

Estudio comparativo de planificadores de trayectorias en servo control visual

[†] Alberto Traslosheros
atraslosheros@etsii.upm.es

[†] José María Sebastián
jsebas@etsii.upm.es

[†] Lizardo Pari
lpari@etsii.upm.es

^{††} Luís Ángel
langel@etsii.upm.es

[†] Departamento 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.

^{††} Facultad de Ingeniería Electrónica, Universidad Pontificia Bolivariana. Km. 7 Vía de Pie de cuesta, Bucaramanga, Colombia.

Resumen

Durante la implementación y desarrollo de algoritmos de servo control visual a menudo se considera la planificación de trayectorias principalmente en dos esquemas: cuando el control se basa en el espacio de la imagen o cuando se trata de trayectorias punto a punto del robot. En el presente artículo se plantea la planificación de trayectorias para tareas de seguimiento, utilizando una arquitectura de control servo visual basado en posición bajo la concepción de mirar y mover dinámico. En esta arquitectura el lazo visual es más lento que el control articular. Por esta razón se propone suavizar los estados intermedios del lazo articular por medio de un planificador específicamente diseñado para tareas de seguimiento. En el planificador de trayectorias propuesto se toman en cuenta las máximas prestaciones del robot y sus elementos así como garantizar la suavidad durante el seguimiento. Se realiza una comparativa con un planificador del tipo polinómico que asegura también prestaciones deseadas. El problema que aquí se plantea se desarrolla y experimenta en un sistema de pruebas especialmente diseñado para realizar pruebas e implementaciones de estrategias y algoritmos de control visual y articular. Este sistema de pruebas está principalmente compuesto por un robot paralelo de 3 GDL y un sistema de visión.

Palabras Clave: Planificadores de trayectorias, control servo visual, robot paralelo.

1 INTRODUCCIÓN

El control servo visual ha sido introducido en robots con el principal objetivo de incrementar y mejorar su

interacción con el medio. De esta forma se ha logrado diversificar, y en otros casos renovar, las tareas en la cuales se pueden utilizar. Cuando se introduce un sistema visual en un robot significa más que introducir un sensor para adquirir una señal. Al dotar un sistema robótico con visión se pretende incrementar la flexibilidad y la capacidad de interacción de este. La cantidad de información que podemos adquirir de una imagen es extremadamente rica y compleja, tanto, que hasta nuestros días el análisis visual tiene varios limitantes que son inherentes a esta ventaja. Es común en aplicaciones donde se involucra control servo visual que la velocidad de los sistemas de análisis y la complejidad o inexistencia de algoritmos acotan o complican en exceso la aplicación de la visión en determinadas tareas. Por esta razón, es común hacer fuertes simplificaciones ya sea de la tarea, del entorno de aplicación del robot o del mismo análisis.

En el control servo visual podemos hacer distintas clasificaciones establecidas en la literatura [1], [2] [Corke 1994]: Por número de cámaras, por la ubicación de las cámaras respecto al robot, por el tipo de señal de control proveniente del procesamiento visual (2D o 3D), por la interpretación de la escena o por los algoritmos que se utilizan para procesar la información visual.

Para ubicar el planificador de trayectorias propuesto en el presente trabajo se hace necesaria una clasificación como la mostrada en la Fig.(1). En esta figura se muestra una breve clasificación del control servo visual acorde al papel que juega la información visual en el lazo de control. Respecto a la clasificación de lazo de control abierto mostrada en la Fig.(1), podemos decir que es el control de un robot que incorpora información visual de manera “esporádica. Este tipo de controlador supone que el entorno permanecerá constante durante largos

desplazamientos y periodos de tiempo. Esta suposición lleva a realizar movimientos sin que se actualice la información visual y por ello son llamados “movimientos ciegos” [4]. Durante este periodo de “movimiento ciego” el control del robot depende totalmente en el control articular del mismo. Normalmente en este esquema para conocer la pose del objeto se requiere tener el conocimiento de varios parámetros y modelos, entre ellos destacan: el modelo 3D del objeto, los parámetros de calibración

de la cámara respecto al robot y el modelo cinemático directo e inverso del robot.

El controlador de un robot que utiliza la información visual para emitir consignas de control y que además actualiza esta información periódicamente (en intervalos pequeños de tiempo y distancia) se le puede clasificar como control servo visual. Dentro del control servo visual podemos distinguir dos estrategias de control: “control servo visual directo” y “Mirar y mover dinámico”.

