

Avances en el desarrollo de un prototipo de silla de ruedas inteligente controlada por instrucciones gestuales faciales

Rubén Posada Gómez¹, Luis Humberto Sánchez Medel², Albino Martínez Sibaja³, Mario Alberto García Martínez⁴

^{1,2,3,4} Departamento de Postgrado e Investigación, Instituto Tecnológico de Orizaba
Av. Instituto Tecnológico No.852, Col. Emiliano Zapata C.P. 94320, Orizaba Veracruz México.
ruben.posadagomez@gmail.com¹, lsmedel@gmail.com², albinom@itorizaba.edu.mx³,
magarcia@itorizaba.edu.mx⁴

Resumen

Cuando un acontecimiento desafortunado afecta las capacidades motoras de una persona, es necesario recurrir a dispositivos tales como las sillas de ruedas que permiten brindar un medio de desplazamiento a pacientes con problemas de parálisis principalmente en los miembros inferiores. Los pacientes que no pueden manipular la silla de ruedas con sus brazos por falta de fuerza o problemas psicomotores en los miembros superiores, recurren a sillas de ruedas eléctricas manipuladas con joysticks, sin embargo este tipo de interfaz de control resulta poco práctica debiendo recurrir frecuentemente al control del joystick mediante la boca. Cuando a una silla de ruedas eléctrica le es agregado un computador esta evoluciona a una silla de ruedas inteligente. La interacción humano-computadora es un campo en constante evolución y nuevas formas de comunicarse se están desarrollando como el control por voz o imagen.

El presente artículo expone los resultados parciales en el desarrollo de un prototipo de silla de ruedas inteligente que es controlada empleando instrucciones gestuales, además la realización del software de control por visión de computadora usando como medio de adquisición una cámara Web y diversos sensores controlados mediante un microcontrolador PIC que establece una comunicación con un programa desarrollado en LabVIEW.

Palabras clave Automatización de silla de ruedas, Comunicación RS232, Detección de piel, Detección de rostro, LabVIEW, Microcontrolador PIC16F876A, Visión por computadora.

1. Introducción

La libertad de movimiento es un hecho cotidiano en nuestras vidas, caminar, correr o nadar son acciones que llevamos a cabo diariamente, sin embargo existen eventos desafortunados que merman nuestra libertad de movimiento ya sea en una etapa muy temprana o tardía de nuestra vida. La falta de movimiento en alguna extremidad superior o inferior es conocida como parálisis, esta puede ser por debajo de la cintura conociéndose como paraplejía o desde el nivel de cuello hacia los pies, llamada cuadraplejía [1,2]. Usualmente la solución a un problema del tipo paraplejía es el uso de una silla de ruedas, las cuales asisten al desplazamiento del individuo siendo este quien controla el dispositivo, no obstante la falta de fuerza en algunas personas de mayor edad o con problemas psicomotores en sus miembros superiores ha llevado a la creación de las sillas de ruedas eléctricas o EPWs, las cuales disminuyen la fuerza necesaria para desplazarse debido a que son controladas por un joystick [3]. En el caso de pacientes con uso limitado de sus extremidades superiores o parálisis tipo cuadraplejía se utilizan otros tipos de controles como el joystick bocal, el cual es un dispositivo ubicado a la altura del rostro del paciente y este con su boca controla el movimiento de la EPW.

Cuando un microprocesador/microcontrolador y sensores son agregados a una EPW esta evoluciona a una silla de ruedas inteligente o IWs y abre el panorama a nuevas formas de control como audio o video [4]. Las sillas inteligentes han sido de gran interés en las investigaciones recientes, tratando de incluir mejoras en diversos aspectos tanto de su diseño como de su funcionamiento; se han desarrollado dispositivos que permiten subir la IWs a un auto provisto de arneses especiales para sillas de ruedas donde la propia IWs toma la posición más

conveniente para poder subir al vehículo. Para ello se requiere de una serie de sensores en el automóvil donde se desea incorporar la silla de ruedas y cámaras en diversos puntos para controlar el camino a tomar [5]. Adicionalmente se ha trabajado en el desarrollo de IWs capaces de controlar la dirección que se debe seguir mediante algoritmos de visión por computadora, determinando así que ruta puede seguir en base a los bordes de las paredes [6].

