

Jornadas de Automática

Sistema de atención bioinspirado para la gestión dinámica de estímulos en un robot mascota

Jesús García-Martínez , Arecia Segura-Bencomo , Marcos Maroto-Gómez , Juan Rodríguez-Huelves , José Carlos Castillo , Álvaro Castro-González 

Departamento de Ingeniería de Sistemas y Automática, Universidad Carlos III de Madrid. Avenida de la Universidad, 30. 28911 Leganés, Madrid. España.

To cite this article: García-Martínez, Jesús, Segura-Bencomo, Arecia, Maroto-Gómez, Marcos, Rodríguez-Huelves, Juan, Castillo, José Carlos, Castro-González, Álvaro. 2025. Bio-Inspired Attention System for Dynamic Stimulus Management in a Pet Robot. Jornadas de Automática, 46. <https://doi.org/10.17979/ja-cea.2025.46.12063>

Resumen

Los robots mascotas están diseñados para fomentar vínculos afectivos a través del contacto físico, lo que los convierte en plataformas especialmente sensibles a estímulos táctiles y de movimiento. Por tanto, esta riqueza sensorial puede generar situaciones de sobreestimulación cuando múltiples sensores se activan de forma simultánea, provocando respuestas incoherentes por parte del robot. En este artículo abordamos esta problemática presentando el Sistema de Atención Bioinspirado (SABI), una arquitectura de percepción diseñada para gestionar y priorizar dinámicamente estímulos en tiempo real. El SABI se inspira en dos mecanismos cognitivos humanos: la inhibición de retorno, que reduce la importancia de los estímulos previamente atendidos, y la fatiga atencional, que penaliza la aparición repetida de estímulos de la misma tipología. Dicho módulo constituye el sistema de percepción del robot social Mia, permitiéndole seleccionar el estímulo más relevante en cada momento en función de un ranking de prioridades. Los resultados obtenidos en un escenario real de interacción muestran que el SABI mejora la capacidad del robot para filtrar señales redundantes y responder de forma coherente al contexto afectivo, favoreciendo una interacción más fluida y natural.

Palabras clave: Robótica social, Atención, Robot mascota, Interacción humano-robot, Sistemas multimodales, Percepción

Bio-Inspired Attention System for Dynamic Stimulus Management in a Pet Robot

Abstract

Pet robots are designed to promote bonding through physical contact, which makes them particularly sensitive platforms for tactile and movement stimuli. Therefore, this sensory richness can lead to overstimulation situations when multiple sensors are activated simultaneously, causing incoherent responses from the robot. This paper addresses this problem by presenting the Bio-inspired Attention System (SABI, from its initials in Spanish), a perception architecture designed to manage and prioritise stimuli dynamically in real time. The SABI is inspired by two human cognitive mechanisms: inhibition of return, which reduces the importance of previously attended stimuli, and attentional fatigue, which penalises the repeated occurrence of stimuli of the same type. This module constitutes the perception system of the Mia social robot, allowing it to select the most relevant stimulus at any given moment according to a ranking of priorities. The results of a real interaction scenario show that the SABI improves the robot's ability to filter redundant signals and respond coherently to the affective context, favouring a more fluid and natural interaction.

Keywords: Social robots, Attention, Pet robot, Human-robot interaction, Multimodal system, Perception

*Jesús García-Martínez: jesusgar@ing.uc3m.es
Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International (CC BY-NC-SA 4.0)

Correos electrónicos: jesusgar@ing.uc3m.es (Jesús García-Martínez , arsegura@pa.uc3m.es (Arecia Segura-Bencomo , marmorot@ing.uc3m.es (Marcos Maroto-Gómez , jrhuvel@pa.uc3m.es (Juan Rodríguez-Huelves , jocastil@ing.uc3m.es (José Carlos Castillo , acgonzal@ing.uc3m.es (Álvaro Castro-González ))

1. Introducción

La robótica social se centra en el diseño, desarrollo y evaluación de robots capaces de interactuar con humanos de manera natural en contextos sociales. Este campo incluye el estudio tanto de aspectos tecnológicos como de aspectos sociales, psicológicos y éticos relacionados con la aceptación, confianza y calidad de la interacción (Breazeal et al., 2016). Uno de los enfoques emergentes en la robótica social es el diseño de robots que promuevan el desarrollo de vínculos afectivos con los usuarios mediante la interacción física. Estos robots tienen como objetivo ser empleados principalmente en contextos terapéuticos, asistenciales o educativos (Wada and Shibata, 2008)¹. Los robots mascota suelen caracterizarse por poseer una apariencia amigable y atractiva para el usuario, una textura agradable al tacto y capacidad para responder de forma empática. Este diseño favorece interacciones cercanas a través de abrazos, caricias u otras formas de contacto emocional (Goris et al., 2009).

