

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第6942909号  
(P6942909)

(45) 発行日 令和3年9月29日(2021.9.29)

(24) 登録日 令和3年9月13日(2021.9.13)

(51) Int.Cl.	F I
HO4W 24/02 (2009.01)	HO4W 24/02
HO4W 16/28 (2009.01)	HO4W 16/28 130
HO4W 84/06 (2009.01)	HO4W 84/06
HO4W 16/26 (2009.01)	HO4W 16/26

請求項の数 20 (全 34 頁)

(21) 出願番号	特願2018-525504 (P2018-525504)	(73) 特許権者	518031686
(86) (22) 出願日	平成28年7月25日 (2016.7.25)		ジェンギスコム ホールディングス エル
(65) 公表番号	特表2018-532351 (P2018-532351A)		エルシー
(43) 公表日	平成30年11月1日 (2018.11.1)		GENGHISCOMM HOLDING
(86) 国際出願番号	PCT/US2016/043852		S, LLC
(87) 国際公開番号	W02017/019595		アメリカ合衆国 80308 コロラド州
(87) 国際公開日	平成29年2月2日 (2017.2.2)		, ボールダー, ピーオーボックス 173
審査請求日	平成31年4月26日 (2019.4.26)		55
(31) 優先権主張番号	62/197,336		P. O. Box 17355, Boul
(32) 優先日	平成27年7月27日 (2015.7.27)		der, CO 80308 (US)
(33) 優先権主張国・地域又は機関	米国 (US)	(74) 代理人	100105131
			弁理士 井上 満
		(74) 代理人	100105795
			弁理士 名塚 聡

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 協調的MIMOシステムにおける空中中継器

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

無人航空機(UAV)であって、

少なくとも1つのオンボードセンサに結合され、少なくとも1つの他のUAVの少なくとも1つの相対的空間位置を決定するように構成された状況認識システムと、

UAV-ユーザ機器(UE)チャネル内の無線アクセスネットワーク(RAN)信号を少なくとも1つの他のUAVと協調して処理し、前記UAV-UEチャネルのランクを上げるとともにRAN性能基準を生成するように構成された協調的RAN信号プロセッサと

前記状況認識システムと前記協調的RAN信号プロセッサとに結合され、前記少なくとも1つの相対的空間位置とナビゲーション基準の所定の境界内で動作する前記RAN性能基準とに少なくとも基づいて前記UAVの飛行の自律的ナビゲーション制御を使用するように構成されたフライトコントローラと、を備え、

前記フライトコントローラは、協調的マルチ入力マルチ出力(MIMO)クラスタ内の少なくとも1つの他のUAVに対する前記UAVの位置を調整してMIMOチャネル容量を改善するように構成されている、UAV。

【請求項2】

前記RAN性能基準はRANミティゲーション基準として使用され、前記自律的ナビゲーション制御はRANミティゲーション性能を高めるように構成された、請求項1に記載のUAV。

**【請求項 3】**

前記協調的 R A N 信号プロセッサは、協調的マルチ入力マルチ出力プロセッサを備える請求項 1 に記載の U A V。

**【請求項 4】**

前記協調的 R A N 信号プロセッサは、U A V 間通信を行うように構成された U A V フロントホールトランシーバを備える請求項 1 に記載の U A V。

**【請求項 5】**

前記 U A V をクラスタヘッドとして操作するように構成されたフリートマネージャを更に備える、請求項 1 に記載の U A V。

**【請求項 6】**

前記フリートマネージャは、クラスタマネージャ、同期マネージャ、M I M O プロセッサ、スケジューラ、及びフロントホールネットワークマネージャの少なくとも 1 つを備える、請求項 5 に記載の U A V。

**【請求項 7】**

無人航空機 ( U A V ) の飛行を制御するシステムであって、

各々がローカルフライトコントローラモジュール及び協調的無線アクセスネットワーク ( R A N ) 信号処理モジュールを実行するプロセッサを含み、前記ローカルフライトコントローラモジュールによる使用のために前記プロセッサがアクセス可能なメモリを更に含む複数の U A V を備え、

飛行操作中、前記複数の U A V のうちの少なくとも 1 つの他の U A V の相対的空間位置、前記メモリに格納されたナビゲーション基準、及び前記ナビゲーション基準の境界内で動作する R A N 性能基準に少なくとも部分的に基づいて、各フライトコントローラモジュールは、その U A V の飛行を制御し、

前記 R A N 性能基準は、前記複数の U A V の各々の前記協調的 R A N 信号処理モジュールによって生成される R A N チャネル測定値から導出され、

前記フライトコントローラモジュールは、協調的マルチ入力マルチ出力 ( M I M O ) クラスタ内の少なくとも 1 つの他の U A V に対する前記 U A V の位置を調整して M I M O チャネル容量を改善するよう構成されている、システム。

**【請求項 8】**

前記 R A N 性能基準は R A N ミティゲーション基準として使用され、前記複数の U A V の各々は R A N ミティゲーションを実行するように構成され、前記ローカルフライトコントローラモジュールの各々は、R A N ミティゲーション性能を高めるようにその U A V の飛行を自律的に制御する、請求項 7 に記載のシステム。

**【請求項 9】**

前記 R A N 性能基準は、R A N チャネル行列の条件数を低減するように決定されたナビゲーションパラメータを含む、請求項 7 に記載のシステム。

**【請求項 10】**

前記ローカルフライトコントローラモジュールのそれぞれは更に、その U A V のエネルギー効率的動作を向上させるように構成される、請求項 7 に記載のシステム。

**【請求項 11】**

少なくとも 1 つの協調的 R A N 信号処理モジュールは、協調的マルチ入力マルチ出力モジュールを備える、請求項 7 に記載のシステム。

**【請求項 12】**

前記複数の U A V の少なくとも 1 つの U A V は、U A V クラスタヘッドとして動作するように構成されたフリートマネージャを備える、請求項 7 に記載のシステム。

**【請求項 13】**

前記フリートマネージャは、クラスタマネージャ、同期マネージャ、M I M O プロセッサ、スケジューラ、及びフロントホールネットワークマネージャの少なくとも 1 つを備える、請求項 7 に記載のシステム。

**【請求項 14】**

10

20

30

40

50

無人航空機（UAV）のクラスタ内で動作するUAVを制御する方法であって、  
オンボードセンサを使用して、少なくとも1つの他のUAVに対する相対的空間位置を  
決定するステップと、

UAV - ユーザ機器（UE）チャンネル内の無線アクセスネットワーク（RAN）信号を  
少なくとも1つの他のUAVと協調して処理し、前記UAV - UEチャンネルのランクを上げるとともにRAN性能基準を生成するステップと、

UAV間通信を使用して、前記UAVのクラスタが互いに通信することを可能にするステップと、

自律的ナビゲーション制御を使用して、前記相対的空間位置、ナビゲーション基準境界、及び前記ナビゲーション基準境界の所定の境界内で動作する前記RAN性能基準に少なくとも部分的に基づいて前記UAVの飛行を制御するステップを有し、

前記自律的ナビゲーション制御は、協調的マルチ入力マルチ出力（MIMO）クラスタ内の少なくとも1つの他のUAVに対する前記UAVの位置を調整してMIMOチャンネル容量を改善するよう構成されていることを特徴とする方法。

#### 【請求項15】

少なくとも1つの対象のUEに対するRANミティゲーションを実行することを含むように前記処理を構成するステップを更に含み、前記RAN性能基準はRANミティゲーション基準として使用され、前記自律的ナビゲーション制御は、RANミティゲーション性能を高めるように前記UAVの飛行の自律制御を行う、請求項14に記載の方法。

#### 【請求項16】

前記RAN性能基準は、RANチャンネル行列の条件数を低減するように決定されたナビゲーションパラメータを含む、請求項14に記載の方法。

#### 【請求項17】

処理は、少なくとも1つの他のUAVに対して調整された協調的マルチ入力マルチ出力（MIMO）処理を含む、請求項14に記載の方法。

#### 【請求項18】

前記RAN信号、処理済のRAN信号、及び前記RAN性能基準の少なくとも1つを、協調的MIMO処理を実行するように構成された中央プロセッサに送信するステップを更に含み、請求項14に記載の方法。

#### 【請求項19】

前記クラスタのフリート管理を実行するステップを更に含み、フリート管理は、UAVを前記クラスタに割り当てるステップ、前記クラスタ内のUAVを同期させるステップ、前記クラスタ内の他のUAVによって処理されたRAN信号の中央処理を実行するステップ、スケジューリングするステップ、及び、前記クラスタ内のUAVを接続するフロントホールのネットワークの管理を実行するステップの少なくとも1つを含む、請求項14に記載のシステム。

#### 【請求項20】

自律的ナビゲーション制御を使用するステップは、前記UAVのエネルギー効率的動作を高めるように構成される、請求項14に記載のシステム。

#### 【発明の詳細な説明】

#### 【技術分野】

#### 【0001】

#### [関連出願の相互参照]

本出願は、参照により本明細書にその全体が明示的に組み込まれる、2015年7月27日に出願された米国仮特許出願第62/197、336号の優先権を主張する。

#### 【0002】

本発明は概して無人航空機（UAV）の制御に関し、特に無線アクセスネットワークの中継器（リレー）として機能するように構成されたUAV群で使用される制御方法及びシステムに関する。

#### 【背景技術】

## 【 0 0 0 3 】

背景説明は、本発明を理解するために有用な情報を含む。本明細書に記載のどの情報も先行技術であり、又は現在クレームされている本発明に関連すること、又は明示的又は暗黙的に参照されている刊行物が先行技術であることを認めるものではない。

## 【 0 0 0 4 】

多様な任務を遂行するために遠隔制御ドローン/航空機、ヘリコプタ、及びマルチコプタなどの無人航空機(UAV)を利用することへの関心が高まっている。しかし、進行中の課題は、これらの特定の用途の各々でUAVを如何にしてより良く制御するかにある。

## 【 0 0 0 5 】

幾つかの用途では、制御され、集中化され、又は組織化された2機以上のUAVを使用して任務を遂行することが望ましく、又は有用である。例えば、UAVが目標となる地理的領域を飛行する際に、UAVは群制御を使用して制御され得る。群は、その集合的な移動が風や、(別の隣接するUAVなどの)障害物などの局所的な影響によって決定されることがある多くの自律的、反応(reflexive)的なエージェント(例えばUAVはパーティクルである)を有する自己組織化されたパーティクルシステムであると考えられることができる。UAVは、独立しており、かつ衝突の危機を回避するため隣接したUAVと通信してどのUAVが移動するか、又は両方が移動すべきかを決定することを含め、局所的に制御されることが多い。

10

## 【 0 0 0 6 】

マルチエージェントシステムの形成は、主な2つのアプローチ、すなわち集中型、及び分散型アプローチに基づいて制御可能である。集中型アプローチには、各々のエージェントがセントラルコントローラを通して受信することができるグローバル情報という利点がある。分散型アプローチでは、各々のエージェントがローカコントローラを有し、その信頼性を高められる。分散型アプローチは、グローバル情報を入手できない場合にも有用であり得る。

20

## 【 0 0 0 7 】

飛行管理の文脈では、同期化は時間の一致、又は同時操作であり、これは動力学系を制御する重要なコンセプトである。同期性能を高める重要な技術は、制御ループのフィードバック情報の共有に基づくクロス結合であり、これには多軸及び協調マニピュレータロボットの動作同期化に多くの用途がある。一方では、より多くのエージェントとの結合は動作の同期化を改善し、他方ではエージェントの通信範囲がエージェントが結合可能なエージェントを制限する。

30

## 【 0 0 0 8 】

高速無線通信を達成するためのUAVの使用は、将来の通信システムに重要な役割を果たすものと期待されている。無線アクセスネットワーク(RAN)では、RANトランシーバが装備されたUAVを使用して迅速にRANサービスを展開し、地上セルラネットワークと比較してCAPEX(設備投資)及びOPEX(運用コスト)が低い信頼性の高いブロードバンドネットワークインフラを提供することができる。例えば、このようなUAVは、地上ベーストランシーバ基地局(BTS)と1つ又は複数のユーザ機器(UE)との間の中継器として機能することができる。

40

## 【 0 0 0 9 】

UAVの高移動性は、通常は疎く、断続的に接続された高度に動的なネットワークロジを生じ得る。その結果、効果的なマルチUAVの協調、又はUAVの群運用は信頼性の高いネットワーク接続を確保するように設計されるべきである。

## 【 0 0 1 0 】

別の課題は、通信、計算、及び耐久力を制限するUAVのサイズ、重量、及び電力の制約である。このような問題に対処するため、合理的なエネルギー使用及び補充のためのエネルギーを意識したUAVの展開及び動作メカニズムが必要である。その上、UAVの移動性、並びに固定的バックホールリンクにより、近隣のセルとUAVで可能になる空中基地局との間の干渉制御は、地上セルラシステムより困難である。従来の知見はUAV支援のセ

50

ルラ受信可能範囲（カバレッジ）の効果的な干渉制御技術を必要とするが、協調的マルチ入力マルチ出力（MIMO）は、干渉を活用してRANの性能を飛躍的に向上させることが実証されている。

【0011】

2001年、Shattilは協調的BTS間の連結的MIMO処理を含む協調マルチポイント（米国仮特許出願第60286850）を発表した。これはユニバーサル周波数の再利用を可能にすることにより、どのUEにも役立つようにRANのフルスペクトルが利用可能である。2002年、Shattilは、ソフトウェア無線が協調マルチポイントシステムでの分散コンピューティングを介して実施されるクラウドRAN（米国特許第7430257号）を発表した。2002年と2004年に、Shattilはクライア  
10

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0012】

UAVが協調的MIMOネットワークで機能するためには、例えばUAVはRANの性能を保証し、及び/又は増強するために空間的に協調されることができよう。RANの用途でのUAVの制御は、UAV間の通信を行い、同期化、クラスタ形成、並びに群管理にも不可欠な他の制御及び/又は検出能力を提供することを含み得よう。したがって、RANの性能増強を含み、飛行管理、ターゲット追尾、障害物回避他を含み得る多目的任務向けに構成された群管理のための行動的構造を可能にする必要がある。  
20

【課題を解決するための手段】

【0013】

UAVを含む無線通信システムは、インフラの受信可能範囲（カバレッジ）にないデバイスの費用効果の高い接続性を確保することを保証する。地上通信、又は高高度プラットフォーム（HAP）に基づく通信と比較して、低高度UAVによるオンデマンド無線システムは展開が迅速で、より柔軟に再構成され、通信チャネルを向上させる可能性がある。本開示の態様は、無線通信用に移動性が高く、エネルギーが制約されたUAVを使用する課題の多くに対応する。  
30

【0014】

本開示の態様は、MIMO処理を含み得る協調的MIMO処理を記載し、マルチ入力（MI）は複数のUAVからのダウンリンク伝送を含み、マルチ出力（MO）は複数のUAVへのアップリンク伝送を含む。本開示の更なる態様は、協調的MIMO処理がUE、BTS、及び/又はUAVなどの中継ノードを使用可能であることを示している。幾つかの態様によれば、BTS、UAV、UE、及び少なくとも1つの中央プロセッサ（CP）の組み合わせは、協調的MIMO処理を実行するように構成される。  
40

