

centrales térmicas o refinerías de petróleo, o contra buques.

En estos entornos, los sistemas de detección, seguimiento y localización de amenazas que incorporan sensores que miden diferentes influencias presentan una clara ventaja sobre los sistemas de detección que se basan en un único sensor, sobre la base del aumento de la probabilidad de detección y la disminución de la probabilidad de falsa alarma, con lo que se incrementa la efectividad en la protección.

En el ámbito medioambiental, este tipo de sistemas también han demostrado su efectividad en la vigilancia de espacios protegidos, como reservas naturales marinas, y bienes culturales como pecios y restos arqueológicos submarinos, como protección ante accesos no deseados y son la base de proyectos para el estudio y la preservación medioambiental.

Los resultados obtenidos en el proyecto SIRAMIS hasta el momento se muestran como ampliamente positivos, a pesar de la complejidad de los procesos llevados a cabo por el número de sistemas de medida empleados, los diferentes entornos operativos seleccionados y el número de parámetros analizados. La cooperación internacional está mostrando su efectividad en



Fig. 5. Daño causado por una mina iraní el 14 de abril de 1988 en el Golfo Pérsico. (Fuente: U.S. Navy).

términos de relación coste-beneficio y utilización de protocolos comunes. Finalmente señalar que durante el pasado 53º Congreso de Ingeniería Naval e Industria Marítima celebrado en Cartagena entre los días 8 y 10 de octubre se presentó un artículo referente a este proyecto, siendo meritorio del primer premio, lo cual nos lleva a constatar la importancia del tema tratado.

Referencias

Análisis de la respuesta a firmas en minas multi- influencia, 53º Congreso de Ingeniería Naval e Industria Marítima, Cartagena, España.

Análisis en tiempo real del estrés del combatiente

²Sagrario Alonso Díaz, ¹Lorena Álvarez, ²Manuel Bernal Guerrero, ⁴Liliana Díaz Gracia, ²Dolores Fernández Martínez, ^{1,3}Javier Ferreira, ¹Roberto Gil Pita, ¹Inma Mohíno Herranz, ⁴Bernardo Moreno Jiménez, ⁴Raquel Rodríguez Carvajal, ¹Manuel Rosa Zurera, ^{1,3}Fernando Seoane, ²Carmen Ybarra

(¹ Departamento de Teoría de la Señal y Comunicaciones. Universidad de Alcalá, ² Instituto Tecnológico "La Marañosa". Ministerio de Defensa, ³ Escuela de Ingeniería. Universidad de Borås, ⁴ Universidad Autónoma de Madrid)

Palabras clave: factores humanos, ergonomía, sensores biomédicos.

Metas Tecnológicas relacionadas: MT 4.3.1.

Introducción

Según la Organización Mundial de la Salud, el estrés es "la respuesta no específica del organismo a toda demanda que se le haga". Es decir que, ante una determinada demanda o exigencia –bien sea externa o interna–, el organismo va a responder con la misión de satisfacer las necesidades metabólicas del organismo ante aquella. Ahora bien, la cuestión que se plantea es si la respuesta que el organismo genera ante un determinado requerimiento es adecuada y adaptativa, en el sentido de que le permita afrontar/resolver la situación con éxito para volver a recuperar posteriormente el estado de activación basal o de partida.

Los miembros de las fuerzas armadas expuestos a numerosas situaciones límites, experimentan reacciones físicas y emocionales que no presentan normalmente en otras circunstancias.

En ocasiones, algunas reacciones pueden resultar de gran ayuda, ya que agudizan o potencian habilidades para sobrevivir y son adaptativas. Sin embargo, otras reacciones pueden producir comportamientos perjudiciales o negativos y amenazar la seguridad individual o de la unidad. Estos comportamientos adversos, denominados globalmente *reacciones al estrés en combate*, tienen influencia directa en la seguridad y el éxito de la misión.

Debido a estas reacciones o comportamientos adversos, resultaría interesante que tanto el combatiente como el líder de su unidad pudieran reconocer los estados de estrés y, si fuera posible, intervenir con celeridad para la seguridad y beneficio del combatiente y de la unidad.

