructuur wordt verzorgd door TITAAN (Theater

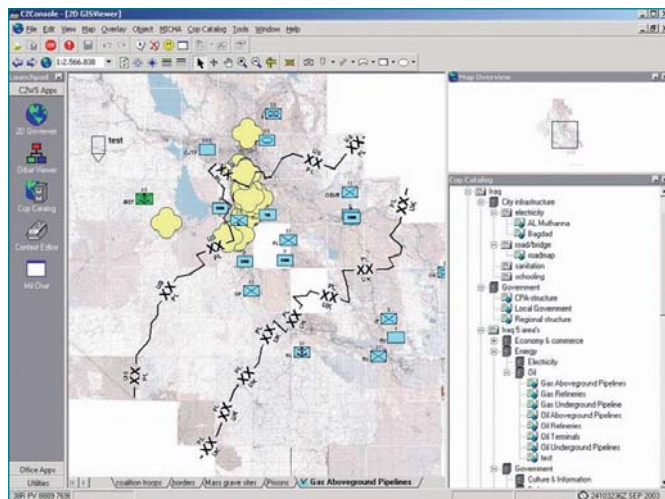
Independent Tactical Army and Air force Network) dat parallel aan ISIS door het C2SC wordt ontwikkeld. De hardware bestaat uit een moderne portable PC met Windows XP, die naast de ISIS-applicatie voorzien is van de standaard Office-producten. De functionaliteit van ISIS richt zich op de ondersteuning van de commandovoering (Command & Control, afgekort C2) op bataljons(staf)niveau en hoger. Voor de beeldvorming is de user interface te zien in afbeelding 1. De hoofdcomponenten zijn een Geografisch Informatie Systeem (GIS) dat een kaartachtergrond biedt, waarop 'lagen' worden geprojecteerd met militaire symbolen zoals gevechtseenheden, bruggen, acties en events. Deze overlays zijn georganiseerd in een Explorer-achtige directory-structuur met folders en shortcuts.

Network Centric Warfare

De werking van ISIS is gebaseerd het concept van 'Netwerk Centric Warfare (NCW)'. NCW [1] is door de Amerikaanse Luchtmacht ontwikkeld naar aanleiding van de oorlog in Irak in 1990-1991, die kan worden gezien als de eerste informatieoorlog. Het biedt een raamwerk waarmee vooruitgang in de informatietechnologie kan worden vertaald naar overwicht op het gevechtveld. Informatieoverwicht wordt mogelijk gemaakt door het netwerken van systemen, waardoor sneller dan de vijand kan worden gereageerd, en men een beter overzicht heeft van het gevechtveld en sneller in staat is de eigen troepen te organiseren.

Dit concept is initieel door de luchtmacht ontwikkeld en daar ziet men op dit moment ook de beste voorbeelden van realisatie van dit concept. Sensoren (radar, satelliet) en 'Shooters' (vliegtuigen, geleide raketten) zijn gekoppeld en verbonden met commandovoeringscentra, die een compleet overzicht van het luchtruim hebben. Waar tijdens de eerste Golfoorlog de meeste vliegtuigen vertrokken met een van te voren geplande missie, worden de meeste vliegtuigen nu tijdens de vlucht naar doelwitten geleid, zodra deze zich voordoen.

De toepassing van NCW voor landstrijdkrachten loopt hierop achter. Dit komt niet alleen door de andere schaalgrootte en gebrek aan betrouwbare communicatiemiddelen met voldoende bandbreedte, maar ook vanwege het feit dat landstrijdkrachten meer decentraal aangestuurd optreden in omstandigheden die variëren van een grootschalig conflict tot vredeshandhaving. Concreet betekende dit voor de ontwikkeling van ISIS dat de



Afbeelding 1: User interface van ISIS.

