

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 939 000**

51 Int. Cl.:

G05B 19/416 (2006.01)

G05B 19/4069 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **30.10.2015** **PCT/CH2015/000158**

87 Fecha y número de publicación internacional: **06.05.2016** **WO16065491**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **30.10.2015** **E 15804670 (6)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **07.12.2022** **EP 3213161**

54 Título: **Método para optimizar la productividad de un proceso de mecanizado de una máquina CNC**

30 Prioridad:

31.10.2014 US 201462073435 P

31.10.2014 US 201462073461 P

31.10.2014 US 201462073350 P

31.10.2014 US 201462073381 P

31.10.2014 US 201462073398 P

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la
traducción de la patente:
18.04.2023

73 Titular/es:

BIG DATA IN MANUFACTURING GMBH (100.0%)

Schloss Lindich 1

72379 Hechingen, DE

72 Inventor/es:

KREIDLER, VOLKER

74 Agente/Representante:

ELZABURU, S.L.P

ES 2 939 000 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 para optimizar la productividad de un proceso de mecanizado de una máquina CNC

La presente invención se refiere a un método para optimizar la productividad de un proceso de mecanizado de al menos una máquina de CNC (Computer Numerical Control, control numérico computarizado) con respecto a un programa de NC (Numerical Control, control numérico) dado.

Las máquinas de CNC a las que se hace referencia en la presente invención normalmente comprenden al menos una herramienta de mecanizado desplazable mediante uno o una pluralidad de ejes de accionamiento. El proceso de mecanizado en sí está controlado por un programa de NC (control numérico) dado que define al menos una trayectoria de herramienta para la al menos una herramienta de mecanizado, así como un perfil de velocidad de la trayectoria a lo largo de la trayectoria de la herramienta.

Con respecto al proceso de programación NC, los objetivos principales se centran principalmente en garantizar que la máquina produzca la geometría de pieza requerida y la calidad de la superficie de la pieza. Para las máquinas herramienta que ejecutan procesos de corte como fresado, rectificado y torneado, los parámetros de corte se programan de manera que, ante todo, la velocidad de corte (velocidad entre el borde de la herramienta y el material) se ajusta a las propiedades del material y las capacidades de la máquina de CNC. Sin embargo, la programación NC a día de hoy en su mayoría no maximiza todo el potencial de procesamiento de la máquina porque sus propiedades dinámicas no se entienden completamente o no se consideran completamente como se describirá ahora con respecto a un proceso de fresado. Como resultado, la productividad real de las máquinas de CNC suele estar muy lejos de la productividad máxima teórica.

Mirando más de cerca un proceso de fresado, el programador de NC está utilizando un sistema CAM (Computer Aided Manufacturing, fabricación asistida por ordenador) que genera el programa de NC para la máquina de CNC. La productividad del proceso de fresado depende en gran medida de parámetros establecidos por el sistema CAM, como la velocidad del eje, la aceleración del eje, la velocidad del husillo, la velocidad de corte y el volumen de corte de la herramienta de fresado. A día de hoy, estos parámetros normalmente se determinan de la siguiente manera.

El fabricante de la máquina proporciona la velocidad y la aceleración máximas de cada eje de accionamiento. Estos números son considerados por el programador de NC al programar los parámetros de la trayectoria de la herramienta a lo largo de la cual se desplaza la máquina herramienta durante el proceso de fresado. Para evitar cualesquiera problemas de calidad, el programador de NC generalmente elige valores de velocidad y aceleración mucho menores que los valores máximos especificados, para garantizar la calidad requerida de la pieza.

La velocidad de corte, que es la velocidad entre el borde de corte de la cortadora y el material, resulta de la velocidad de la trayectoria de la herramienta de fresado a lo largo de la trayectoria de la herramienta (velocidad de avance), de la velocidad del husillo (revolución) de accionamiento del husillo utilizado para girar la herramienta de fresado y del diseño geométrico de la cortadora de fresado, donde la velocidad del husillo es el parámetro dominante. La velocidad de corte preferida y la máxima están definidas por el proveedor de la cortadora, que es diferente para diferentes materiales. Durante el proceso de programación de NC, la velocidad de corte real normalmente se selecciona por debajo de la velocidad máxima definida por el proveedor de la cortadora, dado que el programador de NC que quiere evitar el riesgo de que la máquina se sobrecargue, que la cortadora esté envejeciendo muy rápido y que el proceso tenga como resultado superficies de piezas defectuosas.

La intersección volumétrica entre la herramienta cortadora y el material, así como el recorrido de la cortadora a lo largo de la trayectoria de la herramienta, define el volumen que se elimina durante el fresado. Cuanto mayor sea el volumen de corte, mayor será la fuerza de corte requerida y mayor será la potencia de corte requerida para la eliminación de material. Con respecto a las fuerzas y potencias de corte requeridas, los factores limitantes vienen dados por la propia herramienta de fresado, la potencia máxima del husillo así como la rigidez dinámica de la estructura de la máquina de CNC. Sin embargo, los sistemas CAM de hoy en día no proporcionan ninguna inteligencia o algoritmo para considerar esos límites para el proceso de programación NC, al menos no para las operaciones de fresado de 5 ejes. Por lo tanto, el programa de NC nuevamente usa un enfoque muy conservador con respecto al volumen de corte máximo y la carga de corte máxima.

El programa de NC generado por el sistema CAM es procesado posteriormente por un postprocesador que adapta el programa de NC al controlador CNC específico y las capacidades de la máquina de destino. Como resultado del procesamiento posterior, la productividad se reduce aún más. Finalmente, si un nuevo programa de NC se va a introducir en un controlador CNC por primera vez, la implementación y configuración del nuevo proceso de fabricación es realizada por operadores de la máquina o programadores de NC que normalmente reducen los avances y las velocidades de la máquina nuevamente antes y durante el proceso de mecanizado por motivos de seguridad.

Como resultado, el proceso de mecanizado tiene como resultado buenas piezas que cumplen todos los requisitos de calidad. Sin embargo, en cuanto a la productividad en términos de tiempo de producción por pieza, el proceso está generalmente alejado del máximo posible. Los inventores encuentran la misma situación, por ejemplo, con respecto a procesos de taladrado, torneado, corte por láser, corte por chorro de agua y soldadura.

