(19)日本国特許庁(JP)　(12)公表特許公報(A)　(11)公表番号
特表2024-524097
(P2024-524097A)
(43)公表日　令和6年7月5日(2024.7.5)

(51)国際特許分類		FI			テーマコード（参考）
H04B	*7/0413(2017.01)*	H04B	7/0413		5K067
H04W	*16/18 (2009.01)*	H04W	16/18	110	
H04W	*24/10 (2009.01)*	H04W	24/10		
H04B	*17/391 (2015.01)*	H04B	17/391		

審査請求　未請求　予備審査請求　未請求　（全35頁）

(21)出願番号　特願2023-577451(P2023-577451)
(86)(22)出願日　令和4年6月14日(2022.6.14)
(85)翻訳文提出日　令和5年12月14日(2023.12.14)
(86)国際出願番号　PCT/US2022/033405
(87)国際公開番号　WO2022/271485
(87)国際公開日　令和4年12月29日(2022.12.29)
(31)優先権主張番号　17/352,922
(32)優先日　令和3年6月21日(2021.6.21)
(33)優先権主張国・地域又は機関
米国(US)
(81)指定国・地域　AP(BW,GH,GM,KE,LR,LS,MW,MZ,NA,RW,SD,SL,ST,SZ,TZ,UG,ZM,ZW),EA(AM,AZ,BY,KG,KZ,RU,TJ,TM),EP(AL,AT,BE,BG,CH,CY,CZ,DE,DK,EE,ES,FI,FR,GB,GR,HR,HU,IE,IS,IT,LT,LU,LV,MC,
最終頁に続く

(71)出願人　595020643
クゥアルコム・インコーポレイテッド
ＱＵＡＬＣＯＭＭ　ＩＮＣＯＲＰＯＲＡＴＥＤ
アメリカ合衆国、カリフォルニア州　９２１２１－１７１４、サン・ディエゴ、モアハウス・ドライブ　５７７５
(74)代理人　110003708
弁理士法人鈴榮特許綜合事務所
(72)発明者　ユ、テサン
アメリカ合衆国、カリフォルニア州　９２１２１－１７１４、サン・ディエゴ、モアハウス・ドライブ　５７７５
(72)発明者　ベドゥラ、カーティー・プラバカー
アメリカ合衆国、カリフォルニア州　９
最終頁に続く

(54)【発明の名称】　モデルベースのニューラルネットワークを介したチャネル特徴抽出

(57)【要約】
受信デバイスによる無線通信の方法は、送信デバイスから、無線信号についてのチャネルシーケンスの潜在表現を受信することを含む。デコーダは、無線信号についてのチャネルシーケンスを再構成するために、物理伝搬チャネルモデルを潜在表現に適用する。

