

Implementación del control de un brazo robótico con álgebra geométrica en una interfaz cerebro computadora

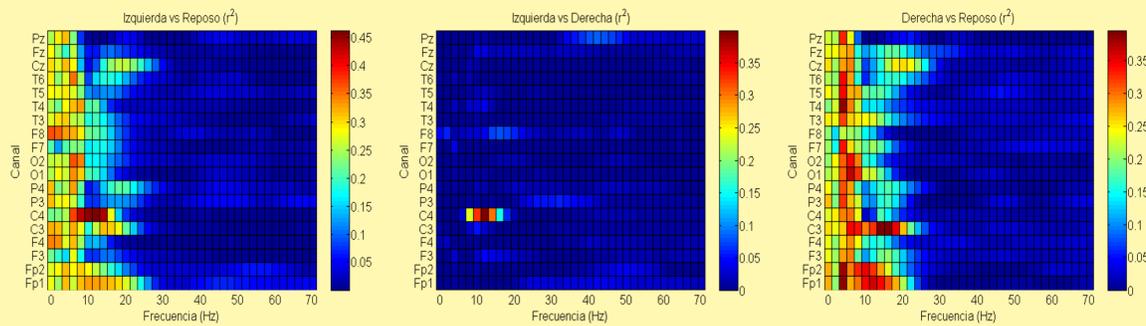
Mauricio Adolfo Ramírez Moreno, Dania Gutiérrez
Centro de Investigación y Estudios Avanzados (CINVESTAV)

Introducción

En una interfaz cerebro computadora (BCI) un usuario controla un dispositivo convirtiendo su actividad cerebral en comandos de bajo nivel (izquierda, derecha), sin embargo este tipo de control puede generar frustración y cansancio. Debido a esto, proponemos un control semi-autónomo donde un mediador integre información multisensorial (visual, espacial y cerebral), imitando el proceso que realiza el cerebelo para ejecutar movimientos fluidos y precisos. Ya que dicho control conlleva una carga computacionalmente pesada, proponemos reducir esta carga resolviendo la cinemática inversa del robot con álgebra geométrica. Demostramos cómo a través de una serie de operaciones algebraicas con esferas, planos y círculos se obtiene la representación de un brazo robótico y los ángulos de cada eslabón para una posición deseada del efector final. Además se presenta la implementación de este método en una BCI convencional, donde un usuario puede controlar en 3D la posición del efector final a través de movimiento imaginado (MI).

Extracción de características

- Se realizaron 5 pruebas presentando aleatoriamente 10 estímulos de tres clases diferentes con una duración de 4s y 2-4s entre cada estímulo. Los estímulos flecha izquierda, derecha y pantalla negra indicaban MI de mano izquierda, derecha y reposo respectivamente.
- Se obtuvieron registros electroencefalográficos y se calculó la r^2 en diferentes canales y frecuencias en los 2s posteriores al estímulo para construir 3 clasificadores LDA (IvsR, IvsD, DvsR) utilizando como características aquellos canales y frecuencias con mayor r^2 . Si al menos dos de tres clasificadores etiquetaban un evento como clase i , era considerado de clase i . De esta manera, se obtuvieron porcentajes de correcta clasificación de 78% y 71% para dos sujetos.

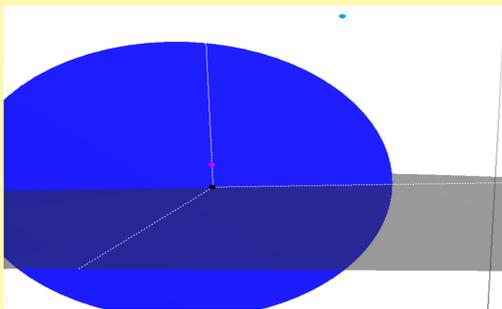


Álgebra geométrica

Es una extensión de dos dimensiones adicionales (e_0 y e_∞) al espacio euclidiano (e_1, e_2 y e_3). Permite definir fácilmente objetos geométricos como líneas, planos, círculos, esferas y realizar operaciones algebraicas sencillas para obtener intersecciones y distancias entre ellos. Algunas ecuaciones utilizadas son las siguientes.

