

V JORNADAS ARGENTINAS DE ROBOTICA

Bahía Blanca, 12 al 14 de Noviembre de 2008

Instituto de Investigaciones en Ingeniería Eléctrica “Alfredo Desages”

Departamento de Ingeniería Eléctrica y de Computadoras

Universidad Nacional del Sur

Cuerpo central - 1er Piso - Avenida Alem 1253

Tel./Fax.:0291-459-5180

IMPORTANTE:

Exposiciones: deberán estar en formato PDF o PowerPoint



Co-organizan:

Laboratorio de Control y Robótica

Rama Estudiantil IEEE UNS

Sesión especial Inteligencia Computacional: GRUPO INTELYMEC



UNS

Capítulo Conjunto IEEE Argentina

JAR2008

JORNADAS ARGENTINAS DE ROBOTICA
BAHÍA BLANCA, 12 AL 14 DE NOVIEMBRE DE 2008

[INICIO](#) [COMITÉS](#) [TRABAJOS](#) [PROGRAMA](#) [CONFERENCIA](#) [HISTORIA](#) [AUSPICIANTES](#) [INFORMACIÓN](#)

INFORMACIÓN

CATALOGACIÓN

Actas de la V Jornadas Argentinas de Robótica 2008 = Proceedings of the V Argentine Symposium of Robotics 2008 / coordinado por Héctor Chiacchiarini y Favio Masson. - 1a ed. - Bahía Blanca : Univ. Nacional del Sur - Ediuns, 2008.

CD-ROM.

ISBN 978-987-655-011-6

1. Robótica. I. Chiacchiarini, Héctor, coord. II. Masson, Favio, coord.

CDD 629.892

Fecha de catalogación: 09/10/2008



Editorial de la Universidad Nacional del Sur
E-mail: ediuns@uns.edu.ar
www.ediuns.uns.edu.ar



Red de Editoriales Universitarias Nacionales

Queda hecho el depósito que establece la ley 11.723

Impreso en la Universidad Nacional del Sur

Bahía Blanca, Argentina, octubre 2008

ORGANIZAN

LCR Y GISEE (DIEC-UNS)

RAMA ESTUDIANTIL IEEE UNS

CAPÍTULO CONJUNTO IEEE AR:

IES, CSS, RAS, IAS, PELS

GRUPO INTELYMEC (UNICEN)

[Inicio](#) [Comités](#) [Trabajos](#) [Programa](#) [Conferencia](#) [Historia](#) [Auspiciantes](#) [Información](#)

Designed by [Free CSS Templates](#)

Jacobiano de la Imagen para un Par Estereoscópico de Cámaras: Comparativa entre el Analítico y el Estimado Incorporando la Restricción Epipolar

L. Pari¹, J.M. Sebastián², A. Traslosheros², y L. Angel³

¹Departamento Académico de Ingeniería Electrónica, Universidad Nacional de San Agustín
Ciudad universitaria, Av. Independencia s/n Arequipa, Perú.

²Departamento de Automática, Ingeniería Electrónica e Informática Industrial (DISAM)
Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales, Universidad Politécnica de Madrid
C/ José Gutiérrez Abascal, 2, 28006 Madrid, España

³Facultad de Ingeniería Electrónica, Universidad Pontificia Bolivariana
Km. 7 Vía de Piedecuesta, Bucaramanga, Colombia

lpari@etsii.upm.es, jsebas@etsii.upm.es, altrami@hotmail.com, langel@etsii.upm.es

Resumen- Este artículo describe un estudio comparativo del comportamiento del Jacobiano estimado de la imagen que incorpora la geometría epipolar del sistema de dos cámaras, frente al bien conocido método del Jacobiano analítico que es utilizado por la mayoría de aplicaciones en control visual. La arquitectura de control utilizada es Control Visual Basado en Imagen para controlar un sistema articular de tres g.d.l. utilizando dos cámaras en configuración cámara fija. Se realizaron pruebas tanto en caso estático como en caso dinámico, la cuales mostraron que el método de estimación del Jacobiano que utiliza las propiedades de la geometría epipolar es tan bueno y robusto contra el ruido como el Jacobiano analítico. Esto es considerado como una ventaja, puesto que el Jacobiano estimado no necesita un laborioso trabajo previo a la tarea de control como es el caso del Jacobiano analítico.

I. INTRODUCCIÓN

Control Visual es la utilización de la información visual dada por sensores visuales (es decir cámaras) para controlar un sistema robótico. Este tipo de control resulta ser muy útil en muchas aplicaciones, pues permite conocer con gran exactitud los objetos presentes en la escena, así también su posición, orientación y velocidad. Lo cual hace posible utilizar robots en nuevos dominios donde el espacio de trabajo no es conocido a priori.

De entre las clasificaciones existentes de control visual [4] [10][11], una de las más conocidas es el modo en que la información visual es utilizada para definir una señal de error para controlar el sistema [2]: Control Visual Basado en Posición (PBVS) y Control Visual Basado en Imagen (IBVS). En PBVS, las características extraídas de la imagen son utilizadas para reconstruir la posición 3D del objeto a controlar, mientras que en IBVS, la tarea es definida en el plano de la imagen directamente a través de sus características visuales. En este último, la matriz denominada Jacobiano de la imagen, relaciona linealmente cambios en características de la

imagen con cambios en coordenadas cartesianas o con cambios en articulaciones (en este segundo caso, es llamado Jacobiano visual-motor [1] [5] [11]).

El Jacobiano analítico de la imagen es ampliamente utilizado por la mayoría de investigadores en control visual. Es bien conocido que éste requiere un profundo conocimiento de los sistemas involucrados: calibración del sistema articular, calibración de la cámara, calibración cinemática del sistema de visión, y la reconstrucción 3D de la posición de las características; todos estos son fuentes comunes de posibles errores. Como alternativa, en artículos pasados [12][15] se ha presentado un método de estimación del Jacobiano de la imagen que integra la geometría epipolar del sistema [3]. Y comparado con otros algoritmos existentes de la literatura, en pruebas que consideran tanto el caso estático [15] como el caso dinámico [12], demostró ser muy robusto ante perturbaciones.

