

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 729 607**

51 Int. Cl.:

H04B 7/185 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **18.08.2015 PCT/US2015/045675**

87 Fecha y número de publicación internacional: **25.02.2016 WO16028767**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **18.08.2015 E 15756756 (1)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **06.03.2019 EP 3183826**

54 Título: **Aparato para comunicaciones inalámbricas aerotransportadas distribuidas**

30 Prioridad:

**18.08.2014 US 201414462122
18.08.2014 US 201414462152
18.08.2014 US 201414462167
18.08.2014 US 201414462369
18.08.2014 US 201414462403
18.08.2014 US 201414462421**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
05.11.2019

73 Titular/es:

**SUNLIGHT AEROSPACE INC. (100.0%)
2045 Lincoln Highway Suite One West
Edison, NJ 08817, US**

72 Inventor/es:

**FROLOV, SERGEY V.;
CYRUS, MICHAEL;
BRUCE, ALLAN J. y
MOUSSOURIS, JOHN PETER**

74 Agente/Representante:

ELZABURU, S.L.P

ES 2 729 607 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

Aparato para comunicaciones inalámbricas aerotransportadas distribuidas

Campo

- 5 Las realizaciones de la presente invención se refieren en general a métodos y aparatos para comunicaciones inalámbricas aerotransportadas, y en particular para posibilitar comunicaciones inalámbricas con base en tierra utilizando plataformas aerotransportadas no tripuladas. Los ejemplos no limitativos incluyen proporcionar enlaces de datos de comunicación, canales de voz y diversos servicios de comunicación entre dispositivos de comunicación inalámbrica en tierra y en el aire.

Antecedentes

- 10 Las comunicaciones inalámbricas globales de banda ancha han crecido exponencialmente en los últimos años. Sin embargo, la cobertura de la red, permanece incompleta en muchas regiones del mundo e incluso en algunas regiones actualmente con servicio; así, la demanda puede superar pronto la oferta de infraestructura de comunicación existente. Las tecnologías de red actuales son generalmente demasiado caras, ineficaces y lentas para responder a la creciente demanda.

- 15 Además, una mayor proliferación de las tecnologías inalámbricas con base en tierra existentes aumenta la contaminación de radiofrecuencia (RF) y la exposición humana a grandes cantidades de energía de RF. A muchas personas les preocupa que la exposición a RF pudiera tener el potencial de causar ciertos tipos de cáncer y otros problemas de salud. Las antenas para comunicaciones inalámbricas se ubican típicamente en torres, depósitos de agua y otras estructuras elevadas, incluidos los costados y las partes superiores de los tejados de los edificios. Las emisiones de RF dentro de 30,48 a 45,72 metros (100 a 150 pies) de una torre celular pueden exceder los límites de la FCC. El enfoque estándar para aumentar la capacidad inalámbrica aumentando el número de antenas con base en tierra por unidad de área inevitablemente conducirá a un aumento en la exposición de RF a niveles potencialmente peligrosos.

- 20 Alternativamente, ha habido propuestas para establecer redes aéreas que emplean plataformas aerotransportadas como centros de comunicación adicionales. Tales centros estarían estacionados a altitudes muy por encima del espacio aéreo comercial, donde la línea de cobertura de visión se extiende sobre grandes áreas terrestres y las velocidades medias del viento son bajas. Estas soluciones se han propuesto como alternativas a los sistemas de comunicación por satélite, en vez de a los sistemas de comunicación de telefonía móvil terrestre. Una consideración más detallada de las propuestas e iniciativas anteriores en esta área revela muchas deficiencias en las misiones, plataformas y tecnologías de soporte definidas como obstáculos para su implementación con éxito. Como resultado, ninguna de estas propuestas se ha realizado en la práctica hasta ahora.

- 25 Los servicios actuales de banda ancha se entregan mediante redes por cable (por ejemplo, fibra óptica) e inalámbricas terrestres (por ejemplo, celulares) con satélites y enlaces de radio que proporcionan cobertura auxiliar más allá del alcance de tales redes. Los inventores han observado que cada una de estas soluciones tiene restricciones significativas que limitan su aplicación y dejan muchos huecos en las áreas cubiertas.

- 30 Por ejemplo, las fibras ópticas son muy adecuadas para enlaces fijos de alta capacidad entre puntos de alto uso, incluidos redes de continentes, de ciudades, de área metropolitana, etc. Sin embargo, requieren una instalación física, lo cual es costoso y puede que no siempre sea práctico. Además, las fibras ópticas no son apropiadas para usuarios finales móviles.

- 35 Las redes inalámbricas celulares terrestres son redes muy adecuadas para despliegues de área local. Son relativamente baratas, en comparación con las redes de fibra óptica, y son la tecnología elegida en los mercados nuevos y emergentes donde la infraestructura física es limitada. Las redes inalámbricas celulares terrestres son apropiadas para usuarios fijos y móviles y pueden conectarse a redes cableadas. Sin embargo, como componentes discretos, son de alcance limitado y tienen un ancho de banda finito. Para satisfacer la creciente demanda de los clientes, se han añadido nuevas torres para aumentar la densidad de cobertura, al tiempo que se reduce su alcance para posibilitar una mayor reutilización de la frecuencia.

- 40 Los enlaces por satélite pueden proporcionar cobertura adicional a las regiones remotas y desatendidas, pero operan a frecuencias de RF diferentes a las de las redes inalámbricas terrestres, tienen una intensidad de señal baja y requieren hardware diferente. Además, los satélites de comunicación son extremadamente caros, experimentan retrasos en la señal y tienen limitaciones de ancho de banda.

- 45 Así, los inventores creen que existe la necesidad de una arquitectura de sistema de comunicación mejorada y más efectiva.

- 50 El documento EP 0 837 657 describe un grupo desplegado de vehículos aerotransportados (AV) que proporciona un servicio de comunicación de retransmisión entre clientes móviles y aerotransportados utilizando una antena de agrupación en fase dirigida (PAA). Las PAA proporcionan comunicación de banda ancha con clientes móviles. La

constelación AV incluye miembros de pasarela que mantienen enlaces por satélite punto a punto de alta capacidad o estaciones base terrestres para conectividad de comunicación fuera del área de cobertura añadida de la constelación AV. Una constelación es gestionada por un centro de control de operaciones cuyas obligaciones incluyen reemplazo de posicionamiento y planificación de las constelaciones AV y funciones de gestión de red de rutina, para implementar la red de comunicación inalámbrica, móvil de banda ancha, rápidamente desplegable.

Compendio

En la presente memoria se proporcionan realizaciones del aparato para proporcionar comunicaciones inalámbricas aerotransportadas distribuidas. En algunas realizaciones, una carga útil de comunicación distribuida incluye: un módulo de electrónica de control de carga útil; un módulo de enlace aire-usuario para proporcionar enlaces de comunicación inalámbricos entre plataformas aerotransportadas y dispositivos de usuario final; y un módulo de enlace aire-aire para proporcionar enlaces de comunicación inalámbrica entre plataformas aerotransportadas; en donde los módulos de enlace aire-usuario y aire-aire están subdivididos en múltiples secciones que pueden estar dispuestas en diferentes plataformas aerotransportadas; y en donde el módulo de enlace aire-usuario está configurado para tener una primera capacidad combinada de comunicación, el módulo de enlace aire-aire está configurado para tener una segunda capacidad combinada de comunicación, y en donde la segunda capacidad de comunicación es superior o igual que la primera capacidad de comunicación.

En algunos ejemplos, una flota de comunicación incluye: una carga útil de comunicación aerotransportada subdividida en múltiples secciones de carga útil; y una pluralidad de plataformas aerotransportadas, incluyendo cada una de ellas una sección de carga útil, en donde cada plataforma aerotransportada comprende un fuselaje, un sistema de propulsión, un sistema de energía y electrónica de control de vuelo, donde el sistema de propulsión está configurado para proporcionar potencia de propulsión y empuje para mantener el vuelo nivelado, ascender, descender y maniobrar la plataforma aerotransportada, en donde el sistema de energía proporciona energía eléctrica al sistema de propulsión, a la electrónica de control de vuelo y a la sección de carga útil, y en donde la electrónica de control de vuelo proporciona capacidad para controlar una posición, velocidad y patrón de vuelo de la plataforma aerotransportada.

En algunos ejemplos, un método para hacer funcionar una flota de comunicación incluye: dividir una carga útil de comunicación aerotransportada en múltiples secciones de carga útil; proporcionar de una pluralidad de plataformas aerotransportadas, en donde cada plataforma aerotransportada comprende un fuselaje, un sistema de propulsión, un sistema de energía y electrónica de control de vuelo, en donde el sistema de propulsión está configurado para proporcionar potencia de propulsión y empuje para mantener el vuelo nivelado, ascender, descender y maniobrar la plataforma aerotransportada, en donde el sistema de energía proporciona energía eléctrica al sistema de propulsión, a la electrónica de control de vuelo y a la sección de carga útil, y en donde la electrónica de control de vuelo proporciona capacidad para controlar una posición, velocidad y patrón de vuelo de la plataforma aerotransportada; y la colocación de cada sección de carga útil en una plataforma aerotransportada de la pluralidad de plataformas aerotransportadas.

En algunos ejemplos, un área de servicio inalámbrico aerotransportado incluye: una flota aerotransportada, compuesta por una pluralidad de aeronaves, en donde la flota aerotransportada está configurada para transmitir una pluralidad de primeros haces a una primera radiofrecuencia (RF), en donde la pluralidad de primeros haces se caracterizan por la primera banda de frecuencia, el canal, el ancho de banda, el formato de transmisión, la distribución de intensidad de campo angular desigual y los límites correspondientes, en donde los primeros haces contiguos tienen una región de solapamiento y en donde al menos una de las siguientes características es diferente entre los primeros haces contiguos: banda de frecuencia, canal o formato de transmisión; y una pluralidad de primeras celdas de comunicación definidas por los límites respectivos de la pluralidad de primeros haces, en donde cada una de las primeras celdas de comunicación se caracteriza por su tamaño, forma y posición.

En algunos ejemplos, un área de servicio inalámbrico aerotransportado incluye: una flota aerotransportada compuesta por múltiples aeronaves; y una pluralidad de celdas de comunicación, en donde las celdas de comunicación se caracterizan por tener haces de radiofrecuencia (RF) que tienen una frecuencia utilizada para las comunicaciones y que tienen banda de frecuencia, canal, ancho de banda, formato de transmisión, distribución de intensidad de campo angular desigual y límites correspondientes, en donde las múltiples aeronaves comprenden equipos configurados para recibir los haces de RF.

En algunos ejemplos, un método para proporcionar servicios de comunicación inalámbrica incluye: transmitir una pluralidad de primeros haces a una primera radiofrecuencia (RF) desde una flota aerotransportada compuesta por una pluralidad de aeronaves, en donde la pluralidad de primeros haces se caracteriza por la primera banda de frecuencia, canal, ancho de banda, formato de transmisión, distribución de intensidad de campo angular desigual y límites correspondientes, en donde los primeros haces contiguos tienen una región de solapamiento, y en donde al menos una de las siguientes características es diferente entre los primeros haces contiguos: banda de frecuencia, canal o formato de transmisión; y crear una pluralidad de primeras celdas de comunicación definidas por los límites respectivos de la pluralidad de primeros haces, en donde cada una de las primeras celdas de comunicación se caracteriza por su tamaño, forma y posición.

5 En algunos ejemplos, un nodo de comunicación inalámbrica aerotransportada incluye: una flota aerotransportada compuesta por una pluralidad de plataformas aerotransportadas que tienen electrónica de control de vuelo configurada para controlar el vuelo de plataformas aerotransportadas individuales y coordinar un plan de vuelo de la flota aerotransportada en su conjunto; y una carga útil de comunicación distribuida, en donde la carga útil de comunicación se subdivide en partes constituyentes, en donde las partes están distribuidas y posicionadas en las partes respectivas de la pluralidad de plataformas aerotransportadas. En algunas realizaciones, la carga útil de comunicación distribuida incluye: equipos de enlace aire-usuario para proporcionar enlaces de comunicación con usuarios finales, comprendiendo los equipos de enlace aire-usuario una antena de RF; los equipos de enlace aire-aire para proporcionar comunicaciones entre plataformas aerotransportadas individuales; y la electrónica de control de la carga útil para controlar los equipos de enlace aire-usuario y aire-aire y administrar los servicios de comunicación.

En algunos ejemplos, una red de comunicación inalámbrica aerotransportada incluye una pluralidad de nodos de comunicación inalámbrica aerotransportada configurados como se describe en cualquiera de las realizaciones descritas en la presente memoria.

15 En algunos ejemplos, un método para proporcionar un nodo de comunicación inalámbrica aerotransportada incluye: proporcionar una pluralidad de plataformas de vehículos aéreos no tripulados (UAV) con capacidades de carga útil predeterminadas; proporcionar un intervalo de secciones de carga útil de comunicación con requisitos que pueden satisfacerse por las capacidades de una sola plataforma de UAV de la pluralidad de plataformas de UAV; y montar secciones de carga útil de comunicación individual en plataformas de UAV individuales respectivas de la pluralidad de plataformas de UAV para formar una flota de UAV con capacidades de carga útil de comunicación neta de un nodo de comunicación inalámbrica aerotransportada.

25 En algunos ejemplos, un sistema de comunicación inalámbrica aerotransportada incluye: una flota aerotransportada compuesta por una pluralidad de plataformas aerotransportadas; una carga útil de comunicación distribuida subdividida en partes constituyentes, en donde las partes están distribuidas y posicionadas en las partes respectivas de la pluralidad de plataformas aerotransportadas; comprendiendo la carga útil de comunicación equipos de enlace aire-usuario y equipos de enlace aire-aire para proporcionar comunicaciones entre el sistema de comunicación inalámbrico aerotransportada y los usuarios finales y entre plataformas aerotransportada individuales; la carga útil de comunicación que comprende además la electrónica de control de carga útil para controlar los equipos de aire-usuario y de aire-aire y gestionar la operación del sistema de comunicación inalámbrica aerotransportada; los equipos de enlace aire-usuario que comprenden además una antena de RF, en donde la antena de RF está configurada para producir un haz de RF en una dirección hacia tierra, en donde el haz de RF se caracteriza por su límite; y una celda de comunicación en tierra y en el espacio aéreo debajo de la flota limitada por el límite del haz de RF, en donde los equipos de comunicación aire-usuario están configurado para proporcionar enlaces de comunicación entre la flota aerotransportada y los dispositivos de usuario final dentro de la celda de comunicación.

35 En algunos ejemplos, una red de comunicación inalámbrica aerotransportada incluye: una flota aerotransportada compuesta por una pluralidad de plataformas aerotransportadas; una carga útil de comunicación distribuida subdividida en partes constituyentes, en donde las partes constituyentes están distribuidas y posicionadas en las respectivas partes de la pluralidad de plataformas aerotransportadas; una estación de pasarela ubicada en tierra por debajo de la flota aerotransportada; comprendiendo la carga útil de comunicación además, equipos de enlace aire-usuario, equipos aire-tierra y aire-aire configurados para proporcionar comunicaciones entre la flota y los usuarios finales, la flota y la estación de pasarela, y entre plataformas aerotransportada individuales; comprendiendo la carga útil de comunicación además, la electrónica de control de carga útil configurada para controlar los equipos aire-usuario y aire-aire y gestionar las operaciones de la carga útil de comunicación distribuida; comprendiendo los equipos de enlace aire-usuario además una antena de RF configurada para proporcionar un haz de RF en una dirección hacia la tierra, en donde el haz de RF se caracteriza por su límite; y una celda de comunicación en tierra y en el espacio aéreo situado por debajo de la flota limitada por el límite del haz de RF, en donde los equipos de comunicación aire-usuario están configurados para transmitir y recibir señales hacia y desde dispositivos de usuario final dentro de la comunicación celular .

50 En algunos ejemplos, un método para proporcionar un sistema de comunicación aerotransportada incluye: estimar los requisitos de la aplicación para una carga útil de comunicación dentro de un área de servicio para definir una carga útil de comunicación específica; proporcionar una flota aerotransportada compuesta por una pluralidad de plataformas aerotransportadas con una potencia de carga útil neta y capacidad de peso igual o superior que una potencia de carga útil de comunicación y peso de la carga útil de comunicación especificada; y subdividir la carga útil de comunicación especificada en secciones de carga útil, de manera que cada sección pueda montarse en una sola plataforma aerotransportada con requisitos de peso y potencia que sean iguales o inferiores que las capacidades de potencia y peso de la carga útil de la plataforma aerotransportada única.

60 En algunos ejemplos, un método para proporcionar servicios de comunicación inalámbrica incluye: recibir una señal de radiofrecuencia (RF) desde un primer área mediante una carga útil de comunicación aerotransportada distribuida, en donde la carga útil de comunicación aerotransportada distribuida está compuesta por secciones ubicadas en las respectivas de una pluralidad de plataformas aerotransportadas; retransmitir la señal de RF a lo largo de las

secciones ubicadas en diferentes plataformas aerotransportadas; y la transmisión de la señal de RF a un segundo área.

Otros ejemplos y ejemplos adicionales de la presente invención se describen a continuación.

Breve descripción de los dibujos

- 5 Las realizaciones y ejemplos de la presente invención, resumidos brevemente más arriba y discutidos con mayor detalle a continuación, pueden comprenderse por referencia a las realizaciones ilustrativas de la invención representadas en los dibujos adjuntos. Debe observarse, sin embargo, que los dibujos adjuntos ilustran solamente realizaciones típicas de esta invención y, por lo tanto, no deben considerarse limitativos de su alcance, ya que la invención puede admitir otras realizaciones igualmente eficaces.
- 10 La fig. 1 representa una vista esquemática de un sistema de comunicación aerotransportada según algunas realizaciones de la presente invención.
- La fig. 2 representa una vista esquemática de un vehículo aéreo no tripulado (UAV) adecuado para su uso en un sistema de comunicación aerotransportada según algunas realizaciones de la presente invención.
- 15 La fig. 3 representa una vista esquemática de algunos de los componentes electrónicos principales a bordo de un UAV adecuado para su uso en un sistema de comunicación aerotransportada según algunas realizaciones de la presente invención.
- La fig. 4 representa una representación de una carga útil de comunicación dividida distribuida entre diferentes UAV en un sistema de comunicación aerotransportada según algunas realizaciones de la presente invención.
- 20 La fig. 5 representa una vista esquemática de un UAV que tiene una antena aire-usuario (ATU) a bordo para producir un haz de RF dirigido según algunas realizaciones de la presente invención.
- La fig. 6 representa un gráfico de la distribución de intensidad de campo en un haz simétrico en forma de cono frente al ángulo del haz según algunas realizaciones de la presente invención.
- La fig. 7 representa una vista esquemática de una plataforma de UAV equipada con una o más antenas de RF que producen múltiples haces de RF para establecer múltiples celdas de tierra ATU y celdas de aire ATU según algunas realizaciones de la presente invención.
- 25 La fig. 8 representa una vista esquemática de una flota de UAV que comprende una pluralidad de plataformas de UAV, cada una equipada con una antena de RF para producir haces de RF respectivos que establecen múltiples celdas de tierra ATU y celdas de aire ATU según algunas realizaciones de la presente invención.
- 30 La fig. 9 representa una vista esquemática de una flota de UAV que proporciona servicios de comunicación según algunas realizaciones de la presente invención.
- La fig. 10 representa una proyección en tierra de un mapa celular compuesto por celdas de comunicación de tamaño y forma aproximadamente similares según algunas realizaciones de la presente invención.
- La fig. 11 representa una proyección en tierra de un mapa celular compuesto por celdas de comunicación hexagonales de tamaño aproximadamente similar según algunas realizaciones de la presente invención.
- 35 La fig. 12 representa una proyección en tierra de un mapa celular compuesto por celdas de comunicación rectangulares de tamaño aproximadamente similar según algunas realizaciones de la presente invención.
- La fig. 13 representa una proyección en tierra de un mapa celular compuesto de celdas de tamaño y forma irregulares según algunas realizaciones de la presente invención.
- 40 La fig. 14 representa una vista esquemática de varias plataformas aerotransportadas capaces de transportar cargas útiles de comunicación y realizar las funciones necesarias para posibilitar una red de comunicación inalámbrica aerotransportada según algunas realizaciones de la presente invención.
- La fig. 15 representa una vista esquemática de un subsistema de comunicación para establecer enlaces aire-aire (ATA) entre UAV individuales u otras plataformas aerotransportadas en un sistema de comunicación inalámbrica aerotransportada según algunas realizaciones de la presente invención.
- 45 La fig. 16 representa una vista esquemática de una flota de UAV como parte de un sistema de comunicación aerotransportada distribuida que incluye los UAV que establecen enlaces ATA mantenidos entre los vecinos más cercanos en la flota de UAV según algunas realizaciones de la presente invención.
- La fig. 17 representa una vista esquemática de una estación de pasarela con base en tierra utilizada para establecer canales de comunicación de banda ancha con una flota de UAV según algunas realizaciones de la presente

invención.

La fig. 18 representa una vista esquemática de un sistema de comunicación de banda ancha inalámbrica aerotransportada según algunas realizaciones de la presente invención.

5 La fig. 19 representa una vista esquemática de un sistema de comunicación que incluye una estación en tierra, una flota de UAV y una región con celdas ATU según algunas realizaciones de la presente invención.

La fig. 20 representa una vista esquemática de un sistema de comunicación que incluye un satélite de comunicaciones, una flota de UAV y una región de aplicación con celdas ATU según algunas realizaciones de la presente invención.

10 La fig. 21 representa una vista esquemática de una carga útil de comunicación aerotransportada distribuida para una flota de UAV según algunas realizaciones de la presente invención.

La fig. 22 representa una vista esquemática de un subsistema de comunicación distribuida que se puede utilizar para implementar enlaces de comunicación basados en RF según algunas realizaciones de la presente invención.

La fig. 23 representa una vista esquemática de un subsistema de control de carga útil para un sistema de comunicación aerotransportada distribuida según algunas realizaciones de la presente invención.

15 La fig. 24 representa una vista esquemática de una vista esquemática de los equipos de enlace ATA subdivididos en dos secciones para comunicaciones internas y externas, respectivamente, según algunas realizaciones de la presente invención.

20 La fig. 25 representa una vista esquemática de una red de comunicación aerotransportada distribuida que comprende un nodo de usuario final, un nodo aerotransportado, un nodo de pasarela, un nodo externo, un nodo de torre de celda y un nodo satelital según algunas realizaciones de la presente invención.

La fig. 26 representa una vista esquemática de una red de comunicación aerotransportada distribuida que comprende una multitud de nodos aerotransportados y una multitud de nodos de usuario final, según algunas realizaciones de la presente invención.

25 La fig. 27 representa una vista esquemática de una topología de diseño de nodo aerotransportado que incluye tres tipos de carga útil que soportan plataformas de UAV: una plataforma de retransmisión, una plataforma transmisora y una plataforma receptora, según algunas realizaciones de la presente invención.

La fig. 28 representa una vista esquemática de una topología de diseño de nodo aerotransportado que incluye dos tipos de carga útil que soportan plataformas de UAV: una plataforma maestra y una pluralidad de plataformas esclavas, según algunas realizaciones de la presente invención.

30 La fig. 29 representa una vista esquemática de una flota de UAV compuesta de una pluralidad de UAV según algunas realizaciones de la presente invención.

La fig. 30 representa una vista esquemática de un patrón de formación de vuelo para una flota de UAV según algunas realizaciones de la presente invención.

35 La fig. 31 representa una vista esquemática de varios patrones de formación de vuelo para flotas de UAV según algunas realizaciones de la presente invención.

La fig. 32 representa una vista esquemática de un sistema de comunicación distribuida, que comprende una flota de dos UAV que dan servicio a una sola celda de comunicación, según algunas realizaciones de la presente invención.

40 La fig. 33 representa una vista esquemática de un sistema de comunicación distribuida, que comprende una flota de dos UAV que, respectivamente, dan servicio a dos celdas de comunicación diferentes, según algunas realizaciones de la presente invención.

La fig. 34 representa una vista esquemática de un sistema de comunicación distribuida, que comprende una flota de dos UAV que, respectivamente, dan servicio a dos celdas de comunicación diferentes, según algunas realizaciones de la presente invención.

45 La fig. 35 representa un diagrama de flujo de un método para comunicarse utilizando un sistema inalámbrico aerotransportado distribuido según algunas realizaciones de la presente invención.

La fig. 36 representa un diagrama de flujo de un método para proporcionar un nodo de comunicación inalámbrica aerotransportada distribuida según algunas realizaciones de la presente invención.

La fig. 37 representa un diagrama de flujo de un método para proporcionar un nodo de comunicación inalámbrica aerotransportada distribuida según algunas realizaciones de la presente invención.

La fig. 38 representa un diagrama de acciones adicionales, que podrían complementar los métodos mostrados en las figs. 36 y 37, según algunas realizaciones de la presente invención.

5 Para facilitar la comprensión, se han utilizado números de referencia idénticos, cuando sea posible, para designar elementos idénticos que son comunes a las figuras. Las figuras no están dibujadas a escala y pueden simplificarse para mayor claridad. Se contempla que los elementos y características de una realización pueden incorporarse beneficiosamente en otras realizaciones sin más recitación.

Descripción detallada

10 En la siguiente descripción detallada, se exponen numerosos detalles específicos con el fin de proporcionar una comprensión completa de las realizaciones ejemplares u otros ejemplos descritos en la presente memoria. Sin embargo, se comprenderá que estas realizaciones y ejemplos pueden ponerse en práctica sin los detalles específicos. En otros casos, los métodos, procedimientos, componentes y/o circuitos bien conocidos no se han descrito en detalle, para no oscurecer la siguiente descripción. Además, las realizaciones descritas son solamente para propósitos ejemplares y pueden emplearse otras realizaciones en lugar de, o en combinación con, las realizaciones descritas.

15 Una aplicación particularmente útil de esta invención es interactuar con, aumentar o reemplazar redes inalámbricas terrestres existentes y futuras que dependen de torres celulares. La red prevista emplea una flota de plataformas aerotransportadas de ala fija alimentadas con energía solar a gran altitud o híbrida como centros de comunicación. Tal sistema es capaz de utilizar frecuencias y protocolos inalámbricos terrestres estándares, simplificando la integración con las estaciones base inalámbricas convencionales y los equipos de usuario, respectivamente. Puede operar bien como un sistema independiente, o bien en conjunto con otros sistemas de comunicación terrestres y satelitales. Además, la misma arquitectura del sistema se puede utilizar para proporcionar uno o más servicios de comunicación de enlace fijo, comunicaciones de emergencia, canales de comunicación seguros, servicios de difusión de radio y/o televisión, servicios de computación basados en la nube y en Internet, transmisión por internet y otros servicios de comunicaciones de banda ancha.

20 Las plataformas generalmente mantendrán la posición a altitudes entre aproximadamente 15 y 30 km y podrán ser capaces de soportar enlaces de comunicación durante todo el año. Los vehículos aéreos no tripulados (UAV) son aeronaves sin piloto que se controlan bien de forma remota o bien vuelan de forma autónoma a lo largo de los planes de vuelo pre-programados. Son plataformas preferidas para implementar este sistema de comunicación aerotransportada, aunque otros vehículos aerotransportados también pueden utilizarse bajo condiciones apropiadas, por ejemplo, aeronaves más ligeras que el aire. Los UAV se clasifican comúnmente basándose en sus especificaciones de diseño y rendimiento que abarcan el intervalo desde aeronaves en miniatura de baja altitud hasta vehículos más grandes de Alta Resistencia a Gran Altitud (HALE). Los UAV HALE son particularmente atractivos para esta aplicación por las razones que se describen a continuación.

25 Los inventores han observado que las redes de comunicaciones aéreas propuestas anteriormente, sin excepción, subestimaron los requisitos de carga útil de comunicación y de fuselaje para soportar física y operativamente dichas cargas útiles con el nivel de generación de potencia requerida durante todo el año para una operación continua de 24 horas. Los inventores han reconocido estas deficiencias, han analizado en detalle los requisitos para la misión, y han identificado desafíos significativos en el diseño de fuselajes, generación de potencia y almacenamiento de energía, que son difíciles de superar con las soluciones y los enfoques convencionales sugeridos hasta ahora y que pueden limitar la misión, si no prohibirla.

30 Como quedará claro a partir de las enseñanzas proporcionadas en la presente memoria, una o más de varias ventajas operativas que las realizaciones de esta invención pueden proporcionar en comparación con las redes terrestres y satelitales existentes, incluyendo sin limitación:

35 a) Exposición a baja RF: Un sistema inalámbrico aerotransportado proporciona una distribución mucho más uniforme de potencia de RF en tierra en comparación con las antenas con base en tierra. Además, los enlaces de comunicación aerotransportada generalmente están en la línea de visión, lo que reduce la interferencia de múltiples trayectorias. Como resultado, los niveles de potencia media y máxima de RF en tierra para el sistema aerotransportado pueden ser sustancialmente más bajos, eliminando virtualmente el riesgo de exposición peligrosa a RF.

40 b) Cobertura de área extensa: La ubicación del UAV significa que los enlaces de comunicación experimentan una atenuación por lluvia relativamente pequeña en comparación con los enlaces terrestres a la misma distancia. En las bandas de ondas milimétricas más cortas, esto puede generar ventajas presupuestarias de enlace significativas dentro de celdas grandes.

45 c) Capacidad de respuesta al tráfico: La invención es muy adecuada para proporcionar una asignación de recursos adaptable centralizada, es decir, patrones de reutilización de frecuencia flexibles y sensibles y tamaños de celda no restringidos por la ubicación física de las estaciones base. Esta adaptabilidad puede proporcionar una capacidad general significativamente mayor en comparación con la aplicación terrestre fija actual.

d) Bajo coste: Las redes aerotransportadas serán considerablemente más baratas de adquirir y lanzar que un satélite geoestacionario o una constelación de satélites de órbita terrestre baja (LEO). También puede ser más económico de desplegar que una red terrestre con un gran número de estaciones base. Los UAV también serán diseñados y dimensionados para la fabricación.

5 e) Despliegue incremental: Los servicios aerotransportados pueden introducirse con UAV individuales y luego expandirse cuando se requiere mayor cobertura y/o capacidad. Esto se compara favorablemente con una red de satélites LEO, que requiere un gran número de satélites para una cobertura continua. Las redes terrestres también requieren un número significativo de estaciones base para que sean completamente funcionales.

10 f) Despliegue rápido: Es posible diseñar y desplegar un servicio basado en UAV rápidamente. Los satélites, típicamente tardan años desde la adquisición inicial a través del lanzamiento a una operación en estación, con las cargas útiles frecuentemente obsoletas en el momento del lanzamiento. De manera similar, las redes terrestres requieren una planificación que requiere mucho tiempo y obras civiles. Los UAV, por otro lado, se pueden lanzar y colocar en estación en cuestión de días, o incluso de horas, posibilitando un rápido lanzamiento de servicios para proveedores interesados en hacer negocios antes que su competencia. El despliegue rápido también será clave para escenarios de emergencia tales como desastres naturales, misiones militares, recuperación cuando las redes terrestres experimenten fallos y sobrecargas anticipadas debido a grandes concentraciones de usuarios transitorios, por ejemplo, en eventos importantes.

