



SISTEMA DE NAVEGACIÓN POR SEGUIMIENTO DE PUPILA PARA LA ASISTENCIA A PERSONAS CON DISCAPACIDAD MOTRIZ

Victor H. Flores-Muñoz ^a, Hugo A. Méndez-Guzmán ^a, Hugo A. Moreno-Jiménez ^a, Diana C. Hernández-Muñoz ^a, Omar F. Loa-García ^a

^a Universidad Politécnica del Bicentenario, Silao, Guanajuato,
vfloresm@upbicentenario.edu.mx

RESUMEN

La poca calidad de vida que sufren las personas con deficiencia motriz (cuadruplejía tetraplejía), es un gran problema que afecta psicológicamente tanto al paciente como a sus familiares. Este trabajo presenta una alternativa para la asistencia de personas con discapacidad motriz. El prototipo consiste en la implementación de un sistema de visión y robótica móvil que permite que el paciente interactúe directa o indirectamente con su entorno; el sistema de visión del prototipo se compone de dos cámaras, una de ellas se encarga de seguir el movimiento de la pupila para interpretar la posición hacia la que se observa dentro de una interfaz de usuario, mientras que la segunda cámara obtiene en video la escena hacia donde se dirige el vehículo en tiempo real. El vehículo es un robot móvil de accionamiento diferencial, el cual controla velocidades de sus ruedas de forma independiente acorde al movimiento de la pupila, permitiendo una retroalimentación al usuario de su entorno y enviando la información a la computadora para dirigir el robot a través del entorno de forma indirecta. El sistema puede ser utilizado para interactuar en entornos desconocidos, o implementando en una silla de ruedas eléctrica para poder desplazarse por el entorno de forma directa, permitiendo al paciente interactuar con su medio.

1. INTRODUCCIÓN

Las discapacidades motoras privan a las personas de esa autonomía a la cual estamos acostumbrados, las lesiones o las enfermedades del sistema nervioso pueden afectar la capacidad para mover una parte específica del organismo, causando la falta de movilidad total o parcial de los músculos (piernas, brazos, tronco y órganos pélvicos). Ésta capacidad motora reducida se llama parálisis y existen dos tipos: la Paraplejía: parálisis de la parte inferior del cuerpo por debajo de la cadera y la Cuadruplejía: parálisis casi total del cuerpo por debajo del área lesionada del cuello (figura 1) [3].

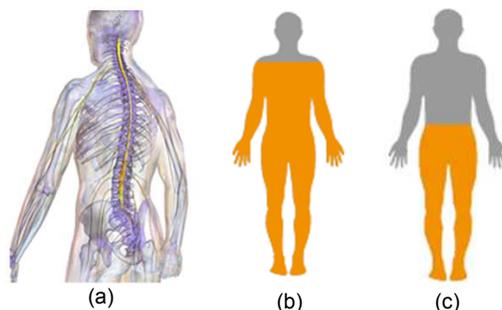


Figura 1. Discapacidades motoras, (a) Medula espinal, (b) Discapacidad motriz por tetraplejía, (c) Discapacidad motriz por paraplejía.



El dominio tecnológico y la especialización que se manifiesta en nuestra época permiten la introducción de aplicaciones tecnológicas dirigidas exclusivamente a la medicina, tratamiento y mejora de la calidad de vida de sus pacientes.

Los sistemas de visión así como la robótica móvil son campos con gran potencial tecnológico, debido a sus diseños sencillos y de bajo costo es posible la implementación de plataformas controladas para su uso doméstico, en este caso, una plataforma tecnológica que permita al usuario con discapacidad motriz una relación directa o indirecta con el entorno que le rodea. Esta clase de aplicaciones pueden fungir no solo como asistencia médica, sino que también representan un tratamiento a su usuario debido al impacto psicológico que adquiere el paciente al mostrarse independiente en su entorno.

