

Ing. Osvaldo D. Marcovecchio - Lic Sergio Daniel Conde

Facultad de Ingeniería - Universidad de la Marina Mercante.

Medición del campo de velocidades en imágenes

Resumen

El análisis de la dinámica en imágenes es una de las componentes en el campo de la "Visión Artificial" (Computer Vision). El hecho de tener un trazador del campo de velocidades, el cual determina una matriz de las componentes de velocidades en 2D o 3D entre dos cuadros sucesivos de una toma de cámara de video, y además, que la resolución sea en tiempo real, nos brindarán una herramienta que en el futuro permitirá usarla en muchas diferentes aplicaciones.

El presente trabajo es la segunda etapa de una investigación comenzada un año atrás, la cual vinculará entre otros al "Estudio de Patrones en Imágenes (Faciales)". Este se centra en la aplicación de las ecuaciones de Lucas Kanade mediante la optimización de un algoritmo y su posterior verificación.

Palabras Clave

Dinámica - Imágenes - Visión artificial - Procesamiento.

Abstract

The analysis of dynamics in images is one of the components in the field of

"Artificial Vision" (Computer Vision). The fact of having a tracer of the field of speeds, which determines a matrix of the components of speeds in 2D or 3D between two successive pictures of a taking of video camera, and that in addition the resolution is in real time, will offer a tool that in future will allow to use it in many different applications. The present work is the second stage of an investigation that began one year ago, which will tie among others to the "Study of Models in Images (Faces)". This one focuses the application of Lucas Kanade equations by means of an algorithm and its later verification.

Key Words

Dynamics - Images - Artificial vision - Processing.

1. Introducción

Se han comprobado los resultados obtenidos en la primera etapa, por lo tanto avanzando en la investigación se centra el trabajo en la 2° etapa descrita que es la medición del campo de velocidades en objetos pequeños y la corroboración de los resultados utilizando las herramientas de la dinámica.

La verificación de resultados en este caso se realizará por dos caminos diferentes, uno utilizando los métodos de la primera etapa y el otro camino son los resultados arrojados por el instrumental del laboratorio de la facultad. Con la verificación de estos resultados, recién pasaremos al procesamiento en paralelo utilizando placas de GPU para el trabajo en tiempo real.

2. Desarrollo

2.1 Obtención de Imágenes

Los pasos a seguir para el logro del objetivo propuesto no difieren en mucho de la primera etapa y son:

- Obtención las imágenes en el laboratorio de física que luego se procesarán.
- Separación y transformación de una toma de cámara de video, de los cuadros que la componen en cuadros de imagen en formato jpg (o cualquier otro estándar) y su posterior transformación a la extensión BMP (mapa de bits).
- Procesamiento de cada uno de esos cuadros de a dos a fin de poder obtener la matriz de velocidades de los objetos que se estén moviendo.

- Volcado de los valores obtenidos a un gráfico de vectores.
- Corroboración de los resultados obtenidos.

En esta etapa, se utilizan filmaciones realizadas por el equipo de investigación, se efectúan en distintos objetos, en un primer caso se filma un carro afectado con un MRU (movimiento rectilíneo uniforme) conocido y verificable por medios clásicos, luego lo hacemos con un MRUA (movimiento rectilíneo acelerado) con aceleración constante y métodos de verificación clásicos. Finalmente se hace lo mismo pero con objetos moviéndose en distintas direcciones y también con la condición de poder verificar por medios clásicos la ecuación que describe su movimiento.

Los cálculos han sido realizados para el objeto de este estudio con PC estándar y notebook para trabajo en campo. Para los cálculos de verificación se han utilizado herramientas del laboratorio de física de la Facultad.

Para el trabajo en PC no se considera el limitante de procesamiento en serie, pues en esta etapa no es necesaria la obtención de resultados en tiempo real. No se ha bajado la definición en las imágenes, las tomas son de 25 cuadros por segundo.

Se parte de la hipótesis de que la luminancia permanece constante entre dos cuadros de imagen y todo cambio que se registrase es debido al movimiento. Esto permite expresarlo mediante la siguiente ecuación:

$$I(x,y,t) = I(x+dx,y+dy,t+\Delta t)$$

Ecuación 1

Se aplica el cálculo en serie de Taylor truncado en la primer derivada, donde las derivadas de orden superior pueden despreciarse sin cometer un error apreciable.

