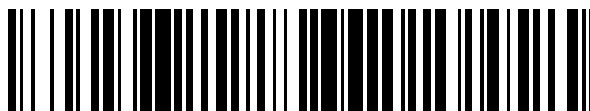


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 709 899**

51 Int. Cl.:

F41G 7/30

(2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **08.05.2007 PCT/US2007/011138**

87 Fecha y número de publicación internacional: **15.05.2008 WO08057141**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **08.05.2007 E 07867108 (8)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **07.11.2018 EP 2064511**

54 Título: **Sistemas y métodos de banco de pruebas de desarrollo rápido de vehículo autónomo**

30 Prioridad:

24.07.2006 US 459617

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

22.04.2019

73 Titular/es:

**THE BOEING COMPANY (50.0%)
100 North Riverside Plaza
Chicago, IL 60606-1596, US y
MASSACHUSETTS INSTITUTE OF TECHNOLOGY
(50.0%)**

72 Inventor/es:

**VIAN, JOHN L.;
VALENTI, MARIO J.;
PROVINE, RONALD C.;
TROY, JAMES J.;
MURRAY, PAUL;
ERIGNAC, CHARLES A.;
CLARK, GREGORY J.;
PIGG, PAUL E.;
MANSOURI, ALI R.;
ABDEL-MOTAGALY, KHALED;
BIENIAWSKI, STEFAN R.;
SAAD, EMAD W.;
HOW, JONATHAN B. y
BETHKE, BRETT M.**

74 Agente/Representante:

CARVAJAL Y URQUIJO, Isabel

ES 2 709 899 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

Sistemas y métodos de banco de pruebas de desarrollo rápido de vehículo autónomo

Campo de la invención

- 5 La presente invención se refiere, en general, a sistemas y métodos para un desarrollo y una realización de pruebas rápidos de algoritmos y configuraciones de vehículos, incluyendo vehículos voladores tripulados y no tripulados, así como vehículos acuáticos y terrestres.

Antecedentes de la invención

- 10 Por lo general, los métodos existentes de desarrollo y de realización de pruebas de vehículos, incluyendo vehículos aéreos, acuáticos y terrestres, implican tanto las simulaciones por ordenador como la realización de pruebas de prototipos. Desafortunadamente, llevar a cabo simulaciones por ordenador puede consumir una cantidad de tiempo relativamente alta y puede simplificar de forma no deseable muchas de las complejidades del sistema real. De forma similar, la realización de pruebas de prototipos puede ser indeseablemente costosa. En el caso de los vehículos voladores, los sistemas convencionales tales como el vehículo aéreo no tripulado BAT facilitado por la Compañía MLB de Mountain View, California, solo pueden producir un número relativamente limitado de condiciones y horas de vuelo debido a costes operativos, cuestiones logísticas, reglamentos de seguridad y otros factores.

- 15 A pesar de que los métodos de la técnica anterior de desarrollo y de realización de pruebas de vehículos han logrado unos resultados deseables, hay margen de mejora. Más en concreto, los métodos y sistemas que posibilitan que el desarrollo y la realización de pruebas de algoritmos y configuraciones de vehículos se lleven a cabo de una forma rápida, precisa y económica tendrían una utilidad significativa.

- 20 El documento WO 2005/003676 divulga una red sincronizada de tres radares de búsqueda y de seguimiento y los medios de procesamiento y los canales de comunicación asociados. Los radares están configurados para detectar y seguir el objetivo.

- 25 El documento WO 96/13765 divulga un sistema de radar de efecto Doppler para proporcionar una información de posición en 4 D de un vehículo aéreo no tripulado (UAV, *unmanned air vehicle*), y un control del vehículo de acuerdo con el error de posición. El documento WO 2005/123502 divulga el uso de una caja de simulación de soporte físico en el lazo que prevé simular las salidas de un UAV. El documento US 2005/004723 divulga la simulación de una pluralidad de vehículos no tripulados, y el control de los vehículos no tripulados basándose en dichas simulaciones. En el documento de M. G. Earl y R. D'Andrea, "*Real-time attitude estimation techniques applied to a four rotor helicopter*" (Técnicas de estimación de actitud en tiempo real aplicadas a un helicóptero de cuatro rotores), *43rd IEEE Conference on Decision and Control* (43^a conferencia de IEEE sobre Decisión y control), diciembre de 2004, se divulga un control de realimentación cerrada de un helicóptero de cuatro rotores, con el que la ubicación del helicóptero se detecta por medio de unas cámaras que rodean el volumen de control, y con el que se usa un filtrado de Kalman para combinar los datos de sistema de visión y los datos de giróscopo a partir del helicóptero.

Sumario

- 35 De acuerdo con la invención, existe un sistema y método tal como se define en las reivindicaciones adjuntas.

- 40 La presente invención se dirige a sistemas y métodos para un desarrollo y una realización de pruebas rápidos de vehículos y componentes de vehículo. Algunas formas de realización de la invención pueden proporcionar de forma ventajosa un aumento drástico en la capacidad de prueba, permitiendo que nuevos vehículos (incluyendo vehículos aéreos, acuáticos y terrestres) y componentes de vehículo (incluyendo componentes de soporte físico y de soporte lógico) se investiguen y se desarrollen con más rapidez, eficiencia y rentabilidad en comparación con los sistemas y métodos de la técnica anterior.

- 45 En una forma de realización, un sistema para operar de forma controlable uno o más vehículos incluye un sistema de referencia de posición y una arquitectura de orden y de control. El sistema de referencia de posición está configurado para medir de forma repetitiva una o más características de posición y de movimiento de los uno o más vehículos a medida que los uno o más vehículos están operando dentro de un volumen de control. La arquitectura de orden y de control está configurada para recibir las una o más características de posición y de movimiento medidas de forma repetitiva a partir del sistema de referencia de posición, y para determinar unas señales de control correspondientes (en un modo de funcionamiento de control centralizado) basándose en las una o más características de posición y de movimiento medidas de forma repetitiva a partir del sistema de referencia de posición.
- 50 Las señales de control se transmiten entonces a los uno o más vehículos que operan dentro del volumen de control para controlar al menos uno de la posición, el movimiento y la estabilización de los uno o más vehículos de una forma de realimentación de lazo cerrado. En una forma de realización alternativa, el sistema opera en un

modo de funcionamiento de control distribuido en el que las señales de control se determinan por medio de unos componentes de procesamiento de a bordo que están ubicados en los vehículos que reciben la información que es medida por el sistema de referencia de posición, y determinan las señales de control del vehículo asociado.

- 5 En una forma de realización adicional, la arquitectura de orden y de control incluye adicionalmente un componente de supervisión de salud que está configurado para recibir una información de supervisión de salud a partir de los uno o más vehículos, y para evaluar un estado de salud de los uno o más vehículos basándose en la información de supervisión de salud recibida. La arquitectura de orden y de control se puede configurar adicionalmente para determinar las señales de control correspondientes basándose, al menos en parte, en el estado de salud evaluado de los uno o más vehículos.
- 10 En otra forma de realización más, un método de operación de uno o más vehículos incluye medir una o más características de estabilidad y de control de los uno o más vehículos usando un sistema de referencia de posición. Las una o más características medidas de estabilidad y de control se reciben a partir del sistema de referencia de posición, y una señal de orden se determina basándose en las una o más características de estabilidad y de control. La señal de orden se transmite a los uno o más vehículos que operan dentro del volumen de control para controlar
- 15 las una o más características de estabilidad y de control de los uno o más vehículos de una forma de realimentación de lazo cerrado.

Breve descripción de los dibujos

Algunas formas de realización de la presente invención se describen con detalle en lo sucesivo con referencia a los siguientes dibujos.

- 20 La figura 1 es una vista esquemática de un sistema de desarrollo para desarrollar y realizar pruebas de vehículos y componentes de vehículo de acuerdo con una forma de realización de la invención;
- la figura 2 es una vista esquemática de una arquitectura de orden y de control del sistema de desarrollo de la figura 1 de acuerdo con una forma de realización particular de la invención;
- 25 la figura 3 es un diagrama de flujo de un método de control que se corresponde con la arquitectura de orden y de control de la figura 2 de acuerdo con otra forma de realización a modo de ejemplo de la invención;
- la figura 4 es una vista esquemática de un sistema de desarrollo de acuerdo con una forma de realización alternativa de la invención;
- la figura 5 es una vista esquemática ampliada de un vehículo de prueba del sistema de desarrollo de la figura 4;
- 30 la figura 6 es una vista en planta del vehículo de prueba y una placa de control de supervisión de salud del sistema de desarrollo de la figura 4;
- la figura 7 es una vista parcial del sistema de desarrollo de la figura 4 durante el funcionamiento con el vehículo volador;
- la figura 8 es una vista esquemática de un sistema informático del sistema de desarrollo de la figura 4;
- 35 la figura 9 es una vista de conjunto esquemática de un sistema de supervisión de salud del sistema de desarrollo de la figura 4;
- las figuras 10 a 12 son unas capturas de pantalla representativas que son proporcionadas por un componente de análisis y de visualización de la figura 9;
- la figura 13 es una vista isométrica de un vehículo de prueba con una placa de control de supervisión de salud y un componente de procesamiento integrado de acuerdo con otra forma de realización de la invención; y
- 40 la figura 14 es una vista en alzado ampliada de la placa de control de supervisión de salud y el componente de procesamiento de la figura 13.

Descripción detallada

- 45 La presente invención se refiere a sistemas y métodos para un desarrollo y una realización de pruebas rápidos de algoritmos y configuraciones de los vehículos, incluyendo vehículos voladores tripulados y no tripulados, así como vehículos acuáticos y terrestres. Muchos detalles específicos de determinadas formas de realización de la invención

se exponen en la siguiente descripción y en las figuras 1 - 14 para proporcionar una comprensión completa de tales formas de realización. No obstante, un experto en la materia entenderá que la presente invención puede tener algunas formas de realización adicionales, o que la presente invención se puede poner en práctica sin varios de los detalles que se describen en la siguiente descripción.

En general, los sistemas y métodos de acuerdo con algunas formas de realización de la presente invención prevén de forma ventajosa un desarrollo y una realización de pruebas rápidos de una amplia diversidad de vehículos y componentes de vehículo (soporte físico y soporte lógico) en un entorno controlado. Más en concreto, algunas formas de realización de la invención pueden posibilitar que se sometan a pruebas nuevos sistemas de soporte lógico, sistemas de aviónica, algoritmos de control, componentes de soporte físico de ordenador, sensores, configuraciones o otros parámetros adecuados de interés de forma rápida y repetida usando uno o múltiples vehículos de prueba. Debido a que algunas formas de realización de la presente invención se pueden ajustar a escala para encajar dentro de, por ejemplo, un entorno de laboratorio adecuado, la realización de pruebas y el desarrollo de nuevos vehículos y componentes de vehículo se pueden llevar a cabo con rapidez, eficiencia y rentabilidad. Por lo tanto, algunas formas de realización de la invención pueden proporcionar un aumento drástico en la capacidad de prueba, permitiendo que nuevos vehículos (incluyendo vehículos aéreos, acuáticos y terrestres) y componentes de vehículo se investiguen y se desarrollen más rápidamente a un coste más bajo.

La figura 1 es una vista esquemática de un sistema de desarrollo 100 para desarrollar y realizar pruebas de vehículos y componentes de vehículo de acuerdo con una forma de realización de la invención. En la presente forma de realización, el sistema de desarrollo 100 incluye un ordenador de orden y de control 102 que está acoplado de forma operativa con un sistema de referencia de posición 120 y con una interfaz humana 150. Una pluralidad de vehículos de prueba 110 están situados de forma operativa dentro de un espacio de control 122 que es supervisado por el sistema de referencia de posición 120 durante el funcionamiento del sistema de desarrollo 100. Tal como se muestra en la figura 1, los vehículos de prueba 110 pueden incluir vehículos aéreos no tripulados (UAV, *Unmanned Aerial Vehicle*) 110A, vehículos terrestres no tripulados (UGV, *Unmanned Ground Vehicle*) 110B, o cualquier otro tipo adecuado de vehículos de prueba 110C.

El ordenador de orden y de control 102 se comunica operativamente con cada uno de los vehículos de prueba 110 por medio de un enlace de comunicaciones 105, que puede ser un enlace inalámbrico, un enlace basado en hilos, un enlace de fibra óptica o cualquier otro tipo adecuado de enlace de comunicaciones. Cada enlace de comunicaciones 105 porta unas señales y datos entre el ordenador de orden y de control 102 y los vehículos de prueba 110. Por ejemplo, en la forma de realización que se muestra en la figura 1, el ordenador de orden y de control 102 está configurado para recibir unas señales de vídeo y de sensor 104 y unas señales de supervisión de salud 106 a partir de los vehículos de prueba 110, y para transmitir unas señales de orden apropiadas 108 a los vehículos de prueba 110. Un programa de soporte lógico de orden y de control 112 se puede poner en práctica en el ordenador de orden y de control 102 para llevar a cabo una diversidad de funciones que están asociadas con la supervisión y el control de los vehículos de prueba 110 y los diversos componentes del sistema de desarrollo 100. Como alternativa, el ordenador de orden y de control 102 puede incluir uno o más componentes de soporte físico programables que están configurados para llevar a cabo una o más de estas funciones.

Durante el funcionamiento, el ordenador de orden y de control 102 da lugar a que unas señales de orden apropiadas 108 se transmitan a los uno o más de los vehículos de prueba 110, ordenando a los vehículos de prueba 110 que lleven a cabo las actividades o funciones deseadas. Por ejemplo, se puede ordenar a los uno o más vehículos de prueba de tipo UAV 110A que vuelen en una trayectoria de vuelo deseada y que recojan la información deseada usando un sensor de a bordo. De forma similar, se puede ordenar a los vehículos de prueba de tipo UGV y de otro tipo 110B, 110C que recorran una trayectoria terrestre deseada, recojan información o lleven a cabo otras actividades deseadas. Se puede ordenar a los vehículos de prueba 110 que se muevan independientemente uno de otro o, como alternativa, se puede ordenar a dos o más de los vehículos de prueba 110 que se muevan de una forma coordinada, tal como en los movimientos en bandadas, en enjambres o en ultraenjambres, tal como se describe más plenamente, por ejemplo, en el documento "*Beyond Swarm Intelligence: The Ultraswarm*" (Más allá de la inteligencia del enjambre: el ultraenjambre), que fue presentado en el *IEEE Swarm Intelligence Symposium* (Simposio de IEEE acerca de la Inteligencia de Enjambre) por Holland y col., 8 de junio de 2005.

Durante el movimiento de los vehículos de prueba 110 dentro del espacio de control 122, el sistema de referencia de posición 120 supervisa las posiciones de los vehículos de prueba 110 y proporciona una información de realimentación de posición 122 al ordenador de orden y de control 102. El ordenador de orden y de control 102 compara la información de realimentación de posición 122 con las posiciones previstas o deseadas de los vehículos de prueba 110, y da lugar a que unas señales de orden apropiadas 108 se transmitan a los vehículos de prueba 110 por medio de los enlaces de comunicación 105 para ajustar (o mantener) de forma controlable las posiciones de los vehículos de prueba 110 en sus posiciones deseadas o a lo largo de sus rumbos deseados. Por lo tanto, el sistema de referencia de posición 120 dota al sistema de desarrollo 100 de una capacidad de control de realimentación de lazo cerrado para ajustar de forma controlable las posiciones y los cursos de movimiento de los vehículos de prueba 110. Más en concreto, el sistema de referencia de posición 120 puede proporcionar de forma ventajosa una información de realimentación de lazo cerrado 122 que posibilita que el ordenador de orden y de control 102

determine y controle no solo las posiciones y los movimientos, sino también las órdenes de control de actitud y de estabilización para un control y una estabilización apropiados de los vehículos de prueba 110.

