

Sistema de Seguimiento Automático por Imágenes

Santiago Garcia¹, María Curetti¹, Gabriela Arri¹, Julián Pucheta², Ladislao Mathe¹

¹ Instituto Universitario Aeronáutico, Córdoba, Argentina

{sgbravo, mcuretti, garri}@iua.edu.ar, mathe@ieee.org

² Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, Universidad Nacional de Córdoba, Córdoba, Argentina.

jpucheta@efn.uncor.edu

Abstract. En este trabajo se presenta el desarrollo de un sistema de seguimiento servo-controlado por imágenes. Se comienza partiendo de un algoritmo de seguimiento por procesamiento de imágenes de video desarrollado previamente [1], en el que la cámara de filmación se encuentra estática y se sigue a un objeto que se desplaza en el cuadro de la imagen enmarcándolo con una ventana. Se utiliza la posición de esa ventana de seguimiento para determinar las correcciones necesarias para mover a la cámara mediante servomotores de manera de mantener el objeto en el centro de la imagen. Para esto se generó una realimentación visual apropiada para un pedestal servo controlado de tipo azimut-elevación cuyos ejes pueden moverse mediante dos motores de corriente continua. Se calibra la cámara de filmación, y se implementó una estrategia de control de realimentación de estado velocidad utilizando un algoritmo PID como estimador. Finalmente se presentan los resultados de los ensayos del sistema en tres escenarios diferentes con resultados exitosos en el seguimiento de *i*) un avión comercial, *ii*) un helicóptero en maniobra local y *iii*) un ave. Los resultados exitosos validan las etapas anteriores, y fundamentan mejoras futuras.

Keywords: visual servoing, vision feedback, real-time tracking, real-time video signal processing.

1 Introducción

El constante avance en las capacidades de cómputo, digitalización y procesamiento de imágenes han resultado en grandes avances en el área de la robótica, donde la incorporación de la etapa de visión ha demostrado tener mayor aprovechamiento para el desarrollo de maquinaria inteligente.

Desde hace unos años se está desarrollando en el Instituto Universitario Aeronáutico un “radar óptico,” ó TV Tracker, que consiste en una montura orientable mediante dos servomotores cuyo objetivo es orientar una videocámara hacia un objetivo y mantenerlo centrado en la pantalla, independientemente de los movimientos del objeto.

En trabajos anteriores del grupo de investigación [1], se centró el esfuerzo en el desarrollo de un algoritmo de procesamiento de imágenes dedicado al seguimiento de un objetivo (*tracking*) colocándolo en una “ventana” y manteniéndolo “enganchado” a lo

largo de una secuencia de imágenes. Como resultado se logró desarrollar un algoritmo basado en equiparado de patrones (*template matching*) y el concepto de filtro de Kalman; métodos utilizados anteriormente para este tipo de aplicaciones [2][3][4]. Otra característica utilizada en diferentes trabajos con procesamiento de imágenes [5][6] son los bordes de las figuras en la captura, éstos fueron aprovechados para centrar el objeto en el patrón y adaptar el tamaño de la ventana al tamaño del elemento rastreado.

En este trabajo se utilizó el algoritmo de procesamiento de video desarrollado previamente con el fin de lograr el seguimiento de un blanco aéreo en tiempo real. Para esto se montó una cámara de filmación en un pedestal que posiciona la cámara en azimut y en elevación mediante dos servomotores de manera que permita orientar *suavemente* la cámara para que siga al objetivo durante todo el tiempo de vuelo manteniéndolo en el centro de la pantalla del observador del ensayo. Este tipo de plataformas de seguimiento han sido desarrolladas para múltiples aplicaciones, como la captura de registros fílmicos de eventos de interés, vigilancia, manejo asistido, etc. [7][8][9][10].

Dado que la plataforma servo controlada opera en una interface de programación desarrollada en LabVIEW y que aprovecha hardware específico de National Instruments, el código del procesamiento de imágenes desarrollado originalmente en MATLAB debió ser adecuado para su implementación en LabVIEW.

La etapa de control de la plataforma también debió ser redefinida para cumplir con el requerimiento de suavidad que es esencial para no degradar la calidad de las imágenes captadas y que luego son utilizadas para el procesamiento del algoritmo de imágenes.

