

PLATAFORMA ROBÓTICA CRABOT

Oscar Silva Muñoz

e-mail: oscar.silvam@alumnos.usm.cl

Pascal Sigel Olivares

e-mail: pascal.sigel@alumnos.usm.cl

Warren Eaton Sciaccaluga

e-mail: warren.eaton@alumnos.usm.cl

Cristian Osorio Méndez

cristian.osorio.mendez@gmail.com

Eduardo Valdivia Fuentealba

eduardo.valdivia@alumnos.usm.cl

Nicolás Frois Ramírez

nicolas.frois@alumnos.usm.cl

Felipe Vera Anders

felipe.veraa@alumnos.usm.cl

RESUMEN: El diseño y construcción de una plataforma robótica robusta y multifuncional es el propósito por el cual se plantea la idea de confeccionar una plataforma compuesta de extremidades móviles, al igual que los animales y los seres humanos, que le permitiesen desplazarse por terrenos irregulares difíciles de cursar, y además entregarle la capacidad de poder manipular objetos con estas mismas. También es relevante la gran importancia en la incorporación de sensores en la plataforma, permitiéndole así responder frente a estímulos y situaciones producto de su interacción con el medio, otorgándole como característica principal la capacidad de reconstruir un determinado terreno a través de un avanzado procesamiento digital de imágenes.

PALABRAS CLAVE: Robot, exploración, mapeo, manipulador.

1 INTRODUCCIÓN

El diseño y construcción de plataformas robóticas con extremidades tiene un gran potencial si el objetivo es cursar terrenos complejos y de difícil acceso para los cuales se vuelve inútil el uso de plataformas que utilizan ruedas para su desplazamiento.

En la actualidad son variados los modelos de plataformas robóticas con extremidades que pueden encontrarse, tales como bípedos parecidos a los seres humanos y cuadrúpedos, hexápodos u octópodos parecidos a animales o insectos, pero el uso de sus extremidades solo se ha explotado solo con objetivos de desplazamiento. Es por esto que se plantea adicionar características a cada una de las extremidades de la plataforma robótica, permitiendo que estas puedan ser utilizadas como herramientas de trabajo destinadas a manipulación de objetos, recolección de muestras de terreno y otras variadas interacciones que se pueden realizar con el entorno físico por el cual se pretende transitar.



Figura 1. Imagen de la primera versión de la plataforma robótica CRABOT.

2 DISEÑO DE LA PLATAFORMA ROBÓTICA

2.1 CARACTERÍSTICAS ESTRUCTURALES

Con el objetivo de realizar una plataforma robótica multipropósito con las características mencionadas anteriormente, se plantea la construcción de un robot hexápodo, de seis extremidades, tipo cangrejo. La razón del número de extremidades elegido en su diseño es poder darle a la plataforma la capacidad de utilizar sus extremidades como herramientas de trabajo, al igual que lo haría un cangrejo en la naturaleza, por lo que a cada extremidad se le agregó como sección final una pinza. Esta pinza permitiría que el robot pudiera interactuar con el entorno que le rodea, manipulando objetos, recogiendo muestras, entre otros.

Gracias a las características antes mencionadas la plataforma robótica podría tomar una posición de trabajo apoyando su peso en cuatro o cinco de sus extremidades y utilizar dos o una ellas que quede libre para distintas tareas.

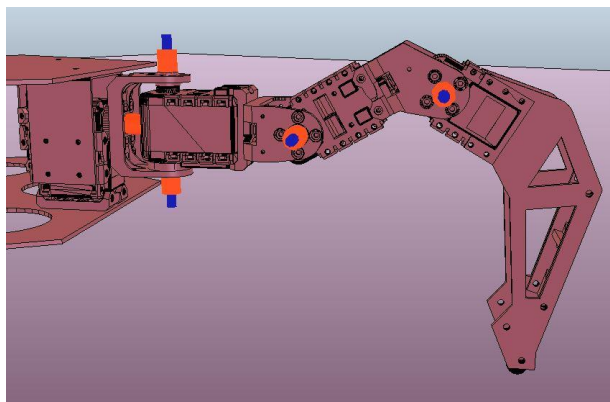


Figura 2. En la imagen se puede apreciar con bastones naranjos los ejes o grados de libertad de una de las extremidades del robot.

