

Introducción a los sistemas en tiempo real

- Introducción
- Clasificación de los sistemas en tiempo real
- Características de los sistemas en tiempo real

Definición

- Algunas definiciones de STR (sistema de tiempo real):
 - Oxford Dictionary of Computing:
 - “Cualquier sistema en el que **el tiempo** en el que se produce la salida **es significativo**. Esto generalmente es porque la entrada corresponde a algún movimiento en el **mundo físico**, y la salida está relacionada con dicho movimiento. El intervalo entre el tiempo de entrada y el de salida debe ser lo suficientemente pequeño para una temporalidad aceptable”
 - Young (1982):
 - “...cualquier actividad o sistema de proceso de información que tiene que **responder a un estímulo de entrada** generado externamente en un periodo finito y especificado”
 - Randell et al. (1995):
 - “Un sistema de tiempo real es aquél al que se le solicita que reaccione a **estímulos del entorno (incluyendo el paso de tiempo físico)** en intervalos del tiempo dictados por el entorno”

Definición

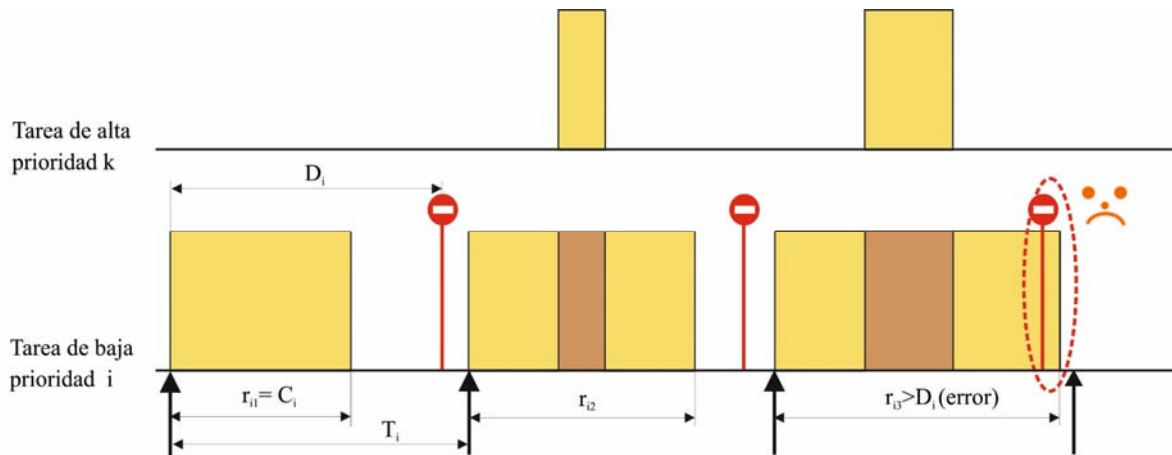
- Resumiendo:

- Los STR están interaccionan con el mundo real. Responden al paso del tiempo (activados por tiempo) o a sucesos externos (activados por eventos)
- En un STR no sólo es importante el resultado lógico de la computación, sino también **el tiempo en el que se producen los resultados**
- En la práctica, las **restricciones temporales** (cuándo se genera un resultado, cuánto tarda en generarse...) forman parte las **especificaciones que debe cumplir**. Si no se cumplen, es rechazado ☹
- Motivo: el sistema puede **no funcionar correctamente** si las restricciones temporales se incumplen :-/
- Además (características ausentes de muchas definiciones pero habitualmente muy importantes):
 - Alta **fiabilidad**
 - **Tolerancia a fallos** (algún componente puede fallar y fallará)

Restricciones temporales

- **Ciclo (T)**
 - No existe en actividades esporádicas (activadas por eventos)
- **Coste (C)**
 - Tiempo de ejecución **máximo** si no existen interferencias de otras actividades
 - Difícil de medir con precisión (¿Cuál es el peor de los casos que a la vez sea realista?)
- **Tiempo de respuesta (R)**
 - Tiempo de ejecución **máximo** (peor) en condiciones reales
 - No puede ser inferior al coste
- **Tiempo límite o“deadline” (D)**
 - Máximo tiempo de respuesta admisible (condición de diseño)
 - Nunca puede fijarse inferior al coste
- **Restricción temporal típica:**
 - Tiempo de respuesta no superior al plazo: $R \leq D$

