

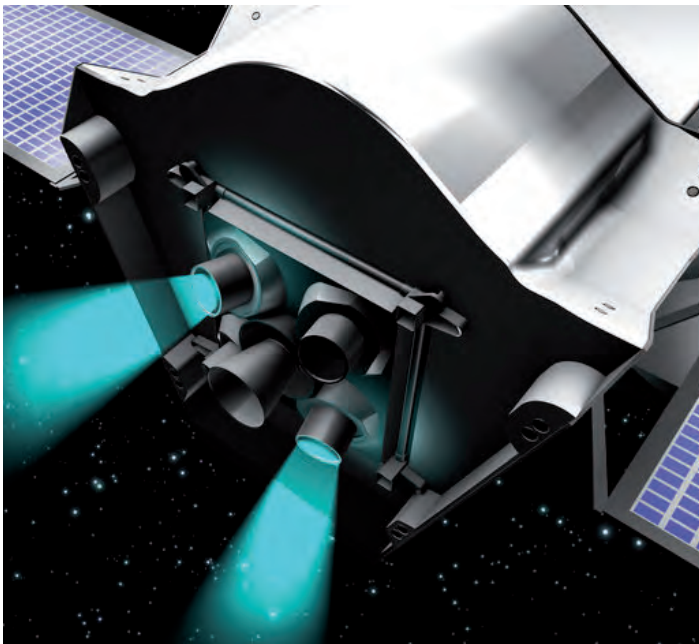
EcosimPro

Modelling and Simulation Software



EcosimPro · Boletín de Noticias N°8 · Julio 2013

EDITORIAL



Satélite Bepi-Colombo de la ESA (foto cortesía de la ESA)

En esta nueva edición del boletín de noticias de las herramientas de simulación EcosimPro/PROOSIS hemos querido presentar alguno de los temas que muchos usuarios nos preguntan y que muchas veces asumimos como conocidos por todos a través de la documentación y los cursos que damos, pero que en realidad vemos que requieren una explicación más sencilla tal como hemos tratado de hacerlo aquí.

Por ejemplo se presentan los 3 tipos de IF que tiene el lenguaje de simulación y que permiten hacer cosas muy diversas, desde el clásico IF de la programación imperativa tradicional que cambia el flujo de un programa, al IF que permite que una ecuación sea de estructura variable dependiendo de otra(s) variable(s) continuas al IF-INSERT que permite modelar componentes de complejidad variable.

Presentamos también un tema importante: el paralelismo. En el equipo de EcosimPro/PROOSIS estamos dando los primeros pasos para introducir distintas técnicas de paralelismo que permitan usar el potencial de las máquinas actuales multi-core y multi-thread. Hasta ahora prácticamente todo el proceso se corría en un thread y la idea es ir explotando la capacidad de ejecutar en paralelo múltiples cálculos que

reducirán los tiempos de simulación.

También presentamos la evolución de los compiladores C++ usados en EcosimPro/PROOSIS a lo largo de los años y mostramos como las últimas versiones de los mismos pueden reducir enormemente los tiempos de simulación pues generan código mucho más optimizado. Por ejemplo hemos comprobado mejoras de hasta el 50% de tiempo de cálculo entre usar el compilador Microsoft Versión 6.0 y el Microsoft Versión 2010. Estamos recomendando a todos los clientes pasarse a esta nueva versión, pues sin duda van a notar la diferencia.

Hemos querido hacer una nota sobre un tema complejo y que cualquiera que haya modelado sistemas con bucles algebraicos sin duda conocerá, se trata de cómo modelar de forma óptima una caja algebraica con N variables. La minimización de algebraicas, la elección de las mismas y la selección de las ecuaciones de residuo es un tema fundamental para poder hacer un modelo robusto, si esto no se elige bien el usuario estará condenado a tener problemas de convergencia. EcosimPro/PROOSIS ofrece herramientas de ayuda en este campo que son indispensables conocer para cualquier usuario que trabaje en esta área.

Hemos introducido también un resumen preparado por Alex Alexiou de la Universidad de Atenas sobre un artículo que presentó en la conferencia ASME TURBO del año pasado y que obtuvo el premio al "Cycle Innovations Committee Best Paper Award". El artículo describe un estudio sobre el performance de un motor aeronáutico turbofan contrarrotatorio.

También el boletín contiene una pequeña guía de la información que ofrece la herramienta de los modelos matemáticos que se generan en las particiones. Creemos que tener claros los conceptos de lo que son las entradas y las salidas de una partición es muy importante así como de todas las ecuaciones y el orden de cálculo del modelo. Pocas herramientas dan una información tan detallada del modelo interno matemático.

Pedro Cobas Herrero (pce@ecosimpro.com)
Head of the EcosimPro/PROOSIS Development Team
Empresarios Agrupados Internacional S.A.

EcosimPro

Modelling and Simulation Software

EcosimPro · Boletín de Noticias Nº8 · Julio 2013

NOTICIAS ECOSIMPRO

WORKSHOP DE PROPULSION ESPACIAL EN ESA-ESTEC

Durante los días 21, 22 y 23 de Mayo de 2013 tuvo lugar un workshop de usuarios de la plataforma de simulación EcosimPro/ESPSS en la Agencia Espacial Europea en Noorwijk (Holanda). Asistieron más de 30 ingenieros de distintas empresas europeas que realizan trabajos de propulsión espacial. El workshop estuvo organizado por el departamento de Propulsión de la ESA y Empresarios Agrupados. Los principales responsables del evento fueron Johan Steelant y Francesco di Matteo de las ESA que fueron los que coordinaron las reuniones.

Los días 21 y 22 se dedicaron a presentaciones de distintas com-



Photo courtesy of ESA

pañías. Por parte de Empresarios Agrupados participaron Pedro Cobas, Fernando Rodriguez y José Moral que presentaron las últimas novedades tanto de la herramienta de simulación EcosimPro como del conjunto de librerías ESPSS para el modelado de sistemas de propulsión espacial. Se presentó oficialmente la primera versión de la nueva librería estacionaria de propulsión que se añade a las librerías transitorias ya existentes. Desde ahora el modelador podrá realizar con EcosimPro/ESPSS tanto modelos estacionarios como transitorios. También se presentó la nueva herramienta de optimización integrada en EcosimPro, con lo cual el usuario no debe exportar los modelos a otra herramienta de optimización externa tal como se hacía hasta ahora.

Christophe Koppel de Kopoos presentó una librería de satélite que permite simular la propagación de órbitas con EcosimPro/ESPSS a la vez que se modela el sistema de propulsión y que supone un nuevo hito pues hasta hoy este cálculo requería una herramienta externa.

Aparte de estas presentaciones iniciales hubo otras muchas de empresas como Astrium (D&F), Von Karman Institute (Bélgica), Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt, DLR (Alemania), Centro Italiano Ricerche Aerospaziali, CIRA (Italia), Snecma (Francia), European Space Agency, ESA (Países Bajos), La Sapienza (Italia), etc.