En conclusión, se puede afirmar que la productividad máxima realista de un proceso de mecanizado está muy lejos de la productividad realmente utilizada, por las siguientes razones:

- pensamiento orientado a la seguridad y conservador del programador de NC;
- los sistemas CAM utilizan modelos de máquinas simplificados y no realistas;
- 5 - los sistemas CAM no consideran el volumen de corte para operaciones de 5 ejes;
- faltan herramientas informáticas analíticas para análisis y optimización de la productividad;
- déficits de funcionamiento del postprocesador;
- pensamiento orientado a la seguridad y conservador, del operador de la máquina;

Por lo tanto, los procesos de mecanizado CNC actuales no maximizan su potencial de productividad debido a la consideración insuficiente de los límites dinámicos de los ejes de accionamiento, la consideración insuficiente de la velocidad de corte máxima de la herramienta, la consideración insuficiente del volumen de corte.

La patente US 2014/0277686 A1 da a conocer un método para optimizar la productividad de una operación de fresado CNC calculando el valor óptimo para el valor de paso y el valor del ángulo de inclinación que producen una rugosidad superficial mínima. Como entradas, el cálculo se basa en parámetros geométricos de la cortadora de fresado, el perfil curvilíneo de la superficie de la pieza de trabajo, parámetros de radios y un ángulo inicial de inclinación de la cortadora de la herramienta. Finalmente, el valor de paso calculado y el valor del ángulo de inclinación calculado se aplican al funcionamiento de la cortadora.

Es un objetivo de la presente invención dar a conocer un método para optimizar la productividad de un proceso de mecanizado dado de al menos una máquina de CNC (Computer Numerical Control, control numérico por ordenador), definido por un programa de NC dado.

Según la invención, este objetivo se consigue mediante el método según la reivindicación 1.

El método según la invención incluye:

- aumentar iterativamente la velocidad de la trayectoria a lo largo de la trayectoria de la herramienta en comparación con el perfil de velocidad de la trayectoria definido por el programa de NC dado, donde aumentar la velocidad de la trayectoria a lo largo de la trayectoria de la herramienta se efectúa teniendo debidamente en cuenta el límite dinámico respectivo de cada uno del uno o de la pluralidad de ejes de accionamiento, en particular teniendo debidamente en cuenta la velocidad máxima del eje y la aceleración máxima del eje de cada uno del uno o de la pluralidad de ejes de accionamiento, y teniendo debidamente en cuenta los límites de procesamiento que afectan a la velocidad de la trayectoria debido a la capacidad de mecanizado de la máquina de CNC, en particular de la herramienta de mecanizado; y

- adaptar el programa de NC dado, mediante el aumento de la velocidad de la trayectoria a lo largo de la trayectoria de la herramienta.

Es decir, en la invención, aumentar la velocidad de la trayectoria a lo largo de la trayectoria de la herramienta incluye maximizar la velocidad de la trayectoria a lo largo de la trayectoria de la herramienta hasta que se alcance el límite dinámico respectivo del uno o por lo menos uno de la pluralidad de ejes de accionamiento, o hasta que se alcance al menos un límite de procesamiento.

De acuerdo con la invención, se ha observado que el pensamiento de seguridad común en la programación NC ignora que los valores máximos de velocidad y aceleración definidos por el fabricante de la máquina en realidad no reflejan ningún valor límite con respecto a la calidad adecuada de la pieza de trabajo, sino más bien un valor máximo permisible con respecto al umbral de daño de la máquina de CNC y su capacidad dinámica. De la misma manera, se ha percibido que hasta el momento se extrema la precaución con respecto a parámetros de procesamiento que afectan a la velocidad de la trayectoria como límite de procesamiento, y como tal afectan a la productividad del proceso de mecanizado.

Por ejemplo, las revoluciones de una herramienta de fresado a menudo se seleccionan por debajo de la velocidad de corte máxima realmente tolerable de la herramienta, dado que el programador de NC quiere evitar el riesgo de sobrecargas de la máquina, envejecimiento de la herramienta y superficies defectuosas de la pieza. Sin embargo, reducir las revoluciones suele ir acompañado de una reducción de la velocidad de la trayectoria, dado que es necesario mantener una relación fija entre la velocidad del husillo (revolución) y la velocidad de la trayectoria por otras razones. Como la velocidad de la trayectoria de la herramienta es directamente proporcional a la productividad de un proceso determinado, cualquier reducción innecesaria de la velocidad de la trayectoria implica automáticamente una pérdida de productividad.

Por lo tanto, en una primera etapa, la presente invención enseña a aumentar iterativamente la velocidad de la trayectoria a lo largo de la trayectoria de la herramienta en comparación con el perfil de velocidad de la trayectoria definido por el programa de NC dado, teniendo debidamente en cuenta el límite dinámico respectivo de cada uno del uno o de la pluralidad de ejes de accionamiento, en particular teniendo debidamente en cuenta la velocidad máxima del eje y la aceleración máxima del eje de cada uno del uno o de la pluralidad de ejes de accionamiento, así como teniendo debidamente en cuenta los límites de procesamiento reales que afectan a la velocidad de la trayectoria debido a la capacidad de mecanizado de la máquina de CNC. Al hacerlo, el programa de NC dado se puede adaptar mediante el aumento de la velocidad de la trayectoria a lo largo de la trayectoria de la herramienta (perfil de velocidad de la trayectoria).

Preferiblemente, aumentar o maximizar la velocidad de la trayectoria se ejecuta bloque a bloque en todo el programa de NC, que típicamente incluye una pluralidad de bloques NC, es decir, para cada bloque del programa de NC. Cada bloque NC define un subproceso específico que comprende una respectiva trayectoria de la herramienta secundaria, una velocidad de la trayectoria secundaria respectiva y otros parámetros de procesamiento, por ejemplo la velocidad del husillo (revolución) para accionar la herramienta de fresado en caso de un proceso de fresado. Cada bloque NC puede definir un único valor de la velocidad de la trayectoria (secundaria) para la trayectoria de la herramienta respectiva que representa la geometría de la trayectoria de la herramienta respectiva. Por ejemplo, si la trayectoria de la herramienta es muy curva, la velocidad de la trayectoria de la herramienta suele ser mucho menor en comparación con una trayectoria recta de la herramienta.

