



19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

11 Número de publicación: **2 355 845**

51 Int. Cl.:
G05B 19/418 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Número de solicitud europea: **07010741 .2**

96 Fecha de presentación : **30.12.2004**

97 Número de publicación de la solicitud: **1826646**

97 Fecha de publicación de la solicitud: **29.08.2007**

54 Título: **Procedimiento, nodo y red para el envío cíclico de telegramas de Ethernet.**

30 Prioridad: **09.01.2004 DE 10 2004 001 435**

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:
31.03.2011

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:
31.03.2011

73 Titular/es: **BECKHOFF AUTOMATION GmbH**
Eiserstrasse 5
33415 Verl, DE

72 Inventor/es: **Janssen, Dirk y**
Beckhoff, Hans

74 Agente: **Carpintero López, Mario**

ES 2 355 845 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, nodo y red para el envío cíclico de telegramas Ethernet.

La invención se refiere a un procedimiento, un interfaz y una red para el envío cíclico de telegramas de Ethernet.

La Ethernet es la tecnología más extendida con la que se pueden transmitir en la actualidad datos en redes de comunicación locales, las denominadas Local Area Networks (LAN), con una velocidad de hasta 100 millones de bits/s (Mbps). Las LAN son redes locales de comunicaciones que están limitadas a una región geográfica, y que están compuestas por uno o varios servidores y estaciones de trabajo, los denominados nodos, que están unidos por medio de un recorrido de transmisión, por ejemplo un cable coaxial, de fibra óptica o cable de par trenzado. En el caso de las LAN son posible las más diferentes topologías de red, siendo las más conocidas las estructuras de bus, de anillo, de estrella o de árbol.

Las LAN se operan con un sistema operativo de red y un protocolo de red unitario. Ethernet representa un posible protocolo de red, y soporta en su caso los más diferentes protocolos de comunicación, por ejemplo el protocolo TCP/IP o el protocolo IPX. En el modelo de capas de OSI, el modelo de referencia internacional para la transmisión de datos en redes, que está construido a partir de una pila de capas formada por siete capas, en el que para cada capa está definido una serie de protocolos que ponen a disposición de la siguiente capa superior sus servicios, la Ethernet es la segunda capa, la denominada capa de conexión. En esta capa de conexión se juntan los datos que se han de enviar en un telegrama, a los que se añaden informaciones específicas para el protocolo de comunicación correspondiente. La capa de conexión es la responsable en la red para el transporte de los telegramas de datos de nodo a nodo, y del reconocimiento de errores.

En el concepto de Ethernet, la capa de conexión está dividida en dos planos, en el que el primer plano añade a los datos una sección de cabecera, un denominado reconocimiento de inicio, que contiene informaciones que se requieren para una transmisión de datos correcta por el protocolo de recepción. En el segundo plano del protocolo de Ethernet se encapsula entonces el telegrama de datos con la ayuda de un preámbulo adicional y una sección final, una denominada suma de comprobación, para el transporte de nodo a nodo. Con este tipo de telegramas de Ethernet se pueden transmitir datos con una longitud de hasta 1500 Bytes, habiéndose de mantener entre los telegramas individuales de Ethernet un tiempo de pausa fijo.

Del envío y la recepción de los telegramas de Ethernet en el recorrido de transmisión de Ethernet es responsable un controlador de Ethernet, también designado como Media Access Controller (MAC), que está conectado entre los nodos y el recorrido de transmisión de Ethernet, y está unido por medio de un sistema de bus con el nodo. Este controlador de Ethernet se controla por regla general por medio de un driver de software, que está integrado en el sistema operativo correspondiente del nodo. El controlador de Ethernet comprende por lo general un registro de desplazamiento de envío y un registro de desplazamiento de recepción, para desacoplar el recorrido de transmisión de Ethernet de la memoria física del nodo. Los controladores de Ethernet modernos poseen además, por regla general, una posibilidad de acceso directo a la memoria física del nodo, una denominada Direct Memory Access (DMA), gracias a lo cual el driver del software en el sistema operativo del nodo, ahorrando espacio, puede poner los telegramas de Ethernet que se han de enviar y recibir directamente en la memoria del nodo, o bien los puede tomar de esta memoria.

Los protocolos de Ethernet se emplean fundamentalmente en las redes de comunicación de oficina. Como consecuencia de las ventajas del concepto de Ethernet en el uso de componentes de hardware y de software estándar, así como de la posibilidad de alcanzar con una tecnología de conexión sencilla elevadas tasas de transmisión de datos, las redes de comunicación Ethernet se emplearán cada vez más también en la producción industrial para el intercambio de datos entre estaciones de trabajo. Al emplear el protocolo de Ethernet en la técnica de automatización, sin embargo, se ha de garantizar con la ayuda de técnicas de hardware y/o de software costosas adicionales la capacidad de tiempo real de la transmisión de datos por Ethernet. En el control de la máquina se requiere, por regla general, que se realice un procesamiento cíclico de una tarea de control fundamentalmente sin fluctuaciones de tiempo, es decir, el denominado "jitter", reaccionándose con un tiempo de respuesta predecible a la petición de regulación.

En caso de que, por ejemplo, en el marco de una aplicación en tiempo real que se ejecuta en un ordenador de control conformado como nodo en una red Ethernet, se hayan de enviar de modo cíclico telegramas de Ethernet, para excitar sensores y actores unidos a través de un recorrido de transmisión Ethernet, el ordenador de control entrega a través del driver de software integrado en el sistema operativo en cada ciclo de control telegramas de Ethernet correspondientes a su controlador de Ethernet para su envío. En este caso, el driver del software añade antes de la entrega al controlador de Ethernet a los datos en tiempo real que se han de enviar automáticamente los tiempos de pausa, reconocimientos de inicio, preámbulos y sumas de comprobación definidos en la norma de transmisión (IEEE 802.3). El controlador Ethernet carga entonces, preferentemente con la ayuda de la transmisión de Direct Memory Access, los telegramas de Ethernet correspondientes en su registro de desplazamiento de envío, y comienza a partir de un determinado nivel de llenado del registro de desplazamiento de envío con el envío de los telegramas de Ethernet en el recorrido de transmisión de Ethernet.