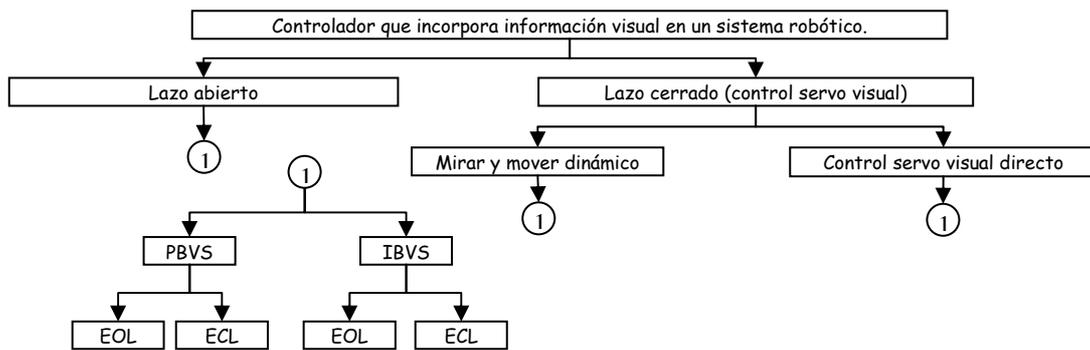


Fig.(1) Clasificación de los esquemas de control servo visual cuando se considera el papel que juega la información visual en el lazo de control.

Cuando se emplea la estrategia de “control servo visual directo” la consigna de control proveniente del sistema visual es utilizada directamente para controlar los actuadores del robot. En este esquema se suele utilizar el modelo cinemático y dinámico del sistema. También es común que exista solamente un lazo de control que en cada periodo de muestreo actualiza la información visual y articular. Por esta razón los esquemas requieren adquirir y procesar la información visual a altas velocidades. Actualmente existen sistemas visuales que utilizan cámaras CMOS y sistemas especiales de procesamiento que son capaces de proporcionar información visual cada milisegundo o menos [5], [7].

La estrategia llamada “mirar y mover dinámico” de manera general consta de dos lazos de control. Un primer lazo que involucra la información visual y un segundo que se encarga del control articular del robot. El lazo que se encarga de la información visual suele ser lento y tiene un periodo de muestreo mayor que el lazo de control articular. Esto tiene su justificación por que los requerimientos temporales del control articular suelen ser mucho más exigentes de lo que un sistema visual comercial puede proporcionar.

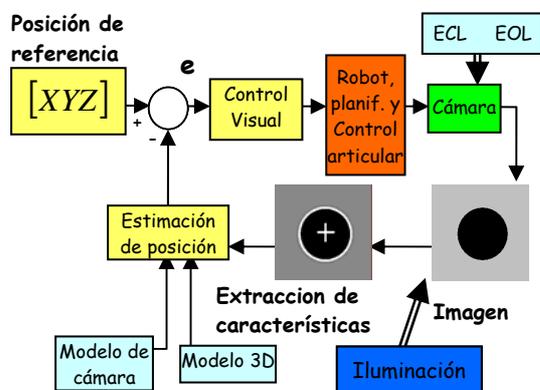


Fig.(2) Control servo visual basado en posición.

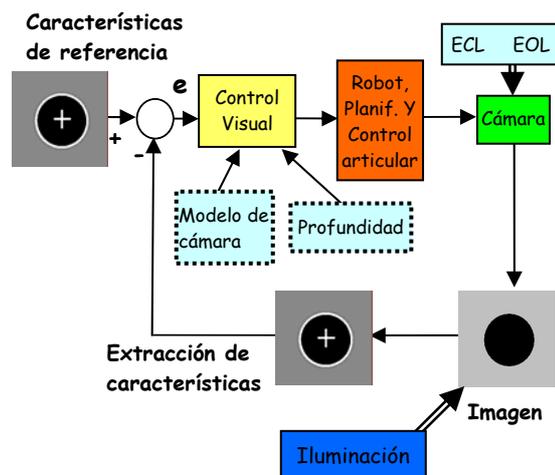


Fig.(3) Control servo visual basado en imagen.