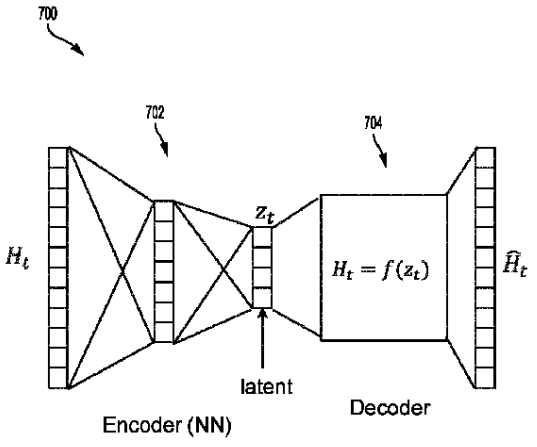


FIG. 7

【特許請求の範囲】
【請求項１】
受信デバイスによる無線通信の方法であって、
送信デバイスから、無線信号についてのチャネルシーケンスの潜在表現を受信することと、
前記無線信号についての前記チャネルシーケンスを再構成することために、デコーダを介して、物理伝搬チャネルモデルを前記潜在表現に適用することと、
を備える、方法。
【請求項２】
前記物理伝搬チャネルモデルが、マルチパス成分の和を備える、請求項１に記載の方法。
【請求項３】
前記マルチパス成分の各々が、遅延及び複素振幅を有する、請求項２に記載の方法。
【請求項４】
前記マルチパス成分の各々が、送信機（Ｔｘ）アレイ応答及び受信機（Ｒｘ）アレイ応答を有する、請求項２に記載の方法。
【請求項５】
前記Ｔｘアレイ応答及び前記Ｒｘアレイ応答が、方位角及び天頂発射角並びに方位角及び天頂到来角それぞれの学習可能関数として表される、請求項４に記載の方法。
【請求項６】
追加の学習可能ニューラルネットワーク層を介して、前記物理伝搬チャネルモデルによってキャプチャされない前記無線信号に対する追加の影響をキャプチャすることを更に備える、請求項１に記載の方法。
【請求項７】
前記追加の影響が、受信機（Ｒｘ）チェーンインパルス応答及び送信機（Ｔｘ）チェーンインパルス応答を含む、請求項６に記載の方法。
【請求項８】
前記潜在表現が、チャネル状態フィードバックとして前記受信デバイスに送信される、請求項１に記載の方法。
【請求項９】
前記再構成されたチャネルシーケンスが、ガードバンドによって分離された複数の周波数帯域にわたる連続チャネル応答を備える、請求項１に記載の方法。
【請求項１０】
前記潜在表現が、遅延、複素振幅、発射角、及び到来角のセットのうちの１つ以上を備える、請求項１に記載の方法。
【請求項１１】
前記潜在表現が、符号化されたチャネルシーケンスを備え、前記受信デバイスが、前記潜在表現から前記チャネルシーケンスを再構成するために前記デコーダを使用する、請求項１に記載の方法。
【請求項１２】
前記デコーダが、前記物理伝搬チャネルモデルに基づくニューラルネットワークである、請求項１１に記載の方法。
【請求項１３】
前記送信デバイスにおけるエンコーダとは独立して、前記受信デバイスにおける前記デコーダを訓練することを更に備える、請求項１１に記載の方法。
【請求項１４】
送信デバイスによる無線通信の方法であって、
エンコーダを介して、無線信号についてのチャネルシーケンスを備える入力を受信することと、
前記無線信号についての前記チャネルシーケンスの潜在表現を生成するために、前記エ

ンコーダを介して、前記チャネルシーケンスを処理することと、前記潜在表現は物理伝搬チャネルモデルのパラメータにマッピングする少なくとも１つの要素を含む、
前記潜在表現を受信デバイスに送信することと、
を備える、方法。
【請求項１５】
前記物理伝搬チャネルモデルが、マルチパス成分の和を備える、請求項１４に記載の方法。
【請求項１６】
前記マルチパス成分の各々が、遅延及び複素振幅を有する、請求項１５に記載の方法。
【請求項１７】
前記マルチパス成分の各々が、送信機（Ｔｘ）アレイ応答及び受信機（Ｒｘ）アレイ応答を有する、請求項１６に記載の方法。
【請求項１８】
前記Ｔｘアレイ応答及び前記Ｒｘアレイ応答が、方位角及び天頂発射角並びに方位角及び天頂到来角それぞれの学習可能関数として表される、請求項１７に記載の方法。
【請求項１９】
前記潜在表現が、チャネル状態フィードバックとして前記受信デバイスに送信される、請求項１４に記載の方法。
【請求項２０】
前記エンコーダが、ニューラルネットワークを備える、請求項１４に記載の方法。
【請求項２１】
前記送信デバイスが、エンコーダ－デコーダペアの前記エンコーダ及び第２のデコーダのカスケードが前記エンコーダにおいて前記チャネルシーケンス入力を再構成するように、前記エンコーダ－デコーダペアを共同で訓練する、請求項１４に記載の方法。
【請求項２２】
受信デバイスによる無線通信のための装置であって、
メモリと、
前記メモリに結合された少なくとも１つのプロセッサと、
を備え、前記少なくとも１つのプロセッサが、
送信デバイスから、無線信号についてのチャネルシーケンスの潜在表現を受信することと、
前記無線信号についての前記チャネルシーケンスを再構成するために、デコーダを介して、物理伝搬チャネルモデルを前記潜在表現に適用することと、
を行うように構成されている、
装置。
【請求項２３】
前記物理伝搬チャネルモデルが、マルチパス成分の和を備える、請求項２２に記載の装置。
【請求項２４】
前記マルチパス成分の各々が、遅延及び複素振幅を有する、請求項２３に記載の装置。
【請求項２５】
前記マルチパス成分の各々が、送信機（Ｔｘ）アレイ応答及び受信機（Ｒｘ）アレイ応答を有する、請求項２３に記載の装置。
【請求項２６】
前記少なくとも１つのプロセッサが、方位角及び天頂発射角並びに方位角及び天頂到来角それぞれの学習可能関数として前記Ｔｘアレイ応答及び前記Ｒｘアレイ応答を表すように更に構成されている、請求項２５に記載の装置。
【請求項２７】
前記少なくとも１つのプロセッサが、追加の学習可能ニューラルネットワーク層を介して、前記物理伝搬チャネルモデルによってキャプチャされない前記無線信号に対する追加

