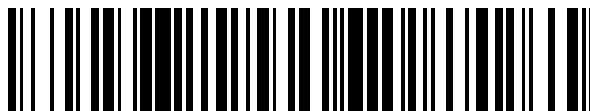


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 755 599**

21 Número de solicitud: 201831025

51 Int. Cl.:

H04L 29/08 (2006.01)

12

SOLICITUD DE PATENTE

A1

22 Fecha de presentación:

22.10.2018

43 Fecha de publicación de la solicitud:

22.04.2020

71 Solicitantes:

**UNIVERSIDAD DE MURCIA (100.0%)
Edificio Pleiades, 4ª planta,
Campus Universitario de Espinardo
30100 Espinardo (Murcia) ES**

72 Inventor/es:

**SANTA LOZANO, José;
ZAMORA IZQUIERDO, Miguel Angel;
MARTINEZ NAVARRO, Juan Antonio y
SKARMETA GOMEZ, Antonio**

74 Agente/Representante:

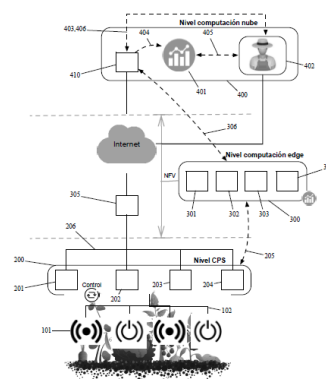
ELZABURU, S.L.P

54 Título: **SISTEMA INTEGRAL Y FLEXIBLE DE CONTROL Y MONITORIZACIÓN EN LA AGRICULTURA DE PRECISIÓN**

57 Resumen:

Sistema integral y flexible de control y monitorización en la agricultura de precisión adaptado para operar desde cultivos extensivos en tierra, hasta invernaderos de cultivo sin suelo, donde el sistema está basado en una arquitectura de elementos intercambiables de bajo coste, y es compatible con plataformas de IoT para gestión de datos de código abierto; la arquitectura de control comprende tres niveles: capa de física o de Cyber-Physical Systems (CPS), capa de computación "edge", y capa de computación en la nube. En la capa local o CPS los dispositivos de cultivo recopilan datos y realizan acciones de control. La capa "edge" está a cargo de monitorizar y administrar las tareas principales de la planta de cultivos, y se sitúa entre la capa CPS local y la red de acceso. Finalmente, la plataforma en la nube recopila registros actuales y pasados, y realiza labores de análisis de datos.

FIGURA 1



DESCRIPCIÓN

Sistema integral y flexible de control y monitorización en la agricultura de precisión

Campo técnico de la invención

La presente invención se refiere al campo del control y monitorización en la Agricultura de
5 Precisión, AP.

Antecedentes de la invención

El concepto de agricultura de precisión es relativamente nuevo, implicando la integración de
tecnologías de información, comunicaciones y control industrial en los cultivos. Los avances
en sensores ofrecen valores de alta precisión sobre el estado de los cultivos, y los actuadores
10 son capaces de gestionar el riego, parámetros ambientales o los niveles de nutrientes del
suelo. Además, en el ámbito de la agricultura de precisión, el análisis de datos y la aplicación
de la Inteligencia Artificial pueden mejorar la producción y los niveles de automatización de
los cultivos. Un ejemplo claro de aplicación de este campo de desarrollo son los cultivos
hidropónicos (o sin suelo), donde se requiere un control exhaustivo del riego, nutrición y el
15 clima.

El mercado de tecnologías en este sector está dominado por grandes firmas que entraron en
los comienzos y que cuentan actualmente con dominio absoluto, teniendo un mercado de baja
competitividad real y que dificulta a las nuevas firmas entrar en este sector. Los agricultores
pueden además tener problemas al migrar datos entre plataformas, por falta de
20 compatibilidad. No obstante, el creciente número de fabricantes de equipos OEM presenta
nuevas e innovadoras herramientas y plataformas de Internet de las Cosas (Internet of Things
- IoT) para el sector agrícola, con lo que la interoperabilidad se está convirtiendo rápidamente
en un importante reto.

IoT ofrece soluciones para mejorar la conectividad e interoperabilidad de sistemas en la
25 agricultura de precisión. Mediante las nuevas tecnologías de comunicación IoT es posible
dotar de capacidades de comunicación a los propios sensores y actuadores, lo cual es
esencial para favorecer la aparición de sistemas de agricultura de precisión. Actualmente
existen diversas tecnologías de comunicación inalámbrica de bajo consumo, así como
protocolos de red adaptados a los requerimientos de bajas tasas de transferencia en este
30 entorno.

De forma paralela, el avance en los sistemas cyber-físicos (Cyber-Physical Systems – CPS) ha transformado los tradicionales autómatas programables en novedosos nodos hardware con capacidades de interconexión con sensores y actuadores para entornos industriales, añadiéndoles capacidades IoT. Los nodos CPS generalmente permiten un control local, o la
5 recogida y envío de datos a sistemas de computación en la nube. La computación en la nube añade un nivel adicional de flexibilidad para el análisis de datos de los cultivos.

Debido a la falta de escalabilidad, problemas de configuración y la naturaleza desigual de las explotaciones agrícolas, el agricultor necesita herramientas IoT que sean completamente escalables. Las mismas tecnologías deberían ser aplicables en una gran explotación, así
10 como en pequeños cultivos. Otro punto de preocupación es la configuración de los sistemas, ya que para que la agricultura sea verdaderamente autónoma, los sistemas deben ser autoconfigurables. Los recientes avances de inteligencia artificial y aprendizaje abren muchas posibilidades a este respecto.

El siguiente escalón en los paradigmas de comunicación y computación ha sido el más
15 reciente uso de la computación en el extremo (Edge Computing), que presenta un gran potencial en sistemas multicapa de recolección y tratamiento de datos, como es el caso de los despliegues de agricultura inteligente.

Existen algunas patentes en el área de la invención. En CN204406158U se presenta un sistema distribuido para el riego que hace uso de redes de comunicación para interconectar
20 un sistema local de riego con un plano de monitorización remoto. En CN203241793U se hace uso de tecnologías IoT para la interconexión con los sensores del cultivo y posteriormente enviar dato mediante redes de largo alcance celulares. En US20170127622A1 se presenta un sistema equivalente, aunque prestando mayor atención en el acceso de los usuarios al sistema mediante conexión por Internet. En CN107942955A se integran tecnologías IoT para
25 el plano local, aunque también se incluye una plataforma en la nube para la tele-gestión. En CN105425703A se añade a esta conjunción el análisis de datos masivos (Big Data) según las lecturas de los sensores del cultivo. En US9667710B2 se realiza un procesamiento en la nube de datos recogidos del cultivo para ofrecer una tele-gestión basada en zonas. En US6995675B2 se presenta un sistema de procesamiento de datos de cultivos basado en
30 etapas. En CN107256475A se presenta un sistema dotado de tecnologías IoT y añade el uso de la virtualización de recursos en la nube para la gestión de los datos en un sistema de gestión de productos agrícolas.

Si bien existen las citadas soluciones para la integración de tecnologías IoT o la computación en la nube en el ámbito de la agricultura inteligente, éstas son solo aproximaciones parciales, y no ofrecen:

- flexibilidad en cuanto a la modificación e integración del hardware de sensorización y actuación usado en los cultivos;
- no hay un tratamiento del procesamiento a diferentes niveles en los esquemas de agricultura de precisión, considerando las capas locales CPS, niveles intermedios virtualizados con capacidad de computación en el extremo, y la computación en la nube;
- no se garantiza la ejecución fiable de tareas de control.

