



GRADO EN INGENIERÍA SOFTWARE

Escuela Técnica Superior de Ingeniería Informática

Curso académico 2022-2023

Trabajo de Fin de Grado

HERRAMIENTA SOFTWARE PARA LA UTILIZACIÓN DE NAVEGADORES INERCIALES

Tutor: Gustavo Recio Isasi

Autor: Juan Guillo Bermejo



Este trabajo se distribuye bajo los términos de la licencia internacional CC BY-NC-SA International License (Creative Commons AttributionNonCommercial-ShareAlike 4.0). Usted es libre de (a) *compartir*: copiar y redistribuir el material en cualquier medio o formato; y (b) *adaptar*: remezclar, transformar y crear a partir del material. El licenciador no puede revocar estas libertades mientras cumpla con los términos de la licencia:

- *Atribución*. Usted debe dar crédito de manera adecuada, brindar un enlace a la licencia, e indicar si se han realizado cambios. Puede hacerlo en cualquier forma razonable, pero no de forma tal que sugiera que usted o su uso tienen el apoyo de la licenciante.
- *No comercial*. Usted no puede hacer uso del material con propósitos comerciales.
- *Compartir igual*. Si remezcla, transforma o crea a partir del material, debe distribuir su contribución bajo la la misma licencia del original.

Documento de **Juan Guillo Bermejo**.

Agradecimientos

Nunca se me había dado la ocasión de transmitir todo aquello que me ha permitido llegar hasta aquí, pero ha llegado la ocasión.

Desde luego que este primer comentario va hacia las personas que siempre han estado y sé que estarán como son mi familia. En especial a mis padres por darme todo lo que tengo, y como no, de mi hermano Pablo, el pequeño de la familia. Los pilares de mi vida.

Por aguantar la montaña rusa de emociones que causa y he ocasionado a lo largo de la carrera. Por otro lado, mencionar a mis amigos de toda la vida (Chipis), mis amigos del equipo de fútbol (Descanso FC), los cuales hemos vivido momentos inolvidables.

Mencionar a varios compañeros de la carrera por haberme acompañado durante éstos años.

Por último, agradecer a mi tutor Gustavo por darme la oportunidad y confiar en mí.

Gracias.

*A mi familia
y amigos*

Madrid, 15 de junio de 2023

Juan

Resumen

El proyecto a realizar abarcaba en un primer momento la creación de una herramienta para la utilización de navegadores inerciales, conocidos principalmente como IMU.

Durante las primeras semanas del proyecto, existía una gran complejidad con ciertos algoritmos debido a las diferentes fuerzas físicas que se debían de tener en cuenta. Por otro lado, se había fijado un presupuesto no muy alto pues se trataba de un trabajo universitario. Debido a todas estas cuestiones se decidió realizar un cambio en el proyecto pero sin perder la principal esencia. Obtener la orientación y ubicación de los cuerpos.

Para solucionar éstos problemas, se realizó un cambio y se decidió crear una herramienta similar a un topógrafo con el fin de obtener la ubicación de cuerpos, su orientación y la distancia a ellos, con el fin de calcular ciertas trayectorias.

A lo largo del trabajo se exponen todos éstos problemas, las soluciones y todos los datos que se han recogido con el fin de llegar al objetivo deseado.

Acrónimos y palabras claves

URJC *Universidad Rey Juan Carlos*

IMU *Unidad de Medición Inercial*

AHRS *Attitude and Heading Reference Systems*

LiDAR *Light Detection and Ranging o Laser Imaging Detection and Ranging*

Adafruit BNO055 *Ejemplo*

Arduino *Ejemplo*

Infrared Laser Sensor *Ejemplo*

IDII *Ivrea Interaction Design Institute*

Parte Hardware *Ejemplo*

Parte Software *Ejemplo*

Índice general

1. Introducción	1
1.1. Objetivo del proyecto	1
1.2. Alcance del proyecto	1
1.2.1. Motivación	1
1.2.2. Planificación	2
2. Objetivos	4
2.1. Descripción del problema	4
2.2. Estudio de alternativas	4
2.3. Metodología empleada	4
3. Plataforma de desarrollo	5
4. Descripción informática	6
4.1. Especificación	6
4.2. Diseño	7
4.3. Implementación	7
4.4. Pruebas	7
5. Experimentos y validaciones	8
5.1. Experimentos realizados	8
5.2. Problemas encontrados	8
5.3. Soluciones y propuestas	8
6. Conclusiones	9
6.1. Logros principales alcanzados	9
6.2. Posibles mejoras	9
7. Apéndices	10
7.1. Información de interés	10
Bibliografía	11

