



Imagen de la cabina de mando del Shuttle en las que se aprecian tres monitores del sistema informático, y justo debajo un panel con dos teclados. (Foto: NASA)

La informática a bordo de vehículos espaciales

JORGE MUNNSHE
Miembro de la British Interplanetary Society

UNO de los sectores donde más se emplea la informática y que más esfuerzo de desarrollo técnico por parte de ésta ha requerido, es el de la astronáutica. En mayor o menor grado según la presencia de tripulantes, el sistema informático de a bordo pilota la nave, supervisa el buen funcionamiento de todos los elementos que la integran, y vela por el cumplimiento de la misión. En sondas automáticas, dichas tareas recaen de modo exclusivo sobre él. Si falla, falla la sonda. En vehículos con pasajeros humanos, esa responsabilidad es compartida, pero a cambio asume la de que haya vidas en juego. Casos como el de la Galileo, cuya merma de capacidad de transmisión a causa de la antena principal paralizada podrá mitigarse gracias a la comprensión de datos improvisada por uno de los ordenadores de a bordo, muestran el grado de eficacia actual de tales sistemas.

UN POCO DE HISTORIA

La necesidad de alojar ordenadores a bordo de cosmonaves se presentó casi desde el principio de la carrera espacial, sobre todo con las sondas enviadas a la Luna, mucho más complejas en navegación que los satélites. Así por ejemplo, la primitiva serie de sondas estadounidenses Ranger ya incorporaba un pequeño ordenador a bordo. Entre sus tareas, se hallaba mantener apuntada hacia la Tierra la antena transmisora de datos.

En el programa tripulado norteamericano, fueron las Gemini las primeras naves en transportar un ordenador. Este era requerido a bordo para realizar los complejos cálculos que los astronautas necesitaban para acoplarse con otra nave y para efectuar la reentrada, maniobras demasiado difíciles para confiarlas sin riesgo a la acción manual. Con el uso de este primer modelo, se comprendió la importancia de hacer sistemas informáticos redundantes, es decir, formados por varios ordenadores capaces de relevarse automáticamente en caso de fallo. Una dura lección al respecto se aprendió con la Gemini-4: el ordenador de a bordo dejó de funcionar justo en el momento de iniciar la reentrada, por lo que los astronautas tuvieron que realizar la maniobra de modo manual, como se hacía



La informatización de los sistemas a bordo de naves espaciales proporciona la seguridad necesaria en maniobras delicadas y ahorra a la tripulación mucho tiempo. (Foto: NASA)

en las Mercury.

Para el programa Apolo se consideró el desarrollo de un sistema computacional dual, pero la idea fue desestimada por rebasar los límites de peso, tamaño y consumo energético admisibles para el viaje lunar, además de los presupuestarios. Se optó por dotar al módulo lunar de un ordenador principal y otro de reserva, mientras que en el módulo de mando se instaló un solo ordenador. El diseño de ambos sistemas principales corrió a cargo del Massachusetts Institute of Technology, siendo construidos por Raytheon. El de reserva corrió a cargo de TRW Corporation. Tanto para la Gemini como para la Apolo, un conjunto de computadoras en tierra realizaba simultáneamente los mismos cálculos que las de a bordo.

La estación espacial Skylab ya incorporó a bordo un sistema dual de ordenadores, fabricado por IBM. Cada uno tenía hardware y software idéntico, siendo capaz de realizar en solitario todas las funciones previstas. No permanecían ambos a pleno funcionamiento al mismo tiempo, sino tan sólo uno. En caso de fallo, el otro podía de inmediato hacerse cargo de las operaciones en el punto donde se habían interrumpido. Ello era posible gracias a un registro

Cuadro-1

ALGUNOS DE LOS CODIGOS GENERALES CORRESPONDIENTES A LOS PROGRAMAS PRESENTES A BORDO DEL SHUTTLE, Y EN QUÉ FASES DE LA MISION FUNCIONAN:

- 101: Veinte minutos finales de la Cuenta Atrás.
 - 102: Desde el lanzamiento hasta la separación de los aceleradores laterales.
 - 106: Inserción orbital.
 - 201: Navegación espacial.
 - 202: Maniobras en el espacio.
 - 301: Preparación para el encendido de los motores de frenado para reentrar.
 - 302: Frenado y navegación pre-Reentrada.
 - 304: Reentrada atmosférica.
 - 305: Vuelo atmosférico y aterrizaje.
- Algunos de los botones a pulsar en el teclado de ordenador del shuttle durante la reentrada, y qué consecuencias tienen:
- OPS 3 0 2 PRO (Carga el programa 302)
 - EXEC (Comienza la cuenta atrás para el frenado)
 - OPS 3 0 3 PRO (Permite determinar la posición de reentrada)
 - ITEM 3 9 EXEC (Prepara el sistema hidráulico para la entrada y aterrizaje)

transferible localizado en una sección común de ambas computadoras, con circuitos redundantes por triplicado.

En el Skylab, la tarea primaria del sistema informático era el control de posición. Debido al enorme tamaño

del vehículo, resultaba muy complejo por ejemplo variar su postura a fin de mantener siempre una temperatura interna adecuada para sus inquilinos. O bien orientarlo para que su telescopio solar pudiese apuntar hacia el Sol.

Cuatro años después de la última permanencia humana, los ordenadores aún fueron capaces de ayudar a controlar la reentrada de la estación.

SISTEMA INFORMatico DEL SHUTTLE

Los transbordadores estadounidenses están dotados de una capacidad computacional superior a la de vehículos espaciales precedentes. Así lo requiere su complejidad y variedad de acciones, desde la navegación hasta el manejo de los satélites transportados, pasando por el vuelo planeando o el chequeo de los elementos que forman la nave.

Fabricado por IBM, el sistema consta de 5 ordenadores idénticos, interconectados, capaces de trabajar por separado o juntos. Durante las fases críticas de vuelo, 4 de ellos asumen funciones de guiado, navegación y control, actuando colegiadamente por así decirlo. Los cálculos de cada uno son verificados por el resto antes de ponerse en prácti-

ca. El quinto, programado por Rockwell International, actúa como sistema de reserva para control de vuelo. Un sexto es llevado a bordo como repuesto. De esta manera, el sistema adquiere una seguridad en su funcionamiento por encima de la de un sistema formado por una computadora individual por muy sofisticada que fuese. Muestra de esta fiabilidad es que el primer vuelo espacial de prueba del shuttle se hizo ya con pasajeros humanos.

Cada uno de los 4 ordenadores se autosincroniza con los demás después de cada cálculo crítico. Esto sucede

idad ha sido evaluada en un fallo cada 27.000 horas de funcionamiento. El lenguaje de programación empleado en la confección de los programas es el HAL/S, una adaptación para el shuttle de un lenguaje desarrollado para aviónica.

El tipo de teclado utilizado se compone sólo de 32 botones, todos ellos del mismo tamaño, y dispuestos en cuatro columnas de ocho. Algunos de ellos llevan rótulos de funciones, como por ejemplo las teclas FAULT SUMM, SYS SUMM, MSG RESET, ACK, GPC CRT, IO RESET, ITEM, EXEC,



Pruebas con interfaces de fibra óptica a bordo del Atlantis para enlazar subsistemas digitales y de video entre la bodega de carga y el compartimento de la tripulación. (Foto: NASA)

cientos de veces por segundo. De este modo, la coherencia de tiempo en todas las operaciones queda asegurada. La Memoria es del tipo CMOS (Complementary Metal Oxide Semiconductor), pasando revista al contenido de la misma cada 1'7 segundos. El sistema es capaz de evaluar las órdenes y rechazar aquellas que sean inconsistentes o irracionales. Esto permite evitar acciones incorrectas.