15 g) Mantenimiento y actualizaciones: Una flota de UAV puede operar durante períodos prolongados - semanas, meses o incluso años. A diferencia de los satélites, los UAV pueden aterrizar para mantenimiento o actualizaciones o ser reemplazados en estación sin interrupción del servicio.

h) Bajo impacto Medioambiental: Los UAV de HALE tienen generación de energía renovable a bordo, incluyendo sistemas de energía solar. También se puede añadir suministro remoto de energía complementario para asegurar una operación fiable y continua. Los beneficios medioambientales adicionales surgen de la eliminación de un gran número de torres terrestres e infraestructura asociada.

25 Según realizaciones de la presente invención, se proporcionan sistemas aerotransportados para posibilitar servicios de comunicaciones inalámbricas entre usuarios finales en tierra y en el aire. Los sistemas generalmente comprenden una flota de vehículos aerotransportados no tripulados (UAV) y una estación base opcional ubicada en tierra. Los UAV llevan una carga útil distribuida que comprende equipos de comunicación inalámbrica. En algunas realizaciones de la presente invención, un aparato, tal como un sistema 100 de comunicación aerotransportada mostrado esquemáticamente en la fig. 1, puede comprender una pluralidad de plataformas 110 de UAV (por ejemplo, una flota), una estación base 120 en tierra opcional, configurada para comunicarse con una pluralidad de transceptores de radio móviles, como se describe con mayor detalle en la presente memoria. Los transceptores de radio móviles pueden ser aerotransportados o ubicados en tierra. Por ejemplo, los transceptores de radio móviles pueden ser teléfonos celulares manejados y utilizados por individuos 130 en tierra 140 o transportados a bordo de aviones 145 de pasajeros, como se muestra en la fig. 1. Las distancias entre diferentes UAV pueden variar y depender de sus capacidades de comunicación y requisitos para los servicios de comunicación que proporcionan. En general, algunos UAV dentro de la flota pueden volar en estrecha proximidad entre sí, de manera que la distancia entre ellos puede ser menor que la distancia al área de servicio (por ejemplo, tierra 140). Los servicios de comunicación proporcionados por el sistema 100 de comunicación aerotransportada pueden ser continuos o sustancialmente continuos, por ejemplo, las 24 horas del día, los 7 días de la semana, todo el año, etc. Alternativamente, estos servicios pueden ser intermitentes o temporales, por ejemplo, una o más de las operaciones diurnas individuales, soporte de emergencia, servicios de máxima demanda, etc.

Las plataformas 110 de UAV pueden ser similares o casi idénticas entre sí. Alternativamente, estas plataformas pueden tener diferentes diseños y diferentes características operativas. Un UAV 200 adecuado para esta misión comprende un fuselaje 210, un subsistema 220 de propulsión, un subsistema 230 de tren de potencia y un subsistema 240 electrónico, como se muestra en la fig. 2. El fuselaje 210 posibilita un vuelo de UAV de larga duración aerodinámicamente eficaz, minimizando la potencia necesaria para mantener el vuelo nivelado y para maniobrar (por ejemplo, para hacer giros). Esto se logra proporcionando, entre otras cosas, alas con baja carga de ala (<math><5\text{kg/m}^2</math>), gran superficie de ala (para una elevación suficiente y generación de energía solar como se ha determinado por los requisitos de peso y potencia de un UAV), sección transversal del alerón con alto coeficiente de elevación (>1-1,5), relación de aspecto de ala alta (>10), construcción de compuesto de bajo peso (por ejemplo, basada en carbono, vidrio o fibras de polímero) y así sucesivamente. El subsistema 220 de propulsión proporciona medios para adquirir y mantener la velocidad del aire (para vuelo nivelado, ascenso, descenso, giros y otras maniobras) e incluye al menos un motor y una hélice. El subsistema 230 de tren de potencia proporciona energía eléctrica al subsistema 220 de propulsión y al subsistema 240 de electrónica. Puede ser un sistema híbrido de energía basado en varias fuentes de energías renovables y remotas, incluyendo energía solar, energía eólica, energía térmica, celdas de combustible, conjuntos de motor-generador de combustión, energía de microondas y otros. La energía solar puede ser cosechada, por ejemplo, utilizando un sistema de energía fotovoltaica (PV). Se pueden encontrar realizaciones no limitativas específicas del UAV 200 utilizando fuentes de energía renovables, por ejemplo, en la Patente de los EE. UU. con número de serie 8.448.898, expedida el 28 de mayo de 2013 a Frolov y

col., y titulada, "Autonomous Solar Aircraft" (Aeronave Solar Autónoma). Además, la energía puede almacenarse en forma de energía potencial aumentando la altitud de los UAV. El subsistema 240 electrónico posibilita el control de vuelo y la funcionalidad operativa de las comunicaciones inalámbricas en el sistema 100 de comunicación aerotransportada.

- 5 La flota 110 de plataformas de UAV puede operar a diferentes altitudes que van desde el nivel del mar hasta aproximadamente 30 km. Una altitud óptima depende de varios factores, incluyendo las condiciones climáticas, las regulaciones locales para el vuelo de las aeronaves, las capacidades de las aeronaves y los requisitos de la aplicación. Las condiciones climáticas son típicamente óptimas a una altitud de aproximadamente 20 km, que se caracteriza por una pequeña capa de nubes y velocidades de viento medias mínimas. Sin embargo, la velocidad del viento aún puede ser sustancial y superar los 100 km/h. El sistema de propulsión debe ser capaz de generar suficiente potencia y empuje para permitir que un fuselaje adquiera velocidades aerodinámicas superiores que las velocidades del viento en altitudes operativas (por ejemplo, >100 km/h). Las operaciones a gran altitud también hacen que sea más difícil generar elevación, que requiere una superficie de ala más grande para las aeronaves de ala fija y volúmenes más grandes para las aeronaves más ligeras que el aire, y enfatiza aún más la necesidad de fuselajes y carga útil relativamente ligeros de peso.

10 En algunas realizaciones, como se muestra esquemáticamente en la fig. 3, algunos de los componentes electrónicos principales a bordo de un UAV 300, que podrían utilizarse en el sistema 100 de comunicación aerotransportada, pueden incluir la electrónica 310 de control de vuelo y los módulos de carga útil. Ejemplos de módulos de carga útil incluyen, electrónica 320 de control de carga útil (por ejemplo, un módulo de electrónica de control de carga útil), electrónica 330 de comunicaciones de enlace aire-usuario (ATU) (por ejemplo, un módulo de enlace ATU), electrónica 340 de comunicaciones de enlace aire-aire (ATA) (por ejemplo, un módulo de enlace ATA), y electrónica 350 de comunicaciones del enlace aire-tierra (ATG) (por ejemplo, un módulo de enlace ATG). La electrónica 310 de control de vuelo puede ser alimentada por el subsistema 230 de tren de potencia y proporcionar capacidades para maniobrar un UAV y mantener diversos patrones de vuelo. Entre otros elementos, puede incluir un piloto automático para el control de vuelo del UAV y una interfaz de programación para entrada manual o remota de parámetros de vuelo.

15 Los componentes de la carga útil de comunicación se requieren para proporcionar servicios de comunicación, en lugar de la funcionalidad de control de vuelo (aunque pueden afectar indirectamente a los patrones de vuelo y a las características de vuelo UAV). Un fuselaje debería tener áreas y compartimientos disponibles para la colocación de la carga útil y el accesorio. Los módulos de carga útil - es decir, la electrónica 320 de control de la carga útil, la electrónica 330 de comunicaciones del enlace ATU, la electrónica 340 de comunicaciones del enlace ATA y la electrónica 350 de comunicaciones del enlace ATG - representan los elementos principales de la carga útil 360 de los equipos de comunicación inalámbrica. Los equipos de comunicación pueden soportar al menos uno o más de tres tipos diferentes de enlaces o canales de comunicación: (1) enlaces aire-usuario (ATU) entre UAV y usuarios móviles/teléfonos celulares, (2) enlaces aire-aire (ATA) entre diferentes UAV, y (3) enlaces aire-tierra (ATG) entre UAV y estaciones base de pasarela terrestre. Cada enlace puede utilizar un número de formatos de comunicación adecuados, incluyendo acceso múltiple de dominio de frecuencia (FDMA), acceso múltiple de dominio de tiempo (TDMA), acceso múltiple de dominio de código (CDMA) y combinaciones de los mismos.

20 En general, el sistema 100 de comunicación aerotransportada también puede incluir aeronaves pilotadas, que se pueden utilizar para soportar, reemplazar y/o añadir funcionalidad a las plataformas aerotransportadas no tripuladas. La aeronave pilotada puede ser capaz de acceder a regiones restringidas inaccesibles para las plataformas no tripuladas debido a las regulaciones locales, el clima o la falta de recursos de energía renovable. Las aeronaves pilotadas pueden servir como respaldo en situaciones de emergencia o en condiciones de máxima demanda. Además, las aeronaves pilotadas pueden proporcionar recursos de energía secundarios a otras plataformas aerotransportadas en la flota, por ejemplo, en forma de transferencia de potencia de RF inalámbrica entre plataformas, carga de la batería de contacto directo, reabastecimiento de combustible, etc.

25 Los requisitos combinados de potencia y peso de tal carga útil pueden ser demasiado exigentes, excesivos y abrumadores para una sola plataforma de UAV. Las realizaciones de la presente invención abordan este problema al dividir la carga útil en partes constituyentes más pequeñas, distribuyéndolo así entre diferentes UAV en el sistema aerotransportado, como se muestra en la fig. 4. En este caso, una flota 400 que comprende un número (N) de UAV (400_1 a 400_N) se utiliza para transportar una carga útil 460 de comunicación. Algunos o todos los componentes de carga útil 460 de comunicación (es decir, los módulos) pueden subdividirse, de manera que cada subdivisión (es decir, la sección del módulo) se realiza mediante una plataforma de UAV individual. Cada subdivisión o sección de la carga útil se puede alojar en uno solo o múltiples alojamientos para ser montados dentro de una plataforma de UAV. Así, un alojamiento de sección individual puede transportar partes de múltiples módulos de carga útil. Por ejemplo, el UAV 400 transporta subdivisiones de carga útil, o secciones, de la electrónica 420_i de control de carga útil, los equipos 430_i de enlace ATU, los equipos 440_i de enlace ATA, y los equipos 450_i de enlace ATG, donde el índice i varía de 1 a N.

30 Los componentes de carga útil pueden distribuirse de manera uniforme o desigual a lo largo de la flota de UAV. La distribución de la carga útil aumenta la redundancia del sistema, reduce sus costes y simplifica el mantenimiento. La

distribución desigual puede ayudar a optimizar el rendimiento de la carga útil, minimizar el consumo general de energía y aumentar las capacidades del sistema. Un sólo UAV con su respectiva subdivisión de carga útil puede no ser capaz de realizar la gama completa de servicios de comunicación y operación de red. En su lugar, puede ser necesario un número mínimo de UAV mayor que uno para posibilitar tal sistema de comunicación aerotransportado.

5 Se pueden proporcionar diferentes tipos de enlaces ATU incluyendo enlaces punto a punto, enlaces de acceso múltiple, enlaces de comunicación unidireccionales y bidireccionales, enlaces de difusión de audio y vídeo para radio y televisión, enlaces de difusión/multidifusión, enlaces de comunicación de voz y datos, enlaces de mensajes de texto, etc. Por ejemplo, se pueden proporcionar enlaces ATU bidireccionales que soportan comunicaciones de voz y datos mediante teléfonos celulares. Tales enlaces de ATU pueden ser proporcionados por antenas direccionales de
10 alta ganancia aerotransportadas que operan en el intervalo de RF de aproximadamente 0,5 a aproximadamente 5 GHz, compatibles con las tecnologías de telefonía celular existentes. Las antenas pueden ser una o más de las antenas de cuernos, agrupaciones de fase analógica, agrupaciones de fase digital y otras. La región a la que se da servicio en tierra se puede segmentar en celdas de servicio de comunicación (por ejemplo, celdas de comunicación), de manera que las mismas frecuencias o canales de RF se puedan reutilizar dentro de diferentes segmentos o
15 celdas. Las antenas direccionales pueden proporcionar diferentes haces de RF para cubrir las celdas de comunicación. Se pueden establecer enlaces ATU de acceso múltiple, por ejemplo, para proporcionar servicios de comunicación celular para usuarios finales con dispositivos inalámbricos móviles de mano, tales como teléfonos celulares.

Los enlaces ATA se pueden proporcionar, bien mediante antenas de RF direccionales o bien interconexiones ópticas
20 en el espacio libre, por ejemplo, utilizando láseres de grado de telecomunicaciones que operan entre aproximadamente 1300 a aproximadamente 1600 nm. Los enlaces ATA pueden ser preferiblemente enlaces punto a punto, aunque también pueden utilizarse enlaces ATA de acceso múltiple, especialmente entre los UAV que se encuentran en estrecha proximidad. Este enfoque puede posibilitar conexiones de gran ancho de banda (por ejemplo, >40Gbps) y sin interferencias entre diferentes plataformas en el aire. Los enlaces ATA pueden proporcionar la trayectoria de comunicación disponible más corta y más económica entre diferentes usuarios en tierra. Los
25 enlaces ATG pueden ser enlaces punto a punto y pueden proporcionarse utilizando antenas de microondas direccionales de alta ganancia aerotransportadas y con base en tierra, por ejemplo, el seguimiento de antenas de agrupación en fase que operan en el intervalo de aproximadamente 10 a aproximadamente 100 GHz. Este enfoque posibilita un ancho de banda relativamente grande (por ejemplo, >1Gbps/enlace) y conexiones sin interferencias entre plataformas en las estaciones de pasarela en el aire y con base en tierra. Las estaciones de pasarela también proporcionan conexiones y puntos de entrada a los servicios por cable existentes, tales como las redes de telecomunicaciones terrestres e Internet.

Los enlaces ATU establecen conexiones inalámbricas a los usuarios de la red por debajo de las plataformas aerotransportadas. Un enlace ATU se puede producir por una sola o varias plataformas de UAV utilizando haces de
35 RF en una o múltiples frecuencias de canal. En algunas realizaciones, y como se muestra en la fig. 5, un solo UAV 500 utiliza una antena 510 ATU a bordo para producir un haz 520 de RF dirigido que lleva señales de comunicación (por ejemplo, señales de RF). El haz 520 de RF puede tener una dirección de transmisión que apunta hacia la tierra situada por debajo y cubre un área en tierra 550. El área está definida por la dispersión del haz 520 de RF producida por la antena 510 ATU a bordo y se puede denominar como una celda de tierra 530 ATU. El mismo haz de RF
40 puede dar servicio a los usuarios finales con base en tierra dentro de la misma celda de tierra ATU. Además, una celda de aire 540 ATU puede definirse como marcada y limitada volumétricamente por la dispersión del haz 520 de RF. El haz 520 de RF puede dar servicio a los usuarios finales aerotransportados, tales como los que se encuentran por ejemplo a bordo de un avión 560, mientras que pasan a través de la celda de aire 540 ATU. La celda de tierra ATU y la celda de aire de ATU también se denominan cada una como celda de comunicación.

En el caso de un haz simétrico de forma de cono, la distribución de intensidad de campo en el haz frente al ángulo o la dirección (por ejemplo, la distribución de intensidad de campo angular) puede ser aproximada mediante la curva
45 600 que se muestra en la fig. 6. El centro del haz está definido por el eje vertical 610, donde hay un máximo en la intensidad de campo. El ángulo se define en la fig. 5 como el ángulo entre el centro del cono 570 y un rayo 580 de RF. Los límites exteriores del haz 630 pueden definirse a continuación por el nivel mínimo de la intensidad de campo aceptable para establecer el enlace ATU o su resistencia relativa con respecto a otros haces interferentes, por
50 ejemplo, un nivel 620 de intensidad media máxima como se muestra en la fig. 6. Como resultado, la dispersión angular 640 del haz aproximado por la curva 600 se da aproximadamente $2\theta_0$, donde θ_0 se define como el ángulo que corresponde al nivel mínimo de la intensidad de campo aceptable para establecer el enlace ATU o su resistencia relativa con respecto a otras haces interferentes (por ejemplo, el nivel 620 de intensidad media máxima en la fig. 6). Para una altitud H dada, tal haz producirá una celda de tierra ATU con un diámetro de aproximadamente $2\theta_0 H$. En general, la distribución de intensidad de campo de RF puede ser variable. Por ejemplo, una antena de agrupación digital en fase puede ser capaz de producir haces de RF de varias formas y tamaños. Como resultado, el tamaño y la forma de la celda de comunicación también pueden variar. Esta característica se puede utilizar de
55 manera efectiva para optimizar operaciones de un sistema inalámbrico aerotransportado. Además, los haces de RF pueden ser conformados de nuevo para producir una interferencia mínima en celdas de comunicación producidas por otros haces de RF generando nulos en la distribución de intensidad de campo en las ubicaciones correspondientes.

La descripción anterior de una realización se refiere a ambos modos de operar un canal de comunicación (es decir, transmisión y recepción). La antena 510 ATU a bordo se puede utilizar para transmitir señales, proporcionando así un enlace descendente ATU, para usuarios finales en la celda de tierra 530 ATU y en la celda de aire 540 ATU. De manera similar, la antena 510 ATU a bordo se puede utilizar para recibir señales, proporcionando así un enlace ascendente ATU, para usuarios finales ubicados en la celda de tierra 530 ATU y en la celda de aire 540 ATU. En este caso los haces de RF emitidos desde estas celdas en la dirección de transmisión ascendente hacia un UAV (o varios UAV) pueden ser recibidos por la antena 510 a bordo. Así, se pueden utilizar dos haces de RF diferentes para establecer un enlace ATU: en primer lugar - un haz de RF transmitido por equipos ATU desde un UAV hacia una celda de comunicación (por ejemplo, un primer haz), y en segundo lugar - un haz de RF emitido por una celda de comunicación hacia un UAV y recibido por equipos ATU (por ejemplo, un segundo haz). La transmisión y recepción de la señal pueden ocurrir en el mismo UAV o en diferentes UAV, en diferentes momentos o simultáneamente. En este último caso, las señales se pueden transmitir y recibir a diferentes frecuencias, canales o bandas de RF para evitar interferencias. Alternativamente, se pueden utilizar dos antenas diferentes para la transmisión y recepción simultáneas de señales de RF dentro del mismo enlace ATU y/o celda ATU. Las comunicaciones de enlace ATU también pueden incluir comunicaciones de control y configuración entre los equipos de enlace ATU y los equipos de comunicación inalámbrica del usuario final. Estas comunicaciones pueden a su vez incluir el descubrimiento, identificación y registro del usuario final en la red de comunicación proporcionada por la flota de comunicación aerotransportada, así como la asignación de canales de comunicación (tanto para recibir como transmitir señales) a usuarios finales particulares, mitigación de interferencias causadas por obstáculos y otros transmisores, rechazos entre diferentes celdas de comunicación, etc.

En algunas realizaciones, y como se muestra en la fig. 7, una plataforma 700 de UAV está equipada con una o más antenas 710 de RF, que producen uno o más haces de RF 720_i , (i varía de 1 a N , donde N es el número total de haces de RF). Como se utiliza en la presente memoria, una "plataforma", o una "plataforma de UAV", se refiere a un vehículo aerotransportado no tripulado descargado (vacío) utilizado como una "plataforma" casi estacionaria para una carga útil de comunicación o sus partes. (En contraste, un "UAV" puede referirse, bien a una plataforma de UAV sin una carga útil o bien a un UAV con una carga útil a bordo, dependiendo del contexto). Como resultado, varias celdas de tierra $730_i - 730_N$ ATU y celdas de aire $740_i - 740_N$ ATU pueden ser establecidas y soportadas por la plataforma 700 de UAV. Los enlaces ATU correspondientes pueden operarse en la misma o diferentes bandas de RF. La operación de dos celdas ATU contiguas a diferentes frecuencias o canales impide la interferencia y permite un solapamiento entre estas celdas (véase, por ejemplo, las celdas 730_1 y 730_2). Dependiendo del tamaño de las celdas, que pueden variar desde decenas o cientos de kilómetros hasta varios metros, pueden clasificarse como súper-celdas (aproximadamente 10-100 km), macro-celdas (aproximadamente 1-10 km), mini-celdas (aproximadamente 0,1-1 km), micro-celdas (aproximadamente 10-100 m) o pico-celdas (aproximadamente 1-10 m), respectivamente. Un tamaño de celda mayor típicamente significa un mayor número de clientes y así, una mayor demanda de ancho de banda neto, lo que a su vez requiere una carga útil más pesada y un mayor consumo de energía. Por lo tanto, mientras que una sola plataforma de UAV puede soportar un número de pequeñas celdas (micro- y pico-celdas) como se describe en la fig. 7, las celdas más grandes (súper- y macro-celdas) pueden requerir más de una sola plataforma debido a sus requisitos más exigentes.

En otra realización que se muestra en la fig. 8, una flota aerotransportada, tal como una flota 800 de UAV (también denominada como un conjunto, enjambre, grupo, bandada, grupo, convoy, colección o constelación) que consiste en un número N de plataformas de UAV 800_i-800_N proporciona servicios de comunicación en el espacio situado por debajo, donde cada plataforma 800_i de UAV lleva una antena 810_i , produciendo un haz 820_i de RF y proyectando una celda de tierra 830_i ATU y una celda 840_i de aire ATU (donde i varía de 1 a N). Las antenas 800_i-800_N pueden operar a la misma o diferentes frecuencias, canales o bandas de RF. La flota 800 de UAV puede proporcionar las mismas capacidades para sus usuarios finales que una sola plataforma 700 de UAV. Sin embargo, permite que la carga útil de comunicación se divida en partes más pequeñas y hace que el servicio de comunicación aerotransportado sea más robusto, escalable y sostenible. Por ejemplo, las antenas 810_i-810_N de RF son los elementos de la misma carga útil de comunicación, cada una transportada por una plataforma 800_i-800_N de UAV separada, respectivamente. Además, este enfoque permite que cada plataforma de UAV planee y de vueltas directamente sobre sus celdas ATU de tierra correspondientes. Las plataformas aerotransportadas pueden mantener su posición planeando o dando vueltas sobre las posiciones predeterminadas especificadas en las coordenadas GPS. Esto da como resultado una línea de visión vertical (LOS) entre una plataforma de UAV y un usuario final, lo que minimiza la distancia de transmisión, las pérdidas por dispersión y el desvanecimiento por múltiples trayectorias. Los enlaces ATU, que están inclinados con respecto a la dirección vertical normal a la superficie de tierra, experimentan una mayor pérdida y, por lo tanto, pueden requerir una mayor potencia de RF para la transmisión y la recepción.

En otra realización que se muestra en la fig. 9, una flota 900 de UAV que consiste en un número N de plataformas 900_i-900_N de UAV proporciona servicios de comunicación en el espacio situado por debajo, donde cada plataforma 900_i de UAV, transporta una antena 910_i , produciendo un haz 920_i de RF, y proyectándose a la celda de tierra 930_i ATU y a la celda de aire 940_i ATU comunes (donde i varía de 1 a N). Las antenas 910_i pueden operar a diferentes frecuencias, canales o bandas de RF para evitar interferencias entre canales, lo que en efecto aumenta la capacidad de tráfico en la celda de tierra 930_i ATU (y en la celda de aire 940_i ATU) mediante multiplexación de frecuencia. Alternativa o adicionalmente, pueden compartir algunas o todas sus frecuencias operacionales y utilizar otros

enfoques de multiplexación: (a) multiplexación de tiempo, (b) multiplexación de polarización, (c) multiplexación espacial/posicional, o similares. La multiplexación de tiempo se puede lograr mediante la asignación de marcos de tiempo especiales en un canal ATU para cada plataforma 900_i de UAV, para transmitir y/o recibir señales de comunicación. La multiplexación de polarización se puede lograr configurando las antenas 910_i para recibir y transmitir radiación de RF polarizada en estados ortogonalmente polarizados (es decir, no interferentes). La multiplexación espacial y posicional se puede realizar mediante el uso de enfoques de entrada múltiple de salida múltiple (MIMO) para aumentar la capacidad del canal. Un usuario final dentro de la celda de tierra 930 ATU y la celda de aire 940 ATU puede ser capaz de utilizar los enlaces, canales y frecuencias ATU disponibles desde una o más plataformas 900_1-900_N de UAV simultánea, concurrente, constante o intermitentemente.

El sistema de comunicación aerotransportada que está en parte realizado por la flota 900 de UAV en la fig. 9 se basa incluso más en un concepto de subdividir una carga útil de comunicación en partes más pequeñas y más manejables. Este enfoque de carga útil distribuida es claramente diferente del de la técnica anterior, donde el criterio convencional ha consistido en utilizar una sola plataforma de UAV e impulsar sus límites de rendimiento para cubrir y dar servicio a la mayor área en tierra posible. Los inventores ven su nuevo enfoque como más ventajoso por varias razones. Desde la perspectiva de la plataforma de UAV, es más fácil y más económico diseñar, fabricar y operar vehículos UAV más pequeños. El peso del fuselaje del UAV se escala aproximadamente a medida que el cubo de su tamaño, mientras que el tamaño (envergadura del ala) aumenta a medida que la raíz cuadrada del área del ala. Por lo tanto, para la misma área del ala (y así la energía solar disponible), 10 UAV más pequeños tendrán el peso combinado de menos de 3 veces el peso de un solo UAV grande ($\sim (10)^{3/2}/10$). La carga del ala es así, mucho menor para los UAV más pequeños, lo que significa que son más eficientes aerodinámicamente. También es posible reducir aún más el consumo total de energía en una flota de UAV mediante la planificación dinámica de tareas entre diferentes UAV, organizando los UAV en formaciones de vuelo para aerodinámicas mejoradas, el intercambio inalámbrico de energía entre diferentes UAV, etc. Como resultado, se necesita mucha menos potencia para que una flota de UAV relativamente pequeños mantenga el vuelo y hay más potencia disponible para la carga útil en comparación con un solo UAV grande.

Desde la perspectiva del sistema, el enfoque de carga útil distribuida aumenta la fiabilidad del sistema e introduce redundancia integrada. Si una pequeña plataforma de UAV falla, las plataformas restantes pueden completar y proporcionar operaciones de respaldo temporales o permanentes para el UAV que falta, de manera que el sistema continuará funcionando normalmente sin interrupciones para los usuarios finales. También es más fácil mantener operaciones de UAV más pequeñas. Se pueden bajar y aterrizar en una planificación de mantenimiento periódico para actualizaciones, reparaciones y reabastecimiento de combustible si es necesario, lo que es mucho más difícil y desafiante hacer con una sola plataforma grande. Un sistema de comunicación con una carga útil aerotransportada distribuida es muy escalable, de manera que el número de UAV requeridos para proporcionar servicios de comunicación puede cambiarse y ajustarse dependiendo de la demanda de servicios, los cambios estacionales o las condiciones atmosféricas. Esta estrategia asegura una buena coincidencia entre los recursos aerotransportados desplegados (suministro de servicios) y el ancho de banda requerido y la cobertura de área (demanda de servicios).

Desde la perspectiva del usuario final, esta invención describe una nueva forma de proporcionar comunicaciones a dispositivos móviles personales (como teléfonos celulares), que es mejor que, bien los sistemas terrenales actuales, bien los sistemas basados en satélites o bien cualquiera de los sistemas aerotransportados propuestos anteriormente. Los enlaces ATU como se muestra en las realizaciones descritas son compatibles con la tecnología celular existente, de manera que los usuarios finales pueden utilizar convenientemente sus dispositivos existentes con el fin de convertirse en parte de esta red de comunicación aerotransportada. El enfoque de la carga útil distribuida hace esto no solo factible, sino también más seguro. En caso de un accidente o emergencia, un UAV más pequeño puede reducirse de forma mucho más segura y con menos riesgo en comparación con un UAV más grande. También, un UAV más grande constantemente planeando arriba en el cielo es mucho más visible que un UAV pequeño y puede representar un dolor en los ojos y ser motivo de preocupación para el público en general.

La flota aerotransportada está configurada para proporcionar una pluralidad de celdas de comunicación (por ejemplo, celdas ATU) proyectando una pluralidad de haces de RF para crear una celda de comunicación en cada haz de RF respectivo. La pluralidad de celdas de comunicación puede ser cada una sustancialmente igual (por ejemplo, tener un tamaño y/o forma sustancialmente iguales), o al menos una celda de comunicación puede ser diferente a otras de la pluralidad de celdas de comunicación {por ejemplo, al menos una celda de comunicación tiene un tamaño y/o forma que es diferente de las otras celdas de comunicación}.

Por ejemplo, las Figuras 10-13 muestran realizaciones ejemplares para la aplicación celular de un área de servicio inalámbrico aerotransportado, que caracteriza otra parte del sistema de comunicación aerotransportada distribuida. La fig. 10 muestra la proyección desde tierra de un mapa 1000 celular, que se compone de celdas de comunicación de tamaño aproximadamente similar (por ejemplo, tamaño sustancialmente igual) y conformadas. Una o más plataformas de UAV pueden producir y dar servicio a cada celda. Una sola plataforma de UAV puede producir una o más de estas celdas. Las formas de las celdas ATU de tierra y las celdas ATU de aire correspondientes son circulares y cónicas, respectivamente. Las celdas contiguas pueden superponerse, de manera que, por ejemplo, las celdas 1010 y 1020 pueden tener una región de superposición 1015. Con el fin de evitar interferencias en la región 1015, los canales utilizados en las celdas 1010 y 1020 pueden diferenciarse entre sí utilizando diferentes

frecuencias, polarizaciones, posicionamiento espacial, etc. Además, cada celda puede segmentarse aún más en sub-celdas, regiones, sectores y segmentos con características diferentes con el fin de aumentar la reutilización del espectro de frecuencias.

5 Ignorando las regiones superpuestas, el mapa celular igual o similar puede representarse por un mapa 1100 en la fig. 11, que comprende celdas hexagonales. En este ejemplo, tres tipos de celdas se identifican como 1110, 1120 y 1130, correspondientes a diferentes intervalos de frecuencia. Estas celdas pueden repetirse en un patrón no interferente como se muestra en la fig. 11 para llenar una región completa sin huecos en la cobertura. A diferencia de los mapas celulares terrestres, estos mapas producidos por plataformas de comunicación aerotransportada no se ven afectados por la propagación de las ondas de radio y la dispersión cerca de la superficie de tierra. Por
10 consiguiente, proporcionan una distribución de intensidad de señal mucho más uniforme y posibilitan una planificación, asignación y previsión más eficaces para los servicios de comunicación.

