

Desarrollo de un software de estimulación visual para estudios electrofisiológicos en primate despierto

1st Luis Felipe Llamas Luaces
Grupo de Neurociencia y Control Motor
Universidade da Coruña
A Coruña, España
l.f.llumas@udc.es

2nd Juan Casto Rivadulla Fernández
Grupo de Neurociencia y Control Motor
Universidade da Coruña
A Coruña, España
casto.rivadulla@udc.es

Resumen—El desarrollo de las ciencias de la computación ha impulsado mucho la investigación en neurociencia, especialmente en lo que se refiere a estudios electrofisiológicos y de psicofísica. Esto es debido a la capacidad de presentar estímulos y capturar datos de respuesta con cada vez mayor precisión temporal. Desde los años 70 han aparecido múltiples herramientas que permiten a los investigadores desarrollar experimentos que involucran tanto sistemas de presentación de estímulos como de captura de datos neuronales. En este artículo se presenta Stimpack, una nueva herramienta basada en la librería Psychtoolbox para el entorno Matlab. Stimpack permita a los investigadores el desarrollo de estudios electrofisiológicos en primates de una manera simple y con un entorno gráfico amigable, permitiendo el control de los experimentos a tiempo real. Además Stimpack, proporciona métodos para poder expandir la herramienta mediante la adición de nuevas tareas de forma sencilla.

Index Terms—Psicofísica, Neurofisiología, Neurociencia, Vision, Software

I. INTRODUCCIÓN

I-A. Contexto

El grupo de Neurociencia y Control Motor de la universidad de la Coruña (NeuroCom) lleva a cabo una línea de investigación sobre estudios electrofisiológicos en primates despiertos [1] [2]. Actualmente se está desarrollando un proyecto de investigación que intenta descubrir como se organiza y distribuye la memoria de trabajo en la corteza cerebral. La memoria de trabajo u operativa es aquella encargada del almacenamiento temporal de información que, al contrario que la memoria a largo plazo, toma parte en procesos más complejos en el procesamiento de información. Esta memoria tiene poca capacidad, está en constante cambio y es la encargada de mantener en mente los datos mientras realizamos una tarea.

La hipótesis del proyecto en curso es que hay dos tipos diferentes de memoria de trabajo, la sensorial, que únicamente integra datos de los sentidos y la conceptual, que asocia un significado adicional a estos datos. Lo que se busca demostrar es que la zona sensorial del cerebro, en este caso en la corteza visual ya que los estímulos son visuales, debe tener un papel importante en la codificación de la memoria sensorial mientras que la memoria conceptual se codifica en la corteza prefrontal.

Para comprobar esta hipótesis se diseñó un experimento que permitiera capturar los datos de las zonas implicadas en este tipo de memoria durante la realización de distintas tareas para después inhibir la actividad en la corteza prefrontal y comprobar si la memoria conceptual se ve afectada.

El experimento involucra un primate (un macaco, *Macaca mulatta*) al que se le mostraran distintos estímulos a través de la vista teniendo que reaccionar usando sus ojos, cuyas reacciones se medirán mediante un sistema de seguimiento ocular. El animal tendrá fija la cabeza mediante una silla específica para esta tarea y se le colocará en frente de un monitor donde se le presentarán los distintos estímulos. Al lado del monitor se encuentra la cámara de seguimiento ocular y un iluminador de infrarrojos para la misma. Adicionalmente cuenta con un sistema de recompensas automático que administra una recompensa en forma de zumo de frutas al animal cuando realiza la tarea correctamente. El animal cuenta con electrodos implantados en las zonas del cerebro a estudiar, a través de los cuales se capturarán los datos de actividad neuronal. Para la inhibición de la corteza prefrontal se usa un sistema de estimulación magnética transcranial (TMS). Puede verse un esquema del sistema en la figura 1.

Es necesario que la cabeza del animal y la vista del mismo permanezcan fijas en la misma posición para poder estimular con precisión los campos receptores de la corteza visual, para ello, además del sistema de fijación de la cabeza, se debe entrenar al animal para que mantenga la mirada en todo momento en un punto de fijación que aparecerá durante todo el experimento en el centro de la pantalla.

En el grupo actualmente se emplea la herramienta Opticka [8] para realizar las diferentes tareas, sin embargo se desea desarrollar una nueva herramienta más específica para este proyecto, y que además pueda expandirse para futuros desarrollos. La mayor ventaja del desarrollo de una herramienta propia es evitar la dependencia con los desarrolladores de Opticka para implementar cambios en la herramienta y al hacerla más específica en vez de abarcar muchas cosas permite simplificar la interacción del usuario con la misma.

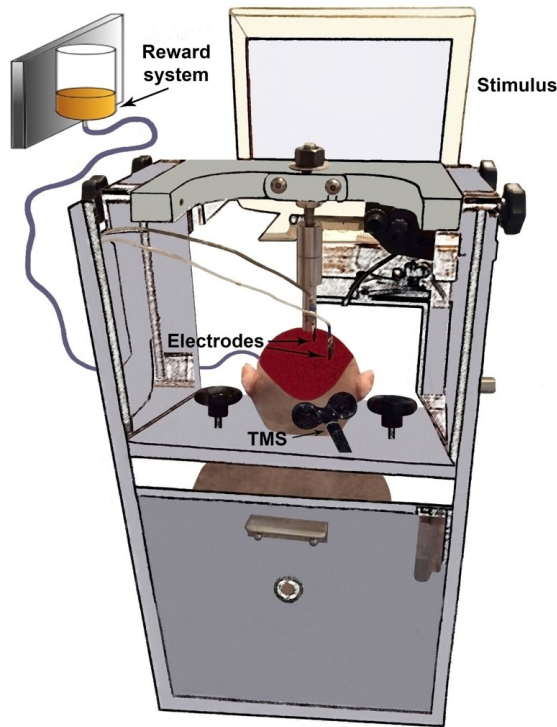


Figura 1. Configuración del experimento

I-B. Objetivos del proyecto

Para el desarrollo del estudio mencionado en la sección anterior, es necesario que los investigadores cuenten con una herramienta acorde a sus necesidades. Actualmente los estudios se llevan a cabo empleando la herramienta Opticka, potente, pero al mismo tiempo complicada de usar, con una interfaz de usuario bastante densa y difícil de modificar, haciendo que el trabajo que deben realizar los investigadores no sea tan ágil como les gustaría. Por ello decidieron que la mejor opción era el desarrollo de una herramienta que se adaptara a sus necesidades de forma específica y les fuera fácil de modificar y extender según fueran surgiendo nuevas necesidades.

