

INFORME PROYECTOS— 2023-2024

DESARROLLO DE UN SISTEMA DE NAVEGACIÓN AUTÓNOMA
BASADA EN IoT PARA FACILITAR LA AUTONOMÍA DE PERSONAS
CON MOVILIDAD REDUCIDA.

SMARTCHAIR

Informe: “Final de Resultados”

Programa: Proyectos de I+D en colaboración con empresas

Número de proyecto: 22300045

Expediente: IMDEEA/2023/22

Duración: 2023-2024

Coordinado en AIDIMME por: MIGUEL MARIANO COLINA DE VIVERO



GENERALITAT
VALENCIANA

IVACE+i

INSTITUTO VALENCIANO
DE COMPETITIVIDAD
E INNOVACIÓN



Financiado por
la Unión Europea

AIDIMME
INSTITUTO TECNOLÓGICO

ÍNDICE

<u>1</u>	<u>INTRODUCCIÓN, OBJETIVOS DEL PROYECTO</u>	<u>1</u>
1.1	ALCANCE, COLABORADORES Y PÚBLICO OBJETIVO	2
<u>2</u>	<u>ACTIVIDADES REALIZADAS</u>	<u>4</u>
2.1	PT4 DISEÑO E INTEGRACIÓN DE LA RED EN MALLA DE BALIZAS Y DESARROLLO DEL ALGORITMO DE TRIANGULACIÓN Y NAVEGACIÓN	4
2.2	PT 5. INSTALACIÓN Y PROGRAMACIÓN DE LAS APLICACIONES INFORMÁTICAS PARA LA EXPLOTACIÓN DE LOS SENSORES DE LA SILLA DE RUEDAS AUTÓNOMA NECESARIOS PARA LA DETECCIÓN DE LOS OBSTÁCULOS	7
2.3	PT 6. REALIZACIÓN DE PRUEBAS DEL SISTEMA, CON LAS TAREAS RELACIONADAS CON EL ANÁLISIS DEL FUNCIONAMIENTO Y RESULTADOS DE LAS PRUEBAS EN UN ENTORNO REAL CONTROLADO	11
<u>3</u>	<u>RESULTADOS OBTENIDOS</u>	<u>18</u>

1 Introducción, objetivos del proyecto

El objetivo de este proyecto es encontrar una manera de ayudar a la movilidad autónoma de las personas con movilidad reducida que no pueden desplazarse en silla de ruedas sin la ayuda de una persona que las ayude. La investigación ha producido resultados en la forma de sillas de ruedas eléctricas autónomas que ayudan a una persona a prescindir de la ayuda de otra persona, pero estos desarrollos emplean tecnologías de coche autónomo (como por ejemplo las tecnologías del LiDAR y de la navegación GPS) que pueden significar una barrera económica que dificulte su uso generalizado.

Los recientes resultados de la investigación del uso de una red en malla de balizas IoT demuestran que se puede identificar y localizar geográficamente a un vehículo (como por ejemplo la silla de ruedas eléctrica autónoma) que se encuentre dentro de la zona de cobertura de la red en malla. El presente desarrollo empleará una pantalla como interfaz de usuario para que la persona sentada en la silla de ruedas eléctrica escoja un punto de destino en un mapa y sea llevada a dicho punto de destino por un controlador electrónico de navegación que contará con sensores de obstáculos para navegar con seguridad. El controlador electrónico se comunicará con la red en malla de balizas IoT para averiguar su posición y corregir su trayectoria para seguir el camino adecuado para llegar a su destino.

El objetivo general ha sido el desarrollo de un sistema de silla de ruedas motorizada autónoma, donde la persona escoge el punto de destino y arranca el motor para que la silla de ruedas se desplace al punto de destino.

Los objetivos específicos han sido los siguientes:

- Desarrollo de una consola de mando con una pantalla táctil que sirva de interfaz entre la persona y la silla de ruedas autónoma.
- Sensores radar de detección de obstáculos.
- Sistema de telecomunicaciones inalámbricas basado en la mejora de la red de malla (MESH) del proyecto anterior IMOLAB. Este sistema permite a la silla ruedas autónoma obtener la medición de la intensidad de la señal de cada baliza que esté dentro del rango de detección junto con su geolocalización. Un algoritmo, que se desarrollará en este proyecto, permitirá tomar tres o más balizas para realizar una triangulación de la posición del sistema para la determinación de su geolocalización. Se espera que el error de esta geolocalización sea inferior al error de diez metros de la señal GPS. El uso del mapa electrónico y de los sensores radar de obstáculos permitirán determinar la presencia de las paredes del recinto bajo techo para afinar la geolocalización de la silla de ruedas autónoma.
- Desarrollo de software de navegación basado en el ejemplo de las balizas del proyecto IMOLAB para determinar el recorrido que debe seguir la silla de ruedas autónoma para llegar a su destino.
- Desarrollo de software de clasificación de los obstáculos para determinar si es posible eludirlos mediante una modificación de la trayectoria o parada de emergencia en el caso de la imposibilidad de seguir navegando.

- Desarrollo de un software de comunicación para enviar informes acerca de los obstáculos encontrados para que se determine la necesidad de enviar a personal de mantenimiento para retirarlos del camino.

1.1 Alcance, colaboradores y público objetivo

El alcance del proyecto es el desarrollo de una silla de ruedas autónoma para personas con movilidad reducida, empleando para ello la tecnología disponible en el mercado y desarrollando los métodos y aplicaciones informáticas necesarias para este fin.