Con el objetivo de detectar dichas reacciones se ha desarrollado el proyecto ATREC, que ha tratado

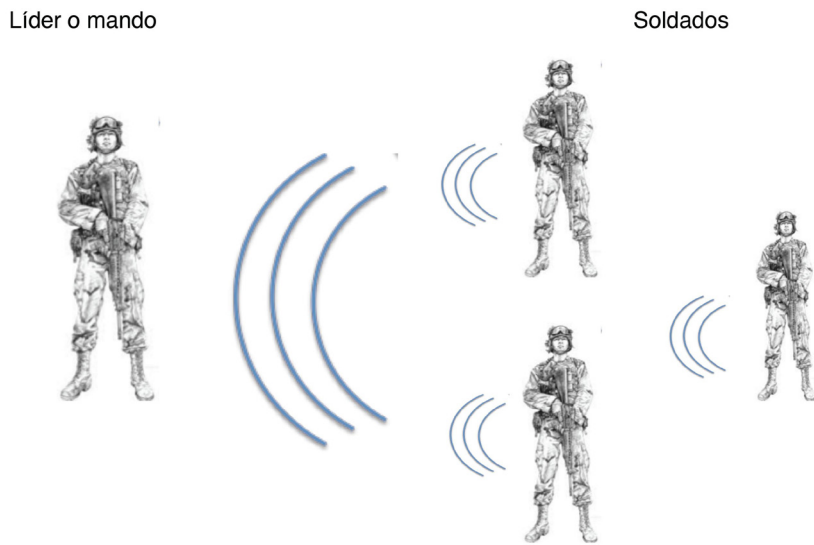


Fig. 1. Esquema general del sistema completo. (Fuente: Universidad de Alcalá).

de buscar soluciones tecnológicas al análisis en tiempo real del estado físico, emocional y mental del estrés. Dada la diversidad de situaciones en las que un combatiente puede desempeñar su misión, y que las exigencias de dichas situaciones podrían requerir tanto respuestas de tipo físico como cognitivo, se planteó desde un principio la duda razonable de la capacidad de la cual podría dotarse al dispositivo para discriminar entre algunos tipos de respuesta diferenciada de estrés, sobre la base de la señal cardíaca, respiratoria, temperatura y respuesta galvánica de la piel. Así, el reto era que pudiera darse la misma respuesta fisiológica en situaciones de mero estrés físico y otro tipo de situaciones en las que la exigencia fuera de tipo cognitivo o fuera esperable alguna reacción emocional (tristeza, ira, asco, etc.).

El proyecto, cofinanciado por el programa COINCIDENTE del Ministerio de Defensa y la Universidad de Alcalá, ha contado durante dos años con la participación de investigadores de múltiples y dispares disciplinas, cubriendo desde los aspectos médicos y psicológicos hasta el diseño electrónico de

biosensores textiles o el procesamiento de datos mediante técnicas de inteligencia artificial. El principal objetivo de estas investigaciones ha sido la creación de un dispositivo realizado con textiles inteligentes con funcionalidades para el análisis, registro y envío de información sobre las distintas señales biológicas relacionadas con la respuesta al estrés de cada usuario. De esta manera, la solución técnica diseñada permite el seguimiento a distancia mediante una unidad móvil de la respuesta de estrés. La figura 1 muestra una escenificación del funcionamiento general del sistema, en el que se observa cómo el líder o mando de la unidad recibe información sobre el estado de estrés de los miembros de su unidad vía Wi-Fi.

Para llevar a cabo la tarea principal se realizó una exhaustiva revisión bibliográfica para conocer las posibles señales fisiológicas con información relevante con respecto al nivel de estrés. Las señales seleccionadas fueron la señal eléctrica del corazón, la impedancia torácica, la respuesta galvánica de la piel y la temperatura periférica del sujeto bajo estudio.