10 La patente aborda estos problemas con un sistema de control y recogida y tratamiento de datos multi-capa, donde las tareas atómicas se controlan de forma local, pero la gestión automática del cultivo se realiza mediante un nivel virtualizado en el extremo de la red de comunicación (“última milla”), siguiendo las directrices generales marcadas por el ingeniero a cargo del proceso, junto con el agricultor, que actúan sobre un nivel en la nube dotado de servicios Web.

Sumario

La presente invención busca resolver uno o más de los inconvenientes expuestos anteriormente mediante un sistema de control y monitorización para agricultura de precisión tal como es definido en las reivindicaciones.

20 El sistema de control y monitorización de agricultura de precisión comprende:

- un primer nivel de arquitectura local al cultivo adaptado para conectar mediante conexiones dispositivos sensores y de control, que está formado por:
 - una pluralidad de dispositivos cyber-físicos CPS adaptados para recoger datos y ejecutar tareas de control en el cultivo;
- 25 - una pluralidad de sensores y actuadores instalados en las inmediaciones del cultivo y conectados con la pluralidad de dispositivos cyber-físicos;
 - un segundo nivel de arquitectura que sigue el paradigma de computación en el extremo de la red (computación “edge”) y adaptado para ejecutar una política de control del cultivo basándose en el procesamiento de los datos recogidos, que comprende:
- 30 - una pluralidad de nodos virtualizados que realizan las tareas de control de los procesos del cultivo, instalables en el camino de red entre el primer nivel de arquitectura local y el

acceso del sistema a una red de telecomunicaciones, y donde cada uno de los nodos se encarga de uno de los subsistemas principales del cultivo conectados a través de los dispositivos cyber-físicos CPS;

- un tercer nivel de arquitectura adaptado para ejecutar una política de gestión global del sistema de control y monitorización de agricultura de precisión, compuesto a su vez por:
 - un módulo de gestión de datos global, que almacena datos obtenidos desde el segundo nivel de arquitectura y parámetros de configuración sobre los diferentes subsistemas principales;
 - un módulo de análisis de datos obtenidos desde el módulo de gestión de datos contextuales;
 - un conjunto de servicios telemáticos orientados a los usuarios, adaptado para ejecutar una política de gestión eficiente de los cultivos mediante el acceso a datos actuales, históricos y sistemas de ayuda a la decisión;

donde los dispositivos cyber-físicos del primer nivel de arquitectura local y los nodos virtualizados del segundo nivel de arquitectura se conectan mediante una red de datos, y el módulo de gestión de datos global del cultivo del tercer nivel de arquitectura y los nodos del segundo nivel de arquitectura se conectan mediante una red de datos a través de la red de telecomunicaciones del tipo red Internet.

El dispositivo cyber-físico CPS del primer nivel local de la arquitectura comprende:

- un controlador maestro que dispone de una interfaz Ethernet para conexión a una red local;
- al menos un dispositivo esclavo que proporciona funcionalidad adicional:
- entradas y salidas adicionales para conexión de sensores y actuadores;
- canales de comunicación adicionales tanto con la red de telecomunicaciones sin hilos, como con sensores de forma inalámbrica o cableado.

El controlador maestro de dispositivos cyber-físicos CPS puede:

- ser programado para ejecutar tareas reactivas de alta prioridad de forma local, de forma que se ejecuten ante eventos predefinidos con prioridad sobre cualquier tarea comandada por las demás capas de control;
- ejecutar tareas comandadas por el módulo de control del nodo virtualizado correspondiente del segundo nivel de la arquitectura, que generan una serie de acciones sobre las entradas y salidas del controlador de dispositivos cyber-físicos CPS;

- ejecutar conjuntos de tareas de forma atómica en tiempo real, de forma que el segundo nivel de arquitectura envía un solo comando al primer nivel de arquitectura local al cultivo, y ésta última toma el control de ejecución sin interrupción hasta que termina el conjunto de tareas de ese comando.

5 El nodo virtualizado del segundo nivel de la arquitectura comprende:

- un módulo de gestión de datos contextuales del cultivo, que almacena datos obtenidos desde los dispositivos cyber-físicos del primer nivel de arquitectura local al cultivo y parámetros de configuración sobre el subsistema principal del que se encarga;

10 - un módulo inteligente para gestión de datos históricos conectado con el módulo de gestión de datos contextuales del cultivo, y del que extraen datos actuales de forma periódica;

- un módulo de gestión de las tareas del subsistema del que se encarga el nodo virtualizado conectado con el módulo gestión de datos contextuales del cultivo y el módulo de gestión de datos históricos.

15 Las conexiones de los módulos de gestión de datos contextuales del cultivo, gestión de datos históricos y gestión inteligente de las tareas del subsistema principal del que se encarga el nodo se realiza mediante protocolos basados en Representational State Transfer, REST.

20 La comunicación del módulo de gestión de datos contextuales del cultivo de los nodos virtualizados en el segundo nivel de arquitectura, con el dispositivo cyber-físico, se realiza mediante protocolos de Internet de las Cosas, preferentemente Message Queuing Telemetry Transport, MQTT, y/o Constrained Application Protocol, CoAP.

La comunicación mediante protocolo de Internet de las Cosas entre el módulo de gestión de datos contextuales del cultivo y el dispositivo cyber-físico se realiza mediante un agente de Internet de las Cosas encargado de adaptar los mensajes basados en REST del tipo Next Generation Service Interface, NGSI, al protocolo de Internet de las Cosas y viceversa.

25 La conexión entre el módulo de gestión de datos contextuales del cultivo de los nodos virtualizados en el segundo nivel de arquitectura y el módulo de gestión de datos global del tercer nivel de arquitectura con capacidades de computación en la nube se realiza mediante protocolos basados en REST del tipo NGSI.

El módulo de gestión de datos global en el tercer nivel de arquitectura está compuesto por:

30 - un módulo gestor de datos IoT global que maneja datos globales del cultivo obtenidos desde los nodos virtualizados en el segundo nivel de arquitectura y parámetros de

configuración globales de la gestión del cultivo;

- un módulo intermedio de extracción de datos conectado con el módulo gestor de datos global, y que sirve para alimentar al módulo de análisis de datos;

- un módulo de gestión de datos históricos, el cual extrae datos actuales del módulo gestor de datos global de forma periódica y los pone a disposición de los servicios telemáticos orientados a los usuarios.

Las conexiones del módulo gestor de datos global con el módulo intermedio de extracción de datos, del módulo gestor de datos global con el módulo de gestión de datos históricos, del módulo gestor de datos global con el módulo de servicios telemáticos, del módulo intermedio de extracción de datos con el módulo de análisis de datos, del módulo de análisis de datos con el módulo de servicios telemáticos orientados a los usuarios, y del módulo de gestión de datos históricos con el conjunto de servicios telemáticos orientados a los usuarios, todos del tercer nivel de arquitectura con capacidades de computación en la nube, se realizan mediante protocolos REST, preferentemente NGSI.

Resumiendo, el sistema de control y monitorización de agricultura de precisión presenta una arquitectura de control general que comprende tres capas o planos principales: nivel local de CPS de cultivo, nivel de computación “edge”, y nivel de análisis de datos y gestión inteligente en la nube. Las capas de CPS y en la nube están adaptadas para desplegarse en las instalaciones locales de cultivo y en los servidores de datos remotos, respectivamente. El nivel intermedio de computación “edge” comprende un conjunto de módulos de control virtualizados en forma de nodos Network Function Virtualization, NFV, que pueden instanciarse a lo largo de la ruta de la red, desde las instalaciones de campo hasta la capa de la nube en Internet. Esto aumenta la versatilidad en el despliegue de la solución para deslocalizar las tareas de control del cultivo, al mismo tiempo que se aporta una mayor robustez con un control más cercano en el camino de red con la capa CPS.

