

DATASET PARA LA EVALUACIÓN ELECTROFISIOLÓGICA DE LA MANIPULABILIDAD DE MIEMBRO SUPERIOR EN TAREAS DE ALCANCE Y AGARRE

**Óscar G. Hernández, José Mario P. López, Paola Rodríguez Martí
Andrés Úbeda* y Vicente Morell**

Grupo Human Robotics, Universidad de Alicante, 03690 San Vicente del Raspeig, Alicante, España;
oghernandez@unah.edu.hn (O.G.H.), jmlopezc@unah.edu.hn (J.M.P.L.); prm50@alu.ua.es (P.R.M),
vicente.morell@ua.es (V.M.)

Correspondencia: andres.ubeda@ua.es; Tel.: +34-965-903-400 (ext. 1094)

Resumen

La manipulabilidad de un brazo robótico es una medida cuantitativa de la capacidad de manipulación para posicionar y orientar el efector final. Este concepto también es aplicable a extremidades humanas. La manipulabilidad depende en gran medida de la posición actual de cada una de las articulaciones, sin embargo, para tareas de rehabilitación es importante tener en cuenta las propiedades de la actuación de las extremidades humanas, que permita estudiar la relación entre la activación muscular y el movimiento resultante de la mano. En el presente estudio participaron trece sujetos, los cuales ejecutaron diez repeticiones de cada uno de los ejercicios propuestos. En cada repetición se registra la siguiente información: señales electromiográficas, seguimiento del esqueleto del sujeto, nube de puntos e imagen a color del área de trabajo. Con este dataset se pueden calcular y analizar diferentes índices de rendimiento, y su correlación con la activación muscular. En este trabajo se propone evaluar los movimientos del miembro superior durante tareas de alcance y agarre y calcular el índice de manipulabilidad cinemática y dinámica a partir de la información muscular del sujeto.

Abstract

The manipulability of a robot's arm is a quantitative measurement of the capacity of manipulability for positioning and orienting the robot's end effector. This concept is also applicable to human limbs. The manipulability depends on the position of each arm's joints, however, for rehabilitation tasks It is important to keep in mind the properties of actuation of human limbs, for studying the relationship between the muscle activation and the resultant hand's movement. Thirteen subjects participated in this study, each one executed ten trials of the proposed exercises. During each repetition, the following information was recorded: electromyographic signals, tracking of the participant's skeleton, point cloud and color image of the workplace. With this dataset, different throughput indexes and their correlation with muscular activation might be computed. In this study, the assessment of the movements of the upper limb during reaching and grasping tasks is proposed, and the computation of kinematic manipulability index, and dynamic manipulability index from the muscular activity of the subject.

Palabras clave: manipulabilidad, electromiografía, captura de movimientos, rehabilitación

Key words: manipulability, electromyography, motion capture, rehabilitation

1. Introducción

En robótica, un aspecto importante en la planificación para ejecutar una tarea con una mano robótica es la facilidad para cambiar la posición y la orientación del efector final. Un índice cuantitativo de esta habilidad se llama manipulabilidad, propuesto por Yoshikawa (1985). Este concepto también es aplicable a extremidades humanas, se basa en la cinemática del brazo, donde la incertidumbre en los ángulos de articulación se propaga en la posición final. Petrič et al. (2019) proponen un enfoque de control de exoesqueleto basado en la manipulabilidad muscular del brazo, esto permite a los usuarios del exoesqueleto realizar tareas de manera efectiva en todo el rango del espacio de trabajo; el esfuerzo humano requerido para realizar el movimiento se evaluó midiendo y analizando las señales electromiográficas (EMG) de los músculos involucrados. Otro estudio transforma la forma de la elipse de manipulabilidad de la fuerza en una forma circular en todo el espacio de las configuraciones del brazo humano, lo que permite al usuario realizar tareas en configuraciones de brazo que de otro modo serían inadecuadas debido a la falta de manipulabilidad (Tadej et al., 2016).

2. Desarrollo

2.1. Planteamiento del problema

Para analizar si existe relación entre las señales EMG y el esfuerzo producido en las articulaciones del brazo al realizar una serie de ejercicios de alcance o agarre de un objeto, en este estudio se propone la construcción de un dataset que incluya las señales EMG de los principales músculos del brazo involucrados en los movimientos planteados en el experimento, y los ángulos de las articulaciones del brazo, obtenidos a partir de la estimación de pose del sujeto, a partir de los cuales se podrán calcular diferentes índices, entre ellos el índice de manipulabilidad cinemática, manipulabilidad dinámica y el índice de condicionamiento local. Este dataset se utilizará posteriormente para explorar la relación entre la actividad muscular y el esfuerzo producido, utilizando técnicas de Deep Learning.