A continuación se describirán con mayor detalle algunas formas de realización específicas en lo sucesivo con el fin de facilitar una comprensión más completa de diversos aspectos de los sistemas y métodos de acuerdo con la invención. Por ejemplo, la figura 2 es una vista esquemática de una arquitectura de orden y de control 200 del sistema de desarrollo 100 de la figura 1 de acuerdo con una forma de realización particular de la invención. En la presente forma de realización, la arquitectura de orden y de control 200 incluye una interfaz con el entorno real y con la dinámica real 210 correspondiente y está configurada para llevar a cabo los cálculos y la gestión de datos que están asociados con los vehículos de prueba 110 (por razones de simplicidad, en la figura 2 solo se ilustran los vehículos de prueba de tipo UAV 110A y los vehículos de prueba de tipo UGV 110B) dentro del espacio de control 122. La interfaz de dinámica y de entorno real 210 se puede encontrar en el ordenador de orden y de control 102 como, por ejemplo, parte del soporte lógico de orden y de control 112. Cada vehículo de prueba 110 se comunica por medio del enlace de comunicación 105 correspondiente con la interfaz de dinámica y de entorno real 210.

Tal como se muestra adicionalmente en la figura 2, la arquitectura de orden y de control 200 incluye adicionalmente una unidad de control de vehículo 212 para cada uno de los vehículos de prueba 110. Cada unidad de control de vehículo 212 se puede ubicar a bordo del vehículo de prueba 110 respectivo, tal como para vehículos de prueba tripulados o, como alternativa, se puede encontrar separado de (o remoto con respecto a) el vehículo de prueba 110 (por ejemplo, una unidad de control de tierra, una unidad de control aérea, una unidad de control acuática, etc.) tal como se muestra en la figura 2. Las unidades de control de vehículo 212 se comunican operativamente con una red de datos de control 240 y con una red de supervisión de salud 242.

La funcionalidad de dinámica y de entorno real 210 también interacciona operativamente con el sistema de referencia de posición 120. Se apreciará que el sistema de referencia de posición 120 puede ser cualquier tipo adecuado de sistema que sea capaz de medir las posiciones y los movimientos de los vehículos de prueba 110 dentro del espacio de control 122. En algunas formas de realización preferidas, el sistema de referencia de posición 120 es capaz de medir cada uno de los seis grados de libertad que definen las posiciones y los movimientos de cada vehículo de prueba 110. Por ejemplo, las formas de realización de los sistemas de referencia de posición adecuados pueden incluir sistemas de exploración por láser, tales como los sistemas facilitados a nivel comercial por Mensi, Inc. de Alpharetta, Georgia, y sistemas de radar por láser, tales como los que se divulgan en general, por ejemplo, en la patente de EE. UU. con n.º 5.202.742 que fue expedida a nombre de Frank y col., la patente de EE. UU. con n.º 5.266.955 que fue expedida a nombre de Izumi y col., y la patente de EE. UU. con n.º 5.724.124 que fue expedida a nombre de Kai. En otras formas de realización, los sistemas de referencia de posición pueden incluir unos sistemas de formación de imágenes tales como el sistema de formación de imágenes basado en láser Cyrax facilitado a nivel comercial por Cyra Technologies, Inc. de San Ramón, California. En algunas formas de realización adicionales, los sistemas de referencia de posición adecuados pueden incluir sistemas de radar y de radar por láser, tales como, por ejemplo, el sistema de radar por láser LR200 facilitado a nivel comercial por Leica Geosystems, Inc. de Heerbrugg, Suiza. Como alternativa, los sistemas de referencia de posición pueden incluir sistemas globales de determinación de posición (GPS, *global positioning system*) y sistemas globales de determinación de posición por infrarrojos (IRGPS, *infrared global positioning system*), tales como los sistemas que se divulgan en general, por ejemplo, en la patente de EE. UU. con n.º 5.589.835 que fue expedida a nombre de Gildea y col., la patente de EE. UU. con n.º 6.452.668 B1, que fue expedida a nombre de Pratt, y las patentes de EE. UU. con n.º 6.501.543 B2, 6.535.282 B2, 6.618.133 B2 y 6.630.993 B1 que fueron expedidas a nombre de Hedges y col., y los sistemas facilitados a nivel comercial por ARC Second, Inc. de Dulles, Virginia. Algunas formas de realización adicionales de los sistemas de referencia de posición pueden incluir sistemas por ultrasonidos basados en sónar, tales como el tipo que se describe, por ejemplo, en el documento "*High Resolution Maps from Wide Angle Sonar*" (Mapas de alta resolución a partir de sónar de ángulo extenso) por Moravec y col. del Instituto de Robótica de la Universidad Carengie-Mellon, y sistemas de seguimiento de puntos basados en láser del tipo facilitado a nivel comercial por Automated Precision, Inc. de Rockville, Maryland, o cualquier otro tipo adecuado de sistemas de medición de posición.

Continuando con la referencia a la figura 2, un módulo de cambio de formato 214 se acopla operativamente entre el sistema de referencia de posición 120 y la red de datos de control 240, y está configurado para recibir los datos de posición y de movimiento que se miden por medio del sistema de referencia de posición 120, para cambiar el formato de estos datos según sea necesario, y para radiodifundir estos datos a diversos otros componentes de la arquitectura de orden y de control 200 por medio de la red de datos de control 240. Se apreciará que el módulo de cambio de formato 214 se puede encontrar separado del sistema de referencia de posición 120, tal como se muestra en la figura 2 o, como alternativa, se puede incorporar dentro del sistema de referencia de posición 120. Tal como se ha descrito en lo que antecede, los datos de posición, de actitud y de movimiento que son proporcionados por el sistema de referencia de posición 120 (y cuyo formato se cambia por medio del módulo de cambio de formato 214) son usados por la arquitectura de orden y de control 200 de una forma de realimentación de lazo cerrado mediante la comparación de los datos reales con los datos deseados o predichos (por ejemplo, usando la funcionalidad de dinámica y de entorno real 210 (o un módulo de dinámica y entorno simulado 220 que se describe en lo sucesivo) y la emisión de unas órdenes apropiadas de control y de estabilización (por ejemplo, usando los módulos de control de

vehículo 212) para ajustar (o mantener) de forma controlable uno o más de las posiciones, las actitudes y los movimientos de los vehículos de prueba 110 en consecuencia.

En la presente forma de realización, la arquitectura de orden y de control 200 incluye adicionalmente un módulo de dinámica y entorno simulado 220 que está configurado para llevar a cabo los cálculos y la gestión de datos que están asociados con uno o más módulos de vehículo simulado 222. El módulo de dinámica y entorno simulado 220 también se puede encontrar en el ordenador de orden y de control 102 como parte del soporte lógico de orden y de control 112. Cada módulo de vehículo simulado 222 se comunica operativamente con la red de datos de control 240 y la red de supervisión de salud 242. El módulo de dinámica y entorno simulado 220 está configurado adicionalmente para proporcionar unos datos simulados de posición, de actitud y de movimiento que están asociados con los vehículos simulados 222, así como unos datos de gestión de salud que están asociados con los vehículos simulados 222, al módulo de cambio de formato 214 para su radiodifusión a la red de datos de control 240. Por lo tanto, la arquitectura de orden y de control 200 se puede usar de forma ventajosa para desarrollar unos vehículos de prueba 110 que operan en un entorno que tiene unas condiciones de vehículo y de entorno tanto reales como simuladas.

Uno o más operadores 224 pueden emitir órdenes de control a diversos componentes del sistema de desarrollo 100 por medio de un módulo de orden y de control 226 de la INTERFAZ HUMANA 150, que se comunica operativamente con la red de datos de control 240 y con la red de supervisión de salud 242. Por ejemplo, un operador 224A puede transmitir unas órdenes apropiadas a un módulo de vehículo simulado 222A para dirigir el movimiento, la actitud, la actividad o cualquier otra característica deseada del módulo de vehículo simulado 222A por medio de la red de datos de control 240. A su vez, los uno o más operadores 224 pueden supervisar cualquier característica deseada del sistema de desarrollo 100 que pueda ser de interés en un módulo de visualización situacional 228 de la interfaz humana 150, incluyendo las posiciones, los movimientos y las características de salud de los módulos de vehículo simulado 222 y los vehículos de prueba 110. Por ejemplo, el operador 224A del módulo de vehículo simulado 222A puede supervisar las características deseadas (por ejemplo, la posición, el movimiento, las características de salud, etc.) en una porción de visualización de vehículo simulado 228A del soporte lógico de visualización situacional 228.

En la forma de realización que se muestra en la figura 2, la arquitectura de orden y de control 200 incluye adicionalmente una estación de recarga 230 que está acoplada de forma operativa con las redes de datos de control y de supervisión de salud 240, 242 por medio de una unidad de control de estación de recarga 232. La estación de recarga 230 está configurada para proporcionar el reaprovisionamiento de recursos consumibles a los vehículos de prueba 110 basándose en la información de supervisión de salud que se radiodifunde a la red de supervisión de salud 242. Un módulo de gestión de red 234 está acoplado con las redes de datos de control y de supervisión de salud 240, 242 y está configurado para llevar a cabo diversas actividades y funciones de gestión de redes convencionales. Un módulo de registro 236 está acoplado con las redes de datos de control y de supervisión de salud 240, 242 y está configurado para registrar los datos que se radiodifunden a través de las redes de datos de control y de supervisión de salud 240, 242 durante las pruebas de desarrollo para los análisis posteriores. Una funcionalidad de reproducción de pruebas registradas para un análisis y demostración con posterioridad a la prueba se puede lograr usando la interfaz de las redes de control y de supervisión de salud 240, 242 entre el módulo de registro 236 y el módulo de orden y de control 226.

La figura 3 es un diagrama de flujo de un método de control 300 que se corresponde con la arquitectura de orden y de control 200 de la figura 2 de acuerdo con otra forma de realización a modo de ejemplo de la invención. En la presente forma de realización, los diversos componentes del sistema de desarrollo 100 se inician en un bloque 302, y uno o más vehículos de prueba 110 (y, si es aplicable, vehículos simulados) dentro del espacio de control 122 se inician en un bloque 304. Un plan de pruebas definido por el operador se introduce en un bloque 305, y unas señales de control se comunican a los vehículos de prueba 110 en un bloque 306. Por ejemplo, en algunas formas de realización, el ordenador de orden y de control 102 puede dar lugar a que las unidades de control de vehículo 212 transmitan unas señales de orden apropiadas 108 a los vehículos de prueba 110, ordenando a los vehículos de prueba 110 que lleven a cabo las actividades o funciones deseadas. El ordenador de orden y de control 102 puede determinar las señales de orden apropiadas basándose en, por ejemplo, uno o más algoritmos de control o rutinas de soporte lógico que se instalan dentro del SOPORTE LÓGICO DE ORDEN Y DE CONTROL 112.

En un bloque 308, el sistema de referencia de posición 120 supervisa las posiciones y los movimientos de los vehículos de prueba 110 y, si es aplicable, también se calculan las posiciones y la dinámica de los vehículos simulados. Los datos de posición y de dinámica que se miden por medio del sistema de referencia de posición 120 (y que se calculan para los vehículos simulados) se comunican al ordenador de orden y de control 102 en un bloque 310. En algunas formas de realización preferidas, el sistema de referencia de posición 120 es capaz de medir cada uno de los seis grados de libertad que definen la posición y el movimiento de cada vehículo de prueba 110, no obstante, en algunas formas de realización alternativas, el sistema de referencia de posición 120 puede medir de forma conveniente menos de seis grados de libertad. De forma similar, en un bloque 312, los datos de supervisión de salud que son recogidos por unos sensores que están ubicados a bordo de cada uno de los vehículos de prueba 110 y, si es aplicable, los datos de salud de vehículo simulado, se comunican al ordenador de orden y de control 102.

En la forma de realización que se muestra en la figura 3, el método de control 300 incluye una actualización de la visualización situacional del operador en un bloque 330. En un bloque 332, se realiza una determinación (o una serie de determinaciones) para determinar si uno o más de los vehículos de prueba 110 y los vehículos simulados se están aproximando a, o cruzando, unos límites de seguridad. Si es así, el operador puede emitir unas órdenes de control apropiadas en un bloque 334 para corregir la posición o el curso de los uno o más vehículos según sea necesario, y la posición y el curso de los uno o más vehículos se pueden ajustar en consecuencia en un bloque 336.

Tal como se muestra adicionalmente en la figura 3, los datos de posición y de dinámica que se miden por medio del sistema de referencia de posición 120, y los datos de supervisión de salud que son transmitidos por los sensores de a bordo, se comparan con valores de datos predichos y deseados en un bloque 314. Por ejemplo, las posiciones, las actitudes y las velocidades medidas de los vehículos de prueba 110 se pueden comparar con los valores deseados basándose en un perfil de misión previamente programado que está almacenado dentro del ordenador de orden y de control 102. De forma similar, los datos de salud de vehículo, tales como niveles de carga de batería, niveles de combustible, niveles de presión y de temperatura, estado de las armas, niveles de otros recursos consumibles, y cualquier otro parámetro de salud deseado se pueden comparar con los valores previstos o deseados basándose en el perfil de misión previamente programado.

Basándose en las comparaciones que se llevan a cabo en el bloque 314, se realiza una determinación (o una serie de determinaciones) en un bloque 316 para determinar si es necesario un ajuste de posición de uno o más de los vehículos de prueba 110. Si es así, el ajuste de posición de los uno o más vehículos de prueba 110 se lleva a cabo en un bloque 318. Por ejemplo, el ordenador de orden y de control 102 puede dar lugar a que se emitan las órdenes de control de posición apropiadas a partir de las unidades de control de vehículo 212 correspondientes para ajustar de forma controlable la posición de los uno o más vehículos de prueba 110.

De forma similar, en un bloque 320, se realiza una determinación (o una serie de determinaciones) para determinar si es necesario un ajuste de estabilización de uno o más de los vehículos de prueba 110. Si es así, el ajuste de los parámetros de estabilización apropiados de los uno o más vehículos de prueba 110 se logra en un bloque 322. Por lo general, la técnica anterior para el ajuste de estabilización requiere el uso de sensores, tales como girómetros y acelerómetros, a bordo de los vehículos de prueba 110 para proporcionar unos datos para la estabilización. En la presente forma de realización, el sistema de referencia de posición 420 proporciona unos datos para el ajuste de estabilización con una precisión lo bastante alta y una latencia baja para reducir o eliminar de forma significativa los requisitos para estos sensores. El beneficio adicional es la reducción en el peso de vehículo de prueba que está asociada con el requisito de portar estos sensores.

A continuación, en un bloque 324, se realiza una determinación (o una serie de determinaciones) para determinar si los estados de salud de los uno o más vehículos de prueba 110 son no aceptables. Si es así, se realiza una determinación en un bloque 325 para determinar si se puede corregir el estado de salud no aceptable. Si es así, entonces se puede emprender una acción correctiva para ajustar los estados de salud eficientes de los uno o más vehículos de prueba 110 en un bloque 326, que incluye usar el estado de salud como una restricción en las órdenes de control del vehículo o vehículos correspondientes. Si los estados de salud de los vehículos no son no aceptables, o si no se puede corregir alguno de los estados no aceptables, entonces en un bloque 328, se realiza una determinación con respecto a si la prueba o la misión se ha completado. Si no es así, el método 300 vuelve al bloque 306 y se repiten las acciones que se han descrito en lo que antecede. De lo contrario, el método 300 se ha completado.