Restricciones temporales



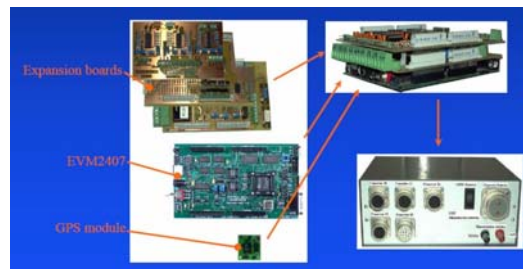
- $R_i = \max_j(r_{ij})$
- $C_i = \max_j(c_{ij})$
- Las tareas de alta prioridad “roban” tiempo a las de baja prioridad (**interferencia**)

Clasificación

- Clasificación habitual:
 - Sistemas críticos (“**hard** real time”): El tiempo de respuesta debe ser siempre menor que el máximo – si no es así, será rechazado
 - Sistemas no críticos (“**soft** real time”): Se pueden tolerar retrasos ocasionales dentro de ciertos límites (10% de los ciclos, por ejemplo). Dos subtipos:
 - Restricciones “**firmes**” (“**firm**”): Si se incumplen, el resultado carece de valor
 - Restricciones “**no-firmes**”: Si se incumplen, el resultado es útil, pero no óptimo
- Un mismo sistema puede tener ambos tipos de restricciones en funciones distintas
- Algunas funciones pueden tener ambos tipos de restricciones:
 - Restricción no crítica a 50 ms
 - Restricción crítica a 200 ms

Sistemas empotrados

- Concepto de sistemas empotrados
 - También conocidos como embebidos, o embarcados
 - STR y sistema empotrado no siempre se consideran sinónimos
 - Funcionan como un componente más del sistema
 - No son computadores para el usuario
 - No tienen los recursos habituales en un computador
 - Tienen los recursos y periféricos apropiados para su función, probablemente no los habituales

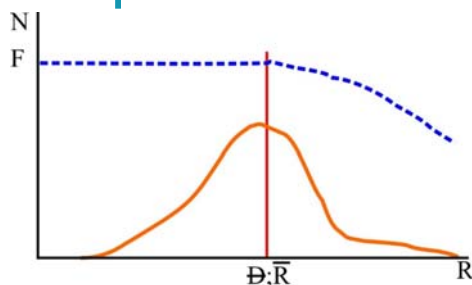


27/09/2015

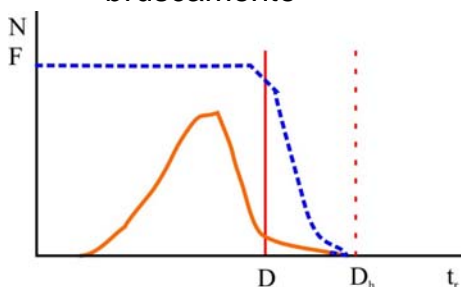
© Joaquín Ferruz Melero 2006-15 (Dpto. Ing. Sist. y Automática, ESI Sevilla)

7

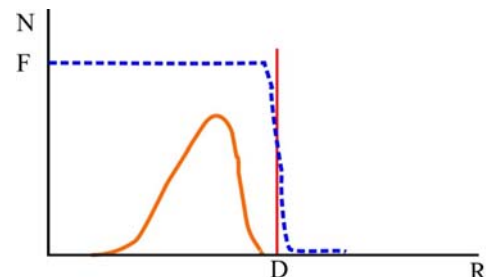
Tipos de sistemas y especificaciones



- Tiempo real crítico:
 - Plazo estricto plazos
 - La calidad de funcionamiento cae bruscamente



- No de tiempo real:
 - No se definen plazos
 - La calidad de funcionamiento se degrada muy lentamente



- Tiempo real no crítico:
 - Se toleran incumplimientos del plazo
 - La calidad de funcionamiento cae de manera progresiva
 - Puede haber otro plazo crítico

