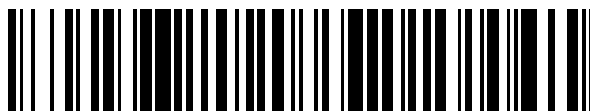


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 618 349**

51 Int. Cl.:

G06F 17/50 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **11.10.2011** **E 11184745 (5)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **14.12.2016** **EP 2442248**

54 Título: **Método de acoplamiento para co-simulación no iterativa**

30 Prioridad:

15.10.2010 AT 17202010

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:

21.06.2017

73 Titular/es:

**KOMPETENZENTRUM - DAS VIRTUELLE
FAHRZEUG FORSCHUNGSGESELLSCHAFT MBH
(100.0%)
Inffeldgasse 21a/1
8010 Graz, AT**

72 Inventor/es:

**BENEDIKT, MARTIN;
WATZENIG, DANIEL y
BERNASCH, JOST**

74 Agente/Representante:

ISERN JARA, Jorge

ES 2 618 349 T3

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín Europeo de Patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre Concesión de Patentes Europeas).

DESCRIPCIÓN

Método de acoplamiento para co-simulación no iterativa

5 Campo de la invención

La invención se refiere a un método de acoplamiento para co-simulación no iterativa.

Estado de la técnica

10

Para ahorrar tiempo y costes, a día de hoy es estado de la técnica un desarrollo virtual específico de dominio en la industria. En este caso se desarrollan en cada disciplina de la ingeniería (por ejemplo, mecánica, electrónica, etc.) modelos para los componentes específicos con la ayuda de herramientas de simulación especiales, y se simulan y analizan en sí mismos. Las influencias de otros sistemas solo se tienen en consideración de forma limitada. El desarrollo de un sistema general requiere no obstante, una colaboración de todos los dominios técnicos o de todos los componentes, de manera que estas interacciones han de representarse también en el plano virtual. La co-simulación mediante los llamados métodos *multi-rate* (multifrecuencia) y/o *multi-method* (multimétodo) ofrece una posibilidad de reunir los sistemas parciales modelados de forma distribuida y simulados de forma distribuida. En este caso se reemplazan las magnitudes de acoplamiento durante la simulación en momentos definidos, según llamados macro pasos.

20

25

Las características de las herramientas de simulación usadas, y las características de los modelos de los sistemas parciales, determinan qué algoritmo de acoplamiento puede usarse. Los principios iterativos, como por ejemplo, *waveform-relaxation* (llamado acoplamiento de alto grado), en la mayoría de los casos no pueden usarse debido a las interfaces puestas a disposición de las herramientas de simulación, de manera que la totalidad del sistema ha de solucionarse mediante una estrategia de acoplamiento no iterativa (llamado acoplamiento de bajo grado). En el caso de los principios iterativos, los modelos parciales se solucionan varias veces (de forma iterativa) a través del mismo macro paso temporal hasta alcanzar un criterio de interrupción – por ejemplo, solicitud de exactitud – y en cada iteración se reemplazan las magnitudes de acoplamiento. En el caso de principios no iterativos, cada modelo parcial se simula exactamente una vez a través del macro paso temporal actual, siendo las simulaciones habitualmente solo pausadas. En el caso de bucles internos, un método no iterativo solicita la extrapolación de magnitudes de acoplamiento a través del macro paso actual y conduce a imprecisiones. Con extrapolación ha de entenderse la predicción de magnitudes de acoplamiento a través del macro paso temporal a simular. Si es permisible una observación de la energía entre sistemas parciales, entonces este error se manifiesta como energía sustraída o suministrada, provocado por el acoplamiento. La magnitud del error introducido mediante el algoritmo de acoplamiento depende de la amplitud del macro paso, de los sistemas parciales modelados y de los algoritmos de solución numéricos subordinados usados, de las herramientas de simulación específicas de dominio. Principalmente domina el error introducido mediante la extrapolación necesaria de las magnitudes de acoplamiento en el caso de amplitudes de macro pasos más grandes.

40

45

Una amplitud de macro paso adecuada se basa habitualmente en la experiencia de ingenieros, en tests numéricos o se adapta, en caso de ser conocida, a las dinámicas de sistema. Los principios adaptativos existentes para el control de la amplitud de macro paso se basan en el análisis de las señales de acoplamiento, en la dinámica de sistema o en la estimación de error, y reducen el tiempo de simulación total, tal como se representa en los trabajos de M. Trcka (Co-simulation for Performance Prediction of Innovative Integrated Mechanical Energy Systems in Buildings, Thesis (PhD), Eindhoven University of Technology, Eindhoven, Países Bajos) y M. Benedikt (An adaptive Coupling Methodology for Fast Time-Domain Distributed Heterogeneous Co-Simulation, SAE World Conference 2010, Detroit, 2010.).