Índice de figuras

1.1. Disposito MPU-9250.	2
3.1. Logo de Arduino.	5

Listado de códigos

4.1. Función para buscar elementos 3D en la imagen	6
4.2. Cómo usar un Slider	6

Listado de ecuaciones

4.1. Ejemplo de ecuación con fracciones	7
4.2. Ejemplo de ecuación con array y letras y símbolos especiales	7

Índice de cuadros

4.1. Parámetros intrínsecos de la cámara	7
--	---

Capítulo 1

Introducción

Escribe aquí un párrafo explicando brevemente lo que vas a contar en este capítulo. En este primer capítulo, el de introducción, se trata de dar un contexto amplio y atractivo del trabajo. Comienza hablando de un contexto general y acaba hablando del contexto más específico en el que se enmarca el proyecto. Es el capítulo idóneo para incluir todas las referencias bibliográficas que hayan tratado este tema; suponen un fuerte respaldo al trabajo.

1.1. Objetivo del proyecto

En los textos puedes poner palabras en *cursiva*, para aquellas expresiones en sentido *figurado*, palabras como *robota*, que está fuera del diccionario castellano, o bien para resaltar palabras de una colección: *(a)* es la primera letra del abecedario, *(b)* es la segunda, etc.

Al poner las dos líneas del anterior párrafo, este aparecerá separado del anterior. Si no las pongo, los párrafos aparecerán pegados. Sigue el criterio que consideres más oportuno.

1.2. Alcance del proyecto

No olvides incluir imágenes y referenciarlas, como la Figura 1.1.

Ni tampoco olvides de poner las URLs como notas al pie. Por ejemplo, si hablo de la Robocup¹.

1.2.1. Motivación

En lugar de tener secciones interminables, como la Sección 1.1, divídelas en subsecciones.

Para hablar de números, mételes en el entorno *math* de \LaTeX , por ejemplo, $1,5Kg$. También puedes usar el símbolo del Euro como aquí: 1.500€.

¹<http://www.robocup.org>

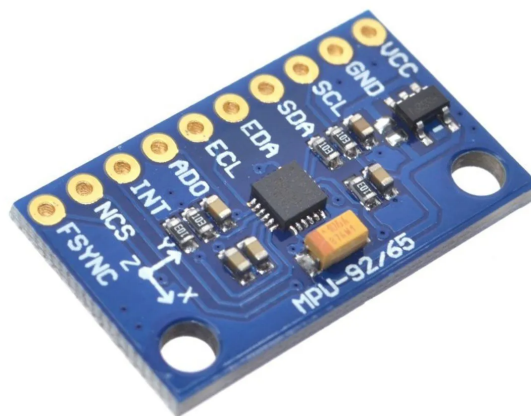


Figura 1.1: Dispositivo MPU-9250.

1.2.2. Planificación

Cuando describas una colección, usa `itemize` para ítems o `enumerate` para enumerados. Por ejemplo:

- *Entorno de simulación.* Hemos usado dos entornos de simulación: uno en 3D y otro en 2D.
- *Entornos reales.* Dentro del campus, hemos realizado experimentos en Biblioteca y en el edificio de Gestión.

1. Primer elemento de la colección.

2. Segundo elemento de la colección.

Referencias bibliográficas Cita, sobre todo en este capítulo, referencias bibliográficas que respalden tu argumento. Para citarlas basta con poner la instrucción `\cite` con el identificador de la cita. Por ejemplo: libros como [Vega et al., 2012], artículos como [Vega and Cañas, 2019], URLs como [Vega, 2019], tesis como [Vega, 2018a], congresos como [Vega, 2018b], u otros trabajos fin de grado como [Vega, 2008].

Las referencias, con todo su contenido, están recogidas en el fichero `bibliografia.bib`. El contenido de estas referencias está en formato `BibTex`. Este formato se puede obtener en muchas ocasiones directamente, desde plataformas como `Google Scholar` u otros repositorios de recursos científicos.

Existen numerosos estilos para reflejar una referencia bibliográfica. El estilo establecido por defecto en este documento es APA, que es uno de los estilos más comunes, pero lo puedes modificar en el archivo `memoria.tex`; concretamente, cambiando el campo `apalike` a otro en la instrucción `\bibliographystyle{apalike}`.

Y, para terminar este capítulo, resume brevemente qué vas a contar en los siguientes.

Capítulo 2

Objetivos

Preguntar a Gustavo la separación de ambos TFGs, una continuación del otro. Si puedo repetir información para explicarlo, etc. Escribe aquí un párrafo explicando brevemente lo que vas a contar en este capítulo. En este capítulo lo ideal es explicar cuáles han sido los objetivos que te has fijado conseguir con tu trabajo, qué requisitos ha de respetar el resultado final, y cómo lo has llevado a cabo; esto es, cuál ha sido tu plan de trabajo.

2.1. Descripción del problema

Cuenta aquí el objetivo u objetivos generales y, a continuación, concrétales mediante objetivos específicos.