2. SISTEMA DE NAVEGACIÓN POR SEGUIMIENTO DE PUPILA

El prototipo consiste en un sistema de visión monocular para seguir el movimiento de la pupila con el fin de controlar el movimiento del robot móvil. Éste es capaz de interactuar con un entorno desconocido a través de dos cámaras, una de ellas para la visualización de la escena y la otra para interpretar el movimiento del ojo utilizando una transformación directa lineal (DLT) para la calibración, reconstrucción y el seguimiento del punto enfocado por la pupila y así manipular el vehículo (figura 2a). En primera instancia se desarrolla la aplicación en un robot de tracción diferencial con el objetivo de llevarlo a la implementación en una silla de ruedas eléctrica convencional (figura 2b).

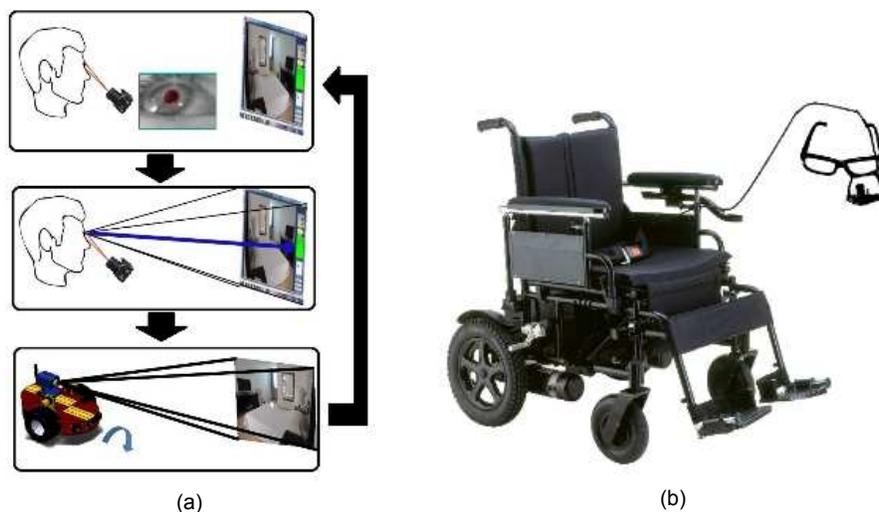


Figura 2. Sistema de navegación por seguimiento de pupila, (a) Prototipo inicial, (b) Objetivo final.

2. 1. DETECCIÓN DE LA PUPILA

La pupila es reconocida como un área circular o elíptica oscura o brillante, parcialmente obstruida por los reflejos de los párpados y de la córnea, por esta razón los algoritmos empleados e su estudio deben reconocer su forma circular o elíptica, incluso cuando es obstruida en cierta medida, reconociendo únicamente los bordes que la limitan [4].



El proceso para la segmentación de la pupila se puede describir a través de la secuencia mostrada en la figura 3, desde la obtención de la imagen, ajuste de brillo y contraste, determinación del área de búsqueda (ROI), binarización, eliminación de objetos de áreas menores, y ubicación de pupila descartando objetos por circularidad.

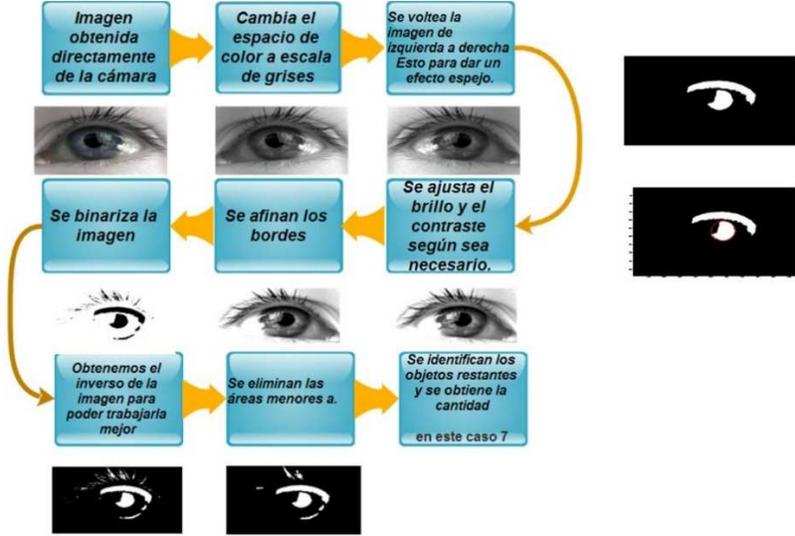


Figura 3. Procesamiento de imagen para la segmentación y ubicación de la pupila.

