

Planeación de acciones usando un sistema
basado en reglas para robots de servicio
doméstico

Luis Sergio Cano Olguin

Tutor: Dr. Jesús Savage Carmona

Agradecimientos

Resumen

Índice general

1. Introducción	1
1.1. Contexto y Motivación	1
1.2. Problemática: Sistemas Puramente Basados en Reglas en Entornos Dinámicos	1
1.3. Hipótesis: La Complementariedad entre Sistemas Simbólicos (CLIPS) y Subsimbólicos (ChatGPT/Qwen)	1
1.4. Objetivos	1
2. Antecedentes y Estado del Arte	3
2.1. Sistemas Basados en Reglas en Robótica: Historia y Aplicaciones	3
2.2. El Lenguaje CLIPS: Características, Ventajas y Limitaciones .	3
2.3. Enfoques Modernos: Aprendizaje Automático (ML) y Redes Neuronales en Robótica	3
2.4. Sistemas Híbridos: Combinando la Predictibilidad de las Reglas con la Flexibilidad del ML	3
3. Marco Teórico y Conceptual	5
3.1. Arquitectura de un Sistema de Planeación de Acciones Jerárquico	6
3.2. Fundamentos de los Sistemas de Producción (Rule-Based Systems)	6

3.3.	Introducción a los Modelos de Lenguaje Grande (LLMs) y ChatGPT	6
3.4.	Integración de Traductores de Lenguaje Natural con Sistemas Basados en Reglas	6
3.4.1.	Utilidad y Función de la Integración	6
3.4.2.	Funcionamiento de la Integración CLIPS-Lenguaje Natural	6
3.4.3.	Descripción de Tecnologías: CLIPS, ChatGPT y Qwen2.5-0.5B	6
3.5.	ChatGPT como Agente de Planificación Autónomo	6
3.5.1.	Capacidades de Planificación de LLMs vs. Sistemas Basados en Reglas	6
3.5.2.	Arquitectura de Planificación Dual: CLIPS y ChatGPT como Motores Complementarios	6
3.5.3.	Mecanismos de Selección y Validación de Planes	6
3.5.4.	Ventajas y Riesgos de la Planificación con LLMs en Robótica	6
4.	Metodología: Diseño del Sistema Híbrido CLIPS-ChatGPT/Qwen	7
4.1.	Diseño del Sistema Basado en Reglas con CLIPS	8
4.1.1.	Definición del Conjunto de Reglas Jerárquicas	8
4.1.2.	Priorización de Acciones Críticas y Gestión de Emergencias	8
4.1.3.	Representación del Conocimiento y Hechos en la Base de Datos de CLIPS	8
4.2.	Integración de ChatGPT/Qwen como Sistema Complementario	8
4.2.1.	Funciones Asignadas al Módulo de Lenguaje Natural .	8
4.2.2.	Protocolo de Comunicación entre CLIPS y los Modelos de Lenguaje	8

4.2.3. Mecanismos de Seguridad y Validación para las Res- puestas del LLM	8
4.3. Implementación de Planificación Dual	8
4.3.1. Diseño del Módulo de Planificación con ChatGPT	8
4.3.2. Protocolos de Prompting para Generación de Planes Robóticos	8
4.3.3. Mecanismo de Selección entre Planes CLIPS vs. ChatGPT	8
4.3.4. Validación y Simulación de Planes Antes de Ejecución .	8
5. Implementación	9
5.1. Entornos de Desarrollo: Simulación y Plataforma Física	9
5.2. Implementación del Motor de Reglas en CLIPS	9
5.3. Desarrollo del Módulo de Integración	9
5.4. Configuración de la Interfaz con API de OpenAI para ChatGPT o Modelo Qwen Local	9
5.5. Casos de Prueba para Validar la Interacción entre los Módulos	9
6. Escenarios de Validación y Experimentación	11
6.1. Diseño de Experimentos en Entornos Controlados	11
6.1.1. Escenario 1: Ejecución de Tareas Predefinidas (solo CLIPS)	11
6.1.2. Escenario 2: Gestión de Órdenes Imprecisas o Novedoso- sas (CLIPS + ChatGPT/Qwen)	11
6.1.3. Escenario 3: Respuesta a Eventos Inesperados o Fallos	11
6.1.4. Escenario 4: Planificación Dual para Tareas Complejas (CLIPS vs. ChatGPT)	11
6.2. Métricas de Evaluación	12
6.2.1. Métricas Cuantitativas: Tiempo de Ejecución, Tasa de Éxito, Uso de Recursos Computacionales	12
6.2.2. Métricas Cualitativas: Robustez, Interpretabilidad y Fluidez en la Interacción Humano-Robot	12