Se puede resumir las expresiones a lo siguiente

$$I_x u + I_y v + I_t = 0$$

Ecuación 4

Donde (u,v) con $u = dx/dt$ y $v = dy/dt$ corresponden al flujo óptico, I_x e I_y son las derivadas parciales vertical y horizontal de la imagen, respectivamente en el tiempo "t"

Se ha efectuado la captura de imágenes donde el movimiento es de traslación pura (sin campos rotacionales), donde la ecuación que define al movimiento está dado por el sistema lineal [ecuación 4], el cual lo podemos escribir [ecuación 5]:

$$I_x(q_1)V_x + I_y(q_1)V_y = -I_t(q_1)$$

Ecuación 4

$$I_x(q_2)V_x + I_y(q_2)V_y = -I_t(q_2)$$

$$I_x(q_n)V_x + I_y(q_n)V_y = -I_t(q_n)$$

$$A = \begin{bmatrix} I_x(q_1) & I_y(q_1) \\ I_x(q_2) & I_y(q_2) \\ \vdots & \vdots \\ I_x(q_n) & I_y(q_n) \end{bmatrix} \quad v = \begin{bmatrix} V_x \\ V_y \end{bmatrix}, \quad \text{and} \quad b = \begin{bmatrix} -I_t(q_1) \\ -I_t(q_2) \\ \vdots \\ -I_t(q_n) \end{bmatrix}$$

Componentes del sistema lineal expresado matricialmente.

Notación $\Omega \subset \mathbb{R}^2$ Indica un sector bidimensional de la imagen, $x \in \Omega$ un punto interior una secuencia de la imagen en términos de la función intensidad

$$I: \Omega \times [0.T] \rightarrow I(x,t)$$

y los campos vectoriales:

$$\omega : \Omega \rightarrow \omega(x) = (u(x), v(x))^T$$

T indica la transposición

$$\begin{pmatrix} u(x) \\ v(x) \end{pmatrix}^T$$

Ecuación 5

Esta notación refleja una expresión continua, la realidad es que estamos con elementos discretos derivados de una sucesión de cuadros de imágenes tomadas con un Δt finito distinto de cero.

$$E = \sum_{x \in \Omega} \left(\frac{\partial s_c(x,y,t)}{\partial x} v_1(t) + \frac{\partial s_c(x,y,t)}{\partial y} v_2(t) + \frac{\partial s_c(x,y,t)}{\partial t} \right)^2$$

Ecuación 6

Finalmente, la expresión que se va a utilizar para el cálculo de velocidades computando el error e igualando a cero, es:

$$\begin{bmatrix} v_1 \\ v_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sum_{x \in B} \left(\frac{\partial I}{\partial x} \right) \left(\frac{\partial I}{\partial x} \right) & \sum_{x \in B} \frac{\partial I}{\partial x} \frac{\partial I}{\partial Y} \\ \sum_{x \in B} \frac{\partial I}{\partial x} \frac{\partial I}{\partial Y} & \sum_{x \in B} \left(\frac{\partial I}{\partial y} \right) \left(\frac{\partial I}{\partial y} \right) \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} - \sum_{x \in B} \left(\frac{\partial I}{\partial x} \right) \left(\frac{\partial I}{\partial t} \right) \\ - \sum_{x \in B} \left(\frac{\partial I}{\partial y} \right) \left(\frac{\partial I}{\partial t} \right) \end{bmatrix}$$

Ecuación 7

Esta operación se repite para cada píxel de la imagen y el resultado final una matriz de velocidades con la componente en cada eje.

Como se ha mencionado anteriormente si entre dos cuadros consecutivos la luminancia no permanece constante implica que algo se ha movido en la escena, variaciones en la iluminación de la escena se traducen como ruido generado por este parámetro y afectará al cálculo de las derivadas.

El tratamiento de este fenómeno no es objeto en este trabajo por lo tanto se deberán realizar las filmaciones controlando las condiciones lumínicas del ambiente y evitando toda variación de este parámetro ya sea por refracción o por reflexión.

2.2 El Procesamiento

Se utilizaron los equipamientos del laboratorio de física (dinámica) de la facultad para realizar las filmaciones que luego se iban a procesar.