Las empresas colaboradoras son las siguientes:

- COV ORTOPEDIA, S.L. (Centro Ortopédico de Valencia)
- INGENIERIA ELECTRONICA A TU MEDIDA, S.L.
- SIMETRÍA FIDENTIA, S.L.U.

Las empresas explotan los resultados del proyecto para aumentar sus capacidades en el área de la automatización para darle un valor añadido a su oferta de productos.

COV ORTOPEDIA, S.L. participó en los paquetes de tareas técnicas como empresa experta en sillas de ruedas para personas con movilidad reducida y aportó su conocimiento del mundo ortopédico, recomendando el modelo de silla de ruedas para el proyecto y especificando los requisitos técnicos relacionados con las necesidades de las personas con movilidad reducida. Su objetivo es poder ofrecer una solución electrónica que aporte autonomía a las personas que tienen la movilidad reducida y emplean sillas de ruedas.

INGENIERIA ELECTRONICA A TU MEDIDA, S.L. participó como experta en diseño de producto electrónico en las tareas técnicas relacionadas con las balizas y los sensores para la navegación autónoma de la silla de ruedas y señaló las limitaciones de la instalación de las balizas en el techo con respecto a los costes de la mano de obra del instalador de las balizas. Su objetivo es conocer de primera mano la tecnología de posicionamiento bajo techo para ofrecerla a su cartera de clientes.

La empresa SIMETRÍA FIDENTIA participó en el estudio de nuevas tecnologías de automatización con las balizas de telecomunicaciones en la forma de una red mallada (MESH) para aplicarla a sus procesos, y participó como empresa experta del sector de la construcción aportando su conocimiento de arquitectura para la definición de los mapas del interior de las edificaciones. Su objetivo es profundizar su conocimiento de las redes IoT de sensores para uso bajo techo en la modalidad de balizas para el posicionamiento bajo techo.

El público objetivo de este proyecto son las personas con movilidad reducida que pueden viajar en una silla de ruedas, pero no tienen la fuerza necesaria para causar por sí mismas el movimiento de la silla de ruedas en la que viajan. Por este motivo estas personas con movilidad reducida dependen de la presencia de una tercera persona para que empuje la silla de ruedas en la que viajan y las lleve a donde quieran ir. En muchos casos esta tercera persona no está disponible cuando se la requiere por lo que las personas con movilidad reducida deben de

esperar hasta que la tercera persona esté disponible. Esto crea una dependencia que puede evitarse con la disponibilidad de una silla de ruedas autónoma.

2 Actividades realizadas

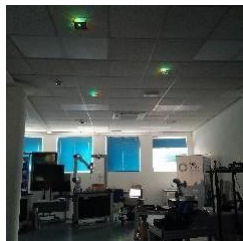
2.1 PT4 Diseño e integración de la red en malla de balizas y desarrollo del algoritmo de triangulación y navegación

Las actividades desarrolladas incluyeron la Integración de la red de malla de balizas de telecomunicaciones en el entorno bajo techo, la elaboración del mapa de entorno bajo techo y determinación de su geolocalización en el mapa. Finalmente se desarrolló el algoritmo de triangulación con tres o más balizas para la geolocalización de la silla de ruedas autónoma. Desarrollo de las aplicaciones informáticas de navegación por piloto automático y modo manual.

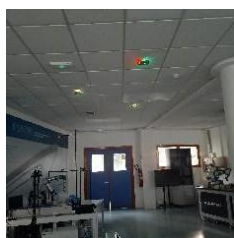
Red en malla de balizas

Se colocó en el techo de la sala tres balizas formando un triángulo para probar el algoritmo de triangulación. Las balizas se conectaron por cable USB a una tarjeta Raspberry Pi 4 para las balizas. La tarjeta Raspberry Pi 4 para las balizas se conectó por cable a la red de AIDIMME. Una tarjeta Raspberry Pi 4 del controlador se instaló en el armario eléctrico del controlador que le proveyó de alimentación eléctrica. La tarjeta Raspberry Pi 4 del controlador se comunica por Wi-Fi con la red de AIDIMME.

A continuación, aparece el montaje en el techo de las tres balizas vistas desde extremos opuestos de la sala (véase las Figuras 10 y 11) y vistas parciales de las tres balizas (véase las Figuras 12, 13, 14) y una vista del emisor de la silla de ruedas (véase la Figura 15) llamado TAG o etiqueta. Este emisor actúa como un faro que transmite periódicamente una señal de identificación del emisor (el número de identificación del emisor es como si fuese una especie de documento nacional de identidad del emisor que es único e irreplicable, por lo que las balizas lo pueden distinguir de otros emisores que pudieran estar en la misma sala). Las balizas reciben la señal del emisor y pueden medir la intensidad de la señal para calcular que tan cerca está. Las balizas también tienen un número de identificación único e irreplicable. Por conveniencia, en las fotos solamente se muestra los últimos dos dígitos del número de identificación de las balizas.



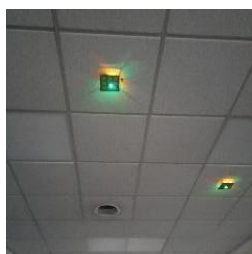
Vista hacia el oeste.



Vista hacia el este.



Baliza "71".



Baliza "39".



Baliza "A9".

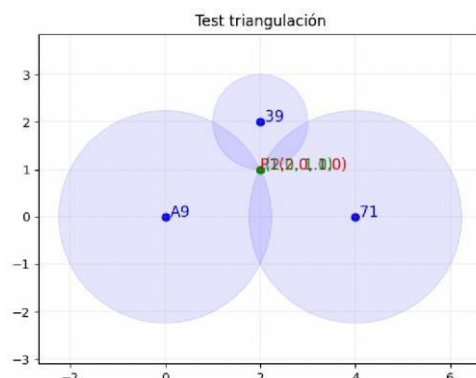


Emisor (TAG).

