

(19)日本国特許庁(JP)

## (12)特許公報(B2)

(11)特許番号

特許第7127053号

(P7127053)

(45)発行日 令和4年8月29日(2022.8.29)

(24)登録日 令和4年8月19日(2022.8.19)

(51)国際特許分類

F I

H 0 4 B	7/185(2006.01)	H 0 4 B	7/185
H 0 1 Q	21/06 (2006.01)	H 0 1 Q	21/06
H 0 1 Q	1/28 (2006.01)	H 0 1 Q	1/28
H 0 1 Q	3/04 (2006.01)	H 0 1 Q	3/04
H 0 1 Q	3/30 (2006.01)	H 0 1 Q	3/30

請求項の数 17 (全103頁) 最終頁に続く

(21)出願番号	特願2019-555165(P2019-555165)
(86)(22)出願日	平成29年4月10日(2017.4.10)
(65)公表番号	特表2020-517161(P2020-517161 A)
(43)公表日	令和2年6月11日(2020.6.11)
(86)国際出願番号	PCT/US2017/026839
(87)国際公開番号	WO2018/190794
(87)国際公開日	平成30年10月18日(2018.10.18)
審査請求日	令和2年3月17日(2020.3.17)

(73)特許権者	513180451 ヴィアサット、インコーポレイテッド V i a S a t , I n c . アメリカ合衆国 カリフォルニア州 9 2 0 0 9 , カールスバッド, エル カミーノ レアル 6 1 5 5
(74)代理人	110001302 特許業務法人北青山インターナショナル
(72)発明者	メンデルゾーン, アーロン アメリカ合衆国 カリフォルニア州 9 2 0 0 9 , カールスバッド, エル カミーノ レアル 6 1 5 5 , シーノオー パテント デパートメント, ヴィアサット, インコ ーポレイテッド
(72)発明者	ラニヨン, ドナルド

最終頁に続く

(54)【発明の名称】 衛星通信に適応するためのカバレッジエリア調整

## (57)【特許請求の範囲】

## 【請求項1】

複数のアンテナフィード素子(128)を備えるアンテナアセンブリ(121)を有する通信衛星(120)を介して通信するための方法において、

第1の複数のビームフォームされたスポットビーム(125)を介して通信サービスを提供することであって、前記第1の複数のビームフォームされたスポットビーム(125)は、少なくとも部分的に、第1のビームフォーミング構成及び前記アンテナアセンブリ(121)の第1のネイティブなアンテナパターン(220)に基づき、前記第1のネイティブなアンテナパターン(220)は、前記アンテナアセンブリ(121)の反射器(122)に対する前記アンテナアセンブリ(121)のフィードアレイアセンブリ(127)の第1のデフォーカス位置に対応し、前記第1のネイティブなアンテナパターン(220)は、前記複数のアンテナフィード素子(128)の第1のネイティブなフィード素子パターン(210)の合成を含む、提供すること、

前記通信衛星(120)に、前記アンテナアセンブリ(121)の前記第1のネイティブなアンテナパターン(220)から前記アンテナアセンブリ(121)の第2のネイティブなアンテナパターン(220)に変更するように指令することであって、前記第2のネイティブなアンテナパターン(220)は、前記反射器(122)に対する前記フィードアレイアセンブリ(127)の第2のデフォーカス位置に対応し、前記第2のネイティブなアンテナパターン(220)は、前記複数のアンテナフィード素子(128)の第2のネイティブなフィード素子パターン(210)の合成を含み、前記複数のアンテナフィ

ード素子(128)の所与のアンテナフィード素子(128)は、前記第1のネイティブなフィード素子パターン(210)の1つ及び前記第2のネイティブなフィード素子パターン(210)の1つと関連し、前記第2のネイティブなフィード素子パターン(210)の前記1つは、前記第1のネイティブなフィード素子パターン(210)の前記1つと異なる、指令すること、及び

第2の複数のビームフォームされたスポットビーム(125)を介して前記通信サービスを提供することであって、前記第2の複数のビームフォームされたスポットビーム(125)は、少なくとも部分的に、第2のビームフォーミング構成及び前記第2のネイティブなアンテナパターン(220)に基づく、提供することを含むことを特徴とする方法。

10

【請求項2】

請求項1に記載の方法において、前記通信衛星(120)に、前記第1のネイティブなアンテナパターン(220)から前記第2のネイティブなアンテナパターン(220)に変更するように指令することは、

前記通信衛星(120)のアクチュエータ(124)に、前記第1のネイティブなアンテナパターン(220)から前記第2のネイティブなアンテナパターン(220)への前記変更をもたらすように指令することを含むことを特徴とする方法。

【請求項3】

請求項2に記載の方法において、前記アクチュエータ(124)に、前記第1のネイティブなアンテナパターン(220)から前記第2のネイティブなアンテナパターン(220)への前記変更をもたらすように指令することは、

前記アンテナアセンブリ(121)の前記反射器(122)と、前記複数のアンテナフィード素子(128)を含む前記アンテナアセンブリ(121)の前記フィードアレイアセンブリ(127)との間の空間的な調整を指令することを含むことを特徴とする方法。

20

【請求項4】

請求項3に記載の方法において、前記アクチュエータ(124)は、前記アンテナアセンブリ(121)の前記反射器(122)と前記フィードアレイアセンブリ(127)との間に結合されていることを特徴とする方法。

30

【請求項5】

請求項3に記載の方法において、前記通信衛星(120)に、前記第1のネイティブなアンテナパターン(220)から前記第2のネイティブなアンテナパターン(220)に変更するように指令することは、

前記反射器(122)と前記フィードアレイアセンブリ(127)との間に結合されたりニアアクチュエータ(124)に、第1の長さから第2の長さに変更するように指令することを含むことを特徴とする方法。

【請求項6】

請求項5に記載の方法において、

前記フィードアレイアセンブリ(127)と前記反射器(122)との間に結合された副アクチュエータ(2540)に、前記第2のネイティブなアンテナパターン(220)を提供するように指令することであって、前記副アクチュエータ(2540)に前記指令することは、前記リニアアクチュエータ(124)の軸と異なる軸の周りでの前記フィードアレイアセンブリ(127)と前記反射器(122)との間の相対位置の変更を引き起こす、指令すること

40

をさらに含むことを特徴とする方法。

【請求項7】

請求項1に記載の方法において、前記第1のデフォーカス位置又は前記第2のデフォーカス位置の一方又は両方は、前記反射器(122)と前記反射器(122)のフォーカス

50

領域（１２３）との間に置かれている前記複数のアンテナフィード素子（１２８）の１つ以上と関連することを特徴とする方法。

【請求項 ８】

請求項 ２に記載の方法において、前記アクチュエータ（１２４）に、前記第 １のネイティブなアンテナパターン（２２０）から前記第 ２のネイティブなアンテナパターン（２２０）への前記変更をもたらすように指令することは、

前記アンテナアセンブリ（１２１）の前記反射器（１２２）のフォーカス領域（１２３）に対する調整を指令することを含むことを特徴とする方法。

【請求項 ９】

請求項 １乃至 ８の何れか １項に記載の方法において、前記第 １のネイティブなアンテナパターン（２２０）は、前記アンテナアセンブリ（１２１）の第 １のボアサイト方向と関連し、及び前記第 ２のネイティブなアンテナパターン（２２０）は、前記第 １のボアサイト方向と異なる、前記アンテナアセンブリ（１２１）の第 ２のボアサイト方向と関連することを特徴とする方法。

【請求項 １０】

請求項 １乃至 ９の何れか １項に記載の方法において、前記第 １のネイティブなアンテナパターン（２２０）は、前記所与のアンテナフィード素子（１２８）の第 １のネイティブなフィード素子パターンビーム幅と関連し、及び前記第 ２のネイティブなアンテナパターン（２２０）は、前記第 １のネイティブなフィード素子パターンビーム幅と異なる、前記所与のアンテナフィード素子（１２８）の第 ２のネイティブなフィード素子パターンビーム幅と関連することを特徴とする方法。

【請求項 １１】

請求項 １乃至 １０の何れか １項に記載の方法において、前記第 １のネイティブなアンテナパターン（２２０）は、前記アンテナアセンブリ（１２１）の ２つ以上のアンテナフィード素子（１２８）のネイティブなフィード素子パターン（２１０）の第 １の重なり量と関連し、及び前記第 ２のネイティブなアンテナパターン（２２０）は、前記アンテナアセンブリ（１２１）の前記 ２つ以上のアンテナフィード素子（１２８）の前記ネイティブなフィード素子パターン（２１０）の第 ２の異なる重なり量と関連することを特徴とする方法。

【請求項 １２】

請求項 １乃至 ８の何れか １項に記載の方法において、

前記通信衛星（１２０）の軌道特性を調整することであって、前記第 ２の複数のビームフォームされたスポットビーム（１２５）を介して前記通信サービスを提供することは、前記調整された軌道特性に従って前記通信サービスを提供することを含む、調整することをさらに含むことを特徴とする方法。

【請求項 １３】

請求項 １乃至 ８の何れか １項に記載の方法において、前記通信衛星（１２０）は、前記第 １の複数のビームフォームされたスポットビーム（１２５）を介して前記通信サービスを提供する間及び前記第 ２の複数のビームフォームされたスポットビーム（１２５）を介して前記通信サービスを提供する間、同じ地球静止軌道位置にあることを特徴とする方法。

【請求項 １４】

請求項 １乃至 ８の何れか １項に記載の方法において、

前記通信衛星（１２０）は、前記第 １の複数のビームフォームされたスポットビーム（１２５）を介して前記通信サービスを提供する間、第 １の地球静止軌道位置にあり、

前記通信衛星（１２０）に、前記第 １のネイティブなアンテナパターン（２２０）から前記第 ２のネイティブなアンテナパターン（２２０）に変更するように指令することは、前記通信衛星（１２０）に、前記第 １の地球静止軌道位置から第 ２の異なる地球静止軌道位置に動くように指令することを含み、及び

前記通信衛星（１２０）は、前記第 ２の複数のビームフォームされたスポットビーム（

10

20

30

40

50

125)を介して前記通信サービスを提供する間、前記第2の地球静止軌道位置にあることを特徴とする方法。

【請求項15】

請求項1乃至14の何れか1項に記載の方法において、前記通信衛星(120)は、第2の複数のアンテナフィード素子(128)を備える第2のアンテナアセンブリ(121)を含み、前記方法は、

前記第2のアンテナアセンブリ(121)を使用して第3の複数のビームフォームされたスポットビーム(125)を介して前記通信サービスを提供することであって、前記第3の複数のビームフォームされたスポットビーム(125)は、少なくとも部分的に、第3のビームフォーミング構成及び前記第2のアンテナアセンブリ(121)の第3のネイティブなアンテナパターン(220)に基づき、前記第3のネイティブなアンテナパターン(220)は、前記第2の複数のアンテナフィード素子(128)の第3のネイティブなフィード素子パターン(210)の合成を含む、提供すること

をさらに含むことを特徴とする方法。

【請求項16】

請求項1乃至15の何れか1項に記載の方法において、前記第1の複数のビームフォームされたスポットビーム(125)を介して前記通信サービスを提供すること又は前記第2の複数のビームフォームされたスポットビーム(125)を介して前記通信サービスを提供することは、

複数のアクセスノード端末(130)と前記通信衛星(120)との間に第1の複数の信号を提供すること、及び

前記通信衛星(120)と複数のユーザ端末(150)との間に第2の複数の信号を提供すること

の一方又は両方を含むことを特徴とする方法。

【請求項17】

請求項1乃至16の何れか1項に記載の方法において、前記第1のビームフォーミング構成は、前記複数のアンテナフィード素子(128)を介して伝えられる第1の複数のフィード素子信号に第1のビームフォーミング重みセットを適用することを含み、及び前記第2のビームフォーミング構成は、前記複数のアンテナフィード素子(128)を介して伝えられる第2の複数のフィード素子信号に、前記第1のビームフォーミング重みセットと異なる第2のビームフォーミング重みセットを適用することを含むことを特徴とする方法。

【発明の詳細な説明】

【背景技術】

【0001】

通信衛星は、一般に、地上アクセスノード端末又はユーザ端末を含み得る様々な地球上の目標装置と通信するための1つ以上のアンテナアセンブリを含み、地球上の目標装置の何れも、(例えば、永久的な設置サイトに設置されて、1つの固定設置サイトから別の固定設置サイトに動かされるなど)静止しているか又は(例えば、車両、船舶、飛行機などに設置されて)移動可能であり得る。通信衛星のアンテナアセンブリは、ダウンリンク信号(例えば、ユーザ端末へのフォワードリンク信号、アクセスノードへのリターンリンク信号)を送信し、且つ/又はアップリンク信号(例えば、アクセスノードからのフォワードリンク信号、ユーザ端末からのリターンリンク信号)を受信するように構成され得る。アンテナアセンブリは、アンテナアセンブリを介して装置に通信サービスが提供され得るサービスカバレッジエリアに関連し得る。衛星は、地球静止衛星であり得、その場合、衛星の軌道は、地球の回転と同調し、サービスカバレッジエリアを地球に対して本質的に静止した状態に保つ。他の場合、衛星は、地球の周りの軌道内にあり、衛星がその軌道経路を動き回るため、サービスカバレッジエリアを地球の表面上で動かせる。

【0002】

いくつかの衛星通信システムは、同じアンテナフットプリント(例えば、サービスカバ

10

20

30

40

50

レッジエリア)、例えば米国本土内に位置する端末間で信号を中継する「ベントパイプ」衛星を用いる。送信カバレッジエリアと受信カバレッジエリアとが重なる場合、別々の周波数帯域及び/又は偏波がアップリンク(衛星への)及びダウンリンク(衛星からの)に対して使用され得る。「ベントパイプ」の呼称は、中継信号が、信号が衛星によって受信された後、あたかもベントパイプによって向け直されたかのように効率的に再送信される事実を指す。中継信号のデータは、「再生」又は処理衛星アーキテクチャにおけるように、復調も再変調もされない。むしろ、ベントパイプアーキテクチャ内における衛星での信号操作は、一般的に、例えば周波数変換、フィルタリング、増幅などの機能に限定される。

#### 【0003】

信号のデジタルチャネル化及びルーティング、中継信号中のデータの復調/ルーティング/再変調、周波数の再使用を可能にするための狭いアンテナフットプリントスポットビーム及びカバレッジエリアの動的配置を可能にするためのフェーズドアレイアンテナなどの革新技術を利用する、衛星を取り巻く他の衛星通信システムが開発されている。

#### 【0004】

例えば、移動衛星通信サービス(MSS)のための衛星は、一般に、周波数の再使用の回数を多くして、スポットビームカバレッジエリアを利用する。MSSのための衛星の例は、インマルサット(Inmarsat)-4衛星及びスラーヤ(Thuraya)衛星を含む。これらの衛星は、一般に、大きい合成エリアを網羅する多数の狭いスポットビームを特徴とし、及び帯域幅の柔軟であり且つ設定可能な割り当てを可能にする。しかしながら、全システム帯域幅は、狭く(Lバンドにおいて34MHzの割り当てなど)、及びサービスは、一般的に、「狭帯域」として分類され(例えば、数百kHzの搬送波帯域幅)、これにより、デジタルビームフォーミング技術を使用して、柔軟であり且つ設定可能な帯域幅割り当てを達成することを可能にする。これらの衛星は、アクティブフィードを備える大きい反射器を使用する。各アンテナフィード素子と関連する信号がデジタル化され、且つビームフォーミング及び帯域幅柔軟性がデジタル信号プロセッサによってもたらされる。デジタルビームフォーミングは、狭帯域チャネルで実施され、フィードリンクの何れかの狭帯域チャネルを任意のスポットビーム形状に対して任意の周波数に配置できるようにする。

#### 【0005】

超高速インターネット衛星(WINDS)は、試験的なKaバンド衛星システムである。衛星は、固定マルチビームアンテナ(MBA)を使用して固定スポットビーム及びアクティブフェーズドアレイアンテナ(APAA)を使用して操縦可能ビームの両方を実行する。MBAは、固定ビームを供給し、及び通信リンクは、時間が経つと、送信ビームと受信ビームとの組み合わせせからなるパターンで切換えられ得る。APAAは、衛星から見える地球の地域全体をほとんど網羅する潜在的なサービスエリアを備えるビームホッピングアンテナとして開発された。APAAは、送信アンテナ及び受信アンテナのそれぞれに対して、独立して操縦可能な2つのビームを使用して任意のユーザ間に通信を提供できる。ビーム操縦は、衛星内切換時分割多元接続(SS-TDMA)モードにおいて、2msという短い切換間隔スロット中、デジタル位相器の制御を介して指向方向を更新することによって達成され、ここで、最短のビームドエルタイムは、SS-TDMAシステムのスロット時間に対応する。高速でのビーム切換は、1ビーム当たり8箇所のロケーションまで支援される。MBA及びAPAAの両方の切換パターンは、ネットワーク管理センターからアップロードされる。

#### 【0006】

Spacewayは、米国全体にわたって112個のアップリンクビーム及び800個近いダウンリンクビームに供するKaバンド衛星システムである。Spaceway衛星は、再生型衛星搭載プロセッサを使用して、データパケットを112個のアップリンクビームの1つから800個近い潜在的なダウンリンクビームの1つにルーティングする。いかなる場合でも、ダウンリンクは、24個までのホッピングビームからなる。ダウンリンクスケジューラは、各ビームのダウンリンクのトラフィックキュー及び電力制約及び干渉

10

20

30

40

50

制約に応じて、何れのビームが各ダウンリンクタイムスロットに対してバーストを送信しているべきかを決定する。

【 0 0 0 7 】

以前にワイドバンドギャップフィラー衛星として知られていたWideband Global SATCOM (WGS) 衛星は、操縦可能Kaバンドスポットビーム及びXバンドビームフォーミングを利用する米国政府の衛星である。Kaバンドスポットビームは、機械的に操縦される。8個までのXバンドビームが、各アンテナフィールド素子内のビームフォーミングモジュール(BFMs)に適用されるプログラムマブルな振幅及び位相調整を使用する送信及び受信Xバンドアレイによって形成される。帯域幅の割り振りは、ビームフォーミングに関わらない広帯域デジタルチャネライザを使用して、柔軟であり且つ設定可能である。

10

【 0 0 0 8 】

より最近の衛星アーキテクチャは、システム容量をさらに増大させている。例えば、Dankberg et al. の米国特許出願公開第2009-0298416号明細書(その全体が参照により本明細書に援用される)に開示されているViaSat-1及びKaバンドスポットビーム衛星アーキテクチャは、150 Gbps 超の物理層容量を提供し得る。このスポットビームアーキテクチャは、従来のKaバンド衛星よりも1桁超の容量の増大を提供する。他の衛星、例えばKA-SAT及びJupiterは、同様のアーキテクチャを使用して、同様の高容量を達成している。これらの衛星の全てにおいて使用されているアーキテクチャは、固定ロケーションを目標とする小さいスポットビームを含む「ベントパイプ」式ハブ-スポークアーキテクチャである。各スポットビームは、大量のスペクトル、一般に250~1000 MHzを使用し得る。結果として得られる大容量は、例えば、(a)一般に60~80又はそれを上回る多数のスポットビーム、(b)スポットビームに関連する高アンテナ指向性(例えば、好都合なリンクバジェットを生じる)、及び(c)各スポットビーム内で使用される比較的大量の帯域幅を含む衛星システムのいくつかの特徴の産物である。

20

【 0 0 0 9 】

上述の高容量の衛星アーキテクチャは、貴重であるが、依然としていくつかの点において限定され得る。例えば、同じスペクトル割り当て及び電力バジェットを維持しながら、より高い容量を支援するためにアーキテクチャをスケールアップすることは、一般に、より小さい直径のスポットビームを生じるためにより大きい反射器を使用して達成される。より小さい直径のスポットビームの使用は、衛星アンテナの指向性(又はゲイン)を高め得るため、リンク信号対雑音比(SNR)及び容量を高める。しかしながら、より小さいスポットビームは、必然的にサービスカバレッジエリア(例えば、通信サービスが提供され得るカバレッジエリア)を小さくする。そのため、これらの衛星アーキテクチャは、容量対カバレッジエリアの固有の妥協点を有する。

30

【 0 0 1 0 】

さらに、これらのアーキテクチャは、一般に、全てのスポットビーム、ユーザビーム及びゲートウェイ(GW)ビームの両方を固定ロケーションに配置する。一般的に、サービスカバレッジエリアの変更に適合するようにスポットビームを動かす能力はない。さらに、アーキテクチャは、本質的に、サービスカバレッジエリア全体にわたって均等に分布した容量を提供する。1スポットビーム当たりの容量は、例えば、1スポットビーム当たりの割り当てられた帯域幅に強く関係し、これは、スポットビーム毎に予め決定され、及び柔軟性又は設定可能性を皆無又はそれに近くできる。

40

【 0 0 1 1 】

これらの衛星通信アーキテクチャは、所望のサービスカバレッジエリアが周知であり、及び容量に対する需要がサービスカバレッジエリア全体にわたって均等に分布されている場合に貴重であるが、上述のアーキテクチャの柔軟性がないことは、いくつかの適用例にとって制限であり得る。例えば、通信衛星がリタスクされ得るか、又は展開条件(例えば、軌道スロットなど)が変化し得る。さらに、衛星通信サービスは、ユーザ需要(例えば

50

、固定ユーザ対移動ユーザなど)の変化を経験し得る。ビームフォーミングなどの信号処理は、スポットビームの配置構成又はサービスカバレッジエリアを適応させるためのある程度の能力を提供し得るが、サービスカバレッジエリア及びスポットビームの配置構成の適応における追加的な柔軟性が望まれ得る。例えば、衛星通信システムアーキテクチャが、スポットビームカバレッジエリアの複数のロケーション及びサイズ、ユーザ端末及びアクセスノード端末のロケーション、通信サービス容量の空間的分布及び通信サービスの容量割り当てにおいて柔軟性を支援することが望ましいことがあり得る。さらに、そのような柔軟性を通信衛星の軌道位置の変化とともに支援するか、又はミッション寿命中に通信衛星を別の軌道スロットに動かすことができるようにすることが望ましいことがあり得る。

【発明の概要】

【0012】

上記を考慮して、柔軟な衛星通信を提供する態様が望まれている。

【0013】

ハブ-スポーク式ベントパイプ衛星通信システムの例は、複数のユーザ端末、複数のユーザ端末と通信するように構成された複数のアクセスノード端末、フレーム定義に従って衛星動作を制御するためのデータを特定するように構成されたコントローラであって、フレーム定義は、フレームに複数のタイムスロットを含み、及び少なくとも1つのアクセスノード端末から複数のユーザ端末へのフォワードトラフィックと、複数のユーザ端末から少なくとも1つのアクセスノード端末へのリターントラフィックとの間の容量の割り当てを定義する、コントローラ及び通信衛星であって、複数の経路、少なくとも1つの低雑音増幅器(LNA)であって、少なくとも1つのLNAの出力は、複数の経路の1つの経路に結合され且つフレーム定義によって定義されたフォワードトラフィックとリターントラフィックとの間の容量の割り当てに従ってアップリンクビーム信号を増幅するように構成されている、低雑音増幅器と、少なくとも1つの高電力増幅器(HPA)であって、少なくとも1つのHPAの入力は、複数の経路の1つの経路に結合され且つフレーム定義によって定義されたフォワードトラフィックとリターントラフィックとの間の容量の割り当てに従ってダウンリンクビーム信号を増幅するように構成されているHPAを含む通信衛星を含み、及びフレーム定義は、複数の経路の少なくとも1つの経路の構成をフレームにおける少なくとも1つのタイムスロットのためのフォワード経路として、及び少なくとも1つの経路の構成をフレームにおける少なくとも1つの他のタイムスロットのためのリターン経路として特定する。

【0014】

そのような衛星通信システムの実施形態は、以下の特徴の1つ以上を含み得る。通信衛星は、少なくとも1つのLNAの出力を複数の経路の1つの経路に結合し且つ少なくとも1つのHPAの入力を複数の経路の1つの経路に結合するように構成された1つ以上のビームフォーミングネットワークをさらに含む。通信衛星は、アンテナフィード素子のフェーズドアレイをさらに含み、及び少なくとも1つのLNAの入力は、フェーズドアレイのアンテナフィード素子の出力に結合されるように構成される。通信衛星は、アンテナフィード素子のフェーズドアレイ及び少なくとも1つの高調波フィルタをさらに含み、少なくとも1つの高調波フィルタの出力は、フェーズドアレイのアンテナフィード素子の入力に結合されるように構成され、及び少なくとも1つのHPAの出力は、少なくとも1つの高調波フィルタの入力に結合されるように構成される。

【0015】

複数の経路を含み且つ複数のユーザ端末及び複数のアクセスノード端末と通信する通信衛星を利用する、ハブ-スポーク式ベントパイプ衛星通信のための方法の例は、コントローラにおいて、フレーム定義に従って通信衛星動作を制御するためのデータを特定することであって、フレーム定義は、フレームに複数のタイムスロットを含み、且つ少なくとも1つのアクセスノード端末から複数のユーザ端末へのフォワードトラフィックと、複数のユーザ端末から少なくとも1つのアクセスノード端末へのリターントラフィックとの間の容量の割り当てを定義する、特定すること、及び通信衛星において、フレーム定義によ

10

20

30

40

50

て定義されたフォワードトラフィックとリターントラフィックとの間の容量の割り当てに従って、アップリンクビーム信号を受信し且つダウンリンクビーム信号を送信することを含み、及びフレーム定義は、複数の経路の少なくとも1つの経路の構成をフレーム内の少なくとも1つのタイムスロットのためのフォワード経路として、及び少なくとも1つの経路の構成をフレーム内の少なくとも1つの他のタイムスロットのためのリターン経路として特定する。

【0016】

ハブ - スポーク式ベントパイプ衛星通信のための通信衛星の例は、複数の経路、少なくとも1つの低雑音増幅器 (LNA) であって、少なくとも1つのLNAの出力は、複数の経路の1つの経路に結合され且つフレーム定義によって定義される (フレーム定義は、フレームに複数のタイムスロットを含む)、少なくとも1つのアクセスノード端末から複数のユーザ端末へのフォワードトラフィックと、複数のユーザ端末から少なくとも1つのアクセスノード端末へのリターントラフィックとの間の容量の割り当てに従って、アップリンクビーム信号を増幅するように構成される、低雑音増幅器及び少なくとも1つの高電力増幅器 (HPA) であって、少なくとも1つのHPAの入力は、複数の経路の1つの経路に結合され且つフレーム定義によって定義されたフォワードトラフィックとリターントラフィックとの間の容量の割り当てに従ってダウンリンクビーム信号を増幅するように構成され、及びフレーム定義は、複数の経路の少なくとも1つの経路の構成をフレーム内の少なくとも1つのタイムスロットのためのフォワード経路として、及び少なくとも1つの経路の構成をフレーム内の少なくとも1つの他のタイムスロットのためのリターン経路として特定する、高電力増幅器を含む。

【0017】

そのような通信衛星の実施形態は、以下の特徴の1つ以上を含み得る。通信衛星は、少なくとも1つのLNAの出力を複数の経路の1つの経路に結合し且つ少なくとも1つのHPAの入力を複数の経路の1つの経路に結合するように構成された1つ以上のビームフォーミングネットワークをさらに含む。通信衛星は、アンテナフィード素子のフェーズドアレイをさらに含み、少なくとも1つのLNAの入力は、フェーズドアレイのアンテナフィード素子の出力に結合されるように構成される。通信衛星は、アンテナフィード素子のフェーズドアレイ及び少なくとも1つの高調波フィルタをさらに含み、少なくとも1つの高調波フィルタの出力は、フェーズドアレイのアンテナフィード素子の入力に結合されるように構成され、及び少なくとも1つのHPAの出力は、少なくとも1つの高調波フィルタの入力に結合されるように構成される。

【0018】

複数の経路を含み且つ複数のユーザ端末及び複数のアクセスノード端末と通信する通信衛星を利用する、通信衛星において実行される、ハブ - スポーク式ベントパイプ衛星通信のための方法の例は、アップリンクビーム信号を受信すること、及びダウンリンクビーム信号を送信することであって、アップリンクビーム信号の受信及びダウンリンクビーム信号の送信は、フレーム定義によって定義された、少なくとも1つのアクセスノード端末から複数のユーザ端末へのフォワードトラフィックと、複数のユーザ端末から少なくとも1つのアクセスノード端末へのリターントラフィックとの間の容量の割り当てに従い、フレーム定義は、フレームに複数のタイムスロットを含む、送信することを含み、及びフレーム定義は、複数の経路の少なくとも1つの経路の構成をフレーム内の少なくとも1つのタイムスロットのためのフォワード経路として、及び少なくとも1つの経路の構成をフレーム内の少なくとも1つの他のタイムスロットのためのリターン経路として特定する。

【0019】

いくつかの例では、通信衛星は、異なるネイティブなアンテナパターンに従って1つ以上のアンテナアセンブリを介して通信サービスを提供するように構成され得、各ネイティブなアンテナパターンは、所与の動作条件における、それぞれのアンテナアセンブリの複数のアンテナフィード素子のそれぞれに対するネイティブなフィード素子パターンの合成と称し得る。そのようなアンテナアセンブリは、フィードアレイアセンブリ (例えば、ア

10

20

30

40

50



ンテナフィード素子のフェーズドアレイ)、反射器及びフィードアレイアセンブリと反射器との間に結語されたアクチュエータを含み得る。反射器は、焦点又はフォーカス領域を有し得、ここで、遠方の通信源から受信したとき、無線周波数(RF)信号が集中する。フィードアレイアセンブリは、通信サービスと関連した信号を通信するための複数のアンテナフィード素子を有し得、及び反射器は、フィードアレイアセンブリと1つ以上の目標装置(例えば、ユーザ端末及び/又はアクセスノード端末)との間で送信された信号を反射するように構成され得る。アクチュエータは、調整可能な長さを有するリニアアクチュエータであり得るか、又は他にフィードアレイアセンブリと反射器との間の相対距離の調整をもたらし得る。

【0020】

10

フィードアレイアセンブリは、フォーカス領域と反射器の面との間の領域に位置決めされて(例えば、リニアアクチュエータを使用して)、デフォーカスされたシステムとして動作し得、ここで、遠方の通信源からのRF信号は、複数のアンテナフィード素子を照射する。フィードアレイアセンブリに対して反射器の位置を第1のデフォーカス動作条件から第2のデフォーカス動作条件に調整することにより、衛星は、それぞれのアンテナアセンブリに対して、異なるネイティブなアンテナパターンに従う通信サービスを提供し得る。一部には、デフォーカス動作条件を変更することによるネイティブなアンテナパターンの適応は、所望のカバレッジエリア、ユーザビーム特性、動作軌道位置又は他のカバレッジ態様の提供における追加的な調整性を支援することにより、通信衛星の多用性を改善し得る。

20

【0021】

上記は、本開示による例の特徴及び技術的利点の要点をやや広範に述べて、以下の詳細な説明がより良好に理解され得るようにした。追加的な特徴及び利点について以下に説明する。開示の概念及び具体例は、本開示の同じ目的を実施するように他の構造を修正又は設計するための根拠として容易に利用され得る。そのような均等な構成は、添付の特許請求の範囲から逸脱しない。本明細書で開示する概念の特性は、添付図面と関連して考慮すると、それらの体制及び動作方法の両方において、関連の利点と共に以下の説明からより良好に理解される。図面は、それぞれ特許請求の範囲の限定の定義としてではなく、図示及び説明のために提供されるにすぎない。

【図面の簡単な説明】

30

【0022】

本開示の性質及び利点のさらなる理解は、以下の図面を参照することによって実現され得る。添付図面では、同様のコンポーネント又は特徴は、同じ参照符号を有し得る。さらに、同じタイプの様々なコンポーネントは、参照符号に、ダッシュと、同様のコンポーネントを区別する第2の符号とが続くことによって区別され得る。本明細書において第1の参照符号のみが使用される場合、説明は、第2の参照符号に関わらず、同じ第1の参照符号を有する同様のコンポーネントの何れか1つに適用可能である。

【0023】

【図1A】図1Aは、本開示の態様による、衛星通信の柔軟なビームフォーミングを支援する衛星通信システムの図を示す。

40

【図1B】図1Bは、本開示の態様による、衛星通信の柔軟なビームフォーミングを支援する通信衛星のアンテナアセンブリを示す。

【図1C】図1Cは、本開示の態様による、衛星通信の柔軟なビームフォーミングを支援するアンテナアセンブリのフィードアレイアセンブリを示す。

【図2A】図2Aは、本開示の態様による、成形された反射器のフォーカス領域に置かれたフィードアレイアセンブリを有するアンテナアセンブリのアンテナ特性の例を示す。

【図2B】図2Bは、本開示の態様による、成形された反射器のフォーカス領域に置かれたフィードアレイアセンブリを有するアンテナアセンブリのアンテナ特性の例を示す。

【図2C】図2Cは、本開示の態様による、成形された反射器のフォーカス領域に置かれたフィードアレイアセンブリを有するアンテナアセンブリのアンテナ特性の例を示す。

50

【図 2 D】図 2 D は、本開示の態様による、成形された反射器のフォーカス領域に置かれたフィードアレイアセンブリを有するアンテナアセンブリのアンテナ特性の例を示す。

【図 3】図 3 A は、本開示の態様による、デフォーカス位置で動作するフィードアレイアセンブリを有するアンテナアセンブリのアンテナ特性の例を示す。

【図 3 B】図 3 B は、本開示の態様による、デフォーカス位置で動作するフィードアレイアセンブリを有するアンテナアセンブリのアンテナ特性の例を示す。

【図 3 C】図 3 C は、本開示の態様による、デフォーカス位置で動作するフィードアレイアセンブリを有するアンテナアセンブリのアンテナ特性の例を示す。

【図 3 D】図 3 D は、本開示の態様による、デフォーカス位置で動作するフィードアレイアセンブリを有するアンテナアセンブリのアンテナ特性の例を示す。

10

【図 4 A】図 4 A は、本開示の態様による、デフォーカス条件で動作するアンテナアセンブリによってもたらされるネイティブなアンテナパターンカバレッジエリアからスポットビームカバレッジエリアを形成するためのビームフォーミングの例を示す。

【図 4 B】図 4 B は、本開示の態様による、デフォーカス条件で動作するアンテナアセンブリによってもたらされるネイティブなアンテナパターンカバレッジエリアからスポットビームカバレッジエリアを形成するためのビームフォーミングの例を示す。

【図 5 A】図 5 A は、本開示の態様による、ある通信サービスタイムスロット中の、サービスカバレッジエリアのスポットビームカバレッジエリアのロケーションの例を示す。

【図 5 B】図 5 B は、本開示の態様による、別の異なる通信サービスタイムスロット中の、サービスカバレッジエリアのスポットビームカバレッジエリアのロケーションの例を示す。

20

【図 5 C】図 5 C は、本開示の態様による、別の異なる通信サービスタイムスロット中の、サービスカバレッジエリアのスポットビームカバレッジエリアのロケーションの例を示す。

【図 5 D】図 5 D は、本開示の態様による、別の異なる通信サービスタイムスロット中の、サービスカバレッジエリアのスポットビームカバレッジエリアのロケーションの例を示す。

【図 5 E】図 5 E は、本開示の態様による、別の異なる通信サービスタイムスロット中の、サービスカバレッジエリアのスポットビームカバレッジエリアのロケーションの例を示す。

30

【図 6】図 6 は、本開示の態様による、実例となるビームホッピングフレームを示す。

【図 7】図 7 は、本開示の態様による、例示的な衛星アーキテクチャの一部のブロック図を示す。

【図 8】図 8 は、本開示の態様による、例示的な受信ビームフォーミングネットワークの 1 つの偏波のブロック図を示す。

【図 9】図 9 は、本開示の態様による、例示的な送信ビームフォーミングネットワークの 1 つの偏波ブロック図を示す。

【図 10】図 10 は、本開示の態様による、フォワードリンク信号送信のための地上のビームフォーミングのための、実例となるシステムのブロック図を示す。

【図 11】図 11 は、本開示の態様による、リターンリンク信号受信のための地上のビームフォーミングのための、実例となるシステムのブロック図を示す。

40

【図 12】図 12 は、例示的なビーム重みプロセッサを利用するシステムのブロック図を示す。

【図 13 A】図 13 A は、本開示の態様による、 $K = 4$  個の経路を有する通信衛星の例を示す。

【図 13 B】図 13 B は、本開示の態様による、 $K = 4$  個の経路を有する通信衛星の例を示す。

【図 13 C】図 13 C は、本開示の態様による、 $K = 4$  個の経路を有する通信衛星の例を示す。

【図 14】図 14 は、本開示の態様による、衛星通信を支援するための例示的なプロセス

50

を示す。

【図 1 5 A】図 1 5 A は、本開示の態様による、実例となる時間的に一致されるタイムスロット割り当てを示す。

【図 1 5 B】図 1 5 B は、本開示の態様による、実例となるタイムスロット定義表及び実例となるタイムスロット経路を示す。

【図 1 6 A】図 1 6 A は、本開示の態様による、実例となる交互配置されたタイムスロット割り当てを示す。

【図 1 6 B】図 1 6 B は、本開示の態様による、実例となるタイムスロット定義表及び実例となるタイムスロット経路を示す。

【図 1 7 A】図 1 7 A は、本開示の態様による、実例となる交互配置されたタイムスロット割り当てを示す。

10

【図 1 7 B】図 1 7 B は、本開示の態様による、実例となるタイムスロット定義表及び実例となるタイムスロット経路を示す。

【図 1 8 A】図 1 8 A は、本開示の態様による、実例となる専用の経路割り当てを示す。

【図 1 8 B】図 1 8 B は、本開示の態様による、実例となるタイムスロット定義表及び実例となるタイムスロット経路を示す。

【図 1 8 C】図 1 8 C は、本開示の態様による、実例となるタイムスロット定義表を示す。

【図 1 8 D】図 1 8 D は、本開示の態様による、実例となるタイムスロット定義表を示す。

【図 1 8 E】図 1 8 E は、本開示の態様による、実例となるタイムスロット経路を示す。

【図 1 9】図 1 9 は、本開示の態様による、必要なアクセスノード端末の数対割り当てられたフォワード経路の数の、実例となる図表を示す。

20

【図 2 0 A】図 2 0 A は、本開示の態様による、実例となる非一致フォワード及びリターンリンクサービスカバレッジエリアを示す。

【図 2 0 B】図 2 0 B は、本開示の態様による、実例となるタイムスロット経路を示す。

【図 2 1 A】図 2 1 A は、本開示の態様による、ビームホッピングフレームのタイムスロットドエルタイムに対する単一ビームの、実例となるビームホップパターンを示す。

【図 2 1 B】図 2 1 B は、本開示の態様による、実例となるタイムスロットドエルタイム表を示す。

【図 2 1 C】図 2 1 C は、本開示の態様による、実例となるビームホッピングフレームを示す。

30

【図 2 2 A】図 2 2 A は、本開示の態様による、実例となるアクセスノード端末ロケーション及びユーザスポットビームロケーションを示す。

【図 2 2 B】図 2 2 B は、本開示の態様による、実例となるアクセスノード端末表を示す。

【図 2 2 C】図 2 2 C は、本開示の態様による、アクセスノード端末ロケーションの実例となる配置を示す。

【図 2 3】図 2 3 は、本開示の態様による、実例となる衛星通信システムの簡略図である。

【図 2 4 A】図 2 4 A は、本開示の態様による、アンテナアセンブリによって支援され得る、ネイティブなアンテナパターンカバレッジエリアへの変更を示す。

【図 2 4 B】図 2 4 B は、本開示の態様による、アンテナアセンブリによって支援され得る、ネイティブなアンテナパターンカバレッジエリアへの変更を示す。

40

【図 2 4 C】図 2 4 C は、本開示の態様による、アンテナアセンブリによって支援され得る、ネイティブなアンテナパターンカバレッジエリアへの変更を示す。

【図 2 4 D】図 2 4 D は、本開示の態様による、アンテナアセンブリによって支援され得る、ネイティブなアンテナパターンカバレッジエリアへの変更を示す。

【図 2 4 E】図 2 4 E は、本開示の態様による、アンテナアセンブリによって支援され得る、ネイティブなアンテナパターンカバレッジエリアへの変更を示す。

【図 2 5 A】図 2 5 A は、本開示の態様による、ネイティブなアンテナパターンの変更を支援するために、フィードアレイアセンブリと反射器との間の相対位置の調整を支援する通信衛星を示す。

【図 2 5 B】図 2 5 B は、本開示の態様による、ネイティブなアンテナパターンの変更を

50

支援するために、フィードアレイアセンブリと反射器との間の相対位置の調整を支援する通信衛星を示す。

【図 2 5 C】図 2 5 C は、本開示の態様による、ネイティブなアンテナパターンの変更を支援するために、フィードアレイアセンブリと反射器との間の相対位置の調整を支援する通信衛星を示す。

【図 2 5 D】図 2 5 D は、本開示の態様による、ネイティブなアンテナパターンの変更を支援するために、フィードアレイアセンブリと反射器との間の相対位置の調整を支援する通信衛星を示す。

【図 2 6 A】図 2 6 A は、本開示の態様による、ネイティブなアンテナパターンの変更を支援し得る異なるタイプのアクチュエータを備えるアンテナアセンブリを有する通信衛星の例を示す。

10

【図 2 6 B】図 2 6 B は、本開示の態様による、ネイティブなアンテナパターンの変更を支援し得る異なるタイプのアクチュエータを備えるアンテナアセンブリを有する通信衛星の例を示す。

【図 2 6 C】図 2 6 C は、本開示の態様による、ネイティブなアンテナパターンの変更を支援し得る異なるタイプのアクチュエータを備えるアンテナアセンブリを有する通信衛星の例を示す。

【図 2 6 D】図 2 6 D は、本開示の態様による、ネイティブなアンテナパターンの変更を支援し得る異なるタイプのアクチュエータを備えるアンテナアセンブリを有する通信衛星の例を示す。

20

【図 2 6 E】図 2 6 E は、本開示の態様による、ネイティブなアンテナパターンの変更を支援し得る異なるタイプのアクチュエータを備えるアンテナアセンブリを有する通信衛星の例を示す。

【図 2 6 F】図 2 6 F は、本開示の態様による、ネイティブなアンテナパターンの変更を支援し得る異なるタイプのアクチュエータを備えるアンテナアセンブリを有する通信衛星の例を示す。

【図 2 7】図 2 7 は、本開示の態様による、複数のネイティブなアンテナパターンに従う通信サービスの提供を支援する通信衛星のブロック図を示す。

【図 2 8】図 2 8 は、本開示の態様による、複数のネイティブなアンテナパターンに従う通信サービスの提供を支援する衛星コントローラのブロック図を示す。

30

【図 2 9】図 2 9 は、本開示の態様による、複数のネイティブなアンテナパターンに従う通信サービスの提供を支援する通信サービスマネージャのブロック図を示す。

【図 3 0】図 3 0 は、本開示の態様による、複数のネイティブなアンテナパターンに従う通信サービスの提供を支援する通信サービスコントローラ 3 0 0 5 のブロック図を示す。

【図 3 1】図 3 1 は、本開示の態様による、複数のネイティブなアンテナパターンに従う通信衛星を介した通信サービスの提供を支援する例示的な方法のフローチャートを示す。

【発明を実施するための形態】

【0 0 2 4】

通信衛星が、（例えば、永久的な設置サイトに設置されて、1つの固定設置サイトから別の固定設置サイトに動くなど）静止しているか又は（例えば、車両、船舶、飛行機などに設置されて）移動可能であり得る地球上の目標装置（例えば、端末）間に通信サービスを提供するように構成され得る。通信サービスは、例えば、アクセスノード端末とユーザ端末との間の双方向ネットワークアクセスサービスを含み得る。通信サービスを支援するために、通信衛星の1つ以上のアンテナアセンブリは、ダウンリンク通信を送信する（例えば、ユーザ端末又はアクセスノード端末に）か、アップリンク通信を受信する（例えば、ユーザ端末又はアクセスノード端末から）か、又はダウンリンク通信の送信及びアップリンク通信の受信の両方を行う（例えば、送受信機として動作する）ように構成され得る。

40

【0 0 2 5】

通信衛星のアンテナアセンブリは、フィードアレイアセンブリ、例えばアンテナフィード素子のフェーズドアレイを含み得、これは、ビームフォームされたスポットビームが、

50

所与のシステムのカバレッジ地勢（例えば、北米の人口密度が高い領域）の全域にわたって所望のスポットビームカバレッジエリア（例えば、セル）を標的にするために使用され得る。ビームフォームされたスポットビームは、複数のアンテナフィード素子を介した送信及び／又は受信から形成され得、且つ送信及び／又は受信の位相及び振幅特徴を使用して、ビームフォームされたスポットビームのそれぞれに関連する指向性の送信及び受信を提供し得る。

【 0 0 2 6 】

本開示の例によれば、ビームフォームされたスポットビームは、ビームフォーミング重みセットの重みベクトル及びビームホッピングフレーム定義に含まれるビームホッピングタイムスロット定義に従って、ロケーションからロケーションにホップし得る。ビームホッピングタイムスロット定義は、1つのタイムスロット中の全てのスポットビームに対する関連のドエルタイム及び経路のゲインを含み得る。ビームホッピングフレーム定義に含まれるビームホッピングタイムスロット定義は、新しいビームホッピングフレーム定義が受信されるか又は中断が合図されるまで自動的に繰り返され得、ダウンリンクサービスカバレッジエリア、アップリンクサービスカバレッジエリア及びスポットビームカバレッジエリアのロケーションへの動的変化を可能にする。

10

【 0 0 2 7 】

フィードアレイアセンブリは、信号（例えば、通信サービスに関連する信号、通信衛星のための診断及び／又は構成信号など）を通信するための複数のフィード素子を有し得る。フィードアレイアセンブリの各フィード素子は、それぞれのネイティブなフィード素子パターン（例えば、ネイティブな成分ビーム）と関連し得、これは、投影されたネイティブなフィード素子パターンカバレッジエリア（例えば、反射器からの反射後に地球の表面、平面及び／又は体積部に投影されるような）を提供し得る。アンテナアセンブリのフィードアレイアセンブリに対するネイティブなフィード素子パターンカバレッジエリアの集合は、ネイティブなアンテナパターンと呼ばれ得る。

20

【 0 0 2 8 】

様々な動作条件に対し、ネイティブなアンテナパターンの異なる特徴が望ましいことがあり得る。例えば、より広範なネイティブなフィード素子パターンカバレッジエリアでは、フィードアレイアセンブリのより大量のアンテナフィード素子は、特定のスポットビームカバレッジエリアを支援することができ得る。さらに、より広範なネイティブなフィード素子パターンは、フィードアレイアセンブリの各アンテナフィード素子がより大量のビームフォームされたスポットビームを支援できるようにもし得る。しかしながら、より広範なネイティブなフィード素子パターンは、より低い放射出力密度を有し得るため、場合により、より狭小なネイティブなフィード素子パターンを使用することが望ましいことがあり得る。いくつかの例では、所望のネイティブなアンテナパターンは、少なくとも部分的に、通信衛星の軌道位置に基づき得る。

30

【 0 0 2 9 】

本開示の態様によれば、通信衛星のアンテナアセンブリは、複数のネイティブなアンテナパターンの1つにおける動作を支援し得る。例えば、通信衛星は、アンテナアセンブリの第1のネイティブなアンテナパターンに従う通信サービスを提供し、及び続いて、アンテナアセンブリと関連したアクチュエータは、同じアンテナアセンブリの第2のネイティブなアンテナパターンを提供するように調整され得る。そのため、アクチュエータの調整に続いて、通信衛星は、第1のネイティブなアンテナパターンと異なる第2のネイティブなアンテナパターンに従う通信サービスを提供し得る。様々な例では、第2のネイティブなアンテナパターンは、第1のネイティブなアンテナパターンのものと異なるネイティブなアンテナパターンカバレッジエリアサイズ、異なるネイティブなフィード素子パターンカバレッジエリアサイズ（例えば、ネイティブなフィード素子パターンビーム幅）及び／又は位置、ネイティブなフィード素子パターンカバレッジエリアの異なる重なり程度、異なるスポットビームサイズ（例えば、ビーム幅）、異なるスポットビームカバレッジエリアサイズ及び／又は位置、スポットビームの異なる重なり程度、異なるビームフォー

40

50

ミング重みセット又はそれらの任意の組み合わせと関連し得る。

【0030】

いくつかの例では、通信衛星のアンテナアセンブリは、フィードアレイアセンブリ、反射器及びフィードアレイアセンブリと反射器との間に結合されたアクチュエータを含み得る。反射器は、フォーカス領域（例えば、焦点）を有するような形状にされ得、及び反射器は、フィードアレイアセンブリと1つ以上の目標装置（例えば、アクセスノード端末及び/又はユーザ端末）との間で送信された信号を反射するように構成され得る。アクチュエータは、例えば、長さの変化をもたらすリニアアクチュエータを含み得、それによりフィードアレイアセンブリと反射器との間の相対位置の変更（例えば、反射器のフォーカス領域に対して異なる位置）をもたらす。いくつかの例では、通信衛星は、リニアアクチュエータ及び第2のアクチュエータの両方を含んで、フィードアレイアセンブリと反射器との間に追加的な自由度をもたらし得る。そのような例では、第2のアクチュエータは、リニアアクチュエータの軸と異なる軸の周りでフィードアレイアセンブリと反射器との間の相対位置に変化を引き起こすように指令され得、そのような変化は、リニアアクチュエータの調整と組み合わせられて、ネイティブなアンテナパターンの変化をもたらす。

10

【0031】

フィードアレイアセンブリは、反射器の表面と反射器のフォーカス領域との間に（例えば、デフォーカス位置に）動作可能に置かれ得る。いくつかの例では、アクチュエータは、反射器と通信衛星のフィードアレイアセンブリとの間の相対距離の調整を提供し得（例えば、リニアアクチュエータを使用して）、これは、次に、複数のネイティブなアンテナパターンの1つにおける動作を支援し得る。いくつかの例では、フィードアレイアセンブリと反射器との間の相対位置の変更に続いて、異なるビームフォーミング重みセットが第2のネイティブなアンテナパターンの一部として適用され得る（例えば、スポットビームカバレッジエリアのサイズ及び/又は位置を適応させるため、複数のスポットビームカバレッジエリア間の重なりを適応させるため、1つ以上の衛星スポットビームに使用されるフィードアレイアセンブリのアンテナフィード素子の組を適応させるためなど）。

20

【0032】

本明細書では、用語「フォーカス領域」は、反射器（例えば、球面反射器又は放物面反射器）の前側にある、反射器が特定の方向から受けた電磁エネルギーを反射する1次元、2次元又は3次元領域を指す。理想的な放物面反射器では、フォーカス領域は、高周波数限界シナリオにおける単一点である。これは、理想的な放物面反射器での「幾何光学」焦点と呼ばれることが多い。現実の世界での実装例では、最先端の反射器の面でも、理想的な面のプロファイルからのエラー、歪み及び偏差を含む。何れかの重要なサイズの反射器の面における相関のないエラー、歪み又は偏差は、2又は3次元のフォーカス領域に焦点を分布させ得る。同様に、理想的な面が単一焦点の代わりに焦線を生じる球面反射器の場合、理想的な球面からの、現実の世界での球面反射器の面におけるエラー、歪み又は偏差は、線状のフォーカス領域の3次元の広がりを生じる。いくつかの実施形態では、反射器と関連するフォーカス領域は、反射器の、オンボアサイトにあるか又はその光軸に対して平行な光線に基づいて決定される。他の実施形態では、フォーカス領域は、反射器のオフボアサイトである基準方向に対して規定され得る。2つ以上の反射器のシステムは、フォーカス領域を有するシステムを備えるフェーズドアレイによっても給電され得る。

30

40

【0033】

操作上、成形された反射器の面と成形された反射器のフォーカス領域との間のフィードアレイアセンブリ（例えば、反射器の基準軸に沿って、成形された反射器とフォーカス領域との間に置かれたアンテナフィード素子のアパーチャ開口の基準面を有するフィードアレイアセンブリなど）の位置決めは、デフォーカス位置に対応する。そのような配置構成は、成形された反射器のフォーカス領域にフィードアレイアセンブリが位置決めされるとときよりも広いネイティブなフィード素子パターン（例えば、より広範なネイティブなフィード素子ビーム幅）を生じ得、これにより、複数のネイティブなフィード素子パターンを使用して、ビームフォームされたスポットビームを形成するための多用性を改善し得る。

50

## 【 0 0 3 4 】

様々な他の構成が、通信サービスを提供するために、ネイティブなアンテナパターンの変化をもたらすことが可能である。例えば、アンテナアセンブリは、2つ以上の反射器を含み得、及び1つ以上のアクチュエータは、フィードアレイアセンブリと反射器の1つとの間及び/又は第1の反射器と第2の反射器との間に置かれ得る。いくつかの例では、反射器は、反射器の反射特性を変化させ得る（例えば、フォーカス領域のロケーションを変更する、1次元のフォーカス領域から2次元の領域にフォーカス領域を変更する、単一焦点から複数の焦点に変更する、フォーカス領域の形状を変更するなど）、それ自体のアクチュエータを有し得る。加えて又は代わりに、フィードアレイアセンブリは、フィードアレイアセンブリの1つ以上のフィード素子の位置及び/又は向きの変更をもたらし得る（例えば、平面表面にフィード素子アパーチャを有するものから、円弧又は球面にフィード素子アパーチャを有するものへのフィードアレイアセンブリを変更する、フィード素子アパーチャのサブセットをフィード素子アパーチャの別のサブセットに対して動かす、フィード素子のパターンを拡大又は縮小するなど）、アクチュエータを含み得る。様々な例では、アンテナアセンブリは、通信サービスに適応させるためにネイティブなアンテナパターンの様々な変更をもたらすために、説明のアクチュエータアセンブリの任意の組み合わせを含み得る。