Para gestionar adecuadamente estas interacciones, es importante que el robot cuente con una arquitectura de percepción robusta que sea capaz de detectar y procesar con precisión los estímulos físicos. La mayoría de los robots mascotas presentes en la literatura como PARO (Wada and Shibata, 2008) o *Huggable* (Stiehl et al., 2006) disponen de sensores táctiles distribuidos en su superficie y de otros módulos sensoriales como acelerómetros o micrófonos. Sin embargo, esta riqueza sensorial puede dar lugar a situaciones problemáticas que afecten a la calidad de la interacción. Según el trabajo realizado por Nunez et al. (2018) sobre el diseño de robots mascotas, una de las situaciones que más suelen generarse son las activaciones no intencionadas –conocidas como falsos positivos– provocadas por manipulaciones accidentales del robot o fallos en los sensores. En segundo lugar, la activación simultánea de múltiples sensores puede dar lugar a situaciones de sobreestimulación sensorial, dificultando la priorización adecuada de los estímulos percibidos, lo que compromete la coherencia y naturalidad de la respuesta del robot. Finalmente, el contacto prolongado, como el que ocurre al sostener al robot en brazos, mantiene activos ciertos sensores durante largos períodos, lo que puede saturar el sistema, impedir la detección de señales nuevas y generar respuestas repetitivas o descontextualizadas. Este tipo de respuestas erróneas puede comprometer la credibilidad del sistema y afectar negativamente la experiencia de usuario, especialmente cuando el contacto físico constituye el canal principal de interacción.

La mayoría de los sistemas actuales que incorporan sistemas de percepción suelen traducir la información sensorial directamente a respuestas motoras o expresivas mediante fusión sensorial y sistemas basados en reglas (Yan et al., 2014). Aunque este enfoque puede resultar funcional, carece de mecanismos de modulación temporal y priorización contextual (Nunez et al., 2018), lo que limita su capacidad para adaptarse a entornos dinámicos y solucionar las problemáticas mencionadas. Para abordar esta problemática, consideramos necesario adoptar un enfoque interdisciplinar, inspirándonos en los mecanismos biológicos de los seres humanos que nos permiten

discernir entre los diversos estímulos del entorno, ajustando la relevancia de cada uno en función del tiempo y la aparición de estímulos externos adicionales (Desimone et al., 1995).

Nuestra propuesta se inspira en dos mecanismos de la atención humana: la Inhibición de Retorno (IOR, por sus siglas en inglés) y la Fatiga Atencional (FA). La IOR penaliza la atención mantenida sobre un mismo estímulo para favorecer la exploración de nuevos estímulos. La FA reduce progresivamente la sensibilidad ante estímulos del mismo tipo tras exposiciones repetidas cuando aparecen simultáneamente.

Este artículo presenta una arquitectura de percepción inspirada en los mecanismos de atención humanos, diseñada para filtrar y priorizar estímulos en tiempo real en robots mascotas. El sistema agrupa la información de los estímulos entrantes percibidos por los sensores, ajusta su intensidad mediante IOR y FA, y genera un ranking dinámico que permite seleccionar el estímulo más relevante en cada momento, evitando respuestas redundantes o incoherentes y facilitando una interacción afectiva más natural.

El artículo continúa en la Sección 2 describiendo el sistema de percepción basado en atención, junto con las ecuaciones que componen la lógica del mismo. En la Sección 3 se presenta el robot mascota en el que se ha implementado el sistema y un caso de uso en los que se evalúa el mismo. Finalmente, la Sección 4 contiene las conclusiones del trabajo sobre los resultados alcanzados.

2. Sistema de atención bioinspirado

Esta sección describe los fundamentos conceptuales y técnicos del Sistema de Atención Bioinspirado (SABI). Primero, se presentan los principios cognitivos que han inspirado el diseño del sistema. A continuación, se detalla la arquitectura funcional del SABI, explicando su integración con los detectores del robot, el modelo de ajuste dinámico de las intensidades de los estímulos y el procedimiento de cálculo del ranking de prioridad que guía el comportamiento del robot.