En lo que concierne a la inclusión de algoritmos capaces de controlar una silla de ruedas prescindiendo de la utilización de las manos por parte de los usuarios, se han efectuado trabajos, que incluyen el control de la silla de ruedas mediante instrucciones por voz [7,8], o la identificación de forma y posición de los labios [9]; sin embargo ambos sistemas son susceptibles a movimientos indeseados de la IWs durante una conversación mientras se opera la silla. Adicionalmente, se han desarrollado trabajos en la identificación del rostro del usuario como control de la silla de ruedas, para ello se ha aprovechado el seguimiento de la posición de la niña de los ojos [10] o la posición de todo el rostro del usuario [11,12]; Este tipo de IWs sin embargo, no son suficientemente robustas o dependen de componentes complejos para realizar tareas sencillas de control de sensores, además de imposibilitar su uso en personas cuádrupléjicas con daño a nivel de cuello [13]. El presente artículo muestra el avance en el desarrollo de un prototipo de IWs que es controlada mediante movimientos gestuales faciales adquiridos por una webcam, que mediante un programa realizado en LabVIEW detecta la piel humana, el rostro humano y establece una conexión half-duplex en base al protocolo RS-232 con el prototipo de IWs robótico llamado Silla X ver figura N° 1.

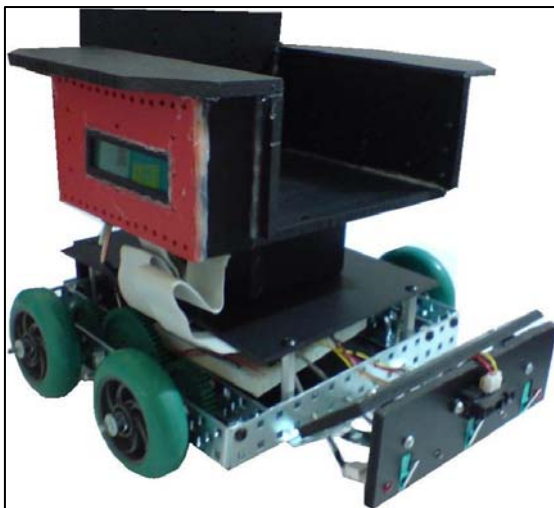


Fig. 1. IWs prototipo Silla X.

2. Desarrollo

El prototipo robótico consta de dos partes, control en hardware y software, de igual forma el desarrollo de este artículo se halla dividido en el hardware del robot en el cual se describe los diversos sensores utilizados y la lógica de control, así como la transmisión con la computadora; en cuanto al software se muestra los diversos pasos para realizar el sistema de visión máquina.

2.1 Hardware del prototipo

Para la realización de este proyecto se propuso la construcción de un robot que en un futuro pueda ser sustituido por una silla de ruedas. Las necesidades bajo las cuales fue diseñado son las siguientes:

- Bajo coste de componentes.
- Reutilización en diversos proyectos.
- Comunicación duplex con la computadora.
- Tarjeta de programación ICSP.
- Control de sensores.
- Control de velocidad por PWM.
- Apariencia de silla de ruedas para ubicar sensores.

El robot diseñado a partir de estas necesidades se muestra en la figura N° 1, el cual usa un PIC para el control de sensores y flujo de datos con la computadora. Se adoptó esta medida debido a que además de ser reprogramable en ICSP, el diseño de sus tarjetas de control es personalizable, fácil de realizar, de pequeño tamaño por ende fácil de montar, su existencia en casas de venta está asegurada y su lenguaje de programación varía desde mikroC hasta ensamblador. Dentro de la gama de PIC medianos se acogió el 16F876 debido a su completo juego de interrupciones, envío/recepción de datos por RS232, 5 canales ADC, 2 PWM y módulo I2C. La velocidad de este PIC depende del cristal empleado, sin embargo los periodos de conversión ADC que son los que requieren más tiempo no exceden de 2 a 3 milisegundos.