2. 2. CALIBRACIÓN DE LA CAMARA.

2.2.1. MODELO DE LA CAMARA

El modelo pin-hole de una cámara define la relación geométrica entre un punto 3D y su correspondiente proyección 2D en el plano de la imagen, tal que un punto tridimensional ubicado en coordenadas (x, y, z) del mundo real se puede representar en un espacio bidimensional mediante la captura de su proyección en el sensor de la cámara, situado en un punto (u, v) en el sistema de coordenadas de la imagen (figura 4).

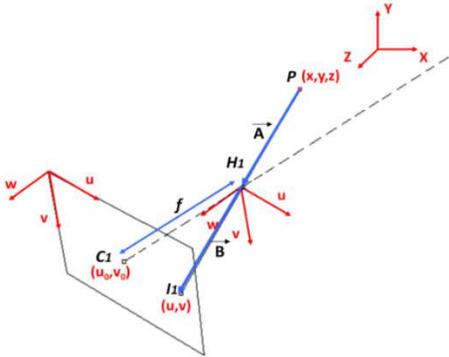


Figura 4. Proyección de un punto de interés sobre el plano de la imagen.



La transformación de coordenadas del mundo real al sistema de coordenadas de la imagen, se describe como una combinación lineal de una matriz de rotación y vector de traslación (parámetros extrínsecos) y una matriz de modelo pin-hole (parámetros intrínsecos), tal como se muestra en la ecuación 1,

$$\begin{pmatrix} u \\ v \\ 1 \end{pmatrix} = k \begin{pmatrix} f_{cx} & 0 & u_0 \\ 0 & f_{cy} & v_0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \left[\begin{pmatrix} R_{11} & R_{12} & R_{13} \\ R_{21} & R_{22} & R_{23} \\ R_{31} & R_{32} & R_{33} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} t_x \\ t_y \\ t_z \end{pmatrix} \right] \quad (1)$$

donde f_{cx} y f_{cy} incluyen la distancia focal y el tamaño del sensor en milímetros, u_0 y v_0 son las coordenadas del punto principal de la imagen.

Con el fin de obtener la medición real de un objeto, tenemos que encontrar los parámetros extrínsecos e intrínsecos de la cámara (calibración de la cámara) [6].

2.2.2. ESTIMACIÓN PARAMETRICA LINEAL.

Una herramienta para la obtención de los parámetros intrínsecos y extrínsecos de la cámara es la transformada directa lineal (DLT-11), la cuál considera los parámetros básicos de la calibración ignorando la distorsión radial y tangencial, simplificación la solución del sistema de ecuaciones necesario para la solución de la ecuación 1 [7]. El método DLT-11 sustituye los parámetros intrínsecos y extrínsecos con una serie de constantes llamado parámetros L_n (ecuación 2).

$$\begin{pmatrix} x & y & z & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & -ux & -uy & -uz \\ 0 & 0 & 0 & 0 & x & y & z & 1 & -vx & -vy & -uz \end{pmatrix} \begin{pmatrix} L_1 \\ L_2 \\ \dots \\ L_{11} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} u \\ v \end{pmatrix} \quad (2)$$

El proceso de calibración consiste en encontrar los 11 parámetros a través de la sustitución de al menos 6 puntos conocidos en el sistema de coordenadas real, y su proyección sobre el plano de la imagen. Una vez que la calibración se ha llevado a cabo, es posible hacer una reconstrucción del objeto y la obtención de coordenadas de la posición de un objeto en el mundo real a partir de la ecuación 3.