En esta secuencia de envío del ordenador de control con el controlador de Ethernet conectado están contenidos varios procesos que adolecen de jitter, cuyos jitters, en el peor de los casos, se suman, y entonces sobrepasan un valor permitido máximo para la aplicación en tiempo real, que por regla general está en el intervalo de algunos pocos microsegundos. En este caso, al jitter contribuyen los tiempos de latencia de interrupción oscilantes en el nodo al generar los datos que se han de enviar, y las oscilaciones de tiempo de ejecución del código de programa que se ejecuta hasta el envío del telegrama de Ethernet. En el caso de ordenadores de control modernos, que disponen de una memoria de caché, adicionalmente también oscila el tiempo de ejecución del código de programa, ya que dependiendo del contenido del caché se ha de esperar un tiempo diferente al contenido requerido de la memoria en el nodo.

El controlador de Ethernet está unido por lo general a través de un sistema de bus con el nodo, usándose habitualmente un bus PCI. Puesto que un bus de este tipo, por regla general, también se usa por otras partes del sistema, en la asignación del bus se puede llegar a tiempos de espera de diferente longitud. Esto es válido tanto cuando el controlador de Ethernet accede por transmisión de Direct Memory Access a la memoria física del ordenador de control, como para el caso en el que los datos de tiempo real se transmiten bajo el control del driver del software a través del sistema de bus. Se producen siempre jitters similares en la asignación del bus. El controlador Ethernet comienza además siempre en primer lugar a partir de un estado de llenado determinado del registro de desplazamiento de envío con el envío de los telegramas de Ethernet en el recorrido de transmisión de Ethernet. En este caso se puede retrasar entonces diferente tiempo el envío de los telegramas de Ethernet dependiendo del estado de llenado del registro de desplazamiento de envío, lo que lleva a un jitter adicional.

En caso de que el jitter total que se produce en el proceso de envío sea mayor que el jitter permitido máximo para las aplicaciones en tiempo real correspondientes, se ha de crear con la ayuda de un procedimiento costoso, como por ejemplo el IEEE 1588 (IEEE Standard for a Precision Clock Synchronization Protocol for Networked Measurement and Control Systems) una base temporal precisa correspondiente en todos los participantes en la comunicación en el recorrido de transmisión Ethernet, con cuya ayuda se puede compensar entonces el jitter.

MANDEVILLE B; SHAH A V: "Benchmarking Methodology for Ethernet Switches <draft-ietf-bmwg-ethernet-switches-00.txt>" INTERNET DRAFT, Diciembre 1995 (1995-12), páginas 1-14, XP002322529 da a conocer un procedimiento y un dispositivo para la transmisión de telegramas de Ethernet en una red Ethernet.

Del documento WO 02/075465 se conoce un procedimiento para el envío de datos en tiempo real en una red Ethernet, un nodo en un recorrido de transmisión Ethernet y una red Ethernet, en la que una aplicación en tiempo real ejecutada en un nodo se puede sincronizar con la transmisión de telegrama de Ethernet.

El objetivo de la invención es proporcionar un procedimiento para el envío de datos en forma de telegramas de Ethernet en un recorrido de transmisión de Ethernet, un nodo en un recorrido de transmisión de Ethernet, y una red Ethernet, con las que se puedan enviar de un modo sencillo, sin jitter, y de modo cíclico, telegramas de Ethernet con datos en tiempo real.

Este objetivo se consigue con un procedimiento según la reivindicación 1, un nodo según la reivindicación 8 y una red Ethernet según la reivindicación 11. Las variantes preferidas están indicadas en las reivindicaciones subordinadas.

Según la invención, para el envío de datos en forma de telegramas de Ethernet en un recorrido de transmisión de Ethernet con la ayuda de un interfaz para la unión de un nodo al recorrido de transmisión de Ethernet, los datos que se han de enviar se convierten con la ayuda de una unidad de conversión según una norma de transmisión del protocolo de Ethernet, para proporcionar telegramas de Ethernet, y con la ayuda de una unidad de envío se envían entonces de modo continuo los telegramas de Ethernet proporcionados, entregándose los telegramas de Ethernet continuados al recorrido de transmisión de Ethernet.

Por medio del envío continuado conforme a la invención de telegramas de Ethernet se hace posible una capacidad de repetición exacta del proceso de envío, y con ello, un envío sin jitter de los telegramas de Ethernet. Gracias al hecho de que el interfaz para la conexión del nodo a Ethernet envía a continuación a un telegrama de Ethernet enviado directamente el siguiente telegrama de Ethernet, se garantiza que todos los procesos que adolecen de jitter en la secuencia de envío desde la conversión de los datos enviados en telegramas de Ethernet hasta la entrega de los telegramas se compensan en el recorrido de transmisión de Ethernet. El timing del proceso de envío se determina, en concreto, exclusivamente por medio del interfaz del nodo con la Ethernet, garantizándose a través del envío continuado de los telegramas la ausencia completa de jitter en ellos.

Según la invención está previsto, además, que cuando los datos sean datos en tiempo real, una aplicación en tiempo real que genere los datos en tiempo real que se han de enviar en el nodo esté sincronizada con el proceso de envío de los telegramas de Ethernet. Este modo de proceder evita un desbordamiento con telegramas de Ethernet en el interfaz entre el proceso de envío, que llevaría a que los telegramas de Ethernet ya no pudieran ser enviados suficientemente rápido. Gracias al hecho de que la aplicación en tiempo real que se ejecuta en el nodo está adaptada a la base temporal del interfaz que ejecuta el proceso de envío, se garantiza que el nodo entrega telegramas de Ethernet sólo de modo adaptado

en el proceso de envío al interfaz, y con ello, no se produce ningún desbordamiento en telegramas de Ethernet.