operationele concepten voor een deel naar eigen inzicht moesten worden ontwikkeld [2]. ISIS richtte zich daarom op de generieke functionaliteit om flexibel informatie te kunnen delen en samen te kunnen werken over het gehele gevechtsveld. In 2000 werd een aantal fundamentele principes voor data management opgesteld die als leidraad voor de ontwikkeling van architectuur dienden:

- Alle informatie is georganiseerd in contexten;
- Een context is een verzameling van informatie die betekenis geeft aan de individuele elementen die het bevat. Voorbeelden zijn een plan of actueel beeld van de vijand;

Met het in eigen beheer ontwikkelen van de Middleware en Frameworks loopt Nederland voorop

- Een context representeert een consistente set van informatie. Als er sprake is van ambiguïteit wordt dit expliciet uitgedrukt door gebruik te maken van een andere context. Bijvoorbeeld een alternatief beeld van de vijand;
- Gebruikers kunnen samenwerken aan informatie binnen een context op basis van autorisatie;
- Contexten kunnen dynamisch worden aangemaakt. Ze kunnen hiërarchisch worden georganiseerd in een directory (COP Catalog, zie afbeelding 1) die over het gehele systeem beschikbaar is. De gebruiker moet in staat zijn deze structuur naar behoefte in te richten afhankelijk van de operatie;
- Als een gebruiker leesrechten heeft op een context, kan hij zich op de context abonneren en het systeem zorgt ervoor dat actuele informatie en alle toekomstige wijzigingen vervolgens lokaal voor hem beschikbaar zijn. Autorisatie is daarmee de primaire vorm waarmee eindgebruikers de informatiestromen kunnen beheren.

Voor de systeemarchitectuur houdt dit in, dat een context zowel de eenheid van informatiedistributie is als van toegangsrechten. Men kan het zo gedefinieerde systeem karakteriseren als een op 'Publish/Subscribe' gebaseerde replicatie-architectuur, waar de beschikbaarheid van informatie (e.g. het bestaan van een context) naar alle gebruikers wordt gepubliceerd. Gebruikers kunnen zich vervolgens abonneren op de informatie die voor hen relevant is. Bij het definiëren van deze principes is bij voorbaat rekening gehouden met de haalbaarheid van realisatie. Voor selectieve replicatie zijn in essentie twee modellen denkbaar:

- A priori een logische partitionering van data aanbrenge (in de vorm van contexten) ten behoeve van distributie. Voordeel is dat de data die met een context geassocieerd zijn, eenvoudig door een replicatie engine uit de database kunnen worden geëxtraheerd. Nadeel is dat de organisatie van informatie afhankelijk is

van de gewenste distributie en dat maar een enkele organisatie ten behoeve van distributie mogelijk is;

- Selectieve replicatie op basis van query's die achteraf door de replicatie-engine op de gehele database worden uitgevoerd. Voordeel is dat selectieve distributie transparant is voor applicaties, nadeel is de complexiteit van implementatie.

Voor ISIS is gekozen voor a priori organisatie van informatie, vanwege de ervaringen die zijn opgedaan binnen het ATCCIS-project [3] (zie kader) met de implementatie van selectieve replicatie ('filtering') op basis van query's. Bijvoorbeeld, query's op basis van gebied leveren fundamentele problemen op als entiteiten in en uit het filter bewegen of logisch gezien het gebied moeten hebben doorkruist, maar geen tussenliggende locatie in het gebied is ingevoerd. Bijkomend probleem daarbij is dat het onderliggende datamodel een grote verscheidenheid aan relaties tussen entiteiten toestaat en het moeilijk is exact te specificeren welke relaties onder welke omstandigheden moeten worden meegenomen bij replicatie.