La estrategia de control está basado en la realimentación del estado “velocidad” estimado, tal como se propone en [11] dónde el estimador originalmente fue pensado a partir de control de seguimiento de un automóvil [12] y para el cual se decidió terminar implementando el algoritmo PID como estimador [13][14], y así aprovechar sus características de simplicidad y sobre todo, robustez.

Finalmente se sintonizan los parámetros de las diferentes etapas para cumplir con los requerimientos del seguimiento de un objetivo aéreo móvil sin restricciones específicas. El sistema fue ensayado en campo, y se presentan los resultados, conclusiones e inconvenientes encontrados y a ser tenidos en cuenta en las próximas etapas de desarrollo.

El presente informe comienza la configuración física del sistema, que permitirá al lector contextualizar el objetivo de este trabajo. Luego se describe brevemente el algoritmo de procesamiento de imágenes presentado con mayor profundidad en [1], para luego detallar su adaptación al software de control del sistema. Posteriormente se describe en mayor detalle el modelo de la planta, los ensayos para la determinación de sus parámetros, y la estrategia de control aplicada en esta primera etapa de desarrollo.

Finalmente se describen los tres ensayos de campo realizados, y se presentan los resultados logrados.

2 Delineación general del sistema

Las estimaciones de la posición de un objeto dentro del cuadro de la imagen captada por una videocámara, pueden utilizarse para comandar un mecanismo servo controlado. Este esquema de control guiado por imágenes es conocido como *visual servoing* (ó *visual feedback*) e involucra la fusión entre la dinámica de la planta, y la del procesamiento de una secuencia de imágenes (video) [15][16][17][18].

El diagrama en bloques correspondiente a la plataforma servo controlada puede observarse dentro del recuadro gris de la Fig.1, donde se observa la etapa de control C, el driver de potencia D, que comanda los motores E. La realimentación de posición se logra mediante los encoders representados por el bloque F₁.

Sobre la plataforma servo controlada se fija la cámara de filmación de video V, cuyas imágenes son digitalizadas en Z, y procesadas para generar la realimentación F₂, y generar el comando de control, y lograr el seguimiento.

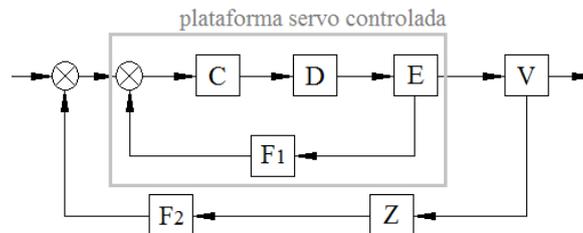


Fig. 1. Diagrama en bloques de la configuración, plataforma servo controlada y realimentación de visión.

Es importante ahora mencionar dos características importantes del sistema de visión. La primera es que el objetivo a seguir puede moverse libremente por el espacio, por lo que puede ubicarse cerca o lejos de la cámara y esta distancia al objetivo es variable durante el ensayo. Para disponer una imagen del objeto de un tamaño visible dentro del cuadro de la imagen se debe variar la distancia focal (zoom) de la cámara. Al variar el zoom de la cámara, se modifica el campo de visión (FOV), por lo que la relación ángulo/píxel en la realimentación F₂ es variable según el valor de zoom que comanda el operador.

La segunda es que, si bien el algoritmo de procesamiento de la imagen permite operar en tiempo casi real sin introducir retrasos apreciables en la realimentación, existe una latencia inherente a la transmisión y digitalización del video hasta que las imágenes están disponibles para procesarlas. Esta es la razón por la que se considera el retraso Z en este modelo.

3 Especificación técnica de la planta

Los motores que comandan la montura son dos motores de corriente continua con escobillas FAULHABER 90 W 3863 C con una tensión de alimentación de 24 V. La interface de potencia a los motores se realiza a través de drivers GeckoDrive G340. Los lazos de control de cada motor se realimentan mediante la información suministrada por sendos encoders AGILENT TECHNOLOGIES del tipo óptico de la serie HEDM 5500 J12 de 1024 líneas/vuelta asociados a los ejes de los motores. La señal de comando de los motores se generan en una placa PCI-7344 de National Instruments, que además lee por flancos ascendentes y descendentes la señal cuadratura y cuadruplica la resolución en posición.

La realimentación F_1 proveniente de los encoders asociados a los ejes de los motores son leídos por hardware en la placa de control PCI-7344 y el retraso se encuentra en el orden de los $62\mu\text{s}$ por lo que se considera instantáneo en este modelo.

