

SISTEMA DE CONTROL PARA MANIPULACIÓN DE LÁSERES 2D

Espíritu-López Isis Nashelli (1), Aviña-Cervantes Juan Gabriel (2)

1 [División de Ingenierías del Campus Irapuato-Salamanca, Universidad de Guanajuato] | [in.espiritulopez@ugto.mx]

2 [División de Ingenierías del Campus Irapuato-Salamanca, Universidad de Guanajuato] | [avina@ugto.mx]

Resumen

En esta investigación se muestra un sistema de control capaz de obtener una reconstrucción del entorno 3D mediante la utilización de un sensor láser 2D y un sistema de control de servo-motores. La robótica es el campo de interés donde se centrará este estudio, el sistema permitirá obtener una reconstrucción tridimensional lo más exacta posible del entorno para la detección de obstáculos y la extracción de regiones navegables aplicados a un robot móvil tipo oruga. El desarrollo de este tema se lleva a cabo mediante el proceso de análisis de sistemas referenciales para la transformación de coordenadas homogéneas, la obtención de puntos 2D del módulo láser y la integración de los marcos de referencia obtenidos de la platina para obtener una nube de puntos 3D utilizada en procesos de navegación o reconstrucción 3D del entorno.

Abstract

This research shows a control system capable to obtain a 3D reconstruction of its environment using a 2D laser sensor and a position control system based on servomotors. Robotics is the field of interest on which this study is focused; this system will allow us to obtain a reconstruction as exact as possible of a given environment in order to detect obstacles and to make the extraction of navigable regions, which is applied to a crawler-type mobile robot. The development of this work is made through a process of analysis with referential systems for transforming the homogeneous coordinates applied to the position control system that manipulates the 2D laser module to obtain a cloud of 3D points, which is used in navigation processes or in 3D environment reconstruction.

Palabras Clave

Sensores Láser; Localización; Navegación; Reconstrucción 3D.

INTRODUCCIÓN

Una de las tareas a la que los investigadores se enfrentan actualmente es el desarrollo de sistemas robóticos capaces de interactuar con el entorno, debido a esto se han creado una gran variedad de sensores encargados de proveer información a este tipo de sistemas de navegación buscando que estos sean capaces de tomar decisiones independientemente [1]; esto con la necesidad de explorar lugares que son de alto riesgo para un ser vivo o adentrarse en entornos desconocidos. La presente investigación tiene por objetivo realizar un mapeo y reconstrucción del entorno 3D mediante la utilización de un sensor de escaneo laser 2D montado sobre una platina que provee rotación y manipulación de módulos externos (cámaras, láseres, etc.), a su vez, éste incrementará el rango de visión y los grados de libertad del láser 2D. Ambos sistemas por separado son de relativo bajo costo en relación aun Laser 3D de línea.

Existen diversas aplicaciones que se ven beneficiadas con la capacidad de adquirir datos en 3D tales como navegación, localización de robots, restauración de zonas arquitectónicas y arqueológicas, entre otras. En este trabajo la aplicación que vamos a desarrollar es la movilidad de robots móviles para exploración. Este sistema de control permitirá obtener una reconstrucción del entorno para la detección de obstáculos y la extracción de regiones navegables aplicados a un robot móvil tipo oruga. El proceso de formación de esta investigación se realizará mediante el análisis de los siguientes puntos desarrollados a través de las etapas que se mencionan a continuación:

- Análisis de los sistemas referenciales para la transformación de coordenadas homogéneas.
- Obtención de puntos 2D del sensor láser.
- Integración láser en el sistema platina para incrementar los grados de libertad.

- Extracción de regiones navegables y la validación experimental.

Después de ésta breve introducción, se presenta una sección de Materiales y Métodos, seguida de una sección de discusión de resultados para finalizar con las conclusiones del trabajo.

MATERIALES Y MÉTODOS

Uno de los grandes atributos del sistema de control propuesto es la simplicidad en su composición debido a las mínimas herramientas empleadas en su desarrollo, tales como el sensor Range Finder 2D Hokuyo UBG-04LX-F01, un sensor láser infrarrojo de 785nm de longitud de onda con una potencia de salida menor a 1.0 μ W y un área de exploración que va desde los 20mm hasta los 5600mm en un rango de 240° [2]. Éste láser es la pieza central de nuestro sistema ya que éste se encarga de realizar el escaneo del entorno. Otro componente base es el sistema de motores Pan-Tilt PTU-46, este sistema de control de movimiento alcanza velocidades a 330°/seg, cuenta con una resolución a 0.012857°, capacidad de carga de 2.72 kg, un preciso control de posición, velocidad y aceleración, bajo costo, modo de comando ASCII y binario disponibles para un eficiente control del programa, entre otros atributos [3], su función dentro del sistema en general será el proporcionar movimiento al láser aumentando su rango de visión y grados de libertad.