Se apreciará que las diversas etapas que se muestran en la figura 3, cuando no se exponga de forma expresa, son igualmente de aplicación a los vehículos simulados. La aplicación para radiodifundir los datos de posición y de actitud 214 puede combinar los datos a partir de los entornos real y simulado de tal modo que los vehículos individuales, ya sean reales o simulados, no conocen el origen y son capaces de reaccionar a los otros vehículos y a los datos proporcionados de una forma común. La DINÁMICA Y ENTORNO SIMULADO 220 proporciona unos datos de salud simulados para su uso en la evaluación en el bloque 324 y para el ajuste de estabilización y de posición de los vehículos 316, 320. Los datos simulados se pueden basar en unos modelos que se desarrollan para emular a los vehículos reales y pueden incluir unos comportamientos deterministas y aleatorios en un esfuerzo por reflejar del mejor modo el incierto entorno real.

La figura 4 es una vista esquemática de un sistema de desarrollo 400 de acuerdo con una forma de realización alternativa de la invención. En la presente forma de realización, el sistema de desarrollo 400 incluye un ordenador de procesamiento principal 402 que está acoplado de forma operativa con un sistema de referencia de posición 420 por medio de una estación de datos 404, en un ordenador de aplicaciones 450 por medio de un enlace de datos 452 (por ejemplo, una conexión de Ethernet). Un vehículo de prueba controlado de forma remota 410 está situado dentro de un volumen de control (o de captura) 422 que es supervisado por el sistema de referencia de posición 420.

El sistema de referencia de posición 420 incluye una pluralidad de dispositivos de captura de movimiento 424 (por ejemplo, cámaras) que están distribuidas de forma operativa en torno al volumen de control 422 y que están configurados para supervisar las posiciones y los movimientos de una pluralidad de marcadores retrorreflectantes

426 que están dispuestos sobre el vehículo de prueba 410. En la forma de realización que se muestra en la figura 4, los dispositivos de captura de movimiento 424 operan en la porción visible del espectro, no obstante, en algunas formas de realización alternativas, se pueden usar dispositivos que operan en otras porciones del espectro (por ejemplo, infrarrojo cercano, infrarrojo, etc.). Los dispositivos de captura de movimiento 424 están configurados para supervisar los marcadores retrorreflectantes 426 y para exportar las posiciones de los marcadores retrorreflectantes 426 al ordenador de procesamiento principal 402 en tiempo real. Como alternativa, usando un conocimiento a priori de las posiciones relativas de los marcadores retrorreflectantes 426 sobre el vehículo de prueba 410, los dispositivos de captura de movimiento 424 pueden procesar de forma interna los datos de posición de marcador medida para obtener unos datos de posición y de orientación del agrupamiento de marcadores que representa el vehículo de prueba 410, y pueden emitir los datos de posición y de orientación del vehículo de prueba 410 al ordenador de procesamiento principal 402.

En una forma de realización particular, un total de seis dispositivos de captura de movimiento 424 se distribuyen en torno a un volumen de control 422 aproximadamente del tamaño de una habitación (por ejemplo, 25' x 25' x 8' (7,62 m x 7,62 m x 2,4 m)) y están configurados para proporcionar una precisión de posición inferior al milímetro de las posiciones de los marcadores retrorreflectantes 426 a unas tasas de refresco de hasta 500 Hz con una latencia de procesamiento de 10 ms. Por lo tanto, el sistema de referencia de posición 420 puede proporcionar un seguimiento de movimiento de seis grados de libertad del vehículo de prueba 410 aproximadamente en tiempo real para posibilitar un control de realimentación de lazo cerrado de las características de posición, de movimiento y de estabilización del vehículo de prueba 410. En algunas formas de realización alternativas, se puede usar cualquier número adecuado de dispositivos de captura de movimiento 424 (por ejemplo, dos o más), y el volumen de control 422 se puede aumentar o disminuir a escala hasta cualquier tamaño deseado. Por ejemplo, en otra forma de realización particular, se usan ocho dispositivos de captura de movimiento 424. De forma similar, en algunas formas de realización alternativas, los dispositivos de captura de movimiento 424 se pueden configurar para proporcionar cualquier resolución y frecuencia operativa adecuada o deseada. Los dispositivos de captura de movimiento 424 adecuados que se pueden usar en el sistema de referencia de posición 420 incluyen los sistemas de cámara facilitados a nivel comercial por Vicon Limited de Oxford, Reino Unido, así como sistemas de cámara facilitados a nivel comercial por Motion Analysis Corp. de Santa Rosa, California. Algunas formas de realización y aspectos operativos adicionales de los sistemas de referencia de posición adecuados se describen en la solicitud de patente de EE. UU. con n.º (por determinar) del mismo solicitante que la presente a la que se ha hecho referencia en lo que antecede, que lleva por título "*Closed-Loop Feedback Control of Vehicles Using Motion Capture Systems*", que fue presentada concurrentemente con la presente el 24 de julio de 2006 con el n.º de mandatario BO1-0304US.

Las figuras 5 y 6 son unas vistas esquemáticas ampliadas y en planta, de forma respectiva, del vehículo de prueba 410 en asociación con otros componentes del sistema de desarrollo 400. La figura 7 muestra el vehículo de prueba 410 durante el funcionamiento dentro del volumen de control 422 del sistema de desarrollo 400. Tal como se muestra del mejor modo en la figura 5, en la presente forma de realización, el vehículo de prueba 410 incluye un controlador de a bordo 414 que está acoplado de forma operativa con una pluralidad de conjuntos de rotor 412 y con una fuente de alimentación 416 (por ejemplo, una batería). Un sensor de corriente 417 supervisa una corriente eléctrica que es extraída por cada conjunto de rotor 412, y un termistor 418 supervisa una temperatura de cada conjunto de rotor 412. En una forma de realización particular, el vehículo de prueba 410 es una versión modificada de un helicóptero RC de Draganflyer facilitado a nivel comercial por Draganfly Innovations, Inc. de Saskatoon, Saskatchewan.

El controlador de a bordo 414 está acoplado de forma operativa con un módulo de control 460. El módulo de control 460 se puede ubicar en el vehículo de prueba 410 o, como alternativa, se puede situar de forma remota con respecto al vehículo de prueba 410 y se puede comunicar con el controlador de a bordo 414 por medio de un enlace de comunicación inalámbrico. En la forma de realización que se muestra en la figura 5, el módulo de control 460 incluye un componente de gestión de salud 462 que está acoplado con un componente de procesamiento 464 que, a su vez, está acoplado con un componente de comunicación 466. Los componentes de procesamiento y de comunicación 464, 466 pueden tener unas funciones y capacidades que se solapan en cierta medida. Por ejemplo, en una forma de realización particular, el componente de procesamiento 464 puede llevar a cabo una recogida de datos y unas actividades de procesamiento de a bordo de un nivel relativamente bajo, mientras que el componente de comunicación 466 puede llevar a cabo unas actividades de procesamiento de a bordo de un nivel relativamente alto así como actividades de comunicación. Los componentes de gestión de salud y / o de procesamiento 462, 464 están adaptados para supervisar el nivel de tensión de la fuente de alimentación 416, las salidas de los sensores de corriente 417 y los sensores de temperatura 418, y para almacenar en memoria intermedia, filtrar y acondicionar las señales que se reciben a partir del vehículo de prueba 410 para la comunicación con el componente de comunicación 466. A su vez, el componente de comunicación 466 está configurado para transmitir estos datos a un componente de orden y de control del sistema de desarrollo 400 para posibilitar una supervisión de salud de los diversos sistemas y parámetros del vehículo de prueba 410. En una forma de realización particular, el componente de procesamiento 464 puede ser un microcontrolador Robostix y el componente de comunicación 466 puede ser una plataforma 400xm-bt de Connex, ambos de los cuales son facilitados a nivel comercial por gumstix inc. de Portola Valley, California. En otra forma de realización, un microcontrolador (por ejemplo, un microcontrolador Robostix) se

puede combinar con una placa de circuito impreso para proporcionar estas funciones a bordo del vehículo de prueba 410, tal como se describe en lo sucesivo con referencia a las figuras 13 y 14.

La figura 8 es una vista esquemática de un dispositivo informático 500 que es adecuado para su uso con el sistema de desarrollo 400 de la figura 4. Más en concreto, el dispositivo informático 500 se puede usar como el ordenador de procesamiento principal 402, o como el ordenador de aplicaciones 450, o ambos. En una configuración muy básica, el dispositivo informático 500 incluye al menos una unidad de procesamiento 502 y una memoria de sistema 504. Dependiendo de la configuración y el tipo exactos de dispositivo informático 500, la memoria de sistema 504 puede ser volátil (tal como RAM), no volátil (tal como ROM y memoria flash) o alguna combinación de las dos. Por lo general, la memoria de sistema 504 incluye un sistema operativo 506, uno o más módulos de programa 508, y puede incluir los datos de programa 510.

Para los métodos y sistemas de acuerdo con la presente divulgación, los módulos de programa 508 pueden incluir los módulos de proceso 509 que hacen realidad uno o más de los procesos que se describen en el presente documento. Otros módulos que se describen en el presente documento también pueden ser parte de los módulos de programa 508. Como alternativa, los módulos de proceso 509, así como los otros módulos, se pueden poner en práctica como parte del sistema operativo 506, o los mismos se pueden instalar en el dispositivo informático y almacenarse en otra memoria (por ejemplo, el almacenamiento no extraíble 522) que se encuentra separada de la memoria de sistema 506.

El dispositivo informático 500 puede tener una funcionalidad o características adicionales. Por ejemplo, el dispositivo informático 500 también puede incluir unos dispositivos de almacenamiento de datos (extraíbles y / o no extraíbles) adicionales tales como, por ejemplo, discos magnéticos, discos ópticos o cinta. Tal almacenamiento adicional se ilustra en la figura 8 por medio del almacenamiento extraíble 520 y el almacenamiento no extraíble 522. Los medios de almacenamiento informático pueden incluir unos medios volátiles y no volátiles, extraíbles y no extraíbles que se ponen en práctica en cualquier método o tecnología para el almacenamiento de información, tal como instrucciones legibles por ordenador, estructuras de datos, módulos de programa u otros datos. La memoria de sistema 506, el almacenamiento extraíble 520 y el almacenamiento no extraíble 522 son, todos ellos, ejemplos de medios de almacenamiento informático. Por lo tanto, los medios de almacenamiento informático incluyen, pero no se limitan a, RAM, ROM, EEPROM, memoria flash o otra tecnología de memoria, CD-ROM, discos versátiles digitales (DVD, *digital versatile disk*) u otro almacenamiento óptico, casetes magnéticos, cinta magnética, almacenamiento en disco magnético o otros dispositivos de almacenamiento magnéticos, o cualquier otro medio que se pueda usar para almacenar la información deseada y al que se pueda acceder por medio del dispositivo informático 500. Cualquiera de tales medios de almacenamiento informático puede ser parte del dispositivo 500. El dispositivo informático 500 también puede tener un dispositivo o dispositivos de entrada 524 tales como un teclado, un ratón, un lápiz, un dispositivo de entrada de voz y dispositivos de entrada táctil. También se pueden incluir un dispositivo o dispositivos de salida 526 tales como un visualizador, altavoces e impresora. Estos dispositivos son bien conocidos en la técnica y no es necesario que se analicen en detalle.

El dispositivo informático 500 también puede contener una conexión de comunicación 528 que permiten que el dispositivo se comunique con otros dispositivos informáticos 530, tal como a través de una red. La conexión o conexiones de comunicación 528 es un ejemplo de medios de comunicación. Por lo general, los medios de comunicación se pueden materializar por medio de instrucciones legibles por ordenador, estructuras de datos, módulos de programa u otros datos en una señal de datos modulada, tal como una onda portadora u otro mecanismo de transporte, e incluye cualquier medio de entrega de información.

En el presente documento se pueden describir diversos módulos y técnicas en el contexto general de instrucciones ejecutables por ordenador, tales como módulos de programa, que se ejecutan por medio de uno o más ordenadores u otros dispositivos. En general, los módulos de programa incluyen rutinas, programas, objetos, componentes, estructuras de datos, y así sucesivamente, para llevar a cabo unas tareas particulares o poner en práctica tipos de datos abstractos particulares. Estos módulos de programa y similares se pueden ejecutar como código nativo o se pueden descargar y ejecutarse, tal como en una máquina virtual u otro entorno de compilación y de ejecución de tipo justo a tiempo. Por lo general, la funcionalidad de los módulos de programa se puede combinar o distribuir según se desee en diversas formas de realización. Una puesta en práctica de estos módulos y técnicas se puede almacenar en o transmitirse por alguna forma de medio legible por ordenador.

La figura 9 es una vista de conjunto esquemática de un sistema de supervisión de salud 600 de un sistema de desarrollo de acuerdo con una forma de realización alternativa de la invención. En la presente forma de realización, el vehículo de prueba 610 incluye un controlador de vehículo 414, una fuente de alimentación 416, unos conjuntos de rotor 412 y unos sensores de corriente y de temperatura 417, 418 tal como se ha descrito en lo que antecede (la figura 5). El vehículo de prueba 610 también incluye un componente de procesamiento 614 y un componente de comunicación 616. El componente de procesamiento 614 recibe unos datos de supervisión de salud a partir de los diversos componentes a bordo del vehículo de prueba 610, incluyendo los sensores 417, 418, una unidad de medición inercial (IMU, *inertial measurement unit*) 618, uno o más giróscopos piezoeléctricos 619, o cualquier otro componente deseado del vehículo de prueba 610. El componente de procesamiento 614 puede filtrar, acondicionar y

almacenar en memoria intermedia los datos de supervisión de salud antes de transmitir los mismos al componente de comunicación 616, que transmite entonces los datos de supervisión a un componente de orden y de control 620. Tal como se ha hecho notar en lo que antecede, los componentes de procesamiento y de comunicación 464, 466 pueden tener unas funciones y capacidades que se solapan en cierta medida, tales como el uso del componente de procesamiento 464 para llevar a cabo una recogida de datos y unas actividades de procesamiento de a bordo de un nivel relativamente bajo, y el componente de comunicación 466 para llevar a cabo unas actividades de procesamiento de a bordo de un nivel relativamente alto. En algunas formas de realización, por ejemplo, el componente de procesamiento 614 (o el componente 616) puede usar un filtrado de Kalman u otros algoritmos para supervisar en busca de un deterioro de salud funcional de un sensor de a bordo, tal como un giróscopo piezoeléctrico u otro dispositivo de estabilidad o de navegación.

El componente de orden y de control 620 se puede encontrar en cualquier ubicación adecuada dentro del sistema de desarrollo, incluyendo, por ejemplo, en el ordenador de procesamiento principal 402 o en el ordenador de aplicaciones 450 (la figura 4). El componente de orden y de control 620 se puede encontrar en un único componente o porción del sistema de desarrollo, o se puede distribuir por diversos componentes. Tal como se muestra en la figura 9, en la presente forma de realización, el componente de orden y de control 620 incluye un procesador de estabilidad y de control 622 que recibe la información de vehículo que es transmitida por el componente de comunicación de a bordo 616.

Tal como se muestra adicionalmente en la figura 9, el procesador de estabilidad y de control 622 transmite al menos una porción de la información de vehículo recibida a un procesador de gestión de guiado 628. De forma similar, el sistema de referencia de posición 420 captura una información de movimiento del vehículo de prueba 610 dentro del volumen de control 422, procesa esta información usando un componente de procesamiento de datos de movimiento 621, y transmite los datos de movimiento (por ejemplo, posiciones y orientaciones de marcador o de vehículo) al procesador de gestión de guiado 628. El procesador de gestión de guiado 628 comunica los datos de movimiento y la información de vehículo a una tarjeta de procesamiento de ordenador en armario 650. En una forma de realización particular, la tarjeta de procesamiento de ordenador en armario 650 es la parte del ordenador de procesamiento principal 402 (la figura 4).