2.1. Mecanismos bioinspirados

Los seres humanos estamos constantemente rodeados de estímulos que “compiten” por nuestra atención: sonidos, movimientos, texturas, temperaturas o voces que nos llegan de forma simultánea. Sin embargo, gracias a nuestros mecanismos cognitivos de atención, somos capaces de priorizar la información relevante y filtrar aquella que resulta redundante o poco significativa en base al contexto Desimone et al. (1995). Esta capacidad de gestionar de forma eficiente grandes volúmenes de información sensorial nos permite mantener la estabilidad atencional y adaptarnos a entornos dinámicos y cambiantes. El SABI se inspira en dos procesos cognitivos ampliamente estudiados en neurociencia: la Inhibición de Retorno (IOR) y la Fatiga Atencional (FA).

La IOR es un fenómeno que describe cómo, tras haber atendido a un estímulo, disminuye la probabilidad de volver a prestarle atención durante un periodo de tiempo, favoreciendo la exploración de nuevas fuentes de información (Posner et al.,

¹En este artículo, nos referimos a estos robots como *robots mascota*, en línea con trabajos previos centrados en la interacción afectiva mediante contacto físico.

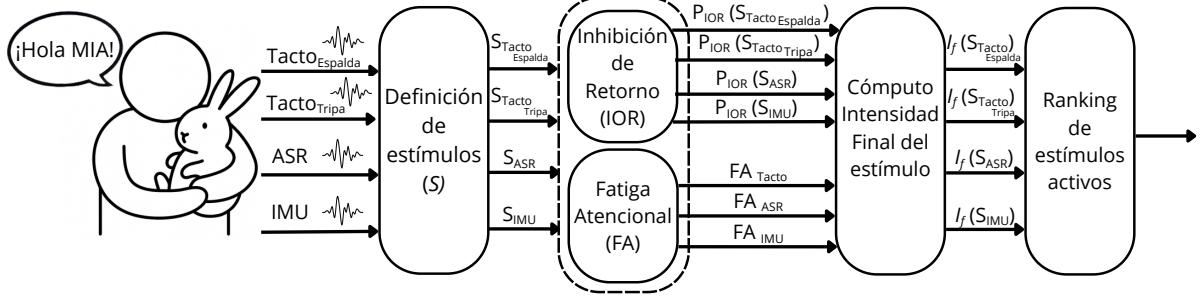


Figura 1: Representación visual de las distintas etapas del SABI.

1984). En el sistema humano, este mecanismo actúa como un modulador de la atención espacial, promoviendo la eficiencia en la búsqueda de información en entornos ricos en estímulos (Tassinari et al., 1987). Aplicado en nuestro sistema, replicar la IOR permite evitar que el robot mantenga la atención sobre estímulos redundantes o que ya ha atendido previamente, incentivando respuestas hacia cambios o eventos nuevos en la interacción.

Por otro lado, la FA se refiere a la disminución progresiva de la sensibilidad hacia estímulos que son repetitivos o que pertenecen al mismo tipo sensorial. Por ejemplo, tras una exposición continua a un ruido de fondo, dejamos de percibirlo conscientemente (Boksem and Tops, 2008). Este fenómeno nos permite evitar la saturación de la capacidad atencional, permitiendo filtrar estímulos que, aunque inicialmente relevantes, pierden importancia tras una exposición prolongada, como puede ser el sentir la ropa una vez puesta (Lorist et al., 2000). En nuestro sistema, la FA penaliza todos los estímulos activos de un mismo tipo (por ejemplo, múltiples sensores táctiles activados simultáneamente al abrazar al robot), reduciendo su peso conjunto de manera adaptativa.

Ambos mecanismos son dinámicos y tienen un factor de penalización y recuperación; la inhibición y la fatiga no son permanentes, sino que decrecen con el tiempo si el estímulo desaparece o disminuye su intensidad, permitiendo una recuperación gradual de la sensibilidad atencional (Warm et al., 2008). Esto replica la gestión de los estímulos como hacemos los humanos tanto en fatigarnos como en “desfatigarnos” dependiendo del patrón temporal de los estímulos. Consideramos que incorporar estos principios en el diseño del SABI puede permitir abordar las problemáticas inicialmente expuestas: la sobreestimulación fruto de interactuar físicamente con el robot y los falsos positivos. Esto permite al robot, por tanto, gestionar su percepción de manera flexible y priorizar dinámicamente los estímulos más relevantes en cada momento.

2.2. Implementación del sistema

El SABI se implementa como una arquitectura de percepción que gestiona dinámicamente los estímulos percibidos por los sensores del robot mascota. Su propósito es procesar la información sensorial recibida en tiempo real, adaptando la relevancia de cada estímulo de manera flexible para evitar la saturación sensorial y mejorar la coherencia de las respuestas del robot durante la interacción.