Según una forma de realización preferida de la invención, para el envío continuado de los telegramas de Ethernet proporcionados con una longitud determinada de los telegramas de Ethernet, se adapta la longitud del tiempo de ciclo en el marco de la duración máxima permitida del ciclo, para entregar durante el tiempo de ciclo total telegramas de Ethernet de modo continuado al recorrido de transmisión Ethernet. Este modo de proceder se ocupa de un proceso de envío continuo de los telegramas de Ethernet en el marco de una duración de ciclo de envío máxima prefijada al mismo tiempo que se produce una utilización óptima de la longitud de ciclo, compensándose en la generación de los telegramas de Ethernet completamente el jitter que se produce.

Según otra forma de realización preferida de la invención, al producirse un envío continuado de los telegramas de Ethernet con la ayuda del interfaz se adapta el número y/o la longitud de los telegramas de Ethernet que se han de enviar en un ciclo a un determinado tiempo de ciclo, de manera que durante todo el tiempo de ciclo prefijado se entregan de modo continuado telegramas de Ethernet al recorrido de transmisión de Ethernet. Este modo de proceder hace posible un proceso de envío continuado de los telegramas de Ethernet en el marco de un ciclo de envío al mismo tiempo que se produce una utilización óptima del ancho de datos posible en el ciclo, compensándose completamente el jitter que se produce en la generación de los telegramas de Ethernet.

Según otra forma de realización preferida, al adaptarse los telegramas de Ethernet a la tasa de baudios del recorrido de transmisión de Ethernet, se tiene en cuenta la longitud del reconocimiento de inicio, preámbulo y suma de comprobación añadidas al realizarse la conversión de los datos según la norma de transmisión del protocolo de Ethernet en el telegrama de Ethernet, y la longitud de los tiempos de pausa que se han de mantener entre los telegramas de Ethernet que se han de enviar. Por medio de este modo de proceder se puede determinar de un modo sencillo la longitud óptima de los telegramas de Ethernet que se han de enviar de modo continuado en el recorrido de transmisión de Ethernet. En este caso se prefiere, además, que se considere que cuando la longitud calculada del telegrama de Ethernet sea mayor que la longitud máxima posible del telegrama de Ethernet, se elija el número y la longitud de los telegramas de Ethernet que se han de enviar de tal manera que en un ciclo se envíen varios telegramas de Ethernet, preferentemente de la misma longitud, cuya longitud de bit común se corresponda con la longitud del tiempo de ciclo. Gracias a ello se garantiza que de un modo sencillo se determine una longitud óptima de los telegramas de Ethernet que se han de enviar.

Según otra forma de realización preferida, los telegramas de Ethernet proporcionados se almacenan en una memoria intermedia, comenzando el interfaz el proceso de envío dependiendo de un estado de llenado prefijado en la memoria intermedia. Este modo de proceder se ocupa de que siempre haya suficientes telegramas de Ethernet a ser enviados en el interfaz, para garantizar un proceso de envío continuado. Gracias a ello se evita que el proceso de envío corra en vacío, y que debido a ello se produzcan retrasos en los telegramas, que entonces llevarían a una rotura de ciclo.

Según otra forma de realización preferida, la red Ethernet está diseñada con el recorrido de transmisión Ethernet, al que está unido una pluralidad de nodos, de tal manera que los telegramas de Ethernet se pueden transmitir sin colisión en el canal de envío. Gracias a ello se garantiza que en la Ethernet se pueda enviar de modo continuado, sin que, como consecuencia de las colisiones, se produzca en el recorrido de transmisión una interrupción del proceso de envío, y que con ello se produzca una rotura de ciclo.

Además se prefiere que el recorrido de transmisión de Ethernet presente una topología dispuesta en forma anular, transmitiéndose los telegramas de Ethernet enviados desde el nodo de envío desde un nodo hasta el siguiente. Este modo de proceder hace posible una transmisión sin colisiones de los telegramas de Ethernet con un retraso reducido de un nodo al siguiente.

La invención se explica a continuación con más detalle a partir de los dibujos anexos. Se muestra:

Fig. 1A una red Ethernet;

Fig. 1B un diseño conforme a la invención de una conexión de nodo en la red Ethernet;

Fig. 2A un telegrama Ethernet y

Fig. 2B un proceso de envío conforme a la invención.

El concepto de Ethernet es el estándar de comunicación más extendido en redes de comunicación limitadas localmente (LAN), a través del cual se pueden usar de modo conjunto recursos de datos entre estaciones de trabajo, por lo general ordenadores o máquinas, designadas también en lo sucesivo como nodos. La Ethernet se basa en este caso en una construcción LAN, en la que una pluralidad de nodos están unidos entre ellos a través de un medio de transmisión común, designando el concepto de Ethernet el encapsulado de los datos que se han de transmitir en paquetes de datos, designados en lo sucesivo también como telegramas Ethernet, con un formato predeterminado. La Ethernet está constituida en este caso por tres regiones, en concreto el recorrido de transmisión y el interfaz de red, es decir el hardware, la cantidad de protocolos que controlan el acceso al recorrido de transmisión de Ethernet, y el formato de

telegrama de Ethernet.

La Fig. 1A muestra de modo esquemático una red Ethernet, en la que varios nodos 1 están unidos por medio de un recorrido de transmisión de Ethernet 2 entre ellos. La unión del nodo al recorrido de transmisión de Ethernet se realiza en este caso con la ayuda de un controlador Ethernet 3, que está integrado preferentemente en los nodos correspondientes. Un nodo 1 conforme a la invención con controlador de Ethernet 3 conectado para la unión con el recorrido de transmisión de Ethernet 2 se muestra en el detalle de la Fig. 1B. Una unidad de codificación 31 es responsable del envío de los telegramas de Ethernet en el controlador de Ethernet, una unidad de descodificación 32 es responsable para la recepción de los telegramas de Ethernet desde el recorrido de transmisión 2. A la unidad de codificación 31 o bien a la unidad de descodificación 32 está conectada respectivamente una memoria intermedia 33, 34 diseñada como registro de desplazamiento para almacenar de modo intermedio los telegramas de Ethernet enviados y recibidos. Estos registros de desplazamiento de envío y de recepción 33, 34, a su vez, están diseñados preferentemente de tal manera que pueden acceder a una memoria 11 física en el nodo 1 directamente con la ayuda del denominado modo de Direct Memory Access (DMA). Alternativamente, existe la posibilidad de que el intercambio de datos entre el registro de desplazamiento de envío 33 o bien el almacenamiento de desplazamiento de recepción 34 y la memoria 11 física se realice a través de una unidad de cálculo central (CPU) 12 del nodo 1. El acceso directo a través del modo DMA hace posible, sin embargo, un intercambio de datos acelerado.