Hubo un primer intento por parte del grupo de desarrollar una herramienta, Orion, pero no se llegó a utilizar nunca. Esto es debido a que a pesar de estar muy simplificado con respecto a la herramienta anterior, el ajuste de los experimentos se realizaba modificando variables en el propio código de la herramienta, siendo un problema para los investigadores que no están familiarizados con la programación en Matlab. Esta herramienta permitía cierto grado de control a tiempo real del experimento usando comandos de teclado. Otra de las desventajas de Orion era que dependía de parte del código de Opticka para funcionar.

Dado el fracaso de Orion se propone el desarrollo de una

nueva herramienta que pueda ser usada por los investigadores sin necesidad de conocimientos de programación y que simplifique el proceso del desarrollo de experimentos.

Por tanto, el objetivo de este proyecto es producir una herramienta que:

- Permita la presentación de estímulos visuales parametrizables.
- Se integre con el sistema de registro de movimientos oculares.
- Se integre con el sistema de registro electrofisiológico.
- Se integre con el sistema de recompensa.
- Cuenten con un entorno gráfico amigable.
- Pueda ser expandida en un futuro con facilidad.

Durante la fase de definición de requisitos del proyecto se hizo especial mención a la necesidad de generar un entorno amigable, por lo que se buscó limitar al mínimo las interacciones con la herramienta a través del teclado y la consola de comandos en favor del uso de un entorno gráfico.

La primera versión de esta herramienta además debe soportar la ejecución de las siguientes tareas experimentales:

- Fijación, para el entrenamiento del sujeto.
- Mapeo, para localizar los campos receptores en la corteza visual.
- Memoria de trabajo, para el estudio de el efecto de la estimulación magnética transcraneal sobre la memoria de trabajo.

Estas tareas se explicaran con mayor detenimiento en el apartado de desarrollo.

II. TRABAJO RELACIONADO

Existen múltiples herramientas para realizar experimentos de estimulación visual, a menudo desarrolladas por los propios grupos de investigación a medida de sus necesidades. A continuación se comentan algunas de las herramientas más relevantes relacionadas con la herramienta desarrollada en este trabajo.

II-A. Cortex

Cortex (COMputerized Real Time EXperiments) [3] fue una de las primeras herramientas desarrolladas para la ejecución de experimentos neurofisiológicos y de comportamiento en PC. La herramienta estaba pensada en torno al concepto de ensayo, donde se ejecutaban las diferentes tareas de forma individual mientras los diferentes sistemas de adquisición de datos capturaban la información necesaria, seguidos de un tiempo entre ensayos durante el que se almacenaban los datos y se preparaba el siguiente ensayo. La configuración de los ensayos se llevaba a cabo mediante tres archivos de texto que eran importados por Cortex: un archivo de *items* donde se describen los estímulos visuales que se usarán en el experimento, un archivo de condiciones que controla lo que ocurre en cada ensayo y un script de temporización que controlaba los tiempos del experimento. Además de todas las características ofrecidas por la herramienta, Cortex contaba con la ventaja de tener un equipo de desarrollo que mantenía

un alto grado de comunicación con los usuarios, permitiendo integrar mejoras a la aplicación y dar soporte a los usuarios.

II-B. Monkeylogic

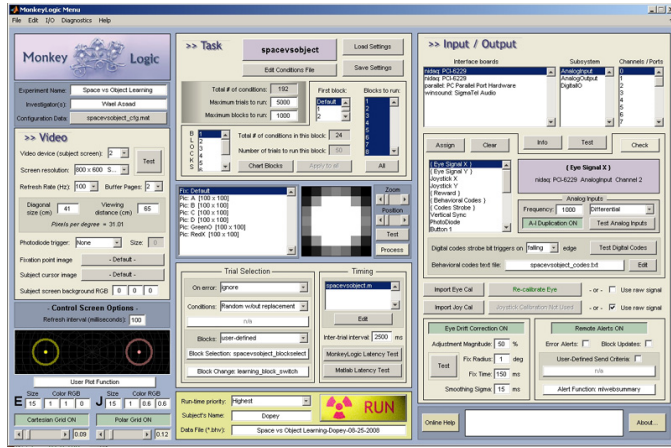


Figura 2. Interfaz de usuario de Monkeylogic

Monkeylogic [4] es una herramienta escrita en Matlab que permite el desarrollo de estudios psicofísicos con una alta precisión temporal, integrando la presentación de estímulos visuales con múltiples tipos de entrada de información del sujeto, como pueden ser sistemas de seguimiento ocular, joysticks o entradas de teclado. Sus características más destacadas son:

- Alta precisión temporal en la presentación de estímulos.
- Interfaz gráfica basada en Matlab para diseño de tareas con flexibilidad.
- Compatibilidad con múltiples modelos de hardware de adquisición de datos.
- Interfaz de ejecución de experimentos con información a tiempo real del comportamiento y rendimiento del sujeto.
- Estructura de programación de experimentos derivada de la de CORTEX [3] mediante un archivo de condiciones y un script de temporización.
- Las tareas pueden ser modificadas durante la ejecución de las mismas.

Esta herramienta se utiliza de forma extensa, siendo una de las herramientas de este tipo más populares hoy en día. Monkeylogic tiene la desventaja de solo poder ser utilizada en entornos Windows, además la interfaz (figura 2) es bastante densa y sus gráficos han quedado anticuados.

II-C. Psychtoolbox

Psychtoolbox [5] es una toolbox para los entornos Matlab y GNU Octave que proporciona una serie de funciones que permiten la síntesis y presentación de estímulos visuales con una alta precisión temporal. Es una de las librerías más conocidas y utilizadas en este ámbito, contando con una gran comunidad de usuarios. Psychtoolbox no proporciona únicamente funciones de presentación de estímulos, sino que también proporciona métodos para utilizar diferentes tipos de

hardware como sistemas de seguimiento ocular o tarjetas de entrada/salida digitales. Muchas herramientas de estimulación visual [8] [7] han sido construidas sobre esta librería, y suele ser la elección de muchos investigadores a la hora de desarrollar sus propios experimentos personalizados. Existen alternativas a esta librería para su uso en diferentes entornos de programación como PsychoPy [6] para Python y PsychJava para Java.