の影響をキャプチャするように更に構成されている、請求項２２に記載の装置。
【請求項２８】
前記追加の影響が、受信機（Ｒｘ）チェーンインパルス応答及び送信機（Ｔｘ）チェーンインパルス応答を含む、請求項２７に記載の装置。
【請求項２９】
前記少なくとも１つのプロセッサが、前記受信デバイスを介して、チャネル状態フィードバックとして前記潜在表現を受信するように更に構成されている、請求項２２に記載の装置。
【請求項３０】
前記再構成されたチャネルシーケンスが、ガードバンドによって分離された複数の周波数帯域にわたる連続チャネル応答を備える、請求項２２に記載の装置。
【請求項３１】
前記潜在表現が、遅延、複素振幅、発射角、及び到来角のセットのうちの１つ以上を備える、請求項２２に記載の装置。
【請求項３２】
前記潜在表現が、符号化されたチャネルシーケンスを備え、前記受信デバイスが、前記潜在表現から前記チャネルシーケンスを再構成するために前記デコーダを使用する、請求項２２に記載の装置。
【請求項３３】
前記デコーダが、前記物理伝搬チャネルモデルに基づくニューラルネットワークである、請求項３２に記載の装置。
【請求項３４】
前記少なくとも１つのプロセッサが、前記送信デバイスにおけるエンコーダとは独立して、前記受信デバイスにおける前記デコーダを訓練するように更に構成されている、請求項３２に記載の装置。
【請求項３５】
送信デバイスによる無線通信のための装置であって、
メモリと、
前記メモリに結合された少なくとも１つのプロセッサと、
を備え、前記少なくとも１つのプロセッサが、
エンコーダを介して、無線信号についてのチャネルシーケンスを備える入力を受信することと、
前記無線信号についての前記チャネルシーケンスの潜在表現を生成するために、前記エンコーダを介して、前記チャネルシーケンスを処理してすることと、前記潜在表現は物理伝搬チャネルモデルのパラメータにマッピングする少なくとも１つの要素を含む、
前記潜在表現を受信デバイスに送信することと、
を行うように構成されている、　装置。
【請求項３６】
前記物理伝搬チャネルモデルが、マルチパス成分の和を備える、請求項３５に記載の装置。
【請求項３７】
前記マルチパス成分の各々が、遅延及び複素振幅を有する、請求項３６に記載の装置。
【請求項３８】
前記マルチパス成分の各々が、送信機（Ｔｘ）アレイ応答及び受信機（Ｒｘ）アレイ応答を有する、請求項３７に記載の装置。
【請求項３９】
前記少なくとも１つのプロセッサが、方位角及び天頂発射角並びに方位角及び天頂到来角それぞれの学習可能関数として前記Ｔｘアレイ応答及び前記Ｒｘアレイ応答を表すように更に構成されている、請求項３８に記載の装置。
【請求項４０】

前記少なくとも１つのプロセッサが、チャネル状態フィードバックとして前記潜在表現を前記受信デバイスに送信するように更に構成されている、請求項３５に記載の装置。
【請求項４１】
前記エンコーダが、ニューラルネットワークを備える、請求項３５に記載の装置。
【請求項４２】
前記少なくとも１つのプロセッサが、前記送信デバイスを介して、エンコーダ－デコーダペアの前記エンコーダ及び第２のデコーダのカスケードが前記エンコーダにおいて前記チャネルシーケンス入力を再構成するように、前記エンコーダ－デコーダペアを共同で訓練するように更に構成されている、請求項３５に記載の装置。
【請求項４３】
受信デバイスによる無線通信のための装置であって、
送信デバイスから、無線信号についてのチャネルシーケンスの潜在表現を受信する手段と、
前記無線信号についての前記チャネルシーケンスを再構成するために、デコーダを介して、物理伝搬チャネルモデルを前記潜在表現に適用する手段と、
を備える、装置。
【請求項４４】
送信デバイスによる無線通信の方法であって、
無線信号についてのチャネルシーケンスを含む入力を受信する手段と、
前記無線信号についての前記チャネルシーケンスの潜在表現を生成するために、エンコーダを介して、前記チャネルシーケンスを処理する手段と、前記潜在表現は物理伝搬チャネルのパラメータにマッピングする少なくとも１つの要素を含む、
前記潜在表現を受信デバイスに送信する手段と、
を備える、方法。
【請求項４５】
受信デバイスによる無線通信のためのプログラムコードをその上に符号化した非一時的コンピュータ可読媒体であって、前記プログラムコードが、プロセッサによって実行され、
送信デバイスから、無線信号についてのチャネルシーケンスの潜在表現を受信するプログラムコードと、
前記無線信号についての前記チャネルシーケンスを再構成するために、デコーダを介して、物理伝搬チャネルモデルを前記潜在表現に適用するプログラムコードと、
を備える、
非一時的コンピュータ可読媒体。
【請求項４６】
送信デバイスによる無線通信のためのプログラムコードをその上に符号化した非一時的コンピュータ可読媒体であって、前記プログラムコードが、プロセッサによって実行され、
無線信号についてのチャネルシーケンスを備える入力を受信するプログラムコードと、
前記無線信号についての前記チャネルシーケンスの潜在表現を生成するために、エンコーダを介して、前記チャネルシーケンスを処理するプログラムコードと、前記潜在表現は物理伝搬チャネルのパラメータにマッピングする少なくとも１つの要素を含む、
前記潜在表現を受信デバイスに送信するプログラムコードと、
を備える、
非一時的コンピュータ可読媒体。
【発明の詳細な説明】
【技術分野】
【０００１】
関連出願の相互参照
［0001］　本出願は、その開示全体が参照により本明細書に明確に組み込まれる、２

