

# BIOMIMO, Estudio Ergonómico Aumentado Utilizando un Sistema de Captura de Movimiento Infrarrojo de Alta Precisión y Realidad Aumentada.

J. Gimeno<sup>1</sup>, M. Gorosabel<sup>2</sup>, F.M. Sanchez<sup>1</sup>, A. Pujana-Arrese<sup>2</sup>, M. Fernandez<sup>1</sup> y J. Landaluze<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Grupo ARTEC - Instituto de Robotica, Universidad de Valencia, España

<sup>2</sup>Centro de Investigación IKERLAN, España

{jesus.gimeno,marcos.fernandez}@uv.es

---

## Resumen

*En este artículo se describe la realización de un estudio ergonómico del miembro superior derecho aplicando técnicas de Realidad Aumentada y captura de movimiento de alta precisión. Utilizando el Software desarrollado, llamado BIOMIMO estudio ergonómico aumentado, un experto puede observar al usuario durante el estudio, obteniendo una visualización aumentada del mismo. Para aumentar la visión del experto, el sistema de captura infrarrojo de alta precisión envía la información que se representan en forma de un esqueleto tridimensional superpuesto a la imagen del sujeto evaluado, y valores calculados en tiempo real (ángulos de estudio, posiciones relativas, etc.). Como resultado, el análisis del experto ya no solo se basa en su percepción, sino que en tiempo real tiene información exacta de los movimientos del brazo.*

Categories and Subject Descriptors (according to ACM CCS): H.5.1 [Computer Graphics]: Information Interfaces and Presentation/Multimedia Information Systems—Artificial, augmented and virtual realities; I.3.8 [Computer Graphics]: Computer Graphics/Applications—

---

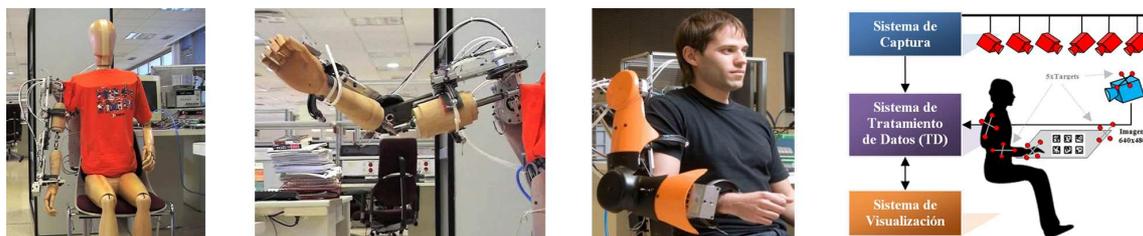
## 1. Introducción

Se define como IAD (Intelligent Assist Device) a una clase especial de amplificador humano, a un dispositivo biomecánico cuyo objetivo es ayudar al usuario a realizar una actividad diaria que requiere un cierto esfuerzo. El nombre de ortesis puede ser utilizado en el mismo contexto. IKERLAN ha diseñado y construido IKO (IKerlant's Orthosis, Figura 1), un IAD o exoesqueleto de extremidad superior de 5 grados de libertad (GDL) [MRL\*07], orientado a ayudar al usuario a realizar una actividad rutinaria que exige un esfuerzo en el puesto de trabajo. Con el objetivo de mejorar los algoritmos de control de dicha ortesis, se ha desarrollado un estudio ergonómico de los movimientos del brazo derecho aplicando técnicas de realidad aumentada (RA). De esta forma el experto que realiza el estudio, ya no solo obtiene información del sistema de captura en formato texto o gráficas, sino que la visualiza sobre el propio sujeto al mismo tiempo que este realiza los movimientos.

Según la definición de [Azu95], la realidad aumentada

a diferencia de la Realidad Virtual, no consiste en sumergir al usuario en un mundo virtual, sino en complementar su propia visión del mundo real. Esta capacidad de mostrar información adicional sobre los propios objetos reales, ya hizo que una de las primeras aplicaciones de este nuevo paradigma de interacción fuese la medicina. En [TKT\*98] se describe detalladamente cómo aplicar RA a la ayuda en cirugía, utilizando *HMDs* (head mounted displays) a través de los cuales se muestra, en tiempo real, información al cirujano del interior del paciente. En la citada investigación, y en [FNFB04] se pone de manifiesto la gran utilidad que tendría para un cirujano poder observar el interior de su paciente, por ejemplo, antes de practicar una incisión, o durante la planificación una operación.