50

55

Es de interés particular el comportamiento de estabilidad de la totalidad de la co-simulación, es decir, la interacción de todos los sistemas parciales como consecuencia de extrapolación necesaria. Se diferencia por lo tanto, entre la estabilidad de sistema y la estabilidad de los algoritmos de solución numéricos subordinados. En la literatura se muestra, que la extrapolación de magnitudes de acoplamiento puede tener efectos sobre la estabilidad numérica (compárese M. Arnold; Multi-Rate Time Integration for Large Scale Multibody System Models, In P. Eberhard, editor, IUTAM Symposium on Multiscale Problems in Multibody System Contacts, páginas 1-10. Springer, 2007). En la solicitud de patente austriaca A895/2010 se evalúa la modificación del comportamiento dinámico y se determina una métrica, que conduce a amplitudes de macro paso adecuadas. De "Novel Approach for Performance Evaluation of Fast Time-Domain Non-Iterative Co-Simulation", Martin Benedikt, EngOpt2010 2nd Int. Conference on Engineering Optimization, de 6 de septiembre de 2010 (06.09.2010), página 98 se conoce un método para la evaluación de la actuación – en relación con la exactitud – en co-simulación no iterativa. En este caso se modelan los métodos de extrapolación y de estimación mediante técnica de sistema y se utilizan para la evaluación. Es requisito en este caso una descripción abstracta de los sistemas parciales acoplados complejos. Esta información previa (metainformación) permite una estimación de la influencia del acoplamiento no iterativo en la totalidad de la co-simulación, y con ello, una evaluación de la exactitud. Mediante la especificación de un límite de exactitud, puede determinarse también una amplitud de macro paso razonable.

65

Además de ello, la tesina de diplomatura de Frank Flitz, la cual comprende una declaración jurada no firmada, con fecha del 27 de octubre de 2008, se ocupa de procedimientos numéricos en el acoplamiento de programas de simulación. Aquí se examinan aspectos numéricos de la co-simulación en lo que se refiere a la evaluación y aceleración de convergencia. En lo que se refiere al desarrollo temporal dependiente de las magnitudes de estado, de magnitudes reemplazadas, se evalúan para el acoplamiento secuencial, la interpolación, y para el acoplamiento paralelo, la extrapolación. Como ejemplos de aplicación se usan tres sistemas diferentes con propiedades características. Los procedimientos presentados, extrapolación, procedimiento de secantes modificado y procedimiento combinado, se caracterizan por su estructura modular, que en base de la transmisión de información libre de modificación permite para cada magnitud de reemplazo un reemplazo libre de los procedimientos entre sí.

Representación breve de la invención

Una tarea de la invención será la puesta a disposición de un procedimiento para una co-simulación no iterativa, la cual ofrece frente al procedimiento del estado de la técnica, una actuación mejorada.

La tarea se soluciona mediante un procedimiento para la co-simulación y un dispositivo para la co-simulación según las reivindicaciones independientes. En las reivindicaciones dependientes se describen otros ejemplos de realización.

Según un aspecto a modo de ejemplo, se proporciona un procedimiento para la reducción de la influencia del error introducido mediante extrapolación necesaria, para una co-simulación no iterativa, estimándose en un primer paso, con respecto al momento de acoplamiento actual, a partir de una magnitud de acoplamiento a través del macro paso temporal anterior, mediante un procedimiento de extrapolación, una señal estimada a través del macro paso temporal actual. Esta señal estimada se modifica en un segundo paso mediante una señal de corrección a través del macro paso temporal actual, que se determina a través del sistema de corrección, dando lugar a una señal modificada estimada a través del macro paso temporal actual. En un tercer paso, se disuelven los sistemas parciales participantes a través del macro paso actual mediante el uso de la señal modificada estimada, de manera que se genera un resultado de simulación resultante a través del macro paso temporal actual, representando el resultado de la simulación el resultado de una simulación de la magnitud de acoplamiento. En un cuarto paso se determina una señal de error a través del macro paso temporal actual mediante comparación entre la señal estimada y el resultado de simulación resultante. Esta señal de error sirve, tras la actualización de la amplitud de macro paso en el quinto paso, en un sexto paso, para la determinación de la señal de corrección a través del macro paso temporal siguiente, en el momento de acoplamiento futuro a través del sistema de corrección. Este procedimiento se repite además de ello, a través del macro paso temporal siguiente.

Según otro aspecto a modo de ejemplo, se pone a disposición un procedimiento de co-simulación para una co-simulación no iterativa de un sistema en general con varios sistemas parciales, los cuales presentan en las interfaces correspondientemente un sistema de corrección, llevándose a cabo en el caso de la co-simulación, varios pasos macro temporales, estimándose la magnitud de acoplamiento mediante un procedimiento de extrapolación a través de un macro paso temporal actual y produciéndose en este caso una señal estimada. Se produce además de ello, sobre la base de la señal estimada, un resultado de simulación resultante para el macro paso actual, y mediante una comparación entre la señal estimada y el resultado de simulación resultante, se determina una señal de error a través del macro paso temporal actual.

Según otro aspecto a modo de ejemplo, se pone a disposición una instalación de simulación para una co-simulación no iterativa de un sistema en general, llevándose a cabo durante la co-simulación varios macro pasos temporales, presentando el dispositivo de simulación un extrapolador, el cual está configurado de tal manera, que estima un valor de una magnitud de acoplamiento mediante un procedimiento de extrapolación a través de un macro paso temporal actual y en este caso general una señal estimada. El dispositivo de simulación presenta adicionalmente un solucionador, en el cual hay implementado un algoritmo de solución, y el cual está configurado de tal manera, que mediante él se genera sobre la base de la señal estimada, un resultado de simulación resultante para el macro paso actual. El dispositivo de simulación presenta además de ello, un comparador, el cual está configurado de tal manera, que lleva a cabo una comparación entre la señal estimada y el resultado de simulación resultante y determina una señal de error a través del macro paso temporal actual. El dispositivo de simulación presentará en particular una pluralidad de dispositivos de simulación parcial, de los cuales cada uno presenta un solucionador. Cada uno de los dispositivos de simulación parcial estará asignado a un extrapolador y/o a un comparador.

El dispositivo de simulación estará configurado en particular mediante hardware, software o de forma híbrida con componentes de hardware y software. El dispositivo de simulación se realizará por ejemplo, mediante un procesador o un ordenador.