Por supuesto, la velocidad de la trayectoria no se puede aumentar arbitrariamente. El límite global está determinado por la calidad predefinida de la pieza de trabajo a conseguir. La forma más fácil de determinar la velocidad de la trayectoria máxima absoluta con respecto a la calidad de la pieza de trabajo predefinida sería un enfoque de prueba y error, es decir, aumentar iterativamente la velocidad de la trayectoria a lo largo de la trayectoria de la herramienta en el programa de NC y mecanizar para cada iteración una pieza de trabajo cuya calidad se va a medir. Este proceso de iteración debe repetirse hasta que la pieza de trabajo mecanizada esté fuera de la medida predefinida para la calidad de la pieza de trabajo o hasta que se alcance el límite dinámico respectivo del uno o de por lo menos uno de la pluralidad de ejes de accionamiento, o hasta que se alcanza al menos uno de los límites de procesamiento.

Sin embargo, determinar la calidad de la pieza de trabajo utilizando los sistemas de medición actuales requiere mucho tiempo, dado que es necesario esperar el resultado de cada medición respectiva antes de la siguiente iteración. Si la pieza de trabajo mecanizada es muy compleja, podría llevar días o incluso semanas determinar la calidad de la pieza de trabajo. A día de hoy, la forma más común de medir piezas es transferir la pieza terminada a un dispositivo de medición. La desventaja de este enfoque es el hecho de que la fabricación y la medición son dos procesos prácticamente desconectados. Por lo general, no hay medición dentro de la máquina, excepto en algunos casos de mediciones en proceso que, sin embargo, solo permiten mediciones simples, como la medición de la posición de un orificio.

De acuerdo con una realización preferida de la presente invención, optimizar la productividad se puede conseguir utilizando un método basado en simulación para el análisis de calidad "en línea" de un proceso de mecanizado CNC, tal como se da a conocer en las solicitudes de patente provisional de EE. UU. US 62/073,381, titulada "Virtual Quality- and Process-Control in Discrete Parts Manufacturing", tal como se describe en las solicitudes de patentes provisional de EE. UU. US 62/073,350, titulada "Digital Machine Models" y tal como se describe en la solicitud de patente internacional bajo PCT, titulada "A computer-implemented method for part analytics of a workpiece machined by at least one CNC machine", expediente número BE-22975-WO, presentada el 30 de octubre de 2015 por el mismo solicitante de US 62/073,381, US 62/073,350 y de la presente solicitud. La idea básica es simular el respectivo proceso de mecanizado considerado, por medio de un modelo de máquina digital de la máquina de CNC que recibe datos de proceso en tiempo real y no en tiempo real registrados durante el proceso de mecanizado. La simulación produce un modelo virtualmente rediseñado de la pieza de trabajo realmente mecanizada que puede compararse fácilmente con un modelo CAD ideal de la pieza de trabajo. Basándose en esta comparación, la calidad de la pieza de trabajo puede determinarse directamente. El modelo de máquina digital puede ser un modelo de simulación de múltiples cuerpos, un modelo FEM o simplemente un modelo cinemático geométrico puro de la máquina de CNC.

El método puede implementarse como una aplicación de servidor en una plataforma basada en la nube a la que se transfieren los datos registrados. La grabación de datos de la máquina de CNC y la transferencia de datos a la plataforma en la nube pueden realizarse mediante un dispositivo cliente, como se da a conocer en la solicitud de patente provisional de EE. UU. US 62/073,398, titulada "Big Data-Client for Embedded Systems", y como se da a conocer en la solicitud de patente internacional bajo PCT, titulada "A client device for data acquisition and pre-processing of process-related mass data from at least one CNC machine or industrial robot", expediente número BE-22976-WO, presentada el 30 de octubre de 2015 por el mismo solicitante de la US 62/073,398 y de la presente solicitud.

Dado que el método descrito anteriormente se basa en el registro "en línea" de los datos de proceso en paralelo al mecanizado y dado que el método se implementa preferiblemente en un servidor basado en la nube, el resultado de la aplicación de análisis de calidad descrita anteriormente puede estar disponible casi instantáneamente o poco tiempo después de que haya terminado el proceso de mecanizado. Por lo tanto, la información sobre las formas geométricas y las superficies o la rugosidad de la superficie de la pieza de trabajo puede estar disponible en el proceso o

inmediatamente después del proceso de mecanizado, respectivamente, proporcionando así información instantánea sobre la calidad de la pieza de trabajo. Por esta razón, este método de análisis permite reducir enormemente el tiempo para optimizar la velocidad de la trayectoria utilizando el enfoque de prueba y error descrito anteriormente.

De acuerdo con la invención, maximizar la velocidad de la trayectoria incluye

- 5 a) mecanizar una pieza de trabajo basándose en el programa de NC real y registrar datos de proceso en tiempo real y no en tiempo real durante el proceso de mecanizado considerado;
- b) simular el proceso de mecanizado considerado, por medio de un modelo de máquina digital que recibe los datos de proceso en tiempo real y no en tiempo real registrados, para volver a diseñar virtualmente la pieza de trabajo mecanizada, durante el mecanizado registrado considerado;
- 10 c) determinar la calidad de la pieza de trabajo mecanizada con respecto a una medida de calidad predefinida, comparando la pieza de trabajo virtualmente rediseñada con un modelo de diseño asistido por ordenador (CAD) de la pieza de trabajo;
- d) aumentar la velocidad de la trayectoria a lo largo de la trayectoria de la herramienta en el programa de NC;
- 15 e) repetir las etapas a) a d) hasta que la pieza de trabajo virtualmente rediseñada esté fuera de la medida predefinida para la calidad de la pieza de trabajo o hasta que se alcance el límite dinámico respectivo del uno o por lo menos uno de la pluralidad de ejes de accionamiento, o hasta que se alcance al menos uno de los límites de procesamiento.

En cuanto a los datos a registrar, los datos de proceso en tiempo real registrados pueden incluir principalmente parámetros de la trayectoria de la herramienta, en particular una posición comandada y/o real, una velocidad comandada y/o real, una aceleración comandada y/o real, una sacudida comandada y/o real, un par comandado y/o real, una fuerza de accionamiento comandada y/o real, y/o una corriente de accionamiento comandada y/o real con respecto a los ejes de accionamiento de la máquina de CNC. Además, los datos en tiempo real pueden comprender datos de dispositivos de medición externos conectados a la máquina de CNC. Los datos de proceso no en tiempo real registrados pueden incluir el código de programa de NC, datos de configuración de la máquina, datos de configuración del controlador, datos de configuración de accionamiento, propiedades del material de la pieza de trabajo, acciones del usuario durante el proceso de mecanizado y/o datos de configuración de la herramienta de procesamiento, en particular geometría del utillaje y/o característica del utillaje.