Es nuestro objetivo en este estudio, aplicar esa capacidad de ver más allá del sujeto ó paciente, aumentando la visión del experto durante un estudio ergonómico, al igual que si fuese el cirujano en [TKT\*98]. De esta forma se espera obtener un mejor análisis de los movimientos del brazo



**Figura 1:** Prototipo IKO en el laboratorio de IKERLAN (izq); Diagrama de componentes del sistema BIOMIMO estudio ergonómico aumentado (dcha).

que ayude a diseñar unas cadenas cinemáticas adecuadas para nuestra ortesis. Como ya se describió en [GPAFL08], el proceso de diseño, construcción y pruebas de una ortesis es muy costoso, además de potencialmente peligroso durante las pruebas iniciales. Sería impensable probar un nuevo prototipo o un nuevo algoritmo de control, con un usuario al que la ortesis podría llegar incluso a partirle el brazo. En [GPAC\*08] se realiza un completo estudio de cómo aplicar diferentes técnicas de captura de movimiento al prototipo virtual de la ortesis, incluyendo el estudio ergonómico. Para nuestra aplicación se utilizará un sistema de captura óptico infrarrojo, en concreto el sistema ART, el cual cumple con todos los requisitos de precisión, velocidad, libertad de movimientos, etc. En los siguientes apartados se describe el estudio ergonómico diseñado, el sistema BIOMIMO desarrollado y las pruebas realizadas, así como algunas conclusiones obtenidas durante la investigación.

## 2. Descripción del estudio ergonómico

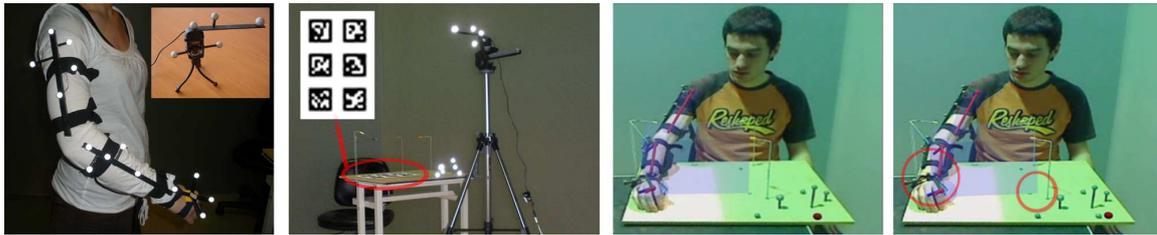
El objetivo del estudio ergonómico es encontrar una codificación o un criterio ergonómico según el cual se realizarán los movimientos del brazo derecho. Esta información será necesaria para la definición de cadenas cinemáticas en el control de la ortesis. Se ha considerado que las tareas se realizan en un espacio de trabajo colocado frente a la persona, fijando los movimientos entre los 8 vértices de un cubo cuyas dimensiones son de 300x200x200 mm. La base del cubo está 200 mm. por debajo del hombro y su cara anterior a 280 mm. frente a él. Se define un punto de origen (Q1), el cual se encuentra en la base del cubo, centrado en la cara anterior del mismo. Las trayectorias consisten en llevar la muñeca desde el punto de origen, a cada uno de los 8 objetivos, considerando ida y vuelta como una única trayectoria. Las pruebas se realizan primero con gente implicada en el proyecto (para validar el equipo y la metodología). Se establece una cantidad de 20 a 30 personas y se decide realizar los ejercicios en diferentes condiciones: con y sin peso, variando la posición inicial, etc. A partir de los resultados se tratará de obtener patrones de movimiento del brazo derecho. Para ello, se estudian los movimientos en diferentes instantes y se observan: las trayectorias preferidas, ángulos y posiciones en diferentes momentos, no sólo al inicio y al final.