Una característica particular de la aplicación celular que no se ha realizado previamente o incluso que se ha identificado en la técnica anterior, particularmente con respecto a los sistemas inalámbricos terrestres existentes, es la capacidad de controlar el tamaño, la forma y el diseño de la aplicación celular y cada celda dada dentro del mismo. El patrón de intensidad de la señal de RF y la distribución en los sistemas terrenales son fijos y están dados por las ubicaciones de las torres de comunicación celular y otras antenas y transceptores de red inalámbrica. En la presente invención, la forma, el tamaño y la posición de la celda de comunicación no son fijos y se pueden variar o mantener, ya que se determinan principalmente por las características de emisión de las antenas de RF a bordo de las plataformas de UAV, que pueden ser controladas. Por ejemplo, una antena puede configurarse para que apunte
15 en una nueva dirección (por ejemplo, una dirección de transmisión), que cambiará la posición de una celda de comunicación correspondiente a una nueva ubicación. Se puede usar una antena de agrupación en fase para producir un haz o haces múltiples con formas y tamaños que se pueden cambiar en el comando para ajustarse a las necesidades específicas de una aplicación en esa ubicación. Se puede usar una antena de agrupación de fase digital para cambiar el tamaño, la forma o la ubicación del haz de RF y las celdas ATU correspondientes
20 electrónicamente sin mover ninguna de las partes mecánicas relevantes. Así, en algunas realizaciones, al menos una celda de comunicación puede tener al menos una de entre un tamaño, forma o posición fijos. Y, en algunas formas de realización, al menos una celda de comunicación tiene al menos una de entre un tamaño, forma o posición variable.

En otra realización de la presente invención, la fig. 12 muestra un mapa 1200 celular que comprende celdas ATU de forma rectangular. Se pueden usar cuatro tipos de tales celdas 1210, 1220, 1230 y 1240, cada una operando en cuatro intervalos espectrales de frecuencia diferentes respectivamente, para cubrir de manera eficaz una región de tamaño arbitrario en un patrón no interferente, es decir, un patrón que no tiene región contigua o superpuesta con operación en el mismo intervalo de frecuencia. Se pueden añadir regiones de frecuencia adicionales y/o las celdas se pueden subdividir en divisiones más pequeñas con el fin de aumentar la utilización de la frecuencia y la capacidad general del sistema. Las celdas de la fig. 12 también pueden tener diferentes tamaños y formas, mientras que conservan la misma topología general. También, el mapa celular puede estar formado por celdas completamente irregulares y disímiles. La fig. 13 muestra un mapa celular 1300 compuesto por varias celdas irregulares. Por ejemplo, la fig. 13 ilustra las celdas 1310 y 1320 contiguas, que son diferentes en tamaño y forma.
30

Tales mapas celulares son imposibles de lograr con los sistemas inalámbricos terrestres regulares. Sin embargo, pueden ser ventajosos para minimizar los rechazos de comunicación entre diferentes celdas. Cuando un usuario final cruza de una celda a otra, un sistema de comunicación debe realizar un procedimiento de rechazo, que puede llevar recursos adicionales y afectar a la calidad del servicio. Esta situación ocurre típicamente a lo largo de las carreteras y autopistas, debido al tráfico de vehículos en estas áreas. Un mapa celular puede diseñarse para ajustarse mejor al patrón de los movimientos del usuario final para minimizar los rechazos, por ejemplo, haciendo referencia al mapa en comparación con los mapas de carreteras y los patrones de tráfico del usuario final. Esto se puede lograr en algunas realizaciones de esta invención utilizando un sistema de comunicación aerotransportado con plataforma de UAV equipada con antenas de agrupación en fase, que a su vez pueden controlar y mantener un mapa celular arbitrario, formas de celdas, tamaños, límites y/o sus posiciones con respecto a uno o más puntos de referencia en tierra, por ejemplo, puntos de referencia tales como características naturales y estructuras hechas por el hombre. Por ejemplo, en algunas realizaciones, los límites de las celdas de comunicación pueden alinearse con puntos de referencia en tierra. Además, el mapa celular se puede alterar, cambiar y reconfigurar en cualquier momento en respuesta a los cambios en la demanda del cliente, el estado interno de la red, los factores externos y otras consideraciones. Además, en lugar de mantener un mapa celular que es fijo y está referenciado con respecto a ubicaciones específicas o marcadores en tierra, es posible crear y mantener un mapa celular flotante que puede estar bien constante o bien ocasionalmente moviéndose con respecto a los usuarios finales en tierra. En este caso, se pueden usar otros puntos de referencia para la aplicación celular, tal como por ejemplo, las propias plataformas aerotransportadas o los puntos de referencia virtuales mantenidos y calculados por el software que ejecuta el sistema operativo de la red aerotransportada.
40
45
50
55

El enlace ATU puede caracterizarse por los intervalos de transmisión y recepción, es decir, las distancias máximas para transmitir señales hacia y recibir señales desde un usuario final, respectivamente. Estos intervalos en general dependen de la potencia de la señal transmitida, las condiciones atmosféricas, el formato y la velocidad de
60

transmisión, la interferencia por múltiples trayectorias y otros factores. La ventaja de un sistema de comunicación aerotransportada es que minimiza el efecto de la interferencia de múltiples trayectorias, que representa uno de los factores dominantes en la pérdida de señal en los sistemas de comunicación inalámbrica terrestre. Para un sistema aerotransportado, el intervalo medio de transmisión y recepción es aproximadamente igual a la altitud del sistema aerotransportado, que puede ser del orden de aproximadamente 17 a aproximadamente 20 km. Esta distancia puede ser sustancialmente menor que la distancia media entre diferentes plataformas aerotransportadas, que puede ser del orden de aproximadamente 10 m a aproximadamente 10 km. En contraste, el intervalo de comunicación en un sistema celular terrestre es menor que una distancia entre torres de comunicación celular, por ejemplo, aproximadamente la mitad de la distancia media entre torres de comunicación celular, tal como en el intervalo de aproximadamente 1 a aproximadamente 5 km.

Según la presente invención, la fig. 14 muestra realizaciones ejemplares de varias plataformas aerotransportadas capaces de transportar cargas útiles de comunicación y realizar funciones necesarias para posibilitar una red de comunicación inalámbrica aerotransportada. Una plataforma 1410 es un UAV de ala fija, más pesado que el aire, que comprende al menos un fuselaje 1411, un ala 1412 y una cola 1413 (no se muestran las hélices). La plataforma 1410 es capaz de transportar una carga útil o partes de una carga útil dentro y fuera de los elementos constituyentes de la plataforma 1410. Una antena de RF 1415, como parte de la carga útil, puede montarse en la parte inferior de un fuselaje de la plataforma 1410, o integrarse en un revestimiento de la plataforma 1410, como se muestra en la fig. 14. Una plataforma 1420 es un aerostato o un dirigible más ligero que el aire, que incluye al menos una carcasa de dirigible o un casco 1421, hélices 1422 y una cola 1423. Una antena 1425 de RF puede montarse en la parte inferior del casco o integrarse en una carcasa o cubierta del casco 1421, como se muestra en la fig. 14. Ambas antenas 1415 y 1425 de RF pueden utilizarse para crear uno o más haces de RF de forma arbitraria y dirigida para transmitir y recibir señales desde el espacio de tierra y de aire posterior. Además, un UAV 1430 y un dirigible 1440 pueden estar equipados con múltiples antenas 1435 y 1445 de RF, como se muestra en la fig. 15, para producir múltiples haces de RF. Cada haz puede producir una celda ATU correspondiente para establecer un enlace ATU. La utilización de los UAV como plataforma para comunicaciones aerotransportadas también es ventajosa debido a la capacidad de los UAV para moverse rápidamente y soportar vientos fuertes. La utilización de dirigibles como plataforma para comunicaciones aerotransportadas también puede ser ventajosa debido a su capacidad para conservar la energía en el aire en calma y al suministro de grandes superficies disponibles para la recolección de energía a través de la luz solar. Aunque en general se prefiere la utilización de los UVA, puede haber situaciones y condiciones en las que la utilización de dirigibles sea más ventajosa. Además, un sistema aerotransportado potencialmente más flexible y fiable se puede producir con una combinación de plataformas de UAV y de dirigibles en el mismo espacio aéreo, lo que podría aportar ventajas de ambas tecnologías.

Según algunas realizaciones de la presente invención, la fig. 15 muestra un subsistema 1500 de comunicación para establecer enlaces ATA entre UAV individuales u otras plataformas aerotransportadas en el sistema de comunicación inalámbrica aerotransportada. El subsistema 1500 de comunicación se utiliza para comunicar, intercambiar datos y retransmitir señales entre dos o más aeronaves. El subsistema 1500 de comunicación proporciona conexiones inalámbricas entre partes de una carga útil de comunicación distribuida. Así, cada UAV en un sistema de comunicación aerotransportada distribuida funcional puede necesitar equipos de enlace ATA.

Por ejemplo, la fig. 15 muestra dos UAV 1510 y 1520 con equipos 1515 y 1525 de comunicación ATA a bordo, respectivamente. Utilizando estos equipos, se puede establecer un enlace 1530 ATA inalámbrico entre los UAV 1510 y 1520. El enlace 1530 ATA inalámbrico puede ser un enlace de RF en cualquier banda o frecuencia abierta disponible, que se puede establecer y soportar mediante una antena de RF direccional, incluida en este ejemplo en los equipos 1515 y 1525 de comunicación ATA. Ya que los enlaces ATA son enlaces punto a punto dedicados, se puede lograr una ganancia de antena mucho mayor y una pérdida de transmisión más baja en los enlaces ATA en comparación con los enlaces ATU. Por lo tanto, las antenas ATA pueden ser sustancialmente más pequeñas, más ligeras y consumir menos energía que las antenas ATU. Alternativamente, el enlace ATA puede establecerse utilizando un sistema de comunicación óptica de espacio libre (FSO), que también puede ser parte de los equipos 1515 y 1525 de comunicación ATA. El sistema de comunicación FSO puede utilizar un láser de grado de comunicación (por ejemplo, un láser semiconductor que opera en el intervalo de longitud de onda de 1300-1600 nm) y un receptor óptico de alta tasa de bits. El sistema de comunicación FSO posibilita enlaces ATA de ancho de banda muy alto, hasta 40 Gbit/sg por un solo canal, y requiere menos energía eléctrica para su operación en comparación con las antenas ATA de RF. Para una capacidad de comunicación neta (combinada) dada del módulo de enlace ATU, es decir, una primera capacidad, que es dada por la suma de las capacidades de las secciones ATU individuales, un módulo de enlace ATA puede tener una capacidad de comunicación neta (combinada), es decir, una segunda capacidad, que es al menos igual o superior que la primera capacidad. Por ejemplo, un sistema con el módulo ATU de 10 Gbit/sg puede requerir un módulo ATA con una capacidad de al menos 10 Gbit/sg.

Según realizaciones de la presente invención, la fig. 16 muestra una flota 1600 de UAV como parte de un sistema de comunicación aerotransportada distribuida, que incluye los UAV 1610-1650. Utilizando las secciones de enlaces ATA a bordo, los UAV 1610, 1620, 1630, 1640 y 1650 establecen los enlaces 1615, 1625, 1635 y 1645 ATA, que se mantienen entre los vecinos más cercanos en la flota de UAV. Como resultado, una señal del UAV 1610 se puede retransmitir de plataforma a plataforma al UAV 1650 mediante varios enlaces 1615, 1625, 1635 y 1645 ATA. Alternativamente, se pueden establecer enlaces ATA directos adicionales si es necesario, por ejemplo, entre los

UAV 1610 y 1640 para acortar la trayectoria de retransmisión de la señal. Los enlaces ATA se pueden utilizar para transmisión de señales de corto alcance (<1km), de intervalo medio (1-10km) y de largo alcance (>10km). En este último caso, pueden servir como una alternativa a las líneas de transmisión con base en tierra, especialmente en situaciones donde no existe una infraestructura de comunicación con base en tierra o es un coste prohibitivo crear una infraestructura de comunicación con base en tierra. Los enlaces ATA pueden ser intermitentes, es decir, pueden establecerse y mantenerse según sea necesario, o pueden ser permanentes dependiendo de la configuración de la red. Debido al movimiento respectivo de la aeronave entre sí, algunos o todos los enlaces ATA pueden requerir un seguimiento y/o realineación activos continuos. Con el fin de simplificar esto, los UAV en un par involucrado en el enlace ATA pueden mantener diferentes altitudes y/o posiciones relativas fijas para simplificar el seguimiento y mantenimiento del enlace ATA.

En algunas realizaciones, como se muestra en la fig. 17, se puede proporcionar una estación 1700 de pasarela con base en tierra y utilizarla para establecer canales de comunicación de banda ancha con la flota de UAV anterior. Para este propósito, la estación 1700 de pasarela puede confiar en enlaces inalámbricos de RF, de microondas y/u ópticos, que pueden ser soportados por antenas de RF, antenas de microondas y/o aparatos FSO. Además de las antenas y los aparatos FSO, la estación 1700 de pasarela puede incluir un módulo de operaciones de red para supervisar y controlar la carga útil de comunicación distribuida a bordo de la flota de UAV, una interfaz de comunicación para conectarse a redes cableadas (para teléfono, datos y otros) en tierra e instalaciones para alojar y mantener todo el hardware y equipos de la estación. La flota de UAV puede incluir uno o más UAV, tales como los UAV 1710 y 1720 que se muestran en la fig. 17. Los UAV 1710 y 1720 pueden transportar las secciones 1715 y 1725 de comunicación ATG como partes de su carga útil de comunicación compartida. Las secciones de comunicación ATG también pueden comprender antenas de RF, antenas de microondas o aparatos FSO para establecer los enlaces 1730 y 1740 ATG, respectivamente, con la estación 1700 de pasarela. Los enlaces ATG pueden ser operados como enlaces punto a punto fijos utilizando bien antenas direccionales de alta ganancia o bien aparatos FSO. Los enlaces 1730 y 1740 ATG pueden utilizar el espectro de RF fuera del intervalo de frecuencia utilizado para los enlaces de comunicación ATU para evitar interferencias, por ejemplo, en el intervalo de aproximadamente 5 a aproximadamente 100 GHz. En este caso, estos enlaces pueden ser operados bien a la misma frecuencia (utilizando la diversidad espacial para diferenciar entre diferentes UAV) o bien a diferentes frecuencias. En cualquier caso, una frecuencia de portadora más grande típicamente proporciona un ancho de banda de comunicación mayor para los enlaces ATG. Los enlaces ATG basados en FSO pueden lograr anchos de banda de comunicación aún mayores (de hasta 40 Gbps) bajo condiciones climáticas adecuadas (es decir, ausencia de cobertura de nubes). El módulo de enlace ATG puede tener una capacidad de comunicación neta (una tercera capacidad) que sea al menos igual o superior que la capacidad de comunicación neta del módulo de enlace ATU (la primera capacidad)). Por ejemplo, un sistema con el módulo ATU de 10 Gbit/sg puede tener un módulo ATG con una capacidad de al menos 10 Gbit/sg.

Según las realizaciones de la presente invención, la fig. 18 muestra un sistema de comunicación de banda ancha inalámbrica aerotransportada (sistema de comunicación 1800), que comprende una estación base 1810 de pasarela, una flota de plataformas de comunicación aerotransportada (flota 1820 de UAV) y celdas de comunicación (celda de tierra 1840 ATU y celda de aire 1850 ATU). La estación base 1810 de pasarela puede ubicarse en tierra 1805 y establecer un enlace 1815 ATG con la flota 1820 de UAV, que a su vez puede estar compuesta por varias plataformas 1830₁-1830_N de UAV, donde N es el número de plataformas de UAV en la flota 1820 de UAV. Las plataformas de UAV pueden establecer enlaces 1825 ATA entre sí para retransmitir comunicaciones en el sistema. Además, la flota 1820 de UAV establece un enlace 1835 ATU a una celda de tierra 1840 ATU y una celda de aire 1850 ATU a continuación. El enlace 1835 ATU posibilita las comunicaciones de una vía y de dos vías con los usuarios finales 1845 ubicados en la celda de tierra 1840 ATU o usuarios finales 1855 aerotransportados en la celda de aire 1850 ATU. La estación base 1810 de pasarela, las plataformas 1830 UAV y los usuarios finales son los nodos principales en la red proporcionada por el sistema 1800 de comunicación. Las señales recibidas desde los usuarios finales pueden retransmitirse a través de la flota 1820 de UAV a la estación base 1810 de pasarela, que a su vez las reenvía al centro de encaminamiento de la señal que determina su destino final. El centro de encaminamiento puede co-ubicarse con la estación base 1810 de pasarela. De manera similar, las señales que se originan en el centro de encaminamiento pueden retransmitirse a través de la estación base 1810 de pasarela a la flota 1820 de UAV, que encuentra las celdas ATU correspondientes y reenvía las señales a los usuarios finales apropiados ubicados allí. La trayectoria de la señal también puede acortarse en algunas situaciones al evitar algunos nodos en esta red. Por ejemplo, si la comunicación es entre usuarios finales en la misma celda ATU o las celdas soportadas por la misma flota de UAV, la trayectoria de comunicación puede evitar la estación de pasarela, de manera que la señal puede transitar más directamente y solamente a través de la porción de flota de UAV de la red.

El sistema 1800 de comunicación puede modificarse para incluir una estación de pasarela múltiple para aumentar la capacidad del sistema. Estas estaciones de pasarela pueden estar posicionadas en diferentes ubicaciones en tierra y en otros lugares con el fin de diversificar el diseño de la red y evitar la interferencia entre canales entre las diferentes estaciones y los enlaces ATG correspondientes. Las diferentes estaciones pueden conectarse a diferentes plataformas aerotransportadas para acortar la trayectoria de la señal, o a las mismas plataformas aerotransportadas para aumentar la velocidad y la capacidad de transferencia de información. La flota de UAV puede producir múltiples celdas ATU (tanto en tierra como en el aire). Algunas de las celdas pueden cubrir el área en se ubican encuentran las estaciones de pasarela. El sistema de comunicación 1800 puede dar servicio a

5 diferentes tipos de usuarios dentro de las celdas de comunicación, incluyendo (1) individuos mediante dispositivos de comunicación móvil personales, tales como teléfonos móviles, etiquetas y dispositivos electrónicos portátiles, (2) vehículos autónomos, tales como automóviles sin conductor y varios UAV equipados con transceptores móviles inalámbricos, (3) vehículos de tierra con un aparato de comunicación inalámbrica fija, (4) aeronaves pilotadas, (5) transceptores fijos y móviles con base en tierra para uso comercial, gubernamental, municipal, civil, militar, de emergencia y muchos otros usos.

10 En otra realización de la invención que se muestra en la fig. 19, se proporciona un sistema 1900 de comunicación, que incluye una porción aerotransportada que comprende una estación 1910 de tierra, una flota 1920 de UAV y una región 1930 con celdas ATU. La porción aerotransportada puede funcionar de una manera similar a la descrita anteriormente para el sistema 1800 de comunicación. Además, puede haber segmentos con base en tierra adicionales del sistema 1900 de comunicación, incluyendo las redes inalámbricas y cableadas terrestres. Por ejemplo, una red 1940 celular inalámbrica terrestre puede ser una parte del sistema 1900 de comunicación, donde proporciona una cobertura de área superponiéndose al menos parcialmente, con las celdas 1930 ATU. En estas áreas superpuestas, ambos servicios (aerotransportados y terrestres) pueden coexistir y proporcionar canales de comunicación a los usuarios finales sobre una base co-primaria. Además, la flota 1920 de UAV puede establecer enlaces 1945 inalámbricos aire-torre (ATT) para comunicaciones directas entre los segmentos aerotransportados y terrestres (por ejemplo, como se les da servicio por torres celulares o torres de comunicación celular) del sistema 1900 de comunicación. Además, una red 1950 de banda ancha por cable también puede ser parte del sistema 1900 de comunicación, que se interconecta mediante un enlace 1955 por cable de banda ancha, como se muestra en la fig. 19. Esta red permite a los usuarios finales acceder a Internet, conectarse a otras redes remotas y comunicarse con otros usuarios a los que atienden otros sistemas de comunicación. Entre otras cosas, el sistema 1900 de comunicación también permite, por ejemplo, proporcionar trayectorias de conexión adicionales (con base en tierra) a las redes de telefonía terrestre, tal como la red 1940 celular inalámbrica terrestre.

25 En algunas realizaciones de la invención, y como se muestra en la fig. 20, se proporciona un sistema 2000 de comunicación, que incluye un satélite 2010 de comunicaciones, una flota 2020 de UAV y una región 2030 aplicada con celdas ATU. El satélite 2010 de comunicaciones es una estación de pasarela con base en el espacio, que realiza funciones en este sistema similares a las de las estaciones de pasarela con base en tierra descritas anteriormente. El satélite 2010 de comunicaciones puede orbitar la Tierra como parte de una red de satélites más grande, que comprende muchos satélites de comunicaciones, algunos o todos los cuales también pueden ser capaces de funcionar como estaciones de pasarela. La flota 2020 de UAV puede ser capaz de formar enlaces 2015 aire a espacio (ATS) utilizando antenas de microondas y de RF en el intervalo de frecuencia asignado a las comunicaciones por satélite. La flota de UAV también puede ser capaz de proporcionar enlaces 2025 ATU y servicio 2030 de celdas ATU situados por debajo. En algunas realizaciones, un sistema de comunicaciones puede incluir tanto estaciones de pasarela con base en tierra como con base en el espacio, como se describe en la presente memoria, y que son capaces de establecer enlaces de comunicación adicionales entre ellas. Esto puede posibilitar la introducción de tales redes y sistemas de comunicación en regiones del mundo, donde no existe una infraestructura de red de comunicación por cable.

40 Según realizaciones de la presente invención, la fig. 21 muestra una carga útil de comunicación aerotransportada distribuida (carga útil 2100) para una flota de vehículos 2190 de UAV. En general, la carga útil 2100 puede segmentarse en segmentos de carga útil funcionales, que incluyen el control de la carga útil y la electrónica 2110 de gestión, equipos 2120 de enlace ATU (por ejemplo, módulo de enlace ATU), equipos 2130 de enlace ATA (por ejemplo, el módulo de enlace ATA), equipos 2140 de enlace ATG (por ejemplo, módulo de enlace ATG), equipos 2150 de enlace ATT (por ejemplo, módulo de enlace ATT) y equipos 2160 de enlace ATS (por ejemplo, módulo de enlace ATS). Algunos de los segmentos de carga útil funcionales pueden ser opcionales, tales como por ejemplo los equipos 2150 de enlace ATT y los equipos 2160 de enlace ATS. Algunos o todos los segmentos de carga útil funcionales pueden subdividirse a su vez en secciones más pequeñas: por ejemplo, los equipos 2120 de enlace ATU pueden subdividirse en X partes, denominados como equipos 2120₁ – 2120_x de enlace ATU, donde X está en el intervalo de 1 a N (y N es el número de UAV en la flota 2190 de UAV).

50 Las secciones subdivididas, más pequeñas de los segmentos de carga útil funcionales pueden distribuirse y montarse en los UAV individuales en la flota 2190 de UAV. Por ejemplo, cada segmento de carga útil funcional puede dividirse en N secciones iguales y distribuirse de manera uniforme entre los N UAV, de manera que un UAV 2190_i contiene secciones 2110_i-2160_i de carga útil funcionales, (i varía de 1 a N). En este caso, los UAV que comprenden la flota de UAV son similares entre sí en cuanto a capacidades y funcionalidades, lo que aumenta las redundancias y la robustez del sistema. Alternativamente, algunos o todos los segmentos de carga útil funcionales pueden ser desiguales y diferentes en sus características físicas y operacionales. Como resultado, la distribución de la carga útil 2100 a través de la flota 2190 de UAV puede ser desigual, de manera que al menos algunos de los UAV individuales pueden diferir entre sí en este caso. Este enfoque de diseño del sistema permite que algunos de los UAV sean más especializados y potencialmente más eficientes desempeñando una o más funciones dentro del sistema de comunicación aerotransportada, tal como la transmisión de señales; la recepción de señales; enlaces con usuarios, estaciones de pasarela y plataformas aerotransportadas; procesamiento de voz, texto, mensajes de red y datos; estado del sistema de seguimiento; sincronización y gestión de elementos de red individuales; etc.

Según realizaciones de la presente invención, la fig. 22 muestra un subsistema 2200 de equipos de enlace de RF aerotransportados, que se puede utilizar para implementar enlaces de comunicación basados en RF descritos anteriormente. Comprende partes y componentes que pueden incluirse bien en equipos 2120 de enlace ATU, en equipos 2130 de enlace ATA, en equipos 2140 de enlace ATG, en equipos 2150 de enlace ATT o bien en equipos 2160 de enlace ATS. El subsistema 2200 de equipos de enlace de RF aerotransportado puede incluir una antena 2210, un amplificador de potencia 2220, un transceptor 2230 y una interfaz 2240 de banda base. Como cualquier parte de una carga útil de comunicación, estas partes del subsistema 2200 de equipos de enlace de RF aerotransportado pueden subdividirse además en secciones (o bloques) más pequeñas, como se muestra en la fig. 22, cada una de ellas transportada por un UAV individual. Por ejemplo, las secciones 2210_i, 2220_i, 2230_i y 2240_i se pueden combinar en un solo segmento, tal como 2120_i (así como 2130_i, 2140_i, 2150_i, o 2160_i), y se pueden montar a bordo de un solo UAV, tal como un UAV 2190_i, donde *i* varía de 1 a N. Estas secciones (2210_i, 2220_i, 2230_i y 2240_i) pueden cablearse e interconectarse eléctricamente a bordo de un UAV y también conectarse a su subsistema de tren de potencia. Por otro lado, la interconexión y la comunicación entre diferentes secciones de cualquier segmento de la carga útil ubicada sobre diferentes plataformas de UAV (por ejemplo, 2110₁ y 2110₂, o 2120₁ y 2120₂) se puede realizar de forma inalámbrica mediante enlaces ATA. Aunque cada parte del subsistema 2200 de equipos de enlace de RF aerotransportado se muestra subdividida en un número igual de secciones más pequeñas, diferentes partes del subsistema 2200 de equipos de enlace de RF aerotransportado pueden subdividirse en diferentes números de secciones más pequeñas o no están subdivididas en absoluto.

El sentido común convencional en el diseño de sistemas es conservar el hardware y reutilizar componentes para realizar múltiples funciones con el fin de hacer que el sistema sea más eficiente y de diseño más sencillo. Por ejemplo, un sistema de comunicación con una sola antena de agrupación en fase es capaz de producir múltiples haces de RF y así servir múltiples enlaces de comunicación (por ejemplo, múltiples celdas ATU). Desde cualquier enfoque convencional, el mismo sistema dividido en partes constituyentes más pequeñas con múltiples antenas de agrupación en fase sería menos eficiente, más complejo y, por lo tanto, menos deseable. Sin embargo, al considerar los sistemas de comunicación aerotransportada, tales como los descritos anteriormente, los inventores han descubierto que las reglas convencionales no siempre se aplican. Por ejemplo, los inventores encuentran que el consumo de energía de la carga útil puede ser una condición mucho más exigente y una especificación más difícil de cumplir que el peso de la carga útil para la plataforma de UAV. Los inventores también encuentran que el consumo de energía de la carga útil depende principalmente de la capacidad del sistema de comunicación, la utilización y la tasa de transferencia de información. Por lo tanto, hay poca o ninguna penalización en el consumo de energía de la carga útil cuando un sistema de este tipo se subdivide en partes más pequeñas. Además, incluso la penalización de peso asociada con tal subdivisión se minimiza, porque el peso de una antena de RF es en parte proporcional a su carga de señal de RF, es decir, la corriente de RF neta producida por sus amplificadores de potencia. Por otro lado, los inventores encuentran que los beneficios de una carga útil de comunicación distribuida superan con creces cualesquiera inconvenientes. Al considerar la eficiencia total de un sistema aerotransportado combinado, es decir, la carga útil y las plataformas de UAV, la eficiencia de una flota de UAV con una carga útil distribuida excede la eficiencia de un solo UAV con una carga útil solitaria. Esto viene como resultado de una ley de escalamiento para una aeronave grande (o cualquier otro objeto tridimensional), que establece que el peso de un UAV tiende a ser proporcional a la tercera potencia de su tamaño. Por otro lado, el peso de una flota de UAV es linealmente proporcional al número de UAV. Por consiguiente, para la misma capacidad, el peso de un sistema de comunicación basado en una sola UAV es mucho mayor que el peso de un sistema de comunicación basado en una flota de UAV. Por lo tanto, este último es más eficiente y más ventajoso para las comunicaciones aerotransportadas.

Aunque una carga útil distribuida puede ubicarse físicamente a bordo de diferentes plataformas aerotransportadas, desde el punto de vista de la red, todavía representa un solo componente de la red, por ejemplo, un solo nodo. Los usuarios finales y los operadores de red interactúan con toda una flota de UAV y su carga útil de comunicación, en lugar de con componentes individuales. Ven una sola interfaz y una sola imagen del sistema, como si la carga útil distribuida fuese una sola entidad y, por consiguiente, no fueran capaces de distinguir sus partes constituyentes, es decir, cualesquiera subdivisiones en la carga útil. Para lograr esta tarea, la electrónica de control de carga útil gestiona y coordina internamente las operaciones de cada componente de carga útil usando el middleware de agrupaciones informáticas especializados. La fig. 23 muestra un módulo 2300 de control de carga útil, que puede incluir secciones de control: una sección 2310 de administración, una base de datos 2320 de agrupación, un gestor 2330 de eventos, un planificador 2340 de tareas y un controlador 2350 de bloques. El controlador 2350 de bloques controla bloques (es decir, secciones) de otros módulos de carga útil, por ejemplo, una sección de un módulo de enlace ATU. Tal módulo de control de carga útil es un subsistema similar a una agrupación informática, ya que tiene varias partes de hardware distintas e independientes (similares a los nodos informáticos), que se ejecutan mediante un software de algoritmo distribuido y que trabajan juntas de síncrona o asíncronamente en tareas compartidas. El módulo 2310 de administración posibilita la supervisión en tiempo real de los módulos de carga útil y el acceso completo al software y los datos cargados en las secciones del módulo de control. La base de datos 2320 de agrupación almacena, proporciona y actualiza continuamente varios tipos de datos necesarios para las operaciones de carga útil de comunicación aerotransportada, tales como los datos de aplicación celular, el posicionamiento del usuario final, el posicionamiento de la pasarela, el posicionamiento del UAV individual, los estados del subsistema, etc. El gestor 2330 de eventos proporciona capacidades de control de subsistema asíncrono, donde cualquier subsistema puede solicitar atención para un servicio en cualquier momento, por ejemplo, en caso de un mal funcionamiento o un conflicto activado por software. El planificador 2340 de tareas se puede utilizar para gestionar

los recursos disponibles para todos los subsistemas a bordo, planificar y sincronizar diversas tareas, y proporcionar análisis estadísticos y predicciones para futuras asignaciones de recursos. El controlador 2350 de bloques (es decir, la sección) se puede utilizar para micro-gestionar las operaciones de secciones y subsistemas individuales. Todos o algunos de los módulos de control pueden operar en paralelo.

