

Integración de la plataforma CoppeliaSim para el desarrollo de entornos virtuales de capacitación en cirugía asistida por el robot Da Vinci

Javier Sainz Villalba, Jesus Bermudez-Cameo, Luis Montano,

Afiliación: Grupo de Robótica, Visión por computador e Inteligencia Artificial.

Instituto de Investigación en Ingeniería de Aragón (I3A)

Universidad de Zaragoza, Mariano Esquillor s/n, 50018, Zaragoza, Spain.

Tel. +34-976762707, e-mail: 876914@unizar.es

Resumen

En este trabajo se presenta el desarrollo de un entorno virtual para la simulación de la operativa del robot quirúrgico DaVinci, que se utiliza en procedimientos de cirugía mínimamente invasiva. Su uso precisa de un entrenamiento intenso por lo que es fundamental el desarrollo de herramientas de simulación.

Introducción

El objetivo de este trabajo es disponer de un entorno virtual que permita simular procedimientos quirúrgicos. Para ello se ha desarrollado una escena realizada en el entorno virtual de CoppeliaSim un simulador robótico que permite la simulación de propiedades de objetos y su movimiento. La escena modelada reproduce un quirófano donde se muestra el robot quirúrgico (DaVinci), una mesa quirúrgica y un fantoma laparoscópico (Pelvitainer) encima de esta, con distintos puertos de entrada para poder realizar los entrenamientos pertinentes. (Figura 3). El interfaz de usuario se ha implementado en Python, permitiendo la definición de distintos procedimientos quirúrgicos básicos de forma asistida a través de un mando o con movimientos programados.

Modelado 3D de la escena

Para el diseño de la escena se ha empleado el programa de modelado en 3D (Fusion 360) [1] que permite crear elementos 3D mediante bocetos en 2D introduciendo dependencias, texturas, simetrías y restricciones de diseño.

Mesa Quirúrgica.

Se ha replicado el modelo de mesa quirúrgica existente de acuerdo con las especificaciones publicadas. (Mesa quirúrgica de precisión PST 500, Baxter) [2]

Fantoma (Pelvitainer).

Las fantasmas son réplicas físicas a escala para simular las propiedades anatómicas y fisiológicas del cuerpo. El fantoma modelado corresponde a un producto comercial (Pelvitainer, Karl Storz) que mimetiza la pelvis y el abdomen. Las dimensiones se han tomado de un trabajo previo [3]

Robot DaVinci.

Se ha reproducido el robot quirúrgico Da Vinci (DaVinci Si, 2009, Intuitive Surgical Inc, [4]), teniendo en cuenta un conjunto de factores para replicar el modelo real con mayor fidelidad. El robot consta de siete articulaciones. Presenta dos articulaciones prismáticas el resto son de revolución. Las tres últimas articulaciones mueven el efector final. El modelo geométrico afecta a todas las articulaciones excepto a las tres últimas que son manipuladas directamente por el cirujano. La extremidad de la cámara es de menor dimensión que los brazos operativos para evitar colisiones.

Control del robot

Interfaz con mando de control.

El robot DaVinci en el entorno virtual se puede controlar mediante un mando físico (Topway PC Dual Shock Joypad, Topway), para entrenamiento realista del cirujano. Consta de dos funcionalidades principales: desplazamiento de la última articulación previa al efector final y manipulación de herramienta como efector final. Mediante el uso de la librería Pygame [5] se registran los eventos del mando externo y se procesan mediante una lógica según la funcionalidad del botón.

Modelo geométrico directo/inverso.

Para la generación de trayectorias del robot es necesario modelarlo geométricamente y cinemáticamente. Mediante la librería robotics-toolbox-python [6] se realizan todos los cálculos de los modelos geométricos del robot. Para ello primero se calculan los parámetros de Denavit-Hartenberg (DH), que

establecen las dependencias geométricas entre las articulaciones.

- Directo: dada una posición angular de las articulaciones (\mathbf{q}) se obtiene la posición final de referencia (el denominado aquí punto de entrada) aplicando la transformación de DH (Figura 2)
- Inverso: dado un punto en el espacio (para el punto de referencia) se obtienen las posiciones angulares de las articulaciones (\mathbf{q}). Para ello se ha utilizado el método Levenberg-Marquadt que consiste en una optimización recursiva que interpola el algoritmo de Gauss-Newton y el método de descenso de gradiente.

Interfaz de usuario

La interfaz de usuario consiste en un menú donde se podrán elegir diferentes modos para definir diferentes tipos de trayectorias (rectilíneas, curvilíneas) o realizar un control manual del robot.

Trayectorias rectilíneas.

Trayectorias de demostración y calibración que recorren la zona de trabajo del robot:

- A lo largo de cada uno de los ejes (X, Y, Z)
- A lo largo de cada plano (XY, YZ, XZ)

Trayectorias no lineales.

Trayectorias con dependencias no lineales entre las dimensiones de referencia:

- Espirales
- Movimientos combinados de rotaciones, angulaciones

Movimiento libre.

La trayectoria está determinada por el usuario. En esta sección se cargará un menú en el que se explica todo el funcionamiento del mando y que realizan cada uno de los botones. En este modo se puede visualizar la cámara pudiendo manipularla para acomodar la visualización (Figura 1)

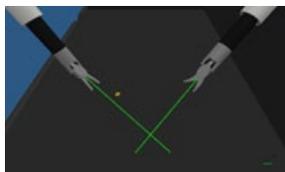


Figura 1: Cámara

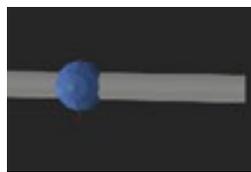


Figura 2: Punto de referencia



Figura 4: Comparación modelos vs originales.

Fotos cortesía de [2,3]

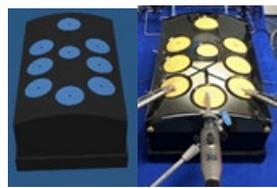


Figura 3: Escena completa

Conclusiones

En este trabajo se ha presentado el desarrollo de un modelo virtual para la simulación de un robot Da Vinci que permitirá el estudio y desarrollo y simulación de procedimientos quirúrgicos para el entrenamiento de usuarios y planificación de procedimientos. Se han implementado diferentes aplicaciones de cirugía para demostrar su utilidad y posibilidades como herramienta de entrenamiento.

En un futuro se podrá implementar la simulación cinemática y dinámica, teniendo en cuenta factores como la fuerza/par de las articulaciones, el peso e inercia de los distintos segmentos robóticos, así como la velocidad y la aceleración requeridos para el movimiento.

Referencias

- [1]. Autodesk. *Fusion 360 for Personal Use*. 2024
- [2]. Hillrom. *PST 500 Precision Surgical Table* [en línea]. 2024 [consulta: 4 de junio de 2024]. Disponible en: <https://www.hillrom.lat/es/products/pst-500-precision-surgical-table/>
- [3]. SANCHO GIL, Alejandro, et al. Simulador de movimientos de herramientas quirúrgicas en operaciones de cirugía laparoscópica con robots. 2022..
- [4]. Intuitive Surgical. *Intuitive* [en línea]. 2024 [consulta: 4 de junio de 2024]. Disponible en: <https://www.intuitive.com/en-us>
- [5]. Pygame community. *Pygame* [en línea]. GitHub, 2024 Disponible en: <https://github.com/pygame/pygame>
- [6]. CORKE, Peter; HAVILAND, Jesse. *Not your grandmother's toolbox—the robotics toolbox reinvented for python*. En *2021 IEEE international conference on robotics and automation (ICRA)*. IEEE, 2021. p. 11357-11363.

