

Computadora de Vuelo con Requerimientos de Seguridad Funcional

Pedro Ignacio Martos [pmartos@fi.uba.ar / pimartos@gmail.com]

Grupo de Procesamiento de Señales, Identificación y Control (GPSIC) & Laboratorio de Sistemas Embebidos (LSE)
Universidad de Buenos Aires – Facultad de Ingeniería

Abstract— En el presente trabajo se muestra la implementación de una computadora de vuelo para un VANT con requerimientos de seguridad funcional. Para ello se emplean distintos esquemas de redundancia (redundancia heterogénea; monitor-actuador, etc); que permiten mantener el control del VANT frente a fallos en los algoritmos de navegación, guiado y control o en el enlace de comunicaciones.

Introducción

La computadora de vuelo de un VANT (avión, helicóptero o multirrotor) es la responsable de implementar los algoritmos de Navegación, Guiado y Control (NGC) del mismo. Durante el desarrollo de estos algoritmos, una vez que los resultados de las simulaciones son los esperados, es necesario implementarlos en la computadora de vuelo, a fin de verificar su desempeño en situaciones reales.

Por otra parte, la implementación y pruebas de los algoritmos NGC está sujeta a la aparición de errores (“bugs”) o situaciones no previstas en la etapa de simulación, por lo que debe haber mecanismos que permitan mantener el control del VANT ante una eventual falla durante la prueba de los mismos.

Asimismo, un componente vital de un VANT controlador remotamente es el enlace con el sistema de comando; la pérdida del mismo hace que el VANT no pueda ser controlado en forma remota y dependa exclusivamente de su capacidad para seguir una ruta prefijada y/o retornar al punto de origen. Es por ello que para la realización de las pruebas de campo de los algoritmos de NGC es necesario contar con un VANT cuya computadora de vuelo implemente mecanismos de seguridad funcional y confiabilidad [1].

Seguridad Funcional

Los sistemas embebidos con requerimientos de seguridad funcional y confiabilidad son sistemas cuya falla puede tener graves consecuencias económicas o daños a la vida humana

Es por ello que su confiabilidad es crítica y el diseño del sistema debe incorporar esta característica. Esto normalmente conduce a criterios conservadores en el diseño, donde se aplican técnicas probadas y evaluadas en vez de nuevas técnicas de diseño, las cuales podrían introducir nuevos modos de falla en el sistema [2].

Para la computadora de vuelo implementada se consideran como posibles fallos del sistema a un error en los algoritmos de NGC y a la falla del enlace entre el VANT y su sistema de comando.

Funciones de la Computadora de Vuelo

El diseño de la computadora de vuelo continúa otros trabajos relacionados con el tema [3] [4] [5]. La computadora de vuelo recibe las señales de control del sistema de comando, el cual implementa las señales estándar de Throttle, Aileron, Flaps, Elevator, y Rudder, las cuales establecen el rumbo, actitud y velocidad del VANT; y mediante los algoritmos de NGC implementados, genera las señales que controlan los variadores de velocidad (Electronic Speed Controllers – ESC) de cada hélice del VANT. También está encargada de leer los distintos sensores del sistema y enviar los datos de telemetría y video al sistema de comando. Asimismo es responsable de monitorear el estado del enlace con el sistema de comando, a fin de verificar que el mismo se mantenga.

Implementación

La computadora de vuelo (Fig.1) se implementa mediante una plataforma heterogénea con redundancia utilizando dos dispositivos de cómputo multinúcleo interconectados: una plataforma de alto nivel, utilizando Raspberry Pi 2 (4 procesadores Cortex A7 a 900 MHz con 1GB de memoria RAM) y una plataforma de bajo nivel, utilizando EDU-CIAA-NXP (2 procesadores asimétricos, un Cortex M4F y un Cortex M0 con 1 MByte de memoria Flash y 136 KBytes de memoria RAM). La plataforma de alto nivel utiliza Raspbian como sistema operativo (una distribución de Linux) y la plataforma de bajo nivel utiliza OSEK.

El enlace con el sistema de control es redundante, la plataforma de alto nivel mantiene un enlace WiFi, mientras que la plataforma de bajo nivel mantiene un enlace alternativo de baja velocidad implementado con XBee

Las funciones de la plataforma de alto nivel son: gestionar el enlace WiFi, implementar los algoritmos complejos de NGC tales como SLAM basado en visión, recibir comandos del sistema de control y enviar video comprimido y datos de telemetría de vuelo al sistema de control. A su vez recibe de la plataforma de bajo nivel las lecturas de los sensores y le envía señales de comando y un token de verificación del enlace WiFi cada 10 ms a fin de comprobar el estado del mismo.

Las funciones de la plataforma de bajo nivel son: realizar la lectura de los sensores (corriente a cada motor, tensión de la batería, acelerómetro, velocidad angular, magnetómetro en los 3 ejes, la presión barométrica, altura con ultrasonido y posición con GPS); Realizar la interface a los ESC, implementar

algoritmos básicos de estabilidad de vuelo del VANT, y mantener un enlace de repuesto basado en XBee con el sistema de control. El procesador Cortex M4F implementa algoritmos básicos de estabilidad y el procesador Cortex M0 realiza la lectura de sensores y la interface a los ESC. Esta distribución de funciones implementa un Patrón “Procesador Dedicado” [6] de manera de no desperdiciar potencia de cómputo del procesador Cortex M4F y no utilizar el procesador Cortex M0 más allá de su capacidad de cómputo. A su vez, el procesador Cortex M4F monitorea el token de verificación proveniente de la plataforma de Alto Nivel, actuando como “System Monitor” e implementando el Patrón “Heartbeat” [7]

Asimismo la plataforma de bajo nivel evalúa que las señales provenientes de la computadora de alto nivel no sean erráticas implementando un Patrón Monitor actuador [8]; Por otra parte, si no recibe el token proveniente de la plataforma de alto nivel o el token es errado en más de 10 oportunidades, o las señales de control no son coherentes, la plataforma de bajo nivel toma el control de las señales de comando de vuelo y pasa a utilizarse el enlace basado en XBee, desafectándose la plataforma de alto nivel del control del VANT. De esta manera se implementa redundancia en el control del VANT y en el enlace con el sistema de control, lográndose una mejora en la confiabilidad y seguridad funcional del VANT como plataforma de pruebas de algoritmos de NGC.

