

Desarrollo de una herramienta de configuración asistida de Sistemas Automatizados de Prevención de Riesgos Industriales basados en Visión Artificial

M^a Dolores Moreno Rabel
mdmorenorabel@unex.es

J. Álvaro Fernández Muñoz
jalvarof@unex.es

Dept. Ing. Eléctrica, Electrónica y Automática, Escuela de Ingenierías Industriales,
Universidad de Extremadura, Avda. Elvas s/n, 06006 (Badajoz)

Resumen

Algunos Dispositivos de Detección de Acceso (ADDs) utilizan un Sistema de Visión Artificial (SVA) para detectar el acceso de los trabajadores al entorno de la máquina e impedir su funcionamiento en tales circunstancias. Tomando como referencia estos ADDs, los autores de este trabajo desarrollaron un Sistema Automatizado de Prevención de Riesgos Industriales basado en Visión Artificial (SAPRIVA), que no puede considerarse un ADD, ya que además de las dos funciones mencionadas anteriormente, realiza un seguimiento del ciclo de la máquina. Para el correcto funcionamiento de SAPRIVA es necesario llevar a cabo un proceso de configuración antes de su primer uso. Para realizar esta configuración inicial de forma asistida se ha desarrollado la herramienta de configuración SAPRIVACONFIG, que se presenta en este trabajo.

Palabras clave: herramienta de configuración, Sistema Automatizado de Prevención de Riesgos Industriales basado en Visión Artificial (SAPRIVA), Sistema de Visión Artificial (SVA).

1. INTRODUCCIÓN

Los ADDs se seleccionan cuando el trabajador debe acceder frecuentemente a la zona de peligro (zona que rodea a la máquina en la cual una persona está expuesta a riesgo), ya que proporcionan un acceso rápido y fácil a dicha zona al imponer una barrera virtual no física [3].

Tomando como referencia las prestaciones ofrecidas por los ADDs que utilizan SVAs para llevar a cabo la detección de acceso e impedir las funcio-

nes de la máquina cuando se detecta al menos una persona accediendo a la zona de peligro de una máquina, los autores del presente trabajo desarrollaron SAPRIVA [2, 9]. Este sistema mediante un SVA cenital monitoriza la máquina, la zona de peligro y una zona de advertencia circundante a ella donde la presencia de una persona no supone un riesgo. Sin embargo, SAPRIVA no puede considerarse un ADD, ya que a partir del análisis de las imágenes capturadas y procesadas por dicho SVA, además de las dos funciones indicadas anteriormente, realiza un seguimiento del ciclo de la máquina, incluyendo su posición y el procesado que realiza. Todo ello con el fin de garantizar que la máquina solo funciona cuando las condiciones del entorno son seguras (p. e. material adecuado y bien posicionado, ausencia de movimiento y objetos desconocidos). Una característica común de los ADDs que utilizan SVAs para llevar a cabo la detección de acceso y de SAPRIVA es que para su correcto funcionamiento deben configurarse antes de su primer uso. No obstante, el proceso de configuración de SAPRIVA es más complejo, ya que requiere un mayor número de parámetros.

Para realizar el proceso de configuración de SAPRIVA de forma asistida, dado que no hay disponible ninguna herramienta que permita su configuración, se ha desarrollado la herramienta de configuración SAPRIVACONFIG [8].

El resto del artículo se ha organizado como sigue: en la Sección 2 se revisa SAPRIVA, sistema que configura la herramienta asistida SAPRIVACONFIG que se describe en la Sección 3. En la Sección 4 se presenta un ejemplo de aplicación de esta herramienta en la configuración de SAPRIVA. Por último, en la Sección 5 se dan una serie de conclusiones y trabajo futuro relacionado con lo presentado en este trabajo.

