



**UNIVERSIDAD DE TALCA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL EN COMPUTACIÓN**

**Evasión de obstáculos con flujo óptico y redes  
neuronales para vehículos no tripulados**

**JORGE GÓMEZ VALDERRAMA**

Profesor Guía: MATTHEW BARDEEN

Memoria para optar al título de  
Ingeniero Civil en Computación

Curicó – Chile  
mes, año



**UNIVERSIDAD DE TALCA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL EN COMPUTACIÓN**

**Evasión de obstáculos con flujo óptico y redes  
neuronales para vehículos no tripulados**

**JORGE GÓMEZ VALDERRAMA**

Profesor Guía: MATTHEW BARDEEN

Profesor Informante: PROFESOR INFORMANTE 1

Profesor Informante: PROFESOR INFORMANTE 2

Memoria para optar al título de  
Ingeniero Civil en Computación

El presente documento fue calificado con nota: \_\_\_\_\_

Curicó – Chile

mes, año

*Dedicado a ...*

## AGRADECIMIENTOS

Agradecimientos a ...

## TABLA DE CONTENIDOS

	página
<b>Dedicatoria</b>	<b>I</b>
<b>Agradecimientos</b>	<b>II</b>
<b>Tabla de Contenidos</b>	<b>III</b>
<b>Índice de Figuras</b>	<b>V</b>
<b>Índice de Tablas</b>	<b>VI</b>
<b>Resumen</b>	<b>VII</b>
<b>1. Introducción</b>	<b>8</b>
1.1. Descripción del contexto . . . . .	8
1.2. Objetivos . . . . .	8
1.2.1. Objetivo general . . . . .	8
1.2.2. Objetivos específicos . . . . .	8
1.3. Alcances . . . . .	8
<b>2. Marco teórico</b>	<b>9</b>
2.1. Drones . . . . .	9
2.2. Mecanismos de percepción . . . . .	9
2.3. Software . . . . .	9
2.3.1. OpenCV . . . . .	9
2.3.2. OpenNN . . . . .	9
2.3.3. Flujo óptico . . . . .	9
2.3.4. Redes neuronales . . . . .	9
2.4. Hardware . . . . .	9
2.4.1. Robot omnidireccional . . . . .	9
2.4.1.1. Rueda omnidireccional . . . . .	9
2.4.1.2. Motores reductores . . . . .	9
2.4.1.3. Servo motores . . . . .	9

2.4.1.4. Controlador para motores . . . . .	9
2.4.2. Microcomputador . . . . .	9
2.4.3. Microcontrolador . . . . .	9
2.4.4. Camara . . . . .	9
<b>3. Implementación</b>	<b>10</b>
3.1. Flujo óptico . . . . .	10
3.1.1. Captura de flujo óptico . . . . .	10
3.1.2. Procesado de flujo óptico . . . . .	10
3.2. Red neuronal . . . . .	10
3.2.1. Diseño de capas . . . . .	10
3.2.2. Entrenamiento . . . . .	10
3.3. Robot omnidireccional . . . . .	12
<b>4. Pruebas</b>	<b>13</b>
<b>5. Resultados</b>	<b>16</b>
<b>Glosario</b>	<b>17</b>
<b>Anexos</b>	
<b>A: El Primer Anexo</b>	<b>19</b>
A.1. La primera sección del primer anexo . . . . .	19
A.2. La segunda sección del primer anexo . . . . .	19
A.2.1. La primera subsección de la segunda sección del primer anexo	19
<b>B: El segundo Anexo</b>	<b>20</b>
B.1. La primera sección del segundo anexo . . . . .	20

## ÍNDICE DE FIGURAS

página

## ÍNDICE DE TABLAS

página



## **RESUMEN**

Aquí va el resumen (en Castellano)...