## 3. Diseño e implementación del "BIOMIMO estudio ergonómico aumentado"

En esta investigación ha sido necesario abordar diferentes retos, desde el diseño de los marcadores, hasta la implementación del Software de visualización. Como indica el esquema de la Figura 1 el sistema completo se compone del sistema de captura, el sistema de tratamiento de datos (TD) y el sistema de visualización. Todos los datos capturados son recibidos por el sistema de tratamiento de datos, por medio de una conexión Ethernet, donde son recogidos, almacenados, etc. Este sistema TD envía la información adecuada de cada una de las partes del brazo y la posición de la cámara al sistema de visualización. Finalmente en el sistema de visualización, utilizando Realidad Aumentada, Realidad Virtual, los datos capturados y la imagen de la cámara, se muestra toda la información.

### 3.1. Sistema de captura

Este sistema es el encargado de capturar: los movimientos del brazo del usuario, la cámara que graba el estudio y el volumen de trabajo sobre el que se realizan los movimientos. Con este objetivo se ha decidido utilizar el sistema infrarrojo ART. El sistema ART, junto con el Software DTrack, permite la captura simultánea de hasta 20 *Targets* a una velocidad aproximada de 60 capturas por segundo. ART podría considerarse como un sistema de alta gama dentro de los ópticos infrarrojos, ofreciendo un error inferior a 1 mm. en la posición tanto de los marcadores individuales como de los *Targets*. El volumen de captura sería de alrededor de 2 m<sup>3</sup> si solo fuese necesario capturar los movimientos del brazo del usuario, el cual se encuentra sentado en una silla. Sin embargo, para la visualización aumentada el sistema de captura ha de ser capaz de calcular, también, los movimientos de la cámara que graba la imagen del usuario en todo momento. Esta cámara con un campo de visión de 45° en horizontal, necesita al menos un metro de distancia para captar completamente al usuario y el volumen de trabajo. Con estas consideraciones, la disposición de las cámaras diseñada consta de 4 de ellas en la parte superior a 2.5 m de altura, formando un cuadrado de 2 m de lado sobre el usuario. Las dos cámaras restantes se colocan frente al sujeto a una al-



**Figura 2:** Targets del brazo, antebrazo, mano y cámara diseñados para el estudio ergonómico (izda); calibración con marcas ARToolKit (centro); visualización con calibración y error sin aplicar la calibración (dcha).

tura de 0.5 m y una separación de 2 m entre ellas. De esta forma, todas las cámaras están orientadas hacia el volumen de captura, quedando este cubierto por todos los ángulos.

En el diseño de los *Targets* es necesario tener en cuenta ciertos aspectos, puesto que la calidad de la captura depende en gran parte de la calidad de los *Targets* creados. Unos *Targets* bien diseñados, y construidos, dotan al sistema de robustez contra el problema de ocultaciones, una buena capacidad de identificar cada *Target* y una precisión adecuada tanto en la posición como en la orientación. Los *Targets* del brazo y antebrazo se componen de 5 marcadores cada uno. Los dos marcadores más alejados definen el eje X a lo largo de brazo y antebrazo. Estos marcadores, no molestan al usuario, a la vez que ofrecen una mayor precisión en el cálculo de la orientación. El resto de los marcadores, como se puede observar en la Figura 3, se colocan sobresaliendo levemente evitando las posibles oclusiones producidas por el propio brazo del usuario. El *Target* colocado en la cámara, está compuesto por 5 marcadores dispuestos alrededor de la cámara. En un principio se supuso que sería posible calibrar fácilmente la orientación de la cámara con respecto al *Target* unido a ella, pero al final el error introducido en la visualización hizo necesario un proceso de calibración (apartado. 3.3.1). El quinto y último *Target* diseñado es el correspondiente al espacio de trabajo. Con el objetivo de marcar los puntos que definen las trayectorias del estudio ergonómico, se construyó un panel, que además incorpora los marcadores retro-reflectantes. De esta forma la posición exacta del espacio de trabajo es capturada al mismo tiempo que los movimientos del usuario.