En la Figura 1 puede apreciarse una imagen de CRABOT aún sin las pinzas en cada una de sus extremidades.

Cada una de las extremidades antes mencionada está compuesta por cuatro grados de libertad, sin contar la cantidad de grados de libertad que implican la pinza en su sección final (Figura 2). Los últimos tres grados de libertad que comprenden cada extremidad son los encargados de proporcionar la movilidad para el desplazamiento de la plataforma por el espacio, y son suficientes para permitir una buena movilidad por cualquier terreno. El grado de libertad restante se encuentra adosado al tronco central de la plataforma y es el encargado de dar la movilidad extra necesaria para la manipulación de objetos, funcionando a modo de hombro rotatorio para cada extremidad.

2.2 COMPONENTES DE HARDWARE

2.2.1 ACTUADORES MOVILES

Cada una de las extremidades, como se hablaba anteriormente, se componen de 4 grados de libertad, los cuales se implementan con Smart servos de la familia Dynamixel, específicamente el modelo AX-18^a, con un torque máximo de 1.8 [Nm]. Como lo dice su nombre, Smart servos, son servomotores inteligentes debido a que internamente poseen un controlador que maneja el motor y además provee de variada información, como por ejemplo la temperatura interna del motor, la corriente que está consumiendo, el torque que está realizando, entre otros. Además internamente poseen una caja de reducción que le permiten al motor generar altos niveles de torque mecánico necesarios para el correcto funcionamiento de la plataforma robótica.

2.2.2 SENSORES

Muy importantes son las herramientas de medición que le permiten al robot captar señales y variables del medio por el que se desplaza e información de su propio comportamiento. Estas herramientas son los sensores que el robot posee, tales como la unidad de medición inercial (IMU) la cual entrega información de la inclinación absoluta del robot y su aceleración en los tres ejes coordenados. Otro de los sensores que posee

CRABOT es una cámara RGB y sensor de proximidad Kinect, del cual se hablará más adelante, que permitirá realizar reconstrucciones de los terrenos a explorar por la plataforma.

Además están los ya mencionados sensores que vienen incorporados internamente en los actuadores Dynamixel, los que permiten conocer el comportamiento de cada uno de los actuadores al interactuar con el medio, como por ejemplo la fuerza que realizan al ejecutar una determinada tarea, las corrientes promedio y máximas que consumen, la carga que soportan, entre otras mediciones.

2.2.3 CONTROLADORES Y MINICOMPUTADORES

Nada de lo hablado anteriormente podría funcionar por sí solo sin contar con la ayuda del hardware computacional que lo maneja. En ese punto toma juego clave el trabajo del microcontrolador que es capaz de manejar todas las instrucciones para permitir el movimiento del robot y obtener información a través de los sensores mencionados.

Aún más importante es el minicomputador ubicado en el robot, ya que es prácticamente el cerebro central de la máquina. El minicomputador es el encargado de correr el programa principal que coordina el funcionamiento de todo el robot junto a la interacción con el usuario que lo manipula.

3 ALGORITMOS DE MOVIMIENTO

Variadas son las acciones necesarias para una persona, animal o insecto para realizar todos los movimientos necesarios para desplazarse e interactuar con el medio, al igual que lo debe ser para una plataforma robótica en donde hay que recrear todas estas acciones, tales como caminar, girar, subir y bajar el nivel de su centro de masa e inclinar su cuerpo, entre las más importantes.

Para todas las acciones que debe realizar la plataforma existe un factor común que debe resolverse, la cinemática directa e inversa.