Los sensores utilizados en este prototipo son del tipo presencia, contacto y fotorresistivos y para la adquisición de la imagen una webcam. Los sensores de presencia utilizados son los ya conocidos GP2Y0A21YK, los cuales son opto-reflectivos insensibles a la luz solar, lo cual se adecua al proyecto puesto que la silla debe de ser capaz de estar en diversos ambientes iluminados, la salida de este sensor opto-reflectivo varía directamente proporcional a la distancia del objeto detectado,

incrementando o reduciendo su voltaje de 0 a casi 5 V siendo compatible con la resolución del ADC del PIC. El sensor opto-reflectivo es conectado a la tarjeta principal cuyo circuito se muestra en la figura N° 2, al realizar el ADC mediante microcódigo, se establece un nivel donde se determine si se halla o no un obstáculo, este nivel puede ser rectificado desde la PC mediante una clave numérica binaria. Los sensores fotorresistivos hacen uso del ADC, tienen una doble función, enviar a la PC el estado de la iluminación puntual real del ambiente donde se halla la silla de ruedas para acelerar el procesamiento de la imagen o encender luces que iluminen el rostro del usuario y encender las luces delanteras para iluminar el camino de la silla. Los sensores de contacto conectados a los pines de interrupción RB4-RB7 del PIC detectan si existe un obstáculo que no halla sido posible advertir con los sensores opto-reflectivos, de forma que envíen el estado de los sensores a la computadora.

La recepción de datos por el puerto serie es primero efectuada por un MAX232, el cual convierte los niveles lógicos del protocolo serie a niveles lógicos TTL. La comunicación es realizada en half-duplex a 9600 baudios, sin control de flujo por

R X - B Y T E S	B0	Dirección	S. presencia Frontal	B0	T X - B Y T E S
	B1	PWM 1	S. presencia Trasero	B1	
	B2	PWM 2	S. de luz izquierdo	B2	
	B3	Luz frontal	S. de luz derecho	B3	
	B4	Luz inferior	S. de contacto 1	B4	
	B5	Configuración	S. de contacto 2	B5	
	B6	V. de config.	S. de contacto 3	B6	
		Sin uso	S. de contacto 4	B7	

Fig. 3. Trama de datos utilizada

hardware, sin bit de paridad y 1 bit de stop, las tramas de datos utilizadas para la comunicación se muestran en la figura N° 3.

2.2 Software del prototipo

El sistema de visión por computadora implementado debe ser capaz de identificar los gestos faciales del usuario de la IWs a partir que el usuario de la silla de ruedas inteligente se halle en la silla antes de poner en marcha el dispositivo.

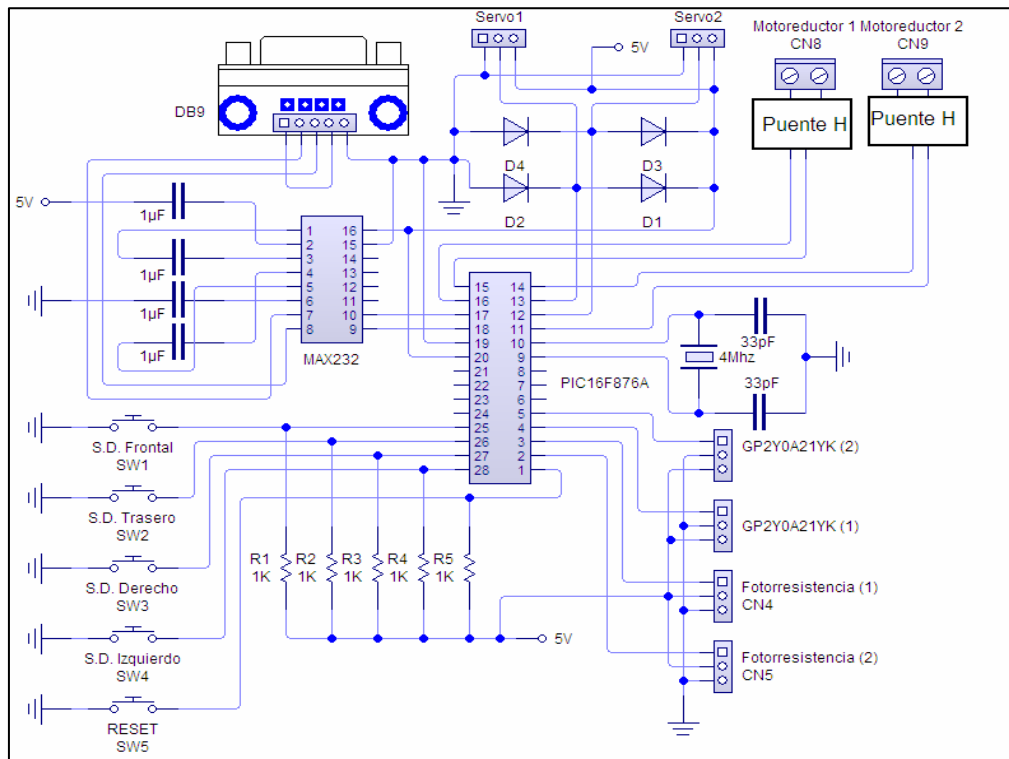


Fig. 2. Circuito diseñado para la tarjeta

A pesar de que el usuario se halle frente a la cámara web donde se capta sus movimientos faciales, el sistema debe de afrontar diversos retos en donde la iluminación es un factor determinante en el éxito del reconocimiento de los gestos. Los retos del sistema son:

- Cambio inesperado de la iluminación.
- Cambio en sombra sobre el rostro del usuario.
- Identificación de los gestos.
- Rapidez en la identificación.
- Comunicación half-duplex con la tarjeta.