El control del intercambio de datos entre la memoria 11 física del nodo 1 y el interfaz 2 se realiza por regla general a través de la CPU 12 del nodo 1. La CPU 12 del nodo administra además también todos los procesos necesarios para el funcionamiento de la Ethernet, es decir, realiza la gestión del proceso de envío y de recepción, y se ocupa del encapsulado de los datos que se han de enviar del nodo en telegramas de Ethernet o bien del desempaquetado de los datos a partir de los telegramas de Ethernet recibidos. El sistema operativo implementado en la CPU 12 del nodo 1 presenta por regla general una estructura de software por capas, para separar un procesamiento específico de protocolo de un procesamiento específico del telegrama y del hardware. Gracias a ello es posible emplear diferentes protocolos de comunicación en el estándar Ethernet, sin haber de llevar a cabo modificaciones en el driver específico del hardware. Al mismo tiempo, también se puede modificar el hardware del nodo, sin tener que realizar al mismo tiempo una modificación del software específica para el protocolo.

Un telegrama de Ethernet 5, cuya estructura se muestra de modo esquemático en la Fig. 2A, puede contener hasta 1500 Bytes, y está compuesto por una cabecera con un reconocimiento de inicio 51, un preámbulo 52, que caracteriza la dirección de envío y de fuente, y el tipo del paquete de datos, una parte central 53 con datos y una parte final 54 que contiene una suma de comprobación, que sirve como mecanismo de reconocimiento de errores.

El proceso de envío de telegramas de Ethernet a través del recorrido de transmisión de Ethernet 2 se realiza de manera que el driver del software empleado en la CPU 12 convierte los datos que se han de enviar en telegramas de Ethernet que, cuando el controlador de Ethernet 3 trabaja en el modo DMA, se depositan en la memoria 11 física del nodo 1. A estos telegramas de Ethernet almacenados accede entonces el registro de desplazamiento de envío 33 del controlador de Ethernet 3, para cargar los telegramas de Ethernet en el registro de desplazamiento. Cuando, bajo el control a través del driver de software en la CPU 12 se han transmitido desde la memoria 11 física suficientes telegramas de Ethernet al registro de desplazamiento de envío 33, y con ello se ha alcanzado un nivel de llenado suficiente, el registro de desplazamiento de envío 33 entrega los telegramas de Ethernet almacenados de modo intermedio a través de la unidad de codificación 31 al recorrido de transmisión de Ethernet 2. Una transmisión de datos de Ethernet tiene lugar en este caso sólo cuando la red Ethernet está silenciosa. Además, por regla general está previsto un mecanismo de prevención de colisión en el recorrido de transmisión de Ethernet 2.

Al recibir los telegramas de Ethernet, los telegramas de Ethernet recibidos son almacenados de modo intermedio por la unidad de descodificación 32 en el registro de desplazamiento 34 de recepción, disparando el controlador de Ethernet 3 una interrupción en el nodo 1. Esta interrupción hace que el driver del software de la CPU 12 en el nodo 1 lleve los telegramas recibidos a través del modo DMA a la memoria 11 física, y a continuación los envíe al sistema operativo en el nodo para su procesamiento.

El concepto de Ethernet se usa ante todo como protocolo de comunicación para sistemas de red debido a que se pueden usar componentes de hardware y de software estándar, y además es posible una tasa de transmisión de datos elevada. Al emplear el estándar de Ethernet en un entorno industrial, en particular para tareas de automatización, el protocolo de Ethernet ha de garantizar, sin embargo, una transmisión de datos en tiempo real. Para poder ejecutar de un modo fiable una aplicación en tiempo real, como por ejemplo un control de una máquina con la ayuda de una red de Ethernet, se requiere un intercambio de datos con tiempos de ciclo de 50 μ sec con tiempos de jitter permitidos, es decir, desviaciones respecto al tiempo de ciclo deseado de 10 μ sec.

Cuando un ordenador de control que representa un nodo 1 en una red Ethernet ha de controlar en tiempo real sensores o actores, que están unidos como otros nodos al recorrido de transmisión Ethernet 2, se entregan para su envío por parte del ordenador de control en cada ciclo de control, con la ayuda del driver de software almacenado en su CPU 12,

telegramas de Ethernet 5 al controlador de Ethernet 3 correspondiente. El controlador de Ethernet 3 cargará entonces los telegramas de Ethernet 5 correspondientes, preferentemente por modo DMA, en su registro de desplazamiento de envío 33, y a partir de un determinado nivel de llenado de este registro de envío comenzará con el envío de los telegramas de Ethernet en el recorrido de transmisión de Ethernet 2.