2.2. Método

2.2.1. Modelo del brazo

Para calcular la medida de manipulabilidad muscular se modela el sistema musculoesquelético del brazo derecho del humano como un mecanismo en serie plano de tres segmentos (ver Figura 1), con la primera articulación representando el hombro, la segunda el codo y la tercera articulación la muñeca. Este modelo consta de seis grados de libertad: abducción/aducción del hombro (q_1), flexión/extensión del hombro (q_2), rotación del hombro (q_3), extensión/flexión del codo (q_4), pronación/supinación del codo (q_5) y flexión/extensión de la muñeca (q_6). L_1 , L_2 , y L_3 son las longitudes del brazo, antebrazo y mano, respectivamente.

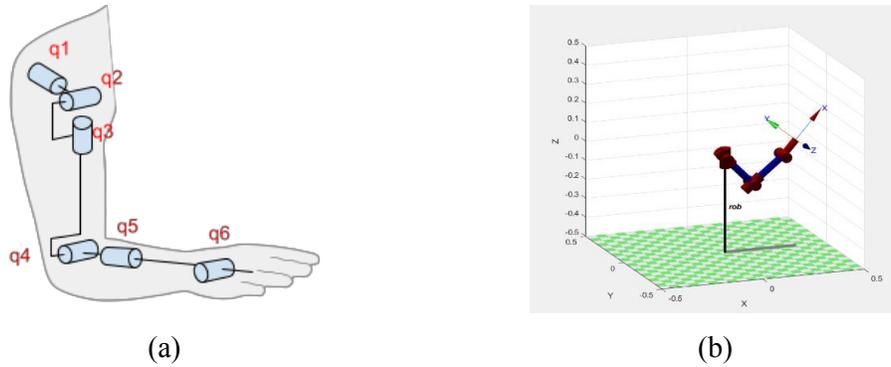


Figura 1: (a) Grados de libertad del brazo, (b) Modelo del brazo en Matlab

2.2.2. Sincronización de equipos y captura de Información

El hardware involucrado para captura de información consta de una Kinect Xbox One (30 Hz), un equipo Noraxon Mini DTS (1500 Hz) y un ordenador para el procesamiento de información y sincronización de dispositivos mediante una señal digital enviada por el Arduino UNO. Como información resultante se tiene: el seguimiento de 25 puntos principales del esqueleto de la persona, la nube de puntos, la imagen de color del área de trabajo y las señales electromiográficas (EMG). Las señales EMG se capturaron con el software Myo Muscle de Noraxon (ver Figura 2) y se exportaron en archivos compatibles con Matlab (The Mathworks Inc., Natick, MA, USA). La captura de información se realiza mediante una solución desarrollada en C# la cual permite utilizar el SDK oficial de la Kinect Xbox One, posteriormente se utiliza Matlab para el procesamiento de la información capturada. El código fuente de la captura y el procesamiento de la información se encuentra disponible en (Hernández, 2021).

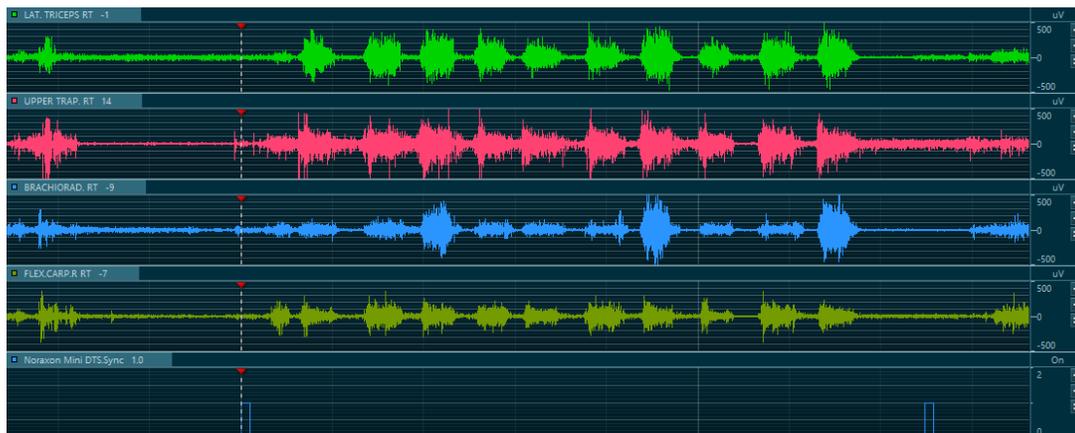


Figura 2: Muestra de la captura de las señales EMG con el software Myo Muscle de Noraxon

2.2.3. Cálculo de Ángulos

El sistema de coordenadas utilizado para la proyección de ángulos es el mismo que utiliza la cámara RGBD. El cálculo del ángulo de cada articulación depende de los puntos del esqueleto identificados por la cámara RGBD, tal como se describe en la Tabla 1.

