

Framework de Interoperabilidad para Sistemas de Comando y Control

FISiCO²

Alejandro Juan Manuel Repetto

CIDESO¹, DIDEP² / EST³, IESE⁴ - Ejército Argentino

ajmrepetto@gmail.com

RESUMEN

La interoperabilidad en sistemas empresariales es un tema que se ha puesto en boga desde hace un tiempo. La necesidad de integración de sistemas *legacy* sigue presentando desafíos para los profesionales de sistema. Particularmente, en sistemas de comando y control (C2) para aplicaciones militares, este tema se potencia dado los requerimientos no funcionales adicionales que se presentan. Además de la interoperabilidad a nivel negocio para integrar a sistemas de software y hardware complejos que exceden a los sistemas empresariales, estos sistemas necesitan arquitecturas robustas resistentes a fallos, de alto rendimiento y con niveles de seguridad extra.

FISiCO² propone una arquitectura técnica que brinda robustez, seguridad e interoperabilidad entre sistemas complejos, dividiendo el problema en cinco capas que dan soporte a los distintos requerimientos de manera desacoplada y transparente.

La línea de investigación rectora tiene como objetivo el desarrollo, despliegue y prueba de FISiCO², para lograrlo se divide en tres sub-líneas: (1) sistemas *Peer to Peer* (P2P), (2) sistemas de integración empresariales orientados a servicios y (3) estándares, protocolos y arquitecturas distribuidas para las aplicaciones de negocios en sistemas de C2.

Palabras Clave: Interoperabilidad, Comando y Control, sistemas militares, sistemas distribuidos.

CONTEXTO

El Ejército Argentino financia y patrocina la construcción de un sistema de C2 para sus Grandes Unidades de nivel táctico (Brigadas) y cuenta con la asignación de presupuesto específico y subsidios asignados por el Programa de Investigación y Desarrollo para la Defensa (PIDDEF) del Ministerio de Defensa de la Argentina.

Los sistemas de C2 son de naturaleza socio – técnica y complejos en su concepción y diseño. En su implementación intervienen subsistemas informáticos y electrónicos, protocolos tecnológicos y procedimientos de estado mayor (flujos de trabajo del dominio del sistema) muy específicos. Su finalidad es dar soporte a los procesos decisorios que realizan los Comandantes y sus equipos asesores (Estado Mayor), optimizando el flujo de información operativa y decisoria en todos los niveles de la estructura orgánica las Brigadas, integrándola en forma horizontal y vertical. Otro objetivo indispensable es la interoperabilidad con otras organizaciones, ya sean nacionales, regionales o internacionales, civiles y militares, durante las operaciones militares, como se indica en [1] y [2].

Internamente, el CIDESO, posee *know how* en lo que respecta a sistemas de simulación para aplicaciones militares, tanto para problemas militares operativos - Batalla Virtual (BV) – como para operaciones militares de paz – Simupaz –. Como explotación de esa capacidad, se propuso la aplicación del conocimiento logrado al desarrollo del sistema de C2 del EA, bajo el nombre de proyecto SITEA (Sistema Integrado Táctico de Comando y Control del Ejército Argentino).

Conceptualmente, BV muestra de manera simulada una visión similar a lo que debería ser un sistema de C2, donde los distintos niveles decisores poseen un tablero de control para ver la situación de los elementos que comandan de manera gráfica. Tanto los modelos de simulación integrados en BV como las Herramientas de Estado Mayor (HEM), desarrolladas también por el CIDESO, son partes que pueden reutilizarse en el sistema de C2 solicitado. Sin embargo, para lograr un sistema de C2 completo, se deben sumar a este *know-how* experiencias en interoperabilidad entre sistemas heterogéneos, como por ejemplo integración de datos,

¹ CIDESO: Centro de Investigación y Desarrollo de Software

² DIDEP: Dirección de Investigación, Desarrollo y Producción

³ EST: Escuela Superior Técnica - Facultad de Ingeniería del Ejército Argentino

interacción con redes de sensores inalámbricos o integración con hardware específico para C2.

