



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

**Planeación de movimientos
para manipulación de
objetos en robots de servicio
doméstico**

TESIS

Que para obtener el título de
Ingeniera Eléctrica Electrónica

P R E S E N T A

Biddy Itzel González Jiménez

DIRECTOR DE TESIS

Dr. Marco Antonio Negrete Villanueva



Ciudad Universitaria, Cd. Mx., 2024



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas

Tesis Digitales

Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©

PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

*Dedicado a Rodrigo Savage,
quien me mostró ese mundo
de robots que solo conocía en
las novelas de Issac Asimov
y que me inspiró a seguir el
camino de la ingeniería.
Gracias amigo.*

Agradecimientos

- A mi madre, pues sin ella no lo hubiera logrado. Gracias por todo tu apoyo, tu amor y paciencia conmigo.
- A Dalia, por motivarme a seguir mis metas aun cuando tenía ganas de renunciar.
- A mis hermanos Yotecatl y Tlacaélel porque con su compañía y sus consejos, los momentos difíciles se volvían mas amenos.
- A mi padre porque con los libros y videojuegos que me mostraba desde temprana edad despertó en mi la curiosidad y fascinación por la tecnología.
- Gracias al Dr. Savage por promover la robótica en el país y por invitarme a trabajar en el laboratorio de Bio-Robótica de la UNAM.
- Este trabajo se elaboró con apoyo del proyecto PAPIIT 102424 "Modelos lógico probabilísticos para el desarrollo de robots móviles autónomos".

Índice general

1. Introducción	6
1.1. Motivación	7
1.2. Planteamiento del problema	8
1.3. Hipótesis	8
1.4. Objetivos	9
1.4.1. Objetivo general	9
1.4.2. Objetivos particulares	9
1.5. Descripción del documento	9
2. Marco Teórico	11
2.1. Robots de servicio	11
2.1.1. Clasificación	11
2.1.2. El manipulador robótico	13
2.2. Planeación para manipulación	13
2.3. Trabajos relacionados	15
2.3.1. <i>MoveIt!</i>	18
2.4. Espacio de configuración	18
2.4.1. Articulaciones robóticas	18
2.4.2. Espacio de tareas y espacio de trabajo	19
2.5. Representación de posición y orientación	19
2.5.1. Posición y desplazamiento	19
2.5.2. Orientación y rotación	20
2.5.3. Composición de rotaciones	21
2.5.4. Parametrización de rotaciones	21
2.5.5. Transformaciones homogéneas	22
2.5.6. Árbol de transformaciones homogéneas	23
3. Detección y localización de objetos	26
3.1. Adquisición de datos con <i>Kinect</i>	27
3.2. Segmentación de imagen	29

3.2.1.	Segmentación por agrupamiento de píxeles en base al color	29
3.2.2.	Agrupamiento por color usando el algoritmo <i>k-Medias</i>	29
3.3.	Detección de objetos en la escena	30
3.3.1.	Pre-procesamiento de la imagen	31
3.3.2.	Cuantización por color de la imagen	31
3.3.3.	Detección de contornos	32
3.4.	Orientación mediante PCA	34
3.4.1.	Estimación de la posición del objeto	34
3.4.2.	Estimación de la orientación del objeto	35
3.4.3.	Procesamiento de la nube de puntos	37
3.4.4.	Construcción del sistema coordenado del objeto	38
3.4.5.	Estimación de la geometría del objeto	40
4.	Planeación de movimientos	43
4.1.	Descripción del manipulador	44
4.1.1.	Puntos de singularidad	44
4.2.	Cinemática del manipulador	45
4.2.1.	Cinemática Directa	45
4.3.	Cinemática inversa	46
4.4.	Cinemática diferencial	47
4.5.	Matriz Jacobiana	47
4.5.1.	Jacobiano Geométrico	47
4.5.2.	Jacobiano Analítico	48
4.6.	Algoritmo de cinemática inversa	49
4.6.1.	Matriz Jacobiana inversa	50
4.6.2.	Soluciones cerradas	51
4.6.3.	Soluciones numéricas	51
4.6.4.	El método de Newton-Raphson	51
4.6.5.	Cálculo numérico del Jacobiano	52
4.6.6.	Planeación de trayectorias para mejorar la convergen- cia de N-R	53
4.7.	Planeación de trayectorias	54
4.8.	Reglas de agarre propuestas	57
4.8.1.	Utilización de la caja delimitadora del objeto	57
4.8.2.	Utilización de la orientación del objeto	57
4.8.3.	Inclinación del objeto	57
4.8.4.	Utilización del sistema coordenado del objeto	58
4.8.5.	Tipos de agarre definidos	59
4.8.6.	Implementación de las reglas de agarre	60
4.8.7.	Regla de agarre para objetos tipo cilindro/barra	60

4.8.8. Objeto plano/caja	64
4.8.9. Objeto esférico/cuboide	67
4.9. Modelo Dinámico del Manipulador	68
4.9.1. Control proporcional derivativo con compensación de gravedad(PD+)	69
4.9.2. Implementación del controlador	70
5. Resultados	72
5.1. Implementación en ROS	72
5.1.1. El simulador Gazebo	72
5.1.2. Nodos de ROS creados	73
5.2. Pruebas del control de posición	74
5.3. Pruebas de agarre de objetos	74
5.4. Integración del sistema a las tareas de servicio	77
5.4.1. Pruebas para la liga Robocup@Home	85
6. Discusión	87
6.1. Conclusiones	87
6.2. Trabajo futuro	88