El día 22 hubo varias sesiones de discusión de problemas encontrados por los usuarios y propuesta de nuevas mejoras para futuras versiones de la plataforma EcosimPro/ESPSS. Se pretende hacer de esta herramienta un referente en la ESA que sirva a las empresas como base para modelar sistemas de propulsión cohete y satélite de variada complejidad.

El día 23 se dedicó a un curso introductorio de uso de la nueva librería estacionaria de la ESPSS. El curso fue impartido por José Moral y Fernando Rodriguez de Empresarios Agrupados y participaron unos 15 asistentes. Se espera que esta nueva librería esté disponible en breve.

La ESA organiza este workshop una vez al año. Los años pares coincide con la conferencia de Propulsión Espacial general organizada por la ESA y las organizaciones espaciales de cada estado de la ESA. La última fue en Bourdeaux (Francia) en 2012 y la próxima será los días 19 a 22 Mayo de 2014 en Köln (Alemania).

EcosimPro

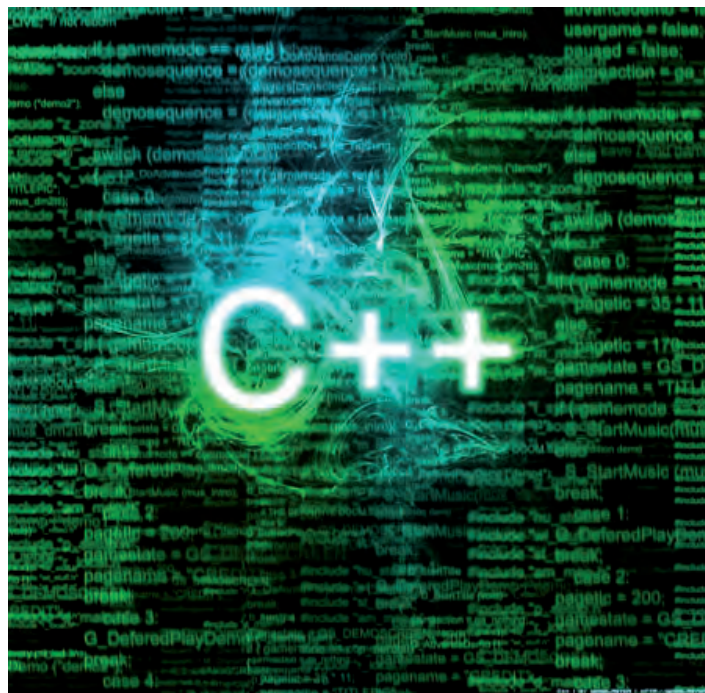
Modelling and Simulation Software



EcosimPro · Boletín de Noticias Nº8 · Julio 2013

COMPILADORES C++ EN ECOSIMPRO: ESTADO ACTUAL Y PERSPECTIVAS

La primera versión comercial de EcosimPro salió al mercado en 1999. Ha pasado ya más de una década desde entonces. En este tiempo la evolución de los compiladores de C/C++ ha sido importante. Algunos compiladores existentes entonces han dejado de comercializarse, otros han seguido evolucionando en nuevas versiones y también han aparecido nuevos productos de otras empresas.



EcosimPro produce modelos para simulación en C++ que deben ser compilados con un compilador C++ antes de simularse. Esta compilación se realiza automáticamente bajo demanda por el usuario final desde el programa. En la primera versión comercial se eligió utilizar el compilador de Microsoft (Visual C++ 6.0). Fue una decisión acertada ya que ha sido uno de los compiladores más utilizados por empresas en todo el mundo. De hecho hoy en día todavía se usa en algunas, si bien la tendencia es a actualizarse.

Posteriormente se incorporó a EcosimPro el soporte a los compiladores Microsoft Visual Studio 2003 .NET y GNU GCC, este último un importante compilador de C++ de código abierto y gratuito proveniente del mundo UNIX. Previendo que sería una

situación recurrente, para la versión EcosimPro 4.8 (2010) se diseñó un sistema escalable con soporte para múltiples compiladores en el futuro. Esta arquitectura ha permitido que posteriormente se haya podido añadir el soporte para Microsoft Visual 2008 y 2010, así como de nuevas versiones de GNU GCC de una forma sencilla y homogénea. Pocas herramientas de simulación actualmente permiten tal versatilidad de soporte a compiladores.

Con el tiempo tanto la gama de compiladores de GNU GCC como Microsoft han experimentado mejoras tanto a nivel de entorno de programación (velocidad, robustez, opciones de configuración) como a nivel de implementación de las sucesivas revisiones del estándar de lenguaje C++.

Por otra parte, casi siempre que se habla de compilador es necesario hablar de la arquitectura hardware para la que va a generar código binario. En este sentido, desde la segunda mitad de la pasada década se ha producido una revolución en el mundo de los procesadores en ordenadores.

La propuesta de los fabricantes ha sido dejar a un lado la carrera en el aumento de la frecuencia de los procesadores y centrarse en la capacidad de cálculo tomando como factor de escala el número de núcleos en el procesador. Estas tecnologías hace años solo disponibles en procesadores especiales de ciertas compañías hoy en día están presentes en el mercado como algo habitual para ordenadores, tarjetas gráficas e incluso para dispositivos móviles, por lo que las empresas de esta industria están teniendo gran éxito comercial.

Tomando como base esta revolución tecnológica, los compiladores y librerías de programación han evolucionado para aprovechar todo este potencial generando directamente en muchos casos código muy avanzado que acelera la velocidad de ejecución. Hay casos en los que simplemente por el hecho de compilar con ellos, el mismo código fuente C++ da lugar a programas más rápidos.

En su compromiso con el cliente, desde el grupo de desarrollo de EcosimPro y PROOSIS de Empresarios Agrupados prevemos en futuras versiones la inclusión del soporte para el nuevo compilador de Microsoft: Visual Studio 2012.

Así mismo en los últimos meses se han realizado varias pruebas orientadas a permitir el uso de la gama de compiladores de Intel, tanto para C++ como para FORTRAN, caracterizados por un reconocido buen rendimiento en tiempo de simulación y en coherencia de resultados, y ampliamente usado en entornos académicos y profesionales.

EcosimPro

Modelling and Simulation Software

EcosimPro · Boletín de Noticias Nº8 · Julio 2013



ÚLTIMOS AVANCES DE COMPUTACIÓN PARALELO EN ECOSIMPRO

Los intentos para mejorar el rendimiento de los programas han sido una constante desde hace décadas. Los sistemas operativos basan buena parte de su tecnología en la capacidad para permitir que varios programas se puedan ejecutar simultáneamente de la forma más óptima posible. Desde el punto de vista de la arquitectura de computadores con el tiempo se han incorporado técnicas para acelerar el acceso a los diferentes tipos de memorias, el proceso de instrucciones de forma segmentada (pipelining), la ejecución de instrucciones con capacidad para actuar sobre un conjunto de datos (vectoriales), etc.