4 Algoritmo de procesamiento de imágenes

Para el funcionamiento de la plataforma de seguimiento óptico se implementó el algoritmo ajustable de seguimiento con equiparado de patrón (máscara) expuesto en [18] que fue desarrollado dentro del marco del proyecto con la finalidad de, una vez detectado el objetivo, encontrar su posición en el cuadro de las distintas secuencias de imágenes de video, conservando la mayor versatilidad posible. Su efectividad ya ha sido ensayada con series de imágenes similares a las que se demandan para la operación de TV Tracker.

El sistema de seguimiento consta de cuatro etapas secuenciales. Primero se localiza la posición de mejor correspondencia entre el área de interés de la imagen y el patrón (máscara) determinado en la muestra anterior, minimizando una función de energía espacial que se expresa en (1).

$$J(x, y) = -\alpha \times \gamma'(x, y) - \beta \times \left(\text{normpdf}(\|(x, y)_{n-1} - \widehat{(x, y)}_n\| \times \varepsilon) \right) \quad (1)$$

Siendo α el peso de la reciprocidad, " γ' " correlacion entre la imagen y el patrón normalizado, y β el peso de la desviación de la posición respecto a la estimada. El coeficiente ε estará relacionado con la seguridad de la estimación, que depende a su vez del tipo de movimiento que presenta el objeto rastreado y la exactitud esperada para las posiciones previas. Después, se calculan coeficientes de corrección de tamaño de ventana y centrado del objeto considerando características de bordes de la imagen en la región próxima a la posición determinada en el paso anterior. Esto se realiza aplicando un umbral a las siguientes curvas de bordes verticales y horizontales:

$$F_v(x) = \text{FILT} * \sum_y \left| R(x, y) - R(x + 1 \times \text{sign}(x_c - x) \times \frac{(x-x_c) \times 10000}{(x-x_c) \times 10000 + 1}, y) \right| \quad (2)$$

$$F_h(y) = FILT * \sum_x \left| R(x, y) - R(x, y + 1 \times \text{sign}(y_c - y) \times \frac{(y-y_c) \times 10000}{(y-y_c) \times 10000 + 1}) \right| \quad (3)$$

Siendo *FILT* un filtro de respuesta temporal reducida (típicamente [1 2 1]) para obtener resultados más suaves. $R(x, y)$ la region estudiada, y (x_c, y_c) la posición central del área. A partir de la posición estimada de los bordes se calculan los coeficientes de corrimiento y zoom de manera trivial con las expresiones exhibidas a continuación.

$$Z_n = \left\lfloor \frac{(L_{sn} - L_{in})}{2} \right\rfloor + 1 - W_{n-1} \quad (4)$$

$$C_n = \left\lfloor \frac{(L_{sn} + L_{in})}{2} \right\rfloor - (x, y)_n \quad (5)$$

Siendo Z_n y C_n los coeficientes de zoom y corrimiento respectivamente, L_{sn} y L_{in} las posiciones de límites superior e inferior de bordes detectados en (2) y (3), y W_{n-1} el tamaño de la semi-ventana para la iteración anterior. A continuación, se realiza un filtrado del resultado obtenido, modificado con los coeficientes de corrección, y, por último, se recalcula el patrón para la próxima iteración mediante (6).

$$t'_n(u, v) = t'_{n-1}((u, v) + C'_n) \times (1 - \sigma) + \sigma \times (M_n((u, v) - (\tilde{x}_n, \tilde{y}_n) + W_n + 1) - \overline{M}_{n,(\tilde{x}_n, \tilde{y}_n)}) \quad (6)$$

Siendo $(\tilde{x}_n, \tilde{y}_n)$ la posición corregida, C'_n el coeficiente de corrimiento que maximiza la correlación entre la máscara anterior y la muestra nueva, M_n la muestra capturada, $\overline{M}_{n,(\tilde{x}_n, \tilde{y}_n)}$ la media de dicha muestra en la zona bajo la ventana, y σ el coeficiente de renovación que dependerá de la velocidad de cambio esperado para el aspecto del objeto rastreado y el grado de robustez deseado ante oclusiones temporales, parciales o totales. Para poder utilizar el algoritmo de seguimiento fue necesario realizar algunos ajustes para amoldarlo a los requerimientos particulares de la aplicación. Primero fue necesario traducir el algoritmo del lenguaje de programación MATLAB al lenguaje gráfico de LabVIEW para compatibilizarlo con el resto del sistema. Luego, mediante una serie de ensayos de laboratorio y simulaciones se fijaron el resto de los coeficientes ajustables y umbrales priorizando la robustez del sistema.