De acuerdo con otra realización preferida de la invención, el método incluye, como una especie de segunda etapa para optimizar la productividad, aumentar los límites de procesamiento que afectan a la velocidad de la trayectoria para aumentar más la velocidad de la trayectoria a lo largo de la trayectoria de la herramienta, lo que a su vez debe efectuarse teniendo debidamente en cuenta el límite dinámico respectivo de cada uno del uno o de la pluralidad de ejes de accionamiento y así como teniendo debidamente en cuenta los límites de procesamiento ahora incrementados.

Preferiblemente, el aumento de los límites de procesamiento para aumentar más la velocidad de la trayectoria puede conseguirse aumentando la capacidad de mecanizado lo que, a su vez, puede conseguirse aumentando al menos un parámetro de mecanizado que sea capaz de aumentar la capacidad de mecanizado. Con respecto a una maximización de la velocidad de la trayectoria y la productividad, el al menos un parámetro de mecanizado debe aumentarse preferentemente hasta que se alcance un límite del respectivo parámetro de mecanizado.

De acuerdo con la invención, se ha observado que además de los límites dinámicos de la máquina de CNC, los límites de procesamiento debidos a la capacidad de mecanizado limitada de la máquina de CNC que afectan a la velocidad de la trayectoria son a menudo el límite predominante para la productividad global. Por ejemplo, se considera una máquina de corte por láser que permita una velocidad máxima de 100 m/min y una aceleración de 1 g. La energía del rayo láser es, por ejemplo, 1 kw. Suponiendo que el material es una placa de acero de 10 mm de espesor, la velocidad máxima del láser que se puede aplicar durante el proceso está solo en el rango de unos pocos m/min porque si la máquina fuera más rápida, la energía del rayo láser no sería lo suficientemente elevada como para cortar acero de 10 mm de espesor. En este caso, los ejes de la máquina no son el factor limitante del proceso de corte por láser. Viceversa, si la misma máquina de corte por láser (velocidad máxima 100 m/min; aceleración máxima 1 g; potencia máxima del láser 1 kW) va a cortar láminas de metal muy delgadas con un espesor de 0,1 mm, la potencia del láser es lo suficientemente elevada como para cortar este material delgado incluso a una velocidad de más de 100 m/min. En este caso la velocidad y la aceleración máximas de los ejes de la máquina serán el factor limitante.

En general, el al menos un parámetro de mecanizado capaz de aumentar la capacidad de mecanizado puede ser uno de:

- en el caso de una máquina fresadora o taladradora: la velocidad del husillo y la potencia de husillo para del husillo para accionar la herramienta de fresado o taladrado;

- en el caso de una máquina de torneado: la velocidad del husillo y la potencia de husillo del husillo para impulsar la pieza de trabajo;

- en el caso de una máquina de corte por láser: la potencia del rayo láser, la densidad de energía del rayo láser y el tamaño del punto del rayo láser;

- 5 - en el caso de una máquina de corte por chorro de agua: la presión del chorro de agua, el tamaño del punto del chorro de agua, la cantidad de abrasivo añadido.

Con respecto al límite del respectivo parámetro de mecanizado, éste puede ser determinado por

- 10 - en el caso de una máquina fresadora o taladradora: velocidad máxima del husillo y/o potencia máxima del husillo del husillo para accionar la herramienta de fresado o taladrado y/o velocidad de corte máxima de la herramienta de fresado o taladrado y/o volumen de corte máximo por tiempo de herramienta de fresado o taladrado y/o la carga de corte máxima;

- en el caso de una máquina de torneado: velocidad máxima del husillo y/o potencia máxima del husillo del husillo para impulsar la pieza de trabajo y/o velocidad de corte máxima de la herramienta de torneado y/o volumen de corte máximo por tiempo de la herramienta de torneado y/o carga de corte máxima;

- 15 - en el caso de una máquina de corte por láser: potencia máxima del rayo láser y/o densidad de energía máxima del rayo láser y/o tamaño mínimo del punto del rayo láser;

- en el caso de una máquina de corte por chorro de agua: presión máxima del chorro de agua, tamaño mínimo del punto del chorro de agua, cantidad máxima de abrasivo añadido.

- 20 Volviendo al ejemplo anterior de corte por láser, si la potencia real del láser establecida actualmente en el programa de NC dado es el límite predominante para la velocidad de la trayectoria y si la potencia máxima del láser permite aumentar más la capacidad de mecanizado, la potencia real del láser puede aumentarse para aumentar este límite de procesamiento y permitir un mayor aumento de la velocidad de la trayectoria.

- 25 Para tener en cuenta el límite de procesamiento aumentado, el método puede comprender además adaptar el programa de NC dado, mediante el al menos un parámetro de mecanizado aumentado capaz de aumentar la capacidad de mecanizado.

- 30 Con respecto a que la carga de corte máxima o el volumen de corte máximo por tiempo sean límites de procesamiento, el método puede comprender además determinar el volumen de corte máximo y/o real del taladrado, del fresado o de la herramienta de fresado y/o la carga de corte máxima y/o real para el programa de NC dado, usando una simulación de eliminación de material. Tal simulación de eliminación de material, especialmente para máquinas de 5 ejes, puede ser proporcionada por un sistema CAM, lo que permite determinar el volumen de material que es eliminado, mediante la intersección entre el cuerpo envolvente de la cortadora giratoria a lo largo de su trayectoria y el material y el recorrido de la máquina.

- 35 Alternativa o adicionalmente, el volumen de corte máximo y/o real del taladrado, del fresado o de la herramienta de fresado y/o la carga de corte máxima y/o real para el programa de NC dado se puede medir/registrar en tiempo real durante un proceso de mecanizado en curso. Para aplicaciones de desbaste, la fuerza de corte es proporcional a la corriente que consume el motor del husillo. Por lo tanto, al registrar la corriente del motor del husillo, se puede calcular la fuerza de corte y, por lo tanto, la carga de corte. Alternativamente, el husillo de fresado puede equiparse con un dinamómetro-sensor que permite medir las fuerzas de fresado durante el proceso de mecanizado. Además, se pueden utilizar nuevas denominadas "herramientas inteligentes" que comprenden sensores integrados para medir desviaciones, aceleraciones, fuerzas de corte, temperaturas y momentos.