Una cámara de vigilancia 660 se puede disponer sobre el vehículo de prueba 610 y puede transmitir unos datos de imagen (por ejemplo, imágenes de vídeo compuestas) a un receptor de cámara 662 del componente de orden y de control 620. Los datos de imagen se transmiten entonces a una tarjeta de PCI 664, que emite los datos de imagen a la tarjeta de procesamiento de ordenador en armario 650.

En la forma de realización que se muestra en la figura 9, la tarjeta de procesamiento de ordenador en armario 650 incluye un componente de procesamiento de gestión de tareas de vehículo 652, un componente de procesamiento de planificación de misiones 654 y un componente de procesamiento de GUI 656. El componente de procesamiento de planificación de misiones 654 se usa para asignar una misión de alto nivel al vehículo o vehículos de prueba 410 basándose en una entrada de usuario humano que se proporciona por medio del componente de procesamiento de GUI 656. Los ejemplos de tales "misiones" incluyen proporcionar un reconocimiento, vigilancia o adquisición de objetivo (que se conoce comúnmente como RSTA, *Reconnaissance, Surveillance or Target Acquisition*) dentro de la totalidad o un subvolumen específico del volumen de control 422 y / o para otro objeto o vehículo de prueba 410 (o grupos de vehículos de prueba). El componente de procesamiento de gestión de tareas de vehículo 652 se usa para asignar unas acciones específicas a vehículos individuales o a grupos de vehículos con el fin de lograr el objetivo de misión de nivel más alto. Los ejemplos de tales tareas incluyen uno, o una secuencia de, los siguientes comportamientos o acciones: moverse a una posición objetivo específica (es decir, un punto de paso), apuntar un sensor o sensores direccionales, volver a la base, realizar un aterrizaje de emergencia, activar / desactivar el sensor o sensores de vigilancia, proporcionar una telemetría de los datos especificados, manipular un efector o efectores robóticos (si el vehículo de prueba 410 está equipado con los mismos), llevar a cabo un vuelo coordinado de un grupo de vehículos de prueba (por ejemplo, en bandadas). El componente de procesamiento de GUI 656 proporciona un acceso, a los usuarios humanos, a la telemetría de vehículo de prueba (por ejemplo, las imágenes de vídeo de la cámara de vigilancia 660), permite que el usuario humano asigne misiones y que supervise la eficacia del vehículo o vehículos de prueba 410 para una misión definida, y posibilita que el usuario humano permanezca "en el lazo" para emitir unas órdenes críticas para el tiempo y / o la seguridad.

Durante el funcionamiento, la tarjeta de procesamiento de ordenador en armario 650, el procesador de estabilidad y de control 622, y el procesador de gestión de guiado de vehículo 628, analizan la información de vehículo que se recibe a partir del vehículo de prueba 610, así como los datos de movimiento que se reciben a partir del sistema de referencia de posición 420 y los datos de imagen que se reciben a partir de la cámara de vigilancia 660, para determinar unas señales de estabilidad y de control apropiadas que son necesarias para controlar el vehículo de prueba 610. Estas señales de estabilidad y de control son transmitidas por el procesador de estabilidad y de control 622 a través de un convertidor de tipo PC a RC (*PC-to-RC, personal computer to remote controller*, ordenador personal a controlador remoto) 624 a una unidad de control remoto 626. La unidad de control remoto 626 transmite unas señales de control correspondientes al controlador de vehículo de a bordo 414 que, a su vez, comunica unas señales de orden apropiadas a los diversos componentes del vehículo de prueba 610 (por ejemplo, los conjuntos de

rotor 412, etc.) para mantener la posición, la velocidad, la dirección, la actitud y la estabilización deseadas del vehículo de prueba 610.

Continuando con la referencia a la figura 9, la tarjeta de procesamiento de ordenador en armario 650 está acoplada de forma operativa con un componente de análisis y de visualización 670 (por ejemplo, el ordenador de aplicaciones 450 de la figura 4, o la interfaz humana 150 de la figura 1) que incluye un componente de captura y de análisis de datos 672. El componente de captura y de análisis de datos 672 recibe la información de vehículo, los datos de captura de movimiento y los datos de imagen a partir de la tarjeta de procesamiento en armario 650 para un análisis y una visualización en tiempo real, o un post-procesamiento posterior.

Los componentes 670, 672 pueden ser una herramienta de creación de prototipos de soporte físico rápida en el lazo en tiempo real que usa, por ejemplo, el sistema de creación de prototipos de soporte físico rápida en el lazo en tiempo real dSPACE facilitado por dSPACE, Inc. de Novi, MI, la empresa filial norteamericana de dSPACE GmbH, Alemania. En el presente caso, una información de vehículo y de sistema con diversas señales de realimentación de sensor a partir del vehículo y el sistema así como unas señales de orden y de control se recogen por medio de un panel de conexión de interfaz. El panel de conexión envía las señales a la placa de procesamiento en tiempo real en donde las mismas se muestrean y se digitalizan para el procesamiento de señales digitales. La placa puede interaccionar adicionalmente con el soporte lógico / aplicación de PC en tiempo real. Una herramienta de creación de prototipos rápida desarrollada para adaptarse a las necesidades del cliente puede proporcionar una combinación en tiempo real de captura de datos, presentación, análisis de datos durante el vuelo y con posterioridad al vuelo y caracterización y afinación rápida de los subsistemas / sistemas del vehículo. Esto posibilita una creación de prototipos y una caracterización rápidas de los componentes de los subsistemas y sistemas y de los algoritmos relacionados. A modo de ejemplo, la dinámica de motor / rotor se ha caracterizado y analizado con rapidez usando este componente. Un resumen de los resultados de caracterización rápida se captura en la figura 12 en lo sucesivo.

Las figuras 10 a 12 son unas capturas de pantalla representativas que son proporcionadas por el componente de análisis y de visualización 670 de la figura 9. Más en concreto, la figura 10 muestra una visualización en pantalla 700 que ilustra la posición y la actitud del vehículo de prueba 610. Una porción 702 de la visualización en pantalla 700 proporciona unos valores digitales de las posiciones, las actitudes y los rumbos del vehículo de prueba 610. Una primera traza 704 se representa gráficamente para mostrar un perfil de misión deseado del vehículo de prueba 610, y una segunda traza 706 se representa gráficamente para mostrar el perfil de misión real seguido por el vehículo de prueba 610. Por lo tanto, el componente de análisis y de visualización 670 puede proporcionar una representación visual en tiempo real del vehículo de prueba 610 así como una evaluación cualitativa de un desempeño de un componente sometido a prueba (por ejemplo, un algoritmo de control).

La figura 11 muestra una visualización en pantalla 710 que ilustra unas gráficas de información de supervisión de salud para el vehículo de prueba 610 durante la realización de pruebas de vuelo. Una primera gráfica 712 muestra una representación gráfica de la tensión de la fuente de alimentación frente al tiempo de vuelo. Unas segundas gráficas 714 muestran unas representaciones gráficas de las temperaturas en los conjuntos de rotor 412 tal como se miden por medio de los sensores de temperatura 418, y unas terceras gráficas 716 muestran unas representaciones gráficas de los conjuntos de rotor 412 tal como se miden por medio de los sensores de corriente 417. De esta forma, el componente de análisis y de visualización 670 puede proporcionar una información en tiempo real con respecto a unas características de salud importantes del vehículo de prueba 610 durante la realización de pruebas de vuelo, lo que puede mejorar de forma ventajosa la calidad de la prueba y reducir los fallos y el tiempo de inactividad asociado.

La figura 12 muestra numerosas gráficas de diversos parámetros de prueba que se pueden supervisar, controlar y visualizar usando el componente de análisis y de visualización 670 durante las pruebas de desarrollo de vehículo usando algunas formas de realización de la presente invención. Más en concreto, la primera y la segunda gráficas 720, 722 muestran unas representaciones gráficas de las respuestas frente al tiempo de velocidad de motor y de corriente ajustadas a escala para un cambio de entrada escalonada de factor de utilización de orden de modulación por ancho de pulsos de motor para un conjunto de rotor que tiene una pala de espuma, lo que posibilita que se evalúen las características de respuesta de paso de motor. Una tercera gráfica 724 muestra unos datos similares a los de 722 pero para un conjunto de rotor que tiene una pala de nailon. Una cuarta gráfica 726 muestra una representación gráfica de la velocidad de motor frente a la corriente de entrada tanto para la pala de espuma como para la pala de nailon, lo que posibilita una evaluación del impacto de diferentes materiales de pala sobre el desempeño de velocidad de motor. De forma similar, una quinta y una octava gráficas 728, 734 muestran unas representaciones gráficas del empuje frente a la velocidad de motor tanto para la pala de espuma como para la pala de nailon, lo que posibilita una evaluación del impacto de diferentes materiales de pala sobre el desempeño de empuje. Una sexta gráfica 730 (cuando se analiza con una novena gráfica 736) posibilita que se realice una evaluación de las características termodinámicas de motor al mostrar una representación gráfica de las respuestas de corriente y de velocidad de motor filtradas digitalmente y ajustadas a escala a una entrada escalonada de factor de utilización de un motor junto con una representación gráfica correspondiente de la temperatura frente al tiempo, lo que posibilita una evaluación de las características de temperatura del conjunto de rotor 412 durante un vuelo de prueba o perfil de misión particular. Una séptima gráfica 732 muestra una representación gráfica de las respuestas de corriente y de velocidad de motor ajustadas a escala de un motor que usa palas de nailon para un circuito de

accionamiento de motor alternativo, lo que permite que se evalúen los cambios en el diseño del circuito de accionamiento de motor. Por supuesto, una amplia diversidad de otras gráficas de diversos parámetros de prueba de interés durante las pruebas de desarrollo de vehículo se pueden supervisar, controlar y visualizar usando el componente de análisis y de visualización 670.

5 La figura 13 es una vista isométrica de un vehículo de prueba 810 de acuerdo con otra forma de realización de la invención. En la presente forma de realización, el vehículo de prueba 810 incluye una placa de control de supervisión de salud 860 que se miniaturiza sobre un componente de procesamiento (o placa de circuito impreso, o PCB, *printed circuit board*) 870. La figura 14 es una vista en alzado ampliada de la placa de control de supervisión de salud 860 y el componente de procesamiento 870 del vehículo de prueba 810 de la figura 13. El componente de
10 procesamiento 870 incluye diversos sensores (por ejemplo, sensores de corriente, sensores de temperatura, sensores, etc.) así como el componente de comunicación (por ejemplo, el componente de Connex al que se ha hecho referencia en lo que antecede de gumstix, inc.), y el conjunto de circuitos asociado para accionar los conjuntos de rotor 412, y proporciona las capacidades que se han descrito en lo que antecede en un módulo sumamente integrado que es tanto de peso ligero como sumamente funcional. Por lo tanto, el componente de
15 procesamiento 870 y la placa de control de supervisión de salud 860 se pueden situar sobre cada uno de los vehículos 810 de un sistema de desarrollo, y pueden recibir las una o más características de estabilidad y de control que se determinan por medio del sistema de referencia de posición a partir de una red de comunicación, pueden calcular las señales de orden correspondientes de una forma distribuida (en lugar de centralizada), y pueden comunicar las señales de orden al sistema de control de a bordo de cada uno de los vehículos de una forma de
20 realimentación de lazo cerrado.

A partir de la descripción anterior, se puede apreciar que algunas formas de realización de los sistemas y métodos de acuerdo con la presente invención pueden posibilitar de forma ventajosa un desarrollo y una realización de pruebas rápidos de una amplia diversidad de vehículos y componentes de vehículo (soporte físico y soporte lógico) en un entorno controlado. Los componentes de vehículo, tales como nuevos sistemas de soporte lógico, sistemas de
25 aviónica, algoritmos de control, componentes de soporte físico de ordenador, sensores, configuraciones y componentes de vehículo volador, y otros parámetros adecuados de interés se pueden someter a pruebas de forma rápida y repetida usando sistemas y métodos de desarrollo junto con uno o múltiples vehículos de prueba. Algunas formas de realización de la presente invención se pueden ajustar a escala para encajar dentro de un entorno de laboratorio adecuado, lo que posibilita que la realización de pruebas y el desarrollo de nuevos vehículos y
30 componentes de vehículo se lleve a cabo con rapidez, eficiencia y rentabilidad.

A pesar de que, tal como se ha hecho notar en lo que antecede, se han ilustrado y descrito algunas formas de realización preferidas y alternativas de la invención, se pueden hacer muchos cambios sin apartarse del alcance de la invención. Por consiguiente, el alcance de la invención no está limitado por la divulgación de estas formas de realización preferidas y alternativas. En su lugar, la invención se debería determinar en su totalidad por referencia a
35 las reivindicaciones que siguen.

REIVINDICACIONES

1. Un sistema para operar uno o más vehículos (110), que comprende:

un sistema de referencia de posición (120) que incluye una pluralidad de cámaras (660) que están dispuestas de forma operativa a lo largo de al menos una porción de un perímetro de un volumen de control, estando configurado el sistema de referencia de posición para medir de forma repetitiva una o más características de estabilidad y de control de los uno o más vehículos a medida que los uno o más vehículos operan dentro del volumen de control; y una arquitectura de control (200) que está configurada para recibir las una o más características de estabilidad y de control medidas de forma repetitiva a partir del sistema de referencia de posición, para determinar unas señales de orden correspondientes basándose en las una o más características de estabilidad y de control medidas de forma repetitiva a partir del sistema de referencia de posición, y para transmitir las señales de orden correspondientes a los uno o más vehículos que operan dentro del volumen de control para controlar las una o más características de estabilidad y de control de los uno o más vehículos de una forma de realimentación de lazo cerrado; comprendiendo adicionalmente la arquitectura de control (200) un componente de simulación que está configurado para simular uno o más vehículos simulados mediante la provisión de unos datos simulados de posición, de actitud y de movimiento que están asociados con los uno o más vehículos simulados, estando configurada la arquitectura de control (200) para determinar las señales de orden correspondientes basándose, al menos en parte, en una característica simulada de los uno o más vehículos simulados.

2. El sistema de la reivindicación 1, en donde la arquitectura de control (200) incluye un componente de supervisión de salud (242) que está configurado para recibir una información de supervisión de salud a partir de los uno o más vehículos, y para evaluar un estado de salud de los uno o más vehículos basándose en la información de supervisión de salud recibida, estando configurada adicionalmente la arquitectura de control para determinar las señales de orden correspondientes basándose, al menos en parte, en la información de supervisión de salud de los uno o más vehículos.

3. El sistema de la reivindicación 2, en donde la información de supervisión de salud incluye al menos uno de una característica de un sistema de propulsión de vehículo de a bordo, una característica de un sistema de alimentación de a bordo, y un deterioro funcional de un sistema de sensores de a bordo.

4. El sistema de la reivindicación 3, en donde al menos uno de los vehículos (110) incluye un vehículo volador, y en donde el sistema de propulsión de vehículo de a bordo comprende uno o más conjuntos de rotor que están configurados para proporcionar una fuerza de sustentación para el vehículo volador.

5. El sistema de la reivindicación 1, en donde la arquitectura de control incluye:

al menos una red de comunicación (105) que está acoplada de forma operativa con el sistema de referencia de posición; un componente de procesamiento principal (402) que está acoplado de forma operativa con la al menos una red de comunicación y que está configurado para calcular las señales de orden; y uno o más módulos de control que están acoplados de forma operativa con la al menos una red de comunicación y que están configurados para recibir las señales de orden a partir del componente de procesamiento principal, para reacondicionar las señales de orden a un formato que es adecuado para su uso por los uno o más vehículos, y para transmitir las señales de orden reacondicionadas a los uno o más vehículos.