Durante las fases más relajadas del vuelo, un ordenador se encarga del guiado, la navegación y el control, mientras que otro se ocupa del manejo de la carga útil.

El modelo usado, el AP-101-S, desciende de la serie de computadoras militares desarrolladas por IBM para aplicaciones aeroespaciales. Su segu-

SPEC, OPS, CLEAR, PRO. El resto son números (del 0 al 9), letras (desde la A hasta la F), y signos aritméticos.

El sistema de ordenadores está enlazado con 38 subsistemas del Orbitador y 4 de los aceleradores sólidos. Puede responder a los tripulantes más de mil preguntas sobre el vuelo y las condiciones de la nave y la carga útil. La información, en texto o en gráficos, es presentada en monitores monocromos verdes.

RESISTENCIA Y LONGEVIDAD: PRINCIPALES CUALIDADES

Las peripecias que viven los ordenadores alojados en las sondas interplanetarias acabarían con los más sofisticados supercomputadores. Las proezas que los primeros protagonizan no están

tanto en el poder de computación como en el de resistencia. El ordenador de la Giotto logró realizar las observaciones del núcleo del cometa Halley durante su flyby, así como pilotar la sonda, en las durísimas condiciones circundantes, una ráfaga de metralla sideral impactando contra el casco de la nave. Los instalados en las Venera tuvieron que atravesar un manto gaseoso a cien atmósferas de presión y con temperaturas de casi 500 grados centígrados. El de la Pioneer Venus Orbiter reunió y envió tanta información que se precisaron varios años para analizarla en su totalidad. El pequeño ordenador de la Pioneer-10 ha funcionado sin pausa durante casi 20 años. ¿Podríamos esperar que una sofisticada workstation permaneciese activada ininterrumpidamente durante semejante periodo de tiempo?. Los de las Voyager 1 y 2 fueron capaces de tomar fotografías de planetas y satélites, informatizar las imágenes en códigos numéricos, y enviarlas a las computadoras en Tierra, todo ello, por supuesto, sin modem ni línea telefónica, a través varios miles de millones de kilómetros, y ofreciendo una gran nitidez visual una vez decodificada la secuencia informática.

Otra enorme responsabilidad es la que recae sobre los sistemas informáticos que rigen el funcionamiento de los satélites de alerta anti-misil y de otros encargados de velar por la seguridad de una nación, en especial durante la "guerra fría" y en conflictos bélicos o diplomáticos. Por motivos obvios, la información sobre estos sistemas no está disponible, pero entre otras cosas, se sabe que han sido diseñados para sobrevivir a las tormentas electrónicas producidas por explosiones nucleares, algo que dañaría la memoria de los ordenadores convencionales.

Operar a bordo de un vehículo espacial, sufriendo desde los efectos del lanzamiento hasta los derivados de cada misión en concreto, queda por tanto fuera de las posibilidades de los ordenadores standard. Una excepción parcial la constituyen las modernas computadoras de maletín, cuya configuración y robustez les permite viajar al espacio sin haber sido específicamente diseñadas para ello. En misiones del shuttle se las ha empleado para determinadas operaciones



El astronauta Charles L. Veach trabajando con ordenadores a bordo del transbordador Discovery durante una misión dedicada al Departamento de Defensa. (Foto: NASA)

EL DESARROLLO DE SOFTWARE

Tan importante como la robustez y la longevidad de los ordenadores es la eficacia del software que utilicen. Una programación adecuada que permita al ordenador solventar por sí mismo problemas que requerirían de ayuda humana, puede ser providencial en una situación de emergencia.