$$\begin{pmatrix} uL_9 - L_1 & uL_{10} - L_2 & uL_{11} - L_3 \\ vL_9 - L_5 & vL_{10} - L_6 & vL_{11} - L_7 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} L_4 - u \\ L_8 - v \end{pmatrix} \quad (3)$$

2.2.3. CALIBRACIÓN EN RELACIÓN A UN PATRÓN DE IMAGEN

Con el fin de controlar el robot móvil a partir del seguimiento de la pupila, tenemos que calibrar la cámara asumiendo las coordenadas de una imagen patrón como si fuese de un mundo 3D con coordenadas $(x, y, 0)$ tal que la ubicación de la pupila sea re-mapeada en base a lo observado por la pupila sobre un punto de la imagen patrón. De esta forma, la calibración consiste en tomar seis pares de puntos de la imagen patrón y la ubicación de la pupila.



Cada punto marcado en rojo en la imagen patrón aparece durante la calibración (figura 5a) y el software calcula el centroide de la pupila (figura 5b). A través de la obtención de los seis puntos y el uso de DLT, obtenemos un mapeo del movimiento de la pupila cuando el usuario está enfocando cualquier objeto en el mundo real.

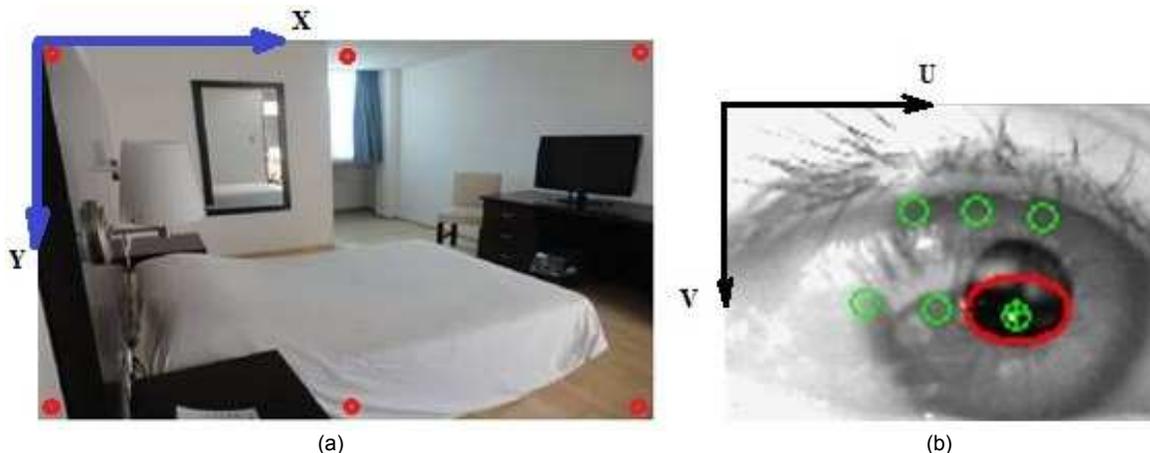


Figura 5. Proceso de calibración, (a) Imagen patrón, (b) Ubicación de la pupila cuando el ojo está siguiendo un objeto en la imagen patrón.

2. 3. REGLAS DE NAVEGACIÓN.

La navegación del robot móvil se basa en el seguimiento de la pupila por la cámara, donde el entorno observado por la cámara es dividido en nueve regiones. Cada posición de la pupila en torno a estas regiones del plano xy corresponde una acción en los motores del robot móvil. La figura 6 muestra el seguimiento de la pupila (círculo azul) en relación con un punto de referencia (círculo amarillo) donde el usuario es capaz de conducir el vehículo y moverse por la escena sólo enfocando la mirada en la dirección a la cual desea dirigirse.