5 En esta secuencia de envío, sin embargo, están contenidos varios procesos que adolecen de jitter, cuyo jitter se suma en el peor de los casos. Un primer jitter se produce ya a partir de los tiempos de latencia de interrupción que oscilan del sistema operativo del ordenador de control y del driver de software al enviar los telegramas de Ethernet. Además, se producen oscilaciones del tiempo de ejecución del código de datos que transcurre hasta el envío de los telegramas de Ethernet. En el caso de ordenadores de control modernos que disponen de una memoria de caché, también oscilan
10 adicionalmente los tiempos de ejecución de un mismo código de datos que se ejecuta, ya que dependiendo del contenido del caché se ha de esperar un tiempo diferente a la memoria requerida. Otros jitter se producen además en la entrega de los telegramas de Ethernet al controlador de Ethernet. El controlador de Ethernet está unido por medio de un sistema de bus, por ejemplo un bus PCI, con el ordenador de control. Puesto que el bus también es usado por otras partes del sistema del ordenador de control, en la asignación del bus se pueden producir tiempos de espera de diferente longitud en el acceso del controlador de Ethernet a la memoria física para la entrega de los telegramas de Ethernet al registro de desplazamiento de envío. También cuando el controlador de Ethernet no trabaja por modo de transmisión DMA, sino que los datos se transmiten a través de la CPU desde la memoria física al registro de desplazamiento de envío del controlador de Ethernet, se producen jitters similares en la asignación del bus. Además, el envío de los telegramas de Ethernet se retrasa de modo diferente dependiendo del nivel de llenado del registro de desplazamiento de envío. Cuando todos los
20 procesos mencionados que adolecen de jitter se suman, existe el peligro de que el jitter total que se produce sea mayor que el jitter permitido para la aplicación correspondiente en tiempo real, y que entonces ya no se garantice ningún control en tiempo real.

Para no tener que realizar, como habitualmente es el caso, costosos procedimientos para igualar la base de tiempos entre los nodos individuales, y con ello para la compensación de los jitter de comunicación, según la invención se programa el controlador de Ethernet 3 a través del driver de software en la CPU 12 del nodo del ordenador 1 de tal manera que se envían sin pausa telegramas de Ethernet 5 desde el registro de desplazamiento de envío 33. En este caso, el registro de desplazamiento de envío 33 y la unidad de codificación 31 conectada del controlador de Ethernet 3 se controlan de tal manera que a continuación de un telegrama de Ethernet enviado se envíe directamente el siguiente telegrama de Ethernet manteniendo en tiempo de pausa definido en la norma de transmisión de Ethernet.

30 Para garantizar que en un tiempo de ciclo prefijado de la aplicación de tiempo real que se ha de ejecutar se envíen telegramas de Ethernet de modo continuado, el driver de software de la CPU 12 calcula cuántos y de qué longitud son los telegramas de Ethernet que se han de enviar, para cumplir de modo exacto con el tiempo de ciclo prefijado. El driver de software junta los datos 53 enviados según la norma de transmisión de Ethernet en telegramas de Ethernet 5 correspondientemente largos con identificación de inicio 51, preámbulo 52 y suma de comprobación 54, y los deposita en la memoria 11 física del nodo 1. El registro de desplazamiento de envío 33 del controlador de Ethernet 3 accede entonces a estos telegramas de Ethernet 5 y los almacena de modo intermedio. A partir de un cierto nivel de llenado en el registro de desplazamiento 33 comienza entonces con el proceso de envío, enviando de modo continuado telegramas de Ethernet, tal y como se muestra en la Fig. 2B. En este caso está representado un proceso de envío en el que dentro de un tiempo de ciclo prefijado se envían dos telegramas de la misma longitud manteniendo el tiempo de pausa prescrito.

40 Con la ayuda del registro de desplazamiento 33 integrado en el controlador de Ethernet 3 se desacopla la preparación de los telegramas de Ethernet a través del driver de software de la CPU 13 en la memoria 11 física del nodo 1 del instante de envío de estos telegramas de Ethernet, de manera que el jitter que se origina en la aplicación en tiempo real y el jitter que se origina en la transmisión de los telegramas de Ethernet al controlador de Ethernet 3 se compensan. Puesto que el timing del proceso de envío depende exclusivamente del controlador de Ethernet 3 y de la física de transmisión conectada a continuación del recorrido de transmisión de Ethernet 2, y el controlador de Ethernet envía desde su registro de desplazamiento de envío 33 telegramas de Ethernet 5 de modo continuado, es posible una capacidad de repetición exacta, y con ello un envío libre de jitter.

50 Para hacer posible un envío continuado de los telegramas de Ethernet, la aplicación en tiempo real en el nodo está sincronizada a través del driver de software de la CPU 12 en el controlador de Ethernet 3. El controlador de Ethernet 3 fija la base temporal en la que está sincronizada la aplicación en tiempo real en el ordenador de control 1. Gracias a ello se garantiza que desde el driver de software de la CPU 12 se entregan siempre suficientes telegramas de Ethernet a ser enviados al controlador de Ethernet 3, para evitar que el registro de desplazamiento de envío 33 del controlador de Ethernet 3 esté vacío, y de este modo se produzcan retrasos en el telegrama que lleven a una rotura del tiempo de ciclo. Además, por medio de la sincronización de la aplicación en tiempo real en el nodo 1 sobre la base temporal del controlador de Ethernet 3 se garantiza que no se entreguen demasiados telegramas de Ethernet al controlador de Ethernet 3, y con ello tenga lugar un desbordamiento en el registro de desplazamiento de envío 33, y los telegramas de Ethernet ya no puedan ser enviados lo suficientemente rápido.

En el cálculo del número y de la longitud en un ciclo de la aplicación en tiempo real de los telegramas de Ethernet que se han de enviar, el driver de software de la CPU 12 tiene en cuenta en el nodo 1 tanto la tasa de baudios usada en el recorrido de transmisión de Ethernet 2 como los datos adicionales añadidos de modo automático en el encapsulado de los datos que se han de enviar, es decir, reconocimiento de inicio 51, preámbulo 52 y suma de comprobación 54, así como los

5

En caso de que se haya de conseguir ahora un tiempo de ciclo de la aplicación de tiempo real de $x \mu\text{sec}$, entonces se tiene la siguiente fórmula: (L es la longitud máxima de bits del telegrama de Ethernet)