Será posible en particular mediante el procedimiento descrito, reducir los errores, los cuales se introducen mediante la extrapolación descrita en la introducción. Será posible además de ello, en el caso de un procedimiento según un aspecto a modo de ejemplo, que no deba haber presentes metainformaciones sobre modelos parciales y que no tengan que modelarse métodos de extrapolación o de estimación. Será innecesario también, que se produzca una evaluación de la exactitud. Se determinará en particular según un procedimiento, un error de estimación entre un

resultado de extrapolación y uno de simulación para un macro paso actual. Este error de estimación se utilizará entonces a continuación, para mejorar los resultados de una co-simulación. Este error de simulación se usará además de ello, para la modificación de la extrapolación a través del siguiente paso macro temporal.

5 En lo sucesivo se describen ejemplos de realización ejemplares del procedimiento o del dispositivo de simulación. Los ejemplos de realización descritos de una categoría son válidos no obstante también, para las configuraciones de los ejemplos de realización de la correspondiente otra categoría.

10 Según un ejemplo de realización a modo de ejemplo, el dispositivo de simulación presentará además de ello, un sistema de corrección, el cual está configurado de tal manera, que determina una señal de corrección sobre la base de la señal de error. El sistema de corrección presentará en particular un integrador, el cual conforma una memoria, y/o un bloque de realización, el cual está configurado de tal manera, que determina el desarrollo de una señal de corrección. El sistema de corrección estará configurado además de ello de tal manera, que mediante un factor se garantiza la estabilidad.

15 Según un ejemplo de realización a modo de ejemplo, del procedimiento, se calcula además de ello, una señal de corrección, la cual se determina a través de un sistema de corrección.

20 Según un ejemplo de realización a modo de ejemplo, del procedimiento, la señal de corrección se utiliza para modificar la señal estimada dando lugar a una señal modificada.

Según un ejemplo de realización a modo de ejemplo, del procedimiento, la señal de corrección se determina sobre la base de la señal de error.

25 Según un ejemplo de realización a modo de ejemplo, del procedimiento, sobre la base de las magnitudes de macro paso dadas, se derivan de forma adaptativa directamente los parámetros necesarios para el sistema de corrección. Las amplitudes de macro paso son predeterminadas en este caso por el usuario o a través de un control de amplitudes de macro paso. En este caso, un control de amplitudes de macro paso se corresponde con un algoritmo, el cual fija adaptativamente la amplitud de macro paso a usar posteriormente sobre la base de criterios elegidos
30 anteriormente, como errores de estimación o modificación de señal de acoplamiento, con respecto a la duración, es decir, durante la realización de una simulación o durante el desarrollo de un procedimiento según un aspecto a modo de ejemplo.

35 Según un ejemplo de realización a modo de ejemplo, del procedimiento, se localiza temporalmente sobre la base de un sistema de corrección estable, el error introducido por la extrapolación necesaria en los puntos de trabajo estacionarios tras procesos transitorios de la totalidad del sistema co-simulado. Es decir, las zonas, en las cuales existen errores de estimación por extrapolación, pueden asignarse de esta manera de forma temporalmente limitada y a una sección del resultado de simulación.

40 Según un ejemplo de realización a modo de ejemplo, del procedimiento, el procedimiento se usa en particular en aplicaciones en tiempo real para mitigar requisitos de autenticidad exigentes.

45 El aspecto descrito describe de manera clara un procedimiento para reducir la influencia del error introducido mediante la extrapolación necesaria, en co-simulación no iterativa. En caso de selección adecuada de las amplitudes de macro paso, en relación con el comportamiento dinámico de la totalidad del sistema, la influencia del error puede eliminarse casi completamente de forma independiente del procedimiento de extrapolación usado. En caso de ser permisible una consideración de energía, se transmite casi la totalidad de la energía. Esta compensación se produce correspondientemente a través de macro pasos temporales posteriores y conduce a una modificación de los valores extrapolados. La parametrización del sistema de corrección se produce, de forma adaptativa en el caso de controles de amplitudes de macro paso en línea, en dependencia de la amplitud de macro
50 paso elegida y sin (meta)información adicional. Este tipo de acoplamiento del simulador no iterativo es nuevo y conduce además de al aumento de la actuación de la totalidad de la co-simulación, a una estimación más exacta del comportamiento de sistema en el proceso de desarrollo, especialmente durante procesos transitorios.

55 Una ventaja esencial del procedimiento será según un aspecto ventajoso, la disminución y reducción casi completa de la influencia del acoplamiento mediante la extrapolación necesaria en co-simulación no iterativa, sin el uso de informaciones adicionales, como por ejemplo, metainformaciones sobre sistemas parciales.

60 A diferencia de procedimientos conocidos del estado de la técnica, la presente invención se concentra en un procedimiento para la compensación de la influencia de la extrapolación necesaria en el comportamiento del sistema y no en la evaluación de la co-simulación.

65 Una idea esencial de un aspecto a modo de ejemplo, de la invención, será en este caso, que se logra un procedimiento para la simulación de la totalidad de un sistema a partir de una pluralidad de sistemas parciales, en el cual se memoriza una señal estimada una vez, por ejemplo, mediante un extrapolador, y a continuación, se usa para la comprobación de un resultado de simulación calculado. Esta comprobación o verificación puede llevarse a cabo

por ejemplo, mediante una comparación simple. El resultado de la comparación por su parte se usará en un macro paso siguiente de la simulación, para corregir la estimación para el siguiente macro paso, de manera que se reducirá un error de la totalidad de la simulación.

5 Breve descripción de las figuras

La Fig. 1 muestra esquemáticamente un sistema en su totalidad para un procedimiento de co-simulación.