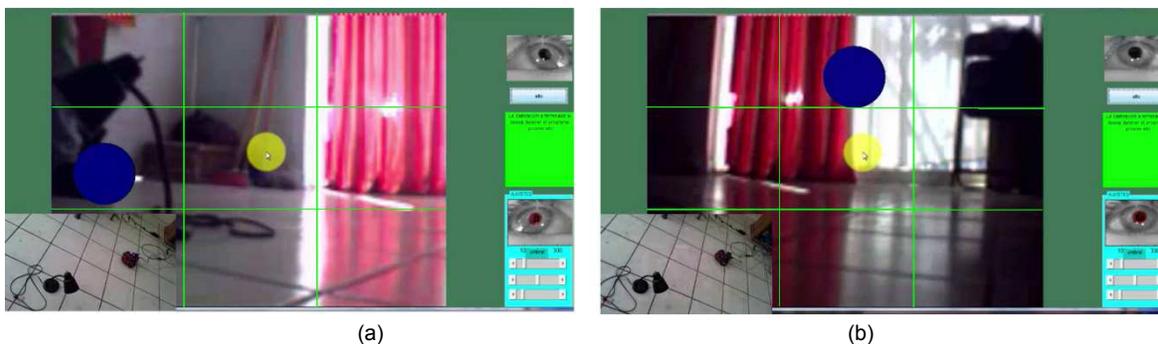


Figura 6. Seguimiento de pupila, (a) Usuario enfocando hacia la izquierda y (b) Usuario Enfocando hacia enfrente.



El control de la navegación se concentra en la detección de la pupila en 4 zonas principales de lo observado por la cámara, mostradas en la figura 7a, permitiendo al usuario desplazarse en base a la rotación en sentido horario, anti-horario, avance y retroceso (figura 7b). La orden de mando no es ejecutada en el robot si el usuario no se concentra en el punto observado, de esta manera sí el usuario es consciente del movimiento que produce el vehículo podrá dirigirse en la dirección deseada. Dado que en el movimiento de la pupila pueden aparecer oscilaciones oculares indeseadas, generando falsos en la identificación de la dirección de la pupila [5], la velocidad del vehículo es incrementado gradualmente mientras el usuario se concentre en un punto enfocado, tal que movimientos involuntarios como el nistagmo no sea relevante sobre la dirección del vehículo.

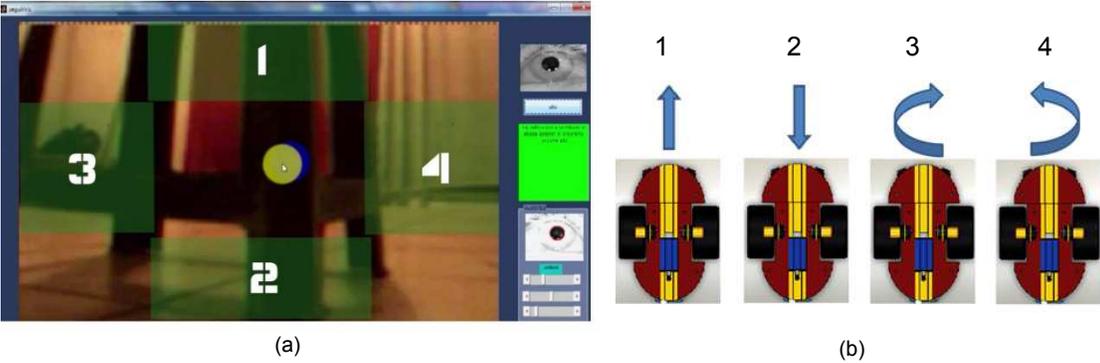


Figura 7. Reglas de sistema de navegación en relación a la ubicación de la pupila en una región del plano xy.

3. PARTE EXPERIMENTAL

El sistema se prueba por medio de la colocación de un armazón de anteojos sobre el usuario (figura 8a), los cuales tienen montada una cámara para capturar y seguir el movimiento de la pupila. Por otra parte la movilidad del prototipo fue probado por medio de un robot de tracción diferencial de interfaz inalámbrica (figura 8b). La información adquirida por la cámara es procesada identificando la localización de la pupila, y acorde a la lógica de control, proveer la dirección al vehículo.

