

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 987 476**

51 Int. Cl.:

H04L 45/121 (2012.01)

H04L 45/12 (2012.01)

H04L 45/302 (2012.01)

H04L 45/64 (2012.01)

H04L 45/42 (2012.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **19.07.2017** **PCT/EP2017/068213**

87 Fecha y número de publicación internacional: **25.01.2018** **WO18015425**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **19.07.2017** **E 17746018 (5)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **04.09.2024** **EP 3488570**

54 Título: **Redes definidas por software sensibles al tiempo**

30 Prioridad:

19.07.2016 US 201662364313 P

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la
traducción de la patente:
15.11.2024

73 Titular/es:

SCHNEIDER ELECTRIC INDUSTRIES SAS
(100.0%)
35, rue Joseph Monier
92500 Rueil-Malmaison, FR

72 Inventor/es:

MEHMEDAGIC, ALEN

74 Agente/Representante:

GONZÁLEZ PECES, Gustavo Adolfo

ES 2 987 476 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

Redes definidas por software sensibles al tiempo

Antecedentes

Las redes de comunicación (o simplemente redes) permiten la comunicación de datos, por ejemplo, entre ordenadores, ordenadores y periféricos y otros dispositivos. Los requisitos de comunicación de datos varían de acuerdo con el ámbito. Por ejemplo, en el ámbito industrial, los procesos físicos tienen estrictos requisitos de temporización que deben controlarse y supervisarse por motivos de seguridad y otros. Tomemos el ejemplo de un sistema de corte de queso de alta velocidad en el que una cuchilla de alta velocidad corta un bloque de queso que es empujado hacia delante por un alimentador de bloques de queso accionado por motores. El avance necesario del alimentador de bloques de queso se determina por medio de un sistema de escaneado que analiza los orificios del bloque de queso. Para que el sistema de corte de queso produzca lonchas de queso de aproximadamente el mismo peso, el movimiento de la hoja del cuchillo debe estar sincronizado con el movimiento del bloque de queso. Incluso un pequeño retraso en este sistema (ya sea en el procesamiento o en la red) puede significar lonchas de queso de pesos no uniformes, con el consiguiente desperdicio y pérdida de productividad. Del mismo modo, en el ámbito de la automoción, las aplicaciones críticas para la seguridad que permiten funciones de seguridad (por ejemplo, frenado automático) y posibilitan la conducción autónoma también tienen estrictos requisitos de temporización para la comunicación. Cualquier retraso no contabilizado en el sistema puede tener graves consecuencias para la seguridad.

Tanto en el ámbito industrial como en el de la automoción, existe un mayor deseo de utilizar la tecnología Ethernet para la red troncal con el fin de soportar la conectividad de Internet de las Cosas (IIoC)/Internet Industrial de las Cosas (IIIC) para beneficiarse de la monitorización y gestión remotas, el análisis centralizado y similares. Sin embargo, el estándar Ethernet no puede garantizar que los datos críticos lleguen a tiempo a través de una red desde el dispositivo A al dispositivo B, un requisito clave para las aplicaciones industriales y de automoción. Las redes sensibles al tiempo (RST), que ofrecen una entrega en tiempo real totalmente determinista del tráfico Ethernet, son una solución que puede satisfacer los requisitos de las aplicaciones industriales y de automoción.

El documento US 2016/0065422 A1 se relaciona con el ancho de banda bajo demanda en redes RDS.

El documento US 2014/369348 A1 se relaciona con la sustitución mejorada de la caché de la tabla de entradas de flujo en un conmutador de red definido por software.

El artículo "Fast and efficient bandwidth-delay constrained routing algorithm for RDS networks" de S. Tomovic e I. Radusinovic, 016 IEEE NetSoft Conference and Workshops (NetSoft), 2016, pp. 303-311, doi: 10.1109/NETSOFT.2016.7502426, propone un nuevo algoritmo de enrutamiento, del que se dice que calcula rutas con restricciones de ancho de banda y retardo de una manera rápida y eficiente.

Sumario de las realizaciones

La presente invención se materializa por medio de los procedimientos definidos en las reivindicaciones independientes 1 y 13. Realizaciones preferentes se detallan en las reivindicaciones dependientes.

Breve descripción de los dibujos

La Figura 1A es un diagrama de bloques que ilustra redes tradicionales en comparación con redes definidas por software ("SDN").

La Figura 1B es un diagrama de bloques que ilustra la implementación de un dispositivo de red tradicional en comparación con la implementación de un dispositivo SDN.

La Figura 1C es un diagrama de bloques que ilustra las redes RDS.

La Figura 1D es un diagrama de bloques que ilustra los componentes de ejemplo de un control RDS.

La Figura 2 es un diagrama de bloques que ilustra el dominio de control de la RDS industrial en capas de acuerdo con algunas realizaciones.

La Figura 3A es un diagrama de bloques que ilustra componentes de ejemplo de un control de una RDS Sensible al Tiempo (RDSST) de acuerdo con una primera realización.

La Figura 3B es un diagrama de bloques que ilustra componentes de ejemplo de un control RDSST de acuerdo con una segunda realización.

La Figura 3C es un diagrama de bloques que ilustra componentes de ejemplo de un control RDSST de acuerdo con una tercera realización.

La Figura 3D es un diagrama de bloques que ilustra rutas más cortas alternativas determinadas por el control RDSST de acuerdo con la tercera realización.

La Figura 3E es un diagrama de bloques que ilustra un enrutado multi-ruta de varios tipos de tráfico de acuerdo con algunas realizaciones.

La Figura 3E y 3F son diagramas de bloques que ilustran la implementación de un algoritmo de Dijkstra modificado que tiene en cuenta la carga y el coste basado en la latencia para determinar la ruta más corta a través de la red de acuerdo con algunas realizaciones.

La **Figura 3G** es un diagrama de bloques que ilustra dispositivos de infraestructuras gestionados por medio de un control RDSST de acuerdo con algunas realizaciones.

La **Figura 4** es un diagrama de bloques que ilustra el descubrimiento de una ruta de red a través de una infraestructura que comprende una mezcla de dispositivos de red sensibles al tiempo (RST) y no RST para la entrega de datos sensibles al tiempo con un rendimiento determinista garantizado.

La **Figura 5** es un diagrama de bloques que ilustra la gestión de la comunicación sensible al tiempo y no sensible al tiempo.

Las **Figuras 6A, 6B y 6C** son diagramas de flujo lógico que ilustran ejemplos de procedimientos de transmisión de paquetes de datos sensibles al tiempo, conscientes del tiempo y de mejor esfuerzo, respectivamente, a través de una infraestructura de red que comprende dispositivos de red sensibles al tiempo y no sensibles al tiempo.

La **Figura 6D** es un diagrama de flujo lógico que ilustra un procedimiento de ejemplo de transmisión de flujos de paquetes a través de una ruta de red reservada para garantizar un requisito de temporización especificado.

La **Figura 7** muestra una representación diagramática de una máquina en la forma de ejemplo de un sistema informático dentro del cual puede ejecutarse un conjunto de instrucciones, para hacer que la máquina realice una o más de las metodologías discutidas en la presente memoria.

Descripción detallada

La presente divulgación describe un sistema y un procedimiento para procesar mensajes con características sensibles al tiempo, conscientes del tiempo y de mejor esfuerzo en una red definida por software (RDS) que incorpora gestión del tiempo o dominio del tiempo. Esta RDS sensible al tiempo (RDSST) puede incluir dispositivos de red sensibles al tiempo y no sensibles al tiempo. Un control RDSST, en algunas realizaciones, puede gestionar la red determinando si un paquete de datos que se origina en un dispositivo transmisor y debe entregarse a un dispositivo oyente está asociado a una de las siguientes características: sensible al tiempo, consciente del tiempo o mejor esfuerzo. A continuación, el control RDSST puede determinar una ruta de red para el transporte del paquete de datos desde el dispositivo transmisor hasta el dispositivo oyente con un retardo garantizado de extremo a extremo para satisfacer la característica. A continuación, el paquete de datos puede transmitirse desde el dispositivo transmisor a través de la ruta de red hasta el dispositivo oyente. En algunas realizaciones, el retardo de extremo a extremo para el paquete de datos tiene en cuenta la latencia a través de cada capa por la que transita el paquete de datos después de ser conjurado en una capa de aplicación del dispositivo transmisor. En concreto, el retardo de extremo a extremo puede determinarse basándose en los retardos de los dispositivos encontrados en las capas de aplicación y pila en los dispositivos transmisores y receptores, así como en los retardos en el plano de control, donde reside el control RDSST, y en los planos de datos, en los que residen los dispositivos de red que reenvían los paquetes de datos.

A continuación se describirán en detalle estas y otras realizaciones y aspectos de la red RDSST, así como sus ventajas.

1. Red Definida por Software (RDS)

Las arquitecturas de red de los sistemas de control industrial son complejas y jerárquicas por naturaleza. Un sistema de control industrial típico utiliza una jerarquía de niveles de red para separar las preocupaciones en una arquitectura por niveles. Por ejemplo, una arquitectura de red ICS puede incluir una red de dispositivos, una red de control, una red de empresa y una red de oficina. En el nivel más bajo, la arquitectura se segmenta en unidades funcionales en las que cada dispositivo industrial, tal como un PLC, tiene una esfera de influencia bien definida. Esto es complejo y difícil de gestionar, ya que la conectividad entre dispositivos y entre niveles está estrictamente controlada. Esta solución requiere múltiples subredes implementadas a través de redes físicas separadas o redes de área local virtuales (RALV) y pasarelas que requieren una difícil configuración manual. Implantar y mantener estas redes requiere un alto grado de conocimientos de redes que a menudo no está disponible en las instalaciones.

Existen dos ámbitos de interés cuando se considera la tecnología de conmutación Ethernet: el plano de control y el plano de datos. El plano de datos es el tráfico que fluye a través del conmutador. El plano de control se ocupa de la gestión y configuración del conmutador para controlar cómo se dirige, moldea o segmenta el tráfico de datos en las distintas partes de la red. En las tecnologías de conmutación tradicionales (descritas en referencia a las **FIGs. 1A y 1B**) habituales en la automatización industrial, cada conmutador gestiona su propio plano de control. Por tanto, cada conmutador se configura individualmente y actúa de forma algo autónoma respecto a sus conmutadores vecinos. Esto es difícil de gestionar y los parámetros de todo el sistema, como las RALV y la calidad de servicio (CdS), deben aplicarse cuidadosamente a cada conmutador de forma individual.

RDS presenta una alternativa a esta arquitectura. La RDS es una arquitectura de red en la que el sistema que toma las decisiones sobre hacia qué lugar se envía el tráfico (es decir, el plano de control) está desacoplado de los sistemas subyacentes que reenvían el tráfico al destino seleccionado (es decir, el plano de datos). En términos sencillos, la SDN hace que la red sea programable. Con la SDN, los administradores de red pueden gestionar los servicios de red mediante la abstracción de la funcionalidad de nivel superior.

La arquitectura RDS es una arquitectura en capas basada en tres principios básicos:

- (1) Desacoplamiento de los planos de control y de datos: Este principio permite separar la evolución del mecanismo de reenvío del control de los recursos de la red. En otras palabras, el control de la red opera

sobre mecanismos de reenvío abstraídos que permiten que los elementos de la red se conviertan en una mercancía.

(2) Control lógicamente centralizado: Desde el punto de vista de la SDN, un controlador es un orquestador de elementos de red. El control lógicamente centralizado se refiere a una visión de la infraestructura de red como una entidad holística, dando al controlador SDN un control global sobre todos los recursos de la red, es decir, el controlador se comporta como una entidad central de gestión y control.

(3) Exposición de los recursos y el estado de la red abstracta a las aplicaciones externas: La red como función virtual es el principal motor de este principio. La separación de los planos de control y de datos permite al controlador SDN proporcionar una abstracción de la red a otros controladores o aplicaciones, lo que supone una abstracción recursiva de las redes y sus elementos.

La FIG. 1A es un diagrama de bloques que ilustra redes tradicionales en comparación con RDS. La Figura 1B es un diagrama de bloques que ilustra la implementación de un dispositivo de red tradicional en comparación con la implementación de un dispositivo SDN.

La arquitectura de red tradicional comprende dispositivos de red dedicados tales como, pero no limitados a: enrutadores, conmutadores, cortafuegos, y similares, proporcionados por varios vendedores, con tanto el plano de control y el plano de datos en el mismo dispositivo. Esta infraestructura de red de múltiples proveedores garantiza que cada dispositivo se gestione individualmente mediante el uso de la interfaz propietaria del proveedor, lo que hace que la provisión, el mantenimiento y la retirada del servicio sean extremadamente lentos y costosos. El uso de hardware especializado y, en ocasiones, de protocolos personalizados, garantiza que la implementación y la disponibilidad de las funciones de red sean dictadas por los proveedores. También sigue el modelo de empresa y el ciclo de vida de los productos del proveedor, más que las necesidades de despliegue de la red. Por ejemplo, en la FIG. 1A, los conmutadores 102a, 102b y 102c pueden requerir cada uno su propia aplicación propietaria e interfaz de configuración 104a, 104b y 104c respectivamente.

A diferencia de las redes tradicionales, la RDS se caracteriza por desacoplar las funciones de control y reenvío de la red. El control o la inteligencia de la red se centraliza lógicamente en un controlador SDN 120, que permite a los administradores de la red ajustar dinámicamente el flujo de tráfico de toda la red para satisfacer las necesidades cambiantes. Además, aunque los controles de RDS basados en software mantienen una visión global de la red, ésta aparece ante las aplicaciones, los motores de políticas y/u otros dispositivos como un dispositivo única y lógica. Cuando se implementa a través de estándares abiertos (por ejemplo, FlujoAbierto), la RDS simplifica el diseño y la operación de la red porque las instrucciones son proporcionadas por los controles 120 de la RDS en lugar de por múltiples dispositivos y protocolos específicos de cada proveedor. El control RDS 120 controla directamente los dispositivos de red físicos 108a, así como los dispositivos de red de software 108b (por ejemplo, Open vSwitch) alojados en un servidor u otro hardware.

Con referencia a la Figura 1B, en un dispositivo de red típico 102, tal como un enrutador o un conmutador, toda la inteligencia está en el propio dispositivo. El dispositivo suele estar implementado en tres planos: plano de datos 110a, plano de control 105a y plano de gestión 115a. El plano de datos 110a es la capa responsable de mover los paquetes, y normalmente se implementa en hardware propietario del proveedor con metodología de reenvío fija. El plano de control 105a es la capa responsable de la toma de decisiones de reenvío y de los intercambios de éstas con otros dispositivos. Puede implementarse en hardware y/o firmware (microprograma) con protocolos y características específicas del proveedor. Este tipo de implementación conlleva la existencia de dispositivos de red complejos y dedicados. El plano de gestión 115 es la capa que proporciona una interfaz de gestión, y suele implementarse como software en forma de interfaz de línea de comandos (ILC). La implementación de la CLI es específica del proveedor y, por lo tanto, es difícil de automatizar en un entorno de múltiples proveedores. Por lo tanto, un dispositivo de red tradicional 102 requiere una aplicación y configuración propietarias 104 para su funcionamiento.

Contrario al dispositivo de red tradicional 102, el enfoque principal de la RDS es la separación del plano de control y del plano de datos y su conexión, normalmente, con un protocolo abierto. Este enfoque permite que los protocolos y requisitos del plano de control se desplieguen por separado del plano de datos, creando así una apertura para la generalización.

En una implementación del dispositivo de RDS 108, el plano de control puede ser implementado en una UCP de propósito general, reduciendo así la complejidad del hardware de red y eliminando la compleja implementación de protocolos en el firmware. Además, el plano de control ya no está vinculado a un dispositivo de red específico, por lo que es posible consolidar los planos de control de todos los dispositivos. Esta consolidación es lo que se conoce como el controlador SDN 120. Es el controlador SDN 120 que proporciona inteligencia de red centralizada y permite una visión holística de la red. El plano de gestión 115b en un dispositivo RDS 108 es la propia aplicación RDS. Esta es la parte programable de la SDN y su objetivo es proporcionar libertad de gestión de la red y diseños específicos para las necesidades de la red de los usuarios.

Un aspecto de la RDS basada en FlujoAbierto es que el plano de datos 110b opera sobre flujos en lugar de tablas de búsqueda estáticas como la tabla MAC en los conmutadores o las tablas de enrutamiento en los enrutadores. Los

flujos en SDN se describen mejor como reglas de coincidencia de patrones utilizadas para la conmutación de paquetes. FlujoAbierto es un estándar independiente del proveedor y uno de los protocolos más utilizados por los controles RDS para programar el hardware del plano de datos subyacente. El principio de reducir la complejidad de los protocolos de control a un solo protocolo y permitir las búsquedas basadas en el flujo mediante el uso de una memoria de alta velocidad tal como la memoria ternaria direccionable por contenido (MTDC) es lo que puede conducir a la simplificación de los dispositivos de infraestructura y al uso de hardware mercantilizado.

El propósito del control RDS 120 es separar el control de la red de la ruta de datos y proporcionar una abstracción de los servicios de red. Como se ilustra en la **FIG. 1C**, el control RDS es un mediador entre la aplicación de red o aplicación RDS 106 y la infraestructura de red subyacente que comprende los elementos de red 108.

En el plano de control 105a, el control RDS 120 implementa la interfaz del plano de aplicación (A-CPI) y expone las interfaces vinculadas hacia el norte (IHN) o APIs 125 a los usuarios del control RDS para desarrollar aplicaciones centradas en la red sin preocuparse por los detalles de implementación de la red.

El plano de control 105a es el propio control RDS 120. Este plano representa la inteligencia central de la red SDN. Aunque el control RDS 120 puede estar físicamente distribuido, está lógicamente centralizado en este plano. La arquitectura detallada del control es específica de la implementación, pero en general, el control RDS 230 implementa interfaz de plano de control de datos (D-CPI) y expone APIs vinculadas hacia el sur para comunicarse con y directamente controlar elementos o dispositivos de red 108 que residen en la cabeza del plano de datos.

El panorama actual de los controles RDS puede dividirse en controles de código abierto y controles propietarios. El código abierto está orientado principalmente a los controladores SDN de características generales, mientras que los controladores propietarios están orientados a aplicaciones específicas. Para la interoperabilidad, es preferente que el control RDS sea independiente del proveedor. Entre los ejemplos no limitativos de controles RDS se incluyen LuzdedíaAbierta (LDA), que ofrece muchos servicios de red y protocolos vinculados hacia al sur, y ONOS, que ofrece un alto rendimiento.