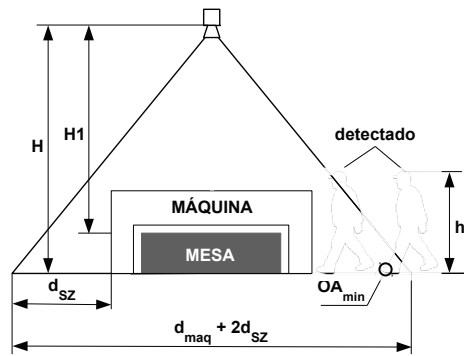


Figura 1: Perfil del entorno de dimensiones $d_{maq} + 2d_{sz}$ monitorizado por SVA conectado a SAPRIVA posicionado a una altura H del suelo y a una altura $H1$ de la mesa de trabajo de la máquina para detectar objetos de tamaño proyectado en horizontal mayor que OA_{min} , donde d_{maq} y d_{sz} son la dimensión de la máquina y de la zona circundante considerada.

2. SAPRIVA

Es un sistema jerárquico de seguridad diseñado para detectar y prevenir riesgos laborales a partir de la monitorización y del análisis del entorno de trabajo en maquinaria industrial caracterizada por controlarse semiautomáticamente por un trabajador mediante un dispositivo de control numérico computerizado (CNC) y moverse en un sistema de ejes cartesianos para llevar a cabo sus funciones de forma automática en una mesa de trabajo (p. e. las lijadoras, las de electroerosión, los bancos de soldadura automática y las máquinas de corte, entre otras). Las principales funciones realizadas por SAPRIVA son [2]:

- Detectar la presencia de personas y/o objetos cuando entran o permanecen en la zona monitorizada.
- Seguir el ciclo de la máquina, incluyendo su posición y el procesado de materiales.
- Parar la máquina e impedir sus funciones, garantizando que solo funciona cuando las condiciones del entorno de trabajo son seguras (p. e. material adecuado y bien posicionado, ausencia de objetos desconocidos y movimiento en la zona monitorizada).

Para alcanzar estos objetivos, SAPRIVA se conecta a un SVA (formado por una o más cámaras) que se posiciona como se ilustra en la Fig. 1 sobre la mesa de trabajo a una distancia $H1$ suficiente para visualizar la máquina, la mesa de trabajo y una

zona de seguridad circundante a ambas cuyas dimensiones se determinan a partir de las normas ISO 13855 [5] e ISO 13857 [6].

La información capturada por el SVA es procesada y analizada por SAPRIVA que está formado por: una unidad de imagen que combina la información proporcionada por cada cámara que forma el SVA, una unidad de control que realiza un análisis cíclico que determina la existencia de riesgos laborales en la zona monitorizada teniendo en cuenta tanto el nivel de seguridad del entorno de trabajo como el estado de la máquina, y actúa sobre un interruptor controlado conectado al sistema de control de la máquina para materializar la prevención llevada a cabo, y una unidad que almacena imágenes, vídeo y datos, así como un número de parámetros necesarios para el análisis cíclico realizado por la unidad de control. Este análisis se divide en las siguientes etapas que se corresponden con las etapas del ciclo de la máquina [9]:

- *Pre-activación*: Se corresponde con la etapa del ciclo de la máquina en la que esta se encuentra parada en su punto de reposo a la espera de que se verifiquen las condiciones necesarias para que comience a realizar la tarea que se le indique mediante su CNC (material adecuado y bien posicionado en la mesa de trabajo, y ausencia de movimiento y objetos desconocidos en la zona monitorizada).
- *Movimiento*: Esta etapa se caracteriza porque la máquina se encuentra en movimiento llevando a cabo su actividad. Durante esta etapa la unidad de control determina la posición instantánea en la que se localiza la máquina y define las zonas de peligro y advertencia asociadas a esta y variables en el tiempo en las que lleva a cabo la detección de acceso y presencia para impedir las funciones de la máquina tan pronto como se detecte algún riesgo en la zona de peligro, evitando de esta forma que ocurra un accidente laboral.
- *Reactivación*: Esta etapa, de características similares a la de *Pre-activación*, se caracteriza porque en ella la máquina se encuentra fuera de su punto de reposo, lo que indica que, antes de llegar a esta etapa, hubo una parada intempestiva de la máquina provocada por la presencia de algún objeto desconocido en el entorno de operación de la misma. En esta etapa, el objetivo de SAPRIVA es determinar en qué momento el entorno de trabajo vuelve a ser seguro para reactivar las funciones de la máquina.