# 1. Introducción

---

1.1. Descripción del contexto

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo general

1.2.2. Objetivos específicos

1.3. Alcances

## 2. Marco teórico

---

### 2.1. Drones

### 2.2. Mecanismos de percepción

### 2.3. Software

#### 2.3.1. OpenCV

#### 2.3.2. OpenNN

#### 2.3.3. Flujo óptico

#### 2.3.4. Redes neuronales

### 2.4. Hardware

#### 2.4.1. Robot omnidireccional

##### 2.4.1.1. Rueda omnidireccional

##### 2.4.1.2. Motores reductores

##### 2.4.1.3. Servo motores

##### 2.4.1.4. Controlador para motores

#### 2.4.2. Microcomputador

#### 2.4.3. Microcontrolador

#### 2.4.4. Camara

## 3. Implementación

---

### 3.1. Flujo óptico

#### 3.1.1. Captura de flujo óptico


#### 3.1.2. Procesado de flujo óptico

### 3.2. Red neuronal

#### 3.2.1. Diseño de capas

#### 3.2.2. Entrenamiento

Para entrenar la red neuronal se utiliza como entrada el flujo óptico obtenido de la captura de video de la pista de pruebas y como salida esperada la dirección en la cual se mueve el robot [agregar marco de referencia]. Para modificar los pesos al interior de la red, que se traduce como el aprendizaje de la red, se utiliza la técnica de backpropagation.

La generación de set de datos del cual la red aprende se hace por medio de un esquema [mejor traducción] “on-the-fly”, el cual tiene como objetivo que la red neuronal imite el comportamiento de un humano al realizar la misma tarea, la que cual es desplazar el robot por la pista de pruebas. Por lo que el flujo óptico y la dirección del robot se obtiene de la conducción manual del robot. 

La obtención del flujo óptico se hace desde la captura de video del recorrido del robot por la pista de pruebas. Ya que la respuesta de la red neuronal sobre el robot es, refleja solo sobre un eje de movimiento, solo importa rescatar desde las imágenes del

video la posición de la información de forma **horizontal** sin importar que tan arriba o abajo se encuentre dentro de la imagen, ya que **sin importar** la variación de este último parámetro la respuesta de red neuronal debería ser la misma. **Siguiendo** con este tópico y los alcances de las pruebas, no se necesita la información del flujo óptico que se registre de forma vertical, **solo tiene importancia para este caso el flujo que se registre en forma horizontal**. Esto permite simplificar los datos obtenidos desde las imágenes reduciendo la dimensión de los vectores obtenidos, de dos dimensiones a solo una.

Otra consideración en la obtención del flujo óptico es sobre la pista de pruebas, la cual entregara una imagen que es monótona de forma vertical **[mejor descripción?]**, es decir, si se analiza la imagen de forma vertical los datos que se obtendrán serán muy similares, lo que conlleva a poder reducir los datos que se necesitan obtener sin reducir la información que generaliza a toda la imagen, por lo que solo basta con tomar una franja horizontal de la imagen para tener la información necesaria para la entrada de la red neuronal.



Originalmente la representación del flujo óptico consta de un vector bidimensional por cada punto que se examine de la imagen, esta información se podría representar por dos vectores de dimensión  $n$ , donde  $n$  es la cantidad de puntos observados en la imagen, y un vector representaría la información del flujo óptico horizontal y otro vertical. Dada las consideraciones mencionadas anteriormente solo se necesita utilizar como vector de entrada para la red neuronal el que contenga la información del flujo óptico en el eje horizontal de la imagen, además la dimensionalidad de este se verá disminuida por la reducción de puntos a tomar en cuenta en la imagen.

La salida esperada de la red neuronal, que representa la dirección en la que se mueve el robot en forma horizontal y que será utilizada como parámetro para el entrenamiento por backpropagation, será obtenida por el seguimiento de los movimientos que realice el robot por medio de un sensor óptico de movimiento. La arquitectura de la red neuronal tendrá una sola salida la que estará normalizada [rango de la salida], por lo que la dirección del robot será representada por un solo valor.

Para lograr que la red neuronal aprenda se utiliza un entrenamiento del tipo “on-

the-fly” , el cual consiste en que la red logre imitar el comportamiento que tendría un humano al realizar la misma tarea, esto se logra entregando a la red un set de datos generados, en este caso, de la conducción manual del robot por la pista de pruebas, este set de datos consta del flujo óptico obtenido de la captura de video, que se utilizara como entrada de red neuronal, y de la dirección en la cual se movió el robot [agregar marco de referencia]

### **3.3. Robot omnidireccional**

## 4. Pruebas

---

Las pruebas que se realizan, para comprobar si la red neuronal es capaz evadir obstáculos, se dividen en dos etapas: La primera consta de mover el robot sobre la pista de pruebas sin colocar obstáculos, solo con información visual a los costados, la que será captada como flujo óptico, esta permitirá que el robot evite los bordes de la pista y sea capaz de centrarse dentro de esta. En la segunda etapa se mantendrá el esquema de la primera, además de incluir un obstáculo en la pista de pruebas, el que el robot tendrá que evadir.

