



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO
CARRERA DE INGENIERÍA EN TELECOMUNICACIONES

TEMA:

**Implementación del sistema de control de visión remota en robot
humanoide en la ejecución de rutinas para torneos de robótica**

AUTOR:

Donoso Cruz, Andrés Eduardo

Trabajo de Titulación previo a la obtención del Grado de
INGENIERO EN TELECOMUNICACIONES

TUTOR:

M. Sc. Bohórquez Heras, Daniel Bayardo

Guayaquil, Ecuador

13 de septiembre del 2019



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO
CARRERA DE INGENIERÍA EN TELECOMUNICACIONES

CERTIFICACIÓN

Certificamos que el presente trabajo fue realizado en su totalidad por el Sr. **Donoso Cruz, Andrés Eduardo** como requerimiento para la obtención del grado de **INGENIERO EN TELECOMUNICACIONES**.

TUTOR

M. Sc. Bohórquez Heras, Daniel Bayardo

DIRECTOR DE CARRERA

M. Sc. Heras Sánchez, Miguel Armando

Guayaquil, 13 de septiembre del 2019



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO
CARRERA DE INGENIERÍA EN TELECOMUNICACIONES

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

Yo, **Donoso Cruz, Andrés Eduardo**

DECLARÓ QUE:

El trabajo de titulación: **“Implementación del sistema de control de visión remota en robot humanoide en la ejecución de rutinas para torneos de robótica”**, previo a la obtención del título de **Ingeniero en Telecomunicaciones**, ha sido desarrollado respetando derechos intelectuales de terceros conforme las citas que constan en el documento, cuyas fuentes se incorporan en las referencias o bibliografías. Consecuentemente este trabajo es de mi total autoría.

En virtud de esta declaración, me responsabilizo del contenido, veracidad y alcance del Trabajo de Titulación referido.

Guayaquil, 13 de septiembre del 2019

EL AUTOR

Donoso Cruz, Andrés Eduardo



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO
CARRERA DE INGENIERÍA EN TELECOMUNICACIONES

AUTORIZACIÓN

Yo, **Donoso Cruz, Andrés Eduardo**

Autorizó a la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil, la publicación, en la biblioteca de la institución del Trabajo de Titulación: “**Implementación del sistema de control de visión remota en robot humanoide en la ejecución de rutinas para torneos de robótica**”, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y total autoría.

Guayaquil, 13 de septiembre del 2019

EL AUTOR

Donoso Cruz, Andrés Eduardo

REPORTE DE URKUND

The screenshot shows the URKUND interface with the following details:

- Documento:** [Andrés Donoso_FINAL.docx](#) (D55062115)
- Presentado por:** fernandopm23@hotmail.com
- Recibido:** edwin.palacios.ucsg@analysis.orkund.com
- Mensaje:** Revisión TT Andrés Donoso [Mostrar el mensaje completo](#)
1% de estas 29 páginas, se componen de texto presente en 1 fuentes.

On the right side, there is a 'Lista de fuentes' (List of sources) panel with the following content:

Categoría	Enlace/nombre de archivo
>	Joel Mora.docx
Fuentes alternativas	
Fuentes no usadas	

At the bottom of the interface, there is a toolbar with icons for navigation and actions, including a warning icon that says '1 Advertencias...' and buttons for 'Reiniciar', 'Exportar', and 'Compartir'.

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO CARRERA DE INGENIERIA EN TELECOMUNICACIONES

TEMA: Implementación del sistema

de control de visión remota en robot humanoide en la ejecución de rutinas para torneos de robótica

AUTOR: Donoso Cruz, Andrés Eduardo

Trabajo de Titulación previo a la obtención del Grado de INGENIERO EN Telecomunicaciones

TUTOR: M. Sc. Bohórquez Heras, Daniel Bayardo

Guayaquil, Ecuador

8 de septiembre del 2019

Dedicatoria

El presente trabajo de titulación se lo dedico principalmente a mis padres por haberme apoyado en todo el proceso de mi carrera , como siempre lo han hecho en mi vida , por ser un aporte fundamental para lograr culminar mis estudios universitarios ya que gracias a su amor y paciencia soy lo que he logrado ser ahora , me siento tan orgulloso de tener unos padres ejemplares , llenos de valores y muy trabajadores , ya que ellos me han dado el ejemplo de siempre luchar por conseguir lo que me proponga de la mejor manera y siempre haciéndola de forma correcta, a Dios por haberme permitido tener unos padres ejemplares y muy buenos que me supieron dar aliento cada día para lograr el primero de mis objetivos.

A todas las personas que me apoyaron en este proceso universitario y han hecho que el trabajo se realice con éxito en especial a las personas que me brindaron su apoyo y aportaron con conocimientos para el proceso de mi trabajo de tesis ya culminado con éxito para obtener mi título universitario como ingeniero en telecomunicaciones, ya que esto representa uno de mis logros y metas que me he propuesto cumplir para mi vida y carrera profesional.

Agradecimientos

Agradezco a mis padres por ser los principales promotores de cumplir mis metas y sueños, gracias a ellos por confiar en mí y ser los principales participes de cada una de mis etapas tanto en la formación académica como en la formación personal, por tener paciencia, por cada día darme aliento y buenos consejos para que cada día sea mejor, por estar dispuestos siempre a apoyarme en todo lo que sea bueno para mí , me han enseñado que con esfuerzo se logran grandes cosas siempre y cuando actúes de la manera correcta, agradezco tanto a ellos por ser unos excelentes padres y muy buenos seres humanos.

Gracias a Dios por brindarme la oportunidad de haber tenido unos padres excelentes que me han inculcado grandes valores para ser una persona de bien y siempre luchando para conseguir lo que se quiere, que me han hecho reflexionar muchas veces y siempre contar con su apoyo incondicional.

Agradezco a la universidad por haberme brindado los conocimientos que adquiriré a lo largo de la carrera, gracias a todas las personas que participaron en esta etapa tan importante para mí, gracias por su aporte y consejos que me llevaron a seguir adelante con mis estudios universitarios, gracias a todos por haberme motivado y aconsejado para mejorar día a día para conseguir este logro que es el primero de muchos que me he propuesto en mi vida como profesional.



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO
CARRERA DE INGENIERÍA EN TELECOMUNICACIONES

TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

f. _____

M. Sc. ROMERO PAZ, MANUEL DE JESÚS
DECANO

f. _____

M. Sc. PALACIOS MELÉNDEZ, EDWIN FERNANDO
COORDINADOR DE TITULACIÓN

f. _____

M. Sc. CÓRDOVA RIVADENIERA, LUIS SILVIO
OPONENTE

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE FIGURAS.....	XI
Resumen	XIV
Capítulo 1: Generalidades del proyecto de grado.....	2
1.1. Introducción.....	2
1.2. Antecedentes.....	3
1.3. Definición del problema	3
1.4. Justificación del problema a investigar.	3
1.5. Objetivos.....	3
1.6. Hipótesis.....	4
1.7. Metodología de investigación.	4
Capítulo 2: Conceptos básicos de las redes de fibra óptica.	5
2.1. Descripción general de robots humanoides.....	5
2.2. Terminología de robot humanoide	9
2.3. Modelado de robots humanoides	11
2.4. Estimación e identificación de parámetros.	14
2.4.1. Estimación de parámetros robóticos tradicionales	14
2.4.2. Estimación de parámetros para robots humanoides.	16
2.5. Estabilidad y equilibrio de robots humanoides.....	18
2.5.1. Robots humanoides completamente accionados	19
2.5.2. Robots humanoides sin actividad	20
2.6. Enfoque de la robótica.....	22
2.6.1. SLAM robótico	22
2.6.2. Obteniendo datos de entrenamiento	23
2.6.3. Modelo de sensor de cámara	26
2.6.4. Modelo de sensor WiFi.....	30
2.6.5. Localización.....	32
Capítulo 3: Implementación del sistema de control de visión remota del robot humanoide.	36
3.1. Reseña del capítulo	36
3.2. Elementos utilizados para la implementación de un sistema de control de visión remota para el robot humanoide super anthony.	36
3.2.1. Transmisor de video análogo AKK x2	36

3.2.2.	Cámara Runcam OWL2.	38
3.2.3.	InnoBasic Workshop2.....	40
3.2.4.	Robot Humanoide Super Anthony	41
3.3.	Diseño e implementación de visión remota para robot Super Anthony.	44
3.3.1.	Diseño de funcionamiento del sistema	44
3.3.2.	Diagrama de flujo de programación del robot humanoide	47
3.4.	Implementación de visión en primera persona para robot humanoide Super Anthony.....	48
3.5.	Resultados obtenidos del sistema.	64
	Conclusiones	68
	Recomendaciones	69
	Bibliografía	70

ÍNDICE DE FIGURAS

Capítulo 2:

Figura 2. 1: Robot humanoide avanzado "ASIMO".	5
Figura 2. 2: Robot humanoide avanzado NAO.	6
Figura 2. 3: Robot humanoide avanzado PETMAN.	6
Figura 2. 4: Robot humanoide avanzado RABBIT.	7
Figura 2. 5: Robot humanoide avanzado HRP-4C.	7
Figura 2. 6: Robot humanoide avanzado "WABIAN".	8
Figura 2. 7: Robot humanoide avanzado "FLAME".	8
Figura 2. 8: Robot humanoide avanzado RANGER.	9
Figura 2. 9: Definición de los planos corporales ortogonales de robots humanoide.	10
Figura 2. 10: Modelos aproximándose a un robot humanoide.	12
Figura 2. 11: Izquierda: el robot ESCALERA, derecha: una mochila láser.	22
Figura 2. 12: Mapa 2D del entorno utilizado en estos experimentos, producido por GMapping.	23
Figura 2. 13: Una representación típica del filtro de partículas utilizado para localizar al peatón "verdad terrestre" utilizando LIDAR hacia atrás. El escaneo LIDAR verde se representa desde la partícula más probable en el filtro I.	25
Figura 2. 14: Ejemplo de regiones de imagen correspondientes a las palabras \ visuales "utilizadas durante la coincidencia de imágenes.	26
Figura 2. 15: Justificación empírica del modelo gaussiano + uniforme de las mediciones de potencia WiFi.	30
Figura 2. 16: Predicción pre-calculada del vecino más cercano de la intensidad de la señal WiFi de una dirección MAC particular en cualquier punto del entorno. Las paredes del entorno están superpuestas para mayor claridad.	32
Figura 2. 17: Visualización de la visión unificada + sistema de localización WiFi.	33
Figura 2. 18: Modelo de movimiento peatonal, que se muestra después de una integración de un segundo. Sin odometría, el filtro de partículas debe generar suficiente diversidad en sus hipótesis para manejar esquinas.	34

Capítulo 3:

Figura 3. 1: Módulo AKK X2.	37
Figura 3. 2: Conexiones y medidas del módulo de transmisión de video analógico AKK X2.....	37
Figura 3. 3: Frecuencias de operación del transmisor de video AKK X2.	38
Figura 3. 4: Cámara OWL2.....	39
Figura 3. 5: Cámara OWL2.....	39
Figura 3. 6: InnoBasic Workshop2.....	40
Figura 3. 7: Innobasic Workshop2.	41
Figura 3. 8: Robot Super Anthony en la caja.	42
Figura 3. 9: Servomotor IQ4516HV.....	43
Figura 3. 10: Grados de libertad y cuerpo de robot Super Anthony.	43
Figura 3. 11: Diagrama de bloque del sistema.	45
Figura 3. 12: Estructura morfológica del robot.	45
Figura 3. 13: Grados de libertad de las piernas.	46
Figura 3. 14: Matriz de los grados de libertad correspondientes a las piernas.	46
Figura 3. 15: Valores resultantes.	46
Figura 3. 16: Valores resultantes.	47
Figura 3. 17: Diagrama de flujo de programación de robot super anthony. .	47
Figura 3. 18: Segunda parte de diagrama de flujo para funciones específicas.	48
Figura 3. 19: Esquema global del sistema propuesto.	49
Figura 3. 20: Conexiones de PS.	49
Figura 3. 21: Esquemático de conexiones.	50
Figura 3. 22: Diagrama de conexiones de módulo servo commander.	50
Figura 3. 23: Conexiones de cámara OWL2 con radio transmisor de video. 51	
Figura 3. 24: Identificación de servos.	52
Figura 3. 25: Motion Editor.....	52
Figura 3. 26: Configuración de frame.....	53
Figura 3. 27: Rutina creada en Motion Editor.....	53
Figura 3. 28: Rutina creada en Motion Editor.....	54
Figura 3. 29: Rutina creada en Motion Editor.....	54
Figura 3. 30: Rutina creada en Motion Editor.....	55

Figura 3. 31: Rutina creada en Motion Editor.	55
Figura 3. 32: Motion Editor.....	56
Figura 3. 33: Motion Editor.....	56
Figura 3. 34: Motion Editor.....	57
Figura 3. 35: Motion Editor.....	57
Figura 3. 36: Motion Editor.....	58
Figura 3. 37: Motion Editor.....	58
Figura 3. 38: Motion Editor.....	59
Figura 3. 39: Motion Editor.....	59
Figura 3. 40: Motion Editor.....	60
Figura 3. 41: Motion Editor.....	60
Figura 3. 42: Motion Editor.....	61
Figura 3. 43: Encabezado de código.	62
Figura 3. 44: Función Select case.....	62
Figura 3. 45: Función Caminar.....	63
Figura 3. 46: Funciones para caminar y atacar.....	63
Figura 3. 47: Funciones de defensa.....	64
Figura 3. 48: Montaje de cámara en robot super anthony.	65
Figura 3. 49: Prueba de caminado con visión remota.....	66
Figura 3. 50: Prueba real de robot super Anthony con visión remota implementada.	67

Resumen

El presente documento de titulación presenta la implementación del sistema de control de visión remota en robot humanoide para en la ejecución de rutinas para torneos de robótica a nivel local, nacional e internacional. El proyecto tiene como propósito dotar de un robot humanoide para las participaciones en concursos de robótica que sea robusto y eficiente para carrera y pelea de bípedos (también llamados humanoides), en comparación con dos trabajos de titulación desarrollados a priori, que no han logrado eficiencia en caminar y pelar. La primera parte se desarrolla las generalidades del trabajo de grado (introducción, antecedentes, definición del problema, justificación del problema a investigar, objetivo general, objetivos específicos, hipótesis y metodología de la investigación). La segunda parte se describe el estado del arte de la robótica en específico de los robots humanoides. Y finalmente, se muestra la parte de aplicación práctica en el sistema de control de visión remota implementado sobre el robot humanoide.

Palabras claves: ROBÓTICA, ALGORITMOS, RUTINAS, VISIÓN, SISTEMA, HUMANOIDE.

Capítulo 1: Generalidades del proyecto de grado.

1.1. Introducción.

Las comunicaciones y los protocolos de comunicación juegan un papel importante en los sistemas de robots móviles en especial los humanoides o bípedos. Permiten a este último abordar muchas aplicaciones del mundo real. Desde la llegada de la red de área local inalámbrica (*Wireless Local Network, WLAN*) de alto rendimiento y la tecnología de red ad-hoc a un costo relativamente bajo, su uso para las comunicaciones inalámbricas entre robots móviles se ha convertido en una propuesta práctica.

Sin embargo, en un sistema grande con muchos robots móviles, se vuelve difícil para todos los robots intercambiar información a la vez debido a sus capacidades de comunicación limitadas. En este caso, un esquema de red robot ad-hoc es más prometedor. Sirve a los lectores con una revisión exhaustiva de las comunicaciones inalámbricas de robots e indica los problemas de investigación futuros.

La comunicación inalámbrica es una de las principales preocupaciones en la robótica en red, principalmente en los robots de servicio en red. Sin embargo, a diferencia de la comunicación por cable, la conexión inalámbrica suele ser menos confiable y más propensa a las interferencias (Chibani et al., 2013). Por lo tanto, el diseño del enlace inalámbrico y la red inalámbrica suele ser más difícil. El espacio de diseño de un enlace de comunicación inalámbrica incluye varias variables, como la selección de frecuencia y modulación, restricciones de potencia y presupuesto de enlace, características de propagación de señal, un gran conjunto de estándares de comunicación inalámbrica para elegir, etc.

Más allá de los robots teleoperados (TR), los robots autónomos (AR) también requieren algún tipo de capacidad de comunicación inalámbrica, que son una subclase de robots en red (*Networked Robots, NR*). En consecuencia, los robots autónomos en red operan (posiblemente en grupo) con el apoyo de

una red de sensores inalámbricos para cumplir con sus tareas. (Sanfeliu, Hagita, & Saffiotti, 2008)

1.2. Antecedentes.

En la Facultad de Educación Técnica para el Desarrollo (FETD) cuenta con tres Carreras de Ingenierías, como Telecomunicaciones, Electrónica y Automatización, y Electricidad. Se han encontrado varios trabajos de titulación desarrollados en la FETD y publicados en el repositorio relacionado a la robótica y que utilizan el medio de transmisión la parte inalámbrica.

1.3. Definición del problema

Necesidad de implementar un sistema de control de visión remota en un robot humanoide utilizando el medio de transmisión inalámbrico y Bluetooth para la ejecución de rutinas para la participación en torneos de robótica tanto nacional como internacional.

1.4. Justificación del problema a investigar.

Los robots bípedos son considerados humanoides porque tienen la habilidad de moverse como un ser humano, y estos utilizan diferentes medios de comunicación para sus diferentes aplicaciones. Para este trabajo se lo utiliza con visión remota.

1.5. Objetivos

1.5.1. Objetivo General:

Realizar la implementación del sistema de control de visión remota en robot humanoide en la ejecución de rutinas para torneos de robótica

1.5.2. Objetivos específicos:

- ✓ Describir el estado del arte de los robots humanoides y los medios de transmisión más utilizados.
- ✓ Diseñar los modelos matemáticos para los movimientos del robot humanoide
- ✓ Implementar los algoritmos de programación para ejecutar rutinas en la movilidad del robot humanoide.

1.6. Hipótesis

Contribuir con un sistema de control de visión remota aplicado en un robot humanoide y que permita mejorar la participación en torneos de robótica en categorías como Robot Humanoide de Pelea, Carrera de Humanoides y Bailarín.

1.7. Metodología de investigación.

Un método de investigación es un plan sistemático para realizar investigaciones. Los investigadores se basan en una variedad de métodos de investigación cualitativos y cuantitativos, que incluyen experimentos, encuestas, observación participante y datos secundarios. Los métodos cuantitativos tienen como objetivo clasificar las características, contarlas y crear modelos estadísticos para probar hipótesis y explicar observaciones. Los métodos cualitativos apuntan a una descripción completa y detallada de las observaciones, incluida el contexto de eventos y circunstancias.

Capítulo 2: Fundamentación Teórica.

2.1. Descripción general de robots humanoides.

En este capítulo se ofrece una descripción general de la literatura sobre el análisis de modelado, identificación, control y estabilidad de los robots humanoides. Dado que este trabajo de titulación estudia la locomoción bípeda de robots humanoides, el enfoque de esta revisión de la literatura está en las aplicaciones robóticas de caminar o correr con dos piernas. No trata el caminar humano, que se estudia principalmente en el campo de la biomecánica, ni el caminar mono o con múltiples piernas.

Muchos robots humanoides bípedos están contruidos en laboratorios de todo el mundo. Aquí, se presentan algunos, que son, en opinión del autor, los robots humanoides más avanzados hasta la fecha. Sin duda, el robot humanoide más famoso es el Asimo de Honda, tal como se muestra en la figura 2.1. Actualmente es el robot humanoide más versátil construido por una empresa industrial, capaz de realizar caminatas, correr, saltar, bailar y patear pelotas.