El plano de control es gestionado centralmente por el control RDS que distribuye las configuraciones a los conmutadores individuales o dispositivos de red. Pero para los conmutadores con capacidad RDS esta configuración puede ser mucho más versátil y proporciona una medida de control sobre los flujos nunca antes posible con los conmutadores convencionales. Este control permite señalar los flujos de comunicación entre dos dispositivos y dirigirlos a voluntad por toda la red. Por ejemplo, considere dos flujos de comunicación simultáneos diferentes entre dos dispositivos, por ejemplo HTTP y Modbus TCP. Con RDS, los dos flujos pueden dirigirse por rutas muy diferentes a través de la red. El Modbus TCP puede tomar una ruta directa entre los dos dispositivos, mientras que el HTTP puede dirigirse a una plataforma en la nube a través de un cortafuegos virtual, y luego al otro dispositivo. Esto no es posible con los conmutadores convencionales, ya que estos no tienen visibilidad sobre el contenido de los mensajes y quedan relegados a un control de todo o nada sobre las comunicaciones entre los dos dispositivos.

Este nivel de control sobre los flujos obvia la necesidad de la arquitectura escalonada y segmentada utilizada hoy en día en las redes industriales. En consecuencia, habilitado por el control RDS, cada flujo puede controlarse individualmente para implementar una red plana simple para uso de todos los dispositivos conectados al mismo nivel topológico.

Una ventaja del nivel granular de control de los flujos es un mayor nivel de seguridad, ya que sólo los flujos autorizados pueden entrar en el segmento. Esta capacidad de controlar los flujos también puede aprovecharse para la redundancia de redes y dispositivos. Para la redundancia de la red, el control RDS puede redirigir los flujos alrededor de los enlaces que están caídos o que están experimentando alguna degradación del rendimiento. Esta misma capacidad podría utilizarse para equilibrar la carga de los enlaces de red.

De esta manera, RDS puede proporcionar un control sin precedentes sobre los flujos dentro de una red y, por lo tanto, permitir arquitecturas de red plana para su uso en el ICS. El control RDS puede gestionar los flujos dentro de la red para proporcionar la separación de flujos necesaria que antes se lograba con topologías jerárquicas complejas, lo que permite implementar arquitecturas planas más sencillas y fáciles de gestionar en el ICS.

Se han propuesto muchos controles RDS diferentes o están disponibles en el mercado, y como se ha señalado anteriormente, la arquitectura de un control RDS es específica de la implementación, con diferentes controles que tienen diferentes conjuntos de componentes y propiedades. En la FIG. se ilustra un control RDS 120 con un conjunto de componentes a modo de ejemplo. 1D. Algunos controles RDS incluyen una abstracción de la capa de servicio (ACS) 136 que admite la coexistencia de varias API de dirección sur diferentes (por ejemplo, FlujoAbierto, OVSDb) y protocolos (por ejemplo, SNMP, NETCONF). Todos los controles RDS incluyen algún tipo de lógica de control RDS 122 que utiliza funcionalidades de control de red proporcionadas por componentes como un gestor de dispositivos 124, un gestor de topología 126, un gestor de estadísticas 128, un módulo de notificación 132, un módulo de seguridad 134, y/o similares. El gestor de dispositivos 124 puede gestionar dispositivos en la red. Por ejemplo, el gestor de dispositivos 124 puede detectar cuándo se añade o se retira un dispositivo de la red. El gestor de topología 126 puede detectar cambios de topología en la red y mantener una topología actualizada de la red. El gestor de estadísticas 128 puede recopilar estadísticas relativas a la supervisión de funciones y dispositivos de red (por ejemplo, estadísticas de

flujo generadas por los dispositivos de reenvío). El módulo de notificación 132, por ejemplo, puede recibir, procesar y tomar una acción con respecto a eventos (por ejemplo, notificaciones de alarma, cambios de estado). El módulo de seguridad puede garantizar el cumplimiento de las normas de seguridad.

La FIG. 2 es un diagrama de bloques que ilustra el dominio de control de la RDS industrial en capas de acuerdo con algunas realizaciones. La RDS puede implantarse en un entorno industrial para gestionar la red y los dispositivos industriales. Además de los dispositivos de red físicos reales y los dispositivos industriales físicos reales, la capa de infraestructura 110b también puede tener dispositivos de red virtuales y dispositivos industriales virtuales. Los dispositivos representados en el entorno virtual 202 son instancias virtualizadas de dispositivos físicos, incluidos dispositivos de red 208 tales como conmutadores, enrutadores, cortafuegos y similares, y otros dispositivos tales como PC 202, PLC 206 y similares. Están conectados a través de enlaces virtuales. La red de dispositivos virtuales con conexiones virtuales se denomina red virtualizada. Los dispositivos y redes virtuales residen en nodos de servidores físicos en un entorno de computación en nube 212 que proporciona recursos de computación, almacenamiento, identidad y red. El entorno de computación en nube 212 forma parte de la red real. Esto significa que la red real y la red virtualizada están interconectadas para formar el dominio de control del control RDS.

Algunos dispositivos de infraestructura en el ámbito industrial integran la infraestructura y el dispositivo final en un solo dispositivo. Por ejemplo, un PLC que actúe como autómatas y como conmutador. Por ello, este tipo de dispositivos industriales son aptos para ser gestionados directamente por el control RDS. Para ser gestionado por el control RDS, el dispositivo puede implementar al menos una interfaz vinculada hacia el sur de un control RDS seleccionado. Un ejemplo de solución es que dicho dispositivo implemente el protocolo OpenFlow o similar. La implementación de OpenFlow a nivel de dispositivo industrial llevaría el control de la SDN al nivel del dispositivo.

2. Red sensible al tiempo (RST)

La red sensible al tiempo (RST) es uno de los principales conjuntos de tecnologías que impulsan la comunicación en tiempo real totalmente determinista. RST consigue una comunicación determinista en tiempo real por medio de el uso de control centralizado, sincronización temporal y programación. En una red RST, los mensajes o paquetes de datos se transmiten en función de un calendario y una prioridad para garantizar una latencia y fiabilidad máximas. De este modo, la tecnología RST permite a las aplicaciones de control, tales como las de los ámbitos industrial y automovilístico, transmitir datos críticos en el tiempo a través de una infraestructura Ethernet estándar, obviando la necesidad de protocolos especializados para manejar datos en tiempo real.

Los dispositivos de infraestructura se adhieren a la arquitectura clásica de dispositivos de red en el sentido de que tienen:

- (i) Plano de datos - en el que se produce el reenvío real
- (ii) Plano de control - en el que se configuran las decisiones de reenvío
- (iii) Plano de gestión - en el que el dispositivo es gestionado por su propietario

A continuación, la infraestructura puede caracterizarse en función de las capacidades y la finalidad de la red de dispositivos. Desde la perspectiva de la red, existen los siguientes tipos de dispositivos:

- (i) Dispositivos de borde: dispositivos que producen y/o consumen datos, como PLC y E/S.
- (ii) Dispositivos de transporte: dispositivos como conmutadores y enrutadores que simplemente reenvían datos a través de la red
- (iii) Dispositivos de servicio de red: dispositivos que realizan procesamiento y reenvío de datos, como DPI

Basándose en la clasificación de dispositivos anterior, toda la conversación sobre infraestructura puede transformarse realmente en una conversación sobre datos en la que la infraestructura transporta y las políticas que rigen la distribución de datos.

Los datos (por ejemplo, en el ámbito industrial, en el ámbito de la automoción) pueden describirse como:

- (i) Datos sensibles al tiempo (DST) - Este tipo de datos requiere una entrega del productor al consumidor fiable e instantánea. Como tal, requiere un conocimiento del tiempo de principio a fin con una fiabilidad de seis nueves. El tiempo de respuesta de la aplicación (TRA) para este tipo de datos suele considerarse inferior a 1 ms.
- (ii) Datos conscientes del tiempo (DCT) - Se espera que este tipo de datos tenga cualidades deterministas. Aunque no es sensible al tiempo, sí lo es al tener una noción de tiempo de espera. TRA para este tipo de datos está aproximadamente en el intervalo de los milisegundos.
- (iii) Datos de mejor esfuerzo (DME) - Este tipo de datos es información no esencial que puede trasladarse simplemente al tráfico de red general con el servicio de mejor esfuerzo.

Los tipos de datos anteriores pueden asociarse a los siguientes Estándares de red:

(i) RST (IEEE 802.1AS-rev, IEEE 802.1Qbv, IEEE 802.1Qbu, IEEE 802.1Qca, IEEE 802.1CB, IEEE 802.1Qcc, IEEE 802.1Qci, IEEE 802.1Qch): control y gobierno de datos sensibles al tiempo

(ii) CdS (IEEE 802.1Q, IEEE 802.1P): control y gobierno de los datos conscientes del tiempo y datos de mejor esfuerzo

3. RDS sensible al tiempo (RDSST)

Aunque RDS permite un control granular y sin precedentes de los recursos y flujos de red, no tiene noción del tiempo. Los controles RDS pueden implementar mecanismos convencionales de sellado de tiempo para sellar cada mensaje con la hora en que fue recibido o enviado. Sin embargo, estos mecanismos no tienen noción del tiempo, en el sentido de que no pueden interpretar ni comprender las implicaciones del tiempo. Por ejemplo, un control/dispositivo RDS no es capaz de rechazar paquetes recibidos después de medianoche, ni de permitir que los paquetes transiten por un dispositivo de red entre la una y las cuatro de la madrugada. Del mismo modo, un control RDS puede determinar una ruta a través de la infraestructura de red, pero dicha ruta no tiene en cuenta si los datos que se van a transmitir son sensibles al tiempo, conscientes del tiempo o de mejor esfuerzo.

De acuerdo con la presente divulgación, esta limitación de la tecnología RDS puede superarse integrando la gestión del dominio temporal en el control RDS para crear un control RDS sensible al tiempo (RDSST). En la FIG. 9A se muestra un ejemplo de componentes de un control RDSST de acuerdo con una primera realización. El control RDSST 325A incluye una lógica de control RDSST 322A que tiene un gestor de dispositivos 324, un gestor de topología 326, un gestor de estadísticas 328, un módulo de notificación 332 y un módulo de seguridad 334. Estos componentes tienen funciones similares a los componentes del control RDS 120 de la FIG. 1D. La lógica de control RDSST 322A también incluye un módulo de gestión del tiempo 338 responsable de llevar la conciencia del tiempo. El módulo de gestión del tiempo 338 puede tener una interfaz vinculada hacia el norte para interactuar con aplicaciones y una interfaz vinculada hacia el sur para interactuar con dispositivos de red.

Llevar la conciencia del tiempo al control RDS no significa necesariamente la implementación completa de los requisitos RST (es decir, todo el conjunto de protocolos RST). En algunas realizaciones, el conocimiento del tiempo puede incluir la capacidad de diferenciar los flujos (para la implementación de Flujo Abierto) o los datos que son sensibles al tiempo de los que no lo son. El control RDSST podría entonces separar las rutas sensibles al tiempo de las rutas de tráfico general y, por lo tanto, crear las superposiciones adecuadas para acomodar la diferenciación de las capacidades de los dispositivos con respecto al conocimiento del tiempo. De este modo, el control RDSST puede proporcionar una gestión integral de TRA mediante el uso de los principios de las tecnologías RST, incluida la gestión centralizada y la hora global, así como el conocimiento de la hora. La RDSST podría así garantizar el transporte de mensajes a través de la red que comprende dispositivos capaces de RST (o dispositivos RST) con baja latencia limitada, baja variación de retardo de paquetes y baja pérdida de paquetes. Los dispositivos capaces de RST, tal y como se utilizan en la presente memoria descriptiva, son dispositivos que incluyen dispositivos de red que soportan o implementan algunos o todos los protocolos RST. En algunas realizaciones, los procedimientos de ejemplo implementados por el módulo de gestión de tiempo 338 se describen en referencia a las FIGS. 6A-6D.

Una RST incluye dispositivos o entidades RST que implementan protocolos RST relativos al control y gobierno de datos sensibles al tiempo. Aunque la tecnología RST está evolucionando rápidamente en una dirección en la que un configurador RST especial puede configurar toda la RST, la tecnología sigue dependiendo de un hardware específico que se adhiere a definiciones estándar específicas y al intercambio de información entre entidades RST que utilizan protocolos predefinidos y una especie de red exclusiva. El control RDSST, por su parte, asume las responsabilidades del plano de control de los dispositivos. Por ejemplo, el control RDSST puede implementar PRF en nombre de todos los dispositivos. Del mismo modo, FlujoAbierto como protocolo RDS puede ampliarse para satisfacer el arsenal de protocolos RST. Con la fusión adecuada de la funcionalidad, se puede crear un FlujoAbiertoST para configurar todos los aspectos de los dispositivos RST directamente desde el control RDSST.

La FIG. 3B ilustra componentes de ejemplo de un control RDSST 325B de acuerdo con una segunda realización. En esta realización, el control RDS puede integrarse con una aplicación RST 342 ampliando el control (por ejemplo, Luz de día Abierta) para implementar una aplicación RST 342 que utilice una interfaz vinculada hacia el sur para detectar y controlar directamente las capacidades de los dispositivos RST. En este caso, el protocolo Flujo Abierto no puede utilizarse para implementar el dominio del tiempo, sino para configurar los dispositivos RST de forma que se preserve el dominio del tiempo establecido por RST.

La FIG. 3C ilustra componentes de ejemplo de un control RDSST 325C de acuerdo con una tercera realización. En esta realización, se puede proporcionar un módulo 344 de enrutamiento multi-ruta sensible al tiempo para el cálculo centralizado de las rutas más eficientes para el enrutamiento, proporcionando así redundancia y aumentando la fiabilidad de la red controlada RDS-TS global. El módulo 344 puede implementar cualquiera de los protocolos de estado de enlace, tal como el protocolo de puente de ruta más corta (PRC), interconexión transparente de lotes de enlaces (ITLE), y similares, y utilizar técnicas tales como el multi-árbol de igual coste (MAIC), el algoritmo de Dijkstra y/o la ingeniería de tráfico para determinar o calcular las rutas más eficientes basándose en la sensibilidad al tiempo

y/o la carga de la red. Una implementación específica del módulo 344 de enrutamiento multi-ruta sensible al tiempo puede ser un módulo PRC sensible al tiempo (módulo PRC-ST) que implemente el protocolo de puente de ruta más corta (PRC). El protocolo PRC es un protocolo estandarizado especificado en la norma IEEE 802.1aq que crea la ruta más corta de comunicación entre entidades de red. En las redes estándar, lo implementa cada dispositivo de red en su firmware. En este ejemplo, la implementación del protocolo PRC puede trasladarse al control RDSST 325C (por ejemplo, en el módulo PRC-ST), y en conjunción con FlujoAbierto u otros protocolos de control, el control RDSST 325C puede generar una vista centralizada de todas las rutas más cortas. En este ejemplo, el protocolo PRC se amplía para incluir el tiempo y la carga de red como atributos en el encaminamiento multi-árbol de igual coste (MAIC). De acuerdo con esta realización, el módulo PRC-TS puede, mediante el uso del protocolo PRC aumentado y la técnica CEMT crear o determinar rutas más cortas alternativas basados en la sensibilidad temporal o la carga de la red, o una combinación de los mismos. Un equilibrador de carga RDS 346 puede recopilar información de congestión indicativa de la carga de la red. Este comportamiento se ilustra en la FIG. 3D que representa un número de rutas más cortas a través de dispositivos RST 312 y dispositivos no RST 308 que el módulo PRC-ST puede determinar. En el diagrama, se muestra que la ruta más corta para transportar flujos de paquetes desde el dispositivo A al dispositivo B es a través de los dispositivos de red 312A, 308A, 308B, 312F y una ruta más corta alternativa desde el dispositivo A al dispositivo B es a través de los dispositivos de red 312A, 312B, 308D, 312F. En ambos casos, no se ofrecen garantías con respecto al tiempo, por lo que pueden no ser adecuados para flujos de paquetes sensibles al tiempo. No obstante, los flujos de paquetes pueden distribuirse entre las dos rutas para equilibrar la carga. También se representa en el mismo diagrama la ruta RST más corta desde el dispositivo A al dispositivo B a través de los dispositivos de red 312A, 312B, 312C, 312E, 312F. Una ruta RST alternativa más corta puede ser a través de los dispositivos de red 312A, 312B, 312C, 312D, 312E y 312F. Ambos trayectos RST ofrecen garantía con respecto al tiempo y, como tales, los flujos de paquetes pueden distribuirse entre los dos trayectos RST para equilibrar la carga. Cuando se tiene en cuenta la congestión de la red, la ruta RST más corta ya no es el mismo. En el diagrama, la ruta más corta para el tráfico pesado RST desde el dispositivo M al dispositivo N es a través de los dispositivos de red 312C y 312E. Esta ruta de red proporciona la ruta más corta que es sensible al tiempo. Finalmente, la ruta más corta para el tráfico pesado que no es sensible al tiempo desde el dispositivo X al dispositivo Y puede ser a través de los dispositivos de red 308A y 308B. Esta ruta es la más corta y no es sensible al tiempo. De este modo, el control RDSST 325C, a través del módulo PRC-ST y el equilibrador de carga 346, puede determinar el puenteo de rutas más corta que también es sensible al tiempo y equilibrado en carga, poniendo todos los aspectos de la ingeniería de tráfico bajo el ámbito del control RDSST 325C.

En algunas realizaciones, un algoritmo Dijkstra puede ser utilizado por el módulo de enrutamiento multi-ruta sensible al tiempo 344 para identificar la ruta más corta para el tráfico RST y/o tráfico no RST a través de la red. El algoritmo de Dijkstra elimina continuamente las rutas más largas entre el origen o nodo de partida y todos los posibles nodos de destino. Las rutas más largas pueden tener un coste más elevado, que suele atribuirse a la velocidad del enlace (es decir, el coste es inverso a la velocidad del enlace). El algoritmo comienza teniendo conjuntos confirmados o visitados y no confirmados/no visitados. Los nodos de los conjuntos no confirmados tienen una ruta hacia el nodo inicial, pero están pendientes de evaluación. Se han evaluado los nodos de los conjuntos confirmados. Se pueden tomar las siguientes medidas:

1. Establece la distancia del nodo inicial en 0.
2. Ajuste todas las demás distancias a un valor muy alto.
3. Establece el nodo inicial como actual y añade todos los nodos al conjunto no confirmado.
4. Repita las siguientes etapas a-c mientras el conjunto no confirmado no esté vacío:
 - a. desde el nodo actual, calcular las distancias a todos sus vecinos y comparar las distancias recién calculadas con los valores actuales asignados y asignar el menor.
 - b. añadir el nodo actual al conjunto confirmado, y eliminarlo del conjunto no confirmado una vez completada la etapa a.
 - c. seleccionar un nodo del conjunto no confirmado que esté a menor distancia y establecerlo como nuevo nodo actual.