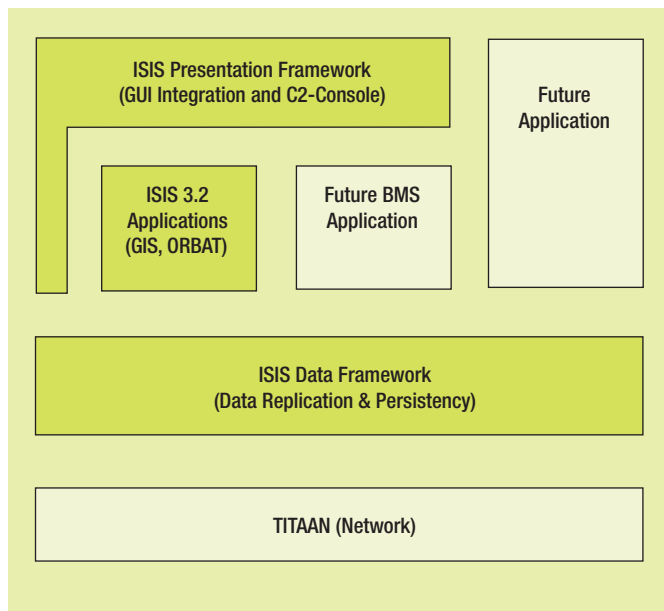
Achteraf kan worden geconstateerd dat hier een goede keuze is gemaakt. De belangrijkste internationale standaard op dit moment voor database gebaseerde interoperabiliteit tussen C2-systemen is MIP (zie kader). Het concept van contextgebaseerde organisatie van data en daarop gebaseerde selectieve replicatie is recentelijk

MIP & ATCCIS

Internationaal gezien is Multilateral Interoperability Programme (MIP) [4] de leidende standaard voor het koppelen van databases van Command and Control Information Systems (C2IS). Meer dan 20 landen zijn lid waaronder Nederland. De MIP-specificaties bestaan uit twee onderdelen:

- Een gemeenschappelijk (relationeel) datamodel (C2IEDM). Aan het C2IEDM datamodel is sinds 1984 gewerkt, oorspronkelijk in het kader van het ATCCIS-project dat in 2002 in MIP is overgegaan. Recent is een Memorandum of Agreement (MOA) opgesteld tussen MIP en de NATO Data Administration Group (NDAG) waarin wordt overeengekomen een Joint Consultation Command & Control Information Exchange Data Model (JC3IEDM) in 2008 op te leveren. Dit houdt in dat ook informatie uit het marine- en luchtmachtdomein zal worden opgenomen;
- Een Data Exchange Mechanisme (DEM). De DEM-specificaties zijn gebaseerd op het ATCCIS Replicatie Mechanisme (ARM) [5] en biedt automatische replicatie tussen C2IEDM compatibele relationele databases. De eerste versie hiervan werd in 1994 ontwikkeld om twee redenen; de toen beschikbare replicatieproducten voldeden niet aan de operationele eisen en men wilde een onafhankelijke standaard neerzetten.

In het geval van Nederland wordt de internationale interoperabiliteit gerealiseerd door middel van een MIP Gateway, dat de vertaling verzorgt tussen het ISIS Datamodel en het C2IEDM.



Afbeelding 2: Data Framework fungeert als Middleware waarop applicaties worden gebouwd en voorziet in inter- en intra-applicatiecommunicatie. Presentation Framework biedt de mogelijkheid verschillende applicaties op presentatieniveau te integreren binnen een C2 Console.

opgenomen binnen deze standaard en zal in de periode van 2006 tot 2007 operationeel in gebruik worden genomen.

Overzicht architectuur

De architectuur van ISIS is opgezet om als generiek platform voor toekomstige systemen voor de KL te dienen. Het biedt integratie van zowel presentatie als informatie, zie afbeelding 2.

Het Presentation Framework integreert de interface van meerdere onafhankelijke processen in een console-applicatie. ISIS-applicaties bestaan vaak uit losse processen die binnen de console worden geïntegreerd. Dit garandeert isolatie van applicatiefouten om de beschikbaarheid van het systeem te vergroten. Het Data Framework biedt een gedistribueerde object-database met een uitbreidbaar datamodel. Door gebruik te maken van een generiek 'core' datamodel en applicatiespecifieke uitbreidingen wordt interoperabiliteit tussen applicaties gewaarborgd en worden 'stovepipes' voorkomen.

