

Control y testeo automático para un instrumento espacial embarcable en satélite

MD. R-Moreno¹, M. Prieto¹, D. Meziat¹, J. Medina², C. Martin²

¹ Departamento de Automática. Universidad de Alcalá. Ctra. Madrid-Barcelona, km 31,600
28871 Alcalá de Henares (Madrid)

² Departamento de Física. Universidad de Alcalá. Ctra. Madrid-Barcelona, km 33,600
28871 Alcalá de Henares (Madrid)

Resumen: *El instrumento PESCA ha sido diseñado y construido con el propósito de estudiar las partículas energéticas solares (PES) y los rayos cósmicos anómalos (CA) del helio al hierro. Formará parte de la carga útil del satélite ruso PHOTON que tiene previsto su lanzamiento en el año 2002. PESCA consta de un telescopio formado por cuatro detectores, la PIASE (PESCA Instrument Amplification and Shaping Electronics) y de un bloque de control de todo el instrumento: PICAS (PESCA Instrument Control and Acquisition System). El instrumento PESCA establece la comunicación con la Tierra a través del subsistema OBDH (On Board Data Handling) del satélite.*

Se han utilizado técnicas de Inteligencia Artificial, para la calibración, validación y control del instrumento y del proceso de comunicación con el satélite. El sistema de control está constituido por un emulador del OBDH y un ordenador PC en el que se ejecuta un programa simulador de EGSE (Electrical Ground Support Equipment) que hace las funciones de estación de tierra y en el que está integrado el planificador, dotando al EGSE de capacidad de trabajar sin supervisión humana.

Palabras clave: Planificación, estación de tierra, control autónomo, testeo automático.

1 Introducción

Durante las últimas décadas la comunidad de Inteligencia Artificial ha estado trabajando en dominios complejos y diferentes como robótica, satélites o logística. En los últimos años ha habido un especial interés en el desarrollo de arquitecturas autónomas que puedan llevar a cabo en tierra un gran número de funciones como actividades planeadas, seguimiento del hardware interno de la misión asegurando el correcto funcionamiento y solucionando

imprevistos siempre que fuera posible sin (o poca) supervisión humana. En estos nuevos modelos de operaciones, los científicos e ingenieros comunican a la misión metas de alto nivel, estas metas son trasladadas en secuencias de planificación y/o scheduling, después se realiza un chequeo exhaustivo del estado de la misión para detectar cualquier daño y finalmente se ejecutan las tareas. Deben también tener la capacidad de “entender” los errores durante el proceso de consecución de metas. Algunos enfoques han afrontado este tipo de dominios como la arquitectura NMRA (New Millenium Agent) [Muscettola et al 1997] que reside en el procesador de vuelo del Deep Space 1 (DS-1) capaz de llevar a cabo una misión completa con mínimo control desde Tierra o el sistema ASPEN [Sherwood et al. 1998] que posibilita que la misión Earth Orbiting (EO-1) sea controlada por un pequeño grupo en Tierra.

Este trabajo presenta la integración de técnicas de Inteligencia Artificial en el software EGSE diseñado para permitir control autónomo/manual del instrumento PESCA a bordo del satélite PHOTON para la adquisición de partículas energéticas y anómalas. Además también permitirá testear, calibrar y validar el instrumento (tests unitarios, tests de integración y tests de sistema) imprescindibles para su integración con el satélite PHOTON.

El artículo se estructura de la siguiente forma: primero se presenta una visión del instrumento PESCA. Después, se describe en detalle la arquitectura del EGSE. Finalmente se señalan las conclusiones.

2 El instrumento PESCA

El sistema de control que se ha montado en el laboratorio se muestra en la figura 1. Los elementos principales son: el instrumento PESCA, el emulador OBDH y un PC con el software del EGSE.