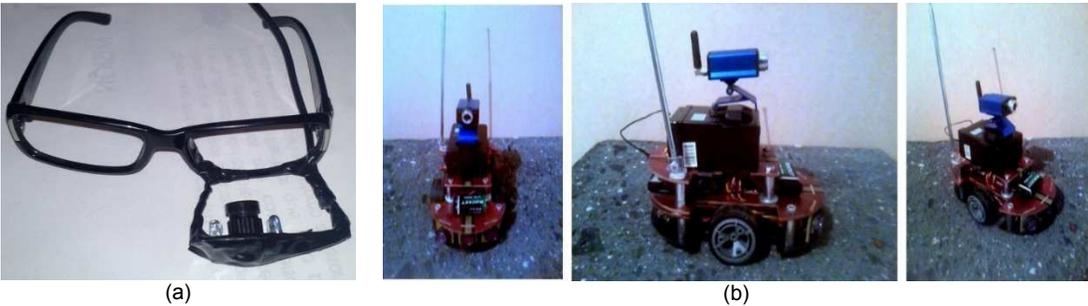


Figura 8. Sistema robótico de prueba, (a) Sistema de visión para localización de pupila, (b) Robot móvil para prueba del sistema de navegación.



El prototipo fue probado sobre una trayectoria estándar dentro de una unidad habitacional con conos viales, con el objetivo de cruzar la habitación sin tocarlos. A través de la prueba, el usuario solo enfocó la dirección a la cuál deseaba dirigirse observando una trayectoria en el cruce de la habitación.

La imagen 9 muestra la evolución del movimiento del robot a través de la habitación, mostrando el cambio de decisión en el robot a través de la interpretación del movimiento de la pupila enfocando sobre un punto en el escenario.