En el laboratorio de dinámica junto a cada experimento se guardaron los resultados obtenidos por los métodos clásicos para luego compararlos con los obtenidos con la herramienta en desarrollo. Como la hipótesis sobre la cual se basa esta herramienta es la siguiente: "De un cuadro a otro la luminancia permanece constante, cualquier variación en la misma es debida al movimiento". Se debieron extremar las condiciones de iluminación, para garantizar que no hubieran fluctuaciones en la iluminación de los objetos a filmar, aprovechando las características de dadas por hipótesis, se verificaron las condiciones de iluminación realizando filmaciones de escenarios inmóviles en paralelo con la filmación de los experimentos.

Se realizaron filmaciones en el equipo de MRUA y en el equipo de caída libre (caso particular de MRUA).

Se procesaron los cuadros utilizando el Software desarrollado en la primera etapa de este trabajo "Estudio de Dinámica en Imágenes" siguiendo el los pasos descritos en el punto 2-1.

Recordamos que todo el proceso se realiza bajo la norma YIQ.

Se define al primer cuadro como $I(\Omega, t)$, e $I(\Omega, t + \Delta t)$ para el segundo, el cual está incrementado por un intervalo de tiempo, Ω pertenece al plano (dos dimensiones).

Como primer paso se debe derivar el cuadro de imagen, se selecciona una función delta de Dirac para la tarea y se realiza el producto de convolución.

Por tratarse de valores discretos, para la primera utilizamos una gaussiana [ecuación 8]

$$g(x, y) = \frac{1}{2\pi\sigma^2} e^{-\frac{(x^2+y^2)}{2\sigma^2}}$$

Ecuación 8

Y se utiliza la propiedad que da la igualdad [ecuación 9] para obtener la primer derivada de la imagen:

$$\frac{\partial}{\partial x} (J * g) = \frac{\partial J}{\partial x} * g = J * \frac{\partial g}{\partial x}$$

Ecuación 9

La $I(t)$ se logra aplicando la definición de límite matemático a cada uno de los pixeles de los dos cuadros sucesivos de imagen reemplazando el Δt por el intervalo entre cuadros expresado en segundos (ejemplo si son 25 cuadros/seg, $\Delta t = 0,04$ seg.).

Y para la derivada respecto del tiempo utilizamos la aproximación aplicando Taylor [ecuación 10]

$$\begin{aligned} u(\bar{x} + h) &= u(\bar{x}) + hu'(\bar{x}) + \frac{1}{2}h^2u''(\bar{x}) + \frac{1}{6}h^3u'''(\bar{x}) + O(h^4) \\ u(\bar{x} - h) &= u(\bar{x}) - hu'(\bar{x}) + \frac{1}{2}h^2u''(\bar{x}) - \frac{1}{6}h^3u'''(\bar{x}) + O(h^4) \end{aligned}$$

Ecuación 10

Ahora se tienen todos los elementos que aparecen en las ecuaciones de Lucas Kanade (ecuación 7).

Como cada píxel tiene la información de ese punto de la imagen, obtendremos el mismo número de ecuaciones como de pixeles estén involucrados.

2.3 Resultados Obtenidos

Se procesaron varias snapshot obtenidas de filmaciones de distintos experimentos. La imagen 1 muestra una parte del equipamiento del laboratorio destinado a la obtención de la velocidad de distintos experimentos (caída libre y carro cinemático).

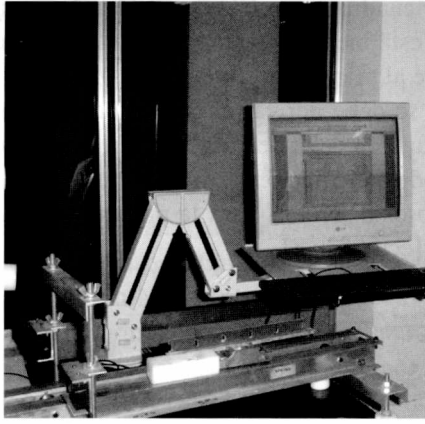


Imagen 1.

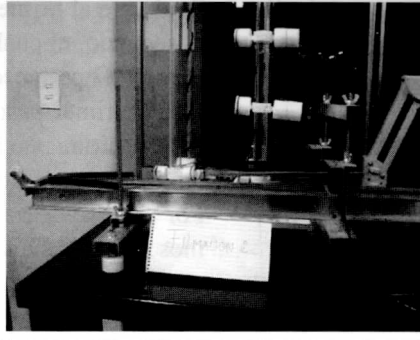
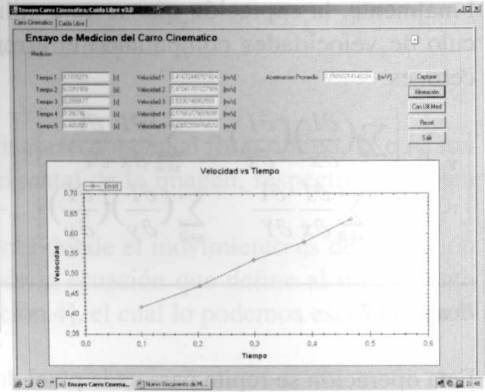


Imagen 2.