3.1 CINEMÁTICA DIRECTA

Anteriormente se habló de las características físicas del robot en donde se mencionaba la cantidad de grados de libertad que este tenía en cada una de sus extremidades, esto puede ser modelado por varios ejes de coordenadas que deben rotar en sus distintos ejes alguna distancia angular para orientarse en la posición que se tiene mover cada una de sus extremidades para llevar su punta a un punto específico en el espacio (Figura 3). Finalmente esto puede pensarse como una función f que depende de un grupo de ángulos que corresponden a cada uno de los grados de libertad de cada extremidad, y que da como resultado un punto en el espacio con coordenadas (x, y, z) como se muestra a continuación.

$$\vec{f}(\vec{\theta}) = \vec{x} \quad (1)$$

Donde $\vec{\theta} = (\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_n)$ y $\vec{X} = (x, y, z)$. Además $\vec{f}(\vec{\theta})$ puede ser expresada como una multiplicación de matrices de rotación y traslación q definen a cada eje de

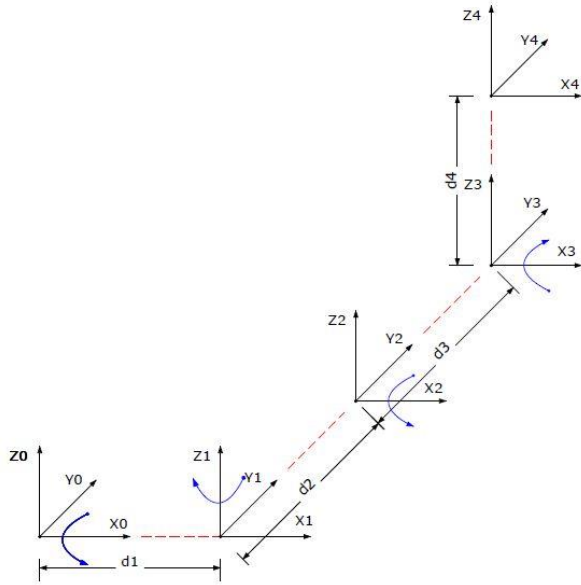


Figura 3. Diagrama de eje de coordenadas de una de las extremidades del robot.

coordenadas desde la base de cada extremidad hasta la punta de esta misma de la siguiente manera:

$$\vec{f}(\vec{\theta}) = R_1(\theta_1)R_2(\theta_2)T_1(\vec{d}_1)R_3(\theta_3)T_2(\vec{d}_2)R_4(\theta_4)T_3(\vec{d}_3) \quad (2)$$

Donde las funciones $R(\theta)$ y $T(d)$ simbolizan matrices de rotación en función de algún ángulo θ y matrices de traslación en alguna distancia d , como se muestran en la Figura 4.

$$Rot(x, \theta) = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos(\theta) & -\sin(\theta) & 0 \\ 0 & \sin(\theta) & \cos(\theta) & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

$$Rot(y, \theta) = \begin{pmatrix} \cos(\theta) & 0 & \sin(\theta) & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ -\sin(\theta) & 0 & \cos(\theta) & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

$$Rot(z, \theta) = \begin{pmatrix} \cos(\theta) & -\sin(\theta) & 0 & 0 \\ \sin(\theta) & \cos(\theta) & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

$$Tras(x_0, y_0, z_0) = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & x_0 \\ 0 & 1 & 0 & y_0 \\ 0 & 0 & 1 & z_0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

Figura 4. Ejemplo de matrices de rotación en los ejes de coordenadas X, Y y Z orientadas positivamente y de matriz de traslación de una distancia $\vec{d}_0 = (x_0, y_0, z_0)$.

De esta manera, a través de la ecuación (1) se puede obtener el punto de llegada de cualquiera de las extremidades del robot solo sabiendo los ángulos de cada uno de los motores de dicha extremidad.

Lamentablemente esta información no nos es del todo útil, ya que nuestro problema es encontrar los ángulos que debe adoptar cada extremidad para que la punta de ésta alcance la coordenada espacial que deseamos. Para esto es que se debe invertir la ecuación (1) de tal manera de encontrar la cinemática inversa del modelo de la extremidad.