En este contexto es necesario desarrollar en primera instancia un *framework* lo suficientemente amplio que permita interoperar entre los sistemas mencionados y que sea fácilmente escalable para poder evolucionar junto con el estado del arte en los próximos años.

1 INTRODUCCIÓN

En base a los requerimientos definidos por el EA, se diseñó un *framework* de alto nivel que debe ser evaluado en todas sus capas. Dicho *framework* tiene como objetivos principales la interoperabilidad entre sistemas existentes y la posibilidad de escalar a sistemas futuros, tratando de dejar las interfaces del modo más genérico posible, permitiendo la integración de todo tipo de hardware y software que se utiliza en el ámbito del C2.

El *framework* fue pensado, en principio, en cinco capas: (1) hardware de comunicaciones, (2) enmascaramiento de enlaces físicos, (3) capa de comunicaciones lógicas, (4) capa de distribución de negocio y, (5) capa de software de C2 o de negocio.

Esta división aporta una visión *top-down* al problema complejo del C2. En la capa 1 se encuentra todo el problema físico de las comunicaciones que, para el alcance del proyecto incluye desde enrutadores convencionales hasta enlaces satelitales y radios HF y VHF. Luego, la capa 2, es la encargada de enmascarar la complejidad física, dándole el comportamiento de un nodo de comunicación de datos informáticos (tipo TCP/IP) a aquellos que no lo poseen en forma nativa. La capa 3, brinda el sistema de comunicaciones lógicas, dando servicios de enrutamiento, seguridad a nivel comunicaciones desde el punto de vista AAA (Autorización, Autenticación y Acceso) basado en el contexto, robustez y distribución de carga. La capa 4, tiene como objetivo manejar el directorio de las aplicaciones de negocio, proveyendo prestaciones de descubrimiento de servicios, combinación de

servicios, reutilización, seguridad a nivel usuarios, entre otros. Por último, en la capa 5 residen todos los sistemas que expondrán sus capacidades por medio de servicios para que puedan ser consumidos.

Considerando que la capa 1 no se encuentra bajo control del equipo de software, se decidió enmascararla a través de la capa 2. Para ello se detectaron una serie de estándares aptos, como ser STANAG¹ 5066 para las radios militares que proveen enlaces inalámbricos. Estos estándares permiten convertir sistemas de comunicaciones de radio en nodos de comunicaciones tipo TCP/IP, permitiendo montar sobre ellos tanto datos como voz.

La capa 3 fue pensada como una *overlay network* [3], la cual debe tapar la complejidad física de las capas 1 y 2, permitiendo dar servicios robustos de entrega de mensajes, servicios de seguridad y manejo de prioridades. La robustez subyace en la redundancia a través de conexiones múltiples entre nodos, generando más de un posible camino entre ellos [4]. Respecto a la seguridad, debería brindar distintos niveles de acceso, permitiendo agrupamiento, jerarquías y servicios de directorio – ver [5]– así como también sensibilidad al contexto, permitiendo a las capas superiores conocer en qué estado se encuentran, ya sea por el lugar de la red o por la velocidad de los vínculos que disponen para transmitir (ver [6], [7]). El manejo de prioridades es otro punto fundamental en sistemas militares ya que la precedencia de mensajes es altamente utilizada en este ámbito. Analizando los servicios necesarios, se concluyó que el modelo que mejor se adapta a dicho requerimiento son las redes tipo *Peer to Peer (P2P)*. Estos sistemas brindan estructuras autorganizadas planas – sin jerarquías lógicas–, tipo red neuronal, dando una robustez inigualable a la red lógica, como indican [8] y [9]. Además existen implementaciones ya probadas que, tanto por separado o combinándolas, darían solución a los problemas planteados, ver [10]

¹ NATO Standardization Agreement

y [11]. Para el sistema de C2, esta capa fue denominada ODIN².