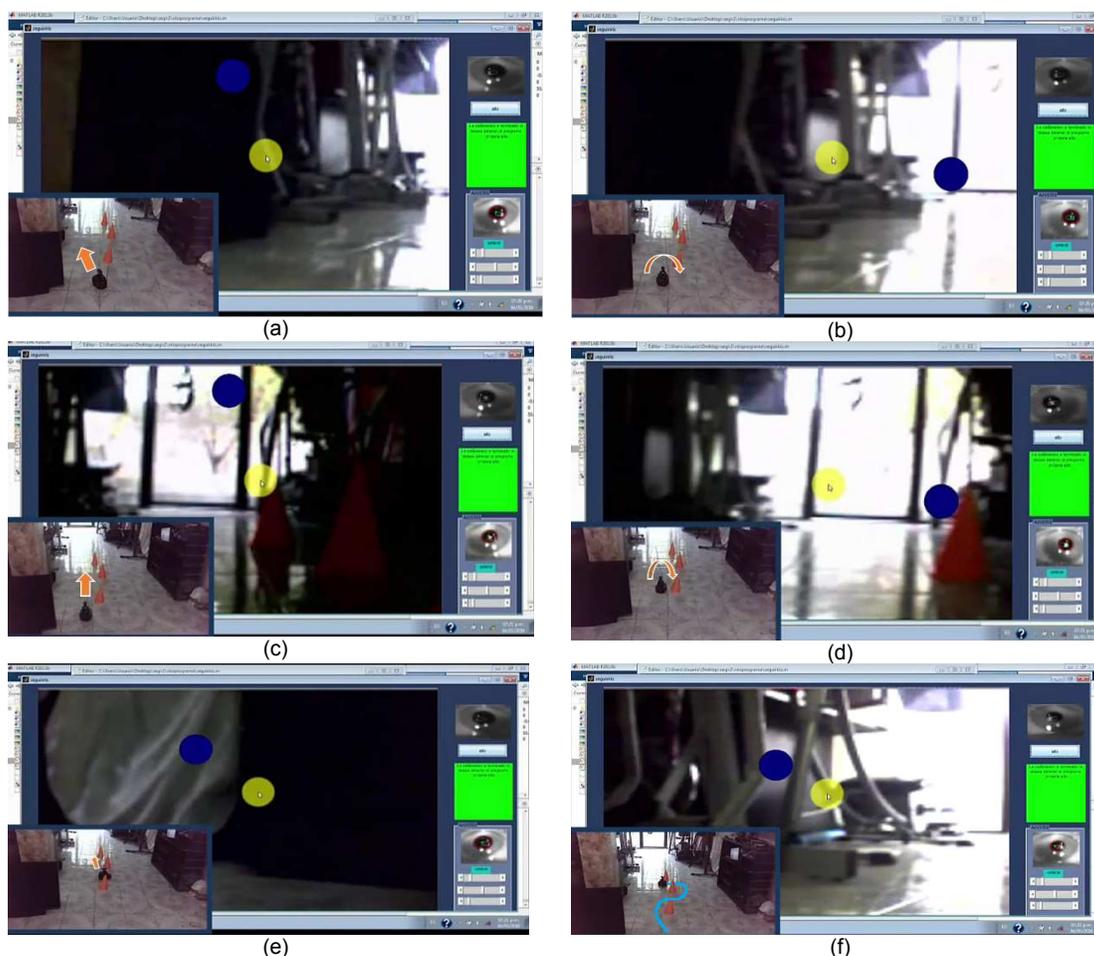


Figura 9. Movimiento de un vehículo de prueba a través del seguimiento y localización de la pupila.

Se puede apreciar en base a la figura 7, el cambio de movimiento del robot en el escenario de prueba de la figura 9, mostrando una evolución en su comportamiento y la generación de una trayectoria con la consigna de cruzar dicho escenario.



VII

CONGRESO NACIONAL DE TECNOLOGÍA APLICADA A CIENCIAS DE LA SALUD
"GENERACIÓN DE NUEVAS TÉCNICAS DE DIAGNÓSTICO Y TRATAMIENTO"

16-18
junio 2016
Unidad de Seminarios, BUAP



4. CONCLUSIONES

Se creó un sistema capaz de controlar un robot móvil a través de un sistema de visión que interpreta los movimientos de los ojos. La cámara que localiza el movimiento de la pupila presenta un buen rendimiento a pesar de los cambios de brillo en ambientes cerrados.

Por otra parte, cuando el robot se mueve en entornos abiertos, la incidencia directa de la luz solar afecta a la estimación de la localización de la pupila, sin embargo, este efecto puede ser cancelado mediante el uso de una gorra.

En etapas posteriores se pretende implementar el sistema embebido para el control de una silla eléctrica estándar y la plataforma sea de utilidad para la asistencia de personas con discapacidad motriz.

5. AGRADECIMIENTOS

Los autores VHFM y HAMG agradecen al Programa para el Desarrollo Profesional Docente (PRODEP) por los apoyos UPBIC-PTC-022 y UPBIC-PTC-025 respectivamente.

BIBLIOGRAFÍA

1. R. Siegwart, I. R. Nourbakhsh & D. Scaramuzza, "Introduction to autonomous mobile robots", MIT press, 2011.
2. G. Campion, G. Bastin & B. D'Andrea-Novet, "Structural properties and classification of kinematic and dynamic models of wheeled mobile robots", IEEE transactions on robotics and automation, 1996.
3. Institut Guttmann, "Lesión Medular", <http://www.guttmann.com/es/treatment/lesion-medular>, consultado el 15/05/2016.
4. E. S. Gomez & L. A. Villamar, "Programación Gráfica y Videoculografía de Alta Velocidad Aplicada a la Movilidad Ocular", V Latin American Congress on Biomedical Engineering CLAIB 2011 May 16-21, Springer Berlin Heidelberg, 2011, pp. 1027-1030.
5. R. B. Daroff, B. T. Troost & L. F. Dell'Osso, "Nistagmo y oscilaciones oculares relacionadas".
6. J. G. Hoyos, J.E. Cardona, L.M. Capacho & L. F. Orozco, "Técnicas de Calibración de Cámaras para visión estéreo y reconstrucción", XV Simposio de Tratamiento de Señales, Imágenes y Visión Artificial, Septiembre 8-10, 2010, pp. 76-81.
7. Y. I. Abdel-Aziz, "Direct linear transformation from comparator coordinates into object space coordinates in close-range photogrammetry", In Proc. the Symposium on Close-Range Photogrammetry, American Society of Photogrammetry, 1971.