3. SAPRIVACONFIG

Es una herramienta de configuración asistida que determina los parámetros necesarios para que SAPRIVA lleve a cabo la detección de acceso, movimiento y objetos a partir de la información proporcionada por un SVA cenital en un entorno de trabajo industrial donde existe una mesa/banco de trabajo en la que realiza su labor una máquina industrial [8]. Estos parámetros son: el número de cámaras necesarias para visualizar el entorno, la posición donde se deben instalar, la corrección de las distorsiones de las lentes, los planos de referencia y los umbrales adaptados al entorno que permiten realizar las detecciones, así como los tipos de materiales que se espera que procese la máquina industrial [8].

Para determinar el número de cámaras necesarias para visualizar el entorno, así como la posición donde se han de instalar se han de conocer tanto las características del entorno como las características de las cámaras que formarán el SVA homogéneo que proporcionará la información a SAPRIVA. De forma similar, para proceder a la caracterización de los planos de referencia, umbrales y materiales considerados por SAPRIVA es necesario que las cámaras que forman el SVA estén instaladas correctamente en la posición determinada previamente.

3.1. Estructura

Teniendo en cuenta estas consideraciones se ha estructurado SAPRIVACONFIG en menús que puede gestionar cualquier usuario tenga o no conocimientos sobre el proceso de configuración de SAPRIVA. Estos menús son:

Configuración Entorno: En este menú se definen manualmente los parámetros que caracterizan el entorno a visualizar por el SVA de SAPRIVA. Estos parámetros son los siguientes: dimensiones de la mesa disponible en el entorno (largo x ancho x alto) (m), dimensiones de la máquina (largo x ancho x alto) (m) y superficie conjunta máquina-mesa (largo x ancho) (m).

Parametrización SVA: En este segundo menú, de forma similar al anterior, se definen los parámetros del SVA que gestionarán tanto SAPRIVACONFIG como SAPRIVA. Como se indica en [9], este SVA obligatoriamente debe ser homogéneo, es decir, las cámaras deben tener los mismos parámetros, que son los que se han de definir aquí. Estos parámetros son: dimensiones del

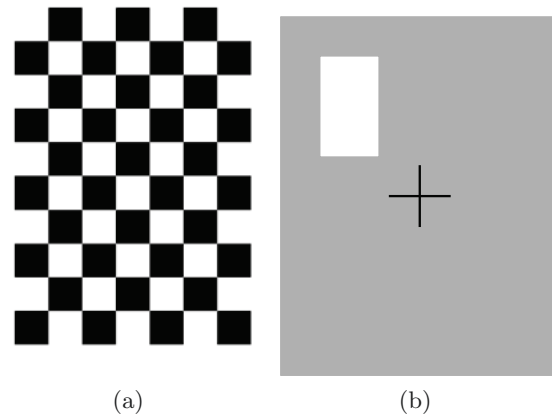


Figura 2: Plantillas utilizadas durante el proceso de: (a) Calibración y (b) Posicionamiento Real, de VBPDs mediante SAPRIVACONFIG.

sensor de la(s) cámara(s) (mm), distancia focal (mm), altura de la(s) cámara(s) respecto al suelo (m), relación de aspecto y orientación de la(s) cámara(s). A partir de estos parámetros, la herramienta de configuración determina automáticamente el FOV (ancho, alto) de cada cámara y muestra su valor.

Una vez definido y validado este menú, SAPRIVACONFIG determina automáticamente el número de cámaras y la posición en la que han de ubicarse para cubrir todo el entorno definido en el menú anterior así como la zona circundante a este cuyas dimensiones se obtienen a partir de las normas ISO 13855 [5] e ISO 13857 [6]. Esta información está disponible en el menú Posicionamiento Real.

Configuración IP/USB: En este menú, dado que el resto del proceso de configuración de SAPRIVA depende de las cámaras, se configura el puerto USB o la IP de cada una de las cámaras que componen el SVA, que pueden ser GIGEs, USBs o IPs, y se comprueba su acceso.