- 40 De acuerdo con otra realización de la invención, el método puede proporcionar además una medida o información sobre el potencial de productividad no utilizado del programa de NC dado. Para esto, el método puede comprender además determinar el potencial de productividad no utilizado del programa de NC dado determinando la diferencia entre el tiempo de procesamiento del programa de NC dado a optimizar y el tiempo de procesamiento del programa de NC adaptado. El tiempo de procesamiento del NC dado así como del programa optimizado puede determinarse ejecutando una simulación del programa de NC, midiendo así el tiempo de procesamiento. Alternativamente, el tiempo de procesamiento puede medirse directamente en tiempo real durante el proceso de mecanizado.

- 45 De acuerdo con otra realización de la invención, los límites de mecanizado que afectan a la velocidad de la trayectoria - en el caso de una máquina fresadora - pueden incrementarse más adaptando la estrategia de mecanizado mediante

- 50 - aumentar la profundidad de corte; y/o
- usar una cortadora de fresado más grande; y/o
- utilizar una cortadora de fresado con una geometría diferente; y/o

- adaptar la fijación de la pieza de trabajo a fresar.

Otras ventajas de la presente invención surgen del uso del ejemplo de realización ilustrado en el siguiente texto y en combinación con la figura.

Figura 1 ilustra un ejemplo de una arquitectura de sistema que puede ser utilizada por el método según la presente invención para optimizar la productividad de un proceso de mecanizado de una máquina de CNC.

Para ilustrar detalles del método según la presente invención, se considera un proceso de fresado que usa una máquina fresadora CNC de 5 ejes que está definido por un programa de NC dado. De acuerdo con la presente invención, el programa de NC debe optimizarse aumentando, preferiblemente maximizando, la velocidad de la trayectoria a lo largo de la trayectoria de la herramienta en comparación con el perfil de velocidad de la trayectoria definido por el programa de NC dado. Para ello, aumentar la velocidad de la trayectoria a lo largo de la trayectoria de la herramienta debe efectuarse teniendo debidamente en cuenta el límite dinámico respectivo de cada uno de los cinco ejes de accionamiento, en particular teniendo debidamente en cuenta la velocidad máxima del eje y la aceleración máxima del eje de cada eje de accionamiento.

Sin embargo, aumentar la velocidad de la trayectoria a lo largo de la trayectoria de la herramienta también debe efectuarse teniendo debidamente en cuenta los límites de procesamiento que afectan a la velocidad de la trayectoria debido a la capacidad de mecanizado de la máquina de CNC, en particular de la herramienta de fresado. En el presente ejemplo, los límites de procesamiento que afectan a la velocidad de la trayectoria son la velocidad de corte máxima, así como la carga de corte máxima o el volumen de corte máximo, respectivamente. La velocidad de corte máxima, a su vez, está limitada por la tecnología de la cortadora y el material de la cortadora. La carga de corte máxima/el volumen de corte máximo, que es proporcional a la fuerza de corte, representa una carga estática y dinámica en la cortadora. La cortadora, el soporte de la cortadora, el husillo y, en definitiva, toda la estructura de la máquina solo pueden manejar fuerzas estáticas y dinámicas limitadas. Si las fuerzas exceden las capacidades estructurales de toda la máquina, esto puede conducir a desviaciones de trayectoria causadas por la desviación y torsión de la estructura de la máquina, a problemas de calidad de la superficie debido a ángulos y distancias incorrectos entre la cortadora y el material, a problemas de rugosidad de la superficie debido a vibraciones, así como a un desgaste rápido de la herramienta. Dado que el parámetro general para aumentar la productividad está determinado por la calidad de la pieza de trabajo a conseguir, el método de optimización según la invención enseña a maximizar la velocidad de la trayectoria mediante

a) mecanizar una pieza de trabajo basándose en el programa de NC real y registrar datos de proceso en tiempo real y no en tiempo real durante el proceso de mecanizado considerado;

b) simular el proceso de mecanizado considerado, por medio de un modelo de máquina digital que recibe los datos de proceso en tiempo real y no en tiempo real registrados, para volver a diseñar virtualmente la pieza de trabajo mecanizada, durante el mecanizado registrado considerado;

c) determinar la calidad de la pieza de trabajo mecanizada con respecto a una medida de calidad predefinida, comparando la pieza de trabajo virtualmente rediseñada con un modelo de diseño asistido por ordenador (CAD) de la pieza de trabajo;

d) aumentar la velocidad de la trayectoria a lo largo de la trayectoria de la herramienta en el programa de NC;

e) repetir las etapas a) a d) hasta que la pieza de trabajo virtualmente rediseñada esté fuera de la medida predefinida para la calidad de la pieza de trabajo o hasta que se alcance el límite dinámico respectivo del uno o por lo menos uno de la pluralidad de ejes de accionamiento, o hasta que se alcance al menos uno de los límites de procesamiento.

La figura 1 ilustra esquemáticamente una arquitectura de sistema para analizar instantáneamente la calidad de una pieza de trabajo según lo requerido por las etapas b) y c). Este sistema permite registrar los datos de proceso en tiempo real y no en tiempo real de una máquina de CNC 10 y transferir dichos datos a una plataforma en la nube 20 en la que se puede implementar un método de análisis de calidad.

La máquina de CNC 10 es manejada por un controlador CNC 11 y comprende accionamientos eléctricos 13.1-13.5 para cada dispositivo de accionamiento 14.1-14.5 de los respectivos ejes de la máquina. El mecanizado de una pieza de trabajo específica por la máquina de CNC se basa en comandos de mecanizado debido al programa de NC dado que son convertidos por la máquina de CNC 10 en acciones de mecanizado, es decir, en movimientos de los dispositivos de accionamiento 14.1-14.5 de los diferentes ejes de la máquina y en un movimiento giratorio de un dispositivo de accionamiento de husillo 16 de la herramienta de fresado. Estos dispositivos de accionamiento pertenecen a la parte mecánica/de mecanizado 18 de la máquina de CNC 10. Para ello, el controlador CNC 11 genera valores de comando correspondientes para cada eje y la herramienta de fresado, que se comunican a través de un bus de campo local 12 a los accionamientos eléctricos 13.1-13.5 de todos los ejes y al accionamiento del husillo eléctrico 17 del dispositivo de accionamiento del husillo 16. El bus de campo 12 es un bus de campo de comunicación en tiempo real utilizado para la comunicación interna de la máquina de CNC 10 entre el controlador

CNC 11 y los accionamientos eléctricos 13.1-13.5, 17. Los sensores/dispositivos de medición integrados en la máquina 15.1-15.5 utilizados para medir las posiciones reales de cada eje también pueden estar conectados al bus de campo 12. Para controlar el movimiento a lo largo de cada eje, los dispositivos de medición integrados en la máquina 15.1-15.5, por ejemplo escalas lineales de alta resolución, miden continuamente la posición real para la retroalimentación a través del bus de campo 12 al controlador CNC 11.