II-D. Opticka

Opticka [8] es un framework orientado a objetos en Matlab basado en la Psychtoolbox que permite la generación de estímulos visuales complejos y su presentación al sujeto. Es multiplataforma y se comunica con el sistema de adquisición de datos Omniplex [9] de Plexon a través de *strobed words* y ethernet. Para tareas de control de comportamiento utiliza el sistema de seguimiento ocular Eyelink conectado con la interfaz TCP. Tiene una interfaz gráfica opcional, que permite la configuración de experimentos a personas sin conocimientos de programación. Opticka es la herramienta que se emplea actualmente en el Grupo de Neurociencia y Control Motor de la UDC, ya que el equipo usado fue heredado del laboratorio donde se desarrolló esta herramienta y es completamente compatible con la misma sin necesidad de modificaciones.

III. MATERIAL

Una de las complejidades con las que se enfrenta este desarrollo es la integración de la herramienta con los diferentes sistemas hardware que conforman el entorno experimental del laboratorio.

A continuación se detalla el hardware y el software necesario para la ejecución de Stimpack.

III-A. Configuración hardware del sistema

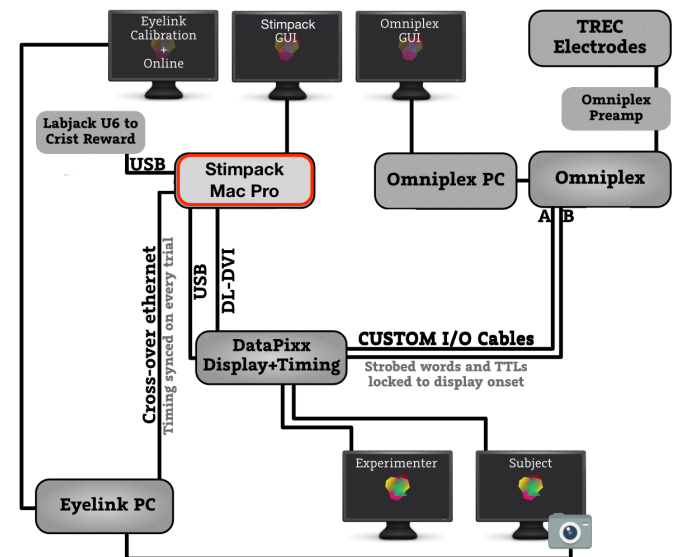


Figura 3. Diagrama de conexiones del sistema

En la figura 3 se puede ver un esquema de las conexiones del sistema. La herramienta se ejecuta en un Mac Pro siendo

además necesarios dos equipos adicionales, uno ejecutando Windows empleado para la captura de datos y marcas temporales y otro que forma parte del sistema de seguimiento ocular.

Para el seguimiento ocular se emplea un sistema Eyelink 1000 Plus [10] capaz de realizar un seguimiento binocular a una tasa de muestreo de 2000Hz conectado con el equipo ejecutando Stimpack a través de ethernet.

Para la presentación de estímulos visuales y el envío de marcas temporales se emplea un DATAPixx [11] de VPixx Technologies, conectado al equipo ejecutando la herramienta mediante USB para el envío de marcas temporales y mediante DVI para la presentación de estímulos, esta señal es duplicada en dos monitores, uno que se muestra al sujeto experimental y uno para que el usuario supervise la ejecución del experimento.

Para la captura de datos de los electrodos y de las marcas temporales se emplea un OmniPlex Neural Data Acquisition System [9] de Plexon, conectado al DATAPixx y al preamplificador de los electrodos, también de Plexon. El procesamiento de estos datos se lleva a cabo en el equipo Windows mencionado anteriormente.

Para la administración de recompensas al animal se emplea un sistema de recompensa digital Crist Instruments V2 Models D1 manejado a través de una tarjeta de IO digital Labjack U6 [13], que se conecta a través de USB con el ordenador que ejecuta la herramienta.

III-B. Software necesario

El equipo en el que se utiliza la herramienta funciona sobre OSX 10.9 Mavericks. Tiene instalada una copia de Matlab versión 2015b, la Psychophysics Toolbox v3, la toolbox de Eyelink, la toolbox de Datapixx y la librería para utilizar el Labjack. El equipo conectado al Omniplex tiene instalado el software Plexcontrol [12] para la captura de datos y funciona sobre Windows 7. El equipo que controla el Eyelink es proporcionado por la empresa fabricante del equipo y se desconoce el software instalado.

IV. DESARROLLO

En esta sección se aborda el desarrollo de Stimpack. Según se explico en la introducción, la necesidad de su desarrollo se justifica por la necesidad de una herramienta que se adecue a las necesidades de Neurocom, ya que las herramientas disponibles actualmente son demasiado complejas o bien no compatibles con el hardware del laboratorio. A lo largo de este apartado se explica tanto el diseño conceptual de la herramienta, como la arquitectura del software y el diseño de la interfaz gráfica de usuario, lo que permite ilustrar como Stimpack satisface los requerimientos deseados para el sistema.

IV-A. Concepto

A nivel conceptual Stimpack busca ser una alternativa más ágil de usar que las herramientas existentes en el estado del arte, sacrificando la versatilidad de estas para conseguir una experiencia de usuario más satisfactoria.

La interfaz de usuario debe ser fácil de utilizar y lo más autoexplicativa posible, además debe poder controlar la ejecución del experimento en tiempo real tanto permitiendo pausar o parar la tarea en curso como permitiendo cambiar sus parámetros una vez comenzada.

Para conseguir una interfaz con estas características Stimpack define una ventana separada para cada tarea en vez de usar una interfaz de configuración general para todas las tareas. Estas interfaces siguen una estructura similar, lo que permite que una vez el usuario sepa trabajar con una de las tareas pasar a utilizar otra diferente, solo variando en las partes específicas para cada tarea.

El control del experimento y la supervisión del mismo se llevan a cabo a través de esta misma interfaz, evitando así tener que usar el teclado para enviar comandos, aunque esta opción también está disponible, todo el control, pausar, reanudar, administrar recompensas, etc., se puede realizar con el ratón en la propia interfaz, mientras que cambiando los propios campos de configuración de la tarea, estos parámetros cambiarán en la siguiente iteración del experimento.

Otra característica deseada para la herramienta es que sea extensible. Esto se consigue mediante un sistema de plantillas para las tareas, abstrayendo al programador de las nuevas de programar partes no relevantes para la tarea y dejándole centrarse únicamente en las partes importantes de la misma.