10 La Fig. 2 muestra esquemáticamente el efecto de un error introducido mediante un llamado procedimiento de extrapolación *zero-order-hold* (de orden cero).

La Fig. 3 muestra esquemáticamente la extrapolación de la totalidad del sistema de la Fig. 1 de forma ampliada a razón de un sistema de corrección.

15 La Fig. 4 muestra esquemáticamente un ejemplo de un sistema de corrección, como puede usarse en la sección parcial de la Fig. 3.

La Fig. 5 muestra esquemáticamente el desarrollo de un procedimiento según un aspecto a modo de ejemplo.

20 La Fig. 6 muestra un desarrollo a modo de ejemplo de un resultado de una co-simulación según un procedimiento según un aspecto a modo de ejemplo.

Descripción detallada de las figuras

25 En una co-simulación según un aspecto a modo de ejemplo, se acoplan sistemas parciales 11 modelados a través de los parámetros de introducción y de salida de los sistemas parciales, dando lugar a un sistema general. Cada sistema parcial 11 se soluciona no obstante, de forma independiente de otros sistemas parciales 11 a través del macro paso temporal actual mediante un algoritmo de solución 12 numérico propio. En la Fig. 1 se representa esquemáticamente una red de herramientas de simulación (*tools*) 10 acopladas, que se denomina como co-simulación. En cada simulador 10 hay modelado un sistema parcial 11, que resuelve un algoritmo de solución numérico (*Solver*) 12 especial. En bucles internos de la red (en la Fig. 1 “sistema parcial 2”, “sistema parcial 3”) resultan dependencias entre los sistemas parciales 11 involucrados, de manera que dependiendo del orden de realización – en paralelo o en serie – han de “estimarse” más o menos magnitudes de acoplamiento 31 mediante procedimiento de extrapolación 13 a través del macro paso temporal a solucionar. Esta extrapolación 13 resulta en un error 32 introducido, necesario para la solución del sistema en general.

40 En lo sucesivo se usa para un mejor entendimiento, la observación intuitiva de flujos de energía para la descripción de la presente invención. Para el uso del elemento de acoplamiento es insignificante no obstante, si pueden interpretarse o no señales de acoplamiento 31 como flujos de energía. En general es válido, un error pequeño conduce a resultados más exactos. En este caso, el término “energía” puede interpretarse también en el sentido de una forma más general, de que un producto a partir de dos magnitudes físicas puede interpretarse como una energía generalizada.

45 Error de acoplamiento

La Fig. 2 muestra a modo de ejemplo, la interferencia introducida mediante el procedimiento de extrapolación ZOH (*zero-order-hold*) 13 introducido a través de dos pasos macro temporales ΔT . La función de fases 30 constante por tramos resulta de la extrapolación 13 necesaria para resolver la totalidad del sistema y se corresponde con el desarrollo estimado de la señal de acoplamiento. La simulación de los siguientes sistemas parciales 11 ofrece el resultado de simulación 31 y sirve como base para otras extrapolaciones 13 en los momentos de acoplamiento, en los cuales se produce también el intercambio de datos entre los sistemas parciales 11 involucrados. El resultado de la simulación representará en particular el resultado de una simulación de la señal de acoplamiento o de la magnitud de acoplamiento, es decir, podrá determinarse la señal de acoplamiento o la magnitud de acoplamiento mediante una simulación. Las superficies 32 sombreadas describen una perturbación introducida (error de acoplamiento), la cual puede resultar como diferencia entre la intensidad estimada de la señal de acoplamiento y el resultado de simulación para el mismo macro paso. Mediante el uso de otros métodos o procedimientos de extrapolación 13, como por ejemplo, FOH (*First-order-hold*), SOH (*second-order-hold*), etc., resulta una forma parecida del error 32 y puede definirse de la misma manera. En caso de ser permisible un análisis energético y asumiendo un desarrollo constante de la segunda magnitud de acoplamiento 31 (no representado), a través de estos dos macro pasos temporales, se disipa energía a través del acoplamiento.

Método de acoplamiento de mantenimiento de energía

65 Si se tienen en consideración dos magnitudes de acoplamiento 31, que transfieren energía entre dos sistemas (como por ejemplo, en la Fig. 1, “sistema parcial 2” y “sistema parcial 3”), entonces el acoplamiento (método de extrapolación 13) provoca una absorción o una entrega de energía y falsea el comportamiento del sistema. La

presente invención posibilita una transmisión casi completa de la energía entre los sistemas parciales 11 mediante almacenamiento (de energía) temporal. Si se elige la amplitud de macro paso adecuadamente, este almacenador de energía, el cual es representado por el sistema de corrección 41, introducido influye solo marginalmente en el comportamiento del sistema.

5 En la Fig. 3 se representa el comportamiento de principio del método de acoplamiento que casi mantiene energía. Independientemente de los métodos de extrapolación 13 usados, se determina el error 32 utilizado mediante el uso de las señales 31 y 30. Sobre la base de este error 32, se determina una señal de corrección 42 a través de un sistema de corrección 41 introducido, la cual modifica a través del procedimiento de extrapolación 13 usado, la señal extrapolada 13 a través del siguiente paso macro temporal, y resulta como una señal 33. Una compensación completa no es posible típicamente debido al método no iterativo, y conduce de esta manera en caso de análisis energético permisible a un elemento de acoplamiento casi de mantenimiento de energía. Si se tienen en consideración varios pasos macro temporales, entonces se transmitiría casi la energía prevista.