Tal como se muestra en la Fig.(1), tanto “control servo visual directo” como “Mirar y mover dinámico” aceptan dos formas de tratamiento de la

información visual: Control de visual basado en posición (PBVS, Fig.(2)) y control visual basado en imagen (IBVS, Fig.(3)). Considerando el IBVS, las referencias al controlador son las características de la imagen, mientras que en el (PBVS) la referencia es una posición cartesiana y la posición tridimensional del objeto debe ser extraída de la información visual. Estos dos esquemas involucran distintos problemas y conceptos, sin embargo es posible unificar varios aspectos y en el trabajo aquí mostrado puede aplicarse en indistintamente. Existen en la bibliografía diferentes planteamientos para la planificación de trayectorias en sistemas de control basado en imagen [8] y que considera limitantes del sistema [9],[3]. La planificación de trayectorias en sistemas de control basados en posición está mayormente vinculada al área de robótica. Sin embargo ahí podemos encontrar diferentes planteamientos [6] útiles para propósitos del control servo visual.

2 Planificador de trayectorias

En años recientes se han propuesto varios algoritmos de control servo visual. La mayoría de estas propuestas intentan resolver problemas inherentes al esquema basado tanto en imagen como en posición. Las soluciones propuestas separan el control entre el espacio de la imagen y el cartesiano. El problema de dividir de esta forma el control causa a menudo que la trayectoria cartesiana sea más compleja o que las articulaciones se estén operando cerca de sus límites. Una solución para evitar esto es el considerar las trayectorias más cortas que además por su naturaleza, se evita trabajar en los límites en la mayoría de los casos. En nuestro caso esto se evita mediante un muestreo visual suficientemente rápido y con el planificador aquí propuesto.

Como ya se mencionó, el planificador que se propone en el presente artículo se puede aplicar indistintamente en sistemas PBVS e IBVS. Sin embargo mostramos la aplicación del planificador en un esquema de control basado en posición en la Fig.(4).

La planificación de trayectorias está íntimamente ligada al tiempo y a las distancias y velocidades que el sistema debe cubrir. En este caso tenemos mayores requisitos temporales en el lazo articular. De esta forma el sistema visual designa la posición deseada en un intervalo de tiempo que suele ser varias veces mayor que el articular. Supongamos que designamos a T_{art} como el periodo de muestreo del lazo articular y T_{vis} como el periodo de muestreo del lazo de visión. El lazo de control articular recibe las consignas de control cada periodo T_{vis} del lazo

visual. De esta forma se tienen N_t periodos T del lazo articular para cumplir con la consigna, donde $(N_t = T_{vis}/T_{art})$.

Para cumplir con cada consigna se puede trazar una trayectoria que define posiciones intermedias, de esto precisamente se encarga el planificador de trayectorias. Además de trazar la trayectoria, el planificador se encarga de definir sus derivadas consecutivas, en nuestro caso se tomarán en cuenta las siguientes 3 (velocidad aceleración y Jerk). El empleo de un planificador de trayectorias tiene varios objetivos de los que se pueden destacar los siguientes:

- Suavizar la trayectoria y sus siguientes tres derivadas, evitando de esta manera que el robot tenga cambios bruscos de referencia y aceleraciones infinitas o muy grandes.
- Evitar la saturación de los elementos actuadores del sistema o evitar sobrepasar las especificaciones de diseño. De esta manera se busca prolongar la vida de los elementos que componen el robot
- Lograr un seguimiento o posicionamiento suave del órgano Terminal del robot.
- Que el robot se encuentre preparado para iniciar o recibir la siguiente consigna. Es decir, se puede solicitar al planificador, que para iniciar o terminar una trayectoria el robot tenga determinadas condiciones de velocidad, aceleración o Jerk.

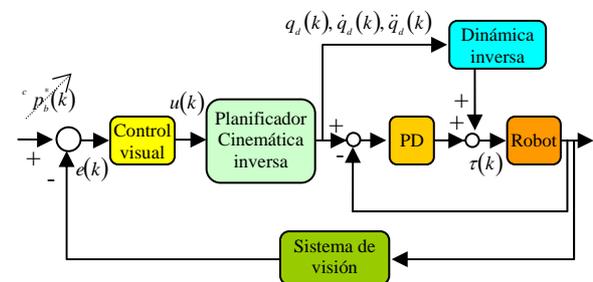


Fig.(4) Esquema de control y aplicación del planificador de trayectorias.

