



**HAL**  
open science

## Fusión de Datos de Multicaptadores para la Captura de Movimiento

Bernardino Benito Salmerón Quiroz, Godin Christelle, Suzanne Leseq

► **To cite this version:**

Bernardino Benito Salmerón Quiroz, Godin Christelle, Suzanne Leseq. Fusión de Datos de Multicaptadores para la Captura de Movimiento. AMCA 2006, Congreso Nacional de Control Automatica, Oct 2006, Mexico, México. hal-00160745

**HAL Id: hal-00160745**

**<https://hal.science/hal-00160745>**

Submitted on 7 Jul 2007

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

# Fusión de Datos de Multicaptadores para la Captura de Movimiento

Salmerón Quiroz B. Benito\*, Godin Christelle\*, Leseq Suzanne\*

\*Laboratoire d'Automatique de Grenoble  
ENSIEG - Domaine Universitaire - BP46  
38402 Saint Martin d'Hères - Cedex, France  
Teléfono: +33(0)4 76 82 64 13 / Fax : +33 (0)4 76 82 63 88  
\* CEA LETI/DCIS/SMOC/LMTES

17 avenue des Martyrs. 38054-Grenoble, France  
Teléfono: +33(0)4 38 78 51 59

E-mail \* [bernardino.salmeron|suzanne.leseq]@inpg.fr, \* christelle.godin@cea.fr  
<http://www.lag.ensieg.inpg.fr/>

*Resumen*— Este artículo presenta un nuevo sistema de captura de movimiento a partir del cual deseamos estimar, tanto la orientación como la aceleración lineal de un objeto en el espacio a partir de las medidas obtenidas por una minicentral, la cual, se desea sea realizada utilizando una configuración minimal y de bajo costo, para ello se proponen algoritmos para la determinación de la orientación y de la aceleración de un objeto en el espacio desconociendo el modelo del movimiento propio del objeto, por lo cual no se puede aplicar por ejemplo un observador, pero tomamos en cuenta la cinemática del movimiento del ser humano, ya que la aplicación deseada de esta minicentral, es la captura de movimiento humano. Para la estimación de la orientación utilizamos una formulación que hace uso del cuaternión unitario en lugar de los ángulos de Euler, así eliminamos el problema de las singularidades asociadas a la estimación de la orientación. Igualmente, se presenta un modelo cinemático, basándonos en los robots con articulaciones tipo rotula, uniones que mas se asemejan a las articulaciones humanas. Simulaciones y validaciones del modelo fueron realizadas, cuyo resultado converge en una estimación correcta tanto de la orientación como de las aceleraciones lineales.

**Palabras clave:** Fusión de datos, cuaternión, captura de movimiento, aceleración lineal.

## I. INTRODUCCIÓN

La captura de movimiento consiste en la determinación de las posiciones y orientaciones sucesivas de un objeto con movimiento en el espacio. Las aplicaciones son muy variadas y van desde el ámbito médico (cirugía asistida por computadora) al de la realidad virtual.

La captura del movimiento humano puede servir de técnica de animación de personajes virtuales. Los sistemas de captura del movimiento esta compuesto de herramientas tanto de software como de hardware, que permiten la adquisición del movimiento de un objeto o de un ser humano en el espacio tanto en tiempo real como en tiempo diferido. Distintos sistemas de captura existen en el mercado [1], los cuales difieren esencialmente por su tipo de tecnología [3].

Son usualmente utilizados hoy día en la producción de animaciones de personajes. Estos sistemas miden la posición o la orientación de los diferentes miembros que conforman el protagonista real, según una frecuencia de

muestreo que varia de acuerdo al sistema utilizado [4]. La información adquirida se usa ya sea instantáneamente o en tiempo diferido sobre un personaje virtual. En este último caso, se genera una base de datos la cual mas tarde es tratada numéricamente por algún programa computacional específico. Estos datos pueden ser tratados y convertidos en curvas de animación para facilitar, por ejemplo, el retoque. Los sistemas de captura han evolucionado a grandes pasos desde sus inicios, ofreciendo mejoras tanto en precisión como en calidad.

En la actualidad, su diversidad permite animar a un personaje en su totalidad: cuerpo, cara y manos. Hoy en día, los programas informáticos, que asocian los movimientos registrados en la base de datos al personaje virtual son un criterio de elección a menudo prioritario. La idea inicial de asociar sensores a un protagonista, para adquirir el movimiento, evolucionó lentamente hacia la utilización de sistemas de adquisición más simples al momento de su aplicación.