El resultado de este algoritmo es la determinación de la ruta más corta desde el nodo inicial a todos los destinos posibles. Para que la red sea capaz de determinar la ruta más corta, hay que implementar el algoritmo de Dijkstra en cada dispositivo de red, lo que aumenta su complejidad. Además, el algoritmo no tiene en cuenta los costes basados en el tiempo y la carga. Por ejemplo, una ruta de alta velocidad a través de un dispositivo de red A puede tener reservado el 50% de su ancho de banda, provocando que el plano de datos esté totalmente cargado. Esta información sobre la carga puede utilizarse para evitar la ruta de alta velocidad, por ejemplo para el tráfico sensible al tiempo. A continuación se analizará un algoritmo de Dijkstra mejorado para incluir costes basados en la carga y el tiempo que supera estos y otros problemas del algoritmo de Dijkstra.

Un ejemplo del algoritmo Dijkstra mejorado que puede ser implementado por el control RDSST 325C (por ejemplo, a través del módulo de enrutamiento multi-ruta sensible al tiempo 344) se ilustra en la FIG. 3E. En el diagrama, algunos de las rutas están asociadas a valores de coste. Se supone que todos las rutas no marcadas tienen un coste de 100,

por lo que estas rutas no marcadas no se ordenarán y no serán seleccionadas por el algoritmo de Dijkstra modificado. En este ejemplo, las rutas de red se evalúan en función de un coste basado en la carga. En otras palabras, el cálculo de costes puede tener en cuenta las condiciones de carga de la red. Otros factores adicionales, como la velocidad del enlace, pueden incluirse en el cálculo del coste en algunas realizaciones.

- 5 El algoritmo de Dijkstra puede determinar que la ruta más corta entre el Dispositivo A y el Dispositivo B es a través de los dispositivos de red 312A, 308A, 308B, 312F porque el coste de la ruta es $1+1+1$ o 3 frente a $2+2+2$ o 6 a través de los dispositivos de red 312A, 312B, 308D, 312F. Supongamos ahora que hay mucho tráfico entre el dispositivo X y el dispositivo Y a través de los dispositivos de red 308A y 308B. Cuando el control RDSST detecta tales niveles de tráfico (por ejemplo, mediante el uso de funciones de diagnóstico FlujoAbierto), puede cambiar dinámicamente el coste del enlace entre los dispositivos de red 308A y 308B a un número basado en la carga. Por ejemplo, si la carga es del 50%, añadiendo 50 al coste existente se obtendría un nuevo coste de 51. Ahora, cuando el algoritmo de Dijkstra se ejecute de nuevo, dará como resultado $1+51+1$ o 53 para la ruta a través de 312A, 308A, 308B, 312F mientras que la ruta a través de 312A, 312B, 308D, 312F tendrá el coste de $2+2+2$ o 6. En este ejemplo, la segunda ruta será la más corta y, por tanto, la elegida para el transporte de paquetes.
- 15 Los datos sensibles al tiempo pueden tratarse de manera similar. En este caso, además del coste basado en la carga, habría un coste basado en la latencia. Esto significa que cuanto más lento sea el dispositivo de red, mayor será la latencia y, por tanto, el coste. Por ejemplo, por referencia brevemente a la FIG. 3F, tomemos en consideración únicamente la vía RST. El algoritmo Dijkstra puede determinar que el coste de la ruta rápida sin carga a través de los dispositivos de red 312A, 312B, 312C, 312E, 312F es $2+3+3+1=9$. La ruta lenta sin carga a través de los dispositivos de red 312A, 312B, 312C, 312D, 312E, 312F es $2+3+3+1+1=10$. Suponiendo ahora alguna carga adicional en 312C y 312E, el coste de la primera ruta se actualizaría a $2+3+53+1=59$. En este caso, se seleccionaría la segunda ruta para transportar el tráfico RST. De este modo, el control RDSST, que conoce cuántos flujos RST pasan por un mismo punto de la red, puede ajustar el coste de los enlaces a ese dispositivo y recalcular la ruta más corta en consecuencia.

- 25 Además, como se muestra en la FIG. 3F, los dispositivos RST pueden aislarse fácilmente de los que no lo son. Esta es otra de las ventajas del sistema centralizado. Esta centralización permite que los algoritmos de Dijkstra mejorados por consideraciones de coste basadas en la carga y la latencia se ejecuten en subconjuntos de la red o en toda la red.

- La FIG. 3G es un diagrama de bloques que ilustra la infraestructura de red bajo la gestión de un control RDSST. Como se ha descrito, el control RDSST puede gestionar los dispositivos RST 312 que implementan los protocolos RST para proporcionar un transporte garantizado de mensajes de un dispositivo a otro a través de la red. Es probable que la infraestructura de red existente tenga dispositivos no RST 308 además de dispositivos RST 312, como se muestra. En tales casos, los dispositivos RDS 312 también son gestionados por los controles RDS-ST. El control RDS-ST 325 puede programar directamente cada uno de estos dispositivos RST 308 y dispositivos RDS 312 para implementar varias políticas de red, incluyendo cómo gestionar o procesar (por ejemplo, priorizar, reenviar/rechazar) diferentes clases de datos.

- 35 La FIG. 4 representa la comunicación entre un dispositivo hablante 416 y un dispositivo oyente 418 a través de una infraestructura de red que comprende una mezcla de dispositivos RST 412 y dispositivos no RST 408 que existen en el mismo dominio temporal. En el modelo de despliegue "RDS subyacente", todo el control de la infraestructura de red (por ejemplo, 408, 412) desde todas las perspectivas de red es gestionado por el control RDSST 425. Esto significa que protocolos subyacentes tales como Flujo Abierto y el conjunto de protocolos RST están directamente controlados por RDS. Además, el control RDSST 425, el dispositivo hablante 416, el dispositivo oyente 418 así como la infraestructura de red implementan la sincronización horaria 432. La sincronización de tiempo 432 se logra teniendo los relojes en tiempo real de todos los dispositivos sincronizados a un reloj maestro con gran precisión (por ejemplo, en el intervalo de nanosegundos). Esto proporciona una base temporal común para que los mensajes conjurados en el dispositivo hablante y presentados en el dispositivo oyente tengan la misma temporización relativa.

- 45 Puede considerarse que la RDS sensible al tiempo comprende un plano de control, un plano de datos y un dominio temporal. El plano de control implementa el control RDSST, mientras que el plano de datos realiza la comunicación proporcionando el transporte de datos de manera oportuna. Dominio de Tiempo impone la conciencia del tiempo en el dominio de control RDS. Los planos están relacionados con dos nociones de responsabilidad:

- 50 (i) Orquestación: Responsabilidad de la disposición, coordinación y gestión automatizadas de elementos y protocolos de red complejos para dar servicio a una aplicación sensible al tiempo.
- (ii) Información: Responsabilidad de la recopilación, el análisis, la interpretación, la presentación y la organización de la información de la red que, a su vez, permite que una aplicación sensible al tiempo reaccione de forma programada a las condiciones de la red.

- 55 En algunas realizaciones, RDS, como control último de toda la red, tiene potencialmente el control último del dominio temporal, ya sea a través de la selección de rutas aisladas o del despliegue y orquestación exhaustivos de RST. Este control final lo hace adecuado para garantizar una entrega de datos verdaderamente determinista a nivel de red.

Considérese un ejemplo de una red industrial marrón en la que hay una mezcla de dispositivos conscientes de RST 412 y dispositivos no conscientes 408. El control RDSST 425 puede descubrir y asegurar el tiempo de una ruta de red

para mensajes sensibles al tiempo a través de la infraestructura existente. Para descubrir una ruta de red que cumpla los requisitos de sensibilidad temporal de los mensajes que se van a transportar, es necesario determinar el retardo de extremo a extremo de los mensajes. Normalmente, los cálculos de retardo de red sólo tienen en cuenta el retardo en el plano de datos de la red, es decir, de un dispositivo de red a otro. Sin embargo, en realidad, a partir del momento en que un paquete de datos se conjura en la capa de aplicación 422, el paquete de datos transita por varias capas antes de llegar al plano de datos 428. Por ejemplo, en un dispositivo hablante 416 (es decir, la fuente del paquete de datos o dispositivo transmisor), el paquete de datos transita desde una capa de aplicación 422 a través de una pila 424 que incluye el sistema operativo que proporciona un medio de comunicación (por ejemplo, pila TCP/IP, pila UDP, Linux, Windows, etc.) antes de transitar al plano de control 426 y finalmente al plano de datos 428 del dispositivo hablante. A partir de ahí, el paquete de datos pasa al plano de datos de la red, que incluye los elementos de reenvío 408, 412, es decir, los dispositivos de red responsables del transporte a través de la red. A continuación, el paquete de datos transita por el plano de control 426, la pila 424 y la capa de aplicación 422 del dispositivo oyente 418 (es decir, el dispositivo oyente). El retardo que sufre el paquete de datos en cada una de estas transiciones a través de las capas se tiene en cuenta en el cálculo del retardo de extremo a extremo. El control RDSST 425 puede calcular el retardo de extremo a extremo ya que la sincronización de tiempo 432 permite que el retardo que el nivel de dispositivo hablante 416, el retardo en el nivel de dispositivo oyente 418 y el retardo en el nivel de plano de datos de red se propaguen al control RDSST.

En la FIG. 4, el control RDSST ha descubierto una ruta de red para transportar un mensaje sensible al tiempo desde el dispositivo hablador 416 al dispositivo oyente 418 mediante el uso de únicamente los dispositivos RST 412. La ruta de red 414 garantiza que el retardo de extremo a extremo para el mensaje sensible al tiempo cumple con el requisito de tiempo del mensaje sensible al tiempo o de la aplicación que conjuró el mensaje sensible al tiempo, y por lo tanto logra una comunicación determinista de extremo a extremo.

En RDS/FlujoAbierto, un flujo es una secuencia de paquetes entre un origen y un destino. La Figura 5 muestra la gestión de flujos sensibles al tiempo y no sensibles al tiempo por parte del control RDS-ST (por ejemplo, 325A, 325B, 325C) en un dominio industrial. Un ejemplo de dispositivo PLC 516 puede producir dos flujos que incluyen paquetes de datos que van a ser transportados a un servicio de diagnóstico 518 y a un equipo industrial 522 respectivamente. Cuando un dispositivo de red recibe un paquete de datos asociado a un flujo que debe entregarse al equipo industrial 522, primero lo reenvía o informa al control RDS-ST 525 si el dispositivo de red no tiene ninguna regla para reenviar el paquete de datos. A continuación, el control RDSST 525 determina si el paquete de datos incluye datos sensibles al tiempo o conscientes del tiempo. Como se ha descrito anteriormente, los datos sensibles al tiempo (DST) son datos de misión crítica que requieren una entrega instantánea y fiable, con un TRA a menudo inferior a 1 ms, mientras que los datos conscientes del tiempo (DCT) tienen un TRA que suele estar en el intervalo de los milisegundos. En algunas realizaciones, se puede determinar si un paquete de datos tiene DST o DCT basándose en la información recibida del dispositivo de origen. Por ejemplo, cuando un usuario califica o especifica un tráfico como DST o DCT (por ejemplo, a través de una aplicación de control industrial que se ejecuta en el PLC 516 o a través de una aplicación de red que interactúa con el control RDSST 525), cada una de dichas calificaciones puede traducirse en información de configuración de red que puede estar en forma de grupos de ID de RALV, parámetros de CdS y similares. En algunas implementaciones, la información de configuración de red indicativa de la característica de sensibilidad temporal puede incluirse en un mensaje de anuncio de hablante del protocolo de reserva de flujo (PRF). En otras palabras, el control RDSST 525 puede, basándose en cualquier actividad PRF (que es un protocolo específico RST) detectada desde el dispositivo fuente, determinar que el paquete de datos incluye DST. El control RDSST 525 puede detectar además que un paquete de datos procedente del dispositivo de origen es DCT basándose en los parámetros de CdS asociados al paquete de datos. Todos los demás paquetes de datos pueden considerarse de mejor esfuerzo. Si el paquete de datos es sensible al tiempo, el control RDS-ST 525 determina una ruta de red con una latencia máxima tal que el retardo de extremo a extremo del paquete de datos sea inferior al requisito de sensibilidad al tiempo asociado al paquete de datos. En algunas implementaciones, el control RDSST 525 puede obtener el requisito de sensibilidad temporal de la aplicación de control industrial que se ejecuta en el PLC 516 o a través de una aplicación de red que interactúa con el control RDSST 525, por ejemplo, a través de la interfaz RESTFULL en el lado norte del control. El retardo de extremo a extremo, como se ha descrito anteriormente, puede calcularse basándose en la información asociada con el dispositivo de origen (es decir, el PLC 516) y/o el dispositivo de destino (es decir, el equipo industrial 522) y los dispositivos de red. En algunas realizaciones, la intención de uso de la red, incluido el retardo o latencia asociados que contribuyen al retardo de extremo a extremo, la característica de sensibilidad al tiempo del paquete de datos, y similares, pueden ser comunicados por los dispositivos de origen y/o destino y los dispositivos de red al control RDSST. La capacidad de los dispositivos de red (por ejemplo, latencias asociadas, ancho de banda disponible, tipo de paquetes de datos en cola) puede ser determinada por el control RDS-ST por medio de interrogación directa. por referencia a la FIG. 5, la ruta de red descubierta para transportar el flujo sensible al tiempo desde el PLC 516 al equipo industrial 522 es a través de los dispositivos RST 512a y 512b. El control RDSST 525 selecciona esta ruta que comprende sólo dispositivos sensibles al tiempo para garantizar que el retardo de extremo a extremo en el transporte de los paquetes de datos asociados con el flujo cumple el estricto requisito de temporización asociado con los datos sensibles al tiempo.

En cuanto al segundo flujo desde el PLC 516 al servicio de diagnóstico 518, el control RDSST 525 puede determinar de forma similar, basándose en el contenido de un paquete de datos asociado con el flujo, si el flujo es sensible al tiempo o consciente del tiempo. Supongamos que el control RDSST 525 determina que el flujo no es ninguno de los

dos (es decir, datos de mejor esfuerzo), entonces el control RDSST 525 puede determinar una ruta de red a través únicamente de dispositivos no RDST. Como se muestra en la **FIG. 5**, la ruta de red para el flujo de mejor esfuerzo es a través del dispositivo RDS 508a y 508c.

La **FIG. 6A** es un diagrama de flujo lógico que ilustra un procedimiento de ejemplo de transmisión de un paquete de datos sensible al tiempo a través de una infraestructura de red que comprende dispositivos de red sensibles al tiempo y no sensibles al tiempo. El procedimiento de ejemplo comprende en el bloque 602, recibir un paquete de datos originado en un primer dispositivo y dirigido a un segundo dispositivo a través de una RDS sensible al tiempo. El control RDSST basado en la información de configuración de red asociada con el paquete de datos (por ejemplo, actividad PRF, CdS, grupos RALV ID) puede determinar que el paquete de datos es un paquete de datos sensible al tiempo que incluye datos sensibles al tiempo en el bloque 604. En el bloque 606, el control RDSST puede recibir o determinar un requisito de temporización asociado con el paquete de datos sensibles al tiempo. En el bloque 608, el control RDSST puede determinar una ruta de red a través de la infraestructura de red mediante el uso de uno o más de sólo los dispositivos de red sensibles al tiempo. La ruta de la red tiene una latencia predecible que hace que el retardo de extremo a extremo del paquete de datos sensible al tiempo sea inferior al requisito de temporización. En algunas realizaciones, el retardo de extremo a extremo de un paquete de datos tiene en cuenta la latencia a través de cada capa por la que transita el paquete de datos después de ser conjurado en una capa de aplicación de el primer dispositivo. Por ejemplo, el paquete de datos sensibles al tiempo puede transitar a través de una capa de aplicación y una pila de sistema operativo en cada uno de los dispositivos primero y segundo y a través de un plano de control y un plano de datos de la red RDSST asociada con el control RDSST. En algunas realizaciones, la determinación de la ruta de red puede incluir la programación de los dispositivos de red en la ruta de red para que otros paquetes de datos que forman parte del mismo flujo puedan ser transportados mediante el uso de la misma ruta de red. En el bloque 610, el paquete de datos sensibles al tiempo se transmite desde el primer dispositivo al segundo dispositivo a través de la ruta de red

La **FIG. 6B** es un diagrama de flujo lógico que ilustra un ejemplo de procedimiento de transmisión de un paquete de datos con temporización a través del primer dispositivo y la infraestructura de red de la **FIG. 6A**. En este procedimiento, el control RDSST recibe un paquete de datos para ser entregado desde el primer dispositivo a un tercer dispositivo a través de la infraestructura de red en el bloque 620. En el bloque 622, el control RDSST basado en la información de configuración de red asociada con el paquete de datos (por ejemplo, CdS) puede determinar que el paquete de datos es un paquete de datos consciente del tiempo que incluye datos conscientes del tiempo. En el bloque 624, el control RDSST determina un requisito de temporización para entregar el paquete de datos con temporización. En el bloque 626, el control RDSST determina una segunda ruta de red a través de la infraestructura de red mediante el uso de uno o más dispositivos de red seleccionados entre los dispositivos de red sensibles al tiempo y los dispositivos de red no sensibles al tiempo que componen la infraestructura de red. La segunda ruta de red tiene una latencia predecible que hace que el retardo de extremo a extremo del paquete de datos con temporización sea inferior a un requisito de temporización asociado al paquete de datos con temporización. A continuación, el paquete de datos con temporización se transmite desde el primer dispositivo al tercero a través de la segunda ruta de red.