El planificador propuesto en el presente trabajo está diseñado para tareas de seguimiento y con la filosofía de cuidar no limitar las prestaciones físicas del sistema. En este último punto se toman en cuenta varias características críticas como pueden ser los valores máximos que el sistema puede tomar o la suavidad de la trayectoria requerida. Dado que los esquemas basados en posición y en imagen hacen uso del control articular, el presente planificador se puede aplicar indistintamente y las pruebas hechas indican el comportamiento de la planificación respecto a posiciones objetivo.

2.1 PLANIFICADOR DE ORDEN 7

Planteamos el planificador 1 como un polinomio de séptimo orden. Este polinomio y sus siguientes 3 derivadas respecto al tiempo t definen la posición, velocidad, aceleración y Jerk, ec. (1), (2), (3) y (4). Al contemplar estas ecuaciones se condicionan los extremos de las curvas que forman para calcular los coeficientes $a_7, a_6, a_5, a_4, a_3, a_2, a_1$ y a_0 .

$$a_7 \tau^7 + a_6 \tau^6 + a_5 \tau^5 + a_4 \tau^4 + a_3 \tau^3 + a_2 \tau^2 + a_1 \tau + a_0 = p(\tau) \quad (1)$$

$$7a_7 \tau^6 + 6a_6 \tau^5 + 5a_5 \tau^4 + 4a_4 \tau^3 + 3a_3 \tau^2 + 2a_2 \tau + a_1 = T\dot{p}(\tau) \quad (2)$$

$$42a_7 \tau^5 + 30a_6 \tau^4 + 20a_5 \tau^3 + 12a_4 \tau^2 + 6a_3 \tau + 2a_2 = T^2\ddot{p}(\tau) \quad (3)$$

$$210a_7 \tau^4 + 120a_6 \tau^3 + 60a_5 \tau^2 + 24a_4 \tau + 6a_3 = T^3\dddot{p}(\tau) \quad (4)$$

En las ecuaciones (1), (2), (3) y (4) se ha considerado un tiempo normalizado definido como: $\tau = \frac{t-t_i}{T} \in [0, 1]$, y por simplificar nomenclatura se ha considerado que $T = T_{vis} = t_f - t_i$ es el periodo durante el cual se lleva a cabo la trayectoria, t es el reloj en tiempo real del sistema, t_i es el tiempo en el que se inicia la trayectoria i y t_f es el tiempo en el que se logra el punto final de la trayectoria f .

$$\begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 7 & 6 & 5 & 4 & 3 & 2 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 2 & 0 & 0 \\ 42 & 30 & 20 & 12 & 6 & 2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 6 & 0 & 0 & 0 \\ 210 & 120 & 60 & 24 & 6 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_7 \\ a_6 \\ a_5 \\ a_4 \\ a_3 \\ a_2 \\ a_1 \\ a_0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} p(0) \\ p(1) \\ T\dot{p}(0) \\ T\dot{p}(1) \\ T^2\ddot{p}(0) \\ T^2\ddot{p}(1) \\ T^3\dddot{p}(0) \\ T^3\dddot{p}(1) \end{bmatrix} \quad (5)$$

$$\begin{bmatrix} p_i & p_f & Tv_i & Tv_f & T^2 a_i & T^2 a_f & T^3 j_i & T^3 j_f \end{bmatrix}^T$$

La normalización del tiempo τ se propone para tener un sistema matricial constante. De esta forma se reduce el tiempo de procesamiento evitando la inversión de una matriz de 8x8 en cada periodo de muestreo. Arreglando el sistema de ecuaciones y condicionando los extremos de la trayectoria y sus tres derivadas respecto al tiempo. Los extremos son la posición, velocidad, aceleración y jerk inicial y final en una trayectoria y se denotarán como: $p_i, p_f, v_i, v_f, a_i, a_f, j_i$ y j_f .