【0015】

幾つかの態様では、UAVは、少なくとも1つのオンボードセンサに結合され、他のUAVの位置を検出するように構成された状況認識システムを備えている。協調的無線アクセスネットワーク（RAN）の信号プロセッサは、少なくとも1つの他のUAVと協調してUAV-ユーザ機器（UE）のチャネル内のRAN信号を処理し、RANの性能基準を生成するように構成され、この協調的処理がUAV-UEチャネルのランクを高める。飛行コントローラは、状況認識システム及び協調的RAN信号プロセッサに結合され、他のUAVの相対的空間位置に基づく、またナビゲーション基準の所定の境界内で動作するRANの性能基準に基づくUAVの飛行の自律ナビゲーション制御を使用する。本明細書で用いられるRAN性能基準は、RANミティゲーション性能基準を含み得る（ミティゲ  
50

ションは、軽減、緩和又は影響軽減を意味する)。幾つかの態様では、UAVは脅威であると識別された1つ又は複数のUEに対するミティゲーション戦術を使用するように構成され、他のUAVがこのようなミティゲーションを行うように協調し得る。RAN性能基準はRANミティゲーション基準として使用可能であり、飛行制御(フライトコントロール)は自律ナビゲーション制御を適応させることによってRANの経変性能を増強する。上記の動作を行うように構成された送信機及び受信機が本開示の態様で使用され得る。

【0016】

以下の特許出願、2001年4月26日に出願された出願番号第60/286,850号、2002年4月24日に出願された第10/131,163号、2002年5月14日に出願された第10/145/854号、2005年7月22日に出願された第11/187,107号、2015年1月27日に出願された第14/168,442号、2015年5月12日に出願された第14/709,936号、2015年9月28日に出願された第62/233,982号、及び2015年9月11日に出願された第62/252,717号は全て参照として本明細書に組み込まれている。

10

【0017】

「処理ブロック」又は「ステップ」を含む開示される方法を示すフローチャートは、コンピュータソフトウェア命令、又は命令群を表し得る。あるいは、処理ブロック又はステップは、デジタル信号プロセッサ、又は特定用途向け集積回路(ASIC)などの機能的に同等の回路により実行されるステップを表し得る。フローダイアグラムはいずれかの特定のプログラミング言語の構文を示すものではない。むしろ、フローダイアグラムは回路を製造し、又はコンピュータソフトウェアを生成し、本開示に基づいて必要な処理を実行するために当業者が必要とする機能情報を示すものである。ループ及び変数の初期化、及び一時変数などの多くのルーチンプログラム要素は図示されていないことに留意されたい。本明細書に別段の指示がない限り、特定のステップの順序は説明目的であるに過ぎず、変更可能であることが当業者には理解されよう。別段の記載がない限り、記載のステップの順序は順不同であり、すなわちステップは便利な、又は望ましいどの順序でも実行可能である。

20

【図面の簡単な説明】

【0018】

【図1】本開示の一態様によるネットワークポロジのブロック図である。

30

【0019】

【図2】本開示のある態様によるUAVのブロック図である。

【0020】

【図3】図3A, 3B, 3Cは、本開示の態様による方法を示すフローダイアグラムを示す図である。

【0021】

【図4】本開示の態様により動作するように構成されたコンピュータプロセッサによって実施可能な手順を示す図である。

【0022】

【図5】本開示の態様によるUAV群の管理に関連するナビゲーション指令とRAN指令間の関係を示す図である。

40

【0023】

【図6】本開示のある態様によるUAVのブロック図である。

【発明を実施するための形態】

【0024】

本開示の様々な態様を以下に記載する。本明細書の教示は広範な形態で実施され、本明細書に開示のどの特定の構造、機能、又はその両方は代表的なものであるに過ぎないことを理解されたい。本明細書の開示に基づいて、本明細書に開示の態様は他の任意の態様とは別個に実施されてもよく、又は2つ以上のこれらの態様は様々な方法で組み合わせ得ることを当業者は理解されたい。例えば、本明細書に記載の任意の数の態様を用いて装置が

50

実施され、又は方法が実行されてもよい。加えて、本明細書に記載の1つ又は複数の態様に加えた、又はそれ以外の他の構造、機能、又は構造と機能を使用してこのような装置が実施され、又はこのような方法が実施されてもよい。

【0025】

本開示を通して用いられる(「フロントホール」、「プリコーディング」、「UE」、「BTS」、「ノード」、及び「CP」を含む)様々な用語の記載は、全体が参照として組み込まれる、2015年7月27日に出願された米国仮特許出願第62/197,336号に記載されている。

【0026】

本開示のいくつかの態様によるMIMOシステムの特徴の1つは、複数の空中中継局(リレーステーション、例えばUAV)111.1~111.4、112.1~112.3、及び113.1~113.3で図1に示されるような複数の能動的散乱プラットフォームを備えるマルチパス通信チャネルである。能動的散乱プラットフォームは、BTS(1つ又は複数)とUE(1つ又は複数)間の順方向リンク及び/又は逆方向リンク内のRANチャネル行列のランクを拡大する役割を果たすことができる。その結果、送信源(例えば1つ又は複数のBTS100.1及び100.2)から複数の送信先(例えばUE120.1~120.5)へのマルチパス伝搬チャネルは計測可能であるだけでなく、これらの能動的散乱プラットフォーム111.1~111.4、112.1~112.3、及び113.1~113.3を介して制御可能であり、それによって差別的な伝搬機能を介して複数のユーザ間でのより効果的な周波数の再利用が可能になる。本開示のいくつかの態様は、割り当てられたスペクトルを複数のユーザがMIMO通信構成で同時に再利用し、これらのユーザが割り当てられたリソースを動的かつ効果的に共用することを可能にする手段を提供する。

【0027】

第1の一般的な態様では、UE120.1~120.5はRANを使用して、能動的散乱プラットフォーム111.1~111.4、112.1~112.3、及び113.1~113.3を介して1つ又は複数のBTS101.1及び101.2と通信する。無線アップリンクはリンク141.u、142.u、及び143.uによって示され、無線ダウンリンクはリンク141.d、142.d、及び143.dによって示されている。しかし、これらのダウンリンクのうちの1つ又は複数のダウンリンクは、光通信を使用してリンク160によって示されるような能動的散乱プラットフォーム111.1~111.4、112.1~112.3、及び113.1~113.3の間の通信は、(それらに限定されないが)WPAN及びWLAN無線技術、及び光通信技術を含む任意の様々な近距離ブロードバンド無線リンクを備えることができる。能動的散乱プラットフォーム111.1~111.4、112.1~112.3、及び113.1~113.3からBTS101.1及び101.2へのダウンリンクは、リンク151.d、152.d、及び153.dによって示されている。BTS100.1及び101.2から能動的散乱プラットフォーム111.1~111.4、112.1~112.3、及び113.1~113.3へのアップリンクは、リンク151.u、152.u、及び153.uによって示されている。リンク151.d、152.d、153.d、151.u、152.u、及び153.uは、光及び/又は無線通信リンクを含むことを理解されたい。

【0028】

本明細書に記載のどの方法及びデバイスも、この第1の一般的態様により具現化されるネットワーク構成で、また本開示の特定の態様により構成されるネットワーク構成で実施され得る。第1の一般的態様は図1から推察できるが、能動的散乱プラットフォームと通信するためにHAP及び/又は衛星を使用するネットワーク構成などの追加の態様が提供されてもよい。

【0029】

一態様では、UE120.1~120.5は協調グループ(例えばユーザグループ131.1~131.3)内で構成され、各グループのUEは、動作を協調し、リソースを共

10

20

30

40

50

用し、又は他の方法で協調してRAN内の信号を処理する。別の態様では、能動的散乱プラットフォーム111.1~111.4、112.1~112.3、及び113.1~113.3はクラスタ132.1~132.3に編成され、クラスタ間及び/又はクラスタ内通信を提供し得る。各クラスタ内のプラットフォームは、UE120.1~120.5と通信する信号、クラスタ132.1~132.3間で交換される信号、及び/又はBTS100.1及び100.2と交換される信号を処理するように協調及び/又は協力するなど、互いに協調するように構成され得る。

#### 【0030】

別の態様では、BTS100.1~100.3は、BTS100.1~100.3、能動的散乱プラットフォーム111.1~111.4、112.1~112.3、及び113.1~113.3、及び/又はUE120.1~120.5によって要求される信号処理操作の少なくとも一部を実行するように構成されたCP130に通信可能に結合される。このような信号処理は、1つ又は複数のデータセンタ内のサーバなどのクラウドコンピューティングアーキテクチャ内にあるソフトウェア定義無線(SDR/software defined radio)で実施することができる。幾つかの態様では、UE120.1~120.5、能動的散乱プラットフォーム111.1~111.4、112.1~112.3、及び113.1~113.3、及び/又は他のネットワークデバイスなどのネットワーク全体で通信可能に結合されたデバイスを介して、分散コンピューティングが行われてもよい。

#### 【0031】

中央処理を用いることによって、複雑なグローバル操作から多種類のローカル操作にわたる多様な信号処理タスクがプールされ得る。これによって、BTS及び能動的散乱プラットフォーム、中継ノードなどのエッジデバイスのコスト、電力需要、及び/又は処理要件を低減可能である。幾つかの態様では、ある操作はネットワークエッジで行われる方が適している。例えばエッジ分散型操作は待ち時間、及び通信帯域幅の要件を低減することができる。様々なコスト評価及び他の評価アルゴリズムを使用して、エッジでどの操作を行うか、またいつそれを行うかを決定することができる。幾つかの態様では、エッジ処理は単純な操作であり得るが、グローバルな観点で見ると、複雑な集合的知能を示す。本開示の幾つかの態様では、エッジ処理と中央処理との組み合わせを行って、簡略化エッジデバイス間の平衡な(例えば向上する)均衡を達成し、変化する条件への適切な対応を達成し、管理可能なフロントホール負荷を維持することができる。

#### 【0032】

図1に示される別の態様は、デバイス非依存協調のコンセプトを用いる。具体的には、多目的に役立つなどの役割を変更するようにデバイスを構成可能である。例えば、グループ131.2はUE120.2及びBTS101.2を備えている。一態様では、UE120.2はBTS101.2と協調してBTS101.2のアレイ用の追加のRANアンテナ(1つ又は複数)として機能する。UE120.2は、無線フロントホールリンクを使用してBTS101.2と直接通信し、例えばRANでの送信及び/又は受信を協調させてもよいであろう。同様に、BTS101.2は、例えばRANでの協調的なサブスペース処理操作のためのチャンネル行列のランクを上げることによってUE120.2を支援するように構成されることができよう。別の例では、能動的散乱プラットフォーム111.1~111.4、112.1~112.3、及び113.1~113.3のうちの1つ又は複数は、いずれかのUE120.1~120.5、いずれかのBTS100.1~100.3、又はそのいずれかの組み合わせと協調アレイを形成してもよいであろう。例えば、能動的散乱プラットフォームはUEグループと連携して、そのグループのためのRAN信号の協調的MIMO処理を支援してもよいであろう。能動的散乱プラットフォームは1つ又は複数のBTSと連携して、協調的ベストラランシーバアレイとして機能することができよう。幾つかの態様では、UE及び/又はBTSは、能動的散乱プラットフォームのクラスタに参加して、無線信号を能動的散乱プラットフォームの別のクラスタに中継することを支援することができよう。

#### 【0033】

10

20

30

40

50



図1には、RANチャネルが(BTS100.3からのリンク144によって描写されているような)地上ベーストランシーバ通信と、(能動的散乱プラットフォームグループ132.3からのRANリンク143.u及び143.dなどの)能動的散乱プラットフォームの両方によって提供されるネットワークも描写されている。このような態様では、協調的MIMOサブスペース処理がCP130で実施可能であり、これはプリコードされたRAN信号を送信し、及び/又はRAN信号を受信するための協調RANノード(例えばBTS100.3及び散乱プラットフォームグループ132.3)をも調整する。

【0034】

UE120.1~120.5及びBTS100.1~100.3はアンテナシステム(それぞれ121.1~121.2及び101.1~101.3)を有するものとして示されているが、他のタイプの無線トランシーバが使用されてもよい。例えば、リンクの一部(それらに限定されないが151.u、151.d、152.u、152.d、153.u、153.dなど)は光リンクを有してもよい。したがって、LED及び光検出器アレイ(又は他の適宜な光トランシーバ)がトランシーバとして使用されてもよい。各々のアンテナシステム121.1~121.2及び101.1~101.3は1つ又は複数のアンテナを備えていてもよいが、光トランシーバは単一又は複数の光送信機と単一又は複数の光検出器を含み得る。各々の能動的散乱プラットフォーム111.1~111.4、112.1~112.3、及び113.1~113.3は、少なくとも1つのアンテナ、及び必要に応じて少なくとも1つの光送信機、及び少なくとも1つの光受信機などのある種の無線トランシーバ装置を備えていることを理解されたい。

【0035】

本開示の幾つかの態様によれば、BTS100.1~100.2トランシーバ装置101.1~101.2はランプ、スポットライト、交通信号、街灯、及び/又はその他様々な種類の偏在(ユビキタス)照明を備えることができ、このようなユビキタス光源はデータで変調されてアップリンク151.u、152.u、及び153.uを提供する。幾つかの態様では、通信リンクの少なくとも幾つか(例えばアップリンク151.u、152.u、及び153.u)は、通信の他の追加機能の提供に関して多目的であり得る。例えば、一態様では、アップリンク151.u、152.u、及び153.uは、能動的散乱プラットフォーム111.1~111.4、112.1~112.3、及び113.1~113.3の少なくとも幾つかに電力(パワー)を供給する。別の態様では、アップリンク151.u、152.u、及び153.uは、能動的散乱プラットフォーム111.1~111.4、112.1~112.3、及び113.1~113.3の少なくとも幾つかに同期信号(又は他の制御信号)を供給する。別の態様では、アップリンク151.u、152.u、及び153.uは、能動的散乱プラットフォーム111.1~111.4、112.1~112.3、及び113.1~113.3の位置を探索し、追尾し、及び/又は方向を定め得る。

【0036】

別の態様によれば、能動的散乱プラットフォーム111.1~111.4、112.1~112.3、及び113.1~113.3は、グループ(又はクラスタ)132.1~132.3へと自己編成し、及び/又はこれらは地上操作(例えばCP130)によってそれぞれのグループへと編成され得る。幾つかの態様では、各グループはクラスタヘッドを有することができる(例えば、各々の能動的散乱プラットフォーム111.1、112.1、及び113.1は、それぞれのグループ132.1、132.2、132.3のクラスタヘッドとして機能してもよいであろう。)各クラスタヘッド111.1、112.1、及び113.1は、(それらに限定されないが)他のメンバを同期化し、グループのためにBTSと通信し、地上ユニットから受信されたコマンド及び制御信号に従ってグループ操作を編成し、グループ内の通信を制御し、グループの中央処理操作を行い、グループがRANを介してUE及び/又はBTSと通信するように調整し、グループのヘッドを決定し、グループの飛行編隊を編成し、グループメンバ間の演算及び/又は電力負荷のバランスを取り、及び/又は制御責任を他のグループメンバに転移することを含むサービ