Calibración: En este menú se realiza la calibración (corrección de distorsión radial y tangencial) de las cámaras utilizadas por SAPRIVA. Para cada cámara se realizan varias capturas de una plantilla de características similares a la de la Fig. 2(a). En cada captura SAPRIVACONFIG determina automáticamente si se visualiza la plantilla de calibración y si además se encuentra en una posición diferente a la que se encontraba en las imágenes capturadas anteriormente. En caso satisfactorio, se calculan mediante OpenCV las ecuaciones

geométricas que definen los puntos de interés de la plantilla. A partir de estas ecuaciones se obtienen una vez finalizado el proceso de captura los parámetros de calibración de dicha cámara (matriz de parámetros intrínsecos y de coeficientes de distorsión).

Posicionamiento Real: Una vez configuradas y calibradas las cámaras del SVA se procede a instalarlas de forma individualizada en la posición del entorno determinada por SAPRIVACONFIG. Para realizar este posicionamiento asistido, que debe repetirse tantas veces como sean necesarias hasta que la cámara se instale en la posición determinada, en primer lugar se debe posicionar la cámara en la posición y orientación indicada por SAPRIVACONFIG de forma aproximada. Acto seguido, se posiciona centrada en dicha posición una plantilla de características similares a la mostrada en la Fig. 2(b). En el caso de que la cámara esté bien posicionada el centro de la plantilla coincidirá con su eje óptico. Esta plantilla tiene un fiducial en el segundo cuadrante que permite que SAPRIVACONFIG determine si la cámara está orientada correctamente. Para ello, antes es necesario realizar una captura e indicar la posición donde se ubica el centro de la plantilla, que por limitaciones del entorno puede no coincidir con el eje óptico de la cámara. A partir de esta información, SAPRIVACONFIG determina si la cámara está posicionada correctamente, y en caso negativo, indica los parámetros (rotación y traslación) necesarios para posicionarla correctamente.

Caracterización Suelo-Mesa: En este menú se procede a la caracterización bizonal Suelo-Mesa por cámara de todo el entorno de trabajo sin presencia de máquina, si la hubiera. Esta caracterización permite mejorar la detección de movimiento y la detección de objetos, ya que estos planos se encuentran a diferente distancia del SVA. Para ello, primero se obtiene una Imagen de Referencia del Entorno sin presencia de máquina, movimiento u objetos desconocidos. A partir de esta imagen se realiza la caracterización Suelo-Mesa mediante un selector automático basado en muestras. Esta selección de las regiones de la imagen que no se han caracterizado aún y tienen propiedades similares a las de la muestra, basada en crecimiento de regiones, se realiza sobre una versión filtrada mediante filtro Kuwahara de la Imagen de Referencia [7]. Este filtrado tiene como objetivo suavizar la imagen para eliminar el ruido que tiene asociado, pero sin distorsionar los detalles y la posición de los bordes. Por este motivo, se utiliza este filtro en detrimento

de los filtros lineales (filtro de valor medio (promedio), filtro gaussiano) que, aunque tienen asociado un menor coste computacional, enturbian y difuminan los bordes de la imagen cuando se aplican [4].

Parametrización Software: En este menú se procede a la definición y testeo de los umbrales (parámetros) que permiten realizar la detección de movimiento basada en diferencia temporal y la detección de objetos basada en sustracción de fondo [1] de forma individualizada para cada una de las cámaras. Para ello, se necesita un vídeo donde se contemplan estas circunstancias a partir del cual se procede a ajustar los umbrales de cada una de las cámaras hasta que se considere que los umbrales aseguran la detección deseada. Esta opción flexibiliza la detección al permitir que cada una de las cámaras tenga una sensibilidad diferente tanto para la detección de movimiento como para la detección de objetos.

Biblioteca de Materiales: En este último menú se caracterizan los materiales con los que se espera que trabaje la máquina industrial para evitar que sean caracterizados como objetos desconocidos y de esta forma posibilitar la detección de posición de estos en el entorno. Para ello, se ha de capturar una imagen multicámara del entorno donde se ha de visualizar el material a caracterizar. A partir de la versión filtrada mediante filtro Kuwahara de esta imagen [7], SAPRIVACONFIG selecciona automáticamente el nuevo material caracterizado, selección que puede editarse de forma manual. Además, SAPRIVACONFIG también comprueba antes de incluirlo en la Biblioteca de Materiales si ya existe, para que en ese caso, el usuario decida si quiere actualizar el material ya existente en la biblioteca con las propiedades del nuevo material caracterizado o descartar los resultados.