En los últimos años se ha producido una revolución en el mundo de los procesadores en ordenadores. La tendencia es a dejar de incrementar la frecuencia de los procesadores para concentrarse en la capacidad de cálculo tomando como factor de escala el número de núcleos en el procesador. Estas tecnologías hace años solo disponibles en procesadores especiales hoy en día están disponibles en el mercado como algo habitual para ordenadores, tarjetas gráficas e incluso en dispositivos móviles.

Hoy en día se puede encontrar paralelismo a diferentes niveles, de manera que la evolución en el hardware ha ido acompañada de evolución en el software para aprovecharlo. Por ello en los últimos años se ha producido también una revolución en las tecnologías para implementar paralelismo en las aplicaciones. Históricamente el paralelismo se conseguía mediante el uso de librerías específicas que permitían crear una “máquina paralela virtual” por medio de librerías de comunicación para paralelismo basadas en paso de mensajes. La tecnología estándar de facto para este propósito es Message Passing Interface (MPI), muy extendida en centros de

cálculo y clusters de computadores en entornos científicos y tecnológicos de empresas y universidades. Con la llegada de los procesadores de varios núcleos donde la memoria se comparte entre ellos, las tecnologías para conseguir paralelismo se han extendido también a este mercado, y así han aparecido diferentes entornos de programación o librerías que intentan explotar esta nueva capacidad disponible. Ejemplo de estas tecnologías son OpenMP e Intel Threading Building Blocks.

La tendencia es a mezclar este nuevo tipo de tecnologías con MPI para conseguir paralelismo en las aplicaciones tanto nivel del procesador de varios núcleos donde se ejecutan como respecto a la ejecución de la aplicación de forma paralela en el contexto de una red de computadores (cluster). La complejidad de aplicar estas tecnologías es grande en general y suele ser muy dependiente del problema a resolver.

El desafío añadido en el caso de EcosimPro es que gran parte del modelo de simulación se genera dinámicamente, por lo que aplicar soluciones de este tipo a modelos reales que establecen un orden de cálculo muy determinado y ya optimizado es complejo. Las próximas versiones de EcosimPro y PROOSIS irán incorporando nuevas capacidades de tecnología de paralelismo, tales como la ejecución simultánea de casos de simulación (por ejemplo de estudios paramétricos) que reducirán enormemente el tiempo de cálculo así como otras técnicas para paralelizar en lo posible tareas dentro del mismo proceso. Por otro lado las nuevas versiones de compiladores C/C++/FORTRAN ya generan de modo automático ciertas tareas en paralelo, con lo cual no requiere cambios en el programa y el simple hecho de cambiar de compilador ya mejorará los tiempos de cálculo.

CONSEJOS PARA EL MODELADO DE CAJAS ALGEBRAICAS

Una de las posibles formas de simular un sistema es mediante la implementación y resolución de las ecuaciones que rigen su comportamiento. Esto es precisamente lo que permite EcosimPro/PROOSIS, representar un proceso a través de las ecuaciones algebraicas, diferenciales y los posibles eventos que puedan existir.

A partir de este fundamento, se puede pensar en EcosimPro/PROOSIS como un puro resolvidor de un conjunto de ecuaciones previamente definidas. Durante su ordenación quizá se dé la circunstancia de que haya un conjunto que no puedan resolverse

EcosimPro

Modelling and Simulation Software



EcosimPro · Boletín de Noticias Nº8 · Julio 2013

de forma explícita y deba realizarse de manera simultánea. Estos sistemas de ecuaciones pueden ser a su vez lineales o no lineales.

En el primer caso, cuando el sistema es lineal, el problema es transparente al usuario, es decir, EcosimPro/PROOSIS dispone de un resolvidor capaz de solucionarlo sin necesidad de preguntar.

Sin embargo, ante sistemas de ecuaciones no lineales EcosimPro/PROOSIS utiliza una técnica heurística llamada "Equation Tearing" que propone un conjunto de variables sobre las que iterar para resolver la caja no lineal (tearing variables o variables algebraicas).

Su aparición es muy frecuente en el modelado de sistemas en los que se producen dependencias entre variables que no permiten despejar el conjunto final de ecuaciones de una manera explícita.

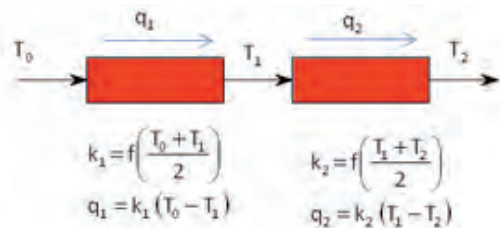
Para tener una resolución robusta de los sistemas de ecuaciones no lineales es necesario escoger adecuadamente cuáles van a ser las variables de iteración o algebraicas y las ecuaciones de residuo o ecuaciones de cierre. Los aspectos que un ingeniero de simulación debe tener en cuenta para esta selección son:

- La dificultad a la hora de resolver determinadas ecuaciones: así, por ejemplo, una ecuación en la que la variable algebraica aparezca dividiendo puede dar problemas de divisiones por cero. Por lo que su selección no sería adecuada.
- La sensibilidad de las algebraicas respecto a las ecuaciones de residuo, si no hay sensibilidad el resolvidor no podrá encontrar una solución.
- La evolución de los residuos debe ser monótona creciente o decreciente, es decir sin máximos ni mínimos locales. De otra forma el resolvidor puede evolucionar a una solución incorrecta.

En EcosimPro/PROOSIS la selección anterior se realiza de manera automática por el algoritmo Equation Tearing. Sin embargo, el modelador tiene la posibilidad de modificarla y mejorarla a través de los asistentes de la herramienta.

Pero más interesante que la capacidad de cambiar esta selección, es la posibilidad de "dirigir" al algoritmo hacia la solución que se considere la mejor. Esta acción se realiza a través del lenguaje EL (EcosimPro Language), empleando determinadas directivas a través de las cuales el modelador trata de imponer qué variables van a ser de algebraicas y qué ecuaciones deben ser escogidas como de residuo para la mejor resolución de los sistemas de ecuaciones no lineales.

Para explicar cómo poder obtener cajas no lineales más robustas desde el punto de vista de la convergencia vamos a estudiar en el siguiente sistema.

