

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 733 514**

51 Int. Cl.:

G06F 11/36 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **03.12.2014** **E 14290368 (1)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **17.04.2019** **EP 2884393**

54 Título: **Procedimiento y sistema de ayuda a la verificación y a la validación de una cadena de algoritmos**

30 Prioridad:

10.12.2013 FR 1302881

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

29.11.2019

73 Titular/es:

**MBDA FRANCE (100.0%)
1, avenue Réaumur
92350 Le Plessis-Robinson, FR**

72 Inventor/es:

**KOTENKOFF, ALEXANDRE;
VIGOUROUX, DAVID;
VIVARES, ANTOINE;
HEBERT, OLIVIER y
PEREL, CHRISTOPHE**

74 Agente/Representante:

ELZABURU, S.L.P

ES 2 733 514 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

Procedimiento y sistema de ayuda a la verificación y a la validación de una cadena de algoritmos

La presente invención concierne a un procedimiento y a un sistema de ayuda a la verificación y a la validación de una cadena de algoritmos.

- 5 En el marco de la presente invención, se entiende por cadena de algoritmos un conjunto de algoritmos que cooperan conjuntamente y que tratan una pluralidad de datos con el objetivo de poner en práctica una o varias funciones particulares, en particular de un dispositivo usuario en el cual está montada esta cadena de algoritmos.

La presente invención puede aplicarse a una cadena de algoritmos integrada en un dispositivo o ingenio, por ejemplo en un misil, o bien a una cadena de algoritmos no integrados antes de su montaje en un dispositivo usuario.

- 10 La validación y la verificación de una cadena de algoritmos (o cadena algorítmica) son tareas muy complejas y caras, en razón especialmente de los numerosos incrementos que implican la corrección de errores (o « bugs ») y la regulación de criterios, y en razón de las numerosas interacciones entre los diferentes módulos algorítmicos. Esta complejidad genera igualmente una dificultad de planificación de la tarea de validación y de verificación de una cadena de algoritmos.

- 15 En razón de esta complejidad, es necesaria una intervención humana por un operador que tenga un conocimiento profundo de la cadena de algoritmos. La verificación exhaustiva por un operador humano de todos los parámetros y datos que haya que analizar es larga, tediosa, incluso imposible. Además, el operador no está exento de errores y no puede analizar todos los parámetros pertinentes.

- 20 Esta solución habitual de verificación y de validación de una cadena de algoritmos que se basa en un solo operador humano no es por tanto satisfactoria.

Por el documento US-2009/0328002, se conoce un método y un dispositivo de análisis y de detección de errores de programas informáticos y de propuesta de corrección.

La invención está definida por las reivindicaciones independientes 1 y 6. Los aspectos suplementarios de la invención están definidos en las reivindicaciones dependientes.

- 25 La presente invención tiene por objeto poner remedio al inconveniente antes citado. La misma concierne a un procedimiento de ayuda a la verificación y a la validación de una cadena de algoritmos, que permita aportar una ayuda a un operador humano.

A tal efecto, según la invención, el citado procedimiento es destacable por que el mismo comprende:

- 30 a) una etapa de instrumentación de la cadena de algoritmos, que realiza una captura automática de datos que comprenden al menos algunos de los datos siguientes: datos de interfaz y datos internos de algoritmos de la cadena de algoritmos;

b) una etapa de verificación automática de reglas funcionales;

c) una etapa de aprendizaje para modelar por aprendizaje restricciones y criterios de algoritmos de la cadena de algoritmos, teniendo en cuenta las validaciones realizadas por un operador humano, y los datos capturados; y

- 35 d) una etapa de detección automática de errores o de problemas funcionales de la cadena de algoritmos con la ayuda de medios de aprendizaje estadístico.

- 40 El citado procedimiento de acuerdo con la invención permite mejorar y facilitar el trabajo de validación de algoritmos complejos, tales como los utilizados por ejemplo en el ámbito de la aeronáutica. El mismo permite especialmente ayudar a un operador a detectar más rápidamente errores o « bugs » (a saber defectos de diseño y de realización de un algoritmo que se manifiestan por anomalías de funcionamiento) y problemas funcionales de la cadena de algoritmos verificada, lo que permite disminuir el tiempo y los costes de la validación funcional de la cadena de algoritmos.