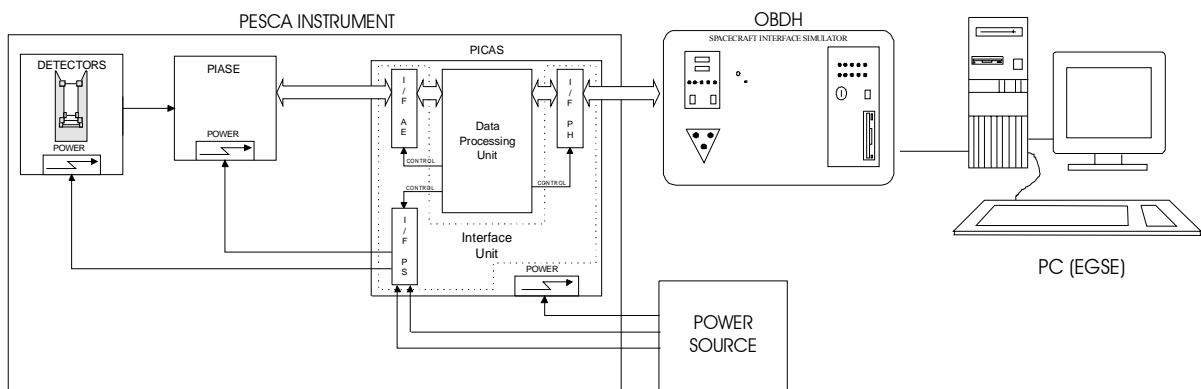


Figura 1. Diagrama del sistema de control

El instrumento PESCA [del Peral et al. 1997; Prieto et al. 1999] consta de un telescopio formado por cuatro detectores de silicio de implantación iónica, que registran las partículas que atraviesan los detectores, la PIASE que se encarga de amplificar y de realizar una conversión analógico-digital de los pulsos producidos en los detectores y, finalmente de un bloque de control de todo el instrumento, PICAS, compuesto de una Unidad de Procesamiento de datos basada en el microprocesador MAS281 y de un conjunto de interfaces con el resto del instrumento y del satélite cuya principal función es la adquisición de datos de la PIASE y la correcta comunicación con el ordenador de a bordo del satélite (OBDH). El instrumento PESCA establece la comunicación con Tierra a través del subsistema OBDH del satélite. El emulador OBDH actúa como satélite a bordo el ordenador que cumple con los estándares de la Agencia Espacial Europea. La comunicación entre el emulador OBDH y el EGSE se realiza a través de dos puertos serie RS232, uno para telecomandos y otro para telemetría.

Por otro lado, el software EGSE permite el completo control sobre el instrumento, siendo el punto final del sistema. Básicamente permite el envío de telecomandos y recepción de datos, haciendo posible la verificación, validación y calibración del instrumento PESCA.

3 La arquitectura del EGSE

El EGSE es un sistema orientado a objetos que proporciona un conjunto reutilizable de componentes software que hacen posible la extensión del control a más de un instrumento. Las principales características son:

- Envío de telecomandos: el EGSE permite el envío de telecomandos tanto al instrumento PESCA como al OBDH. Por medio de estos comandos, se puede actuar sobre el instrumento PESCA, cambiando parámetros de adquisición y otros estados de operación tales como el encendido/apagado de los detectores, el modo coincidencia/anticoincidencia, etc. Gracias al envío de telecomandos se testea la operatividad del PESCA.
- Recepción de Telemetría: la telemetría está compuesta por los datos de estado y los datos científicos. A través de los datos de estado, el usuario puede conocer el estado del instrumento PESCA en cualquier momento (por ejemplo, el estado de los detectores) y por tanto actuar en consecuencia, por ejemplo en caso de fallo en algún detector. Por otra parte los datos científicos contienen los datos para los que el instrumento fue diseñado, esto es, la pérdida de energía en los detectores.
- Procesamiento de datos científicos: permite al usuario visualizar los datos científicos. Este procesamiento incluye, entre otros, visualización en tiempo real, representación de los datos según los distintos modos de adquisición y exportación de los datos a diferentes formatos.

- **Planificación/Scheduling.** EGSE tiene un modo de operación autónomo que evita la presencia humana en la supervisión de las operaciones. En este modo, se chequean continuamente los datos de estado y gracias a la integración de un planificador, se toman las acciones específicas para reaccionar contra posibles fallos en vuelo.

3.1 Módulo de telecomandos

El usuario puede enviar telecomandos al emulador del OBDH o al mismo instrumento. La comunicación con el emulador del OBDH se realiza a través de los dos puertos serie RS232 completamente configurables desde la ventana principal del EGSE. Los telecomandos se pueden enviar a través de una línea de comandos que proporciona la interfaz gráfica o a través de una lista de control que visualiza la lista de telecomandos de un fichero creados por el usuario. El fichero ASCII, fácilmente editable desde cualquier editor de texto, contiene los identificadores de los telecomandos y los bytes de datos del telecomando (cabecera, cuerpo y terminación) que se envían a través del puerto serie. El fichero por defecto es el creado para el instrumento PESCA pero la lista de telecomandos se puede modificar a través de la interfaz. Esta característica proporciona gran versatilidad al EGSE porque no se restringe a un conjunto fijo de telecomandos de un determinado formato y por tanto no se limita a un instrumento específico. Para cada telecomando enviado, la respuesta del OBDH se muestra para conocer si el telecomando ha sido entregado con éxito. EGSE permite programar el envío de telecomandos en el tiempo (Time Tag Telecommands). Desde una opción de menú, el usuario puede programar una lista de telecomandos a enviar en una fecha y hora determinadas. Esta característica permite programar una serie de telecomandos para acciones concretas.