IV-B. Arquitectura

Stimpack está estructurado siguiendo una arquitectura por capas, como se puede ver en la figura 4.

- La capa UI, donde se definen las múltiples interfaces de usuario.
- La capa Task, donde se define la lógica de las diferentes tareas experimentales.
- La capa Device Access, que abstrae a las tareas de la complejidad de la interacción con el hardware.
- La capa Configuration, transversal al resto de capas responsable de gestionar la configuración básica del sistema.

La herramienta cuenta con una clase que hace el papel de lanzador de la aplicación, que es la que se llama al ejecutar la misma. Esta clase crea una instancia de la clase de propiedades, en la que se definen los parámetros básicos de la aplicación. En la implementación actual de la herramienta estas propiedades se pueden diferenciar en tres grupos diferentes:

- Estado de activación del hardware
- Parámetros de ejecución de Psychtoolbox
- Dimensiones del monitor de estimulación

Estas propiedades se pueden modificar desde la ventana principal de la aplicación, que es arrancada por el lanzador del sistema. Desde esta interfaz también se pueden arrancar las IU específicas de cada tarea, que a su vez, instancian y configuran a las clases que implementan la lógica de las tareas.

Estas tareas (figura 5) son creadas extendiendo una clase abstracta, *AbstractTask*, en la que se definen los parámetros que son comunes a todas las tareas, como pueden ser:

- Resolución de la pantalla

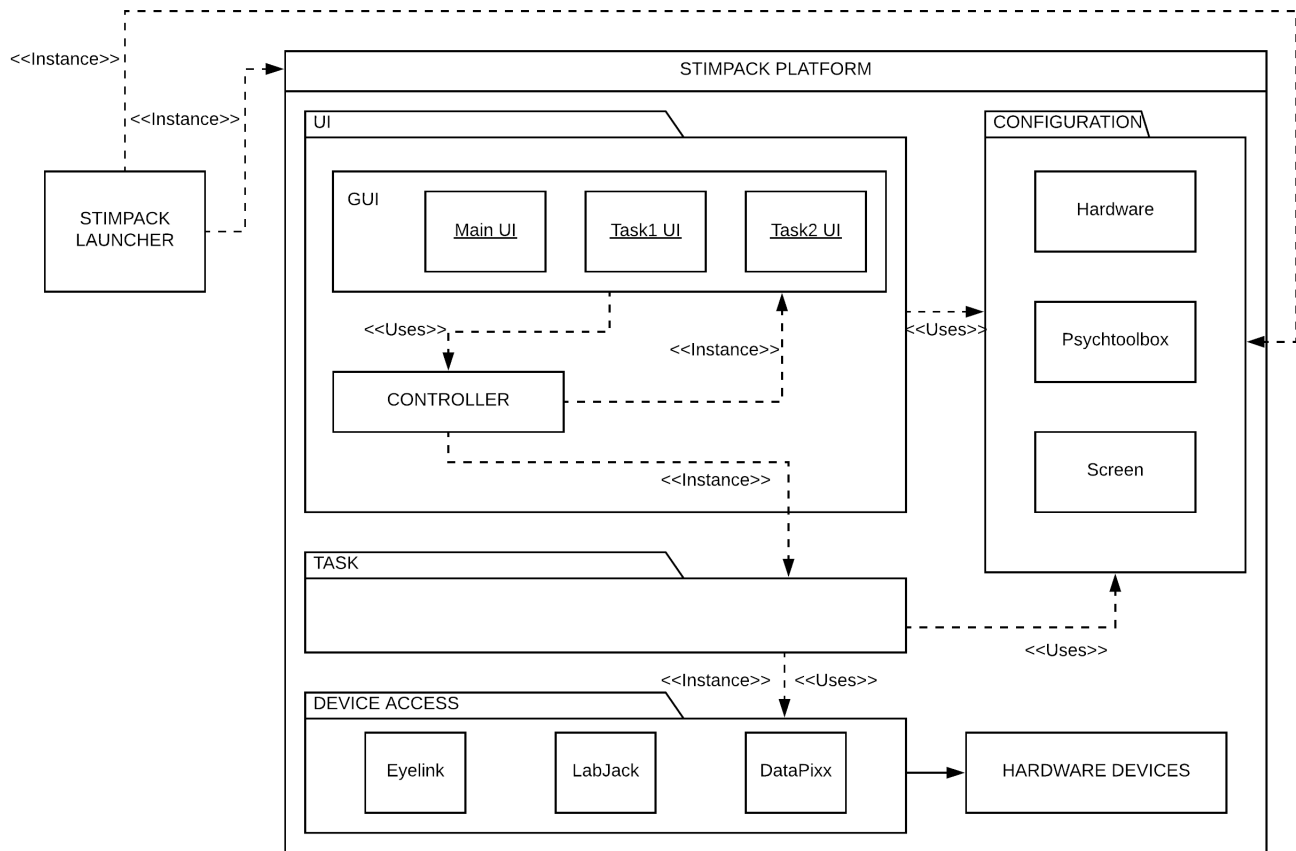


Figura 4. Diagrama de arquitectura de la herramienta

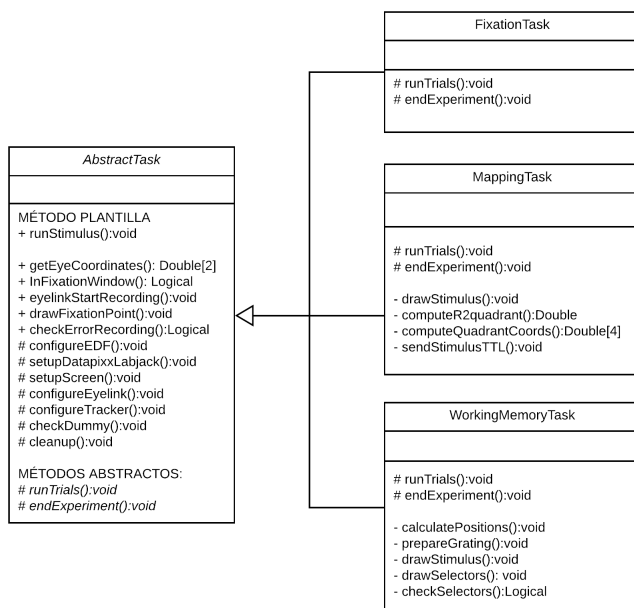


Figura 5. Estructura de clases que representa a las tareas

- Parámetros de la parte de fijación
- Número de ensayos por tarea
- Tiempo entre ensayos y la variabilidad del mismo
- El estado del experimento

La clase abstracta cuenta con un método, *RunStimulus* que se encarga de llamar en orden correcto a los métodos necesarios para la ejecución de la tarea. Dicho método se ha diseñado de acuerdo con el patrón Método Plantilla, de modo que los pasos que son específicos de una tarea concreta se difieren a la subclase correspondiente. Asimismo también existen propiedades abstractas, como el nombre de la tarea, que deben ser definidas por cada implementación diferente. El resto de métodos son los mismos para todas las tareas y se encargan de la preparación del entorno para la ejecución de la tarea, desde la conexión y configuración de los distintos elementos de hardware, configurar la pantalla en la que se mostrarán los estímulos o realizar la limpieza posterior a la ejecución de la tarea.