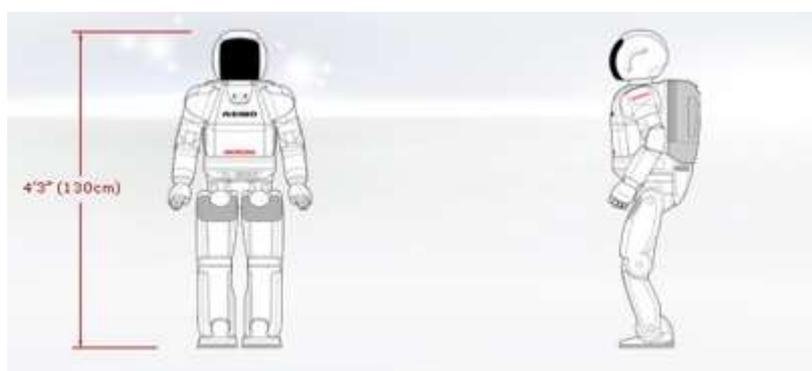


Figura 2. 1: Robot humanoide avanzado "ASIMO".
Fuente: (Honda, 2019)

Otro robot humanoide exitoso es el Nao de Aldebarán, representado en la figura 2.2. Está disponible comercialmente, lo que lo convierte en el robot humanoide más popular, utilizado en muchas instalaciones de investigación. Algunas instituciones de educación superior cuentan con NAO para proyectos de investigación, como por ejemplo Achig Ortiz & Lasluisa Naranjo, (2017) desarrollaron algoritmos para modelar rutinas de ejercicios para rehabilitación

física utilizando el robot humanoide NAO; y también han participado en torneos de robótica. Pero su costo lo hace inaccesible su compra.



Figura 2. 2: Robot humanoide avanzado NAO.
Fuente: (Bouziane, Terrissa, Ayad, Brethe, & Kazar, 2017)

El robot humanoide más robusto y poderoso es el Petman de Boston Dynamic, tal como se muestra en la Figura 2.3. También es el único robot de esta lista que funciona de forma hidráulica y con fines militares.



Figura 2. 3: Robot humanoide avanzado PETMAN.
Fuente: (Nelson et al., 2012)

Otro robot de investigación interesante es Rabbit, del Instituto de Tecnología de Grenoble, que se muestra en la figura 2.4, que es uno de los primeros bípedos que utilizó principios matemáticos probados para caminar con pies puntiagudos.

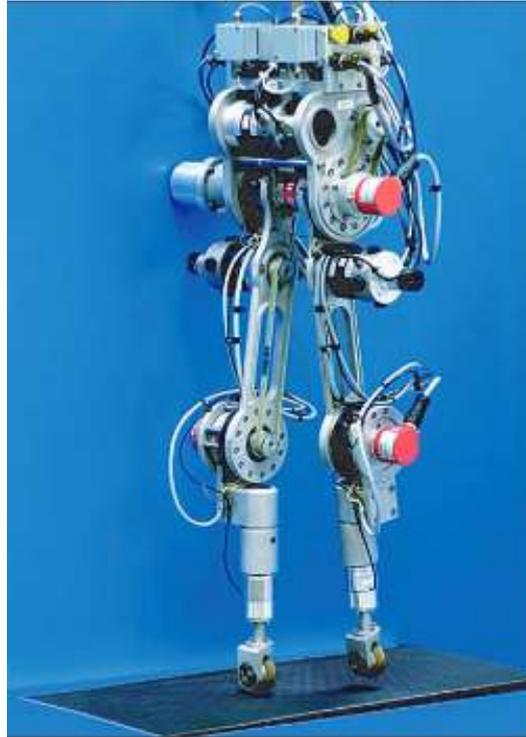


Figura 2. 4: Robot humanoide avanzado RABBIT.
Fuente: (Chevallereau et al., 2003)

También son versátiles los robots de la serie HRP del Instituto Nacional de Ciencia y Tecnología Industrial Avanzada, de los cuales se muestra HRP-4C (véase la figura 2.5). Este robot es la construcción humanoide más versátil de una institución académica. Su versatilidad es comparable a la de Asimo.



Figura 2. 5: Robot humanoide avanzado HRP-4C.
Fuente: (Kajita et al., 2011)

Uno de los primeros robots humanoides del tamaño de un adulto capaz de caminar fue construido en la Universidad de Waseda. Su sucesor es Wabian 2, tal como se muestra en la figura 2.6.

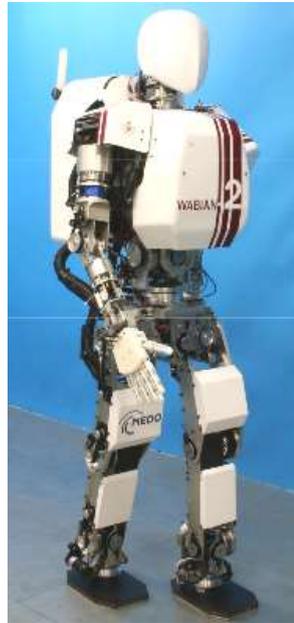


Figura 2. 6: Robot humanoide avanzado “WABIAN”.
Fuente: (Yu et al., 2006)

Finalmente, el robot humanoide con la forma de caminar más humana es el robot para caminar de ciclo límite Flame de la Universidad Tecnológica de Delft, tal como se muestra en la figura 2.7, que también es muy eficiente en energía, pero el robot más eficiente es el Ranger bípedo plano de Universidad de Cornell, representada en la figura 2.8.



Figura 2. 7: Robot humanoide avanzado “FLAME”.
Fuente: (Hobbelen, de Boer, & Wisse, 2008)

Los principios detrás de estos robots y muchos más se revisan en este capítulo. En la sección 2.2 se explica la terminología de uso común en el campo de los robots humanoides. En la sección 2.3, se ofrece una descripción general de los modelos bípedos de uso común. En la sección 2.4, se presenta literatura sobre la estimación e identificación de parámetros robóticos, en general, y se aplica a los robots humanoides. En la sección 2.5, se tratan los enfoques de análisis de control y estabilidad para los robots humanoides y, finalmente, en la sección 2.6 se ofrecen comentarios finales.



Figura 2. 8: Robot humanoide avanzado RANGER.
Fuente: (Hasaneini, Bertram, & Macnab, 2015)

2.2. Terminología de robot humanoide

En esta tesis, un robot humanoide bípedo se define como un sistema mecatrónico con al menos dos estructuras cinemáticas que representan sus patas. Estas cadenas cinemáticas están conectadas en un punto, que se llama cadera. Opcionalmente, se puede conectar otra cadena cinemática en la cadera, que representa el torso del robot humanoide. Las patas del robot pueden contener rodillas y terminar en pies de punta o pies de tamaño finito. El pie que está en contacto con el suelo se llama pie de apoyo; El pie que progresa por el aire se llama pie oscilante. Las patas correspondientes se denominan, respectivamente, la pierna de apoyo y la pierna de swing.

Caminar se define como movimiento al adelantar cada pie por turno, sin tener ambos pies del suelo a la vez. Una determinada forma de caminar se indica mediante una marcha. Normalmente una marcha consta de múltiples fases, que alternan entre soporte único y soporte doble. La fase de soporte

simple y doble indica si el bípedo tiene respectivamente uno o ambos pies en contacto con el suelo.

Hacer contacto con el suelo ocurre a través de una colisión del pie con la superficie para caminar. Si durante esta colisión se aplica una fuerza impulsiva durante un período corto, se llama impacto. El casco convexo de todos los puntos de contacto del robot con el suelo se llama polígono de soporte.

Un robot humanoide de pie puede dividirse en tres planos ortogonales como se muestra en la Figura 2.2. El plano que divide el lado izquierdo y derecho del robot se llama plano sagital, el plano que divide el lado frontal y posterior el plano coronal y el plano que divide el lado superior e inferior el plano transversal. Los bípedos que viven en el mundo bidimensional del plano sagital se llaman bípedos planos, en contraste con los bípedos tridimensionales que viven en tres dimensiones.

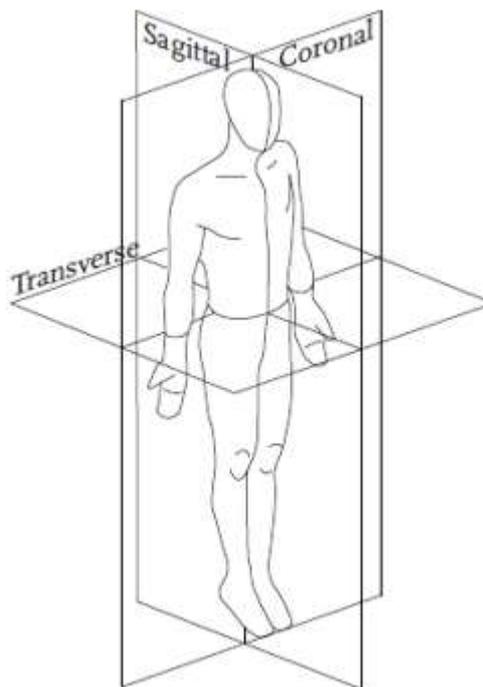


Figura 2. 9: Definición de los planos corporales ortogonales de robots humanoides.
Fuente: (Chevallereau et al., 2003)

Finalmente, cada robot humanoide tiene un cierto número de grados de libertad y un cierto número de actuadores. Si el número de grados de libertad

es igual al número de actuadores, se dice que el bípedo está completamente activado. Si el número de grados de libertad es mayor que el número de actuadores, el bípedo está infratratado. Y si el número de grados de libertad es menor que el número de actuadores, el bípedo está sobreactuado.

2.3. Modelado de robots humanoides

La modelación de sistemas robóticos se ha estudiado intensamente en diferentes artículos científicos. También se han estudiado modelos de robots humanoides, aunque en menor grado. Lo interesante de los modelos de robots humanoides es que exhiben una naturaleza híbrida con contacto con el suelo. Para progresar, un robot humanoide debe realizar pasos, lo que indica que partes de la evolución del sistema se describen mediante dinámicas continuas, interrumpidas por eventos discretos cuando se completa un paso y se establece un nuevo contacto con el suelo.

Estos eventos pueden ser tan simples como transformaciones de coordenadas, pero también pueden incorporar dinámicas de impacto en el suelo que resultan en un cambio discontinuo de las velocidades. Los modelos de robot humanoide se pueden usar en línea en algoritmos de control del robot, por ejemplo, para determinar la colocación del pie para evitar una caída. O bien, los modelos se pueden usar fuera de línea para simular el robot y probar de forma segura las estrategias de control antes de ejecutarlas en el robot real. Varios modelos de robots humanoides con propiedades y supuestos muy variables están disponibles en la literatura.

El modelo más simple posible utilizado para describir la dinámica de un bípedo plano llamado modelo de péndulo invertido lineal (*Lineal Inverted Pendulum Model, LIPM*). Este modelo se usa muy a menudo para controlar robots humanoides, ver Figura 2.10a. El LIPM supone un pie de punto y una masa de punto único que se mantiene a una altura constante mediante la extensión de una pata telescópica. Se han propuesto muchas variaciones a este modelo, por ejemplo, se ha demostrado cómo la pierna de postura del LIPM puede extenderse un pie para permitir el uso de pares de tobillo.

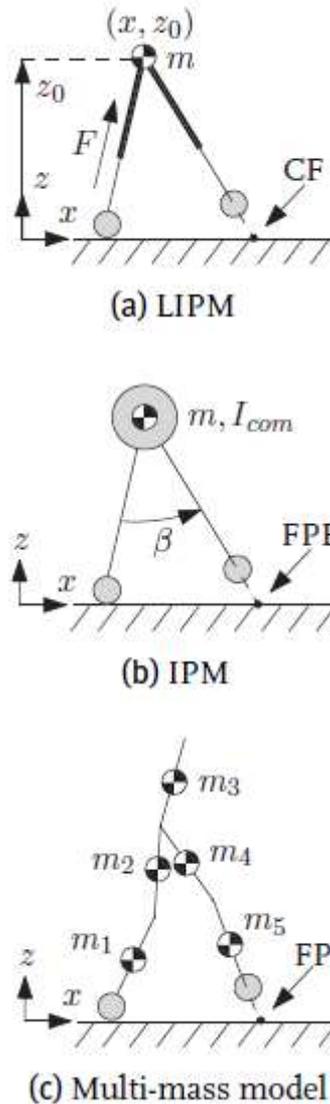


Figura 2. 10: Modelos aproximándose a un robot humanoide.
 Fuente: (Chevallereau et al., 2003)

El modelo se extiende adicionalmente con una masa de reacción del torso para permitir los pares de la cadera. Sin embargo, no se considera la interacción entre el pie oscilante y el suelo en el momento del impacto. Por ejemplo, un humano que está recuperando el equilibrio se aproxima mediante un modelo de péndulo invertido con un resorte giratorio en el tobillo de posición y un resorte lineal en la pierna oscilante.

También se agrega un resorte lineal en el modelo de péndulo invertido cargado por resorte (Spring Loaded Inverter Pendulum, SLIP), que a menudo se usa para estudiar el correr en el campo de la biomecánica. El modelo de

péndulo invertido se mantiene a una altura constante solo después del impacto en el suelo, para aproximar la pérdida de energía correspondiente. Finalmente, los modelos de péndulo invertido (MIP) con longitud de pierna constante se muestran en la Figura 2.10b.

Los modelos anteriores suponen que todas las masas del robot pueden aproximarse por una sola masa en la posición del centro de masa (*Center of Mass, CoM*) del robot. También se utilizan modelos planos más complejos de varios cuerpos en varias publicaciones. Estos modelos consisten en un número arbitrario de masas y momentos de inercia, como se muestra en la Figura 2.10c. Aunque es más difícil de analizar, se puede decir que estos modelos describen la dinámica de los robots humanoides con mayor precisión.

Todos los modelos mencionados anteriormente describen la dinámica solo en 2D. Para describir la dinámica del robot en 3D, a menudo se evalúan dos modelos 2D separados en el plano coronal y sagital, descuidando el acoplamiento entre estos planos. En general, los modelos tridimensionales completos de múltiples cuerpos son más precisos y tienen en cuenta estos acoplamientos, pero podrían proporcionar menos información analítica a un costo computacional más alto.

Además de los modelos para la dinámica de múltiples cuerpos del robot humanoide, también son importantes los modelos de contacto con el suelo. Mucho menos investigación se ha realizado en este campo. La mayoría de los modelos introducidos anteriormente suponen un contacto rígido con el suelo con suficiente fricción para evitar resbalones. El impacto al suelo de los pies con el suelo que resulta en velocidades discontinuas se descuida en su mayoría.

Se pueden encontrar dos tipos de modelos de contacto con el suelo en la literatura, un suelo compatible, modelado con un sistema de amortiguación de resorte (no lineal) y un suelo rígido con impactos que cambian la velocidad de forma discontinua.

La precisión requerida del modelo depende del propósito del modelo (simulación, control o análisis), pero en la literatura, falta la evaluación y la validación experimental de los modelos de robot humanoide. Los tipos de modelos y sus supuestos subyacentes varían significativamente.

En general, a partir de los modelos de robots humanoides discutidos, se pueden distinguir cuatro supuestos principales del modelo que se usan comúnmente: 1) la dinámica de los pies a menudo se descarta y los bípedos se modelan con pies puntuales, 2) la dinámica del contacto con el suelo es simplificado y los impactos que dan como resultado velocidades discontinuas no se modelan, 3) se descuida la naturaleza de cuerpos múltiples de los bípedos y se modelan como una sola masa, 4) los acoplamientos entre los planos coronal y sagital no se tienen en cuenta, el modelo bípedo está compuesto por dos modelos planos perpendiculares.

2.4. Estimación e identificación de parámetros.

Los modelos de robot humanoide presentados en la sección anterior contienen muchos parámetros de modelo. Para una descripción precisa de la dinámica de un robot humanoide físico, para ser utilizada en simulación o control, estos deben identificarse de manera confiable. Los modelos presentados son todos lineales en los parámetros del modelo, lo que los hace adecuados para las técnicas de identificación basadas en regresión.

En esta sección, primero se presenta la literatura sobre estimación de parámetros basada en regresión en manipuladores robóticos tradicionales y, en segundo lugar, en robots humanoides. Los métodos tradicionales de estimación de parámetros se subdividen en aplicaciones para robots rígidos y robots compatibles.

2.4.1. Estimación de parámetros robóticos tradicionales

El campo de investigación de la identificación paramétrica de robots basada en regresión se estableció hace mucho tiempo, pero a medida que se introducen nuevos sistemas robóticos, las técnicas de identificación robótica también evolucionan. La mayoría de estos métodos derivan un modelo de

regresión lineal de las ecuaciones de movimiento del sistema robótico. Para estimar los parámetros utilizando este modelo, se requiere información sobre los pares, las velocidades y las aceleraciones de las articulaciones, pero estas cantidades a menudo no se pueden medir directamente.

Los métodos de estimación basados en modelos de regresión de las ecuaciones de energía y potencia no se basan en datos de aceleración conjunta. Los pares de motor a menudo se estiman a partir de la corriente del motor y se convierten en pares de unión utilizando un modelo de tren de transmisión que incluye fricción. Las velocidades y aceleraciones de las articulaciones se estiman a partir de mediciones de orientación de las articulaciones utilizando métodos de diferencia central en combinación con filtros de reducción de ruido.

A diferencia de la identificación de sistemas robóticos rígidos, la estimación de parámetros del modelo de robots flexibles recibió poca atención en el pasado, pero esto aumentó en los últimos años cuando se descubrieron las ventajas de los robots compatibles. Una forma de agregar conformidad a un sistema robótico es a través de la actuación elástica en serie como está presente en la primera versión de TULIP.

Hoy en día, los sistemas accionados elásticos en serie están aumentando en popularidad, lo que plantea nuevos desafíos en el modelado y la identificación de sistemas. Desafortunadamente, hay literatura limitada disponible sobre modelado e identificación de robots con accionamiento elástico en serie. Existen proyectos donde se investiga la identificación de un sistema robótico con accionamiento elástico, pero la rigidez del tren de transmisión elástico se estima solo con experimentos estáticos.

La diferencia entre los robots involuntariamente flexibles y los que cumplen intencionalmente es que, en los sistemas accionados elásticos en serie, el elemento elástico se puede distinguir claramente, mientras que en los sistemas flexibles la elasticidad es comúnmente omnipresente debido al uso de materiales livianos. Además, la identificación en robots flexibles a menudo

requiere mediciones utilizando sensores de torque caros, lo cual no es necesario en los robots accionados por elástico en serie.

Todos los métodos presentados se basan en la disponibilidad de un modelo de regresión. Este modelo de regresor puede derivarse de cualquier ecuación del sistema que sea lineal en los parámetros del modelo. A menudo, reescribir estas ecuaciones del sistema en forma de regresor no es una tarea trivial, especialmente cuando el robot contiene muchos grados de libertad. Se han desarrollado varios métodos para realizar esta derivación.

Se ha desarrollado un método simbólico para determinar la forma regresora a partir de las ecuaciones de movimiento de los sistemas robóticos con cinemática en serie y en circuito cerrado. Para las mismas ecuaciones de movimientos, se presenta un método numérico, para ellos se tienen propuestas de métodos simbólicos y numéricos para la formulación energética de robots. Finalmente, se presenta un algoritmo que funciona en cualquier ecuación de sistema lineal en los parámetros del modelado, que se basa en derivaciones simbólicas.

El ingrediente final para la identificación confiable del sistema es el diseño de los llamados experimentos persistentemente emocionantes. Estos experimentos garantizan la excitación adecuada de todas las dinámicas, lo que se requiere para una estimación confiable de los parámetros.

Existen diferentes métodos para encontrar trayectorias conjuntas persistentemente emocionantes, la mayoría realiza acondicionamiento de la forma regresora a través de la optimización de las trayectorias articulares. La parametrización de las trayectorias conjuntas como series de Fourier finitas o polinomios da como resultado un problema de optimización eficiente.

2.4.2. Estimación de parámetros para robots humanoides.

La estimación de los parámetros de los modelos de robot humanoide no se ha estudiado tan intensamente como los manipuladores tradicionales, a pesar de las interesantes capacidades de detección adicionales de muchos

robots humanoides, como la detección de torque articular, la detección de fuerza de contacto con el suelo o la visión. En unos pocos documentos, estos sensores se utilizan para la identificación. La identificación dinámica de sistemas de bases flotantes, incluidos humanos y robots humanoides, se ha abordado en diferentes investigaciones.