Mapa del entorno bajo techo

Se creó un mapa, con vista en planta, del entorno bajo el techo de la sala. Las placas cuadradas de pladur del techo están separadas por sesenta centímetros entre centro y centro. La distancia mayor en el mapa es aquella que existe entre las balizas "71" y "A9", y es de cuatro placas de pladur (2,4 metros). La distancia entre el punto equidistante entre las balizas "71" y "A9", y la baliza "39" es de dos placas de pladur (1,2 metros).

A continuación, se presenta el mapa con vista en planta del entorno de trabajo donde se aprecia la posición de las balizas en el techo (puntos azules) y el emisor en el suelo (punto verde (véase la Figura 16)). Por tratarse de una simulación, se ha escogido la posición del emisor en el punto intermedio del segmento que une a la baliza "39" con el punto intermedio entre las balizas "71" y "A9".



Mapa del entorno (las unidades están expresadas en número de placas de pladur de 0,6 metros de lado).

Los círculos difuminados que aparecen en la figura anterior representan a la distancia estimada entre la baliza y el emisor según la intensidad de la señal observada por la baliza. Conforme a la teoría, cuanto más intensa es la señal recibida, más cerca estará el emisor del receptor y menor será el radio del círculo.

Determinación de la geolocalización en el mapa

La tarjeta Raspberry Pi 4 para las balizas leyó los datos de las tres balizas y los envió a la tarjeta Raspberry Pi 4 del controlador. La tarjeta Raspberry Pi 4 del controlador tiene programado un mapa del entorno bajo techo y una lista de las coordenadas de las balizas en el mapa del entorno. La tarjeta Raspberry Pi 4 del controlador tiene un algoritmo que le permite determinar la posición de la silla de ruedas en el mapa del entorno bajo techo. Para esto se nutre de los datos que llegan de la tarjeta Raspberry Pi 4 para las balizas. Con los datos de las tres balizas se consigue la triangulación de la posición de la silla de ruedas en el mapa del entorno bajo techo en aquel punto en el cual se produzca la intersección de los tres círculos.

```
{
  "anchor_offsets":{
    "20BA369606A9": [0.0, 1.2, 0.0],
    "20BA36981A71": [2.4, 1.2, 0.0],
    "20BA36960639": [1.2, 0.0, 0.0]
  },
}
```

Coordenadas de las balizas en el mapa del entorno (las unidades están expresadas en metros).

Algoritmo de triangulación

El algoritmo de triangulación convencional no proporciona la posición correcta del emisor porque solamente funciona en condiciones ideales (sin ruido ni reflexiones). Por este motivo, el nuevo procedimiento que se ha desarrollado en este proyecto permite estimar, en un entorno bajo techo, la posición de la silla de ruedas con una incertidumbre inferior a un metro pese al

ruido y a las reflexiones. Comparado con la incertidumbre de diez metros que tiene el sistema GPS (que no funciona bajo techo), se puede decir que se ha logrado una mejoría por un factor de diez.

Como el algoritmo de triangulación convencional pertenece al estado del arte (y es de dominio público), no puede patentarse. El algoritmo de triangulación convencional se ha empleado únicamente para describir el método fundamental y ha servido como punto de partida para el nuevo procedimiento desarrollado en este proyecto que no es igual que el algoritmo de triangulación convencional.

Se ha desarrollado el software del algoritmo que consigue la geolocalización con un error por debajo de los diez metros. Para esto se ha empleado una combinación de la medición de la intensidad de la señal observada en el receptor y de los ángulos de polarización de cada receptor que permiten determinar el ángulo de llegada de la señal del emisor para el cálculo de la localización de la silla de ruedas autónoma en la sala.

Como el nuevo procedimiento desarrollado en este proyecto representa una mejoría con respecto a lo disponible en el estado del arte, AIDIMME ha solicitado un Informe Tecnológico de Patentes a la Oficina Española de Patentes y Marcas para determinar la conveniencia de patentar el procedimiento desarrollado por AIDIMME.

Por este motivo se seguirá los consejos publicados en la web de la Oficina Española de Patentes y Marcas y se evitará toda publicidad de los detalles técnicos de la invención hasta después de haberse obtenido la fecha de prioridad de la solicitud de patente.

2.2 PT 5. Instalación y programación de las aplicaciones informáticas para la explotación de los sensores de la silla de ruedas autónoma necesarios para la detección de los obstáculos.

Desarrollo de las aplicaciones informáticas para sortear los obstáculos o generar una parada de emergencia si el obstáculo fuese insalvable, pasando del modo de piloto automático al modo de mando manual.

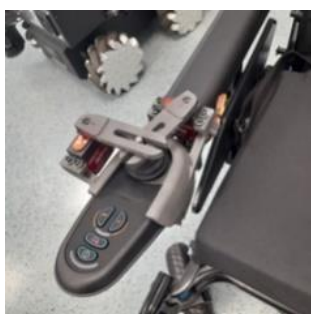
Programación de la silla

Se ha programado el autómatas programable Siemens S7-1200 para que realice la operación de navegación de la silla de ruedas autónoma desde un punto de partida hasta un punto de llegada, ya que se ha añadido un dispositivo electromecánico al joystick de la silla de ruedas para hacer las veces de la mano de una persona, por lo que la silla se desplaza en modo automático bajo el control electrónico del autómatas programable Siemens S7-1200.