En el mercado existen diversos sistemas de captura de movimiento. Entre los más utilizados están los sistemas de captura magnéticos, basados en campos magnéticos y antenas como sensores y los sistemas de captura ópticos que utilizan varias cámaras para realizar el seguimiento de unas marcas situadas en el cuerpo del actor. Los sistemas de captura magnéticos [13][15][14] presentan distorsiones en presencia de campos magnéticos y trabajan con un numero limitado de marcas. Sin embargo, presentan menos problemas a la hora de identificar las marcas y pueden ser utilizados casi sin procesamiento posterior, por lo que son utilizables en aplicaciones interactivas. Los sistemas de captura ópticos [16][17], no presenta limitación en cuanto al numero de marcas y suelen emplearse en la captura de movimientos complejos, su mayor inconveniente es la oclusión de marcas y su costo. Otro tipo de sistema comercial para la captura de movimiento, es el sistema mecánico [18], los cuales en su mayoría se tratan de exoesqueletos que se colocan en las diferentes articulaciones del cuerpo humano, pero que tienen la desventaja de que son incómodos y limitan la versatilidad del movimiento.

Por otro lado, muchas aplicaciones de animación por

computadora requieren la estimación de las matrices de la rotación 3-D en dos pasos, generalmente usando primeramente, un algoritmo lineal y enseguida un estimador no lineal. Así, podemos citar como ejemplos de ello, la calibración de la cámara fotográfica [5] o el ajuste de las lentes [6] en aplicaciones como la captura de movimiento. Para la estimación de la rotación 3-D existe varios métodos, por ejemplo: los ángulos de Euler, la representación ejes/ángulo y los cuaterniones.

Los cuaterniones tiene ventajas en diversas aplicaciones, se utilizan por ejemplo en la visión por computadora para una estabilización de la estimación numérica de la matriz de rotación [1][5], o en la graficación por computadora, para la interpolación entre dos rotaciones dadas, ya que los cuaterniones pueden ser representados como vectores, además conforman una representación no singular, más compacta y más rápida que las matrices.

En este trabajo, se enfoca en el uso del cuaternión para la determinación de lo orientación 3-D, mediante el uso de un algoritmo iterativo de mínimos cuadrados, el cual esta sujeto a restricciones y en donde la variable es el cuaternión, que nos proporciona información sobre la orientación del objeto.

En lo que resta del artículo, esta organizado de la siguiente forma. En la sección II, definimos la parametrización de rotación utilizada, en la sección III, formulamos nuestro problema, para ello definimos nuestra aplicación, el cual sera la estimación de la orientación 3-D, así como la estimación de la aceleración lineal para el movimiento del brazo y la pierna. Los resultados encontrados, tanto para los datos simulados como para los datos reales para los movimientos estudiados, para el caso del brazo, son dados en la sección IV y finalmente en la sección V se da la conclusion acerca de nuestra modelización y aplicación.

## II. PARAMETRIZACIÓN DE LA ROTACIÓN

### A. Ángulos de Euler

La representación de una rotación usando los ángulos de Euler es probablemente la parametrización mas conocida. Una matriz de rotación se puede construir a partir de tres matrices que representan rotaciones alrededor de los ejes del sistema de coordenadas, donde cada rotación es definida por un ángulo. Dado que la multiplicación de matrices no es conmutativa, la representación del ángulo de Euler no es única, lo cual indica que una permutación del orden de las rotaciones alrededor de los ejes dará diferentes ángulos de Euler. La desventaja más importante de esta parametrización es la existencia de la singularidad denominad *gimbal lock*, donde se pierde un DOF (Degree Of Freedom), es decir dos de los tres ángulos de Euler pertenecen al mismo DOF. Para una discusión más profunda véase [7]. Puesto que los ángulos de Euler no son una parametrización correcta de rotaciones según [8] y numéricamente son inestables [9] no utilizamos este tipo de parametrización.

### B. Introducción: Cuaternión

Un cuaternión es una forma alternativa de representar rotaciones a través del cualquier eje. Matemáticamente, son una extension del conjunto de numeros complejos inventados por William Hamilton en 1843. Presentan varias ventajas comparado con las rotaciones por matrices. Concatenar cuaterniones exige menos operaciones, requieren menos espacio para almacenarlos que una matriz, son mas faciles de interpolar que las matrices, etc.