Se muestra que la dinámica completa de un robot humanoide se puede identificar sin datos de torque de la articulación, pero con información de fuerza de contacto. Sin embargo, se requiere información de velocidad y aceleración sobre las articulaciones y la base flotante y parece difícil encontrar movimientos óptimos persistentes y emocionantes para los cuales el robot no cae. Se usa el mismo enfoque para mostrar que si la información de par de unión está disponible, solo se requiere información de fuerza de contacto parcial.

Se realiza una identificación completamente diferente donde la modularidad de su bípedo se usa para estimar por separado los parámetros del modelo de diferentes componentes, como actuadores, trenes de transmisión y partes de patas compatibles.

Además de la identificación del modelo de robot completo, también es interesante que los robots humanoides estimen el modelo de CoM, porque muchas estrategias de control se centran en el control de la CoM. Además, las ecuaciones que describen la posición de CoM son significativamente más simples que las ecuaciones de movimiento del modelo de robot completo. Por definición, la posición de CoM no depende de velocidades o aceleraciones, que a menudo son imposibles de medir y las estimaciones pueden ser ruidosas o demoradas.

Por la misma razón, no se requiere información sobre pares de unión, dinámica del actuador ni características de fricción para identificar la posición de CoM. Es por eso que el trabajo inicial estimó la posición de CoM de los humanos al tomar la doble integral de las fuerzas de reacción del suelo. El

problema con este método es que las integrales requieren condiciones iniciales desconocidas.

Otro enfoque identifica una relación entre la respuesta de frecuencia de la CoM y el centro de presión (*Center of Precision, CoP*), pero esto solo funciona para movimientos periódicos. Finalmente, las fuerzas de reacción en tierra se utilizan en experimentos estáticos para estimar la posición de CoM de humanos y robots humanoides. Sin embargo, solo se usa un modelo plano simple de baja dimensión en múltiples direcciones para estimar los parámetros en 3D, sin tener en cuenta el acoplamiento entre estas direcciones.

En humanos, se utiliza un enfoque similar para determinar su CoM. En la mayoría de estos estudios, los investigadores están interesados únicamente en la posición del CoM del robot total, mientras que también se puede obtener información sobre las masas y las posiciones de masa de los enlaces individuales de estos experimentos. El diseño de experimentos persistentemente emocionantes no se encuentra en toda esta literatura.

2.5. Estabilidad y equilibrio de robots humanoides.

Muchas estrategias para el equilibrio de los robots humanoides se han propuesto en los últimos años. Aunque estas estrategias muestran resultados experimentales prometedores en los laboratorios, un avance general para los robots humanoides en la sociedad aún está muy lejos. El principal problema que enfrentan los robots humanoides actuales antes de que puedan desplegarse en la sociedad es la falta de robustez en la locomoción. La robustez es una medida de qué tan bien se desempeña el bípedo frente a perturbaciones imprevistas, como empujones o terreno irregular.

A menudo, estas perturbaciones deben ser suprimidas por un controlador activo. El control de los robots humanoides se puede dividir rigurosamente en dos grupos. Primero, se considera el control de los robots humanoides que permanecen completamente activados durante toda su

marcha, luego se discute el control de los robots humanoides que pueden tener fases sin actividad durante la marcha.

2.5.1. Robots humanoides completamente accionados

Para que un robot humanoide permanezca completamente activado, es necesario que su pie de apoyo permanezca completamente en contacto con el suelo. Para lo cual, se razona que existe un punto dentro del polígono de soporte donde el momento neto generado por las fuerzas de reacción del suelo es estrictamente perpendicular al suelo. Este punto representa la equivalencia dinámica del CoM y se denomina punto de momento cero (*Zero Momentum Point, ZMP*). Mientras se encuentre dentro del polígono de soporte, los pies del robot permanecerán completamente en contacto con el suelo.

Si se encuentra en un borde del polígono de soporte, los pies pueden comenzar a inclinarse. Desde su derivación, se ha utilizado en una tremenda cantidad de enfoques de control, porque el diseño de trayectorias de caminata para las cuales el ZMP permanece dentro del polígono de soporte garantiza que el humanoide permanezca completamente activado. Esto es conveniente, porque simplifica el control de los robots humanoides para controlar los manipuladores robóticos tradicionales para los cuales hay muchas leyes de control disponibles.

La cantidad de literatura sobre controladores y robots basados en ZMP es inmensa. Muchos enfoques utilizan la evolución natural del péndulo invertido (lineal), ya que para este movimiento el ZMP permanece en la base del péndulo. Además de los movimientos del péndulo invertido, también se ha diseñado caminar como seres humanos teniendo en cuenta las trayectorias de todo el cuerpo utilizando el ZMP.

Los resultados de la generación de la marcha basada en ZMP incluso se extienden a empujar objetos y subir escaleras. Aunque esto indica que los enfoques basados en ZMP dan como resultado movimientos versátiles, las trayectorias se calculan previamente y, por lo tanto, carecen de robustez.

Además del ZMP, se introducen otros puntos de referencia en el suelo o indicadores de estabilidad que determinan si el robot humanoide permanece completamente activado. Las extensiones a la ZMP son el indicador de rotación del pie y el pivote del momento centroidal. Estos puntos también son válidos fuera del polígono de soporte y, en ese sentido, brindan información sobre la "cantidad de inestabilidad" del robot humanoide.

Además, el equilibrio de los robots humanoides completamente accionados puede explicarse utilizando el control de momento angular, el par calculado y el control de la fuerza de contacto con el suelo. Finalmente, el control de los bípedos completamente accionados se ha realizado mediante la introducción de restricciones artificiales, donde la ley de control se denomina control de modelo virtual.

2.5.2. Robots humanoides sin actividad

A pesar de la abundante cantidad de literatura sobre robots humanoides completamente accionados, y en particular controladores basados en ZMP, la pregunta sigue siendo qué hacer con las grandes perturbaciones que inevitablemente dejan caer al robot humanoide, agregando grados adicionales de libertad y haciendo que el robot no se detraiga.

La literatura presentada en la sección anterior no responde a esta pregunta, por lo que la robustez solo está garantizada para pequeñas perturbaciones para las cuales se puede retener la actuación completa. Además de este argumento de robustez, se ha argumentado a través de estudios de caminatas humanas que los modos de caminar con fases sin actividad son más eficientes energéticamente.

Un estudio muy elegante de robots humanoides poco activos es la investigación sobre la marcha dinámica pasiva. Un bípedo pasivo no tiene actuación en absoluto, y, por lo tanto, es inherentemente poco activo. Se ha demostrado que la brújula pasiva bípeda exhibe ciclos de límite estables al caminar por una pendiente suave. Esto motivó a los investigadores a construir

caminantes pasivos planos con rodillas y torso y bípedos pasivos tridimensionales que pueden caminar de manera estable o incluso correr.

Además de caminar completamente pasivamente por una pendiente suave, se ha estudiado cómo agregar una actuación mínima para poder caminar en un terreno plano. La mayoría de estos robots usan controladores ad-hoc y requieren ajuste manual. Una ley de control matemáticamente sólida que se basa en el caminar dinámico pasivo se llama simetrías controladas, pero este método solo se puede aplicar a robots humanoides totalmente accionados.

Otro enfoque para aumentar la robustez de los robots humanoides es el estudio de la colocación del pie. La importancia de la colocación del pie ya se había establecido hace décadas, pero solo recientemente estos estudios se han utilizado para obtener controladores analíticos basados en modelos de colocación del pie.

Las principales estrategias de colocación del pie son el método del punto de captura (CP) y el estimador de colocación del pie (FPE). Estos métodos se basan en modelos de péndulo invertido (lineal), pero se extienden a modelos de robot humanoide de varios cuerpos. Finalmente, se ha observado que estas estrategias de pasos predicen con precisión la colocación del pie de los humanos.

El último grupo de investigación sobre robots bípedos sin actividad trata estos sistemas en un marco híbrido. Donde se desarrollan herramientas para el control y análisis de estabilidad de robots bípedos planos. Se emplea un método eficiente que utiliza restricciones holonómicas virtuales para encontrar ciclos límite en la dinámica del bípedo. La estabilidad de estos ciclos límite se analiza a través de mapas de retorno de Poincaré extendidos para incorporar efectos impulsivos inducidos por la dinámica del impacto en el suelo.

Los ciclos límite se controlan en el robot humanoide utilizando controladores de linealización de entrada y salida, extendidos para incorporar

efectos impulsivos para generar la llamada dinámica cero híbridas. Inicialmente, este trabajo se centró únicamente en la marcha bípeda plana, pero con el mismo enfoque se ha extendido a los robots humanoides tridimensionales y a las carreras sin actividad.

En lugar de un control de retroalimentación regulado por salida, las trayectorias de tales sistemas también se generan utilizando técnicas de optimización y se controlan utilizando feedforward.

2.6. Enfoque de la robótica.

El sistema se basa en tres niveles de detección e inferencia. Los dos primeros se utilizan para la construcción de mapas fuera de línea, y el tercero se utiliza para la localización en línea. Estas etapas se describen en detalle en las siguientes secciones. La figura 2.11 muestra el robot ESCALERA, utilizado para adquirir mapas y una mochila láser, utilizada para proporcionar la localización de la verdad sobre el terreno de un peatón que lleva el paquete de sensores de bajo costo

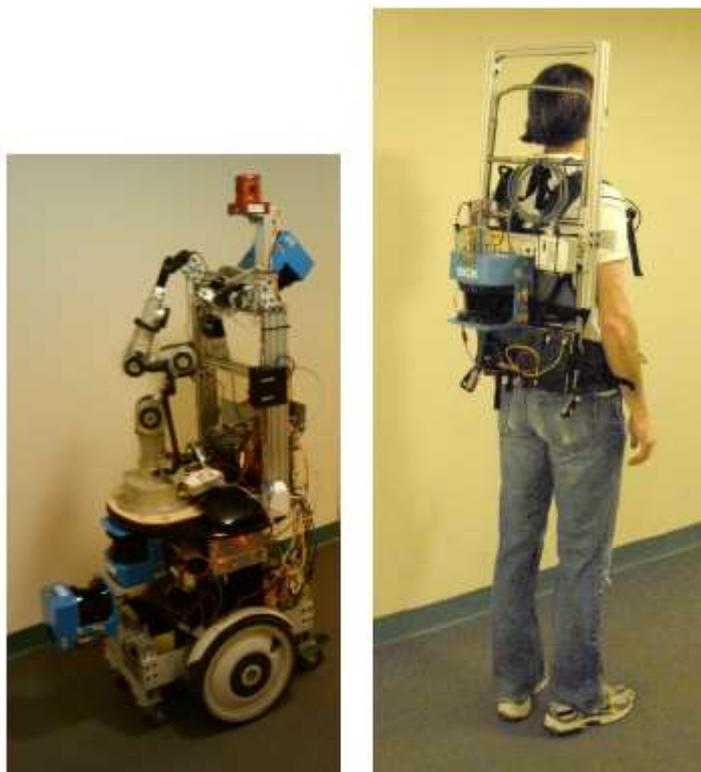


Figura 2. 11: Izquierda: el robot ESCALERA, derecha: una mochila láser.
3. Fuente: (Hobbelen, de Boer, & Wisse, 2008)

3.1.1. SLAM robótico

El primer nivel del sistema captura la estructura 3D del entorno. Esto se realiza mediante una plataforma robótica equipada con tres escáneres LIDAR y una cámara panorámica, como se muestra en la Figura 2.12. Para construir un mapa 2D del entorno y corregir la odometría del robot, se utiliza un LIDAR horizontal con el sistema GMapping SLAM, una implementación eficiente de código abierto de FastSLAM basado en la red.

El sistema GMapping se usó fuera de la caja para producir el mapa 2D que se muestra en la Figura 2.12. La ruta del robot correspondiente a este mapa se usó para proyectar las nubes LIDAR verticales y diagonales en 3D mediante retroproyección de rayos a través de las imágenes rectificadas en la nube LIDAR. La fase de mapeo robótico del sistema es capaz de mapear la estructura 3D y la textura visual del entorno.

Sin embargo, esto por sí solo no es suficiente para permitir la localización a través de un conjunto de sensores de bajo costo; lo que se necesita a continuación es un modelo de sensor preciso de cómo se comportan los sensores de bajo costo en el

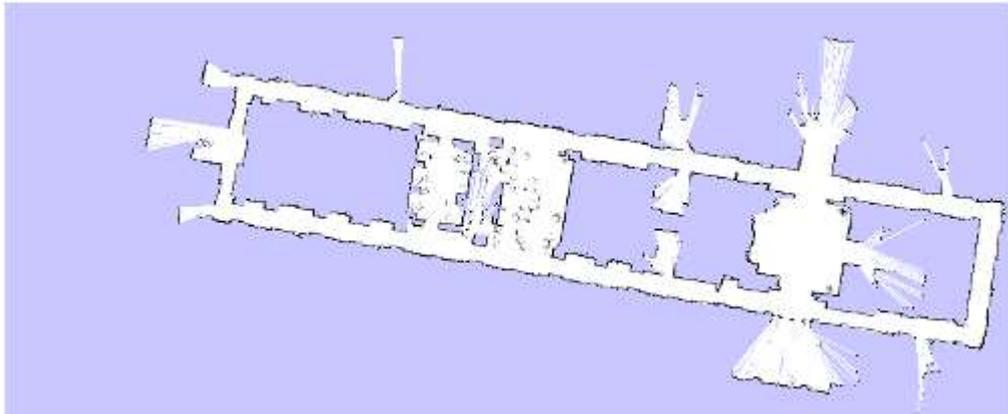


Figura 2. 12: Mapa 2D del entorno utilizado en estos experimentos, producido por GMapping.

Fuente: (Hobbelen, de Boer, & Wisse, 2008)

3.1.2. Obteniendo datos de entrenamiento

Los métodos no paramétricos son una forma simple de capturar los fenómenos complejos observados por los sensores de bajo costo. Por ejemplo, sería difícil modelar paramétricamente los diversos efectos de

propagación de radiofrecuencia (RF) que pueden ocurrir con la potencia de la señal WiFi en entornos interiores típicos. Cuestiones como la oclusión/sombreado de elementos estructurales del edificio, interferencia entre múltiples puntos de acceso, direccionalidad de las antenas de transmisión y recepción, etc., dan como resultado un patrón complejo de distribución de energía.

Del mismo modo, la cámara de un teléfono inteligente captura un flujo de datos enormemente complejo. Una manera simple (de hecho, quizás la más simple) de predecir estas observaciones complejas es simplemente adquirir muchas observaciones de una gran cantidad de posiciones conocidas en el entorno.

Obtener datos de entrenamiento para estas técnicas no paramétricas no es trivial: la ubicación de la observación (potencia de la señal WiFi o imagen de la cámara) debe ser conocida para que sea útil para los algoritmos de localización posteriores. Los sistemas de localización de bajo costo se pueden utilizar para localizar cualquier cantidad de artículos, desde robots de bajo costo hasta equipos con ruedas y peatones. En este experimento, la localización de los peatones se examinó en detalle, aunque el sistema resultante podría usarse igualmente bien (de hecho, tal vez con resultados aún mejores) en vehículos con ruedas.

Debido a que el cuerpo del peatón puede afectar la intensidad de la señal recibida (por ejemplo, el cuerpo de la persona está directamente entre las antenas receptoras y transmisoras). Se creó un sistema para localizar con precisión a los peatones y se utilizó para obtener datos de entrenamiento para el modelado no paramétrico de la potencia de la señal de RF espacial.

Para localizar al peatón, se colocó un láser de alcance hacia atrás en una mochila, como se muestra en la Figura 2.13. Luego se empleó un filtro de partículas para fusionar las observaciones del láser con un modelo de movimiento crudo de un peatón caminando. Esto es más desafiante que la tarea de localización canónica del robot, ya que los robots móviles

generalmente tienen una odometría que es localmente estable. En contraste, el sistema de localización de peatones utilizado en este experimento solo sabe si una persona está caminando o no; Al momento de escribir, los acelerómetros MEMS de bajo costo son demasiado ruidosos como para simplemente integrarse doblemente para producir estimaciones de posición.

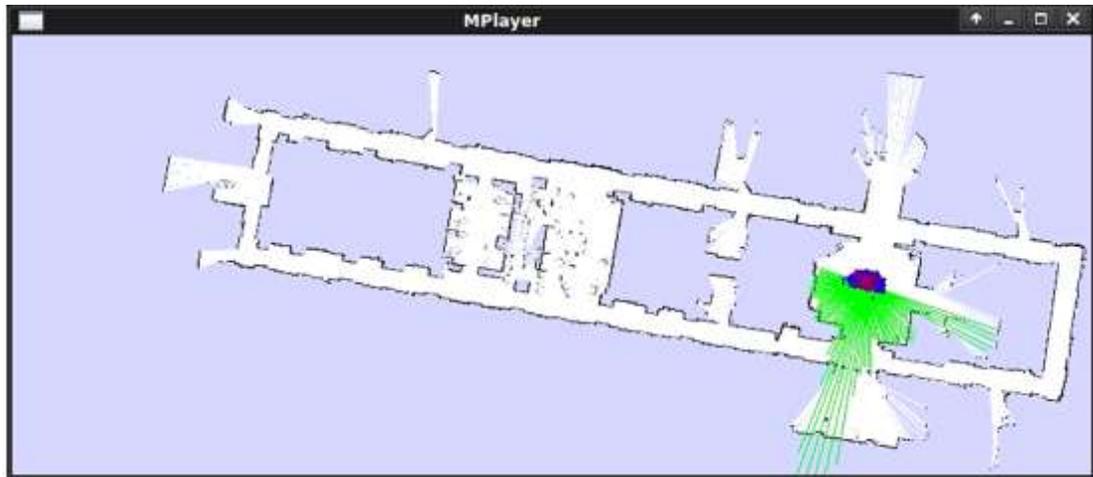


Figura 2. 13: Una representación típica del filtro de partículas utilizado para localizar al peatón "verdad terrestre" utilizando LIDAR hacia atrás. El escaneo LIDAR verde se representa desde la partícula más probable en el filtro l.

Fuente: (Hobbelen, de Boer, & Wisse, 2008)

En cambio, se usó un clasificador simple de ventana deslizante en los espectros de los vectores de aceleración para detectar cuándo aplicar un modelo de movimiento "caminando". Se descubrió que los magnetómetros de bajo costo eran desafiantes en el entorno de prueba de un edificio con muchas computadoras y poder cables y otros equipos electrónicos capaces de inducir perturbaciones magnéticas locales. Si bien este entorno de prueba puede haber sido particularmente hostil, perturbaciones magnéticas locales similares probablemente también plantearían desafíos para los esfuerzos que dependen en gran medida de los datos del magnetómetro en ambientes interiores similares.

Como el acelerómetro y el magnetómetro solo pueden proporcionar una medición aproximada de la trayectoria de un peatón, el filtro de partículas para peatones basado en LIDAR depende en gran medida



Figura 2. 14: Ejemplo de regiones de imagen correspondientes a las palabras "visuales" utilizadas durante la coincidencia de imágenes.

Fuente: (Hobbelen, de Boer, & Wisse, 2008)

En muestreos frecuentes "suaves" de la nube de partículas. Más específicamente, el modelo de medición tiene un componente uniforme mucho más alto que el típico para los filtros de robots móviles, e incorpora mediciones de cada escaneo láser, para rastrear correctamente al peatón a través de las curvas. Una representación típica de las partículas se muestra en la Figura 2.14.

3.1.3. Modelo de sensor de cámara

La literatura sobre reconocimiento de lugares usando imágenes visuales contiene muchos métodos propuestos. Para estos experimentos, se seleccionaron tres enfoques diferentes de la literatura reciente sobre visión por computadora: un método de "bolsa de palabras" que usa descriptores SURF de puntos de interés, un método de "bolsa de palabras" que usa descriptores HoG de una cuadrícula densa uniforme, y un método de histograma de color. Los primeros dos métodos se aumentaron aún más mediante la adición de una pirámide espacial. Estos métodos se describirán brevemente en los siguientes párrafos.