Para adquirir las señales eléctricas

mencionadas se utilizó una tecnología en auge, como son los llamados textiles inteligentes. Estos engloban los materiales o prendas de vestir que, debido a su estructura y/o composición, pueden detectar y reaccionar ante estímulos originados en su entorno. Los avances significativos obtenidos en el campo de los sensores textiles, y más específicamente en los electrodos textiles conocidos como *textrodos*, fomentan que los sistemas de monitorización basados en estos sensores sirvan, por ejemplo, como alternativa para la vigilancia dentro de Unidades de Cuidados Intensivos Neonatales (UCIN).

Las prendas que han sido fabricadas a lo largo del proyecto ATREC están compuestas por varios *textrodos* de este tipo. Así, los *textrodos* van dispuestos en la prenda de manera que la detección de las señales bajo estudio sea lo más eficiente posible. La información es registrada por un dispositivo hardware y enviada mediante tecnología *bluetooth* a un teléfono inteligente o *smartphone*, el cual es el encargado de procesar las señales recibidas y ofrecer una alarma en función del tipo de estrés que el sistema detecte.

Fases del proyecto

El proyecto ATREC ha constado de dos fases principales en su desarrollo. En la primera fase se realizó el estudio de las señales fisiológicas y la fabricación del primer sistema acorde con dichas señales, de cara a realizar un análisis de viabilidad para el diseño del prototipo final. En la segunda fase se fabricó el sistema final, empleando las tecnologías identificadas como de interés en la primera fase. De manera paralela a estas fases, se fueron realizando numerosos experimentos para testar el funcionamiento de los sistemas fabricados.

Fase I: Pruebas iniciales de estrés y análisis de las bioseñales

Una vez realizada la revisión bibliográfica se establecieron las señales que más información contenían para detectar niveles de estrés. De acuerdo con la selección realizada, se llevó a cabo la fabricación de un sistema que permitía el registro sincrónico y simultáneo de todas estas señales, con la posibilidad de establecer

diferentes configuraciones en el posicionamiento de los electrodos. Se fabricaron tres subsistemas diferentes: un sistema de adquisición en el tórax, otro en el brazo, y el tercero en la mano.

El sistema de adquisición en el tórax era un arnés, el cual era el encargado de proporcionar información con respecto a la señal cardíaca y la impedancia torácica. Este sistema, compuesto por 6 electrodos textiles, permitía situar los distintos electrodos en diferentes posiciones a lo largo del tórax.

El sistema de medida del brazo era un brazalete cuyo objetivo principal era registrar la respuesta galvánica de la piel mediante 4 textrodos de tamaño reducido, la temperatura periférica y la temperatura ambiente. El propósito de medir la resistencia galvánica de la piel es debido a que los sentimientos generan cambios en la resistencia eléctrica de la piel de los que son responsables las glándulas sudoríparas.

La tercera y última prenda fue un guante con la misma funcionalidad

que el brazalete, que se fabricó debido a que la información proporcionada por los dedos de la mano es más relevante de cara al estudio de las reacciones psicológicas y emocionales que la obtenida en el brazo.

En la figura 2 es posible observar el sistema completo fabricado en la fase I.

Con el sistema fabricado en la Fase I se realizaron numerosos experimentos, tanto encaminados a determinar la configuración óptima de los electrodos para la toma de medidas, como a establecer la importancia de cada medida en el análisis de los distintos tipos de estrés.

Este primer experimento fue realizado en la Escuela Politécnica Superior de la Universidad de Alcalá, con 60 estudiantes. Durante una hora y media se tomó registro de las bioseñales, sometiendo a los participantes a distintos niveles de estrés emocional, mental y físico, mediante la realización de diferentes tareas. Para generar estrés emocio-

nal se les sometía a la visualización de videos con cargas emocionales elevadas, donde las emociones predominantes eran la tristeza, la ira y el asco. Respecto al estrés mental, éste era generado mediante dos videojuegos, uno basado en cálculo mental rápido, y otro en juegos de destreza visual, donde la dificultad se adaptaba a las respuestas y rendimiento de cada participante, de modo que se estuviera en todo momento jugando al límite de sus propias capacidades. Por último, el estrés físico se obtuvo mediante el ejercicio de subir y bajar escaleras durante 5 minutos.