### 3.2. Sistema de tratamiento de datos (TD)

El sistema de tratamiento de datos es el encargado de manejar toda la información recibida del sistema de captura. Alrededor de 60 veces por segundo, este sistema recibe la información de posición y orientación de cada uno de los *Targets*, la procesa en tiempo real y envía los resultados al sistema de visualización. En este procesamiento se convierten las coordenadas de los *Targets*, calculan parámetros relevantes para el estudio ergonómico y se mantiene la coherencia entre el sistema de captura y la imagen capturada

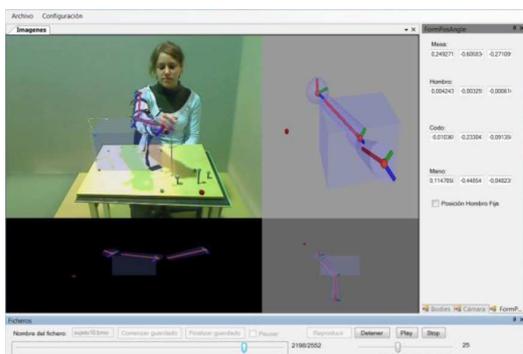
por la cámara. Los datos recibidos del sistema ART están en relación al eje de coordenadas de dicho sistema, mientras que para el estudio se desea obtener todos los datos con respecto al espacio de trabajo del estudio. Esta transformación se realiza multiplicando las matrices de transformación de los *Targets* por la inversa de la matriz de transformación del *Target* unido al espacio de trabajo. Tras esta corrección ya es posible calcular la posición y orientación del brazo, antebrazo, mano y la cámara, además de distintos parámetros relevantes como por ejemplo: ángulo de apertura del codo, ángulos de movimiento de la mano con respecto al hombro, etc. Finalmente en el procesamiento de los datos se incluye el mantener la coherencia entre la imagen de la cámara y los movimientos capturados por el sistema de captura.

#### 3.2.1. Proceso de calibración automática de la cámara

La cámara que graba a los diferentes usuarios durante el estudio lleva incorporado un *Target* para obtener una correcta visualización aumentada. Este *Target* ofrece la posición y orientación de la cámara, pero es muy difícil conseguir de forma manual que la orientación del objetivo de la cámara coincida con la del *Target* unido a ella. Para corregir esta diferencia se ha diseñado una calibración utilizando marcas de tipo ARToolKit. Utilizando la librería ARToolKit, al enfocar hacia las marcas es posible calcular la posición de la cámara con respecto a dichas marcas, al mismo tiempo que el sistema ART captura la posición tanto de la cámara como del volumen de trabajo. La diferencia entre la posición orientación relativa calculada a partir del sistema ART y la capturada utilizando ARToolKit, será el factor de corrección utilizado para corregir la información del *Target* de la cámara. En la Figura 2 se observa una visualización sin calibración y la misma visualización utilizando la calibración calculada. Se puede observar que en la primera existe una correspondencia casi perfecta entre la información virtual y la imagen real, mientras a la derecha la información virtual está desplazada con respecto a la imagen real, esta coherencia se denomina a menudo *Registration*.

### 4. Sistema de visualización

En esta primera implementación, como se puede observar en la Figura 3, la visualización consta de 5 partes: datos en



**Figura 3:** Interfaz del sistema BIOMIMO estudio ergonómico aumentado.

formato textos, vistas de realidad virtual (RV) y la visualización aumentada. Los datos en formato texto se muestran a la derecha de la pantalla en diversos formularios: ángulos, posiciones relativas, etc. Este modo de visualización se ha mantenido por que es el utilizado hasta el momento, y al que todos los usuarios están acostumbrados. Las 3 vistas de RV muestran una representación del brazo moviéndose acorde a los datos capturados, desde 3 puntos de vista: lateral, cenital y un tercero libre que el usuario puede modificar en cualquier momento con el ratón. Finalmente, la visualización aumentada muestra la imagen real del sujeto, capturada a través de la cámara, con la información virtual sobre ella. En esta vista se puede observar el mismo brazo virtual representado en las 3 vistas de RV, pero en este caso sobre el propio sujeto de estudio, aumentado la visión que tenemos del mismo. En esta información virtual, es posible también mostrar distintas informaciones en tiempo real sobre la imagen, como el espacio de trabajo o incluso etiquetas en formato texto. De esta forma el usuario no tiene que mirar primero el video y luego la ventana de texto, sino que en un rápido vistazo tiene toda la información exacta. El software implementado incorpora también ventanas de manejo del video para la reproducción de los mismos. Durante la reproducción es posible modificar la velocidad, movernos a un punto determinado, pausar, etc. siempre manteniendo actualizadas todas las visualizaciones de imágenes y datos. Para mantener la compatibilidad de este software con otros programas estadísticos o de animación, el sistema TD es capaz de exportar los datos en formato texto simplemente marcando inicio y fin en el propio slider de la parte inferior.