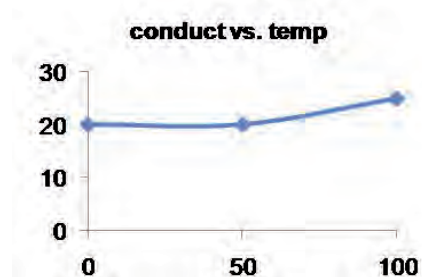


Su implementación en EcosimPro/PROOSIS sería:

```

COMPONENT TwoConductors
DECLS
  REAL q1
  REAL q2
  BOUND REAL To = 150
  BOUND REAL T2 = 50
  REAL T1
  REAL cond1
  REAL cond2
  TABLE_1D cond_vs_Tave = {{0., 50., 100.}, {20., 20., 25}}
CONTINUOUS
  cond1 = linearinterp1D(cond_vs_Tave, 0.5*(To+T1))
  cond2 = linearinterp1D(cond_vs_Tave, 0.5*(T1+T2))
  q1 = cond1 * (To - T1)
  q2 = cond2 * (T1 - T2)
  q1 = q2
END COMPONENT
    
```

Se trata de dos conductores térmicos en serie en el que se conoce la temperatura de entrada (T_0) y de salida (T_2), y donde la conductividad depende de la temperatura.



Ley de cambio de conductividad vs temperatura

Como se observa en la gráfica, la conductividad permanece constante hasta los 50°C, por lo tanto, el modelador debe darse cuenta de que la conductividad no se ve influenciada por cambios en la temperatura.

El anterior modelo tiene una caja no lineal debido a que la conductividad depende de la media de la temperatura en los extremos de cada conductor. EcosimPro/PROOSIS al aplicar el Equation Tearing para resolver esta caja propone lo siguiente:

- variable algebraica: T1



EcosimPro

Modelling and Simulation Software

EcosimPro · Boletín de Noticias Nº8 · Julio 2013

- ecuación de residuo: $cond2 = \text{linearInterp1D}(cond_vs_Tave, 0.5 * (T1 + T2))$

Al ejecutar la simulación, el resolutor falla debido a que la ecuación seleccionada como residuo no es sensible a cambios en la variable algebraica (o de tearing). Es decir la ecuación de residuo seleccionada automáticamente no es la más correcta.

Analizando la física del problema, se puede llegar fácilmente a la conclusión de que la selección acertada hubiera sido la siguiente:

- variable algebraica: T1
- ecuación de residuo: $0 = q1 - cond2 * (T1 - T2)$

¿Cómo podemos conseguirlo? Para ello debemos introducir nuevas directivas en el modelado. Veamos a continuación algunas posibles soluciones.

Solución 1: EXPL directive

Si una variable se declara como EXPL, ésta será calculada de manera explícita a través de su ecuación correspondiente. Aplicando esta solución al sistema anterior las conductividades se calcularán directamente a través de la tabla. De esta forma, la simulación se ejecuta correctamente.

```
COMPONENT TwoConductors
DECLS
....
EXPL REAL cond1
EXPL REAL cond2
....
CONTINUOUS
cond1 = linearInterp1D(cond_vs_Tave, 0.5*(To+T1))
cond2 = linearInterp1D(cond_vs_Tave, 0.5*(T1+T2))
....
END COMPONENT
```

Solución 2: SEQUENTIAL block

Un bloque secuencial en EcosimPro/PROOSIS se ejecuta de manera secuencial, por lo tanto, es similar a realizar una llamada a una función. Así pues, si el cálculo de la conductividad se realiza de esta forma, estamos evitando que estas ecuaciones puedan escogerse como implícitas, de manera que se obtendrá la caja no lineal deseada.

```
COMPONENT TwoConductors
DECLS
....
CONTINUOUS
SEQUENTIAL
cond1 = linearInterp1D(cond_vs_Tave, 0.5*(To+T1))
cond2 = linearInterp1D(cond_vs_Tave, 0.5*(T1+T2))
END SEQUENTIAL
....
END COMPONENT
```

Solución 3: IMPL(tearing variable) directive

Por último, podemos hacer uso del operador IMPL(variable) con el que se “marca” la ecuación que quiere como implícita y al mismo tiempo, la tearing variable. Aplicado a nuestro caso tendríamos:

```
COMPONENT TwoConductors
DECLS
...
CONTINUOUS
...
IMPL(T1) q2 = cond2 * (T1 - T2)
...
END COMPONENT
```

Y de nuevo, ayudándonos de estos operadores, hemos conseguido un sistema de ecuaciones no lineales robusto, de manera que en la simulación del sistema no hay problemas de convergencia.

Como conclusión podemos decir que el modelador debe programar de la manera más robusta posible los componentes de manera que cuando lazos algebraicos las variables algebraicas que se elijan y las ecuaciones de residuos deben ser robustas para permitir la convergencia.

Actualmente EcosimPro/PROOSIS ayuda a elegir el mejor conjunto de algebraicas/ecuaciones de residuo pero las nuevas versiones todavía van a ir más lejos pues ayudarán a minimizar el número de algebraicas y a detectar problemas de convergencia con los residuos antes de realizar cualquier estudio. Esto va a permitir la creación de modelos matemáticos mucho más robustos y a prevenir problemas típicos en estos casos como la no convergencia.

EcosimPro

Modelling and Simulation Software



EcosimPro · Boletín de Noticias Nº8 · Julio 2013

INFORMACIÓN DEL MODELO MATEMÁTICO

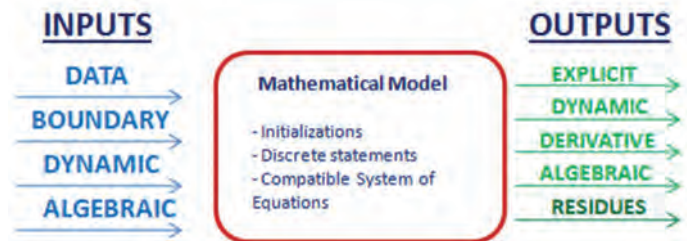
Enfrentarse a la resolución de un sistema de 5.000 ecuaciones nunca ha sido sencillo, ni siquiera con los ordenadores actuales, capaces de realizar millones de operaciones por segundo. El principal problema reside en que estas ecuaciones deben ser tratadas mediante transformaciones simbólicas para obtener un sistema operable secuencialmente.

La herramienta de simulación EcosimPro ofrece la posibilidad de realizar el tratamiento y la resolución de estos sistemas casi automáticamente, con la ventaja de que se requiere mínima colaboración por parte del usuario. La herramienta le informa de todas las variables de entrada y salida de una forma muy completa. Los tipos de variables de entrada son:

- DATA: Valores de las variables que actúan como constantes y sólo pueden cambiar de forma discreta durante la simulación.
- BOUNDARY: Similar a los DATA pero estos admiten una ley transitoria (basada en el tiempo)
- DYNAMIC: Valores iniciales de las variables dinámicas que evolucionan con el tiempo.
- ALGEBRAIC: Inicialización de las variables algebraicas (o de tearing)

Las variables DYNAMIC y ALGEBRAIC constituyen el Jacobiano del sistema y requieren unos valores iniciales. El sistema generado por EcosimPro recibe los valores configurados por el usuario, realiza la simulación y reporta la evolución de las variables calculadas. Las variables de salida son:

- EXPLICIT: Variables calculas explícitamente
- DYNAMIC: Valores finales de las variables dinámicas que evolucionan con el tiempo.
- DERIVATIVE: Valores finales de las derivadas (asociadas a DYNAMIC).
- ALGEBRAIC: Valores finales variables algebraicas (o de tearing)
- Residuos: para todas las variables del Jacobiano (DYNAMIC+ALGEBRAIC) se alcanzarán unos residuos finales que si converge deberían ser casi cero.