10

## 【 0 0 3 5 】

通信衛星のアクチュエータは、アンテナアセンブリのネイティブなアンテナパターンに調整をもたらすために様々な方法で指令され得る。例えば、セントラルコントローラ又はセントラルオペレータ（例えば、通信サービスマネージャ）は、通信衛星で受信した無線信号により、通信衛星に対して調整の指示を提供し得る。いくつかの例では、変更は、通信衛星自体のコントローラによって指令され得る。アクチュエータに対して調整を指令することは、アクチュエータの新しい位置の指示、反射器とフィードアレイアセンブリとの間の相対距離の差、反射器の所望の位置、フィードアレイアセンブリの所望の位置、アクチュエータの長さ、新しいネイティブなアンテナパターンのパラメータ、新しいネイティブなアンテナパターンと関連するルックアップ値又は任意の他の好適なパラメータ又は指示を提供することを含み得る。

20

## 【 0 0 3 6 】

いくつかの例では、ネイティブなアンテナパターンに対する調整の指令は、通信衛星の軌道位置又は軌道位置の変更（例えば、設計位置と異なる展開軌道位置又は経路、時間が経つにつれた所望の位置又は経路からのドリフトなど）により又は他にそれらに基づいてトリガされ得る。いくつかの例では、この柔軟性は、アンテナアセンブリを、展開軌道位置の事前知識がなくても、所望のサービスカバレッジエリアの事前知識がなくても設計できるようにし得、及び/又は複数の軌道位置又はサービスカバレッジエリアでの動作を支援するように設計できるようにし得る。従って、特定の軌道位置に展開されたら、そのようなアンテナアセンブリは、展開軌道位置に従って所望のサービスカバレッジエリアの全域にわたって通信サービスを支援するネイティブなアンテナパターンを提供するように指令され得る。加えて又は代わりに、通信衛星は、ネイティブなアンテナパターンを調整するための指令と一緒に、異なる軌道位置（例えば、異なる軌道スロット）に動かし、及び新しい軌道位置から通信サービスを提供するように指令され得る。いくつかの例では、ネイティブなアンテナパターンに対する調整の指令は、少なくとも部分的に、様々な他の条件、例えば通信サービスと関連する通信トラフィックのレベル、複数のビームフォームされたスポットビーム間のトラフィックの相対レベル、信号品質特性（例えば、信号強度、信号対雑音比（S N R）、信号対干渉プラス雑音比（S I N R）、ネイティブなフィード素子パターンの信号品質特性、スポットビームの信号品質特性など）、1つ以上のアンテナフィード素子の動作不能状態又は他の故障、動作不能状態（例えば、通信の消失）、追加（例えば、通信の開始）又は1つ以上のアクセスノード端末のサービスにおける他の変更、熱膨張及び/又はフィードアレイアセンブリと反射器などとの間の相対位置を変化させる他の歪みに基づいてトリガされ得る。

30

40

50

## 【 0 0 3 7 】

この説明は、例を提供し、及び本明細書で説明する原理の実施形態の範囲、適用性又は構成を限定するものではない。むしろ、以下の説明は、当業者に、本明細書で説明する原理の実施形態の実施を可能にするための説明を提供する。要素の機能及び配置構成における様々な変更形態がなされ得る。

## 【 0 0 3 8 】

そのため、様々な実施形態は、適切に様々な処置又はコンポーネントを省略、置き換え又は追加し得る。例えば、方法は、説明と異なる順序で実施され得ること、及び様々なステップが追加、省略又は組み合わせられ得ることが理解されるであろう。また、いくつかの実施形態に関する説明した態様及び要素は、様々な他の実施形態において組み合わせられ得る。以下のシステム、方法、装置及びソフトウェアは、個別に又はまとめて、より大型のシステムのコンポーネントであり得、ここで、他の処置が優先し得るか又は他にそれらの適用例を修正し得ることも理解されるであろう。

## 【 0 0 3 9 】

図 1 A は、本開示の態様による、衛星通信の柔軟なビームフォーミングを支援する衛星通信システム 1 0 0 の図を示す。衛星通信システム 1 0 0 は、宇宙セグメント 1 0 1 と地上セグメント 1 0 2 とからなるいくつかのネットワークアーキテクチャを使用し得る。宇宙セグメントは、1 つ以上の通信衛星 1 2 0 を含み得る。地上セグメントは、1 つ以上のユーザ端末 1 5 0、1 つ以上のアクセスノード端末 1 3 0（例えば、ゲートウェイ端末）並びにネットワーク装置 1 4 1、例えばネットワークオペレーションセンター（NOC）及び衛星及びゲートウェイ端末指令センターを含み得る。衛星通信システム 1 0 0 の端末（例えば、アクセスノード端末 1 3 0）は、メッシュネットワーク、スターネットワークなどを介して互いに及び / 又は 1 つ以上のネットワーク 1 4 0 に接続され得る。

## 【 0 0 4 0 】

通信衛星 1 2 0 は、1 つ以上のアクセスノード端末 1 3 0 及び 1 つ以上のユーザ端末 1 5 0 との無線通信用に構成された任意の好適なタイプの通信衛星であり得る。いくつかの例では、通信衛星 1 2 0 は、地球静止軌道に展開され得、地球上の装置に対するその軌道位置が比較的固定されるか、又は動作許容範囲内又は他の軌道窓内（例えば、軌道スロット内）で固定されるようにする。他の例では、通信衛星 1 2 0 は、任意の適切な軌道（例えば、低地球軌道（LEO）、中軌道（MEO）など）で動作し得る。いくつかの例では、通信衛星 1 2 0 は、通信衛星 1 2 0 と関連し得る不確かな軌道位置を有し得、この通信衛星は、軌道スロットの展開を決定する前に設計され、取り得るある範囲の軌道位置（例えば、ある範囲の軌道位置を有する軌道スロット又は 1 つの軌道スロットセットに展開されている）、ある範囲の軌道経路の 1 つに展開され、及び / 又は展開後、時間が経つにつれて意図しない軌道位置及び / 又は軌道経路にドリフトしている。様々な例では、通信衛星 1 2 0 は、リタスクされ得（例えば、異なる地球静止軌道スロットに動かされ、異なる LEO 又は MEO 軌道経路に調整されるなど）、ここで、そのようなリタスクは、通信衛星 1 2 0 自体によって指令され得、及び / 又は通信衛星 1 2 0 で受信した信号（例えば、アクセスノード端末 1 3 0 から、ネットワーク装置 1 4 1 からなど）によって指令され得る。

## 【 0 0 4 1 】

通信衛星 1 2 0 は、アンテナアセンブリ 1 2 1、例えばフェーズドアレイアンテナアセンブリ、フェーズドアレイフィード反射器（PAFR）アンテナ又は通信サービスの信号の送信及び / 又は受信に関して当技術分野で公知の任意の他の機構を使用し得る。通信衛星 1 2 0 は、1 つ以上のアクセスノード端末 1 3 0 からフォワードアップリンク信号 1 3 2 を受信し、及び対応するフォワードダウンリンク信号 1 7 2 を 1 つ以上のユーザ端末 1 5 0 に提供し得る。通信衛星 1 2 0 はまた、1 つ以上のユーザ端末 1 5 0 からリターンアップリンク信号 1 7 3 を受信し、及び対応するリターンダウンリンク信号 1 3 3 を 1 つ以上のアクセスノード端末 1 3 0 に転送し得る。様々な物理層送信変調及び符号化技術が、アクセスノード端末 1 3 0 とユーザ端末 1 5 0 との間の信号の通信のために通信衛星 1 2



0 によって使用され得る（例えば、適応符号化変調（ACM）など）。

【0042】

いくつかの実施形態では、Multi-Frequency Time-Division Multiple Access (MF-TDMA) スキームは、フォワードアップリンク信号 132 及びリターンアップリンク信号 173 に使用されて、ユーザ端末 150 間での容量の割り当てに柔軟性を維持ながら、トラフィックの効率的なストリーミングを可能にする。これらの実施形態では、いくつかの周波数チャネルが割り当てられ、これは、固定され得るか又はより動的な方法で割り当てられ得る。時分割多元接続 (TDMA) スキームは、周波数チャネルでも利用され得る。このスキームでは、各周波数チャネルは、（例えば、特定のユーザ端末 150 への）接続に割り振られ得るいくつかのタイムスロットに分割され得る。他の実施形態では、フォワードアップリンク信号 132 及びアップリンクリターン信号 173 の 1 つ以上は、周波数分割多元接続 (FDMA)、直交周波数分割多元接続 (OFDMA)、符号分割多元接続 (CDMA) などの他のスキーム又は任意の数の当技術分野で公知のハイブリッド若しくは他のスキームを使用して構成され得る。様々な実施形態では、物理層技術は、信号 132、133、172 及び 173 のそれぞれに対して同じであり得るか、又は信号のいくつかは、他の信号と異なる物理層技術を使用し得る。

【0043】

アンテナアセンブリ 121 は、1 つ以上のビームフォームされたスポットビーム 125（他にサービスビーム、衛星ビーム又は任意の他の好適な用語で呼ばれ得る）を介して通信を支援し得る。信号は、スポットビーム 125 の空間電磁放射パターンを形成するためにアンテナアセンブリ 121 を経由して送られ得る。スポットビーム 125 は、スポットビーム毎に単一の搬送波、すなわち 1 つの周波数又は隣接する周波数範囲を使用し得る。いくつかの例では、スポットビーム 125 は、ユーザ端末 150 のみを支援するように構成され得、その場合、スポットビーム 125 は、ユーザスポットビーム又はユーザビーム（例えば、ユーザスポットビーム 125 - a）と呼ばれ得る。例えば、ユーザスポットビーム 125 - a は、通信衛星 120 とユーザ端末 150 との間の 1 つ以上のフォワードダウンリンク信号 172 及び / 又は 1 つ以上のリターンアップリンク信号 173 を支援するように構成され得る。いくつかの例では、スポットビーム 125 は、アクセスノード端末 130 のみを支援するように構成され得、その場合、スポットビーム 125 は、アクセスノードスポットビーム、アクセスノードビーム又はゲートウェイビーム（例えば、アクセスノードスポットビーム 125 - b）と呼ばれ得る。例えば、アクセスノードスポットビーム 125 - b は、通信衛星 120 とアクセスノード端末 130 との間の 1 つ以上のフォワードアップリンク信号 132 及び / 又は 1 つ以上のリターндаウンリンク信号 133 を支援するように構成され得る。他の例では、スポットビーム 125 は、ユーザ端末 150 及びアクセスノード端末 130 の両方に供するように構成され得、従って、スポットビーム 125 は、通信衛星 120 とユーザ端末 150 とアクセスノード端末 130 との間のフォワードダウンリンク信号 172、リターンアップリンク信号 173、フォワードアップリンク信号 132 及び / 又はリターндаウンリンク信号 133 の任意の組み合わせを支援し得る。

【0044】

スポットビーム 125 は、スポットビームカバレッジエリア 126 内の目標装置（例えば、ユーザ端末 150 及び / 又はアクセスノード端末 130）間の通信サービスを支援し得る。スポットビームカバレッジエリア 126 は、地面又は何らかの他の基準面に投影されるとき、閾値を上回るスポットビーム 125 の信号電力（例えば、SNR、SINR など）を有する、関連のスポットビーム 125 の電磁放射パターンの領域によって規定され得る。スポットビームカバレッジエリア 126 は、任意の好適なサービスエリア（例えば、円形、楕円形、六角形、ローカル、地域、国など）を網羅し得、且つスポットビームカバレッジエリア 126 内に任意の数の目標装置が置かれた状態で通信サービスを支援し得る（これは、関連のスポットビーム 125 内に置かれるが、飛行中又は水中の端末など、

10

20

30

40

50

必ずしもスポットビームカバレッジエリア 126 の基準面にはない目標装置を含み得る)。

【0045】

いくつかの例では、通信衛星 120 は、それぞれのスポットビームカバレッジエリア 126 を網羅する複数のビームフォームされたスポットビーム 125 を支援し得、各スポットビームカバレッジエリアは、隣接するスポットビームカバレッジエリア 126 と重なっていても又は重なっていなくてもよい。例えば、通信衛星 120 は、スポットビームカバレッジエリア 126 の任意の数 (例えば、数十、数百、数千など) の組み合わせによって形成されたサービスカバレッジエリア (例えば、地域のカバレッジエリア、国のカバレッジエリアなど) を支援し得る。通信衛星 120 は、1 つ以上の周波数帯域及びその任意の数の副帯域によって通信サービスを支援し得る。例えば、通信衛星 120 は、国際電気通信連合 (ITU) の Ku、K 又は Ka バンド、C バンド、X バンド、S バンド、L バンド、V バンドなどでの動作を支援し得る。

10

【0046】

サービスカバレッジエリアは、そこからの及び / 又はそこへの通信サービスに地球上の送信源又は地球上の受信機の何れかが通信衛星 120 を介して関与し得る (例えば、それに関連する信号を送信及び / 又は受信する) カバレッジエリアと広範に定義され得、及び複数のスポットビームカバレッジエリア 126 によって定義され得る。いくつかのシステムでは、各通信リンクのためのサービスカバレッジエリア (例えば、フォワードアップリンクカバレッジエリア、フォワードダウンリンクカバレッジエリア、リターンアップリンクカバレッジエリア及び / 又はリターンダウンリンクカバレッジエリア) は、異なり得る。サービスカバレッジエリアは、通信衛星 120 が稼働中である (例えば、サービス軌道にある) ときにのみアクティブであり得るが、通信衛星 120 は、例えば、アンテナアセンブリ 121 の物理的コンポーネント及びそれらの相対位置に基づくネイティブなアンテナパターンを有し得る (例えば、有するように設計され得る)。通信衛星 120 のネイティブなアンテナパターンは、衛星のアンテナアセンブリ 121 に対するエネルギーの分布 (例えば、アンテナアセンブリ 121 から送信される及び / 又はそれによって受信されるエネルギー) と称し得る。

20

【0047】

いくつかのサービスカバレッジエリアでは、隣接するスポットビームカバレッジエリア 126 は、ある程度の重なりを有し得る。いくつかの例では、複数の色 (例えば、2、3 又は 4 色の再使用パターン) が使用され得、ここで、「色」は、直交通信リソース (例えば、周波数リソース、偏波など) の組み合わせを指す。4 色パターンの例では、いくつかの重なるスポットビームカバレッジエリア 126 は、それぞれ 4 色の 1 つに割り振られ得、及び各色は、周波数 (例えば、1 つ又は複数の周波数範囲、1 つ以上のチャネルなど) 及び / 又は信号偏波 (例えば、右旋円偏波 (RHCP)、左旋円偏波 (LHCP) など) の固有の組み合わせに割り当てられ得る。異なる色を、重なり領域を有するそれぞれのスポットビームカバレッジエリア 126 に割り振ることにより、それらの重なるスポットビームカバレッジエリア 126 に関連するスポットビーム 125 間の相互干渉が比較的ほとんどなくされ得る。従って、周波数及びアンテナ偏波のこれらの組み合わせは、繰り返しの重ならない「4 色」再使用パターンにおいて再使用され得る。いくつかの例では、所望の通信サービスは、より多くの又はより少ない色を使用することによって提供され得る。加えて又は代わりに、スポットビーム 125 間のタイムシェアリング及び / 又は他の干渉軽減技術が使用され得る。例えば、スポットビーム 125 は、例えば ACM、干渉キャンセル、時空間符号化などの干渉軽減技術を使用して干渉を軽減した状態で同じリソース (同じ偏波及び周波数範囲) を同時に使用し得る。

30

40

【0048】

いくつかの例では、通信衛星 120 は、「ベントパイプ」衛星として構成され得る。ベントパイプ構成では、通信衛星 120 は、信号をそれらの送信先に再送信する前に、受信した搬送波信号の周波数及び偏波変換を実行し得る。いくつかの例では、通信衛星 120 は、未処理のベントパイプアーキテクチャを支援し得、フェーズドアレイアンテナが小さ

50

いスポットビーム 1 2 5 を生じるために使用される（例えば、地上のビームフォーミング（G B B F）によって）。通信衛星 1 2 0 は、K 個の一般的な経路を含み得、それらは、それぞれいかなる瞬間でもフォワード経路又はリターン経路として割り当てられ得る。より大型の反射器は、アンテナフィード素子のフェーズドアレイによって照射され得、反射器のサイズ並びにアンテナフィード素子の数及び配置によって設定された制約内でスポットビーム 1 2 5 の様々なパターンを形成する能力をもたらし得る。フェーズドアレイフィード反射器は、アップリンク信号 1 3 2、1 7 3 又はそれらの両方の受信及びダウンリンク信号 1 3 3、1 7 2 又はそれらの両方の送信の両方のために利用され得る。

#### 【 0 0 4 9 】

通信衛星 1 2 0 は、複数のスポットビームモードにおいて動作し得、地球の異なる領域 10 に向けられたいくつもの狭いスポットビーム 1 2 5 を送信する。これにより、様々な狭いスポットビーム 1 2 5 へのユーザ端末 1 5 0 の分離を可能にする。受信（R x）及び送信（T x）フェーズドアレイと関連するビームフォーミングネットワーク（B F N）はダイナミックであり得、T x スポットビーム 1 2 5（例えば、ダウンリンクスポットビーム 1 2 5）及び R x スポットビーム 1 2 5（例えば、アップリンクスポットビーム 1 2 5）の両方のロケーションを頻繁に動かすことができるようにする。ダイナミック B F N は、T x 及び R x スポットビーム 1 2 5 の両方の位置を迅速にホップするために使用され得る。B F N は、タイムスロットドエルタイムと呼ばれるある期間、1 つのビームホッピングパターン（例えば、T x 及び R x スポットビーム 1 2 5 の両方）でドエルし得る。個々のタイムスロットは、全て同じドエルタイム又は異なるドエルタイムと関連し得る。各タイム 20 スロットが R x 及び T x スポットビームの潜在的に異なるロケーションパターンと関連している状態で、Q 個のこれらのタイムスロットは、ビームホッピングフレームと呼ばれるシーケンスに配置される。これらのフレームは、繰り返し得るだけでなく、ダイナミックであり、且つ時間変動し得る。ビームホップタイムスロットと関連した R x 及び T x スポットビームの持続時間及びロケーションもフレーム間及びフレーム内の両方で変動し得る。

#### 【 0 0 5 0 】

ユーザ端末 1 5 0 は、信号を通信衛星 1 2 0 と通信するように構成された任意の数の装置を含み得、これは、固定端末（例えば、地上静止端末）又は船舶、航空機、地上車両などにある端末などの移動端末を含み得る。ユーザ端末 1 5 0 は、通信衛星 1 2 0 を介してデータ及び情報を通信し得、これには、ネットワーク装置 1 4 1 又はネットワーク 1 4 0 30 と関連した何らかの他の装置若しくは分散サーバなどの送信先装置へのアクセスノード端末 1 3 0 を介した通信を含み得る。ユーザ端末 1 5 0 は、例えば、D V B - S 2、W i M A X、L T E 及び D O C S I S 規格で定義されているものを含む、様々な物理層送信変調及び符号化技術に従って信号を通信し得る。

#### 【 0 0 5 1 】

ユーザ端末 1 5 0 は、通信衛星 1 2 0 からフォワードダウンリンク信号 1 7 2 を受信するように構成されたユーザ端末アンテナ 1 5 2 を含み得る。ユーザ端末アンテナ 1 5 2 は、通信衛星 1 2 0 にリターンアップリンク信号 1 7 3 を送信するようにも構成され得る。そのため、ユーザ端末 1 5 0 は、スポットビーム 1 2 5（例えば、ユーザスポットビーム 1 2 5 - a）を介した通信衛星 1 2 0 との一方又は双方向通信のために構成され得る。 40 いくつかの例では、ユーザ端末アンテナ 1 5 2 は、指向性であり得る。例えば、ユーザ端末アンテナ 1 5 2 は、主軸（例えば、アンテナボアサイト方向）に沿ってピークゲインを有し得、これは、焦点合わせ及び / 又は反射要素の固定構成により、及び / 又は電子的に構成可能なビームフォーミングによりもたらされ得る。

#### 【 0 0 5 2 】

ユーザ端末アンテナ 1 5 2 は、ユーザ端末アンテナアセンブリ 1 5 3 の一部であり得、これは、衛星端末アンテナを装備するための様々なハードウェアも含み得る。ユーザ端末アンテナアセンブリ 1 5 3 は、無線周波数（R F）衛星通信信号（例えば、フォワードダウンリンク信号 1 7 2 及び / 又はリターンアップリンク信号 1 7 3）と、ユーザ端末アンテナ 1 5 2 とユーザ端末受信機 1 5 8 との間で送信されるユーザ端末通信信号 1 5 7 との 50

間での変換（例えば、周波数変換、変調／復調、多重化／デマルチプレクシング、フィルタリング、転送などを実施する）のための回路及び／又はプロセッサも含み得る。そのような回路及び／又はプロセッサは、アンテナ通信アセンブリに含まれ得、これは、送受信統合アセンブリ（ＴＲＩＡ）とも言及され得る。加えて又は代わりに、ユーザ端末受信機１５８は、様々なＲＦ信号操作（例えば、受信、周波数変換、変調／復調、多重化／デマルチプレクシングの実施など）を実施するための回路及び／又はプロセッサを含み得る。ユーザ端末アンテナアセンブリ１５３はまた、衛星屋外ユニット（ＯＤＵ）として公知であり、及びユーザ端末受信機１５８は、衛星屋内ユニット（ＩＤＵ）として公知であり得る。いくつかの例では、ユーザ端末アンテナ１５２及びユーザ端末受信機１５８は、一緒に超小型衛星通信地球局（ＶＳＡＴ）を含み、ユーザ端末アンテナ１５２は、約０．６メートルの直径であり、且つ約２ワットの電力を有する。他の実施形態では、様々な他のタイプのユーザ端末アンテナ１５２がユーザ端末１５０において使用されて、通信衛星１２０からフォワードダウンリンク信号１７２を受信し得る。ユーザ端末１５０は、それぞれ単一のユーザ端末を含み得るか、又は代わりに複数のユーザ端末１５０に結合されるハブ又はルータ（図示せず）を含み得る。

#### 【００５３】

ユーザ端末１５０は、有線又は無線接続１６１を介して１つ以上の顧客端末（ＣＰＥ）１６０に接続され得、及び衛星通信システムを介してネットワークアクセスサービス（例えば、インターネットアクセスなど）又は他の通信サービス（例えば、放送媒体など）をＣＰＥ１６０に提供し得る。ＣＰＥ１６０は、ユーザ装置、例えば、限定されるものではないが、コンピュータ、ローカルエリアネットワーク、インターネット家電、ワイヤレスネットワーク、携帯電話、パーソナルデジタルアシスタント（ＰＤＡ）、他のハンドヘルドデバイス、ネットブック、ノートブックコンピュータ、タブレットコンピュータ、ラップトップ、表示装置（例えば、ＴＶ、コンピュータモニタなど）、プリンターなどを含み得る。ＣＰＥ１６０は、ルータ、ファイアウォール、スイッチ、構内交換機（ＰＢＸ）、ボイスオーバーインターネットプロトコル（ＶｏＩＰ）ゲートウェイなどを含む、加入者の敷地に置かれた任意の機器も含み得る。いくつかの例では、ユーザ端末１５０は、通信衛星１２０及びアクセスノード端末１３０を介したＣＰＥ１６０とネットワーク１４０との間の双方向通信のために提供される。

#### 【００５４】

アクセスノード端末１３０は、通信衛星１２０に対するフォワードアップリンク信号１３２及びリターンダウンリンク信号１３３に供され得る。アクセスノード端末１３０は、地上局、ゲートウェイ、ゲートウェイ端末又はハブとしても公知であり得る。アクセスノード端末１３０は、アクセスノード端末アンテナシステム１３１及びアクセスノード受信機１３５を含み得る。アクセスノード端末アンテナシステム１３１は、通信衛星１２０と信頼性高く通信するように、適切な送信電力及び受信感度を可能にし、且つそのように設計された双方向であり得る。一実施形態では、アクセスノード端末アンテナシステム１３１は、通信衛星１２０の方向では高指向性及び他の方向では低指向性の放物面反射器を含み得る。アクセスノード端末アンテナシステム１３１は、様々な代替的な構成を含み、及び例えば直交偏波間の高分離、動作周波数帯域における高効率、低雑音などの動作特徴を含み得る。

#### 【００５５】

アクセスノード端末１３０は、ユーザ端末１５０へのトラフィックをスケジュールし得る。代わりに、スケジュールリングは、衛星通信システム１００の他の部分において（例えば、ネットワークオペレーションセンター（ＮＯＣ）及び／又はゲートウェイ指令センターを含み得る１つ以上のネットワーク装置１４１で）実行され得る。図１Ａではアクセスノード端末１３０を１つのみ示すが、本発明の実施形態は、複数のアクセスノード端末１３０を有し、それぞれが互いに及び／又は１つ以上のネットワーク１４０に結合され得る衛星通信システムにおいて実施され得る。

#### 【００５６】

10

20

30

40

50

いくつかの衛星通信システムでは、送信に利用可能な周波数スペクトルの量が限定され得る。アクセスノード端末 130 と通信衛星 120 との間の通信リンクは、通信衛星 120 とユーザ端末 150 との間の通信リンクと同じであるか、重なっているか又はそれと異なる周波数を使用し得る。アクセスノード端末 130 は、周波数の再使用を容易にするためにユーザ端末 150 から遠隔置にも置かれ得る。

【0057】

通信衛星 120 は、1つ以上のスポットビーム 125（例えば、それぞれのアクセスノードスポットビームカバレッジエリア 126 - b と関連し得るアクセスノードスポットビーム 125 - b）を介してリターンダウンリンク信号 133 を送信し、且つ/又はフォワードアップリンク信号 132 を受信することによってアクセスノード端末 130 と通信し得る。アクセスノードスポットビーム 125 - b は、例えば、1つ以上のユーザ端末 150 の通信サービス（例えば、通信衛星 120 によって中継される）又は通信衛星 120 とアクセスノード端末 130 との間の任意の他の通信を支援し得る。

10

【0058】

アクセスノード端末 130 は、ネットワーク 140 と通信衛星 120 との間にインターフェースを提供し得、及びネットワーク 140 と1つ以上のユーザ端末 150 との間を伝播するように向けられたデータ及び情報を受信するように構成され得る。アクセスノード端末 130 は、それぞれのユーザ端末 150 に届けるためのデータ及び情報をフォーマットし得る。同様に、アクセスノード端末 130 は、通信衛星 120 から（例えば、1つ以上のユーザ端末 150 から）ネットワーク 140 を介してアクセス可能な送信先に向けられた信号を受信するように構成され得る。アクセスノード端末 130 は、ネットワーク 140 で送信するために受信信号もフォーマットし得る。

20

【0059】

ネットワーク 140 は、任意のタイプのネットワークであり得、及び例えばインターネット、IPネットワーク、イントラネット、広域ネットワーク（WAN）、メトロポリタンエリアネットワーク（MAN）、ローカルエリアネットワーク（LAN）、仮想私設ネットワーク（VPN）、仮想LAN（VLAN）、光ファイバーネットワーク、光-同軸ハイブリットネットワーク、ケーブルネットワーク、公衆交換電話網（PSTN）、公衆電話交換網（PSDN）、公衆携帯電話網（PLMN）及び/又は本明細書で説明するような装置間の任意の他のタイプのネットワーク支援通信を含み得る。ネットワーク 140 は、有線及び無線接続の両方並びに光リンクを含み得る。ネットワーク 140 は、アクセスノード端末 130 を、通信衛星 120 又は他の衛星と通信し得る他のアクセスノード端末と接続し得る。

30

【0060】

1つ以上のネットワーク装置 141 は、アクセスノード端末 130 と結合され得、及び衛星通信システム 100 の態様を制御し得る。様々な例では、ネットワーク装置 141 は、アクセスノード端末 130 と同一場所に配置されるか又は他にその近くに置かれ得、又は有線及び/又は無線通信リンクを介してアクセスノード端末 130 及び/又はネットワーク 140 と通信する遠隔設置であり得る。

【0061】

40

図 1B は、本開示の態様による、衛星通信の柔軟なビームフォーミングを支援する通信衛星 120 のアンテナアセンブリ 121 を示す。図 1B に示すように、アンテナアセンブリ 121 は、フィードアレイアセンブリ 127 と、遠方の通信源から受信するときに電磁信号（例えば、インバウンド電磁信号 180）が集められるフォーカス領域 123 を有するように成形された反射器 122 とを含み得る。同様に、フォーカス領域 123 に置かれたフィードアレイアセンブリ 127 が発した信号が反射器 122 によって反射されて、外向きの平面波（例えば、アウトバウンド電磁信号 180）にされる。フィードアレイアセンブリ 127 及び反射器 122 は、フィードアレイアセンブリ 127 の複数のフィード素子 128 のそれぞれに対するネイティブなフィード素子パターンの合成によって形成されたネイティブなアンテナパターンと関連し得る。

50

## 【 0 0 6 2 】

本明細書で説明するように、通信衛星 1 2 0 がサービス軌道にあるとき、通信衛星 1 2 0 は、アンテナアセンブリ 1 2 1 のネイティブなアンテナパターンに従って動作し得る。ネイティブなアンテナパターンは、少なくとも部分的に、フィードアレイアセンブリ 1 2 7 のフィード素子 1 2 8 のパターン、反射器 1 2 2 に対するフィードアレイアセンブリ 1 2 7 の相対位置（例えば、フォーカスオフセット距離 1 2 9）などに基づき得る。ネイティブなアンテナパターン 2 2 0 は、ネイティブなアンテナパターンカバレッジエリアと関連し得る。本明細書で説明するアンテナアセンブリ 1 2 1 は、アンテナアセンブリ 1 2 1 のネイティブなアンテナパターンカバレッジエリアを備える特定のサービスカバレッジエリアを支援するように設計され得、及び様々な設計特性が計算的に（例えば、分析又はシミュレーションによって）決定され得、且つ／又は実験的に（例えば、アンテナテスト範囲で又は実用で）測定され得る。

10

## 【 0 0 6 3 】

図 1 B に示すように、アンテナアセンブリ 1 2 1 のフィードアレイアセンブリ 1 2 7 は、反射器 1 2 2 と反射器 1 2 2 のフォーカス領域 1 2 3 との間に置かれ得る。具体的には、フィードアレイアセンブリ 1 2 7 は、フォーカス領域 1 2 3 からフォーカスオフセット距離 1 2 9 に置かれ得る。従って、アンテナアセンブリ 1 2 1 のフィードアレイアセンブリ 1 2 7 は、反射器 1 2 2 に対してデフォーカス位置に置かれ得る。アンテナアセンブリ 1 2 1 は、本明細書で説明するようなネイティブなアンテナパターンの変更をもたらし得るアクチュエータ 1 2 4 も含み得る。例えば、アクチュエータ 1 2 4 は、反射器 1 2 2 とフィードアレイアセンブリ 1 2 7 との間に結合されたりニアアクチュエータであり得、これは、フォーカスオフセット距離 1 2 9 の変更をもたらして、ネイティブなアンテナパターンの変更をもたらす。リニアアクチュエータ 1 2 4 は、一方向に動くように制約され得、これは、いくつかの例では、主に、成形された反射器 1 2 2 の中心と、成形された反射器 1 2 2 のフォーカス領域 1 2 3 との間の方向に沿って位置合わせされ得る。ダイレクトオフセットフィードアレイアセンブリ 1 2 7 として図 1 B に示すが、フロントフィードアレイアセンブリ 1 2 7 並びに副反射器（例えば、カセグレン（C a s s e g r a i n）アンテナなど）の使用を含め、他のタイプの構成が使用され得る。

20

## 【 0 0 6 4 】

図 1 C は、本開示の態様による、衛星通信の柔軟なビームフォーミングを支援するアンテナアセンブリ 1 2 1 のフィードアレイアセンブリ 1 2 7 を示す。図 1 C に示すように、フィードアレイアセンブリ 1 2 7 は、信号（例えば、通信サービスと関連した信号、通信衛星 1 2 0 の構成又は制御と関連した信号など）の通信のために複数のアンテナフィード素子 1 2 8 を有し得る。

30

## 【 0 0 6 5 】

本明細書では、フィード素子 1 2 8 は、受信アンテナ素子、送信アンテナ素子又は送信及び受信の両方を支援するように構成されたアンテナ素子（例えば、送受信素子）と称し得る。受信アンテナ素子は、電磁信号を電気信号に変換する物理的トランスデューサ（又は R F トランスデューサ）を含み得、及び用語送信アンテナ素子は、電気信号によって励起されると、電磁信号を発する物理的トランスデューサを含む素子を指し得る。場合により、同じ物理的トランスデューサを送信及び受信に使用し得る。

40

## 【 0 0 6 6 】

フィード素子 1 2 8 のそれぞれは、例えば、給電ホーン、偏波トランスデューサ（例えば、異なる偏波を備える 2 つの組み合わせられた素子として機能し得る隔壁偏波ホーン）、マルチポートマルチバンドホーン（例えば、デュアル偏波 L H C P / R H C P を備えるデュアルバンド 2 0 G H z / 3 0 G H z ）、キャビティ付きスロット、逆 F、スロット付き導波管、V i v a l d i、H e l i c a l、ループ、パッチ若しくはアンテナ素子の任意の他の構成又は相互接続されたサブ要素の組み合わせを含み得る。フィード素子 1 2 8 のそれぞれはまた、R F 信号トランスデューサ、低雑音増幅器（L N A）又は電力増幅器（P A）を含み得るか又は他にそれらと結合され得、及び例えば周波数変換、ビームフォ

50

ーミング処理などの他の信号処理を実行し得る通信衛星 120 内の応答機と結合され得る。

【0067】

反射器 122 は、フィードアレイアセンブリ 127 と 1 つ以上の目標装置（例えば、ユーザ端末 150、アクセスノード端末 130 など）との間で送信された信号を反射するように構成され得る。フィードアレイアセンブリ 127 の各フィード素子 128 は、それぞれのネイティブなフィード素子パターンと関連し得、さらに、投影されたネイティブなフィード素子パターンカバレッジエリア（例えば、反射器 122 からの反射後に地球の表面、平面又は体積部に投影されるような）と関連し得る。マルチフィードアンテナのためのネイティブなフィード素子パターンカバレッジエリアの集合は、ネイティブなアンテナパターンと言及され得る。フィードアレイアセンブリ 127 は、任意の好適な配置構成（例えば、リニアアレイ、弓状アレイ、平面アレイ、ハニカムアレイ、多面体アレイ、球形アレイ、楕円形アレイ又はこれらの組み合わせ）に配置され得る任意の数のフィード素子 128（例えば、数十、数百、数千など）を含み得る。図 1C では各フィード素子 128 を円形で示すが、フィード素子 128 は、他の形状、例えば正方形、矩形、六角形などであり得る。

10

【0068】

図 2A ~ 2D は、本開示の態様による、成形された反射器 122 - a のフォーカス領域 123 に置かれたフィードアレイアセンブリ 127 - a を有するアンテナアセンブリ 121 - a のアンテナ特性の例を示す。

【0069】

図 2A は、フィードアレイアセンブリ 127 - a のフィード素子 128 - a と関連したネイティブなフィード素子パターン 210 - a の図 201 を示す。具体的には、図 201 は、フィード素子 128 - a - 1、128 - a - 2 及び 128 - a - 3 にそれぞれ関連付けられたネイティブなフィード素子パターン 210 - a - 1、210 - a - 2 及び 210 - a - 3 を示す。ネイティブなフィード素子パターン 210 - a は、それぞれの各フィード素子 128 と関連した空間放射パターンを表し得る。例えば、フィード素子 128 - a - 2 が送信しているとき、送信された電磁信号は、反射器 122 - a で反射され、及び全体的に円錐状のネイティブなフィード素子パターン 210 - a - 2 で伝播する（ただし、フィード素子 128 及び / 又は反射器 122 の特性に依存して他の形状も可能である）。アンテナアセンブリ 121 - a に対してネイティブなフィード素子パターン 210 - a を 3 つのみ示すが、アンテナアセンブリ 121 のフィード素子 128 のそれぞれは、それぞれのネイティブなフィード素子パターン 210 と関連する。アンテナアセンブリ 121 - a と関連したネイティブなフィード素子パターン 210 - a の合成（例えば、ネイティブなフィード素子パターン 210 - a - 1、210 - a - 2、210 - a - 3 及び図示しない他のネイティブなフィード素子パターン 210 - a）は、ネイティブなアンテナパターン 220 - a と言及され得る。

20

30

【0070】

フィード素子 128 - a のそれぞれはまた、ネイティブなフィード素子パターンカバレッジエリア 211 - a と関連し得（例えば、それぞれフィード素子 128 - a - 1、128 - a - 2 及び 128 - a - 3 と関連するネイティブなフィード素子パターンカバレッジエリア 211 - a - 1、211 - a - 2 及び 211 - a - 3）、基準面（例えば、地面又は何らかの他の基準平面又は表面）上へのネイティブなフィード素子パターン 210 - a の投影を表す。ネイティブなフィード素子パターンカバレッジエリア 211 は、様々な装置（例えば、アクセスノード端末 130 及び / 又はユーザ端末 150）がそれぞれのフィード素子 128 によって送信された信号を受信し得るエリアを表し得る。加えて又は代わりに、ネイティブなフィード素子パターンカバレッジエリア 211 は、様々な装置からの送信がそれぞれのフィード素子 128 によって受信され得るエリアを表し得る。例えば、ネイティブなフィード素子パターンカバレッジエリア 211 - a - 2 内に位置する対象のエリア 230 - a に置かれた装置は、フィード素子 128 - a - 2 によって送信された信号を受信し得、及び送信をフィード素子 128 - a - 2 によって受信させ得る。アンテナ

40

50

アセンブリ 1 2 1 - a と関連したネイティブなフィード素子パターンカバレッジエリア 2 1 1 - a の合成（例えば、ネイティブなフィード素子パターンカバレッジエリア 2 1 1 - a - 1、2 1 1 - a - 2、2 1 1 - a - 3 及び図示しない他のネイティブなフィード素子パターンカバレッジエリア 2 1 1 - a）は、ネイティブなアンテナパターンカバレッジエリア 2 2 1 - a と言及され得る。図 2 0 1 は、縮尺通りに描かれてはならず、ネイティブなフィード素子パターンカバレッジエリア 2 1 1 は、それぞれ一般的に反射器 1 2 2 - a よりも遥かに大きいことを理解すべきである。フィードアレイアセンブリ 1 2 7 - a は、反射器 1 2 2 - a のフォーカス領域 1 2 3 に置かれているため、ネイティブなフィード素子パターン 2 1 0 - a は、ネイティブなアンテナパターンカバレッジエリア 2 2 1 - a の領域において実質的に重なっておらず、従って、ネイティブなフィード素子パターンカバレッジエリア 2 1 1 - a は、実質的に重なっていない。そのため、ネイティブなアンテナパターンカバレッジエリア 2 2 1 - a における各位置は、1 つの又は少数の（例えば、3 つ以下の）フィード素子 1 2 8 と関連する。

#### 【0071】

図 2 B は、対象の点 2 3 0 - a からの送信 2 4 0 - a のためのアンテナアセンブリ 1 2 1 - a の信号受信を示す図 2 0 2 を示す。対象の点 2 3 0 - a からの送信 2 4 0 - a は、反射器 1 2 2 - a 全体又は反射器 1 2 2 - a の一部分を照射し、その後、反射器 1 2 2 - a の形状及び反射器 1 2 2 - a での送信 2 4 0 の入射角に従ってフィードアレイアセンブリ 1 2 7 - a の方にフォーカスされ且つ向けられ得る。フィードアレイアセンブリ 1 2 7 - a は、反射器 1 2 2 - a のフォーカス領域 1 2 3 に置かれるため、送信 2 4 0 - a は、単一のフィード素子（例えば、対象の点 2 3 0 - a が置かれるネイティブなフィード素子パターンカバレッジエリア 2 1 1 - a - 2 と関連したフィード素子 1 2 8 - a - 2）又はネイティブなフィード素子パターンカバレッジエリア 2 1 1 - a の重なりエリア内に置かれる場合、少数の（例えば、3 つ以下の）フィード素子 1 2 8 - a にフォーカスされ得る。

#### 【0072】

図 2 C は、ゼロオフセット角度 2 3 5 - a から測定された角度を参照して、フィードアレイアセンブリ 1 2 7 - a の 3 つのアンテナフィード素子 1 2 8 - a と関連するネイティブなフィード素子パターンゲインプロファイル 2 5 0 - a の図 2 0 3 を示す。例えば、ネイティブなフィード素子パターンゲインプロファイル 2 5 0 - a - 1、2 5 0 - a - 2 及び 2 5 0 - a - 3 は、アンテナフィード素子 1 2 8 - a - 1、1 2 8 - a - 2 及び 1 2 8 - a - 3 にそれぞれ関連し得るため、ネイティブなフィード素子パターン 2 1 0 - a - 1、2 1 0 - a - 2 及び 2 1 0 - a - 3 のゲインプロファイルを表し得る。図 2 0 3 に示すように、各ネイティブなフィード素子パターンゲインプロファイル 2 5 0 のゲインは、ピークゲインから両方向にオフセットした角度で減衰し得る。図 2 0 3 では、ビーム境界レベル 2 5 5 - a は、アンテナアセンブリ 1 2 1 - a を介した通信サービスを支援するために所望のゲインレベルを表し得（例えば、所望の情報速度などを提供するために）、従って、それは、それぞれのネイティブなフィード素子パターンカバレッジエリア 2 1 1 - a（例えば、ネイティブなフィード素子パターンカバレッジエリア 2 1 1 - a - 1、2 1 1 - a - 2 及び 2 1 1 - a - 3）の境界を規定するために使用され得る。ビーム境界レベル 2 5 5 - a は、ピークゲインからの例えば - 1 d B、- 2 d B 若しくは 3 d B の減衰を表し得るか、又は絶対信号強度、S N R 若しくは S I N R レベルによって規定され得る。ネイティブなフィード素子パターンゲインプロファイル 2 5 0 - a を 3 つのみ示すが、他のネイティブなフィード素子パターンゲインプロファイル 2 5 0 - a は、他のアンテナフィード素子 1 2 8 - a と関連し得る。

#### 【0073】

図 2 D は、フィードアレイアセンブリ 1 2 7 - a のいくつかのフィード素子 1 2 8（例えば、フィード素子 1 2 8 - a - 1、1 2 8 - a - 2 及び 1 2 8 - a - 3 を含む）の理想化されたネイティブなフィード素子パターンカバレッジエリア 2 1 1 の 2 次元アレイを示す図 2 0 4 を示す。ネイティブなフィード素子パターンカバレッジエリア 2 1 1 は、基準

10

20

30

40

50



面（例えば、通信衛星からある距離を置いた平面、地面からある程度距離を置いた平面、ある程度の高度にある球面、地面など）に対して示され得、及びさらに基準面に隣接した体積部（例えば、基準面と通信衛星との間の実質的に円錐形の体積部、基準面の下側の体積部など）を含み得る。複数のネイティブなフィード素子パターンカバレッジエリア 2 1 1 - a は、まとめて、ネイティブなアンテナパターンカバレッジエリア 2 2 1 - a を形成し得る。ネイティブなフィード素子パターンカバレッジエリア 2 1 1 - a を 8 個のみ示すが、フィードアレイアセンブリ 1 2 7 は、ネイティブなフィード素子パターンカバレッジエリア 2 1 1 とそれぞれ関連する任意の数のフィード素子 1 2 8（例えば、7 個以下又は 9 個以上）を有し得る。

#### 【0074】

各ネイティブなフィード素子パターンカバレッジエリア 2 1 1 の境界は、ビーム境界レベル 2 5 5 - a におけるそれぞれのネイティブなフィード素子パターン 2 1 0 に対応し得、及び各ネイティブなフィード素子パターンカバレッジエリア 2 1 1 のピークゲインは、「x」で指定されたロケーションを有し得る。ネイティブなフィード素子パターンカバレッジエリア 2 1 1 - a - 1、2 1 1 - a - 2 及び 2 1 1 - a - 3 は、ネイティブなフィード素子パターンゲインプロファイル 2 5 0 - a - 1、2 5 0 - a - 2 及び 2 5 0 - a - 3 と関連するネイティブなフィード素子パターンの投影にそれぞれ対応し得、ここで、図 2 0 3 は、図 2 0 4 の断面平面 2 6 0 - a に沿ったネイティブなフィード素子パターンゲインプロファイル 2 5 0 を示す。図 2 0 4 では、フィードアレイアセンブリ 1 2 7 - a が反射器 1 2 2 - a のフォーカス領域に置かれているため、各ネイティブなフィード素子パターンカバレッジエリア 2 1 1 の比較的小さい部分のみが、隣接するネイティブなフィード素子パターンカバレッジエリア 2 1 1 に重なる。さらに、一般的に、サービスカバレッジエリア内のロケーション（例えば、通信衛星の複数のスポットビームの全カバレッジエリア）は、2 つ以下のアンテナフィード素子 1 2 8 のネイティブなフィード素子パターンカバレッジエリア 2 1 1 内に入る。例えば、アンテナアセンブリ 1 2 1 - a は、3 つ以上のネイティブなフィード素子パターンカバレッジエリア 2 1 1 が重なるエリアが最小限にされるように構成され得る（例えば、3 つのネイティブなフィード素子パターンカバレッジエリア 2 1 1 が、図 2 D に示すように、ある点で又はその近くで交差するように構成され得るなど）。いくつかの例では、この条件は、フィードアレイアセンブリ 1 2 7 のフィード素子 1 2 8 又はネイティブなフィード素子パターンカバレッジエリア 2 1 1 を傾斜させているとも呼ばれ得る。ネイティブなフィード素子パターンカバレッジエリア 2 1 1 は、本明細書では、単純にするためにカバレッジエリアが円形として示されているため、理想化されていると呼ばれ得る。しかしながら、様々な例では、ネイティブなフィード素子パターンカバレッジエリア 2 1 1 は、円形以外の何らかの形状であり得る（例えば、楕円、六角形、矩形など）。そのため、傾斜したネイティブなフィード素子パターンカバレッジエリア 2 1 1 は、互いに、図 2 0 4 に示すものよりも多くの重なりを有し得る（例えば、場合により 4 つ以上のネイティブなフィード素子パターンカバレッジエリア 2 1 1 が重なり得る）。

#### 【0075】

図 3 A ~ 3 D は、本開示の態様による、デフォーカス位置で動作するフィードアレイアセンブリ 1 2 7 - b を有するアンテナアセンブリ 1 2 1 - b のアンテナ特性の例を示す。フィードアレイアセンブリ 1 2 7 - b がアンテナアセンブリ 1 2 1 のフォーカス領域 1 2 3 に置かれないとき、アンテナアセンブリ 1 2 1 は、デフォーカス条件で動作していると理解される。デフォーカス条件では、アンテナアセンブリ 1 2 1 は、受信した送信を所与のロケーションからより多くのアンテナフィード素子 1 2 8 に広げ、及び送信された電力をフィード素子 1 2 8 からより大きいエリアにわたって広げる。そのため、各ネイティブなフィード素子パターン 2 1 0 は、より大きいビーム幅を有し、及びネイティブなフィード素子パターン 2 1 0 間により多くの量の重なりがある。図 3 A ~ 3 D の例によれば、デフォーカス条件は、図 1 B に示すように、フィードアレイアセンブリ 1 2 7 - b を反射器 1 2 2 - b と反射器 1 2 2 - b のフォーカス領域 1 2 3 との間に置くことによって（例え

10

20

30

40

50

ば、フォーカスオフセット距離 1 2 9 によってオフセットされる) 提供され得る。

【0076】

図 3 A は、フィードアレイアセンブリ 1 2 7 - b のフィード素子 1 2 8 - b と関連したネイティブなフィード素子パターン 2 1 0 - b の図 3 0 1 を示す。具体的には、図 3 0 1 は、フィード素子 1 2 8 - b - 1、1 2 8 - b - 2 及び 1 2 8 - b - 3 に関連したネイティブなフィード素子パターン 2 1 0 - b - 1、2 1 0 - b - 2 及び 2 1 0 - b - 3 をそれぞれ示す。アンテナアセンブリ 1 2 1 - b に対してネイティブなフィード素子パターン 2 1 0 - b を 3 つのみ示すが、アンテナアセンブリ 1 2 1 のフィード素子 1 2 8 のそれぞれは、それぞれのネイティブなフィード素子パターン 2 1 0 と関連する。アンテナアセンブリ 1 2 1 - b と関連したネイティブなフィード素子パターン 2 1 0 - b の合成 (例えば、ネイティブなフィード素子パターン 2 1 0 - b - 1、2 1 0 - b - 2、2 1 0 - b - 3 及び図示しない他のネイティブなフィード素子パターン 2 1 0 - b ) は、ネイティブなアンテナパターン 2 2 0 - b と言及され得る。

10

【0077】

フィード素子 1 2 8 - b のそれぞれは、ネイティブなフィード素子パターンカバレッジエリア 2 1 1 - b と関連し得 (例えば、それぞれフィード素子 1 2 8 - b - 1、1 2 8 - b - 2 及び 1 2 8 - b - 3 と関連したネイティブなフィード素子パターンカバレッジエリア 2 1 1 - b - 1、2 1 1 - b - 2 及び 2 1 1 - b - 3 )、このパターンカバレッジエリアは、基準面 (例えば、地面又は何らかの他の基準平面又は表面) 上へのネイティブなフィード素子パターン 2 1 0 - b の投影を表す。アンテナアセンブリ 1 2 1 - b と関連したネイティブなフィード素子パターンカバレッジエリア 2 1 1 - b の合成 (例えば、ネイティブなフィード素子パターンカバレッジエリア 2 1 1 - b - 1、2 1 1 - b - 2、2 1 1 - b - 3 及び図示しない他のネイティブなフィード素子パターンカバレッジエリア 2 1 1 - b ) は、ネイティブなアンテナパターンカバレッジエリア 2 2 1 - b と言及され得る。フィードアレイアセンブリ 1 2 7 - b が反射器 1 2 2 - b に対してデフォーカス位置で動作しているため、ネイティブなフィード素子パターン 2 1 0 - b、従ってネイティブなフィード素子パターンカバレッジエリア 2 1 1 - b は、実質的に重なっている。そのため、ネイティブなアンテナパターンカバレッジエリア 2 2 1 - b における各位置は、複数のフィード素子 1 2 8 と関連し得る。

20

【0078】

図 3 B は、対象の点 2 3 0 - b からの送信 2 4 0 - b に関するアンテナアセンブリ 1 2 1 - b の信号受信を示す図 3 0 2 を示す。対象の点 2 3 0 - b からの送信 2 4 0 - b は、反射器 1 2 2 - b 全体又は反射器 1 2 2 - b の一部分のみを照射し、その後、反射器 1 2 2 - b の形状及び反射器 1 2 2 - b での送信 2 4 0 の入射角に従ってフィードアレイアセンブリ 1 2 7 - b の方にフォーカスされ且つ向けられ得る。フィードアレイアセンブリ 1 2 7 - b が反射器 1 2 2 - b に対してデフォーカス位置で動作しているため、送信 2 4 0 - b は、複数のフィード素子 1 2 8 (例えば、それぞれ対象の点 2 3 0 - b を含むネイティブなフィード素子パターンカバレッジエリア 2 1 1 - b - 1、2 1 1 - b - 2 及び 2 1 1 - b - 3 と関連したフィード素子 1 2 8 - b - 1、1 2 8 - b - 2 及び 1 2 8 - b - 3 ) でフォーカスされ得る。

30

40

【0079】

図 3 C は、ゼロオフセット角度 2 3 5 - b から測定された角度を参照して、フィードアレイアセンブリ 1 2 7 - b の 3 つのアンテナフィード素子 1 2 8 - b と関連したネイティブなフィード素子パターンゲインプロファイル 2 5 0 - b の図 3 0 3 を示す。例えば、ネイティブなフィード素子パターンゲインプロファイル 2 5 0 - b - 1、2 5 0 - b - 2 及び 2 5 0 - b - 3 は、アンテナフィード素子 1 2 8 - b - 1、1 2 8 - b - 2 及び 1 2 8 - b - 3 にそれぞれ関連するため、ネイティブなフィード素子パターン 2 1 0 - b - 1、2 1 0 - b - 2 及び 2 1 0 - b - 3 のゲインプロファイルを表し得る。図 3 0 3 に示すように、各ネイティブなフィード素子パターンゲインプロファイル 2 5 0 - b のゲインは、ピークゲインから両方向においてオフセットした角度で減衰し得る。図 3 0 3 では、ピー

50

ム境界レベル 2 5 5 - b は、アンテナアセンブリ 1 2 1 - b を介した通信サービスを支援するために、所望のゲインレベルを表し得（例えば、所望の情報速度などを提供するために）、従って、それぞれのネイティブなフィード素子パターンカバレッジエリア 2 1 1 - b（例えば、ネイティブなフィード素子パターンカバレッジエリア 2 1 1 - b - 1、2 1 1 - b - 2 及び 2 1 1 - b - 3）の境界を規定するために使用され得る。ビーム境界レベル 2 5 5 - b は、例えば、ピークゲインからの - 1 d B、- 2 d B 若しくは 3 d B の減衰を表し得るか、又は絶対信号強度、S N R 若しくは S I N R レベルによって定義され得る。ネイティブなフィード素子パターンゲインプロファイル 2 5 0 - b を 3 つのみ示すが、他のネイティブなフィード素子パターンゲインプロファイル 2 5 0 - b が他のアンテナフィード素子 1 2 8 - b と関連し得る。