En el modelo de bolsa de palabras, primero se construye un diccionario de "palabras visuales". Esto se hace extrayendo descriptores SURF de un

gran conjunto de imágenes capturadas del entorno objetivo y cuantificando los descriptores usando la agrupación de medios K. Los 128 centroides de conglomerados dimensionales resultantes se almacenan con los índices 1 a K. La Figura 2.11 muestra parches de imagen cuyos descriptores están en el centro de los conglomerados calculados por Kmeans. Luego, dada una imagen, la representación de "bolsa de palabras" se puede calcular de la siguiente manera:

- Extraer descriptores SURF de la imagen
- Asigna cada descriptor al índice del centroide más cercano en el diccionario
- Construya un histograma con los conteos de frecuencia para cada índice, es decir, el número de descriptores que se asignaron a cada índice

Aunque el histograma descarta toda la información geométrica sobre las ubicaciones de los descriptores en la imagen, se ha demostrado que los histogramas funcionan efectivamente como descripciones compactas del contenido de la imagen.

El método basado en HoG utilizó un enfoque similar. Sin embargo, en lugar de usar descriptores de puntos de interés, la imagen se muestreó en una grilla densa. Como resultado, el número de descriptores HoG extraídos de cada imagen siempre fue el mismo. Para producir una compresión de datos similar al método basado en SURF, se elige extraer descriptores HoG de bloques de 32x32 dispuestos en una cuadrícula de 15x20 a través de la imagen.

Esto dio como resultado 300 descriptores HoG por imagen, que fue similar al número promedio de puntos clave SURF encontrados en las mismas imágenes usando la implementación de OpenCV SURF. Como antes, se utilizó k-means para cuantificar los descriptores HoG, y luego se construyeron histogramas de los descriptores cuantificados para cada imagen.

Como se mencionó anteriormente, el algoritmo "bolsa de palabras" descarta la configuración espacial de los descriptores en el plano de la imagen. El enfoque de "pirámide espacial" es un método propuesto para incorporar información espacial gruesa. Este método subdivide repetidamente la imagen en cuadrantes y construye histogramas para cada cuadrante en cada nivel.

Por ejemplo, una pirámide espacial de dos niveles tendría un histograma global para toda la imagen y un histograma para cada cuadrante, para un total de cinco histogramas. Del mismo modo, la pirámide de tres niveles tiene $1 + 4 + 16 = 21$ histogramas. Se ha demostrado que este enfoque ofrece un rendimiento mejorado con respecto a la técnica de histograma único, a costa del aumento correspondiente de los requisitos de memoria y cálculo.

Para un enfoque radicalmente diferente, y para servir como línea de base, también se implementó una técnica de histograma de color. Esta técnica es conceptualmente mucho más simple: la imagen se convierte primero en espacio de valor de saturación de tono (HSV), después de lo cual se construye un histograma de los valores de tono de todos los píxeles de la imagen. El espacio HSV se utiliza para proporcionar cierta invariancia a los cambios de iluminación. La representación resultante es esencialmente un histograma polar de la rueda de colores, con la intención de capturar los colores de las paredes, el techo y los revestimientos del piso, que a menudo cambian según la región del entorno interior que ve la cámara.

Para usar estas representaciones de imágenes en un filtro de localización, es necesario producir una estimación de la probabilidad de que se produzca una representación de imagen z a partir de la pose x . Para calcular esta probabilidad utilizando un enfoque análogo al de los detectores de alcance láser, se necesitaría proyectar un modelo 3D texturizado del mundo en el marco de la cámara de cada partícula en el filtro de partículas, seguido del cálculo de algún tipo de función de distancia. Esto sería computacionalmente difícil, incluso en hardware de GPU de alta potencia.

En cambio, se utilizó una aproximación aproximada, aunque experimentalmente justificada: $p(zx)$ se estimó mediante una búsqueda del vecino más cercano en las imágenes del conjunto de entrenamiento $y_{i_{img}}$ y plantea $y_{i_{pose}}$ en el espacio del histograma. Se aumentó una métrica de distancia del histograma con una penalización por usar imágenes que estaban lejos de la pose x del candidato.

Intuitivamente, si la pose x estaba en la posición exacta como una pose en el conjunto de entrenamiento, y los histogramas de imagen correspondientes son idénticos, $p(zjx)$ debería ser muy alto. Además, $p(zjx)$ debería caerse suavemente ya que la imagen y la postura comienzan a diferir del histograma de la imagen de entrenamiento $y_{i_{hist}}$ y la imagen de entrenamiento presentan $y_{i_{pose}}$, de modo que las imágenes de consulta tomadas cerca (pero no exactamente) de las poses de las imágenes de entrenamiento seguirán siendo recibir una probabilidad significativa. Por el contrario, si la imagen de consulta z es significativamente diferente de la imagen de entrenamiento $y_{i_{hist}}$, o la postura del candidato x es significativamente diferente de la imagen del mapa pose $y_{i_{pose}}$, la probabilidad debería ser muy pequeña.

Se probaron varias distribuciones de probabilidad, y se descubrió experimentalmente que las colas pesadas de una distribución laplaciana eran más adecuadas para este sensor que una distribución gaussiana. Dos parámetros, λ_1 y λ_2 permiten una escala independiente

Entre la distancia del histograma y la distancia de pose. Se agregó penalización por la desviación de guiñada, ya que la imagen de consulta y la imagen de entrenamiento deben apuntar en casi la misma dirección para que la comparación sea significativa. El modelo combinado primero encuentra el vecino más cercano, utilizando la métrica de distancia ponderada mencionada anteriormente, y luego modela esa distancia como una distribución laplaciana de media cero:

$$p(z|x) \propto \exp \frac{-\min_i \lambda_1 \|z - y_{i_{img}}\|_1 + \lambda_2 \|x - y_{i_{pose}}\|_2}{\sigma}$$

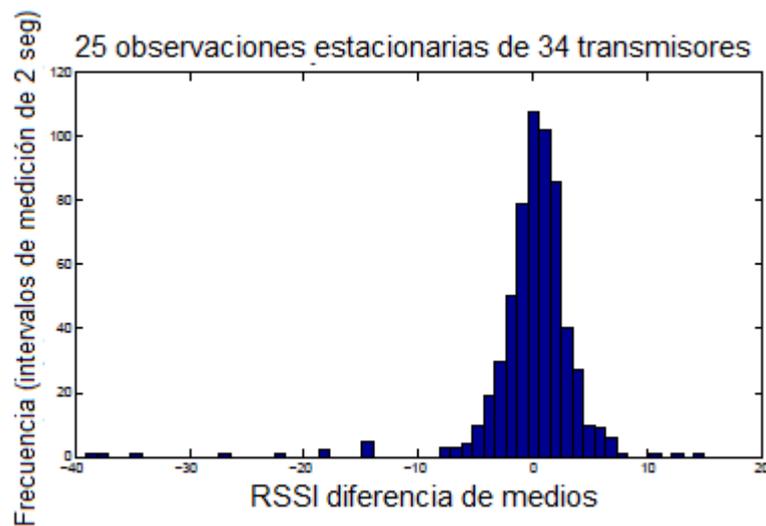


Figura 2. 15: Justificación empírica del modelo gaussiano + uniforme de las mediciones de potencia WiFi.

Fuente: (Hobbelen, de Boer, & Wisse, 2008)

El gráfico de la figura 2.15 muestra la frecuencia de las desviaciones de medición de potencia de sus respectivos medios. Este conjunto de datos se recopiló mientras estaba sentado durante 60 segundos e incluye 34 transmisores, la mayoría de los cuales se observaron 25 veces.

Grandes cambios en la iluminación ambiental harán que las cámaras de bajo costo tengan numerosos artefactos, como un mayor ruido cuando la ganancia de la cámara debe elevarse con poca luz para mantener un tiempo de exposición corto. Esto, a su vez, hará que se encuentre un número diferente de puntos de interés en la imagen, lo que dará como resultado un desplazamiento vertical del histograma. Para proporcionar alguna medida de invariancia a la iluminación global para el método basado en SURF, los histogramas de imagen se normalizaron antes de calcular su distancia.

3.1.4. Modelo de sensor WiFi.

Las mediciones de potencia de la señal WiFi no sufren el problema de correspondencia a menudo asociado con los sensores robóticos. Las mediciones de potencia de la señal del escaneo de las radios

WiFi se devuelven con la dirección MAC del transmisor, un número de 48 bits único para el dispositivo de hardware (salvo casos de cola patológica). Por lo tanto, aunque la medición de potencia es ruidosa, las observaciones de WiFi pueden proporcionar un contexto excelente para la localización global.

Para simplificar el tratamiento probabilístico, se supuso la independencia condicional de las señales WiFi. Esta suposición es imposible de justificar sin acceso a la configuración y el firmware de la radio WiFi, y se sospecha que la suposición no se sostiene. Por ejemplo, si dos radios WiFi están transmitiendo en el mismo canal, una radio cercana puede enmascarar la presencia de una radio más distante, o en algunas implementaciones de infraestructura, la misma radio puede transmitir más de una dirección MAC. Sin embargo, asumir que la independencia condicional se encontró experimentalmente para proporcionar una función de probabilidad útil, y tiene el beneficio adicional significativo de la simplicidad computacional.

Para modelar el ruido WiFi, se utilizó una distribución gaussiana que se sumó a una distribución uniforme. Esto fue justificado empíricamente por las observaciones estacionarias que se muestran en la Figura 2.8, que se obtuvieron de 34 transmisores durante 60 segundos. Hay una protuberancia gaussiana alrededor de la media esperada, y una pequeña cantidad de grandes desviaciones en ambos lados. Más formalmente, para un conjunto de mediciones de potencia de señal z_i y una pose de robot x

$$p(\mathbf{z}|\mathbf{x}) \propto \prod_i \exp\left(\frac{-\|z_i - h_i(\mathbf{x})\|_2^2}{\sigma^2}\right)$$

Donde $h_i(x)$ es la medida de potencia predicha para el transmisor i en la postura x . Para hacer esta predicción, simplemente se utiliza al vecino más cercano sobre el conjunto de entrenamiento: dado que cada observación en el conjunto de entrenamiento se realizó en una ubicación conocida (gracias al escáner láser empleado en el momento del entrenamiento), se construyó un mapa pre calculado de la predicción del vecino más cercano de los niveles de potencia de la señal WiFi. En la figura 2.8 se muestra un mapa de muestra del

vecino más cercano. Se calculó un mapa del vecino más cercano para cada dirección MAC

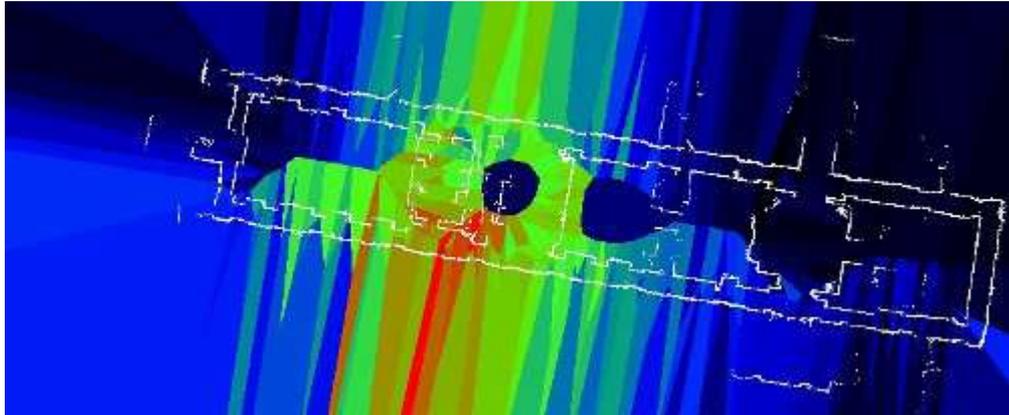


Figura 2. 16: Predicción pre-calculada del vecino más cercano de la intensidad de la señal WiFi de una dirección MAC particular en cualquier punto del entorno. Las paredes del entorno están superpuestas para mayor claridad.

Fuente: (Hobbelen, de Boer, & Wisse, 2008)

Visto en el conjunto de entrenamiento. Con estos mapas, el cálculo de $p(zjx)$ es lineal en el número de direcciones MAC en z .

3.1.5. Localización

Una vez que se adquieren los modelos de sensores, se pueden incorporar a un filtro de partículas, para introducir restricciones temporales en el estado de creencia y fusionar los modelos de manera sistemática. El filtro de partículas más utilizado es la localización Monte Carlo (MCL). El paso de actualización del filtro de partículas requiere un modelo de movimiento.

Como se describió anteriormente, se descubrió que los magnetómetros no eran confiables en el edificio de autoestima utilizado en estos experimentos, lo que impide la observación directa confiable de los cambios de rumbo del paquete de sensores de bajo costo. En cambio, se usó un modelo de movimiento para hipotetizar continuamente los movimientos del peatón.

El modelo de movimiento fue desarrollado empíricamente para coincidir con las trayectorias observadas por el peatón de verdad terrestre equipado con láser. El modelo de movimiento supone que los peatones generalmente

viajan en la dirección que están mirando, y esta dirección generalmente no cambia. Este comportamiento fue modelado tomando muestras del rumbo futuro de una distribución gaussiana \mathcal{N}_1 centrada en el rumbo anterior. La velocidad del peatón se tomó de una distribución gaussiana \mathcal{N}_2 con una media de 1,2 metros / segundo, que se encontró empíricamente utilizando el localizador de peatones basado en LIDAR. Estas distribuciones se suman con un gaussiano \mathcal{N}_3 medio cero de 2 días para fomentar la diversidad en El filtro de partículas. Más formalmente, para tomar una muestra del modelo de movimiento,

$$\mathbf{v}' = R_\theta \begin{bmatrix} \mathcal{N}_2(\mu_{vel}, \sigma_1) \\ 0 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} x' \\ y' \\ \theta' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x \\ y \\ \theta \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \mathcal{N}_3(0, \sigma_2) + \mathbf{v}' \\ \mathcal{N}_1(0, \sigma_3) \end{bmatrix}$$

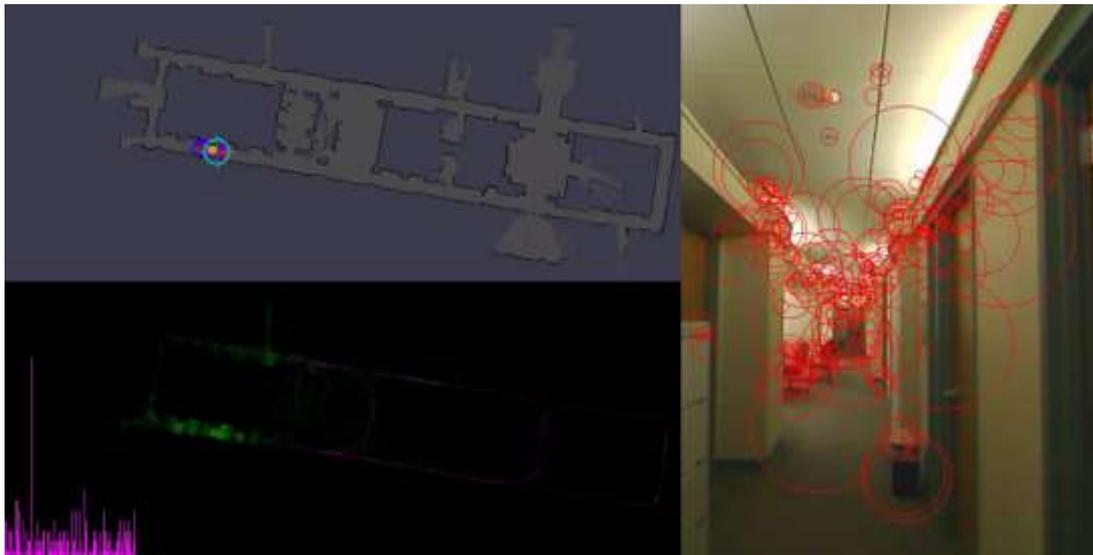


Figura 2. 17: Visualización de la visión unificada + sistema de localización WiFi.
Fuente: (Hobbelen, de Boer, & Wisse, 2008)

De la figura 2.17, la parte superior izquierda muestra la nube de partículas, que está eclipsada por el centroide de la distribución de partículas (amarillo) y la posición de verdad del suelo (puntos de mira cyan). La derecha muestra la imagen actual de la cámara, con los puntos clave SURF marcados con un círculo. La esquina inferior izquierda muestra la probabilidad conjunta

de las observaciones de WiFi. Extremo inferior izquierdo visualiza el histograma de la imagen de representación de la bolsa de palabras

Los parámetros de este modelo se ajustaron en el escenario de localización basado en LIDAR, donde el tiempo entre cada escaneo láser fue de 27 milisegundos. Para escalar a los intervalos más grandes vistos en los filtros basados en WiFi- y cámara, las partículas simplemente se propagaron a través de las ecuaciones anteriores el número apropiado de veces. Ejecutar el modelo durante un segundo produce la distribución de partículas que se muestra en la Figura 2.18

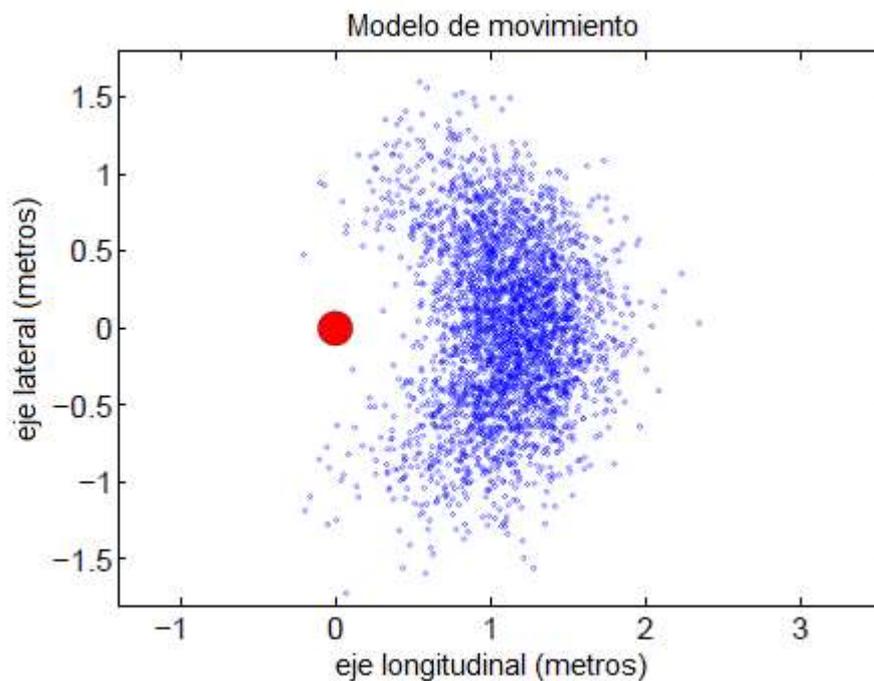


Figura 2. 18: Modelo de movimiento peatonal, que se muestra después de una integración de un segundo. Sin odometría, el filtro de partículas debe generar suficiente diversidad en sus hipótesis para manejar esquinas.

Fuente: (Hobbelen, de Boer, & Wisse, 2008)

El modelo de movimiento también codifica el hecho de que el objetivo no puede atravesar paredes. Como resultado, cuando la plataforma objetivo pasa una intersección de corredores, las partículas se generan rápidamente para cubrir implícitamente la posibilidad de que el peatón haya girado.

Como es una práctica común en los filtros de partículas, para evitar la convergencia prematura de las partículas durante la localización global y para

manejar los efectos no modelados al rastrear (p. Ej., La lente se enfrenta a un rayo de sol desde una ventana, los transeúntes ocluyen la cámara, las anomalías de RF, etc.), se agregó una distribución uniforme a los modelos de medición descritos en la sección anterior.

Capítulo 3: Implementación del sistema de control de visión remota del robot humanoide.

3.1. Reseña del capítulo

A lo largo de los años, la robótica se ha desarrollado aceleradamente implementando proyectos comerciales a las industrias permitiendo realizar las tareas más riesgosas para los seres humanos, así como también en la investigación en la medicina, entretenimiento, entre otros.

En este capítulo se muestra al lector el proceso que se realizó para implementar un sistema de visión remota para el robot humanoide Super Anthony, con el fin de llevar a cabo una inmersión por parte del usuario a las batallas realizadas en los concursos de robótica que se llevan a cabo a nivel nacional.