10

$$L = (x \cdot 100) - (8 + 56 + 32 + 69)$$

Para un tiempo de ciclo de $100 \mu\text{sec}$ se obtiene entonces lo siguiente:

$$L = 9808 \text{ Bits} = 1226 \text{ Bytes}$$

El driver de software de la CPU 12 en el nodo 1 puede enviar entonces en un tiempo de ciclo de $100 \mu\text{sec}$ uno o varios telegramas de la misma longitud con una longitud total incluyendo los tiempos de pausa de 1226 bytes. Cuando, por ejemplo, se envían dos telegramas, entonces la longitud de bytes tiene un valor de 613 bytes por telegrama (incluyendo el tiempo de pausa). Una división en varios telegramas se requiere entonces forzosamente cuando la longitud del telegrama que resulta en un tiempo de ciclo es mayor que el telegrama de Ethernet máximo de 1500 bytes. En este caso se han de enviar entonces siempre varios telegramas de de Ethernet correspondientes para el uso de todo el tiempo de ciclo. Cuando, por ejemplo, se prefija un tiempo de ciclo de $500 \mu\text{sec}$, se pueden enviar cinco telegramas, cada uno de ellos con 1226 bytes ($100 \mu\text{sec}$).

15

20

Alternativamente a la prescripción de un tiempo de ciclo, también existe la posibilidad, para alcanzar un envío continuado de telegramas de Ethernet, de fijar la longitud de los telegramas de Ethernet enviados, para derivar a partir de ello el tiempo de ciclo necesario. El driver de software de la CPU calcula en este caso a partir de la prescripción de la longitud de los telegramas de Ethernet y de la duración permitida máxima del ciclo de control, para poder ejecutar una aplicación en tiempo real, como por ejemplo un control de una máquina por medio de una red Ethernet, el tiempo de ciclo óptimo que garantiza un envío continuado de los telegramas de Ethernet. El driver de software une entonces de nuevo los datos que se han de enviar según la norma de transmisión de Ethernet para formar telegramas de Ethernet correspondientemente largos con reconocimiento de inicio 51, preámbulo 52 y suma de comprobación 54, y los deposita en la memoria 11 física del nodo 1. El registro de desplazamiento de envío 33 del controlador de Ethernet 3 accede a continuación a estos telegramas de Ethernet 5 y los almacena de modo intermedio. A partir de un cierto nivel de llenado en el registro de desplazamiento de envío 33 se comienza entonces con el proceso de envío, enviándose de modo continuado telegramas de Ethernet dentro del tiempo de ciclo calculado manteniendo el tiempo de pausa prescrito.

25

30

En el proceso de envío conforme a la invención, en el que se envía de un modo prácticamente continuado, además ha de estar garantizado que no se producen colisiones en el canal de envío, ya que entonces el controlador de Ethernet ha de interrumpir la transmisión y la ha de retomar más tarde. Una topología adecuada de la red Ethernet para un proceso de envío sin colisiones viene representada en este caso por una unión peer-to-peer entre los nodos. También existe la posibilidad de controlar varios participantes a través de un switch que evite colisiones. También es posible una topología de red en forma anular de varios nodos, transmitiéndose entonces los telegramas de Ethernet con un menor retraso de nodo a nodo, y enviándose a continuación de vuelta al nodo de envío originario.

35

40

Las aplicaciones en tiempo real también requieren por regla general acuses de recibo de los participantes controlados. En este caso, el recorrido de transmisión Ethernet 2 está conformado como recorrido de transmisión full-duplex con canales de envío y de recepción separados, para que los telegramas Ethernet que se han de enviar no se vean influenciados por medio de los telegramas recibidos con los acuses de recibo. La cantidad de los datos enviados de vuelta tampoco ha de sobrepasar en este caso la cantidad de los datos enviados originariamente, ya que ésta se corresponde con el máximo de la capacidad de transmisión.

45

REIVINDICACIONES

1.- Procedimiento para el envío de datos en forma de telegramas de Ethernet a través de un nodo en un recorrido de transmisión (2) de Ethernet, con las siguientes etapas del procedimiento

5 - conversión de los datos que se han de enviar por medio de una unidad de control (1; 11, 12) del nodo según una norma de transmisión del protocolo de Ethernet, para proporcionar telegramas de Ethernet, y

- envío cíclico de los telegramas de Ethernet proporcionados por medio de una unidad de envío (3; 31, 33) del nodo con la norma de transmisión de Ethernet prefijada, siendo los datos que se han de enviar datos en tiempo real, y sincronizándose una aplicación en tiempo real que genera los datos en tiempo real que se han de enviar con el proceso de envío de los telegramas de Ethernet,

10 caracterizado porque el proceso de envío realizado por la unidad de envío (3; 31, 33) del nodo de los telegramas de Ethernet proporcionados por la unidad de control (1; 11, 12) del nodo se controla de manera que a continuación de un telegrama de Ethernet enviado se envía directamente el siguiente telegrama de Ethernet manteniendo el tiempo de pausa definido en la norma de transmisión de Ethernet, para de este modo entregar durante todo el tiempo de ciclo telegramas de Ethernet de modo continuado al enlace de vía de Ethernet, y se fija la base de tiempos, sobre la que se sincroniza la aplicación en tiempo real por medio de la unidad de control (1; 11, 12) por parte de la unidad de envío (3; 31, 33).

2.- Procedimiento según la reivindicación 1, caracterizado porque el envío continuado de los telegramas de Ethernet proporcionados, con una longitud prefijada de los telegramas de Ethernet, se adapta a la longitud del tiempo de ciclo en el marco de la duración máxima permitida del ciclo, para entregar durante todo el tiempo de ciclo de modo continuado telegramas de Ethernet al enlace de vía de Ethernet.

20 3.- Procedimiento según la reivindicación 1, caracterizado porque para el envío continuado de los telegramas de Ethernet proporcionados con un tiempo de ciclo prefijado se adapta el número y/o la longitud de los telegramas de Ethernet que se han de enviar en un ciclo, para entregar durante todo el tiempo de ciclo prefijado telegramas de Ethernet de modo continuado al enlace de vía de Ethernet.

