

ÍNDICE

| | |
|---|-----------|
| 1. INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS..... | 13 |
| 1.1 Introducción..... | 13 |
| 1.2 Objetivos | 15 |
| 2. ESTADO DEL ARTE | 19 |
| 2. 1 Sistemas de Mando y Control..... | 19 |
| 2.1.1 Introducción. El Mando y control: antecedentes. | 19 |
| 2.2 Modelos teóricos de Mando y control..... | 23 |
| 2.3 Nuevos modelos de mando y control. Network Centric Warfare..... | 32 |
| 2.4 Arquitecturas y frameworks para mando y control..... | 54 |
| 2.5 Sistemas para pequeñas unidades. | 56 |
| 2.5.1 sistemas de seguimiento del desembarcado | 57 |
| 2.5.2 Sistemas Friendly Force Tracking (FFT)..... | 59 |
| 2.5.3 Sistemas BattleField Management System (BMS)..... | 60 |
| 3. COMPONENTES TECNOLÓGICOS DE UN C4ISR..... | 65 |
| 3.1 Sistemas de Información Geográfica y Geolocalización..... | 65 |
| 3.1.1 Sistemas de Información Geográfica | 65 |
| 3.1.2 Sistemas de localización | 68 |
| 3.2 Sistemas de Tiempo Real | 72 |
| 3.3 Codificación de video | 76 |
| 3.4 Sistemas de comunicaciones en entornos tácticos..... | 78 |
| 3.4.1 Comunicaciones tácticas..... | 78 |
| 3.4.1.1 Comunicaciones HF | 78 |
| 3.4.1.2 Comunicaciones VHF | 79 |
| 3.4.1.3 Comunicaciones UHF | 80 |
| 3.4.1.4 Comunicaciones satélite..... | 80 |
| 3.4.2 Comunicaciones civiles | 81 |
| 3.4.2.1 Wireless lan 802.11 | 81 |
| 3.4.2.2 Bluetooth..... | 83 |
| 3.4.2.3 WiMAX | 84 |
| 3.5 Replicación de la información en entornos tácticos..... | 86 |
| 3.6 Interoperabilidad en sistemas de mando y control..... | 90 |
| 3.6.1 Compresión en entornos tácticos. Compresión NFFI | 93 |
| 3.7 Arquitecturas distribuidas orientadas a servicio y publish-subscribe. | 95 |
| 3.7.1 Taxonomía | 95 |
| 3.7.2 arquitecturas Publish/subscribe..... | 97 |
| 3.7.3 arquitecturas Event-driven..... | 100 |

| | |
|---|------------|
| 4. DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UNA ARQUITECTURA DE MANDO Y CONTROL PARA PEQUEÑAS UNIDADES..... | 103 |
| 4.1 Introducción..... | 103 |
| 4.2 Arquitectura global propuesta | 106 |
| 4.2.1 Arquitectura de red | 107 |
| 3.2.2 Arquitectura Software..... | 112 |
| 4.3 Modelo de datos..... | 118 |
| 4.4 Sistema desembarcado | 121 |
| 4.4.1 Implementación basada en Single Board Computer (SBC)..... | 121 |
| 4.4.1.1 Descripción global | 121 |
| 4.4.1.2 Componentes de la arquitectura propuesta..... | 125 |
| 4.4.1.2.1 Sistemas embebidos utilizados..... | 125 |
| 4.3.1.2.2 Sensores | 128 |
| 4.3.1.2.2.1 Biosensores: Electrocardiograma y temperatura | 128 |
| 4.3.1.2.2.2 GPS | 130 |
| 4.3.1.2.2.3 Sensores de vídeo | 130 |
| 4.3.1.2.2.3 Sistema de Información Geográfica (SIG) | 132 |
| 4.3.1.3 Replicación de la información. | 133 |
| 4.4.2 Implementación basada en radios personales MESH. | 134 |
| 4.4.3 Implementación basada en PDA..... | 136 |
| 4.5 Sistema de seguimiento de fuerzas propias | 139 |
| 4.5.1 Arquitectura y descripción general | 139 |
| 4.5.2 Interfaz de usuario y aplicación | 147 |
| 4.5.3 Esquemas de replicación de datos en el sistema de seguimiento de fuerzas propias | 149 |
| 4.6 Interoperabilidad a nivel táctico | 159 |
| 4.6.1 Interoperabilidad vertical. Conexión con el COE | 159 |
| 4.6.2 Interoperabilidad horizontal. Estándar NFFI. | 160 |
| 4.6.2.1 Compresión NFFI | 167 |
| 4.7 Aspectos de tiempo real..... | 174 |
| 4.7.1 Evaluación previa | 174 |
| 4.7.2 Solución implementada | 181 |
| 4.7.2.1 Caso de la configuración desembarcada | 181 |
| 4.7.2.2 Caso de la configuración vehicular | 183 |
| 5. VALIDACIÓN DE LA ARQUITECTURA..... | 186 |
| 5.1 Introducción..... | 186 |
| 5.2 Pruebas llevadas a cabo | 188 |
| 5.2.1 Demostración del sistema SIMACOP en el ejercicio CWID nacional 2006. | 188 |
| 5.2.2 pruebas UME 2007 y Academia de Infantería de Toledo de la versión basada en radios personales MESH..... | 194 |
| 5.2.3 Pruebas CWID Internacional 2007..... | 198 |
| 5.2.4 Integración del sistema SIMACOP en el demostrador del proyecto europeo MARIUS | 201 |
| 5.2.5 Pruebas JCISyAT Marines Abril 2008 | 206 |
| 5.2.6 Pruebas maniobras Chinchilla Mayo 2008 | 211 |
| 5.2.7 Proyecto Europeo CITRINE..... | 213 |
| 5.2.8 Pruebas CWID internacional, Lillehammer, Junio de 2008 | 215 |
| 5.2.9 Pruebas EPCIS Septiembre 2008..... | 218 |
| 5.2.10 Integración del sistema con Unmanned aerial Vehicles (UAV). | 221 |
| 5.2.11 Conclusiones de la validación..... | 223 |