15 En la Fig. 5, un diagrama de flujo representa el modo de proceder principal para cada macro paso. En un paso 1, se estima la magnitud de acoplamiento 31 mediante un procedimiento de extrapolación 13 a través del macro paso temporal actual. Esta señal 30 estimada se modifica en el paso 2, sobre la base del error 32 a través del macro paso temporal anterior, mediante una señal de corrección 42, la cual se determina a través del sistema de corrección 41, a una señal 33. El paso 3 comprende la solución 12 de los sistemas parciales 11 involucrados a través del macro paso actual mediante el uso de la señal 33 modificada estimada. De la comparativa de la señal 30 extrapolada con el resultado de simulación 31 resultante, puede determinarse la señal de error 32 a través del macro paso temporal actual en el paso 4. El paso 5 comprende en el caso de control de amplitudes de macro paso, la fijación de la nueva amplitud de macro paso. La señal de error 32 sirve para la determinación de la señal de corrección 42 a través del siguiente macro paso a través del sistema de corrección 41 en el paso 6, después de lo cual, este procedimiento se repite a través del siguiente macro paso temporal posterior.

Una ventaja de este método se refiere al error 32 introducido a través de la extrapolación 13 necesaria. En caso de que el sistema de corrección 41 esté configurado de forma estable, el error disminuye por zonas de señal de entrada constantes y es de esta manera localizable temporalmente. A través del desarrollo de error 32 existe por lo tanto la posibilidad, de detectar temporalmente el error 32 y de evaluarlo como consecuencia a través de una métrica.

Sistema de corrección

35 El sistema de corrección 41 puede configurarse de diferentes maneras. En el caso más sencillo, el sistema de corrección 41, representa un elemento de tiempo muerto, el cual memoriza el desarrollo de error 32 y lo desplaza a razón de la amplitud de macro paso actual. Una posible estructura del sistema de corrección 41 se representa en la Fig. 4, representando el integrador 51 la memoria, garantizando el factor 50 el bucle y determinando el bloque de realización 52 el desarrollo de la señal de corrección 42.

40 Parametrización del sistema de corrección

Un componente de la presente invención lo representa la sencilla parametrización del sistema de corrección 41. El parámetro 50 interno del sistema de corrección 41 puede derivarse independientemente del método de extrapolación 13 usado y directamente de la amplitud de macro paso actual, de manera que se garantiza la estabilidad del elemento de acoplamiento de casi mantenimiento de energía. Al usarse un control de amplitudes de macro paso, se determinan de esta manera los parámetros del presente elemento de acoplamiento de forma adaptativa, con un esfuerzo de cálculo reducido.

Posibilidad de uso adicional

50 Este método puede usarse también para llamados usos *soft-real-time*, es decir, usos, en los cuales sistemas parciales han de responder en un tiempo predeterminado y en casos individuales se dan sobrepasos del tiempo, para mitigar los requisitos de tiempo real. Un ámbito de uso son las aplicaciones HIL (*Hardware in the loop*), en las cuales el hardware solicita en momentos fijos introducciones, pero la herramienta de simulación 10 no obstante, en casos aislados, por ejemplo, debido a interrupciones, no puede mantener estos límites de tiempo. Se determina un valor estimado 30 en el momento solicitado, y se corrige el valor de estimación 32 resultante en este caso, en el paso temporal siguiente mediante la señal 42.

60 Para mostrar el potencial de la siguiente invención, se representa en la Fig. 6 una parte de los desarrollos de los resultados de co-simulación 31 de una magnitud de acoplamiento junto a la solución correcta 60. Se representa la solución 61 para extrapolación 13 estándar ZOH (*zero-order-hold*) y la solución del método de acoplamiento de la presente invención 62. Además de la reducción esencial de la influencia del método de extrapolación 13, puede verse, que la solución 62 se corresponde mediante el acoplamiento modificado, aproximadamente a la solución correcta 60.

65 El presente método conducirá el error mediante selección adecuada de la amplitud de macro paso y conducirá de esta manera a resultados concluyentes de co-simulaciones.

REIVINDICACIONES

- 5 1. Procedimiento para la reducción de la influencia del error (32) introducido mediante extrapolación (13) necesaria, para co-simulación no iterativa de un sistema general con varios sistemas parciales, los cuales presentan en las interfaces correspondientemente un sistema de corrección, llevándose a cabo en la co-simulación varios macro pasos temporales,

10 produciéndose en un primer paso, en el momento de acoplamiento actual, a partir de una magnitud de acoplamiento (31) a través del macro paso temporal anterior, mediante un procedimiento de extrapolación (13), una señal (30) estimada a través del macro paso temporal actual,

15 modificándose esta señal (30) estimada en un segundo paso mediante una señal de corrección (42) a través del macro paso temporal actual, el cual se determina a través de un sistema de corrección (41), a una señal modificada estimada (33) a través del macro paso temporal actual,

20 solucionándose en un tercer paso los sistemas parciales (11) participantes a través del macro paso actual mediante el uso de la señal modificada estimada (33), de manera que se produce un resultado de simulación resultante a través del macro paso temporal actual, representando el resultado de la simulación el resultado de una simulación de la magnitud de acoplamiento (31),