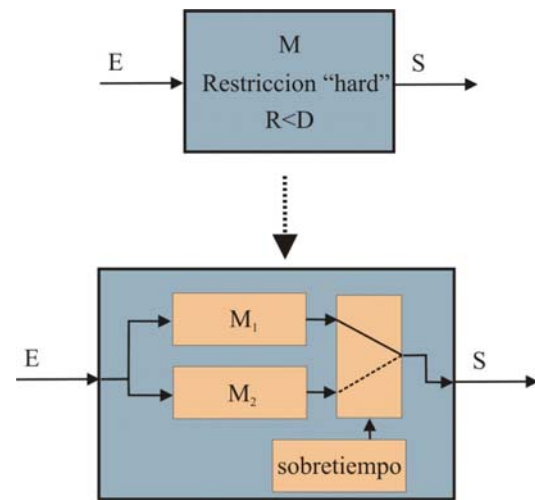
27/09/2015

© Joaquín Ferruz Melero 2006-15 (Dpto. Ing. Sist. y Automática, ESI Sevilla)

8

Combinación de restricciones

- M_1 : restricción “firm”.
Solución óptima, pero a veces $R_{M1} > D$
- M_2 : restricción “hard”.
Solución subóptima, pero siempre $R_{M2} \ll D$
- Pueden combinarse ambos para conseguir la restricción crítica de M: M_2 se usa en caso de sobretiempo



27/09/2015

© Joaquín Ferruz Melero 2006-15 (Dpto. Ing. Sist. y Automática, ESI Sevilla)

9

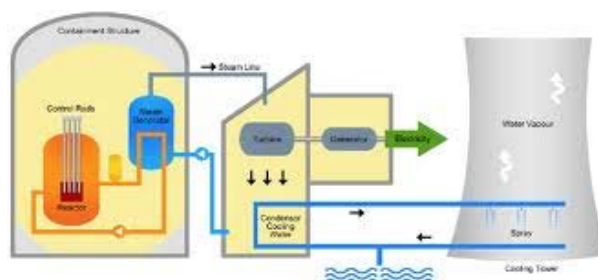
Ejemplos de S.T.R.



Sistema de control de procesos



Sistema de control de producción



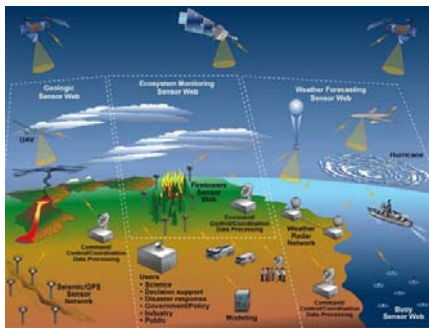
Central eléctrica

27/09/2015

© Joaquín Ferruz Melero 2006-15 (Dpto. Ing. Sist. y Automática, ESI Sevilla)

10

Ejemplos de S.T.R.