6. El sistema de la reivindicación 1, en donde la arquitectura de control incluye:

al menos una red de comunicación (105) que está acoplada de forma operativa con el sistema de referencia de posición y que está configurada para transmitir las una o más características de estabilidad y de control que son medidas de forma repetitiva por el sistema de referencia de posición; y un componente de procesamiento de a bordo que está situado sobre cada uno de los vehículos y que está configurado para recibir las una o más características de estabilidad y de control a partir de la al menos una red de comunicación, estando configurado adicionalmente el componente de procesamiento de a bordo para calcular las señales de orden y para comunicar las señales de orden a un sistema de control de a bordo de cada uno de los vehículos.

7. El sistema de la reivindicación 6, en donde el componente de procesamiento de a bordo incluye adicionalmente un componente de supervisión de salud que está configurado para recibir una información de supervisión de salud con respecto a uno asociado de los vehículos, estando configurado adicionalmente el componente de procesamiento de a bordo para determinar las señales de orden correspondientes basándose, al menos en parte, en la información de supervisión de salud del vehículo asociado de los vehículos.

8. El sistema de la reivindicación 1, en donde la pluralidad de cámaras (660) están configuradas para determinar una información de seis grados de libertad para cada uno de los vehículos que operan dentro del volumen de control.

9. El sistema de la reivindicación 1, en donde cada uno de los uno o más vehículos (110) tiene una pluralidad de marcadores retrorreflectantes situados sobre el mismo, y en donde la pluralidad de dispositivos de detección comprenden una pluralidad de dispositivos de detección de movimiento que están configurados para detectar al menos algunos de los marcadores retrorreflectantes que están situados sobre los uno o más vehículos de prueba.

10. Un método de operación de uno o más vehículos dentro de un volumen de control, que comprende:

medir una o más características de estabilidad y de control de los uno o más vehículos usando un sistema de referencia de posición que incluye una pluralidad de cámaras que están dispuestas de forma operativa a lo largo de al menos una porción de un perímetro del volumen de control a medida que los uno o más vehículos operan dentro del volumen de control;

recibir las una o más características medidas de estabilidad y de control a partir del sistema de referencia de posición;

determinar una señal de orden basándose en las una o más características de estabilidad y de control que se miden usando el sistema de referencia de posición; y

transmitir la señal de orden a los uno o más vehículos que operan dentro del volumen de control para controlar las una o más características de estabilidad y de control de los uno o más vehículos de una forma de realimentación de lazo cerrado

caracterizado por comprender adicionalmente simular uno o más vehículos simulados mediante la provisión de unos datos simulados de posición, de actitud y de movimiento que están asociados con los uno o más vehículos y en donde determinar la señal de orden incluye determinar la señal de orden basándose, al menos en parte, en una característica simulada de los uno o más vehículos simulados.

11. El método de la reivindicación 10, que comprende adicionalmente recibir una información de supervisión de salud a partir de los uno o más vehículos, y en donde determinar una señal de orden incluye determinar una señal de orden basándose, al menos en parte, en la información de supervisión de salud a partir de los uno o más vehículos.

12. El método de la reivindicación 10, en donde:

recibir las una o más características medidas de estabilidad y de control incluye recibir las una o más características medidas de estabilidad y de control usando al menos una red de comunicación;

determinar una señal de orden incluye determinar una señal de orden usando un componente de procesamiento principal que está acoplado de forma operativa con la al menos una red de comunicación y reacondicionar la señal de orden a un formato que es adecuado para su uso por los uno o más vehículos; y

transmitir la señal de orden a los uno o más vehículos incluye transmitir las señales de orden reacondicionadas a los uno o más vehículos.

13. El método de la reivindicación 10, en donde incluye:

recibir las una o más características medidas de estabilidad y de control incluye recibir las una o más características medidas de estabilidad y de control usando al menos una red de comunicación; una determinación de una señal de orden incluye

recibir las una o más características medidas de estabilidad y de control a partir de la red de comunicación en un componente de procesamiento de a bordo que está situado sobre uno asociado de los vehículos; y calcular la señal de orden para el vehículo asociado de los vehículos usando el componente de procesamiento de a bordo.

14. El método de la reivindicación 13, en donde el componente de procesamiento de a bordo incluye adicionalmente un componente de supervisión de salud que está configurado para recibir una información de supervisión de salud con respecto al vehículo asociado de los vehículos, estando configurado adicionalmente el componente de procesamiento de a bordo para determinar la señal de orden basándose, al menos en parte, en la información de supervisión de salud.

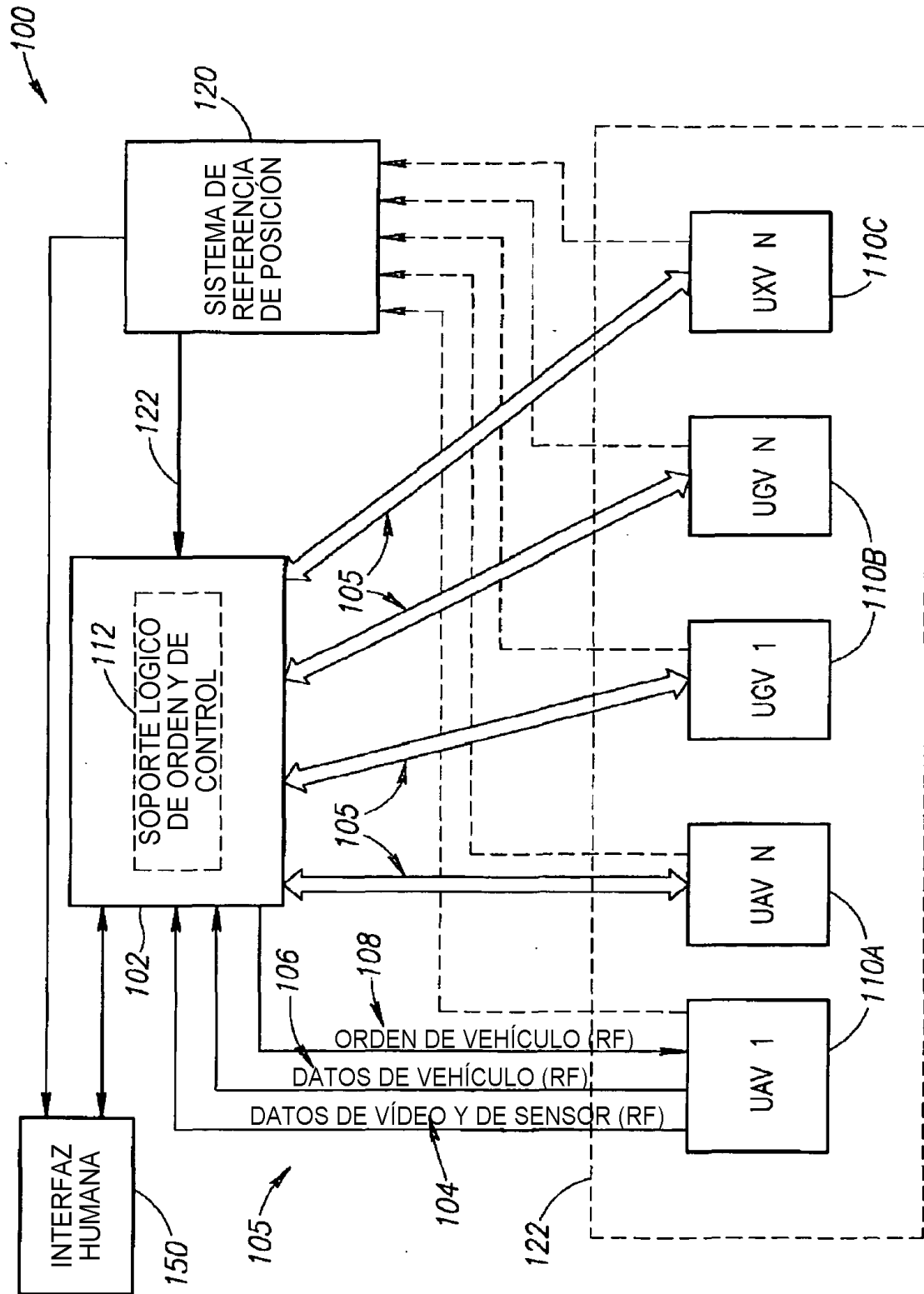


FIG.1

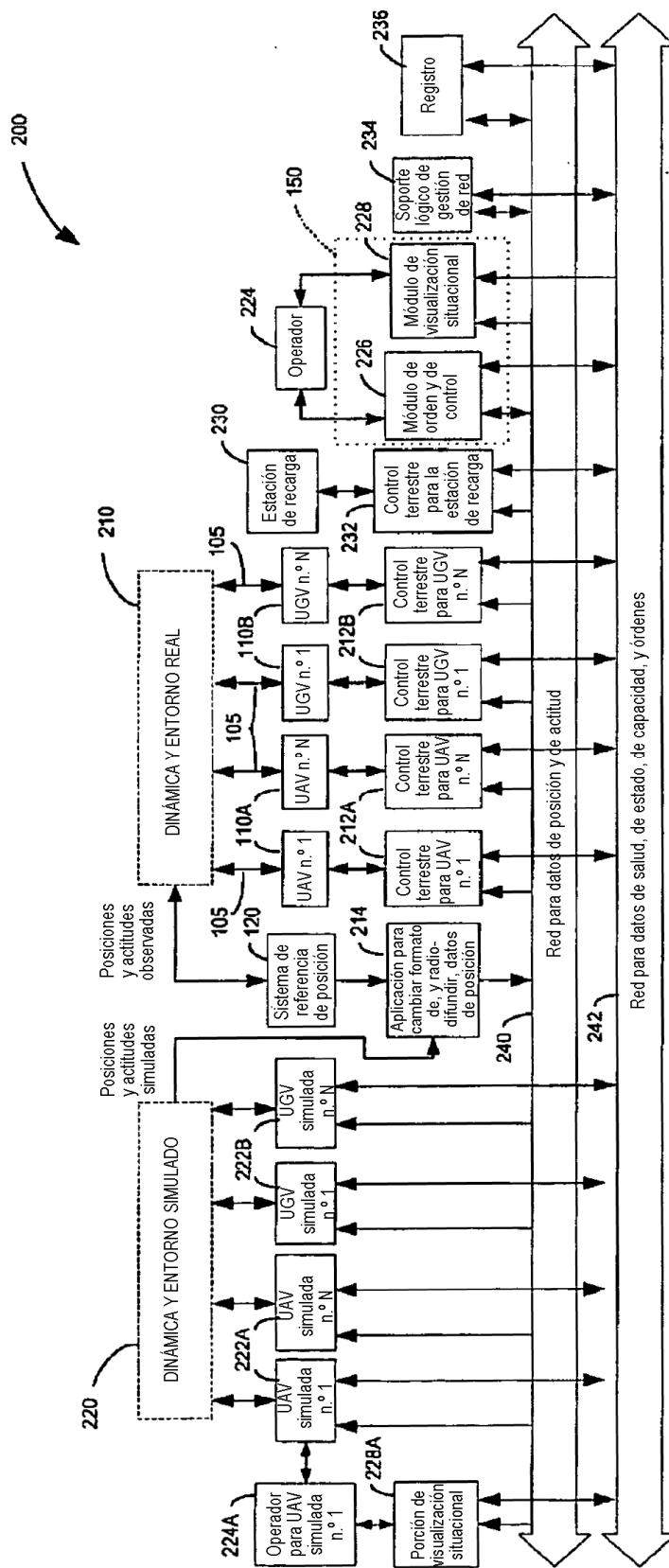
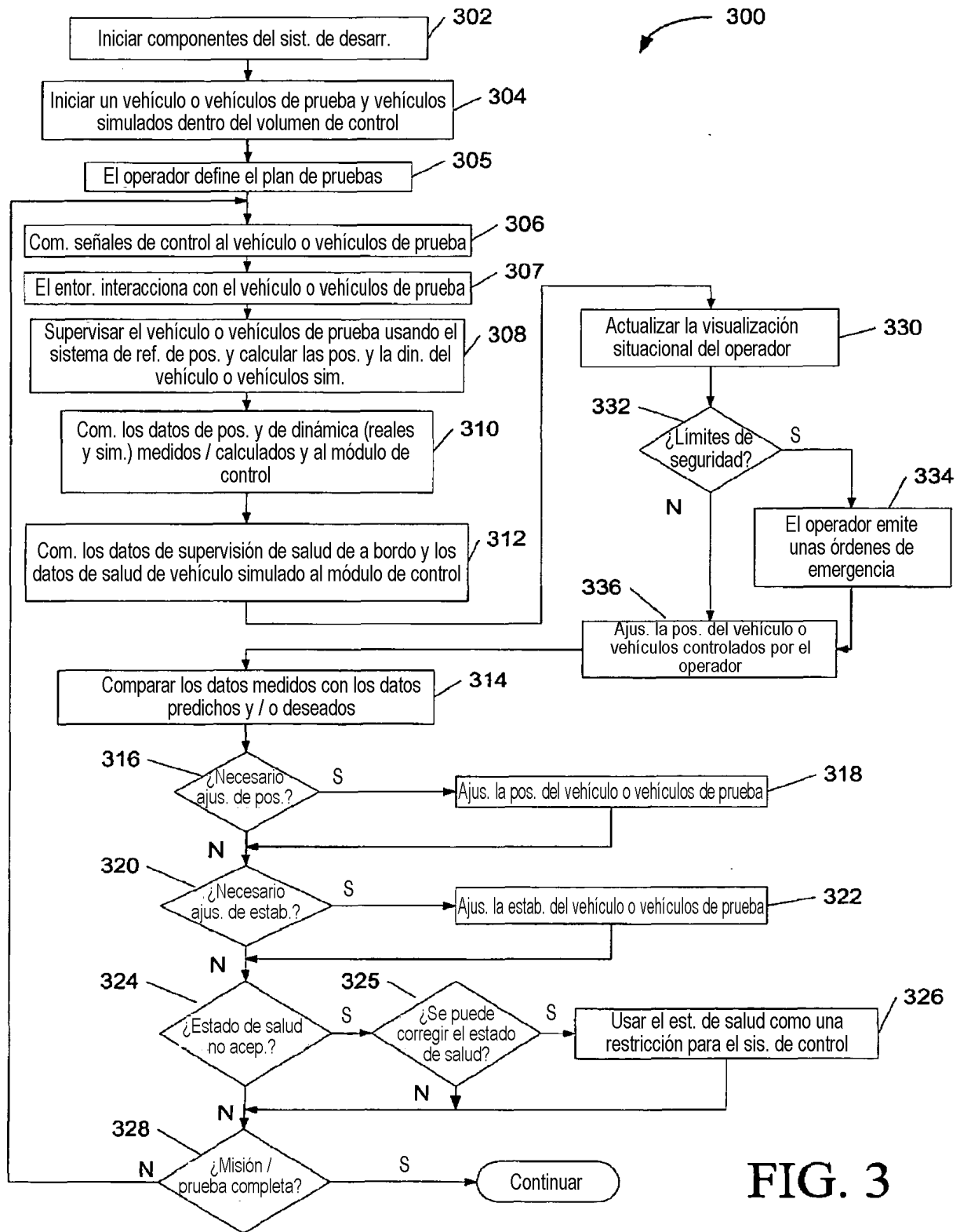