También haciendo referencia a la figura 1, la máquina de CNC 10 está conectada a un dispositivo cliente 1 tal como se da a conocer en la solicitud de patente provisional de EE. UU. US 62/073,398, titulada "Big Data-Client for Embedded Systems", y tal como se da a conocer en la solicitud de patente internacional bajo PCT, titulada "A client device for data acquisition and pre-processing of process-related mass data from at least one CNC machine or industrial robot", expediente número BE-22976-WO, presentada el 30 de octubre de 2015 por el mismo solicitante que la patente US 62/073,398 y la presente solicitud.

El dispositivo cliente 1 está configurado para registrar y preprocesar los datos de masa de proceso de la máquina de CNC 10, así como para transmitir dichos datos de masa de proceso a la plataforma en la nube 20. Para ello, el dispositivo de cliente 1 comprende una primera interfaz de comunicación de datos 2 con el controlador CNC 11 de la máquina de CNC 10, para registrar continuamente los datos de proceso en tiempo real a través de un canal de datos en tiempo real 7 y para registrar los datos de proceso no en tiempo real a través de al menos un canal de datos no en tiempo real 8. Con fines de control de calidad, los datos de proceso en tiempo real registrados pueden incluir principalmente parámetros de la trayectoria de la herramienta, en particular posiciones comandadas y/o reales; y además los datos mencionados anteriormente. Además, está instalado un sensor de fuerza 30 en el dispositivo de accionamiento del husillo 17 de la herramienta de fresado 16 que está conectado directamente al dispositivo cliente 1 a través de la interfaz de datos adicional 4. Tener acceso a estos datos de fuerza de fresado puede permitir determinar la carga de corte, que es un límite de procesamiento que afecta la productividad del proceso de fresado, como se explicó anteriormente. También con respecto al análisis de calidad, los datos de proceso no en tiempo real registrados pueden incluir principalmente datos de configuración de la herramienta de procesamiento, en particular la geometría del utillaje y/o las características del utillaje, así como el código de programa de NC, datos de configuración de la máquina, datos de configuración del controlador, datos de configuración de accionamiento, propiedades del material de la pieza de trabajo.

El dispositivo cliente 1 comprende además una segunda interfaz de comunicación de datos 3 para transmitir los datos de proceso registrados a la plataforma en la nube 20. El dispositivo cliente también está configurado para preprocesar los datos registrados antes de su transmisión al servidor 20, en particular para contextualizar los datos no en tiempo real registrados, con los datos en tiempo real registrados, como se ha descrito anteriormente.

Ahora, haciendo referencia nuevamente a las etapas b) y c) de la presente realización a modo de ejemplo del método, la reingeniería de la pieza de trabajo mecanizada por la máquina fresadora 10 se puede realizar calculando primero la trayectoria de herramienta de la herramienta de fresado en base a una máquina digital modelo dotada de los datos de proceso en tiempo real y no en tiempo real registrados durante el proceso de mecanizado. Más fácilmente, la trayectoria real de la herramienta puede calcularse proporcionando a un modelo cinemático de la máquina de CNC 10 las posiciones reales de los ejes de accionamiento utilizados para mover la herramienta de fresado, registradas durante cada proceso de mecanizado. Posteriormente, es necesario considerar las características de la geometría y del fresado de la herramienta de fresado para rediseñar las superficies de la pieza de trabajo a lo largo de las trayectorias de la herramienta simulada. Esta reingeniería virtual puede efectuarse simplemente mediante simulación de eliminación de material, como generalmente se sabe de la técnica anterior. Para cada iteración, esta reingeniería produce una superficie virtual de la pieza de trabajo realmente mecanizada y, lo que es más importante, casi instantáneamente con respecto al final del proceso de fresado.

Debido a este rápido tiempo de respuesta del método de análisis de calidad descrito, la maximización de la velocidad de la trayectoria con respecto a la calidad de la pieza de trabajo predefinida se puede realizar eficientemente utilizando el enfoque de prueba y error descrito, es decir, para aumentar iterativamente la velocidad de la trayectoria a lo largo de la trayectoria de la herramienta en el programa de NC y mecanizar para cada iteración una pieza cuya calidad está determinada por dicho método de análisis de calidad, hasta que la pieza de trabajo mecanizada esté fuera de la medida predefinida para la calidad de la pieza de trabajo o hasta que se alcanza el límite dinámico respectivo del uno o por lo menos uno de la pluralidad de ejes de accionamiento, o hasta que se alcanza al menos uno de los límites de procesamiento. En particular para la producción en serie, tal enfoque de prueba y error puede ser razonable si se compara con la complejidad de los métodos de optimización basados en simulación hacia adelante.

Además, los datos en tiempo real y no en tiempo real registrados incluyen automáticamente el tiempo de procesamiento para mecanizar la pieza de trabajo respectiva para cada iteración. Por lo tanto, el método descrito proporciona, además, automáticamente información adicional sobre el potencial de productividad no utilizado del programa de NC dado, que es la diferencia entre el tiempo de procesamiento del programa de NC dado (inicial) a optimizar y el tiempo de procesamiento del programa de NC adaptado.