Además de estos métodos, la clase proporciona algunas funciones que son de utilidad a la hora de programar las tareas, estos métodos de utilidad permiten:

- Obtener las coordenadas visuales
- Forzar la actualización de los datos en el visor de la

cámara

- Dibujar el punto de fijación
- Comprobar si hay errores en la cámara
- Comprobar los comandos enviados desde la interfaz de control

Esta clase delega en la capa *Device Access* para el acceso a los diferentes dispositivos hardware, empleando las distintas librerías proporcionadas por los fabricantes de los mismos.

IV-C. Interfaz gráfica de usuario

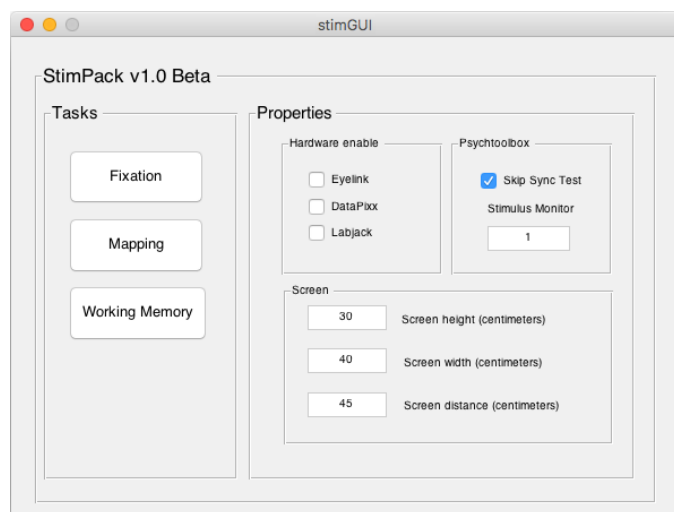


Figura 6. Interfaz principal de la aplicación

Como se introdujo en el primer punto, uno de los objetivos de este proyecto es que la herramienta cuente con una interfaz de usuario amigable, que facilite la configuración y control de los experimentos por cualquier investigador sin necesidad de una formación tecnológica específica. La interfaz de usuario principal (figura 6) del programa permite el lanzamiento de las diferentes tareas y cuenta con una parte de configuración donde se pueden modificar los siguientes parámetros generales de la aplicación:

- La distancia al monitor.
- Las dimensiones del monitor.
- Activación del sistema de seguimiento ocular
- Activación del sistema de envío de marcas temporales.
- Activación del sistema de recompensa.
- Activación del modo inseguro de Psychtoolbox.
- Selección del monitor de estimulación.

Las dimensiones y la distancia al monitor son necesarias para calcular la correspondencia en grados del sistema visual y píxeles en la pantalla. Los grados del sistema visual son la unidad tamaño usada en los experimentos que implican visión y permiten trasladar tamaños reales a su proyección en la retina (figura 7).

El resto de las opciones son útiles a la hora de desarrollar nuevas tareas o modificar la herramienta, ya que permiten ejecutarla sin la necesidad de contar con todo el equipo. En el caso del sistema de seguimiento visual, si se encuentra

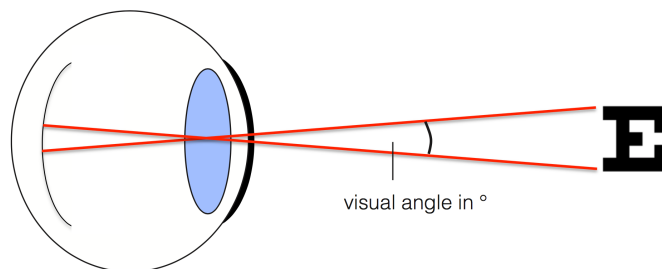


Figura 7. Grados del sistema visual

desactivado, se puede usar el ratón del ordenador para emular la mirada, en los otros casos, tener el hardware desactivado provoca que se generen logs en la consola para poder depurar la aplicación.

El modo no seguro de Psychtoolbox nos permite ejecutar la aplicación saltándose los tests automáticos de sincronía del monitor. Esta opción es útil cuando es necesario hacer pruebas en monitores que no alcanzan la precisión mínima requerida de sincronía, pero debe ser evitada a la hora de ejecutar experimentos reales ya que los resultados pueden perder precisión.

Las interfaces de las distintas tareas (figuras 9, 11, 13) siguen todas una misma estructura, con una parte a la derecha donde se pueden configurar los parámetros de la tarea mediante campos de texto o controles más específicos para cada tarea, y una zona a la izquierda que permite controlar el estado del experimento, con una zona que permite mostrar gráficos del experimento en curso y una serie de botones para controlar la ejecución.

Existe una plantilla básica derivada de la interfaz de la tarea de fijación (figura 9) que se debe usar a la hora de implementar nuevas tareas. Los detalles de las interfaces específicas de cada tarea son tratadas con mayor detalle en el siguiente apartado.

IV-D. Tareas implementadas

Para el desarrollo del experimento explicado en el primer apartado, ha sido necesario implementar tres tareas diferentes en Stimpack:

- La tarea de fijación, usada para entrenar al mono a fijar la mirada en un punto.
- La tarea de mapeo, que permite buscar los campos receptores en la corteza visual.
- La tarea de memoria de trabajo, que permitirá comprobar la hipótesis planteada por el proyecto.

estas tres tareas fueron incluidas en esta implementación de la herramienta. Adicionalmente se creó una plantilla a partir de la primera (fijación) para desarrollar nuevas tareas sin tener que reescribir el código común. A continuación se extienden los detalles de cada tarea individualmente.