Todos los telecomandos enviados y las respuestas del OBDH se registran en un fichero log para su posterior análisis. Los ficheros log son cargados en formato ASCII, fácilmente editables desde cualquier editor de texto.

3.2 Módulo de telemetría

El usuario puede seleccionar a través de la interface el número de datos de paquetes que desea que se recojan. Los datos de telemetría son recibidos de acuerdo con el perfil de telemetría cargado y se dividen normalmente en datos de estado y científicos. Ambos tipos de datos se cargan en filas en formato binario y cada tipo en ficheros diferentes. Los perfiles de telemetría están definidos por el usuario y permiten que el EGSE pueda ser configurado para otros instrumentos. Durante la adquisición, se realiza un chequeo minucioso para verificar la integridad de los datos adquiridos y descartar aquellos datos que no se reciben correctamente. EGSE también permite que la adquisición sea ininterrumpida, generando los correspondientes ficheros de datos.

3.3 Módulo de procesamiento de datos

Después del proceso de adquisición, tanto los datos de estado como científicos se pueden procesar gracias a la opción de procesamiento de datos. Los datos de estado contienen los datos proporcionados por el instrumento de acuerdo con el perfil de telemetría especificado. Estos datos de estado nos permiten conocer si ha ocurrido algún error durante el vuelo y si son propios del instrumento.

Los datos científicos se pueden visualizar en forma de histograma, transformando el EGSE en un analizador multicanal o representando los datos mediante dos ejes de coordenadas.

Como se comentó en la sección anterior, los datos recibidos se guardan en formato binario. Para permitir la exportación de los mismos a otros programas de procesamiento de datos, EGSE permite la conversión de datos a formato ASCII.

3.4 El módulo de Planificación

El programa EGSE también tiene la capacidad de trabajar en modo automático gracias a la integración de técnicas de planificación de Inteligencia Artificial. Se ha utilizado para este fin el planificador deliberativo e independiente del dominio PRODIGY [Veloso et al. 1995]. El resolutor del problema es un planificador no lineal que utiliza un procedimiento de búsqueda de análisis de medios-fines hacia atrás con intercalación completa de submetas: el proceso de planificación empieza por las metas y añade operadores al plan hasta que se satisfacen todas las metas. Tres tipos de conocimiento se deben proporcionar como entradas en el planificador. Primero, la teoría del dominio que contiene todas las acciones/telecomandos representados por los operadores. La teoría del dominio de PRODIGY se basa en la representación de STRIPS [Fikes and Nilsson 1971].

El primer paso es definir las variables que se manejan en el operador. Para ello se necesita declarar el tipo de cada variable. La jerarquía de tipos en PRODIGY forma una estructura en forma de árbol donde cada tipo pertenece a un super-tipo llamado raíz y cada tipo a su vez puede tener varios subtipos. Todos los componentes que forman parte del sistema de control, por ejemplo, PICAS, OBDH o LOBT (Local On Board Time), se representan como subtipos de la raíz:

```
(ptype-of DETECTOR :top-type)
(ptype-of LOBT :top-type)
(ptype-of PIASE :top-type)
```

Algunos tipos pueden tener un número infinito de instancias, (como los valores umbrales de los detectores) dichos tipos se denominan tipos infinitos. Este tipo de variables se generan cuando PRODIGY necesita instanciar los operadores correspondientes. La figura 2 muestra la sintaxis de un operador en PRODIGY para encender un detector.

```
(Operator On_Detector
 (preconds
  ((<dect> DETECTOR)
   (<Eanal> PIASE))
  (and(estado <dect> Apagado)
       (Encendido <Eanal>)))
 (effects
  ()
  ((del(estado <dect> Apagado))
   (add(estado <dect> Encendido))))))
```

Figura 2. Operador PRODIGY para el encendido de un detector

Respecto a las precondiciones, este operador tiene dos: el estado del detector, apagado, y el estado de la PIASE, encendido. Como efectos, el detector estará encendido.

En algunos casos un telecomando se corresponde con un operador PRODIGY pero en otros, varios telecomandos se pueden corresponder con un único operador PRODIGY. El usuario puede seleccionar desde la interfaz qué telecomandos corresponden con qué operadores PRODIGY.