Adicionalmente a los componentes anteriores, se requiere de herramientas auxiliares como lo son una Fuente de Alimentación BK PRECISION 1735A 30V/3V DC POWER SUPPLY calibrada a 12V- 300mA y un Adaptador RS-232 a USB. El Robot H2D Treaded Tank será el modelo empleado para montar el sistema de control y concretar un sistema de navegación autónomo. El software fue codificado en Lenguaje C y bajo el Sistema Operativo Linux. Para entender el sistema globalmente, en seguida, detallaran los procesos primordiales para la implementación del sistema.

Localización

El problema para conseguir que un robot se desplace de manera autónoma es la determinación de su posición con una precisión adecuada. Una localización precisa no es posible sin tener una referencia establecida del entorno, es decir, un mapa que contenga los obstáculos que el robot puede encontrar en su camino. Para resolver el problema de localización de un robot móvil existen diferentes alternativas que utilizan mapas “preconstruidos” e introducidos al robot de forma previa, o que elaboran dichos mapas a medida que el robot se va desplazando [5].

El origen de las dificultades en la localización y la construcción de mapas derivan de la existencia de ruido en las medidas de los sensores y las limitaciones en el rango de los mismos, por tales motivos, se buscan herramientas alternativas que disminuyan estas desventajas; así como la realización de un profundo análisis matemático sobre temas relacionados que influyan de manera positiva en el desarrollo de algoritmos que apoyen la localización y navegación de robots móviles.

Mapeo y Reconstrucción

Los conceptos teóricos de base para entender cómo realizar un mapeo y reconstrucción correctos y desarrollar un algoritmo que realice estas funciones son: la cinemática directa, un problema que consiste en describir la localización de un objeto en el espacio tridimensional con respecto a un sistema de referencia fijo [6], el concepto de Transformada Homogénea que hace referencia a la combinación de las operaciones de rotación, traslación, perspectiva y escala en una matriz, véase Ecuación (1), y el estudio de movimiento rígido el cual hace referencia a la combinación de una traslación pura seguida con una rotación pura.

$$H = \begin{bmatrix} R & \vec{d} \\ f & s \end{bmatrix} \quad (1)$$

En robótica generalmente solo interesa conocer el valor de rotación (R) y traslación (\vec{d}) ya que las componentes de perspectiva (f) se consideran nulas y las de escala (s) como unidad. Una matriz

de rotación, véase ecuación (2), representa la rotación de un sistema en el espacio euclidiano y una matriz de traslación, Ecuación (3), representa el desplazamiento de un sistema a otro mostrando [6] como se traslada en los ejes X, Y y Z.

$$R = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} \\ r_{31} & r_{32} & r_{33} \end{bmatrix} \quad (2)$$

$$\vec{d} = \begin{bmatrix} d_x \\ d_y \\ d_z \end{bmatrix} \quad (3)$$

Como se muestra en la Figura1 se establece un sistema de 3 ejes coordinados X, Y y Z para el láser, además hay dos movimientos de rotación que puede aplicar el Pan-Tilt para obtener mediciones y graficar puntos.

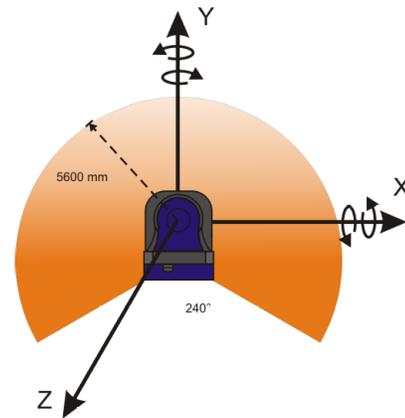


Figura 1: Movimientos y mediciones del láser requeridos para la reconstrucción 3D. Tomada de [1].

Con los datos proporcionados por ambos módulos el problema de reconstrucción 3D se convierte en un problema de cinemática directa el cual consiste en obtener las coordenadas (puntos) de un punto en base a los ángulos y distancias conocidas de los vectores desde el origen hasta el punto final. Ahora utilizando la teoría de movimientos rígidos para solucionar el problema de cinemática directa y desarrollando un amplio proceso matemático se obtienen como resultado las Ecuaciones (4), (5) y (6), donde α es el ángulo de rotación del eje X original determinado por el tilt; y θ es el ángulo de rotación del eje Y original determinado por el

movimiento pan. Aplicando estas ecuaciones a los datos de distancia y ángulo proporcionados por el láser 2D y el ángulo de rotación del pan-tilt se obtienen cada uno de los puntos a graficar.