10

20

30

40

50

スをそれぞれのグループの他のメンバに提供することができる。

【 0 0 3 7 】

幾つかの態様では、能動的散乱プラットフォーム（例えば 1 1 1 . 4）は、1つ又は複数のグループ（例えば 1 3 2 . 1 及び 1 3 2 . 2）に属することができる。プラットフォーム 1 1 1 . 4 は複数のクラスタヘッド（例えば 1 1 1 . 1 及び 1 1 2 . 1）から制御情報を受信し、処理することができる。プラットフォーム 1 1 1 . 4 は、複数のクラスタヘッド 1 1 1 . 1 及び 1 1 2 . 1 の少なくとも1つからのコマンド及び制御信号の少なくとも幾つかを無視してもよい。幾つかの態様では、プラットフォーム 1 1 1 . 4 は、どのクラスタヘッドが制御情報を受信するかを選択し得る。幾つかの態様では、どのクラスタヘッド（1つ又は複数）がどの制御信号をプラットフォーム 1 1 1 . 4 に提供するかを別のデバイス（例えばクラスタヘッド、B T S、U E、及びノ又はC P）が決定する。

10

【 0 0 3 8 】

以下の記述で「順方向リンク」は、順方向アップリンク（例えばリンク 1 5 1 u）、能動的散乱プラットフォーム間の任意の通信リンク（1つ又は複数）（例えばリンク 1 6 0 などの中継チャネル）、及びU E（1つ又は複数）への順方向ダウンリンク（例えばリンク 1 4 3 . d）を含み得る、B T S（1つ又は複数）からU E（1つ又は複数）への通信経路を指す。順方向リンクはC PとB T S間の通信リンクをも含む。

【 0 0 3 9 】

「逆方向リンク」は、逆方向アップリンク（例えばリンク 1 4 1 u）、能動的散乱プラットフォーム間の任意の通信リンク（1つ又は複数）（例えばリンク 1 6 0 などの中継チャネル）、及びB T Sへの逆方向ダウンリンク（例えばリンク 1 4 3 u）を含み得る、U E（1つ又は複数）からB T S（1つ又は複数）への通信経路を指す。順方向リンクはC PとB T S間の通信リンクをも含む。

20

【 0 0 4 0 】

中継チャネルは、各々がノイズの存在、アルゴリズムの複雑性、及び必要なノイズ情報に関して困難さが異なる増幅転送（A F）、復調転送（D F）、又はフィルタ転送（F F）などのソースノードからのメッセージに対して何を行うかによって特徴付けされる。能動的散乱プラットフォームは、多経路の支配的チャネルを提供することができ、多経路の少なくとも幾つかは能動的散乱プラットフォームを通る。幾つかの態様では、これらのプラットフォームは、増幅、遅延、及び送信元から送信先（例えばU EやB T S）への方向調整を行う並列経路である。幾つかの態様では、送信元と送信先とは地上にあり、空中プラットフォームは、サービング信号の受信、低ノイズ増幅、フィルタ処理、周波数変換、電力増幅、及び再放射機能を行うベントパイプトランスポンダーとしての役割を果たす。

30

【 0 0 4 1 】

幾つかの態様では、M I M O構成は、B T S、空中プラットフォーム、又はその幾つかの組み合わせの共通のカバレッジ内で複数のB T Sから送信先への放射を介した通信ハブに送信元を有するポイントツーポイントアーキテクチャを特徴とする。幾つかの態様では、M I M O構成は、B T S、空中プラットフォーム、又はその幾つかの組み合わせの共通のカバレッジ内で複数のB T Sから送信先への放射を介した通信ハブに送信元を有するポイントツーマルチポイントアーキテクチャを特徴とする。

40

【 0 0 4 2 】

ある態様によれば、M I M Oシステムは、多経路によって占められる伝搬チャネルの探查信号シーケンスからの応答を含み得る、チャネル状態情報（C S I）に基づいて選択され、特徴付けられる複合転送機能を利用する。各々の伝搬経路は一組の固有の応答機能によって特徴付けられ、複合転送機能は、選択されたユーザへの応答が増強され、（必要に応じて）他のユーザへの応答が抑制される「ユーザ依存」型に構築され、又は成形可能である。幾つかの態様では、調整モードで動作する場合、協調U EはR A Nと同じ周波数リソースを使用して、又はローカルエリアネットワークを介して情報を通信し、ベースバンドをキャンセルすることによって他のU Eへの干渉を抑制するように構成される。

【 0 0 4 3 】

50

出願人の'850号特許出願に最初に記載されたように、分散型マルチユーザMIMO (MU-MIMO)は、利用可能なアンテナ素子が複数の別個のアクセスポイント、又は各々が1つ又は複数のアンテナを有する無線端末に広がる一組の先進MIMO技術である。全ての端末の通信能力を高めるため、MU-MIMOには空間分割多重アクセス(SDMA)の拡張版が備えられ、複数の送信機がサブスペース符号化信号を送信し、複数の受信機が同時に同じ周波数で別個の信号を受信できるようにされている。

【0044】

'163号及び854号出願では、分散型マルチユーザMIMOの実施形態は空中及び空地通信を含む。したがって、中継ノードは空中と地上の通信プラットフォームの任意の組み合わせを含み得る。幾つかの態様では、複数の並列経路は複数の能動的ベントパイプトランスポンディングプラットフォームを通る。MIMOチャネルの転送機能は、1つ又は複数の中継ノードを通して伝搬する集合的效果を含み得る利用可能なCSIに基づいており、空間多重方式(例えばサブスペースプリコーディング及びデコーディング)重量は、複数のユーザがRANで同じスペクトラルリソースを同時に使用できるようにするために周波数の再使用を提供する。

【0045】

幾つかの態様では、図1に示されるネットワークは、RANミティゲーションを実行するように構成可能である。例えば、無認可の無線信号が検出され、又は遠隔制御ピークル(遠隔制御無人機)(例えばUAV)が脅威であると判断されると、1つ又は複数のUEはピークルの無線コントローラとして同定される。UAVは、協調的にRAN信号を処理し、UE(1つ又は複数)及びピークル(1つ又は複数)のいずれか又は両方の位置を探查し、同定する。このような場合、UAVのクラスタ間の調整されたナビゲーションは、UEの位置探查及び/又は同定を可能にする。この場合、RANミティゲーションは、用いられるミティゲーション(影響軽減)のタイプに応じてナビゲーションが適応されるUAV間の協調的ナビゲーションを含み得る。UAVは協調して、コントローラ及び/又はピークルによって送信されたRAN信号を傍受することができる。(チャンネル推定のために行われるような)信号の単純な傍受及びその特質の測定は、受動的攻撃と呼ばれることがある。RANミティゲーションは、攻撃を可能にするために、その間にクラスタ内のUAV間の調整されたナビゲーションが実行される能動的攻撃を含み得る。能動的攻撃は、UE及び/又はピークルのフォーカスされたRANの電波妨害を含むことがあり、協調的MIMOで実行される類似のプレコーディング技術を使用して実施することができる。他の能動的攻撃は、例えばその通常の動作パラメータ内の方法で無線を実行させるが、所定の条件又はオペレータの意図には適さない、ターゲットのUE(1つ又は複数)及び/又はピークルにより使用されるRAN信号のプロトコル操作を含む。幾つかの態様では、能動的攻撃はその無線リンクを介してピークルを電子的にハイジャックし、ときにはソフトウェアの脆弱性を逆手に取って、これを安全な場所に着陸させ、これを制限空域から遠ざけ、又はそのホーミングルーチンを起動することを含み得る。本開示の態様では、調整されたナビゲーションは、各UAV搭載のルールベースの自律ナビゲーション制御を介して達成され、このルールは他のUAVの相対的空間位置に基づくものであり、任務の目的に基づいて適応化され得る。場合によっては、任務の目的は、RANの性能基準を確立し得るRANの測定に基づいてルール、ひいてはナビゲーションを適応させることで果たされる。このような自律ナビゲーションの実施は群知能につながり得る。

【0046】

群知能は一般に、分散型制御及び自己編成を用いて調整されるマルチコンポーネントシステムの集合的挙動の研究を指す。工学的な観点から、群知能は、適応型で強靱かつ拡張可能な挙動を提供可能な自律的分散型システムのボトムアップ設計を強調する。

【0047】

上述のように、分散型MIMO通信システムは、複数のアンテナ素子を有する複数のBTS、CP、及び複数の遠隔受信機(例えばUE)を備えることができ、複数のBTS(及び/又はCP)は、(例えばトレーニング(training)信号を送信し、遠隔受信機から

10

20

30

40

50

トレーニング信号の応答を受信し、遠隔受信機からトレーニング信号を受信し、遠隔受信機から受信されたデータ信号の既知の特性、及び/又は遠隔受信機から受信された信号の他のブラインド適応処理に基づいてチャンネル推定を行う)など、B T S (及び/又はC P)は、現在のチャンネル状態情報を計測し、次いで現在のC S Iを更新し、M I M O処理の設定を更新するように構成される。しかし、多経路チャンネルは、B T S から発信され、複数の遠隔受信機へと向かう通信信号を無線で能動的に散乱させるように構成された複数のプラットフォーム上にある無線通信電子装置をさらに含む。

【0048】

モバイルアドホックネットワーク、特にU A Vを中継ノードとして使用するネットワークでは、ネットワーク要素の移動性、及び(場合によっては)集中制御の欠如は協調的M I M O処理を困難なものにすることがある。これらのネットワークでは、強靱で適応性があり、分散及び自己編成的に動作する協調的M I M O処理アルゴリズムを提供することが有利である。

10

【0049】

本開示の態様は、能動的散乱プラットフォーム111.1~111.4、112.1~112.3、及び113.1~113.3の決定処理と制御を含む。広く考えると、協調的決定及び制御のフィールドは、共通の目的を達成するために展開される準自律エージェントの動作のために使用可能なこれらの学際的方法を対象とする。エージェントの能力を活用することによって、チームの協力が一部の努力の総和を超えるものと期待される。しかし、この潜在的利益の利用は、動的で不確実な環境での多岐にわたるコンポーネントへの対処がもたらす複雑さのため困難である。一般に、協調的決定及び制御アルゴリズムは、センサ及びアクチュエータ監視ネットワーク、サプライチェーン管理システム、送電網、及び交通体系などの大規模ネットワークシステムの監視に応用される。特別重要な用途は、偵察及び戦闘シナリオなどのU A Vチームの指揮統制である。

20

【0050】

本開示の幾つかの態様では、能動的散乱プラットフォーム111.1~111.4、112.1~112.3、及び113.1~113.3はU A Vであり、U A Vの指揮統制は飛行管理と協調的M I M O処理の両方を行うことができる。幾つかの態様では、(航空交通管制の用途での「フリーフライト」のコンセプトなどの)協調的飛行管理は、M I M O処理用の協調アンテナを調整するために有用な多くの同じローカル通信及び状況認識基準を用いる。従来の分散型航空交通管制技術は、ナビゲーション管理(例えば衝突防止、航空機の安全な離隔距離、最適なルーティングなど)だけを提供するのに対して、本明細書に記載の態様は、M I M O処理基準をナビゲーション決定プロセスに導入する。幾つかの態様では、M I M O処理基準は(例えばU A Vによって)ローカルに、(例えばC P, B T S, U Eによって)遠隔から、又はその幾つかの組み合わせによって設定されてもよい。

30

【0051】

幾つかの態様は、協調的飛行管理が分散同期に有用な多くの同じローカル通信及び状況認識基準を用いていることを活用している。このような態様は、各々の送信機が受信機(1つ又は複数)からのフィードバックに基づいて、その周波数及び位相を別個に適応させる分散型のフィードバックベースの同期アーキテクチャを可能にする。原則として、これはシステムが無数の多数の協調送信機に拡大できるようにする。

40

【0052】

様々なタイプのルーティングアルゴリズムが使用可能である。テーブル駆動アルゴリズムは、通常は純然たる積極型であり、すべてのノードが常に他のすべてのノードへのルーティングを維持しようと試みる。これは、これらがトポロジ変化を全て記録する必要があることを意味し、それは多くのノードがある場合、及び/又はノードが極めてモバイルである場合は困難なことがある。要求駆動アルゴリズムは、純然たる対応型である。すなわち、ノードは、新たな送信先へのデータセッションが開始され、又は使用中の経路が失敗である場合だけルーティング情報を収集する。対応型アルゴリズムは一般に、ルーティン

50

グオーバーヘッドを低減するためより拡張性があるが、通常は破壊イベントに対する備えがないため性能が変動する可能性がある。幾つかの態様で使用されるルーティングアルゴリズムは、積極型と対応型の両方を使用するハイブリッド型であってもよい。

【 0 0 5 3 】

U A V 群では、特に U A V 対 U A V 通信の場合は個々の U A V の通信範囲は限定されることがある。マルチホップ方式ではデータ及び制御パケットをルーティングすることが必要なこともある。異なる活動を支援するため、ネットワーク内のノード間でデータ通信を確立可能である。例えば、U A V 対 U A V 通信は、協調的 M I M O 処理のためのデータ転送及び制御シグナリングを含み得る。これはまた、郡内、及びクラスタ間のルーティングオペレーションをも含み得る。中間 U A V シンクノードは、結果をグローバルシンクに送信する前に個々に、又は協調的にデータ処理することができ、及び / 又は適宜のアクションをローカルに始動することができる。( U A V のクラスタヘッド又は C P 1 3 0 であってもよい) グローバルシンクは全データ集約、並びに M I M O サブスペースのプレコーディング及び / 又はデコーディングなどのグローバル処理動作を実行する。

10

【 0 0 5 4 】

幾つかの態様では、協調的 M I M O ネットワーク内の効率的な情報交換と処理任務を支援することができるルーティング方式の設計と実施は、有利には以下を考慮に入れることができる。第 1 に、経路発見と情報ルーティング用に採用された機構は、エネルギー効率が高いことが必要である。第 2 に、ネットワークは自律的特性を有する必要があり、すなわち使用されるプロトコルは自己編成的で、故障や損失に対する耐性がなければならない。最後に、ルーティングプロトコルは、大規模で高密度のネットワーク、及び潜在的には長いマルチホップ経路を発見し、維持し、使用する必要性から生じる関連する困難に対処できる必要がある。効率的な情報交換のためのこのような基準は、U A V によって使用されるナビゲーションルールへの適応によって実施可能である。

20

【 0 0 5 5 】

図 2 は、本開示のある態様による U A V のブロック図である。フライトコントローラ 2 0 2 は、状況認識システム 2 0 1 及び協調的 R A N 信号プロセッサ 2 0 3 に通信可能に結合されている。U A V のフロントホールトランシーバ 2 0 4 は、U A V フロントホールルータ 2 3 2 を含み得る。システム 2 0 1 は、少なくとも 1 つ又は複数のオンボードセンサ 2 1 1 及び G P S モジュール 2 1 2 を備え得る。プロセッサ 2 0 3 は、U A V - U E C S I エステイメータ 2 3 1、U A V フロントホールルータ 2 3 2、及び必要に応じて M I M O プロセッサ 2 3 3 を含み得る。プロセッサ 2 0 3 は、U A V - B T S トランシーバ 2 0 6 及び U A V - U E トランシーバ 2 0 7 に結合されている。必要に応じて、フリートマネージャ 2 0 5 が備えられてもよい(フリートは、艦隊、集団又は集合体を意味し得る)。フリートマネージャ 2 0 7 は、U A V クラスタマネージャ 2 5 1、同期マネージャ 2 5 2、M I M O プロセッサ 2 5 3、スケジューラ 2 5 4、フロントホールネットワークマネージャ 2 5 5、及び / 又は軽減コーディネータ 2 5 6 を含み得る。