０２１年６月２１日出願の「ＣＨＡＮＮＥＬ　ＦＥＡＴＵＲＥ　ＥＸＴＲＡＣＴＩＯＮ　ＶＩＡ　ＭＯＤＥＬ－ＢＡＳＥＤ　ＮＥＵＲＡＬ　ＮＥＴＷＯＲＫＳ」と題する米国特許出願第１７／３５２，９２２号の優先権を主張する。

【０００２】

［0002］　本開示の態様は、概して、無線通信（wireless communication）に関し、より具体的には、物理伝搬チャネルモデルベースのニューラルネットワーク（neural network）を介したチャネル特徴抽出（channel feature extraction）のための技術及び装置に関する。

【背景技術】

【０００３】

［0003］　無線通信システムは、電話通信、ビデオ、データ、メッセージング、及びブロードキャストなどの様々な電気通信サービスを提供するために広く展開されている。典型的な無線通信システムは、利用可能なシステムリソース（例えば、帯域幅、送信電力など）を共有することによって複数のユーザとの通信をサポートすることが可能な多元接続技術を採用することができる。そのような多元接続技術の例としては、符号分割多元接続（code division multiple access、ＣＤＭＡ）システム、時分割多元接続（time division multiple access、ＴＤＭＡ）システム、周波数分割多元接続（frequency－division multiple access、ＦＤＭＡ）システム、直交周波数分割多元接続（orthogonal frequency－division multiple access、ＯＦＤＭＡ）システム、シングルキャリア周波数分割多元接続（single－carrier frequency－division multiple access、ＳＣ－ＦＤＭＡ）システム、時分割同期符号分割多元接続（time division synchronous code division multiple access、ＴＤ－ＳＣＤＭＡ）システム、及びロングタームエボリューション（long term evolution、ＬＴＥ（登録商標））が挙げられる。ＬＴＥ／ＬＴＥ－Ａｄｖａｎｃｅｄは、第３世代パートナーシッププロジェクト（Third Generation Partnership Project、３ＧＰＰ（登録商標））によって公表されたユニバーサル移動体通信システム（universal mobile telecommunications system、ＵＭＴＳ）モバイル規格への拡張のセットである。

【０００４】

［0004］　無線通信ネットワークは、いくつかのユーザ機器（user equipment、ＵＥ）のための通信をサポートすることができる、いくつかの基地局（base stations、ＢＳ）を含むことができる。ユーザ機器（ＵＥ）は、ダウンリンク及びアップリンクを介して基地局（ＢＳ）と通信することができる。ダウンリンク（又は順方向リンク）は、ＢＳからＵＥへの通信リンクを指し、アップリンク（又は逆方向リンク）は、ＵＥからＢＳへの通信リンクを指す。より詳細に説明するように、ＢＳは、ノードＢ、ｇＮＢ、アクセスポイント（access point、ＡＰ）、無線ヘッド、送受信ポイント（transmit and receive point、ＴＲＰ）、新無線（new radio、ＮＲ）ＢＳ、５Ｇノードなどと呼ばれることがある。

【０００５】

［0005］　上記の多元接続技術は、異なるユーザ機器が都市、国家、地域、更には地球規模で通信することを可能にする共通プロトコルを提供するために、様々な電気通信規格において採用されている。新無線（ＮＲ）は、５Ｇと呼ばれることもあり、第３世代パートナーシッププロジェクト（３ＧＰＰ）によって公表されたＬＴＥモバイル規格への拡張のセットである。ＮＲは、スペクトル効率を改善すること、コストを減らすこと、サービスを改善すること、新たなスペクトルを利用すること、並びにサイクリックプレフィックス（cyclic prefix、ＣＰ）付き直交周波数分割多重化（orthogonal frequency division multiplexing、ＯＦＤＭ）（ＣＰ－ＯＦＤＭ）をダウンリンク（downlink、ＤＬ）上で使用し、ＣＰ－ＯＦＤＭ及び／又はＳＣ－ＦＤＭ（例えば、離散フーリエ変換拡散ＯＦＤＭ（discrete Fourier transform spread OFDM、ＤＦＴ－ｓ－ＯＦＤＭ）としても知られている）をアップリンク（uplink、ＵＬ）上で使用して、他のオープン規格とよりよく統合すること、並びにビームフォーミング、多入力多出力（multi

ple－input multiple－output、ＭＩＭＯ）アンテナ技術、及びキャリアアグリゲーションをサポートすることによって、モバイルブロードバンドインターネットアクセスをよりよくサポートするように設計されている。