$$X_0 = X_2 \cos(\alpha) + Y_2 \sin(\alpha) \sin(\theta) + Z_2 \sin(\alpha) \cos(\theta) + dx_0^2 \quad (4)$$

$$Y_0 = Y_2 \cos(\alpha) - Z_2 \sin(\theta) + dy_0^2 \quad (5)$$

$$Z_0 = -X_2 \sin(\alpha) + Y_2 \cos(\alpha) \sin(\theta) + Z_2 \cos(\alpha) \cos(\theta) + dz_0^2 \quad (6)$$

Introducida la forma en que el sistema representa el entorno, se ubica ahora el concepto de una "nube de puntos", un conjunto de puntos en un sistema coordenado tridimensional [6]. Estos puntos que son identificados por sus coordenadas X, Y y Z proporcionan en conjunto una representación del entorno escaneado [7]. Con toda esta información se realiza un algoritmo para el filtrado de los datos con el fin de representar la información obtenida de manera clara y entendible tanto para el robot como para un experto humano que interpreta la información y codifica en comando la tarea deseada.

Programación

La comunicación con el sensor láser es establecida a través del protocolo SCIP2.0 desarrollado con el fin de proporcionar flexibilidad y eficacia en la interconexión de sensores aplicados a robótica [10]. El fabricante proporciona el software "Vmon.exe" para mostrar mediante una gráfica de coordenadas los ángulos y distancias a las que se encuentran los objetos dentro del rango de detección. El procesamiento para realizar la reconstrucción 3D se realiza en la plataforma Linux usando las librerías Aria C++ [8] para la comunicación y control del sistema Pan-Tilt y el uso de la clase KeyPTU y la librería laser.h, utiliza la herramienta de programación multitarea y el uso de un mutex para poder trabajar con ambos sistemas a la vez (adquirir datos en paralelo). Realizado el proceso de análisis mencionado en la sección anterior sobre los datos extraídos obtenemos la nube de puntos que puede ser guardada, filtrada y visualizada con la librería C++ PCL (Point Clouds Library) [9].

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En las siguientes imágenes se muestra el comportamiento del láser Hokuyo visualizado desde una interfaz. El área sombreada en rojo nos representa el área navegable para nuestro robot móvil. En la Figura 2 se puede observar el alcance que tiene el sensor láser al no presentar obstáculos a través de la región sombreada localizada en los 150°.

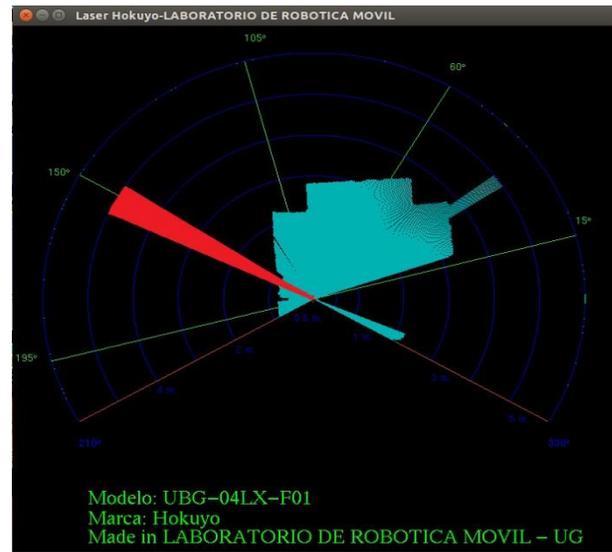


Figura 2: Comportamiento del módulo de sensor láser 2D "Hokuyo".

En la Figura 3, se observa que la intervención de obstáculos limita el alcance del sensor láser.

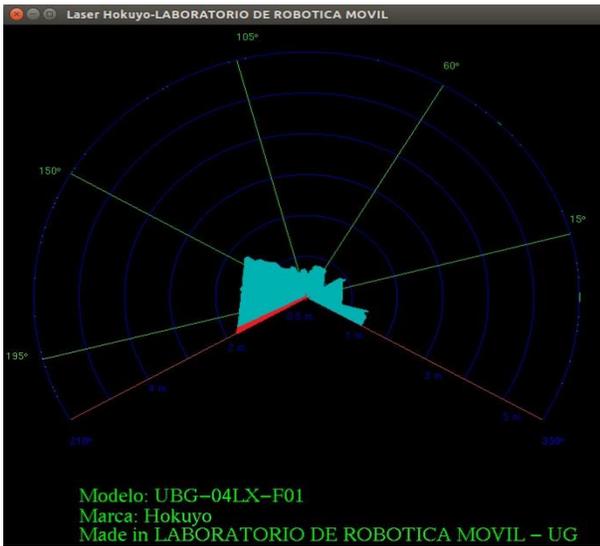


Figura 3: Comportamiento del módulo de sensor láser 2D “Hokuyo” al estar rodeado de obstáculos.