En las instalaciones de cultivo, los sensores y actuadores para la automatización de AP se instalan y se conectan con los nodos de CPS. Algunos ejemplos de sensores son los de radiación solar, humedad, temperatura, CO₂, medidor de PH, conductividad eléctrica, consumo de líquido, contadores, o de presión; mientras que algunos de los actuadores considerados son bombas de nutrición de suelo y agua, válvulas y activación de dispositivos, riego y dispositivos de ventilación, iluminación o ventanas automáticas. La conexión de los sensores y actuadores con las unidades CPS se realiza a través de canales cableados que utilizan conexiones de E/S digitales en serie, normalmente RS485, o directas. Para las

comunicaciones inalámbricas, se utiliza una red de sensores o del tipo Wireless Personal Area Network, WPAN para conectarse con registradores de datos y sensores.

En la primera capa, todas las unidades de CPS están interconectadas con Internet a través de un acceso de red que usa múltiples tecnologías, como enlaces de radio por microondas, fibra óptica o DSL. En esta arquitectura, las operaciones de bajo nivel que requieren una latencia mínima y una alta fiabilidad en la comunicación con sensores o actuadores se ejecutan en los nodos CPS. Estas se consideran acciones atómicas, entendiendo como tales a aquellas que se tienen que ejecutar sin interrupción, como cerrar una ventana, ejecutar un mandato de riego por un período de tiempo o ventilar hasta se alcanza un nivel de CO₂ determinado. Además, hay acciones reactivas de emergencia, preprogramadas, que se implementan directamente en los nodos CPS y que requieren operación en tiempo real, y que pueden ser lanzadas sin la supervisión de las capas superiores. Un ejemplo puede ser la apertura de ventanas y encender la ventilación si el interior del invernadero alcanza un umbral de temperatura predefinido.

El segundo nivel de procesamiento y control de la arquitectura es la capa de procesamiento “edge”, que incluye un conjunto de módulos de control virtualizados con tecnología NFV a cargo de orquestar la capa CPS. Los módulos de control de la capa “edge” componen el control operativo principal del invernadero y están a cargo de tareas de los subsistemas principales del invernadero: riego, clima, nutrición y otras tareas auxiliares, tales como la gestión de alarmas y monitorización energética. En esta capa, también se llevan a cabo tareas de fusión y agregación de datos para descargar a la tercera capa en la nube de funciones de análisis que pueden realizarse de forma distribuida, dado que la capa en la nube de la plataforma está preparada para servir a multitud de cultivos y usuarios. Los módulos de control “edge” se virtualizan a través de técnicas de NFV que permiten la creación de instancias en diferentes niveles a lo largo de la red, y se comunican con los nodos CPS usando protocolos de comunicación IoT como Message Queuing Telemetry Transport, MQTT, o Constrained Application Protocol, CoAP. Se considera que MQTT puede ser un buen candidato, puesto que está especialmente orientado a la gestión de procesos. Un protocolo de tipología Representational State Transfer, REST, como CoAP puede ser también útil para las tareas de monitorización no críticas que no implican control.

La capa en la nube sirve como interfaz entre los usuarios y la plataforma central. Aquí es donde se almacena y mantiene el estado actual, además de históricos del cultivo y los parámetros de configuración del sistema. Un gestor de datos IoT será el encargado de

mantener estos datos. Se considera un interfaz de tipo REST, como puede ser Next Generation Service Interface, NGSI, para la comunicación con este gestor de datos. Mediante este interfaz se pueden enviar actualizaciones de datos y recibir notificaciones sobre los cambios de datos de un parámetro del cultivo. La gestión del cultivo se realiza mediante cambios en parámetros de configuración almacenados en este gestor de datos IoT, que 5 activan acciones de control administradas por los subsistemas de la capa “edge”. Además, usando la nube como fuente de datos, se pueden ejecutar distintos servicios según las necesidades, incluso haciendo uso de análisis de datos mediante algoritmos Big Data. Para la comunicación entre los servicios de nivel de usuario con la plataforma, en este nivel en la 10 nube se hace uso de dos interfaces tipo REST: uno con el gestor de datos IoT que, como se ha indicado, podría ser NGSI, y otro con el módulo de análisis de datos. El transporte de datos dentro de los mensajes REST se puede realizar usando JavaScript Object Notation, JSON, entre otros.

Las características del sistema permiten también su utilización en otros ámbitos como el 15 industrial o el domótico y de edificios inteligentes.

Breve explicación de dibujos

Una explicación más detallada se da en la descripción que sigue y que se basa en las figuras adjuntas:

Figura 1 muestra de manera esquemática una realización de una arquitectura de bloques del 20 sistema de control y monitorización de agricultura de precisión;

Figura 2 muestra la arquitectura de bloques del nivel de computación “edge” junto con los principales interfaces de comunicación de acuerdo con la realización de la arquitectura de bloques del sistema de control y monitorización de agricultura de precisión; y

Figure 3 muestra la arquitectura de bloques del nivel de computación en la nube junto con los 25 principales interfaces de comunicación y la interconexión con servicios de nivel de usuario, del sistema de control y monitorización de agricultura de precisión.

Descripción

A la vista de las mencionadas figuras, y de acuerdo con la numeración adoptada, se puede observar en ellas un ejemplo de realización preferente de la invención, la cual comprende las 30 partes, elementos y etapas de método que se indican y describen en detalle a continuación.

La arquitectura de control compuesta por tres capas de control representadas en la Figura 1. Una primera capa 200 está formada por un conjunto de dispositivos CPS 201-204 interconectados entre sí, con los sensores del cultivo 101 y con Internet para tener acceso a las demás capas de la arquitectura. Una segunda capa 300 de computación en el extremo de la red de computación “edge” con diversos módulos de control virtualizados usando tecnología NFV 301-304, que son instanciados en el camino de red entre el nivel CPS 200 e Internet, y una tercera capa 400 en la nube que se encarga de la gestión de los datos y las tareas de procesado inteligentes.

Entrando en los detalles de las capas de la arquitectura instanciada, como dispositivos CPS 201-204 se hace uso de controladores capaces de ejecutar rutinas preprogramadas de forma autónoma y, al mismo tiempo, de establecer comunicación bidireccional 205 con las capas de control superiores a través de protocolos basados en el paradigma de Internet de las Cosas (IoT) para enviar la lectura de sensores 101 y ejecutar las órdenes recibidas. Además, se considera una plataforma de gestión de datos contextuales, como puede ser FIWARE (www.fiware.org) para proporcionar los principales módulos de software. En una realización, se elige ORION Context Broker como gestor de datos IoT contextual para proporcionar acceso a la información de estado del invernadero almacenada en él, ofreciendo diferentes métodos para registrar/actualizar, solicitar y suscribirse para ciertos registros de datos; Comet se incluye para proporcionar persistencia a los datos; y se utiliza además el habilitador genérico de dispositivos IoT (IoT Device Management Generic Enabler - IDAS) 314 para conectar con los dispositivos de la capa CPS 201-204.