| | |
|---|------------|
| 6. CONCLUSIONES Y TRABAJO FUTURO | 225 |
| 6.1 Conclusiones..... | 225 |
| 6.2 Trabajo futuro | 228 |
| 7. REFERENCIAS..... | 230 |

INDICE DE FIGURAS

| | |
|--|-----|
| Figura 1: Bucle OODA simple | 23 |
| Figura 2: Bucle OODA completo | 24 |
| Figura 3: Modelo de SA según Endsley | 27 |
| Figura 4: Modelo interaccionista de Endler-Mischel | 29 |
| Figura 5: Esquema de mando y control Network Centric Warfare | 32 |
| Figura 6: Calidad del mando y control | 38 |
| Figura 7: Dominios de mando y control | 39 |
| Figura 8: Elaboración de conocimiento en cada dominio | 40 |
| Figura 9: Comprensión de la situación | 40 |
| Figura 10: Generación de efectos en el dominio físico | 41 |
| Figura 11: Conciencia compartida | 41 |
| Figura 12: Colaboración y sincronización | 42 |
| Figura 13: Dominios de NCW y su interrelación | 42 |
| Figura 14: Situación de información | 44 |
| Figura 15: Conflicto simétrico: BLUE tiene mejor situación de información | 44 |
| Figura 16: Conflicto asimétrico: BLUE mantiene su posición de información pero RED tiene mejor “situación” porque necesita mucha menos información que BLUE | 45 |
| Figura 17: C2 clásico vs. C2 ágil. Dimensiones: centralización de los derechos de decisión, capacidad de la interacción y distribución de la información | 47 |
| Figura 18: C2 clásico vs. C2 ágil. Dimensiones: familiaridad, velocidad de cambio, necesidades de información | 48 |
| Figura 19: C2 centralizado vs. C2 descentralizado. Dimensiones: familiaridad, dinamismo de las situaciones, fortaleza de la posición de información | 48 |
| Figura 20: Framework C4ISR | 55 |
| Figura 21: Taxonomía de los sistemas de mando y control de pequeña unidad. | 57 |
| Figura 22: NFFI SIP3 modo Pull | 92 |
| Figura 23: NFFI SIP3 modo suscripción | 92 |
| Figura 24: Arquitectura LTIS | 93 |
| Figura 25: Modelo Orientado a mensajes | 95 |
| Figura 26: Modelo orientado a servicio | 96 |
| Figura 27: Modelo Orientado a recursos | 96 |
| Figura 28: Modelo orientado a las políticas de operación | 97 |
| Figura 29: Arquitectura global propuesta | 107 |
| Figura 30: Arquitectura global con inclusión de redes de sensores | 109 |
| Figura 31: Distintas subredes constituyentes | 110 |
| Figura 32: Arquitectura software propuesta | 114 |
| Figura 33: Integración de sensores en la arquitectura | 117 |