La visión remota ya se implementa en otro tipo de robots como drones, y robots exploradores, pero para esta finalidad no se ha realizado nunca, es por esto que este tema de desarrollo se espera pueda ser las bases para futuras investigaciones.

3.2. Elementos utilizados para la implementación de un sistema de control de visión remota para el robot humanoide super anthony.

En esta sección del capítulo se detalla los elementos a utilizar y una breve explicación de estos para la implementación de la visión remota para el robot humanoide de pelea.

3.2.1. Transmisor de video análogo AKK x2

El transmisor AKK x2, figura 3.1, es un módulo de transmisión de video análogo inalámbrico que trabaja en el espectro de la banda de 5GHz. Además, permite la transmisión de audio mediante un canal adicional.

Entre las principales características que posee el transmisor esta la variación de potencia de transmisión como son: 25mW, 200mW, 600mW y 1200mW configurable gracias al pulsador que posee instalado en la placa,

además, consta de un OSD el cual permite la visualización del estado de la batería el cual será muy útil a la hora de las competencias en la categoría de batalla.



Figura 3. 1: Módulo AKK X2.
Elaborado por: Autor.

El voltaje de entrada puede variar entre 7V y 26V, valores que se encuentran en el rango de potencial entregado por la batería de lipo 3S permitiendo conectarla directamente, el conector del cable utilizado es el modelo JST 6P, y sus dimensiones son de 22x32mm.

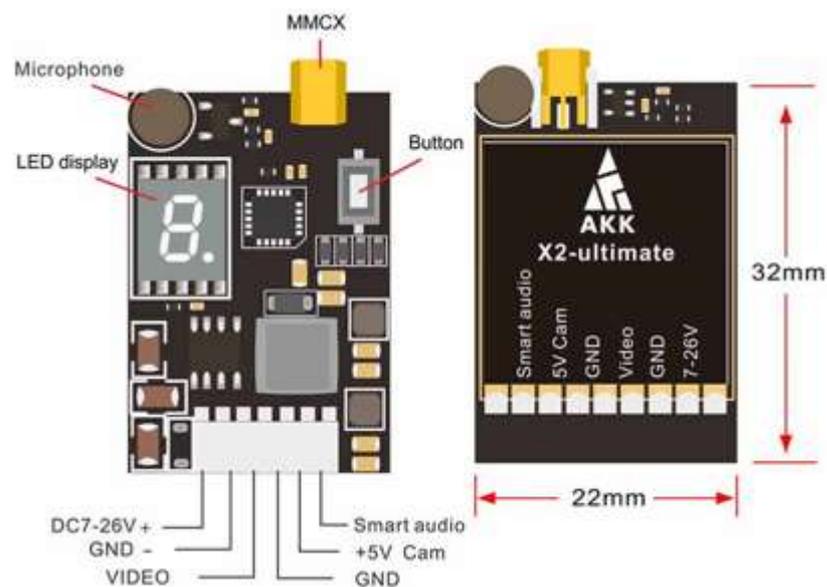


Figura 3. 2: Conexiones y medidas del módulo de transmisión de video analógico AKK X2.
Elaborado por: Autor.

La configuración que permite conectar el módulo a los distintos componentes está dada por el fabricante, en la figura 3.2 se demuestra cómo deben ir conectado la fuente de poder, el video, el negativo y el Smart audio.

En la figura 3.3 se presenta las frecuencias de operación del dispositivo, permitiendo así la elección de la mejor banda con menos interferencia para una transmisión óptima al receptor de video que contara con una pantalla para la observación en tiempo real de la imagen captada.

Channel	1	2	3	4	5	6	7	8	
1 (Band A)	5865	5845	5825	5805	5785	5765	5745	5725	MHZ
2 (Band B)	5733	5752	5771	5790	5809	5828	5847	5866	MHZ
3 (Band E)	5705	5685	5665	5645	5885	5905	5925	5945	MHZ
4 (Band F)	5740	5760	5780	5800	5820	5840	5860	5880	MHZ
5 (Race Band)	5658	5695	5732	5769	5806	5843	5880	5917	MHZ
Power Level	25	200	600	1200					mW

Figura 3. 3: Frecuencias de operación del transmisor de video AKK X2.
Elaborado por: Autor.

3.2.2. Cámara Runcam OWL2.

La Runcam OWL2 es una cámara angular con lente de gran apertura de 150° con el cual puede abarcar una gran amplitud de visión para el usuario, además cuenta con un set de accesorios que facilitan la instalación sobre cualquier prototipo ya sea para un robot explorador, drone o humanoide.

Esta cámara, figura 3.4, es de la marca Runcam, marca reconocida en la creación de dispositivo para visión en primera persona. Una de sus características importantes son sus dimensiones que son de 28.5mm x 26mm. A continuación, se presenta las características proporcionadas por el fabricante, entre ellas esta su alimentación que es de 5vdc y soporta hasta los 36vdc el cual funciona perfectamente para los propósitos de esta implementación, además cuenta con un excelente sensor de corriente para medición de la batería conectada a esta.



Figura 3. 4: Cámara OWL2.
Elaborado por: Autor.

El dispositivo cuenta además con OSD (On Screen Display) puede proporcionar el voltaje y corriente consumida en el prototipo sobre la pantalla, facilitando el cálculo del tiempo de duración de acuerdo al uso de la batería. Adicionalmente cuenta con un puerto exclusivamente para un mando por cable que ayudara a la configuración de los parámetros de la cámara como son luz, exposición, resolución, entre otros.

- | | | | |
|---|--------------------|---|-----------------------------|
| 1 | Arandelas de Nylon | 2 | Tornillos M4 |
| 3 | Tornillos M3 | 4 | Tuercas con seguro plástico |

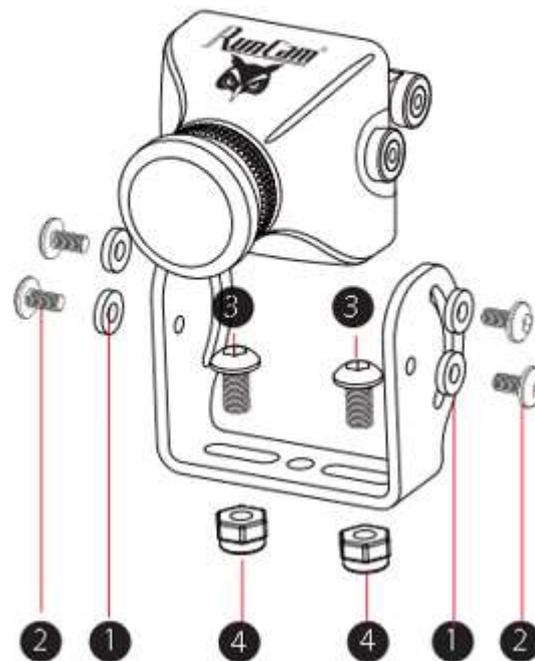


Figura 3. 5: Cámara OWL2.
Elaborado por: Autor.

Otra de las características destacable de esta cámara es su resolución horizontal, el cual cuenta con 700TVL, además de un sensor de imagen de 1/2" y un radio >60dB (AGC OFF). El sistema de la señal de video es dual, es decir cuenta con PAL y NTSC y ambas con velocidades del obturador electrónico de 1/50 a 100000 para PAL y 1/60 a 100000 para NTSC.

El montaje de la cámara en cualquier prototipo se hace mediante tornillos y un eje para ubicar a la cámara en un ángulo vertical correcto que permita una visualización total del frente, en la figura 3.5 se muestra como debe ser ensamblado sobre este.

3.2.3. InnoBasic Workshop2

Este software (véase la figura 3.6), es proporcionado por la empresa Innovati, y permite la programación de secuencias mediante el lenguaje BASIC de servos especiales de la marca utilizando como hardware diferentes modelos de tarjetas electrónicas según la implementación que se desee.

Una de las características más importantes según el fabricante es que proporciona comandos para declarar a los módulos periféricos y manejo de eventos en cada uno de ellos, ayudando a la administración de ellos en una programación intuitiva.

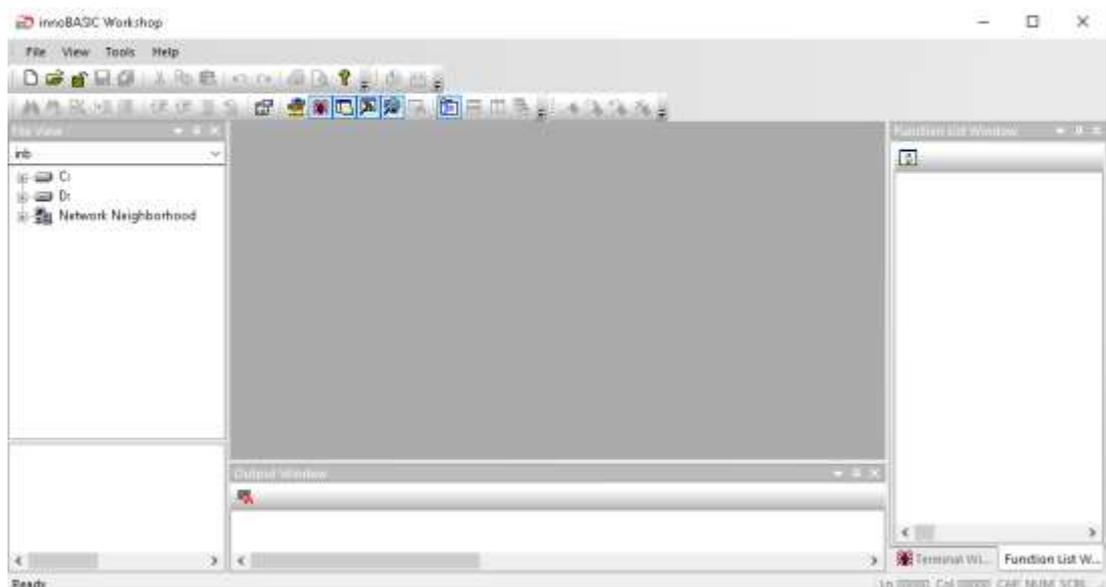


Figura 3. 6: InnoBasic Workshop2.

Elaborado por: Autor.

Es gracias a este software donde se pretende escribir el código que se diseñara previamente en un diagrama de bloques para la programación del robot humanoide Super Anthony, proporcionando la movilidad necesaria para los distintos eventos que se requiere en este proyecto.

Este software proporciona al usuario y programador varias herramientas que serán necesarias para las pruebas en caliente en el robot, en la figura 3.7 se muestra el contenedor de estas.



Figura 3. 7: InnoBasic Workshop2.
Elaborado por: Autor.

En el contenedor superior corresponden a las herramientas básicas como crear un nuevo proyecto, abrir proyecto, cortar, copiar, pegar, deshacer, rehacer, imprimir, entre otros.

En el contenedor inferior se encuentran las herramientas de ayuda al programador, incluyendo un utensilio para la prueba de movimientos en los servos, entre ellos están buscar, buscar y reemplazar segmentos del código, incluir sangría, enumerar líneas del código, comentarios en la línea, preferencias, editor de movimiento, administración de ventanas y los marcadores para los programas realizados.

3.2.4. Robot Humanoide Super Anthony

El robot humanoide super Anthony es un proyecto que nació en Kickstarter recaudando más de 86000 dólares apenas se lanzó la propuesta, como es de conocimiento esta es una página que permite la difusión de proyectos pequeños hacia el mundo permitiendo recaudar dinero para la construcción de este.

Posteriormente se lanzó al mercado con varias versiones y costos, para este caso en el proyecto que se presenta se pudo adquirir este prototipo para

la elaboración de un robot humanoide que cumpla distintas funcionalidades como la de ingreso a lugares de difícil acceso, también para la participación de la categoría de pelea de humanoides en los torneos del club de robótica de la facultad de educación técnica para el desarrollo, entre otras aplicaciones.

En la figura 3.8 se muestra una fotografía del prototipo adquirido para la implementación del presente trabajo de titulación.



Figura 3. 8: Robot Super Anthony en la caja.
Elaborado por: Autor.

El robot humanoide Super Anthony al retirar del paquete se encuentra preprogramado para realizar ciertas actividades básicas de prueba como caminar, extender el brazo, entre otros. Pero para la implementación del proyecto es necesario reprogramar un nuevo código que permita la ejecución de actividades más complejas.

Los servomotores IQ4516HV (véase la figura 3.9), cuenta con un engranaje de acero patentado por la empresa distribuidora que proporciona un torque de 45Kg, siendo así uno de los más potentes en el mercado para este tipo de prototipos, y con 15 grados de libertad este dispositivo puede realizar movimientos rápidos y precisos. En la figura 3.10 se muestra el robot con sus grados de libertad y cuerpo metálico

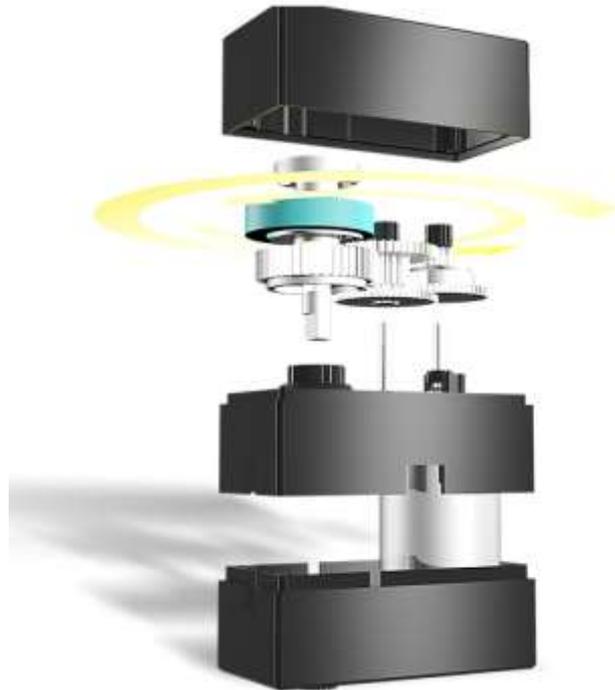


Figura 3. 9: Servomotor IQ4516HV.
Elaborado por: Autor.

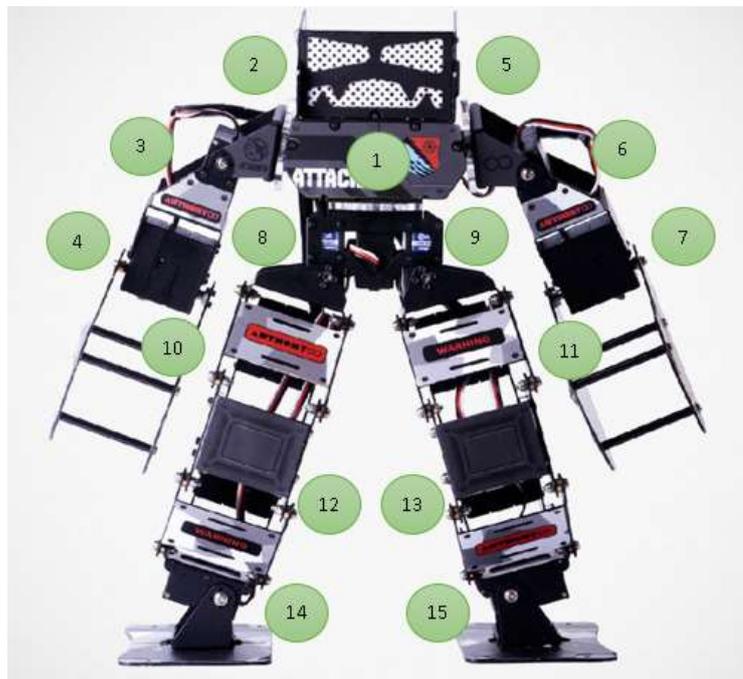


Figura 3. 10: Grados de libertad y cuerpo de robot Super Anthony.
Elaborado por: Autor.

Además, este prototipo incluye un módulo bluetooth para conexiones a teléfonos inteligentes, que permite la utilización de los sensores integrados en

el celular como son giroscopio, cámara, GPS, entre otros, proporcionando más datos de entrada.

Entre otras características que posee este robot son:

- Cuerpo de aluminio
- Peso total de 2.1Kg.
- Sus dimensiones 38x24x12cm.
- Joystick inalámbrico 2.4GHz.
- Entorno de desarrollo Windows

3.3. Diseño e implementación de visión remota para robot Super Anthony.

En esta sección del capítulo se describirá el diseño de la implementación que se realizó utilizando el robot super Anthony para el uso de visión remota en primera persona.

3.3.1. Diseño de funcionamiento del sistema

Este sistema de control de robot humanoide se diseñó para funcionar en dos partes independientes, en el primer caso se programará el código que permite al robot realizar los movimientos deseados mediante un control remoto de 2.4GHz, y por otro lado se plantea el montaje de la cámara OWL2 sobre el prototipo y transmitir el video capturado en tiempo real en uno de los canales dispuestos por el VTX, en el diagrama de bloques se puede apreciar en la figura 3.11 se muestra como está conformado este sistema.

Para iniciar con el diseño del funcionamiento es necesario conocer el robot morfológicamente para determinar la matriz de transformación homogénea que permitirá la conversión de un vector expresado en coordenadas a otro.

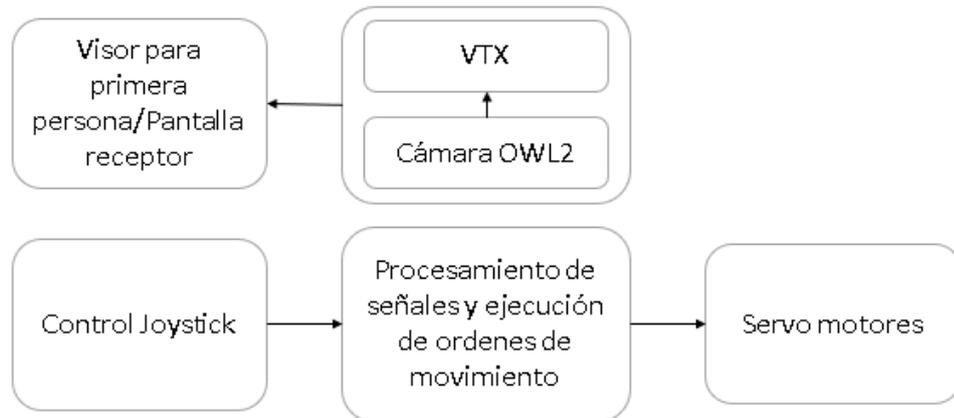


Figura 3. 11: Diagrama de bloque del sistema.
Elaborado por: Autor.

En la figura 3.12 se representa un esquemático de la estructura morfológica del robot, consta de 15 servos el cual están ubicados en las articulaciones de este que facilitan la movilidad y un perfecto equilibrio.

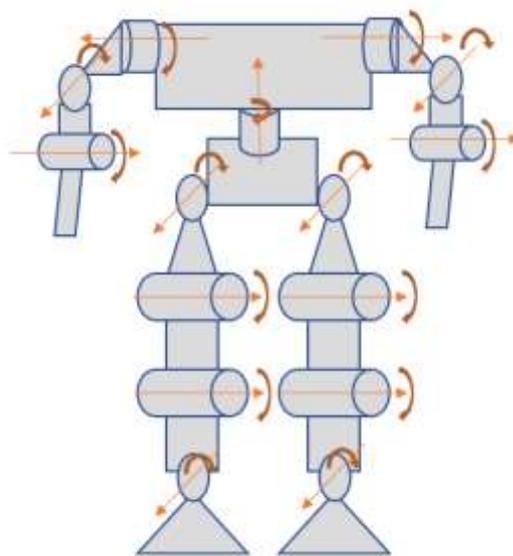


Figura 3. 12: Estructura morfológica del robot.
Elaborado por: Autor.

Para la parte de las piernas, figura 3.13, se obtendrá la matriz correspondiente según los grados de libertad, donde se tienen 3 grados de libertad por cada uno más los eslabones de control de cadera y cintura.

