

Interfaz Hombre-Máquina mediante un Sensor de Posición sin contacto por Infrarrojos

Aplicación al control de una silla de ruedas avanzada

Juan Carlos García García
Departamento de Electrónica
Universidad de Alcalá
Alcalá de Henares, España
e-mail: jcarlos@depeca.uah.es

Henrik Vie Christensen
Dept. of Control Engineering
Aalborg University
Aalborg, Dinamarca
e-mail: vie@control.aau.dk

Manuel Mazo Quintas
Departamento de Electrónica
Universidad de Alcalá
Alcalá de Henares, España
e-mail: mazo@depeca.uah.es

Abstract—This paper presents a new human-machine interface that has been successfully applied in driving an advanced powered wheelchair. The position of the head is determined by use of infrared sensors, with no parts attached to the head of the user. The placement of the infrared sensors is behind the head of the user, so that the field of view is not limited. Tests on a wheelchair have shown that the system is functioning in real life, and that the vehicle can be driven at normal speeds in a simple and natural way. The behaviour of the sensor and the generated commands are fully programmable, so it can be easily adapted to other constraints or capabilities of potential users.

Keywords: *Human Machine Interface, head joystick, head sensor, infrared.*

I. INTRODUCCIÓN

Para las personas que sufren algún tipo de discapacidad, los avances tecnológicos en campos como la robótica, las comunicaciones, los microcontroladores, los ordenadores personales, etc., abren todo un abanico de posibilidades de cara a la mejora de su calidad de vida proporcionándoles un mayor grado de comunicación, movilidad e independencia. Este es el campo cubierto por las Tecnologías de la Asistencia o de Apoyo (*Assistive Technologies* o *AT's*).

En las *AT's*, uno de los problemas principales que se plantean, en la práctica, es el disponer de un adecuado interfaz entre la persona que sufre una determinada discapacidad y la máquina diseñada para ayudarlo. El estudio y diseño de tales Interfaces Hombre-Máquina (*Human-Machine Interfaces*, o *HMI's*) es pues una tarea de gran importancia, pues cada nuevo avance abre nuevas posibilidades o mejora las ya existentes a diversos colectivos de personas con discapacidad.

En este documento se presenta una nueva interfaz para la conducción de sillas de ruedas motorizadas mediante movimientos de cabeza. Tales movimientos son detectados por un nuevo sistema de detección de posición sin contacto, basado en un array de emisores-detectores de infrarrojos.

En las siguientes secciones se presentarán, en primer lugar, diversos trabajos anteriores relacionados con la aplicación aquí documentada. Posteriormente, se detallan los resultados obtenidos con el sistema de detección de posición, para

continuar con la forma en la cual tal posición es convertida a comandos capaces de controlar un vehículo, tal como una silla de ruedas motorizada. Finalmente, se describen los resultados obtenidos sobre un prototipo de silla de ruedas avanzada, los cuales demuestran la viabilidad de la solución propuesta.

II. SILLAS DE RUEDAS AVANZADAS

Diversas sillas de ruedas con arquitecturas avanzadas han sido desarrolladas por diferentes grupos de investigación en los últimos años. Muchas de ellas comparten un diseño modular, como la presentada en [1] o el proyecto SIAMO (Sistema Integral de Asistencia a la Movilidad) [2]. El propósito de tales arquitecturas modulares es el de facilitar la configuración y adaptación de la silla de ruedas a las diferentes necesidades y niveles de discapacidad del usuario o grupo de usuarios.

Una arquitectura modular permite añadir o modificar las diversas funciones o prestaciones incorporadas al vehículo mediante la inclusión, modificación o reprogramación de los módulos que lo forman. Un ejemplo claro está en los Interfaces Hombre-Máquina (*HMI*); éstos pueden ser de diferente naturaleza, y pueden modificarse, rediseñarse o crearse unos nuevos sin necesidad de otros cambios en el conjunto del sistema, respondiendo así a las necesidades específicas de cierto tipo de usuarios [3].

A. *HMI's basados en el movimiento de cabeza*

Para personas grados de discapacidad tales que le impidan usar las manos, una de las posibles formas de controlar una silla de ruedas es a través de los movimientos de la cabeza. Estos dispositivos existen y son conocidos como “joystick de cabeza” (*head controlled joystick*) o “interfaces de movimiento de cabeza” (*head-movement interface*). Ambos tipos están basados en alguna de las siguientes técnicas: mecánicos, basados en cámaras externas [4], basados en acelerómetros [5] o basados en luces infrarrojas [6]. En los casos [5] y [6], son necesarios ciertos componentes activos colocados sobre o en contacto con la cabeza del usuario.