El modo manual se logra quitando el dispositivo electromecánico del joystick para que la persona emplee su mano y mueva el joystick de forma manual.

El dispositivo electromecánico es necesario para la navegación en piloto automático porque los titulares de la fabricación de la silla de ruedas eléctrica no revelan los protocolos de comunicaciones empleados para permitir una conexión eléctrica entre nuestro controlador y aquel de la silla de ruedas. En principio, esta conexión eléctrica se podría lograr desenchufando el joystick del controlador de la silla de ruedas, y conectando en su lugar un nuevo enchufe entre el autómatas programable Siemens S7-1200 y el controlador de la silla de ruedas. Pero esta acción invalidaría la garantía de la silla de ruedas y ya no podría emplearse con una persona. La solución del dispositivo electromecánico diseñado y construido por AIDIMME consigue el mismo efecto sin invalidar la garantía de la silla de ruedas.

A continuación, aparecen unas imágenes del dispositivo electromecánico montado sobre el joystick de la silla de ruedas.



Dispositivo electromecánico.



Dispositivo electromecánico (bis).

Sensores RADAR de detección de obstáculos

Los sensores RADAR se conectaron a un PC portátil colocado en la silla de ruedas. Se descargó e instaló en el PC portátil el software de demostración de las tarjetas. Se abrió una sesión del navegador Google Chrome (recomendado por Texas Instruments, el fabricante de las tarjetas de RADAR) a través de una conexión Wi-Fi y se accedió a una página web de Texas Instruments que contiene una aplicación en la nube para la demostración de la operación de los sensores RADAR (https://dev.ti.com/gallery/view/mmwave/mmWave_Demo_Visualizer/ver/4.7.0/). Se configuró los parámetros operativos del sensor RADAR conectado al PC portátil por un puerto USB (posee la limitación de que solo se admite conectar un sensor a la vez). Los datos del sensor RADAR se enviaron en tiempo real a la nube y se procesaron en el servidor de Texas Instruments que devuelve instantáneamente la posición de los objetos detectados delante del sensor en tiempo real. Se pudo verificar que el sensor RADAR detectaba a corta distancia (como, por ejemplo, una distancia de 0,39 metros) como también a larga distancia (como, por ejemplo, una distancia de 5 metros). El sensor RADAR puede conectarse a un sistema local (que no esté en la web) pero esto requiere un desarrollo informático importante que no estaba contemplado en este proyecto. Por lo tanto, tomando en cuenta estas limitaciones, se considera que la detección de los objetos a corta y media distancia queda demostrada por la ejecución de la página web de Texas Instruments y se señala que los objetos detectados a media distancia delante del sensor

pueden ser esquivados ya que la silla no está demasiado cerca a ellos y tiene tiempo para tomar una acción evasiva, pero los objetos detectados a corta distancia delante del sensor no pueden ser esquivados por estar demasiado cerca y su detección debe causar el paro de la marcha de la silla de ruedas para evitar una colisión. El nivel de madurez de la tecnología está situado en TRL 6 (modelo de subsistema demostrado en un entorno relevante).

Sistema de telecomunicaciones inalámbricas basado en la red del proyecto IMOLAB.

Este sistema permite a la silla de ruedas obtener la medición de la intensidad de la señal de cada receptor que esté dentro del rango de detección junto con su geolocalización. Un algoritmo, que se desarrolló en este proyecto, permite tomar un mínimo de tres receptores para realizar una triangulación de la posición del sistema para la determinación de su geolocalización. Se espera que el error de esta geolocalización sea inferior al error de diez metros de la señal GPS. El uso del mapa electrónico y de los sensores radar de obstáculos permitirán determinar la presencia de las paredes del recinto bajo techo para afinar la geolocalización de la silla de ruedas autónoma.

Se realizó un ensayo comparativo de las tarjetas electrónicas del proyecto IMOLAB para determinar su grado de incertidumbre en la medición de la posición de la silla de ruedas en el espacio interior.

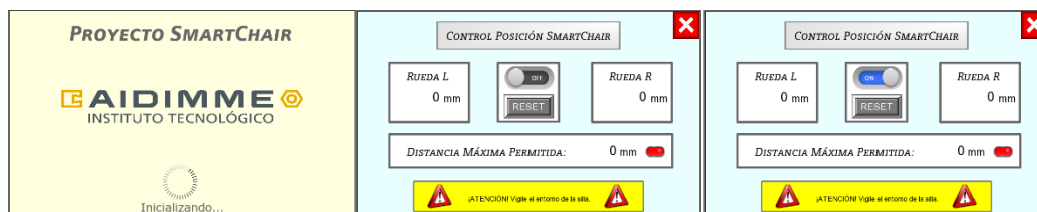
Desarrollo de software de navegación basado en las balizas del proyecto IMOLAB para determinar el recorrido que debe seguir la silla de ruedas autónoma para llegar a su destino.

Se ha desarrollado el software de navegación en el autómata programable que permite escoger el punto de destino del trayecto de la silla de ruedas autónoma. Este software activa los motores para que la silla de ruedas autónoma se desplace hasta su destino.

En esta tarea técnica también se ha desarrollado la consola de mando con una pantalla táctil para permitir que una persona pueda controlar a la silla de ruedas mediante la electrónica de control.