- 5 Las operaciones de carga útil distribuida también requieren canales de comunicación dedicados a las comunicaciones internas entre UAV individuales. Tal canal (o tales múltiples canales) puede ser soportado por equipos de enlace ATA. Así, los equipos de enlace ATA también puede subdividirse en dos segmentos - cada uno para comunicaciones internas y externas, respectivamente, como se muestra en la fig. 24. El subsistema 2400 ATA comprende al menos dos segmentos: un canal de control 2410 ATA y un canal de retransmisión 2420 ATA. El canal de control 2410 ATA atiende las necesidades internas del módulo 2300 de control de carga útil, proporcionando enlaces de comunicaciones de banda ancha, rápidos entre las secciones de control en diferentes UAV, es decir, elementos de agrupación. El canal de control ATA posibilita la operación de computación distribuida del módulo 2300 de control de carga útil en su conjunto y sus diferentes segmentos y secciones. El canal de retransmisión 2420 ATA sirve como un conducto para todo el tráfico de red externa entre plataformas dentro de la flota de UAV, que incluye mensajes de texto, llamadas telefónicas, transferencias de datos, navegación por Internet, transmisión por internet de video y radio, difusión, multidifusión, etc. El canal de retransmisión 2420 ATA puede requerir un ancho de banda de comunicación sustancialmente más amplio que el canal de control 2410 ATA para acomodar todo el tráfico de red que transita a través de la red. Los dos canales pueden operarse completamente separados entre sí, por ejemplo, utilizando diferentes intervalos de RF o utilizando diferentes tipos de enlaces ATA, tales como enlaces de radio para el canal de control ATA y enlaces FSO para el canal de retransmisión ATA.

Los canales de control ATA posibilitan la formación de una agrupación de red de área local aerotransportada, donde los elementos de la agrupación incluyen secciones individuales del módulo de control de carga útil. La arquitectura de red interna de tal agrupación puede ser bien centralizada o bien descentralizada. En el primer caso, la configuración de las conexiones inalámbricas internas entre los elementos de la agrupación es fija, de manera que el encaminamiento de la señal interna y la mensajería son gestionados por una o más secciones de control de carga útil, es decir, un controlador de red (por ejemplo, una sección 2310 de administración). En este último caso, la agrupación aerotransportada puede adoptar una configuración de red ad hoc, en donde cada elemento de la agrupación puede participar en el encaminamiento de la señal, dando como resultado una arquitectura mucho más dinámica. Ambos enfoques tienen sus ventajas. La operación centralizada de la agrupación puede reducir el tiempo de respuesta y aumentar la capacidad del sistema. Por otro lado, la operación descentralizada de la agrupación puede aumentar la redundancia y fiabilidad del sistema.

Según realizaciones de la presente invención, la fig. 25 muestra una red 2500 de comunicación aerotransportada distribuida que comprende varios nodos: un nodo 2510 de usuario final, un nodo 2520 aerotransportado, un nodo 2530 de pasarela, un nodo 2540 externo, un nodo 2550 de torre de celdas, y un nodo 2560 de satélite. El nodo 2550 de torre de celdas y el nodo 2560 de satélite pueden ser opcionales, como lo indican las flechas de puntos. Son posibles varias configuraciones de red, en las que algunos de estos nodos pueden estar ausentes o algunos de estos nodos pueden estar presentes en cantidades superiores a uno. Por ejemplo, una red de comunicación aerotransportada distribuida con éxito mínimo requiere solamente dos nodos: el nodo 2510 de usuario final y el nodo 2520 aerotransportado. Por otro lado, las redes más grandes pueden incluir múltiples nodos de usuario final, nodos aerotransportados, nodos de pasarela y otros. Los nodos de usuario final pueden ser con base en tierra, en el espacio aéreo o en ambos. El flujo de comunicación en la red 2500 de comunicación aerotransportada distribuida puede ocurrir de la siguiente manera. Una señal del nodo 2510 de usuario final, por ejemplo, un teléfono celular, se transfiere mediante un enlace 2515 inalámbrico al nodo 2520 aerotransportado. El nodo 2520 aerotransportado retransmite la señal al nodo 2530 de pasarela mediante un enlace 2535 inalámbrico, que a continuación lo envía al nodo 2540 externo mediante una conexión por cable 2545. El nodo 2540 externo proporciona una interfaz con redes externas, que pueden encaminar la señal de usuario final a su destino final (en este escenario fuera de la red 2500 de comunicación aerotransportada distribuida). Tras la recepción de una respuesta, se puede reenviar otra señal en la dirección opuesta de la siguiente manera. El nodo 2540 externo que utiliza un enlace 2546 transfiere la señal de respuesta al nodo 2530 de pasarela, que a su vez la envía al nodo 2520 aerotransportado mediante un enlace 2536. El nodo 2520 aerotransportado a continuación encuentra al usuario final y reenvía la señal al nodo 2510 de usuario final mediante un enlace 2516. Por supuesto, ambos procesos de transferencia pueden ocurrir simultáneamente sin interferencia entre ellos. Aunque las operaciones internas del nodo 2520 aerotransportado son opacas e invisibles para el usuario final, implican transferencias de señal adicionales mediante enlaces 2525 y 2526 inalámbricos entre plataformas de UAV 2520₁, 2520₂ individuales, ... y 2520_N, donde N es el número de UAVs en el nodo 2520 aerotransportado.

Según realizaciones de la presente invención, la fig. 26 muestra una red 2600 de comunicación aerotransportada distribuida que comprende varios nodos: una pluralidad de nodos 2610, 2620 y 2630 aerotransportados, y una pluralidad de nodos 2615, 2625 y 2635 de usuario final. De la pluralidad de nodos 2615, 2625 y 2635 de usuario final, al menos un nodo de usuario final puede ser con base en tierra y al menos un nodo de usuario final puede ser con base en el espacio aéreo). Los nodos están interconectados por enlaces 2650 ATA y enlaces 2660 ATU. Los nodos aerotransportados son proporcionados por diferentes cargas útiles de comunicación distribuida transportadas por diferentes flotas de UAV. Los enlaces 2650 ATA se utilizan para interconectar las flotas de UAV, las cargas útiles

y los nodos asociados de manera similar al modo en que los UAV individuales están vinculados dentro de una flota. Los enlaces 2660 ATU proporcionan enlaces de usuario final en áreas de nodo de usuario final asignadas a los respectivos nodos aerotransportados como se ha descrito anteriormente. El número de nodos de usuario final asociados con un nodo aerotransportado puede ser superior a uno. También, el número de nodos aerotransportados en la red 2600 de comunicación aerotransportada distribuida puede ser cualquier número superior a uno (es decir, no solo los tres nodos que se muestran en la fig. 26). Los nodos aerotransportados pueden ser similares entre sí, o alternativamente pueden ser diferentes en tamaño, número, altitud, resistencia, capacidades, etc. De manera similar, los nodos de usuario final también pueden ser diferentes entre sí en su alcance, tamaño y forma, que en general depende del terreno en tierra, la densidad y distribución de la población, los caminos y los patrones de tráfico, los tipos de usuario final, etc.

Las operaciones de los nodos aerotransportados, es decir, las operaciones de una carga útil de comunicación distribuida a bordo de una flota de UAV, pueden optimizarse proporcionando un grado de división funcional entre sus componentes constituyentes y las plataformas de UAV asociadas. Tal división o especializaciones entre diferentes UAV en una flota puede reflejarse en su hardware, software o en ambos. En cuanto al hardware, los UAV pueden diferir en sus fuselajes, sistemas de potencia, sistemas de propulsión, contenidos de la carga útil, diseño de carga útil o distribución y ubicación de la carga útil. En cuanto al software, incluso los UAV con un diseño de hardware y una composición de carga útil idénticos pueden diferir en el contenido del software y los tipos de funciones en los que se especializan dentro de la flota. Diferentes especializaciones de UAV pueden ser atractivas para la optimización de las operaciones de los nodos aerotransportados, tales como los UAV del receptor, los UAV del transmisor, los UAV de retransmisión, los UAV maestros, los UAV esclavos, etc. La subdivisión funcional es posible no solamente en la capa física de la red aerotransportada, sino también en sus capas lógicas. Algunos UAV pueden especializarse en organizar capas de transporte, encaminamiento de red, empaquetamiento de datos, etc. Opcionalmente, uno o más UAV pueden realizar una o más funciones de estación base, por ejemplo, posibilitando el encaminamiento directo de señal entre usuarios finales en la misma área de servicio sin pasar a través de una estación de pasarela. Por consiguiente, varias topologías de nodos aerotransportados pueden ser posibles si sus constituyentes pueden especializarse en una o más funciones.

Según algunas realizaciones de la presente invención, la fig. 27 muestra una topología 2700 de diseño de nodos aerotransportados, que incluye tres tipos de plataformas de UAV portadoras con carga útil: una plataforma 2710 de retransmisión, una plataforma 2720 transmisora y una plataforma 2730 receptora. La plataforma 2710 de retransmisión comprende una sección de la carga útil de comunicación, que interactúa con otros UAV, flotas de UAV, estaciones de pasarela y otros nodos externos, y retransmite la señal entre ellos mediante los enlaces 2705, 2715 y 2725 inalámbricos. La plataforma 2720 transmisora comprende una sección de la carga útil de comunicación, que define una celda de comunicación en tierra y en el aire situada por debajo y transmite señales al usuario final dentro de la celda mediante un enlace 2735 inalámbrico. La plataforma 2730 receptora comprende una sección de la carga útil de comunicación, que también define una celda de comunicación en tierra y en el aire situada por debajo y recibe señales de un usuario final dentro de la celda mediante un enlace 2745 inalámbrico. Las celdas de comunicación definidas por la plataforma 2720 transmisora y la plataforma 2730 receptora pueden ser iguales en tamaño y forma y cubrir la misma área geográfica. Alternativamente, pueden ser diferentes entre sí. En este caso, por ejemplo, una celda receptora puede ser el doble del tamaño de la celda transmisora, de manera que una celda aerotransportada puede incluir dos plataformas transmisoras y una plataforma receptora con el tamaño combinado de las dos celdas transmisoras igual al tamaño de la celda receptora.

Según algunas realizaciones de la presente invención, la fig. 28 muestra otra topología 2800 de diseño de nodos aerotransportados, que incluye dos tipos de plataformas de UAV portadoras con carga útil: una plataforma 2810 maestra y una pluralidad de plataformas esclavas (solo las plataformas 2820 y 2830 esclavas se muestran en la fig. 28). La plataforma 2810 maestra aloja la mayor parte del módulo de control de carga útil (es decir, una sección maestra de la carga útil de comunicación distribuida) que gestiona y opera las plataformas esclavas (teniendo cada una secciones esclavas de la carga útil de comunicación distribuida). Las plataformas esclavas, tales como las plataformas 2820 y 2830 esclavas, pueden contener la mayoría de las secciones de equipos ATU, ATA y ATG. La plataforma 2810 maestra se comunica directamente con los operadores de red mediante un enlace 2805 inalámbrico y controla las plataformas 2820 y 2830 esclavas mediante enlaces 2815. Las plataformas 2820 y 2830 esclavas pueden comunicarse con usuarios finales y, entre ellas, utilizando enlaces 2825 ATU y enlaces 2835 ATA, respectivamente. Este enfoque de diseño puede ser atractivo, ya que simplifica el software necesario para ejecutar las porciones maestra y esclava del módulo de control de carga útil, y también puede simplificar el diseño de la red aerotransportada y su mantenimiento.

La topología del nodo aerotransportado puede ser flexible, ajustable y reconfigurable. El mismo UAV puede ser capaz de realizar diferentes funciones, de manera que puede desempeñar diferentes funciones en el nodo. Por ejemplo, el mismo UAV puede ser capaz de funcionar bien como un UAV receptor, un UAV transmisor o bien como ambos. Esto se puede lograr utilizando, por ejemplo, módulos de carga útil multiusos, secciones y subsistemas generales, tales como una antena de RF configurable para operar en los modos transmisor y receptor. La función particular que desempeña este UAV en cualquier nodo dado puede elegirse al azar, dependiendo de muchos factores que incluyen la topología del nodo en general, los estados de UAV, la carga de canales, el clima, etc. Además, la topología de nodo en general puede cambiarse dependiendo de estos factores y decisiones de los

- operadores de red. Por ejemplo, el tamaño del nodo y su capacidad se pueden aumentar añadiendo más UAV en respuesta a la mayor demanda. Se pueden añadir nuevas bandas de frecuencia y capacidades de comunicación incorporando UAV adicionales con equipos y funcionalidad especializados. Se pueden realizar actualizaciones y reparaciones en UAV individuales sin derribar a toda la flota. Se puede utilizar una flota de UAV de respaldo especial de merodeadores cerca de los nodos aerotransportados operativos para acortar el tiempo de respuesta en caso de emergencia o de saltos repentinos en el tráfico de comunicación. También, la topología de nodo se puede cambiar sin cambiar el número de UAV en la flota, reasignando las funciones de los UAV individuales, por ejemplo, cambiando de la topología 2700 de diseño de nodos aerotransportados a la topología 2800 de diseño de nodos aerotransportados.
- En lo que respecta a la topología de diseño de nodos aerotransportados, los inventores también observan que el enfoque de carga útil distribuida posibilita que los proveedores de red hagan coincidir mejor la capacidad de la red con la demanda existente de los usuarios finales gestionando la carga del canal. La demanda del cliente de ancho de banda de comunicación, es decir, la tasa de transferencia de información, varía de un día a otro, de una hora a otra. Por ejemplo, esta demanda típicamente alcanza su punto máximo durante el día y disminuye durante la noche. Cuando la demanda disminuye, el sistema aerotransportado introduce al régimen de sobrecapacidad sustancial. Es ventajoso para un sistema aerotransportado reducir su capacidad con el fin de mantener la eficiencia operativa y maximizar la resistencia del sistema. Ya que el consumo de potencia del hardware inactivo o el hardware que opera con cargas bajas es aún considerable, es atractivo apagar completamente algunas secciones o subsecciones del sistema, tales como los transceptores de RF de alta potencia, mientras que operan a una carga de canal alta y casi al máximo de capacidad en secciones restantes. Por ejemplo, una flota de 10 UAV con 10 antenas ATU puede ser capaz de operar más eficientemente durante la noche con solo cinco antenas en funcionamiento en cualquier momento dado. Este enfoque permite que otros cinco UAV apaguen completamente sus secciones de carga útil para ahorrar energía. Estos UAV pueden alternar sus funciones, por ejemplo, cambiando sus estados entre activo e inactivo cada hora y así, mejoran la eficiencia del sistema en general. El número de UAV en la flota anterior se ha utilizado solamente para ilustración; este principio puede aplicarse a una flota con cualquier otro número de UAV superior a uno. También es posible hacer lo contrario, donde tras el aumento del tráfico, la flota de UAV puede crecer de tamaño trayendo aeronaves portadoras con carga útil adicional. Los UAV adicionales pueden ser traídos desde otras flotas, desde respaldos inactivos y desde la base en tierra.
- Las operaciones de un sistema inalámbrico aerotransportado distribuido también requieren un cuidadoso control de vuelo de una flota de plataformas aerotransportadas. Según las realizaciones de la presente invención, la fig. 29 muestra una flota 2900 de UAV compuesta por 5 UAV 2910. Por supuesto, una flota de UAV puede contener cualquier número de aeronaves mayor que uno. Además de su carga útil, cada UAV 2910 tiene electrónica de control de vuelo dedicada (véase, por ejemplo, electrónica 310 de control de vuelo en la fig. 3). Una de sus funciones es proporcionar a cada UAV un conocimiento de la situación e impedir colisiones en el aire entre diferentes UAV dentro de la flota. La electrónica de control de vuelo del UAV establece una región 2920 protectora (es decir, una burbuja virtual) alrededor del UAV, que se considera fuera de los límites para otras aeronaves. La región puede establecerse, por ejemplo, utilizando software especializado y datos GPS de los UAV; a continuación, el software puede difundir las coordenadas de la región de protección a los miembros de la flota para evitar colisiones. Además, el módulo de control de vuelo puede incluir sensores de proximidad para mejorar aún más las capacidades de prevención de colisiones contra los UAV y los objetos voladores que funcionan mal fuera de la flota de UAV.
- Los patrones de vuelo de cada UAV 2910 en la flota 2900 de UAV pueden ser similares o diferentes entre sí. Cada UAV puede tener un plan de vuelo precargado que describe en detalle la trayectoria de vuelo que debe seguir. El vuelo puede ser actualizado periódicamente desde tierra por los proveedores de la red o modificado de forma autónoma por el control de vuelo y la electrónica de control de carga útil. El plan de vuelo puede ser el mismo para cada UAV, de manera que los UAV pueden volar juntos sincrónicamente y mantener la misma velocidad y distancias entre sí. Este enfoque simplifica el mantenimiento del enlace ATA y la sincronización de la carga útil en toda la flota. Alternativamente, los planes de vuelo pueden ser diferentes y someterse a cambios para cada UAV, lo que mejora la robustez del sistema y reduce su sensibilidad a las perturbaciones externas (por ejemplo, condiciones meteorológicas adversas, turbulencias, etc.). El plan de vuelo puede incluir dar vueltas y planear en el espacio aéreo sobre las celdas de comunicación designadas. Así, los límites de las celdas pueden definir los límites del plan de vuelo del UAV. En formaciones de flota estrecha con UAV muy espaciados, se puede utilizar un patrón de vuelo sincronizado especial que se puede controlar desde un controlador de vuelo maestro a bordo de una plataforma de UAV maestra.
- Las trayectorias de vuelo de algunos o todos los UAV 2910 se pueden planificar de tal manera que al menos algunos de estos UAV puedan ser capaces de volar en la estela de la corriente de aire de otros UAV dentro de la flota 2900. Por ejemplo, el UAV 2910₂ puede ser capaz de volar detrás del UAV 2910₁ lo suficientemente cerca para reducir la resistencia aerodinámica y aumentar la elevación de su fuselaje, mientras que reduce la potencia de propulsión necesaria para mantener un vuelo nivelado. Este efecto es hecho posible gracias a los vórtices de la punta producidos por el UAV 2910₁ delantero. Se sabe por los patrones de vuelo y las formaciones utilizadas por las aves y los peces que un 15% o más de la energía mecánica se puede conservar de tal manera. De manera similar, las formaciones de UAV de dos o más aeronaves se pueden utilizar para conservar energía y reducir sustancialmente los requisitos de potencia en vuelos de larga duración. El patrón y la formación del vuelo de UAV pueden ser bien

5 persistentes, es decir, sustancialmente invariables durante largos períodos de tiempo (horas, días, semanas o meses), o bien intermitentes, es decir, varían y se adaptan a condiciones ambientales específicas, situaciones de trabajo y estados de la flota. En el último caso, por ejemplo, uno o más patrones de vuelo de formación se pueden utilizar solamente por la noche o durante los solsticios de invierno, cuando la conservación de energía es más importante. Alternativamente, puede haber al menos dos formaciones de vuelo diferentes, cada una optimizada para las operaciones de día y de noche, respectivamente.

10 La reducción de potencia de vuelo se puede alcanzar cuando al menos dos UAV vuelan cerca uno del otro como se muestra en la fig. 30. El UAV 3010₁ produce una estela detrás de las puntas de sus alas, que puede ser utilizada por el UAV 3010₂ para la reducción de la potencia de vuelo. Ambos UAV pueden estar sustancialmente dentro del mismo plano horizontal, aunque el efecto todavía puede observarse incluso con algún desplazamiento vertical entre los UAV. También, la cola del UAV 3010₂ puede desplazarse lateralmente con respecto a la parte delantera del UAV 3010₁, como se muestra en la fig. 30. El efecto se puede observar y utilizar en un intervalo de distancias entre los dos UAV. La distancia más corta 3021 está determinada en parte por el intervalo de seguridad de la aeronave, por ejemplo, la región 2920 de protección en la fig. 29, las capacidades de la electrónica de control de vuelo a bordo, por ejemplo, las especificaciones del piloto automático y otros factores. La distancia más larga 3022 está determinada por el tamaño y la resistencia de la estela. Ambas distancias se pueden medir en términos de la envergadura del ala de los UAV. Por ejemplo, la distancia segura más corta puede ser igual aproximadamente a una envergadura del ala, mientras que la distancia más larga puede ser igual a unas pocas decenas (por ejemplo, aproximadamente 10-50) de las envergaduras de las alas de los UAV.

20 La fig. 31 muestra algunos otros ejemplos de patrones de formación de vuelo para las flotas de UAV. Las formaciones 3110 y 3120 son formaciones en forma de V de diferentes tamaños (con 3 y 5 UAV, respectivamente), en las que uno o más UAV de cola utilizan la estela de un UAV delantero. Las formaciones 3130 y 3140 son formaciones en forma de V invertida, en las que un UAV de cola puede utilizar al menos dos estelas de los UAV delanteros. De esta manera, es posible reducir significativamente el consumo de potencia de propulsión de los UAV de cola al menos el doble de la cantidad posible en las formaciones 3110 y 3120, lo que puede ser importante para situaciones de trabajo que requieren un mayor consumo de potencia de carga útil de los UAV de cola. Las formaciones 3150 y 3160 son formaciones híbridas, que comparten algunas de las características con las formaciones en forma de V y en forma de V invertida. Por supuesto, también son posibles otras formaciones con diferente número de UAV.

30 Según realizaciones de la presente invención, las flotas de UAV pueden mantener la comunicación y el cómputo de las cargas útiles en estación a altitudes por encima de la capa de nubes, incluso durante las noches más largas y los días más oscuros del invierno en latitudes templadas (por ejemplo, en NY, San Francisco, Beijing, Tokio, latitud ~40, o similares). En tales realizaciones, las flotas de UAV pueden ser alimentadas, al menos en parte, por energía solar renovable. En verano o en cualquier momento en latitudes tropicales, estas flotas de UAV tienen aproximadamente 2,5 veces más energía solar disponible para ellos. El exceso de energía se puede utilizar para proporcionar servicios adicionales. En algunas realizaciones de la presente invención, los servidores de Internet y computacionales se colocan en flotas de UAV, algunos de los cuales vuelan sobre latitudes tropicales o migran estacionalmente para mitigar las condiciones invernales. En las condiciones de vuelo objetivo entre 15 y 25 km, la temperatura del aire es de aproximadamente - 40 grados Celsius, la velocidad del aire será de aproximadamente 100 km/h, y la insolación media suele ser superior al 40% del máximo sobre el nivel de tierra, debido a la ausencia de la capa de nubes. Por lo tanto, la colocación de servidores computacionales (tales como los servidores en la nube) en las flotas de UAV de verano será más económica que las granjas de servidores terrestres con aire acondicionado, espacio de tierra arrendado y tarifas de red externas. Esta ventaja económica se acelerará cuando la energía solar con el almacenamiento de la batería alcance la paridad de la red eléctrica, y las flotas de UAV vuelen globalmente. La colocación de servicios de comunicación y computacionales en flotas de UAV también mejora la velocidad en relación con los servicios terrestres de la técnica anterior, ya que los enlaces ATA ópticos en el espacio libre y de radio tienen velocidades de transmisión aproximadamente 1,5 veces superiores que la fibra óptica.

50 Según las realizaciones de la presente invención, el tamaño y la extensión de un nodo de comunicación inalámbrica aerotransportada, es decir, una flota de UAV, pueden determinarse por varios factores, incluyendo los requisitos de aplicación, las especificaciones y capacidades individuales de UAV, la distribución de carga útil, las regulaciones de seguridad, las especificaciones regionales, los recursos energéticos renovables disponibles, etc. En cualquier caso, el tamaño de la flota viene dado por la separación máxima en el plano horizontal entre dos UAV cualquiera dentro de la flota, que a su vez puede ser referenciado y comparado con el tamaño de las celdas de comunicaciones correspondientes producidas en tierra por uno o más UAV. La fig. 32 muestra un sistema 3200 de comunicación distribuida que comprende una flota de dos UAV 3221 y 3222, que dan servicio a una sola celda 3210 de comunicación. El tamaño de esta flota como se ha determinado por la distancia entre los UAV 3221 y 3222 puede ser más pequeño que el tamaño de la celda 3210 de comunicación. Esta distancia puede ser determinada bien por la distancia del enlace de comunicación ATA, la separación más óptima para la formación del vuelo, las condiciones climáticas o bien por otros factores y una combinación de ellos. Esta distancia también puede ser más pequeña que la altitud media de la flota de UAV. Por ejemplo, los UAV pueden estar separados por menos de 1 km, mientras que vuelan a una altitud de 20 km y producen una celda de 10 km de ancho. Los UAV constituyentes en el sistema 3200 de comunicación distribuida pueden realizar funciones similares o alternativamente diferentes. Por ejemplo, el UAV

3221 puede funcionar como un transmisor ATU y el UAV 3222 puede funcionar como un receptor ATU dentro de la misma celda 3210 de comunicación.

5 Según las realizaciones de la presente invención, la fig. 33 muestra otra realización ejemplar de un sistema 3300 de comunicación distribuida que comprende una flota de dos UAV 3321 y 3322, que dan servicio a dos celdas 3311 y 3312 de comunicación diferentes, respectivamente. El tamaño de esta flota como se ha determinado por la distancia entre los UAV 3321 y 3322 puede ser más pequeño que el tamaño o extensión combinados de las celdas 3311 o 3312 de comunicación. Puede ser más pequeño que el tamaño de cualquiera de las celdas 3311 o 3312 de comunicación (es decir, el diámetro de una celda para una celda redonda). También puede ser más pequeña que la separación media entre las celdas 3311 y 3312 de comunicación (es decir, la distancia entre los centros de las celdas). La flota de UAV puede posicionarse directamente sobre una de las celdas, la región superpuesta entre las celdas o de lado con respecto a cualquiera de las celdas, como se muestra en la fig. 33.

15 Según las realizaciones de la presente invención, la fig. 34 muestra otra realización ejemplar de un sistema 3400 de comunicación distribuida que comprende una flota de dos UAV 3421 y 3422, que dan servicio a dos celdas 3411 y 3412 de comunicación diferentes, respectivamente. En este caso, el tamaño de la flota puede ser similar o mayor que el tamaño de las celdas de comunicación respectivas o la separación entre las celdas. En este caso, puede ser preferible posicionar cada UAV directamente sobre una celda de comunicación correspondiente, como se muestra en la fig. 34. Los UAV en los sistemas 3200, 3300 y 3400 de comunicación distribuida pueden producir y dar servicio a más de una las celdas de comunicación. Además, el número de celdas de comunicación a los que dan servicio estos UAV pueden ser diferentes entre sí. Además, algunos de los UAV se pueden utilizar para proporcionar enlaces ATG, en cuyo caso el tamaño de la flota se puede comparar con la distancia entre la estación de pasarela con base en tierra y la flota de UAV. La flota de UAV con una carga útil de comunicación distribuida puede ser más pequeña en su extensión en comparación con la distancia media a su estación de pasarela.

25 Según otro aspecto de la presente invención, la fig. 35 muestra un método 3500 para comunicarse utilizando un sistema inalámbrico aerotransportado distribuido. El método 3500 incluye recibir una señal de usuario final mediante una carga útil distribuida en 3510, por ejemplo desde un usuario final en una celda en tierra o una celda en el aire como se ha descrito anteriormente. La recepción de la señal del usuario final puede posibilitar mediante el uso de equipos de enlace ATU proporcionar enlaces inalámbricos entre los UAV y los usuarios finales. A continuación, la señal del usuario final puede retransmitirse a lo largo de la carga útil distribuida en 3520, por ejemplo, dentro de una flota de UAV, entre flotas de UAV, o como se ha descrito anteriormente de otra manera. La retransmisión de la señal del usuario final se puede posibilitar mediante la utilización de equipos de enlace ATA, que proporcionan enlaces inalámbricos entre diferentes UAV. Opcionalmente, la señal del usuario final puede transmitirse a la estación de pasarela en tierra o a otro usuario final en tierra y/o el espacio aéreo que la rodea en 3530, si es requerido. El enlace a la estación de pasarela en tierra puede proporcionarse utilizando equipos de comunicación ATG. También son posibles acciones adicionales, tales como la recepción y transmisión de señales desde/hacia satélites de comunicaciones, otras aeronaves, estaciones celulares terrestres, otros sistemas inalámbricos aerotransportados, etc.

35 Además, otro método de comunicación utilizando tal sistema incluye un método de transmisión de una señal al usuario final, que es el proceso inverso al descrito en la fig. 35. Por ejemplo, el método puede comenzar recibiendo una señal para ser transmitida a un usuario final desde la estación de pasarela de tierra. A continuación, la señal se puede retransmitir a lo largo de la carga útil distribuida. Por último, la señal se puede transmitir a la estación de pasarela con base en tierra para su encaminamiento final a otros usuarios finales o, alternativamente, se puede encaminar directamente a otro usuario final sin pasar a través de la estación de pasarela.

45 Según otro aspecto de la presente invención, la fig. 36 muestra un método 3600 para proporcionar un nodo de comunicación inalámbrica aerotransportada distribuida. El método 3600 incluye la estimación de los requisitos de la aplicación para una carga útil de comunicación en general dentro de un área de servicio dada, como se indica en 3610. A continuación, como se indica en 3620, se proporciona una flota de UAV que está comprendida de varias plataformas de UAV con una potencia de carga útil neta y capacidades de potencia y peso de carga útil neta que son iguales o superiores a los requisitos de potencia y peso de carga útil de comunicación especificados, respectivamente. Finalmente, como se indica en 3630, la carga útil de comunicación especificada se subdivide en secciones de carga útil, de manera que cada sección puede montarse en una sola plataforma de UAV con requisitos de potencia y peso que son iguales o inferiores que las capacidades de potencia y peso de carga útil de una plataforma de UAV respectiva. La subdivisión de la carga útil en secciones funcionales separadas se puede lograr sin sacrificar la funcionalidad general de la carga útil en su conjunto. La subdivisión de la carga útil en secciones funcionales separadas también tiene en cuenta una sobrecarga (una penalización por requisitos de peso y potencia adicionales) que resulta de las comunicaciones adicionales dentro de los nodos entre los UAV individuales de la flota.

50 Además, el método 3600 puede incluir varias acciones adicionales u opcionales como se muestra más adelante en la fig. 36. Por ejemplo, como se indica en 3640, el método 3600 puede incluir además proporcionar equipos adicionales para comunicaciones ATA entre UAV individuales dentro de la flota, hardware y software para organizar y sincronizar las operaciones de los UAV individuales, un controlador de nodo y otros elementos para regular las

operaciones de nodo. El método 3600 también puede incluir lanzar de la flota al espacio aéreo, transportar la flota al área de servicio, distribuir la flota dentro del área de servicio para una mejor cobertura y rendimiento, como se indica en 3650. Los UAV se pueden lanzar y transportar de forma simultánea y simultánea o no simultáneamente y por separado. Además, el método 3600 puede incluir proporcionar capacidades de piloto automático a uno o más UAV dentro de la flota, lo que posibilita patrones de vuelo cooperativos, evitación colisiones, vuelos de formación, recolección de energía solar o eólica más eficiente (por ejemplo, como se ha descrito en la patente de los EE.UU. N° de serie 8.448.898 mencionada anteriormente), etc., como se indica en 3660.