FIG. 2



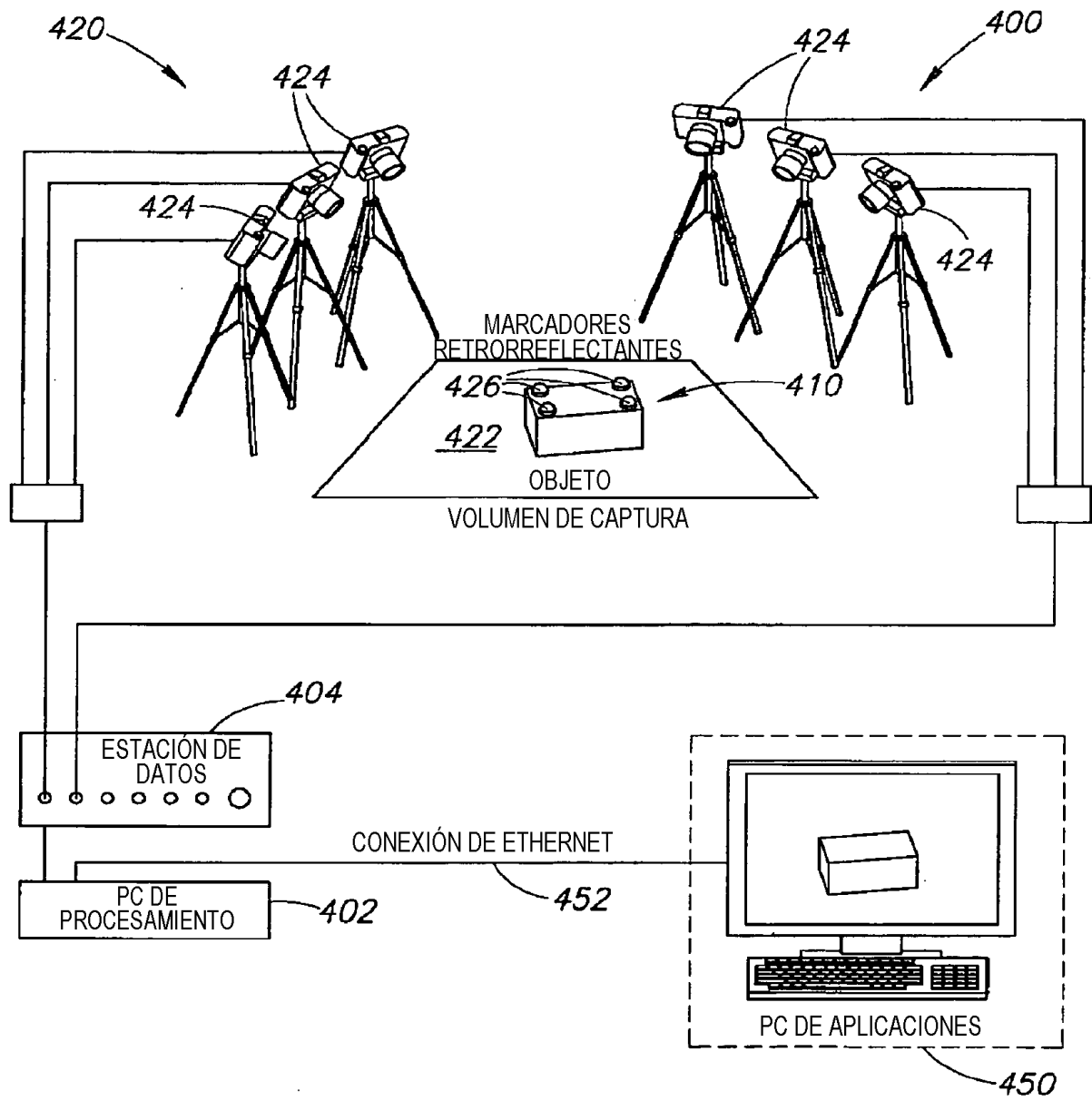


FIG.4

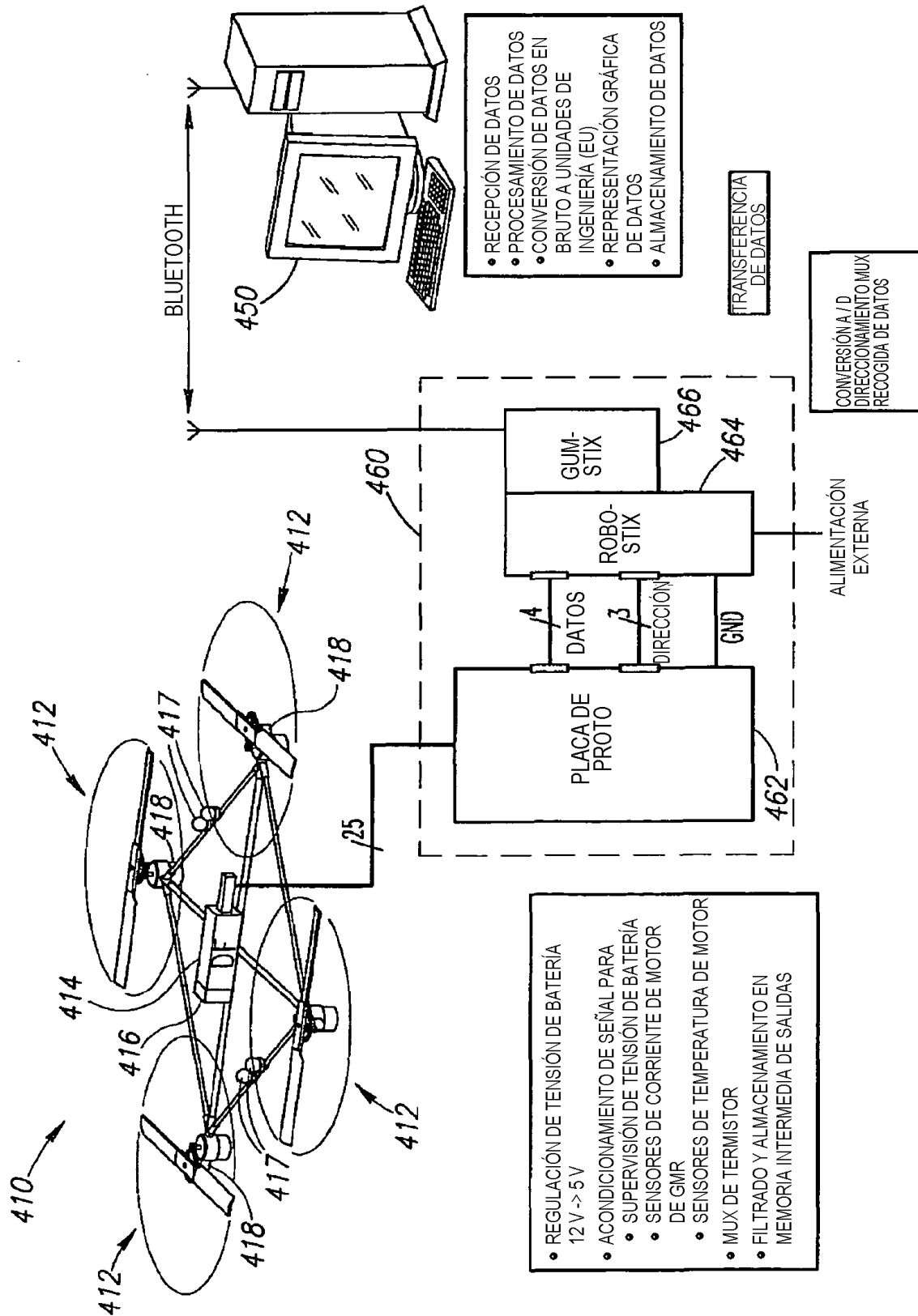


FIG.5

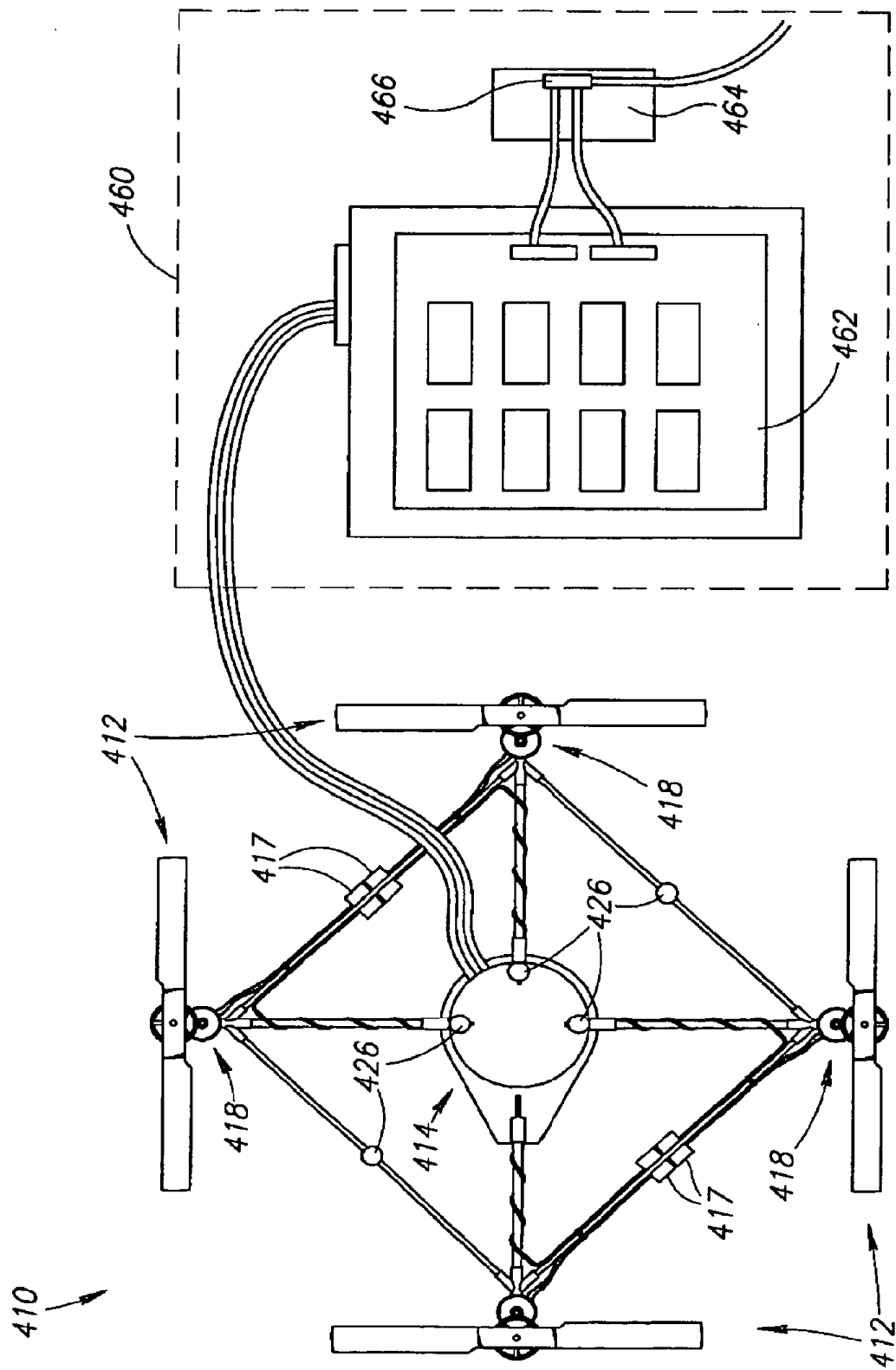
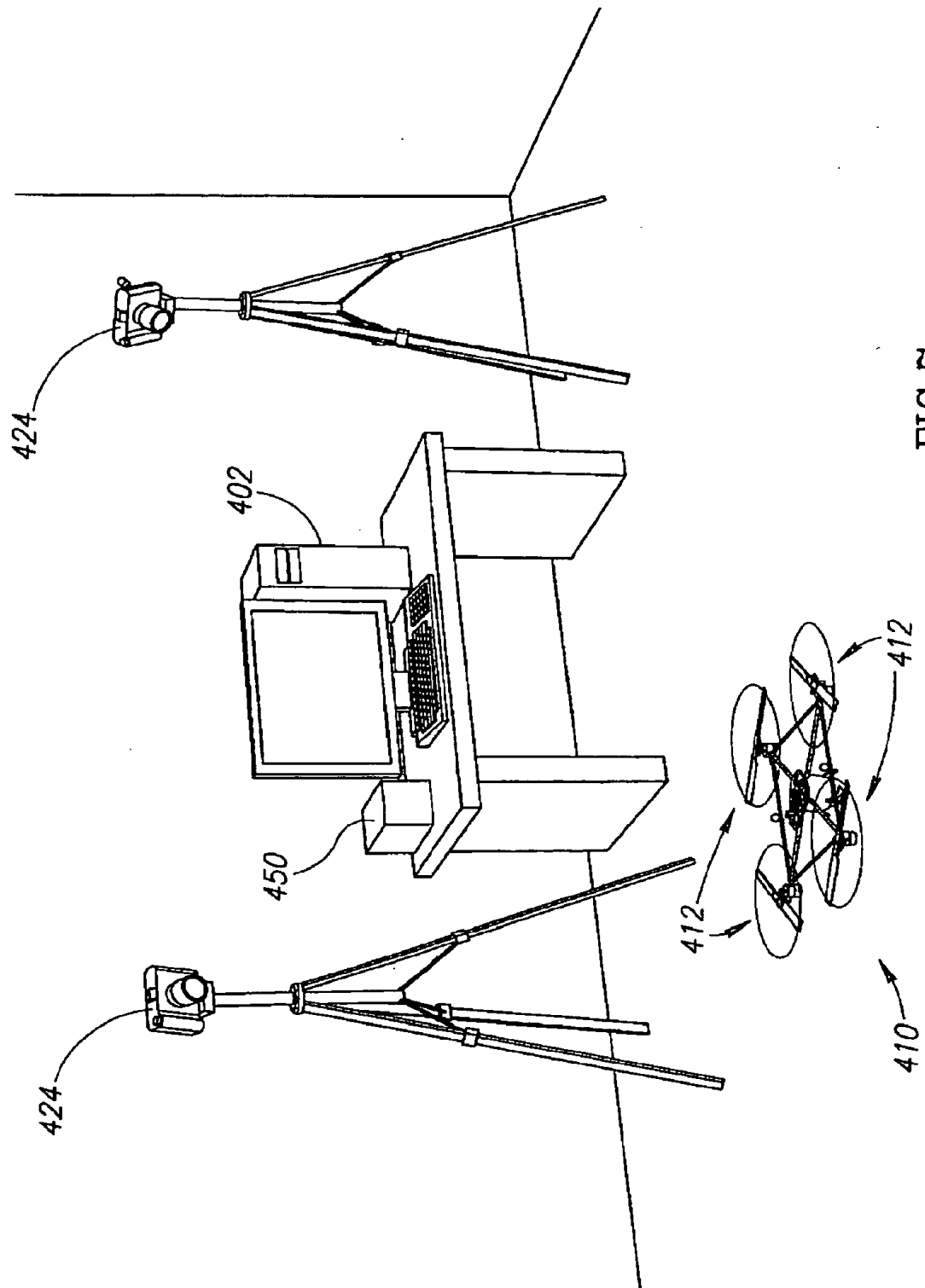