Tabla 1: Cálculo de ángulo en las articulaciones según la estimación del esqueleto.

| Articulación | Descripción | Cálculo |
|--------------|--------------------------------|---|
| q1 | Abducción/aducción del hombro | Proyección del ángulo en el plano Z, puntos involucrados: hombro, codo |
| q2 | Flexión/extensión del hombro | Proyección del ángulo en el plano X, puntos involucrados: hombro, codo |
| q3 | Rotación del hombro | Proyección del ángulo en el plano Z o X según la dirección del brazo, puntos involucrados: codo, muñeca |
| q4 | Extensión/Flexión del codo | Ángulo entre los vectores formados por los puntos: hombro, codo y muñeca |
| q5 | Pronación/supinación del codo | Proyección del ángulo en el plano Z o X según la dirección del brazo, puntos involucrados: muñeca, pulgar |
| q6 | Flexión/Extensión de la muñeca | Ángulo entre los vectores formados por los puntos: codo, muñeca y extremo de la mano |

2.2.4. Cálculo del Índice de Manipulabilidad

El cálculo del índice de manipulabilidad es un concepto definido por Yoshikawa (1985), donde la capacidad de posicionar un robot manipulador se mide con un valor escalar dado por:

$$\omega = \sqrt{\det[J_r J_r^T]} \quad (1)$$

Yoshikawa definió posteriormente el concepto de manipulabilidad dinámica, donde se tiene en cuenta la dinámica del robot manipulador al determinar su valor escalar de manipulabilidad:

$$\omega_d = \sqrt{\det[J_r (M^{TM})^{-1} J_r^T]} \quad (2)$$

Donde J es la matriz jacobiana y M es la matriz de inercia.

2.3. Resultados

2.3.1. Sujetos

En el estudio participaron trece sujetos: tres mujeres y diez hombres, edad= 24±7 años, altura = 172±7 cm, peso = 69±14 kg. Todos los sujetos eran diestros y no tenían trastornos neuromusculares o sensoriales conocidos (autoinformado). Antes de su participación, los sujetos fueron informados del curso del estudio y dieron su consentimiento informado de acuerdo con el código de conducta ética.

2.3.2. Protocolo Experimental

Al realizar las pruebas, el participante debe estar sentado frente a la cámara RGBD, con la espalda recta y una postura relajada, y el brazo con el que realizará los ejercicios, sobre la mesa (ver Figura 3). El usuario debe realizar tres pruebas: la primera y la segunda constan de tres partes, y la tercera solo de una. En cada parte de la prueba, el usuario debe realizar diez repeticiones de cada ejercicio.

Se instrumentaron los siguientes músculos: tríceps, trapecio superior, extensor radial corto y supinador, para las pruebas 1 y 2; para la tercera prueba se capturaron las señales del pectoral mayor, trapecio superior, infraespinoso y dorsal ancho. Se utilizaron electrodos bipolares, colocados aproximadamente sobre el vientre de cada músculo.

La primera parte consiste en coger un objeto que se encuentra sobre la mesa. En la segunda, el participante coge el objeto, pero con la muñeca en máxima extensión; y en la tercera parte, en máxima flexión. Después de que el usuario coge el objeto, debe volver a una posición con el brazo relajado por unos segundos. En la segunda prueba se realizan los mismos movimientos que la primera prueba, con la variante de que el brazo debe estar en pronación. La tercera prueba consiste en levantar un objeto y realizar los movimientos de abducción y aducción del brazo, con una pequeña pausa al centro, cuando el brazo regresa de cada movimiento. Después de realizar cada repetición, el usuario toma un descanso de unos segundos.



Figura 3: Imagen a color capturada por la cámara RGBD

2.3.3. Procesamiento de Datos

Con los parámetros Denavit Hartenberg y utilizando la Robotics Toolbox se realiza el modelado del brazo del humano en Matlab. Los ángulos para cada uno de los grados de libertad, así como las longitudes de los eslabones se calculan utilizando los puntos capturados por la cámara RGBD: hombro, codo, muñeca, pulgar y terminación de la mano. Con la configuración del robot, la información de los ángulos y la matriz de inercia se realiza el cálculo de la manipulabilidad cinemática y dinámica aplicando las ecuaciones (1) y (2) respectivamente. Para analizar la información en conjunto, se remuestran las señales EMG con el seguimiento de los 25 puntos del esqueleto del participante, en la figura 4 se detallan las diferentes etapas relacionadas con la captura, procedimiento e información resultante.