30

【 0 0 5 6 】

システム 2 0 1 は、少なくとも 1 つの他の U A V に対する U A V の相対的空間位置を判定するように構成される。相対的空間位置は、例えば地理的位置情報(例えば経度、緯度など)、及び / 又は方向性経路特性情報(例えば距離、高度、機首方位、対気速度、及び / 又は姿勢)を含み得る。隣接する U A V 及び / 又は特定のクラスタに配属された U A V の相対的空間位置が判定され得る。オンボードセンサ 2 1 1 は、相対的空間位置を判定するため、レーダ、ライダ、音響測距及び検出システムなどの能動型センサ、並びに他の能動型センサを含み得る。オンボードセンサ 2 1 1 は、カメラ、他のタイプの任意の撮像システム、(アンテナアレイ受信機を含む)無線受信機、及びマイク、並びに他の受動型センサを含み得る。必要に応じて、G P S モジュール 2 1 2 などの G P S デバイスが備えられてもよい。幾つかの態様では、システム 2 0 1 は U A V のフロントホールトランシーバ 2 0 4 を介して他の U A V から地理的位置情報及び / 又は方向性経路特性情報を受信してもよい。例えば、G P S データ及び / 又はフライト計器データが U A V フロントホールネ

40

50

ットワークを経てUAVによって送信されてもよい。

【0057】

フライトコントローラ202は、互いに隣接して運航する2機以上のUAVの調整された運航を促進するように構成されたオンボードシステムである。フライトコントローラ202は、周囲の安全エリアを保つために、相対的位置情報を利用してUAVの方向性経路を調整し得る。開示されるシステム及び方法は、例えば無人航空機の飛行経路をリアルタイムで調整するため、無人航空機のオートパイロットにフライト入力を行うなどの自律的な方法で実施されてもよく、例えばフライト入力は、既存のウェイポイントは変更せず、むしろウェイポイントを得るために無人航空機が使用する軌跡ベクトルを変更するように入力されてもよい。

10

【0058】

フライトコントローラ202は、有人機でパイロットにより実行されると同様のタスクを遂行する。自律的な飛行を可能にするため、プラットフォームと飛行環境の動力学の変更に適用するように構成された強靱な制御技術が提供される。幾つかの態様では、フライトプランがフライトコントローラ202に入力される。例えば、フライトプランは、地上管制局、又はUAVクラスタヘッドによって決定され得る。他の可能性は、UAV、地上局、又はその幾つかの組み合わせのコンセンサスを介したフライトプランの決定などの分散フライト計画を含む。フライトコントローラ202は、(例えば各々のUAVのコンピュータプロセッサ(1つ又は複数)又は他のタイプ(1つ又は複数)の適宜の処理コンポーネントを介して)ルールベースの飛行調整プロトコルを使用して、リアルタイム又は準リアルタイムベースでの飛行経路の効果的な衝突回避を提供する。

20

【0059】

幾つかの態様では、フライトコントローラ202は、(気象測器などの対応するセンサ、及びその他によって測定され得る)様々な環境要因及び/又は任務の目的に基づいて飛行調整プロトコルのルールを適応させるように構成可能である。更に、フライトコントローラ202は、フライトテレメトリデータをRANの性能データと一緒に処理して、RANの通信性能を高めるUAVのモビリティ制御を提供するように構成可能である。例えば、フライトコントローラ202は、隣接するUAVに対する速度、機首、高度、姿勢、及び/又は位置を提供するようにUAVの飛行経路を適応させて、UEなどの地上端末との接続性を増強することができる。クラスタ内のUAV間の協調的RAN処理の性能を促進及び/又は増強するために、UAVの飛行経路を変更することができる。

30

【0060】

別の態様では、UEはミティゲーションの対象となる。例えば、UEは、脅威であると認識される無線制御ビークル用の無線コントローラを備え得る。CSIエスティメータ231、又は協調的RAN信号プロセッサ203の幾つかの他のコンポーネントは、攻撃される1つ又は複数のターゲット(例えば無線制御ビークル及び/又はそのコントローラ(1つ又は複数))のためのRANの性能基準を生成可能である。RANの性能基準は、ターゲット(1つ又は複数)に対する無線対抗措置を講じるUAVの能力を促進するようにUAVの飛行を適応させるため、フライトコントローラ202によってRANミティゲーション基準として使用可能である。幾つかの態様では、RAN性能基準は、付加的なRANミティゲーション基準を含むように構成することができる。受信されたRANミティゲーション基準に応じて、フライトコントローラ202は他のUAVとの協調的ミティゲーション処理を促進するようにUAVの飛行を適応させることができる。例えば、フライトコントローラ202は、RANミティゲーション性能を増強するために提供可能なRAN性能基準に従ってフライトナビゲーション基準を適応させるためにプロセッサ203に回答し得る。ナビゲーション基準は、自律的なナビゲーション制御のルールベースとしてフライトコントローラ202によって実施することができる。フライトナビゲーション基準の選択又は適応は、最小/最大高度、最小/最大対気速度、最小/最大航空機離隔距離、空域制限などの所定のナビゲーション基準境界によって制限されることがある。フライトコントローラ202は、ナビゲーション基準及びナビゲーション基準境界をメモリに格

40

50

納することができよう。次いで、フライトコントローラ202は、UAVの飛行を制御するためのナビゲーションパラメータ及び/又は目標ナビゲーションパラメータ(1つ又は複数)(例えば、航空機の離隔距離、高度、姿勢、航空機の離隔距離など)の動作範囲としてナビゲーション基準を用い得る。幾つかの態様では、フライトコントローラ202は、他のUAVと通信し、RAN性能目的を達成するための調整された及び/又は応答のプロセスとしてそのナビゲーション基準を適応させ得る。

#### 【0061】

幾つかの態様では、RAN性能を增強する目的で、本明細書で使用されるRAN性能基準を使用して、RANリンクをミティゲーションすることもできる(例えば、リンクを用いたRANトランシーバに対する能動的及び/又は受動的攻撃の実行)。このような態様では、RANミティゲーション基準は、RAN性能基準を含み得る。例えば、ミティゲーションは、脅威に対する戦術的応答であり、付随するRFの損傷(例えば、他の通信システムの動作を損なうなど)を低減又は回避しつつ、ターゲットのRANリンクを損ない、操作し、及び/又はハイジャックするなど、ターゲットに無線送信信号を送ることを含み得る。

10

#### 【0062】

一態様では、プロセッサ203は、UAVと少なくとも1つのUE間の少なくとも1つのRANチャネルを測定及び/又は特徴付けるように構成されたRANチャネルエスティメーター231を備えている。例えば、CSI、受信信号強度、ビット誤り率、送信制御メッセージ、誤り検出、誤り制御メッセージなどを使用して、RANリンク性能を特徴付けることができる。あるいは、RANチャネルエスティメーター231は、UEによって送信されたCSI及び/又は他のRANリンク性能測定値を受信する。

20

#### 【0063】

UAVフロントホール受信機204は、ルータ232を含み得る。一態様では、ルータ232は、プロセッサ203の一部である。しかし、ルータ232は、別個であってもよく、トランシーバ204の一部として構成されていてもよく、又はUAVシステム内に別途配置されてもよい。一態様では、ルータ232は、RANとBTSとの間で信号を中継するためのマルチホップ機能を提供する。トランシーバ206又は207からの信号は、ルータ232を介してトランシーバ204を介して別のUAVに送られてもよい。幾つかの態様では、ルータ232は、モジュール231からのチャネル推定値、オンボードセンサ211の測定値、GPS212のデータ、地上局制御メッセージ、フロントホールネットワーク制御メッセージ、及び/又はフリートマネージャ205制御メッセージをフロントホールネットワークを介して他のUAVへ通信し得る。

30

#### 【0064】

幾つかの態様では、MIMOプロセッサ233はルータ232を使用して、一緒に処理されるRAN信号、及び(必要に応じて)MIMO制御信号を他のUAVに配信する。MIMOプロセッサ233は、RANのベースバンド信号の協調的処理を実行するようにクラスタ内のUAVを協調させることができる。

#### 【0065】

従来のMIMOでは、RANトランシーバ207のアンテナシステム217は、全てのMIMO利得を提供するアンテナアレイを備えている。しかし、UAS環境での豊富な散乱の欠如は、空間多重化利得を制限する。視線(ラインオブサイト/LoS)チャネルにおいてさえ、キャリア波長及びリンク距離に関してアンテナの離隔距離を注意深く設計することによって幾らかの空間多重化利得を達成可能であるが(例えば、F. Bohagenら、「Design of optimal high-rank line-of-sight MIMO channels」(IEEE 議事録、Wireless Communication誌、第6巻、第4号、1420-1425ページ、2007年4月刊)、それにはアンテナ間隔が大きく、キャリア周波数が高く、また通信範囲が短いことが必要である。別のアプローチは、UAVに設置されたアンテナアレイの角分解能を超える角離隔距離を有する十分に分離された地上端末を同時に役立てることによって、

40

50

マルチユーザMIMOを実施することを含む。

【0066】

UAV間の協調を可能にすることにより、協調MIMO処理は、アンテナの離隔距離が大きいきわめて大型のアンテナアレイを合成する。これによって、空間的な再利用を飛躍的に増し、RANの性能を高め、しかも搬送波周波数を低くし、通信範囲を長くすることができる。UAV-MIMOチャネルの特性は、UAV-MIMOデータリンクの性能に影響する。したがって、本開示の態様では、協調的MIMO UAVクラスタにおけるUAVの位置決めは、各々のフライトコントローラ202によって適応されて、UAV-MIMOチャネルの有利な特性を増幅してRAN性能を高めることができる。

【0067】

フライトコントローラ202によって使用されるナビゲーション基準は、プリセットされたナビゲーション基準境界内で（例えばMIMOプロセッサ233を介して）プロセッサ203によって適応させることができる。例えば、決定基準プロセスで、（エスティメータ231及び/又は少なくとも1つの他のUAVのエスティメータからの測定値などの）RAN性能測定値を用いてナビゲーション基準を更新し、フライトコントローラに指示し、MIMOサブスペース処理を介して達成可能な性能など、RAN性能を向上させるようにUAVの飛行経路を適応させることができる。

【0068】

幾つかの態様では、UAVクラスタの集中制御は、フリートマネージャ202を介して実施されることができる。UAVクラスタヘッドとして機能するUAVはフリートマネージャ202を含むことができ、これによってクラスタ管理を行うことが可能である。クラスタ管理には、クラスタ内で動作するUAVの割当、UAVへの作業の割当、UAVによって使用されるリソースのスケジューリング、クラスタ内のUAVの同期、他のクラスタとの同期の実行、UAVへのナビゲーション制御メッセージの提供、クラスタのネットワークのフロントホールネットワーク管理の提供、ミティゲーションを実行するためのUAVの調整、クラスタ内のUAVによって受信され、及び/又は送信されたRAN信号の中央処理の実施を含み得る、RAN信号の協調MIMO処理を実行するためのUAVの調整のうちの1つ又は複数が（これらに限定されるわけではないが）含まれる。MIMOプロセッサ253は、各UAVのローカルMIMOプロセッサ233と通信し得る。一例では、MIMOプロセッサ253は、各UAVフライトコントローラ202に対して、RANの性能が増強するようにその飛行を適応させるよう直接的又は間接的に命令する。一例として、MIMOプロセッサ253は、各UAVフライトコントローラ202によって使用されるナビゲーション基準を更新し得る。

【0069】

幾つかの態様では、UAVクラスタの分散制御が用いられる。飛行の適応化は、クラスタ内の異なるUAVのフライトコントローラ202と協議されてもよい。幾つかの態様では、UAVフライトコントローラ202間のフィードバック機構が使用されてもよく、これらのフィードバック機構は、振動を回避し、及び/又は最適なクラスタ構成に迅速に収束するためのルールを含み得る。ある態様では、クラスタ内のUAVは、クラスタ内にないUAVに予測可能な態様で飛行経路を適応させるような方法で、その飛行経路を適応させ得る。一例では、クラスタ内のUAVは、所定のクラスタ構成が占有するスペースを空けるなどするよう他のUAVを移動させるような反復的プロセスを使用する。ある態様では、UAVは、他の（例えば、隣接の）UAVがより効率的にそれらの飛行経路を適応できるように、その意図をUAVに送信し得る。UAVには異なるレベルの優先度が与えられ、優先度がより高いUAVは優先度の低いUAVをどかせ得る。優先レベルは、クラスタのミッション、クラスタ内のUAVの機能、各UAVのRAN性能測定値、操作性、処理能力、バッテリー寿命、及び/又は他の基準によって決定され得る。

【0070】

フリートマネージャ205は、UAV搭載のシステムを含むことができ、及び/又はUAVに通信可能に結合された1つ又は複数の遠隔システムを介して実施されることができ

10

20

30

40

50



る。フリートマネージャ 205 は、集中システム又は分散システムとして実施されることができる。構成要素 251 ~ 256 のいずれかは、集中化された手段又は分散された手段で実施されることができる。別の態様では、フリートマネージャ 205 は、UAV クラスターのクラスタヘッド上に存在する。別の態様では、フリートマネージャ 205 は、1つ又は複数の地上局に存在する。別の態様では、フリートマネージャ 205 は各々の UAV に存在するが、どの UAV に存在するかに応じて異なる機能を含み得る。

#### 【0071】

幾つかの態様では、フリートマネージャ 205 は、UAV 及び地上局を含むデバイスの組み合わせで実施される。例えば、MIMO プロセッサ 253 は、(ローカル MIMO 処理などのため) クラスタ内の各 UAV 上に実施されてもよく、MIMO プロセッサ 253 は (グローバル MIMO 処理の場合などのため) BTS に結合されたデータセンタ内に実施されてもよい。クラスタマネージャ 251 は、クラスタヘッド上にあってもよく、(それらに限定されないが) UAV の隣接性、UAV の性能、RAN 要求トポロジ、UAV ネットワークトポロジ、UAV の地理的位置、UAV のバッテリー寿命、チャンネル測定値 (フロントホール及び/又は RAN) などの様々な要因に基づいて UAV クラスタを生成し適用させ得る。幾つかの態様では、クラスタ管理は、地上管制局によって実行又は補足されてもよい。

#### 【0072】

同期マネージャ 252 は、信号処理及び通信の同期を支援するように構成されたクラスタ内のクラスタヘッド及び/又は1つ又は複数の UAV 上にあってもよい。幾つかの態様では、同期は、地上ベースの同期化及び/又は GPS ベースの同期化を含み得る。同期マネージャ 252 は、UAV クロックを同期させ、同期 RAN 送信を行い、UAV フロントホール通信のためタイミング基準を提供することができる。同期マネージャ 252 は、位相ドリフト、周波数オフセット、及びタイミングオフセットの補償など、様々な較正機能用に構成され得る。一態様では、同期マネージャ 252 は、UAV に搭載されたローカル発振器を較正するのに役立つ。