Sistema de mando y control

Sistemas aéreos tripulados y no tripulados

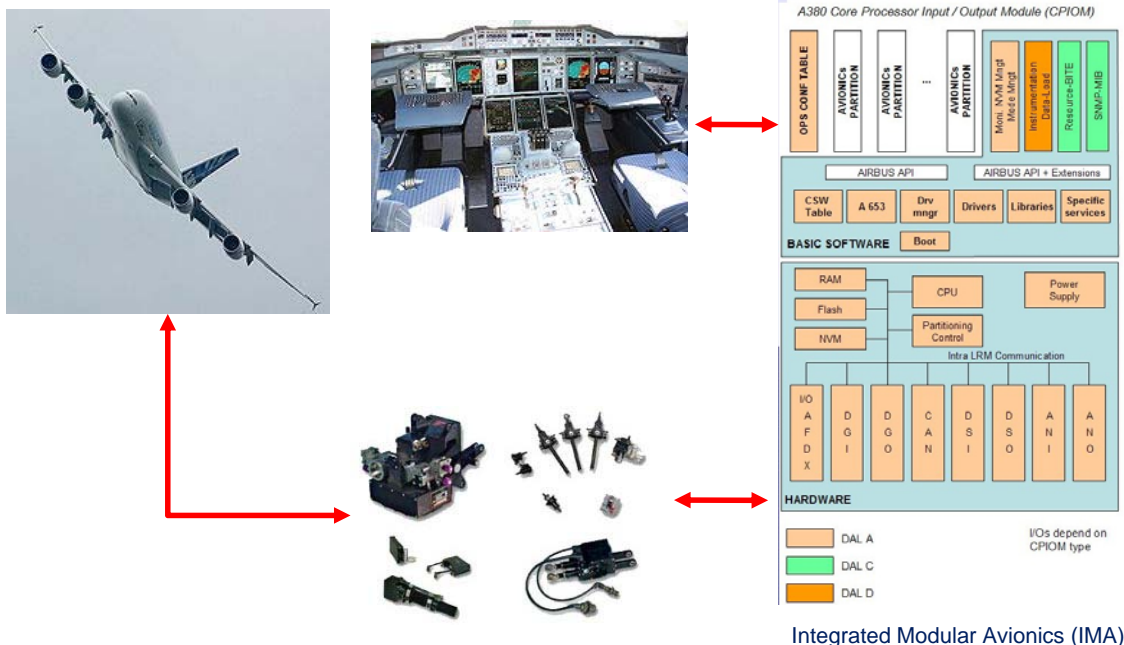


27/09/2015

© Joaquín Ferruz Melero 2006-15 (Dpto. Ing. Sist. y Automática, ESI Sevilla)

11

Ejemplos de S.T.R.



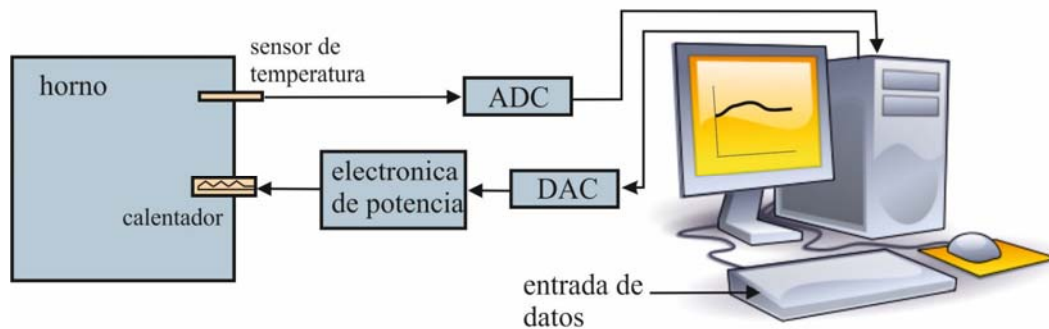
27/09/2015

© Joaquín Ferruz Melero 2006-15 (Dpto. Ing. Sist. y Automática, ESI Sevilla)

12

Un sistema de tiempo real básico

- Función principal: Control de temperatura
- Otras funciones:
 - Mostrar estado del sistema a lo largo del tiempo
 - Leer órdenes de usuario
 - Mantener un reloj de tiempo real



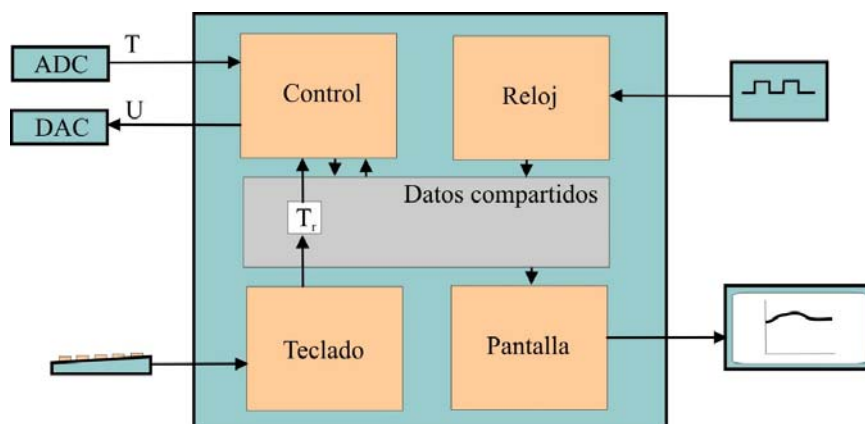
27/09/2015

© Joaquín Ferruz Melero 2006-15 (Dpto. Ing. Sist. y Automática, ESI Sevilla)