Se empleó una pantalla táctil LCD a color de la marca KINCO y se montó en la puerta del armario eléctrico de la consola de mando. La pantalla KINCO se conectó a un autómata programable Siemens S7-1200. Se colocó dos encoder en las ruedas de la silla de ruedas. Se conectó los dos encoder al autómata programable Siemens S7-1200 para registrar el movimiento de la silla de ruedas. En la pantalla táctil aparece un mensaje de bienvenida (véase la Figura 1) cuando se arranca el sistema. Luego aparece otra pantalla de control de posición de destino de la silla de ruedas (véase la Figura 2). La persona desliza un botón (OFF/ON) desde la posición por defecto (OFF) a la posición de marcha (ON) para que empiece el movimiento de la silla de ruedas (véase la Figura 3). La silla de ruedas se detiene al llegar a la posición de destino.

Las pantallas del programa de control de movimiento de la silla de ruedas:



Pantalla de bienvenida.

Pantalla de control de posición.

Pantalla con botón de marcha activado

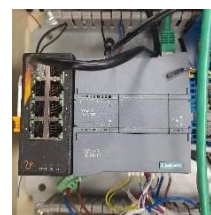
En las siguientes figuras se aprecia la pantalla táctil LCD a color montada en la puerta del armario eléctrico (véase la Figura 4), el contenido del armario eléctrico (véase la Figura 5) y el autómata programable (véase la Figura 6) que controla el funcionamiento del sistema.



Armario eléctrico.

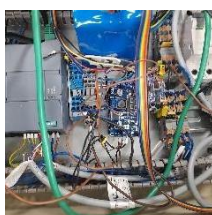


Contenido del armario eléctrico.



Autómata programable Siemens.

En las siguientes figuras se aprecia un paquete azul que contiene a la batería de litio del armario eléctrico (véase la Figura 7), la escuadra de fijación del encoder a la estructura de la silla de ruedas (véase la Figura 8) y la conexión entre la rueda de la silla de ruedas y el eje del encoder con una rueda auxiliar (véase la Figura 9). La escuadra de fijación del encoder se diseñó y fabricó con los medios de fabricación aditiva de AIDIMME (con una impresora 3D).



Cuadro de maniobra.



Escuadra para fijar al encoder.



Encoder conectado a la rueda.

Desarrollo de software de clasificación de los obstáculos para determinar si es posible eludirlos mediante una modificación de la trayectoria o parada de emergencia en el caso de la imposibilidad de seguir navegando.

Se ha desarrollado una aplicación a través de la conexión de las tarjetas RADAR de detección de obstáculos operando individualmente mediante un ordenador PC que se debe conectar a la nube de Texas Instruments. La aplicación que determina la distancia del obstáculo no se encuentra en el ordenador PC de la silla de ruedas sino que está en un servidor de Texas Instruments, el fabricante de las tarjetas RADAR. Al conectar una tarjeta RADAR a la nube a través del navegador de Internet (no se permite más que una tarjeta RADAR y nosotros tenemos cuatro en las esquinas de la silla de ruedas) se produce un diálogo entre la tarjeta RADAR y el servidor que permite el flujo de datos desde el sensor RADAR a la aplicación en la nube. Dicha aplicación calcula la distancia del obstáculo y la presenta en la pantalla del ordenador PC, permitiéndonos determinar la distancia que media entre el obstáculo y la tarjeta RADAR. De esta manera se ha podido comprobar que es factible fijar un límite, como por ejemplo de 50 cm, para que la silla se detenga si algún obstáculo estuviese por debajo del límite.

Se hizo la prueba individualmente con una tarjeta RADAR conectada al ordenador PC de la silla de ruedas que abrió una sesión en la web de Texas Instruments para demostrar que se podía detectar un obstáculo a diversas distancias observando la información que aparece en la pantalla del ordenador PC. La tecnología de base queda demostrada a nivel TRL6, aunque se necesitará de un futuro proyecto de desarrollo informático para prescindir de la nube de Texas Instruments y conseguir la información de las cuatro tarjetas RADAR con nuestro propio controlador de la silla de ruedas para que esta se pueda detener al superarse los límites establecidos para la distancia de un obstáculo. En dicho futuro software, se prevé clasificar a los obstáculos en las categorías de salvable e insalvable, para determinar si son eludibles. Y, en el caso que no lo fueran, se establece su geolocalización (que es la de la silla en el momento en el que se detiene) y se registra en una base de datos para que los obstáculos insalvables figuren en el mapa como zona prohibida para el paso de la silla de ruedas de tal suerte que no se pueda planificar en el futuro una nueva ruta que pase por dicha localización.

2.3 PT 6. Realización de pruebas del sistema, con las tareas relacionadas con el análisis del funcionamiento y resultados de las pruebas en un entorno real controlado.

Diseño del sistema

El sistema para la determinación de la posición de la silla de ruedas en un espacio interior consiste en emplear un transmisor inalámbrico, colocado en la silla de ruedas, que emite periódicamente una señal de identificación. El techo del espacio interior tiene fijados en él, una pluralidad de receptores inalámbricos que reciben la señal del transmisor inalámbrico y extraen tres variables: una intensidad de la señal recibida o RSSI, y dos ángulos ortogonales que permiten determinar el ángulo de llegada de la señal. Con estas tres variables, por cada receptor inalámbrico, se realiza una calibración del espacio interior.

El techo ha sido mallado con triángulos equiláteros. Se coloca un receptor inalámbrico en cada vértice de un triángulo con el objeto de poder determinar la posición del transmisor inalámbrico si éste estuviese dentro de la zona de cobertura del triángulo. Para determinar la posición del transmisor inalámbrico, se realiza un cálculo con los datos tomados por los receptores inalámbricos en tiempo real y aquellos de la base de datos. Mediante el algoritmo desarrollado en este proyecto se estima la posición del transmisor inalámbrico con una incertidumbre inferior a un metro. Esta incertidumbre es inferior a aquella del sistema de posicionamiento global GPS, que es de diez metros. Por lo tanto, este proyecto ha conseguido reducir la incertidumbre de la posición con respecto a aquella ofrecida por el sistema GPS. Este era uno de los indicadores clave a considerar.