Según la invención, en una etapa anterior, un conjunto de datos de la cadena de algoritmos quedan almacenados en archivos de salvaguarda, y la etapa a) consiste en leer estos archivos de salvaguarda y en realizar consultas sobre los datos contenidos en estos archivos de salvaguarda.

- 45 El citado procedimiento comprende igualmente al menos algunas de las características o etapas siguientes tomadas individualmente o en combinación:

- la etapa b) está configurada para permitir detectar una violación de reglas y para permitir detectar si se deben verificar elementos por un operador;

- la etapa d) realiza, con la ayuda de medios de aprendizaje estadístico, una correlación de datos para determinar reglas generales de variaciones de salidas de algoritmos de la cadena de algoritmos, y emite una alerta si se detecta una verificación superior a un umbral dado de una salida de un algoritmo, con respecto a una salida prevista;

5 - la etapa d) analiza la variación de resultados de algoritmos de la cadena de algoritmos de manera que, si procede, se detecten discontinuidades y variaciones anormales;

- el procedimiento comprende una etapa suplementaria e) de clasificación de casos de prueba sospechosos (o problemáticos) identificados;

- el procedimiento comprende igualmente una etapa definición de métricas y de visualización de estas métricas.

Además, ventajosamente, la etapa c) está configurada:

10 - para realizar un análisis de una estructura funcional de la cadena de algoritmos y de un código asociado,

- para realizar un aprendizaje con la ayuda de casos de pruebas anotados que son facilitados por un operador; y

- para identificar los casos de prueba pertinentes y los sospechosos, y para presentar al operador al menos los casos de prueba sospechosos identificados.

La presente invención permite especialmente:

15 - detectar, con más eficacia, errores en flujos de datos, utilizados por algoritmos de la cadena de algoritmos;

- ayudar a un operador encargado de la validación, a analizar estos datos; e

- incrementar la confianza en la fase de validación.

La presente invención concierne igualmente a un sistema de ayuda a la verificación y a la validación funcional de una cadena de algoritmos.

20 Según la invención, el citado sistema comprende al menos los módulos siguientes, coordinados por un sistema experto:

- un módulo de instrumentación de la cadena de algoritmos, que realiza una captura automática de datos que comprenden al menos algunos de los datos siguientes: datos de interfaz y datos internos de algoritmos de la cadena de algoritmos;

25 - un módulo de verificación automática de reglas funcionales;

- un módulo de aprendizaje para modelar por aprendizaje restricciones y criterios de algoritmos de la cadena de algoritmos, teniendo en cuenta las validaciones realizadas por un operador humano, y

- un módulo de detección automática de errores o de problemas funcionales de la cadena de algoritmos con la ayuda de medios de aprendizaje estadístico.

30 Ventajosamente, el citado sistema comprende igualmente.

- un conjunto de archivos de salvaguarda en los cuales están almacenados datos de la cadena de algoritmos, estando configurado el citado módulo de instrumentación para leer estos archivos de salvaguarda y para realizar consultas sobre los datos contenidos en estos archivos de salvaguarda; y/o

- una unidad de visualización de datos procedentes del módulo de instrumentación; y/o

35 - una unidad de entrada de datos que permite a un operador introducir datos; y/o

- una unidad de presentación de los resultados procedentes del módulo de detección de errores; y/o

- un módulo de clasificación de casos de pruebas sospechosos (o problemáticos) identificados.

La única figura 1 del dibujo anejo hará comprender bien cómo puede realizarse la invención. Esta figura 1 es el esquema sinóptico de un sistema de acuerdo con la presente invención.

40 El sistema 1 de acuerdo con la invención y representado esquemáticamente en la figura 1 está destinado a ayudar a la verificación y a la validación funcional de una cadena de algoritmos.

Según la invención, este sistema 1 comprende al menos los módulos siguientes, coordinados por un sistema experto (no representado):