La **FIG. 6C** es un diagrama de flujo lógico que ilustra un ejemplo de procedimiento de transmisión de un paquete de datos mejor esfuerzo a través del primer dispositivo y la infraestructura de red de **las FIGs. 6A y 6B**. En el bloque 630, el control RDSST recibe un paquete de datos que debe entregarse desde el primer dispositivo a un cuarto dispositivo a través de la infraestructura de red. El control RDSST basado en la información de configuración de red asociada con el paquete de datos determina que el paquete de datos es un paquete de datos de mejor esfuerzo que no tiene sensibilidad de tiempo o conciencia de tiempo en el bloque 632. En el bloque 634, el control RDSST determina una tercera ruta de red a través de la infraestructura de red mediante el uso de uno o más de los dispositivos de red no sensibles al tiempo para entregar el paquete de datos de mejor esfuerzo. A continuación, el paquete de datos de mejor esfuerzo se transmite desde el primer dispositivo a través de la tercera ruta de red hasta el cuarto dispositivo.

La **FIG. 6D** es un diagrama de flujo lógico que ilustra un procedimiento de ejemplo de transmisión de flujos de paquetes a través de una ruta de red reservada para garantizar un requisito de temporización especificado. En el procedimiento de ejemplo, en el bloque 640, un control RDSST (por ejemplo, el control RDSST 325A a través del módulo de gestión de tiempo 338) puede recibir una solicitud que especifica un requisito de temporización para la comunicación entre un dispositivo hablante y un dispositivo oyente. En algunas realizaciones, la solicitud puede adoptar la forma de un paquete de red estándar enviado por el dispositivo hablante al control RDSST. En el bloque 642, el control RDSST puede recibir el retardo de dispositivo asociado con el dispositivo hablante y el dispositivo oyente. Estos retardos de dispositivo pueden estar asociados con los retardos encontrados a nivel de dispositivo cuando los paquetes de datos pasan de una capa de aplicación a través de una pila a un plano de control y/o plano de datos. En el bloque 644, el control RDSST recibe información de carga de red de los dispositivos de red en la red. La información de carga de red puede ser indicativa del ancho de banda disponible del dispositivo de red para manejar flujos de paquetes adicionales. En el bloque 646, el control RDSST determina, basándose en el requisito de temporización especificado y en la información de carga de red, una ruta de red que el dispositivo hablante puede utilizar para comunicarse con el dispositivo oyente. La ruta de red tiene una latencia predecible que hace que el retardo de extremo a extremo de la comunicación entre el dispositivo hablante y el dispositivo oyente sea inferior o igual al requisito de temporización especificado. En el bloque 648, el control RDSST programa uno o más dispositivos de red en la ruta de red para reservar ancho de banda para garantizar el requisito de temporización para la comunicación entre el dispositivo

hablante y el dispositivo oyente. En el bloque 650, el control RDSST transmite paquetes de datos desde el dispositivo hablante al dispositivo oyente de forma determinista a través de la ruta de red.

El procedimiento descrito anteriormente también se puede utilizar a la inversa, es decir, cuando el dispositivo oyente desea enviar paquetes de datos al dispositivo hablante con una garantía de tiempo. Cabe señalar que, en función de los requisitos de temporización, la comunicación puede ser sensible al tiempo o consciente del tiempo. Del mismo modo, en función de los requisitos de temporización, la ruta de red puede incluir sólo dispositivos RST, sólo dispositivos no RST o tanto dispositivos RST como no RST.

Así, el papel del control RDSST es el de un mediador para los servicios RST en la infraestructura. Un dispositivo hablante puede adquirir un flujo del control RDSST que, a su vez, asegura una ruta a un dispositivo oyente configurando todos los dispositivos en la ruta hacia el dispositivo oyente. Esto permite al control RDSST tener una visión más amplia de todos los flujos, actuales y disponibles, a los que puede asignar recursos de forma inteligente. Una de las principales diferencias entre RDSST y RST es que RST tiene una gobernanza de igual a igual que exige que todos los participantes entiendan todos los protocolos de RST para garantizar el nivel de servicio de RST. En RDSST, la gestión del tiempo está lógicamente centralizada y puede eliminar una serie de protocolos RST de los dispositivos RST, dejándoles sólo los estándares del plano de datos. Este planteamiento tiene la ventaja de simplificar considerablemente la gestión del tiempo, así como los propios dispositivos RST.

4. Sistematización informática

La FIG. 7 es un diagrama de bloques de una máquina/ordenador/aparato ejemplar que puede realizar varias operaciones, y almacenar varias informaciones generadas y/o utilizadas por tales operaciones de acuerdo con algunas realizaciones. El ordenador 700 pretende ilustrar un dispositivo de hardware en el que cualquiera de las entidades, componentes o servicios representados en los ejemplos de las FIGS. 1A-5, (y cualquier otro componente descrito en esta especificación) y las metodologías descritas en los ejemplos de las FIGS. 6A-6C pueden implementarse, tal como un servidor, dispositivos de cliente, nodos informáticos, nodos controles tales como el control de RDS (por ejemplo, 120), control RDSST (por ejemplo, 325, 325A, 325B, 325C, 425, 525), dispositivos/nodos de almacenamiento, bases de datos, dispositivos industriales (por ejemplo, PLC, PAC), dispositivos de red, y similares. El ordenador 700 incluye uno o más procesadores 705 y memoria 710 acoplados a una interconexión. La interconexión puede representar uno o más buses físicos separados, conexiones punto a punto, o ambos conectados por puentes, adaptadores o controladores apropiados.

Los procesadores 705 son las unidades centrales de procesamiento (UCP) del ordenador y, por lo tanto, controlan la operación general del ordenador. En ciertas realizaciones, el procesador o procesadores logran esto mediante la ejecución de software o firmware almacenado en la memoria. El procesador o procesadores pueden ser, o pueden incluir, uno o más microprocesadores programables de propósito general o especial, procesadores de señales digitales (PSD), controles programables, circuitos integrados de aplicación específica (CIAE), dispositivos lógicos programables (DLP), módulos de plataforma de confianza (MPC), o similares, o una combinación de dichos dispositivos.

La memoria 710 es o incluye la memoria principal de la computadora. La memoria representa cualquier forma de memoria de acceso aleatorio (RAM), memoria de sólo lectura (ROM), memoria direccionable de contenido ternario (TCAM), memoria flash, o similares, o una combinación de tales dispositivos. En uso, la memoria puede contener un código. En una realización, el código incluye un módulo de programación general configurado para reconocer el programa de propósito general recibido a través de la interfaz de bus del ordenador, y preparar el programa de propósito general para su ejecución en el procesador. En otra realización, el módulo de programación general puede ser implementado utilizando circuitos de hardware tal como ASIC, PLD, o matrices de puertas programables en campo (FPGA).

También se conectan a los procesadores a través de la interconexión un adaptador de red 725, un dispositivos de almacenamiento 715 y dispositivos de E/S 720. El adaptador de red proporciona al ordenador la capacidad de comunicarse con dispositivos remotos, a través de una red y puede ser, por ejemplo, un adaptador Ethernet o un adaptador de canal de fibra o radio inalámbrica. El adaptador de red también puede proporcionar al ordenador la capacidad de comunicarse con otros ordenadores dentro del grupo. En algunas realizaciones, el ordenador puede utilizar más de un adaptador de red para tratar las comunicaciones dentro y fuera del grupo por separado.

Los dispositivos de E/S pueden incluir, por ejemplo, un teclado, un ratón u otro dispositivo señalador, unidades de disco, impresoras, un barrido óptico y otros dispositivos de entrada y/o salida, incluyendo un dispositivo de visualización. El dispositivo de visualización puede incluir, por ejemplo, un tubo de rayos catódicos (CRT), una pantalla de cristal líquido (LCD), o algún otro dispositivo de visualización aplicable conocido o conveniente.

El código almacenado en la memoria puede ser implementado como software y/o firmware para programar los procesadores para llevar a cabo las acciones descritas anteriormente. En ciertas realizaciones, dicho software o firmware puede proporcionarse inicialmente al ordenador descargándolo desde un sistema remoto a través del ordenador (por ejemplo, mediante un adaptador de red). En algunas realizaciones, la memoria 710 y los dispositivos de almacenamiento 715 pueden ser una sola entidad.

Los componentes introducidos en la presente memoria pueden ser implementados, por ejemplo, por circuitos programables (por ejemplo, uno o más microprocesadores) programados con software y/o firmware, o enteramente en circuitos cableados de propósito especial (no programables), o en una combinación de tales formas. Los circuitos de propósito especial puede estar en forma de, por ejemplo, uno o más ASIC, PLD, FPGA, etc.

5 El software o firmware para su uso en el sistema RDS/TsDN introducido en la presente memoria puede ser almacenado en un medio de almacenamiento legible por máquina y puede ser ejecutado por uno o más microprocesadores programables de propósito general o especial. Un "medio de almacenamiento legible por máquina", tal y como se utiliza el término en el presente memoria, incluye cualquier mecanismo que pueda almacenar información en una forma accesible por una máquina.

10 Un ordenador también puede ser un ordenador servidor, un ordenador de cliente, un ordenador personal (PC), un PC tipo ordenador tipo tableta, un ordenador portátil, un decodificador (STB), un asistente personal digital (APD), un teléfono móvil, un teléfono inteligente, una ordenador tipo tableta, un phablet, un procesador, un teléfono, un dispositivo web, un enrutador de red, un conmutador o un puente, un control (por ej., PLC, PAC), o cualquier máquina capaz de ejecutar un conjunto de instrucciones (secuenciales o de otro tipo) que especifiquen las acciones que debe realizar dicha máquina.

15 Un medio de almacenamiento accesible por la máquina o un dispositivo de almacenamiento incluye, por ejemplo, medios registrables/no registrables (por ejemplo, ROM; RAM; medios de almacenamiento en disco magnético; medios de almacenamiento óptico; dispositivos de memoria flash; etc.), etc., o cualquiera de sus combinaciones. El medio de almacenamiento puede ser típicamente no transitorio o incluir un dispositivo no transitorio. En este contexto, un medio de almacenamiento no transitorio puede incluir un dispositivo que es tangible, lo que significa que el dispositivo tiene una forma física concreta, aunque el dispositivo puede cambiar su estado físico. Por lo tanto, por ejemplo, no transitorio se refiere a un dispositivo que sigue siendo tangible a pesar de este cambio de estado.

20 El término "lógica", tal y como se utiliza en la presente memoria, puede incluir, por ejemplo, circuitos programables programados con software y/o firmware específico, circuitos cableados de propósito especial, o una combinación de los mismos.

5. Conclusión

A menos que el contexto requiera claramente lo contrario, a lo largo de la descripción y de las reivindicaciones, las palabras "comprende", "que comprende" y similares deben interpretarse en un sentido inclusivo, en contraposición a un sentido exclusivo o exhaustivo; es decir, en el sentido de "que incluye, pero no se limita a". Tal y como se utilizan en la presente memoria, los términos "conectado", "acoplado" o cualquiera de sus variantes, significan cualquier conexión o acoplamiento, directo o indirecto, entre dos o más elementos; el acoplamiento de la conexión entre los elementos puede ser físico, lógico o una de sus combinaciones. Además, los términos "en la presente memoria", "arriba", "abajo" y términos de significado similar, cuando se utilizan en esta solicitud, se refieren a esta solicitud en su conjunto y no a ninguna parte particular de esta solicitud. Cuando el contexto lo permita, los términos de la anterior Descripción Detallada que utilicen el número singular o plural pueden incluir también el número plural o singular, respectivamente. La palabra "o", en referencia a una lista de dos o más elementos, abarca todas las siguientes interpretaciones: cualquiera de los elementos de la lista, todos los elementos de la lista y cualquier combinación de los elementos de la lista.

40 La descripción detallada anterior de las realizaciones de la divulgación no pretende ser exhaustiva ni limitar las enseñanzas a la forma precisa desvelada anteriormente. Por ejemplo, mientras que los procedimientos o bloques se presentan en un orden determinado, las realizaciones alternativas pueden llevar a cabo rutinas que tengan etapas, o emplear sistemas que tengan bloques en un orden diferente, y algunos procedimientos o bloques pueden ser eliminados, movidos, añadidos, subdivididos, combinados y/o modificados para proporcionar combinaciones alternativas o subcombinaciones. Cada uno de estos procedimientos o bloques puede aplicarse de distintas maneras. Además, aunque a veces se muestra que los procedimientos o bloques se realizan en serie, estos procedimientos o bloques pueden realizarse en paralelo o en momentos diferentes. Además, los números específicos que se indican en la presente memoria son sólo ejemplos: las implementaciones alternativas pueden emplear valores o intervalos diferentes.

50 Las enseñanzas de la divulgación proporcionadas en la presente memoria pueden aplicarse a otros sistemas, no necesariamente al sistema descrito anteriormente. Los elementos y actos de las diversas realizaciones descritas anteriormente pueden combinarse para proporcionar otras realizaciones.

Aspectos de la divulgación pueden ser modificados, si es necesario, para emplear los sistemas, funciones y conceptos de las diversas referencias descritas anteriormente para proporcionar aún más realizaciones de la divulgación.

55 Estos y otros cambios pueden hacerse a la divulgación a la luz de la Descripción Detallada anterior. Aunque la descripción anterior describe ciertas realizaciones de la divulgación, y describe la mejor modalidad contemplada, por muy detallado que aparezca lo anterior en el texto, las enseñanzas pueden practicarse de muchas maneras. Los detalles del sistema pueden variar considerablemente en cuanto a su implementación, sin dejar por ello de estar incluidos en el objeto de la presente memoria. Como se ha indicado anteriormente, la terminología particular utilizada

5 al describir ciertas características o aspectos de la divulgación no debe interpretarse en el sentido de que la terminología se redefine en la presente memoria para restringirse a características, rasgos o aspectos específicos de la divulgación con los que se asocia dicha terminología. En general, los términos utilizados en las reivindicaciones siguientes no deben interpretarse como una limitación de la divulgación a las realizaciones específicas descritas en la especificación, a menos que en la sección Descripción detallada anterior se definan explícitamente dichos términos.

De lo antedicho, se apreciará que las realizaciones específicas del sistema/de la tecnología desvelados se han descrito en la presente memoria descriptiva para los propósitos de la ilustración, pero que las varias modificaciones pueden ser hechas sin desviarse del ámbito de las realizaciones. En consecuencia, las realizaciones no están limitadas excepto por las reivindicaciones adjuntas.

10

REIVINDICACIONES

1. Un procedimiento para transmitir un paquete de datos sensible al tiempo en una red definida por software sensible al tiempo, RDSST, de un sistema de control industrial, la RDSST que comprende dispositivos de red sensibles al tiempo (412) y no sensibles al tiempo (408), que comprende:
 - 5 recibir (606) por un control RDSST (425) en la RDSST un requisito de temporización para entregar el paquete de datos sensible al tiempo originado desde una primera entidad (416) a una segunda entidad (418) a través de la RDSST, gestionando el control RDSST tanto los dispositivos de red sensibles al tiempo (412) como los no sensibles al tiempo (408) en la RDSST;
 - 10 determinar (608) una primera ruta de red (414) a través de la RDSST mediante el uso de uno o más de los dispositivos de red sensibles al tiempo (412), teniendo la primera ruta de red (414) un retardo de extremo a extremo que cumpla el requisito de tiempo para la entrega asociada con el paquete de datos sensible al tiempo; en el que el retardo de extremo a extremo tiene en cuenta la latencia asociada con cada capa (422, 425, 426, 428) por la que transita el paquete de datos a partir de la capa de aplicación (422) de la primera entidad (416); y
 - 15 transmitir (610) el paquete de datos sensibles al tiempo desde la primera entidad (416) a través de la primera ruta de red (414) a la segunda entidad (418).
2. El procedimiento de la reivindicación 1, en el que el paquete de datos sensible al tiempo transita a través de una capa de aplicación (422), una pila de sistema operativo (425), un plano de control (426) y un plano de datos (428) en cada una de las entidades primera (416) y segunda (418).
- 20 3. El procedimiento de la reivindicación 1, que comprende además:
 - recepción (602) por el control RDSST (425) de un paquete de datos procedente de la primera entidad (416); y
 - determinar (604) basándose en la actividad del protocolo de reserva de flujo detectada desde la primera entidad (416) que el paquete de datos es un paquete de datos sensible al tiempo que incluye datos sensibles al tiempo.
4. El procedimiento de la reivindicación 3, en el que el paquete de datos es comunicado al control de la RDSST (425) por un dispositivo de red en la RDSST en respuesta a la determinación de que el paquete de datos es un nuevo tipo de paquete de datos recibido en el dispositivo de red.
- 25 5. El procedimiento de la reivindicación 1, en el que el primer (416) y el segundo (418) dispositivos incluyen un dispositivo físico, un dispositivo virtual alojado en una máquina, o un servicio alojado en una o más máquinas distribuidas; y/o
 - 30 en el que el control RDSST (425) recibe el requisito de temporización a través de una aplicación de red que está interconectada con el control RDSST (425) a través de una interfaz de programación de aplicaciones; y/o
 - en el que el paquete de datos sensibles al tiempo forma parte de un flujo, y todos los paquetes de datos sensibles al tiempo asociados al flujo se transmiten a través de la misma primera ruta de red (414); y/o
 - 35 en la que el control RDSST (425) es un control de red definida por software, RDS, que tiene una aplicación de red sensible al tiempo, RST, (342) capaz de configurar los dispositivos de red sensibles al tiempo (412) para preservar el dominio temporal establecido RST.
6. El procedimiento de la reivindicación 1, que comprende además determinar por el control RDSST (425) que un paquete de datos originado por el primer dispositivo (416) es un paquete de datos sensible al tiempo basándose en el contenido del paquete de datos.
- 40 7. El procedimiento de la reivindicación 1, en el que el control RDSST (425) es un control de red definida por software, RDS, que tiene un módulo de gestión del tiempo (338) capaz de diferenciar los paquetes de datos que son sensibles al tiempo, conscientes del tiempo o de mejor esfuerzo.
8. El procedimiento de la reivindicación 1, en el que el control RDSST (425) es un control de red definida por software, RDS, que tiene un módulo de enrutamiento multi-ruta sensible al tiempo (344) que implementa un protocolo de estado de enlace que utiliza un algoritmo multi-árbol de igual coste (MAIC) para calcular la ruta más eficiente en función de la sensibilidad al tiempo y la carga de la red.
- 45 9. El procedimiento de la reivindicación 1, que comprende además:
 - recepción (620) por el control RDSST (425) de un paquete de datos para ser entregado desde el primer dispositivo (416) a una tercera dispositivo a través de la RDSST;
 - 50 determinar (622) basándose en la información de configuración de red asociada con el paquete de datos, que el paquete de datos es un paquete de datos con temporización que incluye datos con temporización;
 - determinar (626) una segunda ruta de red a través de la RDSST mediante el uso de uno o más de los dispositivos de red sensibles al tiempo (412) y los dispositivos de red no sensibles al tiempo (408), teniendo la segunda ruta de red un retardo de extremo a extremo que cumpla un requisito de temporización asociado con el paquete de datos sensible al tiempo; y
 - 55

transmitir (628) el paquete de datos con temporización desde el primer dispositivo (416) a través de la segunda ruta de red a la tercera dispositivo.