Al normalizar el tiempo, estos extremos se obtienen de manera inmediata al evaluar los polinomios en $\tau = 0$ y $\tau = 1$ para los valores iniciales y finales respectivamente. De esta manera la solución para los coeficientes de cada trayectoria está dada por:

$$\begin{bmatrix} a_7 \\ a_6 \\ a_5 \\ a_4 \\ a_3 \\ a_2 \\ a_1 \\ a_0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 7 & 6 & 5 & 4 & 3 & 2 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 2 & 0 & 0 \\ 42 & 30 & 20 & 12 & 6 & 2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 6 & 0 & 0 & 0 \\ 210 & 120 & 60 & 24 & 6 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} p_i \\ p_f \\ v_i T \\ v_f T \\ a_i T^2 \\ a_f T^2 \\ j_i T^3 \\ j_f T^3 \end{bmatrix} \quad (6)$$

En la ecuación se puede apreciar que al introducir un tiempo normalizado la matriz inversa basta calcularla una vez y es constante.

2.2 PLANIFICADOR HIBRIDO ARMONICO-POLINOMIAL

En términos de planificación de trayectorias un punto importante que sigue siendo tomado en cuenta es el jerk. Tomando como ejemplo a una sola articulación de un robot: el jerk se refiere a los cambios que tiene la aceleración de esta articulación en el tiempo. Una aceleración producida por un motor se refleja como un torque adicional en su eje. Por este motivo los cambios bruscos del jerk significan cambios bruscos en la aceleración y por ende en el par. Estos cambios bruscos del par se observan a su vez en el sistema como vibraciones. Para abordar problemas como este se plantea un planificador híbrido.

El planificador híbrido propuesto, es un planificador que considera restricciones del tipo polinomial pero su principal aporte y cualidades se debe a que tiene componentes armónicos. Estos componentes armónicos son funciones que al diferenciarse infinitamente originan funciones suaves. Para diseñar el planificador se considera como primer punto la continuidad, suavidad y

máximo Jerk permitido. Como segundo punto se consideran los extremos de la curva que define el comportamiento del Jerk. Los extremos llamados anteriormente Jerk inicial y final y la aceleración inicial y final son considerados cero con intención de tener siempre una velocidad constante al inicio y final de cada trayectoria.

$$j(\tau) = \frac{k}{T^3} \text{sen}(\omega\tau) = j_{\max} \text{sen}(\omega\tau) \quad (7)$$

Donde j_{\max} es el máximo jerk permitido y $\omega = 2\pi$. Integrando convenientemente la ecuación (7) obtenemos:

$$a(\tau) = \frac{Tj_{\max}}{\omega} [1 - \cos(\omega\tau)] \quad (8)$$

Suponiendo que las velocidades inicial y final son diferentes de cero integramos la ec. (8).

$$v(\tau) = v_i + \frac{T^2 j_{\max}}{\omega} \left[\tau - \frac{\sin(\omega\tau)}{\omega} \right] \quad (9)$$

Finalmente integramos la ec. (9) para obtener la posición.

$$p(\tau) = p_i + Tv_i \tau + \frac{T^3 j_{\max}}{\omega} \left[\frac{\tau^2}{2} + \frac{\cos(\omega\tau)}{\omega^2} - \frac{1}{\omega^2} \right] \quad (10)$$

Una vez planteadas las ecuaciones (7), (8), (9) y (10), se observa que p_i y v_i son conocidos y representan la posición y velocidad inicial de la trayectoria. La única variable que se calcula es j_{\max} . Partiendo de (8) obtenemos la aceleración máxima y despejamos para obtener el jerk máximo en términos de la aceleración máxima..

$$a_{\max} = \frac{Tj_{\max}}{\omega} [1 - \cos(\omega\tau)] \Big|_{\tau=\frac{1}{2}} \Rightarrow j_{\max} = \frac{\omega a_{\max}}{2T} \quad (11)$$

Sustituyendo la ec. (11) en la ec. (9) y operando obtenemos la velocidad máxima en función de la aceleración.

$$v_{\max} = v_i + \frac{T^2 j_{\max}}{\omega} \left[\tau - \frac{\sin(\omega\tau)}{\omega} \right] \Big|_{\tau=1} = v_i + \frac{Ta_{\max}}{2} \quad (12)$$

Con esta última ecuación podemos calcular la aceleración de modo que no sobrepase la velocidad máxima deseada. Sin embargo la ecuación (12) se utilizará como una medida para acotar la aceleración máxima y no sobrepasar la máxima velocidad del robot.