Para la capa 4, se piensa implementar una arquitectura orientada a servicios (*Service Oriented Architecture – SOA*) [12], puntualmente siguiendo el concepto de bus de servicios empresariales (*Enterprise Service Bus – ESB*) [13], [14]. La ventaja que presenta esta arquitectura es que enmascara la potencial complejidad de la exposición de servicios, que pueden ser ofrecidos de cualquier lugar, inclusive en situaciones de estaciones móviles durante operaciones militares, y la posibilidad de combinar servicios disponibles para generar nuevos [15] [16], bajo una sola arquitectura ya implementada y resuelta. Además, estos modelos proveen la facilidad de desarrollar utilizando BPEL (*Business Process Execution Language*), un meta-lenguaje que permite establecer reglas de negocio sobre servicios ya existentes de modo gráfico y simple, aumentando la cohesión del sistema [17] [18].

Para terminar de describir el sistema distribuido se encuentra la capa de negocio donde una serie de subsistemas expone servicios que otros consumen. La generalidad de esta capa está pensada *ad hoc* teniendo en cuenta que, tanto los sistemas consumidores como los productores, pueden abarcar desde sistemas informáticos convencionales hasta, por ejemplo, redes de sensores que exponen sus resultados por medio de interfaces informáticas. Además, en esta capa, se van a encontrar otro tipo de sistemas distribuidos, como por ejemplo, sistemas de integración datos con enfoques GAV (*Global As View*), para enmascarar múltiples fuentes de datos; o servicios montados sobre sistemas de *Grid Computing* utilizando herramientas como *Globus Toolkit* o *BOINC*, para dar mayor robustez y capacidad de procesamiento a la nube generada.

De este modo, queda esbozada la arquitectura de alto nivel del sistema de C2 propuesto, a través de una serie de modelos y

² **O**verlay **D**istribution **N**etwork, proyecto de investigación adoptado por el CIDESO para el corriente año.

frameworks altamente distribuidos en todo aspecto.

2 LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO

El objetivo principal del desarrollo de FiSICO² es la prueba de la arquitectura a través de la implementación de los subsistemas que la componen. Se deberá realizar un análisis y selección de productos para integrar las capas 3 y 4 del *framework* propuesto, con especial atención al requerimiento de interoperabilidad y escalabilidad, además de las responsabilidades propias de cada capa.

Respecto a la capa 3, se deberán seleccionar una o más implementaciones de redes P2P que se ajusten a los requerimientos, previo análisis de las disponibles, y proceder al despliegue, prueba y adaptación al problema específico. Un trabajo análogo se debe llevar a cabo con la capa 4, haciendo un relevamiento, selección y prueba de *frameworks* de ESB, implementando finalmente el que más se adapte a los requerimientos.

Más allá de los modelos e implementaciones de dichas capas, es trabajo también del equipo de investigación y desarrollo que lleva adelante este proyecto la sugerencia de arquitecturas, protocolos y estándares en las capas superiores, es decir para la capa 5. Para ello se ha abierto una tercera línea de investigación sobre estándares de interoperabilidad entre sistemas de C2, sistemas de simulación y sistemas de hardware, con el propósito de resolver el problema denominado *hardware in the loop*.

En resumen, se plantean tres líneas de investigación:

1. Análisis, selección, adaptación y despliegue de sistemas P2P para aplicaciones de C2.
2. Análisis, selección, adaptación y despliegue de sistemas ESB para aplicaciones de C2.
3. Arquitecturas, protocolos y estándares para interoperabilidad entre sistemas de C2, sistemas de simulación y subsistemas de hardware.

Vale destacar que, si bien el CIDESO tiene su foco en el ámbito militar, la flexibilidad que se busca dar a la presente investigación hace que la misma exceda dicho ámbito, permitiendo la extensión a cualquier sistema de C2, como podrían ser de tráfico aéreo o de gestión de crisis y catástrofes naturales.