A.-Capa de CPS

Esta capa corresponde a los dispositivos 201-204 que se encuentran en contacto con los cultivos, que en el caso de la forma de realización correspondería a un invernadero con todos los subsistemas principales de control que implica: nutrición, riego y clima, además de otros sistemas auxiliares de alarmas, monitorización energética, trazabilidad, etc. Además, en el caso particular de cultivos sin suelo o hidropónicos de ciclo de agua cerrado, también incluyen el sistema de recirculación de drenajes en el ciclo cerrado con unidades como la de desinfección o la de depuración de aguas. En cualquier caso, estos sistemas auxiliares suelen manejarse desde uno de los tres grandes bloques de control, generalmente el de nutrición.

Cada módulo de control en el plano de computación “edge” 301-304 se ha asignado inicialmente con una unidad maestra CPS 201-204, lo que da como resultado un sistema completamente distribuido. La unidad maestra CPS del proceso de nutrición 201 se encarga

de controlar la preparación de soluciones nutritivas, desinfección y purificación del agua, es decir, el ciclo completo del agua, excepto la acción de riego, que se lleva a cabo mediante otra unidad maestra CPS 202 y otro módulo de control en la capa de computación “edge” 302.

5 A diferencia de muchos sistemas comerciales de fertirrigación, en el planteamiento de esta arquitectura se ha decidido separar el control del riego del control nutricional para tener más flexibilidad a la hora de implementar programas de riego inteligentes, además de los clásicos programas de riego por tiempo o por volumen. Finalmente, el sistema climático del invernadero es gestionado por la unidad CPS maestra 203 y el módulo de control correspondiente en la capa “edge” 303. Los tres CPS maestros 201-203 y módulos de control
10 en la capa “edge” 301-303 se complementan con un CPS auxiliar 204 y su módulo de control “edge” 304 a cargo de tareas auxiliares como la monitorización de energía, gestión de alarmas, trazabilidad entre otras tareas.

Cada unidad CPS 201-204 está formado por un controlador maestro, que dispone de interfaz Ethernet para conectar con la red local 206 que forman los dispositivos CPS en la primera
15 capa de la arquitectura, y uno o varios dispositivos esclavos. La red local 206 se interconecta con Internet mediante una red de acceso 305 inalámbrica o cableada. Las aplicaciones agronómicas, sobre todo a nivel de invernadero, se caracterizan por el gran número de señales de sensores y actuadores 101. Estos dispositivos esclavos proporcionan funcionalidades adicionales al nodo CPS 201-204, principalmente mayor número de entradas
20 y salidas para conexión de sensores y actuadores, aunque también hay esclavos para proporcionar canales de comunicación adicionales. La comunicación entre el controlador maestro y los esclavos se realiza a través de un bus de campo cableado, CAN BUS, aunque pueden usarse otros estándares similares de buses industriales. Este tipo de buses permiten distancias por encima de un kilómetro y, por tanto, habilitan poder situar a distancia los
25 esclavos de la unidad maestra y tener un sistema totalmente distribuido sobre la planta que monitoriza y controla (cultivos en este caso).

Cada maestro CPS 201-204 también tiene la posibilidad de agregar esclavos inalámbricos, utilizando un modem RF, basado en el estándar IEEE 802.15.4 con intercambio de paquetes de datos con protocolo IPv6. De esta forma, se pueden utilizar esclavos que nos amplíen el
30 número de sensores y actuadores 101 en despliegues en los que no se quiera o pueda usar cable para salvar obstáculos o distancias.

Los controladores CPS 201-204 tienen la capacidad de ser programados, de forma que sean capaces de reconocer dos tipos de tareas bien diferenciadas:

- Tareas reactivas de alta prioridad. De forma local, en cada CPS 201-204, se pueden programar rutinas reactivas a uno o varios eventos predefinidos. Estas tareas tienen prioridad sobre las tareas comandadas que se describen a continuación.

- Tareas comandadas por los módulos de control 301-304 de la capa de computación “edge” 300. Estos módulos de control 301-304 de la segunda capa 300 generan una serie de acciones sobre cada una de las entradas y salidas de cada nodo CPS 201-204.

Dentro de las tareas comandadas mencionadas en el párrafo anterior, nos encontramos como caso más general la activación/desactivación de una salida determinada, que se hará según los eventos y orden indicados en los módulos de control 301-304 de la capa “edge” 300 que intervienen. También nos podemos encontrar con algunas tareas compuestas por varias operaciones sin interrupción. Esto es típico en los lazos de control, como por ejemplo desconectar una electroválvula cuando se alcance una altura de agua, o cuando pasa un número determinado de libros por una tubería. Es decir, el CPS 201-204 tiene que estar leyendo en tiempo real para realizar acciones. En este caso decimos que las tareas comandadas son atómicas, de forma que la capa “edge” 300 envía un solo comando a la capa CPS 200, y esta última 200 toma el control de ejecución sin interrupción hasta que termina, y posteriormente informa a la capa superior 300. De esta forma, se descargan las operaciones en tiempo real sobre la primera capa de CPS 200, evitando problemas de posibles pequeños retardos por las comunicaciones entre las distintas capas de la arquitectura.

Las comunicaciones 205 para las tareas comandadas entre por los módulos “edge” 301-304 a los CPS 201-204 se hacen por MQTT y CoAP, aunque puede usarse cualquier otro protocolo basado en IoT.

Por último, entre las tareas reactivas de alta prioridad que se han comentado, podemos incluir los procedimientos de emergencia en el CPS auxiliar 204 de temperatura alta en el interior del invernadero, que puede dañar irreversiblemente a las plantas. Otros ejemplos pueden ser la falta de suficiente agua para riego o cortes de energía eléctrica. En todos los casos el CPS 201-204 correspondiente tiene que ejecutar las tareas reactivas preprogramadas prioritariamente. En el caso de falta de agua, el operador 402 es advertido utilizado el canal de comunicación regular a través todos los planos de la arquitectura. Sin embargo, para cubrir cortes de energía, el CPS auxiliar 204 dispone de un modem con comunicación alternativa sin hilos y batería de respaldo para advertir al técnico u operador 402 de la parada de los procesos de la planta invernadero.

B.-Capa de computación “edge”

El plano de computación “edge” 300 se puede implementar según las características y requisitos del escenario de AP objetivo. De esta manera, es posible mover el plano de computación “edge” 300 junto a la nube 400 o, por el contrario, para crear una instancia de esta lógica al lado de la implementación local en las instalaciones del cultivo y cerca del plano CPS 200. Esto se puede hacer gracias a la virtualización.

La inclusión de esta capa de control 300 que asume la gestión operativa de la planta (invernadero) hace que las tareas derivadas a la capa de CPS 200 sean directas y primitivas, donde no existe apenas inteligencia, solo las rutinas reactivas, y, por tanto, esto hace que la arquitectura de control no dependa del fabricante del hardware de la capa CPS 200.

Los módulos de control en el plano “edge” 300 se desarrollan como nodos NFV 301-304, lo que nos permite mover fácilmente los componentes de acuerdo con los requisitos antes mencionados. Por esta razón, cada módulo de control 301-304 proporcionado por nuestra solución se instancia en una imagen virtualizada específica que se lanza oportunamente dependiendo de los requisitos de escenario. Las imágenes están alojadas en un administrador de infraestructura virtualizada (VIM) que permite la administración remota a través de una API adecuada.