Tarea de fijación: La tarea de fijación es la más básica de las implementadas y sirve de base para el resto, derivando la plantilla para crear tareas directamente de esta. En la tarea de fijación se le muestra al individuo un punto sobre un fondo

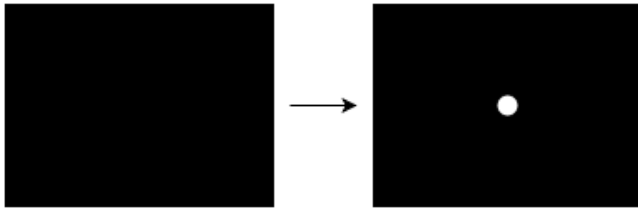


Figura 8. Tarea de fijación

en el que debe fijar la vista. Si lo hace correctamente se le da una recompensa. Los pasos de la tarea son los siguientes:

1. Aparece solo el fondo
2. Aparece el punto de fijación
3. El sujeto tiene un tiempo limite para poner la mirada sobre el punto
4. Una vez tiene la mirada fija en el punto, debe permanecer un tiempo definido
5. Desaparece el punto y si ha hecho correctamente todos los pasos se le da una recompensa
6. Tiempo entre ensayos y vuelta al punto 1

En la figura 8 puede verse lo que se le muestra al sujeto durante el experimento.

Esta tarea sirve para entrenar al sujeto en mantener la mirada en el punto de fijación. Es necesario entrenar al sujeto en mantener la vista fija en el punto de fijación, ya que en el resto de tareas es un requisito indispensable que el animal mantenga la mirada en todo momento en el punto de fijación.

Esta tarea es totalmente parametrizable, de forma muy sencilla, pudiéndose modificar a través de la interfaz gráfica (figura 9) las siguientes propiedades:

- Tamaño del punto de fijación y de la ventana de fijación
- Color del punto de fijación y del fondo
- Tiempo de espera de fijación
- Tiempo de fijación
- Tiempo de recompensa
- Tiempo entre ensayos
- Variación del tiempo entre ensayos
- Número de ensayos

Durante el experimento, se le muestra al investigador en la interfaz de usuario un gráfico de sectores donde se puede ver la cantidad de ensayos terminados con éxito, abortados por romper la fijación o fallidos por no haber alcanzado la fijación, esto ayuda a saber que tal progresa el experimento, pudiendo decidir si pausar el experimento o pararlo si el animal no progresa en la tarea.

Tarea de mapeo: La tarea de mapeo se construye sobre la tarea de fijación y comparte todos su parámetros, además de añadir parámetros propios y una interfaz gráfica basada en la anterior pero adecuada a esta tarea. En la tarea de mapeo se le muestra al sujeto el punto de fijación, una vez consigue fijar la mirada aparece un estímulo, en forma de un rectángulo de color. El animal debe seguir manteniendo la mirada en el punto de fijación hasta que desaparezca. Si lo consigue se le da una recompensa. El protocolo seguido es el siguiente:

1. Aparece el fondo
2. Aparece el punto de fijación
3. El animal fija
4. Aparece el estímulo
5. El animal mantiene la fijación
6. Desaparece el punto y el estímulo
7. Recompensa
8. Tiempo entre ensayos y vuelta al punto 1

En la figura 10 puede verse lo que se le muestra al sujeto durante la tarea.

Los parámetros modificables adicionalmente a los de la tarea de fijación son el tiempo de presentación del estímulo y el color del mismo. Además cuenta con una serie de botones (figura 11) que permiten controlar qué estímulo (cuadrante o subcuadrante) se le mostrará al animal, dos botones para activar el ciclado automático de cuadrantes entre ensayos y un botón para en caso de estar activado el ciclado de cuadrantes, repita el último mientras no se realice correctamente. Los botones están colocados de manera que seleccionar la zona de estimulación sea fácil, rápido e intuitivo, optando por una disposición física de los botones acorde a los estímulos en pantalla en vez de un simple listado de cuadrantes. Durante el experimento se le muestra al investigador un gráfico similar al de la tarea de fijación, pero mostrando los datos para el cuadrante seleccionado en la interfaz.

Esta tarea permite registrar datos neuronales sobre que neuronas se activan al presentar cierto estímulo en parte de la retina, los denominados campos receptores, y enfocar con mayor precisión los estímulos futuros.

Tarea de memoria de trabajo: La última tarea implementada es la más elaborada de todas, fue construida también sobre la plantilla y es la que se va a utilizar para llevar a cabo la investigación sobre la memoria de trabajo. En esta tarea el animal debe fijar la mirada en el punto, una vez fija se le muestra un estímulo, que puede ser de dos tipos diferentes, un grating en movimiento o un grating más una flecha, una vez pasa un tiempo el estímulo desaparece y se deja únicamente el punto de fijación, pasado otro momento se muestra un grating moviéndose en una dirección aleatoria, una vez pasado otro intervalo de tiempo desaparecen tanto el estímulo como el punto de fijación y aparecen dos puntos a los lados de la pantalla. En el caso del estímulo sin flecha, el animal debe fijar la mirada en el punto en el lado hacia el cual se movía el primer grating, en caso de que fuera el con flecha, debe escoger hacia el lado que señalaba la misma. Los pasos organizados son los siguientes:

1. Aparece punto de fijación
2. Animal fija
3. Aparece primer estímulo (con o sin flecha)
4. Desaparece el estímulo y se mantiene el punto de fijación
5. Aparece el segundo estímulo (solo grating)
6. Desaparecen el estímulo y el punto de fijación y aparecen los selectores en el monitor
7. El animal escoge fijando la vista en uno de ellos