B. *Adaptación a la silla de ruedas avanzada SIAMO*

La silla avanzada SIAMO, tiene una arquitectura en la que los diversos *HMI* resultan ser independientes del resto del

sistema, pues los diversos comandos de actuación son normalizados mediante un sistema de “mensajes de control”, usando un bus de comunicaciones serie estándar. De esta manera, el HMI puede ser cambiado sin que el resto del sistema note diferencia alguna. Esta capacidad de la silla de ruedas SIAMO ha sido aprovechada para la implementación y prueba del interfaz propuesto.

III. DETECCIÓN DE LA POSICIÓN DE LA CABEZA

Los movimientos que van a ser detectados y usados para controlar la silla de ruedas son: hacia delante o hacia atrás, para actuar sobre la velocidad lineal del vehículo; y la inclinación de la cabeza hacia la izquierda o la derecha, para controlar la velocidad angular o de giro del mismo. Los giros de la cabeza alrededor de su eje vertical no son usados como entrada de control, ni son detectados, con idea de dejar libertad al usuario para mirar alrededor mientras conduce la silla.

La generación de comandos implica una cierta codificación de los movimientos. Así, los tiempos de variación de los mismos son analizados, permitiendo la opción de una parada de emergencia (movimiento rápido en dirección opuesta al movimiento actual) en caso necesario, por razones de seguridad.

A. Sensor de posición por infrarrojos

La posición de la cabeza se obtiene mediante un array de cuatro sensores emisores-receptores de infrarrojos situados tras la cabeza del usuario. La figura 1, muestra tal disposición en el prototipo desarrollado.



Figura 1. Disposición de los sensores en el prototipo.

La disposición de los sensores es tal que el campo de visión del usuario no se ve afectado. Por otro lado, el conjunto se ha fijado en un reposacabezas estándar y sus dimensiones se han adecuado a los límites externos de la silla de ruedas, con lo que la libertad de movimientos no se ve limitada respecto a la silla de ruedas motorizada original.

Cada uno de los sensores de infrarrojos está formado por un diodo emisor, con un ángulo de apertura total de alrededor de 60° , y un receptor de características compatibles (longitud de onda y apertura). Debido a las dimensiones del conjunto sensor-usuario, es inevitable que las señales de los sensores se

interfieran. La figura 2 ilustra esta circunstancia: en la disposición empleada, al menos dos sensores (por cada lado) pueden recibir señales procedentes de sensores vecinos.

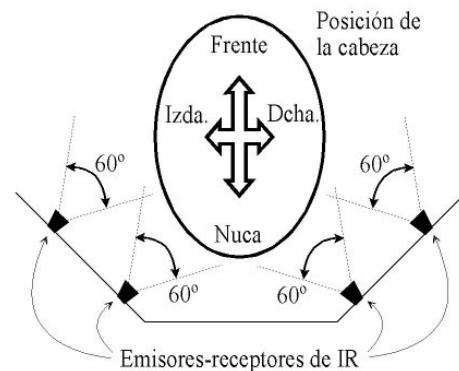


Figura 2. Distribución y ángulo de cobertura de los sensores IR.

En el array de sensores de infrarrojos desarrollado, la señal emitida por cada sensor es codificada con un determinado patrón; la señal recibida es procesada y comparada digitalmente respecto a los diversos patrones de emisión. Así, se procesa conjuntamente y se distingue después la información recibida por cada sensor en función de los patrones emitidos por todos los sensores presentes en su zona de cobertura, aumentando la fiabilidad y precisión de la detección de posición del objeto considerado, la cabeza del usuario en este caso.

Los resultados obtenidos se ilustran en la figura 3. En ella, el eje de abscisas representa la inclinación izquierda-derecha de la cabeza del usuario, mientras que el eje de ordenadas representa la inclinación delante-atrás de la misma.