FIG. 6



DISPOSITIVO INFORMÁTICO
A MODO DE EJEMPLO 500

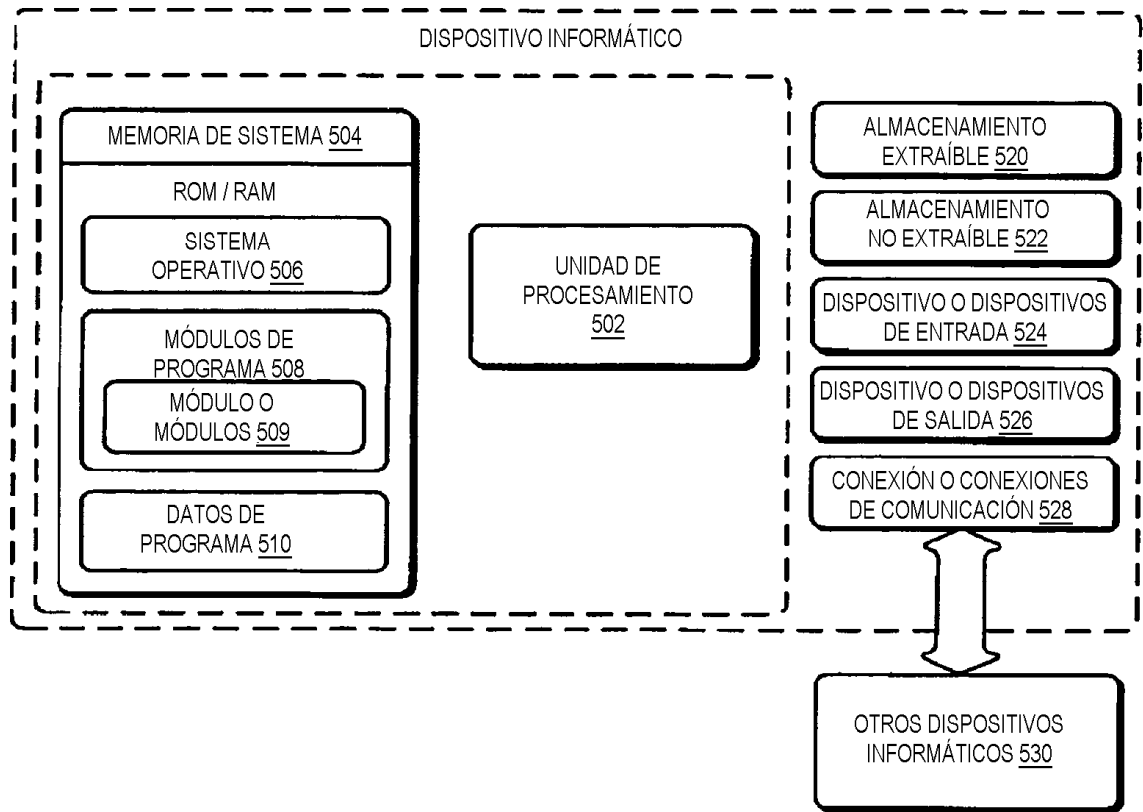


FIG. 8

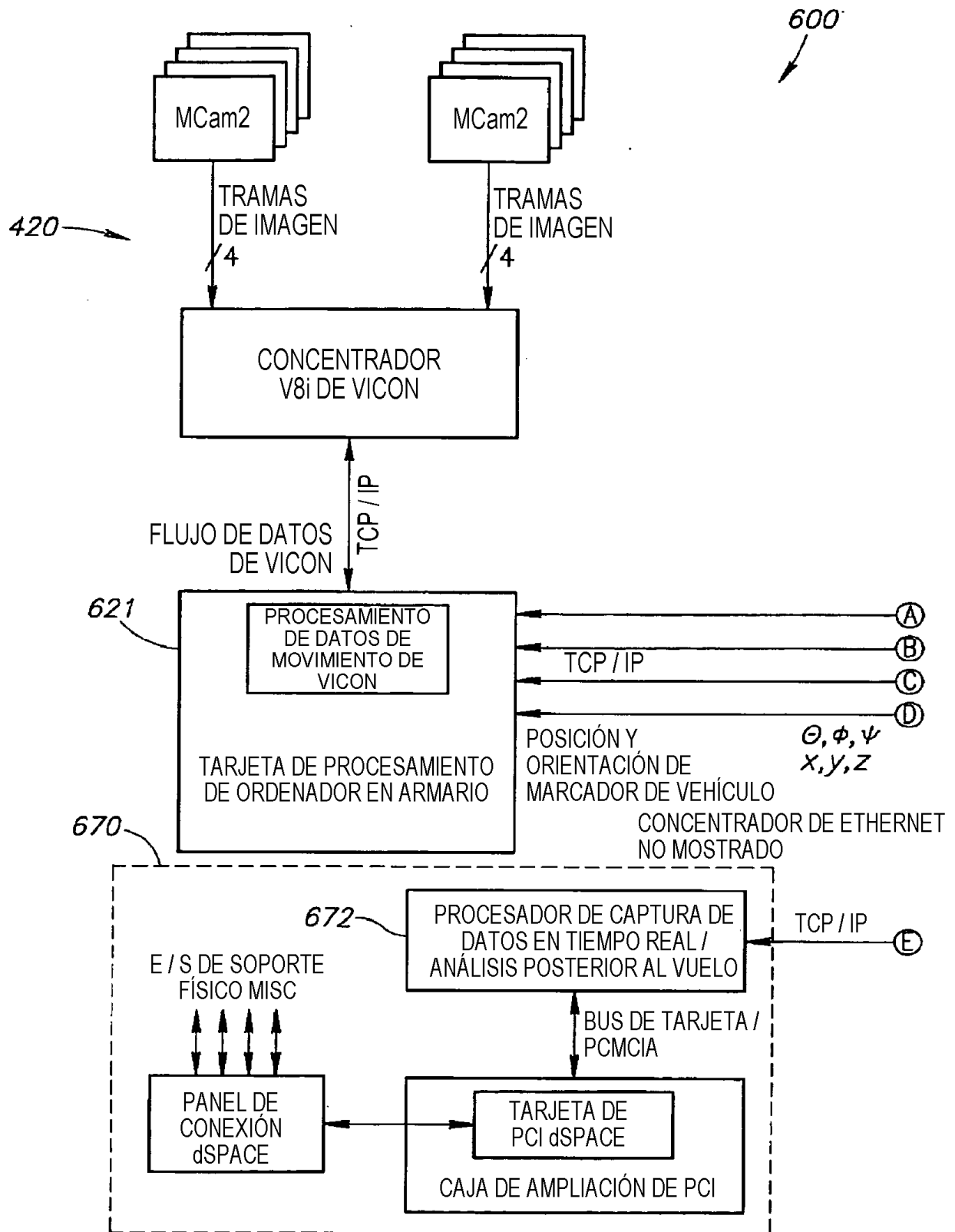


FIG.9A

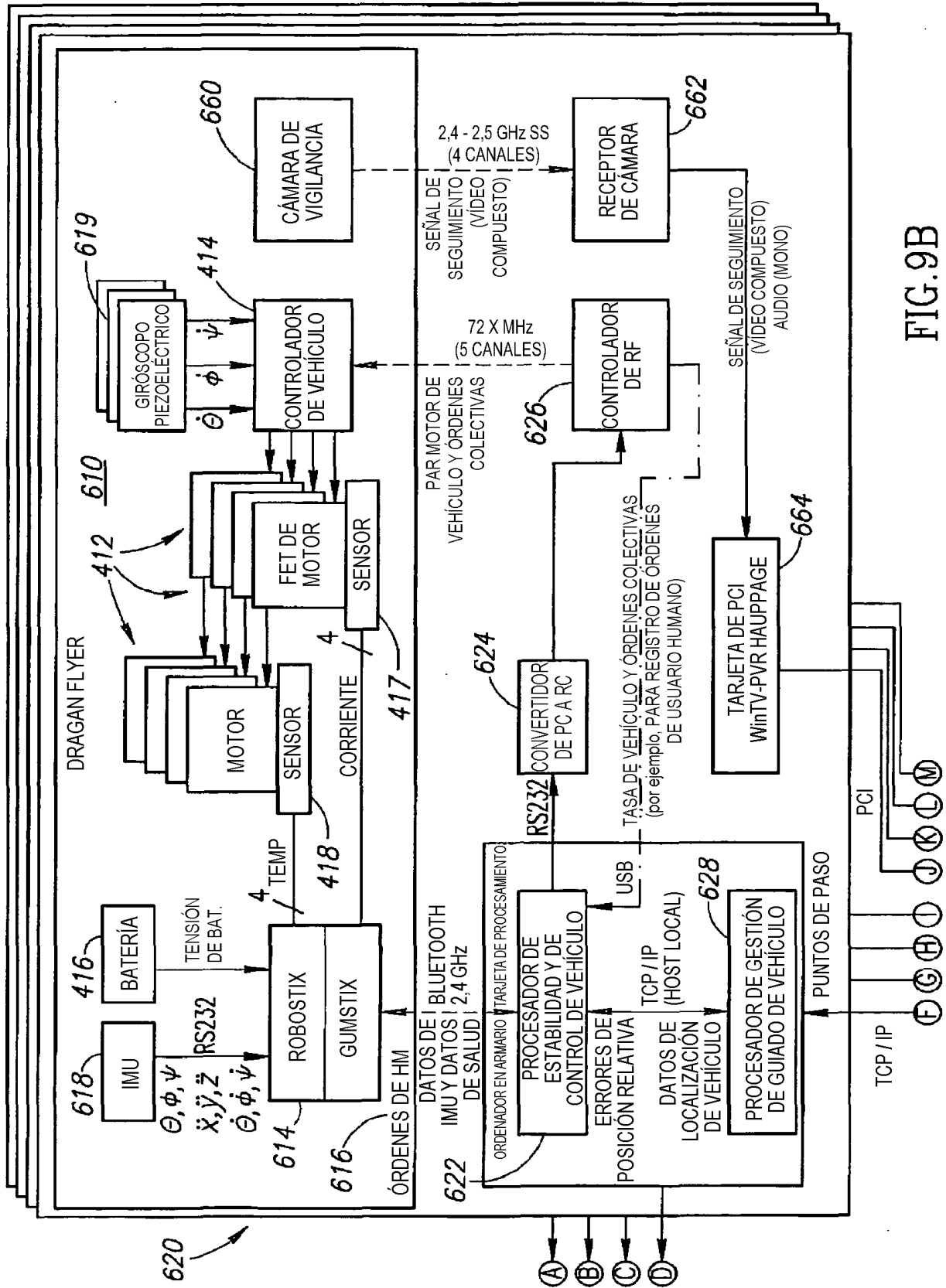


FIG.9B

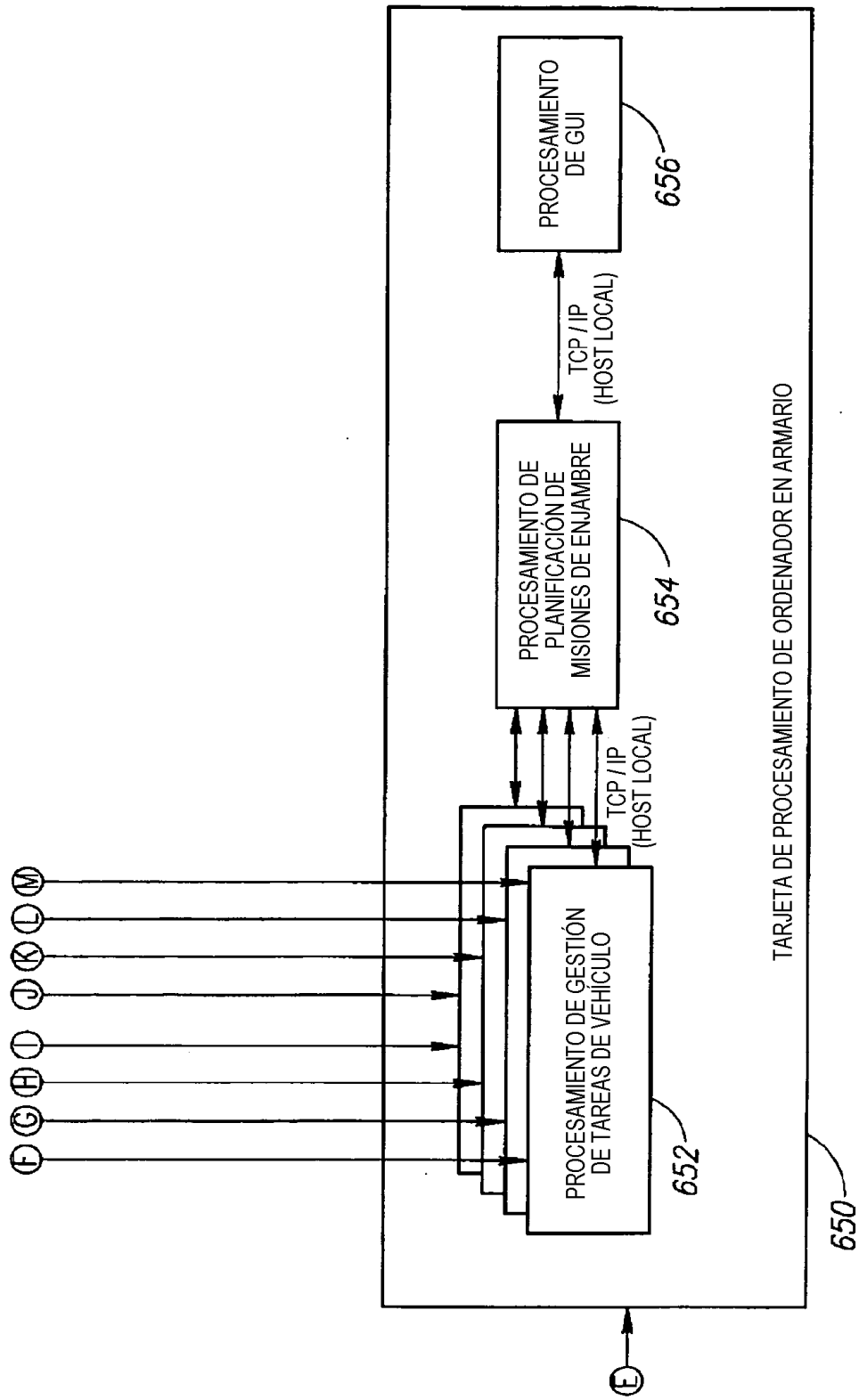