13

Un sistema en tiempo real básico

- Implementación con módulos concurrentes
- Necesidad de comunicación y sincronización
- El tiempo de CPU es compartido. Se necesita planificación ("scheduling")

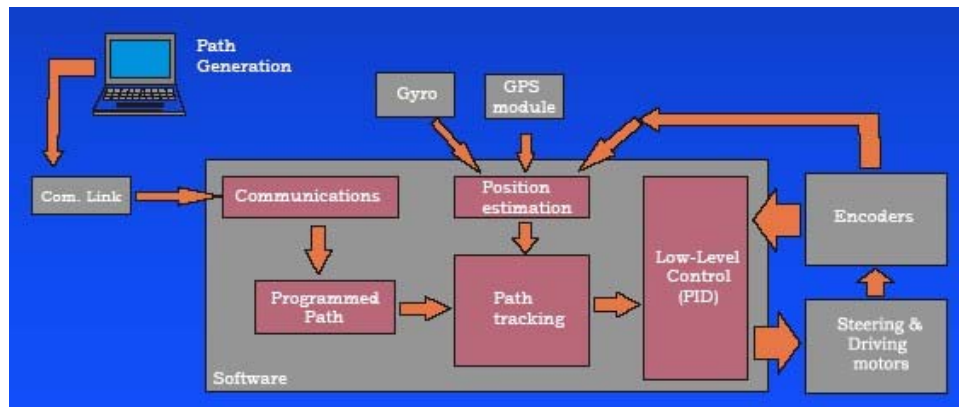


27/09/2015

© Joaquín Ferruz Melero 2006-15 (Dpto. Ing. Sist. y Automática, ESI Sevilla)

14

Controlador de vehículo



27/09/2015

© Joaquín Ferruz Melero 2006-15 (Dpto. Ing. Sist. y Automática, ESI Sevilla)

15

Ejemplos de S.T.R.

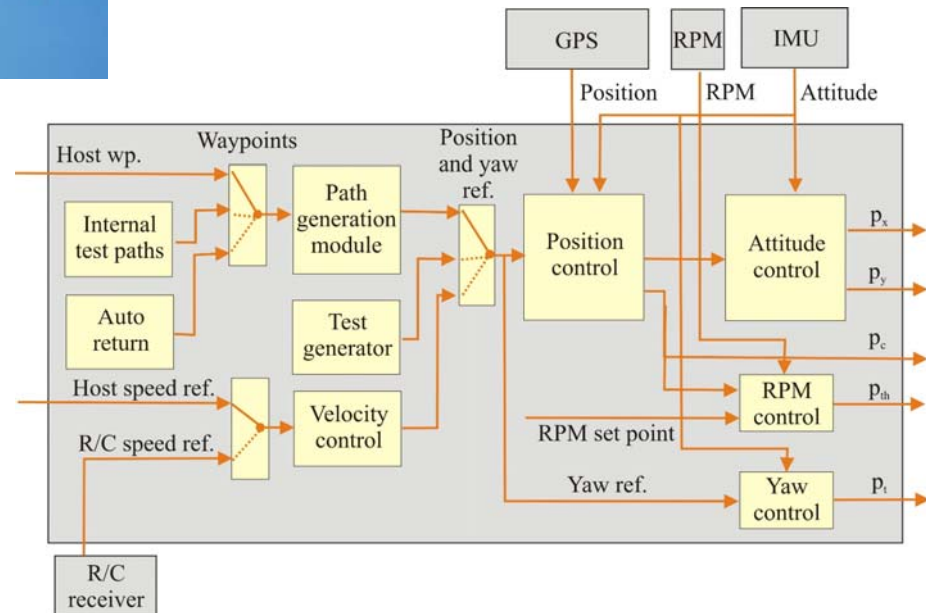


27/09/2015

© Joaquín Ferruz Melero 2006-15 (Dpto. Ing. Sist. y Automática, ESI Sevilla)

16

Ejemplos de S.T.R.