10. El procedimiento de la reivindicación 9, en el que la información de configuración de red incluye al menos una de las siguientes: calidad de servicio (CdS) o ID de grupo de red de área local virtual (RALV).

5 11. El procedimiento de la reivindicación 1, que comprende además:

recepción (630) por el control RDSST (425) de un paquete de datos a entregar desde el primer dispositivo (416) a una cuarta dispositivo a través de la RDSST;
determinar (632) basándose en la falta de actividad del protocolo de reserva de flujo y en la calidad del servicio, que el paquete de datos es un paquete de datos mejor esfuerzo que no tiene sensibilidad al tiempo ni conciencia del tiempo;
10 determinar (634) una tercera ruta de red a través de la RDSST mediante el uso de uno o más de los dispositivos de red no sensibles al tiempo (408) para entregar el paquete de datos de mejor esfuerzo; y
transmitir (636) el paquete de datos mejor esfuerzo desde el primer dispositivo (416) a través de la tercera ruta de red a la cuarta dispositivo.

15 12. El procedimiento de la reivindicación 1, en el que cada uno de los dispositivos primero (416) y segundo (418) es un dispositivo del sistema de control industrial.

13. Un procedimiento para transmitir paquetes de datos en una red definida por software sensible al tiempo, RDSST, de un sistema de control industrial, la RDSST que comprende dispositivos de red sensibles al tiempo (412) y no sensibles al tiempo (408), que comprende:

20 recepción (640) por un control RDSST (425) en la RDSST de un requisito de temporización para una comunicación de un dispositivo hablante (416) a un dispositivo oyente (418);
recibir (644) información de carga de red de una pluralidad de dispositivos de red (408, 412) en la RDSST;
determinar (646), basándose en el requisito de temporización y la información de carga de red, una ruta de red (414) a través de la RDSST en la que la ruta de red (414) está asociada con un retardo de extremo a extremo
25 que cumple el requisito de temporización para entregar la comunicación, en la que el retardo de extremo a extremo se calcula basándose en el retardo del dispositivo hablante asociado con el dispositivo hablante (416), el retardo del dispositivo oyente asociado con el dispositivo oyente (418) y el retardo del dispositivo de red asociado con uno o más de la pluralidad de dispositivos de red (412) en la ruta de red (414);
programar (648) uno o más de la pluralidad de dispositivos de red (412) en la ruta de red (414) para reservar ancho de banda a fin de garantizar el requisito de temporización para la comunicación desde el dispositivo
30 hablante (416) al dispositivo oyente (418); y
transmitir (650) paquetes de datos desde el dispositivo hablante (416) al dispositivo oyente (418) a través de la ruta de red (414).

35 14. El procedimiento de la reivindicación 13, en el que el requisito de temporización se especifica en una solicitud del dispositivo hablador (416) al control RDSST (425); y/o

en el que el retardo del dispositivo es la suma de los retardos que experimenta un paquete de datos en su transición a través de una capa de aplicación (422), una pila de sistema operativo (425), un plano de control (426) y un plano de datos (428) del dispositivo hablante u oyente (416, 418); y/o

40 en el que el dispositivo hablador (416) y el dispositivo oyente (418) incluyen un dispositivo físico o un dispositivo virtual alojado en una máquina; y/o

en el que el control RDSST (425) es un control de red definida por software, RDS, que tiene un módulo de gestión del tiempo (338); y/o

en el que cada uno de los dispositivos hablante y oyente (416, 418) es un dispositivo del sistema de control industrial.