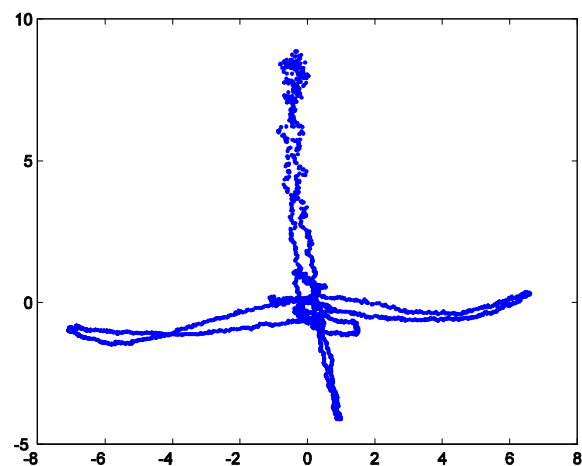


Figura 3. Posiciones medidas en un test real. Las unidades son cm.

La secuencia de movimientos realizada en la prueba que se muestra en la figura 3 es: centro – derecha – izquierda – centro – delante – atrás – centro. Esta secuencia es claramente visible en la figura 3. Consta de 3000 puntos obtenidos con una frecuencia de muestreo de 200Hz. Para reducir el ruido de las posiciones recuperadas, las muestras pasan previamente por un filtro paso bajo, mediante un promediado sobre 10 muestras.

IV. CONTROLANDO UNA SILLA DE RUEDAS CON LA CABEZA

El sistema de detección de posición de la cabeza, se ha aplicado al control de una silla de ruedas avanzada. Para esta tarea, las diversas posiciones de la cabeza han de ser convertidas a comandos de movimiento para los motores del vehículo. En el caso de las sillas de ruedas motorizadas, la tracción suele ser diferencial, con dos motores: uno para la rueda izquierda y otro para la derecha.

Con este propósito, el área cubierta por los sensores es dividida en cinco zonas, cada una de las cuales se corresponde con una de las cinco posiciones admitidas para la generación de comandos (figura 4).

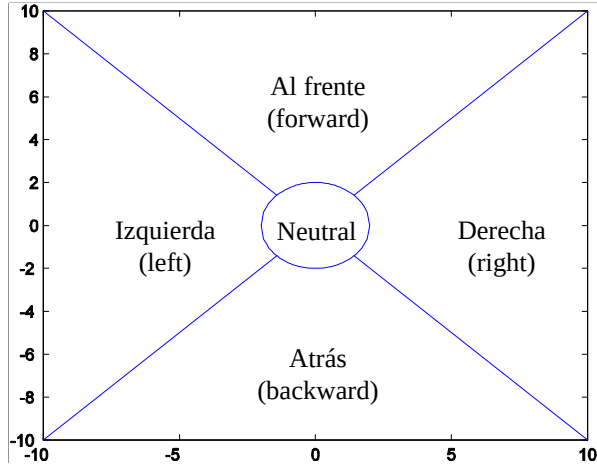


Figura 4. División en zonas de la posición detectada

Básicamente, la conducción de la silla de ruedas trata de ser lo más intuitiva posible. Así, si se inclina la cabeza hacia delante la velocidad se incrementa hacia delante igualmente, mientras que el inclinar la cabeza hacia la izquierda lleva consigo un comando de giro hacia ese lado.

A. Comando de la Velocidad lineal

La velocidad lineal efectiva se obtiene mediante una máquina de estados, la cual actúa incrementando o decrementando la velocidad lineal en cuantos fijos, en función del sector 'al frente' (Forward) o 'atrás' (Backward) en el cual se detecta el centroide de posición de la cabeza (figura 4), y del tiempo que dicho centroide permanece en dicha zona.

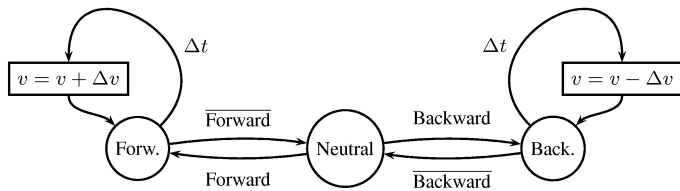


Figura 5. Máquina de estados para la velocidad lineal

En la figura 5 se muestra la máquina de estados descrita, en donde la velocidad lineal es v , los cuantos de incremento de velocidad son Δv y los intervalos de tiempo tomados como referencia para la validación de los incrementos son Δt . Se ha

seguido una nomenclatura inglesa, por ser menos ambigua en la identificación de los sentidos hacia delante (Forward) y hacia atrás (Backward) que el castellano.