Según otro aspecto más de la presente invención, la fig. 37 muestra un método 3700 para proporcionar un nodo de comunicación inalámbrica aerotransportada distribuida. El método 3700 incluye proporcionar un número de plataformas de UAV con capacidades de carga útil predeterminadas fijas, tales como la potencia de carga útil, el peso, la temperatura de operación, etc., como se indica en 3710. A continuación, el método 3700 incluye proporcionar un intervalo de secciones de carga útil de comunicación con requisitos que pueden satisfacerse con las capacidades de una sola plataforma de UAV, como se indica en 3720. Algunas de tales secciones de carga útil se ilustran en la fig. 4, que puede incluir secciones de equipos de enlace ATU, ATA y ATG, así como secciones de un módulo de control de comunicaciones. Finalmente, el método 3700 incluye montar secciones de carga útil sobre plataformas de UAV y formar una flota de UAV con capacidades de carga útil de comunicación neta de un nodo de comunicación inalámbrica aerotransportada, tales como formatos aceptables de datos/voz, velocidades de transferencia de datos máximas, área de cobertura de celdas de tierra, intervalo de enlace máximo, número máximo de usuarios, densidad de usuarios, etc., como se indica en 3730. Las capacidades de carga útil neta se pueden deducir y estimar a partir de la suma de las capacidades de sus secciones constituyentes. En algunas realizaciones, los requisitos de la aplicación para un nodo de red pueden exceder las capacidades de cualquier sección de carga útil única. Como resultado, un solo UAV puede no ser capaz de proporcionar un nodo completamente funcional, de manera que puede requerirse una flota de UAV dadas las capacidades limitadas de una sola plataforma de UAV y las capacidades superiores de una flota de UAV.

Según otro aspecto de la presente invención, la fig. 38 muestra acciones adicionales (generalmente etiquetadas como 3800), que podrían complementar los métodos 3600 y 3700. Tales acciones incluyen subdividir el área de tierra y el área del espacio aéreo alrededor y por debajo de la flota de UAV en celdas de comunicación, produciendo así un mapa celular aerotransportado, como se indica en 3810; asignar secciones de carga útil de comunicación a las celdas de comunicación respectivas y proporcionar servicios de comunicación (por ejemplo, enlaces ATU) dentro de las celdas de comunicación mediante las secciones de carga útil respectivas, como se indica en 3820; seleccionar bandas de frecuencia, canales y formatos para comunicaciones ATU dentro de las celdas de comunicación para optimizar el rendimiento del enlace ATU y minimizar la interferencia entre celdas contiguas, como se indica en 3830; mantener los límites de cada celda de comunicación y las zonas o regiones de superposición entre celdas de comunicación contiguas o superpuestas, como se indica en 3840; cambiar al menos uno de entre el tamaño, la forma o la posición de una o más celdas de comunicación (incluyendo la eliminación de una o más celdas de comunicación del mapa celular), como se indica en 3850; y soportar los servicios de comunicación dentro de las celdas de comunicación existentes establecidas por los proveedores inalámbricos terrestres, como se indica en 3860.

El proceso de subdivisión celular y la aplicación del área de tierra y el espacio aéreo que lo rodea pueden incluir la coordinación con los mapas celulares existentes de los proveedores de servicios inalámbricos terrestres y otros aerotransportados. Además, la aplicación celular aerotransportada se puede correlacionar con otra infraestructura terrestre, tales como mapas de carreteras, mapas de ciudades, distribuciones de densidad de población, patrones de tráfico de vehículos de tierra, etc. El proceso de asignación de secciones de carga útil a celdas particulares (y viceversa) puede incluir la selección de secciones de equipos de enlace ATU para el enlace ascendente y el enlace descendente ATU, respectivamente. Múltiples secciones de carga útil transportadas por múltiples plataformas de UAV pueden dar servicio a una celda. Alternativamente, una sección de carga útil ATU en una sola plataforma de UAV puede dar servicio a múltiples celdas, utilizando, por ejemplo, una antena de agrupación en fase.

El proceso de frecuencia, canal y sección de formato dentro de cada celda se puede utilizar para optimizar el rendimiento del nodo aerotransportado minimizando la interferencia de las celdas contiguas, los sistemas inalámbricos existentes y otras fuentes potenciales de ruido de transmisión de radio. Puede, por ejemplo, incluir un método para seleccionar diferentes bandas de frecuencia en celdas contiguas separadas por un número de bandas de protección de frecuencia (al menos una). Este proceso también puede incluir la satisfacción de los requisitos de las autoridades locales y nacionales a cargo de la regulación de las comunicaciones inalámbricas en el área de servicio (por ejemplo, la elección de frecuencias solamente dentro del espectro de RF asignado).

El proceso descrito en 3840 se puede utilizar para mantener un mapa celular aerotransportado fijo o constante. Alternativamente, el mapa celular puede ser flexible y variable en respuesta a los cambios en la demanda de servicios de comunicación dentro del área de servicio. Por ejemplo, en respuesta a cambios en la demanda, el mapa celular se puede volver a dibujar y optimizar bien desde una estación de control con base en tierra o utilizando un controlador de nodo aerotransportado. El controlador de nodo aerotransportado puede ser bien un servidor maestro central ubicado en una de las plataformas de UAV o un sistema distribuido de nodos de control ubicado en varias plataformas de UAV. Los cambios en el tamaño, forma, número y las posiciones de las celdas de comunicación

- 5 pueden ocurrir en diferentes escalas de tiempo: pueden ocurrir cambios menores (por ejemplo, ajustes de límites) y repetirse cada minuto y así sucesivamente, mientras que los cambios de aplicación principales (por ejemplo, reducción del número de celdas) pueden ocurrir solamente cada 12 horas o más. Además, el controlador del nodo aerotransportado puede producir diferentes mapas celulares en diferentes estaciones, es decir, diferentes mapas para el invierno, la primavera, el verano y el otoño.
- 10 Así, las realizaciones y ejemplos de la presente invención proporcionan diversos aparatos, sistemas y métodos para proporcionar y operar comunicaciones inalámbricas aerotransportadas como se ha descrito anteriormente. Muchos ejemplos de tales aparatos, sistemas y métodos se proporcionan en la presente memoria para ilustración y están destinados solamente a describir ciertas realizaciones específicas y no pretenden ser limitativos de la invención. Por ejemplo, en algunas realizaciones, se proporciona una carga útil de comunicación distribuida. Los ejemplos enumerados no limitativos de una carga útil de comunicación distribuida según realizaciones de la presente invención incluyen:
- 15 1A. Una carga útil de comunicación distribuida, que comprende: un módulo de electrónica de control de carga útil; un módulo de enlace aire-usuario para proporcionar enlaces de comunicación inalámbrica entre plataformas aerotransportadas y dispositivos de usuario final; y un módulo de enlace aire-aire para proporcionar enlaces de comunicación inalámbrica entre plataformas aerotransportadas; en donde los módulos de enlace aire-usuario y aire-aire están subdivididos en múltiples secciones que pueden estar dispuestas en diferentes plataformas aerotransportadas.
- 20 2A. La carga útil de comunicación distribuida del ejemplo 1A, que comprende además un módulo de enlace aire-tierra para proporcionar un enlace de comunicación entre una plataforma aerotransportada y una estación de pasarela con base en tierra.
- 25 3A. La carga útil de comunicación distribuida del ejemplo 1A, que comprende además un módulo de enlace aire-torre para proporcionar un enlace de comunicación entre una plataforma aerotransportada y un sistema celular inalámbrico terrestre.
- 4A. La carga útil de comunicación distribuida del ejemplo 1A, que comprende además un módulo de enlace aire-espacio para proporcionar un enlace de comunicación entre una plataforma aerotransportada y un satélite de comunicaciones.
- 30 5A. La carga útil de comunicación distribuida del ejemplo 1A, en donde las múltiples secciones del módulo de enlace aire-usuario son aproximadamente iguales en tamaño y peso.
- 6A. La carga útil de comunicación distribuida del ejemplo 1A, en donde las múltiples secciones del módulo de enlace aire-aire son aproximadamente iguales en tamaño y peso.
- 7A. La carga útil de comunicación distribuida del ejemplo 1A, en donde las secciones del módulo de enlace aire-usuario comprenden además una sección con equipos configurados solamente para transmitir señales a dispositivos de usuario final.
- 35 8A. La carga útil de comunicación distribuida del ejemplo 1A, en donde las secciones del módulo de enlace aire-usuario comprenden además una sección con equipos configurados solamente para recibir señales procedentes de dispositivos de usuario final.
- 9A. La carga útil de comunicación distribuida del ejemplo 1A, en donde el módulo de electrónica de control de carga útil se subdivide además en múltiples secciones.
- 40 10A. La carga útil de comunicación distribuida del ejemplo 9A, en donde las secciones del módulo de electrónica de control de carga útil están configuradas para interconectarse de manera inalámbrica mediante las secciones del módulo de enlace aire-aire para formar una red.
- 11A. La carga útil de comunicación distribuida del ejemplo 10A, en donde la red es una red a medida de igual a igual.
- 45 12A. La carga útil de comunicación distribuida del ejemplo 10A, en donde la red es un nodo de red.
- 13A. La carga útil de comunicación distribuida del ejemplo 10A, en donde una de las secciones del módulo de electrónica de control de carga útil es un controlador de red.
- 14A. La carga útil de comunicación distribuida del ejemplo 1A, en donde las secciones del módulo aire-usuario y las secciones del módulo aire-aire están dispuestas en una pluralidad de grupos y en donde cada grupo incluye una sección del módulo aire-aire.
- 50 15A. La carga útil de comunicación distribuida del ejemplo 1A, que comprende además una antena, un amplificador y un transceptor.

- 16A. La carga útil de comunicación distribuida del ejemplo 1A, en donde las secciones del módulo aire-aire comprenden cada una además equipos de comunicación óptica de espacio libre.
- 5 17A. La carga útil de comunicación distribuida del ejemplo 1A, en donde las secciones del módulo aire-aire comprenden cada una además un canal de control para comunicaciones internas y un canal de retransmisión para comunicaciones externas.
- 18A. La carga útil de comunicación distribuida del ejemplo 1A, en donde el módulo de electrónica de control de carga útil comprende además un módulo de administración, una base de datos, un gestor de eventos, un planificador de tareas y controladores de sección.
- 10 19A. La carga útil de comunicación distribuida del ejemplo 1A, que comprende además una sección maestra y una sección esclava.
- 20A. La carga útil de comunicación distribuida del ejemplo 1A, en donde el módulo de enlace aire-usuario se caracteriza además porque un intervalo de transmisión y una distancia media entre las secciones de carga útil es sustancialmente menor que el intervalo de transmisión.
- 15 21A. La carga útil de comunicación distribuida del ejemplo 1A, en donde el módulo de enlace aire-usuario está configurado para proporcionar un enlace de comunicación con dispositivos inalámbricos de mano.
- 22A. La carga útil de comunicación distribuida del ejemplo 21A, en donde el enlace de comunicación es compatible con un sistema celular inalámbrico terrestre.
- 23A. La carga útil de comunicación distribuida del ejemplo 1A, en donde el módulo de enlace aire-usuario está configurado para proporcionar un servicio de difusión.
- 20 24A. La carga útil de comunicación distribuida del ejemplo 23A, en donde el servicio de difusión incluye al menos uno de difusión por televisión, difusión por radio, multidifusión o transmisión por internet de vídeo, audio y datos.
- 25A. La carga útil de comunicación distribuida del ejemplo 1A, en donde el módulo de enlace aire-usuario está configurado para tener una primera capacidad combinada de comunicación, el módulo de enlace aire-aire está configurado para tener una segunda capacidad combinada de comunicación, y en donde la segunda capacidad de comunicación es superior o igual que la primera capacidad de comunicación.
- 25 26A. La carga útil de comunicación distribuida del ejemplo 25A, que comprende además un módulo de enlace aire-tierra para proporcionar un enlace de comunicación entre una plataforma aerotransportada y una estación de pasarela con base en tierra con una tercera capacidad combinada de comunicación superior o igual a la primera capacidad de comunicación.
- 30 27A. La carga útil de comunicación distribuida del ejemplo 1A, en donde el módulo de enlace aire-usuario está configurado para proporcionar una pluralidad de haces de radiofrecuencia dirigidos hacia tierra y para controlar una distribución de intensidad de campo angular dentro de los haces.
- 35 28A. La carga útil de comunicación distribuida del ejemplo 1A, en donde el módulo de enlace aire-usuario está configurado para proporcionar una pluralidad de haces de radiofrecuencia que operan al menos a dos frecuencias diferentes.
- 29A. La carga útil de comunicación distribuida del ejemplo 1A, en donde al menos una sección del módulo de enlace aire-usuario está configurada bien solamente para recibir señales de radiofrecuencia o bien solamente para transmitir señales de radiofrecuencia.
- 40 30A. La carga útil de comunicación distribuida del ejemplo 1A, en donde el módulo de enlace aire-usuario está configurado para proporcionar un enlace de comunicación con otra aeronave.
- En algunas realizaciones, se proporciona una flota de comunicación y métodos para operar una flota de comunicación. Los ejemplos enumerados no limitativos de una flota de comunicación y los métodos para operar una flota de comunicación según ejemplos de la presente invención incluyen:
- 45 1B. Una flota de comunicación, que comprende: una carga útil de comunicación aerotransportada subdividida en múltiples secciones de carga útil; y una pluralidad de plataformas aerotransportadas, incluyendo cada una de las cuales sección de carga útil, en donde cada plataforma aerotransportada comprende un fuselaje, un sistema de propulsión, un sistema de energía y electrónica de control de vuelo, en donde el sistema de propulsión está configurado para proporcionar potencia de propulsión y empuje para mantener el vuelo nivelado, ascender, descender y maniobrar la plataforma aerotransportada, en donde el sistema de energía proporciona energía eléctrica al sistema de propulsión, la electrónica de control de vuelo y la sección de carga útil, y en donde la electrónica de control de vuelo proporciona capacidad para controlar una posición, velocidad y patrón de vuelo de la plataforma aerotransportada.
- 50

- 2B. La flota de comunicación del ejemplo 1B, en donde al menos una plataforma aerotransportada es una plataforma aerotransportada no tripulada.
- 3B. La flota de comunicación del ejemplo 1B, donde al menos una plataforma aerotransportada es una aeronave pilotada.
- 5 4B. La flota de comunicación del ejemplo 1B, en donde al menos una plataforma aerotransportada es una plataforma aerotransportada de ala fija.
- 5B. La flota de comunicación del ejemplo 1B, donde al menos una plataforma aerotransportada es una aeronave más ligera que el aire.
- 10 6B. La flota de comunicación del ejemplo 1B, en donde al menos una plataforma aerotransportada está configurada para mantener la posición y la altitud a unos 20 km.
- 7B. La flota de comunicación del ejemplo 1B, en donde las plataformas aerotransportadas están configuradas para mantener la posición al planear o dar vueltas sobre las posiciones predeterminadas especificadas en las coordenadas GPS.
- 15 8B. La flota de comunicación del ejemplo 1B, en donde al menos una plataforma aerotransportada está configurada para mantener una distancia desde al menos otra plataforma aerotransportada que es menor que la distancia desde las plataformas aerotransportadas a tierra.
- 9B. La flota de comunicación del ejemplo 1B, en donde al menos dos plataformas aerotransportadas están en formación de vuelo con una de las plataformas volando en la estela de otra.
- 20 10B. La flota de comunicación del ejemplo 1B, en donde cada plataforma aerotransportada está configurada para mantener una distancia de otras plataformas aerotransportadas de menos de 100 alas de envergadura de las plataformas aerotransportadas.
- 11B. La flota de comunicación del ejemplo 1B, en donde cada plataforma aerotransportada está configurada para mantener una distancia de otras plataformas aerotransportadas de menos de 10 alas de envergadura.
- 25 12B. La flota de comunicación del ejemplo 1B, en donde la carga útil de comunicación aerotransportada comprende además la electrónica de comunicaciones de enlace aire-usuario, la electrónica de comunicaciones de enlace aire-aire y la electrónica de control de carga útil.
- 13B. La flota de comunicación del ejemplo 1B, en donde la carga útil de comunicación aerotransportada comprende además equipos de enlace aire-tierra.
- 30 14B. La flota de comunicación del ejemplo 1B, en donde la carga útil de comunicación aerotransportada comprende además equipos de enlace aire-torre.
- 15B. La flota de comunicación del ejemplo 1B, en donde la carga útil de comunicación aerotransportada comprende además equipos de enlace aire-espacio.
- 16B. La flota de comunicación del ejemplo 1B, en donde la electrónica de control de vuelo está configurada para proporcionar una región protectora alrededor de las plataformas aerotransportadas para evitar colisiones.
- 35 17B. La flota de comunicación del ejemplo 1B, en donde la electrónica de control de vuelo está configurada para proporcionar patrones de vuelo síncronos para las plataformas aerotransportadas.
- 18B. La flota de comunicación del ejemplo 1B, donde el sistema de energía está configurado para proporcionar una fuente de energía renovable configurada para suministrar energía durante al menos 24 horas.
- 40 19B. La flota de comunicación del ejemplo 1B, en donde el sistema de energía comprende además un sistema de energía híbrido.
- 20B. La flota de comunicación del ejemplo 1B, en donde el sistema de energía comprende además un sistema de energía solar.
- 45 21B. Un método para operar una flota de comunicación, que comprende: dividir una carga útil de comunicación aerotransportada en múltiples secciones de carga útil; proporcionar una pluralidad de plataformas aerotransportadas, en donde cada plataforma aerotransportada comprende un fuselaje, un sistema de propulsión, un sistema de energía y electrónica de control de vuelo, en donde el sistema de propulsión está configurado para proporcionar potencia de propulsión y empuje para mantener el vuelo nivelado, ascender, descender y maniobrar la plataforma aerotransportada, en donde el sistema de energía proporciona energía eléctrica al sistema de propulsión, la electrónica de control de vuelo y la sección de carga útil, y en donde la electrónica de control de vuelo proporciona capacidad para controlar una posición, velocidad y patrón de vuelo de la plataforma aerotransportada; y colocar
- 50

cada sección de carga útil en una plataforma aerotransportada de la pluralidad de plataformas aerotransportadas.

22B. El método del ejemplo 21B, que comprende además mantener una posición y una altitud al menos de una plataforma aerotransportada a unos 20 km.

5 23B. El método del ejemplo 21B, que comprende además que la pluralidad de plataformas aerotransportadas planee o de vueltas sobre las posiciones predeterminadas respectivas especificadas en las coordenadas GPS para mantener la posición.

24B. El método del ejemplo 21B, que comprende además mantener una distancia de cada plataforma aerotransportada de al menos otra plataforma aerotransportada que es menor que la distancia desde las plataformas aerotransportadas a tierra.

10 25B. El método del ejemplo 21B, que comprende además mantener al menos dos plataformas aerotransportadas en formación de vuelo con una de las plataformas volando en la estela de la otra.

26B. El método del ejemplo 21B, que comprende además mantener cada plataforma aerotransportada a una distancia de menos de 100 alas de envergadura de otras plataformas aerotransportadas.

15 27B. El método del ejemplo 21B, que comprende además, proporcionar al menos uno de entre los enlaces aire-usuario, los enlaces aire-aire, los enlaces aire-tierra, los enlaces aire-torre o los enlaces aire-espacio.

28B. El método del ejemplo 21B, que comprende además proporcionar una región protectora alrededor de las plataformas aerotransportadas para evitar colisiones.

29B. El método del ejemplo 21B, que comprende además hacer volar las plataformas aerotransportadas en patrones de vuelo síncronos.

20 30B. El método del ejemplo 21B, que comprende además proporcionar energía mediante el sistema de energía durante al menos 24 horas mediante un suministro de energía renovable.

En algunos ejemplos, se proporcionan un área de servicio inalámbrico aerotransportado y métodos para proporcionar servicios de comunicación inalámbrica. Los ejemplos enumerados no limitativos de un área de servicio inalámbrico aerotransportado y los métodos para proporcionar servicios de comunicación inalámbrica según los ejemplos de la presente invención incluyen:

25

1C. Un área de servicio inalámbrico aerotransportado, que comprende: una flota aerotransportada, compuesta por una pluralidad de aeronaves, en donde la flota aerotransportada está configurada para transmitir una pluralidad de primeros haces a una primera radiofrecuencia (RF), en donde la pluralidad de primeros haces se caracteriza por la primera banda de frecuencia correspondiente, el canal, el ancho de banda, el formato de transmisión, la distribución de intensidad de campo angular desigual y los límites, en donde los primeros haces contiguos tienen una región de solapamiento, y en donde al menos una de las siguientes características es diferente entre los primeros haces contiguos: banda de frecuencia, canal o formato de transmisión; y una pluralidad de primeras celdas de comunicación definidas por los límites respectivos de la pluralidad de primeros haces, en donde cada una de las primeras celdas de comunicación se caracteriza por su tamaño, forma y posición.

30

35 2C. El área de servicio inalámbrico aerotransportado del ejemplo 1C, en donde los primeros haces se caracterizan además por una dirección de transmisión que apunta hacia tierra.

3C. El área de servicio inalámbrico aerotransportado del ejemplo 1C, en donde los primeros haces pueden ser recibidos por dispositivos de comunicación inalámbrica.

40 4C. El área de servicio inalámbrico aerotransportado del ejemplo 1C, en donde la primera celda de comunicación es una celda de tierra y está definida por los primeros límites del haz proyectados en tierra.

5C. El área de servicio inalámbrico aerotransportado del ejemplo 1C, en donde la primera celda de comunicación es una celda de aire y está definida por un límite de un primer haz proyectado en un espacio aéreo alrededor al menos de una aeronave de la flota aerotransportada.

45 6C. El área de servicio inalámbrico aerotransportada del ejemplo 1C, en donde al menos dos primeros haces son producidos por diferentes aeronaves de la flota aerotransportada.

7C. El área de servicio inalámbrico aerotransportado del ejemplo 1C, en donde al menos una de las primeras celdas de comunicación tiene al menos uno de entre un tamaño, forma o posición fijos.

8C. El área de servicio inalámbrico aerotransportado del ejemplo 1C, en donde al menos una de las primeras celdas de comunicación tiene al menos una de tamaño, forma o posición variable.

50 9C. El área de servicio inalámbrico aerotransportado del ejemplo 1C, en donde los tamaños y formas de cada una

de las primeras celdas de comunicación son casi iguales.

- 10C. El área de servicio inalámbrico aerotransportado del ejemplo 1C, en donde el tamaño o la forma de al menos una de las primeras celdas de comunicación es sustancialmente diferente al tamaño y la forma de al menos otra de las primeras celdas de comunicación.
- 5 11C. El área de servicio inalámbrico aerotransportado del ejemplo 1C, en donde la región de solapamiento es sustancialmente más pequeña en tamaño que al menos una de las primeras celdas de comunicación.
- 12C. El área de servicio inalámbrico aerotransportado del ejemplo 1C, en donde la región de solapamiento es casi igual en tamaño que al menos una de las primeras celdas de comunicación.
- 10 13C. El área de servicio inalámbrico aerotransportado del ejemplo 1C, en donde al menos dos primeros haces producen primeras celdas de comunicación con un tamaño, forma y posición sustancialmente iguales.
- 14C. El área de servicio inalámbrico aerotransportado del ejemplo 1C, en donde al menos una de las primeras celdas de comunicación es de forma redonda, ovalada, rectangular o poligonal.
- 15C. El área de servicio inalámbrico aerotransportado del ejemplo 1C, que comprende además una pluralidad de segundas celdas de comunicación, en donde las segundas celdas de comunicación se caracterizan por tener segundos haces a una radiofrecuencia utilizada para las comunicaciones y por tener una segunda banda de frecuencia, canal, ancho de banda, formato de transmisión, distribución de intensidad de campo angular desigual y límites de segunda celda correspondientes.
- 15 16C. El área de servicio inalámbrico aerotransportada del ejemplo 15C, en donde los segundos haces se caracterizan además por una dirección de transmisión que apunta hacia la flota aerotransportada.
- 20 17C. El área de servicio inalámbrico aerotransportado del ejemplo 15C, en donde las primeras y segundas celdas de comunicación están dispuestas en pares y el primer y segundo límite de celda en cada par son casi iguales en tamaño y forma.
- 18C. El área de servicio inalámbrico aerotransportada del ejemplo 15C, en donde al menos dos segundos haces son recibidos por diferentes aeronaves.
- 25 19C. El área de servicio inalámbrico aerotransportado del ejemplo 15C, en donde los primeros y segundos haces son transmitidos y recibidos por diferentes aeronaves, respectivamente.
- 20C. Un área de servicio inalámbrico aerotransportado, que comprende: una flota aerotransportada compuesta por múltiples aeronaves; y una pluralidad de celdas de comunicación, en donde las celdas de comunicación se caracterizan por tener haces de radiofrecuencia (RF) que tienen una frecuencia utilizada para las comunicaciones y que tienen banda de frecuencia, canal, ancho de banda, formato de transmisión, distribución de intensidad de campo angular desigual y límites correspondientes, en donde las múltiples aeronaves comprenden equipos configurados para recibir haces de RF.
- 30 21C. Un método para proporcionar servicios de comunicación inalámbrica, que comprende: transmitir una pluralidad de primeros haces a una primera radiofrecuencia (RF) desde una flota aerotransportada compuesta por una pluralidad de aeronaves, en donde la pluralidad de primeros haces se caracteriza por la primera banda de frecuencia, canal, ancho de banda, formato de transmisión, distribución de intensidad de campo angular desigual y límites correspondientes, en donde los primeros haces vecinos tienen una región de solapamiento, y en donde al menos una de las siguientes características es diferente entre los primeros haces contiguos: banda de frecuencia, canal o transmisión formato; y crear una pluralidad de primeras celdas de comunicación definidas por los límites respectivos de la pluralidad de primeros haces, en donde cada una de las primeras celdas de comunicación se caracteriza por su tamaño, forma y posición.
- 35 40 22C. El método del ejemplo 21C, que comprende además transmitir al menos uno de los primeros haces en una dirección que apunta hacia tierra.
- 23C. El método del ejemplo 22C, en donde al menos una primera celda de comunicación es una celda de tierra definida por los primeros límites de haz proyectados en tierra.
- 45 24C. El método del ejemplo 21C, en donde al menos una primera celda de comunicación es una celda de aire definida por un límite de uno de la pluralidad de primeros haces proyectados en un espacio aéreo alrededor al menos de una aeronave de la flota aerotransportada.
- 25C. El método del ejemplo 21C, que comprende además transmitir al menos algunos respectivos de la pluralidad de primeros haces por diferentes aeronaves de la flota aerotransportada.
- 50 26C. El método del ejemplo 21C, que comprende además alinear los límites de la primera celda de comunicación

con puntos de referencia en tierra.

27C. El método del ejemplo 21C, que comprende además cambiar constantemente al menos uno de entre el tamaño, la forma o la posición de la primera celda de comunicación.

5 28C. El método del ejemplo 21C, que comprende además: crear una pluralidad de segundas celdas de comunicación, en donde las segundas celdas de comunicación se caracterizan por tener segundos haces a una radiofrecuencia utilizada para las comunicaciones y por tener una segunda banda de frecuencia, canal, ancho de banda, formato de transmisión, distribución de intensidad de campo angular desigual y límites de segunda celda correspondientes, en donde los segundos haces se caracterizan además por una dirección de transmisión que apunta hacia la flota aerotransportada.

10 29C. El método del ejemplo 28C, en donde las primeras y segundas celdas de comunicación están dispuestas en pares y los primeros y segundos límites de celda en cada par son casi iguales en tamaño y forma.

30C. El método del ejemplo 28C, en donde los primeros haces y los segundos haces son transmitidos y recibidos por diferentes aeronaves, respectivamente.

15 En algunos ejemplos, se proporcionan un nodo de comunicación inalámbrica aerotransportada, una red de comunicación inalámbrica aerotransportada y métodos para proporcionar un nodo de comunicación inalámbrica aerotransportada. Los ejemplos enumerados no limitativos de un nodo de comunicación inalámbrica aerotransportada, una red de comunicación inalámbrica aerotransportada y los métodos para proporcionar un nodo de comunicación inalámbrica aerotransportada según los ejemplos de la presente invención incluyen:

20 1D. Un nodo de comunicación inalámbrica aerotransportada, que comprende: una flota aerotransportada compuesta de una pluralidad de plataformas aerotransportadas que tienen electrónica de control de vuelo configurada para controlar el vuelo de plataformas aerotransportadas individuales y coordinar un plan de vuelo de la flota aerotransportada en su conjunto; y una carga útil de comunicación distribuida, en donde la carga útil de comunicación se subdivide en partes constituyentes, en donde las partes están distribuidas y posicionadas en las partes respectivas de la pluralidad de plataformas aerotransportadas, en donde la carga útil de comunicación distribuida comprende: equipos de enlace aire-usuario para proporcionar enlaces de comunicación con usuarios finales, equipos de enlace aire-usuario que comprenden además una antena de RF; equipos de enlace aire-aire para proporcionar comunicaciones entre plataformas aerotransportadas individuales; y electrónica de control de carga útil para controlar los equipos de enlace aire-usuario y aire-aire y gestionar los servicios de comunicación.

30 2D. El nodo de comunicación inalámbrica aerotransportada del ejemplo 1D, en donde al menos una plataforma aerotransportada incluye una parte del equipo de enlace aire-usuario para transmitir señales de comunicación a los dispositivos del usuario final.

3D. El nodo de comunicación inalámbrica aerotransportada del ejemplo 1D, en donde al menos una plataforma aerotransportada incluye una parte de los equipos de enlace aire-usuario para recibir señales de comunicación procedentes de los dispositivos de usuario final.

35 4D. El nodo de comunicación inalámbrica aerotransportada del ejemplo 1D, en donde al menos una plataforma aerotransportada incluye una parte de los equipos aire-aire para transmitir señales de comunicación entre diferentes plataformas aerotransportadas.

5D. El nodo de comunicación inalámbrica aerotransportada del ejemplo 1D, que comprende además: equipos de enlace aire-tierra para transmitir y recibir señales procedentes de una estación base en tierra.

40 6D. El nodo de comunicación inalámbrica aerotransportada del ejemplo 1D, que comprende además: equipos de enlace aire-torre para transmitir señales hacia y recibir señales desde una torre celular.

7D. El nodo de comunicación inalámbrica aerotransportada del ejemplo 1D, que comprende además: equipos de enlace aire-espacio para transmitir señales hacia y recibir señales desde un satélite de comunicaciones.

45 8D. El nodo de comunicación inalámbrica aerotransportada del ejemplo 1D, en donde la electrónica de control de carga útil proporciona una sola imagen del sistema para los dispositivos de usuario final.

9D. El nodo de comunicación inalámbrica aerotransportada del ejemplo 1D, en donde los equipos de comunicación aire-aire comprenden un sistema de comunicación óptica de espacio libre.

10D. Una red de comunicación inalámbrica aerotransportada, que comprende una pluralidad de nodos de comunicación inalámbrica aerotransportada configurados como se ha descrito en el ejemplo 1D.

50 11D. La red de comunicación inalámbrica aerotransportada del ejemplo 10 D, en donde los nodos de comunicación inalámbrica aerotransportada están conectados entre sí utilizando los equipos de comunicación aire-aire.

