

Conclusiones

El análisis de los objetivos una vez concluida la tesis es importante, ya que nos da una perspectiva general de lo que se logró realizar o qué tan distante se quedó.

Respecto al transporte y toma de cubos, el objetivo se cumple satisfactoriamente; queda abierta la posibilidad de detectar si un cubo se cae de las bandas o si está atorado en las llantas.

El protocolo de comunicación con notificación fue desarrollado exitosamente, esta sección de código puede ser implementada en otros robots que utilicen NQC como lenguaje de desarrollo.

La código utilizado fue hecho de manera modular que fue uno de los objetivos en cuanto a diseño de software se refiere, es decir que se implementó una sección de código para cada tarea que se deseara realizar; la ventaja radica en que si una tarea como leer la receta cambia, únicamente se modifica ese módulo que realiza la lectura de la prescripción.

Las tareas cooperativas descritas en los caso de uso C4 y C9 del apéndice A, son realizadas satisfactoriamente.

En general todos los objetivos fueron cumplidos, sin embargo, algunos necesitaban intervención humana y el ideal es que no exista, es acá donde aun puede haber posibilidades de seguir implementando nuevas propuestas que logren este objetivo.

Durante la construcción de los robots, nos encontramos con diferentes limitantes en lo que al *Kit LEGO Mindstorm* en su versión 2.0 se refiere, dichas limitantes afectan el desempeño y en muchas ocasiones complican la programación y el diseño mecánico de los robots.

Uno de los problemas más comunes es la desviación de la trayectoria planeada a causa de la diferencia de las revoluciones obtenidas por cada motor: esta deficiencia provoca que los

robots no puedan conducirse sin desviaciones de la trayectoria programada. Como respuesta a las deficiencias de navegación, se tienen dos aproximaciones: el posicionamiento relativo y absoluto.

El posicionamiento relativo es costoso respecto a hardware y *software* se refiere: las implicaciones del uso de posicionamiento relativo en *LEGO* conlleva al uso de más sensores; en la elaboración de los robots utilizados en esta tesis no se incorpora ningún sensor de rotación debido a que no se incluyen como parte del *Kit* estándar. Aunado a esto, para poder lograr un buen posicionamiento se necesitaría por lo menos 4 sensores de rotación capaces de monitorear el movimiento de cada lado del robot. El uso de un posicionamiento relativo en la programación implica el uso de algoritmos más complejos de corrección de trayectoria, dependiendo de las vueltas que ha dado cada eje que se conecta a un sensor.

El posicionamiento absoluto es la técnica más usada en el diseño de robots LEGO, implica el uso de menos hardware y se puede implementar con el uso del *Kit* estándar; al usar menos puertos se puede utilizar un mismo RCX para distintas tareas, además de la navegación, teniendo como resultado un robot que usa menos hardware y desempeña un mayor número de tareas. Dadas las ventajas ofrecidas por el posicionamiento absoluto, esta alternativa es usada para la navegación de los robots construidos en esta tesis: el posicionamiento relativo nos permitió, mediante líneas negras y paredes, realizar una navegación controlada.

En la programación del robot M se usó la arquitectura *Subsumption* en el robot R, el paradigma nos permite una mejor abstracción del comportamiento del robot, sin embargo, presenta desventajas por la gran generación de código que conlleva y dado que se tiene una memoria sumamente limitada, lo cual constituye su principal desventaja.

Durante la tesis, mediante la investigación y la experiencia, se llegó a la conclusión que el uso de las prácticas que se listan a continuación nos puede traer beneficios, tales como el ahorro de líneas de código, detección y corrección más sencilla de errores y un desarrollo más ágil del *software* que controla al robot.

- Implementación de una rutina de calibración al inicio del programa, cuyo objetivo es guardar la lectura del sensor en variables que representen los distintos colores utilizados en la prueba.
- Cuando un robot se encuentre ejecutando una tarea y su término dependa de un mensaje, es recomendable utilizar *multitasking*; en el caso de esta tesis se ocupa el lenguaje NQC.
- El uso de métodos que efectúen los movimientos del robot, para después sólo realizar llamados a los mismos; esta práctica nos permite hacer un cambio en el comportamiento más rápido y una disminución en las líneas de código.
- En lo que la navegación se refiere, dividir la tarea en recorridos y estos abstraerlos como métodos en el código, es decir que cada método esté encargado de transportar al robot de un punto a otro que se ha planeado con anterioridad.
- Definir los tiempos en forma de constantes para poder realizar un cambio rápidamente durante el programa.

Durante el desarrollo de la tesis, se realizaron funcionalidades que en los concursos de robots *LEGO* tienden a ser una constante, o por lo menos resultan útiles cuando se desarrolla un proyecto de robótica con lego.