Si vemos un cuaternión como en un vector de  $\mathbb{R}^4 = \mathbb{H}$  se puede escribir:

$$q = q_0 + q_1i + q_2j + q_3k \quad (1)$$

En donde  $q_0, q_1, q_2, q_3$  son números reales y  $(1, i, j, k)$  es la base canónica de  $\mathbb{H}$ , determinados por cada cuaternión. Par extensión de los numeros complejos de  $\mathbb{C}$ , se tiene  $i^2 = j^2 = k^2 = -1$ .

Un cuaternión puede igualmente ser interpretado como la combinación de un escalar  $q_0$  y de un vector espacial  $\vec{q}$ :

$$q = [q_0, \vec{q}^T]^T \quad (2)$$

Si  $q_0 = 0$ ,  $q$  es un numero imaginario puro, se le llama vector cuaternión. Cuando  $\vec{q} = 0$ ,  $q$  es un real, se le denomina cuaternión escalar.

Un cuaternión es un numero hipercomplejo, para los cuales las reglas de la suma y la multiplicación son una extensión de las dadas en  $\mathbb{C}$  y que a continuación se da la expresión tanto de la adición como la del producto.

Sea el conjunto  $\mathbb{H}$  de los cuaterniones. Definimos una adición y una multiplicación en  $\mathbb{H}$  de tal formar que para cualquier  $q, r \in \mathbb{H}$ :

$$q + r = (q_0 + q_1i + q_2j + q_3k) + (r_0 + r_1i + r_2j + r_3k) \quad (3)$$

$$qr = \begin{matrix} (q_0r_0 - q_1r_1 - q_2r_2 - q_3r_3) + i(q_0r_1 + q_1r_0 + q_2r_3 - q_3r_2) + \\ j(q_0r_2 + q_2r_0 + q_3r_1 - q_1r_3) + k(q_0r_3 + q_3r_0 + q_1r_2 - q_2r_1) \end{matrix} \quad (4)$$

Hay que hacer la observación que el producto de los cuaterniones, contrariamente a su adición, no es conmutativo.

El conjugado de un cuaternión  $q$  expresado como  $\bar{q}$  esta dado por:

$$\bar{q} = [q_0, -\vec{q}^T]^T \quad (5)$$

#### B.1 Cuaternión Unitario

Para el caso que nos interesa, la estimación de la orientación en 3-D, hubo de utilizarse el cuaternión unitario (figura 1).

Los cuaterniones unitarios forman un grupo donde se aprecia a priori que su conjunto subyacente es la esfera unitaria de  $\mathbb{H}$ .

Un cuaternión unitario  $q$  es tal que:

$$\|q\|_2 = \sqrt{q_0^2 + q_1^2 + q_2^2 + q_3^2} = 1 \quad (6)$$

Puede escribirse también:

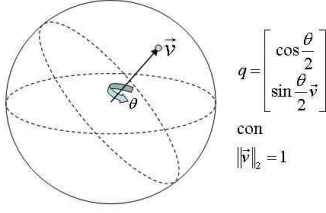


Fig. 1. Representación del cuaternión

$q = (\cos \frac{\theta}{2}, \sin \frac{\theta}{2} \vec{v})$  con  $\vec{v} = [x, y, z]^T \in \mathbb{R}^3$  de tal forma que  $\|\vec{v}\|_2 = 1$ .

Para el caso del cuaternión unitario, que es utilizado para representar la orientación 3-D, la ecuación 1y 2 puede reescribirse de la siguiente forma:

$$q = \begin{bmatrix} q_0 \\ \vec{q} \end{bmatrix} \quad (7)$$

$$\text{con } \vec{q} \equiv \begin{bmatrix} q_1 \\ q_2 \\ q_3 \end{bmatrix} = \vec{v} \sin \left( \frac{\theta}{2} \right) \quad q_0 = \cos \left( \frac{\theta}{2} \right) \quad (8)$$

Donde  $\vec{v}$  es un vector unitario que corresponde al eje unitario de rotación y  $\theta$  es el ángulo de rotación.

### III. MODELIZACIÓN

#### A. Cinemática de la orientación 3-D

En esta sección, se da un breve resumen de las ecuaciones de la cinemática para un objeto en el espacio en un sistema de 3 ejes [12].

