

ALGORITMOS DE CONTROL DE ACTITUD BASADOS EN DETECCIÓN DE HORIZONTE UTILIZANDO HARDWARE COMERCIAL

HINTZ Luis Guillermo (1),

Asesores: PEDRONI Juan Pablo (1) (2), COVA Walter J. D. (2)

(1) Universidad Tecnológica Nacional – Facultad Regional Córdoba

Maestro M. López esq. Cruz Roja Argentina – CP (5000) Córdoba – Argentina

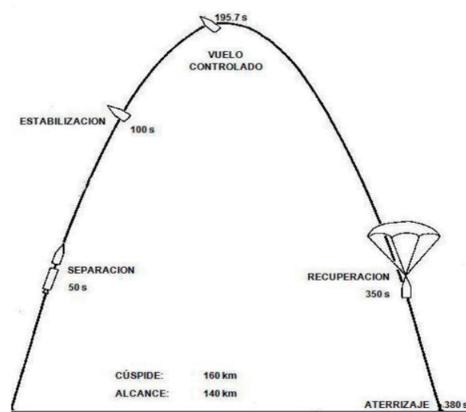
(2) Universidad Tecnológica Nacional – Facultad Regional La Rioja – GPS -Grupo Proyectos y Servicios

San Nicolás de Bari (E) 1100 – CP (5300) La Rioja – Argentina

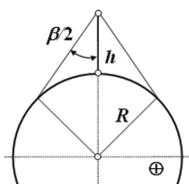
Resumen: En el presente trabajo se expone la implementación de algoritmos de control de actitud para una carga útil suborbital utilizando hardware comercial para determinar la orientación angular del vehículo mediante la detección del horizonte terrestre, y el desarrollo de un entorno de simulación SIL (software-in-the-loop) para la validación de los algoritmos en tiempo real. Se presenta el modelado físico-matemático, junto con la metodología y tecnología para la realización de un lazo de control usando una cámara digital. Se discuten los resultados obtenidos y se esquematizan futuros desarrollos. Proyecto de Investigación y Desarrollo Interfacultades financiado por la Universidad Tecnológica Nacional, código AMIFNLR0003995: Desarrollo de Sensor de Horizonte Basado en Cámara Digital.

Ejemplo de Trayectoria Suborbital y sus Principales Eventos

En las aplicaciones suborbitales, debido a la corta duración del segmento de trayectoria útil, resulta de interés lograr una rápida estabilización de la actitud del vehículo (o carga útil), a fin de maximizar el tiempo disponible para la realización de las experiencias embarcadas: captación de imágenes multispectrales, experimentos de microgravedad, validación de sensores, etc. La brevedad de la misión, conduce a su vez a dar preferencia en la implementación del sistema de control de actitud, al empleo de sensores y actuadores confiables y de bajo costo.



Carga Útil Orientada Espacialmente y Cámara como Sensor de Horizonte

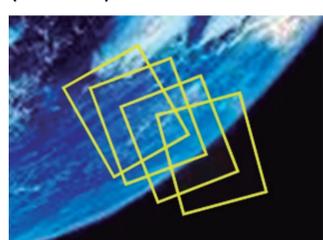
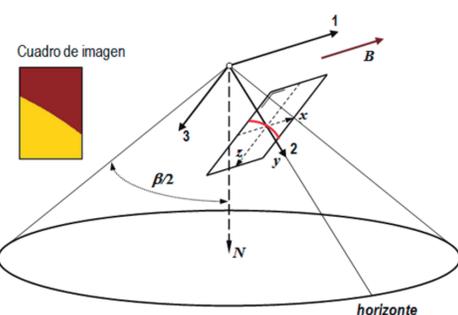


La figura muestra la posición nominal de la carga útil estabilizada a una altura (h) dada, para la cual el horizonte subtende un semiángulo.

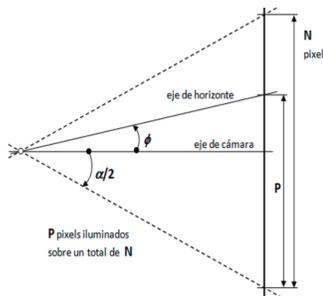
$$\beta/2 = \sin^{-1} \left(\frac{R}{h+R} \right) \approx 90^\circ - \sqrt{h}$$

En esas condiciones, el eje longitudinal de la carga útil se encuentra orientado según alguna dirección unívocamente determinable con la instrumentación de a bordo (p.ej. con el campo magnético terrestre, si se dispone de magnetómetros), mientras que uno de los ejes transversales (asociado al eje óptico de la cámara CMOS) se encuentra “enganchado” con el horizonte visible. La existencia de perturbaciones aerodinámicas y gravitatorias, si bien son de baja intensidad a las alturas de vuelo consideradas, sacarán a la carga útil de su posición nominal, por lo que en definitiva el vehículo realizará una oscilación de ciclo límite alrededor de su posición nominal.