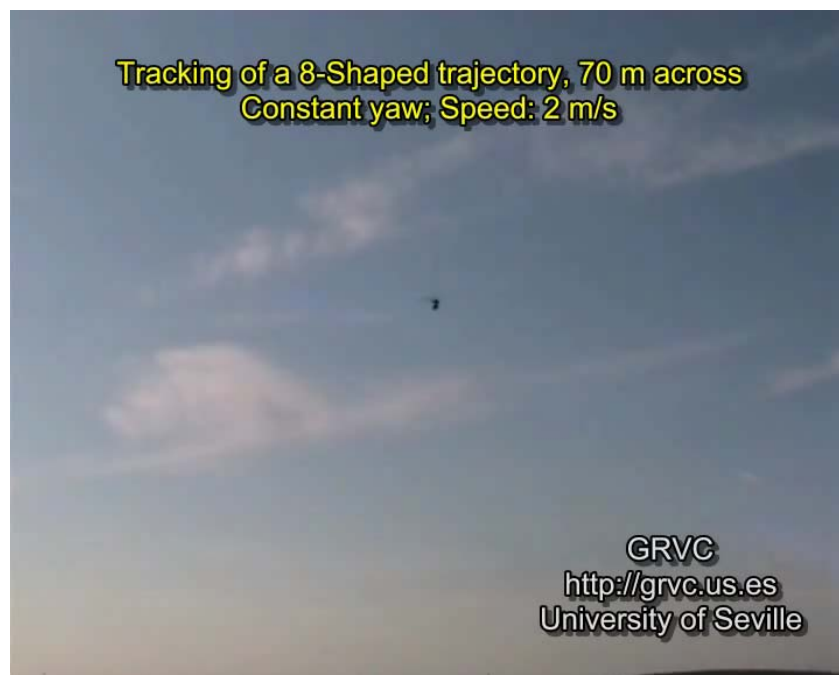


27/09/2015

© Joaquín Ferruz Melero 2006-15 (Dpto. Ing. Sist. y Automática, ESI Sevilla)

17

Ejemplos de S.T.R.



27/09/2015

© Joaquín Ferruz Melero 2006-15 (Dpto. Ing. Sist. y Automática, ESI Sevilla)

18

Características de los sistemas en tiempo real

- Tiempo de respuesta predecible
- Sistemas grandes y complejos
- Necesidad de soporte para cálculo numérico
- Alta fiabilidad y tolerancia a fallos
- Actividad concurrente de los componentes
- Necesidad de servicios de temporización
- Interacción con el soporte físico (“hardware”)
- Eficiencia frente a predictibilidad

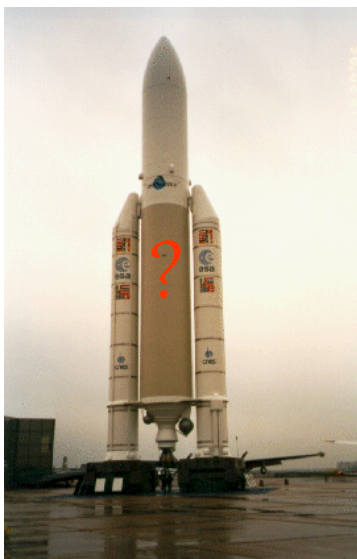
Características de los sistemas de tiempo real

- **Sistemas grandes y complejos**
 - Diseño basado en especificaciones
 - Programación estructurada
 - Ocultación de datos; programación orientada a objeto
 - Extensibilidad
- **Necesidad de soporte para cálculo numérico**
 - Soporte adecuado para entero y punto flotante
 - Selección del tipo adecuado
 - Extensión
 - Resolución
 - Aritmética de punto fijo

Características de los sistemas en tiempo real

- Alta fiabilidad y tolerancia a fallos
 - Diseño basado en especificaciones para conseguir alta fiabilidad
 - Sistema tolerante a fallos para superar fallos y circunstancias excepcionales
 - Redundancia estática: Duplicación de funciones
 - Redundancia dinámica: Detección de fallos y ejecución de algoritmos de recuperación
 - Características del lenguaje de programación
 - Claridad
 - Restricciones estrictas para conversiones de tipo
 - Estructuras de programación incorporadas, tales como el tratamiento de excepciones (C++, ADA...)