3 RESULTADOS ESPERADOS

El resultado global esperado es la implementación y puesta en marcha de la infraestructura (de la capa 1 a la 4) para el sistema de C2. Puntualmente, y por la división en las distintas líneas de investigación, se espera que, tanto para la capa 3 – sistema P2P – como la 4 – sistema de integración de servicios –:

1. Se desarrolle un análisis exhaustivo de los sistemas disponibles, dando como resultado la propuesta de implementación,
2. Se implemente y adapte el sistema más apto.
3. Se realicen pruebas de integración, seguridad, rendimiento y robustez del sistema.

Una vez implantados ambos sistemas, se deberá hacer un análisis de integración comprobando que la arquitectura genérica cumple con todos los requerimientos, pasando por un proceso de control de calidad (verificación, validación, acreditación y aceptación) para que sea habilitado como un sistema apto para el uso militar.

4 FORMACIÓN DE RECURSOS HUMANOS

El equipo de trabajo principal que desarrollará las líneas de investigación propuestas está compuesto por un ingeniero militar (OIM) especialista en informática, responsable de coordinar las líneas de investigación y desarrollo de elementos no funcionales dentro del proyecto de C2. De él dependen un ingeniero informático con especialidad en infraestructura, sistemas criptográficos y sistemas distribuidos y un licenciado en ciencias de la computación con un perfil apto para modelado computacional e integración de software. En apoyo funcional, se disponen de ingenieros informáticos, analistas de sistemas y estudiantes con distintas

capacidades específicas, como ser modelado y construcción de Sistemas de Información Geográfica (GIS), sistemas distribuidos, aplicaciones móviles, sistemas de simulación de comportamiento organizacional, tecnologías de objetos en diferentes lenguajes, entre otros. Los grupos de colaboración interna están integrados por estudiantes de grado y Analistas Universitarios de Sistemas. Durante 2009 se han continuado los trabajos de investigación colaborativos, realizándose una (1) Tesis de Posgrado (Universidad Politécnica de Milán) y dos (2) Tesinas de Grado (UTN e IESE), todas aprobadas.

Los mencionados investigadores conforman el Equipo Integrado del Proyecto SITEA, el cual se ha organizado con funciones y perfiles apropiados para resolver la complejidad socio – técnica del proyecto, destacándose:

- Planificación y Evaluación del proyecto tecnológico: Jefe de Proyecto (Especialista del dominio del Sistema), Jefe de Desarrollo (OIM Ingeniero en Informática) y Asesor Operativo (Especialista de procesos de negocio del dominio del Sistema).
- Gestión de Ingeniería: Analista del Sistema (OIM Ingeniero en Informática), Arquitecto del Sistema (OIM Ingeniero en Informática), Ingeniero de Desarrollo Funcional (Ingeniero en Informática), Ingeniero de Desarrollo No Funcional (OIM Ingeniero en Informática), Ingeniero de Pruebas y Despliegue (Ingeniero en Informática), Ingeniero de Apoyo (Licenciada en Informática).
- Ingenieros de Productos: Ingeniero de Requerimientos y de Red de Sensores (Ingeniero Electrónico / Ingeniero en Informática), Ingeniero de Aplicaciones Distribuidas y Arquitecto de Software (Ingeniero en Sistemas de Información), Ingeniero de Aplicaciones Móviles (Ingeniero en Sistemas de Información), Ingeniero de Negocios y Arquitecto de Datos (Ingeniero en Sistemas de Información), Ingeniero de Interoperabilidad y Estándares (Ingeniero en Informática – Especialista en Criptografía y Seguridad Teleinformática), Ingeniero de Sistemas de Base e Infraestructura (Licenciado en Computación)

Si bien el CIDESO dispone de investigadores aptos para seguir las líneas propuestas, la colaboración entre laboratorios de informática busca el beneficio de la “sinergia” en I+D y constituye la materialización del aporte al desarrollo científico – tecnológico que el Ejército pretende en bien de la comunidad. Sobre las líneas de investigación propuestas, se buscará colaboración especialmente en la integración de sistemas. Dada la amplitud de sistemas a integrar, desde interfaces para sensores hasta sistemas *legacy* desarrollados en distintos lenguajes de programación y con arquitecturas dispares, se buscarán contactos que posean conocimientos previos en el tema de modo de acortar los tiempos de investigación.