El sistema está diseñado para ser multimodal, considerando diferentes tipos de detectores, como sensores táctiles distribuidos por el cuerpo del robot, sensores iniciales (IMU) para

la detección de movimientos y un módulo de reconocimiento de voz (ASR) para obtener peticiones del usuario. Esta combinación permite al robot percibir información física, verbal y postural, abarcando un amplio rango de señales relevantes en contextos sociales y afectivos.

La Figura 1 muestra cómo cada estímulo detectado se formatea internamente siguiendo una estructura común para su posterior procesamiento. Un estímulo S se representa acorde a la Ecuación 1:

$$S = \{\text{tipo}, I_0, I_f, P_{\text{IOR}}, FA_{\text{tipo}}, D\}, \quad (1)$$

En esta ecuación, tipo representa la naturaleza sensorial del estímulo (por ejemplo, tacto, movimiento o voz), I_0 es la intensidad base inicial asignada según la clase del estímulo, I_f es la intensidad final dinámica modulada a lo largo del tiempo, P_{IOR} corresponde a la penalización acumulada asociada al mecanismo de inhibición de retorno, FA_{tipo} corresponde al valor de la fatiga asociada al tipo de estímulo y D contiene el valor de las medidas sensoriales recogidas. A partir de esta estructura unificada, el sistema aplica los mecanismos descritos con anterioridad.

La IOR penaliza aquellos estímulos que se mantienen activos de forma prolongada, reduciendo su relevancia progresivamente. La penalización acumulada P_{IOR} se actualiza en cada iteración del sistema conforme al estado del estímulo. Si el estímulo se mantiene activo, la penalización se incrementa siguiendo la Ecuación 2:

$$P_{\text{IOR}}(t + \Delta t) = P_{\text{IOR}}(t) + \alpha \cdot I_0 \quad (2)$$

En cambio, si el estímulo se encuentra inactivo, la penalización se reduce gradualmente acorde a la Ecuación 3:

$$P_{\text{IOR}}(t + \Delta t) = P_{\text{IOR}}(t) - \beta \cdot I_0 \quad (3)$$

En estas ecuaciones, α representa la tasa de decaimiento por inhibición y β la tasa de recuperación de la penalización cuando deja de detectarse el estímulo. Para evitar valores no realistas por debajo de 0, se establece un límite inferior de $P_{\text{IOR}} \geq 0$.

La FA gestiona la saturación derivada de la exposición continuada a estímulos del mismo tipo sensorial. Para capturar la persistencia de esta exposición, el sistema mantiene una ventana histórica deslizante de las últimas N iteraciones, registrando la frecuencia de activaciones múltiples para cada clase de estímulo, es decir, el número de iteraciones en las que dicha categoría ha estado activa. A partir de estos parámetros, se calcula el factor de fatiga (FF_{tipo}), siguiendo la Ecuación 4:

$$FF_{\text{tipo}} = \frac{\sum_{i=1}^N \mathbb{I}[S_{\text{tipo}}(i) = 1]}{N} \quad (4)$$

Este valor modula dinámicamente la tasa de decaimiento de la fatiga linealmente. En el caso de que existan múltiples estímulos activos de un mismo tipo, la fatiga atencional se actualiza según la Ecuación 5:

$$FA_{\text{tipo}}(t + \Delta t) = FA_{\text{tipo}}(t) - \gamma \cdot (1 + FF_{\text{tipo}}) \cdot FA_{\text{tipo}}(t) \quad (5)$$

Mientras que si no hay activaciones múltiples, el sistema facilita la recuperación de la fatiga siguiendo la Ecuación 6:

$$FA_{\text{tipo}}(t + \Delta t) = FA_{\text{tipo}}(t) + \delta \cdot FA_{\text{tipo}}(t) \quad (6)$$

En estas ecuaciones, γ representa la tasa de decaimiento de la fatiga y δ la tasa de recuperación de la fatiga sobre una clase de estímulo.

Finalmente, la intensidad final de cada estímulo I_f se calcula combinando la intensidad base I_0 , el estado de su fatiga atencional FA_{tipo} y su penalización por inhibición P_{IOR} , según indica la Ecuación 7:

$$I_f = I_0 \times FA_{\text{tipo}} - P_{\text{IOR}} \quad (7)$$

La intensidad final define la relevancia de cada estímulo dentro del sistema, permitiendo generar un ranking dinámico de prioridades en tiempo real, donde se ordenan de mayor a menor prioridad. El estímulo activo con la intensidad más alta es considerado el foco de atención, guiando el comportamiento del robot. El Algoritmo 1 muestra el pseudocódigo que gestiona el funcionamiento del SABI.