#### 【0073】

スケジューラ 254 は、異なるタイプのスケジューリング機能を備えることができる。例えば、RAN リソーススケジューリングは、RAN リソースを各 UE に割り当てるなど、地上局によって実行され得る。幾つかの態様では、クラスタヘッド上に存在するスケジューラ 254 は、どの UAV が各 UE にサービスするかの予定を決める。幾つかの態様では、SDR は、BTS に結合されたデータセンタなどの地上局に常駐する。SDR は、各 UE にサービスするように構成された SDR インスタンスを生成する。幾つかの態様では、SDR インスタンスは、その UE にサービスする BTS アンテナを選択する。SDR インスタンスは、どの UAV 及び/又は UAV アンテナが UE にサービスするかを選択し、又は SDR は、クラスタヘッドが UAV 及び/又は UAV アンテナを選択することを可能にし得る。幾つかの態様では、RAN リンクがどのように実施されるかについての少なくとも幾つかの詳細が SDR から隠される。幾つかの態様では、1つ又は複数の UAV に存在するスケジューラ 254 は、クラスタ内のどの UAV が能動 RAN トランシーバであるかを選択する。スケジューラ 254 は、どの UAV が MIMO の重み計算などの RAN 信号の処理を行うかを決定することができる。スケジューラ 254 は、特にバッテリー寿命、処理能力、記憶容量などを含む様々な基準のいずれかに基づいて UAV に異なる信号処理タスクを割り当て得る。

#### 【0074】

フロントホールネットワークマネージャ 255 は、クラスタ内の1つ又は複数の UAV 上にあることができ、クラスタ内のルーティングトポロジ、ストレージトポロジ、及び/又は処理トポロジを提供するように構成されることができる。マネージャ 255 は、ルータ 232 のためにルーティングテーブルを提供することができる。マネージャ 255 は、UAV フロントホールリンク品質に応じて、UAV のいずれかに搭載されたフライトコントローラ 202 に指示をすることで飛行経路 (1つ又は複数) を適応させ、クラスタ間及

10

20

30

40

50

びノ又はクラスタ内通信を含み得るUAVのフロントホール通信を強化又は保証することができる。

【0075】

軽減コーディネータ256は、クラスタ内の1つ又は複数のUAV上にあり、ターゲットUEによって使用されるRAN通信リンクへの攻撃を調整するなどによって、脅威をミティゲーションするように構成されることができる。例えば、軽減コーディネータ256は、(クラスタ内のUAVなどの)1機又は複数の他のUAVに対して、ターゲットとなるコントローラデバイスによってビークルを遠隔制御するために使用される送信プロトコル、及びノ又はビークルから測距(テレメトリー)、ビデオフィードなどを受信するためにコントローラ装置によって使用されるRAN送信プロトコルを操作するように指示することができる。RANリンクのミティゲーションは、例えば、好ましくは他の通信リンクの途絶を避ける態様でRANリンクを途絶させるためにMIMOプロセッサ253を使用することを含み得る。ミティゲーションは、ターゲットのRANリンク上での傍受、RANリンクの制御をハイジャックするように設計された対策の使用、及びノ又はビークルの制御を獲得するためにソフトウェアの脆弱性の活用を含み得る。軽減コーディネータ256は、例えば、CS1エスティメータ231、レーダ、及びノ又は他のシステムと連携して、コントローラデバイス及びノ又はビークル(1機又は複数)の地理的位置情報の取得及び追跡を行い、この情報を脅威の緩和を提供し得る他のシステムに伝達し得る。一態様では、軽減コーディネータ256は、ターゲットの通信及びノ又は移動にตอบสนองして、所定のミティゲーションの有効性を判定する。コーディネータ256は、スケジューラ254と連携して、ターゲットによって使用されるRANプロトコルの判定された有効性及びノ又は特徴の分類に基づくなどによって、UAVによって実行されるミティゲーションへの適応をスケジューリングし得る。

10

20

【0076】

図3Aは、本開示の一態様による方法を示すフローダイアグラムである。RAN端末のための操作性の良いUAVの使用は、通信環境に最も適応するようにUAVクラスタを動的に調整することにより、性能増強のための新たな機会をもたらす。協調的通信はUAVモビリティ制御と共に設計され、通信性能を更に向上させることができる。UAVは、近接UAV301の空間位置情報を備えている。UAVは、UAVクラスタ内の少なくとも1つの他のUAV302と協調的なRAN処理を実行する。303で協調的RAN処理を可能にするためにUAV間通信が提供される。自律型UAVナビゲーション(例えば、飛行制御)は、部分的には304でのRAN性能基準によって決定される空間位置情報及びナビゲーション基準に基づく。

30

【0077】

図4は、ステップ301及び304を用いる手順を示す。幾つかの態様では、手順は、本明細書に記載の入力された物理的測定値で動作するように構成されたソフトウェアプログラムの命令に従ってコンピュータプロセッサによって実施される。UAVは、定期的な間隔でセンサ読取401を行い、少なくとも1つの隣接するUAVに関する相対的な空間位置を判定する。幾つかの態様では、センサ読取値はGPS座標を含む。一態様では、他のUAV上のGPS受信機によって得られたGPS座標は、ステップ401でセンサ読取値を提供するためにフロントホールネットワークを介して搬送される。センサ読取値は、402でナビゲーション基準410と比較される。センサデータが所定範囲(例えばナビゲーション基準)外のナビゲーションパラメータ(UAV間の離隔距離、相対速度、機首方位の変化、高度の変動など)を示す場合は、UAVの飛行経路は、403でそのフライトコントローラ202によって適応され、次いで、401で次の時間間隔でセンサ読取値が監視される。さもなければ、フライトコントローラ202又は状況認識システム201がセンサ読取値401の監視を継続する。

40

【0078】

システム及び方法は、2つ以上のUAV又は他のエンティティ間で位置情報を通信するために使用されてもよく、2つ以上のそのようなエンティティの調整動作を促進するため

50

に使用されてもよい。一例では、UAVは、1機又は複数の他の隣接する航空機の1つ又は複数の位置（例えば、経度、緯度など）及び/又は飛行特性（例えば高度、機首の方位、対気速度、姿勢など）を認識し、UAVはその位置情報を使用して、飛行経路を調整して、自身の周囲の空いた空間の安全領域を保持し得る。開示されたシステム及び方法は、UAVをマイクロ管理するための地上システム及び/又は管制官を必要とせずに実施され得る。航空機の各々は、至近の空域内の他の航空機を認識し、適切な場合には、衝突を避けるために回避行動を取り得る。ルールベースのフライト調整プロトコルは、（例えば、コンピュータプロセッサ（1つ又は複数）又は各UAV上の他のタイプの適切な処理コンポーネント（1つ又は複数）によって）リアルタイム又は準リアルタイムベースで飛行経路の有効な緩衝回避を行うために実施されてもよい。このようなルールベースの飛行調整

10

#### 【0079】

RANの性能測定は、センサ監視401と411で同時に監視されてもよい。RAN性能測定値は、エスティメータ231によって生成されてもよい。RAN性能は、飛行経路がRAN性能を高めるように適応されるべきかどうかを判断するために評価される。これはフライトコントローラ202、又はプロセッサ203によって実行されてもよい。一態様では、ナビゲーション基準410は、413で所定のナビゲーション基準境界420内で更新されることができる。このような境界は、UAV間の安全な距離を確保するように設計され、UAV操作能力、クラスタ内のUAVの数、クラスタ密度、気象条件、並びに他の要因に基づいて選択可能である。境界は、（それらに限定されないが、）制限空域、高度規制、対気速度制限を含む様々な規制によって課される可能性がある。境界及び/又はナビゲーション基準は、UAV対UAVのフロントホール通信範囲、フロントホールネットワークポロジ、UAV電力効率の最適化、並びに他の要因及び/又は目的などの付加的な基準に基づいて選択され得る。境界は、特定の場所への物品の配送、偵察の実施、又は限定量の変化を可能にするプリセットされた飛行計画を必要とし得る他のミッションの遂行など、UAVの動作目的に基づいて決定され得る。ナビゲーション基準410は自律的ナビゲーション制御のためのルールベースとして実施可能であるため、ナビゲーション基準410の更新は、ステップ402でのフライトコントローラ402による飛行経路403の適応を作動させ得る。

20

#### 【0080】

一態様では、UAV飛行システムは、飛行経路403を適応させるための制御信号にตอบสนองしてモータのスロットルを選択的に調整するオンボードフライトコントローラ/安定化ボード（例えば、フライトコントローラ202）によって制御されるモータ及びプロペラを備えている。1つのタイプのUAVは、マルチロータ又はマルチコプタである。このUAVは2つ以上のロータを備えた回転翼機であり、マルチコプタは各ロータの速度を変えて推力とトルクを変化させることによってビークル動作が制御される、固定ピッチのブレードを使用することが多い。飛行経路の適応403は、UAVの姿勢を適応させることを含み得る。ビークルの方位（姿勢）の制御システムは、様々な方向に力を加え、航空機の空力中心に関する回転力又はモーメントを生成し、したがって、航空機をピッチ、ロール、ヨーイングで回転させるアクチュエータを含む。

30

40

#### 【0081】

一態様では、ステップ412は、ステップ411から受信した測定値からMIMOチャネル品質を定量化することを含む。MIMOチャネル行列Hの条件数は、チャネル行列Hの最大と最小特性値の比として定義される。MIMOシステムでは、条件数が1に近づくにつれて、平行な空間チャネルの品質が向上する。比が大きくなると、MIMOチャネルの品質が低下する。UAV-MIMO正規化チャネル相関行列の計算方法に基づいて、プロセッサ203は、UAV-MIMOチャネルの特性を分析することができる。

#### 【0082】

UAV展開のためのステップ412における飛行制御の問題は、最適なUAVの離隔距離、ホバリング高度、及び地理的位置を見出してRAN性能に加えてカバレッジを拡張す

50

ることを含み得る。しかし、これにはトレードオフの関係がある。アンテナ素子間の離隔距離が増加すると、チャンネル行列の条件数が減少し、MIMOチャンネル品質が向上する。しかし、ナビゲーション基準の境界及び/又はUAVのフロントホールの考慮事項(例えば、周波数再利用の目的や最大有効範囲)などの他の要因に基づいて、隣接するUAV間の最大距離が制限されることがある。離隔距離がより大きい場合は、利益が減少する可能性がある。したがって、ナビゲーション基準の更新413は、複数の要因間の利益/不利益のトレードオフを用い得る。

#### 【0083】

UE間の距離を増やすことによっても条件数が減少し、RAN MIMOチャンネルを向上させ得る。したがって、UAVクラスタ構成は、周波数再利用を増強させるためにどのUEがRANリソースブロックを共用するかというスケジューリングなどのスケジューリングを含み得る。

10

#### 【0084】

アンテナ離隔距離の他に、方位角及びピッチ角も平均チャンネル容量に影響を及ぼす。例えば、より小さなピッチ角は、平均チャンネル容量をより大きくすることができる。また、UAVアンテナは、より大きなチャンネル容量を提供するために水平に方向付けられてもよいであろう。

#### 【0085】

特定の環境では、カバレッジの最大化のための最適なUAV高度が存在することがあり、それは以下のトレードオフによるものである。UAV高度を上げると自由空間経路損失が大きくなるが、地上端末とのLOSリンクを有する可能性も増加する。しかし、UAV高度が高いほど条件数が多くなり、MIMOの性能が阻害される。

20

#### 【0086】

UAVがUEからより遠く離間している場合、平均MIMOチャンネル容量はより小さい。これは、より大きな地理的距離が空間分解能を低下させ、またマルチパスの減少にも関連するからである。

#### 【0087】

UAV-UEチャンネルの特性は、UAVベースの協調MIMOの性能に大きく影響する。したがって、協調MIMOクラスタにおけるUAVの位置決めは、協調MIMOチャンネルの有利な特性を向上させて性能を向上させるように適応させ得る。本開示の幾つかの態様では、UAV飛行経路は、(飛行経路調整、航空機の離隔距離などを提供するためなどの)互いの相互作用だけでなく、UEのセットとの無線通信に対応する多次元探索空間内で測定され、及び/又は計算されたパラメータによっても決定される。母集団ベース(ポピュレーションベース)の探索アルゴリズムでは、最適化は、コスト関数の最小化、又は利益の最大化を含み得る。本開示の幾つかの態様では、最適化は、コスト関数を低減し、及び/又は利益を増加させる(飛行パターンを含む)UAV位置の決定を含むが、これは、航空電子工学システム(例えば、最高/最低速度、高度、操縦性など)、航空交通管制(例えば状況認識、必要最低限の航空機間隔、最適な間隔、最高/最低高度、所定の飛行経路、意図する目的地など)、及び必要に応じて環境要因(例えば天候、地形、建物など)によって左右される制約の範囲内で行われる。

30

40

#### 【0088】

粒子群最適化(PSO)は、個体(粒子)が時間とともに多次元の探索空間内でそれらの位置を変化させる母集団ベースの探索手順である。PSOでは、多次元探索空間は、潜在的な解決策のセットを含む。探索空間内の「飛行」中、各粒子は、独自の経験に基づいて、及び近隣の粒子の経験に基づいて、それ自体とその近隣の粒子が遭遇する最良の位置を利用してその位置を調整する。したがって、PSOシステムは、ローカルサーチ方法をグローバルサーチ方法と組み合わせる。したがって、各々のPSOは、解決策を連続的に改善する方向に動く傾向がある。

#### 【0089】

本開示の幾つかの態様によれば、各PSO粒子はUAVを含む。幾つかの態様では、粒

50

子是一群のUAVを含み、ある態様では、そのようなグループにおけるUAVの選択は変化し得る。UAVは、実際の3次元空間において物理的に移動（すなわち、飛行）し、それらの飛行経路は、（進路調整、航空機の間隔などを提供するなどの）互いの相互作用によってだけでなく、UEのセットとの無線通信に対応する多次元探索空間における測定及び/又は計算されたパラメータによっても決定される。

#### 【0090】

母集団ベースの検索アルゴリズムでは、最適化は、コスト関数の最小化、又は利益の最大化を含み得る。本開示の幾つかの態様において、最適化は、コスト関数を低減し、及び/又は利益を増加させる（飛行パターンを含む）UAV位置の決定を含むが、航空電子工学システム（例えば、最高/最低速度、高度、操縦性など）、航空交通管制（例えば状況認識、必要最低限の航空機間隔、最適な間隔、最高/最低高度、所定の飛行経路、意図する目的地など）、及び必要に応じて環境要因（例えば天候、地形、建物など）によって左右される制約の範囲内で行われる。

10

#### 【0091】

協調MIMO通信では、チャンネル状態は時間的に迅速に変化することがあり、通信システムは、高性能を維持するためにアンテナの選択を頻繁に変更する必要がある。アンテナ選択アルゴリズムの計算効率は、アンテナ選択を迅速に変化するチャンネル条件に適応させるために重要である。最適な選択の計算上の複雑さが高いため、複雑さの低い準最適化が有利であり得る。

#### 【0092】

図3Bは、本開示の幾つかの態様による方法を例示するフローチャートである。ステップ304で、自律型UAVナビゲーションは、エネルギー効率のよい動作パラメータに従って構成されたルールベースを使用することができる。ステップ305は、RAN性能を向上させるなど、UAV-UERリンク内のRAN信号を処理する。