La ecuación cinemática del cuaternión es derivada del uso de la velocidad angular  $\vec{\omega} = [w_x \ w_y \ w_z]^T$  del objeto y es dada como sigue.

$$\dot{q} = \frac{1}{2} \Omega(\vec{\omega})q(t) = \frac{1}{2} \Xi(q)\vec{\omega}(t) \quad (9)$$

En donde  $\Omega(\vec{\omega})$  y  $\Xi(q)$  son definidas como:

$$\Omega(\vec{\omega}) \equiv \begin{bmatrix} -[\vec{\omega} \times] & \vdots & \vec{\omega} \\ \dots & \vdots & \dots \\ -\vec{\omega}^T & \vdots & 0 \end{bmatrix} \quad (10)$$

$$\Xi(q) \equiv \begin{bmatrix} q_0 I_{3 \times 3} + [\vec{q} \times] \\ \dots \dots \dots \\ -\vec{q}^T \end{bmatrix} \quad (11)$$

Las matrices  $[\vec{\omega} \times]$  y  $[\vec{q} \times]$  son interpretadas como el producto vectorial obtenido de  $\vec{a} \times \vec{b} = [\vec{a} \times]b$  con  $[\vec{a} \times] \in \mathbb{R}^{3 \times 3}$ :

$$[\vec{a} \times] = \begin{bmatrix} 0 & -a_3 & a_2 \\ a_3 & 0 & -a_1 \\ -a_2 & a_1 & 0 \end{bmatrix} \quad (12)$$

El cuaternión cumple la siguiente restricción en su normalización:

$$q^T q = \vec{q}^T \vec{q} + q_0^2 = 1 \quad (13)$$

Así mismo, la matrice  $\Xi(q)$  cumple con las siguientes relaciones:

$$\begin{aligned} \Xi^T(q)\Xi(q) &= q^T q I_{3 \times 3} \\ \Xi(q)\Xi^T(q) &= q^T q I_{4 \times 4} - q^T q \\ \Xi^T(q)(q) &= 0_{3 \times 1} \end{aligned} \quad (14)$$

De forma general  $\Xi^T(q)\lambda = -\Xi^T(\lambda)q$ , para cualquier  $\lambda \in \mathbb{H}$ .

La medida del modelo, de forma general se toma de la siguiente forma.

$$B_B = A(q)B_I \quad (15)$$

En donde  $B_I$  es un vector tridimensional ( $3 \times 1$ ) de algún objeto tomado como referencia en un sistema de coordenadas tomado como inercial (sufijo I).  $B_B$  es un vector tridimensional que define los componentes del vector del sistema inercial en el sistema de coordenadas del objeto (Body sufijo B),  $A(q)$  es dado por:

$$A(q) = (q_0^2 - \vec{q}^T \vec{q})I_{3 \times 3} + 2\vec{q}\vec{q}^T - 2q_0[\vec{q} \times] \quad (16)$$

que se le denomina matriz de orientación 3-D de dimensión de  $3 \times 3$ .

#### B. Formulación del problema

Con respecto a la modelización, esta se basó en un brazo articulado, en el marco de la captura de movimiento. Para ello, nos concentramos en los robots denominados "ligeros"es decir, robots en los cuales todos los actuadores son solidarios con la armadura a fin de limitar el movimiento de las masas de los diferentes elementos. Aunque las herramientas desarrolladas son válidas para todos los tipos de robots paralelos, nos basamos exclusivamente en robots de tipo 3R [10] [11] (R para Rotación) que ofrecen un interés especial para nuestra aplicación, dado que las articulaciones que vamos a considerar del cuerpo humano pueden ser modeladas (cf. figura 2) por articulaciones tipo rotula o pivotes. Para el caso que nos interesó dentro de la captura de movimiento humano, nos interesamos en un primer tiempo en los casos del brazo y la pierna, ya que su modelización es mas fácil que otras articulaciones del cuerpo, como por ejemplo la mano o el hombro [2][10].

#### C. Brazo articulado

Las articulaciones son modelizadas como tipo rotula (3R). Las limitaciones en rotación de las diferentes articulaciones son resumidas en la tabla I [2].

El modelo del brazo estudiado esta dado en la figure 3. En este esquema definimos:

- $l_{\epsilon n}$ ,  $n = 1 : 3$ , distancia que existe entre el centro de la rotación de la articulación y la posición de la minicentral de orientación 3-D.
- $l_n$ ,  $n = 1 : 3$ , distancia existente entre la posición de la minicentral de orientación 3-D y la extremidad del segmento considerado.