Algoritmo 1 Sistema de Atención Bioinspirado (SABI)

```

1: Procedimiento SISTEMADEATENCIÓNBIOINSPIRADO
2:   Leer detectores
3:   para cada señal detectada hacer
4:     si  $\# S$  entonces # Siendo S el estímulo
5:       Definir  $S \leftarrow \{\text{tipo}, I_0, I_f, P_{\text{IOR}}, FA_{\text{tipo}}, D\}$ 
6:       fin si
7:       Actualizar  $S_{\text{estado}}$  # Activo (1) | Inactivo (0)
8:     fin para
9:     para cada  $S$  hacer
10:      si  $S_{\text{estado}} = 1$  entonces
11:         $P_{\text{IOR}} \leftarrow P_{\text{IOR}} + \alpha \cdot I_0$  # Penalizar IOR
12:      si no
13:         $P_{\text{IOR}} \leftarrow P_{\text{IOR}} - \beta \cdot I_0$  # Recuperar IOR
14:      fin si
15:      si  $|\{S_j \mid S_{\text{estado}}(j) = 1 \wedge S_{\text{tipo}}(j) = S_{\text{tipo}}\}| > 1$ 
16:        # Aplicar decaimiento de FA:
17:         $FA_{\text{tipo}} \leftarrow FA_{\text{tipo}} - \gamma \cdot (1 + FF_{\text{tipo}}) \cdot FA_{\text{tipo}}$ 
18:      si no
19:         $FA_{\text{tipo}} \leftarrow FA_{\text{tipo}} + \delta \cdot FA_{\text{tipo}}$  # Recuperar FA
20:      fin si
21:       $I_f = I_0 \times FA_{\text{tipo}} - P_{\text{IOR}}$  # Calcular intensidad final
22:    fin para
23:    Ordenar  $\{S_i \mid S_{\text{estado}}(i) = 1\}$  según  $I_f$ 
24:    Publicar  $S_{\text{max}}$  tal que  $I_f(S_{\text{max}}) = \max(I_f(S_i))$ 
25:  end Procedimiento
```

3. Evaluación del sistema propuesto

Con el fin de validar el funcionamiento del SABI en un entorno real, esta sección describe su implementación sobre

la plataforma robótica Mia, un robot mascota orientado a la compañía de mayores mediante interacción afectiva basada en contacto físico. Se describen sus capacidades sensoriales y su arquitectura software. A continuación, se introduce un escenario de interacción cotidiana para evaluar la respuesta del sistema ante distintos patrones de estimulación física. Finalmente, se analizan los resultados obtenidos mediante el SABI, donde se observan los estímulos de entrada sin modular, y la evolución de las intensidades junto a la priorización dinámica de los estímulos una vez regulada.

3.1. Robot mascota Mia

Mia es un robot mascota desarrollado por el Robotics Lab de la Universidad Carlos III de Madrid (de la Cruz et al., 2023). Su desarrollo tiene como objetivo proporcionar compañía interactuando con personas mayores, especialmente con aquellas que presentan algún tipo de deterioro cognitivo. El robot tiene la apariencia de un conejo y cuenta con un pelaje suave al tacto.

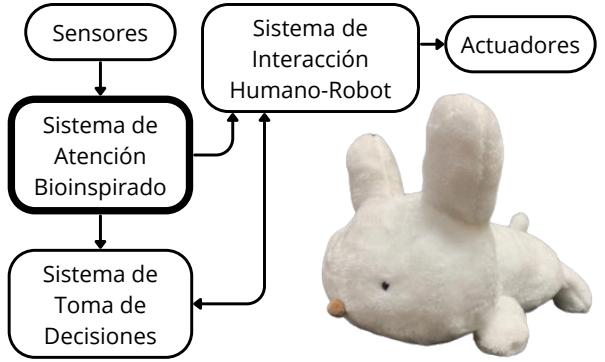


Figura 2: Esquema de la arquitectura Software de Mia.