Como se muestra en la Figura 2, cada módulo de control 301-304 en la capa “edge” 300 está comprendida por un gestor de datos IoT FIWARE (Context Broker) 311; un Agente IoT (IDAS Generic Enabler) 315 para cada protocolo de comunicación IoT soportado con la capa CPS 200, tales como CoAP o MQTT; y un módulo de datos históricos 313 como el software Comet, que proporciona persistencia a los datos. Por lo tanto, cada agente de IoT 315 actúa como intermediario entre la información proporcionada por la capa de CPS 200 y el gestor de datos IoT 311. Además, una entidad de software específica, módulo inteligente 312 es responsable de gestionar las tareas relacionadas con el módulo de control específico 301-304. La comunicación 316-319 del gestor de datos IoT 311 con el resto de las entidades software 312-314 dentro del módulo de control 301-304 se realiza mediante el protocolo NGSI.

Para el caso del soporte MQTT, el agente IoT MQTT 315 actúa como intermediario (“broker”) para proporcionar el punto de encuentro del esquema de publicación/suscripción para permitir las comunicaciones con los dispositivos CPS 201-204. Para permitir esta comunicación MQTT se definen los siguientes tópicos:

• Se crea un tópico específico para cada uno de los dispositivos CPS 201-204 instanciados en nuestra plataforma, donde el CPS correspondiente 201-204 está configurado como publicador y los módulos de control virtualizados, módulos de nutrición 301, riego 302, clima 303 y módulo de tareas auxiliares 304, en el plano “edge” se establecen como suscriptores.

• Por otro lado, se crea un tópico por cada uno de los módulos de control virtualizados en nuestra arquitectura 301-304. De esta forma, estos módulos 301-304 pueden administrar los CPS involucrados 201-204 en sus actividades mediante el envío de instrucciones concretas. Por lo tanto, cada módulo de control 301-304 está configurado como publicador para su correspondiente tópico, y los dispositivos CPS 201-204 se configuran como suscriptores para cada uno de ellos.

Al usar un “broker” 311 por cada módulo de control, podemos realizar tareas de computación “edge” sin tener que acceder al plano de la nube 400. En el caso concreto ilustrado en la Figura 2, por ejemplo, la unidad de software a cargo de la inteligencia de riego 312 está suscrita a la información de interés en el “broker” local 311, notificándose de esta manera con los cambios recibidos del CPS 202 relacionado con humedad y la temperatura del suelo entre otros. De la misma manera, cada una de las decisiones tomadas por el módulo inteligente 312 provoca cambios en los registros de datos dentro del gestor de datos IoT 311 que, a su vez, genera la publicación de solicitudes MQTT a través del “broker”, que finalmente llega al CPS relacionado 201-204.

C.-Capa de computación en la nube

En esta capa 400 se realizan tareas intensivas de computación o aquellas que requieren de una visión global en los elementos desplegados, que se virtualizan en servidores de gama alta. La Figura 3 describe toda la funcionalidad proporcionada por la capa en nube 400. Un gestor de datos global 410 se encarga de los datos del cultivo y del mantenimiento de los parámetros de configuración. Este gestor global 410 contiene, de nuevo, una instancia de gestor de datos IoT 411, como el Context Broker de FIWARE, que se usa para mantener registros de datos y manejar interfaces NGSI 403, 414, 415, 306 con el resto de los módulos de la capa 402, 412, 413 y con el nivel de computación “edge” 300. A diferencia de las instancias del gestor de datos IoT incluidas en el plano “edge” 311, la que se incluye aquí 411 mantiene registros de datos de alto nivel sobre el estado del cultivo, incluidos los valores filtrados o preprocesados desde el nivel “edge” 300. Un módulo de datos históricos 413, como una instancia de Comet, mantiene una suscripción de NGSI 415 para guardar datos de forma

continua, y otra 404 se usa para alimentar rutinas Big Data 401. Los servicios de gestión final 402 interactúan con estos dos componentes 413, 401 para obtener toda la información necesaria para tomar decisiones, que pueden ser supervisadas por operadores humanos.

El análisis de datos 401 es habilitado por un sistema de ficheros distribuido que guarda
5 información entre varias máquinas. Se puede utilizar entre otros el Sistema de archivos distribuidos de Hadoop (Hadoop Distributed File System - HDFS) para este fin. Se hace uso de un extractor de datos 412, como Cygnus, para llevar registros de datos del gestor de datos IoT 411 y pasarlos al módulo de procesado 401. En el componente de análisis de datos 401 se incluye todo el razonamiento de procesos para ayudar a en la toma de decisiones de los
10 servicios de gestión 402.

Las siguientes referencias numéricas hacen mención a los diversos dispositivos y módulos que aparecen descritos en relación con la invención:

- 101 – Sensores/Actuadores del cultivo.
- 102 – Conexión con sensores y actuadores.
- 15 200 – Capa o nivel de CPS.
- 201 – Dispositivo CPS para nutrición.
- 202 – Dispositivo CPS para riego.
- 203 – Dispositivo CPS para clima.
- 204 – Dispositivo CPS para tareas auxiliares.
- 20 205 – Red de datos entre capa CPS y “edge” basada en protocolo REST.
- 206 – Red local de la capa CPS.
- 300 – Capa o nivel de computación “edge”.
- 301 – Módulo de control virtualizado para nutrición.
- 302 – Módulo de control virtualizado para riego.
- 25 303 – Módulo de control virtualizado para clima.
- 304 – Módulo de control virtualizado para tareas auxiliares.
- 305 – Red de acceso a Internet.

- 306 – Red de datos entre capa de computación “edge” y en la nube basada en protocolo REST.
- 311 – Gestor de datos IoT contextuales de cultivo (Context Broker de cada módulo virtualizado).
- 5 312 – Módulo Inteligente de cada módulo de control virtualizado.
- 313 – Módulo de gestión de datos históricos de cada módulo de control virtualizado.
- 314 – Habilitador genérico de dispositivos IoT (IDAS).
- 315 – Agente IoT para cada tecnología (MQTT, CoAP, etc.).
- 316 – Conexión entre módulo inteligente y Gestor de datos IoT basado en protocolo REST.
- 10 317 – Conexión entre módulo de datos históricos y Gestor de datos IoT basado en protocolo REST.
- 318 – Conexión entre módulos IDAS y Gestor de datos IoT basado en protocolo REST.
- 319 – Conexión entre módulo de datos históricos y módulo inteligente basado en protocolo REST.
- 15 400 – Capa o nivel de computación en la nube.
- 401 – Módulo de análisis de datos (lo de Big Data iría aquí si lo queremos poner).
- 402 – Servicios telemáticos orientados a los usuarios.
- 403 – Conexión entre módulo gestor de datos IoT global y los Servicios de usuarios basado en protocolo REST.
- 20 404 – Conexión entre módulo extractor de datos y módulo de análisis de datos basado en protocolo REST.
- 405 – Conexión entre módulo de análisis de datos y módulo de servicios de usuario basado en protocolo REST.
- 406 – Conexión entre módulo de datos históricos y módulo de servicios de usuario basado en protocolo REST.
- 25 410 – Módulo de gestión de datos global (Data Cloud).
- 411 – Gestor de datos IoT global.

412 – Extractor de datos.

413 – Módulo de datos históricos (Comet).

414 – Conexión entre módulo gestor de datos IoT global y módulo extractor de datos basado en protocolo REST.

5 415 – Conexión entre módulo gestor de datos IoT global y módulo de datos históricos basado en protocolo REST.