La segunda entrada del planificador es el problema, descrito en términos del estado inicial y metas. La figura 3 muestra una pequeña fracción de algunas condiciones finales y metas (en este caso sólo una: la adquisición de datos científicos). Las condiciones iniciales se generan automáticamente del proceso de telemetría, es decir, la telemetría recibida nos proporciona todo el conocimiento que EGSE tiene sobre PESCA y sobre el OBDH. Las metas se eligen de una lista de metas disponibles en la interfaz de planificación que el usuario ha definido previamente. En el ejemplo, lo único que se requiere es poder recibir datos ininterrumpidamente desde cualquiera de los posibles modos en los que los detectores pueden encontrarse. En PESCA se han definido cuatro modos, en cada uno de los modos uno de los detectores está apagado o no operativo.

```
(state (and
  (Encendido OBDH)
  (no-sincronizado lobt)
  (Apagado CDPUNOM)
  (Apagado PIASE)
  (estado d1 Apagado)
  ... ))
(goal(adquisicion datos-cientificos))
```

Figura 3. Algunas condiciones iniciales y metas para el problema de adquirir datos científicos.

Cuando existe más de una decisión a tener en cuenta en puntos de decisión, la tercera entrada del planificador expresada como conocimiento de control o bien como reglas de control podría guiar al resolutor de problemas hacia la correcta rama del árbol de

búsqueda evitando backtracking o marcha atrás. Existen tres tipos de reglas: de selección, preferencia o rechazo. Se pueden utilizar para elegir un operador, una ligadura, una meta o decidir si aplicar un operador o continuar resolviendo otras submetas. La figura 4 muestra un ejemplo de una regla para seleccionar un determinado operador. La regla dice así: si la PIASE está encendida y el detector dos está apagado o estropeado entonces se debe elegir el operador CambiarModo2. Esta regla de control poda el árbol de búsqueda y elige el modo correcto para el detector dos.

```
(Control-Rule select-op-CambioModo2
  (IF (and(current-goal (estado <piase> Encendido))
          (or(true-in-state (estado d2 Apagado))
              (true-in-state (estado d2 ESTROPEADO)))
          (TYPE-Of-Object d2 DETECTOR)))
  (THEN select operator CambiarModo2))
```

Figura 4. Regla de control de selección de un operador.

Como resultado PRODIGY genera un plan con la secuencia de operadores/telecomandos que consiguen un estado (desde el estado inicial) que satisfacen la(s) meta(s). El plan obtenido no considera ningún criterio de optimización con respecto a recursos o disponibilidad en el tiempo, ya que para PESCA es suficiente con encontrar una solución. Sin embargo, el planificador, podría obtener un plan óptimo según un determinado criterio utilizando la versión QPRODIGY descrita en [Borrajo et al. 2001].

Cada vez que un telecomando es enviado siguiendo el plan generado por PRODIGY, se realiza un chequeo exhaustivo de los efectos del operador ejecutado para detectar diferencias entre los efectos del operador y los datos de estado recibidos después del envío de los telecomandos. Si se encuentra alguna diferencia, un proceso de re-planificación se desencadena. En dicho proceso se actualizan automáticamente las condiciones iniciales y se mantienen las metas (a no ser que el usuario decida lo contrario). Si no se puede encontrar ninguna solución, el programa aborta y se genera un fichero log con las decisiones y la hora en que dichas decisiones fueron tomadas. La figura 5 presenta la arquitectura de integración del EGSE y del planificador PRODIGY.

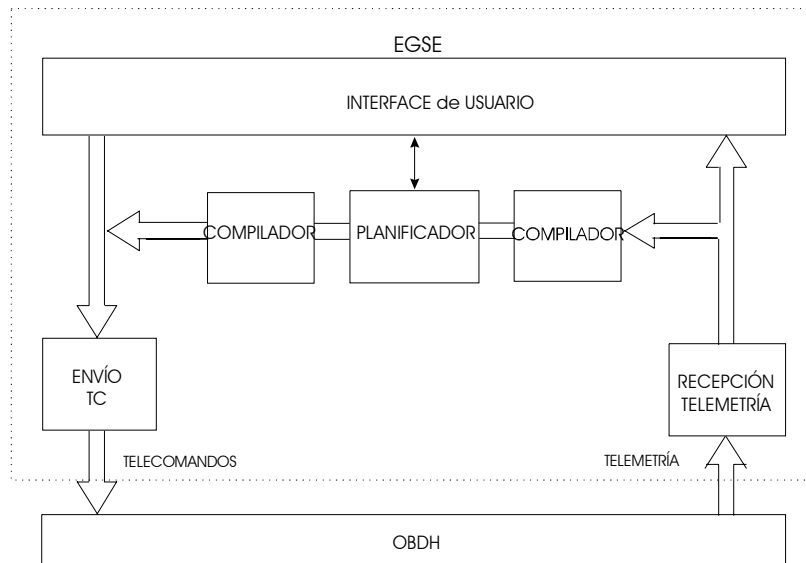


Figura 5. Arquitectura de integración EGSE-PRODIGY.