- 12D. La red de comunicación inalámbrica aerotransportada del ejemplo 10D, que comprende además: un nodo de usuario final con base en tierra.
- 13D. La red de comunicación inalámbrica aerotransportada del ejemplo 10D, que comprende además: un nodo de usuario final con base en el espacio aéreo.
- 5 14D. La red de comunicación inalámbrica aerotransportada del ejemplo 10D, que comprende además: un nodo de pasarela.
- 15D. La red de comunicación inalámbrica aerotransportada del ejemplo 10D, que comprende además: un nodo de torre celular.
- 10 16D. La red de comunicación inalámbrica aerotransportada del ejemplo 10D, que comprende además: un nodo satélite.
- 17D. La red de comunicación inalámbrica aerotransportada del ejemplo 10D, en donde al menos un nodo de comunicación inalámbrica aerotransportada está configurado para retransmitir señales de comunicación entre otros nodos de comunicación inalámbrica aerotransportada.
- 15 18D. La red de comunicación inalámbrica aerotransportada del ejemplo 10D, en donde al menos un nodo de comunicación inalámbrica está configurado para difundir señales de comunicación.
- 19D. Un método para proporcionar un nodo de comunicación inalámbrica aerotransportada, que comprende: proporcionar una pluralidad de plataformas de vehículos aéreos no tripulados (UAV) con capacidades de carga útil predeterminadas; proporcionar un intervalo de secciones de carga útil de comunicación con requisitos que pueden satisfacerse con las capacidades de una sola plataforma de UAV de la pluralidad de plataformas de UAV; y montar secciones de carga útil de comunicación individuales en plataformas de UAV individuales respectivas de la pluralidad de plataformas de UAV para formar una flota de UAV con capacidades de carga útil de comunicación neta de un nodo de comunicación inalámbrica aerotransportada.
- 20 20D. El método del ejemplo 19D, en donde al menos una plataforma aerotransportada incluye una carga útil del transmisor y que comprende además transmitir señales de comunicación que pueden ser recibidas por los dispositivos de usuario final mediante la carga útil del transmisor.
- 25 21D. El método del ejemplo 19D, en donde al menos una plataforma aerotransportada incluye una carga útil del receptor y que comprende además recibir señales de comunicación de los dispositivos de usuario final.
- 22D. El método del ejemplo 19D, en donde al menos una plataforma aerotransportada incluye una carga útil de retransmisión y que comprende además transmitir señales de comunicación entre diferentes plataformas aerotransportadas.
- 30 23D. El método del ejemplo 19D, que comprende además: transmitir señales desde al menos una plataforma de UAV a una estación base dispuesta en tierra; y recibir señales al menos hacia una plataforma de UAV desde la estación base.
- 24D. El método del ejemplo 19D, que comprende además: transmitir señales desde al menos una plataforma de UAV a una torre celular; y recibir señales al menos hacia una plataforma de UAV desde la torre celular.
- 35 25D. El método del ejemplo 19D, que comprende además: transmitir señales desde al menos una plataforma de UAV a un satélite de comunicaciones; y recibir señales al menos hacia una plataforma de UAV desde el satélite de comunicaciones.
- 26D. El método del ejemplo 19D, que comprende además: proporcionar una sola imagen del sistema a los dispositivos de usuario final.
- 40 27D. El método del ejemplo 19D, que comprende además que se comuniquen entre el nodo de comunicación inalámbrica aerotransportada y uno o más de entre un nodo de usuario final con base en tierra, un nodo de usuario final con base en el espacio aéreo, un nodo de pasarela, un nodo de torre celular, o un nodo de satélite.
- 28D. El método del ejemplo 19D, que comprende además: comunicarse entre una pluralidad de nodos de comunicación inalámbrica aerotransportada como se define en el ejemplo 19 para proporcionar una red de comunicación inalámbrica aerotransportada, en donde los nodos de comunicación inalámbrica aerotransportada están conectados entre sí utilizando equipos de comunicación aire-aire.
- 45 29D. El método del ejemplo 28D, que comprende además utilizar al menos un nodo de comunicación inalámbrica aerotransportada para retransmitir señales de comunicación entre otros nodos de comunicación inalámbrica aerotransportada.
- 50 30D. El método del ejemplo 28D, que comprende además difundir señales de comunicación al menos desde un

nodo de comunicación inalámbrica aerotransportada.

En algunos ejemplos, se proporcionan un sistema de comunicación inalámbrica aerotransportada, una red de comunicación inalámbrica aerotransportada y métodos para proporcionar un sistema de comunicación aerotransportada. Los ejemplos enumerados no limitativos de sistemas de comunicación inalámbrica aerotransportada, redes de comunicación inalámbrica aerotransportada y métodos para proporcionar un sistema de comunicación aerotransportada según ejemplos de la presente invención incluyen:

- 1E. Un sistema de comunicación inalámbrica aerotransportada, que comprende: una flota aerotransportada compuesta una pluralidad de plataformas aerotransportadas; una carga útil de comunicación distribuida subdividida en partes constituyentes, en donde las partes están distribuidas y posicionadas en las partes respectivas de la pluralidad de plataformas aerotransportadas; comprendiendo la carga útil de comunicación equipos de enlace aire-usuario y equipos de enlace aire-aire para proporcionar comunicaciones entre el sistema de comunicación inalámbrica aerotransportada y los usuarios finales y entre plataformas aerotransportadas individuales; la carga útil de comunicación que comprende además la electrónica de control de carga útil para controlar los equipos aire-usuario y aire-aire y gestionar la operación del sistema de comunicación inalámbrica aerotransportada; comprendiendo además los equipos de enlace aire-usuario una antena de RF, en donde la antena de RF está configurada para producir un haz de RF en una dirección hacia tierra, en donde el haz de RF se caracteriza por su límite; y una celda de comunicación en tierra y en el espacio aéreo situada por debajo de la flota limitada por el límite del haz de RF, en donde los equipos de comunicación aire-usuario están configurados para proporcionar enlaces de comunicación entre la flota aerotransportada y los dispositivos de usuario final dentro de la celda de comunicación.
- 2E. El sistema de comunicación inalámbrica aerotransportada del ejemplo 1E, que comprende además al menos uno de entre una estación de pasarela con base en tierra, un satélite de comunicaciones o una torre de comunicaciones celulares con base en tierra.
- 3E. El sistema de comunicación inalámbrica aerotransportada del ejemplo 1E, que comprende además: un segundo sistema de comunicación inalámbrica aerotransportada configurado como se ha descrito con respecto al sistema de comunicación inalámbrica aerotransportada del ejemplo 1.
- 4E. El sistema de comunicación inalámbrica aerotransportada del ejemplo 1E, en donde al menos una plataforma aerotransportada es un vehículo aéreo no tripulado.
- 5E. El sistema de comunicación inalámbrica aerotransportada del ejemplo 1E, en donde al menos una plataforma aerotransportada es una aeronave pilotada.
- 6E. El sistema de comunicación inalámbrica aerotransportada del ejemplo 1E, en donde al menos una plataforma aerotransportada es una aeronave de ala fija.
- 7E. El sistema de comunicación inalámbrica aerotransportada del ejemplo 1E, en donde al menos una plataforma aerotransportada es una aeronave más ligera que el aire.
- 8E. El sistema de comunicación inalámbrica aerotransportada del ejemplo 1E, en donde los equipos de comunicación aire-usuario ubicados al menos en dos plataformas aerotransportadas diferentes.
- 9E. El sistema de comunicación inalámbrica aerotransportada del ejemplo 1E, en donde al menos una plataforma aerotransportada contiene una carga útil con equipos de enlace aire-usuario que dan servicio al menos a dos celdas de comunicación diferentes.
- 10E. El sistema de comunicación inalámbrica aerotransportada del ejemplo 1E, en donde las plataformas aerotransportadas están separadas por una distancia más pequeña que un tamaño de una celda de comunicación.
- 11E. El sistema de comunicación inalámbrica aerotransportada del ejemplo 1E, en donde las plataformas aerotransportadas están separadas por una distancia más pequeña que una altitud media de las plataformas aerotransportadas.
- 12E. Una red de comunicación inalámbrica aerotransportada, que comprende: una flota aerotransportada compuesta de una pluralidad de plataformas aerotransportadas; una carga útil de comunicación distribuida subdividida en partes constituyentes, en donde las partes constituyentes están distribuidas y posicionadas en las partes respectivas de la pluralidad de plataformas aerotransportadas; una estación de entrada ubicada en tierra situada por debajo de la flota aerotransportada; comprendiendo además la carga útil de comunicación, equipos de enlace aire-usuario, equipos aire-tierra y aire-aire configurados para proporcionar comunicaciones entre la flota y los usuarios finales, la flota y la estación de pasarela, y entre plataformas aerotransportadas individuales; comprendiendo además la carga útil de comunicación, la electrónica de control de carga útil configurada para controlar los equipos aire-usuario y aire-aire y gestionar las operaciones de la carga útil de comunicación distribuida; comprendiendo además los equipos de enlace aire-usuario, una antena de RF configurada para proporcionar un haz de RF en una dirección hacia tierra, en donde el haz de RF se caracteriza por su límite; y una celda de comunicación en tierra y en el espacio aéreo situada por debajo de la flota limitada por el límite del haz de RF, en donde los equipos de comunicación aire-usuario están

configurados para transmitir señales hacia y recibir señales desde dispositivos de usuario final dentro de la celda de comunicación.

13E. La red de comunicación inalámbrica aerotransportada del ejemplo 12E, que comprende además múltiples celdas de comunicación.

5 14E. La red de comunicación inalámbrica aerotransportada del ejemplo 12E, en donde al menos una plataforma aerotransportada está posicionada directamente sobre la celda de comunicación e incluye una carga útil de comunicación para soportar comunicaciones dentro de la celda de comunicación.

10 15E. La red de comunicación inalámbrica aerotransportada del ejemplo 12E, en donde la carga útil de comunicación comprende además: enlaces de comunicación con redes de comunicación externa que incluyen al menos una de entre las redes cableadas, redes terrestres inalámbricas o redes de satélite.

15 16E. Un método para proporcionar un sistema de comunicación aerotransportada, que comprende: estimar los requisitos de aplicación para una carga útil de comunicación dentro de un área de servicio para definir una carga útil de comunicación especificada; proporcionar una flota aerotransportada compuesta por una pluralidad de plataformas aerotransportadas con una potencia de carga útil neta y capacidad de peso igual o mayor que una potencia de carga útil de comunicación y peso de la carga útil de comunicación especificada; y subdividir la carga útil de comunicación especificada en secciones de carga útil, de manera que cada sección pueda montarse en una sola plataforma aerotransportada con requisitos de potencia y peso que sean iguales o inferiores que las capacidades de potencia y peso de la carga útil de la plataforma aerotransportada única.

20 17E. El método del ejemplo 16E, que comprende además: producir un haz de radiofrecuencia (RF) en una dirección hacia tierra utilizando una antena de RF, en donde el haz de RF se caracteriza por su límite; definir una celda de comunicación en tierra y en el espacio aéreo situada por debajo de la flota aerotransportada limitada por el límite del haz de RF; proporcionar comunicaciones entre el sistema de comunicación inalámbrica aerotransportada y los usuarios finales ubicados en la celda de comunicación mediante los equipos de enlace aire-usuario; y proporcionar comunicaciones entre plataformas aerotransportadas individuales mediante equipos aire-aire.

25 18E. El método del ejemplo 17E, que comprende además: proporcionar servicios de comunicación dentro de la celda de comunicación.

19E. El método del ejemplo 18E, en donde los servicios de comunicación se proporcionan durante al menos 24 horas.

20E. El método del ejemplo 18E, en donde los servicios de comunicación son servicios durante todo el año.

30 21E. El método del ejemplo 18E, en donde los servicios de comunicación comprenden servicios de telefonía celular.

22E. El método del ejemplo 16E, que comprende además: comunicarse al menos con una de una estación de pasarela con base en tierra o un satélite de comunicaciones.

23E. El método del ejemplo 16E, en donde al menos una de las plataformas aerotransportadas es un vehículo aerotransportado no tripulado.

35 24E. El método del ejemplo 16E, que comprende además: dar servicio al menos a una celda de comunicación mediante equipos de comunicación de aire-usuario ubicado al menos en dos plataformas aerotransportadas diferentes.

25E. El método del ejemplo 16E, que comprende además: dar servicio al menos a dos celdas de comunicación diferentes desde una plataforma aerotransportada.

40 26E. El método del ejemplo 16E, que comprende además: proporcionar enlaces de comunicación aire-usuario en celdas de comunicación contiguas sobre diferentes frecuencias de tal manera que los enlaces de comunicación aire-usuario en regiones de solapamiento de las celdas de comunicación contiguas se establezcan sobre diferentes frecuencias.

45 27E. El método del ejemplo 16E, que comprende además: superponer al menos una celda de comunicación con una celda de comunicación existente proporcionada por un sistema inalámbrico terrestre.

28E. El método del ejemplo 16E, que comprende además: proporcionar enlaces de comunicación desde el sistema de comunicación aerotransportada a dispositivos inalámbricos de mano.

29E. El método del ejemplo 16E, que comprende además: proporcionar enlaces de comunicación desde el sistema de comunicación aerotransportada a los usuarios finales aerotransportados.

50 30E. El método del ejemplo 16E, que comprende además: separar las plataformas aerotransportadas por una o más de entre una distancia más pequeña que un tamaño de una celda de comunicación, o una distancia más pequeña

que una altitud media de las plataformas aerotransportadas.

En algunos ejemplos, se proporcionan métodos para proporcionar servicios de comunicación inalámbrica. Los ejemplos enumerados no limitativos de los métodos para proporcionar servicios de comunicación inalámbrica según los ejemplos de la presente invención incluyen:

- 5 1F. Un método para proporcionar servicios de comunicación inalámbrica, que comprende: recibir una señal de radiofrecuencia (RF) desde una primera área mediante una carga útil de comunicación aerotransportada distribuida, en donde la carga útil de comunicación aerotransportada distribuida está compuesta por secciones ubicadas en las partes respectivos de una pluralidad de plataformas aerotransportadas; retransmitir la señal de RF a lo largo de las secciones ubicadas en diferentes plataformas aerotransportadas; y transmitir la señal de RF a una segunda área.
- 10 2F. El método del ejemplo 1F, en donde la retransmisión de la señal de RF comprende además: transmitir la señal de RF entre diferentes plataformas aerotransportadas de la pluralidad de plataformas aerotransportadas.
- 3F. El método del ejemplo 1F, en donde al menos una de la primera área o la segunda área está en tierra.
- 4F. El método del ejemplo 1F, donde la primera área y la segunda área están en tierra.
- 5F. El método del ejemplo 1F, en donde al menos una de la primera área o la segunda área está en el aire.
- 15 6F. El método del ejemplo 1F, en donde al menos una de la primera área o la segunda área está en tierra y en donde la otra de entre la primera área o la segunda área está en el aire.
- 7F. El método del ejemplo 1F, que comprende además: utilizar la carga útil de comunicación aerotransportada distribuida, transmitir señales hacia y recibir señales desde una estación base en tierra.
- 20 8F. El método del ejemplo 1F, que comprende además: utilizar la carga útil de comunicación aerotransportada distribuida, transmitir señales hacia y recibir señales desde una torre celular.
- 9F. El método del ejemplo 1F, que comprende además: usar la carga útil de comunicación aerotransportada distribuida, transmitir señales hacia y recibir señales desde un satélite de comunicaciones.
- 10F. El método del ejemplo 1F, en donde el uso de la carga útil de comunicación aerotransportada distribuida proporciona una sola imagen de sistema para los dispositivos de usuario final.
- 25 11F. El método del ejemplo 1F, que comprende además: proporcionar servicios de comunicación inalámbrica durante al menos 24 horas.
- 12F. El método del ejemplo 1F, que comprende además: proporcionar los servicios de comunicación inalámbrica durante todo el año.
- 30 13F. El método del ejemplo 1F, que comprende además: proporcionar servicios de telefonía celular utilizando la carga útil de comunicación aerotransportada distribuida.
- 14F. El método del ejemplo 1F, que comprende además: proporcionar servicios de difusión al menos a una de la primera y segunda áreas.
- 35 15F. El método del ejemplo 1F, que comprende además: estimar los requisitos de la aplicación para la carga útil de comunicación aerotransportada distribuida dentro de al menos una de la primera y segunda áreas para definir una carga útil de comunicación especificada; proporcionar una flota compuesta de múltiples plataformas aerotransportadas con capacidades de potencia y peso de carga útil netas que son iguales o superiores a los requisitos de potencia y peso de la carga útil de comunicación especificada; y subdividir la carga útil de comunicación aerotransportada distribuida en secciones de carga útil con requisitos de potencia y peso que son iguales o inferiores que las capacidades de potencia y peso de carga útil de una sola plataforma aerotransportada, de manera que cada sección pueda montarse en una plataforma aerotransportada respectiva.
- 40 16F. El método del ejemplo 1F, que comprende además: proporcionar una pluralidad de plataformas aerotransportadas con capacidades de potencia y peso de carga útil predeterminadas; proporcionar secciones de carga útil de comunicación, en donde cada sección tiene requisitos de potencia y peso que pueden ser satisfechos por las capacidades de al menos una sola plataforma aerotransportada; y montar secciones de carga útil sobre las plataformas aerotransportadas y formar una flota aerotransportada con capacidades de carga útil de comunicación netas de un nodo de comunicación inalámbrica aerotransportada.
- 45 17F. El método del ejemplo 1F, que comprende además: proporcionar equipos para las comunicaciones aire-aire entre plataformas aerotransportadas individuales, hardware y software para organizar y sincronizar las operaciones de los UAV individuales, y un controlador de nodos para regular las operaciones de los nodos.
- 50 18F. El método del ejemplo 1F, que comprende además: lanzar las plataformas aerotransportadas al espacio aéreo,

transportar las plataformas aerotransportadas a un área de servicio y distribuir las plataformas aerotransportadas dentro de al menos una de la primera y segunda áreas.

- 5 19F. El método del ejemplo 1F, que comprende además: proporcionar capacidades de piloto automático al menos a una plataforma aerotransportada y posibilitar al menos uno de: patrones de vuelo cooperativos, evitación de colisiones, vuelos en formación, o recolección de energía solar o eólica más eficiente.
- 10 20F. El método del ejemplo 1F, que comprende además: subdividir al menos una de la primera y segunda áreas en celdas de comunicación y producir un mapa celular aerotransportado; asignar secciones de carga útil de comunicación a las celdas de comunicación respectivas, establecer enlaces de comunicación y proporcionar servicios de comunicación dentro de las celdas mediante las secciones de carga útil respectivas; y seleccionar bandas de frecuencia, canales y formatos para las comunicaciones dentro de las celdas para optimizar el rendimiento del enlace de comunicación y minimizar la interferencia entre las celdas contiguas.
- 15 21F. El método del ejemplo 20F, que comprende además: mantener los límites de las celdas de comunicación y controlar al menos uno de entre el número, tamaño, forma o posición de una o más celdas de comunicación.
- 22F. El método del ejemplo 1F, que comprende además: soportar servicios de comunicación dentro de las celdas de comunicación existentes establecidas por proveedores inalámbricos terrestres.
- 23F. El método del ejemplo 1F, que comprende además: hacer volar las plataformas aerotransportadas a una primera distancia de la primera área, en donde la distancia entre al menos dos plataformas aerotransportadas es sustancialmente menor que la primera distancia.
- 20 24F. El método del ejemplo 1F, que comprende además: hacer volar las plataformas aerotransportadas a una segunda distancia de la segunda área, en donde la distancia entre al menos dos plataformas aerotransportadas es sustancialmente menor que la segunda distancia.
- 25F. El método del ejemplo 1F, que comprende además: hacer volar al menos dos de las plataformas aerotransportadas en una formación de vuelo, en donde al menos una de las plataformas aerotransportadas vuela en la estela de la otra plataforma aerotransportada.
- 25 26F. El método del ejemplo 1F, que comprende además: utilizar recursos de energía renovable para proporcionar energía eléctrica a las plataformas aerotransportadas, incluyendo al menos una de entre energía solar, eólica o térmica.
- 27F. El método del ejemplo 1F, que comprende además: utilizar un aparato óptico de espacio libre para las comunicaciones entre las plataformas aerotransportadas.
- 30 28F. El método del ejemplo 1F, que comprende además: aumentar un número de plataformas aerotransportadas en respuesta al aumento de la demanda de servicios de comunicación.
- 29F. El método del ejemplo 1F, que comprende además: reducir una cantidad de plataformas aerotransportadas en respuesta a la disminución de la demanda de servicios de comunicación.
- 35 30F. El método del ejemplo 1F, que comprende además: utilizar una plataforma aerotransportada pilotada para realizar una de entre recibir señales, transmitir señales, o proporcionar energía auxiliar a otras plataformas aerotransportadas.

Mientras que lo anterior está dirigido a realizaciones de la presente invención, se pueden concebir otras realizaciones y realizaciones adicionales de la invención sin desviarse del alcance básico de la misma.

REIVINDICACIONES

- 1.- Una carga útil de comunicación distribuida, que comprende:
un módulo (230) de electrónica de control de carga útil;
5 un módulo (330) de enlace aire-usuario para proporcionar enlaces de comunicación inalámbricos entre plataformas aerotransportadas y dispositivos de usuario final; y
un módulo (340) de enlace aire-aire para proporcionar enlaces de comunicación inalámbrica entre plataformas aerotransportadas;
en donde los módulos de enlace aire-usuario (330) y aire-aire (340) están subdivididos en múltiples secciones que pueden disponerse en diferentes plataformas aerotransportadas;
- 10 en donde el módulo (330) de enlace aire-usuario está configurado para tener una primera capacidad combinada de comunicación, el módulo (340) de enlace aire-aire está configurado para tener una segunda capacidad combinada de comunicación, y en donde la segunda capacidad de comunicación es superior que o igual a la primera capacidad de comunicación.
- 2.- La carga útil de comunicación distribuida de la reivindicación 1, que comprende además al menos uno de entre:
- 15 un módulo (350) de enlace aire-tierra para proporcionar un enlace de comunicación entre una plataforma aerotransportada y una estación de pasarela con base en tierra (1700);
un módulo (1945) de enlace aire-torre para proporcionar un enlace de comunicación entre una plataforma aerotransportada y un sistema (1940) celular inalámbrico terrestre; o
20 un módulo (2015) de enlace aire-espacio para proporcionar un enlace de comunicación entre una plataforma aerotransportada y un satélite (2010) de comunicaciones.
- 3.- La carga útil de comunicación distribuida de la reivindicación 1, en donde al menos una de entre:
las múltiples secciones del módulo de enlace aire-usuario son aproximadamente iguales en tamaño y peso; o
las múltiples secciones del módulo de enlace aire-aire son aproximadamente iguales en tamaño y peso.
- 4.- La carga útil de comunicación distribuida de la reivindicación 1, en donde las secciones del módulo (330) de enlace aire-usuario comprenden además al menos una de entre:
25 una sección con equipos configurados solamente para transmitir señales de radiofrecuencia; o
una sección con equipos configurados solamente para recibir señales de radiofrecuencia.
- 5.- La carga útil de comunicación distribuida de la reivindicación 1, en donde el módulo (230) de electrónica de control de carga útil se subdivide adicionalmente en múltiples secciones.
- 30 6.- La carga útil de comunicación distribuida de la reivindicación 5, en donde las secciones del módulo de electrónica de control de la carga útil están configuradas para interconectarse de manera inalámbrica mediante las secciones del módulo de enlace aire-aire para formar una red.
- 7.- La carga útil de comunicación distribuida de la reivindicación 6, en donde la red es una red a medida de igual a igual o un nodo de red, y en donde una de las secciones del módulo de electrónica de control de carga útil es un controlador (2310) de red.
- 35 8.- La carga útil de comunicación distribuida de la reivindicación 1, en donde las secciones del módulo aire-usuario y las secciones del módulo aire-aire están dispuestas en una pluralidad de grupos y en donde cada grupo incluye una sección del módulo (340) aire-aire.
- 9.- La carga útil de comunicación distribuida de la reivindicación 1, en donde las secciones del módulo (340) aire-aire comprenden además, al menos uno de entre:
40 equipos de comunicación óptica de espacio libre; o
un canal (2410) de control para comunicaciones internas y un canal (2420) de retransmisión para comunicaciones externas.
- 45 10.- La carga útil de comunicación distribuida de la reivindicación 1, en donde el módulo (230) de electrónica de control de carga útil comprende además un módulo (2310) de administración, una base de datos (2320), un gestor (2330) de eventos, un planificador (2340) de tareas y controladores de sección.

- 11.- La carga útil de comunicación distribuida de la reivindicación 1, que comprende además una sección (2810) maestra y una sección (2820, 2830) esclava.
- 5 12.- La carga útil de comunicación distribuida de la reivindicación 1, en donde el módulo (330) de enlace aire-usuario se caracteriza además por un intervalo de transmisión y una distancia media entre las secciones de carga útil es sustancialmente menor que el intervalo de transmisión.
- 13.- La carga útil de comunicación distribuida de la reivindicación 1, en donde el módulo (330) de enlace aire-usuario está configurado para proporcionar un servicio de difusión.
- 10 14.- La carga útil de comunicación distribuida de la reivindicación 1, que comprende además un módulo (350) de enlace aire-tierra para proporcionar un enlace de comunicación entre una plataforma aerotransportada y una estación (1700) de pasarela con base en tierra con una tercera capacidad combinada de comunicación superior o igual a la primera capacidad de comunicación.
- 15.- La carga útil de comunicación distribuida de la reivindicación 1, en donde el módulo (330) de enlace aire-usuario está configurado para proporcionar al menos uno de entre:
- 15 una pluralidad de haces de radiofrecuencia dirigidos hacia tierra y para controlar una distribución de intensidad de campo angular dentro de los haces;
- una pluralidad de haces de radiofrecuencia que operan al menos a dos frecuencias diferentes; o
- un enlace de comunicación con otra aeronave.