Tomando en cuenta el tipo de movimiento esperado para las aeronaves que se desea observar y la distancia de las mismas respecto a la plataforma de seguimiento fue posible establecer algunos parámetros. Se fijó en un valor de 2 la relación entre el tamaño de la máscara y el de la ventana de búsqueda del objetivo. El coeficiente de renovación de la máscara σ , en la ecuación (6), utilizado para promediar ponderadamente el patrón de la iteración anterior con la apariencia del objeto en la captura actual, fue de un 5% para evitar la divergencia de la misma y posibilitar la adaptación del patrón a los cambios de aspecto del objeto a capturar. Para el cálculo de la función de costo (1) se normaliza la función de correlación alterada γ' con un coeficiente α inversamente proporcional al máximo valor de dicha función. Y, tanto para β como

para ε se fijan valores estimativos de 3 unidades, quedando siempre la posibilidad de modificar dichos valores durante la operación del sistema.

Finalmente, aunque la etapa de modificación del tamaño de la máscara (segunda etapa) ofrece versatilidad al sistema, fue necesario optar por máscaras de tamaño fijo de 31x31 píxeles. Lo que motivó esta decisión fue la necesidad de capturar las fases de aterrizaje y despegue del vuelo de las aeronaves. En estos periodos los cambios abruptos que sufre el fondo, que no fueron contemplados durante el diseño del algoritmo, tornan inestable al sistema.

Las cualidades ajustables del método desarrollado permiten, si se conocen las características del objetivo, adaptar el algoritmo a distintas aplicaciones. Esta versatilidad hace posible el procesamiento de más de 250 capturas por segundo en un procesador Intel(R) Core(TM) i7-2600 de 3.4 GHz.

5 Calibración de la etapa de video

La cámara de filmación es una Sony DCR-SR68, con distancia focal variable por el usuario. La señal de video compuesto proveniente de la cámara es digitalizada por medio de una placa PCI-1409 de National Instruments y luego procesada por el algoritmo de seguimiento de imágenes en una computadora.

La cámara de filmación adquiere imágenes a 30 cuadros por segundo (fps) posee una relación de aspecto de video de 16:9 en *Standard Resolution*, y distancia focal variable (zoom óptico) de hasta 60x. El campo de visión de la imagen, IFOV por sus siglas en inglés, se determinó experimentalmente para máximo zoom (menor FOV) en los siguientes valores:

$$IFOV_H = 20.5 \pm 0.2[\mu rad/pixel] \quad (7)$$

$$IFOV_V = 17.3 \pm 0.2[\mu rad/pixel] \quad (8)$$

La relación ángulos-píxeles se modeló de manera lineal en el rango $\times 1-60$ de zoom que comanda el usuario. Así queda definida la realimentación F_2 en la fig. 1.

Para medir el tiempo de retraso que corresponde a Z se reemplazó el controlador por una ganancia unitaria, y se excitó la planta con una señal escalón. El retardo del lazo se determinó como el tiempo entre la excitación, y la respuesta de los motores. El retardo se midió constante en 15 ensayos realizados y su valor se determinó en 120ms, que corresponde a 4 cuadros de imagen.

6 Estrategia de control

La estrategia de control que se ensayó se basa en la realimentación de estado de velocidad, tal como se propuso Murao, T. et al en el trabajo "Predictive Visual Feedback Control with Eye-in-Hand System via Stabilizing Receding Horizon Approach" y se describe en [14]. El estimador de estado (*tracking filter*) se basa en la ley de control de seguimiento de un automóvil (Car-following Control Law) que surge de imitar

cómo un conductor corrige su velocidad de su automóvil en función de la distancia (posición) al vehículo delante de él:

$$V_{n+1} = V_n + f(d) \quad (9)$$

Donde V representa la velocidad en los instantes n y el siguiente $n+1$, y $f(d)$ es una función de la distancia en píxeles del centro de la máscara al centro de la pantalla.

Como primera aproximación al problema, y visto que el objetivo principal es continuar evaluando al algoritmo de seguimiento por imágenes y su aprovechamiento en la plataforma servo controlada, es que se decidió utilizar un algoritmo PID como primera aproximación de estimador, ya que este cumple con dos requisitos vitales: robusto (estable) y fácilmente modificable [16][17].