De las dos potencias que iniciaron la carrera espacial, ha sido EE.UU. la que ha sobresalido en lograr programas de amplias prestaciones. El software ruso, mucho más limitado y rígido, ha sido responsable directo o indirecto de desastres que podrían haberse evitado con facilidad mediante una programación del tipo de la estadounidense. Un claro ejemplo de ello es la fracasada misión de las sondas rusas Fobos. La omisión de un carácter en una secuencia de instrucciones enviadas al ordenador de la Fobos-1, hizo que éste creyera que debía desconectar el sistema de orientación. Así lo hizo, acarreado el descontrol de la nave y que los paneles solares dejaran de estar orientados hacia el Sol. Los sis-

temas de la nave, entre ellos el ordenador, se quedaron sin energía en dos días, una vez agotada la de las baterías auxiliares.

En cuanto a la Fobos-2, se perdió el contacto con ella a causa de que su an-

tena dejó de apuntar a la Tierra por algún fallo en el sistema de orientación, responsabilidad directa del ordenador de a bordo. Aunque no puede descartarse que el fallo se produjera por una causa ajena al ordenador (un impacto catastrófico de meteorito), existen varios motivos por los cuales el computador pudo tener la culpa, entre ellos un error de software o un corte temporal en su alimentación eléctrica. En cualquier caso, es una grave deficiencia en el diseño de estos programas el que no contengan instrucciones para que el ordenador sepa que en caso de pérdida de contacto con la Tierra no debe aguardar estúpidamente a que le lleguen nuevas instrucciones, sino que su necesidad más importante es orientar la nave de manera que los paneles solares sigan recibiendo la energía vital, evitando así la "muerte" en unas pocas horas (5 en el caso de la Fobos-2). Una vez asegurada la energía, el ordenador puede dedicarse a barrer el espacio con su antena omnidireccional en busca de la Tierra. Este es el método programado en los ordenadores norteamericanos ■

Cuadro-2

SECUENCIA DE EVENTOS LOGICOS CONTENIDOS EN EL PROGRAMA QUE USA EL ORDENADOR DE A BORDO DE LA MARS OBSERVER. MOC, VIMS, TES Y PMIRR SON INSTRUMENTOS DE LA NAVE. EL RESTO DE TÉRMINOS EN MAYUSCULA SON NOMBRES DE EMPLAZAMIENTOS GEOGRAFICOS DE MARTE.

00:04:20 ASCRAEUS MONS is at Nadir
 00:04:35 MOC takes 5 pictures of ASCRAEUS MONS
 00:04:35 TES performs experiment number 16 on ASCRAEUS MONS
 00:04:35 PMIRR performs infra-red study of ASCRAEUS MONS
 00:04:35 VIMS takes 1 picture of ASCRAEUS MONS
 00:08:20 Entering CERAUNIUS FOSSAE region from south side
 00:10:25 PMIRR performs infra-red study of CERAUNIUS FOSSAE
 00:12:30 Exiting CERAUNIUS FOSSAE region from north side
 00:14:30 Entering TANTALUS FOSSAE region from south side
 00:14:35 MOC takes 4 pictures of TANTALUS FOSSAE
 00:16:40 +40-deg latitude crossing pulse occurs northbound
 00:17:00 Entering ALBA PATERA region from south-east side
 00:17:00 Exiting TANTALUS FOSSAE region from north side
 00:18:40 Entering ALBA FOSSAE region from south side
 00:18:40 Exiting ALBA PATERA region from north-east side
 00:18:45 MOC takes 5 pictures of ALBA FOSSAE
 00:20:40 Entering VASTITAS BOREALIS region from south side
 00:20:40 Exiting ALBA FOSSAE region from north side
 00:22:55 MOC takes 2 pictures of VASTITAS BOREALIS
 00:22:55 VIMS takes 1 picture of VASTITAS BOREALIS
 00:27:05 +65-deg latitude crossing pulse occurs northbound
 00:29:10 MOC takes 3 pictures of north-polar region
 00:29:10 VIMS takes 1 picture of north-polar region
 00:31:15 PMIRR begins continuous infra-red study of north-polar region
 00:33:20 TES begins study of north-polar region