En este artículo se compara el comportamiento del método que estima el Jacobiano tomando en cuenta la geometría epipolar del sistema con el método que utiliza el Jacobiano analítico. Dos tipos de pruebas han sido llevadas a cabo: tareas de posicionamiento y de seguimiento. Para realizar un estudio riguroso y representativo, en el primer caso un alto número de posiciones en el espacio de trabajo fueron alcanzadas, mientras que en el segundo caso un alto número de trayectorias curvas fueron seguidas. Las pruebas mostraron que la robustez contra el ruido presentado por el Jacobiano analítico es también obtenida por el Jacobiano estimado que toma en cuenta la geometría epipolar. Esto es considerado como una ventaja, ya que este método de estimación, alcanza un buen desempeño sin la necesidad de un laborioso trabajo previo a la tarea como es el caso del Jacobiano analítico. Es necesario remarcar que el método de estimación basado en la geometría epipolar, necesita determinar previamente sólo la matriz fundamental cuya estimación es más sencilla y robusta que la calibración de la cámara [9]. Para una mejor validación del estudio, las pruebas

fueron extendidas a la estimación del Jacobiano basada en el método de mínimos cuadrados recursivos (RLS) que obtuvo buenos resultados en trabajos pasados [12][15].

El artículo está organizado así: en la sección II se detalla la terminología y conceptos teóricos usados en el artículo. En las secciones III y IV se presenta el Jacobiano estimado y analítico respectivamente. En la V se describe la ley de control, mientras que en las secciones VI y VII, el equipo utilizado con las pruebas y resultados respectivamente. Finalmente en la última sección, se consignan las conclusiones.

II. JACOBIANO DE LA IMAGEN

Supóngase que se observa un sistema articular o robot desde una o varias vistas fijas. Sea $\mathbf{r} = [r_1 \ r_2 \ \dots \ r_p]^T$ el vector de dimensión p que representa la posición del efector final en un sistema de coordenadas cartesianas. Sea $\mathbf{q} = [q_1 \ q_2 \ \dots \ q_n]^T$ el vector de dimensión n que representa la posición articular del robot. Sea $\mathbf{s} = [s_1 \ s_2 \ \dots \ s_m]^T$ el vector de dimensión m que representa las características de las imágenes (por ejemplo las coordenadas de un punto en una o varias imágenes).

La relación entre la velocidad articular del robot $\dot{\mathbf{q}} = [\dot{q}_1 \ \dot{q}_2 \ \dots \ \dot{q}_n]^T$ y su correspondiente velocidad en el espacio de la tarea $\dot{\mathbf{r}} = [\dot{r}_1 \ \dot{r}_2 \ \dots \ \dot{r}_p]^T$, se expresa en términos del Jacobiano del robot \mathbf{J}_{rq} , como $\dot{\mathbf{r}} = \mathbf{J}_{rq} \dot{\mathbf{q}}$. La relación entre la velocidad de las características $\dot{\mathbf{s}} = [\dot{s}_1 \ \dot{s}_2 \ \dots \ \dot{s}_m]^T$ y la velocidad en el espacio de la tarea se expresa como $\dot{\mathbf{s}} = \mathbf{J}_{sr} \dot{\mathbf{r}}$. Si las características escogidas son un punto $\mathbf{s} = (u, v)^T$ en la imagen, y las coordenadas centrales de la cámara son usadas, \mathbf{J}_{sr} se expresa como [6]:

$$\mathbf{J}_{sr} = \begin{bmatrix} \frac{f}{Z} & 0 & \frac{-u}{Z} & \frac{-uv}{f} & \frac{(f^2+u^2)}{f} & -v \\ 0 & \frac{f}{Z} & \frac{-v}{Z} & \frac{-(f^2+u^2)}{f} & \frac{uv}{f} & -u \end{bmatrix} \quad (1)$$

donde u, v representan coordenadas centrales de la imagen, f es la distancia focal, Z es la coordenada espacial del punto con respecto al sistema de coordenadas de la cámara, y $\dot{\mathbf{r}} = [T_x \ T_y \ T_z \ w_x \ w_y \ w_z]^T$ representa la velocidad traslacional y rotacional del punto. Generalmente, \mathbf{J}_{sr} es denominada matriz de interacción.

La velocidad de las características de la imagen se puede relacionar directamente con las velocidades articulares en términos de un Jacobiano compuesto, conocido como Jacobiano visual-motor [5][16]:

$$\dot{\mathbf{s}} = \mathbf{J}_{sq} \dot{\mathbf{q}} = \begin{bmatrix} \frac{\partial s_1}{\partial q_1} & \dots & \frac{\partial s_1}{\partial q_n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{\partial s_m}{\partial q_1} & \dots & \frac{\partial s_m}{\partial q_n} \end{bmatrix} \dot{\mathbf{q}} \quad \text{con } \mathbf{J}_{sq} = \mathbf{J}_{sr} \mathbf{J}_{rq} = \mathbf{J} \quad (2)$$

A partir de (1) se deriva el Jacobiano analítico, mientras que el Jacobiano estimado se obtiene a partir de (2). Para obtener el Jacobiano analítico debe considerarse: los parámetros

intrínsecos de la calibración de la cámara (distancia focal, coordenadas centrales de la imagen), la reconstrucción 3D del punto o una aproximación (coordenada Z), la calibración cinemática de la cámara (relación entre las coordenadas de la cámara y el origen del espacio de articulaciones), y la calibración cinemática del robot. La gran mayoría de trabajos en control visual asumen un sistema estructurado y que los parámetros del sistema son conocidos, o que pueden ser identificados en un proceso fuera de línea. Por el contrario, la estimación del Jacobiano de la imagen se basa en el análisis de los cambios de las características y de las articulaciones.

A. Jacobiano de Múltiples vistas

Cuando varias vistas son utilizadas, tanto la matriz de interacción o el Jacobiano visual-motor pueden ser definidos como la concatenación de los Jacobianos parciales correspondientes a cada vista [1][2][15]. Todos los Jacobianos comparten los mismos incrementos articulares, aunque las características visuales son manejadas independientemente. En un trabajo previo [15], se realizaron experimentos a fin de comparar los resultados obtenidos utilizando una sola cámara con los obtenidos utilizando dos cámaras: se mostró que usando dos cámaras en vez de una, se mejora notablemente el desempeño del sistema. En muchas aplicaciones, este mejoramiento justifica las posibles desventajas: incremento del costo de equipos y del tiempo de computación.