| | |
|---|-----|
| Figura 34: Esquema del modelo de datos en la versión militar | 119 |
| Figura 35: Esquema del modelo de datos en la versión civil | 119 |
| Figura 36: Esquema de las tablas utilizadas | 120 |
| Figura 37: Solución basada en SBC | 122 |
| Figura 38: Arquitectura software y flujos implicados | 123 |
| Figura 39: Distintos niveles de la aplicación desarrollada | 124 |
| Figura 40: Solución SBC con cámara | 127 |
| Figura 41: Esquema del funcionamiento software del ECG | 129 |
| Figura 42: Esquema de funcionamiento del software de GPS | 130 |
| Figura 43: Esquema de funcionamiento del software de vídeo | 131 |
| Figura 44: Esquema del funcionamiento de la aplicación cartográfica | 132 |
| Figura 45: Modos de funcionamiento autosincronizado (izquierda) y jerárquico (derecha) | 133 |
| Figura 46: Esquema de red con red mallada | 134 |
| Figura 47: Arquitectura del sistema con PDA desembarcadas | 136 |
| Figura 48: Aplicación SIMACOP en funcionamiento en PDA | 137 |
| Figura 49: Arquitectura orgánica e inter-nodo del sistema (Ejemplo) | 140 |
| Figura 50: Arquitectura general de la solución vehicular | 143 |
| Figura 51: Arquitectura software intra-nodo | 145 |
| Figura 52: Interfaz principal del GUI | 147 |
| Figura 53: PR4G IPMUX 2 estaciones 10 bytes PDU | 149 |
| Figura 54: PR4G IPMUX 2 estaciones 50 bytes PDU | 150 |
| Figura 55: PR4G IPMUX 2 estaciones 100 bytes PDU | 150 |
| Figura 56: PR4G IPMUX 2 estaciones 500 bytes PDU | 151 |
| Figura 57: PR4G IPMUX N estaciones 10 bytes PDU | 152 |
| Figura 58: PR4G IPMUX N estaciones 50 bytes PDU | 152 |
| Figura 59: PR4G IPMUX N estaciones 100 bytes PDU | 153 |
| Figura 60: PR4G IPMUX N estaciones 500 bytes PDU | 153 |
| Figura 61: Ancho de banda experimentado (1 transmisión en la malla) | 154 |
| Figura 62: Ancho de banda experimentado (varias transmisiones en la malla) | 155 |
| Figura 63: Limitación de las comunicaciones y ‘clusterización’ por niveles jerárquicos en la operativa | 157 |
| Figura 64: Comunicación entre nodos adyacentes jerárquicamente | 158 |
| Figura 65: Interoperabilidad vertical del sistema SIMACOP | 159 |
| Figura 66: Campo positionalData | 161 |
| Figura 67: Campo identificationData | 162 |
| Figura 68: Campo operationalStatusData | 162 |
| Figura 69: Campo deviceSpecificData | 163 |
| Figura 70: Campo detailData | 163 |

| | |
|--|-----|
| Figura 71: Mensaje NFFI | 164 |
| Figura 72: Comunicación NFFI | 165 |
| Figura 73: Tasa de compresión para el conjunto de muestras MIN | 168 |
| Figura 74: Resultados de compresión para la muestra MIN | 169 |
| Figura 75: Tasa de compresión para el conjunto de muestras MED | 170 |
| Figura 76: Resultados de compresión para la muestra MED | 170 |
| Figura 77: Tasa de compresión para el conjunto de muestras MAX | 171 |
| Figura 78: Resultados de compresión para la muestra MED | 172 |
| Figura 79: Resultados de compresión para los tres conjuntos, MIN, MED y MAX | 172 |
| Figura 80: Esquema de funcionamiento de los sistemas Linux de tiempo real | 175 |
| Figura 81: TX datos GPS baja tasa, TR vs. NRT | 176 |
| Figura 82: TX datos GPS+ biomed (tasa media), TR vs. NRT | 177 |
| Figura 83: TX datos GPS+ biomed (tasa alta), TR vs. NRT | 178 |
| Figura 84: TX datos vídeo (tasa media), TR vs. NRT | 179 |
| Figura 85: TX datos vídeo (tasa alta), TR vs. NRT | 180 |
| Figura 86: Colas de prioridad solución SBC | 181 |
| Figura 87: Colas de prioridad solución mallada | 182 |
| Figura 88: Capa de adaptación de flujos | 184 |
| Figura 89: Elementos integrantes del demostrador | 188 |
| Figura 90: Esquema de la demostración MODO AUTOSINCRONIZADO | 189 |
| Figura 91: Esquema de la demostración MODO JERARQUICO | 189 |
| Figura 92: Equipamiento de unidad individual | 190 |
| Figura 93: Vehículo de comunicaciones Rioja | 190 |
| Figura 94: Puesto de mando y control de nivel de secciones (izquierda) y segundo nivel de sección/pelotones (derecha) | 191 |
| Figura 95: Vídeo de alta calidad en los puestos de mando | 192 |
| Figura 96: Esquema de las pruebas llevadas a cabo en la UME | 194 |
| Figura 97: Aspecto del HQ de la UME, denominado JOC, con la aplicación SIMACOP en funcionamiento | 195 |
| Figura 98: Aplicación SIMACOP mostrando la posición y el vídeo en vivo | 195 |
| Figura 99: Aplicación SIMACOP junto con otras en el JOC | 196 |
| Figura 100: Sistema completo con cámara y radio Spearnet | 196 |
| Figura 101: Vehículo de comunicaciones Mérida con enlace satélite | 197 |
| Figura 102: Interoperabilidad NFFI y conexión a SIMACET-COE | 198 |
| Figura 103: Arquitectura general del proyecto MARIUS | 201 |
| Figura 104: Escenario de pruebas | 202 |
| Figura 105: Cámara en el casco ignífugo | 203 |
| Figura 106: Detalle del SBC en el equipamiento de los bomberos | 203 |