Entradas y salidas en el modelo

Cabe destacar que otros programas de simulación son más bien opacos en cuanto a los detalles sobre el modelo matemático generado, sin embargo, EcosimPro ofrece al usuario, de un modo sencillo e intuitivo, toda la información para un análisis exhaustivo.

Para una cómoda visualización del modelo mediante el explorador, el archivo .html generado por EcosimPro/PROOSIS incluye distintos apartados:

- Información general: número y tipo de variables y ecuaciones, datos sobre los sistemas no-lineales existentes en el modelo y método de cálculo por defecto.

INFO	#
Number of equations:	3
Number of boxes (coupled subsystems of equations):	2
Number of linear boxes:	0
Number of nonlinear boxes:	2
Number of EXPLICIT variables:	0
Number of DERIVATIVE variables:	0
Number of ALGEBRAIC variables:	3
EXPLICIT + DERIVATIVE + ALGEBRAIC variables:	3
Number of BOUNDARY variables:	0
Size of Jacobian matrix (DYNAMIC+ALGEBRAIC):	3x3
Sparsity factor in Jacobian matrix (% of zeros):	22.2222222
Default integration method:	DASSL

Vista general del modelo matemático

- Opciones configuradas para la resolución del sistema: eliminación de derivadas en estacionarios o reducción de ecuaciones lineales, entre otras.

FLAG	VALUE
Remove derivatives	FALSE
Inhibit reduction of equations	FALSE

Operadores avanzados



EcosimPro

Modelling and Simulation Software

EcosimPro · Boletín de Noticias Nº8 · Julio 2013

- Información detallada de variables: valores iniciales, equivalencias, tipo, alias, etc.

VARIABLES:										
NUM	NAME	UNITS	EQUIV-TO	STATION	TYPE	MATH-TYPE	INITIAL	LRANGE	RRANGE	ALIAS
1	x	-			REAL	ALGEBRAIC	1			
2	y	m/s			REAL	ALGEBRAIC	10			
3	z	kg			REAL	ALGEBRAIC	100			

Tabla de variables

- Orden de resolución del modelo matemático: sistema de ecuaciones mostrado en orden de ejecución, incluyendo el camino seguido para romper lazos algebraicos con toda la información necesaria de las variables de iteración.

SORTED EQUATIONS:						
##eqts						
BOX 1 IS NONLINEAR						
#	ALGEBRAICS	ALIAS	UNITS	DESCRIPTION	INITIAL	RESIDUE EQUATION
1	y		m/s	y variable	10	[E-1] $y^{**3} + y^{**2} + z = 1$ {I@y}
2	z		kg	z variable	100	[E-2] $z^{**3} + z^{**2} + y^{**2} = 2$ {I@z}

Equations: [E-1] (Residue equation) $y^{**3} + y^{**2} + z = 1$ {I@y}
[E-2] (Residue equation) $z^{**3} + z^{**2} + y^{**2} = 2$ {I@z}

Ecuaciones

Con todo lo expuesto, el usuario encontrará en EcosimPro no sólo una herramienta enfocada a la simulación de sistemas encapsulados y modulares, sino también una potente utilidad para el análisis y resolución de sistemas matemáticos complejos.

MODELADO GRÁFICO EN ECOSIMPRO

El modelado gráfico se define como la capacidad de representar mediante medios visuales un modelo. Sin embargo, a parte de la definición formal, la utilidad para un usuario final se puede resumir en dos aspectos: mayor facilidad en la construcción de modelos y mejor comprensión de los ya construidos.

Pero se sabe ¿cómo es este modelado gráfico en EcosimPro? ¿Qué herramientas están disponibles? ¿Cuáles son los conceptos que lo definen? A continuación, se responde más detalladamente a todas estas cuestiones:

- El Editor Gráfico de EcosimPro

EcosimPro dispone de un editor vectorial para diseñar gráficos 2D

que ha sido desarrollado íntegramente por el equipo de Empresarios Agrupados.

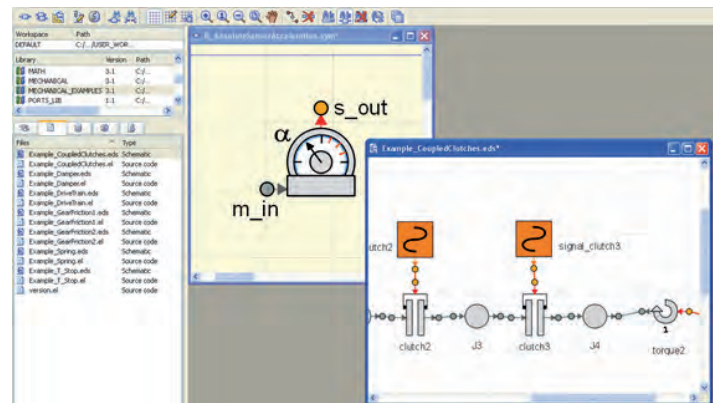
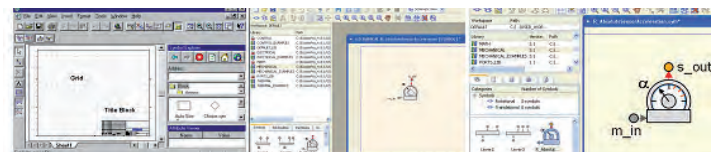


Fig. Aspecto del actual editor gráfico de EcosimPro

Desde sus inicios, las mejoras han sido numerosas en aspectos como su manejo, la calidad final de los gráficos, la simplicidad de las operaciones, etc. Hay que destacar que esta evolución continúa de forma constante, añadiéndose optimizaciones y capacidades en cada nueva versión.



Evolución del editor gráfico: SmartSketch, EcosimPro 4 y el actual EcosimPro 5

El objetivo final del editor es crear representaciones gráficas de modelos a partir de figuras geométricas simples como rectas, curvas, polígonos, elipses, etc. Todas ellas editables en geometría, traza y color.



Fig. Distintas figuras, textos e imágenes creadas con el editor

Al igual que todos los editores gráficos modernos, dispone de medios para mejorar la visualización, la impresión, el manejo general de los elementos—por ejemplo, con rejillas para su distribución—, los márgenes de impresión y diálogos para la edición de los estilos,

EcosimPro

Modelling and Simulation Software



EcosimPro · Boletín de Noticias N°8 · Julio 2013

así como la gestión de los elementos en diferentes capas, etc.