En la imagen 2 vemos el dispositivo del carro cinemático (es uno de los cuadros tomado de las filmaciones realizadas). La Imagen 3 muestra la gráfica de resultados obtenidos en laboratorio para el caso del carro cinemático.

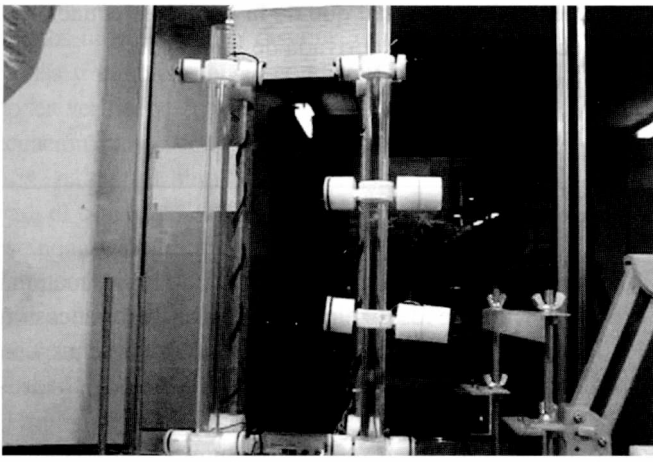


Imagen 4.

Las imágenes 4 y 5 respectivamente corresponden a una muestra del experimento en caída libre.

La figura 1 nos muestra los resultados para el experimento del carro cinemático, mientras que la figura 2 nos muestra el experimento en caída libre, ambos calculados con el algoritmo LK implementado utilizando los fotogramas obtenidos de las filmaciones realizadas.

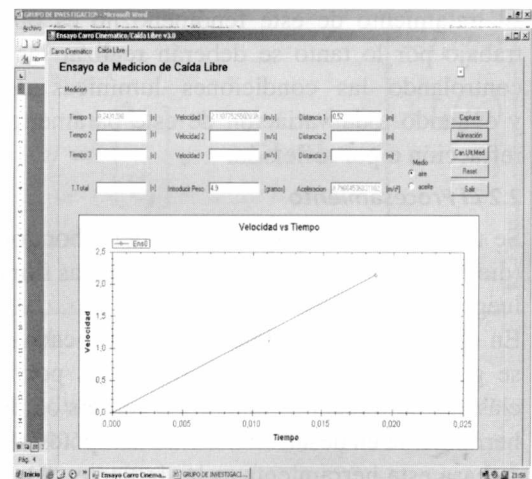


Imagen 5.

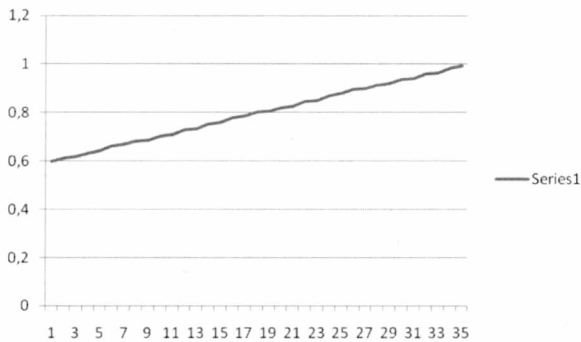


Figura 1

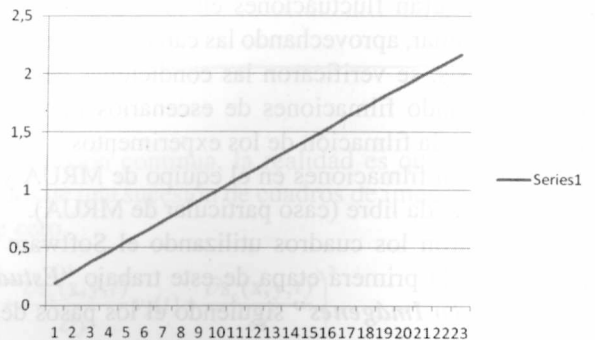


Figura 2

2.4 Verificación de los Resultados

Los resultados se verificaron comparando los valores obtenidos con el instrumental del laboratorio de física de la Universidad contra los obtenidos utilizando el software desarrollado utilizando el método de Lucas Kanade.