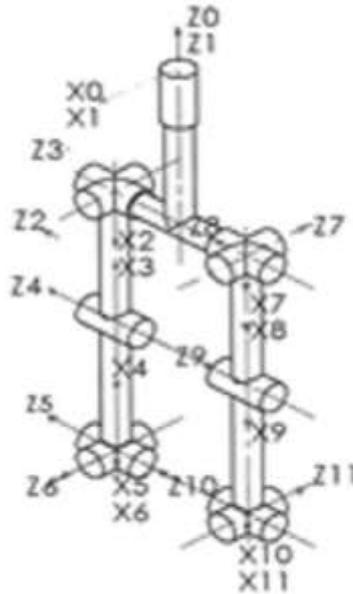


Figura 3. 13: Grados de libertad de las piernas.
Elaborado por: Autor

La matriz obtenida a partir de este modelo se puede apreciar en la figura 3.14 donde está representada la traslación, rotación y perspectiva en los ejes x, y, z, estos determinaran el ángulo y velocidad de movimiento de los ángulos de acuerdo al vector final.

$$= \begin{bmatrix} \cos\theta_i & -\sin\theta_i \cos\alpha_{i-1} & \sin\theta_i \sin\alpha_{i-1} & a_{i-1} \cos\theta_i \\ \sin\theta_i & \cos\theta_i \cos\alpha_{i-1} & -\cos\theta_i \sin\alpha_{i-1} & a_{i-1} \sin\theta_i \\ 0 & \sin\alpha_{i-1} & \cos\alpha_{i-1} & d_i \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Figura 3. 14: Matriz de los grados de libertad correspondientes a las piernas.
Elaborado por: Autor

Los resultados de los cálculos realizados están representados en las figuras 3.15 y 3.16 donde se muestra para distintos valores de i los valores de alfa, teta y d.

i	α_{i-1}	a_{i-1}	d_i	θ_i
1	0	0	0	Θ_1
2	90	l_2	0	Θ_2+90
3	90	0	0	Θ_3
4	0	l_4	0	Θ_4
5	0	l_5	0	Θ_5
6	-90	0	0	Θ_6

Figura 3. 15: Valores resultantes.
Elaborado por: Autor

i	α_{i-1}	a_{i-1}	d_i	Θ_i
1	0	0	0	Θ_1
7	-90	l_7	0	Θ_7+90
8	-90	0	0	Θ_8
9	0	l_9	0	Θ_9
10	0	l_{10}	0	Θ_{10}
11	90	0	0	Θ_{11}

Figura 3. 16: Valores resultantes.

Elaborado por: Autor

3.3.2. Diagrama de flujo de programación del robot humanoide

Posteriormente basados en los resultados se propone el diagrama de flujo del código de programación de acuerdo con las funciones que realizara cada extremidad del robot humanoide para las competencias de batallas.

Como funcionalidades que debe realizar el robot serán de ataque y defensa, y estas rutinas de movimientos serán golpe directo, golpe uppercut, patada lateral, patada hacia arriba, salto hacia atrás, salto frontal, rodar hacia adelante, rodar hacia atrás.

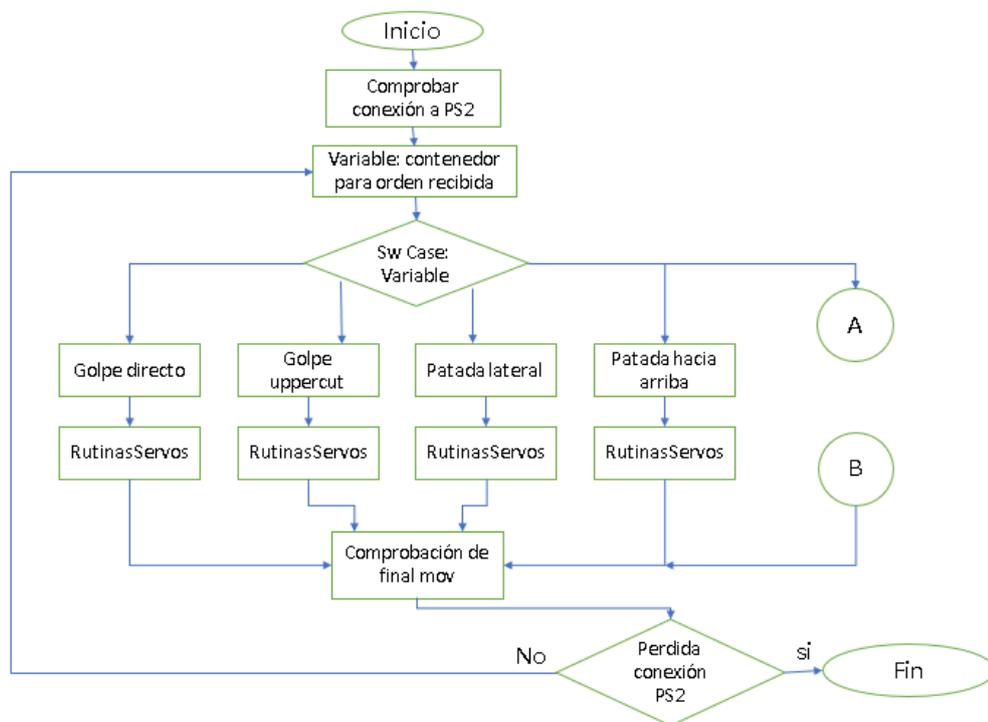


Figura 3. 17: Diagrama de flujo de programación de robot super anthony.

Elaborado por: Autor

En la primera parte del flujo diseñado, figura 3.17, para este proyecto lo que se hará es comprobar la conexión inalámbrica del mando PS2 al módulo controlador servo commander 16 que está integrado en el robot, posteriormente de acuerdo con la variable recibida por el mando a distancia se compara para asignar una rutina de movimientos. Ya que fue difícil mostrar todo el flujograma en una sola figura se dividió en dos segmentos con los conectores correspondientes, el conector A permite visualizar las cuatro rutinas faltantes en la sentencia de control switch donde se selecciona según la variable recibida, tal como se muestra en la figura 3.18.

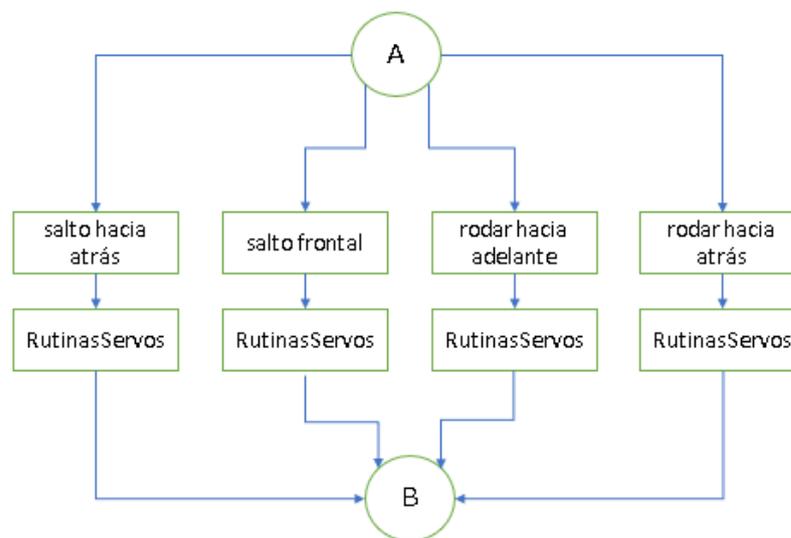


Figura 3. 18: Segunda parte de diagrama de flujo para funciones específicas.
Elaborado por: Autor

Al finalizar la selección y ejecución de las rutinas de movimientos se lleva a cabo una comprobación última con una sentencia de control if, en el que se comprueba si aún existe la conexión con el mando inalámbrico PS2, donde si es afirmativa la respuesta lleva a la espera de un nuevo comando recibido por este, caso contrario finaliza todo el programa.

3.4. Implementación de visión en primera persona para robot humanoide Super Anthony.

A continuación, en esta sección del capítulo se detalla el procedimiento que se realizó la implementación de visión en primera persona al robot super Anthony.

En la figura 3.19 se presenta un esquema global en el que estará conectado el robot super Anthony con los módulos de comunicación inalámbrica del control PS2 y la cámara.

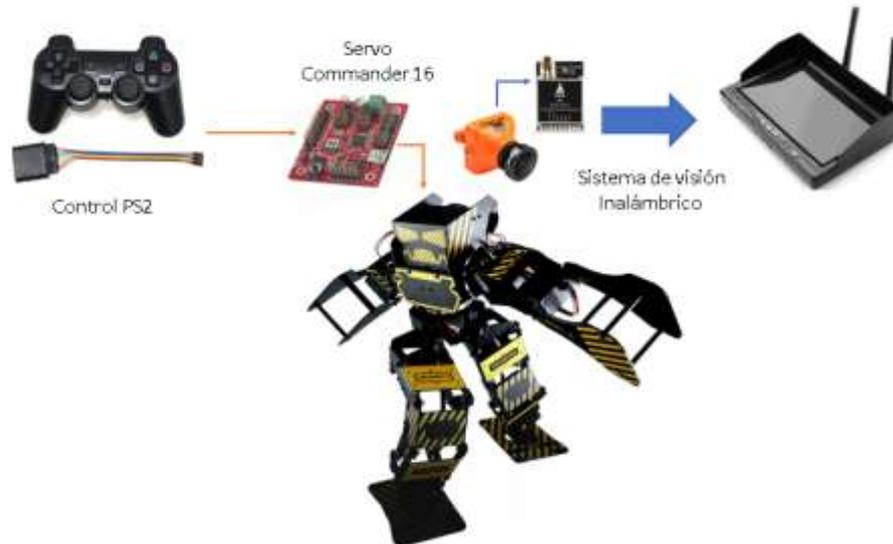


Figura 3. 19: Esquema global del sistema propuesto.
Elaborado por: Autor

Como primera parte de la implementación será conectar los módulos del mando PS2 inalámbrico al módulo servo commander 16 integrado en el prototipo, como se aprecia la figura 3.20 se muestra los pines correspondientes a las salidas del receptor inalámbrico.

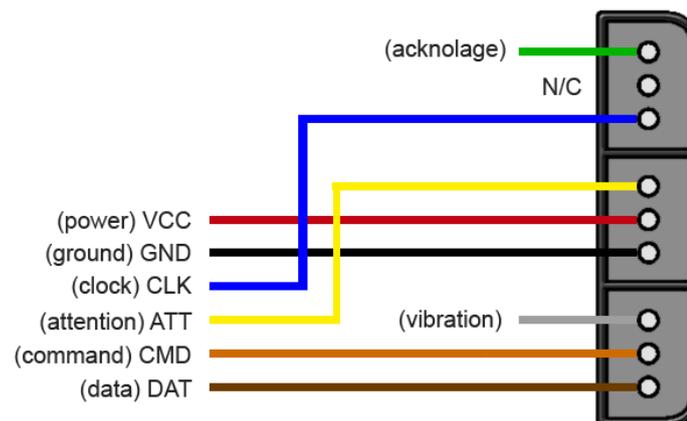


Figura 3. 20: Conexiones de PS.
Elaborado por: Autor

Antes de pasar al módulo servo commander 16 se debe conectar a un conversor digital, donde se tienen los niveles de 5v por un lado y 3.3v por el

lado del receptor, gracias a este se podrá comunicar la parte inalámbrica con el controlador del robot, en la figura 3.21 se puede apreciar el esquemático de conexiones.

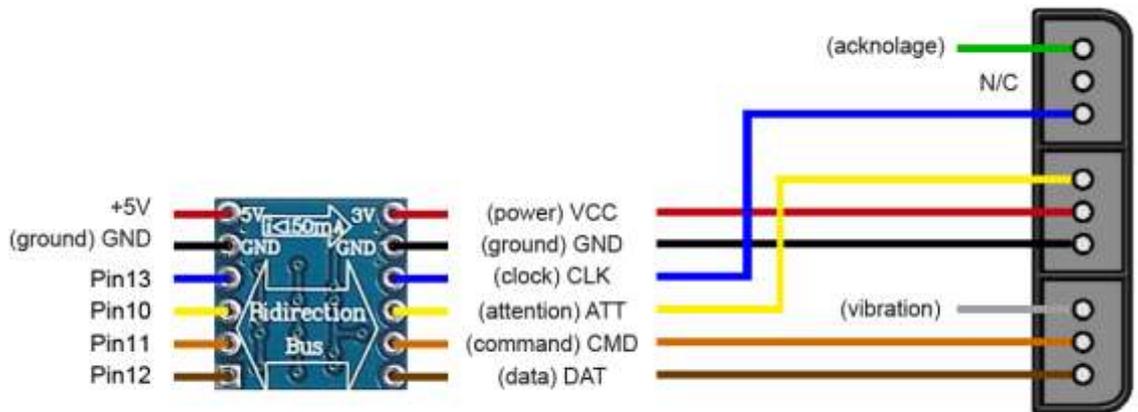


Figura 3. 21: Esquemático de conexiones.
Elaborado por: Autor

El módulo servo commander 16 posee 16 pines de salida para motores servos, y 16 pines de entradas y salidas de propósito general además de un puerto de comunicación llamado cmdBUS, en la figura 3.22 se muestra un diagrama de sus conexiones, todos los servomotores poseen 3 pines, alimentación positiva, común, y señal.

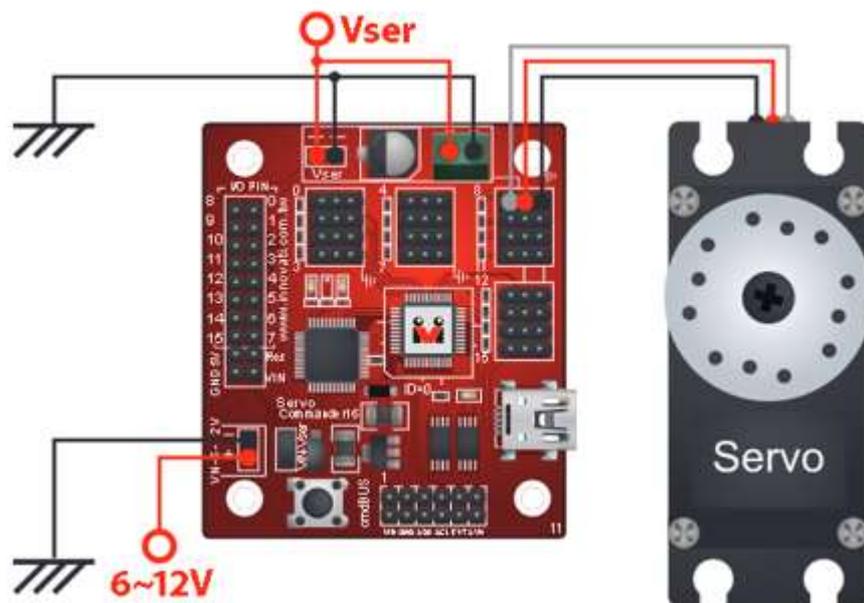


Figura 3. 22: Diagrama de conexiones de módulo servo commander.
Elaborado por: Autor

Paralelamente también es necesario saber cómo conectar el video con su respectivo modulo transmisor de video AKK X2 que permitirá la comunicación y la inmersión del usuario al robot para ver el video captado en tiempo real.

Para ello en la figura 3.23 se presenta el diagrama de cómo va conectado la cámara al dispositivo, se debe tomar en cuenta que la alimentación tanto de la cámara como del módulo transmisor de video puede ser de 7vdc a 24vdc, voltaje que se encuentra en el rango de la batería de lipo 3s, o se podría alimentar con una batería adicional.

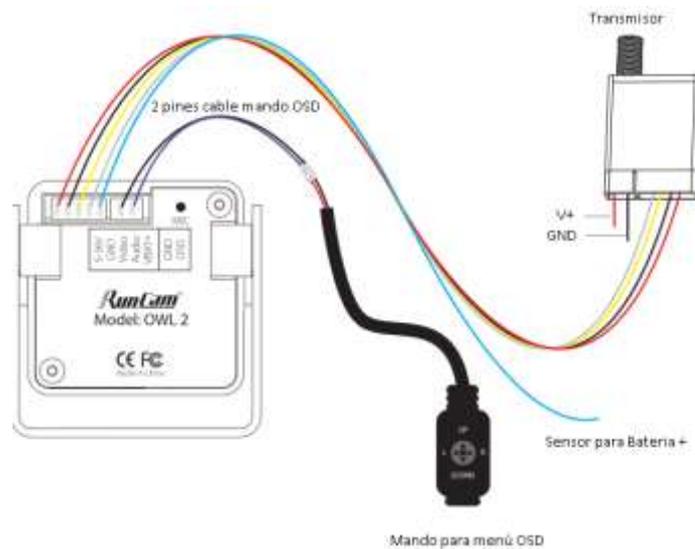


Figura 3. 23: Conexiones de cámara OWL2 con radio transmisor de video.
Elaborado por: Autor.

Cabe recalcar que la cámara cuenta con un sensor de consumo de la batería, cable color turquesa, este permitirá mostrar dentro del video captado el valor del consumo y estatus de la batería, y ayudaría al usuario en calcular el tiempo de uso del robot en el campo.

Posteriormente, será coordinar los movimientos del robot con el diseño previamente descrito en este documento, para ello, es necesario identificar los servos que posee el robot para tener conocimiento de los rangos de movimiento que se tiene en cada uno de ellos, figura 3.24, se realiza una lista

y con la utilidad Motion Editor que incluye el software InnoBasic workshop 2 se realiza prueba una a una.

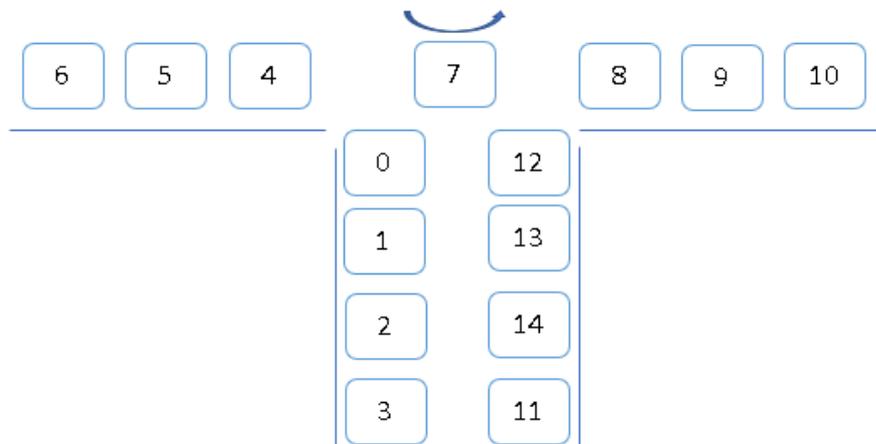


Figura 3. 24: Identificación de servos.
Elaborado por: Autor.

En la figura 3.25, se muestra una captura de pantalla utilizando esta utilidad para realizar pruebas de los servos uno a uno, adicionalmente se encuentra la posibilidad de prueba de velocidad para comprobar si la cinemática calculada está en lo correcto.

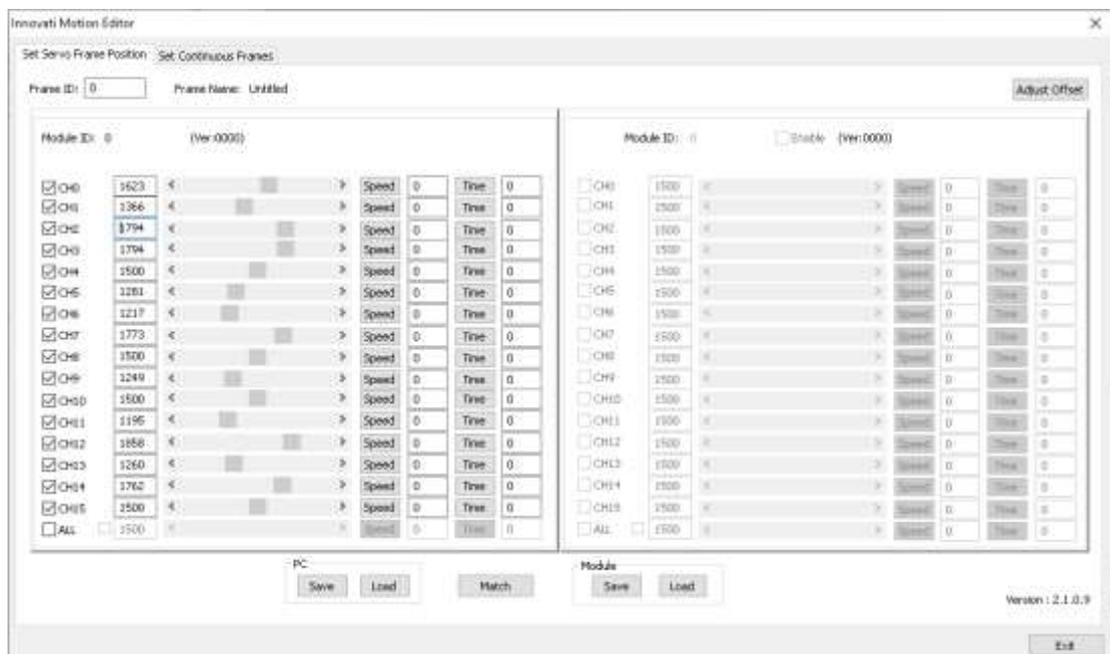


Figura 3. 25: Motion Editor.
Elaborado por: Autor.