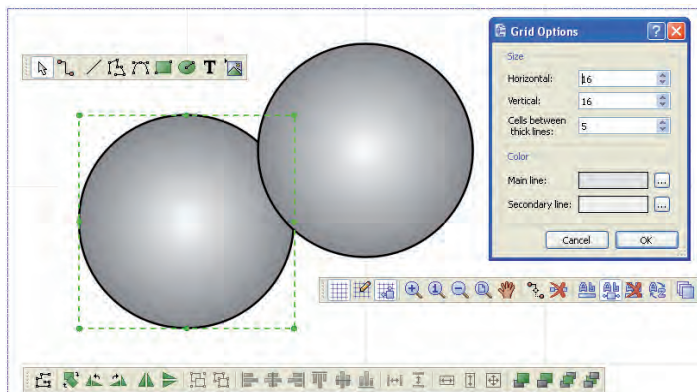


Fig. Elementos del editor: grid, puntos de control, zoom, etc.

A continuación se describen los dos puntos fundamentales para los que el editor fue diseñado: la creación de símbolos y la de esquemáticos.

- Símbolos

EcosimPro es una herramienta de modelado orientada a objetos. Por lo tanto, el modelado se basa en determinar cuáles son las partes que forman un sistema y dentro de cada una de ellas, conocer cuál es el comportamiento físico y matemático que rige.

Analizar ese comportamiento “individual” de los subsistemas y describirlo en ecuaciones con el lenguaje EL es lo que en la nomenclatura EcosimPro se denomina “crear un componente”.

Con el modelado gráfico se da un paso más allá del nivel del lenguaje, ya que se puede crear un símbolo representativo de un componente y así trasladar el nivel “matemático” EL a una representación “visual” que será mucho más cercana al sistema real (con las ventajas que esto representa: comprensión, reutilización, etc.)

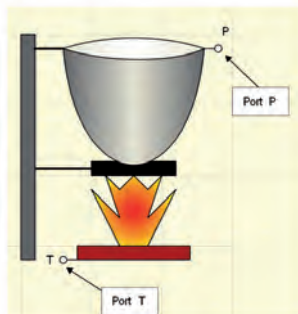
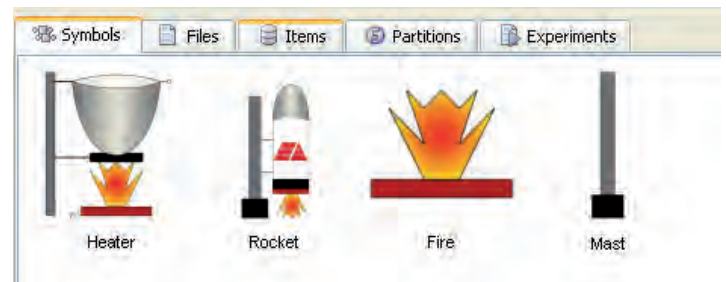


Fig. Un símbolo con sus gráficos y puertos

Cada uno de los símbolos, al igual que el resto de estructuras de EcosimPro se almacena en las librerías, disponiéndose así de amplia una paleta que se puede reutilizar.

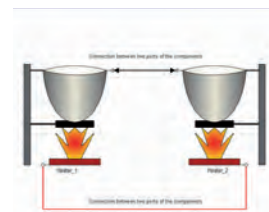


Paleta de símbolos de librería

*Los símbolos son la representación gráfica de los componentes y el comienzo de cualquier modelado basado en su conexión.

- Esquemáticos

Una vez se han generado los símbolos, crear más modelos gráficamente es tan sencillo como pinchar y arrastrar a uno nuevo, que en EcosimPro lleva el nombre de “esquemático”.



Esquemático de EcosimPro

El resultado final es un nuevo componente que resulta de la unión topológica de otros subsistemas más simples interconectados entre sí.

NUEVAS LIBRERÍAS AERONÁUTICAS DE PROOSIS

El equipo de EcosimPro trabaja actualmente en el desarrollo en PROOSIS de un conjunto de librerías que permitirán la simulación integrada del motor y de los sistemas principales del avión dentro de una misma plataforma de simulación:

- Sistema de control ambiental (ECS).



EcosimPro

Modelling and Simulation Software

EcosimPro · Boletín de Noticias Nº8 · Julio 2013

- Sistema neumático.
- Sistema de combustible.
- Sistema eléctrico.
- Sistema hidráulico.
- Ventilación de la Nacelle.

La librería AIRCRAFT_ECS incluye un conjunto de componentes y sub-sistemas para la simulación y modelado del sistema completo de ECS del avión y de su sistema de sangrado. Con ella se permite crear modelos con diferentes configuraciones de cabina (varias regiones, diferentes opciones de distribución de aire, etc.). Se incluye además un modelo de dos nodos térmicos de pasajero/tripulación que permite la opción de analizar el confort del pasaje.

La librería AIRCRAFT_LIA se centra en la simulación 1D de redes de flujo de líquidos permitiendo el modelado del sistema de combustible y lubricación del avión. En su formulación se tienen en cuenta fenómenos como el retraso térmico debido al transporte convectivo, la acumulación térmica y la expansión de inventario del líquido.

La librería AIRCRAFT_ELEC permite la simulación de la red eléctrica de alimentación de una aeronave genérica (generador, red de distribución, cargas de distintas características, controladores, etc.) acoplado con el sistema de propulsión.

A continuación se muestran las paletas de símbolos de las librerías AIRCRAFT_ECS, AIRCRAFT_LIQ y AIRCRAFT_ELEC.



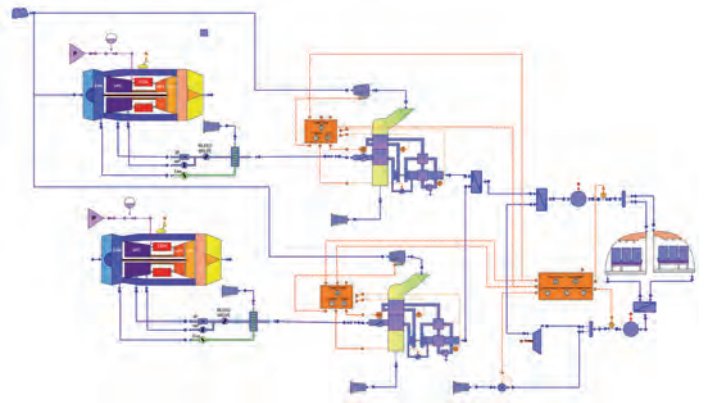
Paletas de símbolos de librerías aeronáuticas

Para mostrar las capacidades de las nuevas librerías, se han desarrollado algunos casos de ejemplo:

- Lazo de combustible conectado al GT motor y al sistema de lubricación.

- Sistema completo de ECS de un avión de pasajeros comercial conectado a una cabina y a los motores del avión.
- Modelo simplificado del sistema de EPS (Electrical Power System) de un avión de pasajeros comercial conectado al motor.