REIVINDICACIONES

1. Sistema de control y monitorización de agricultura de precisión **caracterizado** porque comprende:

- al menos un primer nivel de arquitectura local al cultivo (200) adaptado para conectar
5 mediante conexiones (102) dispositivos sensores y de control (101), que comprende:
 - una pluralidad de dispositivos cyber-físicos CPS (201-204) adaptados para recoger
datos y ejecutar tareas de control en el cultivo; una pluralidad de sensores y actuadores (101)
instalados en las inmediaciones del cultivo y conectados con la pluralidad de dispositivos
cyber-físicos (201-204);
- 10 - al menos un segundo nivel de arquitectura (300) con capacidades de computación en
el extremo de la red ("edge") a cargo del procesamiento de los datos recogidos y el control
de cada subsistema principal del cultivo, que comprende:
 - una pluralidad de nodos virtualizados (301-304) que realizan las tareas de control de
15 los procesos del cultivo, instalables en el camino de red entre el primer nivel de arquitectura
local (200) y el acceso del sistema a una red de telecomunicaciones, y donde cada uno de los
nodos (301-304) se encarga de uno de los subsistemas principales del cultivo conectados a
través de los dispositivos cyber-físicos CPS (201-204);
 - al menos un tercer nivel de arquitectura adaptado para ejecutar una política de gestión
global del sistema de control y monitorización de agricultura de precisión, que comprende:
20 - un módulo de gestión de datos global (410), que almacena datos obtenidos desde el
segundo nivel de arquitectura (300) y parámetros de configuración sobre los diferentes
subsistemas principales;
 - un módulo de análisis de datos (401) obtenidos desde el módulo de gestión de datos
contextuales (411);
- 25 - un conjunto de servicios telemáticos orientados a los usuarios (402), adaptado para
ejecutar una política de gestión eficiente de los cultivos mediante el acceso a datos actuales,
históricos y sistemas de ayuda a la decisión;

donde los dispositivos cyber-físicos (201-204) del primer nivel de arquitectura local (200) y los
nodos (301-304) del segundo nivel de arquitectura (300) se conectan mediante una red de
30 datos (205), y el módulo de gestión de datos global (410) del cultivo del tercer nivel de
arquitectura (400) y los nodos (301-304) del segundo nivel de arquitectura (300) se conectan
mediante una red de datos a través de la red de telecomunicaciones.

2. Sistema de control y monitorización según la reivindicación 1, caracterizado porque cada dispositivo cyber-físico CPS (201-204) del primer nivel local de la arquitectura comprende:

- al menos un controlador maestro que dispone de una interfaz Ethernet para conexión a una red local;

5 - al menos un dispositivo esclavo que proporciona funcionalidad adicional:

- entradas y salidas adicionales para conexión de sensores y actuadores;

- canales de comunicación adicionales tanto con la red de telecomunicaciones sin hilos (305), como con sensores (102) remotos de forma inalámbrica o cableada.

3. Sistema de control y monitorización de acuerdo a la reivindicación 2, caracterizado porque cada controlador maestro de dispositivos cyber-físicos CPS (201-204) puede:

10

- ser programado para ejecutar tareas reactivas de alta prioridad de forma local, para que se ejecuten ante eventos predefinidos con prioridad sobre cualquier tarea comandada por las demás capas de control;

- ejecutar tareas comandadas por el módulo de control del nodo (301-304) en el segundo nivel de arquitectura (300), que generan una serie de acciones sobre las entradas y salidas del controlador dispositivo cyber-físico CPS (201-204);

15

- ejecutar conjuntos de tareas de forma atómica en tiempo real, de forma que el segundo nivel de arquitectura (300) envía un solo comando al primer nivel de arquitectura local al cultivo (200), y ésta última toma el control de ejecución sin interrupción hasta que termina el conjunto de tareas de ese comando.

20

4. Sistema de control y monitorización de acuerdo a la reivindicación 1, caracterizado porque cada uno de los nodos (301-304) comprende:

- al menos un módulo de gestión de datos contextuales del cultivo (311), que almacena datos obtenidos desde los dispositivos cyber-físicos (201-204) del primer nivel de arquitectura local al cultivo (200) y parámetros de configuración sobre el subsistema principal del que se encarga;

25

- al menos un módulo inteligente (312) para gestión de datos históricos conectado con el módulo de gestión de datos contextuales del cultivo (311), y del que extraen datos actuales de forma periódica;

30

- al menos un módulo de gestión de las tareas del subsistema (312) del que se encarga el nodo (301-304), conectado con el módulo de gestión de datos contextuales del cultivo (311) y el módulo de gestión de datos históricos (313).

5. Sistema de control y monitorización de acuerdo a la reivindicación 4, caracterizado porque unas conexiones (316, 317, 319) de los módulos de gestión de datos contextuales del cultivo (311), gestión de datos históricos (313) y gestión inteligente de las tareas del subsistema principal del que se encarga el nodo (312) se realiza mediante protocolos basados en Representational State Transfer (REST).

6. Sistema de control y monitorización de acuerdo a la reivindicación 4, caracterizado porque la comunicación (205) del módulo de gestión de datos contextuales del cultivo (311) de los nodos (301-304) en el segundo nivel de arquitectura (300), con el dispositivo cyber-físico (201-204), se realiza mediante protocolos de Internet de las Cosas Message Queuing Telemetry Transport (MQTT) y/o Constrained Application Protocol (CoAP).

7. Sistema de control y monitorización de acuerdo a la reivindicación 6, caracterizado porque la comunicación (205) mediante protocolo de Internet de las Cosas entre el módulo de gestión de datos contextuales del cultivo (311) y el dispositivo cyber-físico (201-204) se realiza mediante un agente de Internet de las Cosas (315) encargado de adaptar los mensajes basados en Representational State Transfer (REST) del tipo NGSI (318) al protocolo de Internet de las Cosas (205) y viceversa.

8. Sistema de control y monitorización de acuerdo a la reivindicación 4, caracterizado porque la conexión (306) entre el módulo de gestión de datos contextuales del cultivo (311) de los nodos (301-304) en el segundo nivel de arquitectura (300) y el módulo de gestión de datos global (410) del tercer nivel de arquitectura con capacidades de computación en la nube (400) se realiza mediante protocolos basados en Representational State Transfer (REST) del tipo NGSI.

9. Sistema de control y monitorización de acuerdo a la reivindicación 1, caracterizado porque el módulo de gestión de datos global (410) en el tercer nivel de arquitectura (400) comprende:

- al menos un módulo gestor de datos IoT global (411), que maneja datos globales del cultivo obtenidos desde los nodos (301-304) en el segundo nivel de arquitectura (300) y parámetros de configuración globales de la gestión del cultivo;
- al menos un módulo intermedio de extracción de datos (412) conectado con el módulo gestor de datos global (411), y que sirve para alimentar al módulo de análisis de datos (401);
- al menos un módulo de gestión de datos históricos (413), el cual extrae datos actuales del módulo gestor de datos global de forma periódica y los pone a disposición de los servicios

telemáticos orientados a los usuarios (402).

10. Sistema de control y monitorización según la reivindicación 9, caracterizado porque las conexiones (414, 415, 403, 404, 405, 406) del módulo gestor de datos global (411) con el módulo intermedio de extracción de datos (412), del módulo gestor de datos global (411) con el módulo de gestión de datos históricos (413), del módulo gestor de datos global (411) con el módulo de servicios telemáticos (402), del módulo intermedio de extracción de datos (412) con el módulo de análisis de datos (401), del módulo de análisis de datos (401) con el módulo de servicios telemáticos orientados a los usuarios (402), y del módulo de gestión de datos históricos (413) con el conjunto de servicios telemáticos orientados a los usuarios (402), todos del tercer nivel de arquitectura con capacidades de computación en la nube (400), se realizan mediante protocolos Representational State Transfer (REST), del tipo NGSI.