Adicionalmente vale recalcar que esta utilidad permite la creación de escenarios, es decir, se puede crear n rutinas de movimientos en capas,

dando al programador la facilidad de utilizarlos para establecer los tiempos y velocidades de los servos en la rutina de caminar como se puede observar en la figura 3.26.

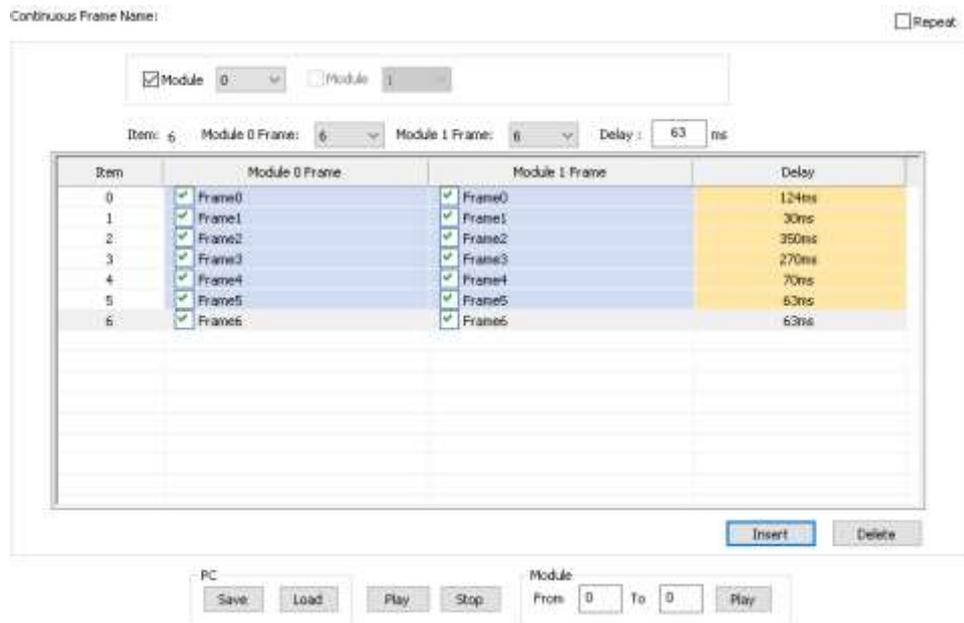


Figura 3. 26: Configuración de frame.
Elaborado por: Autor.

A continuación, se presenta una a una las rutinas creadas para los movimientos descritos en el diagrama de flujo presentado anteriormente utilizando la herramienta de motion editor, se procede a guardar cada una para ser llamadas por el código principal del robot.



Figura 3. 27: Rutina creada en Motion Editor.
Elaborado por: Autor.

La primera rutina que se presenta es la de caminar hacia adelante, se crea los frames 0, 1, 2 para esta, como se aprecian en las figuras 3.27, 3.28, 3.29 respectivamente.



Figura 3. 28: Rutina creada en Motion Editor.
Elaborado por: Autor.



Figura 3. 29: Rutina creada en Motion Editor.
Elaborado por: Autor.

Como se pudo apreciar en las figuras anteriores, los movimientos de los servos según su identificación varían por escenario, los servos responsables para la rutina de caminar son: 0, 1, 2, 3, 11, 12, 13, 14.

Así mismo se tiene dos rutinas para caminar de lado derecho e izquierda, para ello se presenta un frame de cada una de ellas en este documento, correspondientes a las figuras 3.30, 3.31 respectivamente, siendo estas las más importantes para la movilidad en el ring de batalla.



Figura 3. 30: Rutina creada en Motion Editor.
Elaborado por: Autor.



Figura 3. 31: Rutina creada en Motion Editor.
Elaborado por: Autor.

Para la rutina de caminar hacia atrás es necesario tomar dos de los frames utilizados en la caminata hacia adelante ya que es la misma cinética utilizada en el inicio y la parada, para ello los frames son el 0 y el 2, adicionalmente se agrega el frame 5 para coordinar la cinemática inversa, en la figura 3.32 se aprecia dicho frame.



Figura 3. 32: Motion Editor.
Elaborado por: Autor.

A continuación, se presentan las rutinas para las acciones de defensa y ataque; en la figura 3.33 se presentan los frames 7 y 8 para los movimientos de los servos en la rutina de golpe directo, como se puede apreciar a diferencia de los anteriores los motores encargados de mover el brazo serán activados con cierta velocidad.

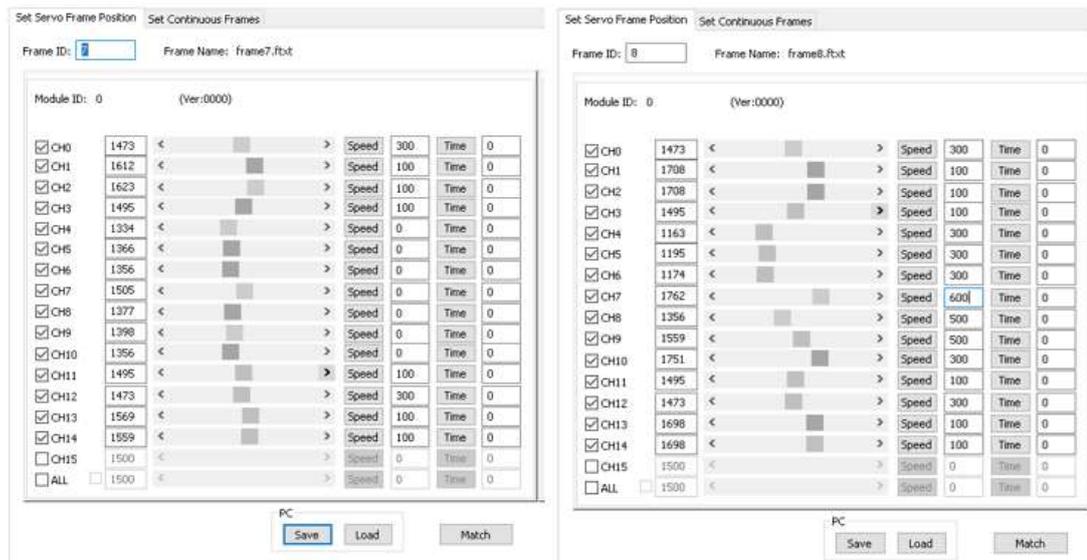


Figura 3. 33: Motion Editor.
Elaborado por: Autor.

En el caso del golpe Uppercut, que es un movimiento muy conocido en el deporte box, se utilizan tres frames (9, 10, 11) que se encargan de mover las piernas inclinándolas un poco para enviar un gancho hacia arriba con el brazo derecho, figura 3.34 y 3.35, esta técnica inmoviliza al contrincante haciéndolo caer y quizás cause daño en los módulos ya que por lo general todo robot humanoide posee estos en la parte trasera superior.

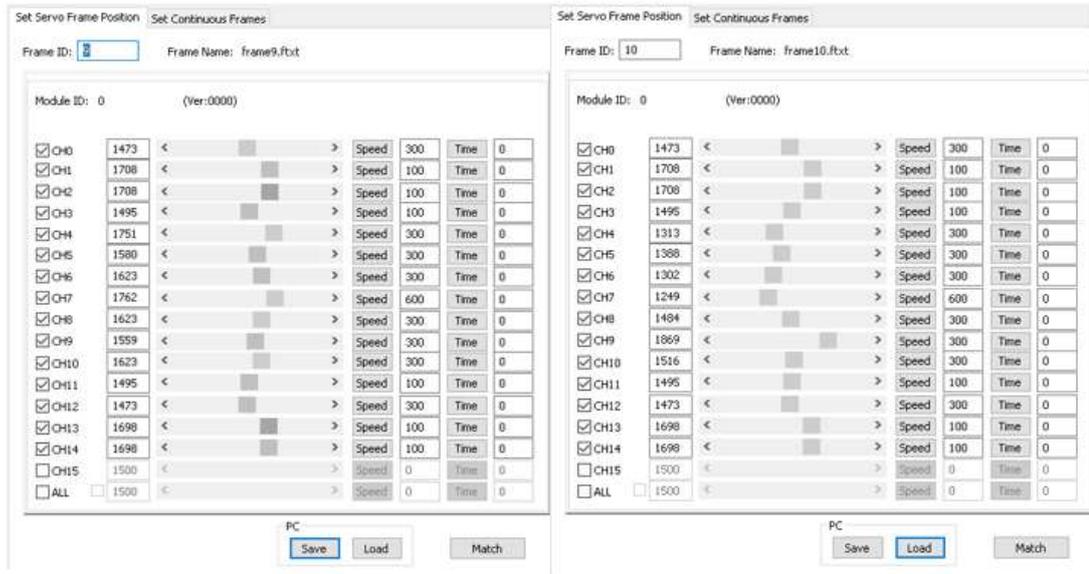


Figura 3. 34: Motion Editor.
Elaborado por: Autor.



Figura 3. 35: Motion Editor.
Elaborado por: Autor.

En el movimiento de patada lateral se utiliza dos movimientos para el cual se recicla uno creado anteriormente y que se utilizara en las futuras rutinas, para ello está el frame 9 (llamada reposo) y el frame 12, figura 3.36. En esta rutina se mueven los servomotores que comprenden en la parte de la cintura, y pierna derecha.



Figura 3. 36: Motion Editor.
Elaborado por: Autor.



Figura 3. 37: Motion Editor.
Elaborado por: Autor.

Un movimiento muy utilizado en las artes marciales entre humanos es la patada hacia arriba apuntando hacia la cabeza del contrincante, para esta rutina se diseñó el frame 13, así mismo se utilizará el frame 9 para el reposo antes y después de la

acción, en la figura 3.37 se puede apreciar la dirección y velocidad que se toma en la pierna derecha según el grafico inicial.

Una de las técnicas defensivas que se tomó en cuenta es realizar un salto hacia atrás, ya que este ayudara a esquivar cualquier golpe del contrincante que vaya de manera frontal y directa, para ello se utilizó 4 frames, entre ellos está el de reposo presentado anteriormente y los nuevos (14, 15 y 16) para esta acción presentada en las figuras 3.38 y 3.39.

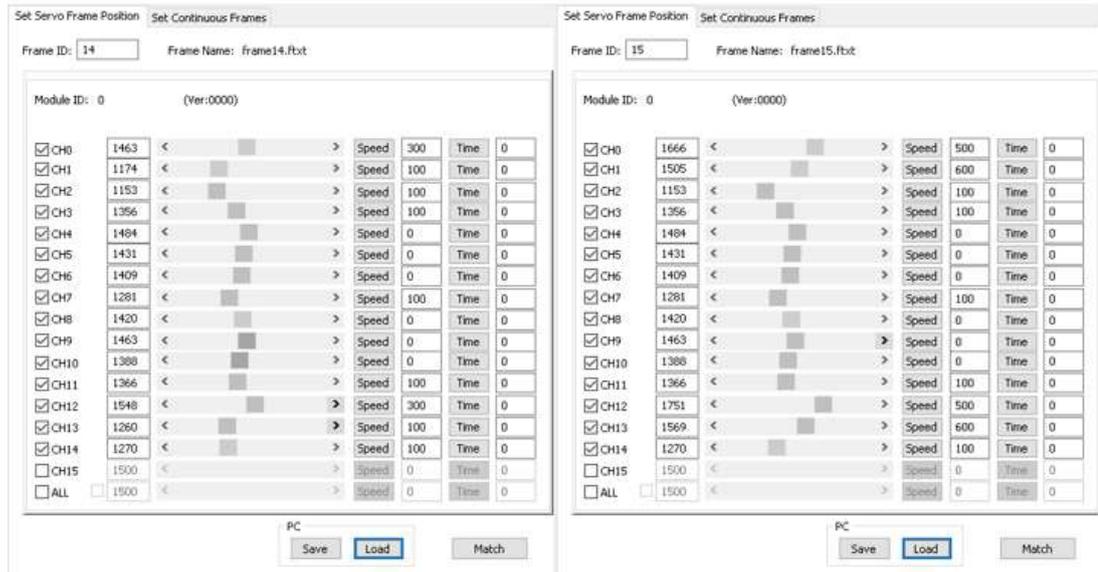


Figura 3. 38: Motion Editor.
Elaborado por: Autor.

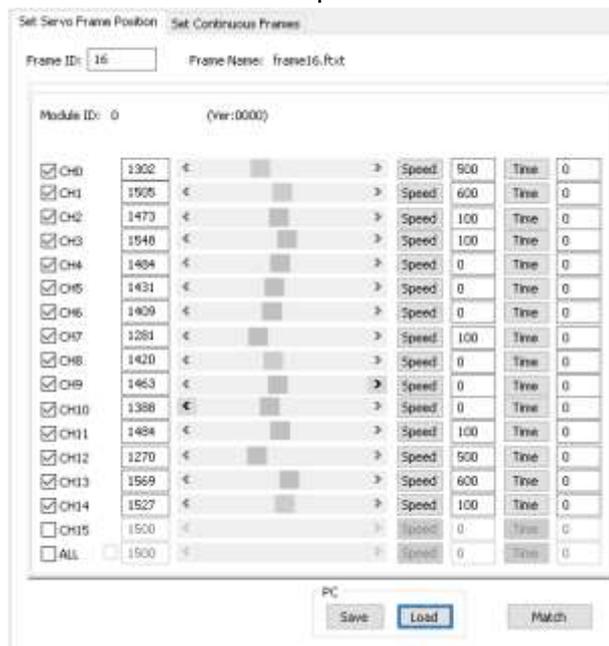


Figura 3. 39: Motion Editor.
Elaborado por: Autor.

Otra de las rutinas que se utilizara es realizar un salto frontal, ya que este permitirá al robot atacar con el cuerpo entero hacia el contrincante, en la figura 3.40 se presentan los frames utilizados (16, 17 y 14) para este movimiento, hay q tomar en cuenta que se toma acciones de la rutina anterior ya que parten del mismo reposo y la inclinación inicial.

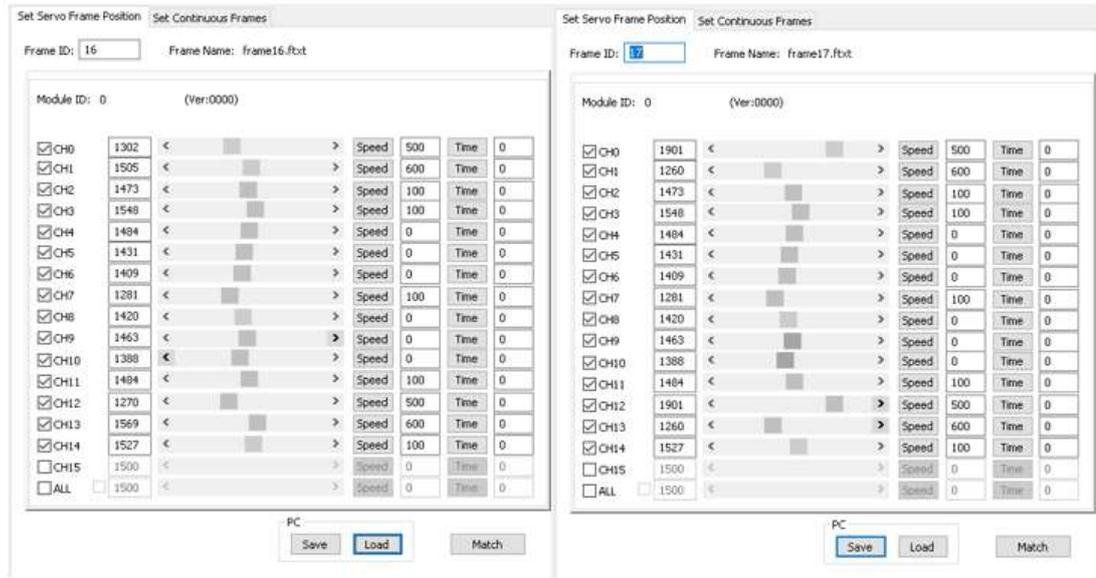


Figura 3. 40: Motion Editor.
Elaborado por: Autor.

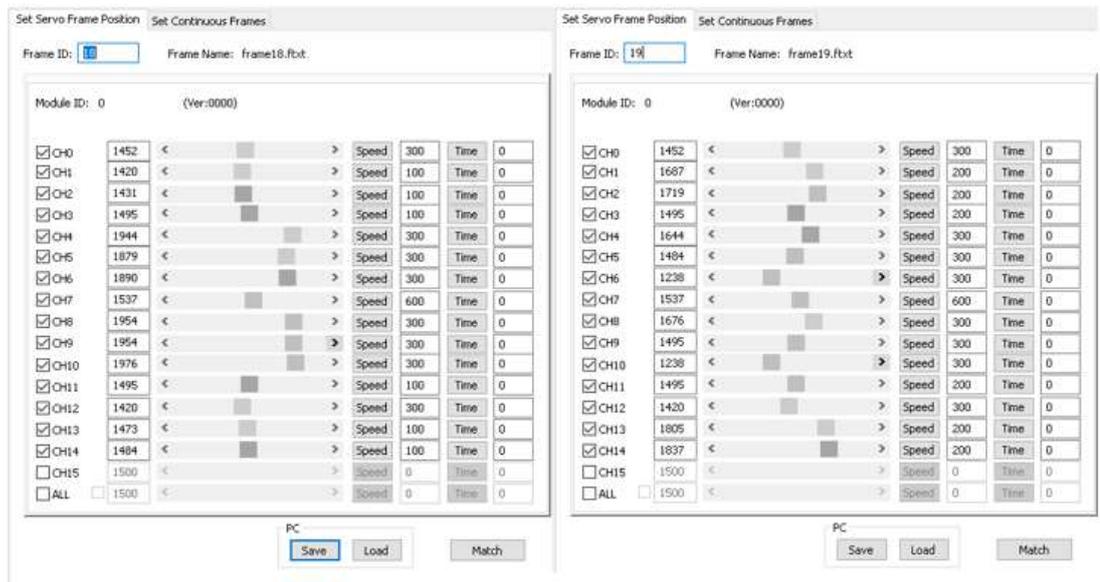


Figura 3. 41: Motion Editor.
Elaborado por: Autor.

El robot en la batalla además de realizar estas acciones de ataque y defensivas también debe tener la facultar de rodar de manera que pueda trasladarse desde el

piso hacia adelante o atrás, para ellos se construyó dos rutinas con distintos escenarios, para rodar hacia adelante se utilizó los frames 18 y 19, (véase la figura 3.41), aplicando también el de reposo 9.

Y para rodar hacia atrás se utilizaron las mismas escenas 9 y 18 de la anterior acción, pero se adicióno la escena 20 como se puede apreciar en la figura 3.42, ya con estos movimientos grabados en el computador se procede a construir el código que hará el llamado a cada uno de estos según las órdenes recibidas por el mando PS2 inalámbrico.