3.2. Implementación

Teniendo en cuenta las consideraciones de diseño especificadas anteriormente se ha implementado la herramienta de configuración SAPRIVACONFIG. En este desarrollo, llevado a cabo en el entorno operativo LINUX, aunque también trabaja en WINDOW, se ha utilizado el lenguaje de programación C y la biblioteca multiplataforma de visión artificial OpenCV disponible en <http://opencv.org>, ya que incluye la mayoría de las funciones que permiten la determinación de los parámetros necesarios para el correcto funcionamiento de SAPRIVA.

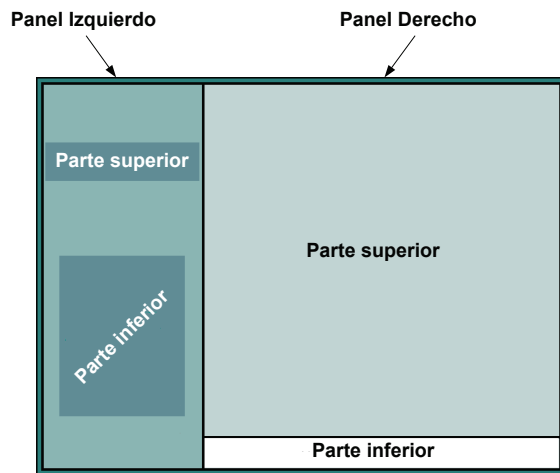


Figura 3: HMI de SAPRIVACONFIG.

3.3. HMI

La herramienta de configuración, que es capaz de detectar cuando el usuario lleva a cabo erróneamente las tareas de configuración, se ha diseñado para manejarse de forma táctil, lo que posibilita su uso en cualquier dispositivo de estas características. Como se ilustra en la Fig. 3, su interfaz se divide en dos paneles:

Panel izquierdo: En la parte superior de este panel se incluyen las teclas que dan acceso a la ventana de ayuda o a la siguiente, validan los datos introducidos o visualizados en la ventana actual, permiten regresar al Menú Principal de SAPRIVACONFIG, destacar el FOV de la cámara seleccionada en el FOV conjunto visualizado por el SVA, o permiten salir del programa de configuración, entre otras.

En la parte inferior de este panel se despliega un teclado numérico con display que permite la edición y entrada de datos durante el proceso de parametrización.

Panel derecho: En este panel se incluyen los diferentes menús que permiten la entrada de parámetros, la captura de imágenes, la visualización de imágenes capturadas o en tiempo real de la cámara, o la visualización del vídeo que permite el testeo de los umbrales introducidos, entre otras.

En la parte inferior de este panel se ilustra sobre fondo blanco las instrucciones que debe seguir el usuario durante el proceso de configuración asociado a la ventana actual.

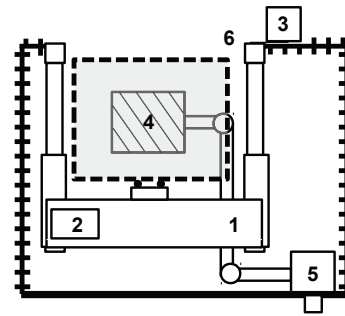


Figura 4: Entorno industrial donde se instalará y configurará SAPRIVA que incluye: una máquina de corte (1), un equipo de plasma de altas prestaciones (2), un CNC (3), una mesa de corte por plasma (4) y un extractor de humos (5). (6) Zona monitorizada por SAPRIVA.

4. PRUEBA DE FUNCIONAMIENTO

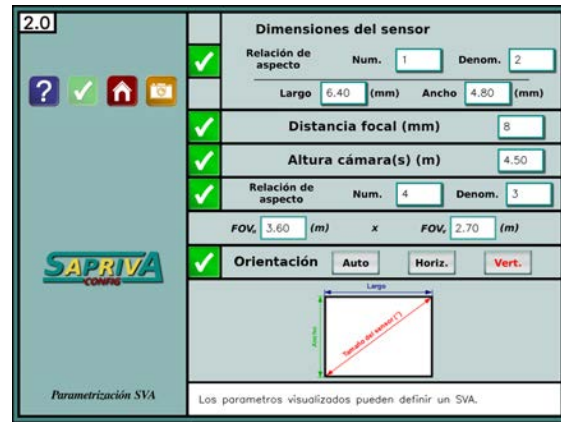
Para demostrar la correcta funcionalidad de la herramienta de configuración desarrollada, en la presente Sección se incluyen algunas imágenes de las diferentes ventanas que componen la HMI de SAPRIVACONFIG. En concreto del Menú Principal y de los menús Configuración Entorno, Parametrización SVA, Calibración y Parametrización Software.