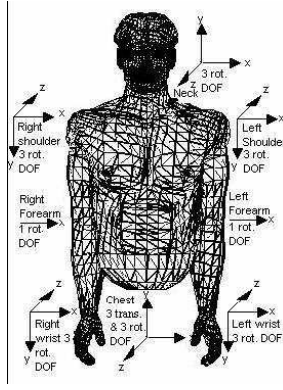


Fig. 2. Modelo del cuerpo humano

Macro Segmento	Nombre	Ángulos y Rotaciones permitida en °
Brazo	Hombro	$\theta = -30 : 135$ $\varphi = -25 : 160$
	Codo	$\psi = -35 : 95$ $\varphi = 0 : 150$ $\psi = -85 : 80$

TABLA I

RESUMEN DE LA ESTRUCTURA ARBORESCENTE DE LOS SEGMENTOS CORPORALES

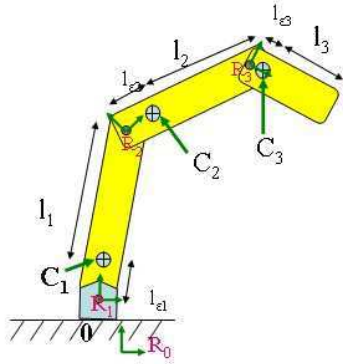


Fig. 3. Brazo articulado

- $C_n$ ,  $n = 1 : 3$ , minicentral que nos da las medidas en su sistema de referencia ligada al segmento.
- El punto 0 se supone fijo.

Para el caso de la estimación de la aceleración lineal, se plantean las siguientes hipótesis.

*Hipótesis 1:* el origen de la primera minicentral esta lo mas próximo al origen del primer sistema de referencia, con ello se desea despreciar la aceleración  $a_1$ , dicho de otra forma  $a_1 \rightarrow 0$  cuando  $l_{e1} \rightarrow 0$ .

La velocidad angular  $\vec{w}_{C1}$  es obtenida por diferencia finita a partir de la ecuación (9) [20], así mismo la derivada del cuaternión es obtenido también por diferencia finita, entre el instante  $k$  et  $k-1$  ( $k$  instante de la estimación), lo cual da la siguiente ecuación.

$$\vec{w}_{C1} = 2\Xi^T(q_{C1}) * \left( \frac{q_{C1}(k) - q_{C1}(k-1)}{T_s} \right) \quad (17)$$

Con  $T_s$  el tiempo de muestreo

En el caso de la aceleración de la segunda minicentral que se encuentra en segmento numero 2, se hace la hipótesis siguiente.

*Hipótesis 2:* se toma la aceleración de esta minicentral como si se encontrase en la extremidad del segmento anterior,  $\vec{w}_{C1}$  es obtenida también por diferencia finita, así la aceleración en este segmento es dado por la relación siguiente.

$$\vec{a}_{2est} \approx \vec{w}_{C1} \wedge (\vec{w}_{C1} \wedge \vec{l}_1) + \dot{\vec{w}}_{C1} \wedge \vec{l}_1 \quad (18)$$

Bajo el mismo principio, bajo el cual se obtuvo la velocidad angular del primer segmento, se estima ahora la velocidad angular del segundo segmento.

$$\vec{w}_{C2} = 2\Xi^T(q_{C2}) * \left( \frac{q_{C2}(k) - q_{C2}(k-1)}{T_s} \right) \quad (19)$$

En el caso de la tercera minicentral, esta se trato de la misma forma que las dos anteriores, de lo cual se desprende.

$$\vec{a}_{3est} \approx \vec{w}_{C2} \wedge (\vec{w}_{C2} \wedge \vec{l}_2) + \dot{\vec{w}}_{C2} \wedge \vec{l}_2 \quad (20)$$

La estimación, es realizada a través de un algoritmo de mínimos cuadrados, que en su forma general estima la orientación 3-D. El sistema desarrollado en el CEA (Commissariat à l'Énergie Atomique) utiliza una tecnología de indole confidencial. El problema para este caso es minimizar la función  $f(q)$ , siendo  $q = [q_0, \vec{q}_{13}^T]^T$ , definida como sigue.