6.1 Sintonización del control

Para la sintonización de la etapa de control, se debió tomar en consideración no solo las características de las etapas (imágenes y servo) independientemente sino las del conjunto, es decir las dos etapas funcionando en conjunto y su interdependencia. Por ejemplo: la relación entre el entrelazado de líneas de video y la velocidad de los motores.

La placa digitalizadora de video, la PCI-1409 de NI, sólo digitaliza video con entrelazado de líneas. Esto produce un efecto no deseado en la imagen digitalmente procesada, ya que ésta no es leída por líneas como en un televisor común, sino que se lee en su totalidad de líneas en cada cuadro. Por lo tanto, objetos desplazándose horizontalmente en el cuadro de la imagen, tienden a desdibujarse (*interlaced video*).

Si los motores varían su velocidad bruscamente se produce el mismo efecto, la calidad de la imagen se deteriora y por lo tanto, la máscara del algoritmo se ve alterada pudiendo resultar en una pérdida del objetivo.

Esto es particularmente importante cuando se inicia el seguimiento, ya que se comienza con un escenario de cámara originalmente estática que se excita con una señal que se aproxima a un escalón. Por esto surgen restricciones a la dinámica que resulta de los comandos de control de los motores, en particular a la aceleración.

Además se debe tener en cuenta que la etapa de imágenes tiene un retraso de 4 cuadros de imagen inherentes a la digitalización del video. Por lo expuesto, el tipo de respuesta que se desea de la planta es de tipo sobreamortiguado.

Se aplicaron las reglas de sintonización de Ziegler-Nichols para los dos casos extremo de IFOV (1 y 60× de zoom) y se desarrolló, en base a estos dos valores extremos, un PID variable según el valor de zoom comandado en ese instante del ensayo. Por lo tanto, cuando el usuario modifica el IFOV comandando mayor acercamiento, los valores del PID se actualizan según ha sido modificada la relación de realimentación. Esto permite que la respuesta del control sea la adecuada según la distancia al objetivo y que además no se corra peligro de deteriorar la máscara de la imagen por una respuesta brusca del controlador de los motores.

7 Ensayo

Se realizaron tres ensayos para evaluar el funcionamiento del sistema.

En el primer ensayo se logró un registro ininterrumpido de 6,842 minutos del vuelo de un avión comercial en su ruta aérea. El blanco fue primeramente avistado en el zenit de la montura y se hizo el seguimiento automático por imágenes hasta que desapareciera detrás de unos árboles a unos 15 grados sobre el horizonte.

Las imágenes en Fig. 2 muestran dos de las instancias del seguimiento. En la imagen de la izquierda se muestra el avión centrado a lo largo del ensayo en máximo zoom. En la imagen derecha se observa el máximo deterioro de la máscara durante el ensayo, antes de que se obstruyera la visibilidad del blanco por los arboles.

La Fig. 3 muestra una secuencia de cuadros del mismo avión en los que la máscara de seguimiento es obstruida por unos breves instantes, luego de los cuales se continuó operando sin ningún inconveniente para el desarrollo del ensayo.



Fig. 2. Captura del primer ensayo, y últimas capturas previo a la oclusión (izq.).



Fig. 3. Secuencia de oclusión temporal del objetivo en pleno seguimiento

El segundo ensayo se realizó participando en la realización de un ensayo de otro proyecto que implica el desarrollo de una baliza de rescate, al que se aportó el registro de filmación de su ensayo que consistió en seguir un helicóptero mientras realizaba ciertas maniobras transportando la carga útil de telemetría. La participación de este ensayo fue de mucho interés para el proyecto TV Tracker principalmente por la variación del escenario de filmación que ofrece el vuelo del helicóptero, en el cual la distancia desde el pedestal al objetivo varió desde los 200m a los 4km, y en altitud desde el suelo (490msnm) hasta los 14000ft (4200msnm).



Fig. 4. Captura del segundo ensayo, y cambio de aspecto del objetivo (*izq.*)

Además, durante el día del ensayo, el cielo se observaba con nubosidad variable que, si bien complicó el ensayo, sirvió para evaluar al software en condiciones adversas con situaciones de oclusión, ocultamiento parcial y total.