III. JACOBIANO ESTIMADO

A. Añadiendo la geometría epipolar

La propiedad de restricción epipolar (3) es tomada en cuenta en el cálculo del Jacobiano estimado de la imagen (2). Si las características visuales son centroides de puntos, y un punto en la primera cámara se expresa por ($'$), y un punto en la segunda cámara se expresa por ($''$), se tendrá el siguiente modelo:

$$\tilde{\mathbf{s}}_k^{nT} \mathbf{F} \tilde{\mathbf{s}}_k' = 0 \quad (3)$$

donde las características son expresadas en notación proyectiva (\sim), y \mathbf{F} es una matriz 3x3 conocida como la matriz fundamental. Su estimación es conocida como calibración débil o calibración proyectiva. Una descripción más detallada se puede encontrar en [7] y [9].

Las características en los momentos k y $k-1$ para cada cámara están dadas por:

$$\tilde{\mathbf{s}}_k' = \tilde{\mathbf{s}}_{k-1}' + \tilde{\mathbf{J}}' \Delta \mathbf{q}_k \quad ; \quad \tilde{\mathbf{s}}_k'' = \tilde{\mathbf{s}}_{k-1}'' + \tilde{\mathbf{J}}'' \Delta \mathbf{q}_k \quad (4)$$

donde $\Delta \mathbf{q}_k = \mathbf{q}_k - \mathbf{q}_{k-1}$, $\tilde{\mathbf{J}}'$ y $\tilde{\mathbf{J}}''$ contienen las variables buscadas, las cuales son los elementos del Jacobiano de la imagen de cada cámara, y tienen la forma:

$$\tilde{\mathbf{J}}' = \begin{bmatrix} J'_{11} & J'_{12} & J'_{13} \\ J'_{21} & J'_{22} & J'_{23} \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} ; \quad \tilde{\mathbf{J}}'' = \begin{bmatrix} J''_{11} & J''_{12} & J''_{13} \\ J''_{21} & J''_{22} & J''_{23} \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (5)$$

a fin de hacer dimensionalmente correcta la ecuación (4). Sustituyendo (4) en (3), ordenando términos y considerando $\tilde{\mathbf{s}}_{k-1}^{nT} \mathbf{F} \tilde{\mathbf{s}}_{k-1}' = 0$, se tiene la siguiente ecuación no lineal para $\tilde{\mathbf{J}}'$ y $\tilde{\mathbf{J}}''$ [12][15]:

$$\Delta \mathbf{q}_k^T \tilde{\mathbf{J}}^{nT} \mathbf{F} \tilde{\mathbf{J}}' \Delta \mathbf{q}_k + \Delta \mathbf{q}_k^T \tilde{\mathbf{J}}^{nT} \mathbf{F} \tilde{\mathbf{s}}_{k-1}' + \tilde{\mathbf{s}}_{k-1}^{nT} \mathbf{F} \tilde{\mathbf{J}}'' \Delta \mathbf{q}_k = 0 \quad (6)$$

La ecuación (6) y la ecuación lineal (2) para cada cámara, forman un conjunto de ecuaciones resueltas en cada movimiento aplicando el método de optimización no lineal de Levenberg-Marquardt. El sistema no lineal es inicializado con el Jacobiano obtenido por un método lineal [16] convergiendo luego de pocas iteraciones. A fin de obtener el número suficiente de ecuaciones para resolver el sistema, el método de los últimos movimientos realizados [16] fue aplicado, incorporando también el concepto del factor de fiabilidad [15].

La literatura [5][13][14][16] reúne varios métodos de estimación del Jacobiano definido por la ecuación (2), de todos ellos se mencionará el método RLS que produjo buenos resultados [15] con el objeto de ser incluido en las pruebas. Hay que destacar que se realiza una normalización [8] de los datos (puntos de la imagen e incremento articular), para homogenizar la importancia de cada ecuación.

B. Método de mínimos Cuadrados Recursivos (RLS)

En este método el Jacobiano es estimado recursivamente por el algoritmo de mínimos cuadrados [1][13][12]. En sus ecuaciones se destaca una matriz de covarianzas y un parámetro λ , el cual varía en un rango de 0 a 1, que pondera movimientos previos. En presencia de ruido moderado, valores de λ cerca a 0.9 son frecuentemente utilizados.

IV. JACOBIANO ANALÍTICO DE LA IMAGEN

El Jacobiano analítico de la imagen está dado por [4]:

$$\mathbf{J}_A = \mathbf{J}_{sr} \mathbf{W}_{cr} \mathbf{N} \mathbf{J}_{rq} \quad (7)$$

donde \mathbf{J}_{rq} es el Jacobiano del robot, \mathbf{N} es una matriz que contiene la cinemática directa del robot, \mathbf{W}_{cr} es la relación entre los vectores de velocidades de la cámara y del robot, y está dada por:

$$\mathbf{W}_{cr} = \begin{bmatrix} \mathbf{R}_{cr} & [\mathbf{t}_{cr}]_x \mathbf{R}_{cr} \\ \mathbf{0}_3 & \mathbf{R}_{cr} \end{bmatrix} \quad (8)$$

siendo \mathbf{R}_{cr} y \mathbf{t}_{cr} respectivamente la rotación y traslación entre el sistema de la cámara y el robot, $[\mathbf{t}_{cr}]_x$ es la matriz skew-symmetric de \mathbf{t}_{cr} , y \mathbf{J}_{sr} es la matriz de interacción expresada por (1).

V. LEY DE CONTROL

La función orientada a la tarea \mathbf{e}_k a ser regulada a cero está dada por:

$$\mathbf{e}_k = (\mathbf{s}^* - \mathbf{s}_k) \quad (9)$$

donde \mathbf{s}^* y \mathbf{s}_k son respectivamente los vectores de características deseadas y actuales (momento k).

Para controlar el sistema se utiliza una ley de control proporcional basada en la pseudoinversa del Jacobiano de la imagen [2][10][4], donde un decaimiento exponencial de \mathbf{e}_k a 0 es obtenido al imponer la condición: $\dot{\mathbf{e}}_k = -\lambda \mathbf{e}_k$, siendo λ un escalar positivo que regula la velocidad de convergencia. La ley de control para el caso estático (posicionamiento) es:

$$\mathbf{q}_{k+1} = \mathbf{q}_k + \lambda \mathbf{J}^+ \mathbf{e}_k \quad (10)$$

donde $\mathbf{J}^+ = (\mathbf{J}^T \mathbf{J})^{-1} \mathbf{J}^T$ es la pseudoinversa del Jacobiano, ya que el número de características es mayor que el número de grados de libertad. Está probado que (10) posee una estabilidad asintótica local [2]. En el presente artículo sólo se analizan los resultados obtenidos con un valor de $\lambda = 1$.