Se observó una aceleración promedio de $1,09 \text{ m/s}^2$ para las mediciones del carro cinemático con el instrumental del laboratorio y los cálculos obtenidos mediante las filmaciones arrojó un valor promedio de $1,1 \text{ m/s}^2$.

Para el experimento en caída libre la aceleración promedio con el instrumental del laboratorio dio como resultado $8,9 \text{ m/s}^2$ y los resultados obtenidos con las filmaciones promediaron los $9,2 \text{ m/s}^2$.

3. Conclusiones

El presente trabajo es el resultado de la segunda etapa, se observaron efectos que en el trabajo anterior no se habían manifestado como ser fluctuación de luz en la imagen debida a diversos motivos, vibraciones en la cámara.

Fue necesario mejorar el ambiente de filmación y controlar las variables que introducen ruido a las tomas, también se procesaron las imágenes con distintos tipos de filtro pasabajos. No obstante se observan en los valores obtenidos y en las gráficas variaciones debidas a las perturbaciones antes mencionadas.

A pesar de trabajar con computadoras personales de tipo notebook las cuales no permiten hacer procesamiento en

paralelo, que el tiempo necesario para computar las operaciones fue menor a 0,8 segundos. Ese mismo algoritmo procesado por una GPU (placa para procesar gráficos), la cual permite el procesamiento en paralelo, podría llegar a realizar el mismo trabajo en un tiempo menor (en 2 o tres órdenes de magnitud menor).

No obstante se sigue trabajando en la optimización del algoritmo, una de las mejoras en la que se está trabajando es partir la matriz de imagen para su procesamiento en paralelo.

Los resultados obtenidos y corroborados con el software "DaVis" en la primera etapa y ahora en esta segunda etapa se han podido verificar experimentalmente vía procedimientos clásicos hace que el equipo de investigación comience con la tercera y última etapa de esta investigación.

En cuanto al campo de aplicación se pueden citar: estudios no invasivos del medio observado, aplicaciones directas en medicina (medición de la presión sanguínea en el endotelio) conociendo el campo de velocidades y la densidad del fluido se pueden calcular las presiones que actúan sobre las paredes contenedoras, aplicando las ecuaciones de "Navier Stokes", estudio de partículas inmersas en campos eléctricos externos, estudio del comportamiento de un grupo de insectos (se puede utilizar para seguir un objeto en particular en forma automática), etc.

También se puede aplicar como control automático en el flujo de fluidos,

observación y corrección de vórtices y control vehicular.

Se destacan algunas particularidades para esta etapa:

- Se deben extremar las condiciones en el recinto donde se realizan las filmaciones para las mediciones pues hemos visto la gran sensibilidad que se tiene respecto a la iluminación de la escena. Es algo de esperar ya que por hipótesis todo cambio en la luminancia se debe al movimiento de los objetos filmados.
- Una de las soluciones al punto anterior es la utilización de filtros, pero la utilización de los filtros trae una restricción en cuanto a la velocidad de procesamiento. Igualmente en muchas aplicaciones las condiciones de iluminación son perfectamente controlables.
- Podemos citar como ejemplos, las mediciones realizadas en condiciones de laboratorios ya sea en fluidos o en partículas inmersas en fluidos, también podemos mencionar filmaciones realizadas mediante sondas de torrente sanguíneo en animales.
- En el cálculo de la velocidad se puede paralelizar la inversión de la matriz de cuadrados, ya que se define una matriz de 2×2 independiente de otra para cada pixel de la imagen.

4. Referencias

1. Heitz D., Memin E., Schnörr C. (2010): "Variational Fluid Flow Measurements From Image Sequences: Synopsis And Perspectives". *Exp. Fluids*, 48(3):369-393.
2. Lucas B.D., Kanade T. (1981): "An Iterative Image Registration Technique With Application To Stereo Vision" *Proceedings of the 7th Intl Joint Conf on Artificial Intelligence (IJCAI) 1981, August 24-28. Vancouver, British Columbia*, pp.674-679.
3. Hoffmann G. (2001): "Gaussian Filters": <http://users.utcluj.ro/~baruch/resources/Image/gauss25092001.pdf>