【０００６】

［0006］　人工ニューラルネットワークは、人工ニューロン（例えば、ニューロンモデル）の相互接続されたグループを備えてもよい。人工ニューラルネットワークは、計算デバイスであってもよく、又は計算デバイスによって実行されることになる方法として表されてもよい。深層畳み込みニューラルネットワークなどの畳み込みニューラルネットワークは、一種のフィードフォワード人工ニューラルネットワークである。畳み込みニューラルネットワークは、タイル状の受容野に構成することができるニューロンの層を含むことができる。ニューラルネットワーク処理を無線通信に適用して、より高い効率を達成することが望ましいであろう。

【発明の概要】

【０００７】

［0007］　本開示は、独立請求項それぞれに記載される。本開示のいくつかの態様は、従属請求項に記載される。

【０００８】

［0008］　本開示の一態様では、受信デバイス（receiving device）による無線通信の方法が提供される。この方法は、送信デバイス（transmitting device）から、無線信号（wireless signal）についてのチャネルシーケンス（channel sequence）の潜在表現（latent representation）を受信することを含む。この方法はまた、デコーダ（decoder）を介して、物理伝搬チャネルモデル（physical propagation channel model）を潜在表現に適用して、無線信号についてのチャネルシーケンスを再構成することを含む。

【０００９】

［0009］　本開示の一態様では、受信デバイスによる無線通信のための装置が提供される。装置は、メモリと、メモリに結合された１つ以上のプロセッサとを含む。プロセッサ（単数又は複数）は、送信デバイスから、無線信号についてのチャネルシーケンスの潜在表現を受信するように構成されている。プロセッサ（単数又は複数）はまた、デコーダを介して、物理伝搬チャネルモデルを潜在表現に適用して、無線信号についてのチャネルシーケンスを再構成するように構成されている。

【００１０】

［0010］　本開示の一態様では、受信デバイスによる無線通信のための装置が提供される。装置は、送信デバイスから、無線信号についてのチャネルシーケンスの潜在表現を受信する手段を含む。装置はまた、デコーダを介して、物理伝搬チャネルモデルを潜在表現に適用して、無線信号についてのチャネルシーケンスを再構成する手段を含む。

【００１１】

［0011］　本開示の一態様では、非一時的コンピュータ可読媒体（non-transitory computer readable medium）が提供される。コンピュータ可読媒体は、受信デバイスによる無線通信のためのプログラムコード（program code）をその上に符号化している。プログラムコードは、プロセッサによって実行され、送信デバイスから、無線信号についてのチャネルシーケンスの潜在表現を受信するコードを含む。プログラムコードはまた、デコーダを介して、物理伝搬チャネルモデルを潜在表現に適用して、無線信号についてのチャネルシーケンスを再構成するコードを含む。

【００１２】

［0012］　本開示の一態様では、送信デバイスによる無線通信の方法が提供される。この方法は、エンコーダ（encoder）を介して、無線信号についてのチャネルシーケンスを備える入力を受信することを含む。この方法はまた、エンコーダを介して、チャネルシーケンスを処理して、無線信号についてのチャネルシーケンスの潜在表現を生成することを含む。潜在表現は、物理伝搬チャネルモデルのパラメータにマッピングする１つ以上

の要素を含む。加えて、この方法は、潜在表現を受信デバイスに送信することを含む。
【００１３】
［0013］　本開示の一態様では、送信デバイスによる無線通信のための装置が提供される。装置は、メモリと、メモリに結合された１つ以上のプロセッサとを含む。プロセッサ（単数又は複数）は、エンコーダを介して、無線信号についてのチャネルシーケンスを備える入力を受信するように構成されている。プロセッサ（単数又は複数）はまた、エンコーダを介して、チャネルシーケンスを処理して、無線信号についてのチャネルシーケンスの潜在表現を生成するように構成されている。潜在表現は、物理伝搬チャネルモデルのパラメータにマッピングする１つ以上の要素を含む。加えて、プロセッサ（単数又は複数）は、潜在表現を受信デバイスに送信するように構成されている。
【００１４】
［0014］　本開示の一態様では、送信デバイスによる無線通信のための装置が提供される。装置は、エンコーダを介して、無線信号についてのチャネルシーケンスを備える入力を受信する手段を含む。装置はまた、エンコーダを介して、チャネルシーケンスを処理して、無線信号についてのチャネルシーケンスの潜在表現を生成する手段を含む。潜在表現は、物理伝搬チャネルモデルのパラメータにマッピングする１つ以上の要素を含む。加えて、装置は、潜在表現を受信デバイスに送信する手段を含む。
【００１５】
［0015］　本開示の一態様では、非一時的コンピュータ可読媒体が提供される。コンピュータ可読媒体は、送信デバイスによる無線通信のためのプログラムコードをその上に符号化している。プログラムコードは、プロセッサによって実行され、エンコーダを介して、無線信号についてのチャネルシーケンスを備える入力を受信するコードを含む。プログラムコードはまた、エンコーダを介して、チャネルシーケンスを処理して、無線信号についてのチャネルシーケンスの潜在表現を生成するコードを含む。潜在表現は、物理伝搬チャネルモデルのパラメータにマッピングする１つ以上の要素を含む。加えて、プログラムコードは、潜在表現を受信デバイスに送信するコードを含む。
【００１６】
［0016］　態様は、一般に、添付の図面及び本明細書を参照して十分に説明し、添付の図面及び本明細書によって示すような、方法、装置、システム、コンピュータプログラム製品、非一時的コンピュータ可読媒体、ユーザ機器、基地局、無線通信デバイス、及び処理システムを含む。
【００１７】
［0017］　前述のことは、以下の「発明を実施するための形態」をよりよく理解することができるために、本開示による実施例の特徴及び技術的利点をかなり広範に概説している。追加の特徴及び利点について説明する。開示される概念及び具体例は、本開示の同じ目的を遂行するための他の構造を変更又は設計するための基礎として容易に利用することができる。そのような等価の構造は、添付の特許請求の範囲の範囲から逸脱しない。開示する概念の特性、それらの構成と動作方法の両方が、関連する利点とともに、添付の図に関して検討されると以下の説明からよりよく理解されよう。図の各々は、特許請求の範囲の限定の定義としてではなく、例示及び説明のために提供される。
【図面の簡単な説明】
【００１８】
［0018］　本開示の特徴を詳細に理解できるように、態様を参照することによって特定の説明を行う場合があり、その態様のいくつかが、添付の図面に示されている。しかしながら、この説明は他の等しく効果的な態様を認め得るので、添付の図面は、本開示のいくつかの態様しか示しておらず、したがって、その範囲を限定するものと見なされるべきではないことに留意されたい。異なる図面における同じ参照番号は、同じ又は同様の要素を識別することができる。
［0019］
【図１】本開示の様々な態様による、無線通信ネットワークの一実施例を概念的に示すブ