3.2 CINEMÁTICA INVERSA

Como se menciona anteriormente, la verdadera incógnita del problema es encontrar los ángulos que debe adoptar cada una de las extremidades de la plataforma robótica para alcanzar los puntos deseados en el espacio, permitiendo realizar las distintas acciones programadas del robot. Para esto podemos expresar cada uno de los términos de la ecuación (1) como una serie de Taylor, y que individualmente se expresan de la siguiente forma:

$$x = f(\vec{\theta}_0) + \left. \frac{\partial f(\vec{\theta})}{\partial \theta_1} \right|_{\vec{\theta}_0} \cdot (\theta_1 - \theta_{0_1}) + \dots + \left. \frac{\partial f(\vec{\theta})}{\partial \theta_n} \right|_{\vec{\theta}_0} \cdot (\theta_n - \theta_{0_n}) + error((\vec{\theta} - \vec{\theta}_0)^2) \quad (3)$$

Así las restantes coordenadas x e y se pueden expresar de la misma manera. Fácilmente se pueden agrupar las expresiones antes mencionadas en forma matricial como se muestra a continuación:

$$\begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} f_1(\vec{\theta}_0) \\ f_2(\vec{\theta}_0) \\ f_3(\vec{\theta}_0) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \frac{\partial f_1}{\partial \theta_1} & \dots & \frac{\partial f_1}{\partial \theta_n} \\ \frac{\partial f_2}{\partial \theta_1} & \dots & \frac{\partial f_2}{\partial \theta_n} \\ \frac{\partial f_3}{\partial \theta_1} & \dots & \frac{\partial f_3}{\partial \theta_n} \end{bmatrix}_{\vec{\theta}_0} \begin{bmatrix} \theta_1 - \theta_{0_1} \\ \vdots \\ \theta_n - \theta_{0_n} \end{bmatrix} \quad (4)$$

Como se puede apreciar se ha despreciado el error debido a que su valor es insignificante para el cálculo. Luego la expresión anterior puede expresarse de la siguiente manera:

$$\vec{X} = \vec{F}(\vec{\theta}_0) + J_{\vec{\theta}} F(\vec{\theta})|_{\vec{\theta}_0} \cdot (\vec{\theta} - \vec{\theta}_0) \quad (5)$$

donde $J_{\vec{\theta}} F(\vec{\theta})$ representa el Jacobiano de las funciones relacionadas con las coordenadas espaciales de la cinemática directa. De esta manera es posible obtener la inversa de la ecuación despejando $\vec{\theta}$:

$$\vec{\theta} = J_{\vec{\theta}}^{-1} F(\vec{\theta})|_{\vec{\theta}_0} (\vec{X} - \vec{F}(\vec{\theta}_0)) + \vec{\theta}_0 \quad (6)$$

Además derivando la ecuación (6) se puede obtener la velocidad angular necesaria para el óptimo movimiento en base a la velocidad lineal de movimiento requerida.

$$\frac{\partial \vec{\theta}}{\partial t} = J_{\vec{\theta}}^{-1} F(\vec{\theta}) \Big|_{\vec{\theta}_0} \cdot \frac{\partial \vec{x}}{\partial t} \quad (7)$$

4 PROCESAMIENTO DE IMÁGENES

El trabajo relacionado con el procesamiento de imágenes busca hacer lo que se denomina como "Mapeo 3D con una cámara de color y distancia". Como se indica, lo que se debe conseguir es tomar las imágenes suficientes de modo de lograr elaborar un mapa tridimensional hecho con píxeles cúbicos (vóxeles) del entorno del robot. Este problema es denominado SLAM (Simultaneous Localization and Mapping) en documentación técnica.

Las herramientas necesarias para solucionarlo son una cámara RGB-D (Color y distancia), como el kit Kinect de la consola Xbox 360, y una plataforma giratoria montada bajo dicha cámara. Dado que esta cámara permite obtener tanto información de color (cámara de color de 640x480 píxeles) como de profundidad (imagen de distancia de 640x480 píxeles, que permite detección de objetos entre 30 centímetros a tres metros de distancia).