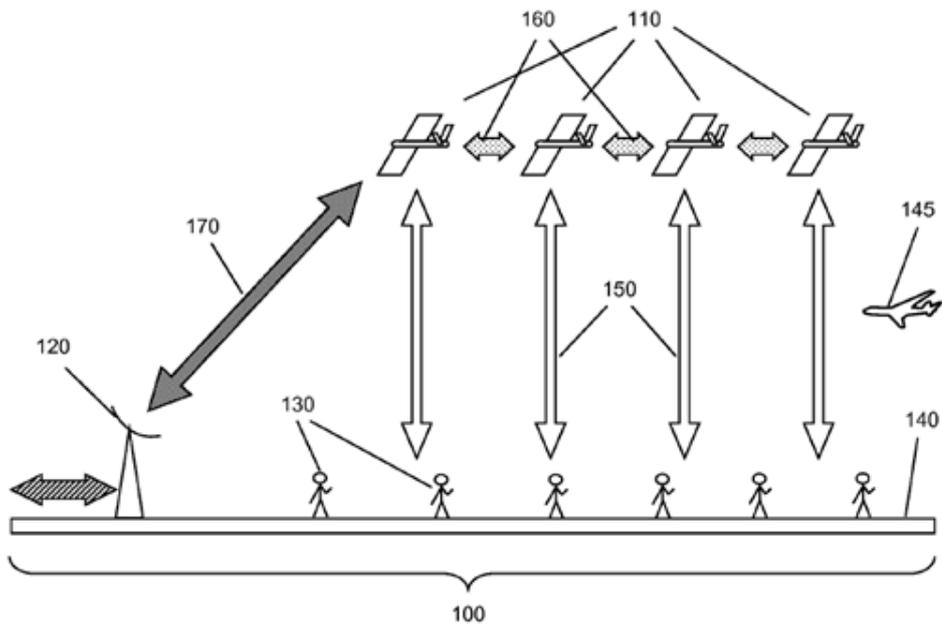


Figura 1

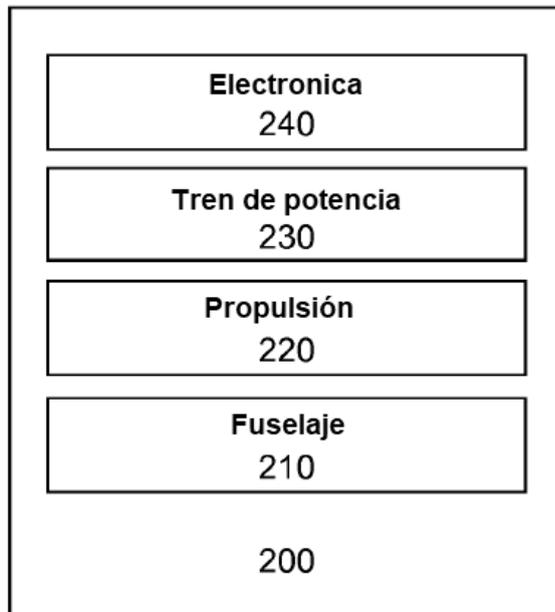


Figura 2

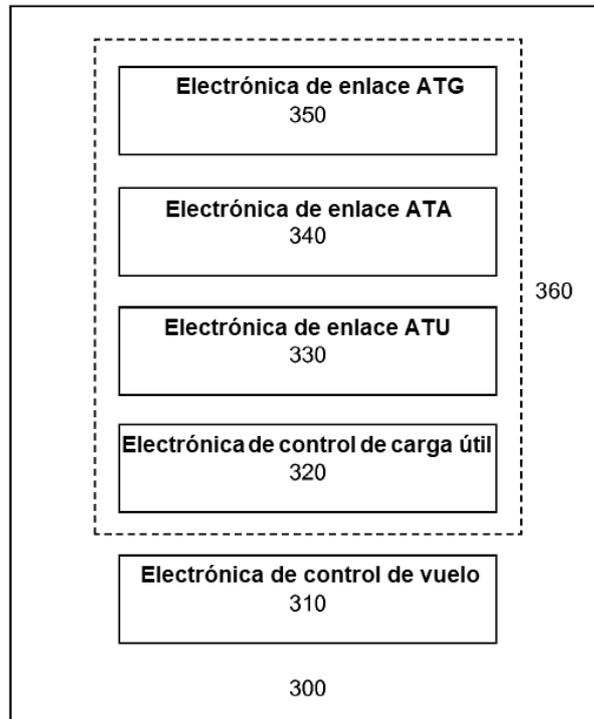


Figura 3

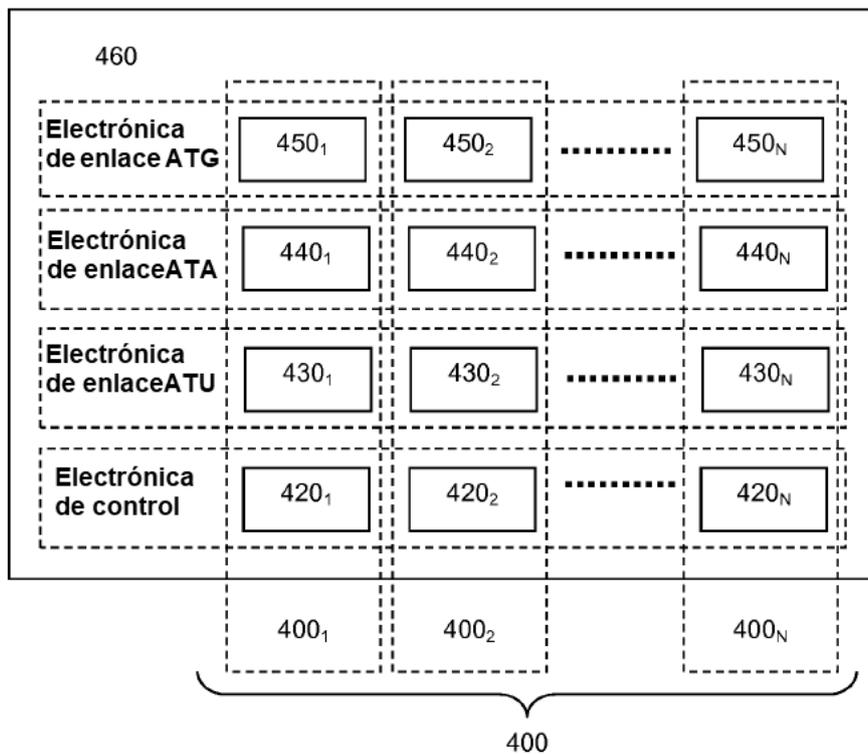


Figura 4

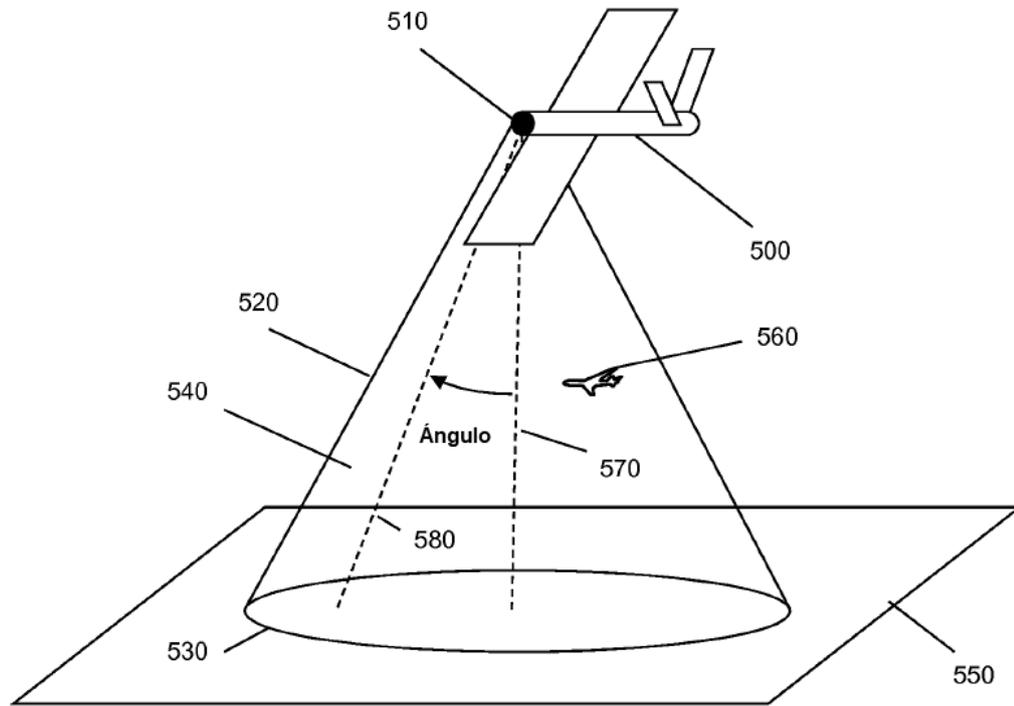


Figura 5

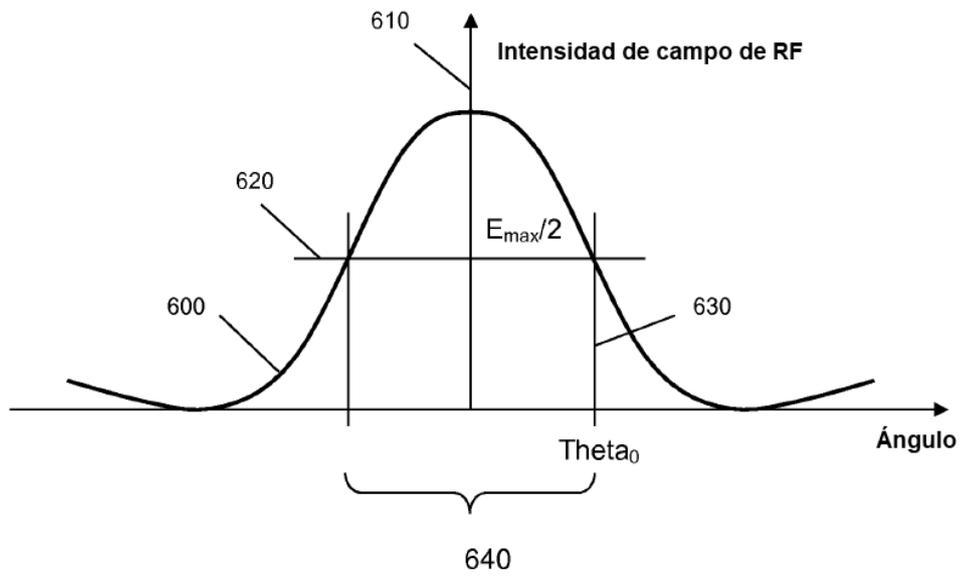


Figura 6

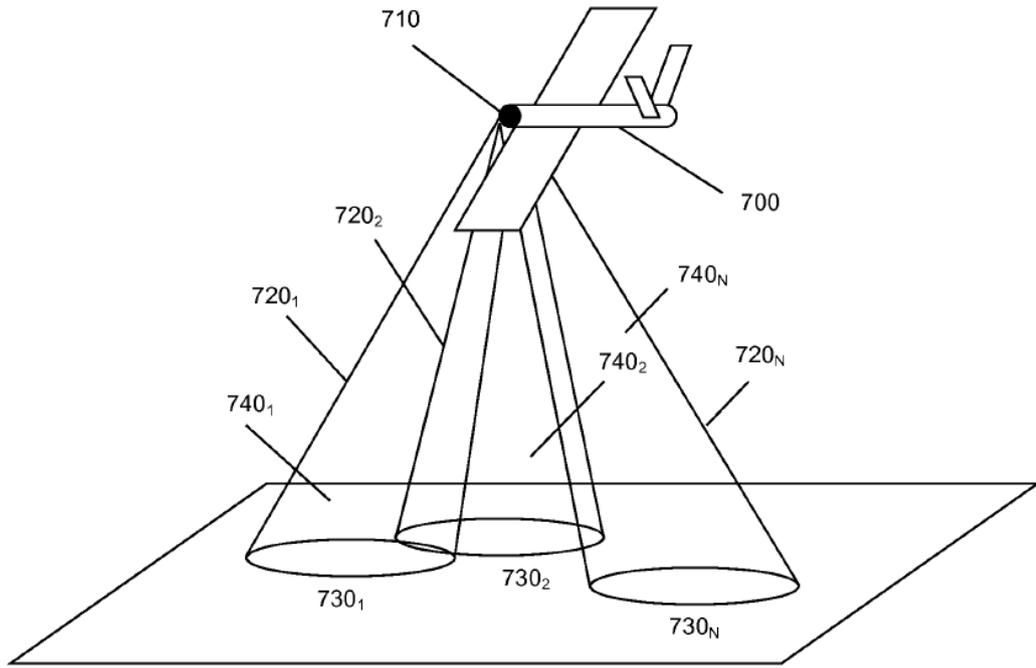


Figura 7

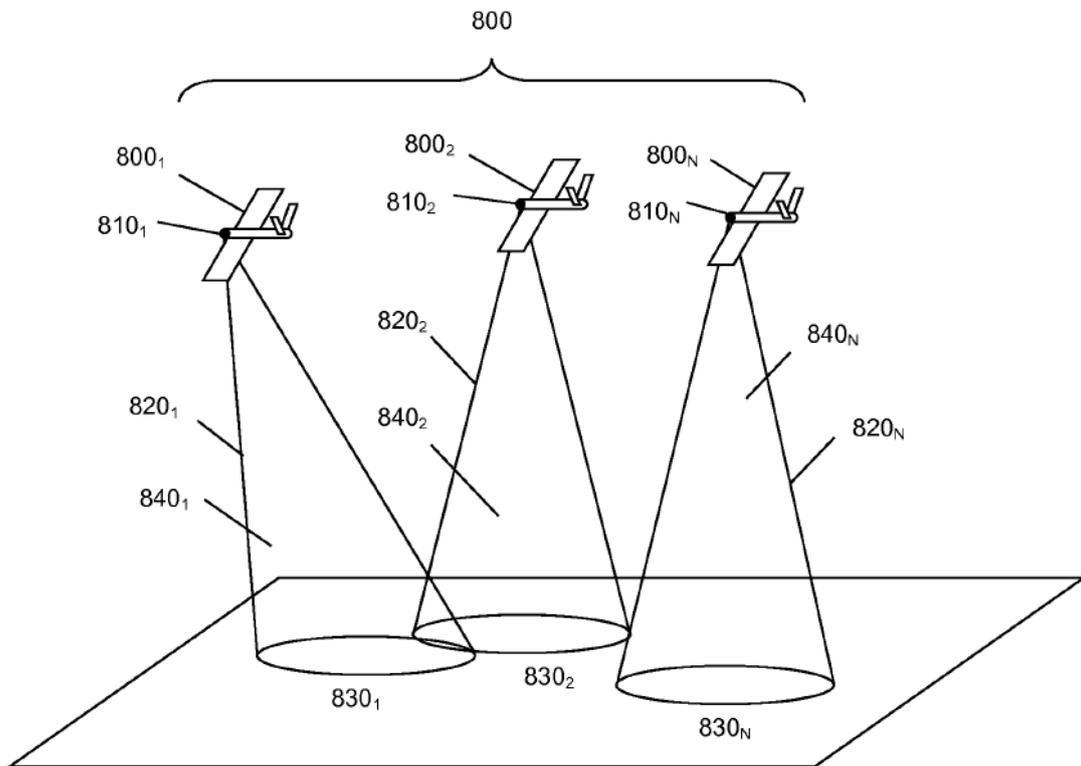


Figura 8

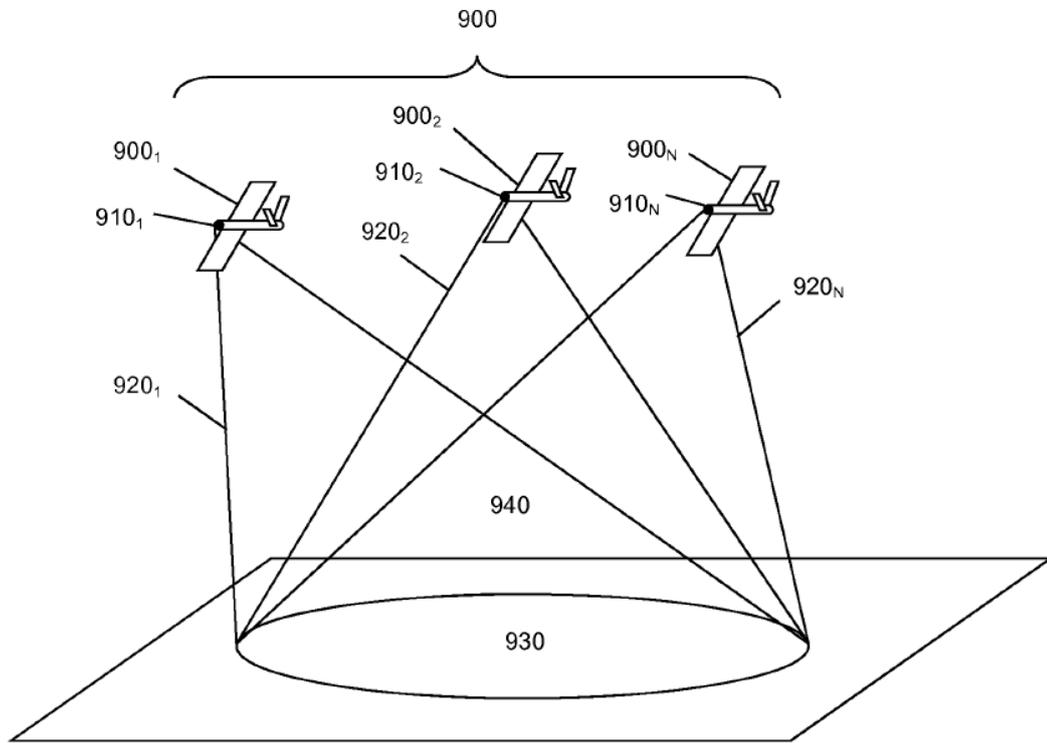


Figura 9

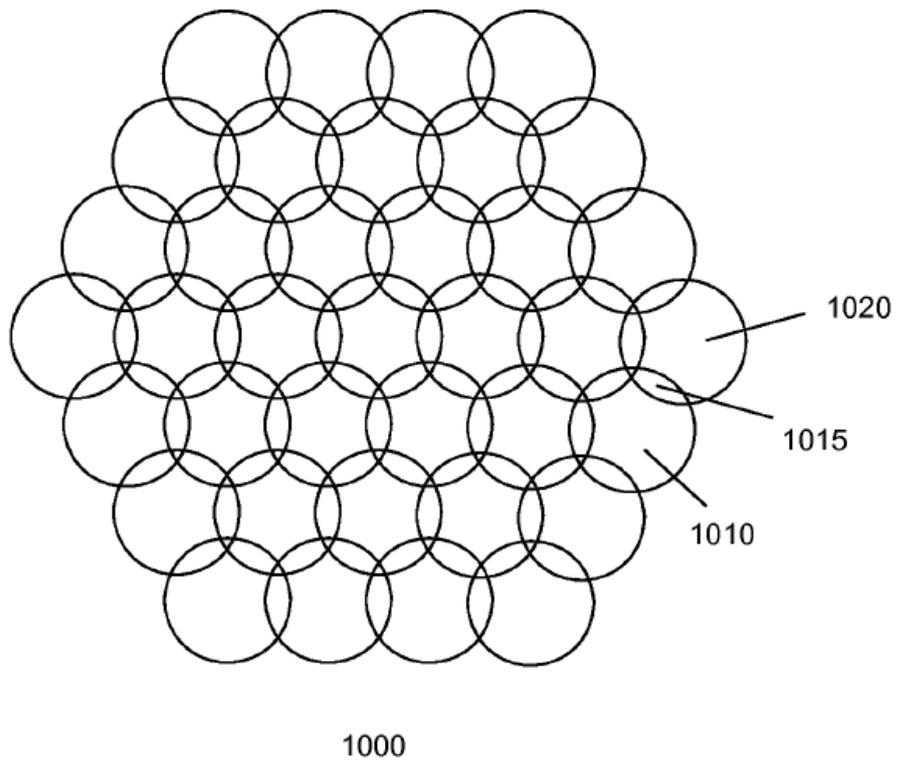


Figura 10

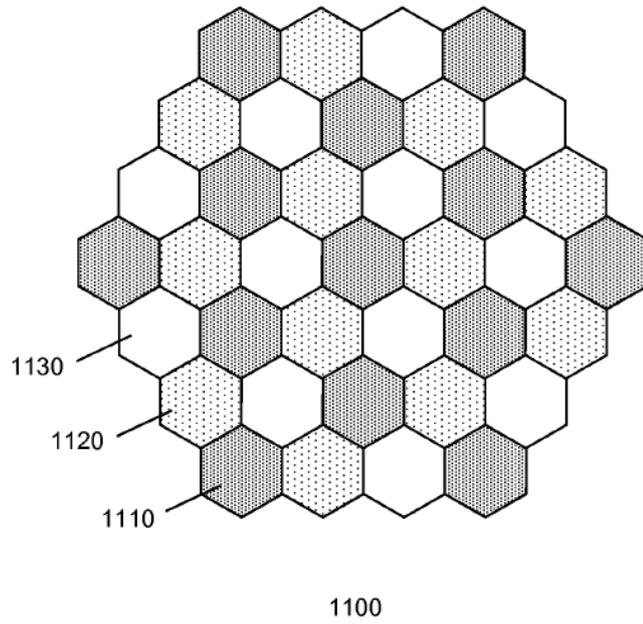
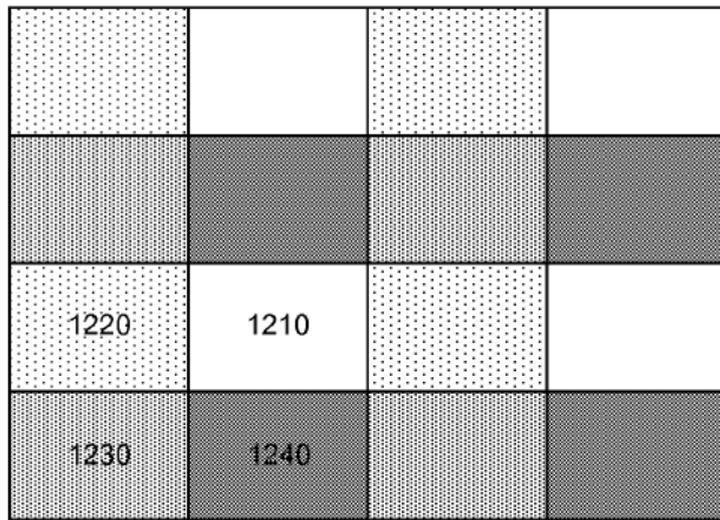


Figura 11



1200

Figura 12

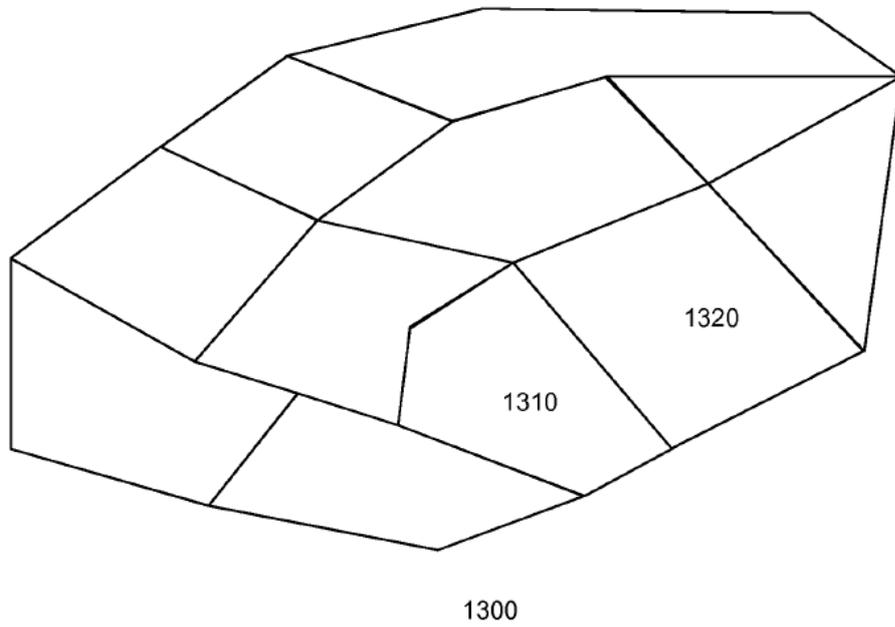


Figura 13

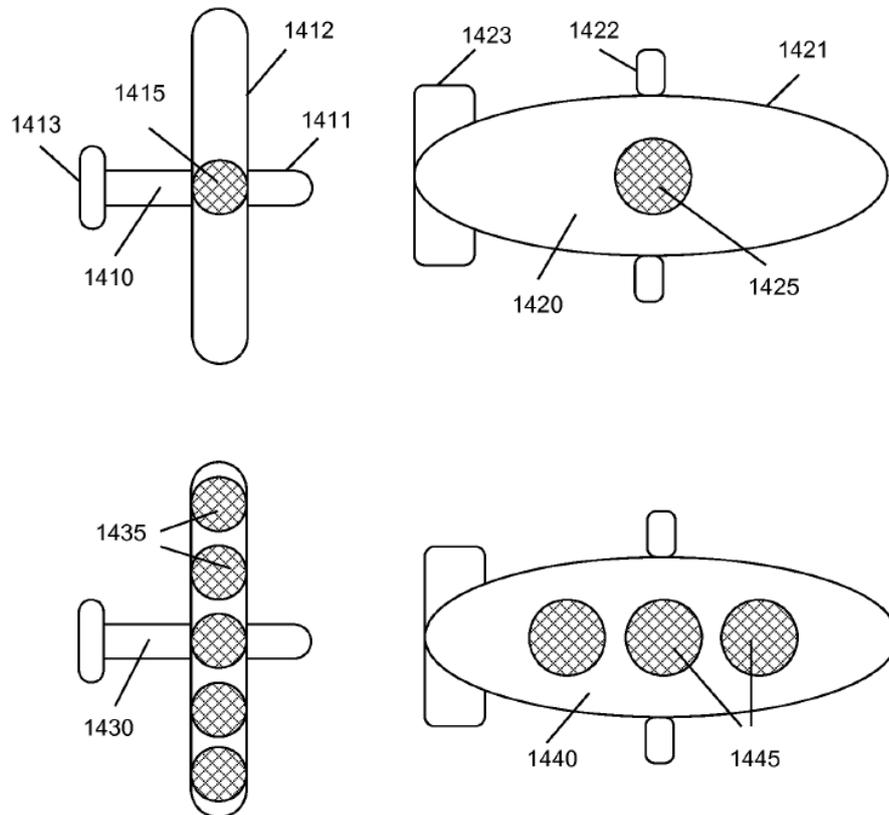
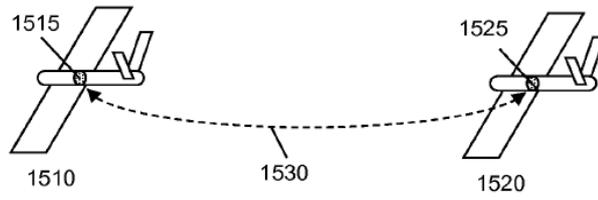
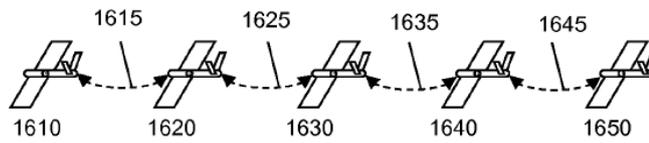