10

#### 【0080】

図 3 0 3 に示すように、ネイティブなフィード素子パターンゲインプロファイル 2 5 0 - b のそれぞれは、ビーム境界レベル 2 5 5 - b の上方のゲインプロファイルのかなりの部分について、別のネイティブなフィード素子パターンゲインプロファイル 2 5 0 - b と交差し得る。従って、図 3 0 3 は、ネイティブなフィード素子パターンゲインプロファイル 2 5 0 の配置構成を示し、ここで、フィードアレイアセンブリ 1 2 7 の複数のアンテナフィード素子 1 2 8 は、特定の角度（例えば、ネイティブなアンテナパターン 2 2 0 - b の特定の方向）で通信サービスを支援し得る。いくつかの例では、この条件は、重なり の程度が高い、フィードアレイアセンブリ 1 2 7 のフィード素子 1 2 8 又はネイティブなフィード素子パターンカバレッジエリア 2 1 1 を有すると言及され得る。

20

#### 【0081】

図 3 D は、フィードアレイアセンブリ 1 2 7 - b のいくつかのフィード素子 1 2 8（例えば、フィード素子 1 2 8 - b - 1、1 2 8 - b - 2 及び 1 2 8 - b - 3 を含む）の理想化されたネイティブなフィード素子パターンカバレッジエリア 2 1 1 の 2 次元アレイを示す図 3 0 4 を示す。ネイティブなフィード素子パターンカバレッジエリア 2 1 1 は、基準面（例えば、通信衛星からある距離を置いた平面、地面からある程度距離を置いた平面、ある程度の高度にある球面、地面など）に対して示され得、及びさらに基準面に隣接する体積部（例えば、基準面と通信衛星との間の実質的に円錐形の体積部、基準面の下側の体積部など）を含み得る。複数のネイティブなフィード素子パターンカバレッジエリア 2 1 1 - b は、まとめて、ネイティブなアンテナパターンカバレッジエリア 2 2 1 - b を形成し得る。ネイティブなフィード素子パターンカバレッジエリア 2 1 1 - b を 8 個のみ示すが、フィードアレイアセンブリ 1 2 7 は、ネイティブなフィード素子パターンカバレッジエリア 2 1 1 とそれぞれが関連する任意の数のフィード素子 1 2 8 を有し得る（例えば、7 個以下又は 9 個以上）。

30

#### 【0082】

各ネイティブなフィード素子パターンカバレッジエリア 2 1 1 の境界は、ビーム境界レベル 2 5 5 - b においてそれぞれのネイティブなフィード素子パターン 2 1 0 に対応し得、及び各ネイティブなフィード素子パターンカバレッジエリア 2 1 1 のピークゲインは、「x」と指定されたロケーションを有し得る。ネイティブなフィード素子パターンカバレッジエリア 2 1 1 - b - 1、2 1 1 - b - 2 及び 2 1 1 - b - 3 は、ネイティブなフィード素子パターンゲインプロファイル 2 5 0 - b - 1、2 5 0 - b - 2 及び 2 5 0 - b - 3 にそれぞれ関連したネイティブなフィード素子パターンの投影に対応し得、ここで、図 3 0 3 は、図 3 0 4 の断面平面 2 6 0 - b に沿ったビームゲインプロファイルを示す。図 3 0 4 では、フィードアレイアセンブリ 1 2 7 - a は、反射器 1 2 2 - b に対してデフォーカス位置に置かれるため、各ネイティブなフィード素子パターンカバレッジエリア 2 1 1 のかなりの部分（例えば大部分）が、隣接するネイティブなフィード素子パターンカバレッジエリア 2 1 1 と重なる。さらに、一般的に、サービスカバレッジエリア内のロケーション（例えば、通信衛星の複数のスポットビームの全カバレッジエリア）は、2 つ以上のアンテナフィード素子 1 2 8 のネイティブなフィード素子パターンカバレッジエリア 2 1 1 内に入る。例えば、アンテナアセンブリ 1 2 1 - b は、3 つ以上のネイティブなフィー

40

50

ド素子パターンカバレッジエリア 2 1 1 が重なるエリアが最大にされるように構成され得る。いくつかの例では、この条件は、重なり の 程度が高い、フィードアレイアセンブリ 1 2 7 のフィード素子 1 2 8 又はネイティブなフィード素子パターンカバレッジエリア 2 1 1 を有するとも言及され得る。ネイティブなフィード素子パターンカバレッジエリア 2 1 1 を 8 個のみ示すが、フィードアレイアセンブリ 1 2 7 は、同様の方法でネイティブなフィード素子パターンカバレッジエリア 2 1 1 と関連した任意の数のアンテナフィード素子 1 2 8 を有し得る。

#### 【 0 0 8 3 】

場合により、デフォーカス位置で動作するフィードアレイアセンブリ 1 2 7 に関し、かなりの量（例えば、半分を上回る）のサービスカバレッジエリア（例えば、通信衛星の複数のスポットビームの全カバレッジエリア）が、いくつか（例えば、3 つ以上又は 4 つ以上）のアンテナフィード素子 1 2 8 のネイティブなフィード素子パターンカバレッジエリア 2 1 1 の境界に入る。そのような 1 つの場合、少なくとも 1 つの点が、フィードアレイアセンブリ 1 2 7 のネイティブなフィード素子パターンカバレッジエリア 2 1 1 の少なくとも 5 0 % の境界内にある。別の場合、サービスカバレッジエリアの少なくとも 1 0 パーセントが、ネイティブなフィード素子パターンカバレッジエリア 2 1 1 の少なくとも 2 5 % の境界内にある。別の場合、サービスカバレッジエリアの少なくとも 2 0 % が、ネイティブなフィード素子パターンカバレッジエリア 2 1 1 の少なくとも 2 0 % の境界内にある。別の場合、サービスカバレッジエリアの少なくとも 3 0 % が、ネイティブなフィード素子パターンカバレッジエリア 2 1 1 の少なくとも 1 0 % の境界内にある。別の場合、サービスカバレッジエリアの少なくとも 5 0 % が、少なくとも 4 つの異なるネイティブなフィード素子パターンカバレッジエリア 2 1 1 の境界内にある。例えば、1 0 0 平方マイルのサービスカバレッジエリア及び 2 0 0 個のフィード素子 1 2 8 に関し、少なくとも 1 つの点は、1 0 0 個のネイティブなフィード素子パターンカバレッジエリア 2 1 1 内にあり、少なくとも 1 0 平方マイルは、5 0 個のネイティブなフィード素子パターンカバレッジエリア 2 1 1 内にあり得、少なくとも 2 0 平方マイルは、4 0 個のネイティブなフィード素子パターンカバレッジエリア 2 1 1 内にあり得、少なくとも 3 0 平方マイルは、2 0 個のネイティブなフィード素子パターンカバレッジエリア 2 1 1 内にあり得るか、又は少なくとも 5 0 平方マイルは、4 個以上のネイティブなフィード素子パターンカバレッジエリア 2 1 1 内にあり得る。しかしながら、場合により、これらの関係の 2 つ以上が真であり得る。

#### 【 0 0 8 4 】

場合により、単一のアンテナアセンブリ 1 2 1 は、ユーザ端末 1 5 0 間又はアクセスノード端末 1 3 0 間の信号の送信及び受信に使用され得る。他の例では、通信衛星 1 2 0 は、信号の受信及び信号の送信に別個のアンテナアセンブリ 1 2 1 を含み得る。通信衛星 1 2 0 の受信アンテナアセンブリ 1 2 1 は、一般的に、通信衛星 1 2 0 の送信アンテナアセンブリ 1 2 1 と同じサービスカバレッジエリアに向けられ得る。そのため、受信のために構成されたアンテナフィード素子 1 2 8 に対するいくつかのネイティブなフィード素子パターンカバレッジエリア 2 1 1 は、自然に、送信のために構成されたアンテナフィード素子 1 2 8 に対するネイティブなフィード素子パターンカバレッジエリア 2 1 1 に対応し得る。これらの場合、受信アンテナフィード素子 1 2 8 は、それらの対応する送信アンテナフィード素子 1 2 8 と同様の方法でマッピングされ得（例えば、異なるフィードアレイアセンブリ 1 2 7 の同様のアレイパターンを有する、信号処理ハードウェアへの同様の有線及び / 又は回路接続を有する、同様のソフトウェア構成及び / 又はアルゴリズムを有するなど）、送信及び受信のためのネイティブなフィード素子パターンカバレッジエリア 2 1 1 に向けた同様の信号経路を生じ且つ処理を行う。しかしながら、場合により、受信アンテナフィード素子 1 2 8 及び送信アンテナフィード素子 1 2 8 を違った方法でマッピングすることが好都合であり得る。

#### 【 0 0 8 5 】

いくつかの例では、重なり の 程度が高い複数のネイティブなフィード素子パターン 2 1

10

20

30

40

50

0 は、1 つ以上のスポットビーム 1 2 5 を提供するためにビームフォーミングによって組み合わせられ得る。スポットビーム 1 2 5 のためのビームフォーミングは、重なるネイティブなフィード素子パターンカバレッジエリア 2 1 1 を有する 1 つ以上のフィードアレイアセンブリ 1 2 7 の複数のフィード素子 1 2 8 によって送信及び／又は受信された信号の信号位相（又は時間遅延）及び／又は信号振幅を調整することによって実施され得る。送信（例えば、フィードアレイアセンブリ 1 2 7 の送信用フィード素子 1 2 8 からの）に関し、送信された信号の相対位相及びときに振幅が調整されるため、フィード素子 1 2 8 によって送信されたエネルギーが、構造上、所望のロケーション（例えば、スポットビームカバレッジエリア 1 2 6 のロケーション）で重なり合う。この位相及び／又は振幅の調整は、一般に、送信された信号にビーム重み（例えば、ビームフォーミング係数）を適用すると言及され得る。受信（例えば、フィードアレイアセンブリ 1 2 7 の受信用アンテナフィード素子 1 2 8 によるなど）に関し、受信した信号の相対位相及びときに振幅が調整されるため（例えば、同じ又は異なるビーム重みを適用することによって）、アンテナフィード素子 1 2 8 によって所望のロケーション（例えば、スポットビームカバレッジエリア 1 2 6 のロケーションなど）で受信したエネルギーが、構造上、所与のスポットビームカバレッジエリア 1 2 6 に対して重なり合う。用語ビームフォーミングは、送信、受信又はそれらの両方に対しての何れかに関わらず、ビーム重みの適用を指すために使用され得る。適応ビームフォーマは、ビーム重みを動的計算する機能を含む。ビーム重みの計算は、通信チャネル特性を直接又は間接的に発見することを必要とし得る。ビーム重み計算及びビーム重み適用のプロセスは、同じ又は異なるシステムコンポーネントで実施され得る。

#### 【 0 0 8 6 】

スポットビーム 1 2 5 は、異なるビーム重みを適用することにより、操縦、選択的にフォーミング及び／又は他に再構成され得る。例えば、いくつかのアクティブなネイティブなフィード素子パターン、スポットビームカバレッジエリア 1 2 6、スポットビームのサイズ、ネイティブなフィード素子パターン及び／又はスポットビーム 1 2 5 の相対ゲイン及び他のパラメータは、時間が経つにつれて変化し得る。そのような多用性は、ある状況では望ましい。ビームフォーミングを適用するアンテナアセンブリ 1 2 1 は、一般的に比較的狭いスポットビーム 1 2 5 を形成でき、及びゲイン特性が改善されたスポットビーム 1 2 5 を形成することができ得る。狭いスポットビーム 1 2 5 は、1 つのビームで送信された信号を、他のスポットビーム 1 2 5 で送信された信号から区別して例えば干渉を回避できるようにする。従って、狭いスポットビーム 1 2 5 は、周波数及び偏波を、大きいスポットビーム 1 2 5 を形成するときよりも多く再使用できるようにする。例えば、狭く形成されたスポットビーム 1 2 5 は、重なっていない 2 つの不連続スポットビームカバレッジエリア 1 2 6 に供され得るが、重なっているスポットビーム 1 2 5 は、周波数、偏波又は時間が直交するようにされ得る。より小さいスポットビーム 1 2 5 を使用することによって再使用を多くすることにより、送信及び／又は受信されるデータ量を増加し得る。加えて又は代わりに、ビームフォーミングは、ビーム端においてよりシャープなゲインロールオフを提供するために使用され得、これにより、スポットビーム 1 2 5 のより大きい部分を通してより高いビームゲインを可能にし得る。そのため、ビームフォーミング技術は、所与の量のシステムの帯域幅に対して、より高い周波数の再使用及び／又はより大きいシステム容量を提供できる。

#### 【 0 0 8 7 】

いくつかの通信衛星 1 2 0 は、フィード素子 1 2 8 のアレイを介して送信及び／又は受信された信号を電子的に操縦するためにオンボードビームフォーミング（OBBF）を使用し得る。例えば、通信衛星 1 2 0 は、フェーズドアレイマルチフィードパビーム（MFPPB）オンボードビームフォーミング能力を有し得る。ビーム重みは、地上計算センターにおいて（例えば、アクセスノード端末 1 3 0 において、ネットワーク装置 1 4 1 において、通信サービスマネージャにおいてなど）計算されてから、通信衛星 1 2 0 に送信され得るか、又はオンボード応用のために通信衛星 1 2 0 において事前構成され得る。

#### 【 0 0 8 8 】

10

20

30

40

50

場合により、スポットビーム 1 2 5 を形成するために使用される各フィード素子 1 2 8 の位相及びゲインを制御するために、通信衛星 1 2 0 において著しい処理能力が必要とされ得る。そのような処理パワーは、通信衛星 1 2 0 の複雑さを増し得る。そのため、場合により、通信衛星 1 2 0 は地上のビームフォーミング ( G B B F ) と一緒に動作して、通信衛星 1 2 0 の複雑さを少なくするが、依然として狭いスポットビーム 1 2 5 を電子的に形成するという利点を提供する。

#### 【 0 0 8 9 】

図 4 A 及び図 4 B は、本開示の態様による、デフォーカス条件で動作するアンテナアセンブリ 1 2 1 によって提供されるネイティブなアンテナパターンカバレッジエリア 2 2 1 - c からスポットビームカバレッジエリア 1 2 6 を形成するためのビームフォーミングの例を示す。図 4 A では、図 4 0 0 は、デフォーカスされたマルチフィードアンテナアセンブリ 1 2 1 を使用して提供された複数のネイティブなフィード素子パターンカバレッジエリア 2 1 1 を含むネイティブなアンテナパターンカバレッジエリア 2 2 1 - c を示す。ネイティブなフィード素子パターンカバレッジエリア 2 1 1 のそれぞれは、アンテナアセンブリ 1 2 1 のフィードアレイアセンブリ 1 2 7 のそれぞれのフィード素子 1 2 8 と関連し得る。図 4 B では、図 4 5 0 は、米国本土のサービスカバレッジエリア 4 1 0 にわたるスポットビームカバレッジエリア 1 2 6 のパターンを示す。スポットビームカバレッジエリア 1 2 6 は、図 4 A の複数のネイティブなフィード素子パターンカバレッジエリア 2 1 1 と関連したフィード素子 1 2 8 を介して伝えられる信号にビームフォーミング係数を適用することによって提供され得る。

#### 【 0 0 9 0 】

スポットビームカバレッジエリア 1 2 6 のそれぞれは、それぞれのスポットビームカバレッジエリア 1 2 6 内の通信サービスを支援し得る関連のスポットビーム 1 2 5 を有し得る。スポットビーム 1 2 5 のそれぞれは、それぞれのスポットビームカバレッジエリア 1 2 6 を含むネイティブなフィード素子パターンカバレッジエリア 2 1 1 のために、複数のフィード素子 1 2 8 によって伝えられる信号の合成から形成され得る。例えば、図 4 B に示すスポットビームカバレッジエリア 1 2 6 - c と関連するスポットビーム 1 2 5 は、図 4 A に濃い実線で示すネイティブなフィード素子パターンカバレッジエリア 2 1 1 - c と関連した 8 個のフィード素子 1 2 8 からの信号の合成であり得る。様々な例では、スポットビームカバレッジエリア 1 2 6 が重なっているスポットビーム 1 2 5 は、周波数、偏波及び / 又は時間において直交し得るが、重なっていないスポットビーム 1 2 5 は互いに非直交であり得る ( 例えば、傾斜した周波数の再使用パターン ) 。他の例では、非直交スポットビーム 1 2 5 は、様々な程度の重なりを有し得、A C M、干渉キャンセル又は時空間符号化などの干渉軽減技術がビーム間干渉を管理するために使用される。一般的に、フィード素子 1 2 8 から送信された信号に適切なビーム重みを適用することによって生成されたダウンリンクスポットビーム 1 2 5 と説明されるが、アップリンク通信を受信するためのスポットビーム 1 2 5 もビームフォーミングによって処理され得る。

#### 【 0 0 9 1 】

ビームフォーミングは、O B B F 又は G B B F 受信 / 送信信号経路を使用して衛星を介して送信された信号に適用され得る。サービスカバレッジエリア 4 1 0 のフォワードリンクでは、1 つ以上のアクセスノード端末 1 3 0 がそれぞれのフォワードアップリンク信号 1 3 2 を通信衛星 1 2 0 に送信し、それは、その後、複数のフォワードダウンリンク信号 1 7 2 をサービスカバレッジエリア 4 1 0 内にある複数のユーザ端末 1 5 0 に中継し得る。そのため、図 4 B に示すスポットビームカバレッジエリア 1 2 6 に提供される通信サービスは、アンテナアセンブリのネイティブなアンテナパターンカバレッジエリア 2 2 1 - c 並びに適用されるビーム重みに基づき得る。

#### 【 0 0 9 2 】

サービスカバレッジエリア 4 1 0 は、実質的に均一なパターンのスポットビームカバレッジエリア 1 2 6 ( 例えば、等しい又は実質的に等しいビームカバレッジエリアサイズ及び重なりを有する ) によって提供されていると示されているが、いくつかの例では、

サービスカバレッジエリア 410 のためのスポットビームカバレッジエリア 126 は、不均一であり得る。例えば、人口密度が高いエリアは、より小さいスポットビーム 125 によって供され得るが、人口密度が低いエリアは、より大きいスポットビーム 125 によって供され得る。場合により、隣接するスポットビーム 125 は、互いに実質的に重なり得る。例えば、隣接するスポットビーム 125 は、人口密度が高いエリアでは重なるように構成され得るため、多数のユーザに供するための複数のオプションを提供する。加えて又は代わりに、異なるサイズの複数のスポットビーム 125 は、スポットビーム 125 の一部のみのみ所与の時間においてアクティブになっている状態でエリアに供するように構成され得る。そのため、特定のユーザ端末 150 のための通信は、より効率よく通信を伝え得るスポットビーム 125 に割り振られ得る（例えば、より良好な変調及び符号化率を支援するなど）。

10

#### 【0093】

図 5A ~ 5E は、本開示の態様による、異なる通信サービスタイムスロット中のサービスカバレッジエリア 410 - a のスポットビームカバレッジエリア 126 のロケーションの例を示す。この例では、割り当てられたスペクトルは、 $W$  Hz であり、及び 2 つの偏波（例えば、LHCP 及び RHCP）が利用可能である。何れの瞬間でも、関連のスポットビームカバレッジエリア 126 を有する 40 個のスポットビーム 125 は、アクティブな 20 個の LHCP 及び 20 個の RHCP であり得るが、それよりも多い又は少ないスポットビーム 125 が実際の実施においてアクティブであり得る。各スポットビーム 125 は、割り当てられたスペクトルのフル  $W$  Hz であるが、1 つの偏波のみを使用し得る。他の実施形態では、各スポットビーム 125 は、割り当てられたスペクトルの一部分のみを使用し得る。説明の例では、フレームは、 $Q = 4$  個のタイムスロットからなるが、実際の実施では、それよりも多い又は少ないタイムスロットを備えるフレームを使用し得る。各タイムスロットの期間中、ユーザ受信及び送信スポットビーム 125 は、異なるロケーションに存在し得る。ホッピングパターンは、各フレームの最後に自動的に繰り返し得るか、又は新しいフレーム定義がホッピングパターンを変化させるために適用され得る。

20

#### 【0094】

図 5A は、フレームの第 1 のタイムスロットの期間中のスポットビームカバレッジエリア 126 の例示的なロケーションを示すビームマップ 500 を含む。中心に「L」で示されるスポットビームカバレッジエリア 126 は、LHCP スポットビーム 125 を示し、及び「R」で示されるスポットビームカバレッジエリア 126 は、RHCP スポットビーム 125 を示すが、他の実施形態では任意の数の他の偏波（例えば、直線偏波）が使用され得る。スポットビームカバレッジエリア直径が小さいこと、サービスカバレッジエリア 410 - a の所望の大きい広がり、及び比較的少数のスポットビーム 125 が 1 度にアクティブであることに起因して、所与のタイムスロット中に同じ偏波を使用するビームは、比較的遠方に離間され得る。これにより、スポットビーム 125 間の干渉レベルを低くし得る。結果として生じる高い搬送波対干渉比（C/I）が、1 スポットビーム 125 当たりの能力を高めることを促進し得る。図 5B は、フレームの第 2 のタイムスロットの期間中のスポットビームカバレッジエリア 126 の例示的なロケーションを示すビームマップ 510 を含む。図 5C は、フレームの第 3 のタイムスロットの期間中のスポットビームカバレッジエリア 126 の例示的なロケーションを示すビームマップ 520 を含む。図 5D は、フレームの第 4 のタイムスロットの期間中のスポットビームカバレッジエリア 126 の例示的なロケーションを示すビームマップ 530 を含む。下記でより詳細に説明するように、図 5A ~ 5D に示す各スポットビームカバレッジエリア 126 は、専用の受信経路、専用の送信経路又はハイブリッドの送信 / 受信経路の一部であり得る。

30

40

#### 【0095】

図 5A ~ 5D に示すビームマップのそれぞれでは、同じ偏波のスポットビーム 125 は、一般的に、非常に遠方に（例えば、可能な最大距離で）離間され得る。この間隔は、同じ偏波の他のアクティブなスポットビームからの干渉を最小限にすることにより、大きい C/I 値を可能にする。スポットビームカバレッジエリア 126 に対する実際のロケーシ

50

ヨンの選択は、所望のサービスカバレッジエリア 4 1 0、様々なスポットビームカバレッジエリア 1 2 6 の直径、使用される偏波の数及び 1 フレーム当たりのタイムスロットの数などの要因に依存し得る。図 5 A ~ 5 D は、一例のみを提供する。

【 0 0 9 6 】

図 5 E は、4 つ全てのタイムスロットの期間中のスポットビームカバレッジエリア 1 2 6 全ての合成オーバーレイを示すビームマップ 5 4 0 を含む（例えば、サービスカバレッジエリア 4 1 0 - a）。図 5 E における同じタイムスロットのスポットビーム 1 2 5 のみが同時にアクティブである。同じタイムスロット及び同じ偏波（例えば、L H C P 又は R H C P）のスポットビーム 1 2 5 のみが著しい干渉の可能性を示している。上述の通り、これらのスポットビームカバレッジエリア 1 2 6 のロケーションは、それらの空間分離を最大にするように選択され得る。いくつかの幾何モデルが同様の偏波のスポットビーム 1 2 5 の分離を最大にするために使用され得る。

【 0 0 9 7 】

図 6 は、本開示の態様による、実例となるビームホッピングフレーム 6 0 0 を示す。図示の例では、1 フレーム当たり  $Q = 16$  個のタイムスロットであり、及び各タイムスロットは、1 . 5 m S e c の間隔を占め、その結果、2 4 m S e c の総ビームホッピングフレーム持続時間となる。そのため、スポットビーム 1 2 5 は、所与のスポットビームカバレッジエリア 1 2 6 において最低 1 . 5 m S e c 又は 1 つのタイムスロットでアクティブであり得るが、スポットビーム 1 2 5 は、ビームホッピングフレーム定義に含まれるタイムスロット定義に依存して、同じセル内において 2 つ以上の連続したタイムスロットでアクティブであり得る。いくつかの実施形態では、セルと表されるサービスカバレッジエリア 4 1 0 内の単一の地域は、ビームホッピングフレームの 1 つのタイムスロットに対して地域で 1 つのアクティブなスポットビーム 1 2 5 を有するのみであり得る。そのため、ビームホッピングフレームの長さは、情報が送信又は受信され得る前の潜在的な待機持続時間を表し得る。待ち時間の少ない適用例、例えば音声には、このアーキテクチャを使用することが望ましいことがあり得るため、このホッピングフレーム遅延は、他の不可避遅延に対してわずかにされる必要がある。例えば、対地球同期軌道（G S O）にある衛星に対して、一方向経路遅延（例えば、信号伝搬遅延）は、約 2 5 0 m S e c であり、及び不可避遅延である。そのため、この値の約  $1 / 10$  以下のビームホッピングフレーム長さを選択することにより、フレーミング遅延を不可避の一方向経路遅延に対してわずかにする。そのため、G S O 衛星について、2 5 m S e c 程度のフレームサイズが一般的に適切である。より短いフレームサイズは、一方向経路遅延によって占有されるため、経験した合計遅延時間を著しく変更しないことがあり得、及びスポットビーム 1 2 5 がより高速でホッピングするという事実のため、一般的により経費がかかり、及び複雑さが増す。そのため、約 2 5 m S e c のビームホッピングフレームサイズは、ほとんどの適用例に対して好適である。

【 0 0 9 8 】

他の実施形態では、2 つ以上のスポットビーム 1 2 5 は、単一のフレームの期間中、セル内でアクティブであり得る。例えば、地域又はセルは、その地域又はセルで支援される適用例に対して、最大限許容できる遅延を示す優先度が割り振られ得る。その後、割り振られた優先度を使用して、少なくとも部分的に、1 フレーム当たりの特定の地域又はセルにおけるアクティブなスポットビーム 1 2 5 の数を決定し得る。例えば、地域又はセル内でより高い帯域幅又はより待ち時間の少ない適用例を支援するために、その地域又はセルは、より低い帯域幅又はより待ち時間の多い適用例を支援する地域又はセルよりも高い優先度に割り振られる。より高い優先度が割り振られたセル又は地域は、単一のフレーム内のセル又は地域を網羅する 2 つ以上のアクティブなスポットビーム 1 2 5 を有し得る。任意の数の優先度は、1 フレーム当たりの個々のセルに対して任意の数のアクティブなスポットビーム 1 2 5 に対応して定義され得る。単一セルは、単一のフレームにおいて、そのセル内でアクティブである最大  $Q$  個の送信スポットビーム 1 2 5 及び  $Q$  個の受信スポットビーム 1 2 5 を有し得る（例えば、ビームは、全タイムスロットの期間中、セルにおいてアクティブである）。いくつかの実施形態では、送信スポットビーム 1 2 5 及び受信スポ



ットビーム 1 2 5 は、同じタイムスロットの期間中、同じセルにおいてアクティブであり得、同じタイムスロットにおいてデータの送信及び受信の両方を可能にする。

【 0 0 9 9 】

図 7 は、本開示の態様による、例示的な衛星アーキテクチャ 7 0 0 の一部のブロック図を示す。衛星アーキテクチャ 7 0 0 は、それぞれ複数のアンテナフィード素子 1 2 8 を有するそれぞれのフィードアレイアセンブリ 1 2 7 を備える、第 1 のアンテナアセンブリ 1 2 1 - c 及び第 2 のアンテナアセンブリ 1 2 1 - d を備える衛星 1 2 0 - a を含む。アンテナフィード素子 1 2 8 は、複数の偏波を支援するための L H C P 及び R H C P の両方に関して示されている。いくつかの実施形態では（図示せず）、衛星アーキテクチャは、単一の偏波のみを支援し得る。他の実施形態では、衛星アーキテクチャは、単一の偏波で動作し得るが、複数の偏波を支援し得る。

10

【 0 1 0 0 】

2 つの別個のアンテナアセンブリ 1 2 1 - c 及び 1 2 1 - d は、例示的な衛星アーキテクチャ 7 0 0 において、 $R \times$  に 1 つ（例えば、アンテナアセンブリ 1 2 1 - c）及び  $T \times$  に 1 つ（例えば、アンテナアセンブリ 1 2 1 - c）で使用されるが、統合  $T \times / R \times$  アンテナアセンブリ 1 2 1 も使用され得る。各アンテナアセンブリは、反射器 1 2 2 を含み、これは、フィードアレイアセンブリ 1 2 7 にある  $L$  個のフィード素子 1 2 8 からなるそれぞれのフィードアレイアセンブリ 1 2 7（例えば、フェーズドアレイ）によって照射される。衛星アーキテクチャ 7 0 0 は、そのアンテナシステムとしてフェーズドアレイフィード反射器を使用するが、他の実施形態では、ビームフォーミングネットワークを使用するアンテナアセンブリ 1 2 1 に基づく直接放射アレイ（DRA）又は任意の他のタイプのフェーズドアレイが使用され得る。 $R \times$  アンテナアセンブリ 1 2 1 - c は、フェーズドアレイ内に  $L_{rx}$  個のフィード素子 1 2 8 - c を有するフィードアレイアセンブリ 1 2 7 - c を含み、及び各フィード素子ポートの出力（例えば、フィード素子  $R \times$  信号）は、低雑音増幅器（LNA）に接続され得る。各 LNA は、関連のフィード素子 1 2 8 - c の近くに置かれて、システム雑音温度を最小にし得る。理想的には、LNA は、フィード素子 1 2 8 - c に直接取り付けられ、最適な雑音指数を生じ得る。 $2 \times L_{rx}$  個の LNA のそれぞれの出力は、 $R \times$  ビームフォーミングネットワーク（BFN）7 1 0 - a に送られ、これは、L H C P 及び R H C P の両セクションで構成される。システム雑音指数は、本質的に LNA によって設定されるため、 $R \times$  BFN 7 1 0 - a は、例えば、同軸ケーブル又は導波管の相互接続により、LNA から離れて置かれ得る。 $R \times$  BFN 7 1 0 - a は、 $2 \times L_{rx}$  個の入力を取り、及び  $K$  個の出力信号を提供し得、それぞれ  $K$  個の  $R \times$  スポットビーム 1 2 5 の 1 つに対応する。 $R \times$  BFN 7 1 0 - a は、 $R \times$  周波数で動作し、且つこの例では周波数変換を提供しなくてよい。

20

30

【 0 1 0 1 】

L H C P 及び R H C P の両セクションからの  $R \times$  BFN 7 1 0 - a の  $K$  個の出力は、 $K$  個の信号経路ハードウェアセクションを通して供給され得る。いくつかの実施形態では、同じ数の経路をそれぞれ利用可能な偏波（例えば、L H C P 及び R H C P）に使用するが、概して、各偏波の受信信号に接続された異なる数の経路があり得る。ベントパイプアーキテクチャの各経路は、一般に、周波数変換プロセス、フィルタリング及び選択可能なゲイン増幅からなる。他の処理の形態（例えば、復調、再変調又は「再生」システムにおけるような受信した信号の作り直し）は、ベントパイプアーキテクチャを使用するときには実施されない。ベントパイプアーキテクチャでは、周波数変換は、アップリンク周波数のスポットビーム信号を例えば別個のダウンリンク周波数に変換する必要がある。フィルタリングは、一般的に、ダウンコンバータ前のプレフィルタリング及びダウンコンバータ後のポストフィルタリングからなり、及び送信される信号の帯域幅を設定するため並びに望まれないミキサの相互変調積を除くために存在する。選択可能なゲインチャネル増幅器は、図 7 の例では、 $K$  個の経路のそれぞれに対して独立したゲイン設定を提供し得る。

40

【 0 1 0 2 】

50

L H C P 及び R H C P の両セクションを含み得る  $T \times$  B F N 7 1 0 - b は、K 個の経路の出力信号から  $2 \times L_{t \times}$  個の出力を生成し得る。いくつかの実施形態では、L H C P 受信スポットビーム 1 2 5 から得られる経路出力信号は、R H C P 送信スポットビーム 1 2 5 での出力であり得、及び逆も同様である。他の実施形態では、L H C P 受信スポットビーム 1 2 5 から得られる経路出力信号は、L H C P 送信スポットビーム 1 2 5 に出力され得る。 $T \times$  B F N 7 1 0 - b は、 $T \times$  周波数で動作し得、及びこの例では周波数変換を提供しない。 $T \times$  B F N 7 1 0 - b の出力は、 $2 \times L_{t \times}$  個の高電力増幅器 (H P A) に送られる。各 H P A の出力に接続された高調波フィルタ (H F) は、低域フィルタリングを実施して、例えば H P A の出力から 2 次以上の高調波の抑制をもたらし得る。その後、高調波フィルタの出力 (例えば、フィード素子  $T \times$  信号) は、 $T \times$  フィードアレイアセンブリ 1 2 7 - d において  $2 \times L_{t \times}$  個のフィード素子 1 2 8 - d に入力され得る。各 H P A 及び高調波フィルタは、関連の  $T \times$  フィード素子 1 2 8 - d の近くに置かれて、損失を最小限にし得る。理想的には、H P A / H F は、最適な放射電力を生じ得る  $T \times$  フィード素子 1 2 8 - d に直接取り付けられ得る。

#### 【0103】

図 7 に示すように、別個の反射器 (例えば、反射器 1 2 2 - c 及び 1 2 2 - d) 及び別個のフィードアレイアセンブリ (例えば、フィードアレイアセンブリ 1 2 7 - c 及び 1 2 7 - d) が  $T \times$  及び  $R \times$  スポットビーム 1 2 5 に使用され得る。しかしながら、上述の通り、いくつかの実施形態では、単一の反射器 1 2 2 及び単一のフィードアレイアセンブリ 1 2 7 を使用して、 $T \times$  及び  $R \times$  の両機能を実施し得る。これらの実施形態では、各フィード素子 1 2 8 は、 $T \times$  に 1 つ及び  $R \times$  に 1 つの 2 つのポートを含み得る。2 つの偏波を使用するシステムでは (例えば、R H C P 及び L H C P)、4 ポートのフィード素子 ( $T \times$  に 2 つ及び  $R \times$  に 2 つ) が含まれ得る。許容可能な  $T \times$  と  $R \times$  との隔離を維持するために、そのような単一の反射器 1 2 2 のアプローチは、フィード素子 1 2 8 のいくつか又は全て内でダイプレクサー又は他のフィルタリング要素も利用し得る。これらのフィルタリング要素は  $R \times$  バンドを通過し得る一方、 $T \times$  バンドにおいて抑制し得る。フィード素子 1 2 8 の数の増加及び B F N 7 1 0 に関する位相整合条件は、このアプローチの実施をより複雑にし得るが、複数の反射器 1 2 2 及び複数のフィードアレイアセンブリ 1 2 7 と関連するコストを削減し得る。

#### 【0104】

いくつかの実施形態では、 $R \times$  B F N 7 1 0 - a、 $T \times$  B F N 7 1 0 - b 又はそれらの両方は、時間変動するビーム重みセットを使用して、時間が経つにつれて、受信スポットビームカバレッジエリアロケーション、送信スポットビームカバレッジエリアロケーション又はそれらの両方をホップし得る。これらのビーム重みセットは、ビーム重みプロセッサ (B W P) 7 1 4 に記憶され得る。B W P 7 1 4 は、適切な時点で適切なビーム重みを生成するための制御論理も提供し得る。B W P 7 1 4 は、トラフィックデータの帯域内又はそれ自体のアンテナアセンブリ 1 2 1 及び送受信機の帯域外であり得る双方向データリンク 7 1 6 を介して接地され得る。双方向データリンク 7 1 6 は、図 7 の例では双方向として示され、正しいビームフォーミング重みセットが B W P 7 1 4 によって受信されたことを保証し得る。そのようなものとして、エラー検出及び / 又は再送信要求を含む訂正技術は、双方向リンクを使用して支援され得る。他の実施形態では、一方向リンクがエラー検出及び / 又は訂正と一緒に使用される。いくつかの実施形態では、初期のビームフォーミング重みセットは、打ち上げ前に B W P 7 1 4 のメモリにロードされ得る。

#### 【0105】

データリンク 7 1 6 は、例えば、事前計算されたビーム重みを受信し且つそのような重みを B W P 7 1 4 に配信するために使用され得る。いくつかの実施形態では、ビーム重みは、地上で、ネットワーク管理エンティティ又はネットワークオペレーションセンター (N O C) などのネットワーク装置 1 9 9 において生成され得る。K 個の  $T \times$  及び  $R \times$  ビームのそれぞれの所望のロケーションは、ネイティブなフィード素子パターン 2 1 0 と一緒に、ビーム重み値を生成するために使用され得る。所望のスポットビームカバレッジエリ

10

20

30

40

50

アロケーション条件を考慮して、適切なビーム重みを生成するための技術がいくつかある。例えば、1つのアプローチでは、ビーム重みは、非リアルタイムで、地上で生成され得る。その後、ダイナミック重みがデータリンク 716 によって BWP 714 にアップロードされてから、ダイナミックに BFN に適用されて、R x アップリンク及び T x ダウンリンクの両方でホッピングビームを生じ得る。

#### 【0106】

データリンク 716 のダウンリンク部分を使用して、BFN 710 のステータスを報告し、且つアップリンクされたビーム重みを正しく受信したことの確認を提供し得る。ビーム重みセットの正しい受信は、例えば従来の CRC コードの使用によって決定され得る。CRC のチェックの失敗によって示されるような間違った受信の場合、例えばビーム重みセットのアップリンク送信（又は間違っている若しくは無効であると思われるビーム重みセットの部分）が再送信され得る。いくつかの実施形態では、このプロセスは、地上局と BWP 714 との間の自動再送要求 ARQ 再送信プロトコル（例えば、selective repeat ARQ、stop-and-wait ARQ、又は go-back-N ARQ、又は任意の他の好適な再送信、エラー検出、又はエラー訂正プロトコルなど）によって制御され得る。

#### 【0107】

概して、衛星アーキテクチャ 700 は、K 個の一般的なホッピング経路に提供される。各経路は、機能的に、例えばフィルタリング、周波数変換、増幅などの 1 つ以上の信号調節を提供するエレクトロニクス及び回路によって一緒に接続されている R x スポットビーム 125 及び T x スポットビーム 125 からなる。経路は、それぞれハブ-スポーク構成又はメッシュ構成において使用され得るベントパイプ応答機として表され得る。例えば、メッシュ構成を備える一実施形態では、経路は、衛星を介して第 1 の複数の端末と第 2 の複数の端末との間で信号を伝える。本明細書で説明するシステム及び方法によれば、各経路のための終点（例えば、T x スポットビームカバレッジエリアロケーション及び R x スポットビームカバレッジエリアロケーション）は、ダイナミック及びプログラム可能であり得、かなり柔軟な衛星通信アーキテクチャを生じる。

#### 【0108】

図 8 は、本開示の態様による、一方の偏波の例示的な R x BFN 710 - c のブロック図 800 を示す。受信 BFN 710 - c は、 $L_r \times$  個のフィード素子 128 からフィード素子 R x 信号を取り込み得、及び  $K_p$  個の LHC P 及び RHC P 形成スポットビーム 125 のスポットビーム信号を出力として提供する。この例では、 $K_p = K / 2$  個の LHC P 受信スポットビーム 125 及び  $K / 2$  個の RHC P 受信スポットビーム 125 があるが、他の実施形態では各偏波の異なる数の受信スポットビーム 125 が使用され得る。

#### 【0109】

フィード素子 128 からの各フィード素子 R x 信号は、最初に、スプリッター 802 を経由して、各スポットビーム 125 に対して 1 つずつの、K 個の同一のコピーに分けられる。その後、 $K_p$  個並列のビームフォーマが実現される。各ビームフォーマは、いくつかあるコンポーネントの中で特に、振幅及び位相調整回路部品 804 並びに加算器 806 を含み得る。各例の振幅及び位相調整回路部品 804 が  $L_r \times$  個のスプリッターの 1 つから入力信号を受け取り、且つ信号に振幅及び位相調整をもたらし得る（例えば、R x スポットビーム 125 と関連する受信ビームフォーミング重みベクトルの受信ビーム重みを介して）。その後、 $L_r \times$  個の振幅及び位相調整信号は、加算器 806 を使用して加算されて、1 つの形成されたスポットビーム 125 からスポットビーム信号を生じ得る。その後、各 R x スポットビーム信号は、本明細書で説明するような  $K_p$  個の独立信号経路の 1 つに供給され得る。アンテナアセンブリ 121 の経路 1 の R x スポットビーム信号を生じるために使用されるビームフォーミングベクトル係数は、図 8 に破線 808 で示してある。

#### 【0110】

信号の振幅及び位相の調整のプロセスは、複素数（例えば、複素重み）による信号の複素ベースバンド表示の乗算として数学的に説明され得る。複素数を  $w = I + jQ$  として表

10

20

30

40

50

して、 $w$ の大きさは、振幅調整であり、及び $w$ の位相は、位相調整である。実際、振幅及び位相調整は、いくつかの方法で実現され得る。フェーズドアレイアンテナアセンブリ 121における2つの一般的な技術は、入力として $I$ 値及び $Q$ 値を取るベクトル乗算回路及び独立した位相及び振幅調整機構を有し且つ入力として所望の振幅及び位相調整を取る回路である。 $I + jQ$ を複素数 $w$ の直角座標及び振幅/位相を複素数 $w$ の極座標と認識する必要がある。 $R \times BFN710 - c$ は、 $R \times BFN710 - c$ の両半分において $K$ 個のビームフォーマのそれぞれにダイナミックで(変化する)且つプログラムブルな複素ビーム重み値を提供し得る。実際、 $R \times BFN710 - c$ は、一般的に、 $R \times BFN$ 機能(例えば、スプリッティング、重み付け及び結合)を実行するために使用される装置の挿入損失のいくつか又は全てを考慮するために $R \times BFN$ 構造内に増幅段を有し得る。

10

#### 【0111】

$R \times BFN710 - c$ の信号処理は、アナログ及び/又はデジタル信号ドメインで実行され得る。例えば、信号処理がデジタルドメインで $R \times BFN710 - c$ によって実行されるとき、 $R \times BFN710 - c$ は、1つ以上のアナログデジタル変換器(例えば、 $L_{rx}$ 個のフィード素子 $R \times$ 信号をデジタルドメインに変換する)を含み得る。他の例では、フィード素子128のそれぞれは、 $R \times BFN710 - c$ にデジタル信号を提供するそれ自体のアナログデジタル変換器と関連し得る。デジタルドメイン処理を含む様々な例では、経路ハードウェアは、スポットビーム信号をデジタルドメインで提供し得るか、又は経路ハードウェアのスポットビーム信号をアナログドメインに変換する1つ以上のデジタルアナログ変換器を含み得る。他の例では、 $R \times BFN710 - c$ の信号処理は、

20

#### 【0112】

図9は、本開示の態様による、フィード形成ネットワーク(FFN)と言及され得る一方の偏波の例示的な $T \times BFN710 - d$ のブロック図900を示す。 $T \times BFN710 - d$ は、 $K_p$ 個の信号経路(例えば、 $K/2$ 個のLHCP及び $K/2$ 個のRHCP経路)からの信号を取り込み、且つフィード素子 $T \times$ 信号を $L_{tx}$ 個のフィード素子128のそれぞれに提供する。経路からの各入力信号は、最初に、スプリッター902を経由して、各フィード素子128に対して1つずつの、 $L_{tx}$ 個の同一のコピーに分けられる。その後、 $L_{tx}$ 個並列の「フィードフォーマ」が実現される。各フィードフォーマは、振幅及び位相調整回路部品904及び加算器906を含み得る。振幅及び位相調整回路部品904は、 $K_p$ 個のスプリッターの1つから入力スポットビーム信号を受け取り、及び振幅及び位相調整を提供し得る(例えば、 $T \times$ スポットビーム125と関連する送信ビーム重みベクトルの送信ビーム重み付けを介して)。その後、 $L_{tx}$ 個の振幅及び位相調整されたフィード素子 $T \times$ コンポーネント信号が加算器906を使用して加算されて、1つのフィード素子128による送信のためにフィード素子 $T \times$ 信号を生じる。

30

#### 【0113】

信号の振幅及び位相の調整プロセスは、複素数(例えば、複素重み)による信号の複素ベースバンド表示の乗算であると数学的に説明され得る。複素数を $w = I + jQ$ と表して、 $w$ の大きさは、振幅調整であり、及び $w$ の位相は、位相調整である。実際、振幅及び位相調整は、いくつかの方法で実現され得る(例えば、図8に関して上述したように)。衛星の経路1の $T \times$ スポットビーム125を形成するために使用される最初及び最後のビームフォーミングベクトル係数は、破線908で示してある。残りの係数は、図9の例に明示されていない。

40

#### 【0114】

$T \times BFN710 - d$ の信号処理は、アナログ及び/又はデジタル信号ドメインで実行され得る。例えば、信号処理が $T \times BFN710 - d$ によってデジタルドメインで実行されるとき、 $T \times BFN710 - d$ は、1つ以上のアナログデジタル変換器(例えば、 $K$ 個のスポットビーム信号をデジタルドメインに変換する)を含み得る。他の例では、

50

K個のスポットビーム信号のそれぞれは、経路ハードウェアによって  $T \times B F N 7 1 0 - d$  にデジタル信号として提供され得る。デジタルドメイン処理を含む様々な例では、 $T \times B F N 7 1 0 - d$  は、デジタルドメインで  $L_{t \times}$  個のフィード素子  $T \times$  信号を提供し得る（例えば、関連のデジタルアナログ変換器によってそれぞれのフィード素子 128 においてアナログ信号に変換されるように）か、又はフィード素子  $T \times$  信号をアナログドメインに変換する 1 つ以上のデジタルアナログ変換器を含み得る。他の例では、 $T \times B F N 7 1 0 - d$  の信号処理は、全体的に、アナログドメインで実行され得、K 個のスポットビーム信号がアナログドメインで受信されるようにし、及びアナログドメインで  $L_{t \times}$  個のフィード素子信号を提供するビームフォーミングハードウェアにより、処理済みの信号がアナログドメインに留まるようにする。

10

#### 【0115】

$R \times B F N 7 1 0 - c$  に関して上述したように、 $T \times B F N 7 1 0 - d$  は、 $T \times B F N 7 1 0 - d$  にある K 個のフィードフォーマのそれぞれにダイナミックで（変化する）且つプログラムブルな複素ビーム重み値を提供し得る。実際、 $T \times B F N 7 1 0 - d$  は、 $T \times B F N$  構造内に増幅段を有して、 $T \times B F N$  機能（例えば、スプリッティング、重み付け及び結合）を実行するために使用される装置の挿入損失のいくつか又は全ても構成し得る。

#### 【0116】

図 10 は、本開示の態様による、フォワードリンク信号送信のための G B B F のための実例となるシステム 1000 のブロック図を示す。システム 1000 のコンポーネントは、地上セグメント 102 - a（例えば、アクセスノード端末 130、ネットワーク装置 141 などを含む）と宇宙セグメント 101 - a（例えば、通信衛星 120 - b を含む）との間で分配され得、及び地上セグメントにおける送信ビームフォーミングネットワークの実施の例を示す。

20

#### 【0117】

システム 1000 の地上セグメント 102 - a は、入力として、1 つ以上のユーザ端末 150 を送信先とする通信サービストラフィック 1005 を受信し得る。通信サービストラフィック 1005 は、1 つ以上のネットワーク 140 から、1 つ以上のネットワーク装置 141 から、及び/又は 1 つ以上のアクセスノード端末 130 から受信され得る。通信サービストラフィック 1005 は、通信サービストラフィック 1005 の複数の部分を 1 つ以上のスポットビーム 125 に割り当て得る 1 つ以上のトラフィックマネージャ 1020 に提供され得る。トラフィックマネージャ 1020 は、目標装置の位置情報を有し得、及びスポットビームカバレッジエリア 126 に対する意図した目標装置（例えば、標的ユーザ端末 150）のロケーションに基づいて通信サービストラフィック 1005 の複数の部分をスポットビーム 125 に割り振り得る（例えば、所与の目標装置のための通信サービストラフィック 1005 を、対応するスポットビームカバレッジエリア 126 内にその所与の目標装置が置かれているスポットビーム 125 に割り振る）。様々な例では、システム 1000 の地上セグメント 102 - a は、全ての通信サービストラフィック 1005 に対してトラフィックマネージャ 1020 を有し得る（例えば、ネットワーク管理エンティティ又は他のネットワーク装置 141 において）か、又はシステム 1000 の地上セグメント 102 - a は、分散した複数のトラフィックマネージャ 1020 を有し得る（例えば、複数のアクセスノード端末 130 と同一場所に配置される）。

30

40

#### 【0118】

トラフィックマネージャ 1020 は、様々な目標装置を送信先とする通信サービストラフィック 1005 の複数の部分を含む K 個の  $T \times$  スポットビーム信号 1025 を生成し、ここで、K は、システム 1000 によって同時に支援されるスポットビーム 125 の数であり得る。 $T \times$  スポットビーム信号 1025 は、別個のデジタル又はアナログハードウェア経路（例えば、図 7 を参照して説明するような K 信号経路ハードウェアセクション）によって提供され得るか、又はソフトウェアに組み込まれた論理チャネルであり得る。 $T \times$  スポットビーム信号 1025 は、 $T \times B F N 7 1 0 - e$  に提供され得、これは、トラフ

50

ィックマネージャ 1 0 2 0 と同一場所に配置され得る（例えば、ネットワーク装置 1 4 1 に、又はトラフィックマネージャ 1 0 2 0 を含むアクセスノード端末 1 3 0 に）か、又は地上セグメント 1 0 2 - a の別の装置に置かれ得る（例えば、トラフィックマネージャ 1 0 2 0 を含まない送信用アクセスノード端末 1 3 0 ）。

#### 【 0 1 1 9 】

T x B F N 7 1 0 - e は、本明細書で説明するような T x B F N 7 1 0 の例であり得ると共に、K 個のスポットビーム信号経路と送信装置、例えばアクセスノード端末 1 3 0 との間に結合され得る。T x B F N 7 1 0 - e は、 $L_{tx}$  個のフィード素子コンポーネント信号 1 0 2 8 を生成し、ここで、 $L_{tx}$  は、通信サービスのフォワードリンク送信を支援するために通信衛星 1 2 0 - b によって使用されるアンテナフィード素子 1 2 8 の数であり得る。T x B F N 7 1 0 - e は、B W P 7 1 4 - a からビームフォーミング重みセット 1 0 2 7 を受信し、及びビーム重みを、受信した T x スポットビーム信号 1 0 2 5 に適用して、フィード素子コンポーネント信号 1 0 2 8 を生成し、これは、それぞれのスポットビーム 1 2 5 を形成するために使用され得る。B W P 7 1 4 - a は、ビームホッピング構成のタイムスロットに従ってビーム重みを適用すること、ネイティブなアンテナパターンに従う調整、通信衛星 1 2 0 - b の軌道位置に従う調整及びこれらの組み合わせを含め、本明細書で説明する技術の何れかに従ってビームフォーミング重みセット 1 0 2 7 を提供し得る。

10

#### 【 0 1 2 0 】

ビーム重みを適用してそれぞれのフィード素子コンポーネント信号 1 0 2 8 を生成するプロセスは、図 9 を参照して説明したフィード素子 T x 信号を生成するためのプロセスと同様であり得る。しかしながら、フィード素子コンポーネント信号 1 0 2 8 は、地上セグメント 1 0 2 - a のフィード素子によって直接送信されないため、フィード素子コンポーネント信号 1 0 2 8 は、宇宙セグメント 1 0 1 - a の通信衛星 1 2 0 - b によって送信されるものと同じ特性（例えば、周波数、偏波、時点同期など）を有する必要はない。むしろ、フィード素子コンポーネント信号 1 0 2 8 は、宇宙セグメント 1 0 1 - a の通信衛星 1 2 0 - b によって送信されるフィード素子 T x 信号（例えば、フィード素子 T x 信号 1 0 8 5 ）を生成するために後に使用され得る方法でフォーマット化される必要があるにすぎない。

20

#### 【 0 1 2 1 】

フィード素子コンポーネント信号 1 0 2 8 は、マルチプレクサー 1 0 3 0 に提供され得、フィード素子コンポーネント信号 1 0 2 8 を組み合わせて、多重化アップリンク信号 1 0 3 5 を生成し得る。マルチプレクサー 1 0 3 0 は、T x B F N 7 1 0 - e と同一場所に配置され得る（例えば、ネットワーク装置 1 4 1 又はアクセスノード端末 1 3 0 において）か、又は地上セグメント 1 0 2 - a の別の送信装置に置かれ得る（例えば、送信用アクセスノード端末 1 3 0 ）。フィード素子コンポーネント信号 1 0 2 8 は、周波数分割多重化、時分割多重化、符号分割多重化又は分離できるようにフィード素子コンポーネント信号 1 0 2 8 の情報の通信を支援する多重化の任意の他の形態において組み合わせられ得る。多重化アップリンク信号 1 0 3 5 は、地上セグメント 1 0 2 - a の送信機 1 0 4 0 に提供され得、これは、図 1 を参照して説明したアクセスノード端末アンテナシステム 1 3 1 の例であり得る。送信機 1 0 4 0 は、フィーダアップリンク信号 1 0 4 5 内の多重化アップリンク信号 1 0 3 5 を（例えば、アクセスノード端末アンテナ 1 3 1 などを介して）通信衛星 1 2 0 - b に送信する。