REIVINDICACIONES

1. Un método para optimizar la productividad de un proceso de mecanizado de al menos una máquina de control numérico computarizado CNC, comprendiendo la máquina de CNC al menos una herramienta de mecanizado desplazable mediante uno o una pluralidad de ejes de accionamiento, estando controlado el proceso de mecanizado por un programa de NC, control numérico, dado que define al menos una trayectoria de la herramienta para la al menos una herramienta de mecanizado y un perfil de velocidad de la trayectoria a lo largo de la trayectoria de la herramienta, donde el método incluye
- 5 - aumentar iterativamente la velocidad de la trayectoria a lo largo de la trayectoria de la herramienta en comparación con el perfil de velocidad de la trayectoria definido por el programa de NC dado,
- 10 en el que aumentar iterativamente la velocidad de la trayectoria a lo largo de la trayectoria de la herramienta se efectúa teniendo en cuenta el límite dinámico respectivo de cada uno del uno o de la pluralidad de ejes de accionamiento, en el que los límites dinámicos que se tienen en cuenta son la velocidad máxima del eje y la aceleración máxima del eje de cada uno del uno o de la pluralidad de ejes de accionamiento, y teniendo en cuenta los límites de procesamiento que afectan a la velocidad de la trayectoria debido a la capacidad de mecanizado de la máquina de CNC,
- 15 en el que aumentar iterativamente la velocidad de la trayectoria a lo largo de la trayectoria de la herramienta incluye maximizar la velocidad de la trayectoria a lo largo de la trayectoria de la herramienta hasta que se alcance el límite dinámico respectivo del uno o por lo menos uno de la pluralidad de ejes de accionamiento, o hasta que se alcance al menos uno de los límites de procesamiento,
- 20 en el que maximizar la velocidad de la trayectoria incluye
- a) mecanizar una pieza de trabajo basándose en el programa de NC real y registrar datos de proceso en tiempo real y no en tiempo real durante el proceso de mecanizado considerado;
- b) simular el proceso de mecanizado considerado, por medio de un modelo de máquina digital que recibe los datos de proceso en tiempo real y no en tiempo real registrados, para volver a diseñar virtualmente la pieza de trabajo mecanizada, durante el mecanizado registrado considerado;
- 25 c) determinar la calidad de la pieza de trabajo mecanizada con respecto a una medida de calidad predefinida, comparando la pieza de trabajo virtualmente rediseñada con un modelo de diseño asistido por ordenador (CAD) de la pieza de trabajo;
- d) aumentar la velocidad de la trayectoria a lo largo de la trayectoria de la herramienta en el programa de NC;
- 30 e) repetir las etapas a) a d) hasta que la pieza de trabajo virtualmente rediseñada esté fuera de la medida predefinida para la calidad de la pieza de trabajo o hasta que se alcance el límite dinámico respectivo del uno o por lo menos uno de la pluralidad de ejes de accionamiento, o hasta que se alcance al menos uno de los límites de procesamiento;
- adaptar el programa de NC dado, mediante la mayor velocidad de la trayectoria a lo largo de la trayectoria de la herramienta.
- 35
2. El método según la reivindicación 1, en el que se tienen en cuenta los límites de procesamiento que afectan a la velocidad de la trayectoria debido a la capacidad de mecanizado de la herramienta de mecanizado.
3. El método según la reivindicación 1 o la reivindicación 2, en el que los datos de proceso en tiempo real registrados incluyen
- 40 - parámetros de trayectoria de la herramienta de al menos una herramienta de procesamiento, preferiblemente al menos uno de una posición comandada y/o real, una velocidad comandada y/o real, una aceleración comandada y/o real, una sacudida comandada y/o real, un par comandado y/o real, una fuerza de accionamiento comandada y/o real y/o una corriente de accionamiento comandada y/o real, con respecto a, por lo menos, un eje de accionamiento lineal o giratorio; y/o
- 45 - una fuerza, par, presión, torsión, flexión, deformación, vibración, temperatura y/o consumo de energía relacionados con el proceso, de al menos una parte de la máquina de CNC; y
- en el que los datos de proceso no en tiempo real registrados incluyen
- un código de programa de NC (control numérico) y/o datos de configuración del programa de NC, preferiblemente una línea de programa de NC activa respectiva o bloque NC respectivo; y/o
- 50 - datos de configuración de la máquina, datos de configuración de accionamiento y/o datos de configuración del controlador; y/o

- propiedades materiales de la pieza de trabajo; y/o

- acciones del usuario durante el proceso de mecanizado; y/o

- datos de configuración de una herramienta de procesamiento, preferiblemente geometría del utillaje y/o característica del utillaje, más preferiblemente eliminación de material.

5 4. El método según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3, en el que el modelo de máquina es un modelo cinemático, un modelo de simulación de múltiples cuerpos o un modelo de método de elementos finitos (FEM) de la máquina de CNC.

10 5. El método según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, donde el método incluye aumentar los límites de procesamiento que afectan a la velocidad de la trayectoria para aumentar más la velocidad de la trayectoria a lo largo de la trayectoria de la herramienta teniendo en cuenta el límite dinámico respectivo de cada uno de los ejes de accionamiento y teniendo en cuenta el aumento de los límites de procesamiento.

15 6. El método según la reivindicación 4, en el que aumentar los límites de procesamiento a la velocidad de la trayectoria incluye aumentar la capacidad de mecanizado aumentando al menos un parámetro de mecanizado capaz de aumentar la capacidad de mecanizado, preferiblemente hasta alcanzar un límite del parámetro de mecanizado respectivo.

7. El método según la reivindicación 6, en el que el al menos un parámetro de mecanizado capaz de aumentar la capacidad de mecanizado es uno de

- en el caso de una máquina fresadora o taladradora: la velocidad del husillo y la potencia de husillo del husillo para accionar la herramienta de fresado o taladrado;

20 - en el caso de una máquina de torneado: la velocidad del husillo y la potencia de husillo del husillo para impulsar la pieza de trabajo;

- en el caso de una máquina de corte por láser: la potencia del rayo láser, la densidad de energía del rayo láser y el tamaño del punto del rayo láser;

25 - en el caso de una máquina de corte por chorro de agua: la presión del chorro de agua, el tamaño del punto del chorro de agua, la cantidad de abrasivo añadido.

8. El método según la reivindicación 6 o 7, en el que el límite del parámetro de mecanizado respectivo se determina mediante

30 - en el caso de una máquina fresadora o taladradora: la velocidad máxima del husillo y/o la potencia máxima del husillo del husillo para accionar la herramienta de fresado o taladrado, y/o la velocidad de corte máxima de la herramienta de fresado o taladrado y/o el volumen de corte máximo por tiempo de la herramienta de fresado o taladrado y/o la carga de corte máxima;

- en el caso de una máquina de torneado: la velocidad máxima del husillo y/o la potencia máxima del husillo del husillo para impulsar la pieza de trabajo, y/o la velocidad de corte máxima de la herramienta de torneado y/o el volumen de corte máximo por tiempo de la herramienta de torneado, y/o carga de corte máxima;

35 - en el caso de una máquina de corte por láser: la potencia máxima del rayo láser y/o la densidad de energía máxima del rayo láser y/o el tamaño mínimo del punto del rayo láser;

- en el caso de una máquina de corte por chorro de agua: la presión máxima del chorro de agua, el tamaño mínimo del punto del chorro de agua, la cantidad máxima de abrasivo añadido.