A continuación se muestra el diagrama del modelo de simulación del sistema ECS conectado a los dos motores del avión. En el esquemático del modelo se pueden identificar los diferentes componentes que representan los principales equipos: los motores del avión y su sistema de sangrado, los paquetes de enfriamiento de aire (air cooling pack), el modelo de cabina, etc.



Ejemplo de un modelo de avion con 2 motores y ECS

Con la solución de simulación integral del avión desarrollada en PROOSIS, el usuario puede evaluar fácilmente las interacciones entre los diferentes sistemas del avión dentro de la misma plataforma de simulación y permite minimizar tanto el tiempo de análisis como los costes asociados y evitar los problemas de co-simulación.

PREMIO A LA MEJOR PUBLICACIÓN: MODELADO DE COMPORTAMIENTO DE UN TURBOFAN CONTRARROTA- TORIO CON PROOSIS

Alexiou, Roumeliotis, Aretakis, Tsalavoutas y Mathioudakis, del Laboratorio de Turbomáquinas en la Universidad Técnica Nacional de Atenas, han recibido el premio “Cycle Innovations

EcosimPro

Modelling and Simulation Software



EcosimPro · Boletín de Noticias Nº8 · Julio 2013

Committee Best Paper” por un innovador trabajo sobre el modelado de comportamiento de un Turbofan contrarrotatorio con Proosis.

Este estudio (Documento GT2012-69433) titulado “Modelling contra-rotating turbomachinery components for engine performance simulations: the geared turbofan with contra-rotating core case”, se ha presentado recientemente en la Conferencia ASME Turbo Expo 2012 en Copenhague (Dinamarca).

Además, también está publicado en el ASME Journal of Engineering for Gas Turbine and Power (<http://dx.doi.org/10.1115/1.4007197>).

Las simulaciones descritas en el documento se han llevado a cabo con PROOSIS v2.6.0. Para una mayor información por parte de los usuarios, a continuación se incluye un amplio resumen del artículo.

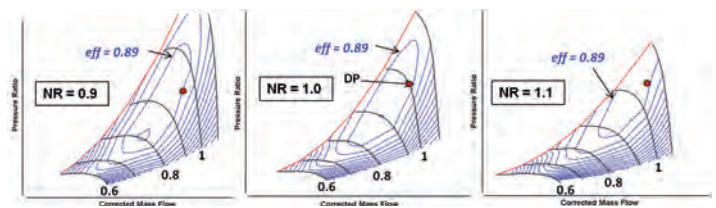
Algunas de las configuraciones actuales y futuras de motores aeronáuticos contienen componentes de turbomaquinaria contrarrotatoria (ventiladores, hélices, compresores y turbinas). Su utilización está motivada por las ventajas encontradas con respecto a sus versiones convencionales (por ejemplo, menor tamaño y peso, aumento de eficiencia y relación empuje-peso o disminución del ruido generado).

Actualmente existen pocos estudios de dominio público sobre el modelado de configuraciones de motores que incluyan turbomaquinaria contrarrotatoria. En ellos, o bien se lleva a cabo un análisis básico de puntos de diseño o se simulan actuaciones fuera de diseño, asumiendo un comportamiento de los componentes análogo al de los convencionales. Por lo tanto, los objetivos de este documento son primero, obtener las características de operación basados en la física de la turbomaquinaria contrarrotatoria. Más tarde, desarrollar modelos de componentes en PROOSIS que implementen estas características, y, por último, integrarlos en un modelo de motor completo para analizar su comportamiento.

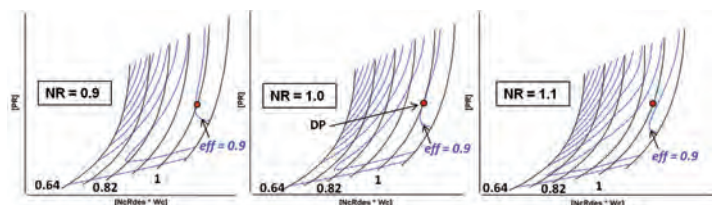
El primer paso para la generación de las características de rendimiento es obtener una estimación aproximada de los parámetros de diseño (por ejemplo, ángulos de pala) a través de un análisis de triángulos de velocidad. Luego, el modelo 1-D de análisis de la línea media empleado tiene en cuenta la desviación del ángulo del flujo y las pérdidas de presión mediante correlaciones empíricas de datos experimentales en cascada.

Por último, la línea de flujo y la geometría de los álabes se re-

finan aún más mediante la aplicación de las normas básicas de diseño (por ejemplo, coeficiente de flujo, coeficiente de aumento de presión, número de De Haller) y la experiencia previa con los compresores y turbinas convencionales existentes.



Mapas de Compresores Contrarrotatorios para distintos Ratios de Velocidades



Mapas de Turbina Contrarrotatoria para distintos Ratios de Velocidades

Después de haber establecido los datos geométricos básicos para los componentes contrarrotatorios, los mapas de rendimiento correspondientes se generan en forma de tablas tridimensionales (mapas). En comparación con los mapas de componentes de turbomaquinaria convencional, la relación de velocidad (NR) entre ambos ejes se incluye como un parámetro adicional y la relación de par de torsión como una tabla adicional.

Los mapas utilizados en el caso de prueba, correspondientes al compresor contrarrotatorio de 7 etapas y a la turbina contrarrotatoria de 2, se presentan en la siguiente figura para tres valores diferentes de la relación de velocidades (NR = 0.9, 1.0 y 1.1).

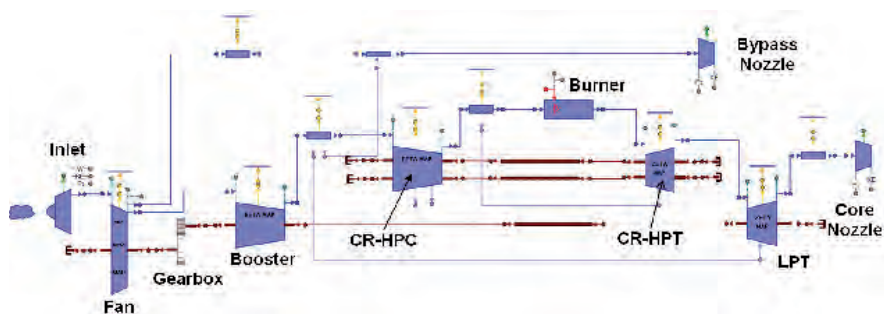
Más tarde, se desarrollan en PROOSIS modelos de componentes dedicados que utilizan estos mapas para simular el diseño y la operación, fuera de diseño, a nivel de componente y de motor. Con el propósito de controlar la configuración y las versiones, los componentes contrarrotatorios se llevan a cabo en una biblioteca dedicada que actúa como una extensión de la biblioteca TURBO estándar de PROOSIS, ya que es posible el uso de todos sus componentes y puertos.