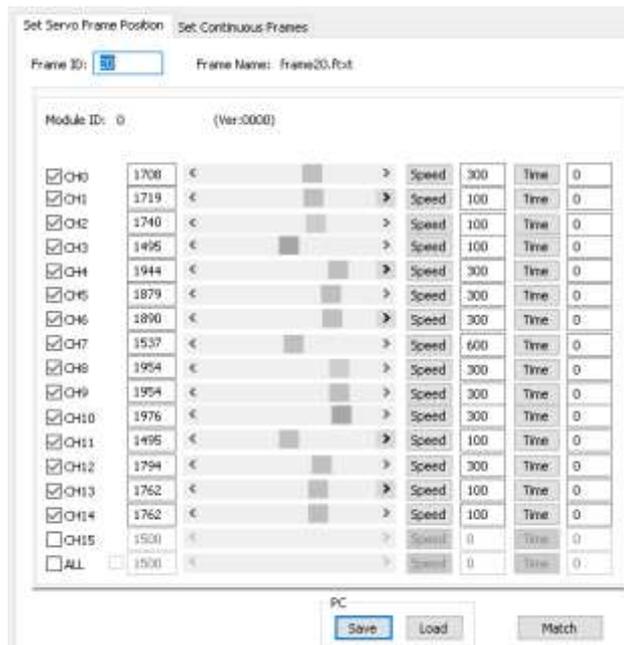


Figura 3. 42: Motion Editor.
Elaborado por: Autor.

A continuación, se presenta mediante segmentos el código escrito para el robot humanoide Super Anthony, el programa está escrito en el programa InnoBasic Workshop 2 utilizando el lenguaje BASIC, este es utilizado en muchos proyectos similares por su accesibilidad y facilidad de uso.

En la figura 3.43 se presenta el encabezado del código que llama a utilizar el mando PS2 y las configuraciones de los servomotores, también se declaran las variables que se utilizara en el resto del programa, además, se llama al inicio del programa principal Sub Main ().

```

RobotSuperAnthony.inb *
Peripheral Ps As GamePadPS @ 4
Peripheral myser1 As servorunnera @ 0

Dim b4Dir As Byte
Dim b8WayL,b8WayR As Byte
Dim x As Byte

Sub Main()
  Do
    wStatus = Ps.GetKeyStatus
    If wStatus == True

      Ps.GetDir4Way(b4Dir)
      If b4Dir = x

```

Figura 3. 43: Encabezado de código.
Elaborado por: Autor.

Posteriormente como se describió en la sección anterior se procede a preguntar el estado de la conectividad del mando a distancia y se procede a guardar los resultados de la variable recibida en otra para seleccionar con la sentencia case las funciones a llamar, en la figura 3.44 se presenta lo dicho. También se puede observar que se finaliza la sentencia select y la función principal sin antes realizar el loop correspondiente al do inicial.

```

  Select Case x
    Case 1
      Caminar_adelante
    Case 2
      Caminar_derecha
    Case 3
      Caminar_izquierda
    Case 4
      Caminar_atras
    Case 5
      golpeDirecto
    Case 6
      golpeUppercut
    Case 7
      PatadaLateral
    Case 8
      PatadaArriba
    Case 9
      SaltoAtras
    Case 10
      SaltoFrontal
    Case 11
      RodarAdelante
    Case 12
      RodarAtras
  End Select
Loop
End Sub

```

Figura 3. 44: Función Select case.
Elaborado por: Autor.

En la figura 3.45 se puede apreciar las funciones realizadas para los primeros casos del select contenido en la función principal, estas son caminar hacia adelante y a la derecha, estas funciones llaman mediante la línea myser1.LoadFrame(n) a los escenarios que se construyeron con la utilidad motion editor del software innobasic workshop 2.

```

Function Caminar_adelante()
  myser1.LoadFrame(0)
  myser1.runallservo()
  Pause 100
  myser1.LoadFrame(1)
  myser1.runallservo()
  Pause 53
  myser1.LoadFrame(2)
  myser1.runallservo()
  Pause 80
End Function

Function Caminar_derecha()
  myser1.LoadFrame(3)
  myser1.runallservo()
  Pause 67
  myser1.LoadFrame(4)
  myser1.runallservo()
  Pause 53
End Function

```

Figura 3. 45: Función Caminar.
Elaborado por: Autor.

En la figura 3.46 se presenta las funciones: caminar a la izquierda, caminar hacia atrás, golpe directo, golpe uppercut, patada lateral, patada arriba, movimientos fundamentales para la parte de ataque y movimientos esenciales.

<pre> Function Caminar_izquierda() myser1.LoadFrame(3) myser1.runallservo() Pause 67 myser1.LoadFrame(6) myser1.runallservo() Pause 53 End Function Function Caminar_atras() myser1.LoadFrame(0) myser1.runallservo() Pause 100 myser1.LoadFrame(2) myser1.runallservo() Pause 53 myser1.LoadFrame(5) myser1.runallservo() Pause 80 End Function </pre>	<pre> Function golpeDirecto() myser1.LoadFrame(9) myser1.runallservo() Pause 150 myser1.LoadFrame(7) myser1.runallservo() Pause 180 myser1.LoadFrame(8) myser1.runallservo() Pause 300 End Function Function golpeUppercut() myser1.LoadFrame(9) myser1.runallservo() Pause 150 myser1.LoadFrame(10) myser1.runallservo() Pause 180 myser1.LoadFrame(11) myser1.runallservo() Pause 300 End Function </pre>	<pre> Function PatadaLateral() myser1.LoadFrame(9) myser1.runallservo() Pause 230 myser1.LoadFrame(12) myser1.runallservo() Pause 150 myser1.LoadFrame(9) myser1.runallservo() Pause 300 End Function Function PatadaArriba() myser1.LoadFrame(9) myser1.runallservo() Pause 230 myser1.LoadFrame(13) myser1.runallservo() Pause 150 myser1.LoadFrame(9) myser1.runallservo() Pause 300 End Function </pre>
--	--	--

Figura 3. 46: Funciones para caminar y atacar.
Elaborado por: Autor.

Así mismo, se presenta mediante la figura 3.47 las funciones para los movimientos: salto para atrás, salto frontal, rodar hacia adelante, rodar hacia atrás, los cuales permitirán tener una defensa contra el contrincante en la

batalla, estos también se llaman a los frames o escenarios construidos anteriormente y siempre utilizando un tiempo para estabilizar el final de la rutina.

```

Function SaltoAtras()
  myser1.LoadFrame(14)
  myser1.runallservo()
  Pause 143
  myser1.LoadFrame(15)
  myser1.runallservo()
  Pause 150
  myser1.LoadFrame(16)
  myser1.runallservo()
  Pause 300
End Function

Function SaltoFrontal()
  myser1.LoadFrame(16)
  myser1.runallservo()
  Pause 143
  myser1.LoadFrame(17)
  myser1.runallservo()
  Pause 150
  myser1.LoadFrame(14)
  myser1.runallservo()
  Pause 300
End Function

Function RodarAdelante()
  myser1.LoadFrame(9)
  myser1.runallservo()
  Pause 126
  myser1.LoadFrame(18)
  myser1.runallservo()
  Pause 80
  myser1.LoadFrame(19)
  myser1.runallservo()
  Pause 300
  myser1.LoadFrame(9)
  myser1.runallservo()
  Pause 300
End Function

Function RodarAdelante()
  myser1.LoadFrame(9)
  myser1.runallservo()
  Pause 126
  myser1.LoadFrame(20)
  myser1.runallservo()
  Pause 80
  myser1.LoadFrame(28)
  myser1.runallservo()
  Pause 300
  myser1.LoadFrame(9)
  myser1.runallservo()
  Pause 300
End Function

```

Figura 3. 47: Funciones de defensa.
Elaborado por: Autor.

3.5. Resultados obtenidos del sistema.

En esta última sección de este capítulo se presenta al lector los resultados y cómo fue posible la implementación físicamente en el robot Super Anthony para la visión en primera persona utilizando el transmisor de video con la cámara y también la programación.

En la figura 3.48 se muestra el montaje de la cámara owl2 y transmisor de video en el robot humanoide super Anthony, se conecta los cables correspondientes y una fuente de alimentación externa para las primeras pruebas.



Figura 3. 48: Montaje de cámara en robot super anthony.
Elaborado por: Autor.

Se configura el transmisor con una potencia de 200mW utilizando el canal R8 (raceband) con la banda 5917 MHz, permitiendo así acercarse lo más posible a la frecuencia de 6GHz, esto podría variar de acuerdo con la situación del espectro donde se vaya a competir.

En la figura 3.49 se presenta la prueba de transmisión y resultado, donde gracias a un receptor conectado a una pantalla LCD de 7 pulgadas se puede apreciar en tiempo real el video captado por la cámara owl2, también se puede apreciar en esta los detalles de batería y el tiempo encendido.



Figura 3. 49: Prueba de caminado con visión remota.
Elaborado por: Autor.

A partir de este punto se comprueba el funcionamiento de movilidad del robot super Anthony en campo, en la figura 3.50 se presenta el proyecto terminado con las pruebas realizadas, confirmando que la programación y transmisión de video en tiempo real ha sido un éxito.

Con este resultado, es posible que en investigaciones futuras poder implementar este sistema para analítica de video y automatización de los movimientos del robot, es posible además de realizar tareas peligrosas para los seres humanos con un mando a distancia y vista en tiempo real en primera persona, así, por ejemplo, si se desea manipular materiales peligrosos este puede ser adecuado para ello.

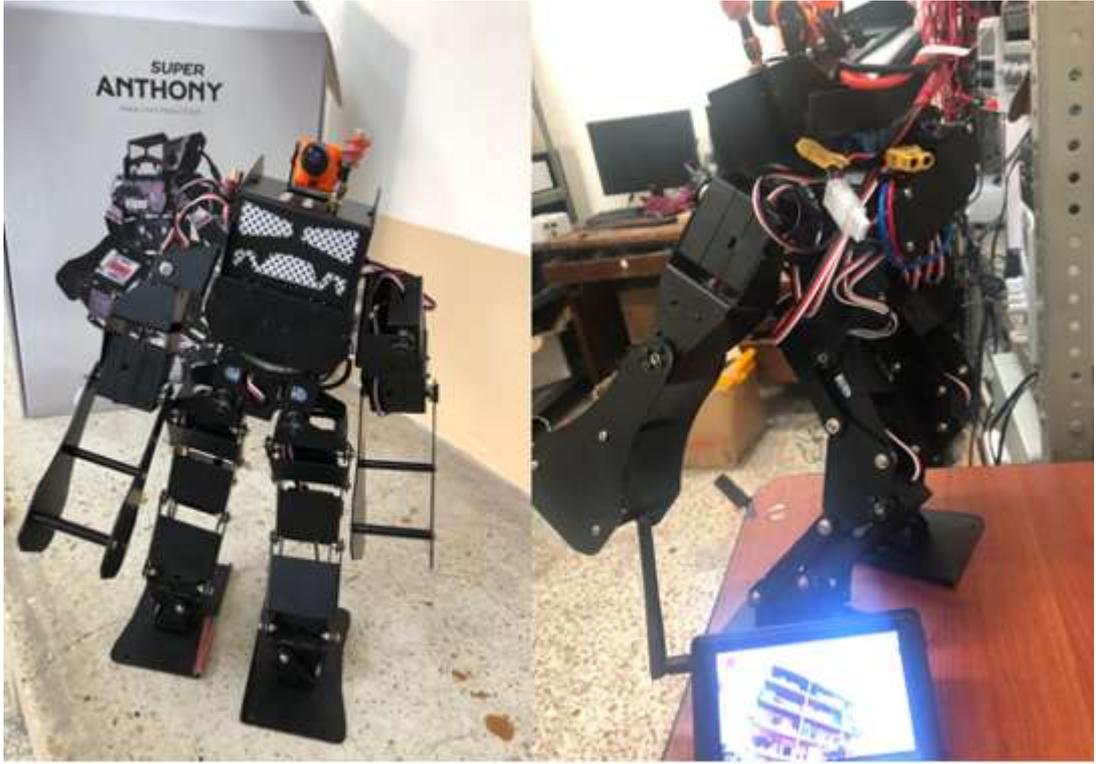


Figura 3. 50: Prueba real de robot super Anthony con visión remota implementada.
Elaborado por: Autor.

Conclusiones

1. La descripción teórica del estado del arte de la robótica en especial de los robots humanoides y del medio de comunicación inalámbrico fueron fundamentales para el desarrollo del capítulo 3.
2. La programación mediante la plataforma InnoBasic permitió que el robot humanoide pueda realizar correctamente los movimientos de movilidad de caminar y pelear.
3. Se comprobó que la visión remota del robot humanoide funciona correctamente y que no existe interferencias en la comunicación inalámbrica con el mando principal.

Recomendaciones

1. Realizar diferentes aplicaciones de autonomía con el robot humanoide aplicando inteligencia artificial.
2. Realizar una interfaz gráfica de usuario para el procesamiento de señales e imágenes digitales utilizando el robot humanoide.

Bibliografía

- Achig Ortiz, Á. O., & Lasluisa Naranjo, J. C. (2017). *Desarrollo de algoritmos para modelado de rutinas de ejercicios para rehabilitación física en mejora de la calidad y esperanza de vida de adultos mayores implementados en robot humanoide Nao*. (Trabajo de Titulación de Grado, Universidad Politécnica Salesiana). Recuperado de <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/14031>
- Bouziane, R., Terrissa, L. S., Ayad, S., Brethe, J.-F., & Kazar, O. (2017). A web services based solution for the NAO robot in cloud robotics environment. *2017 4th International Conference on Control, Decision and Information Technologies (CoDIT)*, 0809–0814. <https://doi.org/10.1109/CoDIT.2017.8102694>
- Chevallereau, C., Abba, G., Aoustin, Y., Plestan, F., Westervelt, E. R., Canudas-de-Wit, C., & Grizzle, J. W. (2003). RABBIT: A testbed for advanced control theory. *IEEE Control Systems*, 23(5), 57–79. <https://doi.org/10.1109/MCS.2003.1234651>
- Chibani, A., Amirat, Y., Mohammed, S., Matson, E., Hagita, N., & Barreto, M. (2013). Ubiquitous robotics: Recent challenges and future trends. *Robotics and Autonomous Systems*, 61(11), 1162–1172. <https://doi.org/10.1016/j.robot.2013.04.003>
- Hasaneini, S. J., Bertram, J. E., & Macnab, C. (2015). *Energy-Optimal Relative Timing of Stance-Leg Push-Off and Swing-Leg Retraction in Walking*. <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.2939.0248>
- Hobbelen, D., de Boer, T., & Wisse, M. (2008). System overview of bipedal robots Flame and TULip: Tailor-made for Limit Cycle Walking. *2008 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems*, 2486–2491. <https://doi.org/10.1109/IROS.2008.4650728>

- Honda. (2019). ASIMO Specifications | ASIMO Innovations by Honda. Recuperado el 26 de julio de 2019, de Asimo Honda website: <https://asimo.honda.com/asimo-specs/>
- Kajita, S., Kaneko, K., Kaneiro, F., Harada, K., Morisawa, M., Nakaoka, S., ... Hirukawa, H. (2011). Cybernetic Human HRP-4C: A Humanoid Robot with Human-Like Proportions. En C. Pradalier, R. Siegwart, & G. Hirzinger (Eds.), *Robotics Research* (Vol. 70, pp. 301–314). https://doi.org/10.1007/978-3-642-19457-3_18
- Nelson, G., Saunders, A., Neville, N., Swilling, B., Bondaryk, J., Billings, D., ... Raibert, M. (2012). PETMAN: A Humanoid Robot for Testing Chemical Protective Clothing. *Journal of the Robotics Society of Japan*, 30(4), 372–377. <https://doi.org/10.7210/jrsj.30.372>
- Sanfeliu, A., Hagita, N., & Saffiotti, A. (2008). Network robot systems. *Robotics and Autonomous Systems*, 56(10), 793–797. <https://doi.org/10.1016/j.robot.2008.06.007>
- Yu, O., Aikawa, H., Shimomura, K., Kondo, H., Morishima, A., Hun-ok, L., & Takanishi, A. (2006). Development of a new humanoid robot WABIAN-2. *Proceedings 2006 IEEE International Conference on Robotics and Automation, 2006. ICRA 2006.*, 76–81. <https://doi.org/10.1109/ROBOT.2006.1641164>



**Presidencia
de la República
del Ecuador**



**Plan Nacional
de Ciencia, Tecnología,
Innovación y Saberes**



SENESCYT
Secretaría Nacional de Educación Superior,
Ciencia, Tecnología e Innovación

DECLARACIÓN Y AUTORIZACIÓN

Yo, **Donoso Cruz, Andrés Eduardo** con C.C: # 092913282-7 autor del trabajo de titulación: Implementación del sistema de control de visión remota en robot humanoide en la ejecución de rutinas para torneos de robótica, previo a la obtención del título de **Ingeniero en Telecomunicaciones** en la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil.

1.- Declaro tener pleno conocimiento de la obligación que tienen las instituciones de educación superior, de conformidad con el Artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior, de entregar a la SENESCYT en formato digital una copia del referido trabajo de titulación para que sea integrado al Sistema Nacional de Información de la Educación Superior del Ecuador para su difusión pública respetando los derechos de autor.

2.- Autorizo a la SENESCYT a tener una copia del referido trabajo de titulación, con el propósito de generar un repositorio que democratice la información, respetando las políticas de propiedad intelectual vigentes.

Guayaquil, 13 de septiembre del 2019

f. _____

Nombre: **Donoso Cruz, Andrés Eduardo**

C.C: 092913282-7

REPOSITORIO NACIONAL EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA			
FICHA DE REGISTRO DE TESIS/TRABAJO DE TITULACIÓN			
TÍTULO Y SUBTÍTULO:	Implementación del sistema de control de visión remota en robot humanoide en la ejecución de rutinas para torneos de robótica.		
AUTOR(ES)	Donoso Cruz, Andrés Eduardo		
REVISOR(ES)/TUTOR(ES)	MSc. Bohórquez Heras, Daniel Bayardo		
INSTITUCIÓN:	Universidad Católica de Santiago de Guayaquil		
FACULTAD:	Universidad Católica de Santiago de Guayaquil		
PROGRAMA:	Facultad de Educación Técnica para el Desarrollo		
TÍTULO OBTENIDO:	Ingeniería en Telecomunicaciones		
FECHA DE PUBLICACIÓN:	13 de septiembre del 2019	No. DE PÁGINAS:	84
ÁREAS TEMÁTICAS:	Microcontroladores, Comunicaciones Inalámbricas		
PALABRAS CLAVES/KEYWORDS:	ROBÓTICA, ALGORITMOS, RUTINAS, VISIÓN, SISTEMA, HUMANOIDE.		
RESUMEN/ABSTRACT:	<p>El presente documento de titulación presenta la implementación del sistema de control de visión remota en robot humanoide para en la ejecución de rutinas para torneos de robótica a nivel local, nacional e internacional. El proyecto tiene como propósito dotar de un robot humanoide para las participaciones en concursos de robótica que sea robusto y eficiente para carrera y pelea de bípedos (también llamados humanoides), en comparación con dos trabajos de titulación desarrollados a priori, que no han logrado eficiencia en caminar y pelar. La primera parte se desarrolla las generalidades del trabajo de grado (introducción, antecedentes, definición del problema, justificación del problema a investigar, objetivo general, objetivos específicos, hipótesis y metodología de la investigación). La segunda parte se describe el estado del arte de la robótica en específico de los robots humanoides. Y finalmente, se muestra la parte de aplicación práctica en el sistema de control de visión remota implementado sobre el robot humanoide.</p>		
ADJUNTO PDF:	<input checked="" type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO	
CONTACTO CON AUTOR/ES:	Teléfono: +593-9-82446207	E-mail: andresdonoso215@gmail.com	
CONTACTO CON LA INSTITUCIÓN (COORDINADOR DEL PROCESO UTE):	Nombre: M. Sc. Palacios Meléndez, Edwin Fernando		
	Teléfono: 0967608298		
	E-mail: edwin.palacios@cu.ucsg.edu.ec		
SECCIÓN PARA USO DE BIBLIOTECA			
Nº. DE REGISTRO (en base a datos):			
Nº. DE CLASIFICACIÓN:			
DIRECCIÓN URL (tesis en la web):			