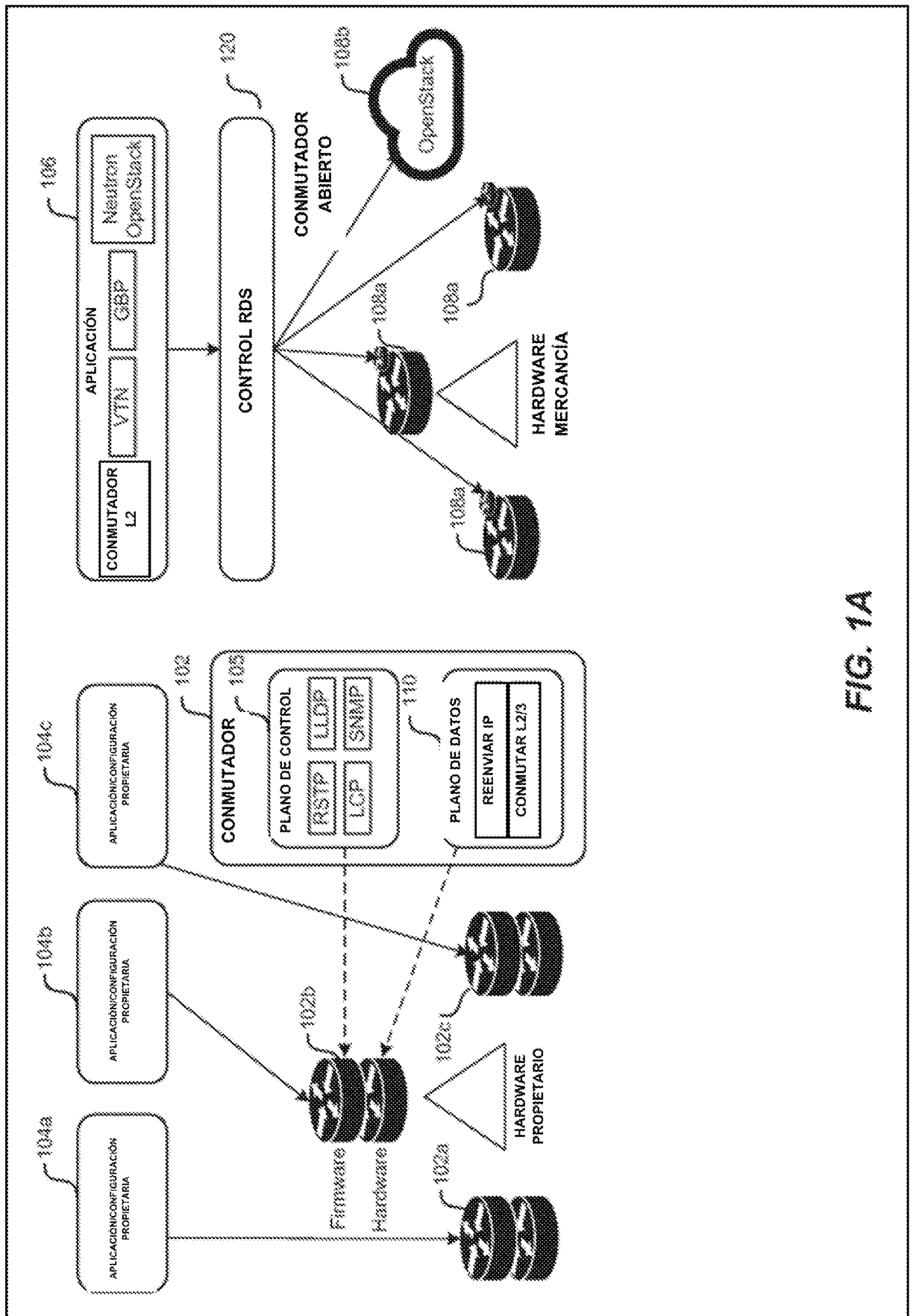


FIG. 1A

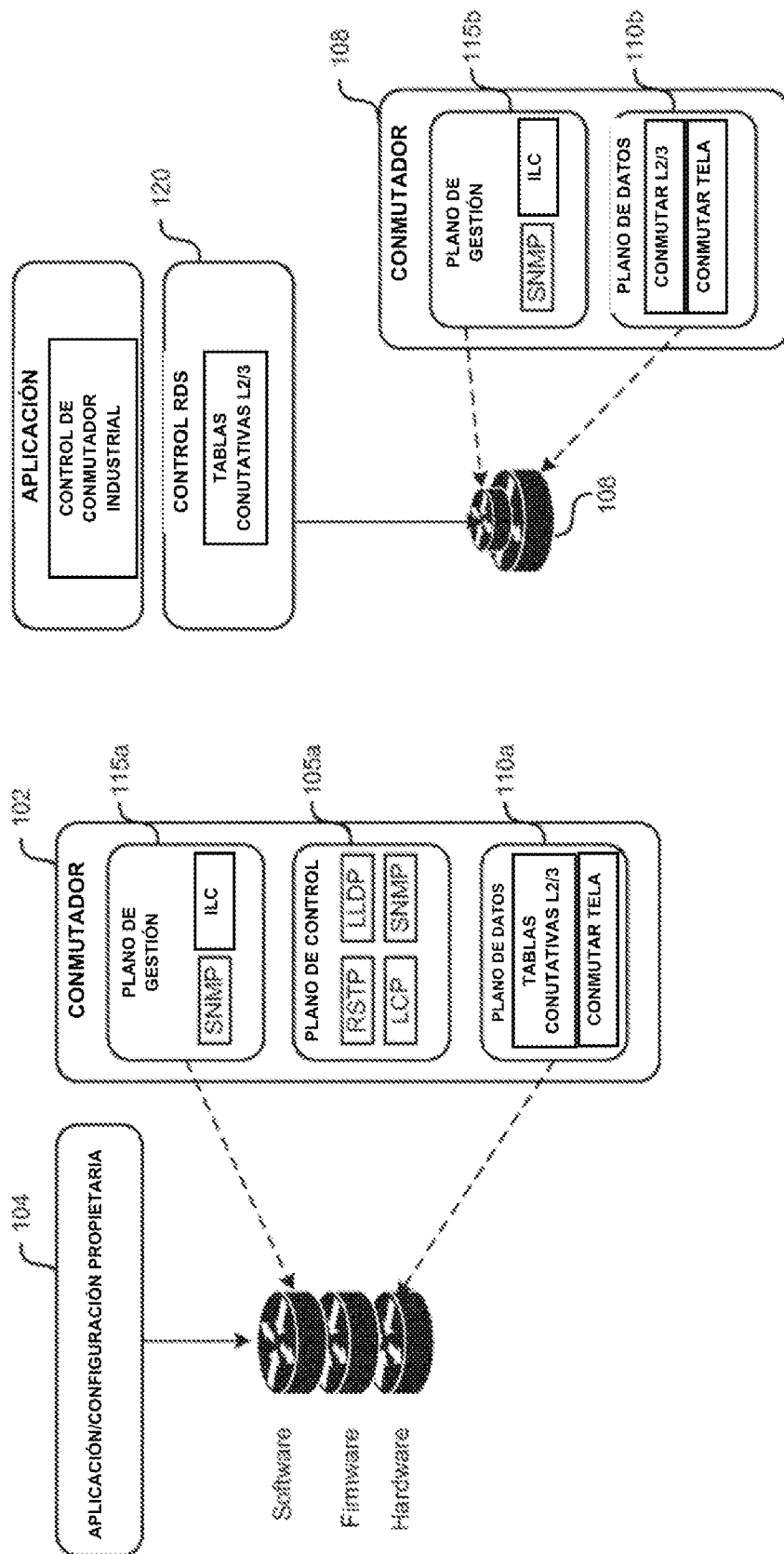


FIG. 1B

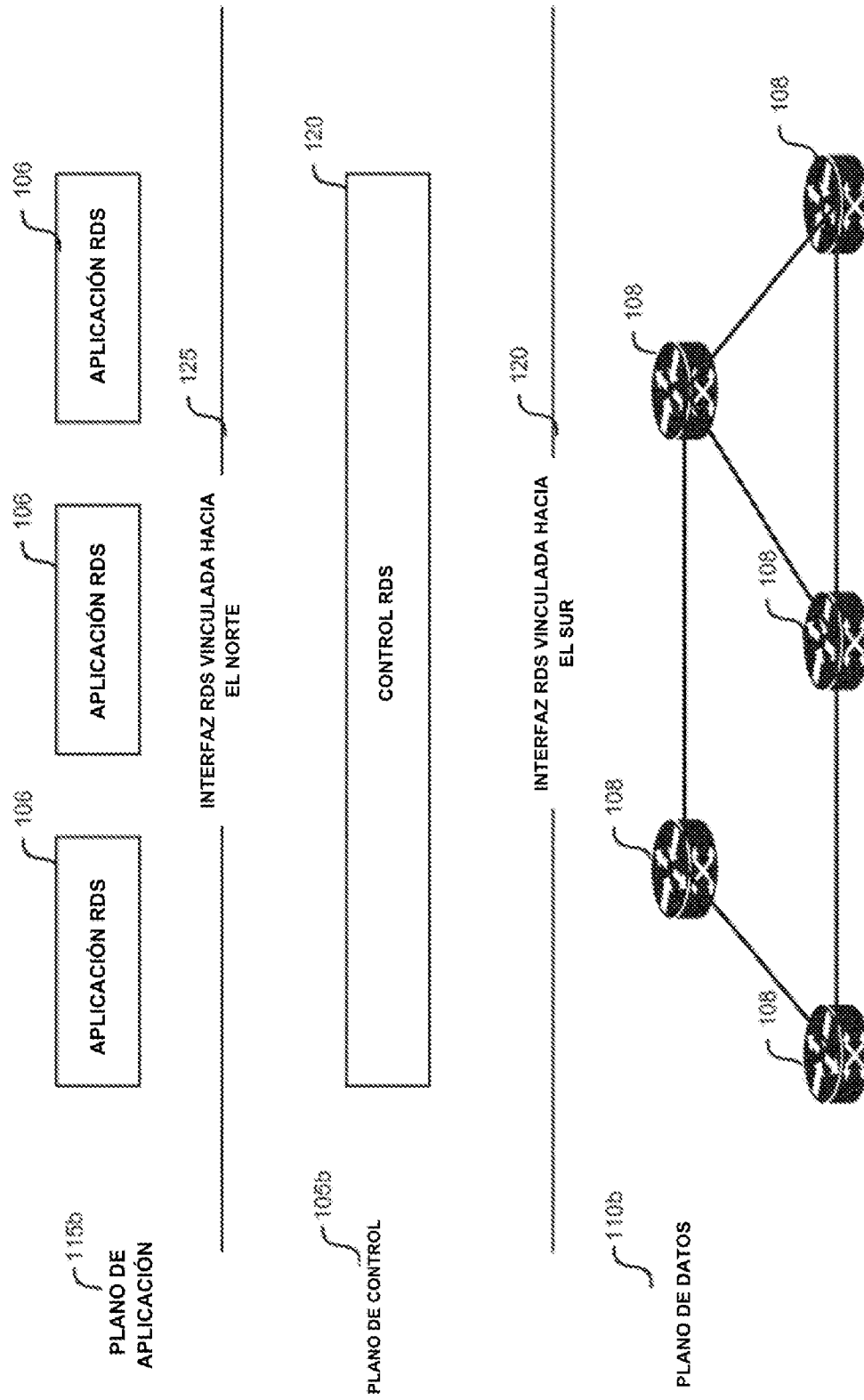


FIG. 1C

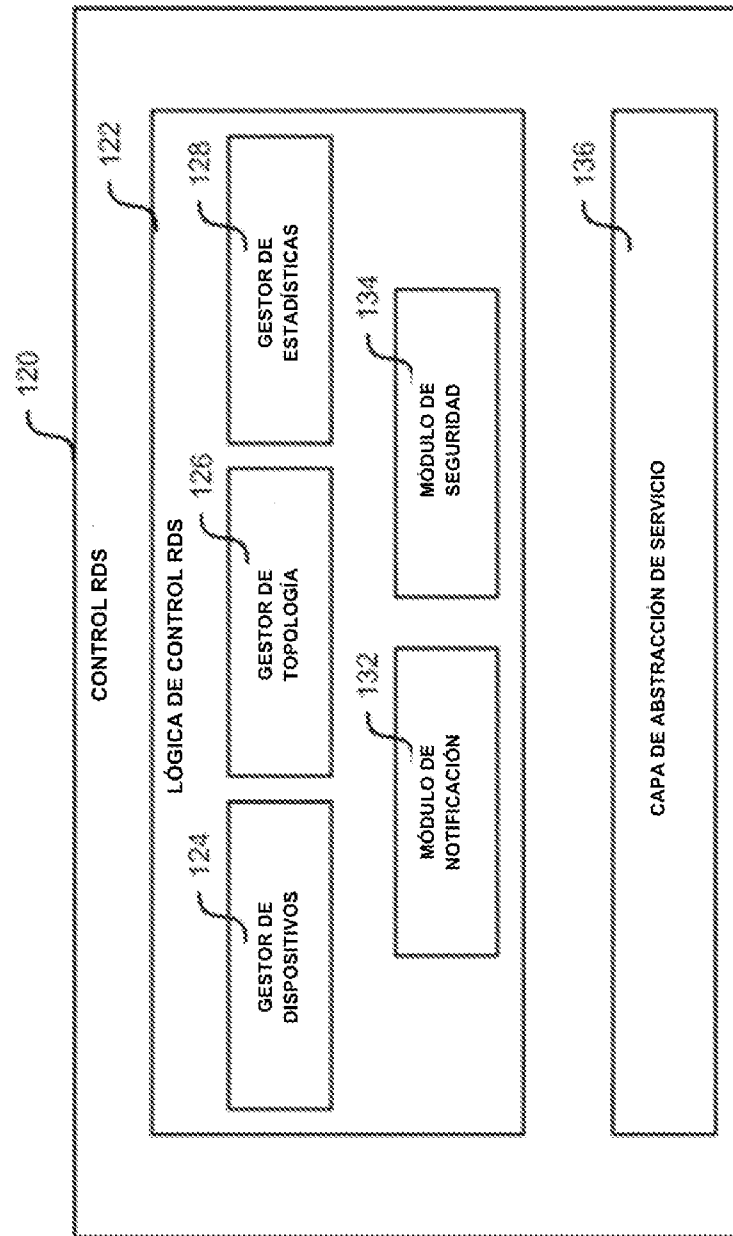


FIG. 1D

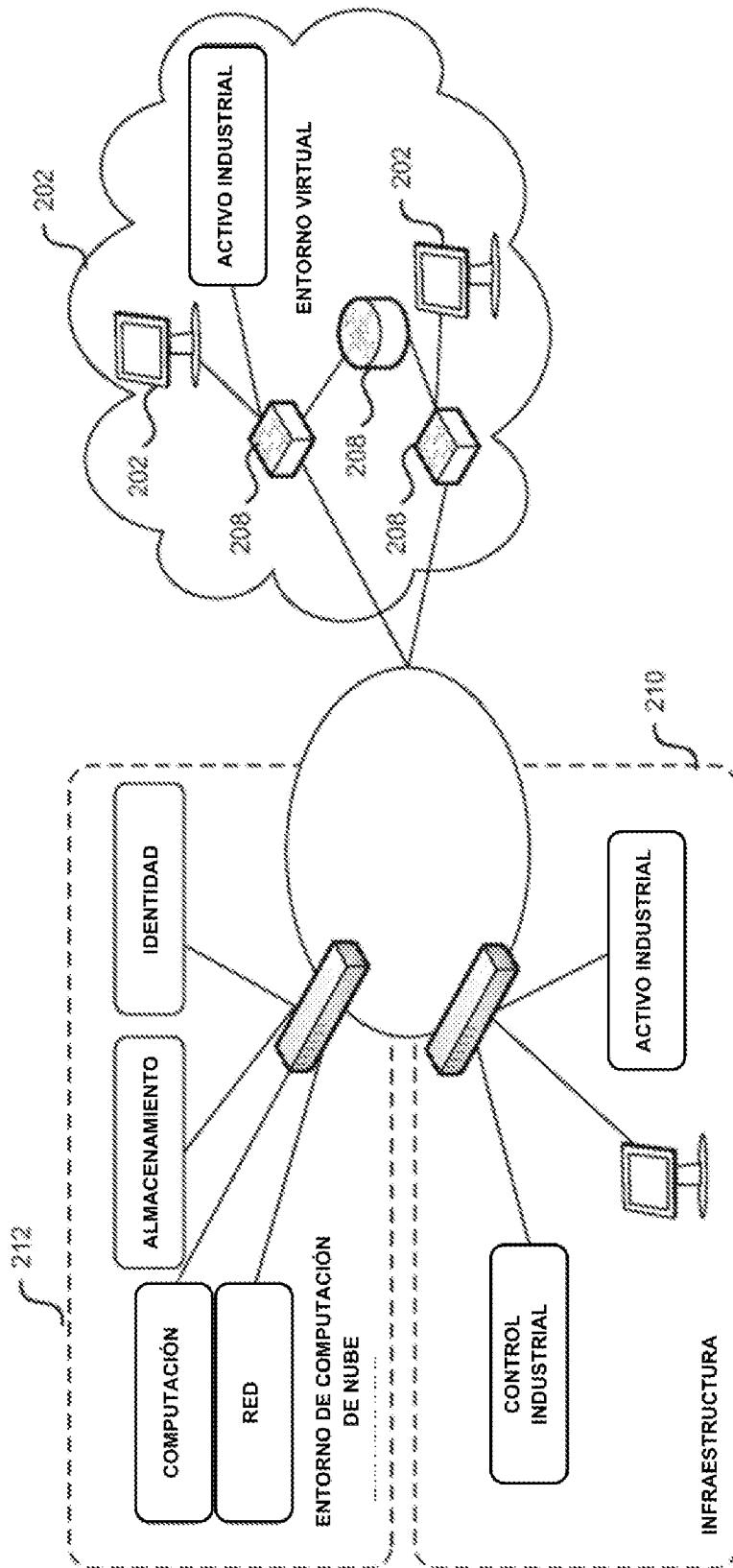


FIG. 2

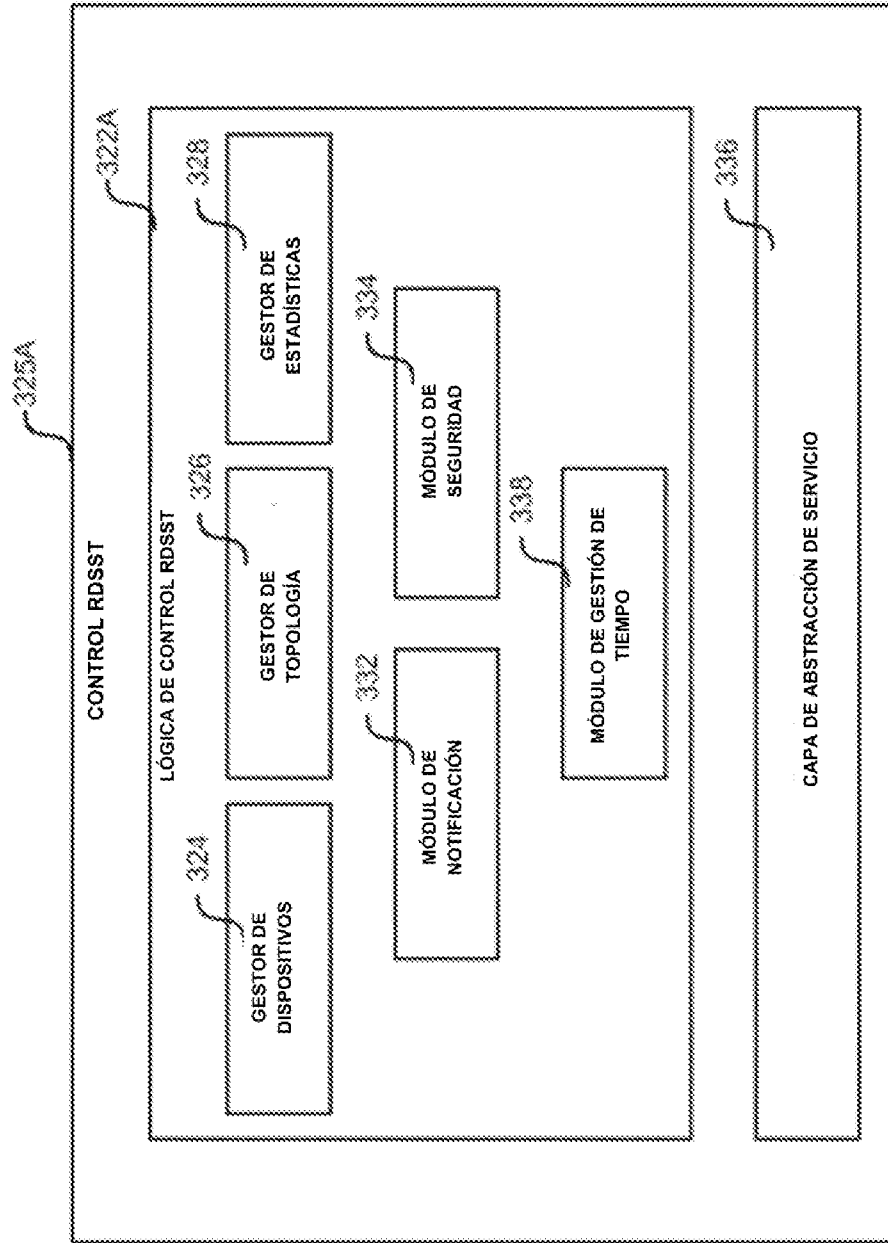


FIG. 3A

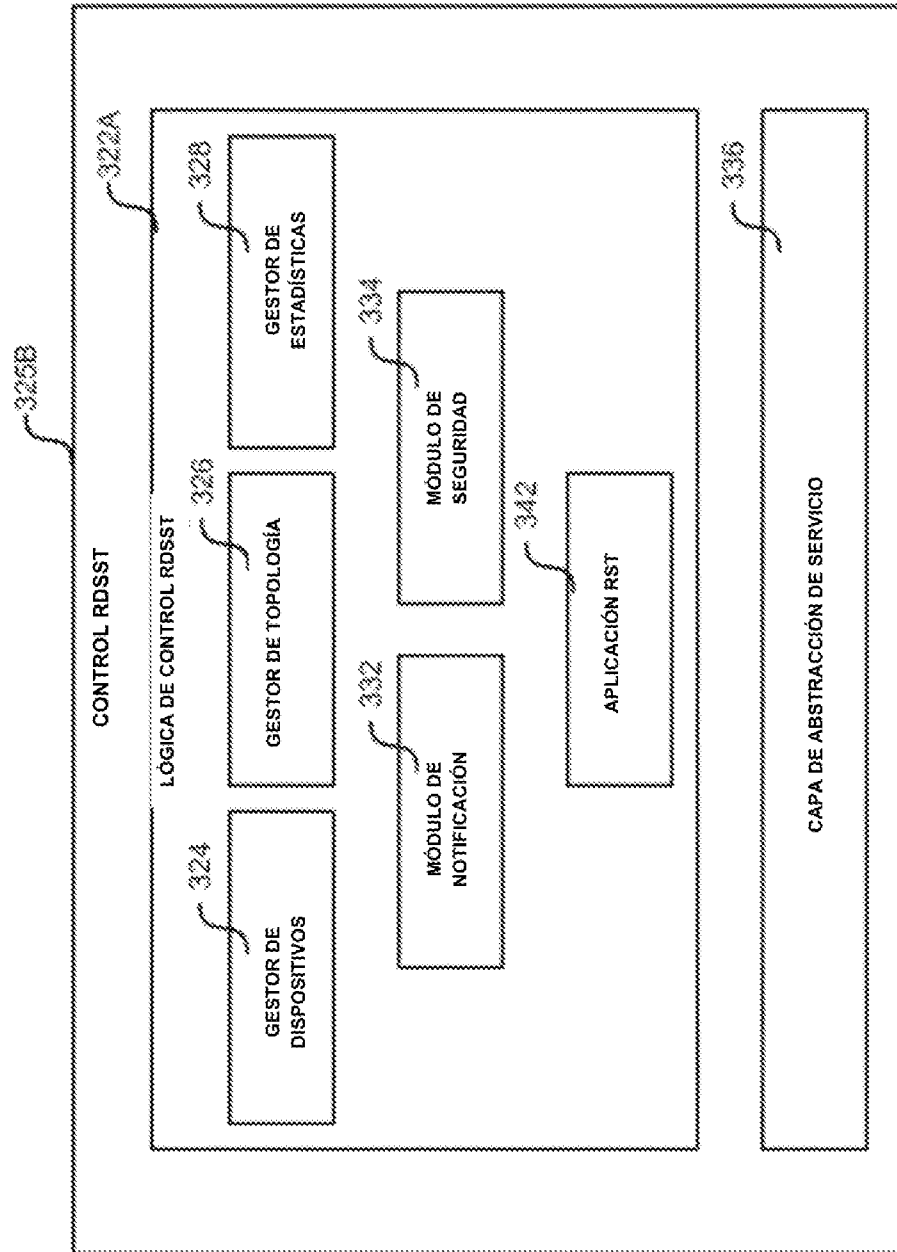