Para el caso dinámico (seguimiento), un término predictivo basado en la última y penúltima referencia es añadido a la ley de control [13]:

$$\mathbf{q}_{k+1} = \mathbf{q}_k + \mathbf{J}^+ (\mathbf{s}_k^* - \mathbf{s}_k + \mathbf{s}_k^* - \mathbf{s}_{k-1}^*) \quad (11)$$

VI. EXPERIMENTOS

A. Equipo experimental

El equipo utilizado en los experimentos consiste de:

- Un sistema articular compuesto por un posicionador de alta precisión y su controlador, modelo Newport MM3000 (Fig. 1). Posee tres grados de libertad que son dos ejes de giro y un eje de desplazamiento, y su precisión teórica es de la milésima de grado y la milésima de milímetro. Sobre el último eslabón del sistema articular y en un plano se han dispuesto el objeto visual a controlar, formado por cinco marcas negras sobre fondo blanco.

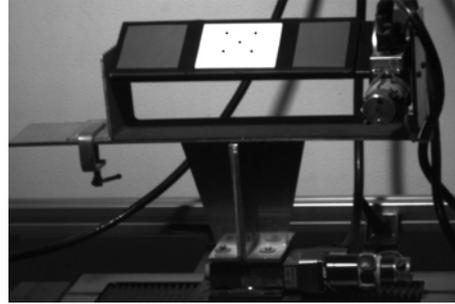


Fig. 1. Equipo experimental.

- Un sistema de adquisición y procesamiento de imágenes compuesto por dos cámaras analógicas CV-M50 y una tarjeta de adquisición de imágenes Meteor II-MC de Matrox, que permite la adquisición simultánea de las dos cámaras. Las cámaras, fijadas en el espacio de trabajo, están separadas unos 700 milímetros, convergentes hacia el sistema articular, y distan del mismo unos 1200 milímetros. La detección de las características es con precisión subpíxel, y con un error menor de 0.2 píxeles.

B. Objetivo de control

Se intenta contrastar el desempeño de los siguientes dos métodos de estimación del Jacobiano de la imagen (FUNDMAT: que integra la restricción epipolar del sistema de dos cámaras, RLS: que usa mínimos cuadrados recursivos) con el método del Jacobiano analítico (ANLTC), por medio de tareas estáticas (posicionamiento) y dinámicas (seguimiento) usando la respectiva ley de control, donde el número de puntos considerados para controlar el sistema es tomado en cuenta. Asimismo, las pruebas fueron realizadas sin o con adición de ruido de naturaleza gaussiana (con $\sigma = 0.5$ píxel) en la detección de las características. Las características son

centroides de puntos proyectados en la imagen (Fig. 1). Las características visuales deben ser alcanzables y el objeto de control debe ser visto desde ambas vistas. Debido a que el sistema tiene sólo 3 g.d.l, y a fin de asegurar coherencia, se han obtenido previamente las características visuales para todas las posiciones de referencia con la técnica de teach-by-showing [11] donde el sistema articular es movido a la posición deseada y su correspondiente característica es almacenada en memoria.

Caso estático. A partir de una posición inicial, el sistema tiene que alcanzar consecutivamente las características deseadas (Fig. 4 - Fig. 9). Si el error (distancia euclídea) entre las características actuales y deseadas es menor que 0.6 píxeles, se entiende que las características deseadas han sido alcanzadas.

Caso dinámico. El sistema tiene que seguir las características de puntos que pertenecen a una curva alabeada establecida previamente en el espacio de trabajo (Fig. 12 - Fig. 15), esta curva es construida a partir de parámetros aleatorios.

C. Índices de evaluación

Se consideran dos índices definidos como sigue:

- Índice 0: Suma de las distancias euclídeas entre las características visuales actuales y las deseadas, ponderada por el número de posiciones deseadas, número de puntos considerados, y número de cámaras.
- Índice 1: Suma de las distancias euclídeas entre las posiciones articulares actuales y deseadas, ponderada por el número de posiciones deseadas.

VII. RESULTADOS

Se realizaron pruebas con los dos métodos de estimación del Jacobiano de la imagen: FUNDMAT, y RLS, frente al método analítico: ANLTC. Adicionalmente, a fin de comprobar la fuerte dependencia del Jacobiano analítico a parámetros que tienen que ser calculados en línea o fuera de línea, se degradaron algunos de ellos. Por lo que se realizaron pruebas con Jacobiano analítico degradado: se modificó la profundidad Z del punto detectado en 3% y 5% (ANLTC z3%, ANLTC z5%) y la transformación cámara-robot (ecuación (8)), en 3%

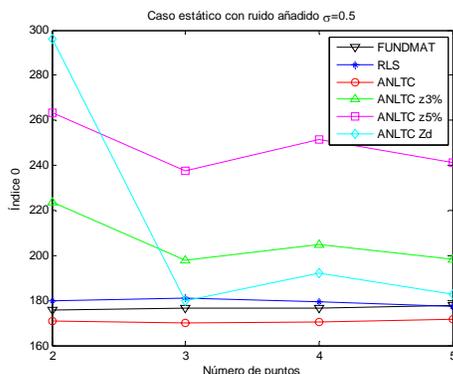


Fig. 2. Índice 0, caso estático con ruido añadido $\sigma=0.5$ cuando la degradación de la profundidad Z es incluida.

y 4% (ANLTC W3%, ANLTC W4%). Incrementando estos niveles de degradación, ya no es posible controlar el sistema. Además otro tipo de pruebas para ANLTC fue considerado: la

profundidad Z constante e igual a la posición deseada (ANLTC Zd) [2][6].

Para el caso estático, se comprueba que con bajos niveles de degradación del Jacobiano analítico ya sea en la profundidad Z (Fig. 2) o en la transformación cámara-robot (Fig. 3) con ruido añadido, su comportamiento empeora significativamente. Los resultados sin ruido añadido son similares.