La aceleración se calculará sustituyendo la ec. (11) en la ec. (10) y operando se obtiene la ec. (13). Esto con el objetivo de que la aceleración se calcule para lograr la posición final.

$$a_{\max} = \frac{4}{T^2} [p_f - p_i - Tv_i] \quad (13)$$

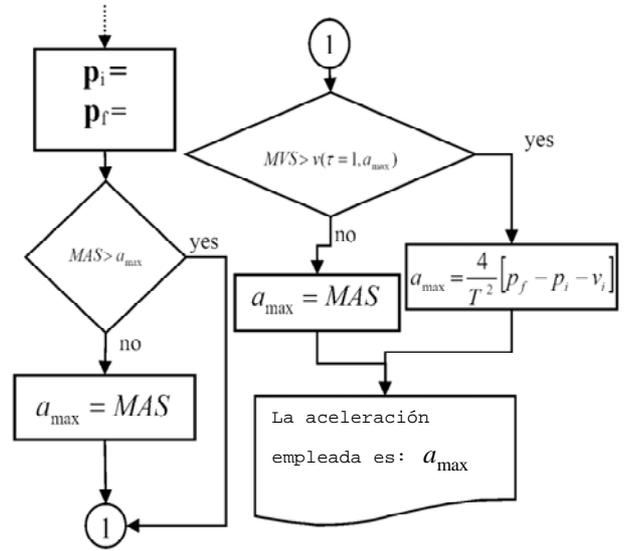


Fig.(5) Diagrama de funcionamiento del planificador híbrido.

Definimos a MAS y MVS como la máxima aceleración y velocidad permitida por el robot. MAS es una constante que no debe ser sobrepasada por la a_{\max} calculada en la ec. (13).

MVS también es una constante y una vez que la condición anterior se cumple, el siguiente paso es verificar que en la ec. (12) la v_{\max} es menor que MVS . Las dos condiciones mencionadas se expresan en las ecuaciones (14) y (15). En caso de que alguna de ellas no se cumpla, entonces se toma la a_{\max} que sí cumpla ambas condiciones. Se debe advertir que al modificar la aceleración por una menor, el planificador no logrará la posición final. Sin embargo se tiene la ventaja de que tratará de lograr la posición deseada con la aceleración permitida y en el sentido deseado. Para esto último es importante que a_{\max} se emplee en el planificador con el signo correcto.

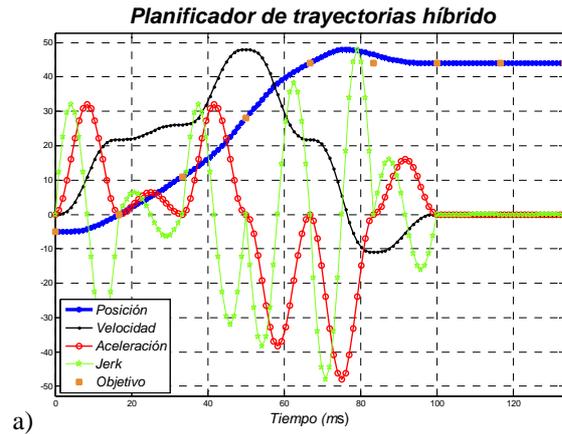
$$MAS > |a_{\max}| \quad (14)$$

$$MVS > \left| v_{\max} = v_i + \frac{Ta_{\max}}{2} \right| \quad (15)$$

La implementación de estas condiciones en un diagrama de flujo se muestra en la Fig.(5). Se debe observar que al expresar las ec. (7), (8), (9) y (10) en función de la a_{max} , se puede agregar una tercera condición que limite el jerk máximo (esto es, empleando la ec. (11)).

3 RESULTADOS

Con el objeto de evaluar las prestaciones y bondades de cada planificador se han establecido simplemente dos índices. Los dos



índices se refieren al error cuadrático entre la posición objetivo y la posición generada por el planificador. La diferencia entre ellos estriba en que cada índice evalúa situaciones distintas dentro de una trayectoria. Observando las figuras Fig.(6) y Fig.(7) se puede observar que la trayectoria deseada consta de dos partes: La inicial donde la posición se está variando con una componente aleatoria y trata de simular el seguimiento visual de un objeto. La segunda parte consta de una posición fija que se mantiene durante los periodos de tiempo siguientes y trata de simular posicionamiento punto a punto.