FIG. 3B

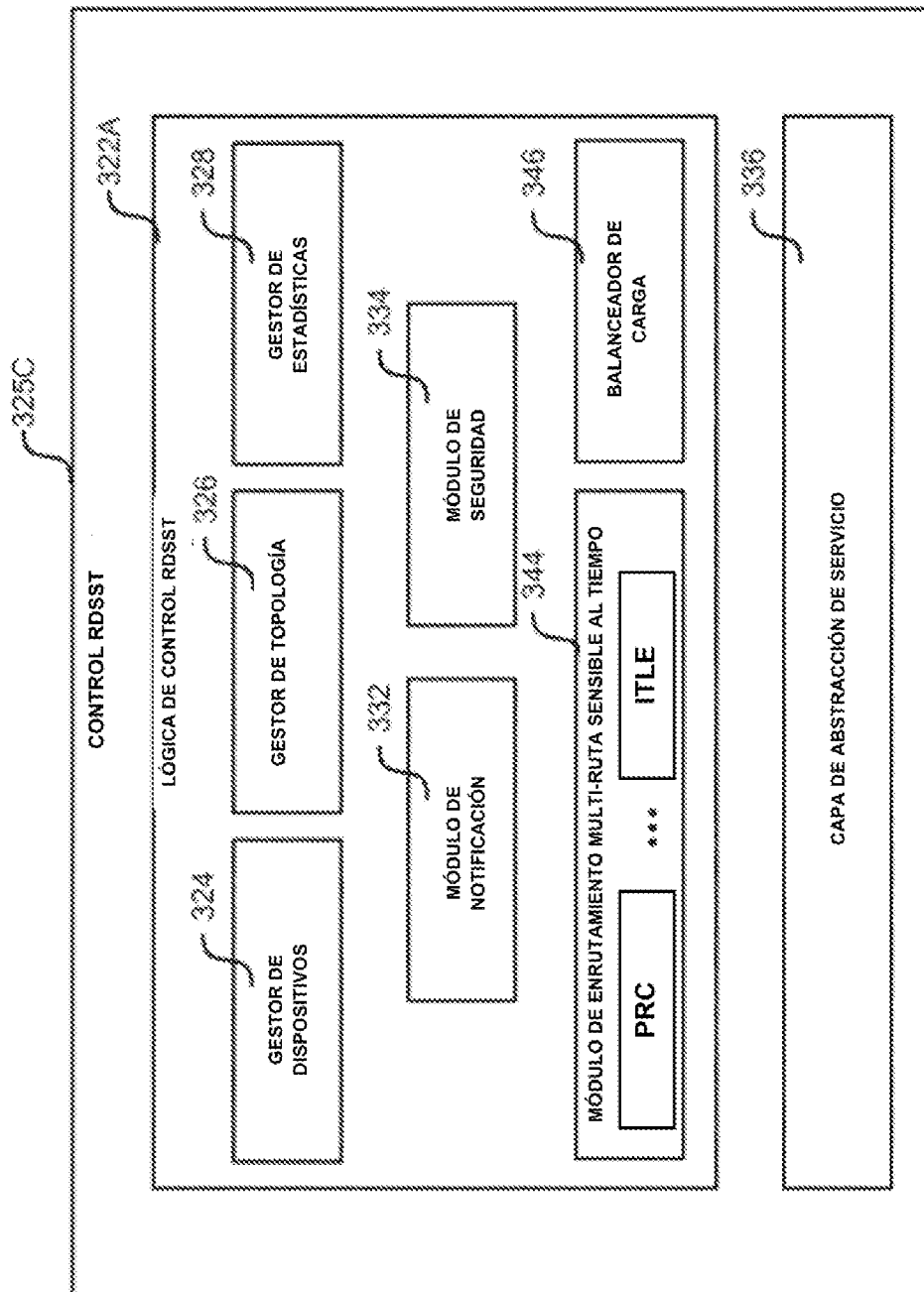


FIG. 3C

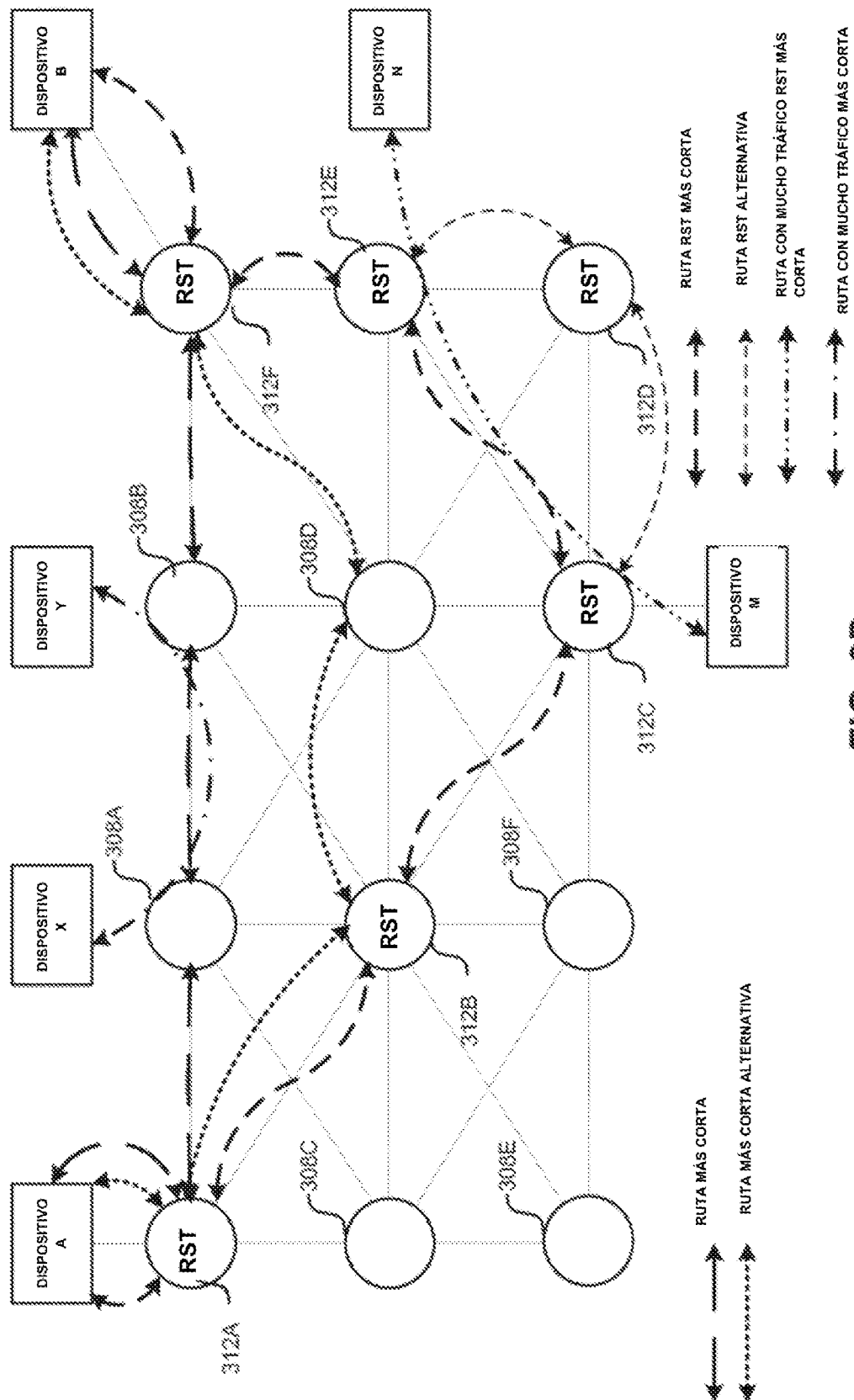


FIG. 3D

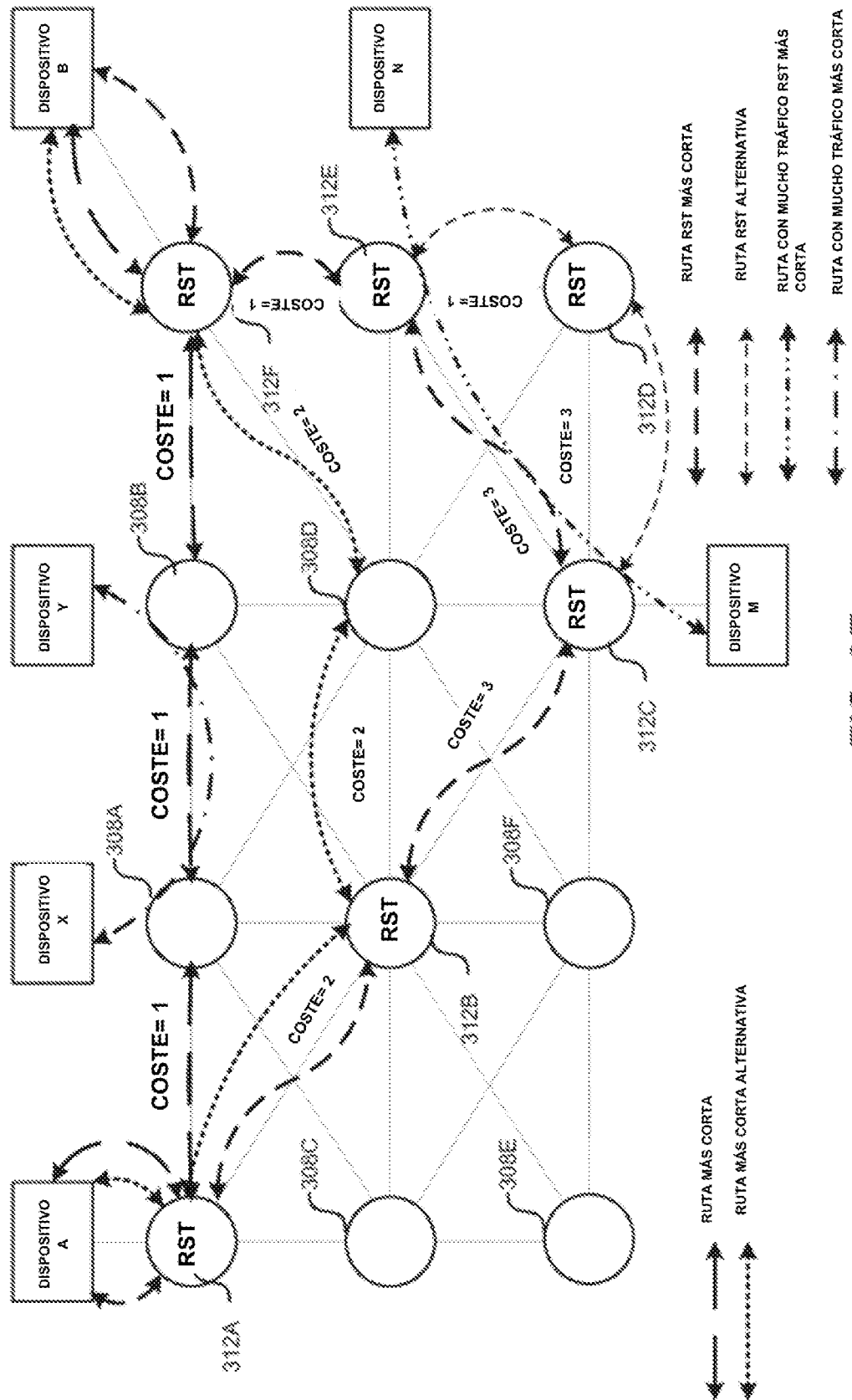


FIG. 3E

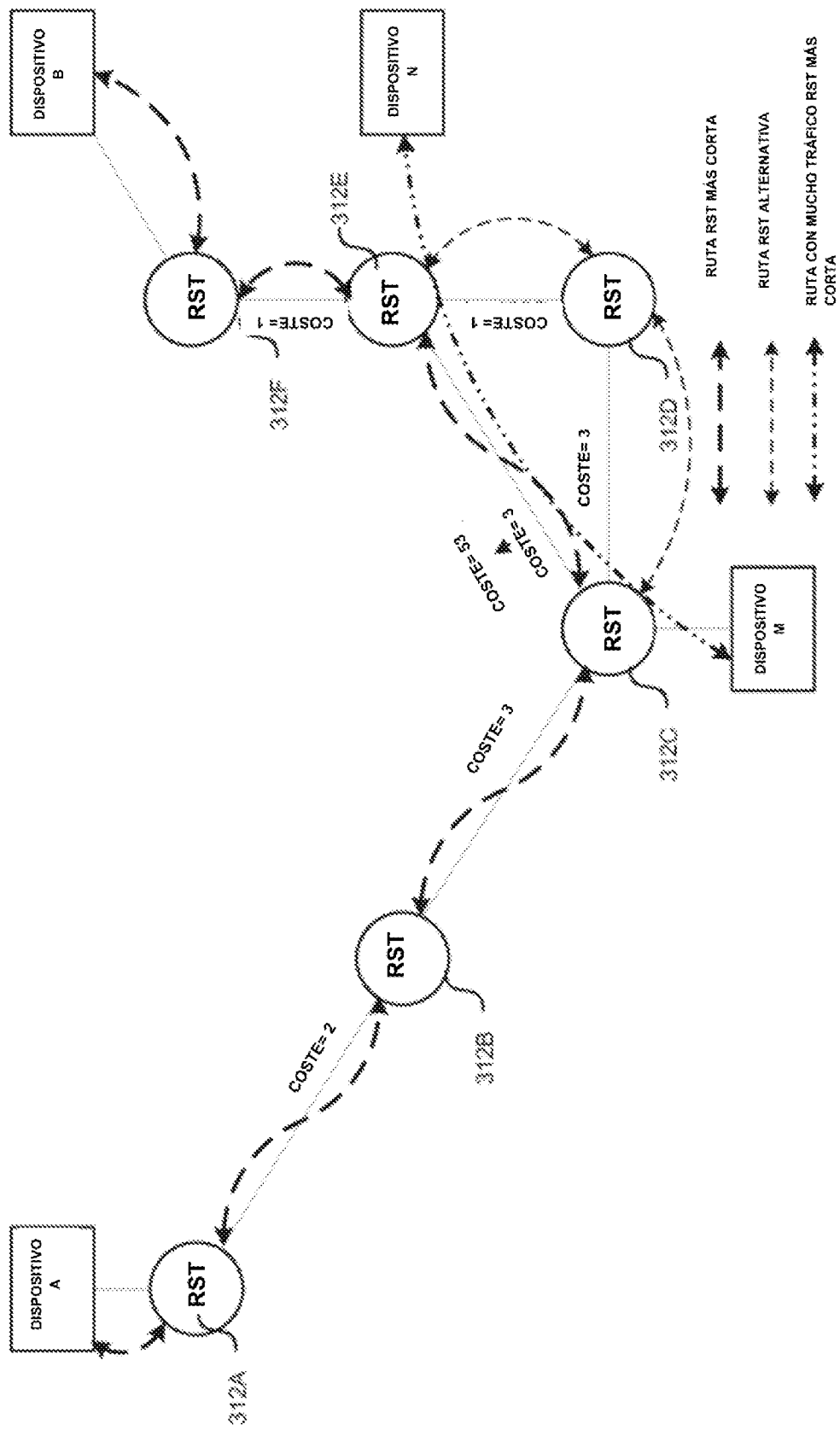


FIG. 3F

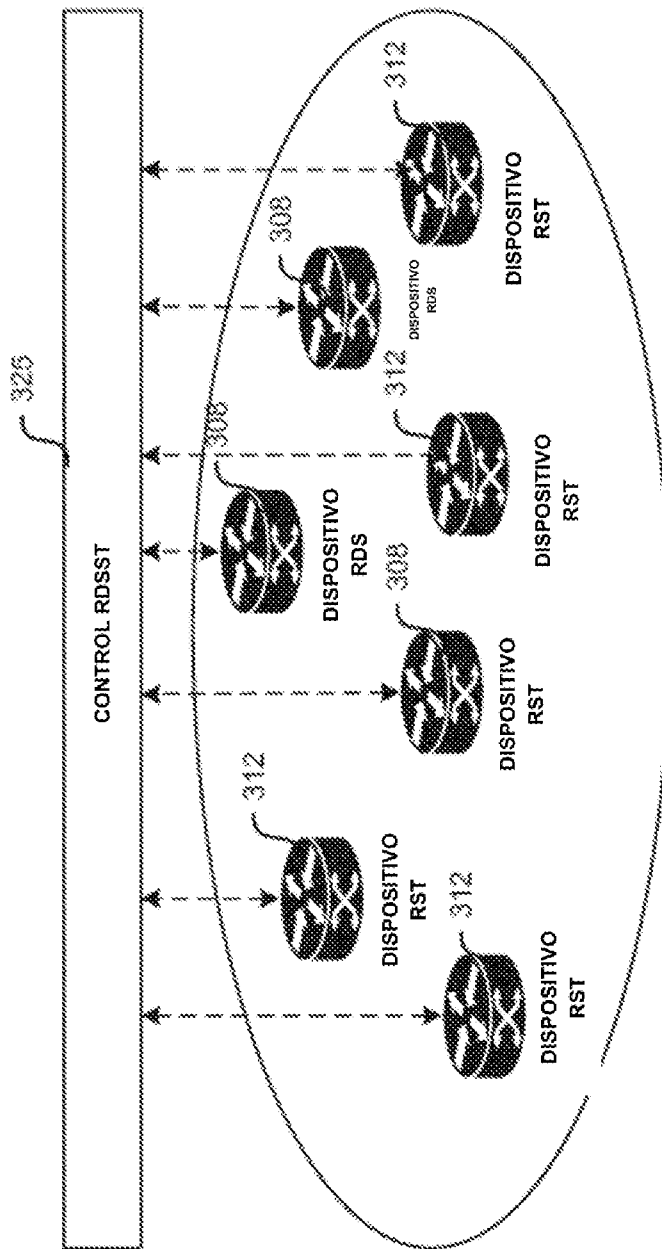


FIG. 3G

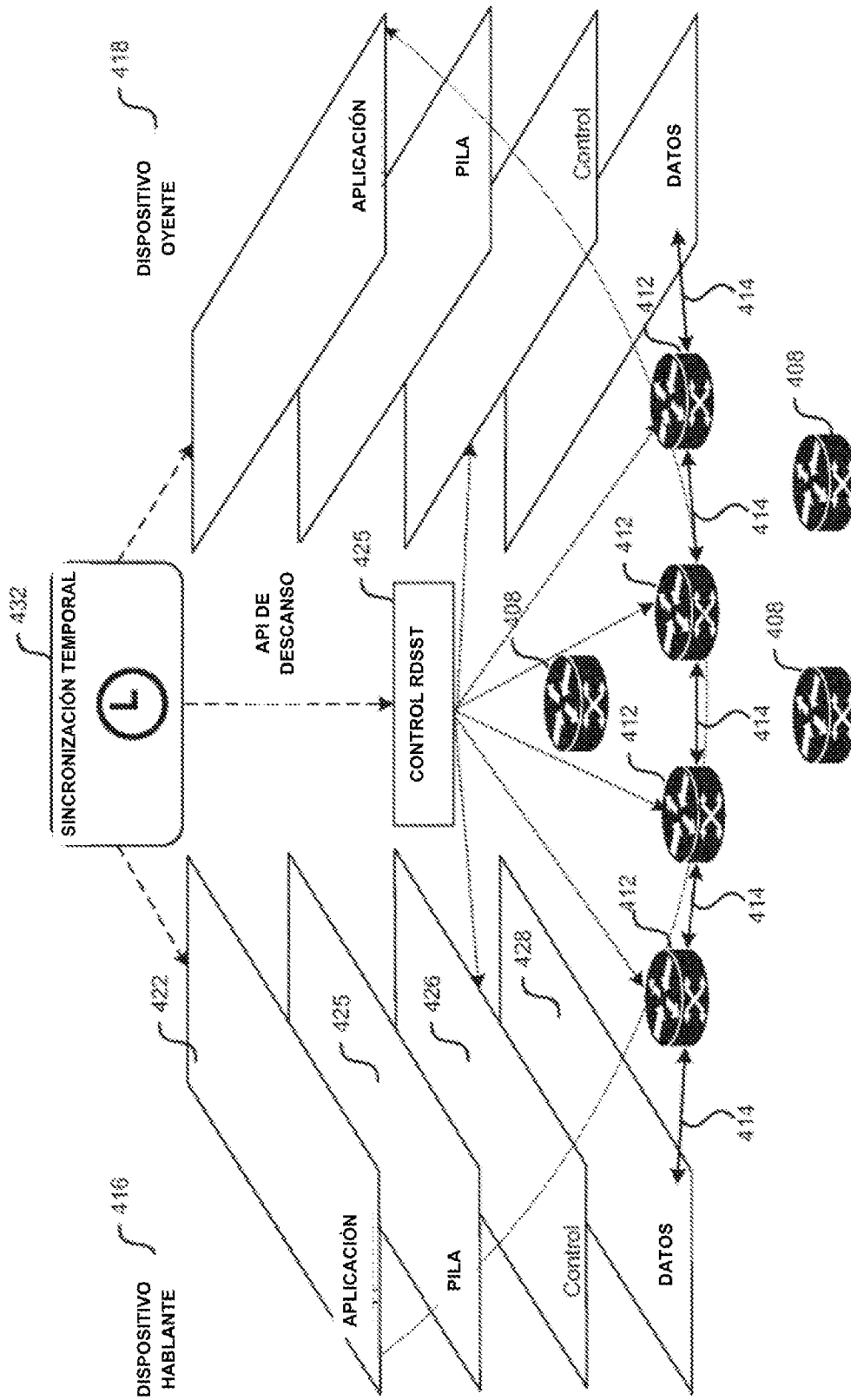