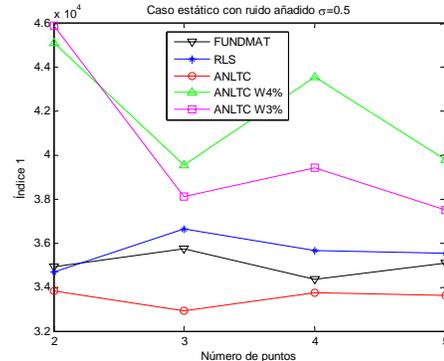


Fig. 3. Índice 1, caso estático con ruido añadido cuando la degradación de la transformación cámara-robot es incluida.

Las Fig. 4 hasta la Fig. 9 muestran la evolución articular del sistema (en unidades articulares, milésimas de milímetro y de grado, ver sección VI-A), donde los círculos rojos representan las posiciones a ser alcanzadas, y en azul, la evolución del sistema por el control basado en el respectivo método de determinar el Jacobiano.

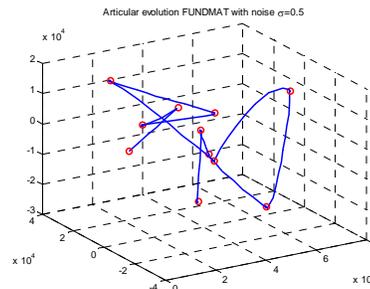


Fig. 4. Evolución para diez posiciones deseadas, caso estático con ruido añadido para el método FUNDMAT.

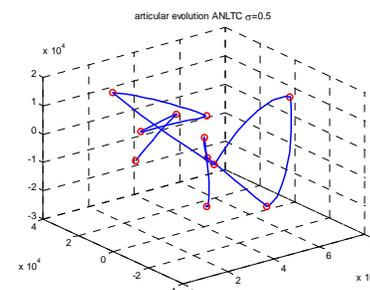


Fig. 5. Evolución para diez posiciones deseadas, caso estático con ruido añadido para el método ANLTC.

Las Fig. 4 y Fig. 5 muestran un buen comportamiento de FUNDMAT y ANLTC respectivamente, pues la trayectoria generada es casi directa a pesar del ruido añadido.

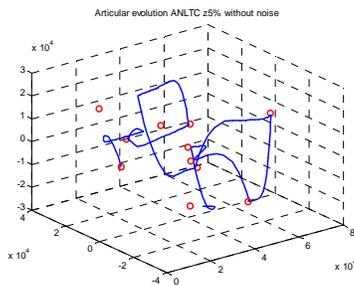


Fig. 6. Evolución para diez posiciones deseadas, caso estático sin ruido añadido para el método ANLTC con degradación de la profundidad Z al 5%.

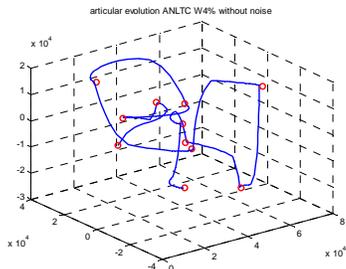


Fig. 7. Evolución para diez posiciones deseadas, caso estático sin ruido añadido para el método ANLTC con degradación de la transformación cámara-robot al 4%.

Las Fig. 6 y Fig. 7 muestran una importante degradación de la trayectoria para ANLTC Z5% y ANLTC W4% respectivamente aún sin ruido añadido.

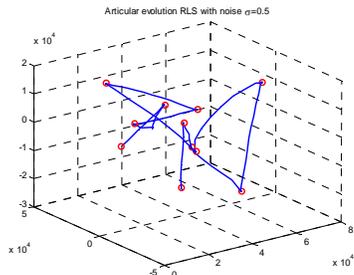


Fig. 8. Evolución para diez posiciones deseadas, caso estático con ruido añadido para el método RLS.

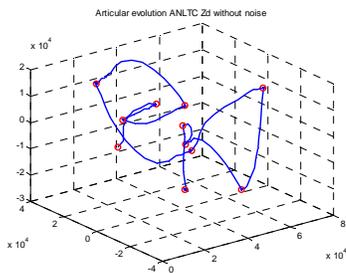


Fig. 9. Evolución para diez posiciones deseadas, caso estático sin ruido añadido para el método ANLTC Zd.

La trayectoria de RLS (Fig. 8) con ruido añadido no tiene el mismo buen comportamiento como ANLTC y FUNDMAT (Fig. 5 y Fig. 4 respectivamente). La trayectoria de ANLTC Zd

(Fig. 9) no tiene un buen comportamiento aún sin ruido añadido.

Los resultados para el caso dinámico son presentados en las siguientes figuras:

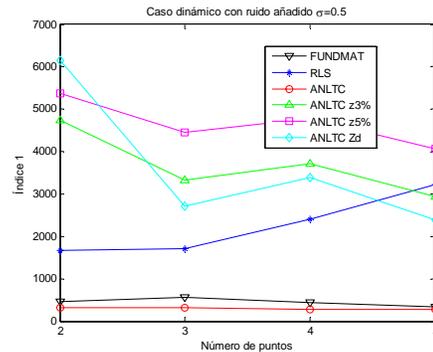


Fig. 10. Índice 1, caso dinámico con ruido, incluye Zd.

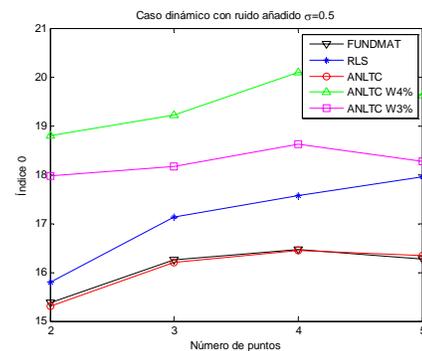


Fig. 11. Índice 0, caso dinámico con ruido, incluye ANLTC Wcr.

Las gráficas de los índices en las Fig.10 y Fig. 11 muestran la misma tendencia mostrada en las Fig. 2 y Fig. 3 para el caso estático, además muestran que RLS posee un peor comportamiento que ANLTC y FUNDMAT. Las siguientes figuras representan el comportamiento en el espacio articular (expresadas en coordenadas articulares). Según las Fig. 12 y Fig. 13, se observa que ANLTC y FUNDMAT poseen un buen comportamiento en su evolución articular aún con ruido añadido. Las Fig. 14 y Fig. 15 también muestran un empeoramiento en la evolución articular de ANLTC al igual que en el caso estático (Fig. 6, Fig. 7 y Fig. 9) aún sin ruido añadido. Más aún, pruebas con ruido añadido mostraron

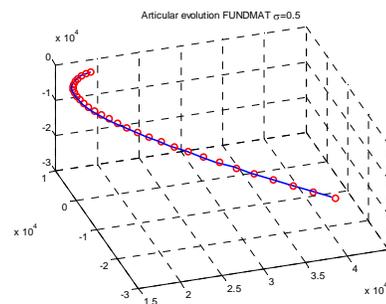


Fig. 12. Evolución articular para el caso dinámico con ruido añadido para el método FUNDMAT.