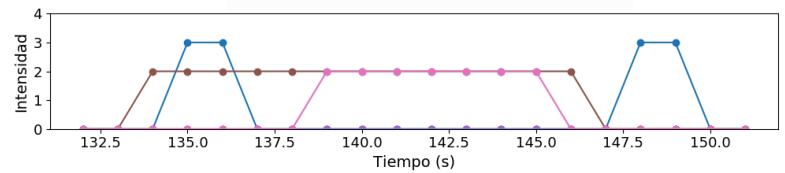
Mia dispone de sensores táctiles en la cabeza, las orejas, la espalda y los bigotes, para despertarse y reaccionar a caricias y golpes e incorpora un micrófono capaz de reconocer algunas palabras clave predefinidas para influir en su comportamiento como “jugar” o “duérmete”. El robot tiene una unidad de medición inercial (IMU, por sus siglas en inglés) que indica la posición en la que se encuentra y un lector de tarjetas de identificación por radiofrecuencia para reconocer objetos, como una zanahoria o pelotas de colores, que permiten interactuar con el robot. El robot también cuenta con sensores térmicos, que le permiten detectar posibles sobrecalentamientos y disminuir su actividad o apagarse como medida de protección. Mia muestra expresiones como respuesta a los estímulos detectados. Para ello, utiliza dos luces LED situadas en las mejillas que cambian de color según el estado del robot y un altavoz para reproducir sonidos característicos de un conejo. Finalmente, el robot dispone de cuatro grados de libertad situados en las orejas, la cola y la nariz. Su cuerpo integra un motor haptico que genera vibraciones para acompañar las expresiones y proporcionar sensación de activación y movimiento.

La arquitectura software de Mia se compone de tres módulos principales, como ilustra la Figura 2: Sistema de Atención Bioinspirado (SABI), Sistema de Interacción Humano-Robot y Sistema de Toma de Decisiones. El SABI se encarga de

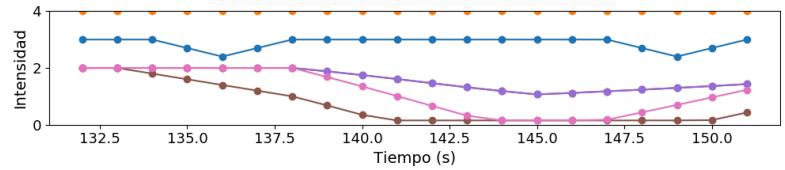


(a) Fotograma del caso de uso donde el usuario abraza y toca el bigote del robot ($t=142$).

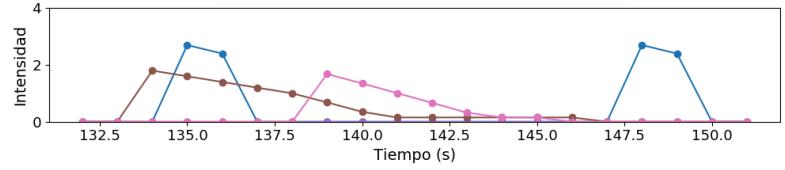
■ IMU ■ ASR ■ Tacto oreja izquierda ■ Tacto oreja derecha ■ Tacto cabeza ■ Tacto espalda ■ Tacto bigotes



(b) Intensidad de los estímulos activos de entrada sin filtrar.



(c) Regulación de la intensidad a través de IOR y FA.



(d) Intensidad regulada de los estímulos activos de salida.

agrupar la información proporcionada por los sensores, procesarla y filtrar el estímulo más relevante en base a un ranking dinámico, donde cada uno tiene asociado una prioridad. El Sistema de Interacción Humano-Robot contiene un conjunto de reglas que permiten relacionar la salida del SABI con respuestas reactivas por parte del robot. Por último, el Sistema de Toma de Decisiones gestiona las distintas actividades del robot, como dormir o jugar.

3.2. Caso de uso: abrazar al robot y tocar sus bigotes

Para evaluar el comportamiento del sistema en un escenario realista, se ha diseñado un caso de uso representativo de la interacción físico-afectiva con un robot mascota. La Figura 3 muestra las gráficas resultantes, que ilustran las señales de entrada sin procesar y, una vez aplicado el SABI, la evolución interna de las intensidades y la respuesta dinámica del sistema ante los cambios en la interacción.

El usuario manipula al robot mediante contacto sostenido y estímulos táctiles intencionados, generando distintos patrones de activación sensorial. En concreto, el usuario coge al robot en brazos y, posteriormente, le estimula tocando uno de sus bigotes (ver Figura 3a). El objetivo es analizar cómo el sistema gestiona en tiempo real la priorización y modulación de los estímulos percibidos.

Los parámetros que gobiernan el comportamiento del SABI han sido establecidos empíricamente para el escenario de interacción presentado, pero se podrían adaptar para distintos

contextos. Se fijaron los valores de $\alpha = 0.1$, $\beta = 0.1$, $\gamma = 0.05$, $\delta = 0.05$, $N = 5$ y $\Delta t = 1.0$ segundos. Las intensidades base se establecieron en $I_0 = 2.0$ para estímulos táctiles, $I_0 = 3.0$ para señales iniciales y $I_0 = 4.0$ para voz. Esto se debe a que la voz influye directamente en el comportamiento del robot, la IMU aporta orientación esencial, y el tacto solo información localizada y puntual. El valor inicial de fatiga para todos los tipos de estímulo es $FA_{\text{tipo}} = 1.0$.