FIGURA 1

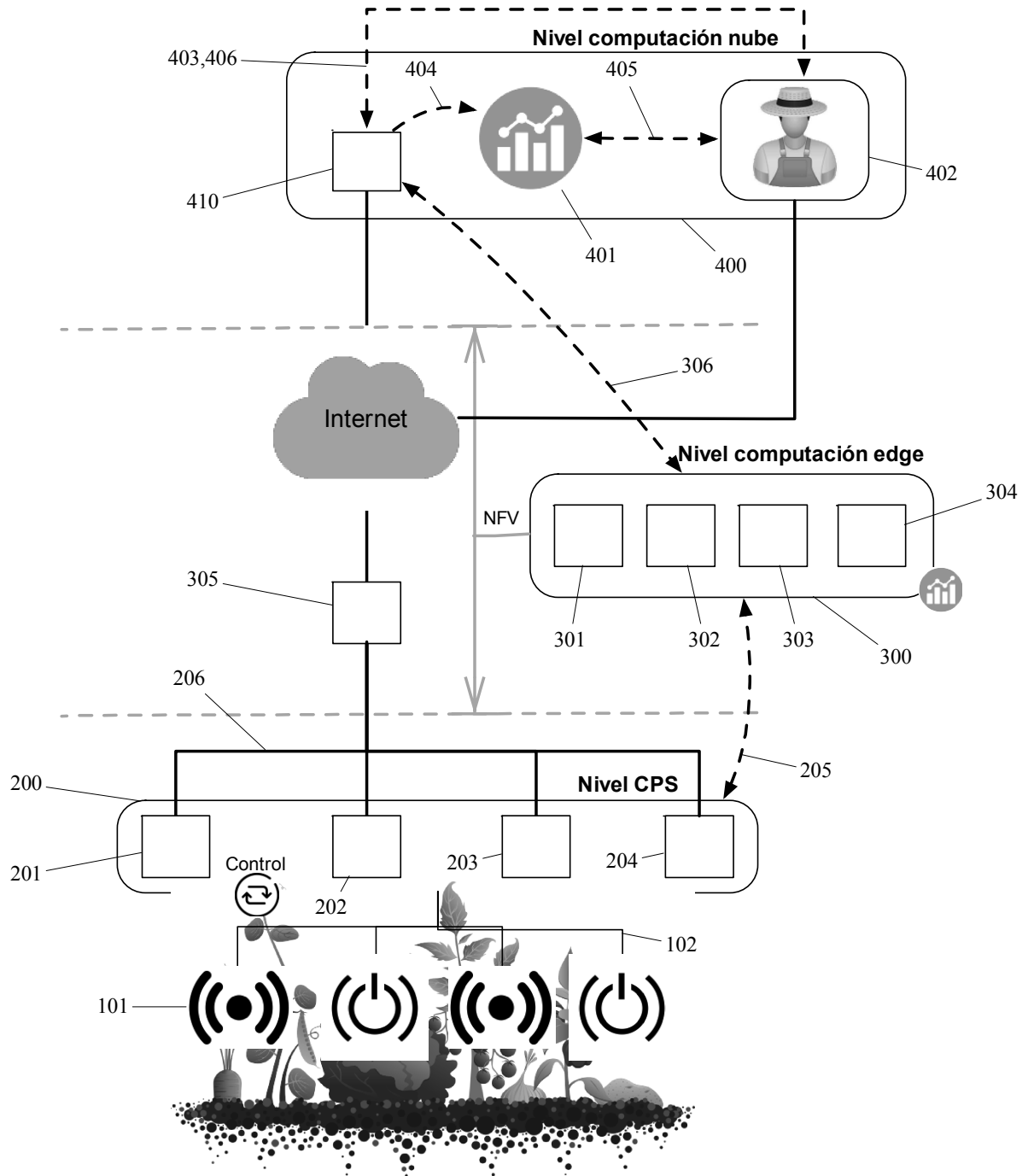


FIGURA 2

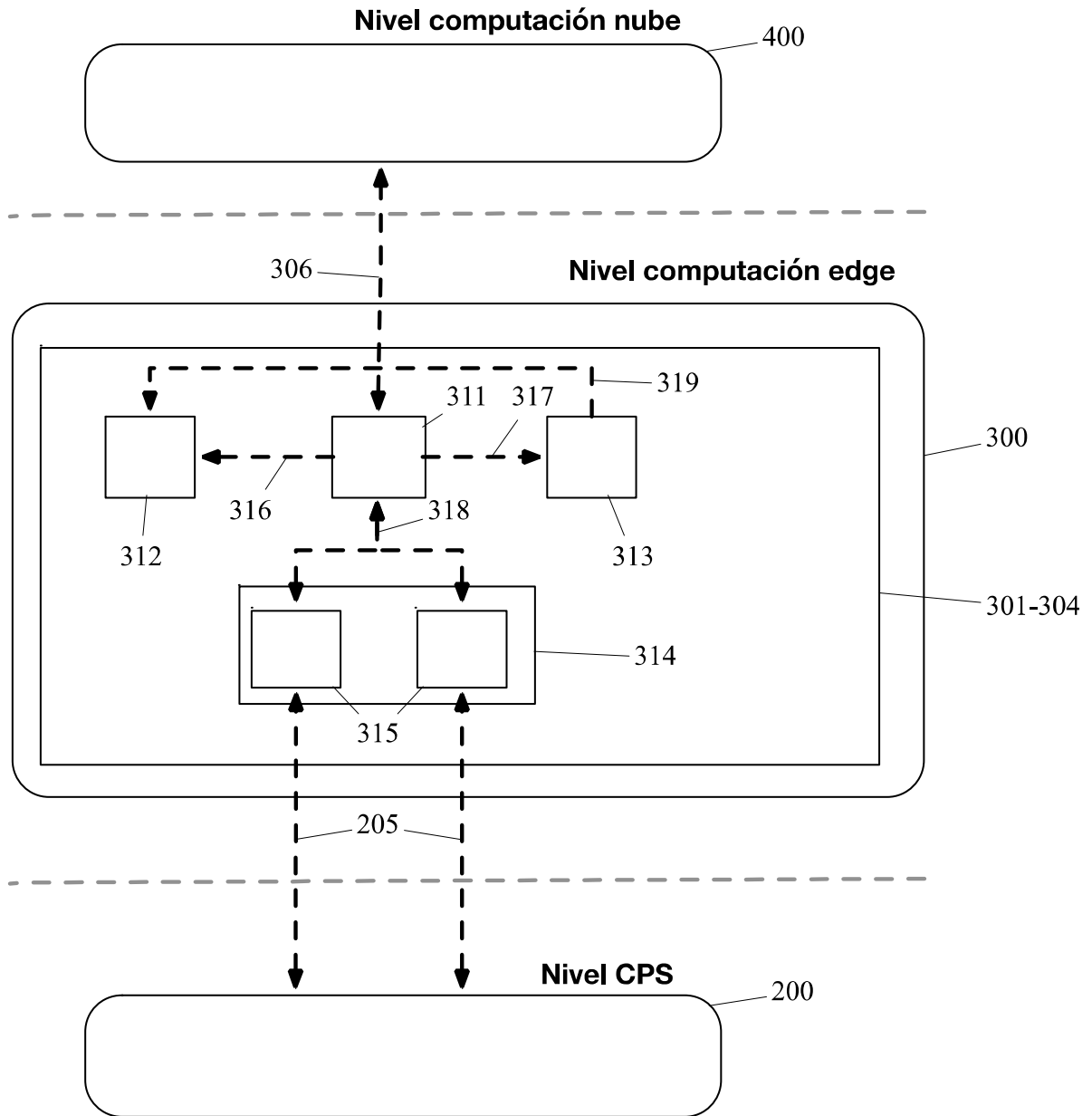
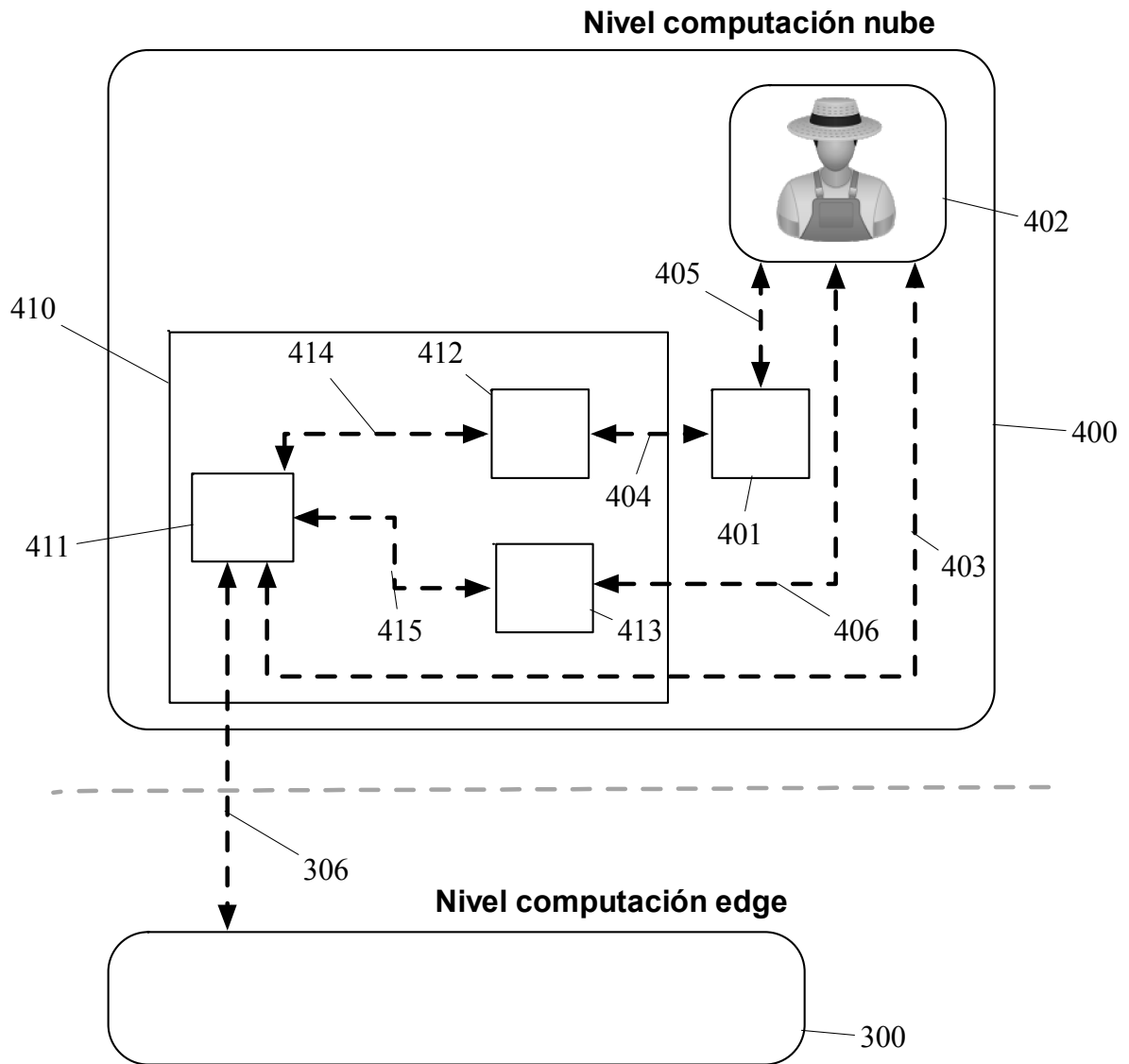


FIGURA 3





- ②① N.º solicitud: 201831025
②② Fecha de presentación de la solicitud: 22.10.2018
③② Fecha de prioridad:

INFORME SOBRE EL ESTADO DE LA TÉCNICA

⑤① Int. Cl.: **H04L29/08** (2006.01)

DOCUMENTOS RELEVANTES

Categoría	⑤⑥ Documentos citados	Reivindicaciones afectadas
X	FERRÁNDEZ-PASTOR F J et al. Developing ubiquitous sensor network platform using internet of things: application in precision agriculture. Sensors July 2016 MDPI AG Switzerland. , 30/06/2016, Vol. 16, Nº 7, Páginas 1141 (20 pp.), ISSN 1424-8220 (print), <DOI: doi: 10.3390/s16071141>. Sección 3. Network Platform: Design and Development; Sección 4. Experimental Prototype; figura 4	1, 4-10
Y		2-3
Y	CHEN CHING-HAN et al. Edge Computing Gateway of the Industrial Internet of Things Using Multiple Collaborative Microcontrollers. IEEE NETWORK, 20180101 IEEE SERVICE CENTER, NEW YORK, NY, US. , 01/01/2018, Vol. 32, Nº 1, Páginas 24 - 32, ISSN 0890-8044, <DOI: doi:10.1109/MNET.2018.1700146>. páginas 27 - 29; Sección Overall Architecture of the Multi-MCU IIoT Gateway; Sección The Innovative Advantages Analysis of the Multi-MCU Gateway for the Smart Manufacturing System ; Sección The Innovative Advantages Analysis of the Multi-MCU Gateway for the Smart Manufacturing System	2-3