30

40

#### 【 0 1 2 2 】

通信衛星 1 2 0 - b は、アンテナ（例えば、アンテナアセンブリ 1 2 1 又は別のタイプのアンテナ）を介して、受信機 1 0 6 0 においてフィーダアップリンク信号 1 0 4 5 を受信する。受信機 1 0 6 0 は、復調、ダウンコンバージョン（例えば、中間周波数又はベースバンド周波数などに）を含む様々な動作を実行して、受信多重化アップリンク信号 1 0 6 5 を生成し得る。受信多重化アップリンク信号 1 0 6 5 は、デマルチプレクサー 1 0 7 0 に提供され得、これは、受信多重化アップリンク信号 1 0 6 5 を  $L_{tx}$  個のフィード素

50

子T xコンポーネント信号1075に分離し、ここで、 $L_{tx}$ は、フォワードリンク信号を送信するためにアンテナアセンブリ121-eによって使用されるフィードアレイアセンブリ127-eのフィード素子128-eの数である。デマルチプレクサー1070は、周波数分割デマルチプレクシング、時分割デマルチプレクシング、符号分割デマルチプレクシング又は受信多重化アップリンク信号1065からフィード素子T xコンポーネント信号1075を分離できる任意の他のデマルチプレクシングを支援し得る。

#### 【0123】

いくつかの例では、通信衛星120-bは、2つ以上の受信機1060を有し得、これらは、それぞれ異なるフィーダアップリンク信号1045と関連し得、及び各受信機1060は、別個のデマルチプレクサー1070と関連し得る。いくつかの例では、異なるフィーダアップリンク信号1045は、地上セグメント102-aの別個のアクセスノード端末130によって送信され得、及び異なるフィーダアップリンク信号1045は、異なる組のスポットビーム125と関連し得る。例えば、各フィーダアップリンク信号1045は、GBBFアーキテクチャによって支援されるスポットビームのサブセットのためのT xコンポーネント信号1075を含み得る。一例では、各フィーダアップリンク信号1045は、本明細書で説明したような特定の「色」と関連する（例えば、フィーダアップリンク信号1045及び1045-aは、互いに異なる色であるか又は他に互いに直交する）。他の例では、各フィーダアップリンク信号1045は、異なる組のスポットビームに対応するT xコンポーネント信号1075と関連する（例えば、周波数及び偏波が直交又は非直交であり得る）。例えば、通信衛星120-bは、第2の受信機1060-aと、第2の組のフィード素子T xコンポーネント信号1075-aを提供し得る第2のデマルチプレクサー1070-aとを含み得る。様々な例では、受信機1060及び追加的な受信機1060（例えば、受信機1060-a）は、別個のアンテナ（例えば、別個のアンテナアセンブリ121）と関連し得るか、又は同じアンテナの別個の部分と関連し得る。

#### 【0124】

いくつかの例では、フィード素子T xコンポーネント信号1075の組は、それぞれの各フィード素子128に対して、複数の加算器1080（例えば、図示の通り、フィード素子128-e-1~128-e- $L_{tx}$ と関連する加算器1080-a-1~1080-a- $L_{tx}$ ）によって第2の組のフィード素子T xコンポーネント信号1075-aと組み合わせられ得る。加算器1080は、フィード素子T x信号1085の組を送信のためのフィードアレイアセンブリ127-eに提供し得る。単一のアクセスノード端末130から単一のフィーダアップリンク信号1045を受信する単一の受信機1060の例では、フィード素子T xコンポーネント信号1075は、本明細書で説明したフィード素子T x信号1085と実質的に等しいことができる。いくつかの例では、フィード素子T x信号1085は、デマルチプレクサー1070、加算器1080及び/又はフィード素子T x信号1085を提供するための任意の他のコンポーネントを含む通信衛星121-eの信号プロセッサ（例えば、アナログ信号プロセッサ又はデジタル信号プロセッサ）の出力であり得、この信号プロセッサは、専用の送信信号プロセッサであり得るか、又は受信信号プロセッサとコンポーネントを共有し得る（例えば、図11の例示的なシステム1100を参照して説明する信号プロセッサ）。他の例では、各フィーダアップリンク信号1045は、異なる組のT x素子128-eのためのT xコンポーネント信号1075と関連する。この例では、GBBFシステム1000は、加算器1080を含まず、及びT xコンポーネント信号1075は、フィード素子128-eの第1のサブセットと結合される一方、T xコンポーネント信号1075-aは、フィード素子128-eの第2のサブセットと結合される。

#### 【0125】

フィード素子T x信号1085は、フィードアレイアセンブリ127-eのフィード素子128（例えば、フィード素子128-e-1~128-e- $L_{tx}$ ）に提供され得、これは、電気フィード素子T x信号1085をフィード素子信号送信1095の電磁波エネルギーに変換し得るため、様々な目標装置に届く通信サービストラフィック1005を

10

20

30

40

50

提供する。Tx BFN 710 - eによってTxスポットビーム信号1025に適用されるビームフォーミングの結果、フィード素子信号送信1095は、スポットビーム125を形成し、及び関連のスポットビームカバレッジエリア126内に置かれた目標装置に届き得る。そのため、通信衛星120 - bは、地上セグメント102 - aによって割り振られたスポットビーム125及び地上セグメント102 - aにおいて適用されたビームフォーミング重みセット1027に従って、フィード素子128 - eを介して通信サービストラフィック1005を送信し得る。地上セグメント102 - aにおいてそのようなビームフォーミングを実行することにより、通信衛星120 - eは、通信衛星120（例えば、図7を参照して説明した通信衛星120 - a）においてビームフォーミングを実行する通信衛星120よりも複雑でなくなり得る。GBBFによって提供されたこの複雑さの減少により、OBBFを実行する通信衛星と匹敵するサービスを提供しながら、例えば衛星展開重量、衛星コスト、衛星消費電力を削減し、及び/又は衛星故障モードを減少し得る。

#### 【0126】

図11は、本開示の態様による、リターンリンク信号送信のためのGBBFのための実例となるシステム1100のブロック図を示す。システム1100のコンポーネントは、地上セグメント102 - b（例えば、アクセスノード端末130、ネットワーク装置141などを含む）と、宇宙セグメント101 - b（例えば、通信衛星120 - cを含む）との間で分配され得、及び地上セグメントに受信ビームフォーミングネットワークを実装する例を示す。いくつかの例では、地上セグメント102 - bは、図10を参照して説明したような地上セグメント102 - aとコンポーネントを共有し得る（例えば、共通のアクセスノード端末130においてフォワードリンク及びリターンリンクのためのGBBFを支援する、共通のトラフィックマネージャ1020又は1120を共有するなど）。同様に、いくつかの例では、宇宙セグメント101 - bは、図10を参照して説明したような宇宙セグメント101 - aとコンポーネントを共有し得る（例えば、同じ通信衛星120でのフォワードリンク及びリターンリンク通信を支援する）。他の例では、別個の通信衛星がフォワードリンク及びリターンリンク通信に使用され得る（例えば、フォワードリンク通信のための通信衛星120 - b及びリターンリンク通信のための異なる通信衛星120 - c）。

#### 【0127】

システム1100の宇宙セグメント101 - bは、通信サービスのリターンリンク通信信号1195を受信し（例えば、通信衛星120 - cのアンテナアセンブリ121 - fにおいて）、及び通信サービストラフィック1105と関連し得、ここで、リターンリンク通信信号1195は、1つ以上のソースデバイス（例えば、ユーザ端末150）によって送信されている。リターンリンク通信信号1195は、フィードアレイアセンブリ127 - fの複数のアンテナフィード素子128 - f（例えば、フィード素子128 - f - 1 ~ 128 - f - L<sub>rx</sub>）で受信され、及び電磁波エネルギーからL<sub>rx</sub>個の電気フィード素子R<sub>x</sub>信号1185に変換され得、ここで、L<sub>rx</sub>は、リターンリンク通信の受信に使用されたフィード素子128 - fの数である。いくつかの例では、リターンリンク通信に使用されるフィードアレイアセンブリ127 - fは、フォワードリンク通信に使用されるフィードアレイアセンブリ127とコンポーネントを共有し得る（例えば、図10を参照して説明したように、フィードアレイアセンブリ127 - eと共通のフィード素子128において送受信機を使用する）。他の例では、リターンリンク通信に使用したフィードアレイアセンブリ127 - fは、全体的に、フォワードリンク通信に使用したフィードアレイアセンブリ127と異なるアセンブリであり得る（例えば、図10を参照して説明したように、受信のためのフィードアレイアセンブリ127 - fは、送信のためのフィードアレイアセンブリ127 - eとは別である）。

#### 【0128】

リターンリンク通信信号1195の様々なコンポーネントは、リターンリンクサービスカバレッジエリア410の様々なロケーションから複数のソースデバイスによって送信されたであり得るが、リターンリンク通信信号1195のコンポーネントは、依然として特

10

20

30

40

50



定のスポットビーム 1 2 5 と関連していない。むしろ、リターンリンク通信信号 1 1 9 5 は、特定の周波数及び／又は偏波の信号が特徴的な位相及び／又は振幅オフセットを有し得るように、それぞれのフィード素子 1 2 8 - f - 1 ~ 1 2 8 - f - L<sub>r</sub>x によって受信され得、これらのオフセットは、リターンリンク送信 1 0 9 5 の特定のコンポーネントが何れの方法から送信されたかを決定するために使用され得、それにより、リターンリンク送信 1 0 9 5 の特定のコンポーネントを特定のスポットビーム 1 2 5 と関連させ、且つ信号受信に空間的な直交度を与える。受信ビームフォーミングの計算は、通信衛星 1 2 0 - c で実行されないため、フィード素子 R x 信号 1 1 8 5 は、別々の形態に維持され（例えば、別々のワイヤリングによって）、及びマルチプレクサー 1 1 7 0 に提供される。

#### 【 0 1 2 9 】

いくつかの例では、マルチプレクサー 1 1 7 0 は、フィード素子 R x 信号 1 1 8 5 を組み合わせる多重化ダウンリンク信号 1 1 6 5 を生成し得、これが送信機 1 1 6 0 に提供される。フィード素子 R x 信号 1 1 8 5 は、周波数分割多重化、時分割多重化、符号分割多重化又はフィード素子 R x 信号 1 1 8 5 の情報の通信を分離可能な方法で支援する任意の他の形態の多重化によって組み合わせられ得る。いくつかの例では、図 1 0 を参照して説明したように、リターンリンク通信に使用されるマルチプレクサー 1 1 7 0 は、フォワードリンク通信に使用されるデマルチプレクサー 1 0 7 0 とコンポーネントを共有し得、及び他の例では、マルチプレクサー 1 1 7 0 及びデマルチプレクサー 1 0 7 0 は、全体的に、通信衛星 1 2 0 の別個のコンポーネントであり得る（例えば、別個の信号処理チェーン）。いくつかの例では、多重化ダウンリンク信号 1 1 6 5 は、スプリッター 1 1 8 0、マルチプレクサー 1 0 7 0 及び／又は多重化ダウンリンク信号 1 1 6 5 を提供する他のコンポーネントを含む、通信衛星 1 2 1 - f の信号プロセッサ（例えば、アナログ信号プロセッサ又はデジタル信号プロセッサ）の出力であり得、これは、専用の受信信号プロセッサであり得るか、又は送信信号プロセッサとコンポーネントを共有し得る（例えば、図 1 0 の実例となるシステム 1 0 0 0 を参照して説明した信号プロセッサ）。

#### 【 0 1 3 0 】

通信衛星 1 2 0 - c は、多重化ダウンリンク信号 1 1 6 5 を、送信機 1 1 6 0 を介して（例えば、アンテナアセンブリ 1 2 1 又は別のタイプのアンテナによって）、フィードダウンリンク信号 1 1 4 5 で地上セグメント 1 0 2 - b に送信する。いくつかの例では、リターンリンク通信に使用される送信機 1 1 6 0 は、フォワードリンク通信に使用される受信機 1 0 6 0 とコンポーネントを共有し得る（例えば、共通のアンテナの送受信機を使用する）。他の例では、リターンリンク通信に使用される送信機 1 1 6 0 は、全体的に、フォワードリンク通信に使用される受信機 1 0 6 0 と異なるアセンブリであり得る（例えば、別個のアンテナアセンブリ 1 2 1 を使用する、共通の反射器を共有する別個の送信機及び受信機を使用するなど）。

#### 【 0 1 3 1 】

いくつかの例では、通信衛星 1 2 0 - c は、フィード素子 R x 信号 1 1 8 5 をフィード素子 R x コンポーネント信号 1 1 7 5 に分割して、複数のマルチプレクサー 1 1 7 0（例えば、第 1 のマルチプレクサー 1 1 7 0 及び第 2 のマルチプレクサー 1 1 7 0 - a）に供給するスプリッター 1 1 8 0 - a を含み得る。スプリッター 1 1 8 0 - a は、フィード素子 R x 信号 1 1 8 5 を、例えば本明細書で説明したように異なる色と関連し得る異なる周波数又は偏波のコンポーネントに分割し得る。いくつかの例では、第 2 のマルチプレクサー 1 1 7 0 - a は、第 2 の送信機 1 1 6 0 - a に提供され得る第 2 の多重化ダウンリンク信号 1 1 6 5 - a を生成し得る（いくつかの例では、送信機 1 1 6 0 及び 1 1 6 0 - a は、同じ送信機を使用し得るか、又は他に共通の送信機 1 1 6 0 のコンポーネントを共有し得るものの）。第 2 の送信機 1 1 6 0 - a は、フィードダウンリンク信号 1 1 4 5 と異なる色と関連したフィードダウンリンク信号であり得る第 2 のフィードダウンリンク信号 1 1 4 5 - a において第 2 の多重化ダウンリンク信号 1 1 6 5 - a を送信し得る。いくつかの例では、異なるアクセスノード端末 1 3 0 は、異なる色の通信と関連し得るため、フィードダウンリンク信号 1 1 4 5 及び 1 1 4 5 - a は、異なるアクセスノード端末 1 3 0 に

10

20

30

40

50

提供され得る。他の例では、異なるマルチプレクサー 1 1 7 0 がフィード素子 1 2 8 - f の異なるサブセットと結合され得、異なるフィードダウンリンク信号 1 1 4 5 が、フィード素子 1 2 8 - f の異なるサブセットによって支援されるスポットビーム 1 2 5 と関連するようにする。

#### 【 0 1 3 2 】

地上セグメント 1 0 2 - b は、アクセスノード端末アンテナシステム 1 3 1 の例であり得る受信機 1 1 4 0 で入力としてフィードダウンリンク信号 1 1 4 5 を受信し得る。いくつかの例では、リターンリンク通信に使用される受信機 1 1 4 0 は、フォワードリンク通信に使用される送信機 1 0 4 0 とコンポーネントを共有し得る（例えば、共通のアクセスノード端末 1 3 0 の送受信機を使用する）。他の例では、リターンリンク通信に使用される受信機 1 1 4 0 は、全体的に、フォワードリンク通信に使用される送信機 1 0 4 0 と異なるアセンブリであり得る（例えば、同じアクセスノード端末 1 3 0 において別個のアクセスノード端末アンテナシステム 1 3 1 を使用する、アクセスノード端末アンテナシステム 1 3 1 の共通の反射器を共有する別個の送信機及び受信機を使用する、全体的に別個のアクセスノード端末 1 3 0 を使用するなど）。

#### 【 0 1 3 3 】

受信多重化ダウンリンク信号 1 1 3 5 は、デマルチプレクサー 1 1 3 0 に提供され得、これは、受信多重化ダウンリンク信号 1 1 3 5 を  $L_r \times$  個のフィード素子コンポーネント信号 1 1 2 8 に分離する。デマルチプレクサー 1 0 7 0 は、周波数分割デマルチプレクシング、時分割デマルチプレクシング、符号分割デマルチプレクシング又はフィード素子コンポーネント信号 1 1 2 8 を受信多重化ダウンリンク信号 1 1 3 5 から分離できる任意の他のデマルチプレクシングを支援し得る。いくつかの例では、図 1 0 を参照して説明したように、リターンリンク通信に使用されるデマルチプレクサー 1 1 3 0 は、フォワードリンク通信に使用されるマルチプレクサー 1 0 3 0 とコンポーネントを共有し得、及び他の例では、デマルチプレクサー 1 1 3 0 及びマルチプレクサー 1 0 3 0 は、全体的に、通信衛星 1 2 0 の別個のコンポーネントであり得る（例えば、別個の信号処理チェーン）。それに続いて、デマルチプレクサー 1 1 3 0 は、フィード素子コンポーネント信号 1 1 2 8 を  $R \times BFN710 - f$  に提供し得る。

#### 【 0 1 3 4 】

$R \times BFN710 - f$  は、本明細書で説明したような  $R \times BFN710$  の例であり得、及び受信機 1 1 4 0 と  $K$  個のスポットビーム信号経路との間に結合され得る。 $R \times BFN710 - f$  は、様々なソースデバイスから受信したような通信サービストラフィック 1 1 0 5 の複数の部分を含む  $K$  個の  $R \times$  スポットビーム信号 1 1 2 5 を生成し、ここで、 $K$  は、通信サービスのリターンリンク送信のためにシステム 1 1 0 0 によって同時に支援されるスポットビーム 1 2 5 の数であり得る。 $R \times BFN710 - f$  は、 $BWP714 - b$  からビームフォーミング重みセット 1 1 2 7 を受信し、及びビーム重みをフィード素子コンポーネント信号 1 1 2 8 に適用して、 $R \times$  スポットビーム信号 1 1 2 5 を生成し得る。 $BWP714 - b$  は、ビームホッピング構成のタイムスロットに従ってビーム重みを適用すること、ネイティブなアンテナパターンに従う調整、通信衛星 1 2 0 - c の軌道位置に従う調整、及びこれらの組み合わせを含む、本明細書で説明する技術の何れかに従ってビームフォーミング重みセット 1 1 2 7 を提供し得る。

#### 【 0 1 3 5 】

それぞれの  $R \times$  スポットビーム信号 1 1 2 5 を生成するためにビーム重みを適用するプロセスは、図 8 を参照して説明した  $R \times$  スポットビーム信号を生成するプロセスと同様であり得る。しかしながら、フィード素子コンポーネント信号 1 0 2 8 は、地上セグメント 1 0 2 - b のフィード素子によって直接受信されないため、フィード素子コンポーネント信号 1 1 2 8 は、宇宙セグメント 1 0 1 - b の通信衛星 1 2 0 - c によって受信されるものと同じ特性（例えば、周波数、偏波、時点同期など）を有する必要はない。むしろ、フィード素子コンポーネント信号 1 0 2 8 は、多重化 / デマルチプレクシング、フィードリンク送信及び / 又は  $R \times BFN710 - f$  による変換を容易にするように変換され得る。

## 【 0 1 3 6 】

それに続いて、 $R \times$  スポットビーム信号 1 1 2 5 は、 $R \times$  B F N 7 1 0 - f によってトラフィックマネージャ 1 1 2 0 に提供され得る。 $R \times$  スポットビーム信号 1 1 2 5 は、別個のデジタル又はアナログハードウェア経路（例えば、図 7 を参照して説明したような  $K$  個の信号経路ハードウェアセクション）によって提供され得るか、又はソフトウェアに組み込まれた論理チャネルであり得る。フィード素子コンポーネント信号 1 1 2 8 に適用された  $R \times$  ビームフォーミングの結果、リターンリンク通信信号 1 1 9 5 のコンポーネントによって伝えられる情報は、別個のスポットビーム 1 2 5 に従って識別され得るため、関連のスポットビームカバレッジエリア 1 2 6 に従って通信信号を分離し、且つリターンリンクサービスカバレッジエリア 4 1 0 にわたる周波数受信の再使用を支援する。それに続いて、トラフィックマネージャ 1 1 2 0 は、通信サービストラフィック 1 1 0 5 を例えば 1 つ以上の他の装置及び/又はネットワーク、例えば図 1 を参照して説明したネットワーク 1 4 0 及び/又はネットワーク装置 1 4 1 に提供し得る。

10

## 【 0 1 3 7 】

そのため、トラフィックマネージャ 1 1 2 0 は、地上セグメント 1 0 2 - b において適用されたビームフォーミング重みセット 1 1 2 7 によって形成された  $R \times$  スポットビーム 1 2 5 に従って通信サービスのリターンリンク信号を解釈し得る。地上セグメント 1 0 2 - b でそのような受信ビームフォーミングを実行することにより、通信衛星 1 2 0 - c は、通信衛星 1 2 0（例えば、図 7 を参照して説明した通信衛星 1 2 0 - a）でビームフォーミングを実行する通信衛星 1 2 0 よりも複雑でないことができる。G B B F によってもたらされたこの複雑さの低下は、O B B F を実施する通信衛星と匹敵するサービスを提供しながら、例えば衛星展開重量、衛星コスト、衛星消費電力を削減し、及び/又は衛星故障モードを減少させ得る。

20

## 【 0 1 3 8 】

図 1 2 は、例示的なビーム重みプロセッサ（BWP）7 1 4 - c を利用するシステム 1 2 0 0 のブロック図を示す。シングル又はマルチプルボードコンピュータ 1 2 0 2（又は均等物）を使用して、双方向データリンク（例えば、図 7 を参照して説明したデータリンク 7 1 6）を一般に N O C（例えば、図 1 を参照して説明したようなネットワーク装置 1 4 1）などの地上制御局である制御局とインターフェースし得る。一般的に、N O C は、遠隔計測追跡制御（T T & C）局と異なるが、所望の場合、T T & C に実装され得る。ビーム重みは、全スポットビーム 1 2 5 及び全タイムスロットについて受信され得る。メモリに結合された 1 つ以上のプロセッサを含み得るコンピュータ 1 2 0 2 は、制御局に送信するためのデータリンク送信機にフィードバックデータを提供する A R Q プロトコルを実装し得る。フィードバックデータは、アップリンクデータの受信の成功又は不成功の通知を含み得る。アップリンクデータは、例えば、ビーム重み、ドエルタイム、経路ゲイン、指令及び任意の他の好適なデータを含み得る。

30

## 【 0 1 3 9 】

BWP 7 1 4 - c 又はその関連のハードウェアは、複数のビームフォーミング重みマトリクス（例えば、送信ビームフォーミング重みセット、受信ビームフォーミング重みセット又はそれらの組み合わせ）のための大容量記憶装置を提供し得る。ビームフォーミング重みマトリクスは、1 つのタイムスロットの期間に全スポットビーム 1 2 5 を送信及び受信するために使用される全ビームフォーミング重みベクトルの組を含み得る。ビーム重みベクトルは、1 つのタイムスロットの期間中に 1 つのスポットビーム 1 2 5 を生じるために使用される、一群となった  $L_t \times$  又は  $L_r \times$  個の個々の複素ビーム重みを含み得る。そのため、送信ビームフォーミング重みベクトルは、個々の複素送信ビーム重みを含む一方、受信ビームフォーミング重みベクトルは、個々の複素受信ビーム重みを含む。ビームフォーミング重みマトリクスは、一般的に、スポットビームカバレッジエリア 1 2 6 の所望のロケーションに基づいてビームホップフレームにおける各タイムスロットについて制御局で計算される（例えば、送信スポットビーム 1 2 5、受信スポットビーム 1 2 5 又はそれらの両方の所望の方向）。ビームホップフレームは、一連のビームホップタイムスロッ

40

50

トを含み得、各タイムスロットは、関連のドエルタイムを有している。ドエルタイムは、全スロットに対して固定され得るか、又はドエルタイムは、タイムスロットベースで可変であり得、ドエルタイムは、潜在的に、フレーム毎に変化する。一例では、ドエルタイムは、可変数のタイムスロットの持続時間であり得、ここで、各タイムスロットは、一定の持続時間である。別の例では、ドエルタイムは、1つ以上のタイムスロットの持続時間であり得、ここで、タイムスロットの持続時間は、変化し得る。

#### 【0140】

いくつかの実施形態では、ビームフォーミング重みセットは、ビームホッピングフレームの全タイムスロットの期間に全スポットビーム125を送信及び受信するために使用される全ビームフォーミング重みベクトルの組を含む。加えて又は代わりに、ビームホッピングフレーム定義は、ビームホッピングタイムスロットの連結リストを含み得る。連結リストアプローチでは、各タイムスロットのダイナミックなドエルタイムは、連結リストに簡単に組み込まれ得る。任意の他の好適なデータ構造もフレーム定義に使用され得る。ビームホッピングフレーム定義は、例えば、図7に示すように、各経路に選択可能なゲインチャネル増幅器を設定するための経路ゲインも含み得る。

#### 【0141】

ビームフォーミング重みセットアプローチを使用する例示的な通信衛星120では、少数（例えば、数十）のビームフォーミング重みセットが事前計算され、且つ通信衛星120にあるBWP714にアップロードされ得る。その後、これらのビームフォーミング重みセットは、何れのビームフォーミング重みセットを何れの時点で使用するかを指示する地上からの単一の指令により、いかなる時点でもオペレーションに切り替えられ得る。これにより、BWP714にかなりの量の情報をアップロードする必要なく、ビームフォーミング重みセットの切り替えを可能にする。例えば、いくつかの実施形態では、24個の完全なビームフォーミング重みセットは、事前計算され、アップロードされ、及びBWP714-cにおいて（例えば、メモリ1204に）記憶される。1時間に1度（又は任意の他の好適なスケジュールで）、異なるビームフォーミング重みセットがデータリンクを介してBWPによって使用されるために選択され得る。これにより、スポットビームカバレッジエリア126及びトラックへの容量の割り当て、例えば毎日の又は24時間ベースの需要の時間別変化を可能にする。

#### 【0142】

ビームフォーミング重みセットは、かなりの量のデータを含み得る。例えば、いくつかの実施形態では、ビームフォーミング重みセットは、 $L_t \times L_r \times$  個のフィード素子128（例えば、1024）、 $\times K$  個の経路（例えば、80）、 $\times Q$  個のタイムスロット（例えば、64）、 $\times$  ビーム重み当たり必要とされるビット数（例えば、Iには12.6ビット及びQには6ビット）に対応するデータを含み得る。例えば、図12では、これは、合計して、1重みセット当たり約16MBのデータになる。衛星へのデータ及び指令アップリンクは、一般に非常に高速でないことがあり得る。1Mbpsのデータリンクでも、16MBのビームフォーミング重みセットをアップロードするために128秒費やす。そのため、多くのビームフォーミング重みセットを非リアルタイムでプレローディングすることは、BWP714が衛星に設置されているいくつかの適用例でより好都合であり得る。BWP714が地上セグメント102の一部であるとき（例えば、図10を参照して説明した地上セグメント102-a）、そのような考慮は、重要でないことがあり得る。

#### 【0143】

BWP714-cに記憶したビームフォーミング重みセットの1つは、アクティブなビームフォーミング重みセットとして選択され、且つホッピング（hopped）スポットビーム125の生成に使用され得る。このアクティブなビームフォーミング重みセットは、デュアルポートRAMなどのメモリ1204に記憶され得、これにより、コンピュータ1202が次のアクティブなビームフォーミング重みセットをロードし、及び何らかの外部論理が現在のアクティブなビームフォーミング重みセットの個々のビームフォーミング重みベクトルに動的にアクセスできるようにする。その後、アクティブなビームフォーミ

10

20

30

40

50

ング重みセットの個々のビームフォーミング重みベクトルは、順次論理 1 2 0 6 の制御下で適切な時にビームフォーミング重みとして出力され得る。順次論理 1 2 0 6 の例は、1 タイムスロット当たり 1 増加するタイムスロットカウンタ 1 2 0 8 を含み得る。タイムスロットカウンタ 1 2 0 8 は、いくつかの実施形態では単純な 6 ビットのカウンタであり得、及び 1 フレーム当たり  $2^6 = 64$  個のタイムスロットまでのフレームを取り扱い得る。カウンタ値は、ビームホッピングフレームのスロット数（例えば、1 ... 64）を表し得る。順次論理 1 2 0 6 は、タイムスロットカウンタ 1 2 0 8 の出力を取り、及び（1）メモリ 1 2 0 4 の適切なアドレス、（2）BFN モジュールのラッチのアドレス、及び（3）データバスにビーム重みを置くための制御信号を生成し得る。その後、順次論理 1 2 0 6 は、このデータをビームフォーミングモジュール 1 2 1 0 内の適切なラッチにロードし、これは、BFN 7 1 0 又は BWP 7 1 4 の何れかと同一場所に配置され得るか、又はその一部であり得る。

10

#### 【0144】

ビームフォーミングモジュール 1 2 1 0 内において、データは、各ビームフォーミング重みベクトル内の全ビーム重みが同時に変化できるようにするためにダブルラッチされ得る。これは、タイムスロット境界と同期した全スポットビームのホッピングを保証し得る。データは、イネーブル信号に基づいて第 1 のラッチにロードされ得、イネーブル信号は、BFN 7 1 0 又は BWP 7 1 4 の何れかと同一場所に配置され得るか又はその一部であり得るデコーダ 1 2 1 2 によってラッチアドレスから復号される。その後、全データが、順次論理から、ストローブ信号と同期してデジタルアナログ（D/A）変換器に同時にロードされ得る。ストローブは、順次論理 1 2 0 6 内で生成されて、各タイムスロットの開始時に生じ得る。

20

#### 【0145】

図 1 2 の例では、BFN モジュール内にいくつかのコンポーネントが示されている。このアプローチは、BWP 7 1 4 と BFN 7 1 0 との間の接続数を減らし得るか又は最小にし得るために好都合であり得るが、他の考えられる実装例を使用し得る。例えば、相互接続信号は、48 ビットデータバス、ラッチアドレスバス及びストローブラインに制限され得る。48 ビットデータバスは、一度に 4 個の複素重みのローディングを可能にし得る（I に対し 6 ビット + Q に対し 6 ビット、 $\times 4$  個の重み = 48 ビットに基づいて）。この例では、合計  $L = 1024$  個のフィード素子  $\times K = 80$  個の経路  $\times 2$ （Tx 及び Rx に対し）、合計 163,840 個の複素重みがある。一度に 4 個の複素ビーム重みのローディングは、40,960 個のアドレス可能ロケーション又は 16 ビットのラッチアドレスバスを必要とし、合計  $48 + 16 + 1 = 65$  ラインの相互接続を生じる。

30

#### 【0146】

いくつかの実施形態では、アドレスデコード、ラッチ及び D/A は、BWP 自体に組み込まれる。これは、BFN モジュールを単純にするが、必要な相互接続数を著しく増加させる。例えば、 $L = 1024$  個の素子  $\times K = 80$  個の経路  $\times 2$ （Tx 及び Rx に関し） $\times 2$ （I 及び Q）= 327,680 アナログ電圧（D/A 出力）ラインを使用する。

#### 【0147】

図 1 3 A ~ 1 3 C は、本開示の態様による、 $K = 4$  個の経路を有する通信衛星 1 2 0 の例を示す。

40

#### 【0148】

図 1 3 A は、通信衛星 1 2 0 のペイロードの図 1 3 0 0 を示す。Cleveland（指定されたスポットビーム 1 2 4）で始まり且つ Pittsburgh（指定されたスポットビーム 3 1 9）を送信先とするトラフィックを伝える例示的な経路に関する瞬間的な（例えば、タイムスロット）信号の流れが破線 1 3 0 2 内に示されている。BWP 7 1 4 - d は、係数を、例えば図 8 に示したように係数を適切な値に設定して、フェーズドアレイ受信アンテナアセンブリ 1 2 1 の LHC P フィード素子 1 2 8 を、Cleveland スポットビーム 1 2 5 と関連するスポットビームカバレッジエリア 1 2 6 にフォーカスさせる。指定された受信スポットビームカバレッジエリア 1 2 6 内のアクセスノード端末 1

50

30及び/又はユーザ端末150を含む端末は、LHCPアンテナによって指定されたアップリンク周波数で同報通信する。これらの信号の受信バージョン（例えば、フィード素子Rx信号）は、処理されて、Rx BFN710-gから経路1に出力され、その後、上述の通り処理する経路を通り抜ける。その後、経路1からの出力は、Tx BFN710-i（例えば、フィード形成ネットワーク）に入力される。BWP714-dは、係数（例えば、図9を参照して説明したような）を適切な値に設定して、フェーズドアレイ送信アンテナのRHCPフィード素子128を、Pittsburghビームとして指定されるエリアにフォーカスさせる。指定された送信スポットビームカバレッジエリア126内にアクセスノード端末130及び/又はユーザ端末150を含む端末は、RHCPアンテナで、指定されたダウンリンク周波数で受信する。

10

#### 【0149】

通信衛星120の観点では、アップリンク信号は、衛星の受信サービスカバレッジエリア410に設置された送信用ユーザ端末150から又は送信用アクセスノード端末130から通信衛星120によって受信される。ダウンリンク信号は、通信衛星120から、衛星の送信サービスカバレッジエリア410内に設置された受信用ユーザ端末150又は受信用アクセスノード端末130に送信される。地上器材（例えば、ユーザ端末150及びアクセスノード端末130）の観点では、受信サービスカバレッジエリア410及び送信サービスカバレッジエリア410は、逆にされ得る。

#### 【0150】

図13Bは、例示的な通信衛星120の瞬間的な構成の構成表1310を示す。各行は、1つの経路に対応する。列1312は、経路の数1...Kを含む。列1316は、

20

1. 英数字の列であり得る、アップリンク受信スポットビーム125の独自の呼称、

2. 信号の移動方向を指示する、英数字の「矢印」、

3. 同様に英数字の列であり得る、対応するダウンリンク送信スポットビーム125を含む。これらの例では、経路は、典型的な業界の慣行に従う交差偏波であり得る。本明細書の例示的な通信衛星120の慣例は、第1のK/2経路は、LHCPアップリンクスポットビーム125を受信し、及びRHCPダウンリンクスポットビーム125を送信する一方、第2のK/2経路は、RHCPアップリンクスポットビーム125を受信し、及びLHCPダウンリンクスポットビーム125を送信することである。

#### 【0151】

30

図13Cは、エリアマップ1320に重ねられた例示的なタイムスロットカバレッジエリアを示す。前述の通り、経路1は、ClevelandからのLHCPアップリンク及びPittsburghに至るRHCPダウンリンクを有する。通信衛星120は、この経路に対して示されているが、この図に示されている他の3つの経路に関して省略されている。例えば、経路3は、Washington, D.C.からのRHCPアップリンク及びColumbusに至るLHCPダウンリンクを有し、及び図面では直線によって示されている。

#### 【0152】

ビームホッピングフレーム内の何れのタイムスロットにおいても、各スポットビーム125におけるフォワード容量は、地上器材の特性を含むリンク分析を実行することによって計算され得る。標準的なリンク分析を実行することにより、スポットビームカバレッジエリア126内の特定の点に対する、端から端までの搬送波対雑音+干渉比 $E_s / (N_o + I_o)$ を計算できる。端から端までの搬送波対雑音比 $E_s / N_o$ は、一般に、熱雑音C/I、相互変調歪及びアップリンク及びダウンリンクの両方への他の干渉状態の影響を含む。結果として生じる端から端までの $E_s / (N_o + I_o)$ から、変調及び符号化は、容量を最大にする波形ライブラリから選択され得る。波形ライブラリの例は、DVB-S2規格に含まれるが、任意の好適な波形ライブラリが使用され得る。選択された波形（変調及び符号化）は、スポットビームカバレッジエリア126内のその特定点に対する、bps/Hzにおいて測定されたスペクトル効率を生じる。

40

#### 【0153】

50

ブロードキャストデータ配信のために、スペクトル効率は、スポットビームカバレッジエリア 126 内で最も不都合な点（例えば、ワーストリンクバジェット）で計算され得る。マルチキャストデータ配信では、スペクトル効率は、マルチキャスト群内の最も不都合なユーザのロケーションで計算され得る。ユニキャストデータ配信では、適応符号化変調（ACM）が利用され得、ここで、スポットビームカバレッジエリア 126 内の各ロケーションに配信されたデータは、個別に符号化されて、スポットビームカバレッジエリア 126 内のその特定のロケーションのリンクバジェットに適合される。これは、DVB-S2 規格の場合である。ACM が利用されるとき、平均的なスペクトル効率も関連する。2008 年 7 月 21 日出願の Mark J. Miller への米国特許出願公開第 2009-0023384 号明細書に説明されているように（その全体が参照により本明細書に援用される）、平均的なスペクトル効率は、スポットビームカバレッジエリア 126 内の全てのロケーションに対してスペクトル効率の加重平均を計算することによって生成され得る。

10

#### 【0154】

その後、スポットビーム 125 内のリンク容量は、スペクトル効率（bps/Hz）と、スポットビーム 125 内の割り当てられた BW との積として計算され得る。ビームホッピングフレームにおける 1 つのタイムスロット中の総容量は、タイムスロット中にアクティブである全てのスポットビーム 125 の容量の和である。総容量は、個々のビームホッピングフレームの容量の平均である。総容量を最大にするために、ビーム重みは、最大のアンテナ指向性を生じさせるために、全スポットビーム 125 及び全タイムスロットに対して設定され得る。同じタイムスロットにおいて形成され且つ同じ偏波及びスペクトルを使用するスポットビーム 125 は、C/I を最大にする（従って他のスポットビーム 125 への干渉を最小にする）ために可能な限り遠方に離間される必要がある。これらの条件下では、各スポットビーム 125 のスペクトル効率を全タイムスロットにおける全スポットビーム 125 に対してほぼ同じにすることが一般的である。この仮定下では、システムのフォワード容量は、以下に従って概算され得る。

20

$$C_F = K_F \cdot H_z \cdot W \quad (1)$$

式中、H<sub>z</sub> は、bps/Hz におけるスペクトル効率であり、 $K_F$  は、フォワードスポットビーム 125 の数であり、及び  $W$  は、1 スポットビーム 125 当たりの割り当てられたスペクトルである。式（1）から、パラメータの何れかの増加によって容量を増加することが分かり得る。

30

#### 【0155】

一度にアクティブであり得るスポットビーム対の最大数  $K_F$  は、本質的に、通信衛星 120 の質量及び体積のバジェットによって決定される。通信衛星 120 での電力制限は、値  $K_F$  にも影響を及ぼし得るが、質量及び体積の制約は、一般的により限定的である。

#### 【0156】

本明細書で開示する衛星通信サービスを提供するためのアーキテクチャは、H<sub>z</sub> 及び  $W$  を最大にするのに効率的である。小サイズのスポットビーム 125 及び（ペイロードサイズ、重量及び  $K_F$  での電力制限によって）一度にアクティブであり得る比較的少数のスポットビーム 125 に起因して、割り当てられたスペクトルは、全てスポットビーム 125 間の干渉が最小限であり、各スポットビーム 125 内で使用され得る。これを達成するために、同じタイムスロット内でアクティブである同じ偏波のスポットビーム 125 は、可能な限り遠方に位置決めされる必要がある。代わりに、C/I を改善するために、1 スポットビーム 125 当たりのスペクトルのごく一部のみを使用し得るが、本アーキテクチャがビームホッピングの性質を有するために、これは、容量を少なくし得る。例えば、各スポットビーム 125 が利用可能なスペクトルの半分、すなわち  $W/2$  Hz を使用すると想定する。その場合、いかなる時点においても、共周波数であり且つ干渉の可能性を示すスポットビーム 125 の数の半数となる。結果として生じる C/I は、増加し、従って、C/I は、端から端までの  $E_s / (N_o + I_o)$  バジェット内の多くのコンポーネントの 1 つにすぎず、及びスペクトル効率は、一般的に  $E_s / (N_o + I_o)$  の対数として変化

40

50

するため、スペクトル効率  $\text{—H}_Z$  は、わずかに高まる。しかし、1 スポットビーム 1 2 5 当たりの B W は、2 分の 1 だけ減少され、及び予想通り、スポットビーム 1 2 5 の数が通信衛星 1 2 0 の信号経路の数によって制限され得るため、総容量が減少する。

#### 【 0 1 5 7 】

1 スポットビーム 1 2 5 当たりのスペクトル効率は、本アーキテクチャを使用するとかなり高い。なぜなら、アクティブなスポットビームカバレッジエリア 1 2 6 が遠方に離間され得、及びスポットビーム 1 2 5 の指向性が大きいことがあり得るためである。前者は、大きい範囲のサービスカバレッジエリア 4 1 0、小サイズのスポットビーム 1 2 5 及び一度にアクティブであり得る比較的少数のスポットビーム 1 2 5 の結果である。後者は、小サイズのスポットビーム 1 2 5 の結果である。

10

#### 【 0 1 5 8 】

いくつかの実施形態では、そのビーム幅に対して関連のスポットビームカバレッジエリア 1 2 6 を減少させることにより、スポットビーム 1 2 5 のスペクトル効率を高めることも望ましいことがあり得る。一般に、スポットビームシステム内のスポットビームカバレッジエリア 1 2 6 は、スポットビーム 1 2 5 の  $-3 \text{ dB}$  の境界線まで又はそれを越えて延在し得る。いくつかのシステムは、スポットビームカバレッジエリア 1 2 6 を  $-6 \text{ dB}$  の境界線まで延在させる。これらの低い境界線の地域は、多くの理由で望ましくない。第 1 に、それらは、ダウンリンク  $E_s / N_0$  を低下させ、且つダウンリンク  $C / I$  を低下させ得る。 $C / I$  の低下は、スポットビームカバレッジエリア 1 2 6 の縁のロケーションが他のスポットビームカバレッジエリア 1 2 6 に近くなるときの信号電力 ( $C$ ) の低下と干渉 ( $I$ ) の増加の結果である。加重平均容量 (例えば、ユニキャストデータ配信のための) 又はスポットビーム容量の縁 (例えば、ブロードキャストのデータ配信のための) を計算するとき、スポットビーム 1 2 5 の縁でのこの大きいアンテナのロールオフは、容量を低下させ得る。しかしながら、本アーキテクチャによれば、スポットビームカバレッジエリア 1 2 6 は、アンテナロールオフが遥かに少ない約  $-1.5 \text{ dB}$  などのスポットビーム 1 2 5 内の地域に限定され得る。これは、ビーム中心に対して  $-3 \sim -6 \text{ dB}$  レベルのロケーションがスポットビーム 1 2 5 内にないため、スペクトル効率を高め得る。しかしながら、スポットビームカバレッジエリア 1 2 6 をより小さくし得るが、これは、ホッピングにより、ビームホッピングフレーム内のより多くの領域を補償し得る (例えば、1 フレーム当たりのタイムスロット数を増加する)。

20

30

#### 【 0 1 5 9 】

リンク容量は、以下によって増強され得る：

- ・ 1 スポットビーム 1 2 5 当たりの割り当てられた全スペクトルの使用。
- ・ 高ビーム指向性及び大きいアップリンク  $E_s / N_0$ 、最終的にはより良好なりターンリンクスペクトル効率を生じる、小さいスポットビーム 1 2 5 の使用。
- ・ 1 フレーム当たりの多くのスロットを有するビームホッピングフレーム内で小さいスポットビーム 1 2 5 をホッピングすることによって実現される大きいサービスカバレッジエリア 4 1 0 であり、これにより、比較的少数のスポットビーム 1 2 5 が一度にアクティブとなり、及び大きいサービスカバレッジエリア 4 1 0 全体に広がる。そのため、スポットビーム 1 2 5 は、遠方に離間され得、より高いスペクトル効率につながる高  $C / I$  値を生じる。

40

・ スポットビームロールオフの縁が比較的小さく、例えば約  $-1.5 \text{ dB}$  となるようなより小さいスポットビームカバレッジエリア 1 2 6 の定義。これにより、アップリンク  $C / I$  及び  $E_s / N_0$  の両方を低下させるスポットビームカバレッジエリア 1 2 6 の比較的高いロールオフロケーションがなくされたため、平均的なスペクトル効率及び 1 スポットビーム 1 2 5 当たりの容量を上昇させる。

#### 【 0 1 6 0 】

図 1 4 は、本開示の態様による、衛星通信を支援する例示的なプロセス 1 4 0 0 を示す。プロセス 1 4 0 0 は、1 つの経路 (図 1 3 A の破線 1 3 0 2 内に示す経路など) に対応し得、これは、図 1 を参照して説明した衛星通信システム 1 0 0 などのハブ - スポーク衛

50



星通信システムのフォワード及び／又はリターンリンクに供され得る。実際的应用では、多数のこれらの経路は、単一のタイムスロットドエルタイム間でアクティブであるため、対応する多数のこれらのプロセスは、並行して動作することを理解すべきである。

【 0 1 6 1 】

1 4 0 2 では、現在のフレームが選択される。例えば、ビーム重みプロセッサ（例えば、図 7 又は図 1 0 ~ 1 3 を参照して説明したような B W P 7 1 4 ）は、データリンク（例えば、図 7 を参照して説明したようなデータリンク 7 1 6 ）を介して 1 つ以上の事前計算された重みセットを受信し得る。1 4 0 2 で選択されたフレームは、1 つ以上のタイムスロット定義及び 1 つ以上のビームフォーミング重みマトリクスを含み得る。例えば、B W P 7 1 4 又はその関連のハードウェアは、複数のビームホップタイムスロット定義及び複数のビームフォーミング重みマトリクスに大容量記憶を提供し得る。ビームフォーミング重みマトリクスは、1 つのタイムスロットにおいて全スポットビーム 1 2 5 の送信及び受信に使用される全複素ビームフォーミング重みベクトルの組を含み得る。ビームフォーミング重みベクトルは、フィードアレイアセンブリ 1 2 7 のフィード素子 1 2 8 を介して伝えられるフィード素子へのノイズからの  $T \times R$  信号の計算に使用されて、1 つのタイムスロットの期間に 1 つのスポットビーム 1 2 5 を形成する  $L_t \times$  又は  $L_r \times$  個の個々の複素ビーム重みの群を含み得る。ビームホップタイムスロット定義は、1 つのタイムスロット期間内の全スポットビーム 1 2 5 の全経路ゲインの組を含み得、及びタイムスロットに関連した全ドエルタイムを特定し得る。

【 0 1 6 2 】

1 4 0 4 では、第 1 のタイムスロット定義及び第 1 のビームフォーミング重みマトリクスは、現在のフレームのために選択される。例えば、B W P の順次論理（例えば、図 1 3 を参照して説明したような順次論理 1 3 0 6 ）は、タイムスロットを選択するためのカウンタを含み得る。タイムスロット定義及び／又は重みマトリクスは、1 つ以上の受信スポットビーム 1 2 5、1 つ以上の送信スポットビーム 1 2 5 又はそれらの両方を生じるために使用される位置データも含み得る。例えば、位置データは、タイムスロット中にアクティブなスポットビーム 1 2 5 を生成するために使用される全複素重みベクトルの組を含み得る。

【 0 1 6 3 】

1 4 0 6 では、通信がフォワードリンク又はリターンリンクの一部であるかどうかの決定が下される。上述の通り、ハブ - スポークシステムでは、アクセスノード端末（例えば、図 1 を参照して説明したアクセスノード端末 1 3 0 ）は、下り（例えば、フォワード）リンクを使用するユーザ端末（例えば、図 1 を参照して説明したようなユーザ端末 1 5 0 ）と通信し得る一方、ユーザ端末（例えば、図 1 を参照して説明したようなユーザ端末 1 5 0 ）は、上り（例えば、リターン）リンクを使用するアクセスノード端末 1 3 0 と通信し得る。アクセスノード端末 1 3 0 は、通信衛星（例えば、図 1 A ~ 3 D、図 7、図 1 0 又は図 1 1 を参照して説明した通信衛星 1 2 0 ）に対するそれ自体のアップリンク及びダウンリンクに供され得る。アクセスノード端末 1 3 0 は、ユーザ端末 1 5 0 に対するトラフィックもスケジュールし得る。代わりに、スケジューリングは、衛星通信システムの他の部分において（例えば、1 つ以上の N O C、ゲートウェイ指令センター又は他のネットワーク装置 1 4 1 において）実行され得る。例えば、いくつかの実施形態では、フレーム定義に含まれるゲイン設定値（例えば、各タイムスロット定義の一部として）は、通信がフォワードリンク又はリターンリンクであるかどうかを決定するために使用され得る。

【 0 1 6 4 】

1 4 0 6 においてフォワードリンクが処理されている場合、1 4 0 8 において、経路のゲインが必要に応じてフォワードリンクを支援するように調整され得る。例えば、選択可能なゲインチャネル増幅器は、図 7 に示すように、使用中の経路のためにゲイン設定値を提供し得る。ゲイン設定値は、第 1 のタイムスロット定義から決定され得る。1 4 1 0 において、受信スポットビーム信号は、タイムスロットドエルタイムの持続時間中に形成される。例えば、受信ビームフォーミングネットワーク（例えば、図 7 を参照して説明した

10

20

30

40

50

ような B F N 7 1 0 - a ) を含む衛星ベースの受信アンテナアセンブリ 1 2 1 は、タイムスロットドエルタイムの持続時間中、アンテナアセンブリ 1 2 1 に 1 つ以上の受信スポットビーム 1 2 5 を生じるように構成され得る。受信スポットビーム 1 2 5 は、複数の端末を送信先とする 1 つ以上の多重化信号（例えば、アクセスノード端末 1 3 0 からの多重化信号）を受信するように使用され得る。例えば、多重化信号は、ユーザ端末 1 5 0 を送信先であり得る。多重化信号の個々のコンポーネント信号の少なくともいくつかは、例えば異なるユーザ端末 1 5 0 を送信先とする場合、内容が異なり得る。多重化信号は、例えば、M F - T D M、T D M、F D M、O F D M 及び C D M を含む任意の好適な多重化スキームを使用して多重化され得る。概して、T D M は、単純化するために使用される。

【 0 1 6 5 】

1 4 0 6 においてリターンリンクが処理されている場合、1 4 1 2 において、必要に応じて、ゲインは、リターンリンクを支援するために調整され得る。例えば、選択可能なゲインチャネル増幅器は、図 7 を参照して説明したような、使用中の経路のために独立したゲイン設定値を提供し得る。ゲイン設定値は、第 1 のタイムスロット定義から決定され得る。1 4 1 4 において、受信スポットビーム信号は、タイムスロットドエルタイムの持続時間中に形成され得る。例えば、受信ビームフォーミングネットワーク（例えば、図 4 を参照して説明した B F N 7 1 0 - a ) を含む衛星ベースの受信フェーズドアレイアンテナアセンブリ 1 2 1 は、タイムスロットドエルタイムの持続時間中、アンテナアセンブリ 1 2 1 に 1 つ以上の受信スポットビームを生じるように構成され得る。受信スポットビームは、アクセスノード端末 1 3 0 を送信先とする 1 つ以上の多元接続合成信号（例えば、複数のユーザ端末 1 5 0 から得られる合成信号）を受信するために使用される。多元接続合成信号は、例えば、M F - T D M A、T D M A、F D M A、O F D M A 及び C D M A を含む、任意の好適な多元接続スキームを使用して形成され得る。スロット期間中の多元接続は、全て無作為な接続、全てスケジュールされた送信又は無作為な接続とスケジュールされた送信との混合であり得る。

【 0 1 6 6 】

1 4 1 6 において、送信ビームフォーミングネットワーク（例えば、図 7 を参照して説明した B F N 7 1 0 - b ) を含む、衛星ベースの送信フェーズドアレイアンテナアセンブリ 1 2 1 は、タイムスロットドエルタイムの持続時間中、1 つの T x スポットビーム信号を生成するように構成されている。T x スポットビーム信号は、衛星でのベントパイプ経路を使用して、受信した多重化又は多元接続合成信号から得られる。例えば、周波数変換、フィルタリング及び選択可能なゲイン増幅の 1 つ以上が受信信号で実行されて、T x スポットビーム信号を生じ得る。

【 0 1 6 7 】

1 4 1 8 において、タイムスロットドエル期間が過ぎたため、フレーム定義内に、処理するための追加的なタイムスロットが存在するかどうかの決定が下される。例えば、順次論理（例えば、図 1 3 を参照して説明した順次論理 1 3 0 6 ）が、各フレームの終わりにフレーム定義に含まれるタイムスロットを自動的にループ化するように命令され得る。上述の通り、フレーム定義及びビームフォーミング重みセットは、時間変動し、且つ通信衛星 1 2 0 において局所的に（例えば、図 1 3 を参照して説明した順次論理 1 3 0 6 又はコンピュータ 1 3 0 2 によって）又はデータリンク（例えば、図 7 を参照して説明したようなデータリンク 7 1 6 ）を使用して地上施設において遠隔で動的に調整され得る。1 4 1 8 において、処理するためのタイムスロットがさらにある場合、1 4 2 0 において、次のタイムスロットが処理のために選択され得る。例えば、新しいタイムスロットは、1 4 0 4 において選択されたタイムスロットのタイムスロットドエルタイムが経過した直後に選択され得る。実際、複数のタイムスロット定義及び複数のビームフォーミング重みセットがメモリにロードされ得（例えば、図 1 3 を参照して説明した B W P 7 1 4 - c のメモリ 1 2 0 4 ）、及びタイムスロット定義及びビームフォーミング重みマトリクスは、例えば、連結リスト又は他のデータ構造のポインタを辿ることによってアクセスされ得る。その後、プロセス 1 4 0 0 は、1 4 0 6 に戻って、新しいタイムスロットドエルタイムのため