25 en un cuarto paso se determina una señal de error (32) a través del macro paso temporal actual mediante la comparación entre la señal estimada (30) y el resultado de simulación resultante, sirviendo esta señal de error (32), tras la actualización de la amplitud de macro paso en el quinto paso, en un sexto paso para la determinación de la señal de corrección (42) a través del siguiente macro paso temporal en el futuro momento de acoplamiento a través del sistema de corrección (41) y repitiéndose este procedimiento a través del siguiente macro paso temporal.
- 25 2. Procedimiento según la reivindicación 1, representando el sistema de corrección (41) un elemento de tiempo muerto.
- 30 3. Procedimiento según la reivindicación 2, memorizando el sistema de corrección (41) el desarrollo de la señal de error (32) y desplazándolo a razón de la amplitud de macro paso actual.
- 35 4. Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores, presentando el sistema de corrección un bloque integrador (51) para memorizar, un bloque de factorización (50) para garantizar la estabilidad y un bloque de realización (52) para determinar el desarrollo de la señal de corrección (42).
- 40 5. Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores, conformándose la señal modificada (33) del paso temporal actual como una suma de la señal estimada (30) del paso temporal actual y de la señal de corrección (42) del paso temporal actual.
- 45 6. Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores, derivándose de forma adaptativa sobre la base de las amplitudes de macro paso dadas, directamente los parámetros (50, 51, 52) necesarios para el sistema de corrección (41) al usarse controles de amplitudes de macro paso.
- 50 7. Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores, detectándose temporalmente la señal de error (32) y evaluándose a continuación a través de una métrica.
- 55 8. Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por que el procedimiento se usa en una aplicación en tiempo real para mitigar exigentes requisitos de tiempo real, solicitando el uso en momentos fijos introducciones, determinándose una señal estimada (30) en el momento actual solicitado y corrigiéndose el error de estimación (32) que aparece en este caso, en el paso temporal siguiente mediante la señal de corrección (42).
- 60 9. Procedimiento de co-simulación para una co-simulación no iterativa de un sistema general con varios sistemas parciales, los cuales presentan en las interfaces correspondientemente un sistema de corrección, llevándose a cabo en la co-simulación varios macro pasos temporales, estando configurado el procedimiento de co-simulación para llevar a cabo un procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores.
- 65 10. Dispositivo de simulación para una co-simulación no iterativa de un sistema general, llevándose a cabo en la co-simulación varios macro pasos temporales, presentando el dispositivo de simulación:

un extrapolador, el cual está configurado de tal manera que estima la magnitud de acoplamiento mediante un procedimiento de extrapolación a través de un macro paso temporal actual y genera en este caso una señal estimada,

un solucionador, en el cual hay implementado un algoritmo de solución y el cual está configurado de tal manera, que mediante él, sobre la base de la señal estimada, se genera un resultado de simulación resultante para el macro paso actual,

un comparador, el cual está configurado de tal manera que lleva cabo una comparación entre la señal estimada y el resultado de simulación resultante y determina una señal de error a través del macro paso temporal actual; y

un sistema de corrección, el cual está configurado de tal manera que determina una señal de corrección sobre la base de la señal de error, estando configurado el dispositivo de simulación para llevar a cabo un procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores.