En la figura adjunta se muestra la imagen que se formaría en una cámara orientada de acuerdo a la posición nominal deseada de la carga útil. El vector N corresponde a la vertical local. La traza teórica del horizonte sobre el plano de imagen es un arco de cónica, que separa la tierra (clara) del espacio (oscuro).



Con el objeto de evaluar los requerimientos de tiempo de procesamiento de imágenes y determinar su compatibilidad con los requerimientos de control, se decidió simular las imágenes que la cámara captaría durante el vuelo, partiendo de una fotografía de alta definición de la Tierra tomada desde el espacio.



Trabajando con las relaciones trigonométricas y despejando Φ , se cumple que:

$$\phi = \tan^{-1} \left[\left(\frac{2P}{N} - 1 \right) \tan \left(\frac{\alpha}{2} \right) \right]$$

A partir de la expresión anterior se puede despejar P (píxeles iluminados) y trabajar con una función para generar un horizonte a partir de la entrada del ángulo Φ .

Dinámica del Cuerpo

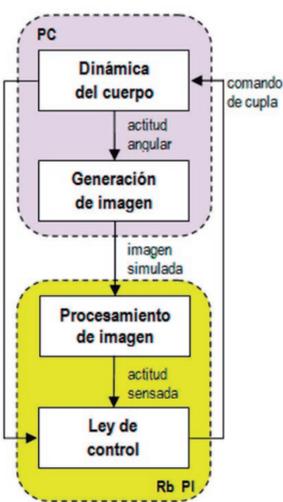
Las ecuaciones de movimiento son:

$$J_1 \frac{d\omega_1}{dt} = T_1; \quad \frac{d\phi}{dt} = \omega_1; \quad T_1 = T_M \cdot f_c(t)$$

Donde Φ es el ángulo de rolido medido respecto del horizonte, ω_1 la velocidad angular, J_1 el momento de inercia y T_1 la cupla de control actuante, la cual depende del valor de la función de conmutación de la ley de control $f_c(t)$.

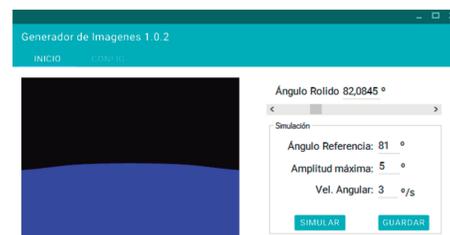
Ley de Control Bang-Bang

$$\begin{aligned} \phi < F_1 &\Rightarrow f_c(t) = +1 & F_1 &= \left(\frac{J_1}{2T_M} \right) \cdot \omega_1^2 \cdot \text{sign}(-\omega_1) - \theta_r \\ F_1 < \phi < F_2 &\Rightarrow f_c(t) = 0 \\ F_2 < \phi &\Rightarrow f_c(t) = -1 & F_2 &= \left(\frac{J_1}{2T_M} \right) \cdot \omega_1^2 \cdot \text{sign}(-\omega_1) + \theta_r \end{aligned}$$



Simulador de imágenes

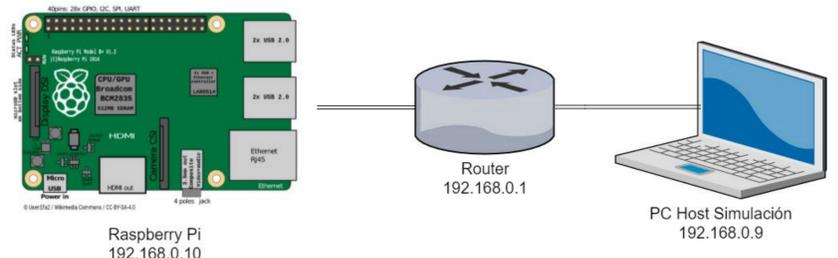
El software simulador de imágenes fue desarrollado sobre la plataforma .NET de Microsoft, tomando las ecuaciones de la dinámica de la carga en micro gravedad y las consideraciones geométricas de como vería la cámara el horizonte de la tierra.



La imagen que se genera por cada ángulo de rolido está constituida por una región pintada de azul y sus bordes son segmentos vectoriales.

Procesamiento de imagen y aplicación de la ley de control

El simulador muestra la imagen generada sobre una pantalla o proyección para que la cámara de la Raspberry Pi pueda tomarla. Mediante un análisis utilizando OpenCV para determinar los píxeles iluminados se puede calcular el ángulo de rolido. Por medio de una red LAN entre el host del simulador y la R. Pi, se intercambian los datos generados de velocidad angular y el comando de la cupla.



Conclusiones

Tomando los resultados de las simulaciones y el comportamiento del sistema de bajo costo, se puede comprobar que estos entornos son adecuados para las pruebas de algoritmos de control y desarrollo de prototipos basados en estos dispositivos, reduciendo los tiempos y presupuestos de las iteraciones en fases de investigación.