$$f(q) = \frac{1}{2} \sum_{j=1}^n \|D_j(\mu) (V_{mes}(j) - A_j(q)B_I(j))\|_2^2 + \|D_2(\mu)(\hat{q} - q)\|_2^2 \quad (21)$$

En donde  $V_{mes}(j) \in \mathbb{R}^3$  es uno de los vectores de medida,  $A_j(q)$  y  $B_I(j)$  son definidos como en la ecuación 15.  $D_j(\mu) \in \mathbb{R}^{3 \times 3}$ , es una matrice diagonal que pondera los diferentes errores de las medidas obtenidas, la función hace uso de una predicción del estado  $\hat{q}$ , la cual es realizada tomando 4 puntos interpolados por una spline cubica [21],  $D_2(\mu) \in \mathbb{R}^{4 \times 4}$  es una matrice diagonal que pondera los diferentes componentes de  $q$ .

La ecuación esta restringida a la siguiente condición.

$$\sum_{i=0}^3 q_i^2 = 1 \quad (22)$$

## IV. VALIDACIÓN

### A. Datos simulados

En lo que respecta a la validación de las hipótesis, estas fueron verificadas en dos etapas.

Primeramente, simulamos un movimiento alternativo constate del brazo, tomando como punto de referencia fijo el hombro, para ello el movimiento se realizo en dos formas diferentes, en la primera parte de la simulación se suponen las 3 minicentrales como si estas fuesen solidarias y formasen una sola barra rígida, lo cual permite decir que el movimiento de la mano es el mismo que el del brazo y antebrazo (cf. figura 4), caso de movimiento de brazo y pierna de forma rígida.

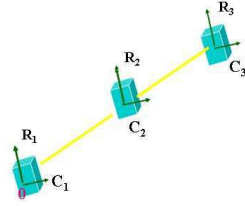


Fig. 4. Simulación de movimiento dependiente

$$q_{C1} = q_{C2} = q_{C3} \quad (23)$$

$C_j$  corresponde a la  $j$ -ésima minicentral, el índice indica el numero de la minicentral. Para nuestra caso la central 1 se toma en el hombro, la central 2 se coloca en el codo y la central 3 se coloca en la mano

En la segunda etapa del movimiento simulado, esta se hace tomando cada minicentral orientada de forma independiente (cf. figura 5), así el movimiento de la mano es independiente del movimiento del antebrazo y brazo, tal es el caso, cuando se considera al brazo y pie con movimiento flexible.

$$q_{C1} \neq q_{C2} \neq q_{C3} \quad (24)$$

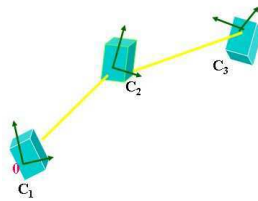


Fig. 5. Simulación del movimiento independiente de cada segmento

Para fines de simulación, el movimiento se realizó a una frecuencia de movimiento de  $1\text{Hz}$ , al cual se le añadió un ruido que cumple las especificaciones dadas por el CEA.

En la figura 6, se trazo el promedio de 50 simulaciones, del error entre la velocidad angular estimada y simulada a nivel de la mano, esto para el caso del movimiento del miembro considerado como segmento rígido indeformable. Se puede apreciar que la velocidad angular estimada por

diferencias finitas converge satisfactoriamente, el valor del error encontrado corresponde principalmente al ruido añadido.

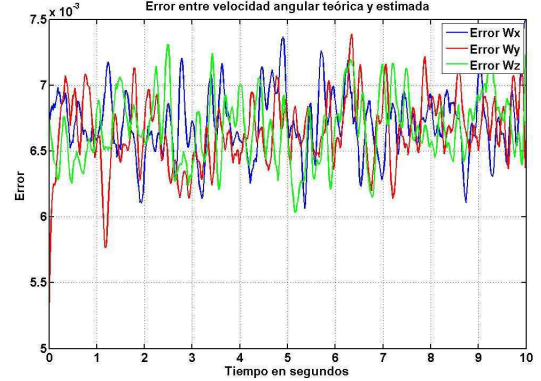


Fig. 6. Error entre velocidad angular teórica y estimada en la mano

Así mismo, para el cuaternión estimado por nuestro algoritmo (línea verde) en el caso de la mano (cf. figura 7), se puede observar una buena convergencia hacia el estado teórico, ya que el estado que a veces se encuentra es el opuesto, pero hay que recordar que  $q$  et  $-q$  representan la misma orientación.