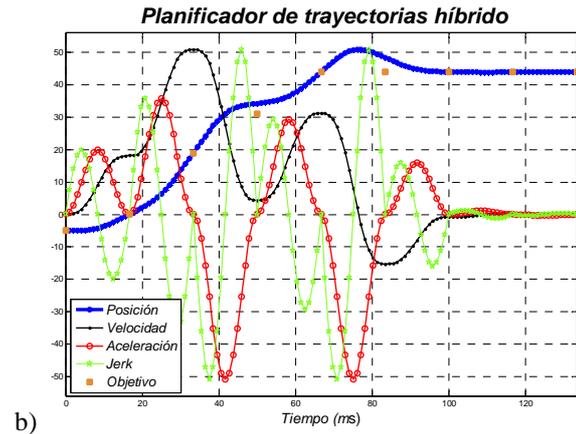


Fig.(6). Comportamiento del planificador Híbrido

Dentro de las consideraciones importantes que deben influir en la selección de un planificador es la suavidad con la que se modifica la velocidad, la aceleración y el Jerk de la trayectoria. Tanto en la Fig.(6) como en la Fig.(7) se puede apreciar que el planificador de trayectorias híbrdo genera cambios suaves en las tres mencionadas anteriormente. En contraste el planificador polinómico genera cambios bruscos de estas curvas en instantes cortos de

tiempo. Si separamos las curvas en una parte dinámica (donde la posición cambia constantemente) y en una parte estática (se mantiene la posición), entonces se observa que las curvas son suaves en la trayectoria generada por el planificador híbrdo; pero a pesar de esta suavidad se generan mayores cambios de velocidad aceleración y Jerk en la parte de posicionamiento estático, y en este caso el planificador híbrdo aporta peores resultados.

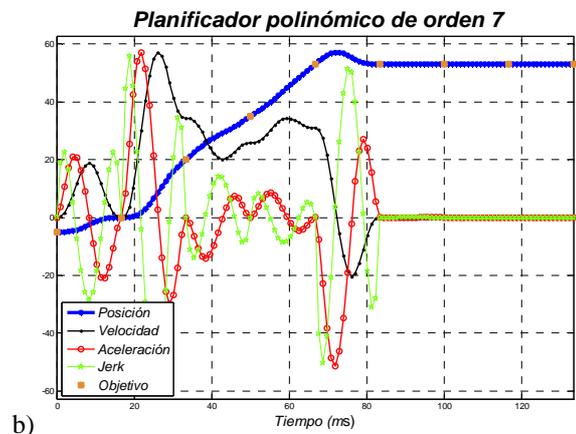
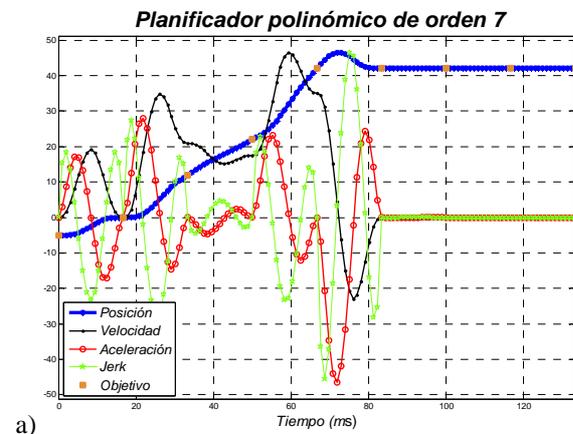


Fig.(7). Comportamiento del planificador Polinomial.

Para constatar la conclusión del párrafo anterior recurrimos a los índices que consideran el error

de posición, la aceleración y el Jerk requeridos. Estos índices se muestran en la tabla 1 y tabla 2.

Los valores expresados en estas tablas muestran un comportamiento cruzado, es decir, donde el planificador híbrido se comporta bien, el planificador polinomial no lo hace y viceversa. Se debe observar que los errores globales en la trayectoria, son menores en aquella generada por el planificador híbrido. Durante el diseño del planificador se condicionó el funcionamiento de forma que la aceleración máxima permitida fuera respetada, esta característica se observa en la Fig.(6). El planificador solo se acerca a los puntos deseados tomando la aceleración máxima cuando los puntos que no pueden ser logrados respetando la aceleración permitida.

Tabla 1: Errores considerando la trayectoria generada por el planificador híbrido, Fig.(6).