Figura 14



1500

Figura 15



1600

Figura 16

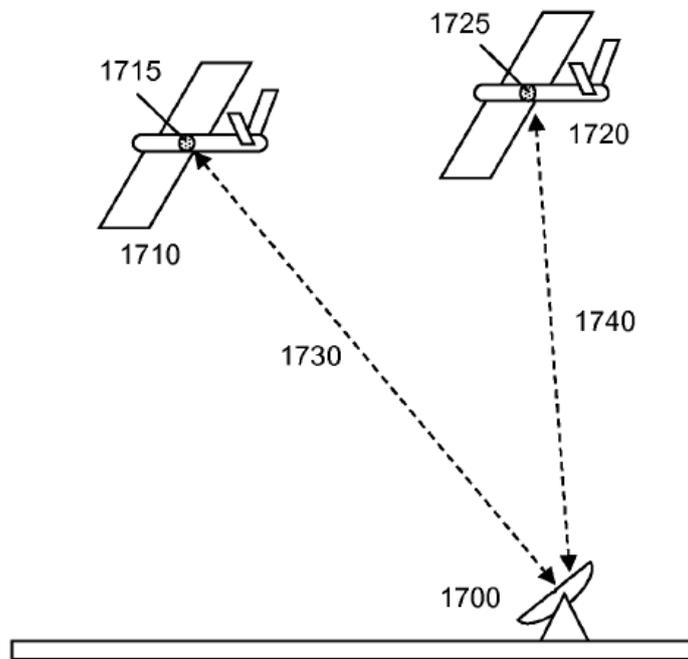


Figura 17

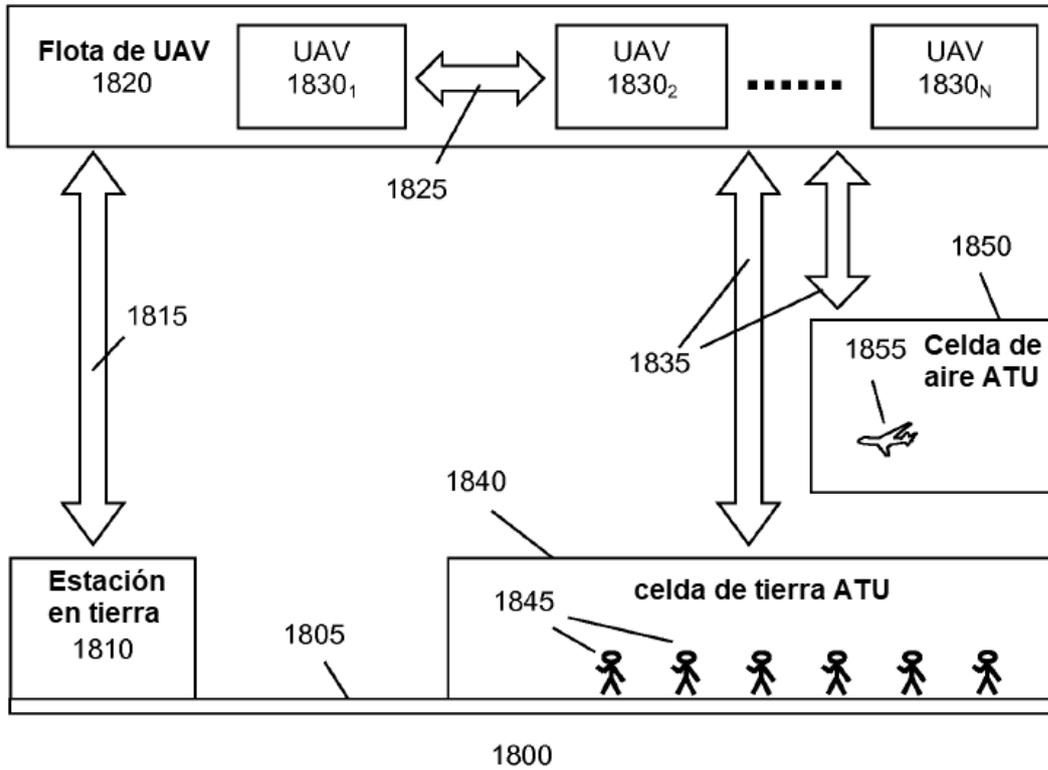


Figura 18

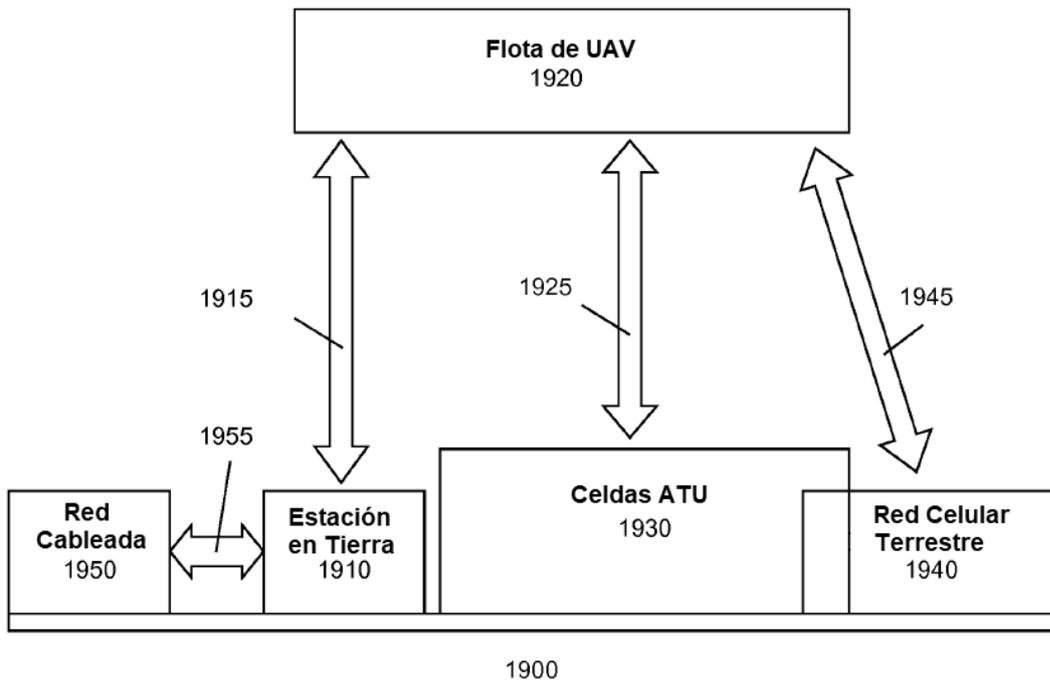


Figura 19

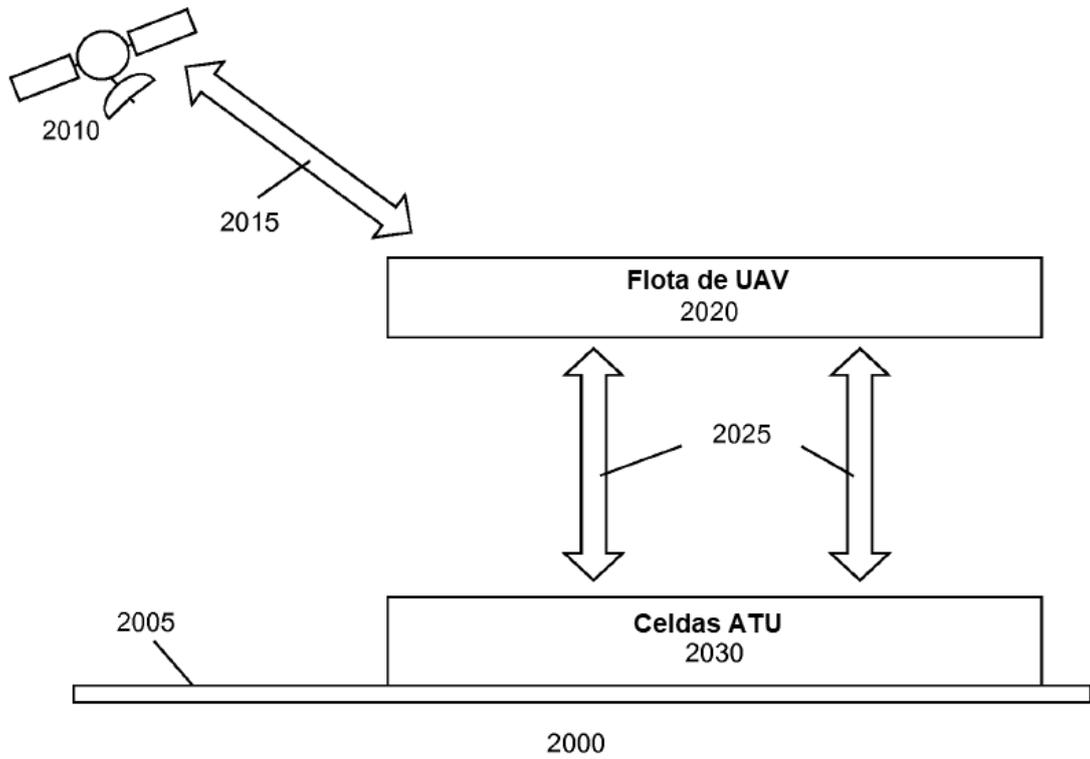


Figura 20

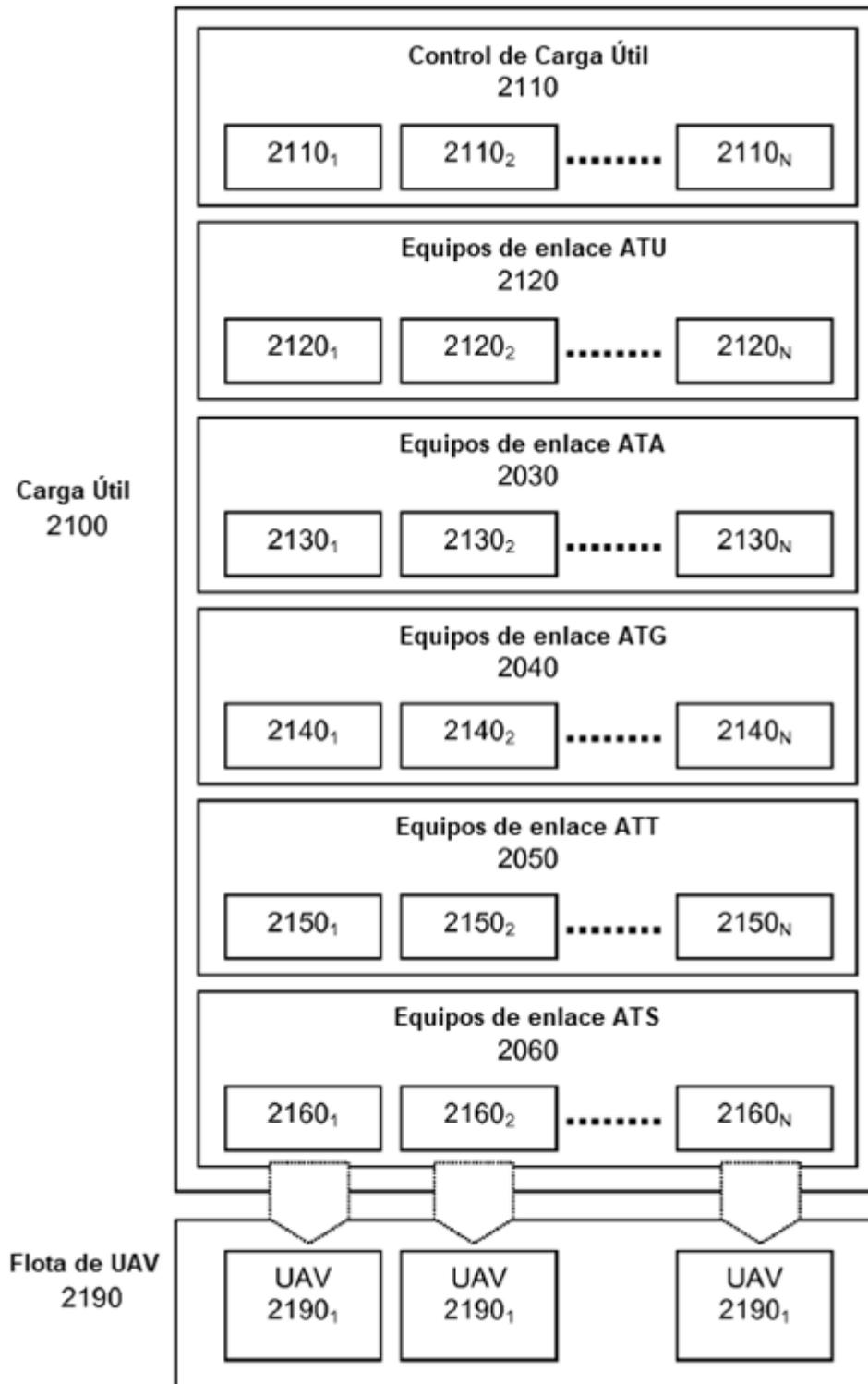


Figura 21

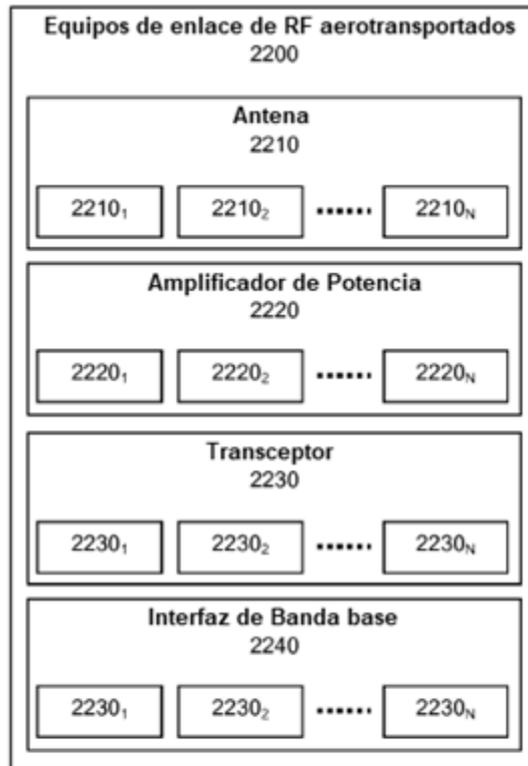


Figura 22



Figura 23

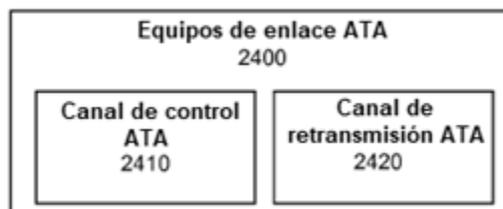


Figura 24

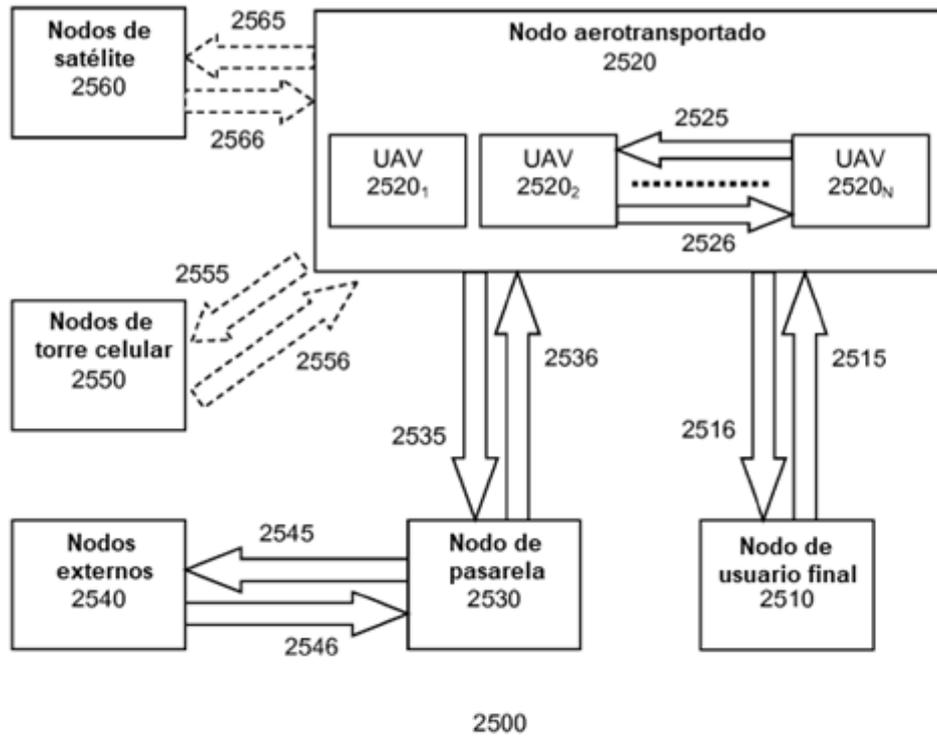


Figura 25

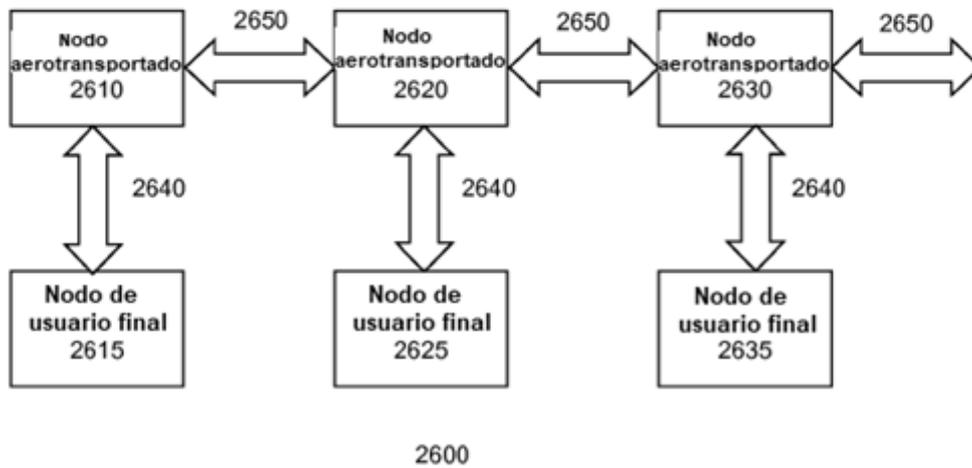
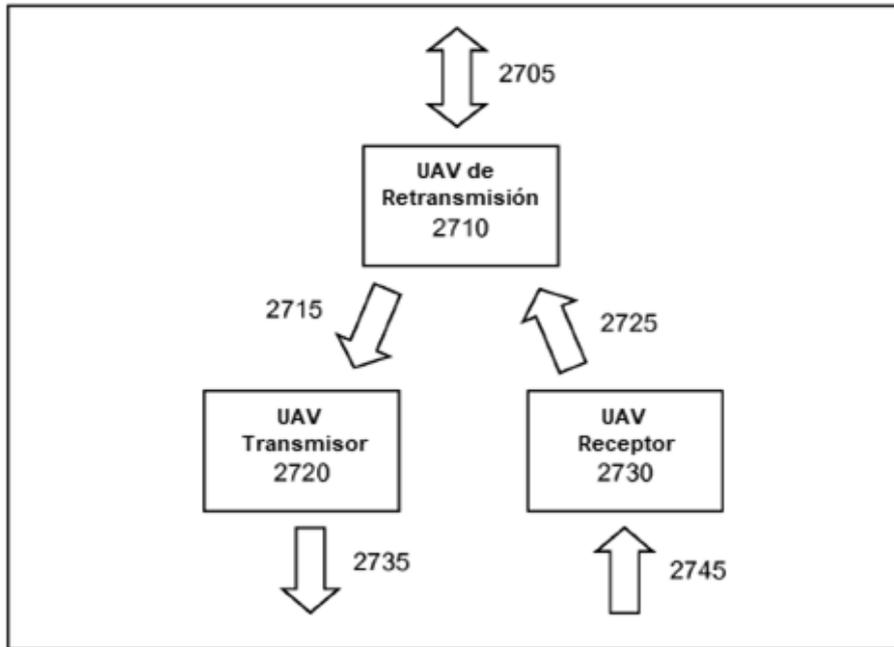
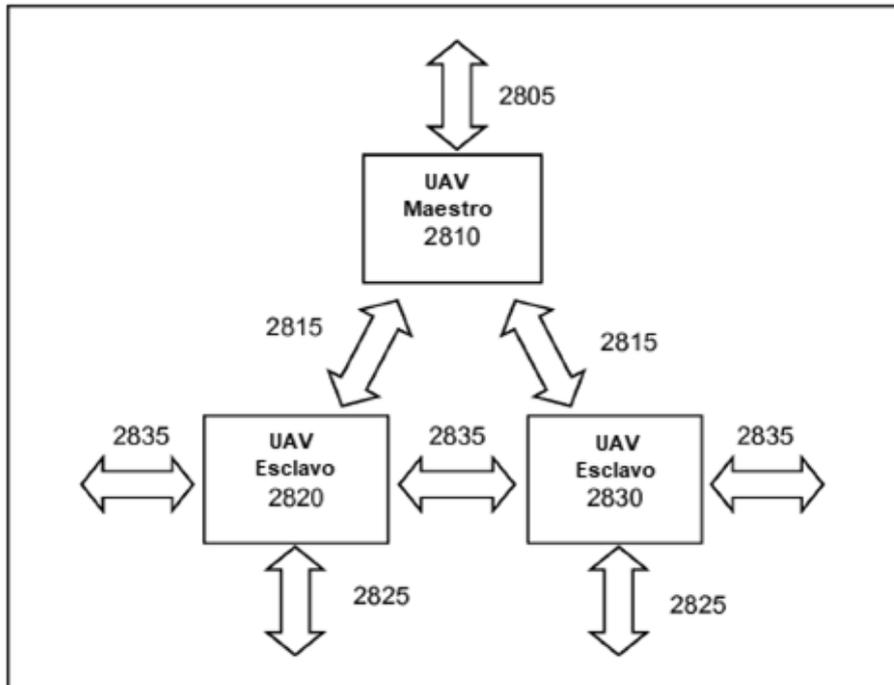


Figura 26



2700

Figura 27



2800

Figura 28

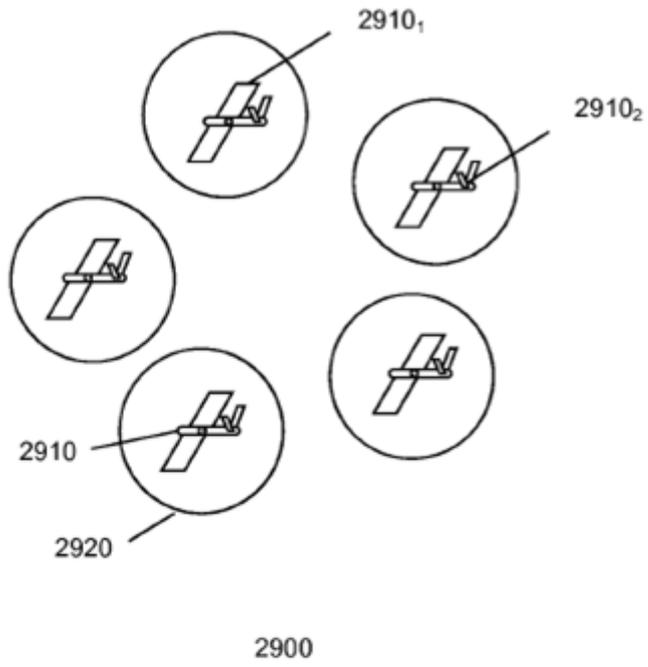


Figura 29

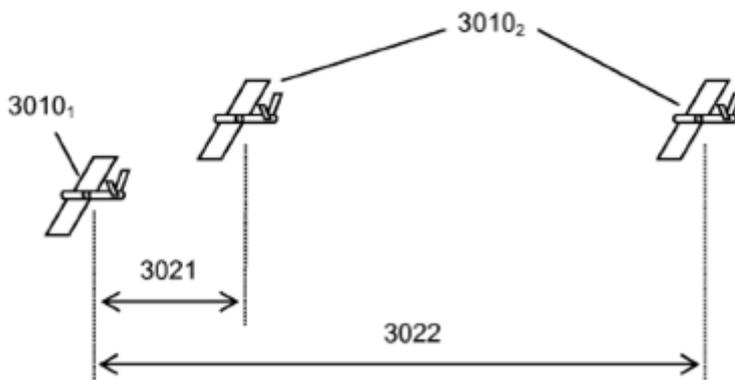


Figura 30

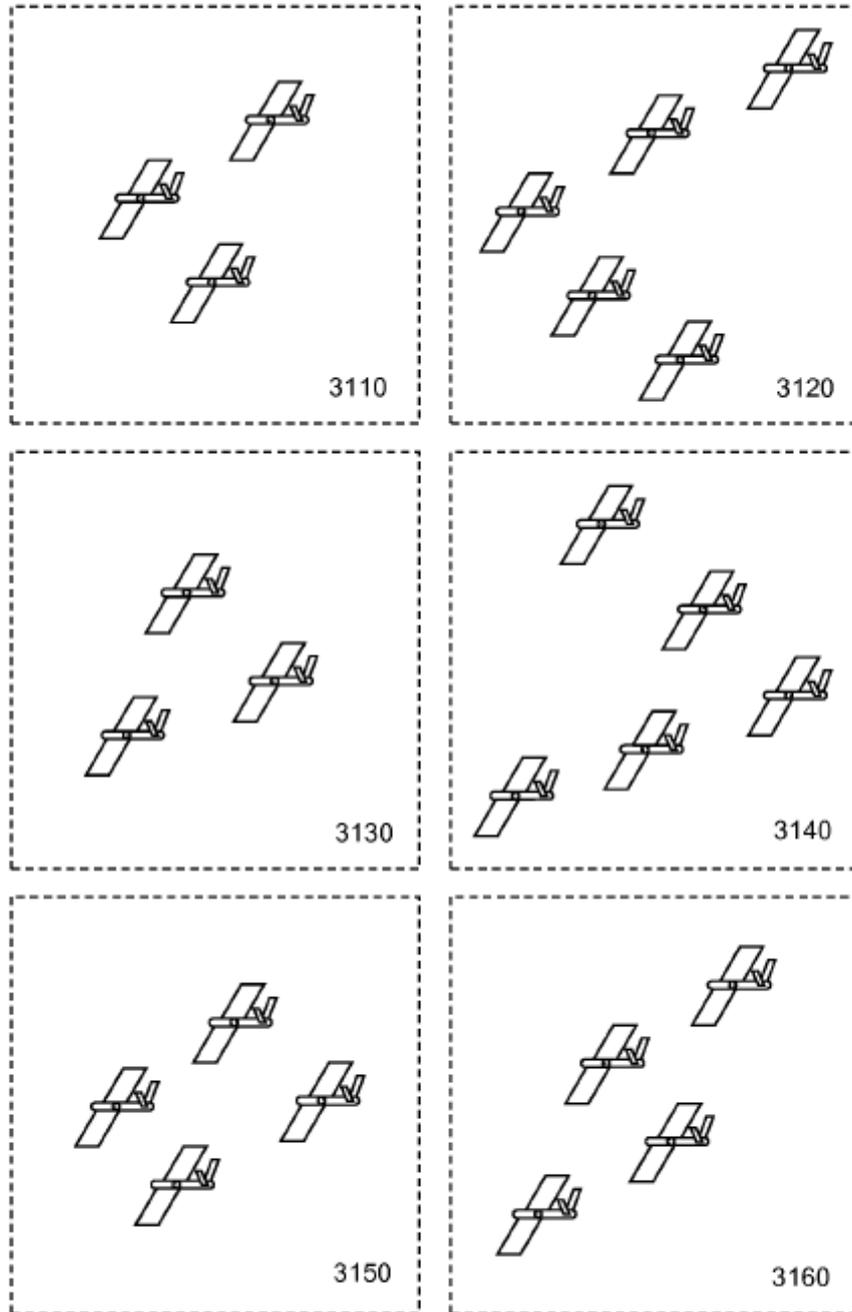


Figura 31

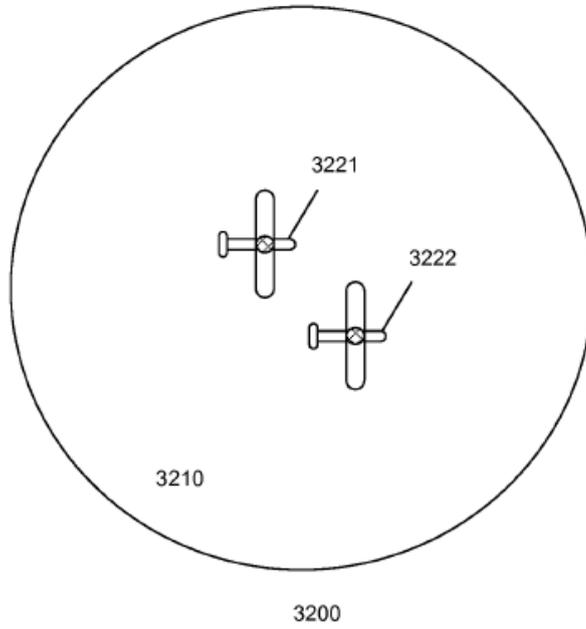


Figura 32

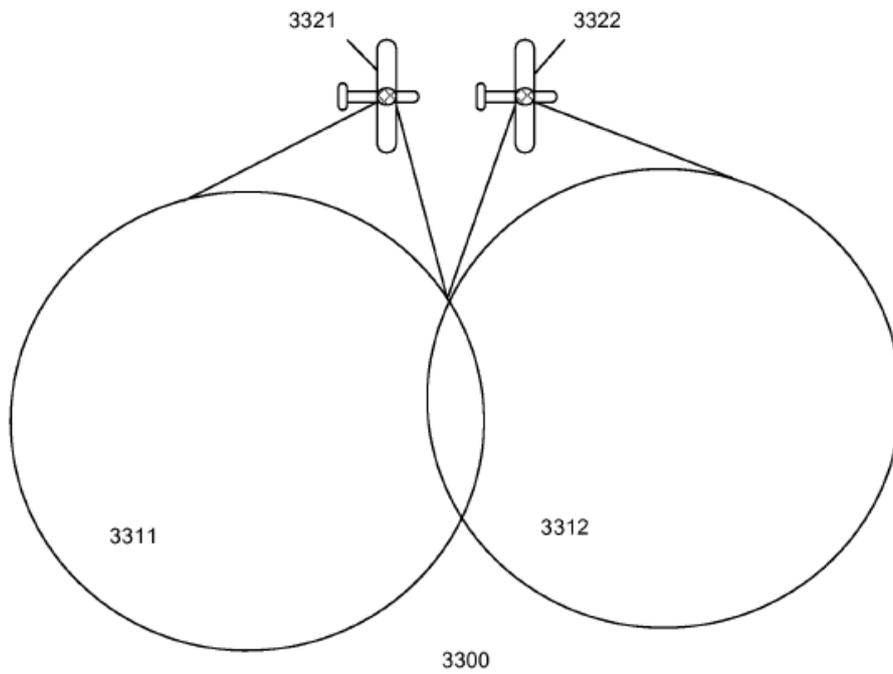


Figura 33

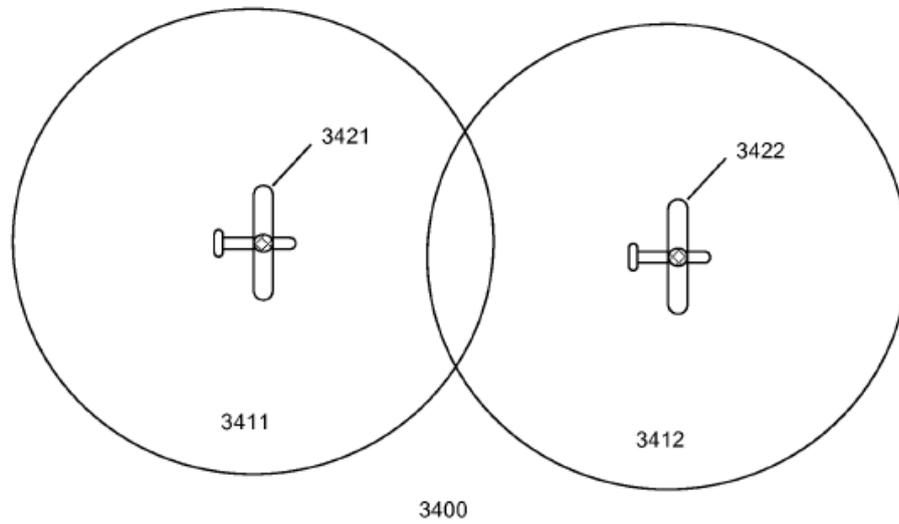


Figura 34



Figura 35

3600

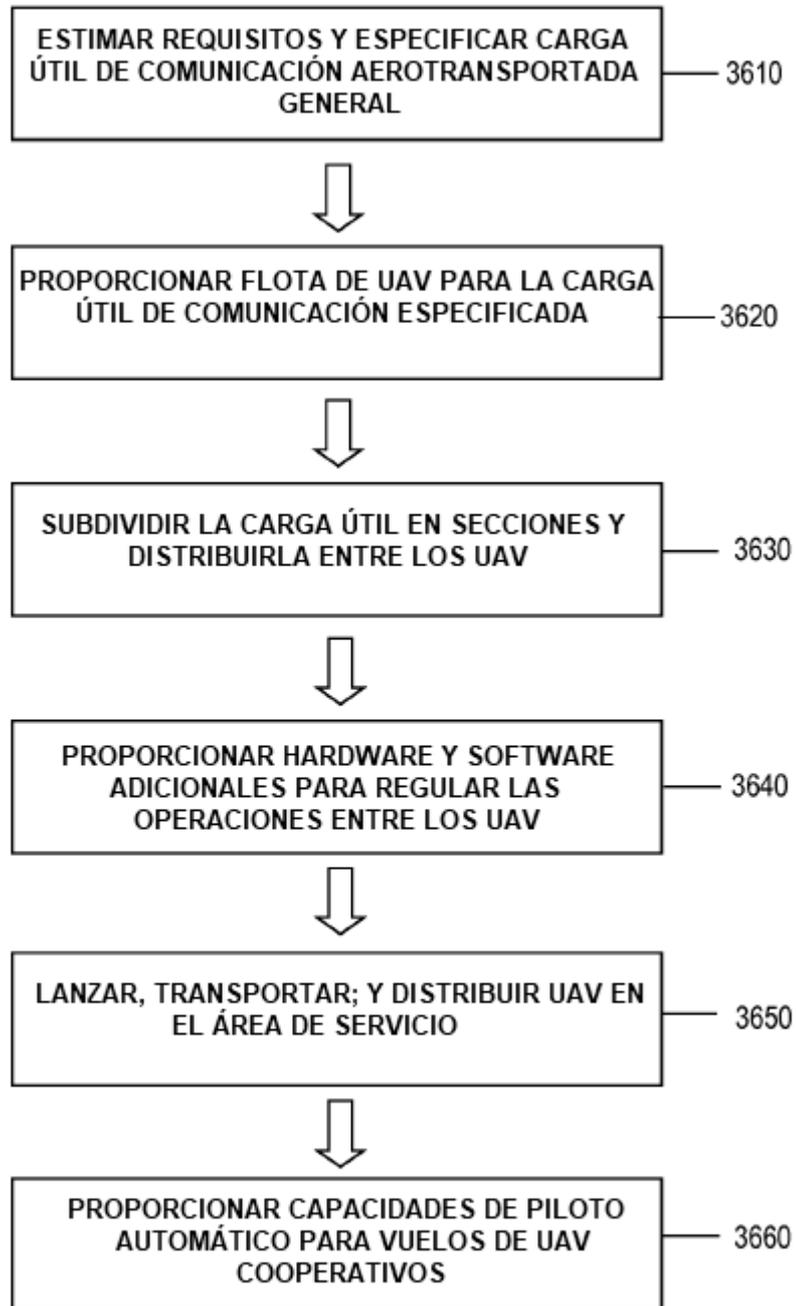


Figura 36

3700

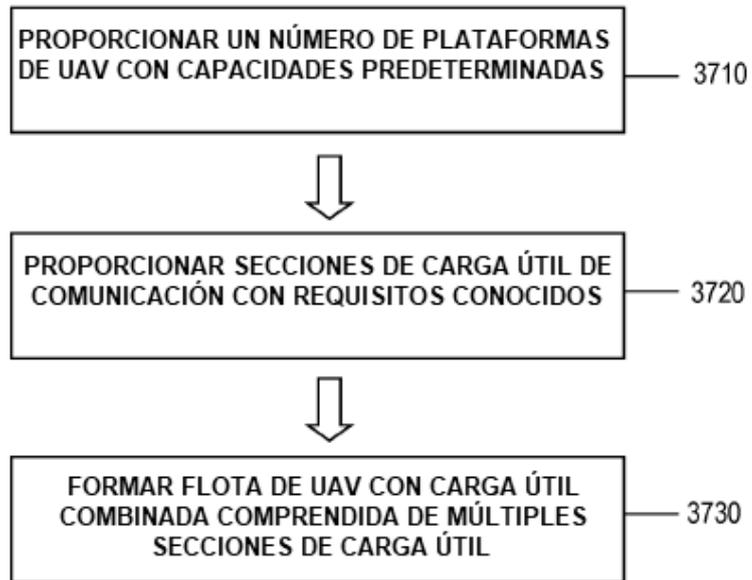


Figura 37

3800

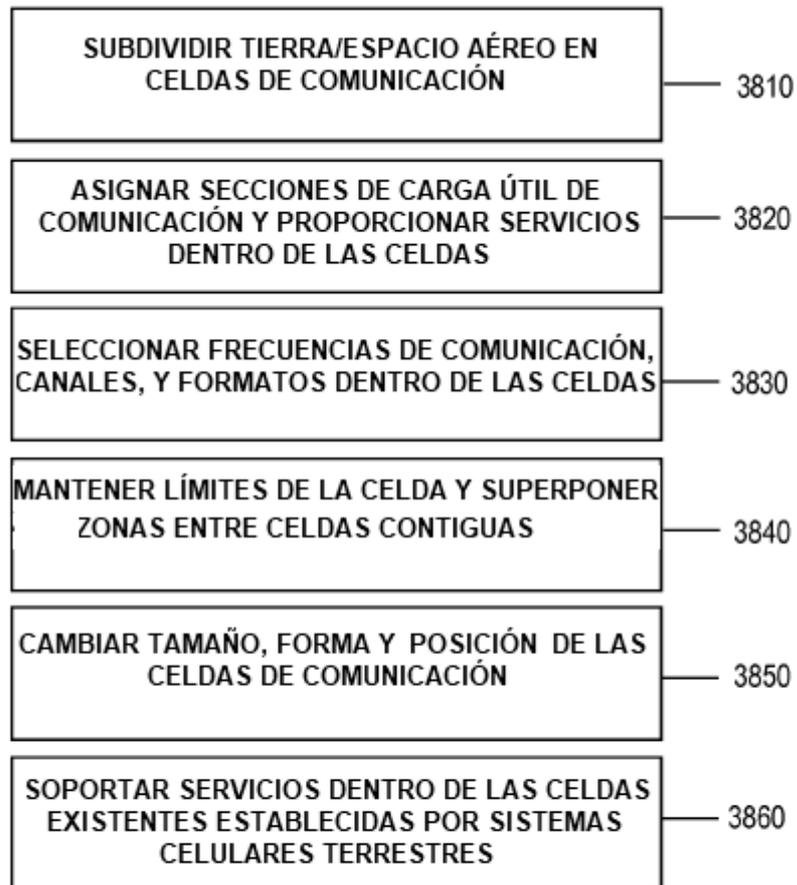


Figura 38