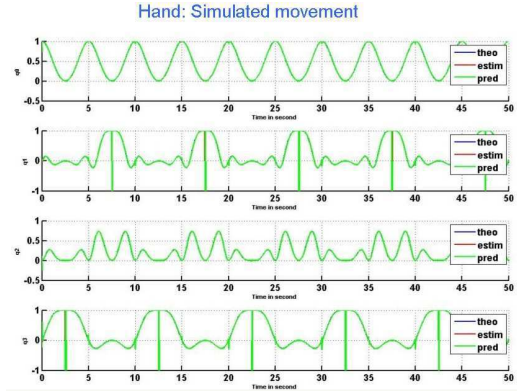


Fig. 7. Cuaternión de la mano: Movimiento del brazo simulado

### B. Datos Reales

Para fines prácticos, la validación se hizo tomando las hipótesis de los movimiento descritos en párrafos anteriores, es decir, brazo o pierna rígido, y brazo o pierna flexible, el lugar donde se colocaron tanto el sistema desarrollado (denominado hasta el momento "Médaille" por el CEA), el cual hace uso de una configuración minimal y el de un sistema comercial tomado como referencia [19] se muestra en la figura 8.

Se realizaron 2 campañas de medidas, una para los miembros superiores y otros para los miembros inferiores, tanto el brazo como la pierna son considerados como segmentos rígidos indeformables, sujetos a las casos de movimientos descritos por las ecuaciones (23) (movimiento dependiente) y (24) (movimiento independiente).



## Dos tipos de minicentrales de orientación 3-D

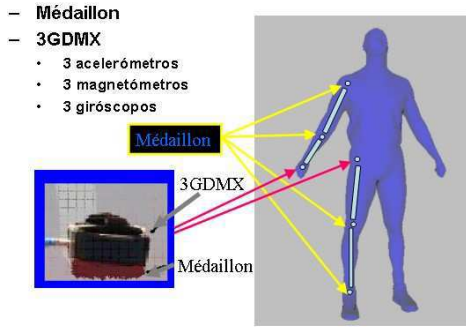


Fig. 8. Posición de los sistemas de captura de orientación 3-D

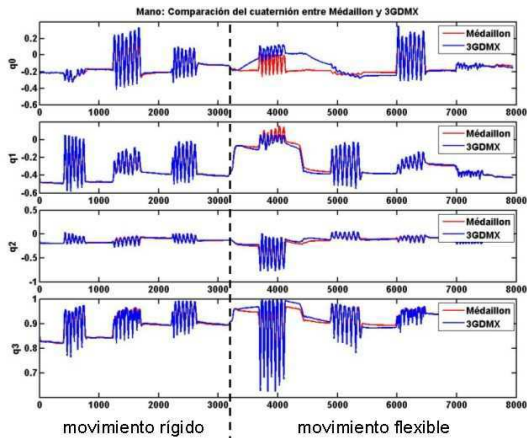


Fig. 9. Cuaternión de la mano: Datos Reales médaillon vs 3GDMX

La gráfica de la figura 9 muestra el resultado tanto de los datos obtenidos por el sistema comercial (línea azul), como el resultado de la estimación del cuaternión que se localiza en la mano, obtenido a partir del algoritmo desarrollado. Se puede apreciar que existe una correcta estimación de la orientación y en algunos segmentos se aprecia que se evita la derivación que tiene el sistema comercial con el que se compara nuestro método, tal es el caso cuando se realizan movimientos con mayor frecuencia (parte de movimiento flexible). Otro medio de verificación de los resultados, fue la visualización de estos datos en un modelo humano virtual desarrollado en 3-D (cf. figura 10), así se pudo apreciar, que el sistema "médaillon" bajo las hipótesis realizadas es más estable.

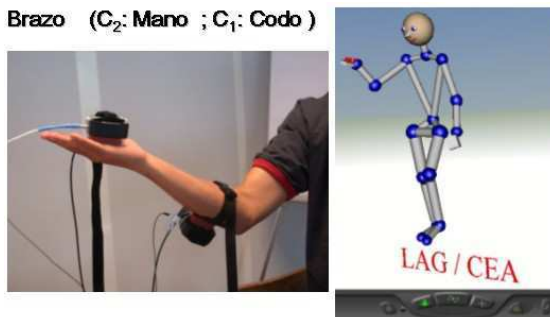


Fig. 10. Modelo virtual

## V. CONCLUSIÓN

En este artículo presentamos un sistema de captura de movimiento que hace uso de una configuración minimal, el cual mediante algoritmos de mínimos cuadrados podemos estimar la orientación de un objeto sólido y en el caso aquí presentado, bajo las hipótesis de movimiento hechas, se puede estimar la aceleración lineal del objeto. Una gran cantidad de pruebas fueran realizadas para verificar la coherencia de la orientación 3-D y aceleración estimadas con los estados teóricos o de referencia. Así mismo, aunque la aplicación fue la de la captura de movimiento humano, este procedimiento puede ser aplicado a otras áreas tales como la de la robótica.