- un módulo de instrumentación 2 de la cadena de algoritmos, que está formado de manera que realiza una captura automática de datos que comprenden al menos algunos de los datos siguientes: datos de interfaz y datos internos de algoritmos de la cadena de algoritmos;
 - 5 - un módulo 3 de verificación automática de reglas funcionales, que está conectado por intermedio de una conexión 4 (de transmisiones de datos) al citado módulo de instrumentación 2;
 - un módulo de aprendizaje 5 que está conectado por intermedio de una conexión 6 (de transmisiones de datos) al citado módulo de verificación 3 y que está formado de manera que modeliza por aprendizaje restricciones y criterios de algoritmos de la cadena de algoritmos, teniendo en cuenta las validaciones realizadas por un operador humano, y los datos capturados por el módulo de instrumentación 2, y
 - 10 - un módulo de detección 7 que está conectado por intermedio de una conexión 8 (de transmisiones de datos) al citado módulo de aprendizaje 5 y que está formado de manera que detecta automáticamente errores y problemas funcionales de la cadena de algoritmos, con la ayuda de medios de aprendizaje estadístico.
- El sistema 1 comprende, además, un conjunto 9 de archivos de salvaguarda en los cuales están almacenados datos de la cadena de algoritmos. El módulo de instrumentación 2 está configurado para leer estos archivos de salvaguarda y para realizar consultas sobre los datos contenidos en estos archivos de salvaguarda, como está ilustrado por una flecha doble 10.
- 15 El citado sistema 1 comprende, además:
- una unidad de visualización 11 que está conectada por intermedio de una conexión 12 al módulo de instrumentación 2 y que está formada de manera que visualiza (presentándoles por ejemplo en una pantalla no representada o imprimiéndoles) datos procedentes del módulo de instrumentación 2, a fin de que un operador pueda tener conocimiento de estos datos, y
 - 20 - una unidad de entrada de datos 13 que permite a un operación introducir datos en el sistema 1 y de modo más particular en el módulo de aprendizaje 5 (como está ilustrado por una conexión 14 en la figura 1), y especialmente validaciones realizadas por un operador.
- 25 El sistema 1 que comprende módulos (o motores) que realizan operaciones puestas en práctica de modo automático, aporta así una ayuda a la verificación y a la validación de una cadena de algoritmos (que presente fenómenos de regularidad y de reproducibilidad).
- El citado sistema 1 permite, en particular, mejorar y facilitar el trabajo de validación de algoritmos complejos utilizados especialmente en el ámbito aeronáutico. El mismo permite ayudar a un operador a detectar más rápidamente errores o « bugs » (a saber defectos de diseño y de realización de un algoritmo que se manifiestan por anomalías de funcionamiento) y problemas funcionales de la cadena de algoritmos, lo que permite disminuir el tiempo y los costes de una validación funcional de la cadena de algoritmos.
- 30 El módulo 2 de instrumentación de la cadena de algoritmos permite la entrada de datos de interfaces y/o datos internos de los algoritmos, que son pertinentes para el análisis y que son generados durante la ejecución de una cadena de algoritmos. En el momento de la ejecución de una cadena de algoritmos (o cadena algorítmica), el conjunto de los datos (entradas/salidas y datos internos pertinentes de los algoritmos) quedan almacenados en archivos de salvaguarda (por ejemplo de tipo: csv, XML, base de datos,...) del conjunto 9. El módulo de instrumentación 2 es capaz de leer estos archivos y de realizar diferentes consultas inteligentes sobre los datos contenidos en estos archivos de salvaguarda.
- 35 Además, el módulo de verificación 3 (o módulo de reglas) permite la verificación de reglas funcionales simples, gracias a un módulo de inferencia (no representado). Los usuarios del sistema están encargados de escribir las reglas funcionales simples en un diccionario de reglas. Gracias al sistema experto y al módulo de inferencia, el módulo 3 llega a combinar las reglas, a fin de determinar si existen violaciones de una o varias de estas reglas o si ciertos elementos requieren una verificación por parte del operador encargado de las pruebas.
- 40 Por otra parte, el módulo de aprendizaje 5, perteneciente al ámbito de la inteligencia artificial, permite la modelación por aprendizaje de las restricciones y de los criterios de los algoritmos. Este módulo de aprendizaje 5 permite capitalizar la experiencia adquirida durante la validación de escenarios por operadores humanos a fin de automatizar, cada vez más, esta tarea.
- 45 Para hacer esto, este módulo de aprendizaje 5 se apoya en un análisis de la estructura funcional de la cadena de algoritmos y del código, utilizando métricas de cuantificación del riesgo de que tal o cual subfunción o parte del código sea una fuente de problemas funcionales.
- 50 Par realizar el aprendizaje del módulo 5, un operador humano debe facilitar (a través de la unidad de entrada 13 especialmente) un conjunto de casos de prueba anotados sobre un conjunto de criterios y de restricciones (indicando por ejemplo si un escenario se ha desarrollado bien o en qué aspectos es defectuoso,...). Esta indicación puede ser

realizada de manera interactiva durante un trabajo de validación funcional (manual) efectuada por el operador. Gracias a esta base de pruebas y al conjunto de entradas/salidas de los algoritmos (y en particular de datos del módulo 2), el módulo 5 es capaz de identificar los casos de prueba problemáticos (o sospechosos), y de presentar al usuario los casos de prueba pertinentes y o los sospechosos, por ejemplo a través de una unidad de presentación de informaciones 19 precisada más adelante o a través de la unidad de visualización 11.