5

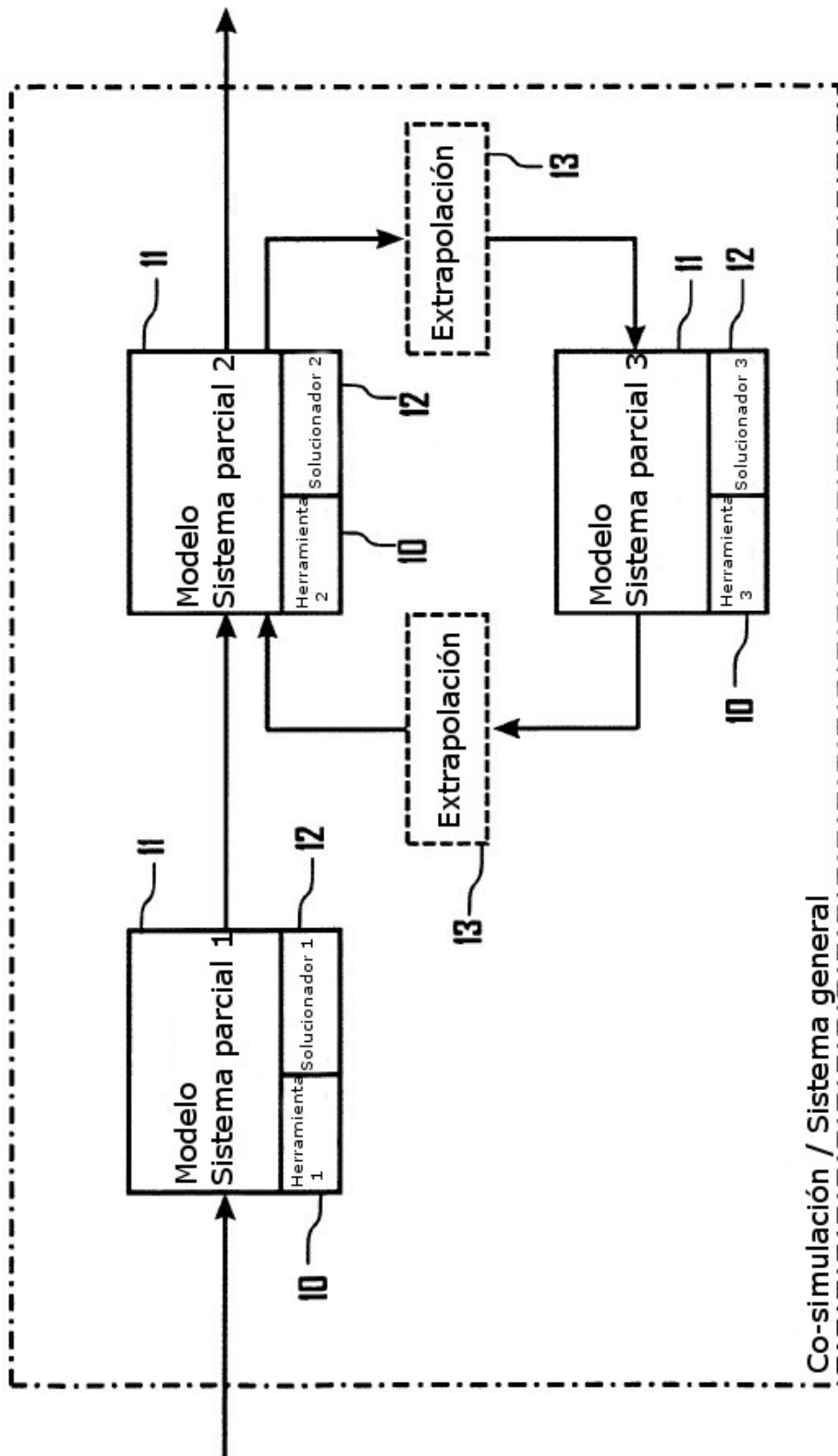


FIG. 1

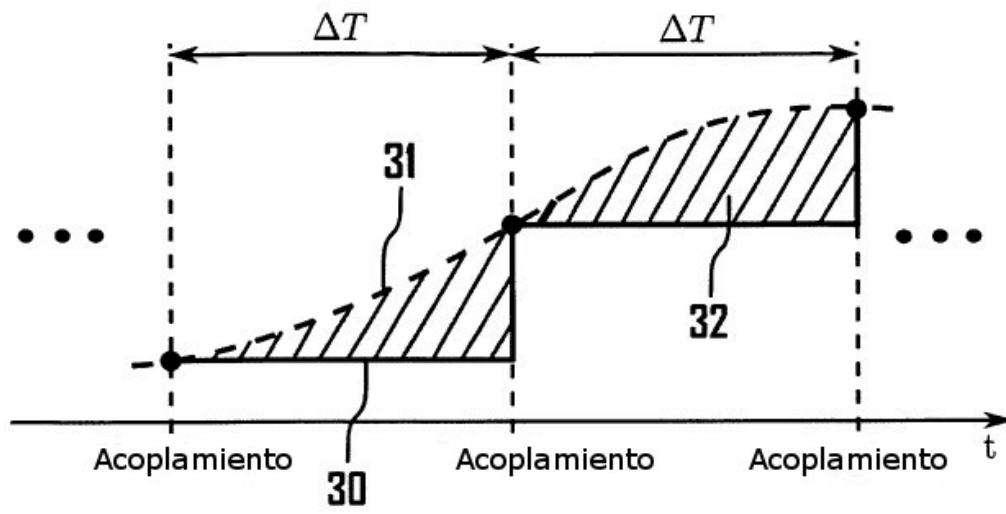


FIG. 2

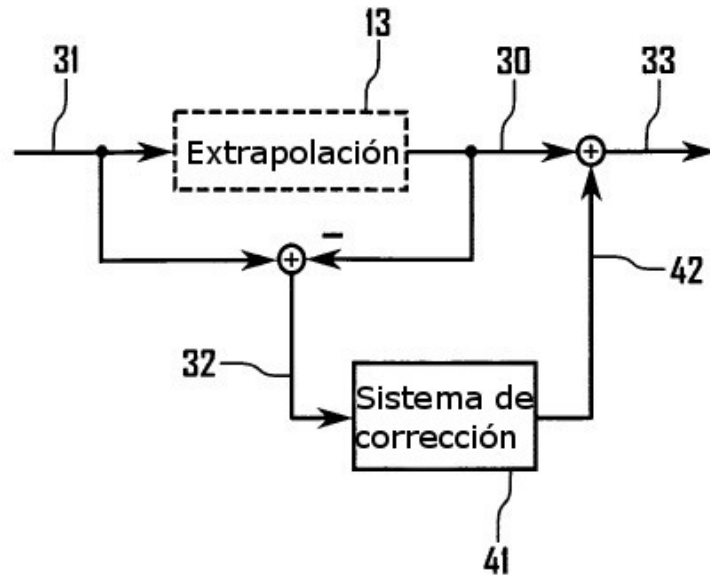


FIG. 3