- Protocolo de comunicación de dos robots con confirmación de mensaje.

- Utilización del concepto de centro de gravedad para lograr que un robot *LEGO* suba una pendiente.
- Colaboración entre robots para efectuar una tarea en común.

Una de las motivaciones al iniciar la tesis, fue dejar a las futuras generaciones de la UDLA las bases y experiencias para poder concursar en un evento de robótica, en respuesta a lo anterior se provee un conjunto de prácticas de desarrollo de software, pero también se propone un espacio en donde los estudiantes puedan realizar prácticas competitivas, en el apéndice D se hace una propuesta de un espacio dedicado al entrenamiento de los estudiantes para concursos de robótica en la categoría *LEGO* también se proporcionan una lista de posibilidades que aun pueden hacerse con el ambiente y hardware que se tiene.

La presente tesis proviene de la simplificación de la convocatoria del Cuarto Concurso de la IEEE en Latinoamérica, por limitaciones de tiempo y hardware muchos de los objetivos del concurso quedan fuera del alcance de la tesis, sin embargo el diseño de los robots así como los programas están pensados en la posibilidad que un trabajo a futuro disminuya las limitaciones y satisfaga las reglas del concurso en su totalidad. El sistema robótico construido presenta las siguientes ventajas que nos permitirá hacer crecer el sistema:

- El robot M lee la receta completa y la transmite de la misma forma aunque son sólo dos cubos los que se toman.
- El robot R en la banda transportadora tiene capacidad para 5 cubos.
- El robot M en la banda transportadora tiene capacidad para 5 cubos.
- El diseño motriz es capaz de poder subir la rampa con los 5 cubos.
- El algoritmo de comunicación se puede conservar si los RCX no cambian de orientación.

El trabajo a futuro conlleva modificaciones y agregados al hardware y software utilizado a continuación exploramos algunas de las posibilidades del trabajo a futuro en ambas vertientes.

Una de las limitaciones es que sólo se transportan 2 cubos, uno de cada color, si se desea pasar los cubos en el orden correcto y con la cantidad indicada en la receta; una sugerencia es el diseño de un clasificador de colores que sea montado en el robot M.

La estrategia consiste en hacer que el robot M tome el número de cubos negros y azules requeridos pero siguiendo el mismo orden que hasta el momento se tiene, primero los negros y luego los azules, el robot R deberá transmitirlos al robot M, éste será el encargado de entregar en orden los cubos.

La razón principal de la estrategia es que la navegación es difícil y es riesgosa, ya que si el robot R navega de un repositorio a otro para poder pasarlo en orden, lo más común es que el robot se pierda en este trayecto. El robot M posee solamente un RCX así que existe la posibilidad de instalar otro y dedicarlo a la tarea de clasificar los cubos.

Respecto a la construcción de los robots: en este sentido los robots pueden ser construidos con el nuevo *Kit LEGO Mindstorm* denominado NXT, el uso del *Bluetooth* abre el abanico de las comunicaciones y nos permitirá ser más eficientes en este rubro. Otra alternativa para la construcción de los robots es el uso de sensores de rotación e implementarlos como método de navegación.

Respecto a los trabajos relacionados mencionados en el capítulo uno, a pesar de no tener el mismo hardware se logra hacer la toma y transmisión de cubos al igual que el ganador del cuarto concurso de la IEEE Latinoamérica a nivel nacional. La principal diferencia es el uso de posicionamiento absoluto, mientras que ellos utilizan posicionamiento relativo utilizando 4 sensores de rotación uno en cada llanta.

El problema de navegar en un ambiente semiconocido, lo resuelve Dave Baum con un sensor de tacto al tratar de salir de un laberinto, como se menciona en el capítulo 1 en trabajos relacionados. En nuestro caso utilizamos el algoritmo de seguidor de paredes, pero también utilizamos marcas en el suelo, usualmente las marcas en el suelo son seguidas pero para esta tesis las utilizamos como marcas que nos ayudaban a orientar o alinear el robot, esta solución es mejor ya que el seguimiento de línea es generalmente lento.

La robótica es un área del conocimiento fascinante pero aún dista mucho de los ideales de construir un robot que tenga la inteligencia y la movilidad de un humano. Durante el desarrollo de la tesis nos pudimos percatar la dificultad de emular la movilidad y el posicionamiento. Tareas que para un humano pueden parecer sencillas como tomar un cubo y transportarlo para un robot resulta un reto. Uno de los retos actuales de la robótica es la colaboración entre robots, y en esta tesis se propone un ejemplo de una tarea elaborada conjuntamente basada en la comunicación, la cual puede servir de ejemplo en un problema similar de colaboración.