El módulo de aprendizaje 5 puede comprender medios que se basan en una de las características siguientes:

- máquinas con vector de soporte (SVM);
- un « boosting »;
- redes de neuronas para un aprendizaje supervisado o no supervisado;
- 10 - árboles de decisión;
- métodos estadísticos como, por ejemplo, un modelo de mezcla gaussiana;
- una regresión logística, y
- un análisis discriminador lineal.

Además, el módulo 7 de detección automática de errores detecta, gracias a la utilización de tecnologías (o medios) de aprendizaje estadístico, errores potenciales en la cadena de algoritmos. Un módulo de estadísticas, tenido en cuenta, realiza una correlación de los datos considerados (especialmente de datos capturados de la cadena de algoritmos) a fin de determinar reglas generales de evolución (o de variación) de las salidas de los algoritmos. Si se identifica una variación demasiado importante de las salidas de un algoritmo con respecto a una salida prevista e identificada, se emite una alerta con destino al operador (especialmente por medio de una unidad de alerta 15 que, por ejemplo, está conectada por intermedio de una conexión 16 al módulo de detección 7). Este módulo 7 permite igualmente analizar la variación de los resultados de los algoritmos a fin de detectar discontinuidades o variaciones en apariencia anormales.

Por otra parte, el sistema 1 comprende, además, un módulo de clasificación 17 de casos de prueba sospechosos (o problemáticos).

25 Cuando el sistema 1 identifica un conjunto de casos de prueba problemáticos, el módulo de clasificación 17 que recibe estos casos a través de una conexión 18 les organiza en grupos. Estos grupos son construidos de modo que se reúnan los casos de prueba por errores funcionales similares. Esto permite a los usuarios del sistema 1, a los cuales son presentados con la ayuda por ejemplo de una unidad de visualización 19 conectada por una conexión 20 al módulo de clasificación 17, no verse inmersos en un número demasiado elevado de casos de prueba, realizando un preanálisis cuantitativo de los escenarios. Los resultados son ordenados en función de su pertinencia y de métricas y son presentados así.

Se observará que la presente invención es diferente de los métodos formales que permiten probar por la lógica que el código fuente cumple bien todos los requisitos funcionales definidos. En efecto, el sistema 1 permite sacar provecho de la experiencia de un usuario a fin de facilitar la validación de código no probado.

35 Para acelerar el análisis por un operador humano en las fases de diagnóstico, el sistema 1 comprende un módulo encargado de la definición de métricas y de la visualización inteligente de estas métricas.

El sistema 1 combina así un conjunto de módulos y de servicios capaces de correlacionar, de modo pertinente, una gran masa de informaciones, y especialmente:

- informaciones presentadas directamente en los datos producidos por algoritmos de la cadena de algoritmos,
- 40 - informaciones calculadas por post-tratamientos automáticos de estos datos;
- informaciones obtenidas a priori de análisis sobre la estructura de los datos y del código; y/o
- informaciones obtenidas de un aprendizaje: aprendizaje en interacción con el operador encargado de los trabajos de validación (aprendizaje de los procedimientos de verificación) y aprendizaje de ciertos fenómenos predecibles del comportamiento de los algoritmos cuando existen tales fenómenos.

45 El citado sistema 1 permite especialmente:

- detectar, con más eficacia, errores en los flujos de datos utilizados por algoritmos de la cadena de algoritmos;
- ayudar a los operadores encargados de la validación, a analizar estos datos; y

- aumentar la confianza en la fase de validación.