	Error tray. variable	Error tray. constante	Error total de trayectoria
Pos.	56.6515	2.6314	28.9879
Pos	60.1592	7.9523	33.3818
Acel.	3.2622e+10	2.2714e+10	2.7374e+10
Acel.	1.2172e+011	6.5390e+10	9.2384e+10
Jerk.	6.6574e+15	4.7190e+15	5.6286e+15
Jerk	2.4951e+016	1.3519e+016	1.8996e+16

Tabla 1: Errores considerando la trayectoria generada por el planificador polinómico, Fig.(7).

	Error tray. variable	Error tray. constante	Error total de trayectoria
Pos.	64.9754	1.8416	32.6543
Pos.	91.3803	1.4917	45.3709
Acel.	1.8887e+11	1.6045e+11	1.7352e+11
Acel.	2.5113e+11	1.5291e+11	1.9968e+11
Jerk.	1.1348e+17	9.7875e+16	1.0498e+17
Jerk	1.5289e+17	9.1048e+16	1.2053e+17

4 CONCLUSION

En el presente artículo se ha mostrado un nuevo planificador de trayectorias. Este planificador de trayectorias muestra varias ventajas respecto a otros tradicionales como pueden ser los polinomiales, cicloidales o harmónicos. La principal ventaja sobre otros planificadores es que el planificador híbrido fué especialmente diseñado para respetar las limitaciones físicas del sistema. Otra ventaja importante es respecto al error de posicionamiento; pues si se considera una tarea de seguimiento; entonces el error es menor que en el polinómico y de igual forma si se considera que la trayectoria global mezcla seguimiento dinámico y posicionamiento. Dentro de sus desventajas se encuentra que el planificador propuesto presenta errores de

posicionamiento que son muy grandes en comparación al planificador polinómico.

En tareas de seguimiento, normalmente por definición la posición de referencia está en constante cambio, sin embargo esto no significa que esta posición no pueda ser fija por periodos cortos de tiempo. En estos casos y como trabajo futuro se planteará intercambiar de planificadores de manera acorde a la tarea y de esta forma aprovechar las bondades de ambos.

Referencias

- [1] Chaumette, F.; Hutchinson, S. "Visual servo control. II *Advanced approaches*", *Robotics & Automation Magazine*, IEEE, Volume 14, Issue 1, March 2007 Page(s):109 – 118.
- [2] Chaumette, F. Hutchinson, S, "Visual servo control. I. Basic approaches", IRISA/INRIA Rennes; *Robotics & Automation Magazine*, IEEE, Publication Date: Dec. 2006, Volume: 13, Issue: 4, page(s): 82-90, ISSN: 1070-9932
- [3] Jae Seok Park; Image Space Path Planning in Consideration of Kinematic, "Constraints for Image-Based Visual Servoing"; Department of EECS, Korea, Advanced Institute of Science and Technology.
- [4] Kragic, D. y Christensen, H.I. "Survey on Visual Servoing for Manipulation", *Tech. Rep.* ISRN KTH/NA/P--02/01--SE, Jan. 2002., CVAP259.
- [5] Morikawa, Sho Senoo, Taku Namiki, Akio Ishikawa, Masatoshi ; "Realtime collision avoidance using a robot manipulator with light-weight small high-speed vision systems"; *Robotics and Automation*, 2007 IEEE International Conference on. Publication Date: 10-14 April 2007. On page(s): 794-799. ISSN: 1050-4729. ISBN: 1-4244-0601-3.
- [6] Panfeng Huang, Yangsheng Xu, and Bin Liang; Global Minimum-Jerk Trajectory Planning of Space Manipulator, *International Journal of Control, Automation, and Systems*, vol. 4, no. 4, pp. 405-413, August 2006 [8].
- [7] Takashi Komuro, Idaku Ishii, Masatoshi Ishikawa, and Atsushi; Yoshida: "A Digital Vision Chip Specialized for High Speed Target Tracking"; *IEEE Transactions On Electron Devices*, Vol 50; No. 1; January 2003.
- [8] Youcef Mezouar, Francois Chaumette. "Path Planning in Image Space for Robust Visual Servoing", *Proceedings of the 2000 IEEE, International Conference on Robotics & Automation*, San Francisco, CA April 2000.
- [9] Youcef Mezouar and François Chaumette, "Path Planning for Robust Image-Based Control", 534 *IEEE Transactions On Robotics And Automation*, Vol. 18, No. 4, August 2002