ロック図である。［００２０］
【図２】本開示の様々な態様による、無線通信ネットワークにおけるユーザ機器（ＵＥ）と通信している基地局の一実施例を概念的に示すブロック図である。［００２１］
【図３】本開示のいくつかの態様による、汎用プロセッサを含むシステムオンチップ（ｓｙｓｔｅｍ－ｏｎ－ａ－ｃｈｉｐ、ＳＯＣ）を使用してニューラルネットワークを設計する例示的な実装形態を示す。［００２２］
【図４Ａ】本開示の態様による、ニューラルネットワークを示す図である。
【図４Ｂ】本開示の態様による、ニューラルネットワークを示す図である。
【図４Ｃ】本開示の態様による、ニューラルネットワークを示す図である。［００２３］
【図４Ｄ】本開示の態様による、例示的な深層畳み込みネットワーク（ｄｅｅｐ ｃｏｎｖｏｌｕｔｉｏｎａｌ ｎｅｔｗｏｒｋ、ＤＣＮ）を示す図である。［００２４］
【図５】本開示の態様による、例示的な深層畳み込みネットワーク（ＤＣＮ）を示すブロック図である。［００２５］
【図６】チャネルシーケンスの特徴を抽出するための従来のアーキテクチャを示すブロック図である。［００２６］
【図７】本開示の態様による、モデルベースのチャネル特徴抽出のための例示的なアーキテクチャを示す図である。［００２７］
【図８】本開示の様々な態様による、例えば、受信デバイスによって実行される例示的なプロセスを示すフロー図である。［００２８］
【図９】本開示の様々な態様による、例えば、送信デバイスによって実行される例示的なプロセスを示すフロー図である。
【発明を実施するための形態】
【００１９】
［００２９］　本開示の様々な態様が、添付の図面を参照して以下でより十分に説明される。しかしながら、本開示は、多くの異なる形態で具現化されてもよく、本開示全体にわたって提示される任意の特定の構造又は機能に限定されるものと解釈されるべきではない。むしろ、これらの態様は、本開示が徹底的で完全になり、本開示の範囲を当業者に十分に伝えるように提供される。教示に基づいて、本開示の範囲は、本開示の任意の他の態様とは無関係に実装される又は本開示の任意の他の態様と組み合わせて実装されるかに関わらず、本開示の任意の態様を包含することを意図することを、当業者は理解されたい。例えば、記載された任意の数の態様を使用して、装置が実装されてもよく、又は方法が実践されてもよい。加えて、本開示の範囲は、記載する本開示の様々な態様に加えて、又はそれらの態様以外の、他の構造、機能、又は構造及び機能を使用して実践されるような装置又は方法を包含することを意図している。開示される本開示の任意の態様は、請求項の１つ以上の要素によって具現化される場合があることを理解されたい。
【００２０】
［００３０］　次に、電気通信システムのいくつかの態様が、様々な装置及び技術を参照して提示される。これらの装置及び技術について、以下の詳細な説明において説明し、様々なブロック、モジュール、構成要素、回路、ステップ、プロセス、アルゴリズムなど（「要素」と総称される）によって添付図面に示す。これらの要素は、ハードウェア、ソフトウェア、又はそれらの組み合わせを使用して実装することができる。そのような要素がハードウェアとして実装される又はソフトウェアとして実装されるかは、具体的な適用例及び全体的なシステムに課される設計制約に依存する。
【００２１】
［００３１］　態様は、５Ｇ及びそれ以降の無線技術に一般的に関連する用語を使用して説明されることがあるが、本開示の態様は、３Ｇ及び／又は４Ｇ技術などの、及びそれらを含む、他の世代ベースの通信システムにおいて適用することができることに留意されたい。
【００２２】
［００３２］　観測された無線伝搬チャネル（例えば、ダウンリンク、アップリンク、又