Deze architectuur zal leidend zijn voor toekomstige projecten en aansluiting daarop wordt beleidsmatig ingekaderd binnen de KL. Nederland is daarmee uniek in zijn aanpak vergeleken met de meeste andere landen. Dit soort materieelprojecten wordt in het algemeen op basis van een waterval-achtig traject aanbesteed, waarbij een periode van 10 jaar tussen het opstellen van de requirements en eerste oplevering niet ongebruikelijk is. Met de snelle ontwikkelingen van de ICT levert dit extra problemen op voor hardware- en software-componenten. Resultaat is een verzameling leveranciersgebonden 'stovepipe' systemen die met veel kosten achteraf aan elkaar moeten worden gekoppeld. Het zelf definiëren van de overkoepelende architectuur, in plaats van ieder project daar in vrij te laten, is een eerste stap die meerdere

landen zoals bijvoorbeeld Canada in navolging van Nederland nu zetten. Met het in eigen beheer ontwikkelen van de Middleware en Frameworks en daaraan gerelateerd deels optreden als System Integrator, loopt Nederland voorop in de internationale ontwikkelingen.

Evolutie

De eerste versie van ISIS is ontwikkeld in de periode van 1995 tot 2000 en was gebaseerd op de ATCCIS-specificaties (zie kader). Hierbij werd iedere node in het Wide Area Network (WAN) uitgerust met een replicatie-database waarbij door middel van point-to-point verbindingen een replicatietopologie werd geconfigureerd. De replicatie-databases waren ieder gekoppeld aan een applicatie-database waar de ISIS-applicaties direct op werkten. Aan deze architectuur kleefde echter een aantal nadelen:

- De point-to-point verbindingen tussen de replicatie-databases werden handmatig geconfigureerd en vervolgens consistent gehouden met de wijzigingen in de topologie van het netwerk die optreden tijdens een operatie. Het toevoegen van nieuwe nodes kon alleen handmatig en hierbij moest de replicatie gestopt worden op alle nodes;
- Clients konden niet zelfstandig werken. Tijdens verplaatsingen als er geen netwerk beschikbaar was of als er binnen de commandopost een kabel werd losgetrokken, was de applicatie niet beschikbaar;
- Eigenaarschap van informatie (en daarmee ook het recht om

TITAAN (Theatre Independent Tactical Army and Air Force Network)

Toekomstig operationeel optreden van de KL vereist flexibele en geïntegreerde communicatie- en informatiesystemen die in staat zijn grote hoeveelheden spraak- en datacommunicatie te verwerken en het optreden over grote afstanden, in elk terrein, ondersteunen.

Om dit te bereiken en om informatiesystemen zoals ISIS, BMS, AFSIS, etcetera goed te laten werken, is een snel en flexibel systeem nodig voor eenheden vanaf het niveau van een zelfstandige compagnie, squadron, bataljon en hoger.

De basis voor dit nieuwe systeem wordt gevormd door Titaan. De kern van Titaan wordt gevormd door een basismodule (een Local Area Network), waarmee een mobiel kantoor te velde wordt ingericht. De LAN's zorgen voor een snelle informatieverwerking en een betere *situational awareness*, zodat snel bevelen gegeven kunnen worden. Binnen het LAN zijn alle gebruikers-terminals, randapparatuur (printers, plotters, scanners) en systeemapparatuur (servers en netwerkroueters) ondergebracht. In principe gebeurt alles via één netwerk dat spraak, data en video geïntegreerd afhandelt.