La tarea de visión por computadora se llevo a cabo en varias etapas las cuales son detección de piel, detección de rostro, identificación de gestos y por ultimo envío de información a la tarjeta electrónica. El diagrama de flujo de control por computadora es dado en la figura 4.

Se utiliza la detección de piel para acelerar la detección del rostro y a su vez, la detección y clasificación de gestos. La detección de piel es realizada por medio del color en diversos planos mediante reglas específicas de thershold que indican la localización de un píxel-piel en la imagen, estas regiones son procesadas mediante filtros binarios de dilatación y relleno, finalmente comparadas entre los diversos píxeles-piel de los diversos espacios mediante reglas binarias basadas en la información de la intensidad luminosa [14].

Los diversos valores de thershold en los diversos espacios fueron tomados del valor mínimo y máximo de una base de datos de fotografías donde se seleccionó manualmente las muestras a procesar con el fin de obtener datos sobre los niveles de color de cada vector por cada espacio. En la figura N° 5 a se muestra el resultado del proceso de detección de piel que se implemento basándose en el diagrama de flujo de la figura N° 4.

El proceso de detección de piel aun debe de pasar por un proceso morfológico, este consiste en dilatar con iteración 2 cada píxel, con el objetivo de que píxeles-piel contiguos se “toquen” para después rellenarlos y por ultimo remover de la imagen binarizada las regiones de píxel-piel pequeñas.

Posteriormente luego de detectar las regiones de piel en la imagen original, se obtiene una imagen binarizada. La forma del rostro humano es parecido a una forma circular, basándonos en que el usuario esta frente a la cámara, se detectan todos los círculos en la imagen binarizada y luego se selecciona el círculo mayor, de esta forma se localiza el rostro del usuario.