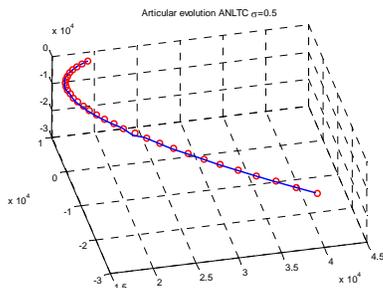


Fig. 13. Evolución articular para el caso dinámico con ruido añadido para el método ANLTC.

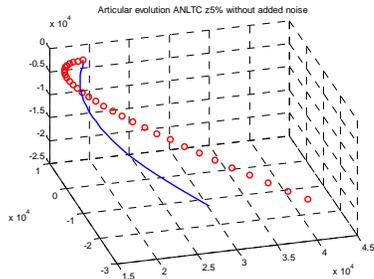


Fig. 14. Evolución articular para el caso dinámico sin ruido añadido para el método ANLTC con degradación de profundidad Z al 5%.

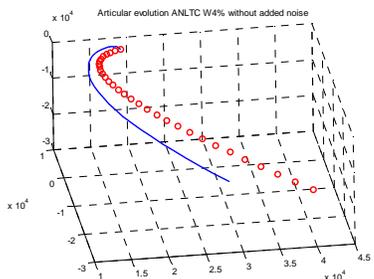


Fig. 15. Evolución articular para el caso dinámico sin ruido añadido para el método ANLTC con degradación de la transformación cámara-robot al 4%.

el mismo comportamiento como representan estas figuras, lo que significa que estos niveles de degradación afectan el comportamiento del método más que el ruido añadido. Se comprobó que la última aseveración también es válida para el caso estático.

VIII. CONCLUSIONES

Se llevó a cabo una comparación de comportamiento entre una tarea de control basada en la estimación del Jacobiano de la imagen (representado por dos métodos: FUNDMAT el cual integra la matriz fundamental, y RLS, el método de mínimos cuadrados recursivos) y aquella que se basa en el cálculo analítico del Jacobiano (ANLTC). Las pruebas mostraron que en ausencia de ruido, el comportamiento de estos tres métodos es bastante similar. Pero en las pruebas con ruido añadido, FUNDMAT y ANLTC mostraron ser muy robustos. El método del Jacobiano analítico es efectivo, pero a expensas de un laborioso trabajo previo a la tarea de control, pues necesita la calibración de las cámaras, la reconstrucción 3D del punto, la

transformación cámara-robot, y el Jacobiano del robot. Las pruebas para el Jacobiano analítico con degradación ya sea de la transformación cámara-robot o de la profundidad Z del punto detectado, mostraron que su comportamiento es afectado aún con bajos valores de estas degradaciones.

Considerando el buen comportamiento del método que estima el Jacobiano integrando la matriz fundamental y del hecho que éste no necesita un laborioso trabajo previo a la tarea de control a diferencia del método del Jacobiano analítico que si lo necesita, se considera esto como una importante ventaja. Esta propiedad, hace de FUNDMAT apropiado para tareas en entornos no estructurados o cambiantes, pues el conocimiento de la matriz fundamental no es un problema grave y su cálculo ha sido comprobado que es relativamente más simple, robusto y confiable. Se tiene como trabajo futuro el análisis de la estabilidad del sistema con la ley de control generada a partir del Jacobiano estimado.

Este trabajo fue financiado por la Comisión Interministerial de Ciencia y Tecnología del gobierno español, bajo el proyecto DPI2004-07433-C02-02.

REFERENCIAS

- [1] Asada M., Tanaka T., and Hosoda K. "Adaptive Binocular Visual Servoing for Independently Moving Target Tracking". Proceedings of the IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA'00), pp. 2076-2081, 2000.
- [2] Chaumette F., and Hutchinson S. "Visual Servo Control Part I: Basic Approaches". IEEE Robotics & Automation Magazine, vol.14, issue 1, pp. 109-118, 2006.
- [3] Chaumette F., and Hutchinson S. "Visual Servo Control Part II: Advanced Approaches". Robotics & Autonomous Magazine, IEEE, vol.13, issue 4, pp. 82-90, 2007.
- [4] Corke P. "Visual Control of Robot Manipulators - A Review". K. Hashimoto Ed., Visual Servoing, World Scientific, pp. 1-32, 1994.
- [5] Deng Z., and Jägersand M. "Evaluation of Model Independent Image-Based Visual Servoing", Canadian Conference on Computer and Robot Vision, pp. 138-144, 2004.
- [6] Espiau B., Chaumette F., and Rives P. "A New Approach to Visual Servoing in Robotics". IEEE Transactions on Robotics and Automation, 8(3), pp. 313-326, 1992.
- [7] Faugeras O., and Luong Q.T. "The Geometry of Multiple Images". The Massachusetts Institute of Technology Press, 2001.
- [8] Hartley R.I., "In Defence of the Eight-Point Algorithm". IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence, Vol. 19, N° 6, 1997.
- [9] Hartley R., and Zisserman A. "Multiple View Geometry in Computer Vision". 2nd Ed., Cambridge University Press, 2003.
- [10] Hutchinson S.A., Hager G.D., and Corke P.I. "A tutorial on visual servo control". IEEE Trans. Robotics and Automation, 12, pp. 651-670, 1996.
- [11] Kragic D., and Christensen H.I. "Survey on visual servoing for manipulation". Technical Report ISRN KTH/NA/P-02/01-Sen, CVAP259, 2002.
- [12] Pari L., Sebastián J.M., González C., and Ángel L. "Image Based Visual Servoing: A New Method for the Estimation of the Image Jacobian in Dynamic Environments". Lecture Notes in Computer Science, Vol 4142, pp. 850-861, 2006.
- [13] Piepmeier J.A., McMurray G.V., and Lipkin H. "Uncalibrated Dynamic Visual Servoing". IEEE Transactions on Robotics and Automation, 20 (1), pp. 143-147, 2004.
- [14] Qian J., and Su J. "Online estimation of Image Jacobian Matrix by Kalman-Bucy filter for uncalibrated Stereo Vision Feedback". Int. Conf. on Robotics & Automation (ICRA'02), pp. 562-567, 2002.
- [15] Sebastián J.M., Pari L., González C., and Ángel L. "A New Method for the Estimation of the Image Jacobian for the Control of an Uncalibrated Joint System". Lecture Notes in Computer Science, Vol. 3522, pp. 631-638, 2005.
- [16] Sutanto H., Sharma R., and Varma V. "The Role of Exploratory Movement in Visual Servoing without Calibration". Robotics and Autonomous Systems, 23, pp. 153-169, 1998.