Supongamos, por ejemplo, la meta de la figura 3 donde pretendemos adquirir datos científicos durante un periodo de tiempo. Si durante el proceso de encendido de los elementos que componen el sistema se detecta que, por ejemplo, alguno de los detectores está apagado tras el envío del correspondiente telecomando, el planificador generará un nuevo plan modificando las condiciones iniciales. En este nuevo plan, una de las acciones a seguir es la del envío del mismo telecomando tres veces más ya que en algunas ocasiones el problema puede ser debido a una mala transmisión/recepción más que a un fallo en el detector. Si a pesar del envío del telecomando tres veces más éste sigue sin funcionar, se volverá a planificar cambiando los modos de adquisición de los detectores y si finalmente no se encuentra una solución el programa abortará y generará un fichero log con las decisiones tomadas por el planificador junto con una breve descripción del por qué de dicha elección.

Este módulo también permite realizar automáticamente los tests unitarios, los tests de integración y tests de sistema imprescindibles para la integración con el satélite PHOTON. El usuario puede definir los tests que se deben realizar eligiendo en el caso de los tests unitarios el componente que se desea comprobar. Una vez definidos los tests, se pueden englobar en uno solo de tal manera que el planificador los irá ejecutando de uno en uno dejando para cada test las mismas condiciones. Además todos los tests necesitan ser ejecutados varias veces, modificando las partículas que atraviesan los detectores, los modos, el blanco que atraviesa el haz, los componentes redundantes, etc. Gracias al proceso de planificación se pueden chequear errores con el mínimo coste y esfuerzo humano.

4 Conclusiones

En este artículo se ha presentado un programa de control y testeo del instrumento PESCA embarcable en el satélite PHOTON. El módulo de planificación del EGSE permite realizar las pruebas exigidas para la integración total con el satélite minimizando el esfuerzo/tiempo humano así como controlar todo el sistema sin ningún tipo de supervisión. EGSE presenta también una gran versatilidad y permite su extensión a otros instrumentos con solo modificar varios parámetros y añadiendo nuevas operaciones no recogidas en PESCA gracias al diseño modular del dominio.

5 Agradecimientos

Este trabajo ha sido subvencionado por el CICYT (beca ESP99-1066-C02), por la European Community-Access to Research Infrastructure action of the Improving Human Potential Programme, No HPRI-CT1999-00019 y por la NATO beca PST.CLG.977003. También queremos agradecer la colaboración de Daniel Borrajo con PRODIGY.

6 Referencias

- [Borrajo et al. 2001] Borrajo D., Vegas S. and Veloso M. Quality-based Learning for Planning. Working notes of the IJCAI'01 Workshop on Planning with Resources. IJCAI Press. Seattle, WA (USA). August 2001.
- [del Peral et al. 1997] del Peral, L., Bronchalo, E., Medina, J., Rodríguez Frías, M.D., Sánchez, S., and Meziat, D. An Electronic Device that Suits Space Research Requirements for Ion Detection. IEEE Transaction on Nuclear Science, 44, 1442-1447, 1997.
- [Fikes and Nilsson 1971] Fikes R. E, Nilsson N. J. STRIPS: a new approach to the application of theorem proving to problem solving . In Artificial Intelligence, 2:189-208, 1971.
- [Muscettola et al 1997] Muscettola N., Smith B., Fry Charles, Chien S., Rajan K., Rabideau G. And Yan D. On-Board Planning for New Millenium Deep Space One Autonomy. In Proceedings of the IEEE Aerospace Conference, Snowmass, CO, 1997.

- [Prieto et al. 1999] Prieto, M., Martín, C., Quesada, M., Meziat, D., Medina, J., Sánchez, S., and Rodríguez-Frías, M.D. Control and acquisition system of a space instrument for cosmic ray measurement. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research*, A443, 264-276, 1999.
- [Sherwood et al. 1998] Sherwood R., Govindjee A., Yan D., Rabideau G., Chien S. and Fukunaga A. Using ASPEN to Automate EO-1 Activity Planning. *Proceedings of the 1998 IEEE Aerospace Conference*, Aspen, CO, March 1998.
- [Veloso M. et al. 1995] Veloso M., Carbonell J., Perez A., Borrajo D., Fink E., and Blythe J. Integrating planning and learning: The PRODIGY architecture. *Journal of Experimental and Theoretical AI*, 7: 81-120, 1995.