En esta prueba, SAPRIVA se ha configurado para prevenir de forma activa los riesgos asociados a una máquina de corte combinado plasma/oxigás. El tiempo empleado en este proceso de configuración han sido 10 minutos. El entorno de trabajo donde se encuentra esta máquina tiene unas dimensiones (largo x ancho x alto) de $(6,85 \times 6,5 \times 4,5 \text{ m})$. En este entorno, esquematizado en la Fig. 4, además del Sistema de Corte por Plasma, hay un extractor de humos, así como una mesa de trabajo de dimensiones (largo x ancho x alto) iguales a $(0,9 \times 1,1 \times 0,8 \text{ m})$, dotada con tubo de extracción de humos, sobre la cual lleva a cabo sus actividades el Sistema de Corte.

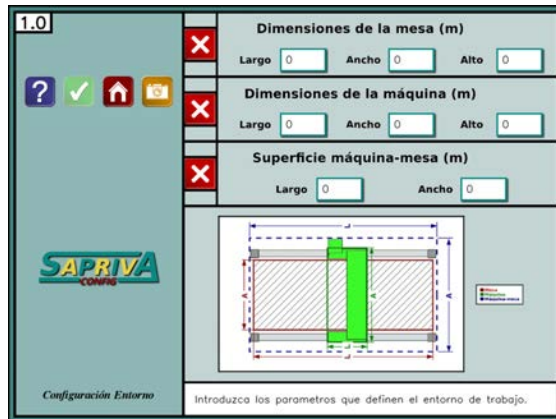
Como se muestra en la Fig. 4, la zona de acceso a este entorno está limitada por Guardas Fijas, siendo la zona superior el único medio físico por el cual puede acceder el trabajador al entorno. Además, los riesgos asociados a este tipo de máquinas, se producen en la mesa de trabajo (4) y en su zona circundante (6), donde no se visualiza la máquina cuando está en reposo.



(a)



(a)



(b)



(b)

Figura 5: SAPRIVA CONFIG (1). (a) Menú principal con menús Configuración Entorno, Parametrización SVA, Configuración IP/USB y Calibración disponibles, y (b) menú Configuración Entorno.

Teniendo en cuenta estas consideraciones, al acceder al Menú Principal de SAPRIVA CONFIG (véase Fig. 5(a)), se procede a introducir los parámetros que caracterizan el entorno mediante el menú Configuración Entorno (véase Fig. 5(b)).

Una vez definido el entorno, y teniendo en cuenta que las cámaras que formarán el SVA que gestionará SAPRIVA estará formado por cámaras con sensor CCD de escaneo progresivo de 1/2", que capturan imágenes RGB e incluyen un objetivo de distancia focal fija de 8 mm, se procede a introducir los parámetros que caracterizan el SVA mediante el menú Parametrización SVA (véase Fig. 6(a)). En esta introducción se tiene en cuenta que la altura a la que se posicionarán las cámaras sobre el suelo es 4,5 m.



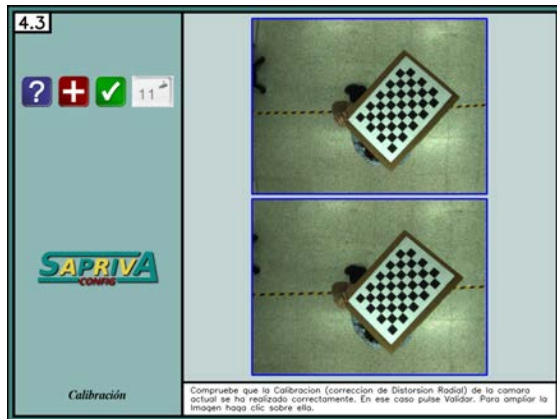
(c)

Figura 6: SAPRIVA CONFIG (2). (a) Menú Parametrización SVA, y menú Calibración: (b) selección de cámara a calibrar y (c) captura de imágenes con plantilla.