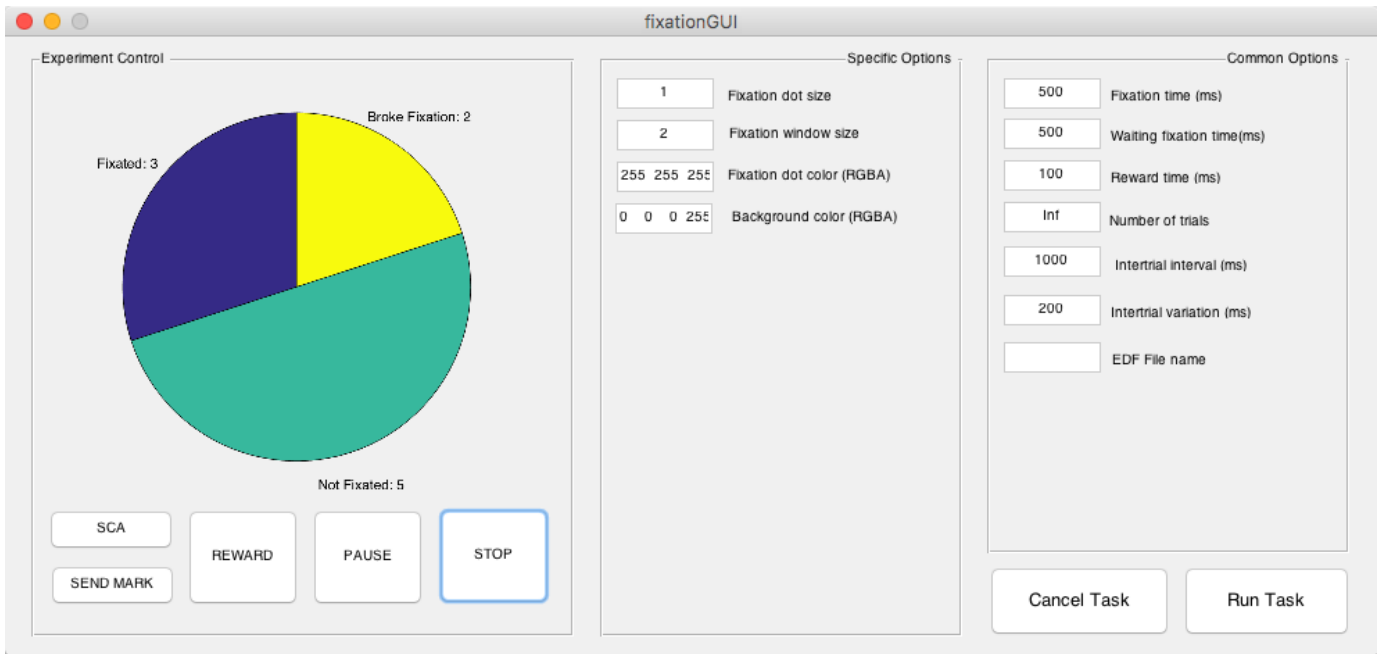


Figura 9. Interfaz de la tarea de fijación

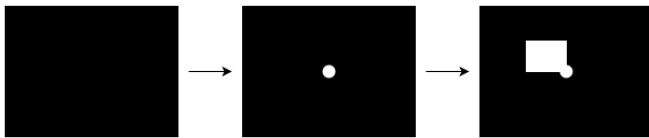


Figura 10. Tarea de mapeo

8. Desaparecen los selectores y si escoge el correcto se le da recompensa
9. Tiempo entre ensayos y vuelta al punto 1

En la figura 12 puede verse este proceso.

Los parámetros modificables son los siguientes:

- Tiempo del primer estímulo
- Tiempo entre estímulos
- Tiempo del segundo estímulo
- Tiempo disponible para responder
- Tiempo de fijación en los selectores
- Frecuencia espacial y temporal del grating
- Posición del grating
- Orientación del grating

Además de estos parámetros, en la interfaz gráfica (figura 13) existe un botón para cambiar entre las dos variantes de la tarea con y sin flecha. Las direcciones empleadas para el primer estímulo son precalculadas en base al número de ensayos, 50 % hacia cada lado, y después son ordenadas de manera aleatoria.

En la zona de información de la interfaz de usuario se muestra un gráfico de barras separado en izquierda y derecha que muestra las diferentes estadísticas de fijación, no fijación y rotura de fijación para cada lado.

En esta tarea se pone a prueba la memoria de trabajo del sujeto, haciéndole recordar una dirección hasta que aparezcan los selectores. En este tiempo se le puede aplicar al sujeto la estimulación magnética transcraneal (TMS) en la corteza prefrontal. Si la hipótesis es correcta, se verá afectado el rendimiento del individuo a la hora de realizar la tarea que implica la flecha ya que requiere información contextual (el animal debe aprender qué significa la flecha), sin embargo la versión sin flecha, al ser una estimulación puramente sensorial, no debería verse afectada.

V. CONCLUSIONES

En este trabajo se ha implementado una herramienta que permite el control de experimentos de estimulación visual. Stimpack proporciona un entorno fácil de utilizar que permite al usuario ejecutar las tres tareas de comportamiento definidas en los objetivos del proyecto, limitando la interacción a través de la línea de comandos únicamente a arrancar propia herramienta. La interfaz gráfica se ha simplificado al máximo, creando ventanas específicas para cada tarea. Esto distancia a la herramienta de otras como Opticka o Monkeylogic, que cuentan con interfaces de usuario muy densas y genéricas. Esta característica de stimpack lo hace más usable a costa de una menor flexibilidad. Stimpack emplea como lenguaje de programación Matlab y como framework para la presentación de estímulos Psychtoolbox, herramientas que se han convertido en el estándar para el desarrollo de experimentos de psicofísica y neurociencia. Se proporciona una forma de expandir la herramienta con nuevas tareas haciendo uso de plantillas, donde los desarrolladores solo necesitan centrarse en la programación de la tarea y la presentación de estímulos, despreocupándose de la parte de configuración y conexión a



Figura 11. Interfaz de la tarea de mapeo

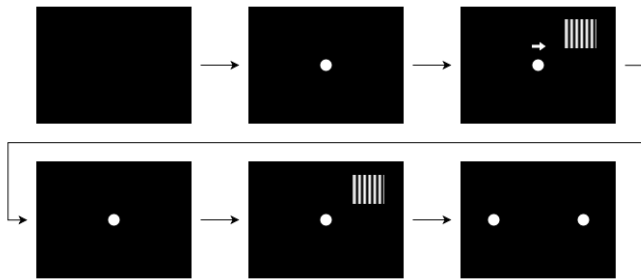


Figura 12. Tarea de memoria de trabajo (con flecha)

los diferentes sistemas de hardware. La herramienta se integra con los sistemas de seguimiento ocular y adquisición de datos disponibles en el laboratorio, permitiendo una transición suave desde la herramienta anterior, sin necesidad de cambiar ningún elemento del sistema. Durante el desarrollo se ha mantenido una comunicación con los investigadores al cargo del proyecto y se han realizado pruebas en el entorno real, lo que ha permitido que la herramienta se adapte bien a sus necesidades. Stimpack comenzará a emplearse en breve en el proyecto sustituyendo a Opticka en el desarrollo de los experimentos. La herramienta está publicada en un repositorio público en Github [14] y se espera que a través del feedback proporcionado los usuarios pueda convertirse en una herramienta general para estimulación visual y no sólo algo específico para este experimento.