informatie te creëren of wijzigen) was gekoppeld aan een fysieke replicatie-database. Overdracht van eigenaarschap was alleen mogelijk naar een database op een andere node in een gecontroleerde situatie, als er een verbinding tussen beide databases bestond en er geen transacties meer plaatsvonden. Samenwerken op dezelfde informatie op verschillende nodes was daarmee niet mogelijk

Aanvang 2000 werd een traject ingezet voor het ontwikkelen van een nieuwe architectuur [6]. Hierbij werd een aantal eisen opgesteld om de geconstateerde beperkingen te verhelpen:

- Informatiedistributie moet gebaseerd zijn op een 'replicatiebus' architectuur waar Plug & Play nieuwe replicatie-nodes aan kunnen worden toegevoegd. Veranderingen in netwerktopologie moeten automatisch worden opgevangen en transparant zijn voor de applicaties;

Een context representeert een consistente set van informatie

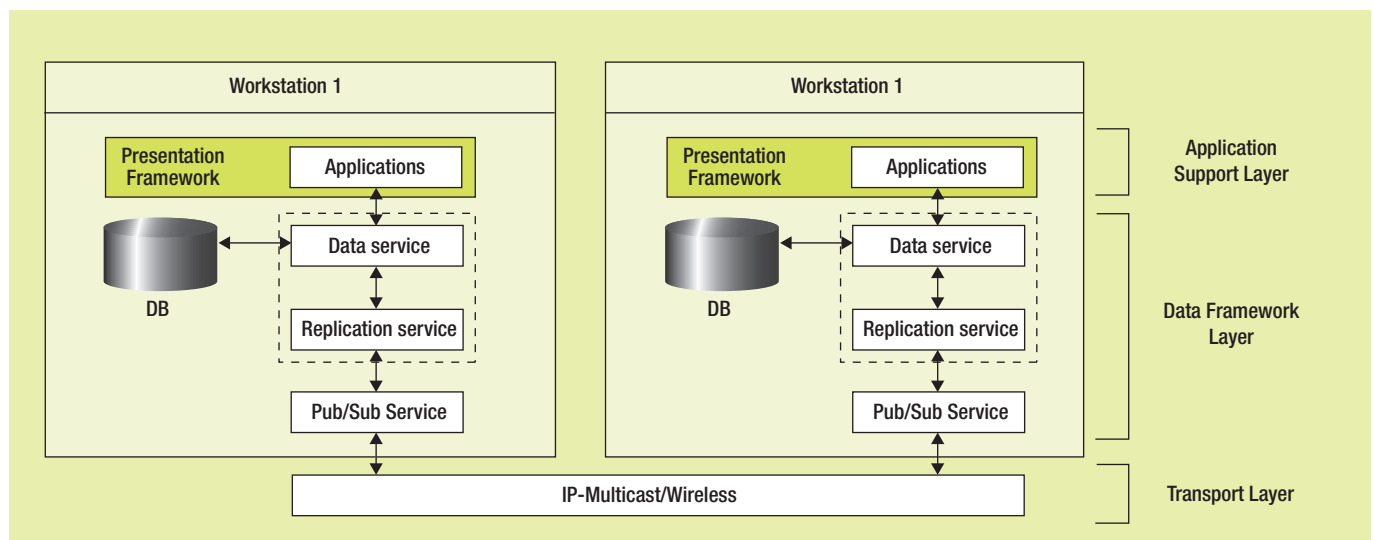
- Ieder workstation moet uitgerust zijn met een eigen replicatie-database zodat de applicatie lokaal beschikbaar is zonder netwerk of server. Ieder workstation moet in staat zijn informatie (die off-line is aangepast) automatisch te synchroniseren met iedere andere client of server, als daarmee een netwerkverbinding tot stand wordt gebracht. Deployments met meerdere duizenden gedistribueerde databases moeten kunnen worden ondersteund;
- Eigenaarschap van informatie moet gebaseerd zijn op autorisatie en niet gekoppeld zijn aan een fysieke database;

- Fail-over tussen nodes moet automatisch plaatsvinden. In het geval van netwerkpartitionering moet informatie op meerdere nodes veranderd kunnen worden, waarna automatisch synchronisatie en conflictresolutie plaatsvindt als verbindingen weer tot stand worden gebracht. Samenwerking over meerdere locaties aan dezelfde informatie moet mogelijk zijn.