## AGRADECIMIENTOS

El autor desea agradecer de forma especial al CONACYT (el consejo nacional mexicano por ciencia y tecnología), organismo que financia el Doctorado.

## REFERENCIAS

- [1] Franck Multon and Laure France, "Computer Animation of Human Walking," *INRIA, a Survey*, June 1998.
- [2] Franck Multon, "Contrôle du Mouvement des Humanoides de Synthèse," *Thèse, Université de Rennes*, Rennes, 1998.
- [3] <http://c.chasserat.free.fr>, "Définition de MoCap et coût," *web*, accessed le 15 octobre 2004.
- [4] James M. Rehg and Takeo Kanade, "Visual Tracking of High DOF Articulated Structures an Application to Human Hand Tracking," *Third European Conf. On Computer Vision*, Stockholm, Sweden, May 1994.
- [5] Oliver Faugeras. "Three-Dimensional Computer Vision: A Geometric," *Viewpoint*, MIT Press, Cambridge, MA, 1993.
- [6] R. Hartley and A. Zisserman. "Multiple View Geometry in computer vision," *Cambridge University Press*, Cambridge, 2000.
- [7] A. Watt and M. Watt. "Advanced Animation and Rendering Techniques," *Addison-Wesley*, 1992.
- [8] J. Hornegger and C. Tomasi. "Representation issues in the ML estimation of camera motion," *In ICCV 99*, Kerkyra, Greece, 1999
- [9] J. Schmidt and H. Niemann. "Using Quaternions for Parametrizing 3-D Rotations in Unconstrained Nonlinear Optimization," *Vision, Modeling, and Visualization*, Stuttgart, Germany, 2001.
- [10] Sébastien Krut. "Contribution à l'étude des robots parallèles légers, 3T-1R et 3T-2R, à forts débats angulaires," *LIRMM, UMR 5506 CNRS*, Montpellier, France, 2003.
- [11] Olivier Company, Sébastien Krut, and François Pierrot. "Internal Singularity Analysis of a Class of Lower Mobility Parallel Manipulators With Articulated Traveling Plate," *International Conference on Robotics and Automation*, New Orleans, LA, 2004.
- [12] John L. Crassidis F. and Landis Markley, "A Minimum Model Error Approach for Attitude Estimation," *Catholic University of America*, Washington, USA, 2004.
- [13] body tracker. "[www.puppetworks.com/products\\_parts.shtml](http://www.puppetworks.com/products_parts.shtml)," *web*, 2006.
- [14] Ascension, "[www.ascension-tech.com](http://www.ascension-tech.com)," *web*, 2006.
- [15] Polhemus, "[www.polhemus.com](http://www.polhemus.com)," *web*, 2006.
- [16] Optical system, "[www.motionanalysis.com/pdf/systemcomp.pdf](http://www.motionanalysis.com/pdf/systemcomp.pdf)," *web*, 2006.
- [17] Frédéric Thevene, "Animation en 3D de personnages virtuels à partir des systèmes de capture du mouvement," *DESS Air&Espace, ATI Paris-VIII*, ATI Paris-VIII, Saint-Denis, Octobre 1999.
- [18] Sistemas mecánicos, "<http://www.id8media.com/>," *web*, 2006.
- [19] minicentral microstrain, "[www.microstrain.com/products.aspx](http://www.microstrain.com/products.aspx)," *web*, 2006.
- [20] George P. Davailus, "The Application Of Quaternion Algebra To Gyroscopic Motion, Navigation, And Guidance," *American Institute of Aeronautics and Astronautics*, August 2005.
- [21] Joshua G. Hale and Frank E. Pollick, "Playing "Sticky Hands" With A Humanoid Robot," *AATR International, ISD, Cyberhuman Project*, Japan, August, 2000.