V Jornadas Argentinas de Robótica

PROGRAMA DE ACTIVIDADES

12 al 14 de noviembre de 2008
Universidad Nacional del Sur
1er piso, Cuerpo Central, Av. Alem 1253, Bahía Blanca



CAPITULO ARGENTINO



CAPITULO CONJUNTO
RAS CSS PELS IES IAS



RAMA ESTUDIANTIL UNS



SECCIÓN ARGENTINA



MARIE CURIE ACTIONS
AUVI - MIF2-CT-2004-003027,
2nd Phase - FP6



UNS

LABORATORIO DE
CONTROL Y ROBÓTICA
UNS



MIÉRCOLES - 12 de noviembre			
HORA	ACTIVIDAD		
9:00-10:00	Acreditación		
10:00-10:40	Acto apertura		
10:40-12:15	M1	Modelo Dinámico y Controlador de Seguimiento para Robots Móviles Tipo Uniciclo <i>Felipe Martins, Ricardo Carelli, Mário Sarcinelli-Filho, Teodiano Freire Bastos-Filho</i>	#12
		Un Controlador Dinámico Adaptable de Seguimiento para Robots Móviles tipo Uniciclo <i>Felipe Martins, Ricardo Carelli, Mário Sarcinelli-Filho, Teodiano Freire Bastos-Filho</i>	#13
		ExaBot: un robot para divulgación, docencia e investigación <i>Pablo De Cristóforis, Sol Pedre, Juan Santos</i>	#C2
		Planificación de Caminos y Navegación de un Robot Móvil en Entornos Gaussianos mientras realiza tareas de SLAM <i>Fernando Auat Cheeín, Fernando di Sciascio, Ricardo Carelli</i>	#31
12:15-14:00	Almuerzo		
14:00-15:40	M2	Adaptive Control Applied to a Wheeled Mobile Robot - A Case Study <i>Mario Alberto Jordán, Gustavo Scaglia, Jorge Luis Bustamante, Vicente Mut</i>	#42
		Control Híbrido para Posicionamiento de un Robot tipo Ackerman <i>Lorgio Jose Teodovich Sosa, Ricardo Carelli</i>	#26
		A New Tracking Control for Mobile Robots Based on Virtual Vehicle Approach <i>Daniel Patiño, Santiago Tosetti, Flavio Capraro</i>	#C8
		Probabilistic Motion Detection Based on Laser Scans Registration <i>Roman Katz, Juan Nieto, Eduardo Nebot</i>	#46
15:40-16:00	Intervalo		
16:00-18:00	M3	Aspectos de interfaz para un robot de inspección y manipulación basado en telepresencia <i>Andrea Katz, Diego Bendersky, Andrés Stoliar, Sergio Soria, Ángel Siri, Juan M. Santos</i>	#52
		Robot Móvil Comandado a través de Movimientos 3D de la Cabeza <i>Elisa Pérez, Carlos Soria, Vicente Mut, Oscar Nasisi</i>	#38
		MRSim: Un Ambiente Gráfico para Simulación de Navegación de Robots Móviles <i>Alexandre Santos Brandao, Mario Sarcinelli-Filho, Teodiano Freire Bastos-Filho</i>	#36
		Joystick Virtual <i>Ignacio Bertacchini, Fernando Carmona, Rodolfo Cignoli, Damián De Biase, Ramiro Verrastro</i>	#C9
		Real Time Synthesis of 3D Images Based on Low Cost Laser Scanner on a Moving Vehicle <i>José Guivant</i>	#29
18:00-18:15	Intervalo		
18:15-19:15	Conferencia plenaria: SLAM visual puro – Dr. José Neira, Universidad de Zaragoza		