B. Comando de la Velocidad angular

Por su parte, la velocidad angular no es controlada por una máquina de estados. En lugar de ello, la velocidad angular o de giro es controlada directamente según el ángulo de inclinación de la cabeza a izquierda o derecha, una vez abandonada la zona central (Neutral). A más desviación mayor velocidad de giro en el sentido deseado.

Este mecanismo de control se demuestra más efectivo por ser más intuitivo a la hora de guiar el vehículo, resultando la conducción del mismo más cómodo, más fiable y con menores tiempos de reacción.

La constante de proporcionalidad entre la velocidad de giro del vehículo y el grado de inclinación de la cabeza no es fija, sino que guarda una dependencia inversamente proporcional a la velocidad lineal. Esto es: con bajas velocidades lineales (o con la silla parada) esta constante tiene un valor alto, mientras que su valor se va reduciendo a medida que la velocidad lineal crece.

La razón de este comportamiento es de índole práctica. La variación de la posición de la silla, al ser combinación de ambas velocidades, resulta ser mucho más elevada si coexisten ambos movimientos lo que hace más difícil la conducción.

C. Parada de emergencia

Para realizar una parada de emergencia o simplemente detener la silla de forma rápida, se usa un sencillo método de codificación que consiste en realizar un rápido movimiento en el sentido opuesto al de la marcha y vuelta a la posición de reposo (Neutral), todo ello en un tiempo menor a Δt (figura 5); si tal tiempo se viera excedido, se realizaría un decremento normal, $-\Delta v$, de la velocidad lineal actual.

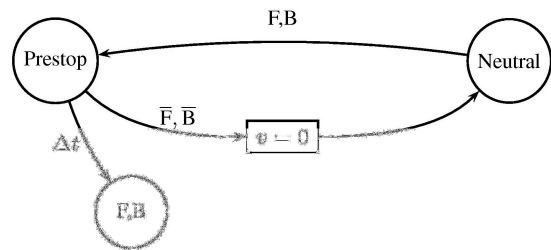


Figura 6. Máquina de estados del mecanismo de parada de emergencia.

La figura 6 muestra la máquina de estados usada para señalar una parada de emergencia. En dicha máquina, las siglas F y B referencian a los estados 'Forward' y 'Backward' señalados en la máquina descrita en la figura 5.

D. Otras consideraciones

En el prototipo, el intervalo $\Delta t = 0.3s$ y los incrementos de velocidad lineal se realizan en saltos de $\Delta v = 0.05m/s$. Estos valores son experimentales y pueden ser fácilmente adaptados a las necesidades o habilidades de cada usuario. Con respecto a

la constante de variación de la velocidad angular, ya se ha mencionado en la sección correspondiente que tal valor disminuye según aumenta la velocidad lineal v .

Para probar los sistemas de comando y las máquinas de estado propuestas, se ha diseñado así mismo un pequeño programa simulador. Este programa mueve, en 2D, un vehículo virtual en la pantalla del ordenador, de acuerdo con la escala definida y las velocidades lineal, v , y angular, ω , seleccionadas. El simulador es además útil en un primer contacto con el nuevo HMI, y como medio de aprendizaje de la forma de conducción de una manera más segura que sobre el vehículo real.

V. IMPLEMENTACIÓN SOBRE EL PROTOTIPO SIAMO

El prototipo SIAMO [2] es una silla de ruedas avanzada con características modulares que le hacen idóneo para servir de plataforma de pruebas del HMI propuesto. Su arquitectura y sistemas electrónicos han sido diseñados para poder adaptarse y dar respuesta a las necesidades de un amplio grupo de potenciales usuarios de estos sistemas de asistencia.

Los diversos módulos del SIAMO se conectan vía mensajes, mediante un Bus Serie EIA-709 (LonTalk) que interconecta entre sí los diversos subsistemas. Los módulos básicos incluyen etapas de control de motores, módulos de detección del entorno (ultrasonidos, infrarrojos y visión artificial) y módulos HMI de muy diversa naturaleza, desde los más simples (*joystick* lineales y discretos) hasta los más avanzados. Los módulos más simples sólo necesitan de un microcontrolador NeuronChip (<http://www.echelon.com>) para conectarse al resto del sistema y desarrollar la función encomendada.

La arquitectura es lo suficientemente abierta, además, como para poder incorporar nuevos interfaces y nuevos módulos que mejoren las prestaciones del sistema [7].