Dado que la funcionalidad básica de compresor y turbina es común para componentes convencionales y contrarrotatorios

EcosimPro

Modelling and Simulation Software

EcosimPro · Boletín de Noticias Nº8 · Julio 2013



Modelo de turbofan en PROOSIS

y haciendo uso de la abstracción y la herencia, propiedades del entorno de simulación orientado a objetos, únicamente el código referente a la parte contrarrotatoria necesita ser implementado en la nueva biblioteca. Utilizando estos componentes es posible generar un modelo de turbofan engranado cuyo núcleo es modelado con turbomaquinaria contrarrotatoria. Esta configuración ha sido investigada en el contexto del programa Europeo NEWAC (<http://www.newac.eu/>). En esta disposición, el compresor comprende un rotor interior (como en un caso convencional) y uno exterior, de manera que las filas de álabes sucesivas pueden girar en direcciones opuestas. Los rotores son movidos por una turbina contrarrotatoria a través de dos ejes de transmisión concéntricos, como muestra el siguiente diagrama esquemático:

A continuación, el modelo del motor es acoplado al de actuadores de la aeronave, y una misión típica de corto alcance es simulada. Los resultados son comparados con los de una configuración similar que emplea un núcleo convencional y cuya operación en el punto de diseño es idéntica.

Para la combinación avión-misión dada y suponiendo un ahorro de peso del motor del 10% en el caso contrarrotatorio con respecto al convencional, se prevé una reducción de combustible total quemado del 1,1%. Si se aprovecha el ahorro de peso del motor para aumentar la carga útil, se puede lograr una disminución total del 3,2% del combustible consumido por pasajero - kilómetro.

Se podrían predecir mayores ventajas en caso de suponer un menor flujo de refrigeración de la turbina contrarrotatoria del núcleo, ya que los requisitos de refrigeración y sellado disminuyen en esta configuración, debido a que no existe estator entre los rotores de la turbina.

La metodología descrita en el documento no es de aplicación específica y también es aplicable en turbofans y open-rotors contrarrotatorios. Pueden utilizarse códigos y experimentos más realistas para generar características de operación que implementen una física más precisa de los componentes contrarrotatorios. La integración de los mapas puede llevarse a cabo de la misma manera.

Desde el newsletter de EcosimPro nos podéis hacer llegar sugerencias sobre contenidos, artículos o entrevistas que os gustaría que apareciesen en los próximos números.

Mediante vuestra colaboración intentamos mejorar y ampliar aquellas secciones que estiméis de mayor relevancia. Podéis mandarnos vuestras sugerencias a info@ecosimpro.com.

SUGGESTIONS

EcosimPro

Modelling and Simulation Software



EcosimPro · Boletín de Noticias Nº8 · Julio 2013

FAQs: DIFERENCIAS ENTRE LOS 3 TIPOS DE IF Y EJEMPLOS



En el EL Language, lenguaje propio de EcosimPro, el usuario dispone de diferentes opciones para marcar la condicionalidad de una expresión a la hora de modelar componentes. A menudo surgen dudas sobre su uso y sobre las diferentes opciones.

EL dispone de la clásica estructura IF-THEN-ELSE de tipo secuencial que puede ser utilizada en los bloques secuenciales como son el INIT de los componentes y el BODY de las funciones definidas en EL. Su objetivo es seleccionar una secuencia de asignaciones para su ejecución, dependiendo del valor de un booleano. La sintaxis es la tradicional:

```
IF condition THEN
seq_stm_s
(ELSEIF condition THEN seq_stm_s) _
(ELSE seq_stm_s)
END IF
```

donde **condition** es la condición que se evalúa y **seq_stm_s** son las instrucciones que se van a ejecutar. Durante el proceso, las condiciones se evalúan secuencialmente y si su valor es TRUE se ejecutan las instrucciones correspondientes. Este tipo de estructuras se pueden anidar y las condiciones pueden contener expresiones lógicas que utilicen los operadores lógicos AND, OR o expresiones del tipo menor o igual (<=), mayor o igual (>=) etc.

Un ejemplo de aplicación sería el siguiente:

```
IF (signa l == SIN) THEN
value = s in (2 * 3.14159 *x )
ELSEIF (signa l == SQUARE) THEN
value = isqr
ELSE
value = 1 .
END IF
```

En el bloque CONTINUOUS de los componentes se utiliza un segundo tipo de IF. En este caso, se plantea una relación entre variables que cambia en función de una condición cuyo valor puede variar a lo largo de la simulación. El modelo matemático considera todas las ramas definidas y en función del valor que tome la condición durante la simulación utilizará una u otra durante el tiempo que se cumpla.

```
COMPONENT if_example
DECLS
```

```
REAL x= 3
ENUM modes switchMode= DESIGN
CONTINUOUS
x= IF (switchMode == DESIGN) 5 . 6
ELSEIF (switch Mode== 'TRANSIENT') sin (TIME)
ELSE sin (TIME) + cos (TIME)
END COMPONENT
```

Existe otro tipo de IF en el bloque continuo que permite introducir un conjunto de ecuaciones u otro (en el IF anterior se hacía a nivel de ecuación individual), se trata del IF-INSERT. Un caso típico de esta situación sería un componente con un parámetro que indica si se quiere utilizar un modelo matemático más sencillo o más complejo. El parámetro determina qué ecuaciones se toman para la simulación, mientras las otras se descartan.

Las variables que se pueden comprobar en este IF deben ser parámetros de construcción, ya que tiene que saberse de antemano la configuración del componente.

En el ejemplo que se muestra a continuación se utiliza el IF-INSERT para decidir si las variables “x e y” son calculadas analíticamente o bien se leen de una tabla dependiendo del valor del booleano **use_Interpolation**. En función del valor de la condición, se introducirá un bloque u otro de ecuaciones en el modelo matemático.

```
COMPONENT example (BOOLEAN useInterpolation= TRUE)
DECLS REAL x
REAL y
TABLE_1D t1 = { { 0 , 1 } , { 0 . 2 3 , 0 . 8 9 } }
CONTINUOUS
IF (use Interpolation == TRUE) INSERT
x= linear Interp1D (t1, TIME)
z= linear Interp1D (t1 , TIME+1)
ELSE
x= cos (y) **2
z= sin (y) **2
END IF
y = sqr t (TIME)
END COMPONENT
```

Esta opción abre la puerta a la creación de componentes de complejidad variable dependiendo del tipo de análisis que se quiera realizar.

EA Internacional S.A.
Magallanes, 3 Madrid
28015 Spain

E-mail: info@ecosimpro.com

URL: <http://www.ecosimpro.com>

Phone: +34 91 309 81 42

Fax: +34 91 591 26 55

EcosimPro
Modelling and Simulation Software 

PROOSIS
Propulsion Object Oriented Simulation Software 


EMPRESARIOS AGRUPADOS