Om deze eisen te implementeren zijn drie alternatieven overwogen: verdere ontwikkeling van de ATCCIS-specificaties; selectie van een commercieel product; of een nieuwe architectuur geheel zelf ontwikkelen. Geen van de destijds beschikbare commerciële producten bood een passende oplossing. De grootste beperkingen van COTS replicatie-software komen voort uit het feit dat ze zijn ontworpen voor een statische infrastructuur met voldoende bandbreedte. De replicatietopologie wordt handmatig geconfigureerd en past zich niet automatisch aan veranderingen in netwerktopologie aan. Nieuwe nodes kunnen over het algemeen niet worden toegevoegd zonder de replicatie op alle nodes te stoppen.

De op ATCCIS gebaseerde replicatie-architectuur bood op deze punten in feite significante voordelen ten opzichte van commerciële producten [5]. De ATCCIS-architectuur is echter opgezet om een beperkt aantal systemen van verschillende landen te koppelen op basis van point-to-point connecties en kon niet eenvoudig worden aangepast aan de eisen van een replicatiebus-architectuur met grote aantallen replicatie-databases. Daarom is de keuze gemaakt de replicatie-architectuur zelf te ontwikkelen. Naast de eerder vermelde 'replicatiebus' architectuur biedt deze replicatie-architectuur de volgende functionaliteit:

- Selectieve replicatie per context. In plaats van de hele database te repliceren worden alleen de contexten waarop de applicatie is geabonneerd gerepliceerd naar de lokale database.
- De directory van beschikbare contexten wordt selectief gerepliceerd. Bij grote hoeveelheden contexten kan de



Afbeelding 3: Architectuur overzicht.

directory op zich een bottleneck vormen bij lage bandbreedte. De context-directory is daarom opgedeeld in meerdere secties (die zelf contexten zijn) in analogie van een folder-structuur. Bij het doorlopen van de directory wordt automatisch geabonneerd op secties als deze worden 'uitgeklapt', zodat alleen het voor de gebruiker relevante deel van de directory wordt gerepliceerd.

- Standaard wordt alleen de actuele informatie gerepliceerd. In de praktijk blijkt namelijk dat als verbindingen vaak weg vallen, dat het simpelweg in een queue zetten van informatie tot de verbinding weer beschikbaar is niet goed functioneert. Als er weer verbinding mogelijk is, moet juist de meest recente informatie als eerste worden uitgewisseld. Optioneel kan echter ook historische informatie worden gerepliceerd.
- Replicatie kan parallel plaatsvinden met het verwerken van nieuwe informatie. Een database hoeft dus niet gesynchroniseerd te zijn met de andere databases in het netwerk, voordat de lokale gebruiker informatie kan toevoegen.
- Replicatie is mogelijk over WAN-verbindingen met een bandbreedte van niet meer dan 32 KBit/s voor deployments van 1000 replicatie-databases. Worst case is 2.4 KBit/s voor kleine deployments op lagere niveaus in de organisatie, waar minder bandbreedte beschikbaar is omdat gebruik wordt gemaakt van combat net radio.

Deze architectuur is het best te vergelijken met een directory-product zoals MS Active Directory dan met relationele database-replicatie. Het biedt een vergelijkbare replicatie- en conflictresolutie-strategie op basis van een objectmodel. Het verschil is dat waar bij Active Directory de replicatietopologie moet worden geconfigureerd en replicatie op basis van timers werkt, hier een 'replicatiebus' architectuur wordt gebruikt waarbij transacties near-real-time worden gedistribueerd en alleen synchronisatie timer-gebaseerd is. Verder is de architectuur geoptimaliseerd voor zowel 'write-many' als 'read-many', terwijl directory's zijn geoptimaliseerd voor 'read-many'.