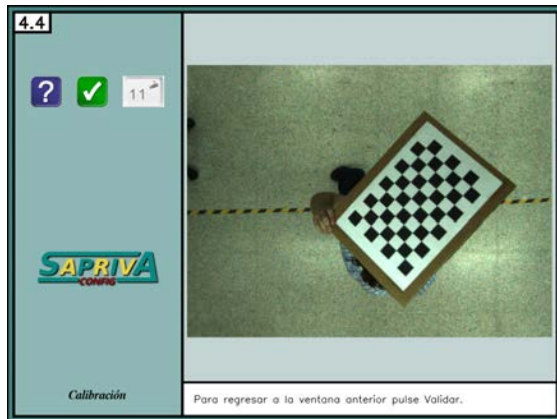
Al guardar en disco los parámetros que caracterizan el SVA antes de regresar al Menú Principal, SAPRIVA CONFIG determina de forma automáti-



(a)



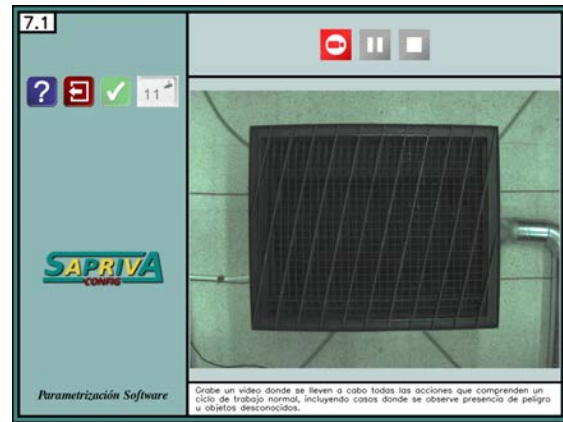
(b)



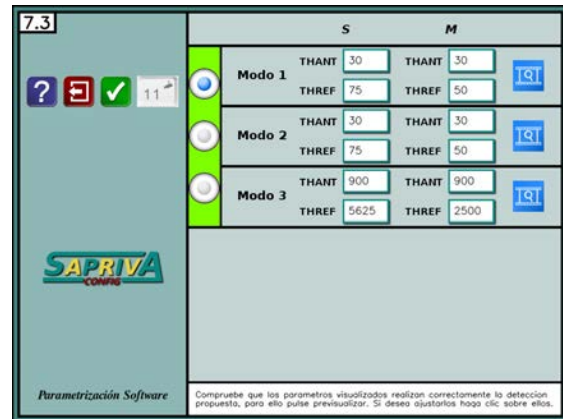
(c)

Figura 7: SAPRIVA CONFIG (3). Menú Calibración: verificación de (a) puntos de interés detectados y (b) calibración de distorsiones de la lente y (c) ampliación de corrección de distorsión.

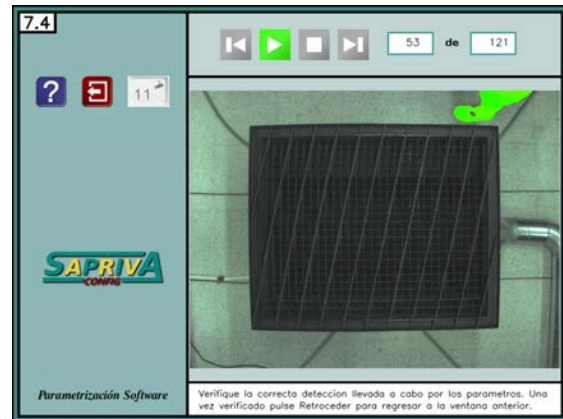
ca que solo una cámara es necesaria para visualizar el área objetivo. Tras configurarse y comprobar su correcto acceso, se han de parametrizar las



(a)



(b)



(c)