A	MARTÍNEZ R et al. A Testbed to Evaluate the FIWARE-Based IoT Platform in the Domain of Precision Agriculture. Sensors Nov. 2016 MDPI AG Switzerland. , 31/10/2016, Vol. 16, Nº 11, Páginas 1979 (22 pp.), ISSN 1424-8220 (print), <DOI: doi: 10.3390/s16111979>. Sección 3. FIWARE; Sección 4. Testbed	1-10
A	US 2018300124 A1 (MALLADI SASTRY KM et al.) 18/10/2018, párrafos [0002 - 0025]; párrafos [0061 - 0085]; párrafos [0106 - 0118]; párrafos [0135 - 0174]; párrafos [0185 - 0186];	1-10

Categoría de los documentos citados

X: de particular relevancia

Y: de particular relevancia combinado con otro/s de la misma categoría

A: refleja el estado de la técnica

O: referido a divulgación no escrita

P: publicado entre la fecha de prioridad y la de presentación de la solicitud

E: documento anterior, pero publicado después de la fecha de presentación de la solicitud

El presente informe ha sido realizado

para todas las reivindicaciones

para las reivindicaciones nº:

Fecha de realización del informe
29.05.2019

Examinador
M. L. Alvarez Moreno

Página
1/2

Documentación mínima buscada (sistema de clasificación seguido de los símbolos de clasificación)

H04L

Bases de datos electrónicas consultadas durante la búsqueda (nombre de la base de datos y, si es posible, términos de búsqueda utilizados)

INVENES, EPODOC, WPI, Inspec