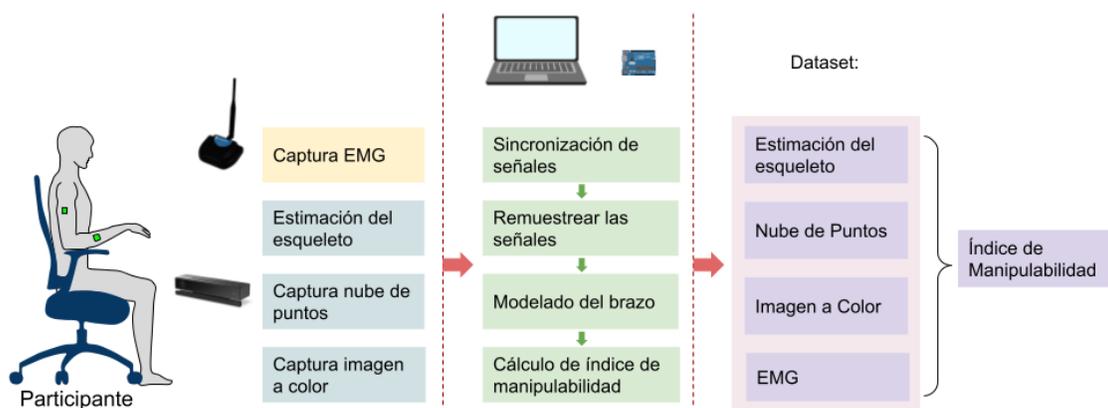


Figura 4: Captura y procesamiento de información

2.4. Conclusión

Con el dataset obtenido se pueden calcular diversos índices de rendimiento, en la Figura 5 se presentan tres ejemplos: índice de manipulabilidad cinemática y dinámica e índice de condicionamiento local. Estos índices son calculados a partir de la información capturada por la cámara RGBD. Como parte de las líneas de investigación futuras derivadas de este trabajo se encuentra el análisis de la correlación entre la información obtenida por la cámara RGBD y el EMG del sujeto para cada uno de los experimentos planteados. Para ello se aplicarán técnicas de Deep Learning que permitan extraer información útil de la señal EMG que pueda correlacionarse con los índices calculados.

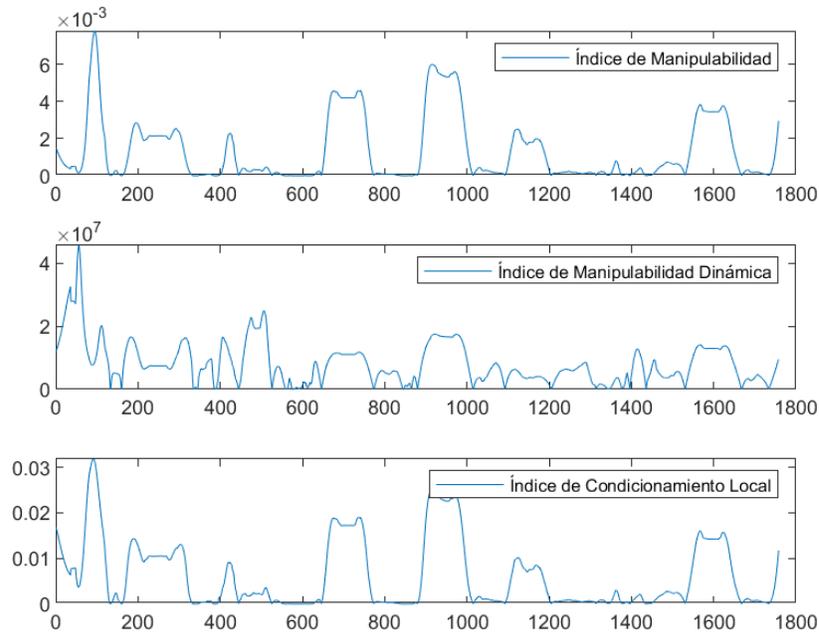


Figura 5: Ejemplos de índices de rendimiento

Referencias

- Hernández, O. G. (2021). *Manipulability [Software de computadora]*. Retrieved from <https://github.com/OHernandezr/Manipulability>
- Petrič, T., Peternel, L., Morimoto, J., & Babič, J. (2019). Assistive Arm-Exoskeleton Control Based on Human Muscular Manipulability. *Frontiers in Neurobotics*, 30.
- Tadej, P., Goljat, R., & Babič, J. (2016). Augmentation of human arm motor control by isotropic force manipulability. *2016 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS)*, 696-701.
- Yoshikawa, T. (1985). Dynamic manipulability of robot manipulators. *Proceedings - IEEE International Conference on Robotics and Automation*, 1033-1038.