

Índice

1. Introducción	1
1.1. Introducción general	1
1.2. Estado del arte	2
1.2.1. Viveros frutales	2
1.2.2. Visión estéreo	2
1.2.3. Robot móvil	5
1.3. Revisión bibliográfica	7
1.3.1. Trabajos previos	7
1.4. Discusión	11
1.5. Hipótesis	12
1.6. Objetivos	12
1.6.1. Objetivo general	12
1.6.2. Objetivos específicos	12
1.7. Alcances del proyecto	13
1.8. Metodología	14
2. Aplicación de visión estéreo para medición de calibre	15
2.1. Definición de lenguaje de programación a utilizar	15
2.2. Cálculo y obtención del ancho de un objeto a través de una imagen	16
2.2.1. Obtención de imagen	18
2.2.2. Búsqueda de bordes	18
2.2.3. Búsqueda de líneas rectas	21
2.2.4. Cálculo de ancho o diámetro en píxeles	22
2.2.5. Transformación de píxeles a milímetros	23
2.3. Cálculo de profundidad mediante visión estéreo	24
2.3.1. Geometría del sistema	24
2.3.2. Calibración de cámaras individuales	26
2.3.3. Calibración de las cámaras como par estereoscópico	29
2.3.4. Correspondencia estéreo	31
2.3.5. Cálculo de distancia mediante uso de visión estéreo	33
2.3.6. Comentarios	37
2.4. Implementación de algoritmos en un ordenador de placa reducida	38
2.4.1. Justificación	38
2.4.2. Depuración de códigos	39
2.4.3. Algoritmos depurados aplicados en Raspberry Pi 4	39
2.5. Especificación de materiales utilizados para pruebas	41
2.5.1. Especificaciones técnicas de la cámara web Logitech C270 HD.	41
2.5.2. Planos de sistema de sujeción	42
3. Diseño de robot móvil para transporte de instrumento de medición estéreo	43
3.1. Robot móvil tipo diferencial	43
3.1.1. Requerimientos	43
3.1.2. Selección de componentes	43
3.2. Diseño 3D del robot móvil	45

3.2.1.	Análisis de elemento finito	46
4.	Diseño electrónico	49
4.1.	Requerimientos del sistema	49
4.2.	Selección de componentes electrónicos	50
4.2.1.	Selección de método de movimiento autónomo	50
4.2.2.	Selección de motores DC	52
4.2.3.	Controlador de motores - puente H	53
4.2.4.	Seguidor de línea	53
4.2.5.	Microcontrolador	53
4.2.6.	Alimentación de componentes	54
4.2.7.	Selección de batería	54
4.3.	Diagramas de conexión	55
4.4.	Programa Arduino UNO	56
4.5.	Clasificación de calibre	57
4.5.1.	Componentes	58
4.5.2.	Comunicación I2C	58
4.5.3.	Diagrama de conexión	59
4.5.4.	Programación	60
5.	Resultados experimentales	62
5.1.	Primer acercamiento de prueba a la programación con OpenCV y C++	62
5.2.	OpenCV y Python	63
5.2.1.	Obtención de imágenes para la calibración de cámaras	63
5.2.2.	Cálculo de distancia	64
5.2.3.	Cálculo de diámetro	67
5.3.	Implementación de sistema de prueba para visión estereoscópica	75
5.4.	Resultados finales aplicados en Raspberry Pi 4	78
5.5.	Aplicación de movimiento a robot móvil	80
6.	Conclusiones	84
6.1.	Sumario	84
6.2.	Conclusiones	86
6.3.	Plan de cierre	87
6.4.	Trabajos futuros	87
7.	Anexos	91
A.	Especificaciones de ordenador en primera iteración de creación de algoritmos	91
B.	Especificaciones técnicas de la Raspberry Pi 4.	92
C.	Planos de robot	93
D.	Planos de sistema de sujeción	99
E.	Código depurado para uso en <i>Raspberry Pi 4</i>	103
E.a.	Código principal	103
E.b.	Calibración de cámaras	104
E.c.	Detección de objetivo	106
E.d.	Cálculo de distancia	108