10

20

30

40

50

に新しいR×スポットビーム信号を生じ、及び新しいT×スポットビーム信号を生成し得る。1418において、フレーム内にこれ以上処理するためのタイムスロットがないという決定が下されると、その後、1419において、新しいフレーム定義又は新しいビームフォーミング重みセットが受信されたかどうかの決定が下される。例えば、フレーム定義及び/又はビームフォーミング重みセットを変更するための指令は、受信され得る(例えば、図13を参照して説明したようなコンピュータ1302から、又はリモートのスケジューラから)か、又は新しいフレーム定義及び/又は新しいビームフォーミング重みセットは、通信衛星120にアップロードされ得る。1419において、新しいフレーム定義も新しいビームフォーミング重みセットも受信していない場合、現在のフレームが再度処理され得る(例えば、自動的に繰り返される)。新しいフレーム定義又は新しいビームフォーミング重みセットが受信された場合、この新しいフレーム定義又はこの新しいビームフォーミング重みセットが処理のために選択され得る。

10

#### 【0168】

提供される高容量の例として、以下のパラメータを備える衛星通信システムが考慮される：

- ・ペイロードによって使用するために15kWの電力が利用可能である、通信衛星120でのアンテナアセンブリ121の5.2mの反射器122。

- ・2つの偏波のそれぞれに割り当てられたスペクトルが1.5GHzである、Kaバンド動作。

- ・それぞれ1.5GHz幅(1つの偏波で全てのスペクトルを使用する)が一度にアクティブとなる100個の経路まで支援するペイロード質量及び体積の制約。50個の経路をフォワードトラフィックに使用し、及び50個の経路をリターントラフィックに使用すると仮定して、各方向において合計 $50 \times 1.5 \text{ GHz} = 75 \text{ GHz}$ のスペクトルを生じる。

20

- ・75cmのユーザ端末150。大きい間隔のスポットビームカバレッジエリア126(大きいサービスカバレッジエリア410)では、結果として生じるフォワードリンクバジェットは、約3bps/Hzのスペクトル効率を支援し、約225Gbpsのフォワード容量を生じる。

- ・リターンリンクバジェットは、1.8bps/Hzを支援し、135Gbpsのリターンリンク容量を生じる。総容量は、約360Gbpsである。

30

#### 【0169】

図7に示したように、通信衛星120は、K個の一般的な組の経路を含み得る。各経路は、形成された受信スポットビーム125又は形成された送信スポットビーム125からなり、これら経路は、通常、フィルタ、ダウンコンバータ及び増幅器からなる経路エレクトロニクスによって相互接続される。ハブ-スポークシステムアーキテクチャを利用する主題発明の一実施形態によれば、これらのK個の経路は、フォワード方向(例えば、アクセスノード端末130からユーザ端末150に)とリターン方向(例えば、ユーザ端末150からアクセスノード端末130に)との間で容量を柔軟に及びプログラム可能に割り当てるために使用され得る。その割り当ては、総リソースを、所望の任意の割合でフォワード及びリターンで分割して、フォワードチャンネル容量とリターンチャンネル容量との間に任意の所望の比にする点で柔軟性がある。割り当ては、リソースの分割を全てのフレームにおいて変更し得るため、フォワード容量とリターン容量の比を迅速に変化させることができる点でプログラム可能である。これは、フォワード/リターン容量の割り当てを変更して、衛星通信システムによってデータ/情報転送を使用して、新しく且つ進化する応用に適合するために特に有用である。

40

#### 【0170】

柔軟な容量の割り当ては、衛星アーキテクチャのリソースの柔軟な割り当てによって達成される。ここで、対象のリソースは、通信衛星120上の物理的な経路の数及び各ビームホッピングフレーム中の部分時間である。2つのアプローチが柔軟な容量の割り当てに提示される。アプローチ1は、時間リソースを柔軟に割り当て、アプローチ2は、HWリ

50

ソースを柔軟に割り当てる。

#### 【0171】

アプローチ1：時間リソースの柔軟な割り当て

このアプローチでは、1つ以上の経路は、部分時間  $F$  をフォワード方向での使用に割り当てられる。残りの時間  $(1 - F)$  は、リターントラフィックに使用される。ビームホッピングフレームには  $Q$  個の固定長のタイムスロットがあると想定する。そのため、 $Q$  個のタイムスロットからの  $QF$   $F$   $Q$  では、経路は、フォワードトラフィックのために構成される。代わりに、フォワードタイムスロット及びリターンタイムスロットは、長さが同じ比によって変動し得るが、以下の例は、固定長のタイムスロットの場合に限定される。

10

#### 【0172】

フォワードトラフィックのために構成されるとは、 $R \times$  スポットビーム125が、アクセスノード端末130のサイトの方に向けた  $R \times$  スポットビーム125を有するビームフォーミング重みベクトルを使用すること、 $T \times$  スポットビーム125が、ユーザサービスエリア（例えば、1つ以上のユーザ端末150を含む  $T \times$  スポットビームカバレージエリア126）に向けた  $T \times$  スポットビーム125を有するビームフォーミング重みベクトルを使用すること、及び経路と関連したチャンネル増幅器が、フォワードチャンネルに適った衛星ネットゲインを生じるように設定されることを意味する。リターントラフィックのために構成されたとは、 $R \times$  スポットビーム125が、ユーザサービスエリア（例えば、1つ以上のユーザ端末150を含む  $R \times$  スポットビームカバレージエリア126）に向けた  $R \times$  スポットビーム125を有するビームフォーミング重みベクトルを使用すること、 $T \times$  スポットビーム125が、アクセスノード端末130のサイトに向けた  $T \times$  スポットビーム125を有するビームフォーミング重みベクトルを使用すること、及び経路と関連したチャンネル増幅器が、リターンチャンネルに適った衛星ネットゲインを生じるように設定されることを意味する。

20

#### 【0173】

ほとんどではなくても多くのハブ - スポーク応用では、ユーザ端末150及びアクセスノード端末130のサイズは、かなり異なる。例えば、アクセスノード端末130のアンテナは、その後ろ側にあるHPAにおいて100ワット代の出力電力容量を備え、直径7mであり得、及びユーザ端末150のアンテナは、その後ろ側にあるHPAにおいて、数ワットのみ出力電力容量を備え、直径1m未満であり得る。そのような状況では、通信衛星120の1つ以上のアンテナアセンブリ121の所望のネット電子ゲインは、フォワード方向ではリターン方向と異なることが一般的である。そのため、概して、経路におけるチャンネル増幅器は、フォワード方向及びリターン方向において異なるゲインに構成される必要がある。

30

#### 【0174】

極端な例では、全経路に関して  $Q_F = Q$  にする。その結果、全容量がフォワードリンクに割り当てられ、及びリターンリンクに容量が割り当てられない、Forward Link Only (FLO) システムとなる。これは、例えば、メディアブロードキャストシステムに有用である。しかしながら、同じ通信衛星120は、フォワード送信に75%（例えば）のタイムスロット及びリターン送信に25%を割り当てるように構成され得る（異なるビームフォーミング重みセット及びチャンネル増幅器ゲインセットのアップロードによって）。これにより、FLOの例の75%のフォワード方向容量及び達成され得る最大の25%のリターン容量を生じる。概して、 $C_{F\_max}$  を、全タイムスロットがフォワード方向に割り当てられたフォワードチャンネル容量とし、及び  $C_{R\_max}$  を、全タイムスロットがリターン方向に割り当てられたリターンチャンネル容量とする。そのため、 $Q_F$  フォワードタイムスロット割り当て及び  $Q_R = Q - Q_F$  リターンチャンネルタイムスロット割り当てでは、フォワード及びリターン容量は、

40

$$C_F = \frac{Q_F}{Q} \cdot C_{F\_max} \text{ 及び} \quad (2)$$

$$C_R = \left(1 - \frac{Q_F}{Q}\right) \cdot C_{R\_max}$$

(式中、 $Q_F$ は、0 (全てリターントラフィック) から  $Q$  (全てフォワードトラフィック) までの任意の値であると仮定し得る)

10

である。(2) から、フォワードとリターンとの間の容量の割り当ては、 $Q$  の値によってのみ制限される何れかの任意の比率を取り得、1 ビームホッピングフレーム当たりのタイムスロットの数であることは明白である。 $Q = 64$  などの  $Q$  の合理的なサイズに関し、この制限は、最大値の  $1/64$  の増分での容量の割り当てを可能にするため、あまり限定的ではない。

【0175】

このアプローチでは、 $K$  個の経路の全てが、何れの瞬間でも専らフォワードトラフィックに又は専らリターントラフィックに使用される。アクセスノード端末130のロケーションの総数に対する条件は、以下の通り決定され得る。単一の偏波で  $W$  Hz のスペクトルをそれぞれ使用する  $K$  個の経路があるようにする。さらに、 $N_{GW}$  個のアクセスノード端末サイトがあるようにし、それぞれ2つの偏波のそれぞれで  $W$  Hz のスペクトルを使用できるようにする。何れの瞬間でも、全ユーザリンクスペクトルは、 $KW$  Hz であり、これは、フォワードリンク又はリターンリンク送信の何れか (決して両方ではない) に使用されている。いかなる所与の瞬間においても利用される全フィードリンクスペクトルは、 $2N_{GW}W$  であり、これも、フォワードリンク送信又はリターンリンク送信の何れか (決して両方ではない) に使用されている。2つのスペクトルの量を等式化することによって必要数のアクセスノード端末、 $N_{GW} = K/2$  を生じる。

20

【0176】

このアプローチは、アクセスノード端末130が時間の100%を送信及び受信しないため、非効率的である。アクセスノード端末130が送信に費やす部分時間に、アクセスノード端末130が受信に費やす部分時間を足すと、1と等しくなる。しかしながら、アクセスノード端末130は、時間の100%で送信及び受信し得るため、非効率であり、且つ十分に活用されていない。

30

【0177】

そのようなアプローチは、各経路に対するフォワードリンクとリターンリンクとの間の50% - 50%の時間リソース割り当て1500を示す図15Aに示すように同期されると言われる。経路は、それらが全て、ある長さの時間ではフォワードリンクに供され、及び全て、他の時間ではリターンリンクに供する点で時間的に一致される。時間リソース割り当て1500から分かるように、使用される全フィードリンクスペクトルは、常に  $KW$  Hz であり、及び常に全てフォワードリンクスペクトル又は全てリターンリンクスペクトルの何れかである。上述の通り、この同期したシステムは、 $K/2$  アクセスノード端末130を必要とする。

40

【0178】

図15Bは、8個のスポットビーム125及び4個のアクセスノード端末130を備える例示的な8経路の通信衛星120での例示的な同期した時間リソース割り当ての例1510を示す。時間リソース割り当て1510のスロット1では、時間リソース割り当て1510のスロット構成に示すように、4個全てのアクセスノード端末130 (例えば、 $GW1$ 、 $GW2$ 、 $GW3$  及び  $GW4$ ) がスポットビーム  $B1 \sim B8$  に送信している。スロットの下に、スロットの経路 ( $PW$ ) の使用状況を列挙している。スロット1では、8個全

50

での経路がフォワードリンクに使用されるため、エントリー 8 F である。スロット 2 では、スポットビームカバレッジエリア 1 2 6 の全てにあるユーザ端末 1 5 0 は、それらそれぞれのアクセスノード端末 1 3 0 に送信しているため、経路の使用状況は、8 R で示されている。表の右側では、スロットの使用状況が各経路に対して挙げられている。全経路に対し、第 1 のスロットは、フォワードであり、及び第 2 のスロットは、リターンであるため、各スロットの使用状況のエントリーは、F R である。

#### 【 0 1 7 9 】

この例では、アクセスノード端末 1 3 0 は互いに自律的であり得、同等であるが、ユーザスポットビーム 1 2 5 への送信アクセスノード端末 1 3 0 は、そのユーザスポットビーム 1 2 5 の受信アクセスノード端末 1 3 0 と異なり得る。その場合、アクセスノード端末 1 3 0 は、ユーザ端末 1 5 0 に対してコヒーレント双方向通信を提供するために協働する必要がある。全てのそのような同期の場合、ユーザ端末送信スロットが、対応する受信スロットに重ならないようにするために、ユーザスポットビーム 1 2 5 の全てがスケジュールされ得るため、半二重（異なる時点で送信及び受信）ユーザ端末 1 5 0 が作動し得ることに留意されたい。

#### 【 0 1 8 0 】

アプローチは、図 1 6 A の時間リソース割り当て 1 6 0 0 に示すように、フォワード時間割り当てとリターン時間割り当てとを交互に配置することによって改善され得る。各経路に対するフォワード時間割り当て及びリターン時間割り当ては、何れの瞬間でも、経路の半分がフォワードトラフィックに使用され、及び半分がリターントラフィックに使用されるように構造化されている。この結果、何れの瞬間でも全フィードリンクスペクトル条件は、同じとなる（K W H z）が、フォワードリンクとリターンリンクとで等しく分割される。例示的なアクセスノード端末 1 3 0 は、フォワード方向で使用するために 2 W H z のスペクトル及びリターン方向で使用するために 2 W H z のスペクトルを有するため、必要なアクセスノード端末 1 3 0 の総数は、K / 4 である。これは、フォワード時間割り当て及びリターン時間割り当てを同期させるときに必要なアクセスノード端末 1 3 0 の数の半分であり、従って好ましい動作方法である。

#### 【 0 1 8 1 】

図 1 6 B は、図 1 5 B のものと同様の 8 経路通信衛星 1 2 0 及び 8 個のスポットビーム 1 2 5 を備える、5 0 % - 5 0 % の時間リソース割り当て 1 6 1 0 の例を示す。しかしながら、ここで、2 つのアクセスノードのみ、G W 1 及び G W 2 が必要とされる。図 1 6 B では、G W 1 は、B 1 に L H C P を送信しており（R H C P を受信する）、且つ B 2 に R H C P を送信している（L H C P を受信する）。別々の偏波であるため、物理的に隣接していても、及び部分的に又は全体的に重なり合っている、スポットビーム 1 2 5 間には信号干渉がない。同時に（その第 1 のタイムスロット中）、B 7 及び B 8 内のユーザ端末は、アクセスノード端末 G W 1 に送信している。また、図 1 6 B のこの第 1 のタイムスロット中、アクセスノード端末 G W 2 は、B 3 及び B 4 に送信している一方、B 5 及び B 6 は、アクセスノード端末 G W 2 に送信している。第 2 のスロットでは、図 1 5 B におけるように、送信方向は、スロット 1 のものと逆にされる。図 1 6 B を図 1 5 B と比較すると、各スポットビーム 1 2 5 は、正確に同数の送信及び受信機会を有することが分かる。この特定の場合、ユーザ端末送信スロットが、対応する受信スロットと重ならないようにスポットビーム 1 2 5 がスケジュールされるため、半二重ユーザ端末 1 5 0 が作動し得ることに留意されたい。同様に 5 0 % - 5 0 % の時間割り当てを達成し得るが、スポットビームの送信スロットと受信スロットとが重なる異なるスケジュールが使用され得、場合により、ユーザ端末 1 5 0 は、それらが同時に送信及び受信し得る場合、全二重で動作する必要がある。

#### 【 0 1 8 2 】

この例では、同様に、各スポットビーム 1 2 5 がそのフォワード送信（ユーザスポットビーム 1 2 5 への）及びリターン送信（アクセスノードスポットビーム 1 2 5 への）の両方に対して単一のアクセスノード端末 1 3 0 を有するため、アクセスノード端末 1 3 0 は

10

20

30

40

50

、互いに自律的であり得る。また、図 1 6 B の状況と等しく、ユーザスポットビーム 1 2 5 への送信用アクセスノード端末 1 3 0 は、ユーザスポットビーム 1 2 5 のための受信用アクセスノード端末 1 3 0 と異なり得る。その場合、アクセスノード端末 1 3 0 は、ユーザ端末 1 5 0 に対してコヒーレント双方向通信を提供するために協働する必要がある。

#### 【 0 1 8 3 】

図 1 7 A は、フォワードトラフィックとリターントラフィックとの間の 7 5 % - 2 5 % の時間割り当ての交互に配置された時間リソース割り当て 1 7 0 0 の例を示す。この例では、7 5 % の経路は、各瞬間にフォワードトラフィックに使用される。残りの 2 5 % は、リターントラフィックに使用される。個々の各経路は、ビームホッピングフレームの 7 5 % 中にフォワードトラフィックに、及びビームホッピングフレームの 2 5 % 中にリターン  
10  
トラフィックにも使用される。結果は、何れの瞬間でも、フォワードトラフィックに使用される B W は、 $3 K W / 4$  であり、及びリターントラフィックに使用される B W は、 $K W / 4$  である。各アクセスノード端末 1 3 0 は、フォワードトラフィックに  $2 W \text{ Hz}$  の帯域幅を及びリターントラフィックに  $2 W \text{ Hz}$  の帯域幅を使用し得るため、必要なアクセスノード端末 1 3 0 の総数は、 $3 K / 8$  であり、及びフォワードリンク B W の利用によって制限される。この数は、依然として、図 1 5 A ~ B に示すような 5 0 % - 5 0 % の時間リソース割り当てのための同期アプローチに必要な  $K / 2$  値よりも少ない。

#### 【 0 1 8 4 】

図 1 7 B は、図 1 5 B の 8 個のスポットビーム 1 2 5 及び 4 個のアクセスノード端末 1 3 0 を含む、例示的なシステムの 4 個のタイムスロットを示す。その例におけるように、  
20  
アクセスノード端末 1 3 0 は、各スロット中に送信又は受信の何れかを行うが、同じスロット内で決して送信及び受信の両方を行わない。構成表の一番下に記載の使用状況の概要は、各スロットが 6 個のフォワード（例えば、アクセスノード端末からユーザ端末に）経路及び 2 個のリターン（ユーザ端末からアクセスノード端末に）経路を示す。

#### 【 0 1 8 5 】

第 1 のスロットでは、B 1 及び B 2 内のユーザ端末は、アクセスノード端末 G W 1 に送信する一方、他の全てのユーザ端末 1 5 0 は、受信する。第 2 のスロットでは、B 7 及び B 8 内のユーザ端末は、送信する一方、他は、受信する。第 3 のスロットでは、B 3 及び B 4 内のユーザ端末 1 5 0 が唯一の送信するものである一方、第 4 のスロットでは、B 5 及び B 6 内のユーザ端末 1 5 0 が唯一の送信機である。スロットの作表は、各スポットビ  
30  
ームが、単一のアクセスノード端末 1 3 0 からスポットビーム 1 2 5 への 3 個のフォワード経路及びスポットビーム 1 2 5 からその同じアクセスノード端末への 1 個のリターン経路を有することを裏付ける。この場合、 $K / 2 = 4$  個のアクセスノード端末 1 3 0 が使用されるが、最小数のアクセスノード端末 1 3 0 は、 $3 K / 8 = 3$  個のアクセスノード端末である。

#### 【 0 1 8 6 】

トラフィックの 1 0 0 % がフォワードリンクに割り当てられた場合、全経路がフォワードトラフィックに 1 0 0 % の時間使用される。これは、 $K W \text{ Hz}$  の総フォワードスペクトルを生じ、及びアクセスノード端末 1 3 0 の必要数は、 $K / 2$  となり、同期アプローチと同数である。  
40

#### 【 0 1 8 7 】

一般的な場合、各経路は、ビームホッピングフレーム内の部分時間  $F$  をフォワード経路となるように割り当てられる。割り当ては、各瞬間にフォワード経路として動作する  $K$  個の総経路に部分時間  $F$  をもたせるという目的で交互に配置される。残り  $K (1 - F)$  は、リターンリンク経路として動作する。各瞬間において、必要なフォワードリンクスペクトルは、 $K W F$  であり、及び必要なリターンリンクスペクトルは、 $K W (1 - F)$  である。そのため、必要なアクセスノード端末 1 3 0 の総数は、 $N_{G W} = M a x (F, 1 - F) K / 2$  である。これは、アクセスノード端末 1 3 0 間の協働を必要とし得ることに留意されたい。

#### 【 0 1 8 8 】

10

20

30

40

50

## アプローチ 2 : ハードウェアリソースの柔軟な割り当て

このアプローチでは、任意の単一の経路が全体的に（ビームホッピングフレーム内の全てのタイムスロット）フォワードリンク送信の専用になれるか、又は全体的にリターンリンク送信の専用になれるかの何れかである。柔軟性を有するものは、フォワード経路の専用になれる経路の数及びリターン経路の専用になれる経路の数である。これは、経路の 75 % をフォワードリンクへ及び 25 % をリターンリンクへの例示的な割り当てに関して図 18A に示されている。

### 【0189】

図 18B は、前述の通り、例示的な 8 経路通信衛星 120 に関する 75 % - 25 % の経路割り当ての 4 スロットフレームのタイムスロットを示す。ここで、経路は、マップ図の数字によって特定される。経路 1（LHCP RHCP）及び経路 5（RHCP LHCP）は、リターントラフィックの専用である一方、残りの経路は、フォワードトラフィックの専用である。

### 【0190】

スロット 1 では、アクセスノード端末 GW1 は、スポットビーム B1 及び B2 からデータを受信する一方、3 個全てのアクセスノード端末は、残りのスポットビームを送信する。スロット 2 では、スポットビーム B3 及び B4 は、アクセスノード端末 GW1 に送信する一方、3 個全てのアクセスノード端末は、残りのスポットビームを送信する。スロット 3 では、スポットビーム B5 及び B6 は、アクセスノード端末 GW1 に送信する一方、3 個全てのアクセスノード端末は、残りのスポットビームに送信する。スロット 4 では、スポットビーム B7 及び B8 は、アクセスノード端末 GW1 に送信する一方、3 個全てのアクセスノード端末は、残りのスポットビームに送信する。

### 【0191】

この例示的な二極システムの 1 つの偏波を考慮する。このシステムは、依然として 3 個のアクセスノード端末 GW1 ~ GW3（それぞれ 2 つの利用可能な偏波の一方において動作する）を使用するが、ここで、スポットビーム B1 ~ B4 及び経路 1 ~ 4 のみを考慮する。依然として、1 フレーム当たり 4 個のスロットがあるため、4 個の経路 × 4 個のスロット = 16 個の総スロットが利用可能である。このシステムは、これらのスロットの 75 %（12 個）をフォワードトラフィックに、及びこれらのスロットの 25 %（4 個）をリターントラフィックに割り当てている。4 個のリターンスロットは、フレーム全体を正確に埋める。12 個のフォワードスロットは、4 個のスポットビームに分配される必要があるため、各スポットビームは、3 個のスロットを獲得する。しかしながら、これらの同じ 12 個のフォワードスロットは、3 個のアクセスノード端末に分配される必要があるため、各アクセスノード端末は、4 個のフォワードスロットを埋める必要がある。そのため、アクセスノード端末とスポットビームとの間には、1 対 1 のマッピングとなることができず、何れのスポットビームのためのトラフィックも全て同じアクセスノードを通過する。

### 【0192】

スポットビーム 125、スロット、アクセスノード端末 130 及び経路の数への細心の注意により、スポットビーム 125 へのアクセスノード端末 130 のマッピングに柔軟性をもたらし得る。図 18C ~ 18E は、ハードウェアリソースの柔軟な割り当てのもう 2 つの例示的な実施形態を示す。ここで、前述の通り、8 個の経路衛星及び 3 個のアクセスノード端末を有する例示的な通信システムにおいて、75 % - 25 % の経路割り当てを必要とする 6 個のスポットビームがある。6 個のスポットビーム B1 ~ B6 のみがあるため、3 個のタイムスロットのみが必要とされる。ユーザ端末 150 は、一般的に、それらのアクティブなビームホッピングタイムスロット中、全二重（同時に受信及び送信する）モードで動作する。ここで、1 極性当たり 4 個の経路 × 3 個のスロット = 12 個のスロットが割り当てられる。12 個の 75 %（9 個）のスロットがフォワードトラフィックに使用される一方、12 個の 25 %（3 個）のスロットがリターントラフィックに使用される。ここでも、3 個のリターンスロットは、1 つのフレームを埋め、1 極性当たりリターントラフィックに割り当てられた 1 つの経路に対応する。しかしながら、ここで、1 偏波当た

10

20

30

40

50



り 9 個のフォワードスロット ( 1 経路当たり 3 個 ) は、正確に、1 アクセスノード端末当たり 3 個のスロット及び 1 スポットビーム当たり 3 個のスロットがあるように分割され得るため、ユーザスポットビームとアクセスノード端末との間の 1 対 1 のマッピングを可能にする。

#### 【 0 1 9 3 】

図 1 8 C 及び図 1 8 D には両偏波が示されている。フォワード経路 2 ~ 4 及び 6 ~ 8 は、それぞれ単一のアクセスノード端末 1 3 0 専用である：GW 2 のための経路 2 及び 6 ( 2 つの偏波のための )、GW 3 のための経路 3 及び 7 及び GW 1 のための経路 4 及び 8。図 1 8 C では、リターン経路は、3 個のアクセスノード端末 1 3 0 で共有されて、各アクセスノード端末 1 3 0 が、送信するのと同じスポットビームカバレッジエリア 1 2 6 から受信し、従ってユーザスポットビーム 1 2 5 と、それらに供するアクセスノード端末 1 3 0 との間の 1 対 1 のマッピングを実施する。代わりに、図 1 8 D では、リターン経路は、全て GW 1 専用である。この場合、GW 1 は、共有受信アクセスノード端末 1 3 0 であるとみなされ、及び GW 2 及び GW 3 は、送信のみとして半二重で動作する。この共有受信アクセスノード端末の実施形態では、いくつかのアクセスノード端末 1 3 0 がいくつかのユーザ端末 1 5 0 に送信するが、それらのユーザ端末 1 5 0 は、単一のアクセスノード端末 1 3 0 への、一般に送信アクセスノード端末 1 3 0 の 1 つへの送信のみを行う ( それらが仮に送信するとして )。図 1 8 E は、何れも同じであるため、図 1 8 C 又は図 1 8 D の何れかのシステムの第 1 のタイムスロットを示す。

#### 【 0 1 9 4 】

共有受信アクセスノード端末 1 3 0 は、例えば、1 つのアクセスノード端末 1 3 0 に置かれている情報の要求を送信するユーザ端末 1 5 0 がある場合又は 1 つのアクセスノード端末 1 3 0 がアクセスノード端末 1 3 0 の地上ネットワークとネットワーク 1 4 0 との間のインターフェースである場合、有用性があり得る。この場合、全てのユーザ端末 1 5 0 にそのアクセスノード端末 1 3 0 から直接情報を要求させることにより、他方のアクセスノード端末 1 3 0 にそのインターフェースアクセスノード端末 1 3 0 への要求を転送させるという問題を回避する。

#### 【 0 1 9 5 】

逆も可能である：ユーザ端末 1 5 0、場合によりセンサー端末が大量の情報を送信するが、少量のみを受信する必要がある共有送信アクセスノード端末システム。例えば、25 % - 75 % の時間割り当ては、図 1 5 B におけるスポットビーム 1 2 5 の方向を切り替えることによって実施され得る。そのため、アクセスノード端末 GW 1 は、全てのユーザスポットビーム 1 2 5 に対する共通の送信機である。これらの共有アクセスノード端末の実施形態では、システムオペレータが、アクセスノード端末 1 3 0 を接続するバックボーンネットワーク ( 例えば、図 1 を参照して説明したようなネットワーク 1 4 0 の例 ) を有して、トラフィックを適切に方向付け且つスケジュールし得る場合、半二重アクセスノード端末 1 3 0 が作動し得る。

#### 【 0 1 9 6 】

$K_F$  をフォワード経路の数及び  $K_R$  をリターン経路の数とすると、 $K_F + K_R = K$  は、経路の総数である。各経路は、常にフォワード又はリターン方向に全体的に使用されているため、タイムスロットベースで経路によってネット電子ゲインを動的に変化させる必要はない。そのため、スロットベースでのチャネル増幅器ゲインの動的な調整は、必要でなくてよい。

#### 【 0 1 9 7 】

$K_F = K$  及び  $K_R = 0$  と設定することによって全てフォワードトラフィック ( FLO ) を有する。 $K_R = K$  及び  $K_F = 0$  と設定することによって全てリターントラフィック ( リターンリンクオンリー、すなわち RLO ) を有する。概して、各方向での容量割り当ては、

10

20

30

40

$$C_F = \frac{K_F}{K} \cdot C_{F\_max} \text{ 及び} \quad (3)$$

$$C_R = \frac{K_R}{K} \cdot C_{R\_max} = \left(1 - \frac{K_F}{K}\right) \cdot C_{R\_max}$$

(式中、 $K_F$ は、0 (全てリターントラフィック) から  $K$  (全てフォワードトラフィック) までの任意の値と仮定する)

である。(3) から、フォワードとリターンとの間の容量の割り当ては、 $K$  の値、経路の数 (例えば、通信衛星 120 の又は GBBF システムの) によってのみ制限される、何れかの任意の比率を取り得ることは明らかである。合理的なサイズの  $K$ 、例えば  $K = 100$  では、この制限は、最大値の  $1/100$  での増分での容量の割り当てを可能にするため、あまり限定的ではない。

【0198】

このアプローチでは、何れの瞬間でも、フォワード方向に使用される全ユーザリンクスペクトルは、 $K_F W$  である。リターン方向では、使用される全スペクトルは、 $K_R W$  である。ここでも、各アクセスノード端末 130 は、2 つの偏波のそれぞれで使用するのに利用できる  $W$  Hz を有すると仮定する。使用するために利用できる全フィーダリンクスペクトルは、各方向 (フォワード及びリターン) において  $2 N_G W$  である。そのため、必要な協働する (自律的ではない) アクセスノード端末 130 の数は  $N_G W = \text{Max}(K_F, K_R) / 2$  であり、これは、アクセスノード端末カウントを最小にするために送信及び受信スロットの注意深い割り振りが選択されたときのアプローチ 1 と同じである。しかしながら、アプローチ 2 は、フォワード構成とリターン構成との間の動的な変化に適合するために、ビームホッピングフレーム中に経路のネットゲインを動的に変更する必要がないという利点を有する。

【0199】

図 19 は、必要な協働するアクセスノード端末 130 (例えば、ゲートウェイ) の数対  $K = 100$  であるときに割り当てられたフォワード経路の数の実例となる図表 1900 を示す。図 19 に示すように、必要な協働するアクセスノード端末 130 の数は、 $K_F = K_R$  であるときに最少であるが、必要な協働するアクセスノード端末 130 の数は、 $RLO$  (すなわち  $K_F = 0$ ) 及び  $FLO$  (すなわち  $K_R = 0$ ) では最多である。

【0200】

説明したアプローチの全てにおいて、フォワードリンク及びリターンリンクは、2 つの独立した送信システムとして動作され得ることが明らかである。2 つの送信システム間の容量の割り当ては、場合により  $K$  又は  $Q$  によって制限されるようなほぼ所望の何れの比率でも分割できる。そのため、各送信システムは、各タイムスロットにスポットビーム 125 を生じるビームフォーミング重みベクトルを適切に設定することにより、所望の何れかの方法でその容量をサービスカバレッジエリア 410 に独立して広げ得る。一般的に、フォワードリンク及びリターンリンクが同じ物理的なエリアとなるようにサービスカバレッジエリア 410 を設定する。これにより、サービスカバレッジエリア 410 内の全ての点に対し、フォワードリンクデータの受信及びリターンリンクデータの送信の機会を提供する。概して、これらの機会が、同じタイムスロット内で常に発生するわけではない。サービスカバレッジエリア 410 内の全ての点でフォワードトラフィック対リターントラフィックの比が同じである必要はないことも分かり得る。これは、フォワードトラフィック対リターントラフィックの比を各スポットビームカバレッジエリア 126 においてカスタマイズすることを可能にする。この比をカスタマイズするための機構は、スポットビームカバレッジエリア 126 の各物理的なロケーションに割り当てられたフォワード及び受信タイムスロットの数 (及び / 又はサイズ) の調整である。

## 【 0 2 0 1 】

図 2 0 A は、本開示の態様による、フォワード及びリターンリンクサービスのための非一致サービスカバレッジエリア 4 1 0 の例 2 0 0 0 を示す。フォワードリンクサービスカバレッジエリア 4 1 0 - b は、ビームホッピング時間フレーム中に形成された個々のフォワードリンクスポットビーム 1 2 5 のスポットビームカバレッジエリア 1 2 6 の和集合である。同様に、リターンリンクサービスカバレッジエリア 4 1 0 - c は、ビームホッピング時間フレーム中に形成された個々のリターンリンクスポットビーム 1 2 5 のスポットビームカバレッジエリア 1 2 6 の和集合である。フォワードリンクサービスカバレッジエリア 4 1 0 - b 及びリターンリンクサービスカバレッジエリア 4 1 0 - c の和集合は、3つの地域に分けられ得る。地域 1 は、ビームフォーミング重みセットがフォワードリンクスポットビーム 1 2 5 を提供するが、リターンリンクスポットビーム 1 2 5 を提供しないエリアである。この地域は、フォワードリンクトラフィックのみを支援し得る。地域 2 は、ビームフォーミング重みセットがリターンリンクスポットビーム 1 2 5 を提供するが、フォワードリンクスポットビーム 1 2 5 を提供しないエリアである。この地域は、リターンリンクトラフィックを支援し得るが、フォワードリンクトラフィックを支援しない。地域 3 は、必ずしも同じタイムスロットにおいてではないが、ビームフォーミング重みセットがフォワード及びリターンスポットビーム 1 2 5 の両方を提供する地域である。フォワード及びリターンリンクトラフィックの両方が支援され得る。さらに、フォワード対リターン容量の比は、地域 3 内のスポットビームカバレッジエリア 1 2 6 の各物理的なロケーションにおいてカスタマイズされ得る。

## 【 0 2 0 2 】

図 2 0 B は、本開示の態様による、単純な単一のアクセスノード端末、4 経路システムを示す。ここで、フォワードリンク地域 1 は、スポットビーム 1 及び 2 を含み、リターンリンク地域 2 は、スポットビーム 5 及び 6 を含む一方、双方向地域 3 は、スポットビーム 3、4、7 及び 8 を含む。これは、地域 3 を図 2 0 A に単一の論理ゾーンとして示したが、地域 3 を含むスポットビーム 1 2 5 が隣接するという条件がないことを示す。実際の、この例では隣接するとして示す地域 1 及び 2 もいくつかの異なるエリアで構成され得る。

## 【 0 2 0 3 】

スロット 1 では、アクセスノード端末 G W は、地域 1、スポットビームカバレッジエリア B 1 及び B 2 にある端末に送信し、及び地域 2、スポットビームカバレッジエリア B 5 及び B 6 にある端末から受信する。地域 3 にある端末は、このスロットの期間中、インアクティブであり得るが、地域 1 及び 2 にある端末は、残りのスロットの期間中、インアクティブである。スロット 2 では、アクセスノード端末 G W は、スポットビームカバレッジエリア B 3 及び B 4 にある端末に送信し、及びスポットビームカバレッジエリア B 7 及び B 8 にある端末から受信する。スロット 3 では、アクセスノード端末 G W は、スポットビームカバレッジエリア B 3 及び B 4 にある端末から受信し、及びスポットビームカバレッジエリア B 7 及び B 8 にある端末に送信する。

## 【 0 2 0 4 】

本発明は、柔軟な高容量衛星通信アーキテクチャを提供する。このアーキテクチャの特性は、以下の 1 つ以上を含み得る：

- 1 . 高容量、
- 2 . フォワード容量とリターン容量との間での柔軟な割り当て、
- 3 . 柔軟な容量の分配及びサービスカバレッジエリア 4 1 0、
- 4 . 再設定可能なサービスカバレッジエリア 4 1 0 及び容量割り当て、
- 5 . 例えば、アクセスノード端末 1 3 0 がスポットビーム 1 2 5 と同じスペクトル及び同じロケーションを占有できるように、ビームホッピングを使用する、アクセスノード端末 1 3 0 に対する柔軟なロケーション及び衛星の寿命にわたってアクセスノード端末ロケーションを動かす能力、
- 6 . アクセスノード端末 1 3 0 の増分的なロールアウト、
- 7 . 軌道位置の独立性、

8．レインフェードを軽減するための、アクセスノード端末130全体にわたっての動的で同等な等方放射電力（EIRP）割り当てであり、ここで、例えば、マージン条件は、個々の経路の統計ではなく、多様な全経路でのレインフェードの和に基づいている、

9．半二重端末での動作、及び

10．低冗長化ペイロードハードウェアによる動作。

特性（1）及び（2）は、説明した。特性（3）～（10）のさらなる詳細が下記で説明されている。

#### 【0205】

少数のセルが何れの瞬間でもアクティブであり得、ここで、セルは、例えば、端末のサブセットに通信サービスを提供するサービスカバレッジエリア410の一部（例えば、スポットビーム）と称し得る。一例では、 $K_F = 40 \sim 60$ 個の送信スポットビーム125（例えば、ユーザ端末ダウンリンクに対する）。ビームフォーミング重みベクトルは、アップロードされたスケジュール毎に動的に変更され得る。ユーザセルの総数が $K_F \times Q$ （式中、 $Q$  = タイムスロットの数であり、及び $1 \leq Q \leq 64$ である）に等しい例を挙げる。ここで、スポットビームカバレッジエリア126の合成は、 $Q$ 倍に増加する。スポットビーム125の平均デューティサイクルは、 $1/Q$ に等しいことができる。スポットビーム125に対するフォワードリンク速度は、 $Q$ 分の1に減少する。ユーザ端末150が $W_{Hz}$ 帯域幅にある全ての搬送波を復調できることが好ましいことがあり得る。 $W = 1500 MHz$ では、 $\underline{H_z} = 3 bps / Hz$ 及び $Q = 16$ であり、ユーザ端末150への平均ダウンリンク速度は、約 $281 Mbps$ である。

#### 【0206】

リターンリンクを検討すると、一例では、 $K_R = 40 \sim 60$ 個の受信スポットビーム125である（例えば、ユーザ端末アップリンクに対して）。ビームフォーミング重みベクトルは、アップロードされたスケジュール毎に動的に変更され得る。ユーザセルの総数が $K_R \times Q$ （式中、 $Q$  = タイムスロットの数であり、及び $1 \leq Q \leq 64$ である）に等しい例を挙げる。ここで、スポットビームカバレッジエリア126の合成は、 $Q$ 倍に増加する。スポットビームの平均デューティサイクルは、 $1/Q$ に等しいことができる。スポットビーム125に対するリターンリンク速度は、 $Q$ 分の1に減少する。ユーザ端末150が、高ピーク電力であるが、平均電力がより低いことができるバーストHPAを使用することが好ましいことがあり得る。 $3W$ の平均電力制限、 $40 Mbps$ のアップリンク、 $2.25$ ビット/sym及び $Q = 16$ での $12W$ のピークHPAでは、ユーザ端末150からの平均アップリンク速度は、 $5.625 Mbps$ である。

#### 【0207】

本明細書で説明する柔軟な高容量衛星通信アーキテクチャは、サービスカバレッジエリア410での容量の不均一な分配も提供し得る。容量は、1セル当たり割り振られた異なる数のスロットにより、ほぼ任意の比率で異なるセルに割り当てられ得る。ここでも、ビームホッピングフレームには $Q$ 個のタイムスロットがある。各セルは、 $q_j$ 個のタイムスロットを使用し、

$$\sum_{j=1}^J q_j = Q \quad (4)$$

（式中、 $J$ は、スポットビーム信号経路がビームホッピングフレーム内でホップするようなサービスビームカバレッジエリアロケーションの数である）

となるようにする。各セル内の容量は、

$$C_j = C_b \frac{q_j}{Q} \quad (5)$$

(式中、1 スポットビーム当たりの瞬間的な容量 =  $C_b$  である)  
である。

【0208】

図21A～21Cは、本開示の態様による、容量の不均一な分配でのビームホッピングの例を示す。図21Aは、ビームホッピングフレームの8個の不均一なタイムスロットドエルタイムに対する単一のスポットビーム信号経路の実例となるビームホップパターン2100を示す。例では、 $Q = 32$  及び  $C_b = 4.5 \text{ Gbps}$  である。ビームホップパターン2100内のセルロケーションは、説明を容易にするために隣接するとして示されている。図21Bは、ビームホップパターン2100のための、実例となるタイムスロットドエルタイム表2110を示す。タイムスロットドエルタイム表2110の8個のタイムスロットドエルタイムに関し、対応するセルロケーションに割り振られたタイムスロット  $q_j$  の数及び  $\text{Mbps}$  単位のエリア容量  $C_j$  が示されている。図21Cは、タイムスロットドエルタイム表2110のための実例となるビームホッピングフレーム2120を示す。ビームホッピングフレーム2120は、 $K$  個のスポットビーム125を含む。ビームホッピングフレーム2120のスポットビーム#1のための不均一なタイムスロットドエルタイムは、タイムスロットドエルタイム表2110に示すドエルタイムに一致する。スポットビーム125が全て同時にロケーションを変更することが好ましい。これは、各スポットビーム125が時間的に  $K - 1$  個の他のスポットビーム125と重なるのみであるため、ビーム-ビーム干渉を最小限にする。しかしながら、システムは、この制約なしで動作し得る。そのため、より多くのスポットビーム125が互いにインターフェースを取り得、及びスポットビームロケーションは、この点を考慮して選択される必要がある。

【0209】

スポットビームロケーションは、BFN710において使用される重みベクトルによって定義される。1セル当たりの容量は、スポットビーム125がセルに向けたまま留まるビームホッピングフレームの持続時間(ドエルタイム)によって設定される。ビーム重みベクトル及びドエルタイムの両方(例えば、ビームホップフレーム定義として)がBWP714に記憶され得る。これらの値は、地上からのデータリンクによってBWP714にアップロードされ得る。ビームロケーション(例えば、スポットビームカバレッジエリア126)及びドエルタイム(容量割り当て)の両方が変更され得る。例えば、ビームロケーション及び/又はドエルタイムは、時折、新しい重みセット及び新しいビームホップフレーム定義をアップロードすることにより、又は日変化(例えば、忙しい時間に適合するような容量のシフト)に応答して頻繁にいくつかの事前記憶された重みセット及びビームホップフレーム定義の1つを使用するようにBWP714に指令することにより変更され得る。1つのビームフォーミング重みセットは、ビーム重みを含み、及び1つのビームホップフレーム定義は、ビームホッピングフレームにある全タイムスロット期間内の全ビームに関するドエルタイムを含む。

【0210】

アクセスノード端末130は、ユーザ端末サービスカバレッジエリア410外に、又はアクセスノード端末130数のわずかな増加を犠牲にしてユーザ端末サービスカバレッジエリア410内に配置され得る。アクセスノード端末ロケーションのマッピングを容易にするために、アクセスノード端末130から入手可能な色の数を使用できる。色の総数 = 時間色 × 偏波色 × 周波数色である。 $Q = 4$ 、 $W = 1500 \text{ MHz}$  (全帯域) 及び二偏波の例を挙げる。色の総数 = 4 個の時間 × 2 個の極 × 1 個の周波数 = 8 である。アクセスノード端末130の数  $N_{GW}$  は、

$$\sum_{i=1}^{N_{GW}} C_i \geq K \cdot Q = M = \text{ユーザビームの数} \quad (6)$$

(式中、 $C_i$  = アクセスノード端末 #  $i$  によって使用可能な色の数である)

によって決定される。

【 0 2 1 1 】

図 2 2 A は、2 3 個のアクセスノード端末 1 3 0 ( 2 2 個の動作中のアクセスノード端末 + 1 個のユーティリティアクセスノード端末 ) を備える例に関する、実例となるアクセスノード端末ロケーション及びユーザスポットビームカバレッジエリアロケーションを示す。図 2 2 A のマップ 2 2 0 0 では、ユーザスポットビームカバレッジエリアロケーションは、セルとして示され、及びアクセスノード端末ロケーションは、破線の円として示されている。

【 0 2 1 2 】

図 2 2 B は、マップ 2 2 0 0 のための例示的なアクセスノード端末表 2 2 1 0 を示す。アクセスノード端末表 2 2 1 0 は、各アクセスノード端末 1 3 0 に関し、アクセスノード端末ロケーション、スポットビーム問題の数 ( すなわち使用不能な色の数 ) 及びアクセスノード端末 1 3 0 によって使用可能な色の数  $C_i$  を示す。  $K = 40$ 、 $Q = 4$ 、 $M = 160$  のスポットビーム及びアクセスノード端末表 2 2 1 0 に示す  $C_i$  では、 $C_i = 168 - 160$  である。そのため、この例では、システムは、2 3 個のアクセスノード端末 1 3 0 の何れかの 2 2 個で動作し得る。アクセスノード端末 1 3 0 全てを、スポットビームの法規違反のない状態に配置することは、 $K / 2 = 20$  個のアクセスノード端末 1 3 0 を必要とする。この例では、アクセスノード端末 1 3 0 とユーザスポットビームカバレッジエリア 1 2 6 との間である程度の空間の重ね合わせを可能にするために、2 個の追加的なアクセスノード端末 1 3 0 のみが必要とされる。

【 0 2 1 3 】

極端な例では、アクセスノード端末 1 3 0 は、全てユーザ端末サービスカバレッジエリア 4 1 0 内に置かれる。ここで、全 CONUS カバレッジに対し  $K = 40$ 、 $Q = 24$ 、及び  $M = 960$  のスポットビーム 1 2 5、及びホップドエル = 全スポットビーム 1 2 5 に対してビームホッピングフレームの  $1 / 24$  である。色の総数は、 $48 = 24$  個の時間  $\times$  2 個の極である。アクセスノード端末 1 3 0 がユーザ端末サービスカバレッジエリア 4 1 0 から離れて置かれた場合、最小数のアクセスノード端末 1 3 0 は、20 となる。しかしながら、全アクセスノード端末 1 3 0 がユーザ端末サービスカバレッジエリア 4 1 0 内に置かれるこの極端な例では、使用不能な最大数の色は、7 であると考えられる。そのため、全アクセスノード端末 1 3 0 に対し、 $C_i - 41 = 48 - 7$  である。さらに、使用不能な色の数が 4 である箇所 ( 例えば、沿岸地域などのサービスカバレッジエリア境界 ) に 6 個のアクセスノード端末 1 3 0 が置かれると考えられる。これらの 6 個のアクセスノード端末 1 3 0 では、 $C_i = 48 - 4 = 44$  である。必要なアクセスノード端末 1 3 0 の数は、23 に等しく、ここで、 $C_i = (6 \times 44) + (17 \times 41) = 961 - 960$  である。これは、必要なアクセスノード端末 1 3 0 に 15 % の増加 ( すなわち 20 から 23 に ) を生じるが、23 個のアクセスノード端末 1 3 0 の 17 個のロケーションに完全な柔軟性があるため、それらの全ては、ユーザ端末サービスカバレッジエリア 4 1 0 内にある。

【 0 2 1 4 】

アクセスノード端末ロケーションの柔軟性は、不均一なホップドエルタイムによっても達成され得る。必要なアクセスノード端末 1 3 0 の数は、同様の式

$$\sum_{j=1}^{N_{GW}} C_j \geq K \cdot Q \quad (7)$$

( 式中、 $C_j$  = アクセスノード端末  $j$  によって使用できるホップドエル期間の総数である ) によって定義される。 $C_j$  の考えられる最大値は、 $2Q$  ( すなわち 2 つの偏波色、1 つの周波数色 ) である。アクセスノード端末の最適な配置は、第 1 に、サービスのない地域 ( すなわち  $C_j$  = 最大値 ) においてであり、及び第 2 に、低ホップドエルタイムのセル内及び低ホップドエルタイムのセルの隣である。それに従ってアクセスノード端末 1 3 0 を配

置することは、一般的に、ホップドエルタイムが均一である上述の例と比べてさらに少数の追加的なアクセスノード端末 130 を生じる。

#### 【0215】

図 22C は、アクセスノード端末 130 の実例となる配置 2220 を示す。この例では、 $Q = 1$  ビームホッピングフレーム当たり 32 個のホップドエルであり、2つの偏波色及び 1つの周波数色がある。第 1 の配置 ( $C_j = 64 = \text{最大値}$ ) では、アクセスノード端末 130 をユーザ端末サービスのない地域に配置する。他の 3つの配置では ( $C_j < 64$ )、アクセスノード端末 130 を低ホップドエルタイムのセル内及び低ホップドエルタイムのセルの隣に配置する。

#### 【0216】

アクセスノード端末 130 に関する増分的なロールアウトが、 $K = 40$ 、 $Q = 4$  及び  $N_{GW} = 20$  の例示的なシステムに関して説明される。スポットビームの数  $M = 160$  及び平均デューティサイクル  $= 1/Q = 25\%$  である。第 1 の例では、サービスが 1つのアクセスノード端末 ( $K = 2$  つの経路) で開始する場合、1つのアクセスノード端末は、1度に 2つのビームに供する。タイムスロットの数  $Q = 80$  に設定することにより、160個のスポットビーム 125 の全てを提供する。しかしながら、結果として生じるデューティサイクル  $= 1/80$  である。そのため、この第 1 の例では、速度及び容量が減少する。デューティサイクルは、アクセスノード端末 130 の数が増加するにつれて増加し得る。

#### 【0217】

第 2 の例では、サービスが 4 個のアクセスノード端末 130 及び 40 個のみのスポットビーム 125 で開始される場合、結果として生じるサービスカバレッジエリア 410 は、初期サービスカバレッジエリア 410 の 25% である。これは、何れの 25% でもあり得ることに留意されたい。 $K = 8$  個の経路では、 $Q = 5$  を設定することにより、デューティサイクル  $= 1/5$  で 40 個のビームを提供する。そのため、この第 2 の例では、速度及びスポットビーム容量の最低限の減少がある。サービスカバレッジエリア 410 は、アクセスノード端末 130 の数が増加するにつれて増加し得る。これらのアプローチは、初期アクセスノード端末 130 の数の減少のために、初期サービスカバレッジエリア 410 及び/又は速度/容量を条件に見合せて交換する。

#### 【0218】

ビームフォーミング重みベクトル、従ってスポットビームカバレッジエリア 126 のロケーションは、本明細書で説明する衛星通信アーキテクチャにおいて柔軟である。軌道位置の変更後の通信サービスの支援は、新しい組のビームフォーミング重みベクトルを更新 (例えば、アップロード) して、異なる軌道位置から同じスポットビームカバレッジエリア 126 のカバレッジを可能にすることによって達成され得る。これは、いくつかの利点を提供する。軌道位置は、通信衛星 120 が構築されている時点で定義されなくてよい。軌道位置は、通信衛星 120 の寿命がある間、いかなる時点でも変更され得る。通信衛星 120 のための一般的な設計は、任意の軌道位置及び反射器 122 の合理的な走査範囲内にあるサービスカバレッジエリア 410 の任意の定義に使用され得る。さらに、アンテナアセンブリ 121 のためのネイティブなアンテナパターンカバレッジエリア 221 は、本明細書で説明したように軌道位置におけるそのような変化に適応され得る。

#### 【0219】

新しい軌道位置において通信サービスを提供するためのビームフォーミング重みセットの更新は、様々な方法で達成され得る。いくつかの例では、新しいビームフォーミング重みセットは、通信衛星 120 にアップロードされ得るか、又は新しいビームフォーミング重みセットは、通信衛星 120 に記憶されているものから選択され得る。いくつかの例では、新しいビームフォーミング重みセットは、ネットワーク管理エンティティなどのネットワーク装置 141 から受信され得る。いくつかの例では、新しいビームフォーミング重みセットは、少なくとも部分的に、通信衛星の新しい軌道位置に基づいて通信衛星 120 において計算され得る。いくつかの例では、BFN 710 は、地上セグメント 102 (例えば、GBBF 用) に置かれ得、その場合、ビームフォーミング重みセットは、地上セグ

10

20

30

40

50

メント 1 0 2 において選択及び / 又は計算され得る。

【 0 2 2 0 】

更新されたビームフォーミング重みセットは、新しい軌道位置において通信サービスの様々な特性を提供し得る。例えば、ビームフォーミング重みセットは、特定のスポットビーム 1 2 5 を形成するために、及び / 又は特定のセルに通信サービスを提供するために同じ又は異なる複数のフィード素子を使用するように構成され得る。いくつかの例では、ビームフォーミング重みセットは、更新された軌道位置において、同じスポットビームカバレッジエリアを有するスポットビームを提供するように更新され得る。いくつかの例では、ビームフォーミング重みセットは、更新された軌道位置において同じサービスカバレッジエリアを提供するように更新され得る。いくつかの例では、通信サービスは、サービスカバレッジエリアの複数のセルに提供され得、及び軌道位置の変更に応答して、通信サービスは、以前の軌道位置からのスポットビームと同じ帯域幅、同じ周波数、同じ偏波及び / 又は同じタイミングスロット順序を有するスポットビームを介してセルの少なくとも 1 つに提供され得る。

10

【 0 2 2 1 】

ビーム形成 T x システムにおいて、T x 電力を不均一且つ動的に各アクセスノード端末スポットビーム 1 2 5 に割り当てることは、非常に簡単である。スポットビーム 1 2 5 への T x 電力は、ビーム重みの大きさ二乗の和に比例する。ビーム重みを拡大縮小することにより、スポットビーム 1 2 5 への電力を増減させる。電力は、チャンネル増幅器の減衰を介しても調整され得る。

20

【 0 2 2 2 】

電力は、レインフェード減衰に反比例して各アクセスノード端末スポットビーム 1 2 5 に割り当てられ得る。この割り当ては、実際のレインフェード減衰に基づいて動的であり得るか、又は特定の利用度と関連するレインフェードに基づいて政敵であり得る。