Dichos experimentos permitieron establecer la disposición óptima de los electrodos, así como un conjunto reducido de medidas y parámetros de interés para el análisis de la tipología de estrés. El uso de algoritmos genéticos y de redes neuronales permitió diseñar sistemas de clasificación de estrés automático con un número reducido de parámetros extraídos de las señales analizadas. De esta manera, se desecharon las señales adquiridas en el brazo y en la mano, por contener baja información, y se seleccionaron la impedancia torácica y la señal eléctrica del corazón como medidas más relevantes. Con estas dos señales, el sistema basado en redes neuronales era capaz de discernir entre los distintos tipos de estrés de una manera muy satisfactoria, con tasas de reconocimiento superiores al 80%.

Fase II: Diseño del sistema final y pruebas de validación

A partir de los resultados obtenidos en la Fase I, se pudo diseñar un demostrador para pruebas de campo. El sistema final es un chaleco como el que se muestra en la figura 3, en la cual se puede observar la vista de frente y la parte posterior del mismo. Consta de cuatro textrodos, dispuestos de manera que la medición sea lo más eficiente posible.

Para el desarrollo final, se dotó al sistema de numerosas mejoras, como es la conexión *bluetooth* del dispositivo con un *smartphone*, el cual es el encargado de enviar la información vía Wi-Fi directamente al mando de la unidad. Además el sistema dispone de una aplicación software encargada de visualizar los resultados, es decir,



Fig. 2. Sistema completo Fase I. (Fuente: Universidad de Alcalá).



Fig. 3. Demostrador tecnológico o chaleco. Fase II. (Fuente: Universidad de Alcalá).

los niveles de estrés detectados, así como los parámetros biológicos más relevantes, como las pulsaciones por minuto o la tasa respiratoria.

Una vez diseñado el sistema, se fabricaron 25 demostradores, que permitieron realizar pruebas de campo en tres experimentos: dos con personal civil, y uno con personal militar.

El primer experimento con personal civil se realizó en las instalaciones deportivas de la Universidad de Alcalá. El fundamento básico de este experimento se basaba en la monitorización del estrés de escaladores mientras realizaban ascensiones de diferente dificultad en el rocódromo de la universidad. El objetivo principal de este experimento se centra en exponer al sujeto no solamente a estrés físico producido por el esfuerzo sino además al estrés emocional que implica la escalada, así como al estrés mental debido a la concentración en la realización de los movimientos durante la ascensión.

El segundo estudio con personal civil se realizó en las instalaciones del Instituto Tecnológico “La Marañosa” (ITM), con un grupo de TEDAX (Técnicos Especialistas en Desactivación de Artefactos Explosivos) del Cuerpo Nacional de Policía, que llevó a cabo la detonación controlada de un artefacto explosivo. Durante la realización del ejercicio se monitorizó a dos de los participantes, directamente implicados en la tarea. A través del sistema realizado, se pudo estimar el nivel de estrés al que estuvieron ambos sometidos durante la realización de la prueba, así como “la cantidad” de estrés emocional, mental y físico que tenían en cada instante del ejercicio.

Por último, el experimento con personal militar fue realizado con miembros de la Guardia Civil en las instalaciones del ITM, durante unos ejercicios de entrenamiento de tiro. Durante dichos ejercicios, seis guardias realizaron distintos ejercicios de tiro con diferentes tipos de armas, tanto en estático como en

movimiento. La monitorización con el demostrador permitió establecer los niveles de estrés físico, emocional y mental de cada individuo a lo largo de las pruebas.

Conclusiones y líneas futuras

A fecha de hoy, los objetivos planteados en el proyecto ATREC han sido cumplidos en su totalidad, y el proyecto ha finalizado con éxito. Además, el consorcio investigador formado gracias al proyecto sigue realizando investigaciones en la misma línea, con el objeto de realizar adaptaciones de la tecnología para problemáticas concretas, como son los programas de selección de personal, así como los programas de técnicas de autocontrol y profesiones de riesgo como mineros y buceadores. El grupo investigador continúa también el avance en el campo tecnológico, buscando la integración de técnicas de análisis de electroencefalograma, susceptibles de ser implementadas en el casco del combatiente del futuro.