Por cada una de las etapas se comprobará, de dos formas distintas, si la red neuronal está aprendiendo por medio del método de entrenamiento backpropagation, la primera es evaluando el aprendizaje con un set de datos distinto al del entrenamiento, aquí se evalúa cuanto difiere la salida esperada con la que entrega la red. Esta diferencia se considera “test error” (error de prueba) y esta será obtenida por la técnica de “Validation Set Approach” (enfoque de conjunto de validación) la que consiste en dejar parte del conjunto de entrenamiento para validar cuan efectivo fue este.

[completar cuantos datos de entrenamiento fueron y cuantos se dejaron para validation set approach] la implementación de la red reordena de forma aleatoria el conjunto de datos y desde este crea un conjunto de datos para las pruebas La cuantificación del error se realiza midiendo el porcentaje de efectividad de la red, contando la cantidad de veces que la salida de la red es una respuesta esperada, para saber si la salida satisface esta condición se establece un margen de aceptación de [porcentaje de aceptación], para qué se considere un entrenamiento efectivo la eficacia de la red debe estar sobre un [porcentaje de efectividad]

La segunda comprobación de entrenamiento se realizará de forma empírica, comparando el comportamiento de la conducción manual del robot, contra la conducción autónoma guiada por la red neuronal, cada vez que el robot se desplace por la pista de pruebas se deja registro de su desplazamiento, por lo que se puede comparar el recorrido realizado de forma manual y el de forma autónoma. Para considerar la prueba exitosa la desviación de las dos trayectorias no debe ser mayor a [medida de desviación].

La obtención del conjunto de datos, para realizar las pruebas, consta de conducir de forma manual el robot repetidas veces por la pista de pruebas, colocando el robot en posiciones definidas al comienzo de la pista y dirigiéndolo hasta el final de esta.

Para la primera etapa, sin importar la posición de inicio, tiene como objetivo mover el robot al centro de la pista direccionándolo solo de forma horizontal [mejorar descripción del movimiento de robot, para que de esta forma la red neuronal pueda aprender a direccionar el robot evadiendo los bordes de la pista].

En la segunda etapa se posicionará un obstáculo dentro de la pista, al igual que en la primera etapa, también se deberá centrar el robot dentro de la pista, pero al enfrentarse a un obstáculo este debe ser evadido.

Para realizar la recopilación de datos, el inicio de la pista será dividido en [n] secciones iguales la que estarán divididas en [cm] una de otra, de donde comenzará el robot, por cada una de estas secciones se registrarán [n] recorridos del robot sobre la pista, obteniendo la información de flujo óptico y el recorrido echo por este. El recorrido registrado será a una velocidad constante [velocidad del robot] y recorrerá una distancia de [distancia a recorrer].

Para la recopilación de datos con obstáculos, se utilizará el mismo esquema anterior, pero se posicionará un obstáculo dentro de la pista en distintas posiciones predefinidas, estas posiciones son representadas dentro de la pista por una matriz, la cual será de [n] filas y [m] columnas, la separación entre las filas y las columnas será igual y de [cm], y estará posicionada en la pista a [distancia] del inicio de la pista y centrada con respecto a los bordes. Por cada obstáculo se recopilarán los datos [n] veces por



cada posición de inicio de la pista.

La construcción de la pista de pruebas necesita de un material que proporcione tracción a las ruedas del robot, por lo que se decidió utilizar una alfombra de cubre pisos de 1 metro de ancho y 4 metros de largo, de color beige para proporcionar mayor contraste frente a los obstáculos, los bordes de la pista tendrán un alto de [cm] con un patrón regular líneas verticales blancas y negras de [cm] de ancho.

## 5. Resultados

---

# Glosario

**El primer término:** Este es el significado del primer término, realmente no se bien lo que significa pero podría haberlo averiguado si hubiese tenido un poco mas de tiempo.

**El segundo término:** Este si se lo que significa pero me da lata escribirlo...

**ANEXOS**

# **A. El Primer Anexo**

---

Aquí va el texto del primer anexo...

## **A.1. La primera sección del primer anexo**

Aquí va el texto de la primera sección del primer anexo...

## **A.2. La segunda sección del primer anexo**

Aquí va el texto de la segunda sección del primer anexo...

### **A.2.1. La primera subsección de la segunda sección del primer anexo**

## B. El segundo Anexo

---

Aquí va el texto del segundo anexo...

### B.1. La primera sección del segundo anexo

Aquí va el texto de la primera sección del segundo anexo...