【 0 2 2 3 】

一実施形態では、送信電力は、ダウンリンク S N R に基づいてアクセスノード端末 1 3 0 に割り当てられる。N<sub>GW</sub> 個のアクセスノード端末 1 3 0 では、アクセスノード端末 1 3 0 への送信に割り当てられる通信衛星 1 2 0 (例えば、送信用アンテナアセンブリ 1 2 1) での総 T x 電力 P<sub>GW</sub> は、

30

$$\sum_{n=1}^{N_{GW}} P_n = P_{GW} \quad (8)$$

(式中、P<sub>n</sub> = アクセスノード端末数 n に割り当てられた電力 T x である)  
である。ダウンリンク S N R を等しくする適切な電力割り当ては、

$$P_n = P_{GW} \cdot \frac{L_n R_n}{D_n} \cdot \frac{1}{\sum_{i=1}^{N_{GW}} \frac{L_i R_i}{D_i}} \quad (9)$$

40

(式中、R<sub>n</sub> = アクセスノード端末数 n に対するアンテナアセンブリゲイン、D<sub>n</sub> = アクセスノード端末数 n における降雨減衰に起因するダウンリンク S N R 低下及び L<sub>n</sub> = アクセスノード端末数 n に対する自由空間経路損失である)  
である。

【 0 2 2 4 】

静的アプローチでは、電力割り当ては、目標リンクの稼働率における降雨減衰に基づい

50



て選択され得る。これらの固定電力割り当ては、ネットワーク運用の前にネットワークプランナーによって決定され得る。降雨減衰  $A_n$  は、所望の稼働率に対応する各アクセスノード端末 130 において決定され得る。降雨低下量  $D_n$  は、 $A_n$  及びアクセスノード端末 HW パラメータから計算され得る。自由空間経路損失  $L_n$  (例えば、信号伝搬損失) は、各アクセスノード端末 130 に対して計算され得る。各アクセスノード端末に対する  $T \times$  アンテナアセンブリゲイン  $R_n$  は、ビーム重み及びネイティブなフィード素子パターン 210 から決定され得る。割り当てられた電力  $P_n$  及び必要なチャネル振幅減衰設定値は、それらの電力を生じるために計算され得る。

#### 【0225】

チャネル振幅減衰器設定値は、アップリンクを介して通信衛星 120 に送られ、及びネットワーク運用の概念 (例えば、アクセスノード端末ロケーション、ダウンリンク稼働率、アクセスノード端末ダウンリンクに割り当てられた総電力など) の変更を望むまで (その場合に)、その設定値に保たれる。

#### 【0226】

動的アプローチでは、電力割り当ては、各アクセスノード端末 130 において観察された降雨減衰に基づいて選択され得る。 $T \times$  電力設定値  $P_n$  は、降雨減衰が変化すると、動的に変化する。いくつかの実施形態では、降雨減衰測定システムが使用され、及び全ての測定された降雨減衰を集めるための中央処理部 (例えば、NOC 又は他のネットワーク装置 141) が電力割り当てを動的計算し、及び電力割り当て (例えば、チャネル振幅ゲイン又はビーム重みベクトルとしての) 情報を衛星にアップリンク伝送する。図 23 は、この動的アプローチを支援し得る、実例となる衛星通信システム 2300 の簡略図である。

#### 【0227】

別の実施形態では、送信電力は、信号対干渉雑音比 ( $SINR$ ) に基づいてアクセスノード端末 130 に割り当てられる。比較的高いスポットビーム干渉を有するアクセスノード端末ダウンリンクに関し、ダウンリンク  $SINR$  を等しくするという目的で電力を割り当てるのが好ましいことがある。

#### 【0228】

静的アプローチ及び動的アプローチの両方とも、電力割り当てを計算するために異なる式を使用することによってこれに適合し得る。ここで、電力割り当ては、

$$x = [R_g w C - G C (R - R_g w)]^{-1} D g \quad (10)$$

(式中、 $\quad$  は、等式

$$\sum_{n=1}^N x_n = P_{GW} \quad (11)$$

及び以下の定義を適用させるために選択され得る)

である。

$x$  : 各アクセスノード端末 130 への  $T \times$  電力割り当てを含む、 $N \times 1$  列のベクトル。

$R$  :  $N \times N$  のビームゲイン行列。コンポーネント  $R_{ij}$  は、アクセスノード端末  $i$  の方向にあるアクセスノード端末  $j$  に向けるスポットビームのゲインである。対角線のコンポーネント  $r_{ii}$  は、アクセスノード端末  $i$  のアンテナゲインである。

$R_g w$  : アクセスノード端末  $n$  に対するゲインを含む、 $N \times N$  の対角行列。 $R_g w$  の対角要素 =  $R$  の対角要素である。

$D$  : 要素が各アクセスノード端末の降雨低下量を含む、 $N \times N$  の対角行列。これは、 $A_n$  の測定値から計算される。

$C$  : 要素が各アクセスノード端末のリンク定数を含む、 $N \times N$  の対角行列。具体的には、 $C = \text{Diag}[c_n] \quad (12)$

(式中、

10

20

30

40

50

$$c_n = \frac{G(n)}{T} \cdot \frac{1}{L_p(n)} \cdot \frac{1+\alpha}{kW}$$

)

である。

G：対角要素が各アクセスノード端末のための目標相対ダウンリンクS I N Rを含む、 $N \times N$ の対角行列。全アクセスノード端末が同じダウンリンクS I N Rを有することが望ましい場合、 $G = N \times N$ の単位行列である。

g：要素がGの対角要素と同じである、 $N \times 1$ 列のベクトル。

：電力割り当て $x_n$ が、合計して、割り当てられた総アクセスノード端末T x 電力P<sub>GW</sub>となるように選択される必要がある、自由スカラーパラメータ。

式(10)は、反復法によって解かれ得る。

【0229】

そのため、本明細書で説明したように、衛星通信サービスは、ビームフォームされたスポットビーム125を支援する通信衛星120によって提供され得、これは、ビームホッピング構成に従って変化するスポットビームカバレッジエリアロケーションをさらに支援し得る。ビームフォームされたスポットビーム125は、ネイティブなアンテナパターン220の複数のネイティブなフィード素子パターン210を介して伝搬する電磁信号の建設的及び破壊的な影響をレバレッジするアンテナフィード素子128を介して伝えられた信号にビーム重み付けを行うことによって柔軟に形成され得る。通信サービスを提供する柔軟性は、ネイティブなアンテナパターン220の変化を支援する1つ以上のアンテナアセンブリ121を利用する通信衛星120によってさらに高められ得る。

【0230】

図24A及び図24Bは、本開示の態様による、アンテナアセンブリ121によって支援され得るネイティブなアンテナパターンカバレッジエリア221-dの変更を示す。ネイティブなアンテナパターンカバレッジエリア221-dの変更は、フィードアレイアセンブリ127に含まれる、反射器122に含まれる、フィードアレイアセンブリ127と反射器122との間に結合される、2つの反射器122間に結合されるなどのアクチュエータに指令することによってもたらされ得る。例えば、アンテナアセンブリ121は、本明細書で説明したように、フィードアレイアセンブリ127とアンテナアセンブリ121の反射器122との間の相対位置を調整することにより、ネイティブなアンテナパターンカバレッジエリア221-d-1からネイティブなアンテナパターンカバレッジエリア221-d-2への変更を支援し得る。相対位置の変更は、リニアアクチュエータ124によってもたらされ得、及び例えば通信サービスの柔軟なビームフォーミングをサービスカバレッジエリア(例えば、図4を参照して説明したようなサービスカバレッジエリア410)に提供するために異なるネイティブなアンテナパターン220を支援し得る。

【0231】

図24Aは、複数のネイティブなフィード素子パターンカバレッジエリア211によって形成されたネイティブなアンテナパターンカバレッジエリア221-d-1の例示的な図2400を示す。いくつかの例では、ネイティブなアンテナパターンカバレッジエリア221-d-1は、図4を参照して説明したサービスカバレッジエリア410などのサービスカバレッジエリアを支援することを意図し得る。例では、ネイティブなアンテナパターンカバレッジエリア221-d-1は、通信サービスの特定の条件に従って通信サービスをサービスカバレッジエリア410に提供するために使用され得る。しかしながら、様々な理由で、通信サービスの条件を変更することが望ましいことがあり得る。例えば、サービスカバレッジエリア410内の需要プロファイルが変化し得、所望のサービスカバレッジエリア410が変化し得、通信衛星120の軌道位置が変化し得、又は関連のネイティブなアンテナパターン220-dによって形成されたスポットビーム125の特性を変

10

20

30

40

50

更することが望ましいことがあり得る。

【0232】

スポットビーム125の特性は、ネイティブなアンテナパターンカバレッジエリア221-d-1及び異なるビーム重みの結果であり得る。例えば、図2400は、Chicago、Illinois周辺の対象のエリア2424を示す。対象のエリア2424を支援するために、通信衛星120は、ビームフォーミング技術を、対象のエリア2424を囲んでいるネイティブなフィード素子パターンカバレッジエリア211と関連するフィードアレイアセンブリ127のアンテナフィード素子128に適用し得る。図2400によれば、ネイティブなアンテナパターンカバレッジエリア221-d-1は、濃い実線で示すような、対象のエリア2424を囲う8個のネイティブなフィード素子パターンカバレッジエリア211を含む。従って、通信衛星120は、フィードアレイアセンブリ127の8個のアンテナフィード素子128を利用して、対象のエリア2424の通信サービスを支援し得る。

10

【0233】

図24Bは、ネイティブなアンテナパターンカバレッジエリア221-d-1のネイティブなフィード素子パターンカバレッジエリア211の同じアンテナフィード素子128と関連し得る複数のネイティブなフィード素子パターンカバレッジエリア211によって形成されたネイティブなアンテナパターンカバレッジエリア221-d-2の例示的な図2450を示す。しかしながら、ネイティブなアンテナパターンカバレッジエリア221-d-2は、ネイティブなアンテナパターンカバレッジエリア221-d-1と異なる特性（例えば、より大きいネイティブなフィード素子パターンカバレッジエリアサイズ、ネイティブなフィード素子パターンカバレッジエリアのより高い重なり程度など）のネイティブなフィード素子パターンカバレッジエリア211を有し得る。ネイティブなアンテナパターンカバレッジエリア221-d-1からネイティブなアンテナパターンカバレッジエリア221-d-2への変更は、アクチュエータ124にフィードアレイアセンブリ127と反射器122との間の相対距離を変更するように指令することによってもたらされ得る。例えば、図2450のネイティブなアンテナパターンカバレッジエリア221-d-2は、図2400におけるよりも反射器122の近くに置かれているフィードアレイアセンブリ127を表し得、これは、より重いデフォーカス条件を引き起こし得る。

20

【0234】

図2450によって示すように、アクチュエータ124の調整は、ネイティブなアンテナパターンカバレッジエリア221-d-1と比較してより広範なネイティブなアンテナパターンカバレッジエリア221-d-2を提供し得る。ネイティブなアンテナパターンを広げることにより、ネイティブなアンテナパターンカバレッジエリア221-d-2は、より広範なサービスカバレッジエリア410を支援し、且つ/又は異なるカバレッジエリア条件（例えば、異なるスポットビームパターン、スポットビームサイズ、スポットビームゲインなど）に従ってサービスカバレッジエリア内の通信サービスを提供することができる。

30

【0235】

例えば、ネイティブなアンテナパターンカバレッジエリア221-d-2もChicago、Illinois周辺であるが、異なるネイティブなアンテナパターンカバレッジエリア221-dに従って対象のエリア2424を支援し得る。例示的な図2450に示すように、ネイティブなアンテナパターンカバレッジエリア221-d-2は、濃い実線によって示すように、対象のエリア2424を囲う11個のネイティブなフィード素子パターンカバレッジエリア211を含む。従って、通信衛星120は、フィードアレイアセンブリ127の11個のアンテナフィード素子128を利用して、対象のエリア2424における通信サービスを支援し得る。ネイティブなアンテナパターンカバレッジエリア221-d-1と比較するように、対象のエリア2424において通信サービスを支援するためにネイティブなアンテナパターンカバレッジエリア221-d-2において使用され得るより多数のアンテナフィード素子128が、フィード冗長性、信号品質特性（例えば

40

50

、より高いビームゲイン、異なるビームゲインプロファイルなど）及び直交通信リソースの利用などの通信サービスの様々な態様を改善し得る。そのため、対象のエリア 2 4 2 4 を含むサービスカバレッジエリア 4 1 0 は、ネイティブなアンテナパターンカバレッジエリア 2 2 1 - d - 1 からネイティブなアンテナパターンカバレッジエリア 2 2 1 - d - 2 への変更及び異なるビームフォーミング重みマトリクス（例えば、所与のビームフォームされたスポットビーム 1 2 5 を支援するために使用された異なるビーム重み及び / 又は異なる数のフィード素子 1 2 8 による）を使用する通信サービスが提供され得る。

【 0 2 3 6 】

アンテナアセンブリ 1 2 1 に、よりデフォーカスした位置に移行するように指令することにより、ネイティブなアンテナパターンカバレッジエリア 2 2 1 - d - 1 からネイティブなアンテナパターンカバレッジエリア 2 2 1 - d - 2 への移行を提供することは、いくつかの状況で望ましいことがあり得るが、いくつかの状況では、アンテナアセンブリ 1 2 1 に、よりフォーカスした位置に移行するように指令することが望ましいことがあり得る。そのため、アクチュエータにネイティブなアンテナパターン 2 2 0 の変更をもたらすように指令することは、通信衛星 1 2 0 が通信サービスを提供する方法に適応する様々な手段を提供し得る。いくつかの例では、適応ビームフォーミングシステムが、フィードアレイアセンブリ 1 2 7 と反射器 1 2 2 との間の距離をビームフォーミングシステムのコンポーネントとして利用し得る。例えば、ビームフォームされたスポットビーム 1 2 5 の配置構成は、フォーカス位置とビームフォーミング重みマトリクスとの異なる組み合わせで計算的に決定されて、様々な目標パラメータ（例えば、カバレッジ、平均出力密度、システム容量、地理的な需要への空間容量の適合）に対して配置構成を最適にし得る。配置構成は、例えば、モンテカルロ分析、反復計算などの計算技術を使用して決定され得る。

【 0 2 3 7 】

ネイティブなアンテナパターンカバレッジエリア 2 2 1 - d - 1 とネイティブなアンテナパターンカバレッジエリア 2 2 1 - d - 2 との間の変更を、カバレッジ又はサービスに適応するための異なるカバレッジエリア条件を提供することに基づいていると説明したが、ネイティブなアンテナパターンカバレッジエリア 2 2 1 の変更は、他の状況にตอบสนองして使用され得る。例えば、軌道位置の変更により、同じネイティブなアンテナパターン 2 2 0 に対してネイティブなアンテナパターンカバレッジエリア 2 2 1 を修正し、及びサービスカバレッジエリア 4 1 0 での通信サービスを支援するのには不十分であるパターンを生じ得る。この条件は、例えば、作動したままの状態、衛星ドリフトの結果の何れかなど、通信衛星 1 2 0 の軌道位置が意図したものと異なる軌道スロットにある場合に生じ得る。代わりに、軌道位置の変更が計画され得るか又は衛星の再作動が望まれ得る。そのため、ネイティブなアンテナパターン 2 2 0 の変更は、アンテナアセンブリ 1 2 1 又は通信衛星 1 2 0 の外部の状況によって指令され、及びサービスカバレッジエリア 4 1 0 の条件の変更を生じ得る。アクチュエータ 1 2 4 は、例えば、衛星動作を所望のサービスカバレッジエリア 4 1 0 に戻す又は実質的に戻すために使用され得る（例えば、ビームフォーミングと組み合わせる）。

【 0 2 3 8 】

図 2 4 C 及び図 2 4 D は、本開示の態様による、複数のアンテナアセンブリ 1 2 1 を介して通信衛星 1 2 0 - d のネイティブなアンテナパターン 2 2 0 によってもたらされたネイティブなアンテナパターンカバレッジエリア 2 2 1 - e 及び 2 2 1 - f を示す。簡潔にするために、ネイティブなアンテナパターンカバレッジエリア 2 2 1 - e 及び 2 2 1 - f のそれぞれの外枠のみを示すが、本明細書で説明したように、ネイティブなアンテナパターンカバレッジエリア 2 2 1 - e 及び 2 2 1 - f のそれぞれは、第 1 のアンテナアセンブリ 1 2 1 及び第 2 のアンテナアセンブリ 1 2 1 のフィードアレイアセンブリ 1 2 7 と関連する複数のネイティブなフィード素子パターンカバレッジエリア 2 1 1 から形成され得る。ネイティブなアンテナパターンカバレッジエリア 2 2 1 - e 及び 2 2 1 - f は、例えば、異なるサービスカバレッジエリア 4 1 0 に 1 つ以上の通信サービスを提供し得る。

【 0 2 3 9 】

図 2 4 C は、地球上の認識できる範囲が北米及び南米である、第 1 の地球静止軌道位置（例えば、98°経度の軌道スロット）に位置決めされている間に通信衛星 1 2 0 - d によって提供されるネイティブなアンテナパターンカバレッジエリア 2 2 1 - e - 1 及び 2 2 1 - f - 1 の図 2 4 7 0 を示す。ネイティブなアンテナパターンカバレッジエリア 2 2 1 - e - 1 及び 2 2 1 - f - 1 は、それぞれ第 1 及び第 2 のアンテナアセンブリ 1 2 1 - g 及び 1 2 1 - h の第 1 のデフォーカス条件を表し得る、第 1 のネイティブなアンテナパターン 2 2 0 - e - 1 及び 2 2 0 - f - 1 によって提供され得る。通信衛星 1 2 0 - d は、第 1 のネイティブなアンテナパターン 2 2 0 - e - 1 に従って、北米大陸のかなりの部分を網羅する第 1 のサービスカバレッジエリア 4 1 0（図示せず）に通信サービスを提供し得る。通信サービスは、ネイティブなアンテナパターンカバレッジエリア 2 2 1 - e - 1 及び他のパラメータ（例えば、ビーム重み、容量分布、スポットビームホッピングなど）に基づいて第 1 のサービスカバレッジエリア 4 1 0 に提供され得る。通信衛星 1 2 0 - d は、第 2 のネイティブなアンテナパターン 2 2 0 - f - 1 に従って、南米大陸のかなりの部分を含む第 2 のサービスカバレッジエリア 4 1 0（図示せず）に通信サービスを提供し得る。通信サービスは、ネイティブなアンテナパターンカバレッジエリア 2 2 1 - f - 1 及び他のパラメータ（例えば、ビーム重み、容量分布、スポットビームホッピングなど）に基づいて第 2 のサービスカバレッジエリア 4 1 0 に提供され得る。様々な例では、第 1 及び第 2 のサービスカバレッジエリア 4 1 0 に提供される通信サービスは、同じであるか又は異なり得る。

#### 【 0 2 4 0 】

図 2 4 D は、第 1 の地球静止軌道位置よりも東方の位置を有する第 2 の地球静止軌道位置に位置決めされている間、通信衛星 1 2 0 - d によって提供されるネイティブなアンテナパターンカバレッジエリア 2 2 1 - e 及び 2 2 1 - f の図 2 4 8 0 を示す。様々な理由で（例えば、軌道のドリフト、展開の変更など）、通信衛星 1 2 0 - d は、第 1 の地球静止軌道位置から第 2 の地球静止軌道位置（例えば、88°経度の軌道スロット）に動かされて、新しい軌道位置で動作し得る。

#### 【 0 2 4 1 】

ネイティブなアンテナパターンカバレッジエリア 2 2 1 - e - 2 及び 2 2 1 - f - 2 は、図 2 4 C を参照して説明したが、第 2 の地球静止軌道位置におけるネイティブなアンテナパターン 2 2 0 - e - 1 及び 2 2 0 - f - 1 の投影カバレッジエリアを表し得る。いくつかの例では、ネイティブなアンテナパターンカバレッジエリア 2 2 1 - e - 2 及び 2 2 1 - f - 2 は、通信衛星 1 2 0 - d の軌道位置を変更することによるだけでなく、通信衛星 1 2 0 - d の関連のアンテナ 1 2 1 のボアサイト方向を変更する（例えば、アンテナボアサイト方向と地球の中心との間で通信衛星 1 2 0 - d から測定されたようなスキュー角を変更し、それにより調整を 98°での軌道スロットから 88°での軌道スロットに補償すること）にもよって提供され得る。いくつかの例では、アンテナボアサイト方向へのこの変更は、通信衛星 1 2 0 - d を異なる姿勢に向けることによって達成され得る。しかしながら、いくつかの例では、通信衛星 1 2 0 - d のアンテナ 1 2 1 は、それらの視界に地球全体を有し得、及びアンテナアセンブリのボアサイト方向の調整は、必須でなくてよい（例えば、アンテナ 1 2 1 は、地球の中心を指し続け得る）。

#### 【 0 2 4 2 】

図 2 4 8 0 によって示されるように、同じネイティブなアンテナパターン 2 2 0 - e - 1 に関し、第 2 の地球静止軌道位置からのネイティブなアンテナパターンカバレッジエリア 2 2 1 - e - 2 のサイズは、地球の目標エリアが通信衛星 1 2 0 - d から離れるように回転していることに起因して、第 1 の地球静止軌道位置からのネイティブなアンテナパターンカバレッジエリア 2 2 1 - e - 1 のサイズよりも大きい。換言すると、第 1 のアンテナアセンブリ 1 2 1 - g の視界は、第 1 の地球静止軌道位置からよりも第 2 の地球静止軌道位置からの方が北米全体のサービスカバレッジエリア 4 1 0 に向かって広くなり、従って所望のサービスカバレッジエリア 4 1 0 にわたってより低い信号出力密度を提供し得る。これに対し、同じネイティブなアンテナパターン 2 2 0 - f - 1 では、第 2 の地球静止

軌道位置からのネイティブなアンテナパターンカバレッジエリア 2 2 1 - f - 2 のサイズは、地球の目標エリアが通信衛星 1 2 0 - d の近くに回転していることに起因して、第 1 の地球静止軌道位置からのネイティブなアンテナパターンカバレッジエリア 2 2 1 - f - 1 のサイズよりも小さい。換言すると、第 2 のアンテナアセンブリ 1 2 1 - h の視界は、第 1 の地球静止軌道位置からよりも第 2 の地球静止軌道位置からの方が狭くなり、及び所望のサービスカバレッジエリア 4 1 0 を適切に網羅しない可能性がある。

【 0 2 4 3 】

一般的にサイズの変更として示したが、第 1 の軌道位置から第 2 の軌道位置に動くときの所与のネイティブなアンテナパターン 2 2 0 に関するネイティブなアンテナパターンカバレッジエリア 2 2 1 への変更は、サイズ、形状、ネイティブなアンテナパターンカバレッジエリア 2 2 1 の表面と通信衛星 1 2 0 との間の信号の入射角（例えば、信号放射方向）の変更及びこれらの様々な組み合わせを含み得る。そのような変更に従って通信サービスを提供し続けるために、アンテナアセンブリ 1 2 1 においてネイティブなアンテナパターン 2 2 0 を変更して、そのような変更を補償することが有益であり得る。

10

【 0 2 4 4 】

例えば、第 1 の地球静止軌道位置から第 2 の地球静止軌道位置への軌道位置の変更に応答して、第 1 のアンテナアセンブリ 1 2 1 - g は、より狭いネイティブなアンテナパターン 2 2 0 - e - 2 を提供するように指令され得る。ネイティブなアンテナパターンの変更は、第 1 のデフォーカス位置から第 2 のデフォーカス位置に変更するように（例えば、リニアアクチュエータの長さを変更することによって）、第 1 のアンテナアセンブリ 1 2 1 - g のアクチュエータ 1 2 4 に指令することによってもたらされ得る。そのため、図 2 4 8 0 は、より狭いネイティブなアンテナパターン 2 2 0 - e - 2 を提供するようにアンテナアセンブリ 1 2 1 のアクチュエータに指令する例を示し、及びより狭いネイティブなアンテナパターン 2 2 0 - e - 2 の結果は、ネイティブなアンテナパターンカバレッジエリア 2 2 1 - e - 3 であり得る。

20

【 0 2 4 5 】

いくつかの例では、ネイティブなアンテナパターンカバレッジエリア 2 2 1 - e - 3 は、第 1 の地球静止軌道位置から、図 2 4 C を参照して説明したネイティブなアンテナパターンカバレッジエリア 2 2 1 - e - 1 と実質的に同一の広がりを持つてあり得る。代わりに、軌道位置の変更によって引き起こされた入射角の変更に起因して、ネイティブなアンテナパターンカバレッジエリア 2 2 1 - e - 3 は、必ずしもネイティブなアンテナパターンカバレッジエリア 2 2 1 - e - 1 と同一の広がりを持つてなくてもよいが、他に信号送信 / 受信密度が、ネイティブなアンテナパターンカバレッジエリア 2 2 1 - e - 1 及び 2 2 1 - e - 3 が同一の広がりを持つてることを要求しても又はしなくてもよいネイティブなアンテナパターンカバレッジエリア 2 2 1 - e - 1 によって提供されるものと同様であるように提供され得る（ただし、ネイティブなアンテナパターンカバレッジエリア 2 2 1 - e - 1 及び 2 2 1 - e - 3 は、少なくとも部分的に重なっている）。換言すると、軌道位置の変更に応答して、更新されたネイティブなアンテナパターン 2 2 0 - e - 2 は、第 2 の地球静止軌道位置において第 2 のネイティブなアンテナパターン 2 2 0 - e - 2 によって提供されるサービスカバレッジエリア 4 1 0 が第 1 の地球静止位置において第 1 のネイティブなアンテナパターン 2 2 0 - e - 1 によって提供されるサービスカバレッジエリア 4 1 0 と実質的に同一の広がりを持つてるように提供され得る。

30

40

【 0 2 4 6 】

別の例では、第 1 の地球静止軌道位置から第 2 の地球静止軌道位置への軌道位置の変更に応答して、第 2 のアンテナアセンブリ 1 2 1 - h は、より広いネイティブなアンテナパターン 2 2 0 - f - 2 を提供するように指令され得る。ネイティブなアンテナパターンの変更は、第 2 のアンテナアセンブリ 1 2 1 - h のアクチュエータ 1 2 4 に、第 1 のデフォーカス位置から第 2 のデフォーカス位置に変更するように（例えば、リニアアクチュエータの長さを変更することによって）指令することによっても提供され得る。そのため、図 2 5 8 0 は、より広いネイティブなアンテナパターン 2 2 0 - f - 2 を提供するようにア

50

ンテナアセンブリ 1 2 1 のアクチュエータに指令する例も示し、及びより広いネイティブなアンテナパターン 2 2 0 - f - 2 の結果は、ネイティブなアンテナパターンカバレッジエリア 2 2 1 - f - 3 であり得る。

#### 【 0 2 4 7 】

いくつかの例では、ネイティブなアンテナパターンカバレッジエリア 2 2 1 - f - 3 は、第 1 の地球静止軌道位置からの、図 2 4 C を参照して説明したネイティブなアンテナパターンカバレッジエリア 2 2 1 - f - 1 と実質的に同一の広がりを持つてあり得る。代わりに、軌道位置の変更によって引き起こされた入射角の変更に起因して、ネイティブなアンテナパターンカバレッジエリア 2 2 1 - f - 3 は、必ずしもネイティブなアンテナパターンカバレッジエリア 2 2 1 - f - 1 と同一の広がりを持つてなくてもよいが、他に信号送信 / 受信密度が、ネイティブなアンテナパターンカバレッジエリア 2 2 1 - f - 1 及び 2 2 1 - f - 3 が同一の広がりを持つてを要求しても又はしなくてもよいネイティブなアンテナパターンカバレッジエリア 2 2 1 - f - 1 によって提供されるものと同様であるように提供され得る（ただし、ネイティブなアンテナパターンカバレッジエリア 2 2 1 - f - 1 及び 2 2 1 - f - 3 は、少なくとも部分的に重なり合い得る）。換言すると、軌道位置の変更に応答して、更新されたネイティブなアンテナパターン 2 2 0 - f - 2 は、第 2 の地球静止軌道位置において第 2 のネイティブなアンテナパターン 2 2 0 - f - 2 によって提供されるサービスカバレッジエリア 4 1 0 が、第 1 の地球静止位置において第 1 のネイティブなアンテナパターン 2 2 0 - f - 1 によって提供されるサービスカバレッジエリア 4 1 0 と実質的に同一の広がりを持つてように提供され得る。

#### 【 0 2 4 8 】

場合により、複数のアンテナアセンブリ 1 2 1 を備える通信衛星 1 2 0 では、1 つのアンテナアセンブリ 1 2 1 に対するネイティブなアンテナパターン 2 2 0 は、調整され得るが、他のアンテナアセンブリ 1 2 1 に対するネイティブなアンテナパターン 2 2 0 は、不変のままである。図 2 4 E は、本開示の態様による、複数のアンテナアセンブリ 1 2 1 を介して通信衛星 1 2 0 - d によって提供されるネイティブなアンテナパターンカバレッジエリア 2 2 1 の代替形態を示す。一例では、通信衛星 1 2 0 - d は、図 2 4 C に示すように、第 1 のアンテナアセンブリ 1 2 1 - g を介してネイティブなアンテナパターンカバレッジエリア 2 2 1 - e - 1 を提供するために、及び第 2 のアンテナアセンブリ 1 2 1 - h を介してネイティブなアンテナパターンカバレッジエリア 2 2 1 - f - 1 を提供するために、最初に第 1 の軌道位置において構成され得る。第 2 のアンテナアセンブリ 1 2 1 - h は、第 1 の地球静止軌道位置から地球上の認識できる範囲を提供するために使用され得る、図 2 4 E に示すようなネイティブなアンテナパターンカバレッジエリア 2 2 1 - f - 4 を提供するように再構成され得る（例えば、ネイティブなアンテナパターン 2 2 0 - f - 1 からネイティブなアンテナパターン 2 2 0 - f - 3 への変更をもたらすようにアクチュエータ 1 2 4 に指令することによって）。別の例では、通信衛星 1 2 0 - d は、最初に、図 2 4 E に示すような地球上の認識できる範囲（例えば、ネイティブなアンテナパターンカバレッジエリア 2 2 1 - f - 4 ）を提供するように第 2 のアンテナアセンブリ 1 2 1 - h が調整された状態で構成され得、及びそれに続いて、第 2 のアンテナアセンブリ 1 2 1 - h が、図 2 4 C に示すようなネイティブなアンテナパターンカバレッジエリア 2 2 1 - f - 1 を提供するように調整され得る（例えば、アクチュエータ 1 2 4 に指令することによって）。そのため、図 2 4 9 0 は、別のアンテナアセンブリ 1 2 1 のネイティブなアンテナパターン 2 2 0 を維持したままでネイティブなアンテナパターン 2 2 0 の変更をもたらすように、1 つのアンテナアセンブリ 1 2 1 のアクチュエータに指令する例を示す。

#### 【 0 2 4 9 】

一般的に地球静止軌道位置を有する通信衛星 1 2 0 を参照して説明したが、ネイティブなアンテナパターン 2 2 0 に対する調整は、LEO 又は MEO 応用などの非地球静止応用にも適用可能である。例えば、ネイティブなアンテナパターン 2 2 0 は、LEO 又は MEO 衛星の軌道経路に従う、より大きいか、より小さいか又は他に適応サービスカバレッジエリアを提供するように調整され得る。さらに、ネイティブなアンテナパターン 2 2 0 は

、軌道経路の特性、軌道経路の高度及び／又はレートなどに基づいて調整され得る。これは、軌道経路に対する調整が必要とされるとき及び／又は軌道経路が設計軌道経路から逸れるとき、設計柔軟性を提供し得る。そのため、複数のネイティブなアンテナパターン 220 を支援するアンテナアセンブリ 121 はまた、非地球静止通信衛星 120 によって提供される通信サービスのビームフォーミングに柔軟性をもたらし得る。

【0250】

図 25A ~ 25C は、本開示の態様による、ネイティブなアンテナパターン 220 の変更を支援するために、フィードアレイアセンブリ 127 - g と反射器 122 - g との間の相対位置の調整を支援する通信衛星 120 - e を示す。通信衛星 120 - e は、フィードアレイアセンブリ 127 - g、反射器 122 - g 及びフィードアレイアセンブリ 127 - g と反射器 122 - g との間に結合されたアクチュエータ 124 - g を有するアンテナアセンブリ 121 - i を含む。

10

【0251】

フィードアレイアセンブリ 127 - g は、フィード素子 128 - g - 1 及び 128 - g - 2 などの複数のフィード素子 128 - g を含み得る。簡潔にするために 2 つのアンテナフィード素子 128 - g のみを示すが、フィードアレイアセンブリ 127 - g は、任意の数（例えば、数十、数百、数千など）のアンテナフィード素子 128 - g を含み得る。さらに、アンテナフィード素子 128 - g は、任意の好適な方法（例えば、リニアアレイ、弓状アレイ、平面アレイ、ハニカムアレイ、多面体アレイ、球形アレイ、楕円形アレイ又はそれらの任意の組み合わせ）で配置され得る。

20

【0252】

フィードアレイアセンブリ 127 の各フィード素子 128 は、図 2C 及び図 3C を参照して説明したネイティブなフィード素子パターンゲインプロファイル 250 の例であり得るゲインプロファイルと関連し得る。フィードアレイアセンブリ 127 の各フィード素子 128 は、それぞれのネイティブなフィード素子パターン 210 と関連し得る（例えば、フィード素子 128 - g - 1 と関連したネイティブなフィード素子パターン 210 - g - 1、フィード素子 128 - g - 2 と関連したネイティブなフィード素子パターン 210 - g - 2 など）。各ネイティブなフィード素子パターン 210 は、図 2A、図 2D、図 3A、図 3D、図 4A、図 24A 及び図 24B を参照して説明したネイティブなフィード素子パターンカバレッジエリア 211 の例であり得るネイティブなフィード素子パターンカバレッジエリア 211 を提供し得る（例えば、ネイティブなフィード素子パターン 210 - g - 1 と関連したネイティブなフィード素子パターンカバレッジエリア 211 - g - 1、ネイティブなフィード素子パターン 210 - g - 2 と関連したネイティブなフィード素子パターンカバレッジエリア 211 - g - 2 など）。ネイティブなフィード素子パターンカバレッジエリア 211 は、上述の通り、反射器から反射後、基準平面 2505 及び／又は基準平面 2505 の上方又は下方の体積部に投影されたエリアを含み得る。

30

【0253】

反射器 122 - g は、フィードアレイアセンブリと 1 つ以上の目標装置（例えば、アクセスノード端末 130 及び／又はユーザ端末 150）との間で送信された信号を反射するように構成され得る。反射器の表面は、フィードアレイアセンブリ 127 - g と通信衛星 120 - e のサービスカバレッジエリア 410 との間で信号を分布させるために任意の好適な形状であり得、これは、放物形、球形、多角形などを含み得る。単一の反射器 122 - g のみを示すが、通信衛星 120 は、特定のフィードアレイアセンブリ 127 に 2 つ以上の反射器 122 を含み得る。さらに、通信衛星 120 の反射器 122 は、単一のフィードアレイアセンブリ 127 の専用とするか又は複数のフィードアレイアセンブリ 127 間で共有され得る。

40

【0254】

反射器 122 - g は、図 2A 及び図 2B を参照して説明したような、通信衛星 120 - a によって受信される信号が集中される 1 つ以上のロケーションと称し得るフォーカス領域 123 と関連し得る。例えば、反射器 122 - g のフォーカス領域は、反射器 122 -

50



gの主軸に対して平行な方向で反射器に到達する信号が一致点に反射されるロケーションと称し得る。逆に、反射器122-gのフォーカス領域は、フォーカス領域から発せられる信号が反射器から平面波で反射するロケーションと称し得る。

#### 【0255】

いくつかの例では、フィードアレイアセンブリ127-gを反射器122-gに対するデフォーカス位置（例えば、反射器122-gの面と反射器122-gのフォーカス領域との間又は反射器122-gに対する何らかの他のデフォーカス位置）に位置決めすることが好都合であり得る。本明細書では、反射器122-gに対してデフォーカス位置に置かれているフィードアレイアセンブリ127-gは、反射器から、反射器122-gと反射器122-gのフォーカス領域との間の距離と異なる距離に置かれているフィード素子128-g（例えば、フィードアパーチャ開口、フィードのトランスデューサなど）と称し得る。いくつかの例では、反射器122-gに対してデフォーカス位置に置かれているフィードアレイアセンブリ127-gは、反射器122-gから基準軸に沿って、基準軸に沿った反射器122-gとフォーカス領域との間の距離と異なる距離に置かれているアンテナフィード素子128-gの面（例えば、複数のフィードアパーチャ開口の基準面、複数のフィードトランスデューサの基準面など）と称し得る。そのような配置構成は、フィードアレイアセンブリ127-gが反射器122-gのフォーカス領域に位置決めされているときよりも広範なネイティブなフィード素子パターンカバレッジエリア211を生じ得、これは、スポットビーム125のビームフォーミングの柔軟性を高め得る。例えば、より広範なネイティブなフィード素子パターンカバレッジエリア211では、フィードアレイアセンブリ127-gのより大量のアンテナフィード素子128-gが特定のスポットビームカバレッジエリア126を支援することができ得る。さらに、より広範なネイティブなフィード素子パターン210-gは、フィードアレイアセンブリ127-gの各フィード素子128-gがより大量のスポットビームカバレッジエリア126を支援できるようにもする。

#### 【0256】

アクチュエータ124-gは、フィードアレイアセンブリ127-gと反射器122-gとの間の相対距離の調整を支援し得る。例えば、アクチュエータ124-aは、1つの並進方向に沿った相対距離の変化をもたらすように制約されるリニアアクチュエータであり得、これは、主に、反射器122-gの中心と反射器122-gのフォーカス領域との間の方向に沿って位置合わせされ得る。様々な例では、アクチュエータ124-gは、リニアモータ、ステッピングモータ、サーボモータ、ラックピニオンアセンブリ、ボールねじアセンブリ、運動学的リンク機構、伸縮トラスアセンブリ、液圧シリンダー又はそれらの任意の組み合わせを含み得る。

#### 【0257】

図25A~25Cに示すように、フィードアレイアセンブリ127-gは、通信衛星120-gの本体に対して固定され得るため、アクチュエータ124-gは、反射器122-gを通信衛星120-eの本体に対して軸に沿って動かし得る。他の例では、反射器122-gは、通信衛星120-eの本体に対して固定され得るため、リニアアクチュエータ124-gは、フィードアレイアセンブリ127-gを通信衛星120-eの本体に対して軸に沿って動かし得る。さらに他の例では、フィードアレイアセンブリ127-gも反射器122-gも通信衛星120-eの本体に対して固定されていなくてもよく、及びアクチュエータ124-gは、フィードアレイアセンブリ127-g又は反射器122-gの一方又は両方を通信衛星120-eの本体に対して軸に沿って動かし得る（例えば、組み合わせで、協働して、別々になど）。

#### 【0258】

いくつかの例では、通信衛星120-eは、追加的なアクチュエータ、例えば副アクチュエータ2540-a及び/又は2540-bを含み得る。副アクチュエータ2540は、フィードアレイアセンブリ127-gと反射器122-gとの間に1つ以上の追加的な自由度（例えば、回転自由度、平行移動自由度又はそれらの組み合わせ）を提供するよう

10

20

30

40

50

に構成され得る。そのような例では、副アクチュエータ 2 5 4 0 は、アクチュエータ 1 2 4 - g の軸と異なる軸の周りでフィードアレイアセンブリと反射器との間の相対位置の変更を引き起こすように指令され得、そのような変更は、指令されたネイティブなアンテナパターンの変更をもたらすためのアクチュエータ 1 2 4 - g の調整と組み合わせられる。副アクチュエータ 2 5 4 0 は、フィードアレイアセンブリ 1 2 7 - g と反射器 1 2 2 - g との間にそのような追加的な自由度を提供するために 1 つ以上の好適なコンポーネントを含み得る。例えば、副アクチュエータ 2 5 4 0 は、衛星の揺らぎ（例えば、アンテナボアサイト方向に影響を与え得る回転振動）を補償するように作動され得るヒンジ又は玉継手を含み得る。副アクチュエータ 2 5 4 0 - a は、通信衛星 1 2 0 - e の本体部分とアクチュエータ 1 2 4 - g との間に回転結合を提供すると示され、及び副アクチュエータ 2 5 4 0 - g は、アクチュエータ 1 2 4 - g と反射器 1 2 2 - g との間に回転結合を提供すると示されているが、追加的なアクチュエータは、フィードアレイアセンブリ 1 2 7 - g と反射器 1 2 2 - g との間に任意の好適な自由度で任意の好適なロケーションに結合され得る。

10

#### 【 0 2 5 9 】

図 2 5 A は、アンテナアセンブリ 1 2 1 - i のフォーカス配置構成に対応する、フィードアレイアセンブリ 1 2 7 - g と反射器 1 2 2 - g との間に第 1 の距離（例えば、距離  $d_1$ ）を有する通信衛星 1 2 0 - e の例 2 5 0 0 を示す。例 2 5 0 0 の配置構成では、ネイティブなフィード素子パターン 2 1 0 - g は、比較的狭いことができる（例えば、ネイティブなフィード素子パターン 2 1 0 - g - 1 及び 2 1 0 - g - 2 によって示すように）。従って、基準平面 2 5 0 5 に対するネイティブなフィード素子パターンカバレッジエリア 2 1 1 - g は、比較的小さいことができ（例えば、ネイティブなフィード素子パターンカバレッジエリア 2 1 1 - g - 1 及び 2 1 1 - g - 2 によって示すように）、及び結果として生じるネイティブなアンテナパターン 2 2 0 は、ネイティブなフィード素子パターン低重なり条件を有すると言及され得る。

20

#### 【 0 2 6 0 】

いくつかの例では、ネイティブなフィード素子パターン低重なり条件は、任意の所与の隣接するフィード素子 1 2 8 のネイティブなフィード素子パターン 2 1 0 とのそのネイティブなフィード素子パターン 2 1 0 の重なり率の半分未満を有する各フィード素子 1 2 8 と関連する。他の例では、ネイティブなフィード素子パターン低重なり条件は、任意の所与の隣接するフィード素子 1 2 8 とのネイティブなフィード素子パターン 2 1 0 とのそのネイティブなフィード素子パターン 2 1 0 の重なり率の 4 0 パーセント未満、3 0 パーセント、2 0 パーセント又は 1 0 パーセントを有する各フィード素子 1 2 8 として説明され得る。さらに他の例では、ネイティブなフィード素子パターン低重なり条件は、任意の所与の隣接するフィード素子 1 2 8 のネイティブなフィード素子パターン 2 1 0 とのそのネイティブなフィード素子パターン 2 1 0 の重なり率を有しない各フィード素子 1 2 8 として説明され得る。

30

#### 【 0 2 6 1 】

様々な例では、距離  $d_1$  は、フィードアレイアセンブリ 1 2 7 - g と反射器 1 2 2 - g との間の距離を反射器 1 2 2 - g の焦点距離（例えば、ゼロフォーカスオフセット距離）と等しいか又は比較的近くする。例 2 5 0 0 は、隣接するネイティブなフィード素子パターンカバレッジエリア 2 1 1 - g が互いにある程度のビームの重なりを有するため、反射器 1 2 2 - g に対してわずかなデフォーカス位置にあるフィードアレイアセンブリ 1 2 7 - g を表し得るが、例 2 5 0 0 は、この説明のために、アンテナアセンブリ 1 2 1 - i の焦点位置にあるとみなされる。換言すると、ネイティブなフィード素子パターンカバレッジエリア 2 1 1 の低ビーム重なり条件は、この説明のために、アンテナアセンブリ 1 2 1 の焦点位置の結果であるとみなされる。

40

#### 【 0 2 6 2 】

図 2 5 B は、第 1 のデフォーカス位置にアンテナアセンブリ 1 2 1 - i を有する通信衛星 1 2 0 - e の例 2 5 5 0 を示す。例 2 5 5 0 では、アクチュエータ 1 2 4 - g は、比較

50

的短い距離（例えば、距離  $d_2$ ）を提供し、反射器 122 - g のフォーカス領域よりも反射器 122 - g の近くにあるフィードアレイアセンブリ 127 - g を生じる（例えば、フィードアレイアセンブリ 127 - g は、例 2500 におけるものよりも反射器 122 - g の近くにあり得る）。換言すると、例 2550 は、反射器 122 - g に対してかなりのデフォーカス位置に置かれているフィードアレイアセンブリ 127 - g を表し得る。例 2550 の配置構成では、ネイティブなフィード素子パターン 210 - h は、比較的幅広であり得る（例えば、ネイティブなフィード素子パターン 210 - h - 1 及び 210 - h - 2 によって示すように）。従って、基準平面 2505 に対するネイティブなフィード素子パターンカバレッジエリア 211 - h は、比較的大きいことができる（例えば、ネイティブなフィード素子パターンカバレッジエリア 211 - h - 1 及び 211 - h - 2 によって示すように）。

10

#### 【0263】

図 25C は、第 2 のデフォーカス位置にアンテナアセンブリ 121 - i を有する通信衛星 120 - e の例 2555 を示す。例 2555 では、アクチュエータ 124 - g は、フィードアレイアセンブリ 127 - g と反射器 122 - g との間の距離を距離  $d_2$  から距離  $d_3$  に長くするように調整されている。例 2555 の配置構成では、ネイティブなフィード素子パターン 210 - i は、比較的幅広であり、且つかなりの重なりを有し得る（例えば、ネイティブなフィード素子パターンカバレッジエリア 211 - i - 1 及び 211 - i - 2 によって示すように）が、それぞれ例 2550 における配置構成よりも狭いことができる。

20

#### 【0264】

例 2550 は、第 1 のネイティブなアンテナパターンに従って通信サービスを支援する通信衛星 120 - e の第 1 の動作条件（例えば、第 1 のネイティブなアンテナパターン 220 - h）を表し得、ここで、第 1 のネイティブなアンテナパターン 220 - h は、少なくとも部分的に、アクチュエータ 124 - g の長さ又は他にそれによってもたらされる長さに基づく（例えば、距離  $d_2$ ）。第 1 のネイティブなアンテナパターン 220 - h は、ネイティブなフィード素子パターンカバレッジエリア 211 - h のサイズ、ネイティブなフィード素子パターンカバレッジエリア 211 - h の重なり、ネイティブなフィード素子パターンカバレッジエリア 211 - h のロケーションなどの特徴又はネイティブなフィード素子パターンカバレッジエリア 211 - h の他の特性によって特徴付けられ得る。例 2550 には 2 つのネイティブなフィード素子パターンカバレッジエリア 211 - h のみを示すが、通信衛星 120 は、任意の数（例えば、数十、数百、数千など）のネイティブなフィード素子パターンカバレッジエリア 211 を有し得る。

30

#### 【0265】

例 2555 は、第 2 のネイティブなアンテナパターン 220 - i に従って通信サービスを支援する通信衛星 120 - e の第 2 の条件（例えば、第 2 のネイティブなアンテナパターン 220 - i）を表し得、ここで、第 2 のカバレッジ条件は、少なくとも部分的に、アクチュエータ 124 - g の長さ又は他にそれによってもたらされる長さに基づく（例えば、距離  $d_3$ ）。各ネイティブなフィード素子パターン 210 - i のビーム幅は、第 1 の条件のネイティブなフィード素子パターン 210 - h と異なるため、第 2 のネイティブなアンテナパターン 220 - i の特徴は、第 1 の条件と異なり得る。第 1 のネイティブなアンテナパターン 220 - h と第 2 のネイティブなアンテナパターン 220 - i との間の特徴のそのような変化は、例えば、本明細書で説明したような、異なるデフォーカス条件による様々なビームフォーミング動作を支援し得る。

40

#### 【0266】

アクチュエータ 124 - g は、 $d_1$  を上回るか、 $d_2$  を下回るか又は  $d_1$  と  $d_2$  との間の距離など、図 25A、図 25B 又は図 25C に示されないフィードアレイと反射器との間の距離のために構成され得る。そのため、本明細書で説明したように、アクチュエータ 124 - g は、フィードアレイアセンブリ 127 - g と反射器 122 - g との間の相対距離の変更をもたらし、従ってネイティブなアンテナパターン 220 の変更をもたらし得

50

、これは、様々なネイティブなアンテナパターン 2 2 0 に従ってサービスを提供するために使用され得る。例えば、アクチュエータ 1 2 4 - g の長さの変更は、アンテナパターンにおけるビーム幅及びネイティブなフィード素子パターンの重なりを量を変更するために使用され得る。アクチュエータ 1 2 4 - g の長さの変更は、所与のロケーション（例えば、サービスカバレッジエリア 4 1 0 内のロケーション）から受け取ったエネルギーをフィードアレイアセンブリ 1 2 7 のより多くのフィード素子 1 2 8 に分配するためにも使用され得る。

#### 【 0 2 6 7 】

例 2 5 5 0 と例 2 5 5 5 との間に示される調整が、サイズ、重なり、の程度及びネイティブなフィード素子パターンカバレッジエリア 2 1 1 のロケーションの変更を示すために説明されるが、いくつかの例では、他の特性が変更されて、異なる条件を提供し得る。例えば、副アクチュエータアセンブリ 4 4 0 は、ネイティブなアンテナパターン 2 2 0 の指向方向を変更するために使用され得る。そのため、アンテナアセンブリ 1 2 1 は、フィードアレイアセンブリ 1 2 7 と反射器 1 2 2 との間に結合されたアクチュエータ 1 2 4 の調整が特性及び / 又はネイティブなフィード素子パターンカバレッジエリア 2 1 1 間の複数の特性の比又は関係に様々な所望の変更をもたらし得るように構成され得る。

#### 【 0 2 6 8 】

図 2 5 D は、本開示の態様による、2 つのアンテナアセンブリ 1 2 1 のためのネイティブなアンテナパターンの変更を支援するために、フィードアレイアセンブリ 1 2 7 と反射器 1 2 2 との間の相対位置の調整を支援する通信衛星 1 2 0 - f の例示的な図 2 5 7 5 を示す。例えば、通信衛星 1 2 0 - f は、複数の独立したネイティブなアンテナパターンカバレッジエリア（例えば、ネイティブなアンテナパターンカバレッジエリア 2 2 1 - j 及び 2 2 1 - k）を支援するためにアンテナアセンブリ 1 2 1 - j 及び 1 2 1 - k を含む。例えば、第 1 のアンテナアセンブリ 1 2 1 - j は、通信サービスを第 1 のネイティブなアンテナパターンカバレッジエリア 2 2 1 - j に提供し得る一方、第 2 のアンテナアセンブリ 1 2 1 - k は、通信サービスを第 2 のネイティブなアンテナパターンカバレッジエリア 2 2 1 - k に提供し得る。図示の例では、第 1 のアンテナアセンブリ 1 2 1 - j は、第 1 のフィードアレイアセンブリ 1 2 7 - j と第 1 の反射器 1 2 2 - j との間の相対距離を調整する第 1 のアクチュエータ 1 2 4 - j（例えば、フィードアレイアセンブリ 1 2 7 - j と反射器 1 2 2 - j との間に結合されたりニアアクチュエータ）を含み、第 1 のネイティブなアンテナパターンカバレッジエリア 2 2 1 - j を提供する。第 2 のアンテナアセンブリ 1 2 1 - k は、第 2 のフィードアレイアセンブリ 1 2 7 - k と第 2 の反射器 1 2 2 - k との間の相対距離を調整する第 2 のアクチュエータ 1 2 4 - k（例えば、第 2 のフィードアレイアセンブリ 1 2 7 - k と第 2 の反射器 1 2 2 - k との間に結合されたりニアアクチュエータ）を含み、第 2 のネイティブなアンテナパターンカバレッジエリア 2 2 1 - k を提供する。第 1 及び第 2 のネイティブなアンテナパターン 2 2 1 - j 及び 2 2 1 - k は、それぞれ複数のネイティブなフィード素子パターンカバレッジエリア 2 1 1 の合成であり得る（明白にするために、それらの 2 つのみが各ネイティブなアンテナパターンカバレッジエリア 2 2 1 に対して示されている）。そのため、各アンテナアセンブリ 1 2 1 は、別個のアクチュエータ 1 2 4 を介して独立して制御されるネイティブなアンテナパターン 2 2 0 を有し得る。

#### 【 0 2 6 9 】

いくつかの例では、第 1 のアンテナアセンブリ 1 2 1 - j は、ユーザ端末サービスカバレッジエリア 4 1 0 と関連し、及び第 2 のアンテナアセンブリ 1 2 1 - k は、アクセスノード端末サービスカバレッジエリア 4 1 0 と関連する。例えば、ユーザ端末 1 5 0 と通信衛星 1 2 0 - f との間の通信信号は、第 1 のアンテナアセンブリ 1 2 1 - j によってもたらされた第 1 のネイティブなアンテナパターン 2 2 0 - j に依存する第 1 のネイティブなアンテナパターンカバレッジエリア 2 2 1 - j に従って通信され得る一方、アクセスノード端末 1 3 0 と通信衛星 1 2 0 - f との間の通信信号は、第 2 のアンテナアセンブリ 1 2 1 - k によってもたらされた第 2 のネイティブなアンテナパターン 2 2 0 - k に依存する