JUEVES - 13 de noviembre			
HORA	ACTIVIDAD		
9:00-10:40	J1A (IC)	Coordinación Inmuno-Inspirada de Comportamientos para generar trayectorias de Robots Móviles Autónomos <i>Jose A. Fernandez-León, Gerardo G. Acosta, Miguel A. Mayosky</i>	#39
		Control de Robot Móvil Mediante Lógica Fuzzy <i>Gustavo Juárez, Jorge Pérez, Alberto Andrada Barone, Hilda Ferrao</i>	#C7
		Uso de Suavizado por Núcleos en Q-learning para Espacios de Estado-acción Continuos <i>Ana Julia Villar, Juan Miguel Santos</i>	#18
		Exploración con mapeo dinámico <i>Fernando Carmona, Damián De Biase, Ramiro Verrastro, Rodolfo Cignoli</i>	#C6
	J1B	Control Descentralizado con Desvío de Obstáculos para Robots Móviles en Formación Líder-Seguidor <i>Alexandre Santos Brandao, Mário Sarcinelli-Filho, Teodiano Freire Bastos-Filho, Ricardo Carelli</i>	#10
		Control Descentralizado de una Formación Líder-Seguidor con Compensación de la Dinámica <i>Felipe Martins, Alexandre Santos Brandao, Ricardo Carelli, Mario Sarcinelli-Filho, Teodiano Freire Bastos-Filho</i>	#27
		Closed-Form Solutions for Stable Trajectories of the Unicycle using Smooth Controllers <i>Andrés García, Osvaldo Agamennoni, José Figueroa</i>	#47
		PAATV: una plataforma autónoma para la investigación en robótica <i>Marcelo Moreyra, Favio Masson, Diego Alonso, Héctor Chiacchiarini</i>	#C12
10:40-11:00	Intervalo		
11:00-12:15	J2A (IC)	Ontología para la explotación del conocimiento de un Robot Guía <i>J. Javier Rainer, Jaime Gómez, Ramón Galán</i>	#C15
		Control de Movimiento de un Robot utilizando Mapas Autoorganizados de Kohonen <i>Raul Fernandez, Oscar Sanchez, Diego Bendersky</i>	#15
		Vehículo autónomo submarino para la inspección de tuberías y cables <i>Gerardo Acosta, Oscar Calvo</i>	#C4
	J2B	Planeamiento de Trayectoria en Mapas Extensos Mediante Programación Dinámica de Dos Niveles <i>Juan M. Pinna Cortiñas, Favio Masson, José E. Guivant</i>	#21
		Fusión Sensorial para la Navegación en Entornos Agrícolas de un Robot Móvil <i>Marcos Ayala, Carlos Soria, Ricardo Carelli</i>	#35
		Navegación de Sillas de Ruedas en Ambientes Conocidos Utilizando Controladores Conmutables y Compensación Dinámica <i>Wanderley Cardoso Celeste, Teodiano Freire Bastos-Filho, Mário Sarcinelli-Filho, Ricardo Carelli</i>	#7
12:15-14:00	Almuerzo		
14:00-15:40	J3	Sobre integración de visión y control de fuerzas en un manipulador robótico industrial <i>Andrés F. Brumovsky, Pablo S. González, Mauricio Anigstein</i>	#6
		Aplicación de Diferentes Estrategias de Control de Movimiento Para un Robot Laparoscópico <i>Juan Pedroni, Jorge Luis Naguil, Ladislao Mathe</i>	#8
		Control y monitoreo de un robot ABB con controlador S4Cplus desde dispositivos externos en red <i>Adrián Falasco, Héctor Chiacchiarini</i>	#C13
		Sobre Sistemas de Referencia y Sistemas de Coordenadas en Dinámica y Control de Manipuladores Robóticos <i>Mauricio Anigstein</i>	#4
15:40-16:00	Intervalo		
16:00-18:00	J4	Performance-Related Optimal Autotuning in Adaptively Guided Subaquatic Vehicles <i>Mario Alberto Jordán, Jorge Luis Bustamante</i>	#43
		Total Stability in Adaptive Control for Path Tracking of Autonomous Underwater Vehicles <i>Mario Alberto Jordán, Jorge Luis Bustamante</i>	#45
		Estimación de la dirección de movimiento en secuencias monoculares <i>Jorge Sanchez, Eduardo Destefanis</i>	#22
		Sistema robotizado para ayuda al análisis clínico psicológico <i>Eduardo Peña Jaramillo, Miguel Angel Giaquinto</i>	#C3
		Control coordinado de un manipulador móvil con evasión de obstáculos y máxima manipulabilidad <i>Julián I. Nantes, Ricardo Carelli</i>	#9
21:00	Cena de camaradería		

IC: Sesión especial "Inteligencia Computacional"

VIERNES - 14 de noviembre			
HORA	ACTIVIDAD		
9:00 -10:40	V1	Trajectory Tracking and Collision Avoidance of Mobile Robots by using Numerical Methods <i>Andrés Rosales, Gustavo Scaglia, Vicente Mut, Fernando di Sciascio, Jorge Nieto</i>	#48
		Performance Comparison in Vision-Based Teleoperation of Subaquatic Vehicles - A Simulated Case Study <i>Mario Alberto Jordán, Carlos Berger, Sebastian Domini, Jorge Virginio Orsi</i>	#44
		Validación de la orientación alcanzada por un manipulador 3RPS en una aplicación espacial <i>Esteban Rojos, Osvaldo Penisi, Horacio Aguilar, Hugo Galdeano, Carlos Bocca</i>	#40
		Controlador para Dosificación de Combustibles Alternativos en Motores Diesel <i>Héctor Molina, Manuel Sánchez, Hugo Galdeano.</i>	#C11
10:40 - 11:00	Intervalo		
11:00 -12:40	V2	Secuencias ortogonales cuaternarias de diferente longitud para codificación de emisiones múltiples <i>Patricio G. Donato, Carlos De Marziani, Marcos Funes, Daniel Carrica</i>	#20
		Comunicaciones en Sistema de Localización Relativo empleando Señales Acústicas Codificadas <i>Carlos De Marziani, Patricio Donato, Jesús Ureña, Álvaro Hernández, Daniel Berns, Daniel Fernández, Rómulo Alcoleas</i>	#30
		Navegación Autónoma en Ambientes Agrícolas Basada en Fusión de Láser y Odometría <i>Franco Penizzotto, Daniel Patiño, Ricardo Carelli</i>	#25
		Odometría visual mediante características espectrales <i>Gastón Araguás, Jorge Sánchez, Luis Canali</i>	#C10
12:40 - 14:00	Almuerzo		
14:00 -15:40	V3	Jacobiano de la Imagen para un Par Estereoscópico de Cámaras: Comparativa entre el Analítico y el Estimado Incorporando la Restricción Epipolar <i>Lizardo Pari, Jose María Sebastián, Alberto Traslosheros, Luis Angel</i>	#5
		Geometry of a Hybrid Stereo Vision System for Robotics Applications <i>Flavio Roberti, Raquel Frizera Vassallo, Juan Marcos Toibero, Carlos Soria, Ricardo Carelli</i>	#19
		Un CNC modular, multieje, apto para el comando de robots y sistemas especiales <i>Carlos Candiani, Juan Luzuriaga, Daniel Petrone</i>	#23
		Sensor de fuerzas y momentos para robótica. <i>Héctor Chiacchiarini, Gabriel Weber</i>	#C14
15:40 - 16:00	Intervalo		
16:00 - 18:00	V4	Medición de la velocidad rotacional de un motor eléctrico DC mediante un microcontrolador (MC) y despliegue de esta en un computador (PC) <i>Eduardo Perez Lobato</i>	#C1
		Atila: un prototipo para investigación con robots móviles <i>Humberto Alejandro Secchi, Mariano Bakus, Eduardo Castillo, Vicente Mut</i>	#14
		Plataforma móvil de arquitectura abierta <i>David Gaydou, Gonzalo Perez Paina, Javier Salomone, Guillermo Steiner</i>	#34
		Cucarabot <i>Aldo Molina, Matías Gattone, Joaquín De Salazar y Matías Vaschetto</i>	#C5
		Switching Visual Servoing Approach for Stable Corridor Navigation <i>Juan Marcos Toibero, Carlos Miguel Soria, Flavio Roberti, Ricardo Carelli</i>	#32
18:00 -18:30	Acto de cierre		