E.e.	Cálculo de diámetro	110
E.f.	Programa Arduino UNO seguidor de línea	113

Índice de Figuras

1.1.	1. Córnea, 2. Iris, 3. Cristalino, 4. Cuerpo ciliar, 5. Esclera, 6. Coroides, 7. Retina, 8. Nervio óptico, 9. Canal hialoideo, 10. Humor vítreo, 11. Ora serrata. [4]	3
1.2.	Robot tipo diferencial diseñado para el proyecto.	6
1.3.	Resultados experimentales de la implementación de visión estéreo en la navegación autónoma de vehículos tripulados. Experimento de medición de distancia. Extraído de [13].	8
1.4.	Vista ampliada de definición de valores límites en interfaz gráfica para la clasificación según tamaño. [16]	9
1.5.	Resultado obtenido para la detección y cuantificación de defectos. [17] .	10
2.1.	Resultado obtenido de un modelado 3D con Regard 3D.	15
2.2.	Resultado de la ejecución del Código 5.1.	17
2.3.	Diagrama de flujo de los procedimientos realizados para el cálculo de ancho o diámetro de un tronco.	18
2.4.	Tránsito de un kernel. Extraído de [20].	19
2.5.	Ejemplo imagen con aplicación de algoritmo de Canny. Extraído de [21].	21
2.6.	Configuración Canónica de un sistema estéreo [24].	24
2.7.	Relación Geométrica de un Sistema de Visión Estereoscópica [26]. . . .	25
2.8.	Modelo básico de una cámara. Extraído de [27].	27
2.9.	Diagrama de flujo que describe el proceso de obtención de distancia con visión estéreo.	34
2.10.	Fotografía izquierda y derecha captadas y rectificadas. Extraído de [30].	35
2.11.	Cinco direcciones consideradas en el algoritmo <i>SGBM</i>	36
2.12.	Ejemplo de aplicación de la eliminación de ruidos según <i>MorphologyEx</i> de clase "close". Extraído de [32].	37
2.13.	Raspberry Pi 4 en donde se implementa el proyecto de visión estéreo. .	38
2.14.	Diagrama de flujo explicativo de algoritmo depurado para implementación en raspberry pi 4.	40
2.15.	Sistema par el montaje de las cámaras web ensamblado.	42
3.1.	Diseño de la rueda.	44
3.2.	Diseño de la rueda loca.	44
3.3.	Modelo 3D del robot móvil.	45
3.4.	Plano y distribución de componentes sobre placa inferior.	46
3.5.	Plano y distribución de componentes en placa superior del robot. . . .	47
3.6.	Modelo 3D del conjunto motor - rueda.	47
3.7.	Análisis estático, tensión de Von Misses.	48
4.1.	Diagrama de conexión para circuito de alimentación del robot.	56
4.2.	Diagrama de conexión para circuito de control del robot.	56
4.3.	Montaje de sensores reflectivos infrarrojos.	57
4.4.	Pantalla LCD LCM-S01602DTR. Extraído de [41].	58
4.5.	Módulo interfaz serial I2C. Extraído de [43].	59
4.6.	Estructura de un mensaje I2C. Extraído de [44].	60
4.7.	Diagrama de conexión para visualizar resultados en pantalla LCD. . . .	60
5.1.	Curva de comportamiento y curva aproximada con la función de cuarto orden.	67

5.2. Imágenes de prueba obtenidas.	69
5.3. Líneas detectadas gracias a las funciones en el Código 5.12.	70
5.4. Resultado de la superposición de imágenes.	71
5.5. Gráfico para la aproximación de una curva y su función.	74
5.6. Montaje de cámaras en sistema de sujeción.	75
5.7. Imagen para la calibración de las cámaras.	76
5.8. Disposición de materiales en el espacio físico de pruebas.	76
5.9. Mapa de profundidad que entrega la distancia de las cámaras al objeto de estudio.	77
5.10. Resultado final, listo para la clasificación.	78
5.11. Situación de estudio.	78
5.12. Resultado de la detección de objetivo y ubicación aproximada de su centro.	79
5.13. Espacio de trabajo del sistema estéreo para correctas mediciones.	79
5.14. Resultado de aplicación de algoritmos en Raspberry Pi 4.	80
5.15. Mensajes finales del resultado de aplicación de algoritmos en Raspberry Pi 4.	80
5.16. Simulación de comportamiento seguimiento de línea. Recorrido en línea recta.	81
5.17. Simulación de comportamiento seguimiento de línea. Giro a la izquierda.	82
5.18. Simulación de comportamiento seguimiento de línea. Giro a la derecha.	83
7.1. Placa inferior robot móvil.	93
7.2. Placa superior robot móvil.	94
7.3. Placa frontal robot móvil.	95
7.4. Placa lateral robot móvil.	96
7.5. Distribución de componentes en la placa inferior.	97
7.6. Distribución de componentes en la placa superior.	98
7.7. Pieza de agarre para cámara web.	99
7.8. Pieza de anclaje de dos cámaras.	100
7.9. Pieza base, para la estabilización y postura en superficies.	101
7.10. Pieza base modificada para montaje en robot móvil.	102

Índice de Tablas

1.1. Terminología empleada para el calibre de la planta [3].	2
2.1. Especificaciones técnicas de <i>Webcam Logitech C270 HD</i>	42
3.1. Propiedades del acrílico. Información extraída de [33].	43
4.1. Matriz de priorización para elección de control de movimiento de robot.	51
4.2. Parámetros de funcionamiento del robot.	52
4.3. Componentes conectados a microcontrolador.	54
4.4. Consumo máximo de componentes conectados a la batería.	55
7.1. Especificaciones técnicas computador de pruebas.	91