A continuación, se detalla el desarrollo temporal de la interacción, describiendo los eventos más relevantes, haciendo referencia al gráfico mostrado en la Figura 3b, en la que se observa la señal sin procesar de entrada al sistema. El usuario coge al robot en brazos con ambas manos, generando en el instante $t=134$ la activación del sensor táctil de la espalda (línea marrón). Posteriormente, en $t=135$, el cambio de orientación provocado por el movimiento es detectado por el sistema inercial (color azul). A partir de ese momento, el usuario sostiene al robot con la mano derecha por la espalda. En el instante $t=139$, el usuario acaricia intencionadamente los bigotes del robot (rosa) con la mano izquierda. De esta forma, atendiendo a la señal sin filtrar, se produce una sobreestimulación sensorial dado que hay simultáneamente dos señales de tacto activas con la misma intensidad y el robot no sería capaz de determinar a cuál prestar atención. Finalmente, en $t=145$ se deja de tocar los bigotes y en $t=148$ se suelta completamente al robot sobre la mesa, provocando una nueva activación de la IMU.

Para abordar esta problemática, se aplica el SABI, que re-

gula la intensidad de los estímulos en el tiempo. Su evolución completa se muestra en la Figura 3c. En el instante $t=134$, se activa la espalda (marrón) como consecuencia de sujetar al robot, y va perdiendo prioridad progresivamente. Lo mismo sucede con la IMU (azul) en el instante $t=135$, cuando se detecta el cambio de orientación, pero dicha señal se recupera en instantes posteriores al ser una medida puntual. En torno a $t=139$, se observa cómo la señal de los bigotes (rosa) se activa y tiene mayor importancia respecto a la espalda, que ya se encuentra atenuada. Además, a partir de ese instante se aprecia cómo los tactos inactivos se superponen (violeta) y descienden en intensidad a lo largo del tiempo, lo que evidencia la aplicación de la FA a nivel sensorial. En $t=144$ los dos estímulos táctiles activos alcanzan niveles mínimos de intensidad. Posteriormente, en $t=147$ se deja de tocar los bigotes, iniciando el proceso de recuperación de los estímulos inactivos de tacto, al haber solo un tacto activo a la vez. Finalmente, en $t=148$ se detecta el cambio de la IMU al soltar el robot y en $t=150$ comienza la recuperación del estímulo de tacto de la espalda.

La Figura 3d muestra la salida del SABi, donde se observa el ranking de estímulos activos. El sensor de la espalda (marrón) es el único estímulo activo en $t=134$, y desciende progresivamente debido al IOR. En $t=135$, se detecta el cambio de orientación, por lo que la IMU (azul) es el estímulo prioritario. En $t=139$, al acariciar los bigotes (rosa), su intensidad se eleva y supera al estímulo de la espalda, que ya se encuentra muy penalizado. Esta transición muestra cómo el sistema detecta correctamente el nuevo estímulo como prioritario. En $t=144$, ambos estímulos han sido completamente inhibidos. Finalmente, en $t=148$ reaparece la señal de la IMU, coherente con el gesto de dejar el robot sobre la mesa.

Este ejemplo muestra que el SABi permite una gestión eficaz de los estímulos en tiempo real, priorizando aquellos que son relevantes al contexto del robot. El enlace adjunto (<https://youtu.be/cEJdlrN-IVQ>) presenta la interacción completa, donde se muestran tres casos de uso con múltiples modalidades sensoriales y combinaciones de estímulos.

4. Conclusiones

Este trabajo presenta el SABi, una arquitectura de percepción diseñada para gestionar y priorizar estímulos sensoriales en tiempo real en robots mascotas. Este sistema surge como respuesta a varias problemáticas comunes en estas plataformas: los falsos positivos propios de los sensores, la sobreestimulación producida durante el contacto físico intenso, que puede activar simultáneamente múltiples sensores y provocar respuestas incoherentes por parte del robot, y la gestión de la saturación en los detectores que impide seleccionar en cada momento el estímulo prioritario acorde al contexto de la interacción. Para abordar este reto, el SABi se inspira en dos mecanismos cognitivos humanos –la IOR y la FA– y permite filtrar los estímulos redundantes o mantenidos en el tiempo y detectar con mayor precisión señales nuevas y relevantes. Para ello, hace un ranking dinámico de los estímulos activos filtrando el más importante durante la interacción.