2.2. Estudio de alternativas

Describe los requisitos que ha de cumplir tu trabajo.

2.3. Metodología empleada

Qué paradigma de desarrollo software has seguido para alcanzar tus objetivos.

Capítulo 3

Plataforma de desarrollo

La herramienta que se ha utilizado para el desarrollo tanto hardware como software es Arduino. Arduino es una plataforma electrónica de código abierto basada en hardware y software fáciles de usar. Las placas Arduino son capaces de leer entradas (la luz de un sensor, un dedo sobre un botón o un mensaje de Twitter) y convertirlas en salidas (activar un motor, encender un LED, publicar algo en Internet). Puedes decirle a tu placa lo que tiene que hacer enviando una serie de instrucciones al microcontrolador de la placa. Para ello se utiliza el lenguaje de programación Arduino (basado en Wiring) y el software Arduino (IDE), basado en Processing.



Figura 3.1: Logo de Arduino.

Arduino nació en el IDII (Ivrea Interaction Design Institute) como una herramienta sencilla para la creación rápida de prototipos, dirigida a estudiantes sin conocimientos previos de electrónica y programación. Tan pronto como llegó a una comunidad más amplia, la placa Arduino empezó a cambiar para adaptarse a nuevas necesidades y retos, diferenciando su oferta de simples placas de 8 bits a productos para aplicaciones IoT, wearables, impresión 3D y entornos embebidos.

Capítulo 4

Descripción informática

Escribe aquí un párrafo explicando brevemente lo que vas a contar en este capítulo. En este capítulo (y quizás alguno más) es donde, por fin, describes detalladamente qué has hecho y qué experimentos has llevado a cabo para validar tus desarrollos (con el siguiente capítulo explico detalladamente esto).

4.1. Especificación

Puede resultar interesante, para clarificar la descripción, mostrar fragmentos de código (o *snippets*) ilustrativos. En el Código 4.1 vemos un ejemplo escrito en C++.

```
void Memory::hypothesizeParallelograms () {
    for(it1 = this->controller->segmentMemory.begin(); it1++) {
        squareFound = false; it2 = it1; it2++;
        while ((it2 != this->controller->segmentMemory.end()) && (!squareFound)) {
            if (geometry::haveACommonVertex((*it1),(*it2),&square)) {
                dist1 = geometry::distanceBetweenPoints3D ((*it1).start, (*it1).end);
                dist2 = geometry::distanceBetweenPoints3D ((*it2).start, (*it2).end);
            }
        }
    }
    // [...]
```

Código 4.1: Función para buscar elementos 3D en la imagen

En el Código 4.2 vemos un ejemplo escrito en Python.

```
def mostrarValores():
    print (w1.get(), w2.get())

master = Tk()
w1 = Scale(master, from_=0, to=42)
w1.pack()
w2 = Scale(master, from_=0, to=200, orient=HORIZONTAL)
w2.pack()
Button(master, text='Show', command=mostrarValores).pack()

mainloop()
```

Código 4.2: Cómo usar un Slider

4.2. Diseño

Para mencionar identificadores usados en el código —como nombres de funciones o variables— en el texto, usa el entorno literal o verbatim `hypothesizeParallelograms()`. También se puede usar este entorno para varias líneas, como se ve a continuación:

```
void Memory::hypothesizeParallelograms () {  
    // add your code here  
}
```

4.3. Implementación

Si necesitas insertar alguna ecuación, puedes hacerlo. Al igual que las figuras, no te olvides de referenciarlas. A continuación se exponen algunas ecuaciones de ejemplo: Ecuación 4.1 y Ecuación 4.2.

$$H = 1 - \frac{\sum_{i=0}^N \frac{(\frac{d_{js} + d_{je}}{2})}{N}}{M}$$

(4.1)

Ecuación 4.1: Ejemplo de ecuación con fracciones

$$v(entrada) = \begin{cases} 0 & \text{if } \epsilon_t < 0,1 \\ K_p \cdot (T_t - T) & \text{if } 0,1 \leq \epsilon_t < M_t \\ K_p \cdot M_t & \text{if } M_t < \epsilon_t \end{cases}$$

(4.2)

Ecuación 4.2: Ejemplo de ecuación con array y letras y símbolos especiales

4.4. Pruebas

Si necesitas insertar una tabla, hazlo dígnamente usando las propias tablas de \LaTeX , no usando pantallazos e insertándolas como figuras... En el Cuadro 4.1 vemos un ejemplo.