| | |
|--|-----|
| Figura 107: Consolas del puesto de mando una vez desembarcadas | 204 |
| Figura 108: Escenario de la demostración | 204 |
| Figura 109: Helicóptero con sistema MARIUS aerotransportado | 205 |
| Figura 110: UAV con cámara para la inspección de túneles | 205 |
| Figura 111: Exteriores vehículo VECA | 205 |
| Figura 112: Interior vehículo VECA | 205 |
| Figura 113: Esquema de mallas para la configuración completa de VHF | 206 |
| Figura 114: Escenario satélite completo | |
| Figura 115: Escenario completo | 209 |
| Figura 116: Vehículos Aníbal con antenas para PR4G V3 | 209 |
| Figura 117: Aplicación en videowall | 210 |
| Figura 118: Despliegue completo de Vehículos Aníbal implicados | 210 |
| Figura 119: Vehículo de comunicaciones Mercurio con antena NVIS (Near Vertical Incident Skywave) para medios radio HF | 210 |
| Figura 120: Vehículos de caballería con vehículos ligeros de transmisiones empotrados | 211 |
| Figura 121: Sustitución del sistema de mando y control ‘de pared’ por uno CIS | 212 |
| Figura 122: Arquitectura general del proyecto CITRINE | 213 |
| Figura 123: Pruebas BFSAN-NC3A sobre SIP3 en CWID 2008 | 215 |
| Figura 124: ORBAT del escenario CWID 2008 | 216 |
| Figura 125: Operaciones del escenario CWID 2008, día 5 | 216 |
| Figura 126: Arquitectura Global llevada a cabo en las EPCIS | 218 |
| Figura 127: Arquitectura de video | 219 |
| Figura 128: Captura de la integración de video | 220 |
| Figura 129: Captura de la integración de video ampliado y con GIS sinóptico | 220 |
| Figura 130: Esquema de la prueba con UAV | 221 |
| Figura 131: Captura de la aplicación con vídeo del UAV | 222 |

INDICE DE TABLAS

| | |
|---|-----|
| Tabla 1: Comparativa de form-factors en PCs embebidos | 126 |
| Tabla 2: Características del SBC utilizado | 127 |
| Tabla 3: Footprint para distintas soluciones de SO | 128 |
| Tabla 4: Características del hardware utilizado (PDA) | 137 |
| Tabla 5: Requisitos hardware en Sistema de Seguimiento de Fuerzas Propias | 146 |
| Tabla 6: Estadísticos para el retardo con 2 estaciones PR4G | 151 |
| Tabla 7: Estadísticos para el retardo con N estaciones PR4G | 154 |
| Tabla 8: Estadísticos para la tasa de compresión en el conjunto de muestras MIN | 168 |
| Tabla 9: Estadísticos para la tasa de compresión en el conjunto de muestras MED | 169 |
| Tabla 10: Estadísticos para la tasa de compresión en el conjunto de muestras MAX | 171 |
| Tabla 11: Estadísticos para el prototipo NRT datos GPS baja tasa | 176 |
| Tabla 12: Estadísticos para el prototipo RT datos GPS baja tasa | 176 |
| Tabla 13: Estadísticos para el prototipo NRT datos GPS + biomed tasa media | 177 |
| Tabla 14: Estadísticos para el prototipo RT datos GPS + biomed tasa media | 177 |
| Tabla 15: Estadísticos para el prototipo NRT datos GPS + biomed tasa alta | 178 |
| Tabla 16: Estadísticos para el prototipo RT datos GPS + biomed tasa alta | 178 |
| Tabla 17: Estadísticos para el prototipo NRT y RT TX vídeo tasa media | 179 |
| Tabla 18: Estadísticos para el prototipo NRT y RT TX vídeo tasa alta | 180 |
| Tabla 19: Colas de prioridad en la solución desembarcada con SBC | 182 |
| Tabla 20: Colas de prioridad en la solución desembarcada integrada en las radios ITT | 183 |
| Tabla 21: Resumen de la evaluación de las pruebas en las que ha participado SIMACOP | 199 |
| Tabla 22: Lista de medidas de desarrollo o Measures of Performance (MoP) | 200 |