25 4.- Procedimiento según la reivindicación 3, caracterizado porque para el cálculo del número y/o de la longitud de los telegramas de Ethernet que se han de enviar en un ciclo se tienen en cuenta la tasa de baudios usada en el enlace de vía de Ethernet, la longitud del reconocimiento de inicio, preámbulo y suma de comprobación introducidos en el telegrama de Ethernet al convertir los datos según la norma de transmisión del protocolo de Ethernet, y la longitud del tiempo de pausa que se ha de guardar entre los telegramas de Ethernet que se han de enviar.

30 5.- Procedimiento según la reivindicación 4, caracterizado porque la longitud de bits L máxima del telegrama de Ethernet que se ha de enviar en un ciclo, con una tasa de baudios usada en el enlace de vía de Ethernet de ba Mbaudios, un tiempo de ciclo de zy μ s, una longitud del reconocimiento de inicio de st bits, una longitud del preámbulo de pr bits, una longitud de la suma de comprobación de ch bits y un tiempo de pausa de pa bits, se calcula de la siguiente manera:

$$L = (ba * zy) - (st + pr + ch + pa).$$

35 6.- Procedimiento según la reivindicación 5, caracterizado porque cuando la longitud de bits L máxima es mayor que la longitud de bits máxima posible de los telegramas de Ethernet, el número y la longitud de los telegramas de Ethernet enviados se selecciona de manera que en un ciclo se envían varios telegramas de Ethernet, cuya longitud de bits conjunta se corresponde con el tiempo de ciclo.

40 7.- Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 6, caracterizado porque para el envío continuado de los telegramas de Ethernet proporcionados se almacenan de modo intermedio los telegramas proporcionados en una memoria intermedia, y se inicia el proceso de envío tan pronto como se haya alcanzado un nivel de llenado prefijado en la memoria intermedia.

8.- Nodo para red Ethernet, con

una unidad de control (1; 11, 12) para la conversión de los datos que se han de enviar según una norma de transmisión del protocolo de Ethernet, para proporcionar telegramas de Ethernet, y

45 una unidad de envío (3; 31, 33) para el envío cíclico de los telegramas de Ethernet proporcionados con una norma de transmisión de Ethernet prefijada en un enlace de vía de Ethernet (2),

50 en el que los datos que se han de enviar son datos en tiempo real de una aplicación en tiempo real ejecutada en el nodo, y en el que la unidad de control (1; 11, 12) está diseñada para la sincronización de la aplicación en tiempo real que genera los datos en tiempo real que se han de enviar con el proceso de envío de los telegramas de Ethernet, caracterizado porque la unidad de control (1; 11, 12) controla el proceso de envío de los telegramas de Ethernet proporcionados por la unidad de

envío (3; 31, 33) de manera que a continuación de un telegrama de Ethernet enviado se envía directamente el siguiente telegrama de Ethernet guardando el tiempo de pausa definido en la norma de transmisión de Ethernet, para de esta manera entregar durante todo el tiempo de ciclo telegramas de Ethernet de modo continuado al enlace de vía de Ethernet (2), y

5 la unidad de envío (3; 31, 33) está diseñada para fijar la base de tiempos sobre la que está sincronizada la aplicación en tiempo real por medio de la unidad de control (1; 11, 12).

10 9.- Nodo según la reivindicación 8, caracterizado porque la unidad de control (1; 11, 12) está diseñada para la adaptación de la longitud del tiempo de ciclo con una longitud determinada de los telegramas de Ethernet que se han de enviar en el marco de la máxima duración permitida del ciclo, para entregar durante todo el tiempo de ciclo telegramas de Ethernet de modo continuado al recorrido de transmisión de Ethernet (2).

10.- Nodo según la reivindicación 8, caracterizado porque la unidad de control (1; 11, 12) está diseñada para la adaptación del número y/o de la longitud de los telegramas de Ethernet que se han de enviar en un ciclo a un tiempo de ciclo prefijado, para entregar durante todo el tiempo de ciclo prefijado telegramas de Ethernet de modo continuado al enlace de vía de Ethernet (2).

15 11.- Nodo según una de las reivindicaciones 8 a 10, caracterizado porque la unidad de envío (3; 31, 33) presenta una memoria intermedia (33) para el almacenamiento intermedio de los telegramas de Ethernet proporcionados, estando diseñada la unidad de control (1; 11, 12) para iniciar el proceso de envío dependiendo de un nivel de llenado prefijado en la memoria intermedia (33).

20 12.- Red Ethernet con enlace de vía Ethernet (2) y una pluralidad de nodos (1) unidos con el enlace de vía de Ethernet según una de las reivindicaciones 8 a 11, caracterizada porque el canal de envío del enlace de vía de Ethernet (2) está diseñado para transmitir los telegramas de Ethernet sin colisiones.

13.- Red Ethernet según la reivindicación 12, caracterizada porque el enlace de vía de Ethernet (2) presenta una topología dispuesta en forma anular, y los telegramas de Ethernet enviados por el nodo de envío (1) son transmitidos de un nodo al nodo siguiente.