7. Análisis de Resultados	13
7.1. Comparativa del Rendimiento del Sistema Solo-CLIPS vs. el Sistema Híbrido	13
7.2. Evaluación de la Efectividad de ChatGPT/Qwen en las Diferentes Funciones Asignadas	13
7.3. Discusión de Limitaciones y Errores	13
7.4. Análisis de la Escalabilidad y el Coste Computacional de la Integración	13
8. Discusión	15
8.1. Interpretación de los Resultados en el Contexto de los Objetivos	15
8.2. Ventajas y Desventajas del Enfoque Híbrido Propuesto	15
8.3. Implicaciones para la Seguridad y Certificación en Entornos Regulados	15
8.4. Límites Éticos y Prácticos del Uso de ChatGPT/Qwen en Robótica	15
9. Contribuciones y Relevancia	17
9.1. Contribución Técnica: Marco Híbrido Escalable y Documentado	17
9.2. Relevancia Práctica: Aplicaciones en Salud, Industria y Logística	17
9.3. Relevancia Académica: Benchmark para Sistemas Rule-Based vs. Híbridos	17
10. Conclusiones y Trabajo Futuro	19
10.1. Conclusiones Principales	19
10.2. Propuestas de Trabajo Futuro	19

Índice de figuras

Índice de algoritmos

Capítulo 1

Introducción

La robótica de servicio doméstico representa uno de los campos de mayor proyección en la inteligencia artificial y la automatización, con aplicaciones que van desde la asistencia a personas mayores hasta la gestión autónoma de entornos residenciales. En este contexto, la planificación de acciones —es decir, la capacidad de un robot para descomponer objetivos de alto nivel en secuencias ejecutables— es un desafío central, particularmente en entornos dinámicos y no estructurados donde interactúan humanos, objetos móviles y tareas imprevistas.

Los sistemas basados en reglas, como los implementados en motores de inferencia del tipo CLIPS, han demostrado ser robustos y predecibles en escenarios estructurados, como líneas de producción o laboratorios controlados. Su fortaleza radica en la transparencia del razonamiento simbólico y la capacidad de priorizar acciones críticas, como la evitación de colisiones o la gestión de emergencias. Sin embargo, su rigidez los hace poco adaptables ante variaciones no previstas en el entorno o ante comandos expresados en lenguaje natural con alto grado de ambigüedad o complejidad.

Recientemente, los modelos de lenguaje grande (LLMs), como ChatGPT o Qwen, han emergido como herramientas capaces de interpretar y generar lenguaje natural, e incluso de actuar como agentes de planificación autónoma.

mos. Su flexibilidad contextual permite traducir instrucciones verbales en secuencias de acciones, complementando así la solidez de los sistemas basados en reglas. No obstante, su naturaleza probabilística y la falta de garantías formales de seguridad limitan su uso directo en aplicaciones robóticas donde la integridad física y la predictibilidad son prioritarias.

Esta tesis propone un sistema híbrido de planificación de acciones que integra un motor de reglas CLIPS con modelos de lenguaje natural (ChatGPT/Qwen), aprovechando las ventajas de ambos enfoques: la previsibilidad y seguridad de CLIPS, y la adaptabilidad y capacidad de comprensión lingüística de los LLMs. El sistema se implementa y valida en el robot de servicio doméstico Justina, desarrollado en el Laboratorio de Bio-Robótica de la UNAM, utilizando ROS 2 como marco de integración.

Los objetivos específicos incluyen:

Diseñar un conjunto jerárquico de reglas en CLIPS para priorizar acciones críticas.

Integrar un módulo de lenguaje natural que traduzca comandos verbales a hechos estructurados en CLIPS.

Implementar un esquema de planificación dual que permita tanto a CLIPS como a ChatGPT generar planes concurrentes.

Desarrollar mecanismos de selección y validación de planes basados en criterios de seguridad, eficiencia y contexto.

Validar el sistema en escenarios realistas mediante simulaciones y pruebas con el robot físico.

La contribución principal de este trabajo es un marco metodológico y tecnológico para la planificación híbrida en robótica de servicio, que combina razonamiento simbólico y subsimbólico, manteniendo altos estándares de seguridad y transparencia. Los resultados esperados incluyen una mejora en la capacidad del robot para interpretar comandos complejos, adaptarse a situaciones novedosas y garantizar respuestas seguras en entornos domésticos dinámicos.