Montaje del sistema y desarrollo de pruebas en un entorno controlado

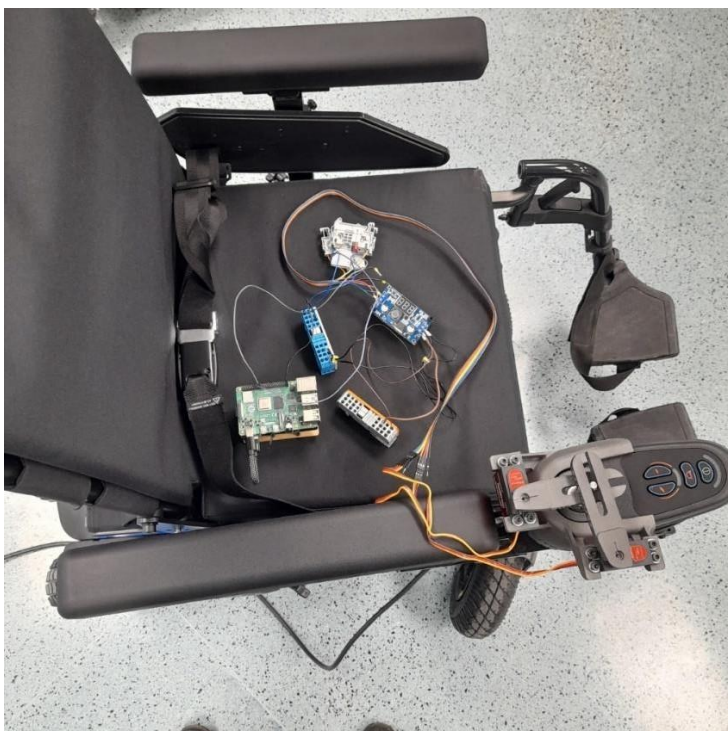
Se montó tres receptores inalámbricos en el techo del espacio interior para realizar una prueba piloto. El triángulo tenía un lado largo de 2,4 metros de largo y dos lados cortos de 1,67 metros de largo. Se malló el suelo debajo del triángulo con una cuadrícula con casillas de 0,6 metros de lado. Se consiguió una incertidumbre de 0,6 metros. Se repitió con una cuadrícula con casillas de 0,3 metros de lado. Se consiguió una incertidumbre de 0,3 metros en el mejor de los casos y de 0,6 metros en el peor de los casos.

Validación del sistema y conclusiones

Se consiguió un método para la determinación de la posición de un transmisor inalámbrico con una incertidumbre por debajo de un metro. Esto valida el sistema de posicionamiento en un espacio interior bajo techo.

Como conclusión se puede decir que el método desarrollado es robusto porque funciona en situaciones donde existe la interferencia causada por las reflexiones de la señal del transmisor inalámbrico en objetos metálicos presentes en el espacio interior. Los métodos tradicionales de trilateración y triangulación no funcionan bien cuando hay interferencias. Pero el método desarrollado en este proyecto si funciona correctamente ante la presencia de interferencias.

A continuación, se muestra una serie de imágenes de las actividades y desarrollos realizados durante el desarrollo del proyecto.



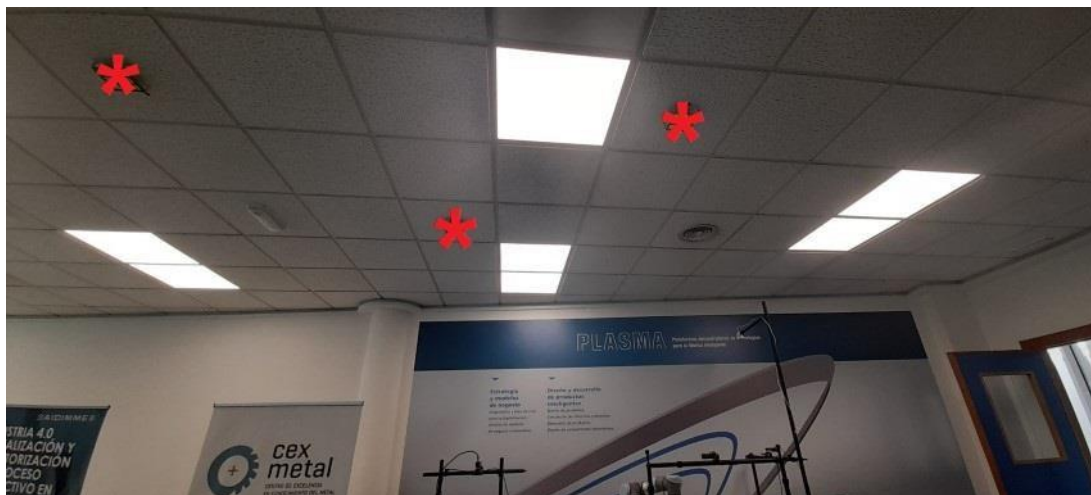
Montaje del electro mecanismo del joystick

```

1 import RPi.GPIO as GPIO
2 from time import sleep
3
4 PIN_LR = 11
5 PIN_UD = 15
6
7 OFFSET_LR = 5
8 CENTRO_LR = 90
9 DERECHA = 80
10 IZQUIERDA = 100
11
12 OFFSET_UD = 10
13 ARRIBA = 83
14 CENTRO_UD = 90
15 ABAJO = 97
16
17 > def setAngle(pwm, PIN, angle): ...
18
19 > def _setup(): ...
20
21 > def _cleanup(pwm_lr, pwm_ud): ...
22
23 > def _test(pwm): ...
24
25 > def _parada(pwm_lr, pwm_ud): ...
26
27 > def _adelante(pwm_lr, pwm_ud): ...
28
29 > def _atras(pwm_lr, pwm_ud): ...
30
31 > def _derecha(pwm_lr, pwm_ud): ...