40 9. El método según cualquiera de las reivindicaciones 6 a 8, donde el método comprende además determinar el volumen de corte máximo del taladrado, del fresado o de la herramienta de fresado y/o la carga de corte máxima utilizando una simulación de eliminación de material.

10. El método según cualquiera de las reivindicaciones 6 a 9, donde el método comprende además adaptar el programa de NC dado, mediante el al menos un parámetro de mecanizado incrementado capaz de aumentar la capacidad de mecanizado.

45 11. El método según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, donde el método incluye además determinar el potencial de productividad no utilizado del programa de NC determinado, mediante determinar la diferencia entre el tiempo de procesamiento del programa de NC dado a optimizar y el tiempo de procesamiento del programa de NC adaptado.

50 12. El método según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 11, en el que la reingeniería virtual se implementa como una aplicación de servidor en al menos un servidor de una red interna o de una red abierta o de internet,

preferiblemente como un servicio basado en la nube o una aplicación basada en la nube que reside en una plataforma en la nube, a los que se transfieren datos de proceso en tiempo real y no en tiempo real registrados, preferiblemente después del preprocesamiento.

- 5 13. El método según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 12, en el que la reingeniería virtual de la pieza de trabajo incluye calcular la trayectoria de herramienta de una herramienta de procesamiento de la máquina de CNC por medio del modelo de máquina digital en base, al menos parcialmente, a los datos de proceso en tiempo real y no en tiempo real registrados, y aplicar una simulación de eliminación de material o en una simulación de adición de material.
- 10 14. El método según cualquiera de las reivindicaciones 5 a 13, en el que, en el caso de una máquina fresadora, aumentar los límites de mecanizado a la velocidad de la trayectoria incluye adaptar la estrategia de mecanizado mediante
- aumentar la profundidad de corte;
 - utilizar una cortadora de fresado más grande;
 - utilizar una cortadora de fresado con una geometría diferente;
- 15 - adaptar la fijación de la pieza de trabajo a fresar.

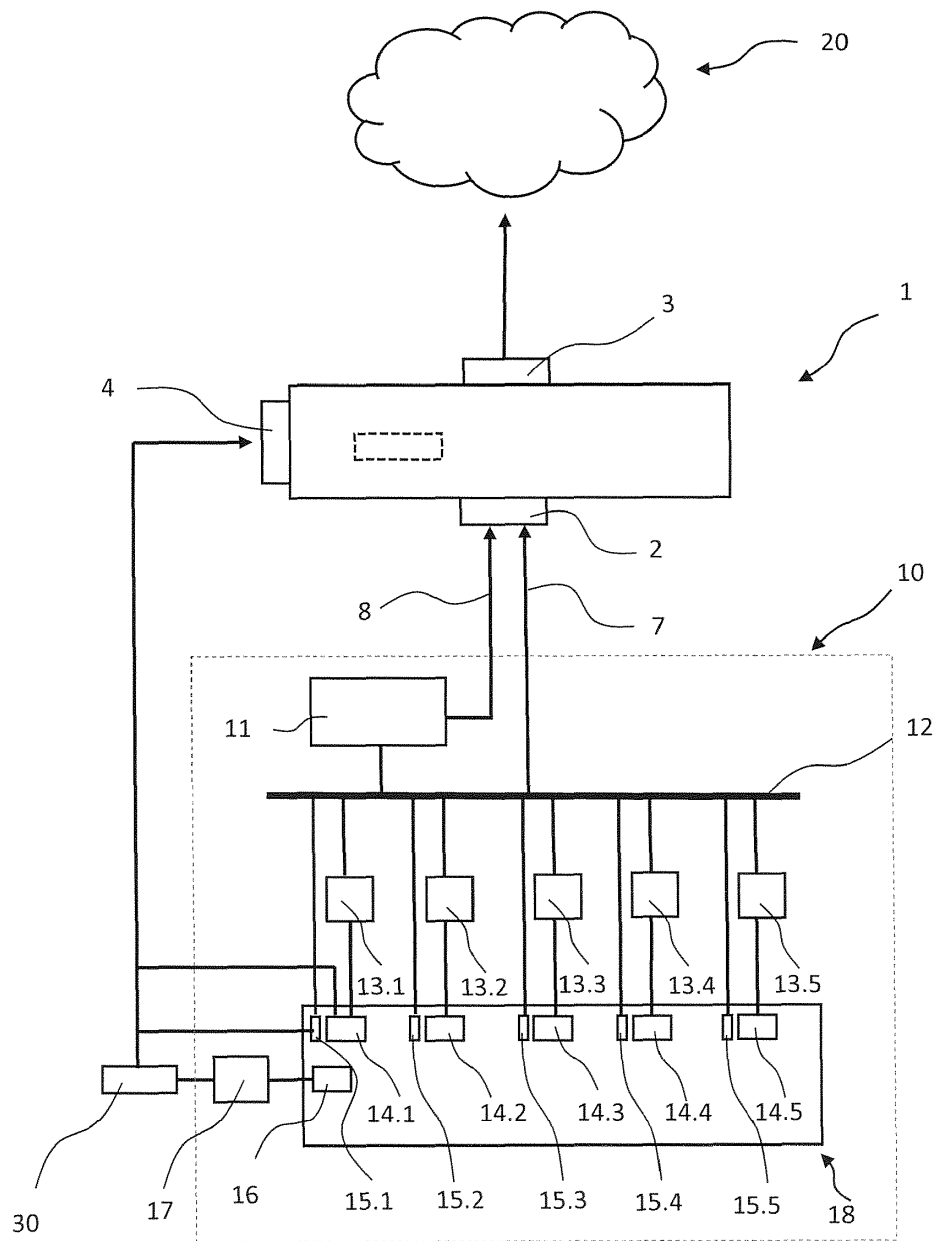


FIG. 1