Figura 8: SAPRIVA CONFIG (4). Menú Parametrización Software: (a) grabación de vídeo, (b) edición de umbrales y (c) verificación de detección realizada a partir de estos parámetros.

distorsiones de la lente asociadas a esta cámara mediante el menú Calibración. En esta parametrización se utiliza la plantilla de la Fig. 2(a), la cual

se debe capturar en dieciséis posiciones diferentes (Fig. 6(c)) con el fin de que SAPRIVACONFIG calcule automáticamente los parámetros de calibración de dicha cámara a partir de los puntos de interés de la plantilla (véase Fig. 7(a)). Una vez finaliza el proceso, con el fin de validar estos parámetros, el programa de configuración visualiza la corrección de las distorsiones de la lente que se lleva a cabo a partir de estos parámetros (véase Figs. 7(b) y 7(c)).

Finalmente, en las Figs. 8(a)-8(c) se muestran tres imágenes de las ventanas del menú Parametrización Software que permiten la grabación del vídeo, la edición de los umbrales que va a utilizar SAPRIVA durante la detección de movimiento y/o objetos y la comprobación de la correcta detección llevada a cabo a partir de estos umbrales.

5. CONCLUSIONES Y TRABAJO FUTURO

En este trabajo se ha presentado la herramienta de configuración SAPRIVACONFIG desarrollada para configurar SAPRIVA. Esta herramienta con tolerancia a fallos de introducción o edición de datos determina de forma asistida el número de cámaras necesarias para visualizar el área objetivo, la posición donde se deben instalar, la corrección de distorsión de las lentes, los umbrales adaptados al entorno que permiten llevar a cabo exitosamente sus funciones, y la caracterización de materiales, entre otras.

Para verificar las prestaciones ofrecidas por SAPRIVACONFIG durante el proceso de configuración de SAPRIVA, en la Sección 4 se han incluido algunas imágenes de diferentes ventanas de esta herramienta. En concreto, las que permiten parametrizar el SVA y calibrarlo, así como verificar los umbrales necesarios para la detección de acceso y/o presencia llevada a cabo por SAPRIVA.

En trabajos futuros, dada la utilidad de esta herramienta con tolerancia a fallos de introducción de datos en el proceso de configuración de SAPRIVA, se estudiará la forma de minimizar el número de interacciones entre el usuario y la herramienta de configuración.

Agradecimientos

Este trabajo ha sido financiado por la Junta de Extremadura a través de los Fondos Europeos de Desarrollo Regional (FEDER-GR10097).

Referencias

- [1] Elhabian, S. Y., El-Shayed, K. M. y Ahmed, S. H., (2008) "Moving Object Detection in Spatial Domain using Background Removal Techniques - State of Art", *Recent Patents on Computer Science*, pp 32-54.
- [2] Fernández Muñoz, J. A. y Moreno Rabel, M. D., (2011) Sistema con fines de detección y prevención activa e inmediata de riesgos en maquinaria industrial, *Oficina Española de Patentes y Marcas (OEPM), N° de Publicación: ES 2 421 285 A1*.
- [3] Goernemann, O. y Stubenrauch, H. J., (2013) Electro-sensitive protective devices (ESPEs); Opto-electronic protective devices, Sick Inc, Alemania.
- [4] González Jiménez, J., (1999) Visión por computador, Paraninfo, España.
- [5] ISO, (2010) "ISO 13855: Safety of machinery – Positioning of safeguards with respect to the approach speeds of parts of the human body".
- [6] ISO, (2008) "ISO 13857: Safety of machinery – Safety distances to prevent hazard zones being reached by upper and lower limbs".
- [7] Kuwahara, M., Hachimura, K., Ehiu, S. y Kinoshita, M., (1976) "Processing of Ri-Angiocardiographic Images", *Digital Processing of Biomedical Images*, Plenum Press, Nueva York, pp 187-202.
- [8] Moreno Rabel, M. D. y Fernández Muñoz, J. A., (2015) SAPRIVACONFIG, *Registro de la Propiedad Intelectual, N° de Asiento Registral: 14/2015/240*.
- [9] Moreno Rabel, M. D. y Fernández Muñoz, J. A., (2016) "An access detection and machine cycle tracking system for machine safety", *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, pp 1-25.