```

Aplicaciones informáticas para el joystick



Marcas rojas sobre la posición de los tres receptores inalámbricos



Muebles metálicos que causan interferencias por las reflexiones sobre el metal



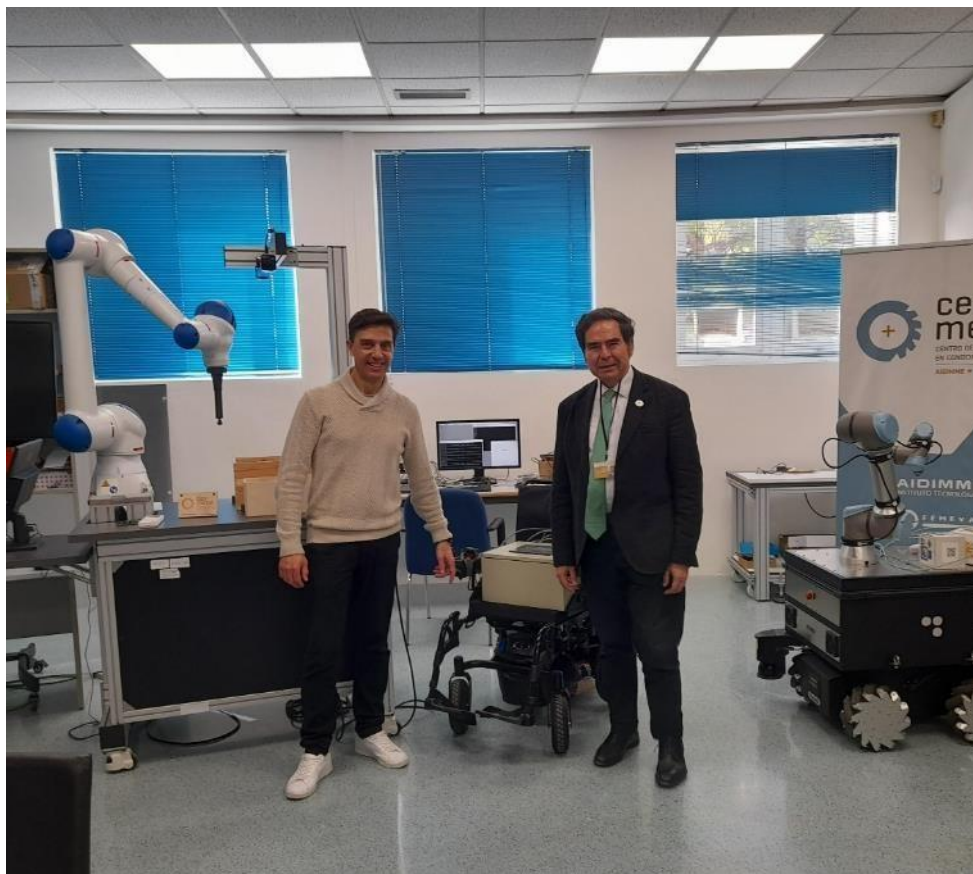
Marcas negras sobre sesenta y cinco posiciones para la calibración



Carrera sobre la cual discurre la silla de ruedas



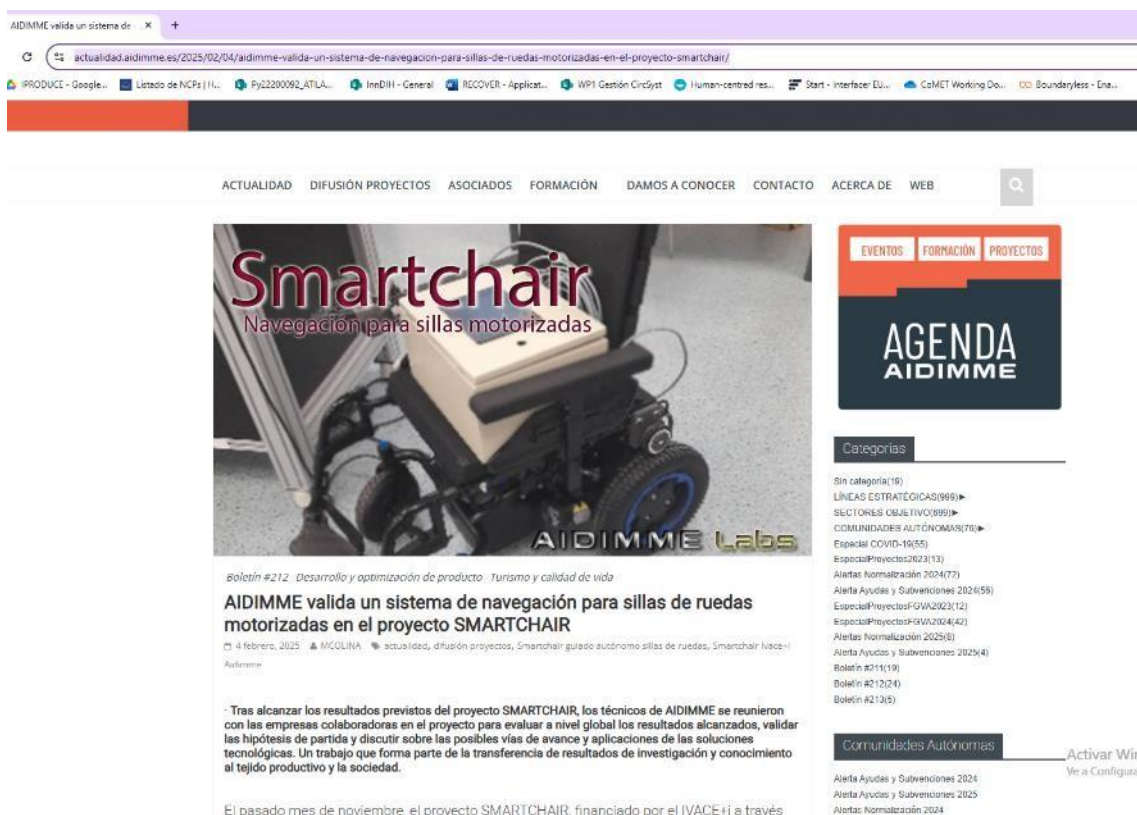
Foto con las empresas asociadas COV y Grupo Simetría