5 BIBLIOGRAFÍA

- [1] Alberts, David S. y Hayes, Richard E., *UNDERSTANDING Command and Control*. s.l.: Command and Control Research Program - DoD.
- [2] US Marine Corps., *Command and Control*. s.l.: United States Government as represented by the Secretary, 1996.
- [3] Doval, Diego y O’Mahony, Donal., "Overlay Networks: A Scalable Alternative for P2P." *Internet Computing - IEEE*, 2003, págs. 79-82.
- [4] Sontag, David, y otros., "Scaling all-pairs overlay routing." Rome, Italy: ACM, 2009. 5th international conference on Emerging networking experiments and technologies. págs. 145-156.
- [5] DeCandia, Giuseppe, y otros., "Dynamo: Amazon’s Highly Available Key-value Store." s.l.: ACM, 2007. XXI ACM SIGOPS symposium on Operating systems principles. págs. 205-220.
- [6] Ittai, Abraham, y otros., "Practical Locality-Awareness for Large Scale." 2005. 4th Intl. Workshop on Peer-to-Peer Systems (IPTPS).
- [7] Pietzuch, Peter, y otros., "Network-Aware Overlays with Network Coordinates." s.l.: IEEE, 2006. 26th IEEE International Conference Workshops on Distributed Computing Systems. pág. 12.
- [8] Christin, N. y Chuang, J., "A cost-based analysis of overlay routing geometries." s.l.: IEEE, 2005. IEEE INFOCOM.
- [9] HP Laboratories., *Peer-to-Peer Computing*. Palo Alto: HP, 2003.
- [10] Chu, Y. H., y otros., "Early deployment experience with an overlay based Internet broadcasting system." 2004. USENIX Annual Technical Conference.
- [11] Vlachos, Vasileios, Androutsellis-Theotokis, Stephanos y Spinellis, Diomidis., "Security applications of peer-to-peer networks." s.l.: *Computer Networks*, 2004, Issue 2, Vol. 45, págs. 195 - 205.
- [12] Schroth, Christoph y Janner, Till., "Web 2.0 and SOA: Converging Concepts Enabling the Internet of Services." s.l.: IEEE Computer Society, 2007.
- [13] Schmidt, M.T., y otros., "The Enterprise Service Bus: Making service-oriented architecture real." s.l.: *IBM SYSTEMS JOURNAL*, 2004, Issue 4, Vol. 44, págs. 781-797.
- [14] Leymann, Frank., "The (Service) Bus: Services Penetrate Everyday Life." s.l.: Springer, 2005. *Service-Oriented Computing - ICSOC 2005*. págs. 12-20.
- [15] Charfi, A. y Mezini, M., "Hybrid Web Service Composition: Business Processes Meet Business Rules." 2004. 2nd International Conference on Service Oriented Computing.
- [16] Orriëns, B., Yang, J. y Papazoglou, M. P., "A Framework for Business Rule Driven Service Composition." 2003. Fourth International Workshop on Conceptual Modeling Approaches for e-Business Dealing with Business Volatility.
- [17] Dobson, Glen., "Using WS-BPEL to Implement Software Fault Tolerance for Web Services." s.l.: IEEE Computer Society, 2006. 32nd EUROMICRO Conference on Software Engineering and Advanced Applications. págs. 126 - 133.
- [18] Courbis, Carine., "Towards an Aspect Weaving BPEL engine." s.l.: ACM, 2004. Third AOSD Workshop on Aspects, Components, and Patterns for Infrastructure.