Al montar nuestro módulo láser sobre el sistema de motores Pan-Tilt como se muestra en la Figura 4, las mediciones anteriores proveen mayor información al mapeo del entorno ya que estas obtienen un mayor rango de visión y grados de libertad.



Figura 4: Sensor láser 2D montado sobre la platina.

En la Figura 5 se muestra una vista del mapeo de un entorno, gracias a que el espacio reconstruido y desplegado empleando la librería PCL puede

rotarse. La reconstrucción 3D se obtiene al introducir la información proporcionada por el sistema a través de un algoritmo especializado correspondiente a los conceptos de cinemática directa y movimientos rígidos encargados de obtener coordenadas y limitar los puntos cercanos en una sección como uno solo y así lograr una visualización más clara del entorno.



Figura 5: Mapeo y reconstrucción 3D del entorno

El sistema proporciona mediciones de distancia muy cercanas a las reales debido a la precisión que maneja el sensor láser (para rangos de 20 a 1000 mm \pm 10 mm de error y para rangos mayores a este 2% de la distancia medida [2]).

Además de los datos obtenidos del muestreo de un entorno al control de movimiento del robot móvil generan un sistema de navegación autónomo debido a la alta precisión del muestreo obtenido al unir el módulo láser y el sistema de motores Pan-Tilt. Sin embargo, esta no es la única aplicación que podemos dar a nuestro sistema, existe un amplio campo de sectores a los que puede ser aplicado como lo son la medicina y seguridad, para reconstrucción facial, de miembros y objetos, entre otros. La ventaja obtenida sobre otras investigaciones que utilizan únicamente el sensor láser 2D o que emplean cámaras especiales es que al anexar nuestro sistema de motores Pan-Tilt obtenemos varios escaneos en varios puntos para una mejor reconstrucción del entorno a la vez que este sistema en general es armado a un bajo costo en comparación con otros métodos así como la ventaja de sus reducidas dimensiones y bajo consumo de energía.

CONCLUSIONES

En este reporte se ha presentado la implementación de un sistema de control para manipulación de un sensor láser 2D aplicado al mapeo y reconstrucción 3D de entornos con el fin de ser utilizado en el control de movimiento de un robot móvil tipo oruga. El modelo del sistema ha sido probado mediante simulaciones y con las herramientas e instrumentos existentes en el laboratorio de la división. Las pruebas realizadas sirvieron para encontrar las condiciones más óptimas para obtener una reconstrucción lo más ideal posible; puede ser utilizado en diferentes aplicaciones y permite realizar ajustes a los parámetros para mejorar su funcionamiento.

Esta investigación tiene un amplio alcance aún a desarrollar con mayor tiempo e investigación, es decir, aún queda abierta a mejoras con el objetivo de lograr concretar un sistema óptimo a futuro.

AGRADECIMIENTOS

Esta investigación contó con el invaluable apoyo técnico de Juan Manuel García Cisneros, a quien doy un sincero agradecimiento por otorgar su tiempo, paciencia y dedicación al proyecto. Así mismo, agradezco a la Universidad de Guanajuato por permitirme participar en este Verano de Investigación. Por último, a mis padres por apoyarme en todo momento para lograr mis metas.

REFERENCIAS

- [1] M.I. Edgar Daniel Martínez Rodríguez. "Mapeo y reconstrucción 3D de entornos mediante un sensor laser range finder 2D".
- [2] Hokuyo Automatic CO., LTD. Specifications Scanning Laser Range Finder UBG-04LX-F01, Rapid URG, 2007.
- [3] Computer controlled Pan-Tilt Unit. Models PTU-D46. User's Manual. Version 2.14.0.
- [4] Directed Perception. Specifications Pan/Tilt Systems PTU-46, 2007.

[5] José Alberto Arcos Sanchez. Sistema de navegación y modelado del entorno para un robot móvil.

[6] Spong, Mark W. and Vidysagar, M. Robot dynamics and control. USA, WILEY, 1989.

[7] Dr. Maximiliano Bueno López, Dr. Marco Arteaga y Dr. Antonio Candeia. Vision systems modelling in 2D and 3D: An approach to the control of manipulator robots.

[8] Whitbrook Amanda. Programming Mobile Robots with Aria and Player. Springer, 2010.

[9] R. B. Rusu, S. Cousins. Point Cloud Library (PCL). ICRA, 2011.

[10] Librerías C/C++ SCIP2.0, Hokuyo Automatic CO., LTD. Disponible en: www.hokuyo-aut.jp.