はサイドリンク）は、高次元データを使用して、例えば、Ｔｘアンテナ、Ｒｘアンテナ、及びサブキャリアにわたる３次元テンソルを用いてチャネルを記述する。高次元チャネルの基礎となるチャネルの低次元潜在表現を抽出することが望ましい。例えば、コンパクトな表現を抽出することは、チャネル予測、チャネル推論、チャネル圧縮、及びチャネル生成などの適用例に有用であり得る。チャネル予測は、フェージングチャネル、並びに基準信号受信電力（reference signal received power、ＲＳＲＰ）を予測するために有用であり得る。加えて、コンパクトな表現は、未知のチャネルに関する推論を生成するのに有用であり得る。例えば、チャネルは、アンテナの第１のセットに関して観測することができ、アンテナ、ビーム、周波数、又は位置の第２のセットに関するチャネルの推論を提供することができる。更に、チャネルモデリングは、リンク及びシステムシミュレーションのための合成チャネル生成、測定されたチャネルの増大、並びに微分可能チャネルモデリングのために改善することができる。

【００２３】

［0033］　従来の手法は、人工ニューラルネットワークを利用して、コンパクトな表現を生成することができる。そのような従来の手法では、人工ニューラルネットワークは、チャネルを潜在表現にマッピングするためのオートエンコーダとして実装することができ、その逆も同様である。そうすることは、以下のように表すことができる非線形プロセスである。

【００２４】

【数１】

$$h = f_{\theta}(z) \qquad (1)$$

$$z = f_{\phi}(h) \qquad (2)$$

式中、ｈは、チャネル（高次元）であり、ｚは、潜在表現（より低次元のベクトル）であり、f_{θ}及びf_{ϕ}は、θ及びφそれぞれによってパラメータ化された複雑な非線形関数（例えば、ニューラルネットワーク）である。そのような手法は、大量のラベル付けされていないチャネルデータ（例えば、チャネルシーケンス）を利用することができるが、従来の手法は、潜在ベクトルの解釈可能性又は制御を提供しない。

【００２５】

［0034］　これら及び他の欠陥に対処するために、本開示の態様は、物理伝搬モデルベースのニューラルネットワークを介したチャネル特徴抽出を対象とする。

【００２６】

［0035］　図１は、本開示の態様を実践することができるネットワーク１００を示す図である。ネットワーク１００は、５Ｇネットワーク若しくはＮＲネットワーク、又はＬＴＥネットワークなどの何らかの他の無線ネットワークであってもよい。無線ネットワーク１００は、いくつかのＢＳ１１０（ＢＳ１１０ａ、ＢＳ１１０ｂ、ＢＳ１１０ｃ、及びＢＳ１１０ｄとして示す）、及び他のネットワークエンティティを含むことができる。ＢＳは、ユーザ機器（ＵＥ）と通信するエンティティであり、基地局、ＮＲ　ＢＳ、ノードＢ、ｇＮＢ、５ＧノードＢ（node Ｂ、ＮＢ）、アクセスポイント、送信受信ポイント（ＴＲＰ）などと呼ばれることもある。各ＢＳは、特定の地理的エリアに通信カバレッジを提供することができる。３ＧＰＰでは、「セル」という用語は、用語が使用される文脈に応じて、このカバレッジエリアにサービスするＢＳ及び／又はＢＳサブシステムのカバレッジエリアを指すことができる。

【００２７】

［0036］　ＢＳは、マクロセル、ピコセル、フェムトセル、及び／又は別のタイプのセルに通信カバレッジを提供することができる。マクロセルは、比較的大きい地理的エリア（例えば、半径数キロメートル）をカバーすることができ、サービスに加入しているＵＥによる無制限アクセスを可能にすることができる。ピコセルは、比較的小さい地理的エリアをカバーすることができ、サービスに加入しているＵＥによる無制限アクセスを可能