## 5. Pruebas y resultados

En las pruebas del sistema 30 usuarios, entre ellos 20 hombres y 10 mujeres, de distinta altura y complejión han realizado las tareas en 3 condiciones diferentes: sin peso, con un peso de 0.5 Kg. y un peso de 1 Kg. realizando 3 veces cada movimiento en cada una de las condiciones. En total se han almacenado más de tres horas de video, con sus respectivos

datos, lo cual significa un gran volumen de datos que no sería fácil de analizar simplemente con las herramientas actuales. Tanto en la grabación como la reproducción de los datos se utilizó el software BIOMIMO desarrollado en este estudio. Una vez recogidos los datos de los 30 usuarios, para su análisis, se han reproducido correctamente las sesiones sin pérdidas de datos. Durante el análisis se ha probado que la visualización aumentada facilita en gran medida el reconocimiento de los movimientos, puesto que la información no son simples gráficos o datos en formato texto, sino que se observan sobre el propio usuario. De esta forma se facilita el trabajo de separación y clasificación de cada movimiento.

## 6. Conclusiones

En este artículo se ha presentado el sistema BIOMIMO estudio ergonómico aumentado, en el que se han aplicado con éxito RA y captura de movimiento a un estudio ergonómico del miembro superior derecho. La alta precisión del sistema ART ha permitido obtener unos datos adecuados para el posterior cálculo de las cadenas cinemáticas que se utilizaran en la ortesis IKO. La visualización aumentada ha demostrado facilitar la comprensión y tratamiento del gran volumen de datos generado por el sistema de captura. Como trabajo futuro, introducir nuevos datos en la visualización aumentada, e incluso hacer más interactivo la forma de elegir cuales mostrar en cada momento, ayudarían aún más en el análisis de los movimientos calculados.

## 7. Agradecimientos

El material utilizado en este artículo ha sido financiado en parte por el Ministerio Español de Educación y Ciencia y por los Fondos Europeos FEDER (proyecto DPI2006-14928-C02-01 y proyecto DPI2006-14928-C02-02).

## References

- [Azu95] AZUMA R.: A survey of augmented reality. *Presence 6* (1995), 355–385. 1
- [FNFB04] FISCHER J., NEFF M., FREUDENSTEIN D., BARTZ D.: Medical augmented reality based on commercial image guided surgery). In *Eurographics Symposium on Virtual Environments (EGVE)* (2004). 1
- [GPAC\*08] GIMENO J., PUJANA-ARRESE A., COMA I., FERNANDEZ M., LANDALUZE J.: Técnicas de captura de movimiento, infrarroja y basada en video, aplicadas al prototipo virtual de una ortesis. In *JOREVIR '08* (2008). 2
- [GPAFL08] GIMENO J., PUJANA-ARRESE A., FERNANDEZ M., LANDALUZE J.: Biomimo design & test: Motion capture and ar techniques to design and test an orthosis prototype. In *HSI '08* (2008). 2
- [MRL\*07] MARTINEZ F., RETOLAZA I., LECUE E., BASURKO J., LANDALUZE J.: Preliminary design of an upper limb iad (intelligent assist device). In *AAATE '07* (2007). 1
- [TKT\*98] TANG S.-L., KWONG C.-K., TEO M.-Y., SING N. W., LING K.-V.: Augmented reality systems for medical applications. *Engineering in Medicine and Biology Magazine, IEEE 17*, 3 (May-June 1998), 49–58. 1