Parámetros	Valores
Tipo de sensor	Sony IMX219PQ[7] CMOS 8-Mpx
Tamaño del sensor	3.674 x 2.760 mm (1/4" format)
Número de pixels	3280 x 2464 (active pixels)
Tamaño de pixel	1.12 x 1.12 μ m
Lente	f=3.04 mm, f/2.0
Ángulo de visión	62.2 x 48.8 degrees
Lente SLR equivalente	29 mm

Cuadro 4.1: Parámetros intrínsecos de la cámara

Capítulo 5

Experimentos y validaciones

Aquí exponer todos los experimentos que hemos realizado, apoyarlo con las imágenes de Arduino y otras. Todas las pruebas exponerlas tanto de código como otras.

5.1. Experimentos realizados

5.2. Problemas encontrados

Enumera los problemas y posibles soluciones a estos.

Enumera también los requisitos implícitos en la consecución de esos objetivos, y cómo se han satisfecho.

No olvides dedicar un par de párrafos para hacer un balance global de qué has conseguido, y por qué es un avance respecto a lo que tenías inicialmente. Haz mención expresa de alguna limitación o peculiaridad de tu sistema y por qué es así. Y también, qué has aprendido desarrollando este trabajo.

Por último, añade otro par de párrafos de líneas futuras; esto es, cómo se puede continuar tu trabajo para abarcar una solución más amplia, o qué otras ramas de la investigación podrían seguirse partiendo de este trabajo, o cómo se podría mejorar para conseguir una aplicación real de este desarrollo (si es que no se ha llegado a conseguir).

5.3. Soluciones y propuestas

Capítulo 6

Conclusiones

Escribe aquí un párrafo explicando brevemente lo que vas a contar en este capítulo, que básicamente será una recapitulación de los problemas que has abordado, las soluciones que has prouesto, así como los experimentos llevados a cabo para validarlos. Y con esto, cierras la memoria.

6.1. Logros principales alcanzados

Por último, añade otro par de párrafos de líneas futuras; esto es, cómo se puede continuar tu trabajo para abarcar una solución más amplia, o qué otras ramas de la investigación podrían seguirse partiendo de este trabajo, o cómo se podría mejorar para conseguir una aplicación real de este desarrollo (si es que no se ha llegado a conseguir).

6.2. Posibles mejoras

Enumera los objetivos y cómo los has cumplido.

Enumera también los requisitos implícitos en la consecución de esos objetivos, y cómo se han satisfecho.

No olvides dedicar un par de párrafos para hacer un balance global de qué has conseguido, y por qué es un avance respecto a lo que tenías inicialmente. Haz mención expresa de alguna limitación o peculiaridad de tu sistema y por qué es así. Y también, qué has aprendido desarrollando este trabajo.

Capítulo 7

Apéndices

Escribe aquí un párrafo explicando brevemente lo que vas a contar en este capítulo, que básicamente será una recapitulación de los problemas que has abordado, las soluciones que has prouesto, así como los experimentos llevados a cabo para validarlos. Y con esto, cierras la memoria.

7.1. Información de interés

Enumera los objetivos y cómo los has cumplido.

Enumera también los requisitos implícitos en la consecución de esos objetivos, y cómo se han satisfecho.

No olvides dedicar un par de párrafos para hacer un balance global de qué has conseguido, y por qué es un avance respecto a lo que tenías inicialmente. Haz mención expresa de alguna limitación o peculiaridad de tu sistema y por qué es así. Y también, qué has aprendido desarrollando este trabajo.

Por último, añade otro par de párrafos de líneas futuras; esto es, cómo se puede continuar tu trabajo para abarcar una solución más amplia, o qué otras ramas de la investigación podrían seguirse partiendo de este trabajo, o cómo se podría mejorar para conseguir una aplicación real de este desarrollo (si es que no se ha llegado a conseguir).

Bibliografía

- [Vega, 2008] Vega, J. (2008). Navegación y autolocalización de un robot guía de visitantes. Master thesis on computer science, Rey Juan Carlos University.
- [Vega, 2015] Vega, J. (2015). De la tiza al robot. Technical report.
- [Vega, 2018a] Vega, J. (2018a). *Educational framework using robots with vision for constructivist teaching Robotics to pre-university students*. Doctoral thesis on computer science and artificial intelligence, University of Alicante.
- [Vega, 2018b] Vega, J. (2018b). JdeRobot-Kids framework for teaching robotics and vision algorithms. In *II jornada de investigación doctoral*. University of Alicante.
- [Vega, 2019] Vega, J. (2019). El profesor Julio Vega, finalista del concurso 'Ciencia en Acción 2019'. URJC, on-line newspaper interview.
- [Vega and Cañas, 2019] Vega, J. and Cañas, J. (2019). PyBoKids: An innovative python-based educational framework using real and simulated Arduino robots. *Electronics*, 8:899–915.
- [Vega et al., 2012] Vega, J., Perdices, E., and Cañas, J. (2012). *Attentive visual memory for robot localization*, pages 408–438. IGI Global, USA. Text not available. This book is protected by copyright.