10

20

30

40

50

第2のネイティブなアンテナパターンカバレッジエリア221-kに従って通信され得る。そのため、異なるサービスカバレッジエリア410は、別個のアンテナアセンブリ121を介して、異なるネイティブなアンテナパターン220に従った通信サービスが提供され得る。2つのアンテナアセンブリ121を用いて説明したが、通信衛星120は、対応するアクセスノード端末サービスカバレッジエリア410と関連する複数のアンテナアセンブリ121及び/又は対応するユーザ端末サービスカバレッジエリア410と関連する複数のアンテナアセンブリ121を含む、3つ以上のアンテナアセンブリ121を有し得る。

#### 【0270】

図26A及び図26Bは、本開示の態様による、ネイティブなアンテナパターンカバレッジエリア221-1の変更を支援し得る反射器ベースのアクチュエータ124-1を備えるアンテナアセンブリ121-1を有する通信衛星120-gの例を示す。アクチュエータ124-1は、反射器122-1の形状を変更させ得、反射器122-1のフォーカス領域123のロケーションがロケーションを変更するようにする。例えば、図26Aの条件2605では、反射器122-1のフォーカス領域123は、反射器122-1から比較的遠方であり得る。従って、ネイティブなアンテナパターン220-1-1は、比較的広範であり得、結果的に、基準平面2505-1に投影されるネイティブなアンテナパターンカバレッジエリア221-1-1が比較的幅広になるようにする。それに反して、図26Bの条件2610では、反射器122-1のフォーカス領域123は、反射器122-1に比較的近いことができる。従って、ネイティブなアンテナパターン220-1-2は、比較的狭いことができ、結果的に、基準平面2505-1に投影されるネイティブなアンテナパターンカバレッジエリア221-1-2が比較的狭くなるようにする。

#### 【0271】

様々な機構又は機構の組み合わせは、リニアアクチュエータの一群、ケーブルブーリシステム、運動学的リンク機構又は反射器122の形状を変更する任意の他の機構など、反射器ベースのアクチュエータ124-1の機能を提供し得、それにより反射器122のフォーカス領域123の特性を変更する。反射器122のフォーカス領域123のそのような変更は、第1の焦点から異なる焦点に動くこと、単一焦点から複数の焦点に変更すること、焦点から焦線又は焦点面に変更すること、焦線から焦点又は焦点面に変更すること、第1の形状を有する焦点面から第2の形状を有する焦点面に変更すること又はこれらの様々な組み合わせを含み得る。さらに、反射器122は、反射器122の全て又は一部分の形状を変更するアクチュエータ124を含み得、及びいくつかの例では、反射器は、反射器形状の様々な部分を変更するために2つ以上のアクチュエータ124を有し得る。そのため、様々なタイプの反射器ベースのアクチュエータ124がアンテナアセンブリ121のネイティブなアンテナパターン220を調整するために使用され得る。

#### 【0272】

図26C及び図26Dは、本開示の態様による、アクチュエータ124-mがフィードアレイアセンブリと一体となっており、ネイティブなアンテナパターンカバレッジエリア221-mの変更を支援し得る、アンテナアセンブリ121-mを有する通信衛星120-hの例を示す。アンテナアセンブリ121-mは、反射器を含まず、代わりに直接放射アレイ(DRA)アンテナアセンブリ121の例を示す。アンテナアセンブリ121-mに関し、アクチュエータ124-mは、フィードアレイアセンブリ127-mのアンテナフィード素子128-mの配置構成に特性を変更させて、フィード素子128と関連するネイティブなフィード素子パターン210が異なるロケーションに向かうようにする。従って、アクチュエータ124-mは、ネイティブなフィード素子パターン210の形状、向き及び/又は分布を変更し得、それによりアンテナアセンブリ121-mのためのネイティブなアンテナパターンカバレッジエリア221-mを変更する。例えば、図26Cの条件2615では、アクチュエータ124-mは、ネイティブなフィード素子パターン210-mの比較的狭い分布(例えば、フィード素子128-mのそれぞれに関して指向方向の密な分布)をもたらすように指令され得、結果的に、基準平面2505-mに投影さ

10

20

30

40

50

れるネイティブなアンテナパターンカバレッジエリア 2 2 1 - m - 1 が比較的狭くなるようにする。それに反して、図 2 6 D の条件 2 6 2 0 では、アクチュエータ 1 2 4 - m は、ネイティブなフィード素子パターン 2 1 0 - m の比較的幅広の分布（例えば、フィード素子 1 2 8 - m のそれぞれに関する指向方向の幅広の分布）をもたらすように指令され得、結果的に、基準平面 2 5 0 5 - m に投影されるネイティブなアンテナパターンカバレッジエリア 2 2 1 - m - 1 が比較的広範になるようにする。

#### 【0 2 7 3】

様々な機構又は機構の組み合わせは、フィードアレイアセンブリ 1 2 7 - m と一体となっているアクチュエータ 1 2 4 - m の機能を提供し得る。例えば、機構、例えばフィード素子 1 2 8 - m の給電ホーンアパーチャを含むフィードアレイアセンブリ 1 2 7 - m の表面の湾曲を変更するための機構がフィードアレイアセンブリ 1 2 7 - m の形状を変更するように提供され得る。他の例では、1 つ以上のアクチュエータ 1 2 4 - m は、フィードアレイアセンブリ 1 2 7 - m の形状を変更せずにフィード素子 1 2 8 - m の向きを変更するように提供され得る。さらに、フィードアレイアセンブリ 1 2 7 は、フィードアレイアセンブリ 1 2 7 のフィード素子 1 2 8 の全て又は一部分の向き及び／又はネイティブなフィード素子パターン 2 1 0 を変更するアクチュエータ 1 2 4 を含み得、及びいくつかの例では、フィードアレイアセンブリ 1 2 7 は、フィードアレイアセンブリ 1 2 7 の様々な部分を変更するために 2 つ以上のアクチュエータ 1 2 4 を有し得る。そのため、様々なタイプのアクチュエータ 1 2 4 がフィードアレイアセンブリに組み込まれて、アンテナアセンブリ 1 2 1 のネイティブなアンテナパターン 2 2 0 を調整し得る。

#### 【0 2 7 4】

図 2 6 E 及び図 2 6 F は、本開示の態様による、アクチュエータ 1 2 4 - n が第 1 の反射器 1 2 2 - n - 1 と第 2 の反射器 1 2 2 - n - 2 との間に結合された状態のアンテナアセンブリ 1 2 1 - n を有し、及びネイティブなアンテナパターンカバレッジエリア 2 2 1 - n の変更を支援し得る通信衛星 1 2 0 - i の例を示す。アクチュエータ 1 2 4 - n は、第 2 の反射器 1 2 2 - n - 2 が第 1 の反射器 1 2 2 - n - 1 のより近くに又はそこからより遠くになるようにし得る。例えば、図 2 6 E の条件 2 6 2 5 では、第 2 の反射器 1 2 2 - n - 2 は、第 1 の反射器 1 2 2 - n - 1 の比較的近くにあり得る。従って、ネイティブなアンテナパターン 2 2 0 - n - 1 は、比較的広範であり得、結果的に、基準平面 2 5 0 5 - n に投影されるネイティブなアンテナパターンカバレッジエリア 2 2 1 - n - 1 が比較的幅広になるようにする。それに反して、図 2 6 E の条件 2 6 2 0 では、第 2 の反射器 1 2 2 - n - 2 は、第 1 の反射器 1 2 2 - n - 1 から比較的遠方にあり得る。従って、ネイティブなアンテナパターン 2 2 0 - n - 2 は、比較的狭いことができ、結果的に、基準平面 2 5 0 5 - n に投影されるネイティブなアンテナパターンカバレッジエリア 2 2 1 - n - 2 は、比較的狭くなるようにする。様々な機構又は機構の組み合わせが、反射器 1 2 2 とフィードアレイアセンブリ 1 2 7 との間に結合されたアクチュエータ 1 2 4 を参照して説明したアクチュエータ 1 2 4 の何れかを含む、第 1 の反射器 1 2 2 と第 2 の反射器 1 2 2 との間に結合されるアクチュエータ 1 2 4 - n の機能を提供し得る。

#### 【0 2 7 5】

図 2 7 は、本開示の態様による、複数のネイティブなアンテナパターン 2 2 0 に従って通信サービスを提供するのを支援する通信衛星 1 2 0 - j のブロック図 2 7 0 0 を示す。通信衛星 1 2 0 - j は、本明細書で説明する通信衛星 1 2 0 の 1 つ以上の例であり得、及びフィードアレイアセンブリ 1 2 7 - o、反射器 1 2 2 - o、アクチュエータ 1 2 4 - o、アクチュエータコントローラ 2 7 2 0 及び衛星通信マネージャ 2 7 3 0 を含み得る。

#### 【0 2 7 6】

フィードアレイアセンブリ 1 2 7 - o は、本明細書で説明するフィードアレイアセンブリ 1 2 7 の何れかの例であり得、及び複数のネイティブなフィード素子パターン 2 1 0 を支援するために任意の好適な方法で配置された複数のアンテナフィード素子 1 2 8 を含み得る。反射器 1 2 2 - o は、本明細書で説明する反射器 1 2 2 の何れかの例であり得、及びフィードアレイアセンブリ 1 2 7 - o と 1 つ以上の目標装置（例えば、アクセスノード

端末 1 3 0 及び / 又はユーザ端末 1 5 0 ) との間で送信された信号を反射するように構成され得る。フィードアレイアセンブリ 1 2 7 - o 及び 1 つの反射器 1 2 2 - o のみを示すが、通信衛星 1 2 0 - j などの通信衛星 1 2 0 は、2 つ以上のフィードアレイアセンブリ 1 2 7 及び / 又は 2 つ以上の反射器 1 2 2 を含み得る。

#### 【 0 2 7 7 】

アクチュエータ 1 2 4 - o は、複数のネイティブなアンテナパターン 2 2 0 に従って通信サービスを支援するための、本明細書で説明するアクチュエータ 1 2 4 の何れかの例であり得る。例えば、アクチュエータ 1 2 4 - o は、反射器 1 2 2 - o とフィードアレイアセンブリ 1 2 7 - o との間に結合されたリニアアクチュエータであり得、及びフィードアレイアセンブリ 1 2 7 - o と反射器 1 2 2 - o との間の相対距離の調整を支援し得る。アクチュエータ 1 2 4 - o は、1 つの並進方向に沿った相対距離の変更をもたらすように制約され得、これは、主に、反射器 1 2 2 - o の中心と反射器 1 2 2 - o のフォーカス領域 1 2 3 との間の方向に沿って位置合わせされ得る。様々な例では、アクチュエータ 1 2 4 - o は、リニアモータ、ステッピングモータ、サーボモータ、ラックピニオンアセンブリ、ボールねじアセンブリ、運動学的リンク機構、伸縮トラスアセンブリ、液圧シリンダー又はそれらの任意の組み合わせを含み得る。他の例では、図 2 6 A ~ 2 6 F を参照して説明したように、アクチュエータ 1 2 4 - o は、2 つの反射器 1 2 2 間に結合されても、フィードアレイアセンブリ 1 2 7 に組み込まれるか又は反射器ベースであり得る。いくつかの例では、通信衛星 1 2 0 - j は、任意選択的に、追加的なアクチュエータ、例えば図 2 5 A ~ 2 5 C を参照して説明した副アクチュエータ 2 5 4 0 の例であり得る副アクチュエータ 2 5 4 0 - c 又は通信衛星 1 2 0 - j の向き (例えば、姿勢) 又はロケーションを調整するための軌道位置アクチュエータ 2 7 4 0 (例えば、スラスト、フライホイールなど) を含み得る。

#### 【 0 2 7 8 】

アクチュエータコントローラ 2 7 2 0 は、通信衛星 1 2 0 - j の 1 つ以上のアクチュエータ (例えば、アクチュエータ 1 2 4 - o、副アクチュエータ 2 5 4 0 - o、軌道位置アクチュエータ 2 7 4 0 など) の様々な状態を規定、指令及び / 又は監視するように構成され得、及び作動制御の他の高レベル機能を提供し得る。アクチュエータコントローラ 2 7 2 0 の状態は、初期状態、動作状態及び / 又は欠陥状態を含み得、及びアクチュエータコントローラは、事前プログラム式の指令及び / 又は 1 つ以上のアクチュエータ、衛星通信マネージャから受信した信号及び / 又は位置検出器及び / 又はエンコーダ、センサー、リレー、ユーザ指令又は任意の他の制御信号などのアクチュエータコントローラ 2 7 2 0 の外部からの信号に応答して、状態間で変化し得るか又は特定の状態を維持し得る。アクチュエータコントローラ 2 7 2 0 は、事前プログラム式の命令 (例えば、動作構成、制御アルゴリズム、コントローラゲイン、オフセット、デッドバンド、乗算器など) 及び / 又は受信した信号に応答して、1 つ以上のアクチュエータに配信される様々な制御信号を生成し得る。例えば、アクチュエータコントローラ 2 7 2 0 は、アクチュエータコントローラ 2 7 2 0 の指令信号に従ってアクチュエータ 1 2 4 - o の作動を支援し得るアクチュエータドライバ 2 7 2 1 を含み得る。副アクチュエータ及び / 又は軌道位置アクチュエータを含む通信衛星 1 2 0 では、アクチュエータコントローラ 2 7 2 0 は、任意選択的に、副アクチュエータドライバ 2 7 2 4 及び / 又は軌道位置アクチュエータドライバ 2 7 2 5 をそれぞれ含み得る。

#### 【 0 2 7 9 】

様々な例では、本明細書で説明した指令信号は、アクチュエータコントローラ 2 7 2 0 によって受信され得、且つ / 又はアクチュエータコントローラ 2 7 2 0 によって決定され得る。例えば、アクチュエータコントローラは、任意選択的に、指令信号受信機 2 7 2 2 を含み得、これは、地球上のアクセスノード端末 1 3 0 又は様々なネイティブなアンテナパターン 2 2 0 に従って通信サービスを提供する態様を制御するように構成された他のネットワーク装置 1 4 1 などの指令信号発生器からの、アクチュエータ 1 2 4 - o (及び / 又は存在するときには他のアクチュエータ) を制御するための指令信号の受信 (例えば、

10

20

30

40

50

衛星通信マネージャ 2730 を介した) を支援し得る。加えて又は代わりに、アクチュエータコントローラ 2720 は、所望のネイティブなアンテナパターン 220 を提供するために、アクチュエータ 124 - o (及び/又は存在するときには他のアクチュエータ) を作動させるために指令信号を判定する (例えば、通信衛星 120 - j において) のを支援する指令信号判定器 2723 を含み得る。様々な例では、指令信号は、アクチュエータ位置の指示、位置の差、通信衛星 120 - j のコンポーネント (例えば、反射器 122 - o、フィードアレイアセンブリ 127 - o など) の所望の位置、アクチュエータの長さ又は角度、ネイティブなアンテナパターン 220 のパラメータ、第 2 のネイティブなアンテナパターン 220 と関連したルックアップ値又は所望の結果を達成するために特定のアクチュエータ 124 及び/又は副アクチュエータ 2540 をどのように駆動するかを特定又は決定するのに好適な任意の他の指令信号を含み得る。

10

#### 【0280】

衛星通信マネージャ 2730 は、通信衛星 120 - j を介して通信サービスを提供する 1 つ以上の態様を管理するために構成され得る。例えば、衛星通信マネージャ 2730 は、他の装置、例えばアクセスノード端末 130、ネットワーク装置 141、ユーザ端末 150、CPE 160 などに提供されるか又はそこから受信する (例えば、送受信機 2710 を介して) 信号 2705 を介して通信を管理し得る。いくつかの例では、信号 2705 は、通信衛星 120 - j を介して提供された通信サービスの一部であり得る。加えて又は代わりに、信号 2705 は、通信サービスと無関係の制御信号又は診断若しくは制御情報を含み得るが、他に通信衛星 120 - j によって提供又は受信される。

20

#### 【0281】

衛星通信マネージャ 2730 のいくつかの例は、任意選択的に、本明細書で説明したようなカバレッジエリアの 1 つ以上の態様を管理し得るカバレッジエリアマネージャ 2731 を含み得る。例えば、カバレッジエリアマネージャ 2731 は、通信衛星 120 - o を介して通信サービスを提供するためにネイティブなアンテナパターン 220 を提供、監視及び/又は調整するのを支援する、データベース、等式又は他の構成を含み得る。カバレッジエリアマネージャ 2731 は、例えば、所望のネイティブなアンテナパターン 220、ネイティブなフィード素子パターンカバレッジエリア 211、ネイティブなフィード素子パターンカバレッジエリアの重なりなどを決定及び/又は提供するためのアルゴリズムを含み得る。いくつかの例では、カバレッジエリアマネージャ 2731 は、少なくとも部分的に、アクチュエータ 124 - o の特性、副アクチュエータ 2540 - o の位置若しくは回転、軌道位置又は軌道位置の変更に基づいて動作可能であり得る (例えば、カバレッジエリアパラメータを計算するために、ネイティブなアンテナパターン 220 の変更をトリガするためになど)。他の例では、カバレッジエリア管理は、本明細書で説明したような通信サービスマネージャなど、何らかの他の装置によって実施され得る。

30

#### 【0282】

衛星通信マネージャ 2730 がビームフォーミングによって通信サービスを提供する例では、衛星通信マネージャは、任意選択的に、ビームフォーミングマネージャ 2732 を含み得る。ビームフォーミングマネージャ 2732 は、例えば、通信衛星 120 - j においてオンボードビームフォーミングを支援し得、及び本明細書で説明したような BFN 710 及び/又は BWP 714 を含み得る。例えば、ビームフォーミングマネージャ 2732 は、ビームフォーミング重みセットを、フィードアレイアセンブリ 127 - o によって伝えられる信号 2705 に適用し得る。ビームフォーミング重みセットのビーム重みは、例えば、送信前に信号に適用されて、Tx スポットビーム 125 の指向性送信を支援し得るか、又は通信衛星 120 - o によって受信された信号に適用されて、Rx スポットビーム 125 の指向性受信を支援し得る。様々な例では、そのようなビーム重みは、ビームフォーミングマネージャ (例えば、BWP 714 において) によって選択及び/又は計算されて、所望のネイティブなアンテナパターン 220 を提供し得る (例えば、スポットビームカバレッジエリア 126 の所望のサイズ及び/又は位置を提供する、複数のスポットビームカバレッジエリア 126 間の所望の重なりの程度を提供する、1 つ以上のスポットビ

40

50



ーム 1 2 5 に使用されるフィードアレイアセンブリ 1 2 8 - o の所望の組のアンテナフィード素子 1 2 8 を割り振るなど)。他の例では、ビームフォーミング管理は、本明細書で説明したような通信サービスマネージャなど、何らかの他の装置によって実施され得る。

#### 【 0 2 8 3 】

アクチュエータコントローラ 2 7 2 0 及び / 又は衛星通信マネージャ 2 7 3 0 は、個別に又はまとめて、本明細書で説明したような機能を実行するように設計された、汎用プロセッサ、デジタル信号プロセッサ ( D S P )、A S I C、F P G A 若しくは他のプログラマブルロジックデバイス、ディスクリートゲート若しくはトランジスタ論理、ディスクリートハードウェアコンポーネント又はそれらの任意の組み合わせと一緒に実装又は実行され得る。汎用プロセッサはマイクロプロセッサであり得るが、代替形態では、プロセッサは、任意の従来のプロセッサ、コントローラ、マイクロコントローラ又は状態機械であり得る。プロセッサは、計算装置の組み合わせ、例えば、D S P とマイクロプロセッサの組み合わせ、複数のマイクロプロセッサ、D S P コアと併せた 1 つ以上のマイクロプロセッサ又は任意の他のそのような構成としても実装され得る。

10

#### 【 0 2 8 4 】

図 2 8 は、本開示の態様による、複数のネイティブなアンテナパターンに従って通信サービスを提供するのを支援する衛星コントローラ 2 8 0 5 のブロック図 2 8 0 0 を示す。衛星コントローラ 2 8 0 5 は、プロセッサ 2 8 1 0、メモリ 2 8 1 5、アクチュエータコントローラ 2 7 2 0 - a、衛星通信マネージャ 2 7 3 0 - a 及び通信インターフェース 2 8 4 0 を含み得る。これらのコンポーネントのそれぞれは、1 つ以上のバス 2 8 3 5 で、互いに直接又は間接的に通信し得る。

20

#### 【 0 2 8 5 】

メモリ 2 8 1 5 は、ランダムアクセスメモリ ( R A M ) 及び / 又はリードオンリーメモリ ( R O M ) を含み得る。メモリ 2 8 1 5 は、オペレーティングシステム ( O S ) 2 8 2 0 ( 例えば、L i n u x 又は W i n d o w s のカーネル上に構築された ) を記憶し得る。メモリ 2 8 1 5 は、実行時、プロセッサ 2 8 1 0 に、異なるネイティブなアンテナパターンに従って通信サービスを提供することに関する、本明細書で説明した様々な機能を実行させるように構成される命令を含む、コンピュータ可読、コンピュータ実行可能コード 2 8 2 5 も記憶し得る。代わりに、コード 2 8 2 5 は、プロセッサ 2 8 1 0 によって直接実行可能でなくてもよいが、衛星コントローラ 2 8 0 5 に ( 例えば、コンパイルして実行するとき )、本明細書で説明した機能の 1 つ以上を実行させるように構成され得る。

30

#### 【 0 2 8 6 】

衛星コントローラは、図 2 7 のアクチュエータコントローラ 2 7 2 0 の例であり得るアクチュエータコントローラ 2 7 2 0 - a を含み得る。アクチュエータコントローラ 2 7 2 0 - a は、本明細書で説明したように、フィードアレイアセンブリと反射器との間の相対距離の変更をもたらすようにリニアアクチュエータを制御し得る。衛星通信マネージャ 2 7 3 0 - a は、本明細書で説明したように、ネイティブなアンテナパターンに従う通信サービスを提供するのを支援し得る。いくつかの例では、動作は、通信インターフェース 2 8 4 0 によって支援され得、それにより、通信衛星の他の特徴 ( 例えば、フィードアレイアセンブリ、1 つ以上のアクチュエータなど ) に送信される又はそこから受信される信号 2 8 4 5 をもたらすようにし得る。そのため、本明細書で説明した特徴を支援することにより、衛星コントローラ 2 8 0 5 を含む通信衛星 1 2 0 は、異なるネイティブなアンテナパターンに従う通信サービスの提供を支援し得る。

40

#### 【 0 2 8 7 】

プロセッサ 2 8 1 0、メモリ 2 8 1 5、アクチュエータコントローラ 2 7 2 0 - a 及び衛星通信マネージャ 2 7 3 0 - a を含む衛星コントローラ 2 8 0 5 並びに / 又は通信インターフェース 2 8 4 0 は、本明細書で説明したような機能を実行するように設計された、汎用プロセッサ、デジタル信号プロセッサ ( D S P )、A S I C、F P G A 若しくは他のプログラマブルロジックデバイス、ディスクリートゲート若しくはトランジスタ論理、ディスクリートハードウェアコンポーネント又はそれらの任意の組み合わせと一緒に実装又

50

は実行され得る。汎用プロセッサはマイクロプロセッサであり得るが、代替形態では、プロセッサは、任意の従来のプロセッサ、コントローラ、マイクロコントローラ又は状態機械であり得る。衛星コントローラ 2805 は、計算装置の組み合わせ、例えば、DSP とマイクロプロセッサの組み合わせ、複数のマイクロプロセッサ、DSP コアと併せた 1 つ以上のマイクロプロセッサ、集積メモリ (integrated memory)、ディスクリットメモリ (discrete memory) 又は任意の他のそのような構成としても実装され得る。

【0288】

図 29 は、本開示の態様による、複数のネイティブなアンテナパターンに従う通信サービスの提供を支援する通信サービスマネージャ 2905 のブロック図 2900 を示す。通信サービスマネージャ 2905 は、通信マネージャ 2910 及び指令信号判定器 2920 を含み得る。

10

【0289】

通信マネージャ 2910 は、フォワードリンク通信及びリターンリンク通信などの通信サービスによって提供される通信の態様を管理する。例えば、通信マネージャ 2910 は、複数のアクセスノード端末と衛星との間に第 1 の複数の信号を提供するための、及び衛星と複数の端末との間に第 2 の複数の信号を提供するための、1 つ以上の態様を管理し得る。

【0290】

指令信号判定器 2920 は、通信サービスが提供さる方法に適合するように、通信衛星に提供するための 1 つ以上の指令信号を決定し得る。例えば、指令信号判定器 2920 は、通信衛星のリニアアクチュエータが第 1 の長さから第 2 の長さに変更するための指令を決定し得、これは、フィードアレイアセンブリと通信衛星の反射器との間の相対距離の変更をもたらし得る。それに続いて、通信衛星のリニアアクチュエータの長さの変更は、新しいネイティブなアンテナパターンに従う通信サービスの提供を支援し得る。

20

【0291】

カバレッジエリアマネージャ 2930 は、通信衛星のカバレッジエリアに関する様々なパラメータ及び / 又は等式を管理し得る。いくつかの例では、カバレッジエリアマネージャは、少なくとも部分的に、通信サービスマネージャ 2905 によって検出され得るか、又は通信衛星自体から受信され得る、通信衛星のリニアアクチュエータの長さ、第 2 のアクチュエータの位置若しくは回転、通信衛星の軌道位置又はそれらの任意の組み合わせに基づいてカバレッジエリアの態様を決定し得る。カバレッジエリアマネージャ 2930 は、所望のネイティブなアンテナパターンを特定する及び / 又はネイティブなアンテナパターンの変更を決定して指令信号判定器 2920 をトリガし、通信衛星のアクチュエータへの指令を開始するように使用され得る。

30

【0292】

通信サービスマネージャ 2905 が、ビームフォーミングを利用する通信サービスを管理する例では、通信サービスマネージャは、任意選択的に、ビームフォーミングマネージャ 2940 を含み得る。ビームフォーミングマネージャ 2940 は、例えば、通信衛星 120 を介して、地上のビームフォーミングを支援し得る。例えば、ビームフォーミングマネージャ 2940 は、アクセスノード端末 130 によって送信された信号にビームフォーミング係数の組を適用し得る。そのようなビームフォーミング係数は、例えば、送信前に信号に適用されて、指向性送信を支援し得るか、又は通信衛星 120 によって受信された信号に適用されて、指向性受信を支援し得る。他の例では、そのようなビームフォーミング係数は、ビームフォーミングマネージャ 2940 によって決定され、及び通信衛星 120 に提供されて、通信衛星におけるオンボードビームフォーミングを支援し得る。様々な例では、ビームフォーミング係数はビームフォーミングマネージャ 2940 によって選択及び / 又は計算されて、通信サービスマネージャ 2905 によって決定された所望のネイティブなアンテナパターンを提供し得る。

40

【0293】

50

図30は、本開示の態様による、複数のネイティブなアンテナパターンに従う通信サービスの提供を支援する通信サービスコントローラ3005のブロック図3000を示す。通信サービスコントローラ3005は、プロセッサ3010、メモリ3015、通信サービスマネージャ2905-a及び通信インターフェース3040を含み得る。これらのコンポーネントのそれぞれは、1つ以上のバス3035で、互いに直接又は間接的に通信し得る。様々な例では、通信サービスコントローラ3005は、図1Aを参照して説明したアクセスノード端末130又はネットワーク装置141であり得るか、又はその一部であり得る。

【0294】

メモリ3015は、ランダムアクセスメモリ(RAM)及び/又はリードオンリーメモリ(ROM)を含み得る。メモリ3015は、オペレーティングシステム(OS)3020(例えば、Linux又はWindowsのカーネルに構築された)を記憶し得る。メモリ3015は、実行時に、プロセッサ3010に、異なるネイティブなアンテナパターンに従う通信サービスを提供することに関する、本明細書で説明した様々な機能を実行させるように構成される命令を含む、コンピュータ可読、コンピュータ実行可能コード3025も記憶し得る。代わりに、コード3025は、プロセッサ3010によって直接実行可能でなくてもよいが、通信サービスコントローラ3005に(例えば、コンパイルして実行するとき)、本明細書で説明した機能の1つ以上を実行させるように構成され得る。

【0295】

衛星コントローラは、図29の通信サービスマネージャ2905の例であり得る通信サービスマネージャ2905-aを含み得る。通信サービスマネージャ2905-aは、本明細書で説明したように、異なるネイティブなアンテナパターンに従う通信サービスを提供する1つ以上の態様を管理し得る。通信サービスは、例えば、通信インターフェース3040を介して提供され得る。いくつかの例では、通信サービスマネージャは、所望のネイティブなアンテナパターンを決定し、それに続いて、所望のネイティブなアンテナパターンを提供するように、指令が通信衛星120に送信されるように(例えば、通信インターフェース3040を介した信号3045によって)決定し得る。例えば、決定された指令は、フィードアレイアセンブリと反射器との間の相対距離の変更をもたらすために、リニアアクチュエータの位置及び/又は長さの変更を指示し得、これは、続いて、ネイティブなアンテナパターンの変更をもたらす。

【0296】

プロセッサ3010、メモリ3015、通信サービスマネージャ2905-a及び/又は通信インターフェース3040を含む通信サービスコントローラ3005は、本明細書で説明したような機能を実行するように設計された、汎用プロセッサ、デジタル信号プロセッサ(DSP)、ASIC、FPGA若しくは他のプログラマブルロジックデバイス、ディスクリートゲート若しくはトランジスタ論理、ディスクリートハードウェアコンポーネント又はそれらの任意の組み合わせと一緒に、実装又は実行され得る。汎用プロセッサはマイクロプロセッサであり得るが、代替形態では、プロセッサは、任意の従来のプロセッサ、コントローラ、マイクロコントローラ又は状態機械であり得る。通信サービスコントローラ3005は、計算装置の組み合わせ、例えばDSPとマイクロプロセッサの組み合わせ、複数のマイクロプロセッサ、DSPコアと併せた1つ以上のマイクロプロセッサ、集積メモリ、ディスクリートメモリ又は任意の他のそのような構成としても実装され得る。

【0297】

図31は、本開示の態様による、通信衛星を介して、複数のネイティブなアンテナパターンに従う通信サービスを提供するのを支援する例示的な方法3100のフローチャートを示す。方法3100は、本明細書で説明したような、フィードアレイアセンブリ127、反射器122及びフィードアレイアセンブリ間に結合されたりニアアクチュエータ124を有する通信衛星120の1つ以上の態様を参照して下記で説明する。いくつかの例では、通信衛星120自体が、下記で説明する方法3100の動作の1つ以上を実行し得る

。いくつかの例では、方法 3 1 0 0 の動作の 1 つ以上は、通信サービスコントローラ 3 0 0 5 によって実行され得る。

【 0 2 9 8 】

3 1 0 5 において、方法 3 1 0 0 は、本明細書で説明したように、衛星を介して、衛星の衛星アンテナの第 1 のネイティブなアンテナパターンに従って通信サービスを提供することを含み得る。第 1 のネイティブなアンテナパターンは、第 1 の複数のスポットビームを含み得、及び少なくとも部分的に、衛星アンテナの反射器に対してフィードアレイアセンブリの第 1 のデフォーカス位置を提供するリニアアクチュエータの第 1 の長さに基づき得る。通信サービスを提供することは、複数のアクセスノード端末と衛星との間に第 1 の複数の信号を提供すること、及び衛星と複数の端末との間に第 2 の複数の信号を提供することを含み得る。いくつかの例では、第 1 のデフォーカス位置は、反射器と反射器のフォーカス領域との間に置かれているフィードアレイアセンブリと関連し得る。通信サービスは、ビームフォーミングによって提供され得、及び第 1 のネイティブなアンテナパターンに従って通信サービスを提供することは、フィードアレイアセンブリによって伝えられる信号に第 1 の組のビームフォーミング係数を適用することを含み得る。説明のビームフォーミング係数は、通信衛星 1 2 0 において決定され得るか、又は通信サービスコントローラ 3 0 0 5 などの別の装置において決定され、それに続いて通信衛星 1 2 0 に提供され得る（例えば、通信衛星 1 2 0 において受信したワイヤレス送信によって）。

10

【 0 2 9 9 】

3 1 1 0 において、方法 3 1 0 0 は、本明細書で説明したように、リニアアクチュエータに、第 1 の長さから第 2 の長さに変更するように指令することを含み得る。様々な例では、3 1 1 0 での指令は、リニアアクチュエータの新しい位置の指示、位置間の差、反射器の所望の位置、フィードアレイアセンブリの所望の位置、リニアアクチュエータの長さ、第 2 のネイティブなアンテナパターンのパラメータ又は第 2 のネイティブなアンテナパターンと関連したルックアップ値を提供することを含み得る。3 1 1 0 での指令は、通信衛星 1 2 0 において決定され得るか、又は通信サービスコントローラ 3 0 0 5 などの別の装置において決定され、それに続いて通信衛星 1 2 0 に提供され得る（例えば、通信衛星 1 2 0 において受信したワイヤレス送信によって）。

20

【 0 3 0 0 】

いくつかの例では、3 1 1 5 において、方法 3 1 0 0 は、任意選択的に、第 2 のアクチュエータに指令することを含み得る。第 2 のアクチュエータは、フィードアレイアセンブリと反射器との間に結合され得、及びリニアアクチュエータの第 1 及び第 2 の長さに沿った軸と異なる軸の周りでのフィードアレイアセンブリと反射器との間の相対位置の変更を引き起こすのを支援し得る。3 1 1 5 での指令は、通信衛星 1 2 0 において決定され得るか、又は通信サービスコントローラ 3 0 0 5 などの別の装置において決定され、それに続いて通信衛星 1 2 0 に提供され得る（例えば、通信衛星 1 2 0 において受信したワイヤレス送信によって）。

30

【 0 3 0 1 】

いくつかの例では、3 1 2 0 において、方法 3 1 0 0 は、任意選択的に、衛星に、第 1 の軌道位置から第 2 の軌道位置に動くように指令することを含み得る。3 1 2 0 での指令は、通信衛星 1 2 0 において決定され得るか、又は通信サービスコントローラ 3 0 0 5 などの別の装置において決定され、それに続いて通信衛星 1 2 0 に提供され得る（例えば、通信衛星 1 2 0 において受信したワイヤレス送信によって）。

40

【 0 3 0 2 】

3 1 2 5 において、方法 3 1 0 0 は、衛星を介して、衛星アンテナの第 2 のネイティブなアンテナパターンに従って通信サービスを提供することを含み得る。第 2 のネイティブなアンテナパターンは、第 2 の複数のスポットビームを含み得、及び少なくとも部分的に、反射器に対してフィードアレイアセンブリの第 2 のデフォーカス位置を提供する、リニアアクチュエータの第 2 の長さに基づき得る。第 2 のデフォーカス位置は、第 1 のネイティブなアンテナパターンと比較すると、第 2 のネイティブなアンテナパターンの様々な違

50

いを提供し得る。例えば、第2のデフォーカス位置は、第1のネイティブなフィード素子パターンカバレッジエリアサイズと異なる、フィードアレイアセンブリのフィードの第2のネイティブなフィード素子パターンカバレッジエリアサイズを提供し得る。いくつかの例では、第2のデフォーカス位置は、ネイティブなフィード素子パターンの第1の重なりと異なる、フィードアレイアセンブリの2つ以上のアンテナフィード素子のネイティブなフィード素子パターンの第2の重なりを提供し得る。

#### 【0303】

いくつかの例では、3125において、通信サービスは、通信衛星を介して、3105において提供される通信サービスと同じ軌道位置で提供され得、及び第2のネイティブなアンテナパターンは、第1のネイティブなアンテナパターンと異なるサービスカバレッジエリアに対応し得る。いくつかの例では、第2のネイティブなアンテナパターンのサービスカバレッジエリアは、第1のネイティブなアンテナパターンのサービスカバレッジエリアと少なくとも部分的に重なり得る。3125において通信サービスを提供することは、フィードアレイアセンブリを介して伝えられた信号に異なる組のビームフォーミング係数を適用することを含み得る。説明のビームフォーミング係数は、通信衛星120において決定され得るか、又は通信サービスコントローラ3005などの別の装置において決定され、それに続いて通信衛星120に提供され得る（例えば、通信衛星120において受信したワイヤレス送信によって）。

#### 【0304】

そのため、方法3100は、異なるネイティブなアンテナパターンに従う通信サービスを提供することを支援し得、ここで、異なるネイティブなアンテナパターンは、少なくとも部分的に、フィードアレイアセンブリと通信衛星の反射器との間に結合されたりニアアクチュエータに指令することに基づく。方法3100は、例示的な実装例を説明していること、及び方法3100の動作は、他の実装例が可能であるように、再整理され得るか又は他に修正され得ることに留意すべきである。例えば、説明したいいくつかの動作は任意選択的であり得（例えば、破線の四角で囲まれているもの、任意選択的と説明されているものなど）、ここで、任意選択な動作は、いくつかの基準が満たされるときに実施されるか、構成に基づいて実施されるか、断続的に省略されるか、又は完全に省略され得るなどである。

#### 【0305】

添付図面に関連して上述した詳細な説明では、例を説明し、及び実装され得る又は特許請求の範囲内にある唯一の例を表すものではない。用語「例」は、この説明において使用されるとき、「例、実例又は説明の機能を果たす」ことであり、及び「好ましい」又は「他の例よりも好都合である」わけではないことを意味する。詳細な説明は、説明の技術の理解をもたらすための具体的な詳細を含む。しかしながら、これらの技術は、これらの具体的な詳細がなくても実施され得る。場合により、説明の例の概念を曖昧にするのを回避するために、周知の構造及び機器がブロック図の形態で示している。

#### 【0306】

情報及び信号は、様々な異なるテクノロジー及び技術の何れかを使用して表され得る。例えば、上述の説明を通して言及され得るデータ、命令、指令、情報、信号、ビット、シンボル及びチップは、電圧、電流、電磁波、磁場若しくは磁性粒子、光学場若しくは光学粒子又はそれらの任意の組み合わせによって表され得る。

#### 【0307】

本開示に関連して説明した、様々な実例となるブロック及びコンポーネントは、本明細書で説明したような機能を実行するように設計された、汎用プロセッサ、デジタル信号プロセッサ(DSP)、ASIC、FPGA又は他のプログラマブルロジックデバイス、ディスクリートゲート又はトランジスタ論理、ディスクリートハードウェアコンポーネント又はそれらの任意の組み合わせと一緒に実装又は実行され得る。汎用プロセッサはマイクロプロセッサであり得るが、代替形態では、プロセッサは、任意の従来のプロセッサ、コントローラ、マイクロコントローラ又は状態機械であり得る。プロセッサは、計算装置の

10

20

30

40

50

組み合わせ、例えばDSPとマイクロプロセッサの組み合わせ、複数のマイクロプロセッサ、DSPコアと併せたマイクロプロセッサ又は任意の他のそのような構成としても実装され得る。

#### 【0308】

本明細書した機能は、ハードウェア、プロセッサによって実行されるソフトウェア、ファームウェア又はそれらの任意の組み合わせに実装され得る。プロセッサによって実行されるソフトウェアに実装される場合、機能は、コンピュータ可読媒体上の命令又はコードとして記憶又は送信され得る。他の例及び実装例は、本開示及び添付の特許請求の範囲内にある。例えば、ソフトウェアの性質に起因して、上述した機能は、プロセッサによって実行されるソフトウェア、ハードウェア、ファームウェア、ハード配線又はこれらの何れかの組み合わせを使用して、実装され得る。機能を実装する特徴は、機能の複数の部分が異なる物理的位置において実装されるように分散されていることを含め、様々な位置に物理的にも置かれ得る。本明細書では、特許請求の範囲内を含め、2つ以上のアイテムのリストにおいて使用されるとき用語「及び/又は」は、リストしたアイテムの何れか1つがそれのみで用いられ得るか、又はリストしたアイテムの2つ以上の何れかの組み合わせが用いられ得ることを意味する。例えば、組成物が構成成分A、B及び/又はCを含有すると説明される場合、組成物は、Aを単独で、Bを単独で、Cを単独で、AとBを組み合わせ、AとCを組み合わせ、BとCを組み合わせ又はA、B及びCを組み合わせで含有し得る。また、本明細書では、特許請求の範囲内を含め、アイテムのリスト(例えば、「~の少なくとも1つ」又は「~の1つ以上」などの語句の前に来るアイテムのリスト)において使用されるとき、「又は」は、選言的なリストを指示し、例えば、リスト「A、B又はCの少なくとも1つ」は、A又はB又はC又はA B又はA C又はB C又はA B C(すなわちA及びB及びC)を意味する。

#### 【0309】

コンピュータ可読媒体は、1つの箇所から別の箇所へのコンピュータプログラムの伝送を容易にする任意の媒体を含むコンピュータ記憶媒体及び通信媒体の両方を含む。記憶媒体は、汎用又は専用コンピュータによってアクセスできる何れかの利用可能な媒体であり得る。例として及び限定されるものではないが、コンピュータ可読媒体は、RAM、ROM、EEPROM、フラッシュメモリ、CD-ROM又は他の光ディスク記憶装置、磁気ディスク記憶装置又は他の磁気記憶デバイス又は命令若しくはデータ構造の形態で所望のプログラムコード手段を保有又は記憶するために使用され得且つ汎用若しくは専用コンピュータ又は汎用若しくは専用プロセッサによってアクセスされ得る任意の他の媒体を含み得る。また、任意の接続が、適切に、コンピュータ可読媒体と呼ばれる。例えば、同軸ケーブル、光ファイバケーブル、ツイストペア、デジタル加入者線(DSL)又は赤外線、無線及びマイクロ波などのワイヤレステクノロジーを使用して、ソフトウェアがウェブサイト、サーバ又は他の遠隔源から送信される場合、同軸ケーブル、光ファイバケーブル、ツイストペア、DSL又は赤外線、無線及びマイクロ波などのワイヤレステクノロジーは、媒体の定義に含まれる。ディスク(Disk)及びディスク(disc)は、本明細書では、コンパクトディスク(CD)、レーザディスク、光ディスク、デジタルバーサタイルディスク(DVD)、フロッピーディスク及びブルーレイディスクを含み、ここで、ディスク(disk)は、通常、データを磁氣的に再生するが、ディスク(disc)は、レーザによって光学的にデータを再生する。上記の組み合わせもコンピュータ可読媒体の範囲内に含まれる。

#### 【0310】

本明細書では、語句「~に基づく」は、条件の閉集合を指すとみなされない。例えば、「条件Aに基づく」と説明される例示的なステップは、本開示の範囲から逸脱することなく、条件A及び条件Bの両方に基づき得る。換言すると、本明細書では、語句「~に基づく」は、語句「少なくとも部分的に、~に基づく」と同じように解釈される。

#### 【0311】

本開示の先の説明は、当業者が本開示を作製又は使用できるようにするために提供され

10

20

30

40

50

る。本開示に対する様々な修正形態は、当業者に容易に明らかになり、及び本明細書で定義される一般的な原理は、本開示の範囲から逸脱することなく他の変型形態に適用され得る。そのため、本開示は、本明細書で説明される例及び設計に限定されず、本明細書で開示した原理及び新規の特徴と一致する最も広い範囲に従い得る。