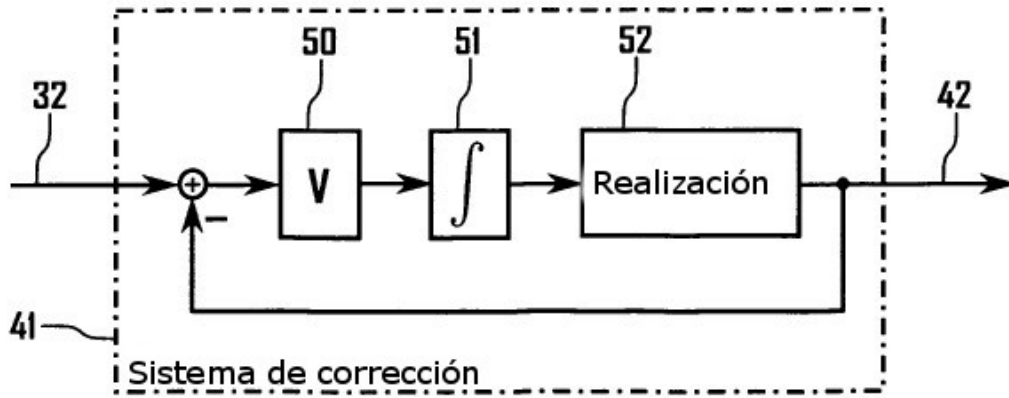


FIG. 4

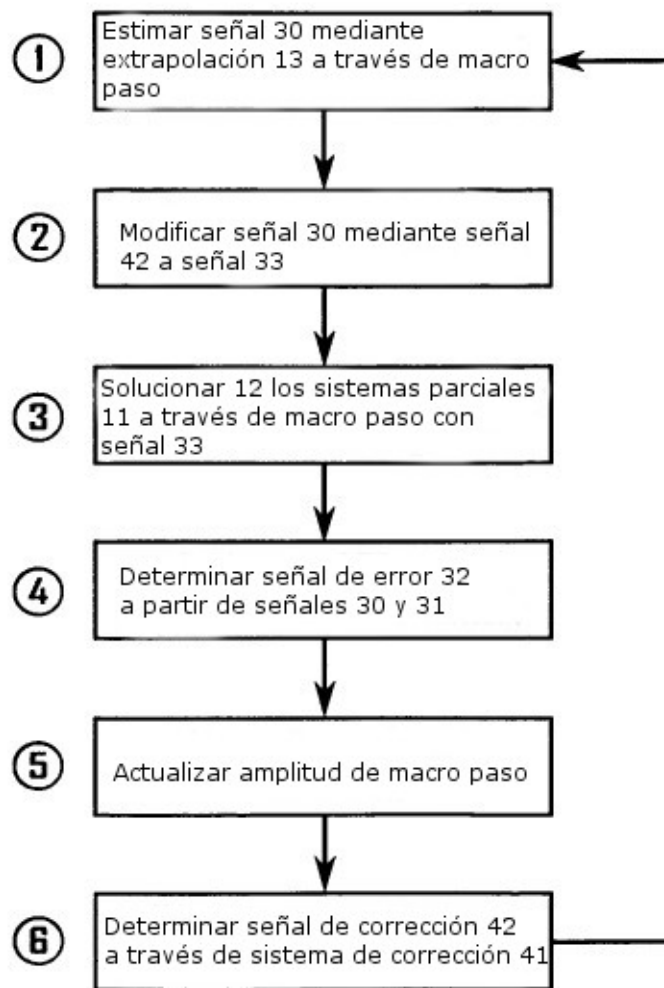


FIG. 5

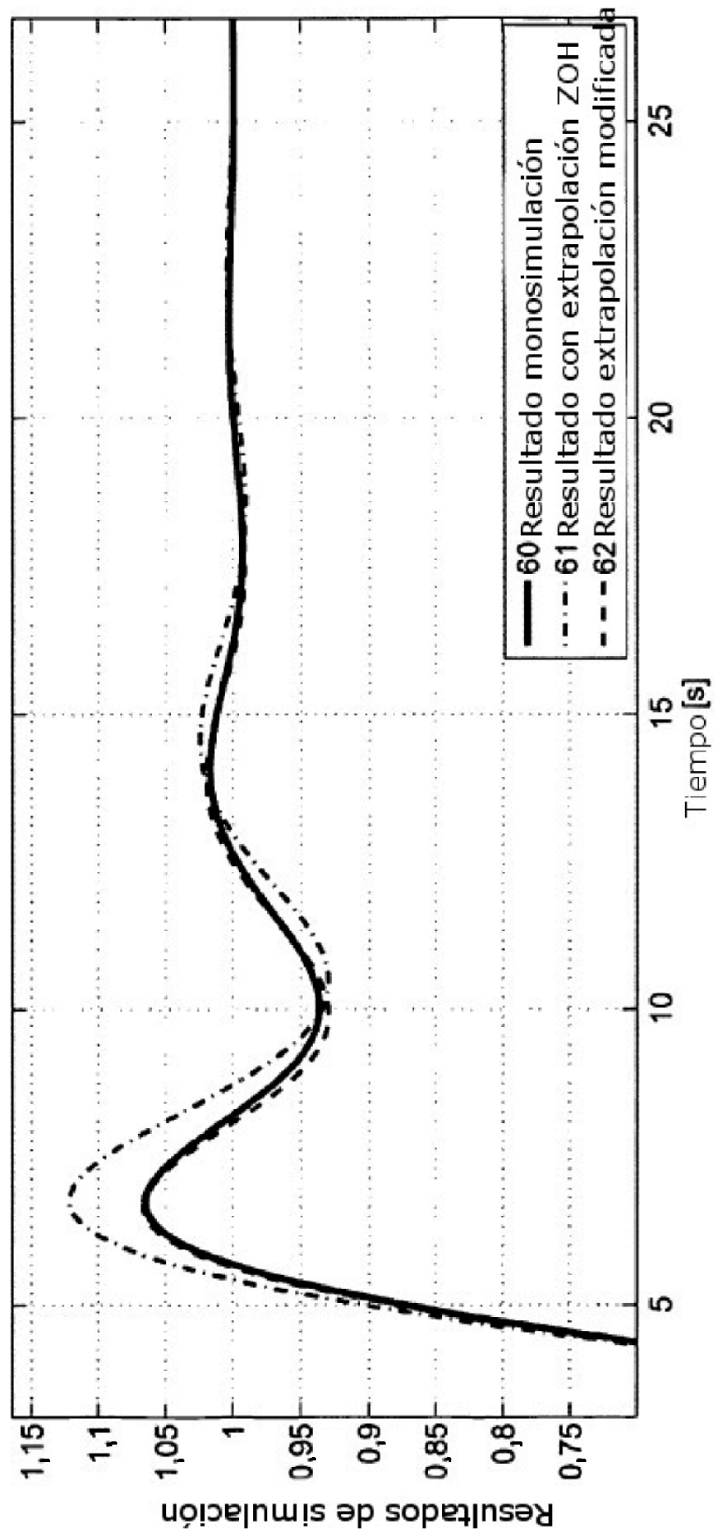


FIG. 6