Fotografía con la empresa asociada IEATM.

Noticia Actualidad AIDIMME

<https://actualidad.aidimme.es/2025/02/04/aidimme-valida-un-sistema-de-navegacion-para-sillas-de-ruedas-motorizadas-en-el-proyecto-smartchair/>



Indicar la dirección de acceso público a través de la web de la entidad beneficiaria donde se puedan consultar los resultados detallados de la investigación: resumen ejecutivo, entregables, artículos, presentaciones, publicaciones, posters, folletos, pruebas, etc.

DIRECCIÓN WEB:	https://www.aidimme.es/serviciosOnline/difusion_proyectos/detalles.asp?id=33011
----------------	---

3 Resultados obtenidos

Se ha alcanzado los resultados que se esperaba alcanzar, según se expuso en la memoria de solicitud.

Se considera que se ha cumplido con los objetivos del proyecto por los resultados alcanzados:

- Se ha obtenido un sistema de navegación para ser empleado dentro de una sala por una silla de ruedas dotada de un emisor Bluetooth que emite periódicamente una señal de identificación que es captada por unos receptores Bluetooth colocados en el techo y conectados a una red de área local inalámbrica Wi-Fi. Cada receptor analiza las características radioeléctricas de la señal recibida, elabora un paquete de datos con el identificador del emisor y los parámetros operativos que describen a la señal recibida, y envía dicho paquete de datos a través de la red Wi-Fi al controlador de la silla de ruedas. El controlador de la silla de ruedas, con los datos de un mínimo de tres receptores que le den cobertura, realiza una estimación por mínimos cuadrados de la posición de la silla y así determina dónde se encuentra la silla de ruedas en la sala. Se ha desarrollado una consola de mando con una pantalla táctil LCD a colores que permite al usuario de la silla de ruedas especificar un desplazamiento. El usuario pulsa un botón para iniciar el desplazamiento y la silla se detiene al cumplirse el desplazamiento.
- Se ha desarrollado un sustituto del sistema de navegación GPS para su uso bajo techo. El sistema de navegación GPS puede errar por varios metros y no puede emplearse bajo techo. El sistema de navegación FEDER SMARTCHAIR puede errar por menos de un metro, y puede emplearse bajo techo. Como punto de comparación, los mejores sistemas de mercado Bluetooth de posicionamiento bajo techo pueden errar por 1,0 metros.
- Se ha desarrollado una consola de mando con una pantalla táctil que sirve de interfaz entre la persona y la silla de ruedas autónoma. Mediante la consola se selecciona el destino del trayecto y se pone en marcha la silla de ruedas para que se desplace a dicho destino. La persona debe tocar un botón de marcha en la pantalla táctil para que la silla empiece a moverse.
- Se ha diseñado una metodología de activación de los motores eléctricos de la silla de ruedas simulando la acción de la mano del usuario para manipular al joystick de control del movimiento de la silla de ruedas. Se ha diseñado y construido un accesorio externo a la silla de ruedas en la forma de un actuador electromecánico con dos motores servo en cuadratura para que el controlador de la silla de ruedas pueda mover al joystick simulando la acción de la mano del usuario. Este accesorio externo permite la manipulación del joystick como si fuese la mano del usuario sin alterar a la silla.

Se ha presentado una solicitud de informe tecnológico de patentes como paso previo a la solicitud de una patente de invención del método para la determinación de la posición de un transmisor inalámbrico bajo techo.

Con estos resultados podemos confirmar que se ha alcanzado el nivel TRL 6 de madurez de la tecnología (TRL 6 - Modelo de sistema / subsistema o demostración de prototipo en un entorno

relevante) ya que el sistema de geolocalización desarrollado en este proyecto ha sido demostrado en un entorno relevante bajo techo, y se ha conseguido el objetivo de reducir el error de la geolocalización para que sea inferior al error de diez metros de la señal GPS (se ha logrado un error por debajo de un metro).

AIDIMME

INSTITUTO TECNOLÓGICO

Domicilio fiscal —

C/ Benjamín Franklin 13. (Parque Tecnológico)
46980 Paterna. Valencia (España)
Tlf. 961 366 070 | Fax 961 366 185

Domicilio social —

Leonardo Da Vinci, 38 (Parque Tecnológico)
46980 Paterna. Valencia (España)

Tlf. 961 318 559 - Fax 960 915 446

aidimme@aidimme.es

www.aidimme.es