1.1. Contexto y Motivación

1.2. Problemática: Sistemas Puramente Basados en Reglas en Entornos Dinámicos

1.3. Hipótesis: La Complementariedad entre Sistemas Simbólicos (CLIPS) y Subsimbólicos (ChatGPT/Qwen)

1.4. Objetivos

Capítulo 2

Antecedentes y Estado del Arte

- 2.1. Sistemas Basados en Reglas en Robótica:
Historia y Aplicaciones**
- 2.2. El Lenguaje CLIPS: Características, Ven-
tajas y Limitaciones**
- 2.3. Enfoques Modernos: Aprendizaje Automáti-
co (ML) y Redes Neuronales en Robóti-
ca**
- 2.4. Sistemas Híbridos: Combinando la Pre-
dictibilidad de las Reglas con la Flexibi-
lidad del ML**

Capítulo 3

Marco Teórico y Conceptual

- 3.1. Arquitectura de un Sistema de Planeación de Acciones Jerárquico
- 3.2. Fundamentos de los Sistemas de Producción (Rule-Based Systems)
- 3.3. Introducción a los Modelos de Lenguaje Grande (LLMs) y ChatGPT
- 3.4. Integración de Traductores de Lenguaje Natural con Sistemas Basados en Reglas
 - 3.4.1. Utilidad y Función de la Integración
 - 3.4.2. Funcionamiento de la Integración CLIPS-Lenguaje Natural
 - 3.4.3. Descripción de Tecnologías: CLIPS, ChatGPT y Qwen2.5-0.5B
- 3.5. ChatGPT como Agente de Planificación Autónomo

Capítulo 4

Metodología: Diseño del Sistema Híbrido CLIPS-ChatGPT/Qwen

4.1. Diseño del Sistema Basado en Reglas con CLIPS

- 4.1.1. Definición del Conjunto de Reglas Jerárquicas
- 4.1.2. Priorización de Acciones Críticas y Gestión de Emergencias
- 4.1.3. Representación del Conocimiento y Hechos en la Base de Datos de CLIPS

4.2. Integración de ChatGPT/Qwen como Sistema Complementario

- 4.2.1. Funciones Asignadas al Módulo de Lenguaje Natural
- 4.2.2. Protocolo de Comunicación entre CLIPS y los Modelos de Lenguaje
- 4.2.3. Mecanismos de Seguridad y Validación para las Interacciones

Capítulo 5

Implementación

- 5.1. Entornos de Desarrollo: Simulación y Plataforma Física
- 5.2. Implementación del Motor de Reglas en CLIPS
- 5.3. Desarrollo del Módulo de Integración
- 5.4. Configuración de la Interfaz con API de OpenAI para ChatGPT o Modelo Qwen Local
- 5.5. Casos de Prueba para Validar la Interacción entre los Módulos

Capítulo 6

Escenarios de Validación y Experimentación

6.1. Diseño de Experimentos en Entornos Controlados

6.1.1. Escenario 1: Ejecución de Tareas Predefinidas (solo CLIPS)

6.1.2. Escenario 2: Gestión de Órdenes Imprecisas o Novedosas (CLIPS + ChatGPT/Qwen)

6.1.3. Escenario 3: Respuesta a Eventos Inesperados o Fallos

6.1.4. Escenario 4: Planificación Dual para Tareas Complejas (CLIPS vs. ChatGPT)

- Comparativa de eficiencia en generación de planes

- Evaluación de robustez ante escenarios novedosos
- Análisis de seguridad en planes generados por LLMs

6.2. Métricas de Evaluación

6.2.1. Métricas Cuantitativas: Tiempo de Ejecución, Tasa de Éxito, Uso de Recursos Computacionales

6.2.2. Métricas Cualitativas: Robustez, Interpretabilidad y Fluidez en la Interacción Humano-Robot

Capítulo 7

Análisis de Resultados

- 7.1. Comparativa del Rendimiento del Sistema Solo-CLIPS vs. el Sistema Híbrido
- 7.2. Evaluación de la Efectividad de ChatGPT/Qwen en las Diferentes Funciones Asignadas
- 7.3. Discusión de Limitaciones y Errores
- 7.4. Análisis de la Escalabilidad y el Coste Computacional de la Integración

Capítulo 8

Discusión

- 8.1. Interpretación de los Resultados en el Contexto de los Objetivos
- 8.2. Ventajas y Desventajas del Enfoque Híbrido Propuesto
- 8.3. Implicaciones para la Seguridad y Certificación en Entornos Regulados
- 8.4. Límites Éticos y Prácticos del Uso de ChatGPT/Qwen en Robótica

Capítulo 9

Contribuciones y Relevancia

- 9.1. Contribución Técnica: Marco Híbrido Escalable y Documentado**
- 9.2. Relevancia Práctica: Aplicaciones en Salud, Industria y Logística**
- 9.3. Relevancia Académica: Benchmark para Sistemas Rule-Based vs. Híbridos**

Capítulo 10

Conclusiones y Trabajo Futuro

10.1. Conclusiones Principales

10.2. Propuestas de Trabajo Futuro

- Fine-tuning de un LLM de código abierto para dominio específico
- Mejora de los mecanismos de seguridad y verificación
- Exploración de arquitecturas de integración más profundas