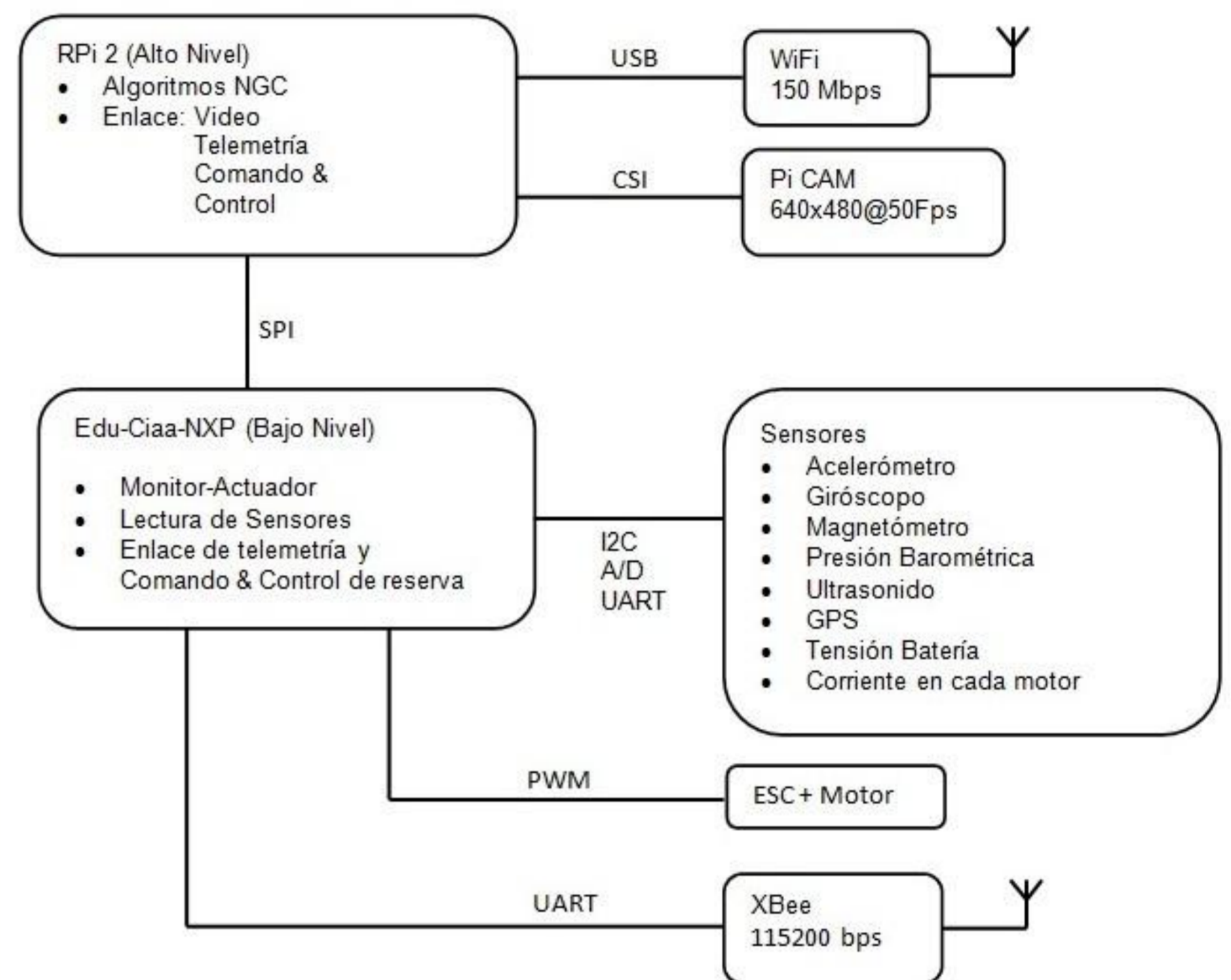


Fig.1 Diagrama de la Computadora de Vuelo

Referencias

1. “Perspectives on Software Safety case development for unmanned aircraft” Denney, Pai, Habli. Proceedings of the 42nd Annual IEEE/IFIP International Conference on Dependable Systems and Networks (DSN 2012). 2012
2. Specifying real time properties with metric temporal logic, R. Koy Real Time Systems Volume 2, Issue 4. 1990
3. “Diseño e implementación de un sistema embebido de control de actitud para aeronaves no tripuladas” Kharsansky. Tesis de Grado, 2013
4. “Desarrollo de un sistema de navegación integrado aplicado a vehículos aéreos no tripulados”. Roasio. Tesis de Grado, 2013
5. “Diseño de algoritmos de navegación y control para un hexarotor”. Pose. Tesis de Grado, 2015
6. “Architectural Patterns for Asymmetric Multiprocessing Devices on Embedded Systemes”. Pedro Ignacio Martos. Trabajo Presentado en la conferencia SugarLoaf PLoP 2016
7. “Patterns for Fault Tolerant Systems”. Robert Hanmer. John Wiley & Sons. 2007
8. “Real Time Design Patterns: Robust Escalable Architecture for Real Time Systems”. Bruce Powell Douglas. Addison Wesley. 2002