REIVINDICACIONES

1. Procedimiento de ayuda a la verificación y a la validación funcional de una cadena de algoritmos, comprendiendo el citado procedimiento una sucesión de etapas que comprenden al menos:
- 5 a) una etapa de instrumentación de la cadena de algoritmos, que realiza una captura automática de datos que comprenden al menos algunos de los datos siguientes: datos de interfaz y datos internos de algoritmos de la cadena de algoritmos, consistiendo la etapa a) en leer archivos de salvaguarda en los cuales están almacenados un conjunto de datos de la cadena de algoritmos y en realizar consultas sobre los datos contenidos en los archivos de salvaguarda;
- b) una etapa de verificación automática de reglas funcionales, estando configurada la etapa b) para permitir detectar una violación de reglas y para permitir detectar si deben ser identificados elementos por un operador;
- 10 c) una etapa de aprendizaje para modelar por aprendizaje restricciones y criterios de algoritmos de la cadena de algoritmos, teniendo en cuenta las validaciones realizadas por un operador humano durante una validación funcional, y los datos capturados, utilizando el aprendizaje medios que se basan en una de las características siguientes:
- máquinas con vector de soporte;
 - redes de neuronas;

15 - árboles de decisión;

 - métodos estadísticos; y
 - un análisis discriminatorio lineal; y
- d) una etapa de detección automática de errores o de problemas funcionales de la cadena de algoritmos con la ayuda de medios de aprendizaje estadístico, realizando la etapa d) con la ayuda de medios de aprendizaje estadístico, una correlación de los datos que comprenden al menos datos de la cadena de algoritmos para determinar reglas generales de variaciones de salidas de algoritmos de la cadena de algoritmos, y emitiendo una alerta si se detecta una variación superior a un umbral dado de una salida de algoritmo, con respecto a una salida prevista.
- 20
2. Procedimiento según la reivindicación 1, caracterizado por que la etapa c) está configurada:
- para realizar un análisis de una estructura funcional de la cadena de algoritmos y de un código asociado;

25 - para realizar un aprendizaje con la ayuda de casos de prueba anotados que son facilitados por un operador; y

 - para identificar los casos de prueba pertinentes y los sospechosos, y para presentar al operador al menos los casos de prueba sospechosos identificados.
3. Procedimiento según las reivindicaciones 1 y 2, caracterizado por que la etapa d) analiza la variación de resultados de algoritmos de la cadena de algoritmos de manera que, si procede, se detecten discontinuidades y variaciones anormales.
- 30
4. Procedimiento según una cualquiera de las reivindicaciones precedentes, caracterizado por que comprende una etapa suplementaria e) de clasificación de casos de prueba sospechoso identificados.
5. Procedimiento según una cualquiera de las reivindicaciones precedentes, caracterizado por que comprende una etapa de definición de métricas y de visualización de estas métricas.
- 35
6. Sistema de ayuda a la verificación y a la validación funcional de una cadena de algoritmos, comprendiendo el citado sistema (1) un conjunto (9) de archivos de salvaguarda en los cuales están almacenados datos de la cadena de algoritmos, y al menos los módulos siguientes, coordinados por un sistema experto:
- un módulo (2) de instrumentación de la cadena de algoritmos, que realiza una captura automática de datos que comprenden al menos algunos de los datos siguientes: datos de interfaz y datos internos de algoritmos de la cadena

40 de algoritmos, estando configurado el módulo (2) de instrumentación para leer los archivos de salvaguarda y para realizar consultas sobre los datos contenidos en estos archivos de salvaguarda;

 - un módulo (3) de verificación automática de rejas funcionales, para permitir detectar una violación de reglas y para permitir detectar si deben ser verificados elementos por un operador,
 - un módulo (5) de aprendizaje para modelar por aprendizaje restricciones y criterios de algoritmos de la cadena de

45 algoritmos, teniendo en cuenta las validaciones realizadas por un operador humano durante una validación funcional y los datos capturados por el módulo (2) de instrumentación, comprendiendo el módulo de aprendizaje (5) medios que se basan en una de las características siguientes:

- máquinas con vector de soporte;
 - redes de neuronas;
 - árboles de decisión;
 - métodos estadísticos; y
- 5 • un análisis discriminatorio lineal; y
- un módulo (7) de detección automática de errores o de problemas funcionales de la cadena de algoritmos con la ayuda de medios de aprendizaje estadístico, realizando el citado módulo (5), con la ayuda de medios de aprendizaje estadístico, una correlación de los datos que comprenden al menos datos de la cadena de algoritmos para determinar reglas generales de variaciones de salidas de algoritmos de la cadena de algoritmos, siendo emitida una alerta si se detecta una variación superior a un umbral dado de una salida de un algoritmo, con respecto a una salida prevista.
- 10 7. Sistema según la reivindicación 6, caracterizado por que comprende, además, una unidad (11) de visualización de datos procedentes del módulo de instrumentación (2).
8. Sistema según una de las reivindicaciones 6 y 7, caracterizado por que comprende, además, una unidad (13) de entrada de datos que permite a un operador introducir datos.
- 15 9. Sistema según una cualquiera de las reivindicaciones 6 a 8, caracterizado por que comprende, además, una unidad (19) de presentación de resultados procedentes del módulo (7) de detección de errores.
10. Sistema según una cualquiera de las reivindicaciones 6 a 9, caracterizado por que comprende, además, un módulo (17) de clasificación de casos de prueba sospechosos identificados.
- 20 11. Conjunto que comprende una cadena de algoritmos y un sistema (1) tal como el especificado en una cualquiera de las reivindicaciones 6 a 10.

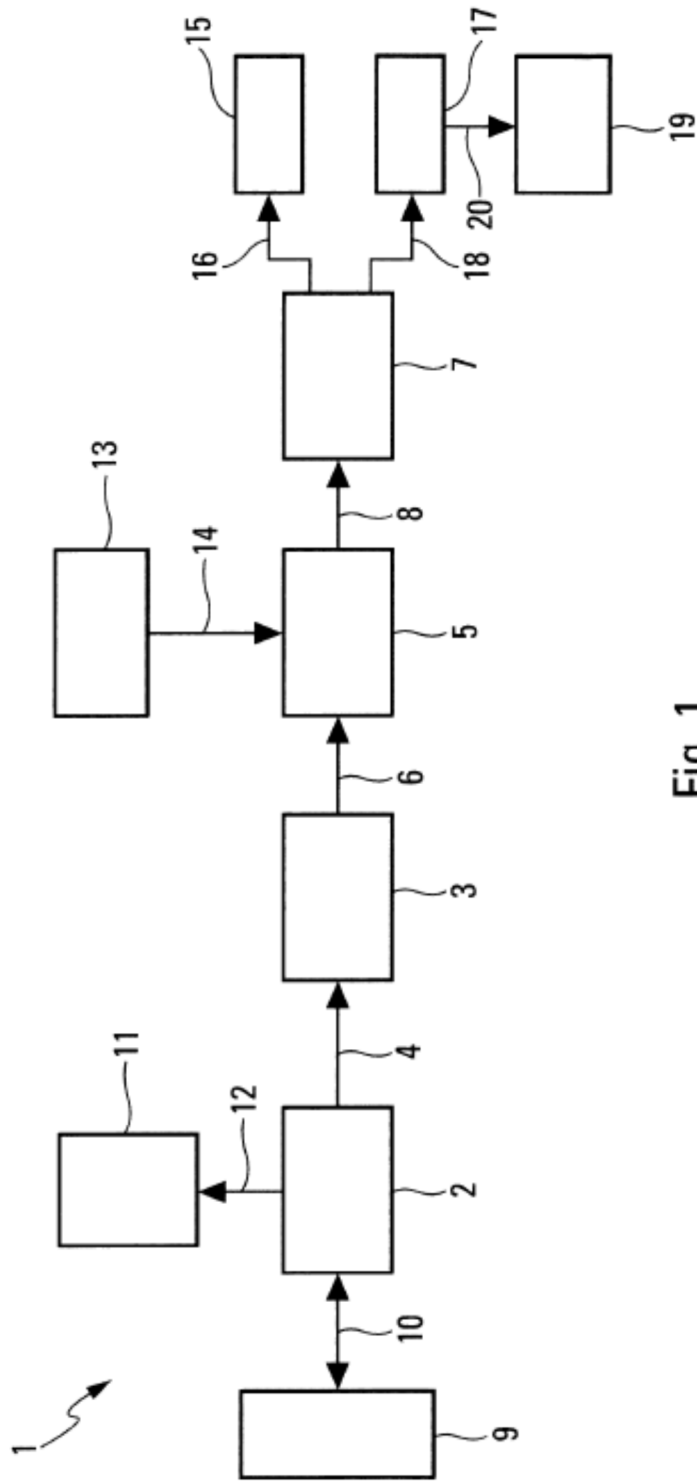


Fig. 1