FIG. 4

RESERVACIÓN DE FLUJO

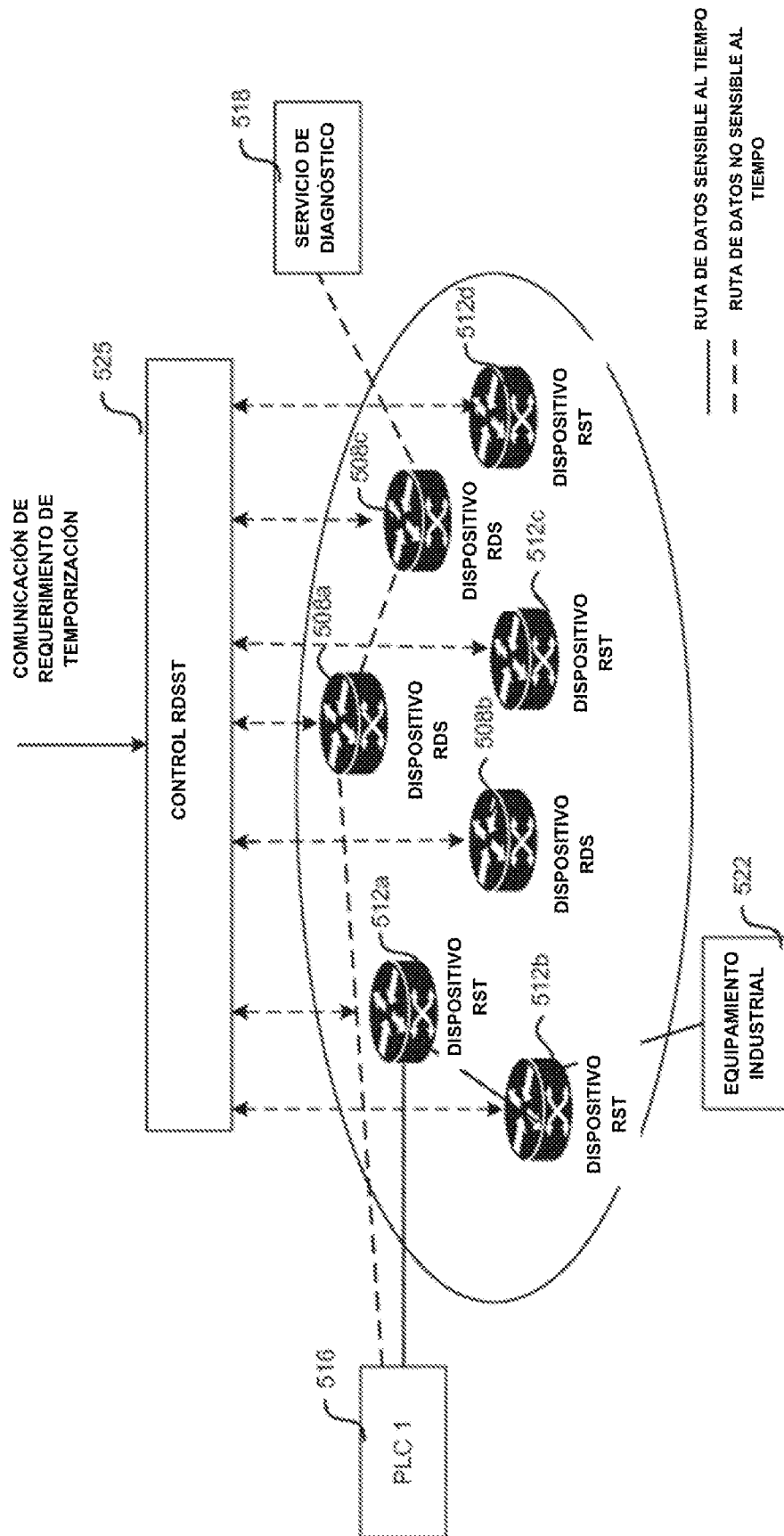


FIG. 5

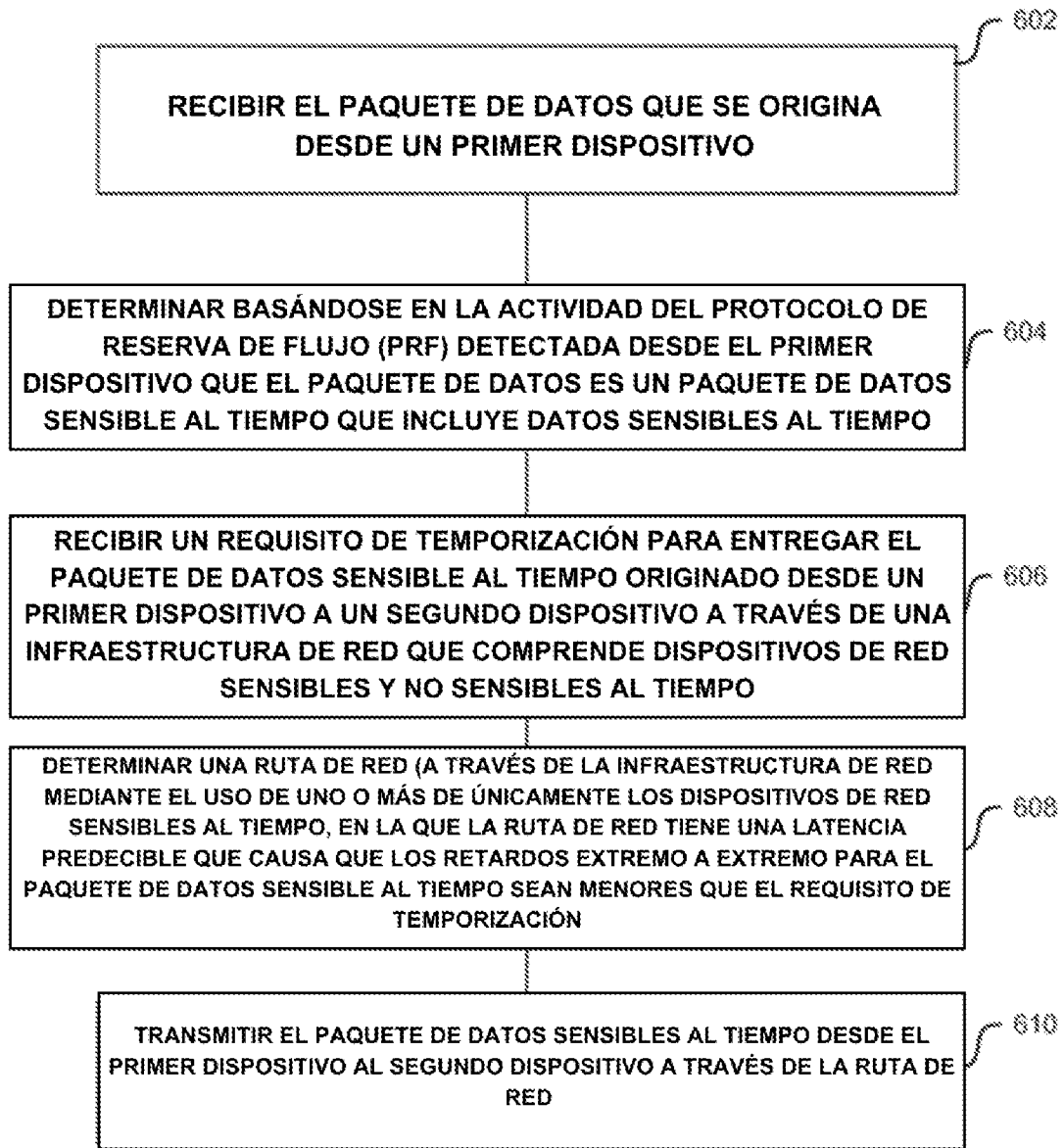


FIG. 6A

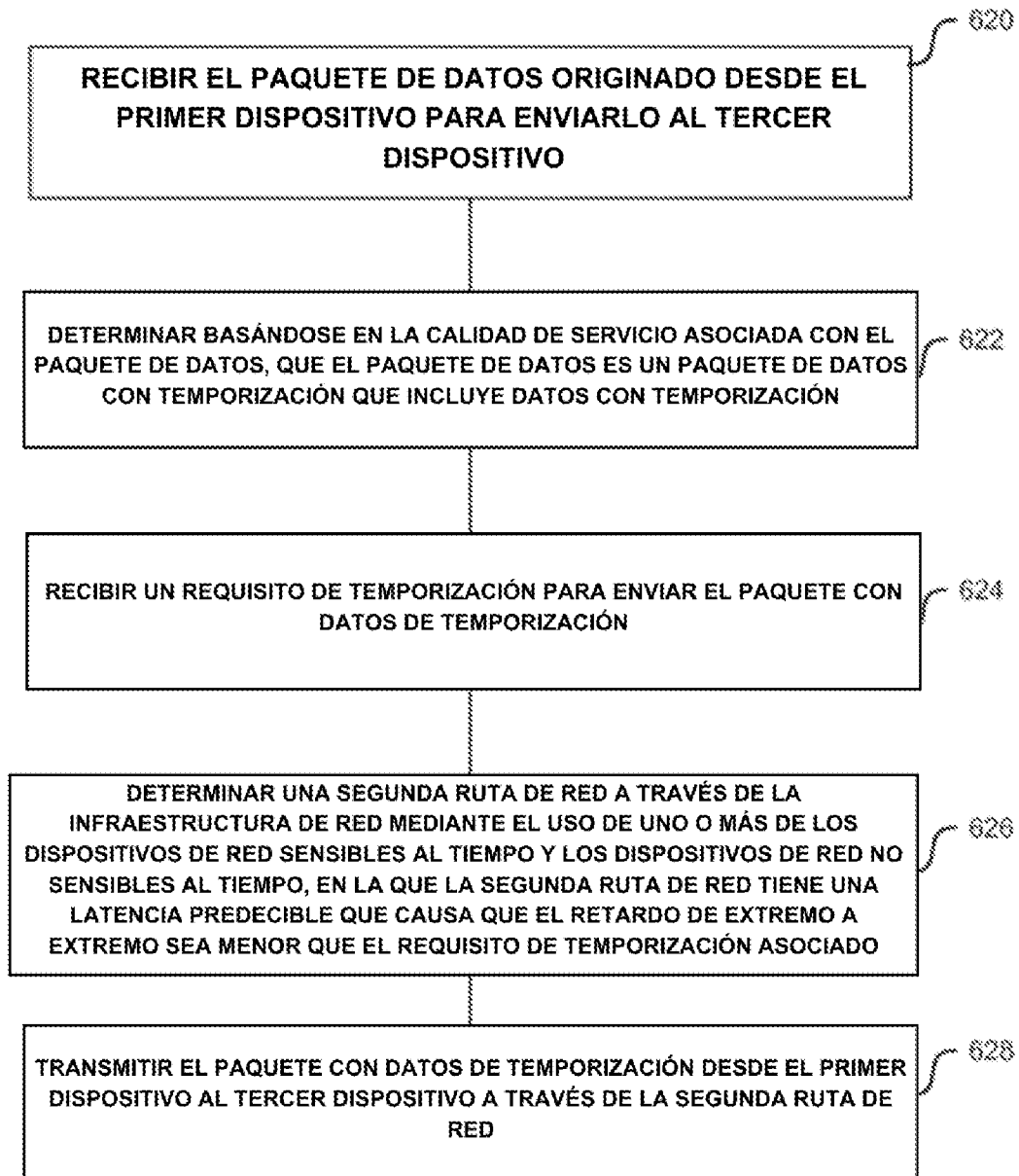


FIG. 6B

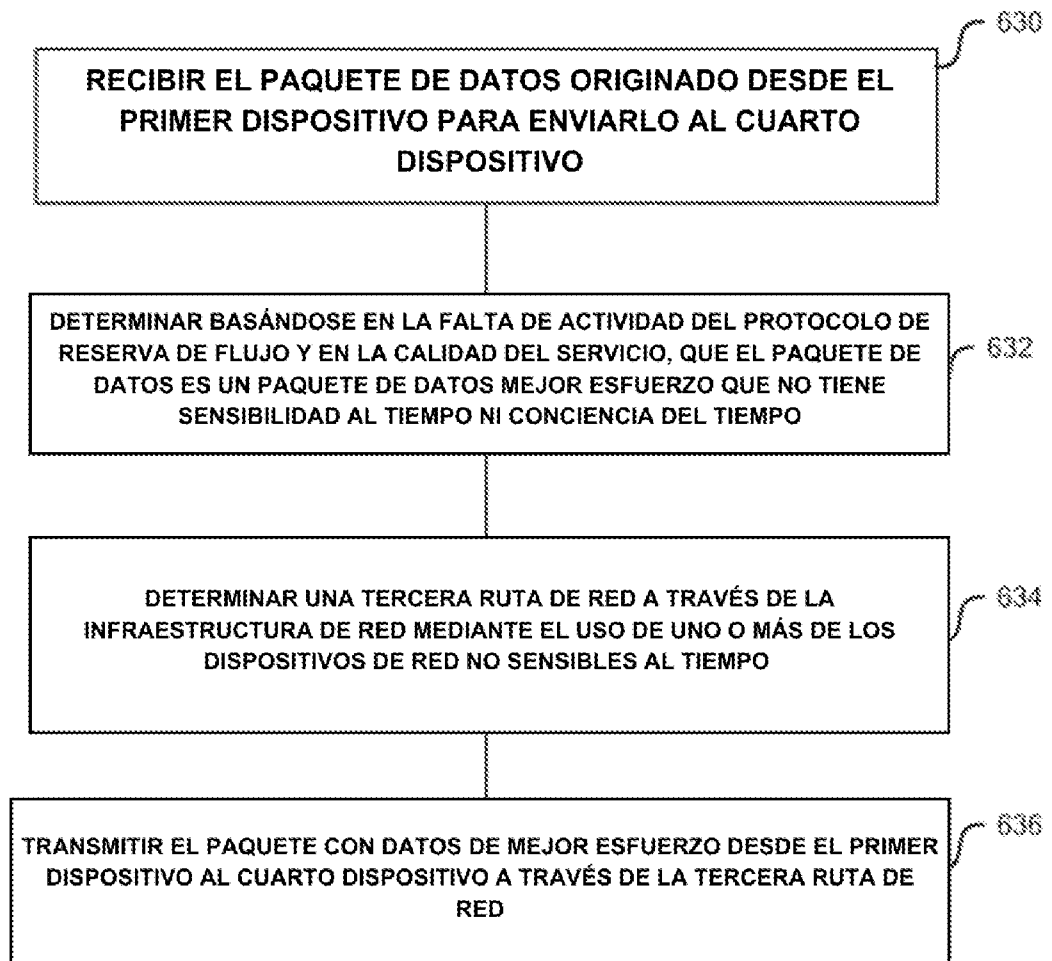


FIG. 6C

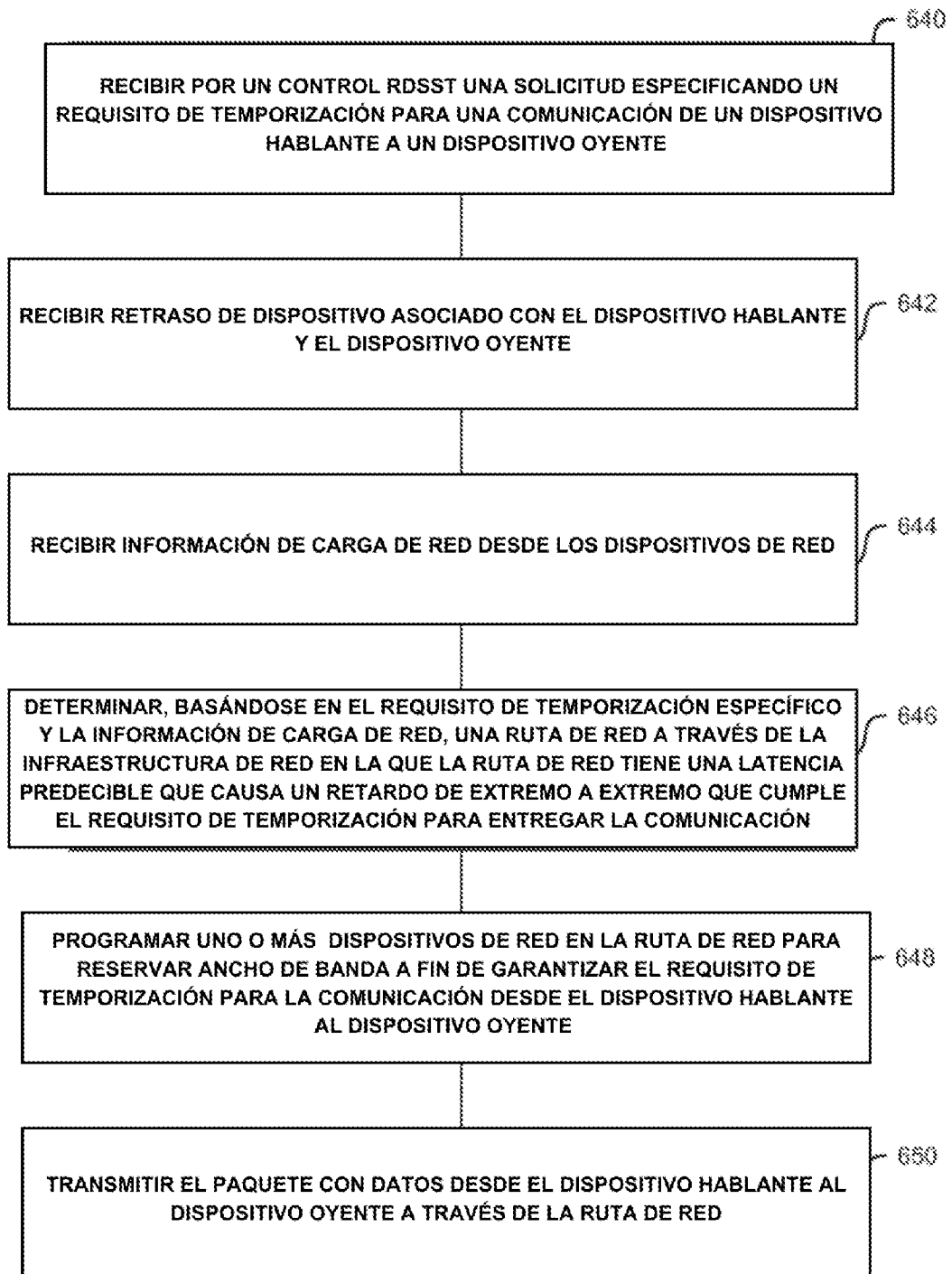


FIG. 6D

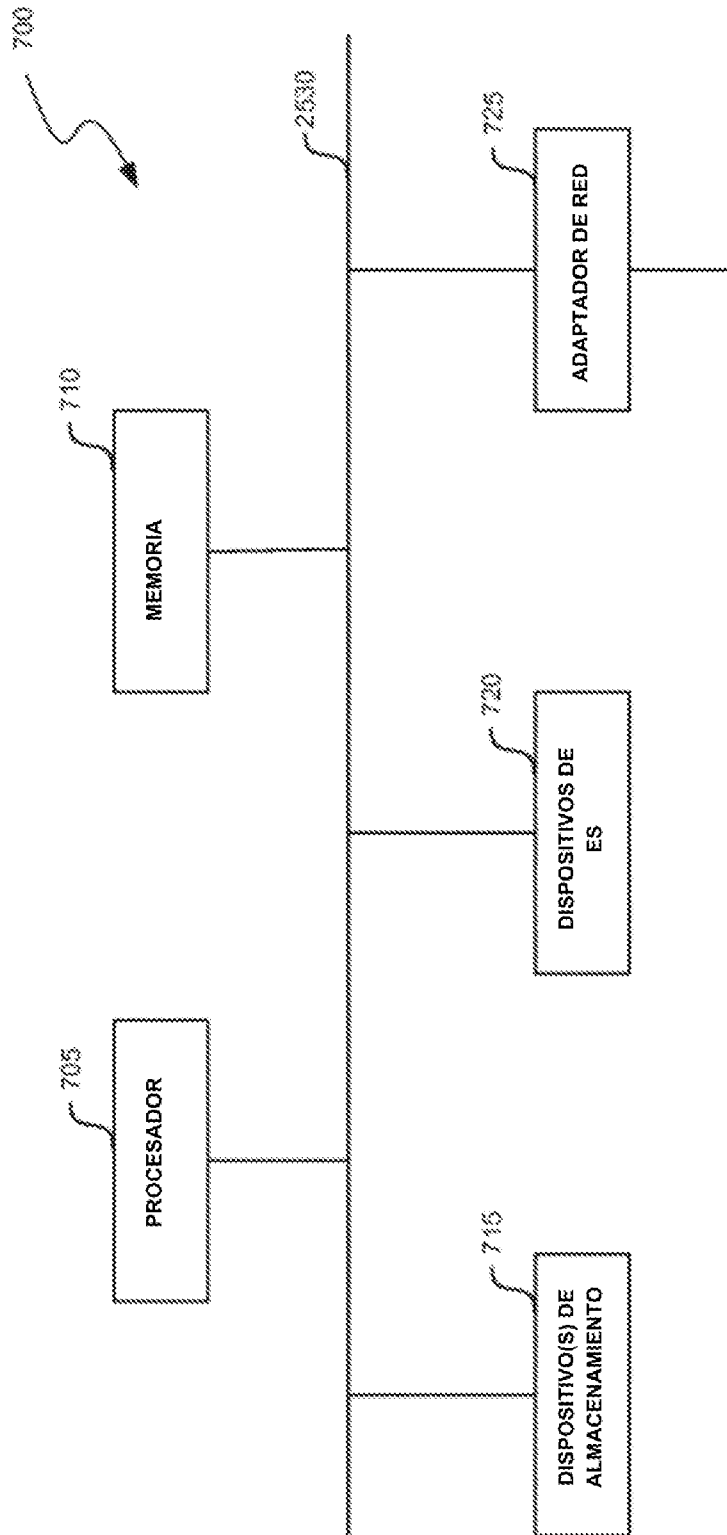


FIG. 7