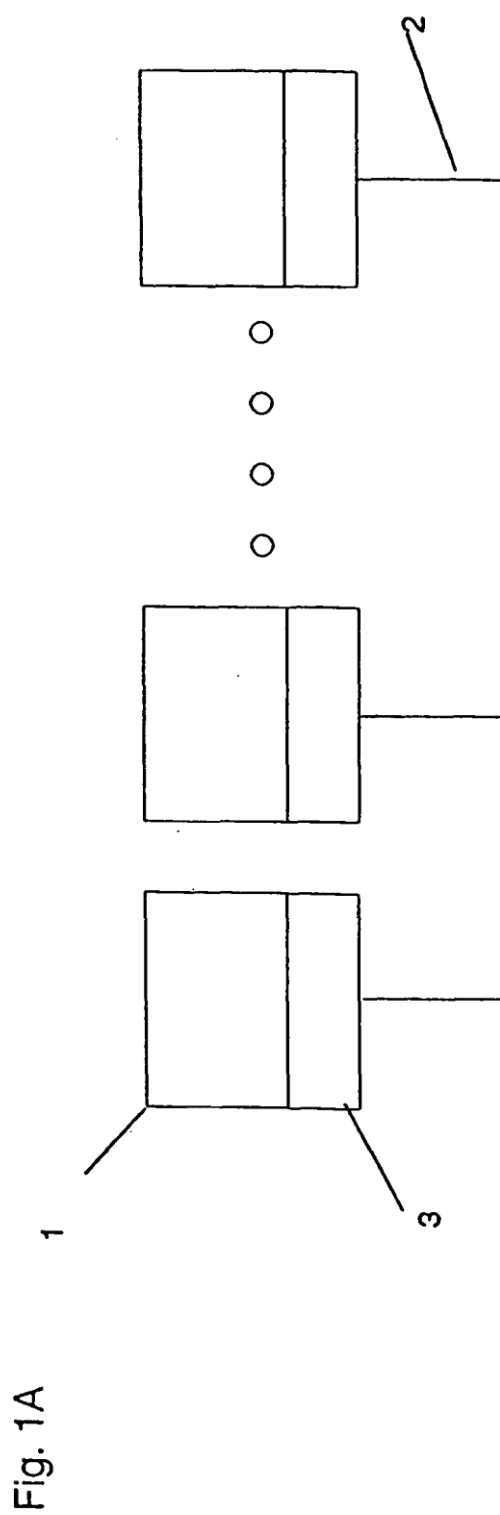


Fig. 1B

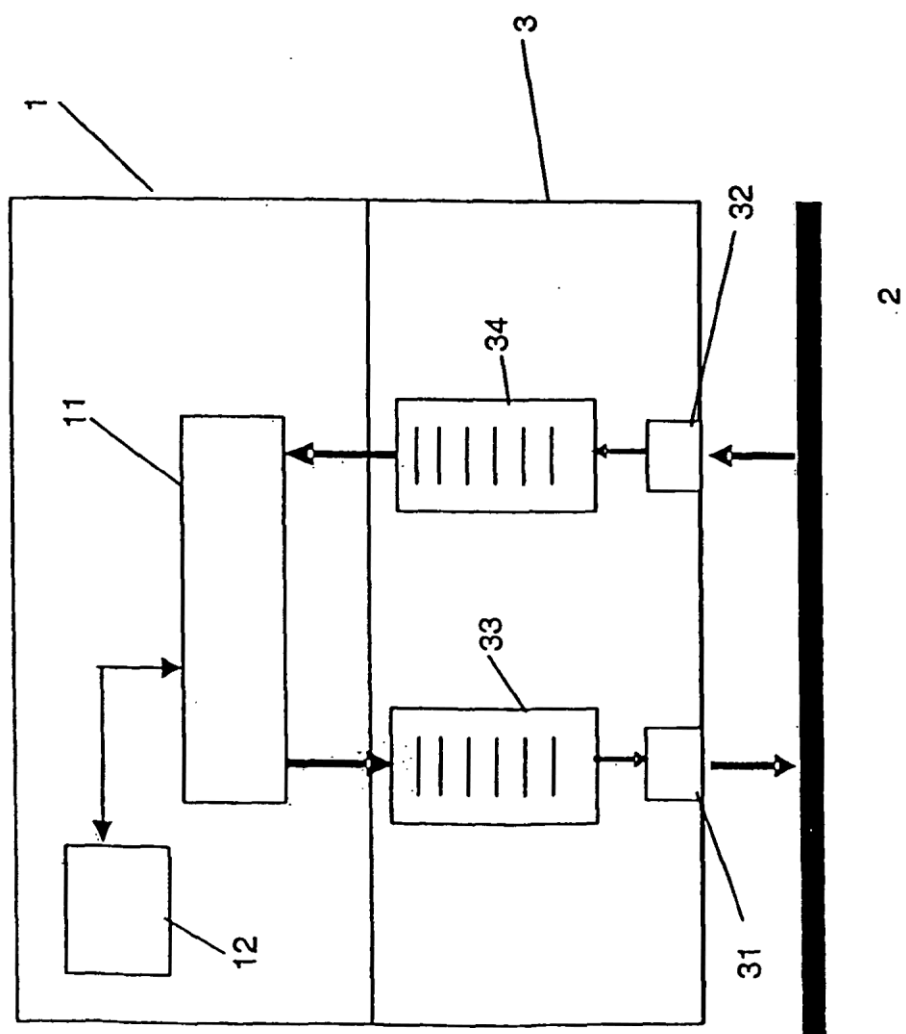


Fig. 2A

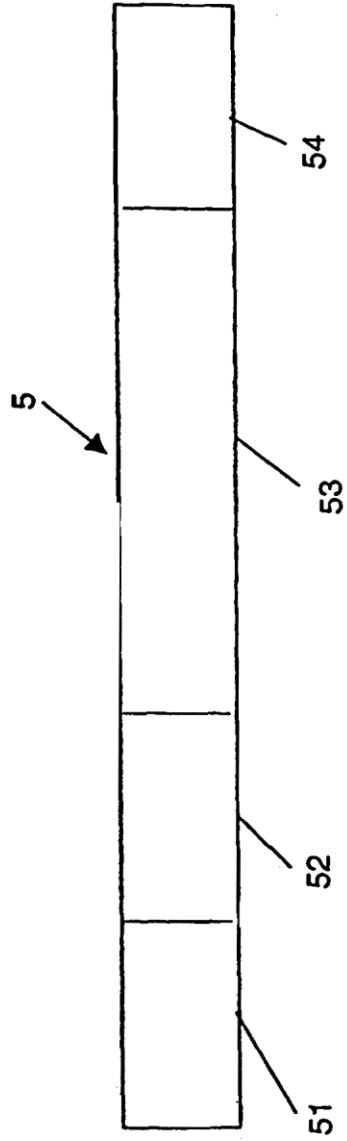


Fig. 2B