Se obtuvieron 59,65 minutos de filmación. Este ensayo permitió evaluar la operatividad del sistema en conjunto. Se validó el correcto funcionamiento del algoritmo de detección de imágenes en situaciones simuladas en el laboratorio tales como la oclusión parcial y total, las variaciones de aspecto del objetivo (Fig. 3).

También se observó la correcta convergencia del algoritmo de control quien desplazaba la cámara de manera suave y continua de manera de no afectar la calidad de imagen aun en situaciones de máxima lejanía del objetivo (máximo Zoom).

Se observaron limitaciones para volver a ubicar al objetivo con la cámara de filmación (situación de pre-apuntado), y cuestiones operativas de comandos y funcionamiento del programa, desde el punto de vista del operario del sistema.

Por último (3er ensayo), y para ensayar la versatilidad del sistema, se filmó el vuelo de un ave desde el cenit de la plataforma de seguimiento hasta que la distancia fue demasiada para poder observar el animal (grabación de 6,8 minutos).

En el primer y tercer ensayo la capacidad de seguimiento del sistema se extendió hasta momentos posteriores a lo imaginado, con patrones muy difuminados o de unos pocos pixeles y gravemente deteriorados.

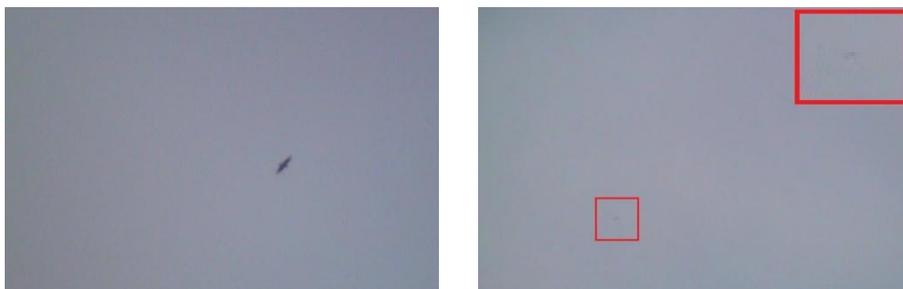


Fig. 5. Captura del tercer ensayo, y la peor calidad de máscara soportada (*izq.*)

8 Conclusión

En el desarrollo de esta primera aproximación al control de la plataforma TV Tracker mediante imágenes, se observaron los inconvenientes que surgen al cambiar de paradigma de cámara fija, a cámara servo-orientada. Para adquirir imágenes detectables por el algoritmo de detección adaptivo, se requiere la incorporación de restricciones a la aceleración máxima de los servomotores para no deteriorar la imagen a procesar.

Se logró una ley de seguimiento que permite realizar movimientos suaves y continuos tal como lo requiere para el registro de las imágenes, y se logró mantener el objetivo suficientemente centrado para aplicar el máximo zoom en todos los casos ensayados.

En cuanto al algoritmo de procesamiento de imágenes demostró un excelente comportamiento en situaciones extremas del patrón del objetivo seguido, de manera de responder a movimientos de velocidades, y direcciones variables. También se debe notar que se verificó lo robusto del algoritmo de detección de imágenes dado que mantuvo centrado el objetivo en pantalla aun en situaciones de oclusiones momentáneas.

Como futuras actividades se realizará la implementación de un sistema de preapuntado de la plataforma utilizando GPS, que permita ubicar rápidamente en pantalla al objetivo no distinguible a primera vista. También se incorporará una etapa de estimación de Trayectoria con la fusión sensorial de información de GPS y de imágenes para poder realizar el seguimiento cuándo el objetivo se oculta por períodos largos de tiempo, aumentando las probabilidades de volver a encontrarlo cuando vuelva a ser visible.

Referencias

[1] Curetti, Maria; Garcia Bravo, Santiago; Arri, Gabriela S.; Mathe, Ladislao, "Adjustable Tracking Algorithm with Adaptive Template Matching," *Latin America Transactions, IEEE (Revista IEEE America Latina)* , vol.11, no.1, pp.34,39, Feb. 2013 doi: 10.1109/TLA.2013.6502774

[2] S. Baker and I. Matthews, "Lucas-Kanade 20 Years on: A Unifying Framework," *Int'l J. Computer Vision*, vol. 53, no. 3, pp. 221-255, 2004.

[3] Iain Matthews, Takahiro Ishikawa, and Simon Baker, "The Template Update Problem" *IEEE TRANSACTIONS ON PATTERN ANALYSIS AND MACHINE INTELLIGENCE*, VOL. 26, NO. 6, JUNE 2004.