- Dual: $A^* = A(e_0(e_3e_2e_1)e_\infty)$
- Esfera: $S^* = P - \frac{1}{2}r^2e_\infty$
- Plano: $Pl = P_1 \wedge P_2 \wedge P_3 \wedge e_\infty$
- Círculo: $C^* = S_1^* \wedge S_2^*$
- Intersección: $M^* = A^* \wedge B^*$, $M = A^* \cdot B$
- Par de puntos: $P_p = C \cdot Pl$
- Punto: $P = P_p \pm \frac{\sqrt{|P_p \cdot P_p|}}{-e_\infty \cdot P_p}$

Modelo del brazo robot con álgebra geométrica

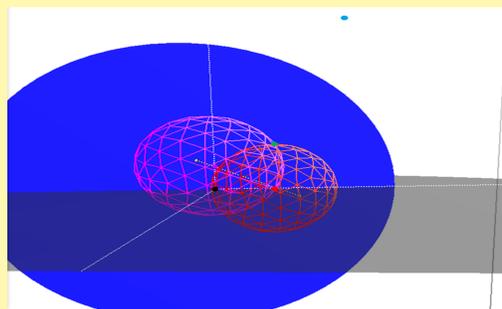


$$Pl_b = e_0 \wedge e_1 \wedge e_2 \wedge e_\infty$$

$$a_0 = (0, 0, 0), a_1 = (0, 0, 0.036)$$

$$P_e = (0, 0.1554, 0.28425) \text{ ***en reposo***}$$

$$Pl_e = e_0 \wedge e_3 \wedge P_e \wedge e_\infty$$

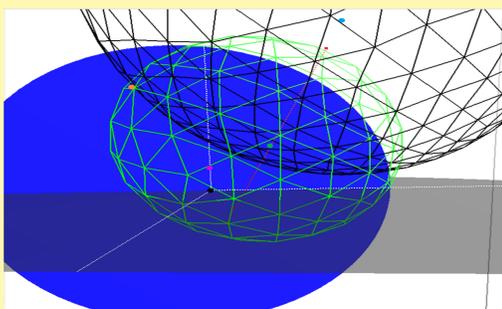


$$S_1 = a_1 - \frac{1}{2}d_{a_1a_2}^2 e_\infty$$

$$S_x = a_{x02} - \frac{1}{2}d_{a_{x02}a_2}^2 e_\infty$$

$$Pp_2 = (S_1^* \wedge S_x^*) \cdot Pl_e$$

$$a_2 = Pp_2 - \frac{\sqrt{|Pp_2 \cdot Pp_2|}}{-e_\infty \cdot Pp_2}$$

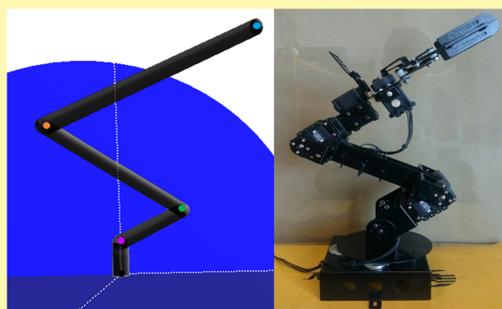


$$S_2 = a_2 - \frac{1}{2}d_{a_2a_3}^2 e_\infty$$

$$S_e = P_e - \frac{1}{2}d_{a_3P_e}^2 e_\infty$$

$$Pp_3 = (S_2^* \wedge S_e^*) \cdot Pl_e$$

$$a_3 = Pp_3 - \frac{\sqrt{|Pp_3 \cdot Pp_3|}}{-e_\infty \cdot Pp_3}$$



Modelo final del robot con la posición de las articulaciones a_0, a_1, a_2, a_3 y del efector final P_e , comparado con el robot real AX18-A.

Obtención de ángulos

Se obtuvieron los ángulos de cada articulación:

$$\theta_i = \text{Atan2}[(w_1 \wedge w_2) \hat{N}^{-1}, w_1 \cdot w_2],$$

$$w_i = ((a_i \wedge a_{i+1}) \cdot e_0) \cdot e_\infty \text{ y } \hat{N}^{-1} = \pm \frac{\hat{w}_2 \wedge \hat{w}_1}{\|\hat{w}_2 \wedge \hat{w}_1\|}.$$

Para la posición P_e , los ángulos obtenidos son:

$$\theta_0 = 90^\circ, \theta_1 = 120^\circ, \theta_2 = 60^\circ, \theta_3 = 60^\circ,$$

los cuales concuerdan con los medidos en el robot para la posición en reposo del efector final.

Aplicación en BCI

Integrando el método de clasificación y el modelo de álgebra geométrica, se diseñó una BCI en la que un sujeto podía manipular la posición del efector final en 3D a través de cuatro comandos dependientes de la clasificación obtenida.

- MI \rightarrow : Desplazamiento + en un eje.
- MI \leftarrow : Desplazamiento - en un eje.
- Reposo : No hay desplazamiento.
- Dos reposos : Cambio de eje.

Conclusiones

- El modelo de álgebra geométrica permitió obtener satisfactoriamente los ángulos articulares necesarios para una posición deseada del efector final. Combinando este modelo con el método de clasificación se logró desarrollar una BCI para la manipulación de un brazo robótico en 3D, utilizando únicamente comandos de MI.
- La integración de la BCI presentada en este trabajo junto con técnicas de reconocimiento de objetos, permitirá desarrollar una BCI semi-autónoma que realice tareas de manera similar al cerebelo y reduzca la frustración y cansancio generadas en usuarios de BCIs.