El trabajo a realizar está basado mayormente en la publicación "3-D Mapping With an RGB-D Camera" [1], el cual describe una estrategia para llevar a cabo el mapeo de superficies, usando tanto la información de color como la de profundidad. Se puede apreciar en la Figura 5 el sistema de procesamiento y toma de imágenes.

Dado que el robot está en movimiento (Egomovimiento) se necesita extraer información coherente entre varias imágenes. Para ello se emplea la técnica de Extracción de Parámetros (features), con la finalidad de relacionar varias imágenes con estos mismos parámetros y calcular cuáles son los cambios espaciales que corresponden a la diferencia entre estas imágenes, con el fin de convertir las características

encontradas en cada una a un sistema de coordenadas común.

Para extraer las mediciones del entorno (Environment Estimation Model, denominado EMM), se emplea un modelo basado en rayos. De tal modo se permite también sobrepasar la mayor dificultad de este proceso: la oclusión (ocultación de un objeto detrás de otro).

Lógicamente, la memoria total que ocupe el mapa tridimensional generado depende de la resolución que se quiera ocupar, es decir, qué tan grandes se quiere hacer cada vóxel. Sin ningún esfuerzo de compresión, estos vóxeles ocuparían un tamaño del orden de los GB; por lo que, para optimizar el espacio que ocupan todos los vóxeles en memoria, se emplea la biblioteca OctoMap, la cual permite una drástica mejora.

En la publicación citada, el resultado del mapa de vóxeles con resolución de 1cm^3 generado se muestra en la Figura 6.

5 CONTROL Y MANEJO DE LA PLATAFORMA ROBOTICA



Figura 6. Mapa de vóxeles de resolución de 1cm^3

PLATAFORMA ROBOTICA

Con el objetivo de un fácil control y manejo del robot de forma remota e inalámbrica es que fue

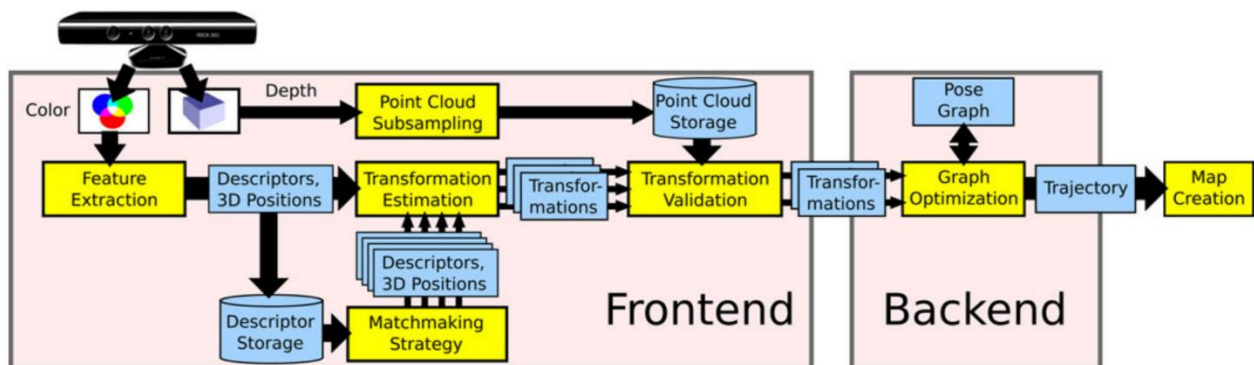


Figura 5. Sistema de procesamiento y toma de imágenes.

diseñada una interfaz web desde donde pueden monitorearse variados aspectos técnicos de la plataforma y a la vez entregarle todas las instrucciones necesarias para su funcionamiento. Esta interfaz es alcanzable a través de la red wifi a la cual se encuentra conectada el robot y por lo tanto a esta se puede acceder a través de cualquier dispositivo conectado a esta misma red, teniendo disponible algún browser que le permita navegar por internet.

6 REFERENCIAS

[1] Felix Endres et al, "3-D Mapping With an RGB-D Camera". feb.2014.