20

#### 【0093】

エネルギー効率の良い運用は、UAVによる不要なエネルギー消費を低減することを目的とする。UAVの主なエネルギー使用量は、航空機の推力と無線通信をサポートするため、エネルギー効率の高い運航方式は2つのカテゴリに分類可能である。第1のカテゴリは、エネルギー効率の高いモビリティであり、そのためにUAVの動きは全ての操縦に伴うエネルギー消費を考慮して注意深く制御する必要がある。UAVの速度、加速度、高度などを関数として適切なエネルギー消費モデルを使用することによって、経路計画が最適化された、エネルギー効率の高いモビリティ計画が設計され得る。このようなモデルは、ナビゲーション基準及びナビゲーション基準境界の一方又は両方を適応させる基礎をもたらし得る。

30

#### 【0094】

エネルギー効率のよい運用の他のカテゴリは、コンピュータプロセッサ、増幅器などの通信関連機能に関するエネルギー消費の削減で通信要件が満たされる、エネルギー効率のよい通信である。この目的のために、1つの一般的なアプローチは、ビット/ジュール単位のエネルギー効率（例えば、単位エネルギー消費当たりの通信に成功したデータビットの数）を最大にするための通信戦略を最適化することである。そのようなアプローチを使用して、ナビゲーション基準を適応させることができる。

40

#### 【0095】

図3Cは、少なくとも1つのUEのRANリンクをミティゲーションするためにステップ306が実行される、本開示の幾つかの態様による方法を示すフローダイアグラムである。この場合、ステップ302は、信号のタイプ、無線送信機のタイプ、及び/又は遠隔制御されるピークルのタイプを識別するために、UE送信を識別し、UEのチャンネル特性を測定し、及び/又は受信したUE送信を処理することを含み得る。UEが制御しているピークルとUAV（1機または複数）との間のチャンネル特性を含み得るUEのチャンネル特性は、ナビゲーション基準を適応304させ、及び/又はピークルを追尾し、及び/又は送信された対応策を効率的に指示するなどのミティゲーション305を行うために使用され得る。ナビゲーション基準304の適応化は、RANミティゲーション性能を高めるよ

50

うに設計された飛行の適応化をもたらし得る。それに限定されないが、一例として、ナビゲーション基準は、304でターゲットを協調的にミティゲーションするように割り当てられたUAVのグループ(例えば、クラスタ)の協調的RANミティゲーション性能を向上させるように適応させることができる。幾つかの態様では、信号のタイプ、無線送信機のタイプ、及び/又は遠隔制御ビークルのタイプを用いてUAV及び/又はグループの軽減305策を策定し得る。

【0096】

図5は、本開示の態様によってUAVの群の管理に関連するナビゲーション指令とRAN指令との間の関係を示す。RAN指令の少なくとも一部は、ナビゲーション指令の少なくとも一部を適応させるように構成され得る。ナビゲーション指令は個々の指令501~506を含み、RAN指令は個別の指令511~516を含む。

10

【0097】

指令501~506は、自身の隣接機と同じ方向への移動501、衝突回避502、隣接機との接近状態の保持503、高度及び空域制限の遵守504、自身の隣接機に対する特定の飛行編隊の維持505などの単純なルールを含むことができ、群メンバの少なくとも1機は、意図する目的地又は特定のウェイポイントを有する飛行計画などのグループの機首方位506に関する情報を有する。

【0098】

指令501~506は、閾値又は許容値の範囲などのセンサ測定値に基づくナビゲーション基準を含み得る。例えば、衝突回避502は、航空機の最小離隔距離を確立することができよう。指令502の場合のように、幾つかの場合にはナビゲーション基準は、RAN指令によって変更できない境界を含むことがある。しかし、(気象条件などの)その他の要因が境界に影響を与えることがある。他の場合は、指令503(隣接機との接近状態の保持)などのナビゲーション指令は、RAN指令によって適応された、おそらく所定の範囲内にある閾値又は範囲を持つことがあり得る。

20

【0099】

指令511~516は、ローカルデータ収集、ローカル処理、及び/又はリモート処理に基づく単純なルールを含むこともある。幾つかの態様では、RAN指令511~516は、ルール(例えば、501~506)の範囲内でUAVナビゲーションに影響を及ぼす。幾つかの態様では、RAN指令は、ナビゲーションルール501~506の1つ又は複数のルールを変更し得る。

30

【0100】

UEの地理的な密度511への適応は、UAVのクラスタを形成し、又はUEにサービスするように群の中の少なくとも1つの既存のクラスタを特定の地理的位置に向けるなど、1つ又は複数のUAVの機首方位を選択することを含み得る。機首方位の選択は、RANチャンネルアクティビティを介するなど、UAVによる間接的なUE密度の検出にตอบสนองして実行されることができる。同様に、BTS及び/又はCPは、検出されたUE密度に適応するためにUAVに機首方位を変更するように指令することができる。一態様では、RANは、MIMOチャンネルランクを上げ、多様性を改善し、複数のデバイス間の電力負荷を平衡し、及び/又はデバイス間で処理負荷を分散させるなど、MIMOチャンネルのいずれかの側で使用されるアンテナの選択を適応させる。一例として、特定の地理的エリア内のUEの数が、UEにサービスするように構成されたサーバ側アンテナの数(例えば、UEのセットにサービスするように構成(プロビジョニング)された利用可能なUAVアンテナ及びベーストランシーバアンテナの合計)を超える場合、UE、BTS、CP、及び/又はUAVは、RANにおける協調MIMO処理をサポートするために追加のUAVを要求し得る。更に、UEは、MIMOチャンネル行列のランクを上げ、信号を中継し、計算リソースを提供するなど、サーバ側の動作をサポートするようにプロビジョニングできることを理解されたい。

40

【0101】

幾つかの態様では、ナビゲーション指令の条件は、1つ又は複数のRAN指令に関連し

50

て適応させることができる。例えば、ルール501及び503は、他のUAVとの編隊飛行（これは抗力/ドラッグを低下させる）による電力節減などのある特定の利点を、所定の位置への最も直接的進路をたどらないという欠点と比較検討することを介して実施され得る。アルゴリズムは、新しい進路が選択され、UAV（1機又は複数）がグループから離脱するあるポイントまで、UAVが特定のグループと共に飛行することを可能にする経路を選択するかもしれない。幾つかの態様では、群内の異なるグループは、グループ又は個々のUAVのニーズに基づいて群のための進路を協議する。少なくとも2乗型の方法、又は他の回帰分析法を使用して、UAVにいかによく適するかを特徴付ける（電力節減及び有用性の関数などの）少なくとも1つのパラメータを最適化する群のための進路を誘導することが可能であろう。

10

#### 【0102】

ルール501の基準などの幾つかの条件は、RAN指令の影響下でわずかに曲げられることがある。例えば、UAVは、以下に開示される摂動技術によるなどして、群の中の位置の変更、又は進路の変更などの、多少の非標準的な動きを用いるものの、一般に隣接機とほぼ同じ方向に移動することができる。

#### 【0103】

幾つかの態様では、ナビゲーション指令とRAN指令とは同一であってもよい。例えば、UAV間の通信を維持することの一態様は、指定された範囲内に留まることを含むので、ルール「隣接機との接近状態を保持する」503は、ルール「ローカルエリア通信を確保する」513と調和する。別の態様では、群は複数のクラスタを含むことがあり、クラスタ内のUAVは、十分なチャンネルランクを達成し、又は条件数を低減する512ため、十分に大きいアパーチャを合成する（不図示）ため、又は他のいくつかの任意の理由などで、十分な距離だけ空間的に離隔される必要があるかもしれない。しかし、ナビゲーションルール503は、他のグループに属するUAVに関してはなお維持され得る。したがって、ここで明示するように、RAN指令は、1つ又は複数のナビゲーション指令を適応させることができる。場合によっては、コスト対メリットの最適化に基づくなど、妥協的なRAN基準を決定することによって、相反するRAN指令が解決され得る。したがって、1つのRAN指令は、別のRAN指令によって指定された条件に影響を与える可能性があるであろう。

20

#### 【0104】

ナビゲーション指令は分散動作に対応する傾向があるが、これらの指令の幾つかは、飛行計画505（幾つかの態様では、飛行計画505は目的地だけを含む）及びグループの機首方位506などの集中制御動作によって得られる。例えば、飛行計画505はCP130（例えば、UEのサービス要求に応答し、UAVを選択し、これらに対してUEにサービスすることを指示するCP130）によって決定され得る。グループの機首方位506は、UAVクラスタ（例えばクラスタヘッド）内の集中コントローラによって決定され得る。

30

#### 【0105】

ある態様によれば、制御指令に関して階層が存在する。一態様では、遠隔集中機関からの制御指令は、ローカル機関からの制御指令によって覆され得る。例えば、特定のUAVによって実行される操作に関して、CPはUAVクラスタヘッド又は特定のUAVによって覆される可能性がある。衝突を回避するなどの幾つかの指令は、飛行計画505などの他の指令よりも優先される。このような優先する制御指令は一時的なものであってもよく、その後、中央機関によって発された制御指令の順守が再開され得る。別の態様では、中央機関（例えば、CP130）は、UAVクラスタヘッドなどのローカル機関からの特定の制御指令を覆することができる。幾つかの態様では、中央機関（例えば、CP130及び/又はUAVのクラスタヘッド）はUAVの個々の指令を覆し得る。

40

#### 【0106】

一態様では、UAVのセットの各々がローカルMIMO処理動作を実行し、次いでローカルMIMO処理の結果が中央機関に通信され、中央機関はその結果に基づいてグローバ

50

ルMIMO処理を実行する。一例として、UAVのクラスタは、ローカルCSIからのサブスペース処理重みの決定などのローカル協調MIMO処理を実行し得る。ローカルMIMO処理の結果（例えばローカルサブスペースの重み、及び必要に応じてCSI）は、中央機関に通信されることができ、中央機関は他のクラスタからのローカルMIMO処理の結果を受信する。複数のクラスタからローカルMIMO処理結果を収集する際に、中央機関は結果に基づいてグローバルMIMO処理を実行することができる。

#### 【0107】

本開示の幾つかの態様では、ローカルの結果はMIMO処理の重みの第1の推定値を構成し、グローバル処理は改善された推定値を提供し、これは次いで空間多重化及び/又は逆多重化を実行するために使用可能である。幾つかの態様では、グローバルMIMO処理は複数のローカルMIMO処理結果を構成することができ、その後、グローバルMIMO中央機関がクラスタに特定の摂動又はそれらの重みに対する所定の適応化を指令する。

10

#### 【0108】

前述のローカル及びグローバル処理は、異なるスケールで実行されてもよいことを理解されたい。一例として、ローカル処理は無線ネットワークノード自体のアンテナレイ信号の処理を含んでいてもよく、その場合にはグローバル処理は、例えばクラスタヘッドによる複数のノード信号の協調的処理を含むことができよう。ローカル処理は、このような協調的処理を実行するノードのクラスタを含んでもよく、その場合にはグローバル処理は、例えばスーパークラスタなどによる、又はCP130による複数のクラスタからの信号の処理を含むことができよう。ローカル処理は、例えばCP130内での複数のクラスタから受信された信号の処理を含んでもよく、その場合にはグローバル処理は、複数のCP間の信号処理を含むことができよう。したがって、グローバル処理は、スケールに応じてノード間、クラスタ間、及び/又はCP間の干渉のミティゲーションに役立ち得る。処理階層は、ローカル処理とグローバル処理との間の1つ又は複数の処理レベルを提供し得ることも理解されたい。

20

#### 【0109】

本開示の一態様では、UEのグループにより良くサービスするようにクラスタの機首方位を適応させるために勾配法を用いることができる。一例では、クラスタ内の各UAVは、1つ又は複数のUEを含むUEセットからの送信を測定する。測定値は、信号電力、SNR、チャンネル測定値などを含み得る。次いで測定値は、クラスタの飛行編隊（フライトフォーメーション）で処理される。飛行編隊の一方の側でのUAVからの測定値が、少なくとも1つの他の側のUAVからの測定値よりも優越する場合、（例えば、クラスタヘッドによって）クラスタのための新しい機首方位ベクトルを測定勾配の方向にマッピングするアルゴリズムの使用が可能である。

30

#### 【0110】

本開示の別の態様は、ネットワークサービスを配信するための手段として、分配ネットワーク内の勾配型ルーティングを使用し、変化するネットワーク負荷の変化に適応するようにネットワークを構成するために使用され得る。例えば、ネットワーク内のノード（例えば、UAV）は、相互に品質測定値を共有することができる。UAVによって互いに通信するために使用されるローカルエリアリンクは、ショートレンジ、超高帯域幅リンク（例えば、UWB、光無線など）であり得るので、帯域幅オーバーヘッドは一般に問題ではない。これらの品質測定値は、測定されたUEの送信の電力、SNR、CSIなどを含み得る。これらの品質測定値は、測定されたUEの送信出力、SNR、CSIなどを含み得る。これらの品質測定値は、前述の測定値の基づく計算を含んでもよく、固有値、チャンネル相関、様々なサブスペースチャンネル品質インジケータなどを含んでもよい。特定のUE又はUEセットについてのデータは、ネットワークを介してルーティングされてもよく、ルーティング経路は、品質測定値を連続的に改善することによって決定される。したがって、ルーティング経路は、連続的に増加する品質測定値を有する一連のノードを辿り得る。データは、閾値品質測定値、最大（ローカル値又は絶対値）などの所定の品質測定条件が満たされるまで、品質測定勾配を辿り、その時点でその勾配目的地ルーティング中継ノー

40

50



ドを見出している。データは、RAN送信を介してそのノードからUE（1つ又は複数）に送信されてもよく、又はRAN内で送信される前に（協調MIMOクラスタ内のノードなどの）少なくとも1つの他のノードに分配されてもよい。

#### 【0111】

勾配ルーティングの一態様では、オンデマンドでルーティング情報が確立され得るが、メッセージを伝えるコストの代わりに、送信先UEへの連続的なより良いRAN接続性を有するノード間でメッセージが送られる。例えば、第1のケースでは、各ノードは、その隣接ノードの品質測定値を格納する品質測定値テーブルを有する。メッセージを受信したときに、ノードがその隣接ノードのうちの1つがより良い品質測定値を有すると判断した場合、メッセージをその隣接ノードにルーティングする。第2のケースでは、各ノードは、（おそらくは、それらの測定値が、そのノードが属するクラスタでの協調MIMO処理に関与しない限り）それ自体の品質測定値のみを掌握する。ノードは、メッセージを含み、メッセージの送信先UEに対応する近隣ノードの品質測定値を示す近隣ノードからのブロードキャストを聞く。時には同じメッセージを複数のブロードキャストが同時に生じることがあるが、その場合にはノードは、最高の品質測定値を有するブロードキャストにのみ注意を払う。ノードが受信されたブロードキャストに示されたより良い品質測定値を有する場合、そのノードはその品質測定と共にメッセージを再ブロードキャストし、次いでメッセージがより良好な品質測定値を有する次のノードによって再ブロードキャストされたことを示す任意のブロードキャストを聞く。フラッディングの結果、データ帯域幅のオーバーヘッドは高くなるが、帯域幅極端に高いローカルエリアリンク（光、UWBなど）を使用すると、これが最小限になる。しかし、幾つかの態様では、重複ブロードキャストメッセージを除去する技術が使用されてもよい。第3のケースでは、第2のケースのように各ノードはそれ自体の品質測定値しか掌握しない。しかし、ノードに送信すべきメッセージがある場合は、ノードは送信先UEに固有の対応する品質測定値をその近隣ノードにポーリングする。次いでノードは、最良の品質測定値でメッセージを隣接ノードにルーティングする。