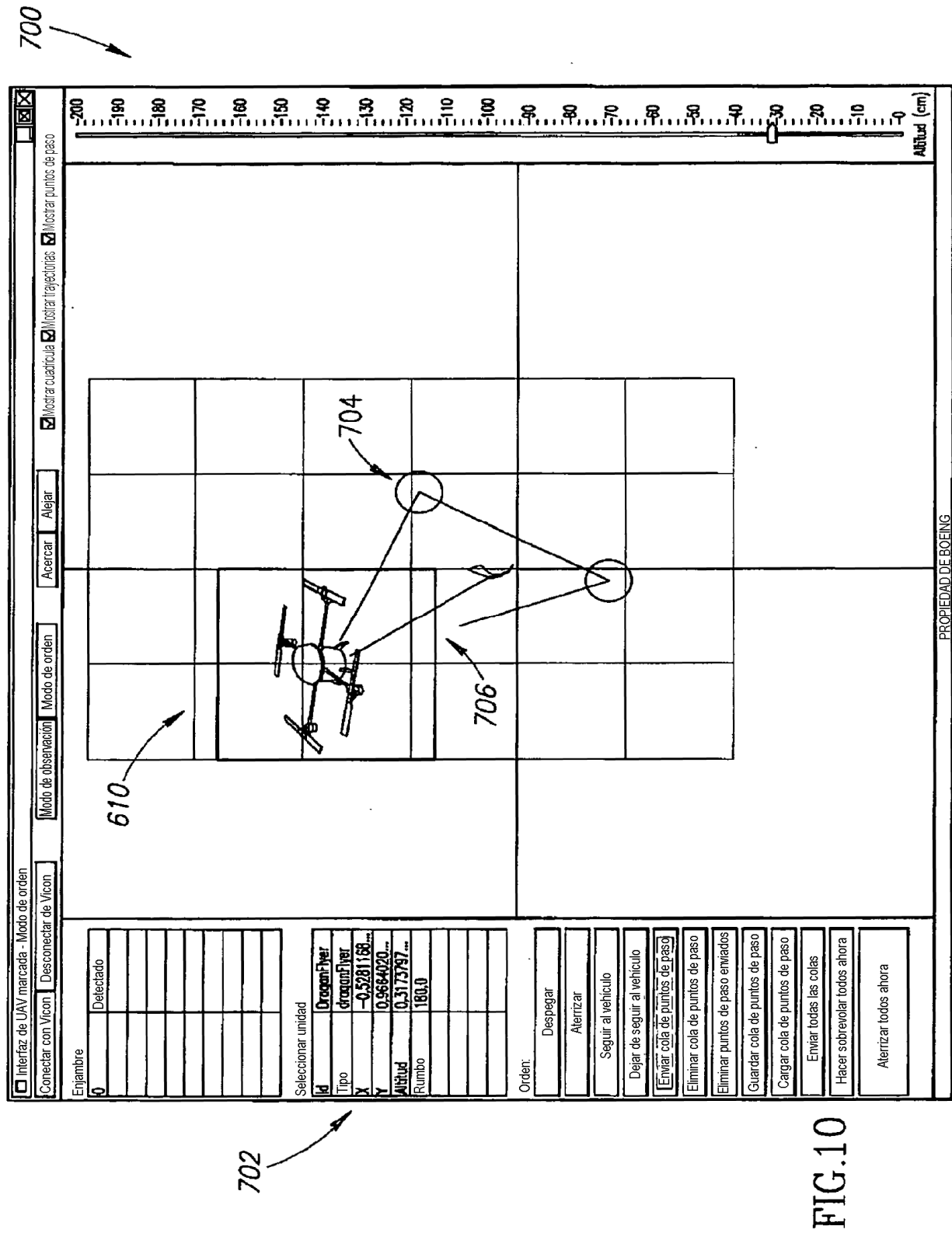
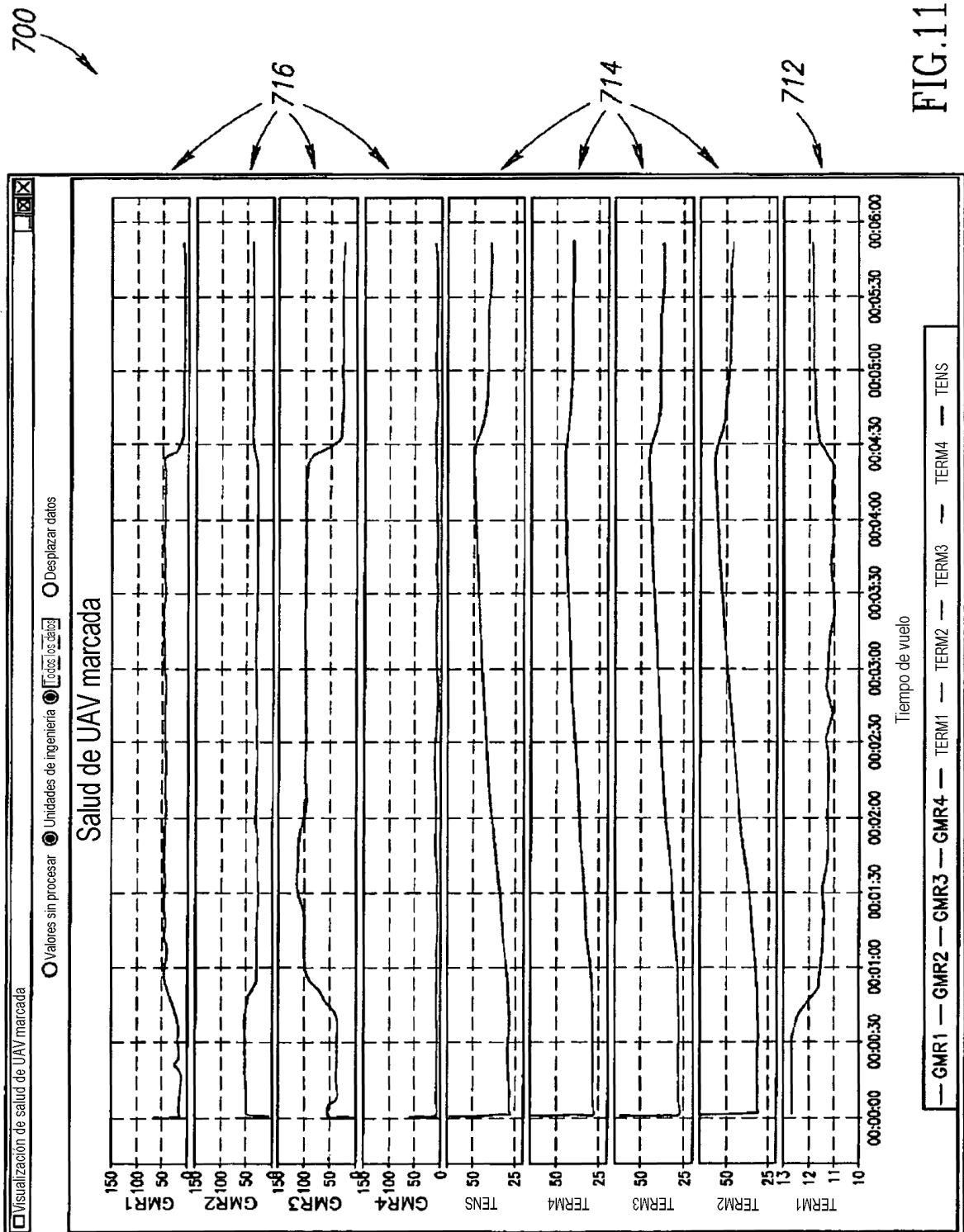


FIG.9C





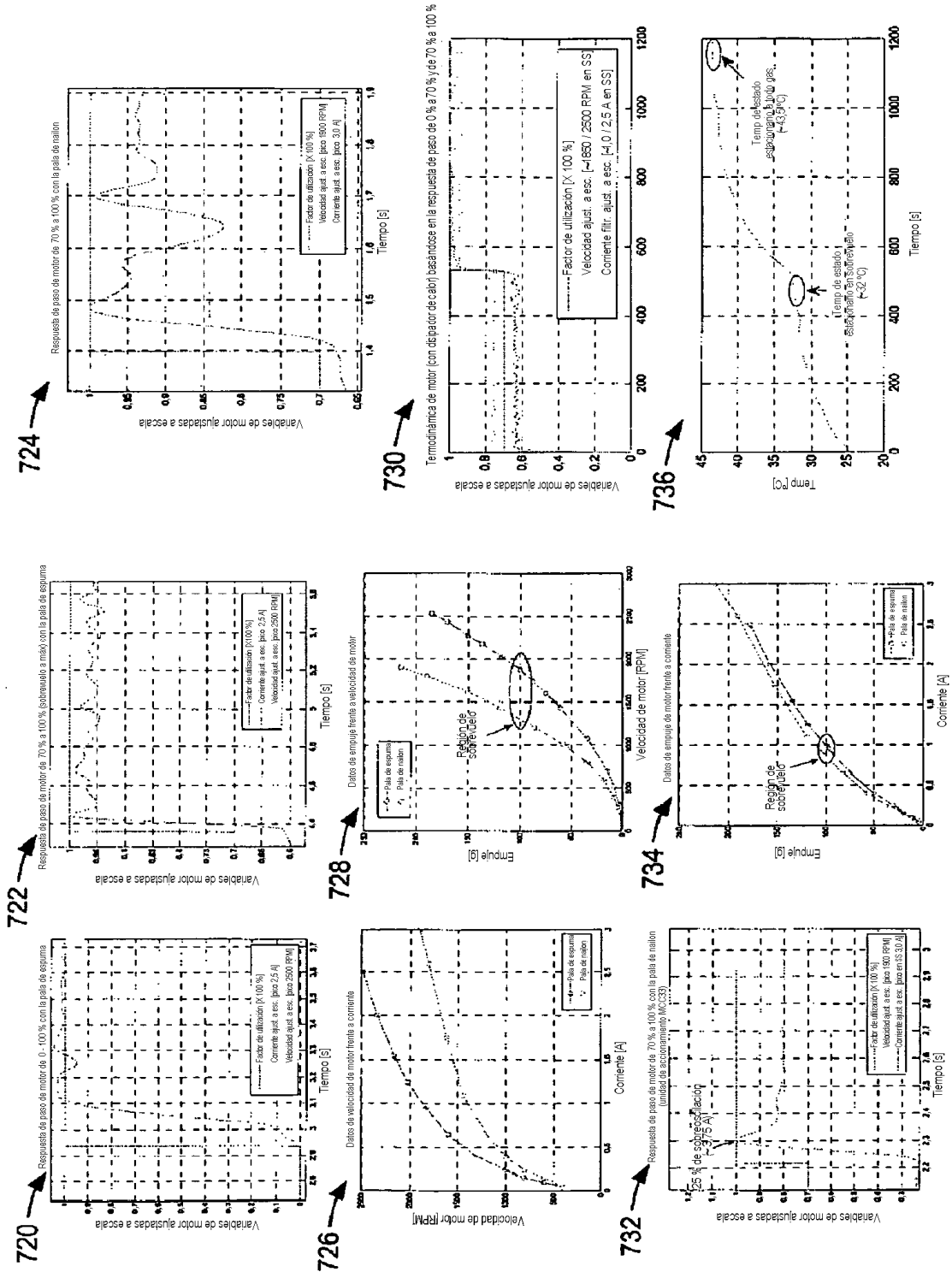


FIG. 12

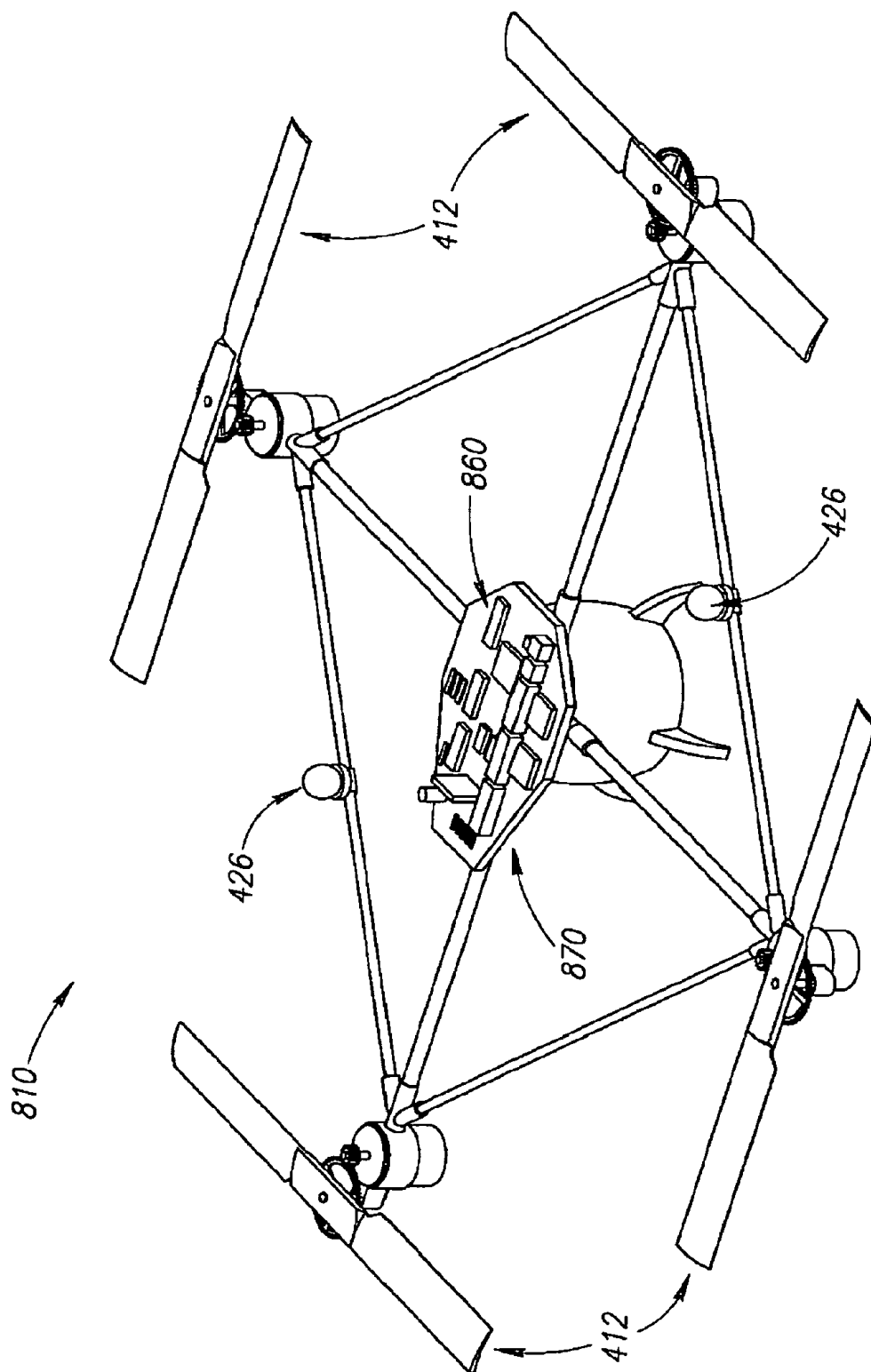


FIG.13

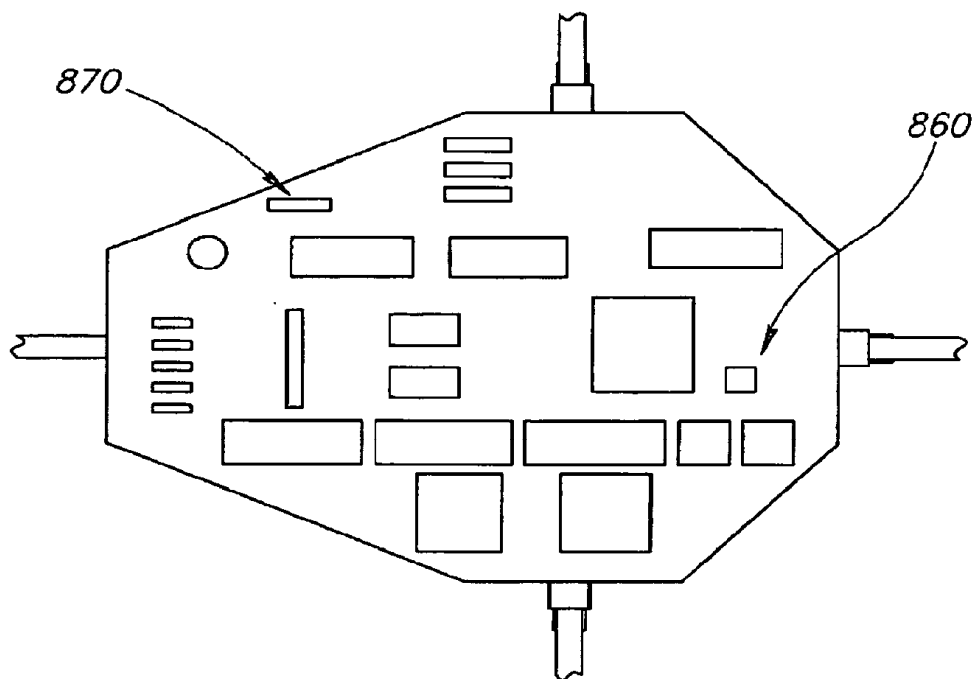


FIG.14