In afbeelding 3 is een meer gedetailleerd overzicht van de architectuur te zien. De volgende lagen en services kunnen worden onderkend:

- Applicatie Support Laag. Deze bevat caching services, business-objecten en een presentation framework;
- Data Service. Deze implementeert een gedistribueerde object-database bovenop een COTS relationele database. Transacties op de object-database worden lokaal opgeslagen en doorgegeven aan de Replicatie-service;
- Replicatie-service. Deze zorgt voor de automatische replicatie en synchronisatie van de lokale object-database. De replicatie-service maakt alleen gebruik van Publish/Subscribe-operaties die door de onderliggende laag worden aangeboden;
- Publish/Subscribe Service. Deze implementeert een message bus die Publish/Subscribe-functionaliteit biedt. Deze is in feite een 'wrapper' voor COTS Middleware-producten die hiervoor ingezet kunnen worden. Daarnaast bevat het adaptors voor een

Het Command & Control Support Centre (C2SC)

Het C2SC is verantwoordelijk voor de ontwikkeling, het testen en de implementatie van systemen voor de ondersteuning van de commandovoering binnen de Koninklijke Landmacht. Het bijzondere hierbij is dat het centrum optreedt als integrator van (COTS) componenten tot systemen die in een militaire omgeving moeten kunnen werken. Hiertoe worden in een evolutionair traject in nauwe samenwerking met de gebruikers, systemen gebouwd. In dit proces moet voortdurend een balans worden gevonden tussen innovatieve mogelijkheden die de technologie biedt en een beheerste uitbreiding van functionaliteit, die de gebruikers in staat stelt het optimale rendement uit de systemen te halen. Het hierbij gehanteerde credo luidt dan ook: "Build a little, test a little, field a little and learn a lot".

Het centrum bestaat naast een groep van ongeveer honderd vaste medewerkers, uit een aanzienlijk aantal software-specialisten uit de civiele markt, die voor (delen van) een project worden ingehuurd. Deze constructie geeft het centrum de mogelijkheid flexibel in te spelen op de wisselende behoefte aan specialistische kennis.

- aantal militaire communicatiesystemen die niet IP gebaseerd zijn;
- Netwerklaag. In het bijzonder wordt hier gebruik gemaakt de IP-Multicast.

In een tweede vervolgartikel zal dieper op deze lagen, replicatie en synchronisatie worden ingegaan.

Marco van der Meijden en Berry Jansen

Drs. Marco G. van der Meijden (vanderMeijden@fel.tno.nl) is Wetenschappelijk Medewerker bij de afdeling Command & Control en Informatievoorziening van TNO-FEL. Berry Jansen (berry.jansen@capgemini.com) is Managing Consultant bij Capgemini.

Referenties

- [1] *Network Centric Warfare, Developing and Leveraging Information Superiority*, David S. Alberts, John J. Garstka and Frederick P. Stein.
- [2] *Network Centric Warfare concepts in the Royal Netherlands Army C2 Architecture*, M.G. van der Meijden, *Nato RTO SCI-137 paper*.
- [3] *ATCISS Filtering proposals: Report of Filter Task Group, Working paper 31-1, draft 5.0*.
- [4] *MIP Multilateral Interoperability Program briefing notes (MBN)*, March 2003. www.mip-site.org/Public_documents/MBN-SH-PMG-Edition1.1.pdf.
- [5] *ATCCIS Working paper 14-3, ATCCIS Replication Mechanism (ARM) Consolidated Specification, Edition 3.0, 5 June 2000*.
- [6] *Tactical Information Distribution using XML*, M.G. van der Meijden, *TNO report FEL-01-A124, 2001*.