#### 【0112】

本開示の一態様では、勾配ルーティングの方法は、CPから少なくとも1つのベストランシーバ端末へ、フロントホールネットワークを介してルーティングされる特定のUEに送信されるデータを含む。少なくとも1つのベストランシーバ端末は、UAVなどの中継ノードセットのうちの少なくとも1つにデータを送信する。データは、その送信先UEに対応する品質測定値に基づく勾配ルーティングアルゴリズムを使用して中継ノードを介してルーティングされる。データが送信先中継ノードに送られると、データはその送信先UEに送信されるか、又は送信先UEに信号を協調して送信するように構成された他の中継ノードに配信され得る。

#### 【0113】

本開示の一態様によれば、図6に示される装置は、以下の方法を実行するように構成されることができる。装置全体、又はそのいずれかのコンポーネントは、集中型又は分散型の方法で実施されることができる。分散動作の態様では、1つ又は複数のブロックは、複数のUAVにあるコンポーネントを含み得る。集中動作の態様では、装置は中央コーディネータ（CP又はUAVクラスタヘッドなど）内にある。

#### 【0114】

フリートマネージャ605は、クラスタマネージャ651を使用して、グローバル飛行制御指令（例えば飛行計画、飛行境界、障害物の位置など）、及びローカル飛行制御指令（例えば航空機の離間距離、衝突回避、他の自律的な飛行制御ルールなどの）の組み合わせを含み得る飛行ルールを介してクラスタ内の個々のUAVのナビゲーションを調整する。UAVが優先度の階層に応じて指令に応答するように、幾つかの指令には他の指令よりも高い優先度を付与することができる。例えば、UAVは、そのローカル飛行制御指令によって設定された境界内のグローバル飛行制御指令を定めることができよう。

#### 【0115】

10

20

30

40

50

クラスタマネージャ 651 への入力は、状況認識マネージャ 601 から受信され、クラスタ内の U A V 用の U A V 空間位置データを含み得る。このデータは、U A V 飛行測距データ、遠隔検出データ、他の U A V 位置データ、及び/又はそれらの組み合わせを含み得る。状況認識マネージャ 601 は、飛行測距データマネージャ 611、センサネットワークマネージャ 612、及び必要に応じて脅威検出システム 613 を備えることができる。クラスタマネージャ 651 は、協調 M I M O プロセッサ 653 からの入力を受信して、協調的 M T M O 性能基準に関して構成されたグローバル及び/又はローカル飛行指令を選択し、ナビゲーション基準の所定の境界内の飛行指令を選択し得る。

【0116】

脅威検出システム 613 は、ミティゲーションのために U E 及び/又は遠隔制御ピークルをターゲットにし、対応する位置データをフリートマネージャ 605 に送信するように構成されることができる。フリートマネージャ 605 は、スケジューラ 652 を介してターゲットに対する対抗手段を実行するように特定の U A V をスケジューリングし、及び/又は攻撃を調整するなど、特定の U A V に送信する飛行制御指令を選択し得る。そのような態様では、プロセッサ 653 は、受動的及び/又は能動的な攻撃を実施するためにターゲットの無線リンクを利用するように構成されたミティゲーションシステム（図示せず）を備えることができる。

【0117】

分散処理のために、協力型協調プロセッサ 653 は、クラスタマネージャ 651 と通信するフロントホールネットワークマネージャ 655 と通信する。フロントホールネットワークマネージャ 655 は、ネットワークトポロジ基準をクラスタマネージャ 651 に伝達して、グローバル及び/又はローカルの飛行制御指令を適応させて、フロントホールネットワークトポロジを適応させる。

【0118】

スケジューラ 652 を介したクラスタマネージャ 651 は、クラスタ内で動作するように U A V をスケジューリングする。スケジューラ 652 は、U A V をクラスタに割当得る。一例として、プロセッサ 653 及び/又はマネージャ 655 と連携して動作するスケジューラ 652 は、信号処理、データストレージ、及び/又はルーティング機能を含む任務を個々の U A V に割り当て得る。

【0119】

協調 M I M O プロセッサ 653 によって入力された動作基準に回答して、フロントホールネットワークマネージャ 655 は、ネットワークルーティングトポロジが、遅延時間閾値以下、データ帯域幅閾値超、Q o S 閾値超、信頼性閾値超、B E R 閾値超、S N R 閾値超などの規定された公差内のリンクで動作するようにネットワークトポロジを定式化する。フロントホールネットワークマネージャ 655 は、クラスタマネージャ 651 が U A V 空間位置を適応させて、ネットワークが規定の公差内で動作できるようにすることを要求し得る。

【0120】

協調 M I M O プロセッサ 653 は、分散ビームフォーミングを実行するように構成される。「分散」という用語の使用には分散型ビームフォーミングの意味においては 2 つの意味がある。第 1 の意味は、アレイのアンテナが、おそらくは何らかのランダムに構造化された態様で、受信面に分散されることを示す。これは、アレイ内のこのノード位置への依存性をなくすることにより解析の複雑さを低減するために、アンテナ要素の厳密で均一な配置に依存する従来のビームフォーミングから乖離している。ノード位置が構造化されないと、各要素の位置は、単にこのアレイの位置を全体として考慮するのではなく、要素ごとに考慮されなければならない。このシナリオでは、要素は依然として何らかの制御源によって制御され、したがって各ノードの位置、位相オフセット、及び送信能力は、重み計算を行うために使用される既知量になる。第 2 の意味は第 1 の意味に基づいており、要素は位置に関して分散されるだけでなく、U A V 及び E U などの独立した処理ユニットでもあることを暗示している。この第 2 のシナリオは、通常はビームフォーミング装置が利

10

20

30

40

50

用できる情報の量と質とを制限する。

【 0 1 2 1 】

一態様では、複雑な重みを決定する方法は、有意な量の情報を共有せずに各々のノードによって個々に実行され得るという意味で分散される。別の態様では、ノードは、幾つかの通信前段階を介するなどして、それ自体に関する情報の総量を共有し得る。この場合、ほぼ理想的な重みは、グローバル情報に基づいて計算され、単一のクラスタヘッドによってフロントホールネットワークを介して伝播され得よう。これらの態様は組み合わせることができる。例えば、光通信は、特に短距離通信のために膨大なデータ帯域幅を可能にするので、多くのCSI（及びMIMO処理情報）をローカルに共有することができる。これはクラウドコンピューティングなどの分散処理を容易にする。これは、グローバルMIMO処理（又はローカルMIMO処理の上の少なくとも1つのレベル）を実行するのに十分な情報を有し、しかも中央コーディネータが分散コンピューティングリソースを活用できるようにする中央コーディネータ（又はクラスタヘッド）を提供し、そのリソースの利用可能性を協調MIMOアレイサイズで増加させることができる。

10

【 0 1 2 2 】

一態様による複雑なMIMO重みを決定する方法は、以下のステップを含む。まず、受信ノードでのSNRなどの制約が選択される。しかし、総リンク容量、全電力消費量、ノードごとの電力消費量などの任意の定量化可能な量を選択することができる。第2に、最適化された関心値（value of interest / 利益値）の解析的導出が中継ネットワークモデルに基づいて作成され、その最適値に反復的に到達する方法が提示される。最後に、送信器アレイ及び/又は受信器アレイが、個々のノードがそれら自体の最適な重みを見出して、ネットワーク上で計算を分散するようにする単一のカバレッジパラメータを計算できるように問題が解消される。

20

【 0 1 2 3 】

ターゲットが動いているとき、又は情報の欠如のために理想的な重み計算が不可能であるとき、アレイ性能に基づいて位相を反復的に変化させるなど、理想的な重み付けを狙って適応的方法を使用し得る。これは、アレイ、ターゲット、ソース、チャネル及び干渉物の中での動きを補償し、チャネル内の他の変化に適応させることができる分散型スマートアンテナにつながる。完全なCSIなしに理想的な重み（又は少なくとも極大値）に到達するために、送信先ノードからの1ビットのフィードバックを使用して各中継器で最適な重み付けを反復的に見出す試みを行うことができる。例えば、プラス/マイナス摂動を使用して、次の重みは送信中に2回摂動され、フィードバックビットは2つのうちどれが最良であるかを指定する。

30

【 0 1 2 4 】

別の態様では、UEのセットにRANサービスを提供するUAVのクラスタは、ナビゲーションパラメータを適応させてRANサービスを改善するように構成される。進路への摂動、クラスタ飛行の編成、及び/又は高度を使用して、改善されたアレイ性能を求めるとともにクラスタを適応させることができる。例えば、SNR、MIMO固有ベクトルに対応する固有値、又は別の測定可能なパラメータなどの制約が選択される。制約に基づいて、UAVは、UEのセットから受信された信号から直接制約を測定することができ、及び/又はUEのセットは、制約を測定し、フィードバック情報をUAVに返信することができる。次いで、クラスタの機首方位及び/又は他の飛行特性に対する摂動が実行される。制約（1つ又は複数）の測定は、UAV及び/又はUEによって行われ、チャネルの他の変化による影響による影響から摂動による影響を区別するために（おそらくは少なくとも1つの中央機関によって）処理される。摂動効果を他の効果と区別する多くの技術があり、本発明は特定の技術に限定されない。一態様では、ゼロ平均を有する分散によって特徴付けられる影響は、十分な数のサンプルで平均化することができる。

40

【 0 1 2 5 】

一態様によれば、特異値分解（SVD / singular value decompositions）を使用して、グローバルCSIを用いてビームフォーミング重みを得ることができる。SVD法は、

50

送信機がMIMOチャネル $h$ 上で送信されたデータ $x$ をチャネル $v$ の左分解でプレコードし、受信機が右分解 $u$ で復号することを可能にし、受信された下記のベクトルを与える。

【0126】

$$y = u^H H v x + u^H n$$

【0127】

反復法は、左SVDベクトルの計算のブラインド適応法に依存して、右SVDベクトルを計算するために使用可能である。この方法は、SVDの対角要素によって指定された利得で複数の経路を並列SISOリンクとして扱い、ノードがそれらの局所要素に基づいて理想的な重みを計算できるようにすることによって機能する。フィードバックチャネルを経て送信される情報の量は、各反復でベクトルをフィードバックするのではなく、予測器を使用して各送信ノードにおける現在の特異ベクトルの値を推定することによって低減することができる。送信の各反復の後、推定値と計算値との間の差が設定された閾値を超える場合、特異ベクトルの値が中継器に返送され、制御チャネルでの性能とオーバヘッドとの平衡が可能になる。

10

【0128】

SDMAシステムのプレコードアルゴリズムは、線形タイプと非線形タイプのプレコードを含む。容量達成アルゴリズムは非線形であるが、線形プリコーディングは通常、かなり低い複雑度で合理的な性能を達成する。線形プリコーディング戦略は、最大比伝送(MRT)、ゼロフォーシング(ZF)プリコーディング、及び送信Wienerプリコーディングを含む。また、CSIの低レートフィードバックに適合するプリコーディング戦略、例えばランダムビームフォーミングも存在する。非線形プリコーディングは、ダークティペーパー符号化(DPC)の概念に基づいて設計され、これは、最適なプレコード方式を送信信号に適用できる場合、無線リソースのペナルティなしに、送信機における既知の干渉を差し引くことができることを示す。DPCでは、送信機だけがこの干渉を掌握する必要があるが、加重合計容量を達成するためには、全面的なCSIが必要である。このカテゴリは、Costaプリコーディング、Tomlinson-Harashimaプリコーディング、及びベクトル摂動技術を含む。

20

【0129】

ポイントツーポイントMIMOにおいて性能最大化には明確な解釈があるが、マルチユーザシステムは、全てのユーザの性能を同時に最大化することができない。これは各目的/オブジェクティブがユーザのうちの1人の能力の最大化に対応する多目的最適化の問題とみなすことができる。この問題を簡単にする通常の方法は、システムの効用関数、例えば、重みがシステムの主観的なユーザ優先順位に対応する場合の加重合計容量を選択することである。

30

【0130】

幾つかの態様では、各ユーザのプレコーディング重みは、このユーザにおける信号利得と(ある程度の加重された)他のユーザで生じる干渉プラスノイズとの比率が最大になるように選択可能である。したがって、プレコーディングは、より強力な信号利得の達成とユーザ間の緩衝との最適な平衡(バランス)を見出すことであると解釈できる。最適に加重されたMMSEプレコーディングを見出すことは困難な場合があり、重みが発見的に選択される近似的アプローチに繋がる。このような態様では、重み選択の一部として群知能が使用されてもよい。

40

【0131】

1つの近似的アプローチは、意図されたユーザでの信号利得だけを最大化するMRTである。MRTは、ユーザ間の干渉がノイズと比較すると無視可能であるノイズ制限システムで最適に近い。ZFプレコーディングは、信号利得のある程度の損失を犠牲にしてユーザ間の干渉をゼロにすることを目指している。ZFプレコーディングは、ユーザ数が多数であり、又はシステムが干渉制限されている場合(すなわち、干渉と比較するとノイズが弱い)、合計容量に近い性能を達成することができる。MRTとZFとの平衡は、(信号対リーク及び干渉雑音比)ビームフォーミング、及びWiener送信フィルタリングと

50

しても知られる)いわゆる正規化されたゼロフォーシングによって得られる。これらの発見的アプローチは全て複数のアンテナを有する受信機に適用可能である。

【0132】

実際には、CSIは、推定誤差及び量子化のために送信機において制限される。完全なチャネル知識が良好な精度でフィードバックされれば、性能低下の少ない完全なチャネル知識を有するように設計された戦略を用いることができる。CSIのフィードバックと量子化はベクトル量子化に基づいており、Grassmanラインパッキングに基づくコードブックは良好な性能を実証している。空間的な相関のある環境では、長期のチャネル統計を低レートフィードバックと組み合わせ、マルチユーザプリコーディングを実行することができる。空間相関統計は多くの方向情報を含むため、合理的なチャネル知識を得るには、ユーザは、現在のチャネル利得をフィードバックすることだけが必要なだけである。

10

【0133】

ビームフォーミングアルゴリズムは、CSIへのアクセスを必要とし、最適なビームフォーミング重みの計算はそれに基づいて行われる。これらの重みを決定する最適性の基準は、全ての送信先で望ましいSINRレベルを満たすことを条件として、中継器での総送信電力を最小化することを伴い得る。グローバルCSIを収集し、次いで全てのビームフォーミング器に最適な重みを送信する中央処理ユニットを含む集中化された最適化方法は、大きな通信コストを招く。それらはまた大きな遅延を伴い、各ビームフォーミング器がローカル情報のみに基づいてその最適な重みを計算しなければならない分散技術の必要性を生じさせ得る。

20

【0134】

典型的には、分散ビームフォーミングにおける最大のオーバーヘッドは、ネットワークにわたる重み計算を可能にするノード間のCSI又は位置の共有である。これらの重みを分散して計算する方法は必要最小限のデータを共有しようとするが、本開示の態様は、UAV中継ノード間のローカルエリア通信の大きなデータ帯域幅を活用することができる。UWB、光通信、及び他のWLAN及びWPAN技術は、協調ノードによって大量のデータを共有することを可能にする。