Figura 7. Conducción de la silla SIAMO mediante el nuevo HMI.

Los algoritmos de proceso del nuevo HMI corren sobre un PC, equipado con un sistema de adquisición de datos estándar (figura 7). La comunicación con el Bus LonTalk se realiza por medio de un NeuronChip conectado al puerto paralelo del PC y un protocolo de comunicaciones, por paso de testigo, en ambos procesadores. De esta forma, los comandos de velocidad llegan, en forma de mensajes, al resto de módulos del SIAMO.

VI. RESULTADOS Y CONCLUSIONES

Las pruebas realizadas, tanto en el laboratorio como sobre el prototipo SIAMO (figura 7), demuestran la viabilidad del HMI propuesto. Mediante los movimientos de la cabeza del usuario es posible conducir la silla de ruedas a velocidades normales (equivalentes a un andar tranquilo, entre 3 y 4km/h) incluso en pasillos de anchura moderada, de alrededor de 1.5m. A velocidades reducidas es posible incluso pasar por puertas de ancho suficiente (de unos 20cm mayor que el ancho de la silla) usando sólo el HMI diseñado.

En los casos de conducción real, el comportamiento del sistema es satisfactorio, siendo el control de la silla sencillo y, bajo el juicio de los diseñadores, natural y confortable. Estas impresiones naturalmente, necesitan ser contrastadas con pruebas de campo con un número suficiente de usuarios de distintos grados de discapacidad.

El sistema posee una robustez suficiente ante cambios en las condiciones de iluminación y del usuario, como puede ser por el distinto color de pelo o de piel. Además, los comandos y el comportamiento del conjunto HMI-SIAMO pueden ser muy fácilmente reprogramados, adaptándose así a otras maneras de conducción, limitaciones en los movimientos de la cabeza u otras necesidades de los potenciales usuarios.

AGRADECIMIENTOS

El diseño del HMI propuesto, su implementación práctica y las pruebas reales han sido realizados en el Departamento de Electrónica de la Universidad de Alcalá. Por parte del Dpto. de Electrónica los trabajos se encuadran dentro del Proyecto PARMEI, del Ministerio de Ciencia y Tecnología (DPI2003-08715-C02-01). Este trabajo ha sido igualmente financiado por la Fundación Técnica Danesa (STVF) con la beca de referencia núm. 56-00-0143.

REFERENCIAS

- [1] M.W. Nélisse, "Integration Strategies Using a Modular Architecture for Mobile Robots in the Rehabilitation Field", *Journal of Intelligent and Robotic Systems*, Vol. 22 Iss. 4, p. 181-190.
- [2] M. Mazo et al., "An integral system for assisted mobility", *IEEE Robotics & Automation Magazine*, Vol. 8, No. 1, Mar 2001, p. 46-56.
- [3] J.C. García, M. Mazo, L.M. Bergasa, J. Ureña, J.L. Lazaro, M. Escudero, M. Marron, E. Sebastian: "Human-Machine Interfaces and Sensory Systems for an Autonomous Wheelchair", *Proceedings of the AAATE'99 conference*. IOS Press, Assistive Technology Research Series, Vol. 6, p. 272-277.
- [4] L.M. Bergasa, M. Mazo, A. Gardel, R. Barea, L. Boquete: "Commands Generation by Face Movements Applied to the Guidance of a Wheelchair for Handicapped People", *Pattern Recognition*, 2000. *Proceedings. 15th International Conference on*, p. 660-663 vol.4.
- [5] P.B. Taylor, H.T. Nguyen, "Performance of a head-movement interface for wheelchair control", *Engineering in Medicine and Biology Society*, 2003. *Proceedings of the 25th Annual International Conference of the IEEE*, Vol.2, 17-21 Sept. 2003, p. 1590-1593.
- [6] D. Gareth Evans, Roger Drew, and Paul Blenkhorn, "Controlling Mouse Pointer Position Using an Infrared Head-Operated Joystick", *IEEE Transactions on Rehabilitation Engineering*, vol. 8, no. 1, March 2000, p. 107-117.
- [7] J.C. García, M. Mazo, J. Ureña, M. Marron, M. Escudero, E. Sebastian: "Modular Architecture for Wheelchairs with Environment Integration capabilities". *Proceedings of the AAATE'99 conference*. IOS Press, Assistive Technology Research Series, Vol. 6, p. 214-219.