VI. AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer a Juan Casto Rivadulla Fernández por la dirección de este proyecto, a Sandra Yaneth Prieto Soler y José Luis Pardo Vázquez por su ayuda en el laboratorio y sus consejos desde la perspectiva de investigadores para desarrollar la herramienta. También quiero agradecer la ayuda prestada por Alejandro Paz López por sus consejos, que permitieron al mejora de la arquitectura del sistema.

REFERENCIAS

- [1] Aguila, J., Cudeiro, F. J. and Rivadulla, C. (2017) 'Suppression of V1 Feedback Produces a Shift in the Topographic Representation of Receptive Fields of LGN Cells by Unmasking Latent Retinal Drives', *Cerebral Cortex*, 27(6), pp. 3331–3345. doi: 10.1093/cercor/bhx071.
- [2] Aguila, J., Cudeiro, F. J. and Rivadulla, C. (2017) 'Suppression of V1 Feedback Produces a Shift in the Topographic Representation of Receptive Fields of LGN Cells by Unmasking Latent Retinal Drives', *Cerebral Cortex*, 27(6), pp. 3331–3345. doi: 10.1093/cercor/bhx071.
- [3] Cortex: A Program for Computerized Real Time EXperiments. <http://www.cnbc.cmu.edu/rickr/ctxman5.html> (Online) Último acceso: 14/6/2018
- [4] ASAAD, Wael F.; ESKANDAR, Emad N. A flexible software tool for temporally-precise behavioral control in Matlab. *Journal of neuroscience methods*, 2008, vol. 174, no 2, p. 245-258.
- [5] BRAINARD, David H.; VISION, Spatial. The psychophysics toolbox. *Spatial vision*, 1997, vol. 10, p. 433-436.
- [6] Peirce, J. W. (2007) 'PsychoPy—Psychophysics software in Python', *Journal of Neuroscience Methods*. Elsevier, 162(1–2), pp. 8–13. doi: 10.1016/j.jneumeth.2006.11.017.
- [7] Meyer, T. and Constantinidis, C. (2005) 'A software solution for the control of visual behavioral experimentation', *Journal of Neuroscience Methods*, 142(1), pp. 27–34. doi: 10.1016/j.jneumeth.2004.07.009.
- [8] Opticka visual stimulus generator. <http://iandol.github.io/opticka/> (Online) Último acceso: 16/6/2018

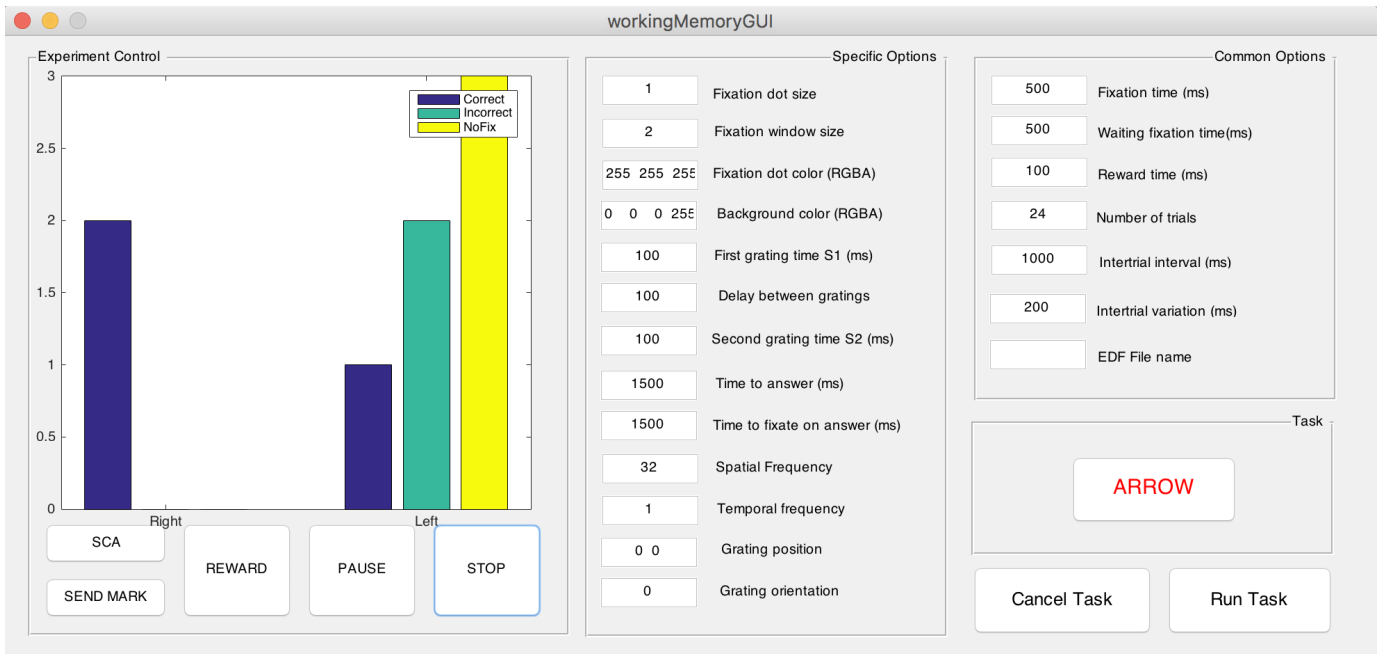


Figura 13. Interfaz de la tarea de memoria de trabajo

- [9] OmniPlex Neural Data Acquisition System. <https://plexon.com/products/omniplex-d-neural-data-acquisition-system-1/> (Online) Último acceso: 13/6/2018
- [10] Eyelink 1000 Plus Eye Tracking System. <https://www.sr-research.com/products/eyelink-1000-plus/> (Online) Último acceso: 13/6/2018
- [11] VPixx Technologies DATAPixx data acquisition and graphics toolbox. <http://vpixx.com/products/tools-for-vision-sciences/display-drivers/datapixx/> (Online) Último acceso: 13/6/2018
- [12] Plexcontrol Software. <https://plexon.com/products/omniplex-software/> (Online) Último acceso: 18/6/2018
- [13] Labjack U6 DAQ. <https://labjack.com/products/u6> (Online) Último acceso: 13/6/2018
- [14] Stimpack repository. <https://github.com/Shiu93/stimpack> (Online) Último acceso: 18/6/2018