【0135】

理想的な重みの初期推定から開始して、個々のノードは、受信機からフィードバックされるアップリンクでの送信の組合せに基づくパラメータのみを使用して、それ自体の重みをローカルに改善し続け得る。一態様では、二次統計計算は、複数の送信元-送信機対を含み、中継ノードで重みを調整して、1つだけではなく複数の受信機で信号を最適化する。

30

【0136】

幾つかの態様は、クラスタ内及びクラスタ間の干渉効果を考慮しながら、各クラスタによるビームフォーミング決定の自律的な計算を可能にする分散最適化アルゴリズムを使用することができる。(それらに限定されないが)、通常のラグランジュに二次ペナルティ項を加えることによって得られる正規化技術である拡張ラグランジュ法(AL)を含む様々なアルゴリズムが異なる態様で使用されてもよい。AL法は、特に一次法(通常のラグランジュ分解可能性を有する双対分解法、収束速度が非常に速いAL分解法である加速分散拡張ラグランジュ(ADAL)アルゴリズム、一般的な凸最適化問題のための代替AL分解技術、マルチセルダウンリンクビームフォーミング問題のための双対分解を用いる他の分散型の方法、及び口語方向乗数(ADMM)法の技術)と比較して、非常に速く収束する。

40

【0137】

幾つかの態様は、ソース/送信先ノード対の複数のクラスタが、それらの専用中継器と共に空間内に共存する中継ネットワークにおける協調ビームフォーミングの問題に適應させることができる。半定値緩和法を利用することで、問題は凸プログラミング形式で近似することができ、各クラスタによる最適なビームフォーミングの決定の自律的計算にする

50

分散最適化アルゴリズムを使用して解くことができる。このアプローチは、低い計算上の複雑さと正規化の収束速度と堅牢性を組み合わせることができ、しかも最小限の通信オーバーヘッドしか必要としない。

【 0 1 3 8 】

本明細書で開示される装置及び方法の特徴は、サーバ、インターフェース、システム、データベース、エージェント、ピア、エンジン、コントローラ、モジュール、又は個別的、又は集合的に動作する他のタイプのコンピューティングデバイスを含む、コンピューティングデバイスの任意の適切な組み合わせを使用して実施され得ることを理解されたい。コンピューティングデバイスは、有形の非一時的なコンピュータ可読記憶媒体（例えば、ハードドライブ、FPGA、PLA、ソリッドステートドライブ、RAM、フラッシュ、ROMなど）に格納されたソフトウェア命令を実行するように構成されたプロセッサを備えることを理解されたい。ソフトウェア命令は、開示された装置及び方法の態様に関して本明細書で論じられるような役割、責任又は他の機能を提供するようにコンピューティングデバイスを構成又はプログラムする。

10

【 0 1 3 9 】

下記は、本願当初に記載の発明である。

< 請求項 1 >

無人航空機（UAV）であって、

少なくとも1つのオンボードセンサに結合され、少なくとも1つの他のUAVの少なくとも1つの相対的空間位置を決定するように構成された状況認識システムと、

20

UAV - ユーザ機器（UE）チャンネル内の無線アクセスネットワーク（RAN）信号を少なくとも1つの他のUAVと協調して処理し、前記UAV - UEチャンネルのランクを上げるとともにRAN性能基準を生成するように構成された協調的RAN信号プロセッサと

、  
前記状況認識システムと前記協調的RAN信号プロセッサとに結合され、前記少なくとも1つの相対的空間位置とナビゲーション基準の所定の境界内で動作する前記RAN性能基準とに少なくとも基づいて前記UAVの飛行の自律的ナビゲーション制御を使用するように構成されたフライトコントローラと、を備える無人航空機。

< 請求項 2 >

前記RAN性能基準はRANミティゲーション基準として使用され、前記自律的ナビゲーション制御はRANミティゲーション性能を高めるように構成された、請求項1に記載のUAV。

30

< 請求項 3 >

前記協調的RAN信号プロセッサは、協調的マルチ入力マルチ出力プロセッサを備える請求項1に記載のUAV。

< 請求項 4 >

前記協調的RAN信号プロセッサは、UAV間通信を行うように構成されたUAVフロントホールトランシーバを備える請求項1に記載のUAV。

< 請求項 5 >

前記UAVをクラスタヘッドとして操作するように構成されたフリートマネージャを更に備える、請求項1に記載のUAV。

40

< 請求項 6 >

前記フリートマネージャは、クラスタマネージャ、同期マネージャ、MIMOプロセッサ、スケジューラ、及びフロントホールネットワークマネージャの少なくとも1つを備える、請求項5に記載のUAV。

< 請求項 7 >

無人航空機（UAV）の飛行を制御するシステムであって、

各々がローカルフライトコントローラモジュール及び協調的無線アクセスネットワーク（RAN）信号処理モジュールを実行するプロセッサを含み、前記フライトコントローラモジュールによる使用のために前記プロセッサがアクセス可能なメモリを更に含む複数の

50

U A Vを備え、

飛行操作中、前記複数のU A Vのうちの少なくとも1つの他のU A Vの相対的空間位置、前記メモリに格納されたナビゲーション基準、及び前記ナビゲーション基準の境界内で動作するR A N性能基準に少なくとも部分的に基づいて、各フライトコントローラモジュールはそのU A Vの飛行を制御し、前記R A N性能基準は、前記複数のU A Vの各々の前記協調的R A N信号処理モジュールによって生成されるR A Nチャンネル測定値から導出される、システム。

<請求項8>

前記R A N性能基準はR A Nミティゲーション基準として使用され、前記複数のU A Vの各々はR A Nミティゲーションを実行するように構成され、前記ローカルフライトコントローラモジュールの各々は、R A Nミティゲーション性能を高めるようにそのU A Vの飛行を自律的に制御する、請求項7に記載のシステム。

10

<請求項9>

前記R A N性能基準は、R A Nチャンネル行列の条件数を低減するように決定されるナビゲーションパラメータを含む、請求項7に記載のシステム。

<請求項10>

前記ローカルフライトコントローラモジュールのそれぞれは更に、そのU A Vのエネルギー効率的動作を向上させるように構成される、請求項7に記載のシステム。

<請求項11>

少なくとも1つの協調的R A N信号処理モジュールは、協調的マルチ入力マルチ出力モジュールを備える、請求項7に記載のシステム。

20

<請求項12>

前記複数のU A Vの少なくとも1つは、U A Vのクラスタヘッドとして動作するように構成され、フリートマネージャを備える、請求項7に記載のシステム。

<請求項13>

前記フリートマネージャは、クラスタマネージャ、同期マネージャ、M I M Oプロセッサ、スケジューラ、及びフロントホールネットワークマネージャの少なくとも1つを備える請求項7に記載のシステム。

<請求項14>

無人航空機(U A V)のクラスタ内で動作するU A Vを制御する方法であって、オンボードセンサを使用して、少なくとも1つの他のU A Vに対する相対的空間位置を決定し、

30

U A V - ユーザ機器(U E)チャンネル内の無線アクセスネットワーク(R A N)信号を少なくとも1つの他のU A Vと協調して処理し、前記U A V - U Eチャンネルのランクを上げるとともにR A N性能基準を生成し、

U A V間通信を使用して、前記U A Vのクラスタが互いに通信することを可能にし、自律的ナビゲーション制御を使用して、前記相対的空間位置、ナビゲーション基準境界、及び前記ナビゲーション基準境界の所定の境界内で動作するR A N性能基準に少なくとも部分的に基づいて前記U A Vの飛行を制御することを特徴とする方法。

<請求項15>

40

少なくとも1つの対象のU Eに対するR A Nミティゲーションを実行することを含むように前記処理を構成するステップを更に含み、前記R A N性能基準はR A Nミティゲーション基準として使用され、前記自律的ナビゲーション制御は、R A Nミティゲーション性能を高めるように前記U A Vの飛行の自律制御を行う、請求項14に記載のシステム。

<請求項16>

前記R A N性能基準は、R A Nチャンネル行列の条件数を低減するように決定されたナビゲーションパラメータを含む、請求項14に記載のシステム。

<請求項17>

前記処理は、少なくとも1つの他のU A Vと調整された協調的マルチ入力マルチ出力(M I M O)処理を含む、請求項14に記載のシステム。

50

< 請求項 1 8 >

前記 R A N 信号、処理済の R A N 信号、及び前記 R A N 性能基準の少なくとも 1 つを、協調的 M I M O 処理を実行するように構成された中央プロセッサに送信するステップを更に含む、請求項 1 4 に記載のシステム。

< 請求項 1 9 >

前記クラスタのフリート管理を実行するステップを更に含み、フリート管理は、U A V を前記クラスタに割り当てるステップ、前記クラスタ内の U A V を同期化するステップ、前記クラスタ内の他の U A V によって処理された R A N 信号の中央処理を実行するステップ、スケジューリングするステップ、及び、前記クラスタ内の U A V を接続するフロントホールのネットワーク管理を実行するステップの少なくとも 1 つを含む、請求項 1 4 に記載のシステム。

10

< 請求項 2 0 >

自律的ナビゲーション制御の使用は、前記 U A V のエネルギー効率的動作を高めるように構成される、請求項 1 4 に記載のシステム。

【 図 1 】

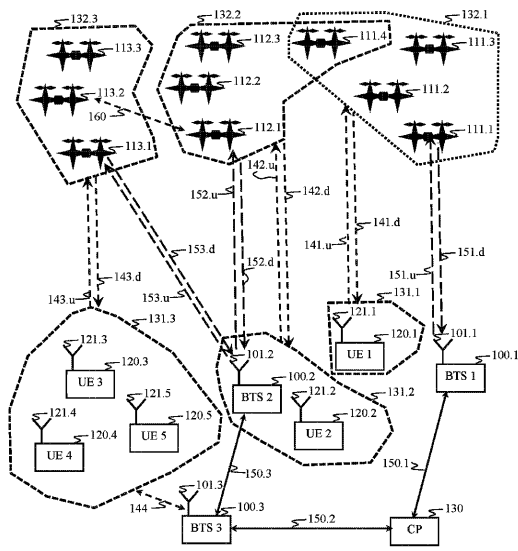


Figure 1

【 図 2 】

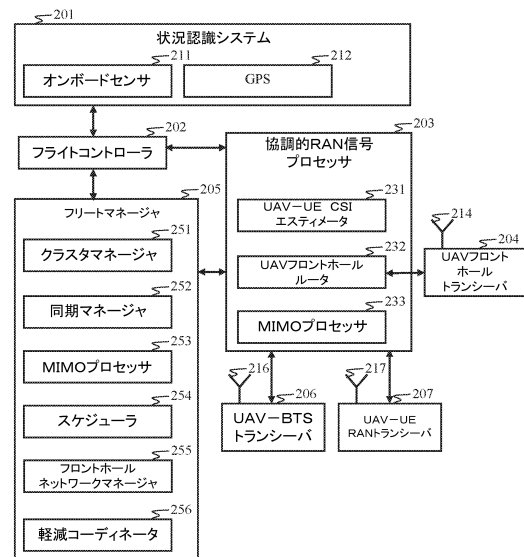


Figure 2



【図3】

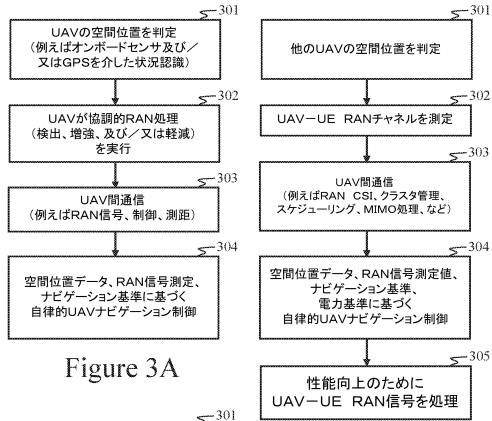


Figure 3A

Figure 3B

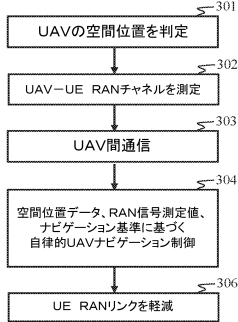


Figure 3C

【図4】

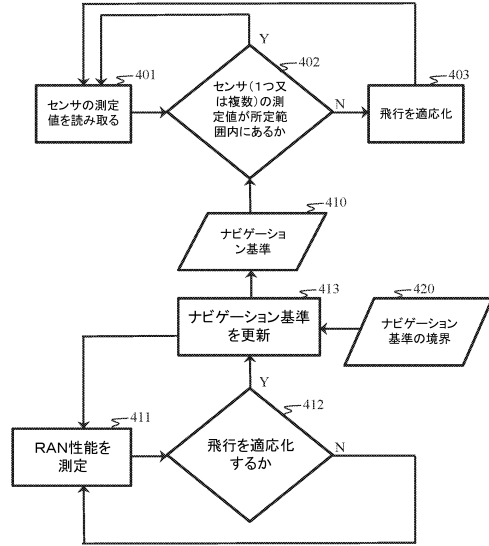


Figure 4

【図5】

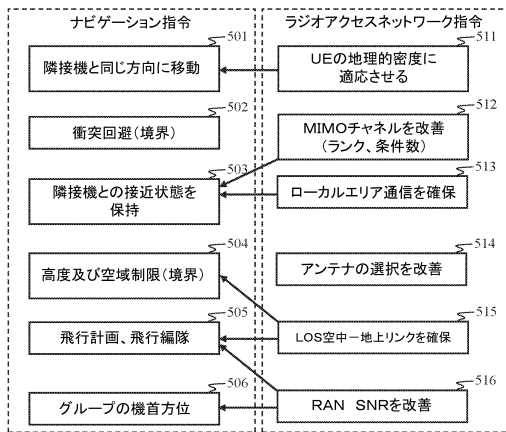


Figure 5

【図6】

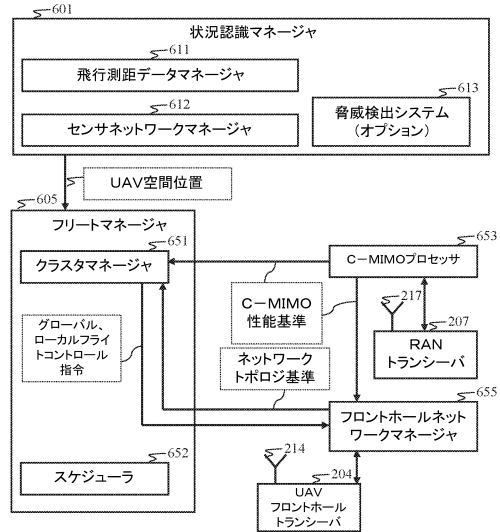


Figure 6

---

フロントページの続き

(72)発明者 シャティル, スティーヴ

アメリカ合衆国 80308 コロラド州, ボールダー, ピーオーボックス 17355

審査官 横田 有光

(56)参考文献 米国特許第08983455 (US, B1)

米国特許出願公開第2014/0219124 (US, A1)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H04B 7/24 - 7/26

H04W 4/00 - 99/00

G01C 21/00 - 21/36

23/00 - 25/00

3GPP TSG RAN WG1 - 4

SA WG1 - 4

CT WG1、4