[4] Hieu T. Nguyen, Marcel Worring, and Rein van den Boomgaard "Occlusion robust adaptive template tracking" *Intelligent Sensory Information Systems* University of Amsterdam, Faculty of Science Kruislaan 403, NL- 1098 SJ, Amsterdam, The Netherlands.

[5] Miranda, P.A.V.; Falcao, A.X.; Spina, T.V., "Riverbed: A Novel User-Steered Image Segmentation Method Based on Optimum Boundary Tracking," *Image Processing, IEEE Transactions on* , vol.21, no.6, pp.3042,3052, June 2012

- [6] Yi, Faliu, and Inkyu Moon. "Image segmentation: A survey of graph-cut methods." *Systems and Informatics (ICSAD), 2012 International Conference on*. IEEE, 2012.
- [7] Hurak, Zdenek, and Martin Rezac. "Image-Based Pointing and Tracking for Inertially Stabilized Airborne Camera Platform." *Control Systems Technology, IEEE Transactions on* 20.5 (2012): 1146-1159.
- [8] Torkaman, B.; Farrokhi, M., "Real-time visual tracking of a moving object using pan and tilt platform: A Kalman filter approach," *Electrical Engineering (ICEE), 2012 20th Iranian Conference on*, vol., no., pp.928,933, 15-17 May 2012
- [9] Tai, Jen-Chao, and Hsin-Ming Lo. "Design and Implementation of Image-Based Monitoring and Tracking System." *Recent Advances in Computer Science and Information Engineering*. Springer Berlin Heidelberg, 2012. 45-54.
- [10] Nassu, B.T.; Ukai, M., "A Vision-Based Approach for Rail Extraction and its Application in a Camera Pan-Tilt Control System," *Intelligent Transportation Systems, IEEE Transactions on*, vol.13, no.4, pp.1763,1771, Dec. 2012
- [11] Murao, T.; Yamada, T.; Fujita, M., "Predictive Visual Feedback Control with Eye-in-Hand System via Stabilizing Receding Horizon Approach," *Decision and Control, 2006 45th IEEE Conference on*, vol., no., pp.1758,1763, 13-15 Dec. 2006 doi: 10.1109/CDC.2006.376702
- [12] Ahmed, Javed, M. N. Jafri, Mubarak Shah, and Muhammad Akbar. "Real-time edge-enhanced dynamic correlation and predictive open-loop car-following control for robust tracking." *Machine Vision and Applications* 19, no. 1 (2008): 1-25.
- [13] Dean-Leon, E.C.; Parra-Vega, V.; Espinosa-Romero, A.; Fierro, J., "Dynamical image-based PID uncalibrated visual servoing with fixed camera for tracking of planar robots with a heuristical predictor," *Industrial Informatics, 2004. INDIN '04. 2004 2nd IEEE International Conference on*, vol., no., pp.339,345, 26-26 June 2004 doi: 10.1109/INDIN.2004.1417357
- [14] Wei Tang; Mengxiao Wang; Yuyan Chao; Lifeng He; Itoh, H., "A Study on the Internal Relationship among Smith Predictor, Dahlin Controller & PID," *Automation and Logistics, 2007 IEEE International Conference on*, vol., no., pp.3101,3106, 18-21 Aug. 2007 doi: 10.1109/ICAL.2007.4339115
- [15] Changchun Hua; Yinjuan Liu; Jing Leng, "Visual-based robotic control without joint velocities," *Control Automation Robotics & Vision (ICARCV), 2012 12th International Conference on*, vol., no., pp.1262,1267, 5-7 Dec. 2012
- [16] Anis, Y.H.; Holl, M.R.; Meldrum, D.R., "Automated Selection and Placement of Single Cells Using Vision-Based Feedback Control," *Automation Science and Engineering, IEEE Transactions on*, vol.7, no.3, pp.598,606, July 2010
- [17] Oda, N., Ito, M. and Shibata, M. (2009), Vision-based motion control for robotic systems. *IEEJ Trans Elec Electron Eng*, 4: 176–183. doi: 10.1002/tee.20395
- [18] Yanling Xu, Huanwei Yu, Jiyong Zhong, Tao Lin, Shanben Chen, "Real-time seam tracking control technology during welding robot GTAW process based on passive vision sensor", *Journal of Materials Processing Technology* Volume 212, Issue 8, Pages 1654–1662, August 2012,