【図面】

【図 1 A】

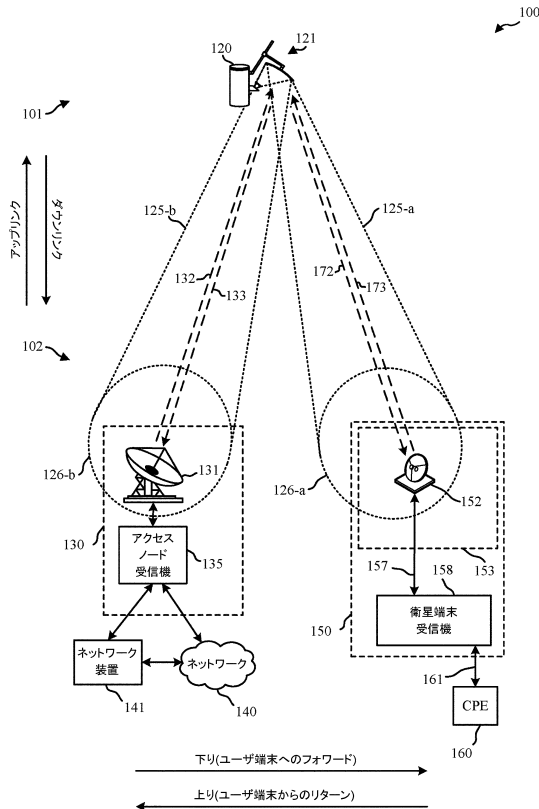


図 1A

【図 1 B】

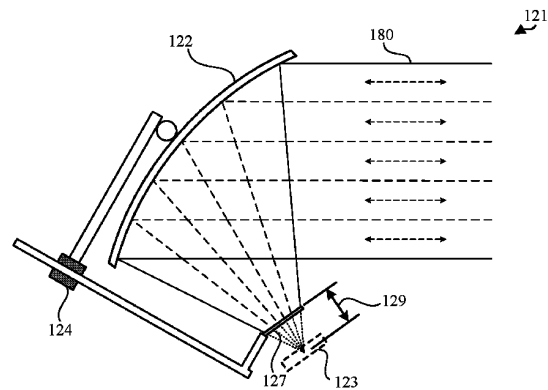


FIG. 1B

【図 1 C】

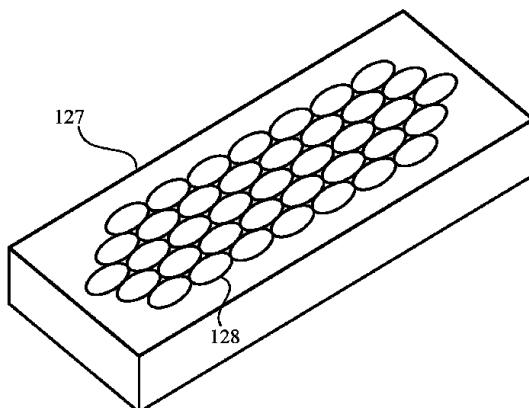


FIG. 1C

【図 2 A】

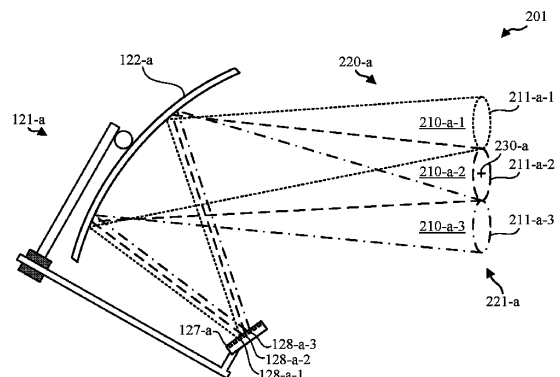


FIG. 2A

10

20

30

40

50

【図 2 B】

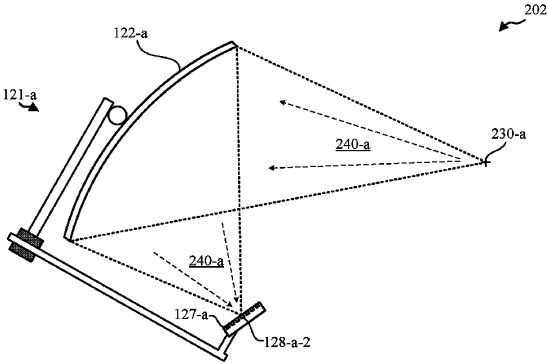


FIG. 2B

【図 2 C - 2 D】

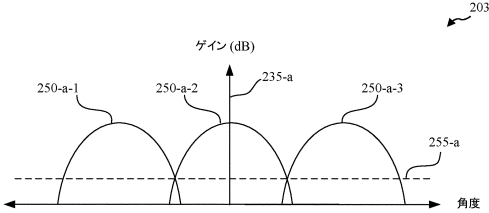


図 2C

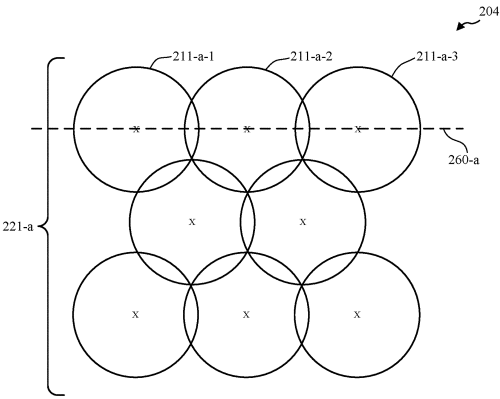


図 2D

【図 3 A】

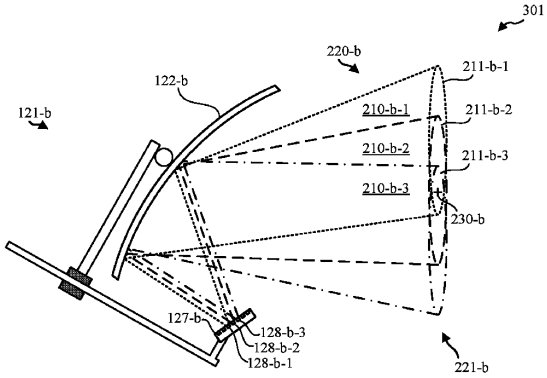


FIG. 3A

【図 3 B】

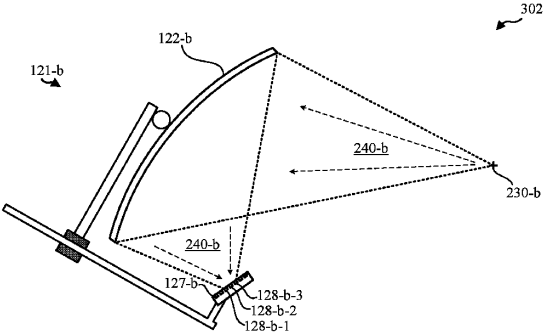


FIG. 3B

10

20

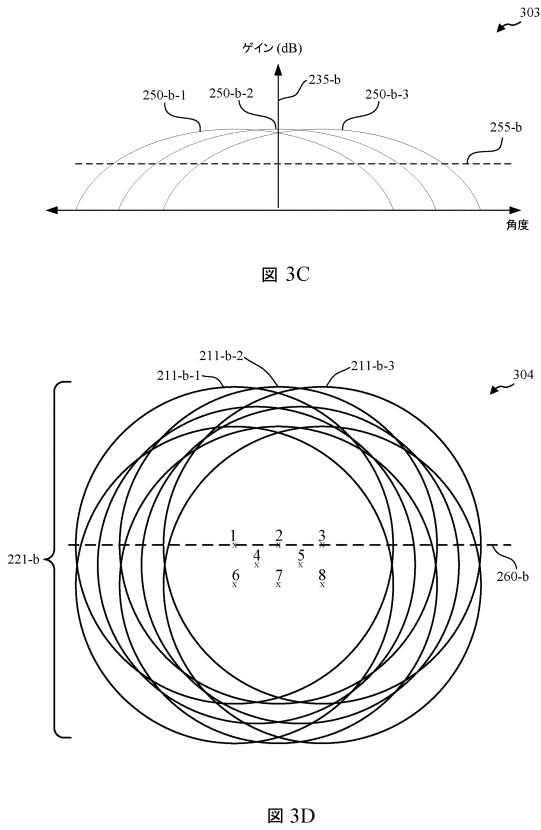
30

40

50



【図 3 C - 3 D】



【図 4 A】

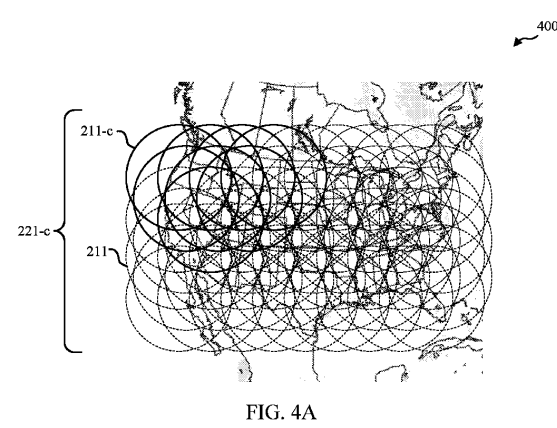


FIG. 4A

10

20

【図 4 B】

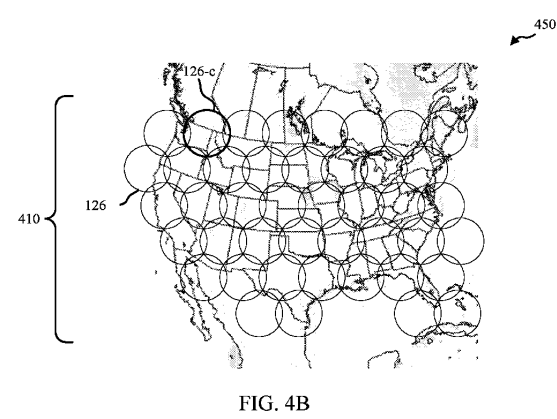


FIG. 4B

【図 5 A】

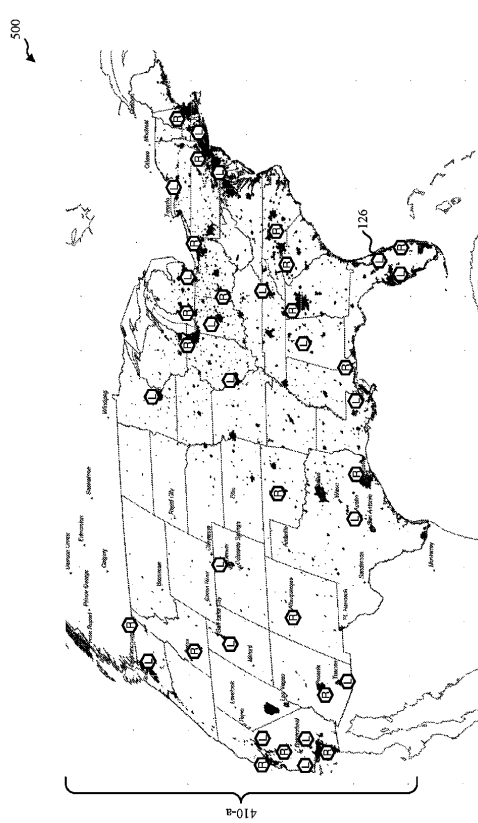


FIG. 5A

30

40

50

【 5 B 】

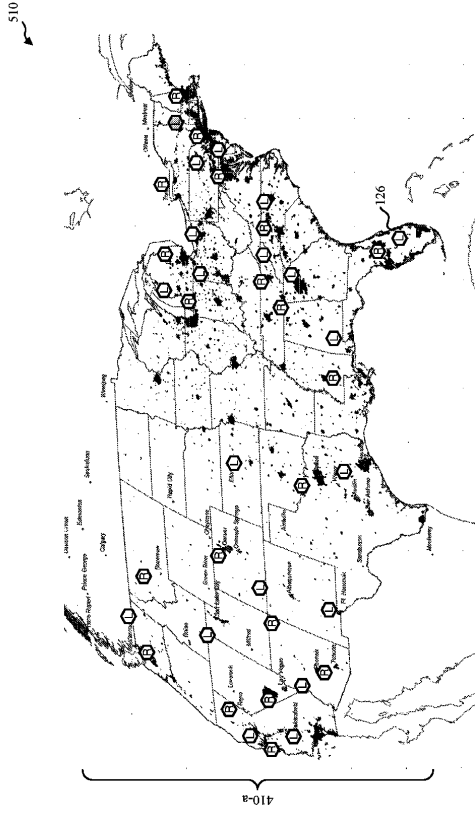


FIG. 5B

【 5 C 】

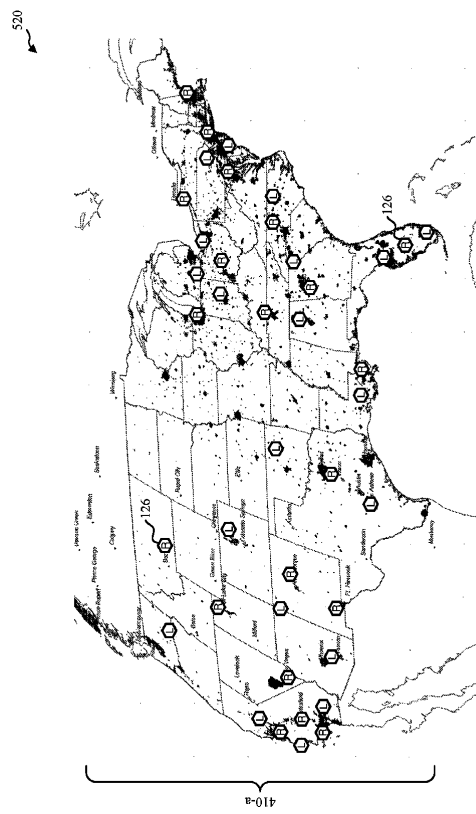


FIG. 5C

【 5 D 】

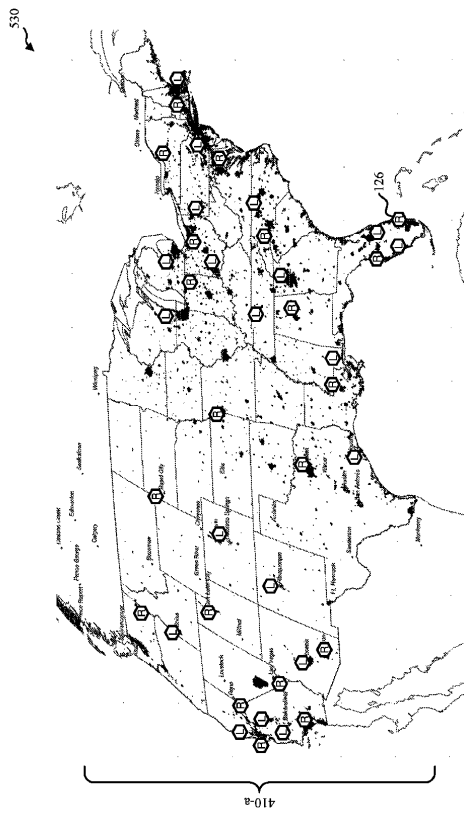


FIG. 5D

【 5 E 】

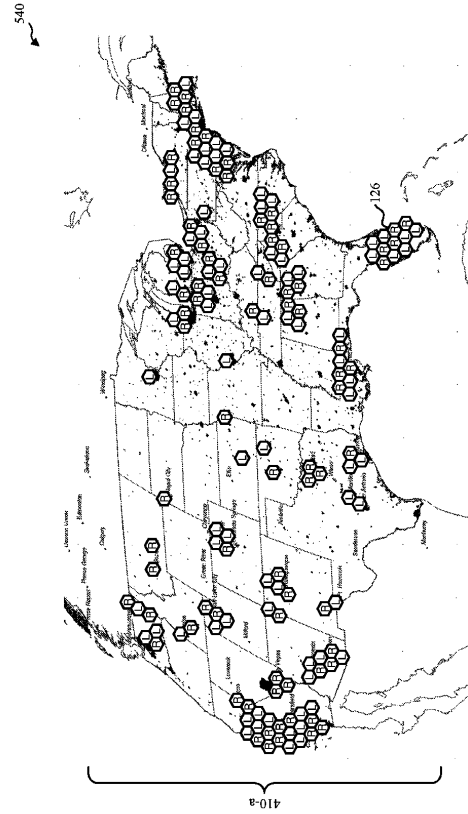


FIG. 5E

10

20

30

40

50

【図 6】

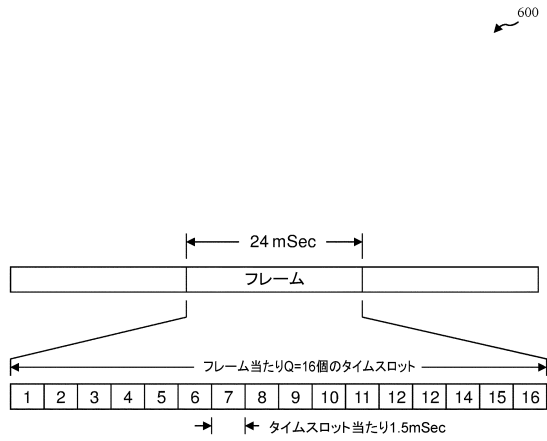


図 6

【図 7】

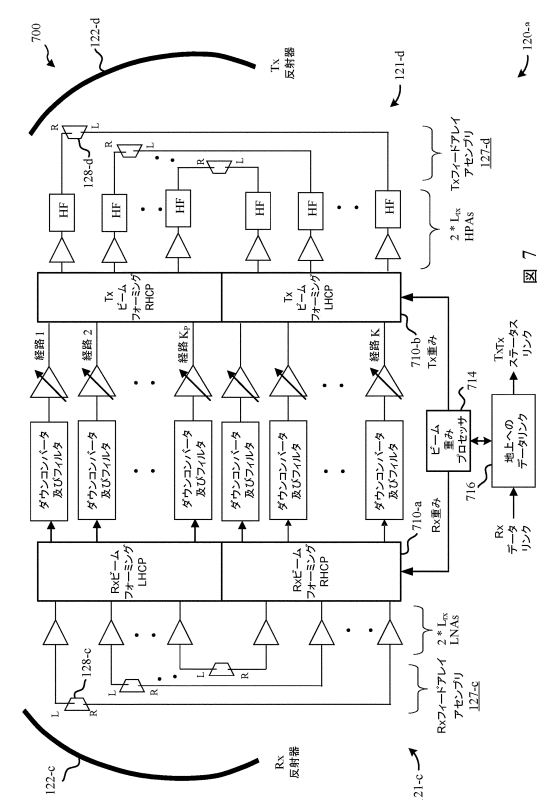


図 7

【図 8】

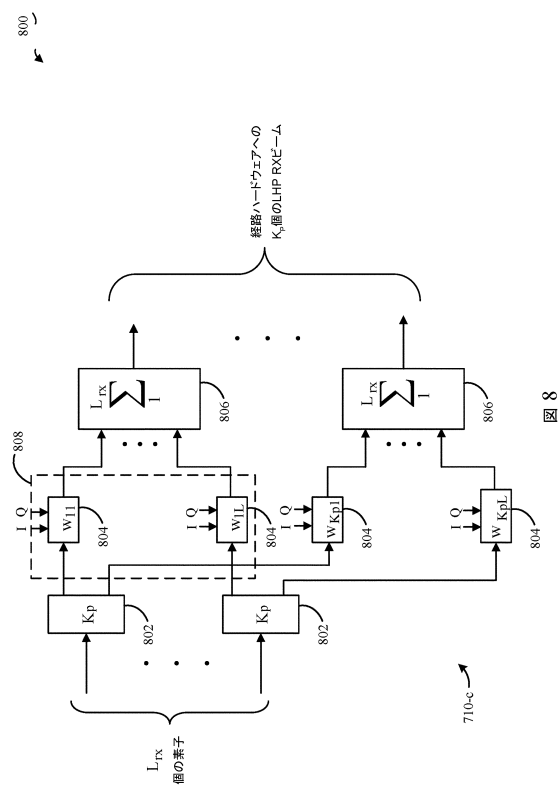


図 8

【図 9】

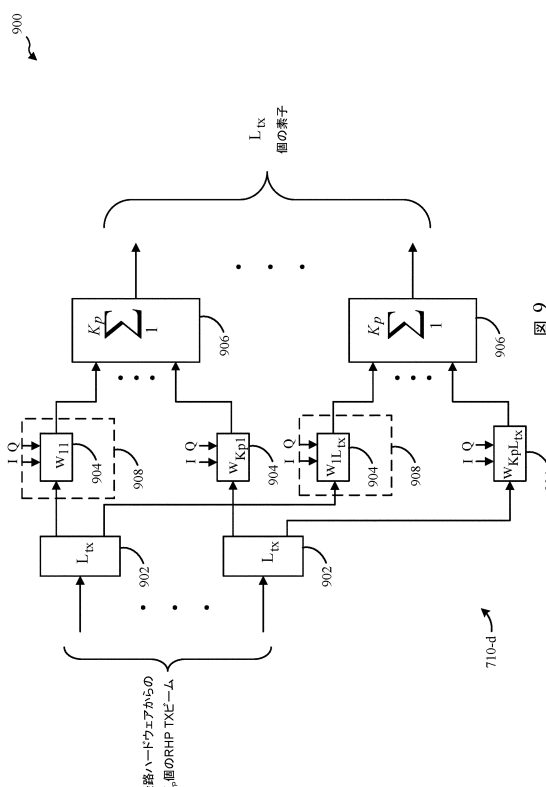


図 9

10

20

30

40

50

【図 1 0】

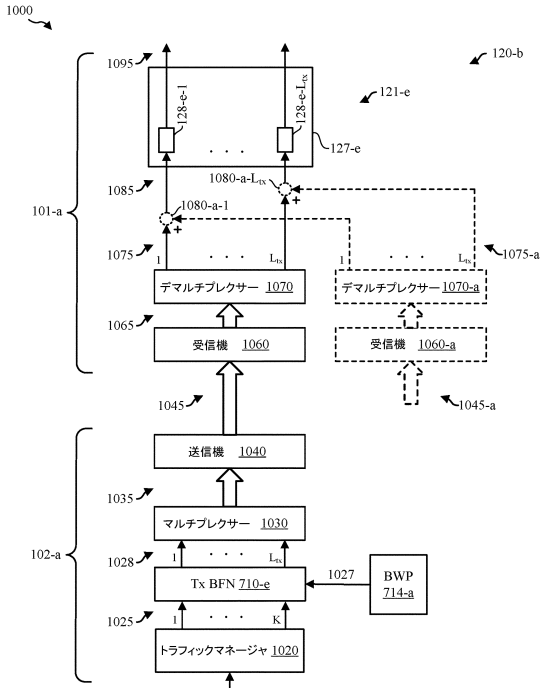


図 10

【図 1 1】

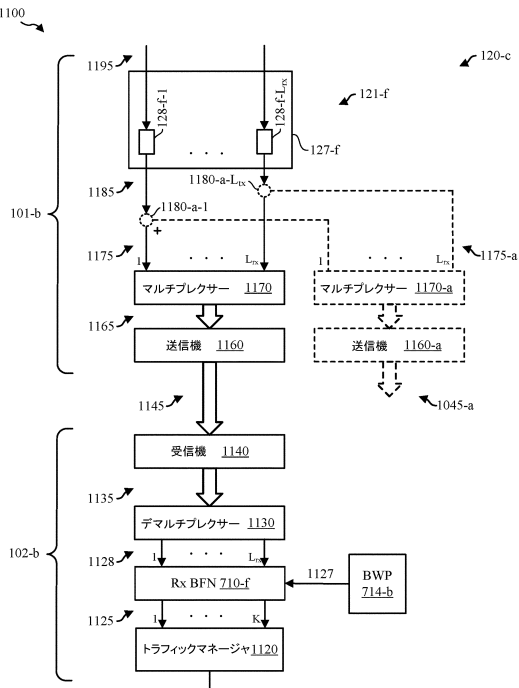


図 11

【図 1 2】

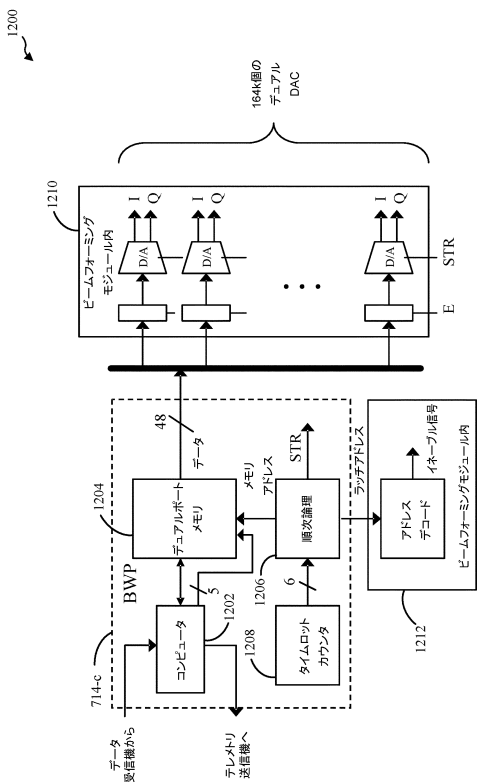


図 12

【図 1 3 A - 1 3 C】

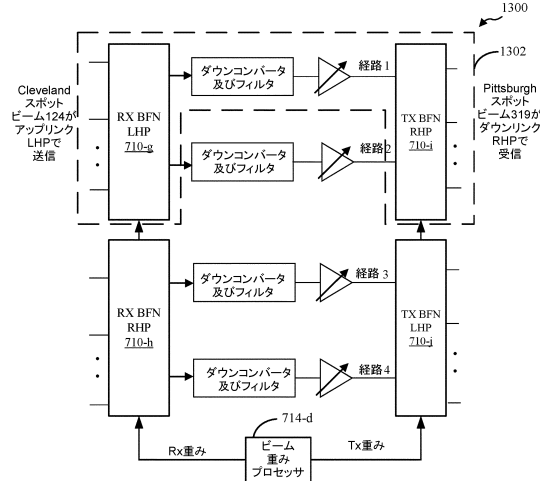


図 13A

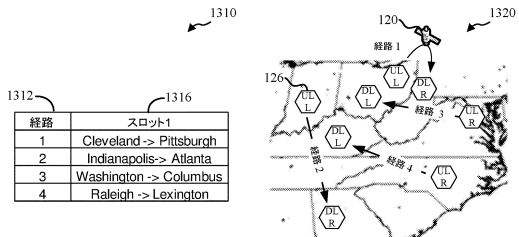


図 13B

図 13C

10

20

30

40

50

【図 1 4】

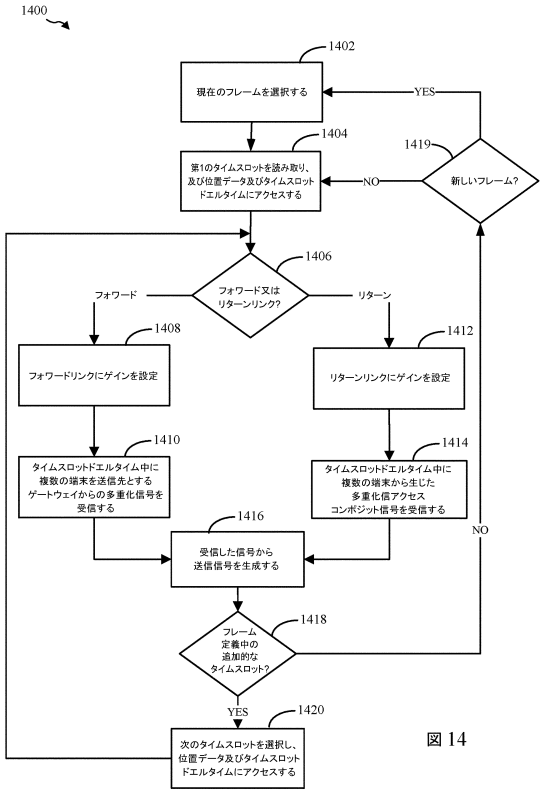


図 14

【図 1 5 A】

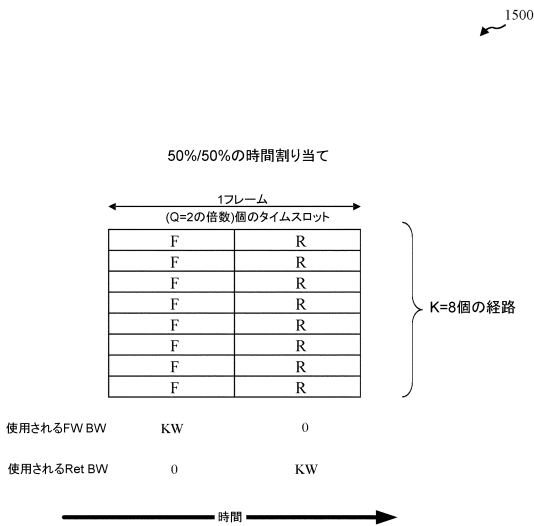


図 15A

【図 1 5 B】

1510

経路	スロット1	スロット2	スロット使用状況
1	GW1->B1	B1->GW1	FR
2	GW3->B3	B3->GW3	FR
3	GW2->B7	B7->GW2	FR
4	GW4->B5	B5->GW4	FR
5	GW1->B2	B2->GW1	FR
6	GW3->B4	B4->GW3	FR
7	GW2->B8	B8->GW2	FR
8	GW4->B6	B6->GW4	FR
PW使用状況	8F	8R	

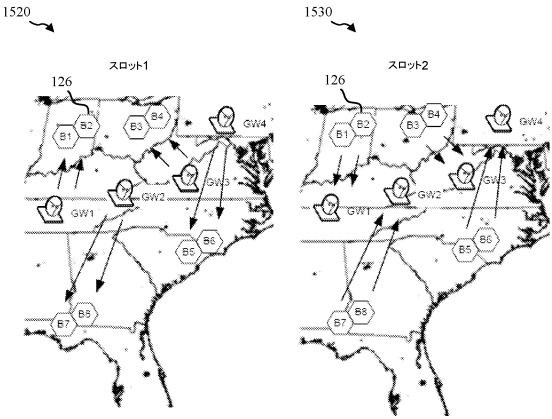


図 15B

【図 1 6 A】

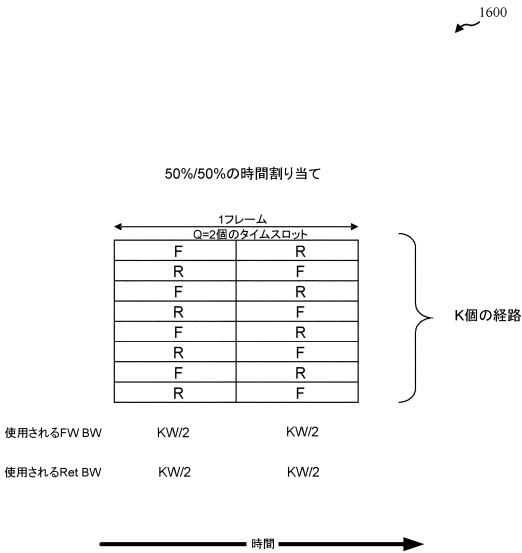


図 16A

10

20

30

40

50

【図 1 6 B】

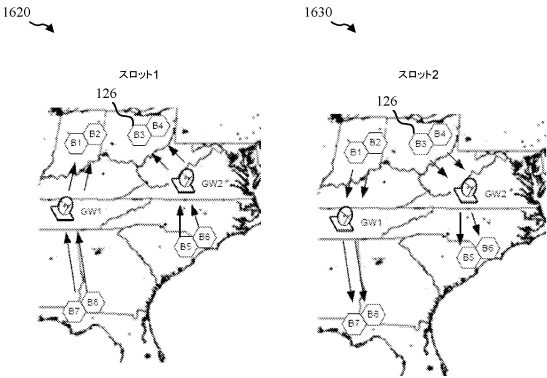


図 16B

【図 1 7 A】

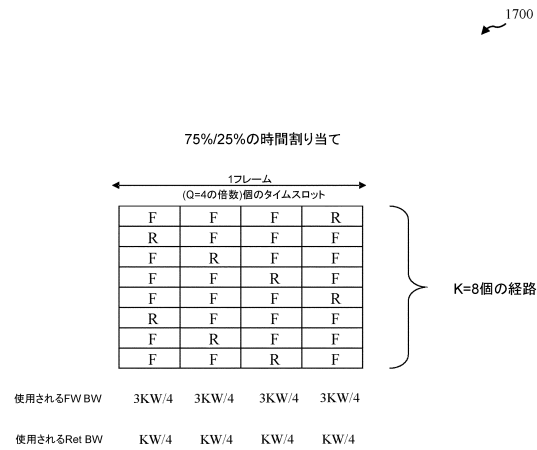


図 17A

【図 1 7 B】

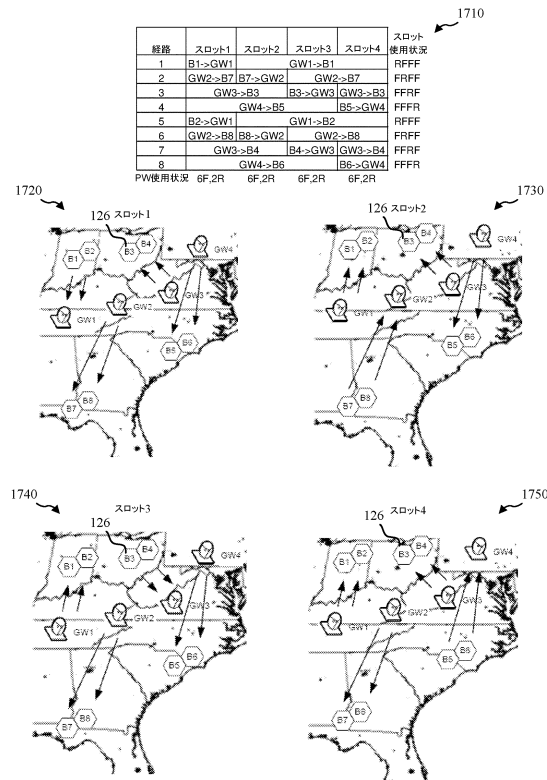


図 17B

【図 1 8 A】

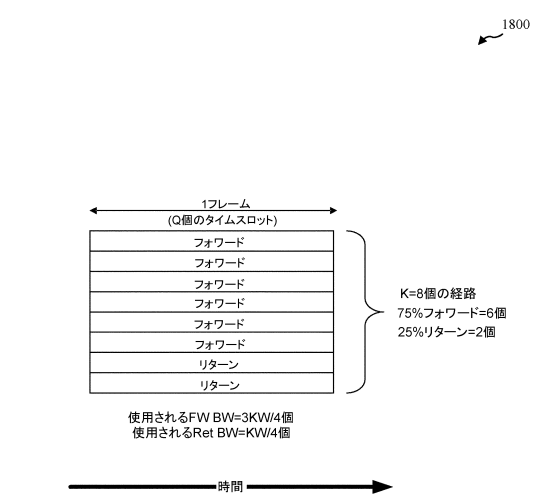


図 18A

10

20

30

40

50

【図 18B】

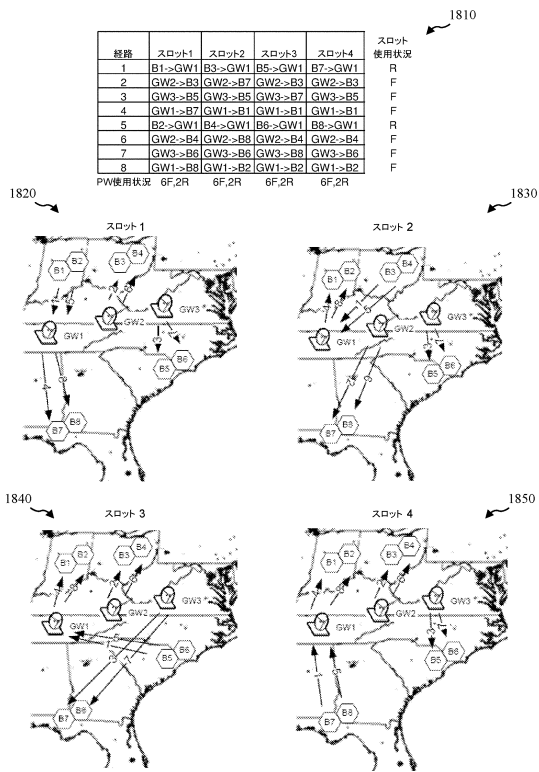


図 18B

【図 18C - 18E】

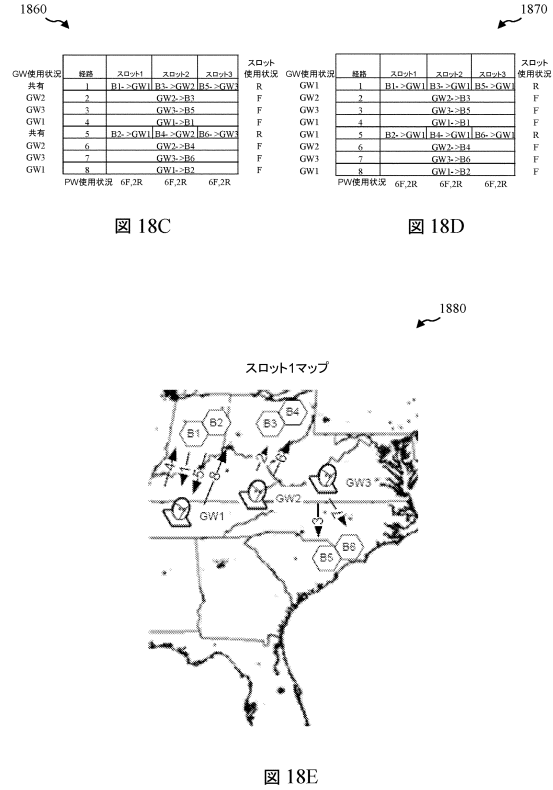


図 18E

【図 19】

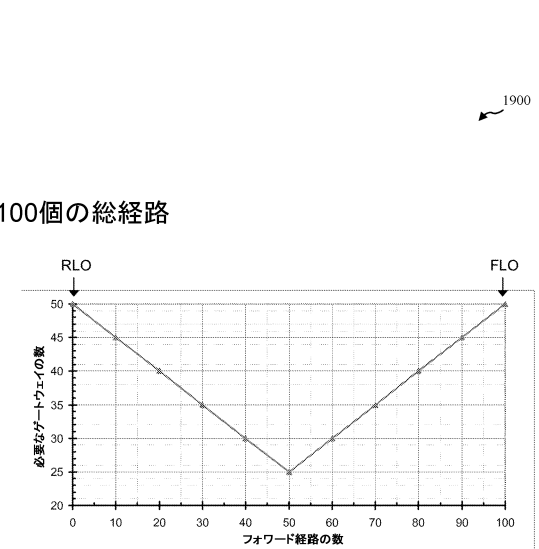


図 19

【図 20A】

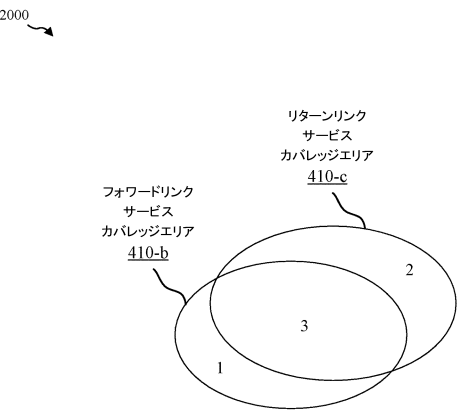


図 20A

【図 20B】

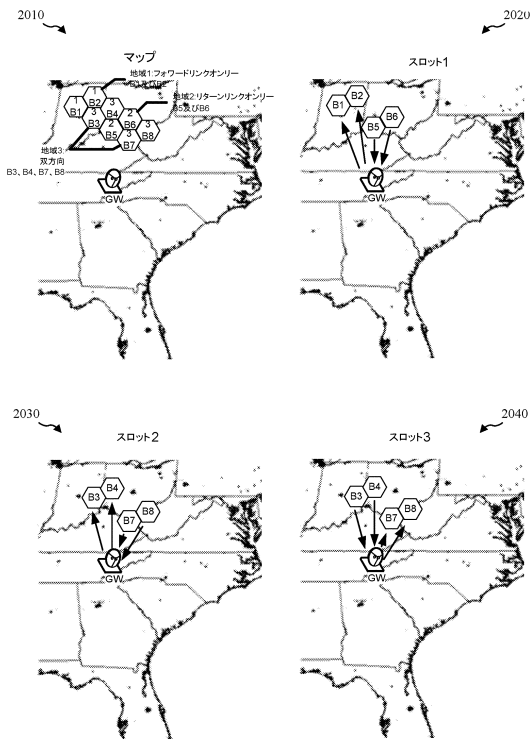
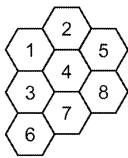


図 20B

【図 21A - 21C】

8個のドエルタイム、  
 $Q=32$ 及び $C_b=4.5Gbps$ の例



ビームホッピングフレーム  
における8個の異なる時間  
間隔でのビーム#1からの  
セルロケーション

図 21A

ドエル タイム#	qj、割り振られた スロットの数	エリア容量、 Mbps
1	16	2250
2	1	141
3	2	281
4	3	422
5	2	281
6	5	703
7	1	141
8	2	281
合計	32	4500

図 21B



図 21C

【図 22A】

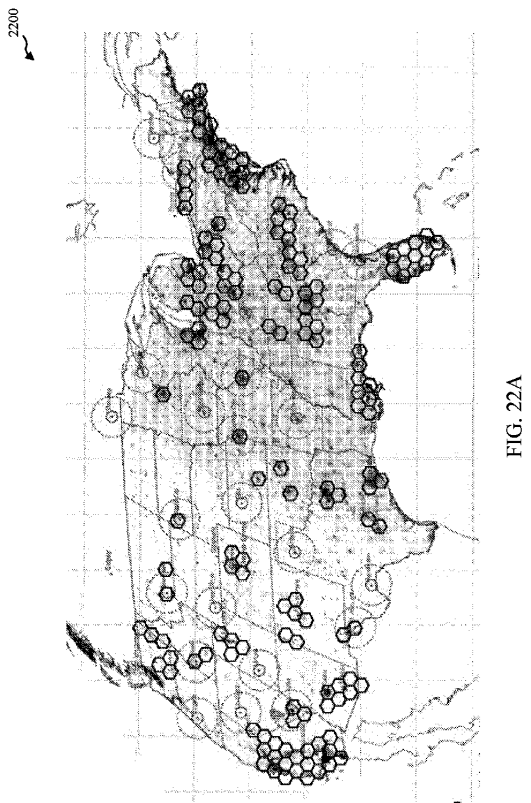


FIG. 22A

【図 22B - 22C】

GW#	ロケーション	ビーム問題 の数	Ci
1	Sanderson, TX	0	8
2	FL Hancock, TX	2	6
3	Amarillo, TX	0	8
4	Milford, UT	0	8
5	Ellis, KN	0	8
6	Lovelock, NV	1	7
7	Green River, WY	0	8
8	Boise, ID	2	6
9	Rapid City, SD	1	7
10	Bozeman, MT	2	6
11	Winnipeg, Canada	0	8
12	Duluth, MI	0	8
13	Syracuse, NY	2	6
14	Little Rock, AK	0	8
15	St. Louis, MO	1	7
16	Louisville, KY	1	7
17	Kansas City, MO	1	7
18	Las Vegas, NV	3	5
19	Montreal	0	8
20	Eugene, OR	0	8
21	Jacksonville, FL	0	8
22	Savannah, GE	0	8
23	Des Moines, IO	0	8
合計			168

図 22B

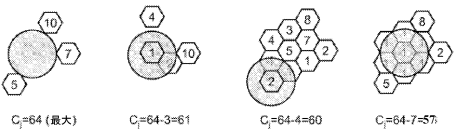
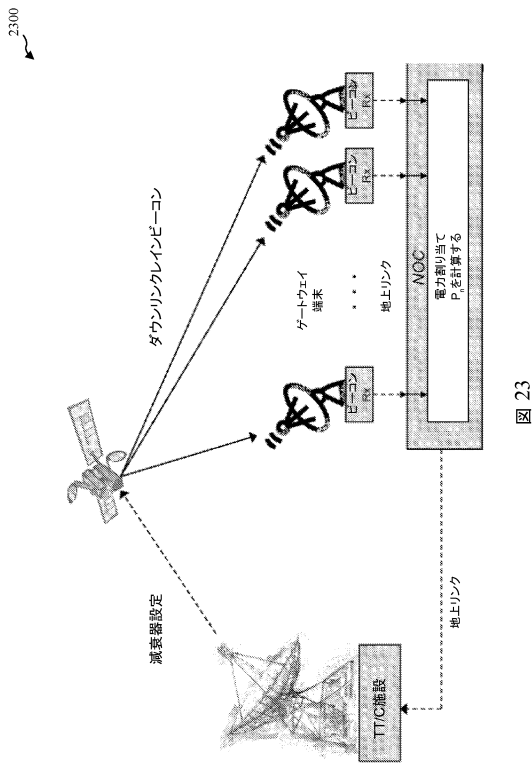


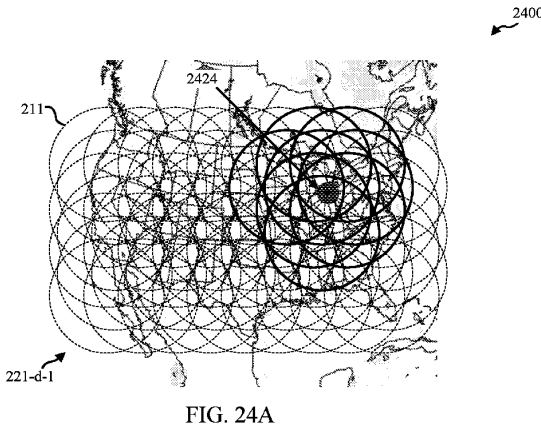
図 22C



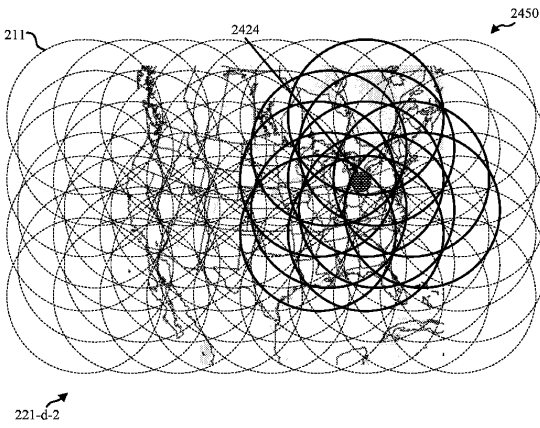
【図 2 3】



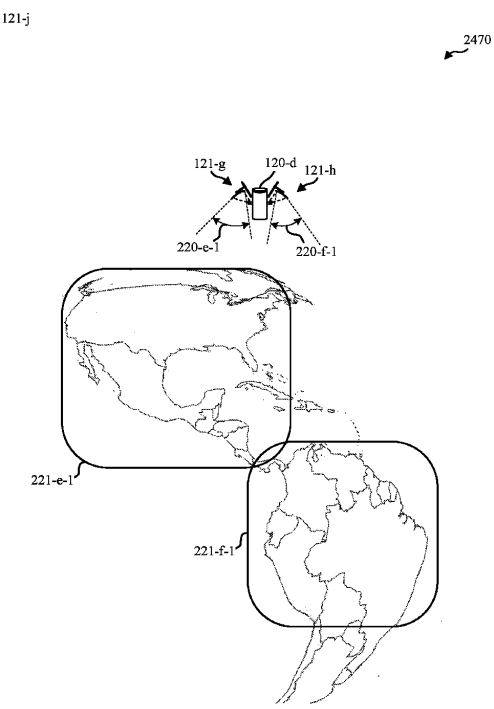
【図 2 4 A】



【図 2 4 B】



【図 2 4 C】



10

20

30

40

50

【図 2 4 D】

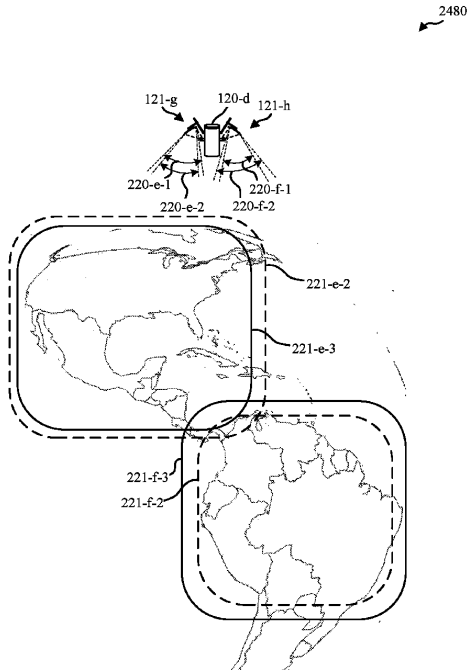


FIG. 24D

【図 2 4 E】

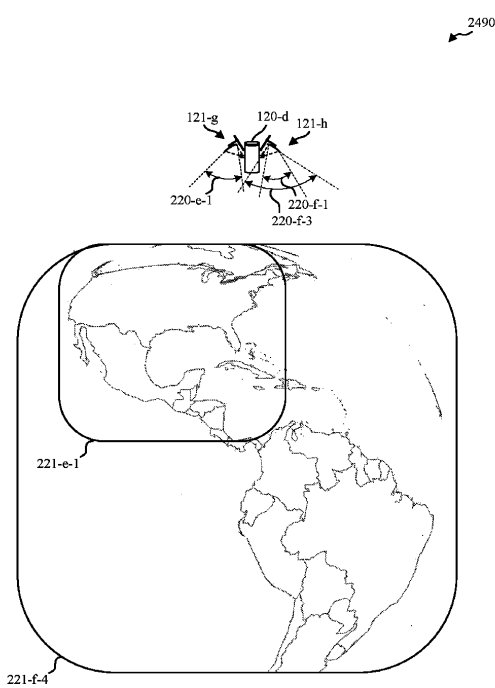


FIG. 24E

【図 2 5 A】

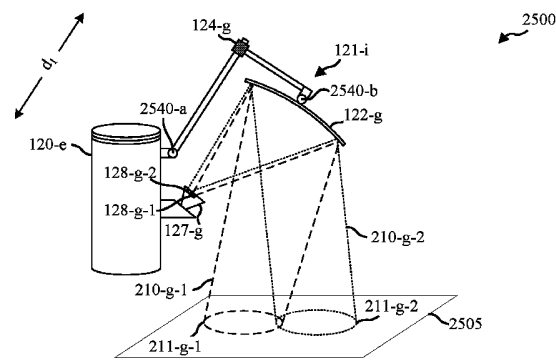


FIG. 25A

【図 2 5 B】

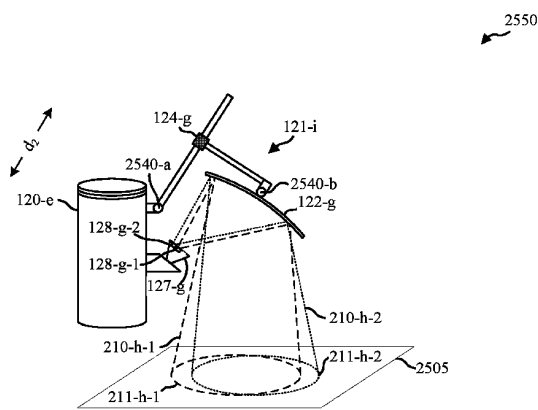


FIG. 25B

10

20

30

40

50

【 2 5 C 】

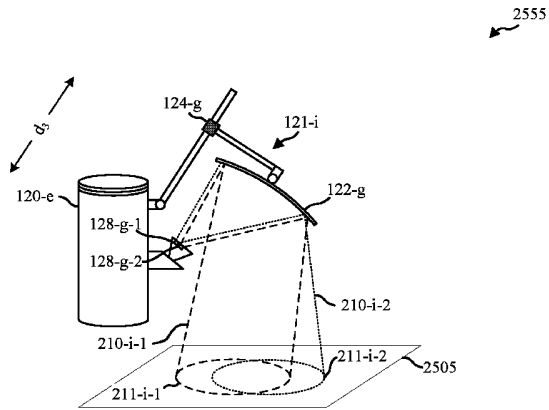


FIG. 25C

【 2 5 D 】

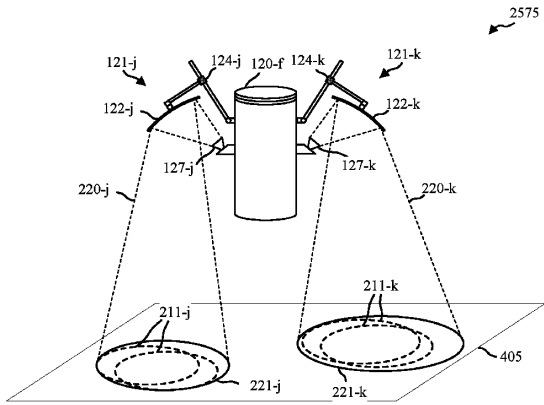


FIG. 25D

【 2 6 A 】

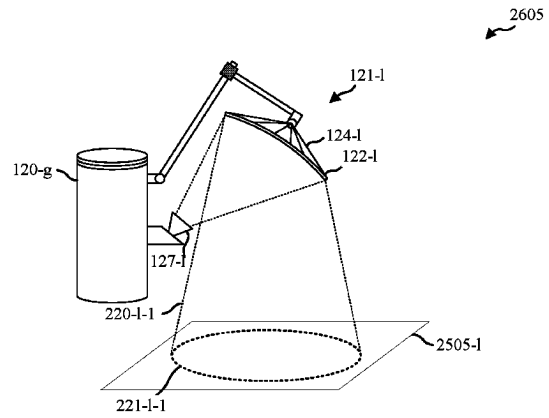


FIG. 26A

【 2 6 B 】

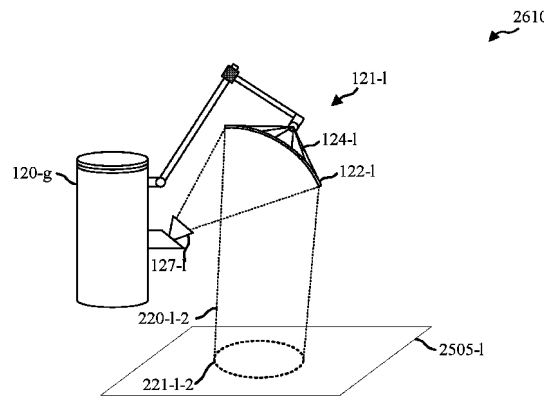


FIG. 26B

10

20

30

40

50

【図 26 C】

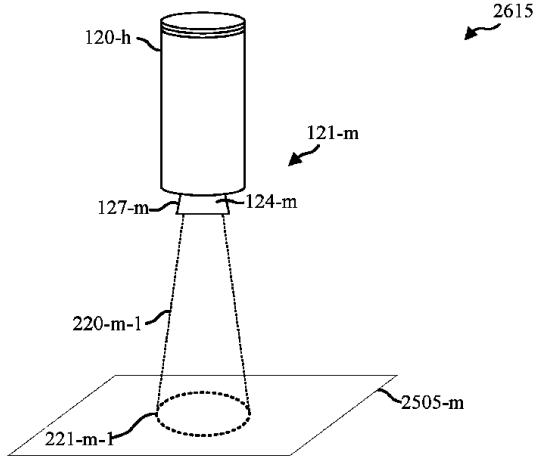


FIG. 26C

【図 26 D】

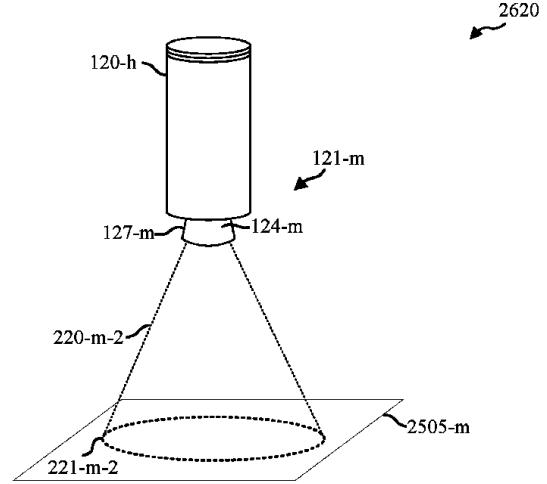


FIG. 26D

【図 26 E】

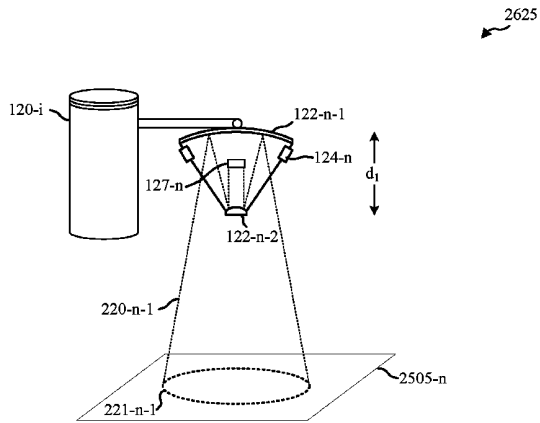


FIG. 26E

【図 26 F】

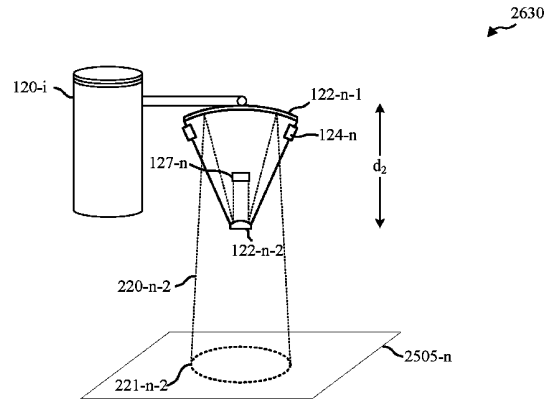


FIG. 26F

10

20

30

40

50

【図 27】

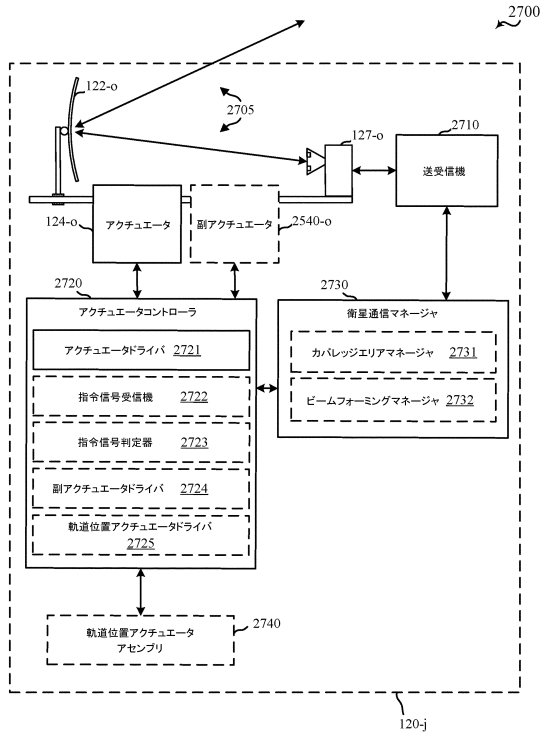


図 27

【図 28】

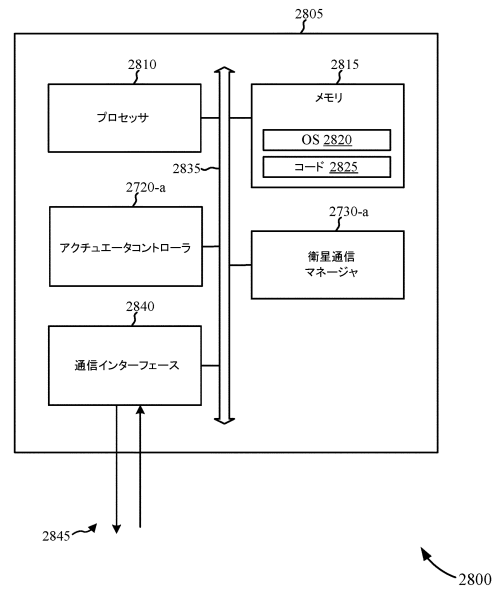


図 28

【図 29】

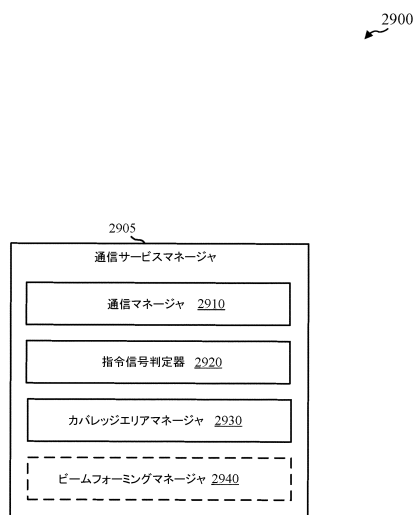


図 29

【図 30】

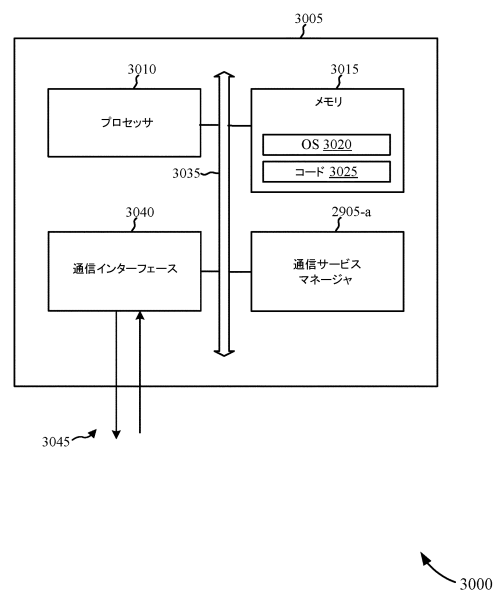


図 30

10

20

30

40

50

【図 31】

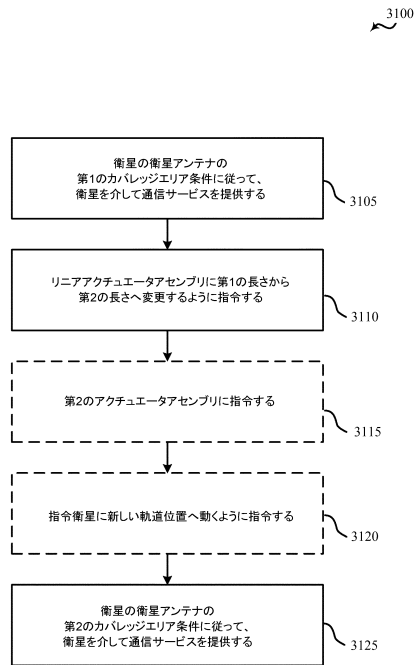


図 31

## フロントページの続き

(51)国際特許分類

F I

H 0 1 Q 19/19 (2006.01)

H 0 1 Q 19/19

アメリカ合衆国 カリフォルニア州 9 2 0 0 9 , カールスバッド , エル カミーノ レアル 6 1 5  
5 , シーノオー パテントデパートメント , ヴィアサット , インコーポレイテッド

審査官 佐藤 敬介

(56)参考文献

特表 2 0 1 8 - 5 1 4 9 9 9 ( J P , A )

米国特許出願公開第 2 0 0 4 / 0 1 8 9 5 3 8 ( U S , A 1 )

特開平 1 0 - 2 4 7 8 1 2 ( J P , A )

(58)調査した分野 (Int.Cl. , D B 名)

H 0 4 B 7 / 1 8 5

H 0 1 Q 2 1 / 0 6

H 0 1 Q 1 / 2 8

H 0 1 Q 3 / 0 4

H 0 1 Q 3 / 3 0

H 0 1 Q 1 9 / 1 9