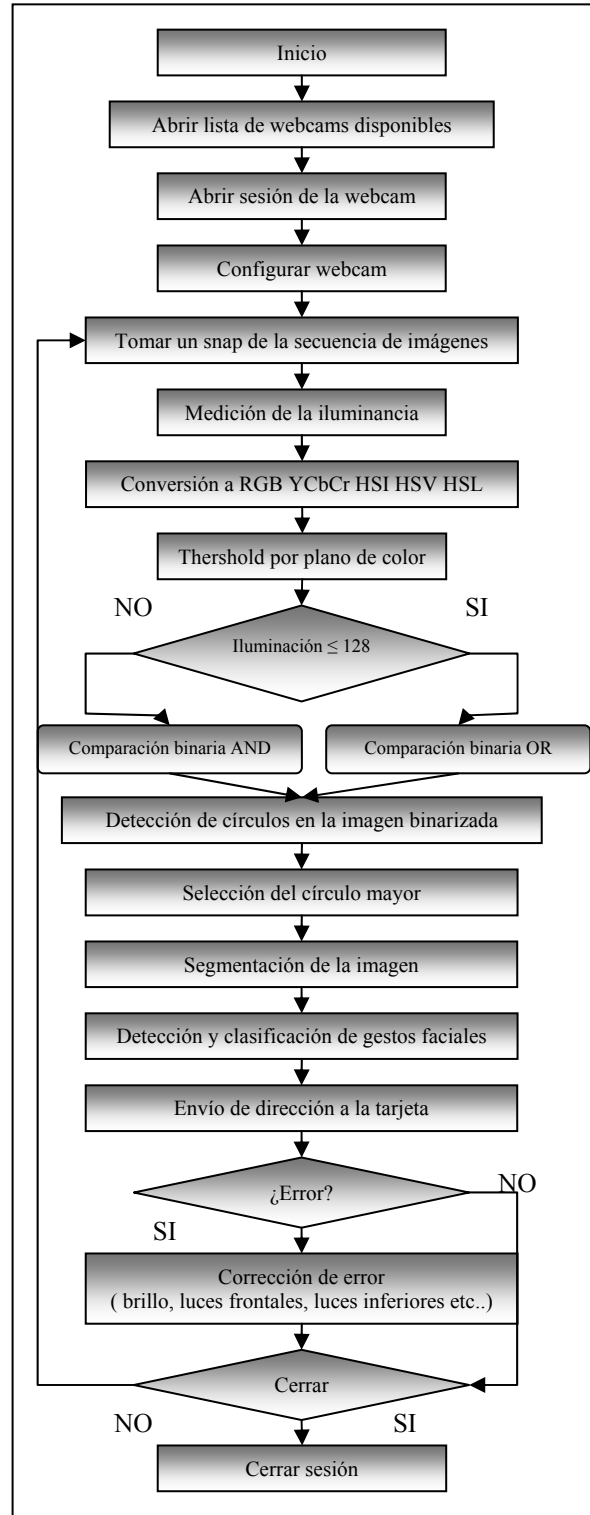


Fig. 4. Diagrama de flujo

En la figura N° 5 c se muestran los resultados de la detección de rostro de forma segmentada, mientras que la forma correcta de implementar este algoritmo es dado en la figura N° 6.

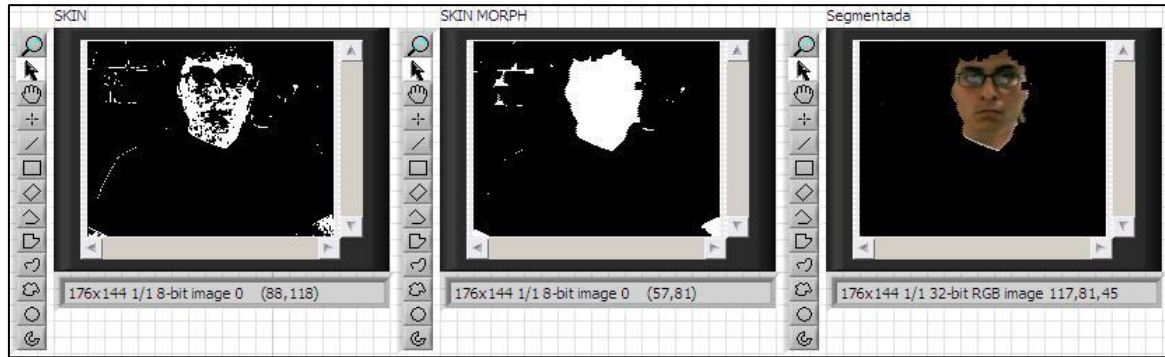


Fig. 5. Resultados de segmentación de piel identificación del rostro

3. Resultados

Las imágenes obtenidas por la webcam son procesadas conforme al diagrama de flujo de la figura N° 4, en primera instancia la detección de piel por el método del color es sensible al cambio de luz sobre la mis piel, debido a que este método no es descriptivo mas basado en un fenómeno físico tiende a cometer errores, sin embargo al utilizar diversos planos de color como RGB, HSI, HSV, HSL etcétera además de la lógica binaria en morfología estos errores son minimizados.

La detección de rostros puede llevarse a cabo en un tiempo promedio de 127 milisegundos, por lo que la demora entre la captación de una imagen y otra no es muy grande asegurando la rapidez del sistema.

4. Conclusiones

Se ha presentado el primer avance para la automatización de una IWs controlada por instrucciones gestuales faciales. Se ha logrado detectar los píxeles piel de los píxeles no piel basándose en procesamiento digital del color y

utilizando herramientas de visión por computadora para la detección del rostro.

Los algoritmos de detección de piel son un método muy importante para segmentar y acelerar el procesamiento de la imagen consiguiendo respuestas en milésimas de segundo y lo mas destacado es que pueden funcionar bajo un fondo complejo, lo cual es significativo debido a que la IWs estará sujeta al capricho del usuario y el fondo será cambiante así como los niveles de iluminación.