Fallo del vuelo 501 del Arienne 5



- Vuelo normal hasta el segundo 36
- Maniobra brusca a los 37 s
- Explosión a unos 4000 m
- Restos esparcidos en 12 Km² de pantanos
- 4 satélites perdidos

Fallo del vuelo 501 del Arienne 5

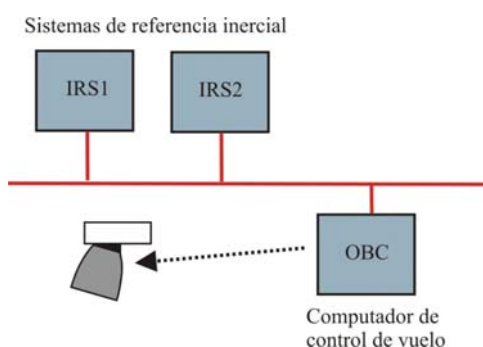


27/09/2015

© Joaquín Ferruz Melero 2006-15 (Dpto. Ing. Sist. y Automática, ESI Sevilla)

23

Fallo del vuelo 501 del Arienne 5 (4/6/96)



Secuencia de fallo:

- Error de conversión de 64 a 16 bits en función de autocalibración
- Falla el IRS activo
- !No puede actuar el de respaldo porque falló pocos ms antes!
- El control de vuelo recibe datos espúreos
- Tobera en ángulo límite
- Vehículo en ángulo extremo
- Daños estructurales
- Autodestrucción

• Causas:

- Cambio del perfil de vuelo
- Error aritmético no tratado
- Redundancia no efectiva
- Función inútil activa en vuelo
- Falta de especificación y prueba

27/09/2015

© Joaquín Ferruz Melero 2006-15 (Dpto. Ing. Sist. y Automática, ESI Sevilla)

24

Características de los sistemas en tiempo real

- **Actividad concurrente de los componentes**
 - Habitualmente la implementación más natural
 - Se necesita sistema operativo multitarea o sistema de soporte en tiempo de ejecución
 - Necesidad de utilizar servicios de comunicación, sincronización y planificación
 - Dos opciones de implementación
 - Sistema operativo + lenguaje de programación convencional (C, C++)
 - Lenguajes de programación concurrentes (ADA, Java)
- **Servicios de temporización**
 - Se necesita una base de tiempos: Reloj de tiempo real. Puede medir intervalos.
 - Servicios específicos:
 - Activación periódica
 - Retraso relativo
 - Activación en un instante determinado (fecha, hora)
 - Sobretiempo: Capacidad para abortar funciones o esperas

Características de los sistemas en tiempo real

- **Interacción con el soporte físico (“hardware”)**
 - Puede ser necesario gestionar el soporte físico a bajo nivel
 - Dispositivos especiales
 - Maneras especiales de gestionar dispositivos convencionales
 - El “software” de entrada/salida de bajo nivel es en sí mismo un ejemplo de sistema de tiempo real
 - El “software” de bajo nivel debería codificarse (en su mayor parte) mediante lenguajes de alto nivel
 - Compromiso entre fiabilidad y flexibilidad del lenguaje
 - Falta de portabilidad (Excepción: ADA)
- **Eficiencia frente a predictibilidad**
 - La eficiencia no es un fin en sí misma
 - Lo fundamental es que el sistema debe ser predecible: Deben cumplirse los plazos (siempre)
 - Puede que sea necesaria la eficiencia para tal fin
 - Es necesario evitar funciones de coste no predecible:
 - Arrancar actividades concurrentes
 - Pedir memoria
 - ...