El sistema ha sido integrado en el robot mascota Mia, permitiéndole responder de forma más adaptativa y coherente a situaciones complejas como caricias múltiples o ser cogido en brazos. Para validar su funcionamiento, se ha presentado un caso de uso cotidiano que ilustra cómo el sistema filtra ade-

cuadamente los estímulos irrelevantes y selecciona los más significativos según el contexto sensorial.

Desde el punto de vista de la interacción humano-robot, esta propuesta contribuye a mejorar la robustez perceptiva de los robots mascota en escenarios realistas, favoreciendo una interacción más natural y fluida. Además, sienta las bases para explorar nuevas vías en la gestión cognitiva de la atención en robótica afectiva y social, especialmente en entornos donde el contacto físico y emocional es frecuente.

Agradecimientos

Estos resultados han sido financiados por los proyectos PID2021-123941OA-I00, financiado por MCI-N/AEI/10.13039/501100011033 y por ERDF A way of making Europe; TED2021-132079B-I00 financiado por MCI-N/AEI/10.13039/501100011033 y por la Unión Europea NextGenerationEU/PRTR; Robot social portable con alto grado de vinculación (PoSoRo) PID2022-140345OB-I00 financiado por MCI-N/AEI/10.13039/501100011033 y ERDF A way of making Europe; *Evaluación del comportamiento del robot social Mini en residencias de mayores 2024/00742/001* del programa Ayudas para la Actividad Investigadora de los Jóvenes Doctores, Programa Propio de Investigación financiado por la Universidad Carlos III de Madrid; TEC-2024/TEC-62 yacrónimo iRoboCity2030-CM, concedido por la Comunidad de Madrid a través de la Dirección General de Investigación e Innovación Tecnológica a través de la Orden 5696/2024.

Referencias

- Boksem, M. A., Tops, M., 2008. Mental fatigue: costs and benefits. *Brain research reviews* 59 (1), 125–139.
- Breazeal, C., Dautenhahn, K., Kanda, T., 2016. Social robotics. Springer handbook of robotics, 1935–1972.
- de la Cruz, A., Cabezaolás, C. M., Maroto Gómez, M., Castillo, J. C., Salichs, M. Á., 2023. Un prototipo de robot mascota para interacción con ancianos. In: XLIV Jornadas de Automática. Universidade da Coruña. Servizo de Publicacións, pp. 569–574.
- Desimone, R., Duncan, J., et al., 1995. Neural mechanisms of selective visual attention. *Annual review of neuroscience* 18 (1), 193–222.
- Goris, K., Saldien, J., Vanderniepen, I., Lefever, D., 2009. The huggable robot probo, a multi-disciplinary research platform. In: Research and Education in Robotics—EUROBOT 2008: International Conference, Heidelberg, Germany, May 22-24, 2008. Revised Selected Papers. Springer, pp. 29–41.
- Lorist, M. M., Klein, M., Nieuwenhuis, S., De Jong, R., Mulder, G., Meijman, T. F., 2000. Mental fatigue and task control: planning and preparation. *Psychophysiology* 37 (5), 614–625.
- Nunez, E., Hirokawa, M., Suzuki, K., 2018. Design of a huggable social robot with affective expressions using projected images. *Applied Sciences* 8 (11).
- DOI: 10.3390/app8112298
- Posner, M. I., Cohen, Y., et al., 1984. Components of visual orienting. *Attention and performance X: Control of language processes* 32, 531–556.
- Stiehl, W. D., Breazeal, C., Han, K.-H., Lieberman, J., Lalla, L., Maymin, A., Salinas, J., Fuentes, D., Toscano, R., Tong, C. H., et al., 2006. The huggable: a therapeutic robotic companion for relational, affective touch. In: ACM SIGGRAPH 2006 emerging technologies. pp. 15–es.
- Tassanari, G., Aglioti, S., Chelazzi, L., Marzi, C., Berlucchi, G., 1987. Distribution in the visual field of the costs of voluntarily allocated attention and of the inhibitory after-effects of covert orienting. *Neuropsychologia* 25 (1), 55–71.
- Wada, K., Shibata, T., 2008. Social and physiological influences of living with seal robots in an elderly care house for two months. *Gerontechnology* 7 (2), 235.
- Warm, J. S., Parasuraman, R., Matthews, G., 2008. Vigilance requires hard mental work and is stressful. *Human factors* 50 (3), 433–441.
- Yan, H., Ang Jr, M. H., Poo, A. N., 2014. A survey on perception methods for human-robot interaction in social robots. *International Journal of Social Robotics* 6 (1), 85–119.
- DOI: 10.1007/s12369-013-0199-6