5. Trabajo a futuro

Actualmente se esta investigando mejorar el proceso de detección de píxeles piel basándose en el movimiento del usuario y procesos de selección de color, puesto que el ser humano es un organismo en continuo movimiento. La clasificación de gestos es un concepto que se halla en desarrollo siendo la detección por patrones un método que esta siendo estudiado para su implementación,

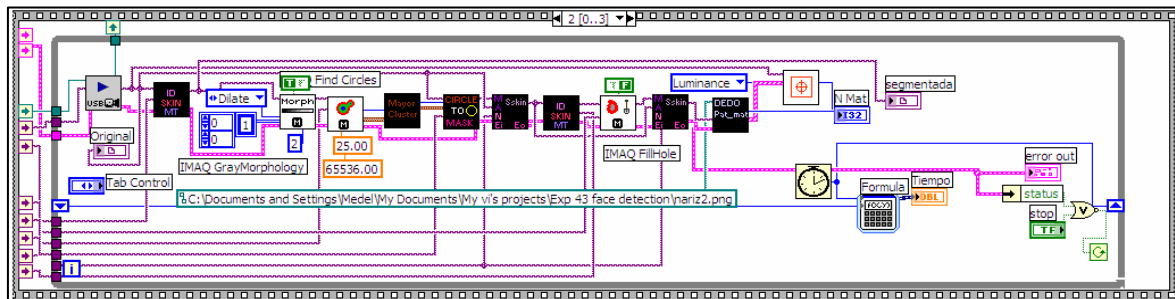


Fig. 6 Programa en de control en LabVIEW

Referencias

- [1]. Wylie EJ, Chakera TM. "Degenerative joint abnormalities inpatients with paraplegia of duration greater than 20 years" .Paraplegia 1988;26:101-6.
- [2]. Richard Gutiérrez, Scott Gardner, Julie Steward, "Problemas de las articulaciones", p.2. Universidad de Kansas Research & Training Center on Independent Living, Serie A - No.5, 1993.
- [3]. Amundson JS, Amundson SG., "A joystick controlled wheelchair.", Biomed Sci Instrum. 1991;27:131-3.
- [4]. T. Gomi and A. Griffith, "Developing intelligent wheelchairs for the handicapped," Lecture Notes in AI: Assistive Technology and Artificial Intelligence, Springer, vol. 1458, pp. 150- 178, 1998.
- [5]. Humberto semeno-Villalta and jhon Spletzer, "Vision-based Control of a Smart Wheelchair for the Automated Transport and Retrieval System (ATRS)", p.1, Department of Computer Science and Engineering Lehigh University, 2005.
- [6]. Trahanias, P. E. and et al. 1997. "Navigational support for robotic wheelchair platforms: an approach that combines vision and range sensors" Proceedings of the 1997 IEEE International Conference on Robotics and Automation, Albuquerque, NM, 1265-70.
- [7]. R.C. Simpson and S.P. Levine, "Adaptive shared control of a smart wheelchair operated by voice control," Proc. 1997 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, vol. 2, pp. 622-626, 1997.
- [8]. Pacnik, G., K. Benkic and B. Brecko, "Voice operated intelligent wheelchair — VOIC", Proc. of the IEEE International Symposium on Industrial Electronics, vol.3, pp.1221-1226, 2005.
- [9]. Ulrico Canzler, Karl-Friedrich Kraiss, "Person-Adaptive Facial Feature Analysis for an Advanced Wheelchair User-Interface", Conference on Mechatronics & Robotics 2004, Volume Part III, pp. 871-876, September 13-15, Aachen, Sascha Eysoldt Verlag.
- [10]. L.M. Bergasa, M. Mazo, C. T. San Juan, J. A. Herradas. "Guiado de unmovil mediante los movimientos oculares". I Jornadas de Inteligencia Artificial, Control y Sistemas Expertos, E.U. Politécnica. Universidad de Alcalá, pp 25-33. 1996
- [11]. Kuno, Y., T. Murashima, N. Shimada und Y. Shirai (2000a), "Interactive gesture interface for intelligent wheelchairs". In: Proceedings of the 2000 IEEE International Conference on Multimedia and Expo (ICME 2000). Band 2. p. 789-792.
- [12]. P. Jia and H. Hu (2005), "Head Gesture Based Control of an Intelligent Wheelchair", p.1, The 11th Annual Conference of the Chinese Automation and Computing Society in the UK (CACSUK05), Sheffield, UK,10 September 2005.
- [13]. Odor, J.P, Watson M. "Learning trough smart wheelchairs as parto f childrens emerging mobility", Report to the Nuffield foundation and the Scottish office, Ed. Univ. of Edinburg, 1994.
- [14] J. Kovac, P. Peer and F. Solina, "2D versus 3D colour space face detection", 4th EURASIP conference on Video/Image Processing and media Communications, Croatia, 2003.