にすることができる。フェムトセルは、比較的小さい地理的エリア（例えば、自宅）をカバーすることができ、フェムトセルとの関連を有するＵＥ（例えば、クローズドサブスクライバグループ（closed subscriber group、ＣＳＧ）の中のＵＥ）による制限付きアクセスを可能にすることができる。マクロセルのためのＢＳは、マクロＢＳと呼ばれることがある。ピコセルのためのＢＳは、ピコＢＳと呼ばれることがある。フェムトセルのためのＢＳは、フェムトＢＳ又はホームＢＳと呼ばれることがある。図１に示す実施例では、ＢＳ１１０ａは、マクロセル１０２ａのためのマクロＢＳであってもよく、ＢＳ１１０ｂは、ピコセル１０２ｂのためのピコＢＳであってもよく、ＢＳ１１０ｃは、フェムトセル１０２ｃのためのフェムトＢＳであってもよい。ＢＳは、１つ又は複数の（例えば、３個の）セルをサポートすることができる。「ｅＮＢ」、「基地局」、「ＮＲ　ＢＳ」、「ｇＮＢ」、「ＴＲＰ」、「ＡＰ」、「ノードＢ」、「５Ｇ　ＮＢ」、及び「セル」という用語は、互換的に使用することができる。

【００２８】

［0037］　いくつかの態様では、セルは、必ずしも固定されていなくてもよく、セルの地理的エリアは、モバイルＢＳの位置に従って移動することができる。いくつかの態様では、ＢＳは、任意の好適なトランスポートネットワークを使用して、直接物理接続、仮想ネットワークなどの様々なタイプのバックホールインターフェースを通じて、互いに、及び／又は無線ネットワーク１００の中の１つ以上の他のＢＳ若しくはネットワークノード（図示せず）に相互接続することができる。

【００２９】

［0038］　無線ネットワーク１００はまた、中継局を含むことができる。中継局は、上流局（例えば、ＢＳ又はＵＥ）からデータの送信を受信し、かつそのデータの送信を下流局（例えば、ＵＥ又はＢＳ）に送信することができる、エンティティである。中継局はまた、他のＵＥのための伝送を中継することができるＵＥであってもよい。図１に示す実施例では、中継局１１０ｄは、ＢＳ１１０ａとＵＥ１２０ｄとの間の通信を容易にするために、マクロＢＳ１１０ａ及びＵＥ１２０ｄと通信することができる。中継局は、中継ＢＳ、中継基地局、リレーなどと呼ばれる場合もある。

【００３０】

［0039］　無線ネットワーク１００は、異なるタイプのＢＳ、例えば、マクロＢＳ、ピコＢＳ、フェムトＢＳ、中継ＢＳなどを含む異種ネットワークであってもよい。これらの異なるタイプのＢＳは、異なる送信電力レベル、異なるカバレッジエリア、及び無線ネットワーク１００の中の干渉に対する異なる影響を有することがある。例えば、マクロＢＳは、高い送信電力レベル（例えば、５～４０ワット）を有する場合があるが、ピコＢＳ、フェムトＢＳ、及び中継ＢＳは、より低い送信電力レベル（例えば、０．１～２ワット）を有する場合がある。

【００３１】

［0040］　ネットワークコントローラ１３０は、ＢＳのセットに結合してもよく、これらのＢＳのための協調及び制御を提供することができる。ネットワークコントローラ１３０は、バックホールを介してＢＳと通信することができる。ＢＳはまた、例えば、無線又は有線バックホールを介して直接又は間接的に、互いと通信することができる。

【００３２】

［0041］　ＵＥ１２０（例えば、１２０ａ、１２０ｂ、１２０ｃ）は、無線ネットワーク１００全体にわたって分散されていてもよく、各ＵＥは、固定又はモバイルであってもよい。ＵＥは、アクセス端末、端末、移動局、加入者ユニット、局などと呼ばれる場合もある。ＵＥは、セルラー電話（例えば、スマートフォン）、携帯情報端末（personal digital assistant、ＰＤＡ）、無線モデム、無線通信デバイス、ハンドヘルドデバイス、ラップトップコンピュータ、コードレスフォン、無線ローカルループ（wireless local loop、ＷＬＬ）局、タブレット、カメラ、ゲームデバイス、ネットブック、スマートブック、ウルトラブック、医療デバイス若しくは医療機器、生体センサ／デバイス、ウェアラブルデバイス（スマートウォッチ、スマートクロージング、スマートグラス、ス

マートリストバンド、スマートジュエリ（例えば、スマートリング、スマートブレスレット））、エンターテインメントデバイス（例えば、音楽若しくはビデオデバイス、又は衛星ラジオ）、ビークル用構成要素若しくはセンサ、スマートメータ／センサ、産業用製造機器、全地球測位システムデバイス、又は、無線若しくは有線媒体を介して通信するように構成されている任意の他の好適なデバイスであってもよい。

【００３３】

［0042］　いくつかのＵＥは、マシンタイプ通信（machine－type communications、ＭＴＣ）ＵＥ、又は発展若しくは拡張型マシンタイプ通信（evolved or enhanced machine－type communications、ｅＭＴＣ）ＵＥと見なすことができる。ＭＴＣ　ＵＥ及びｅＭＴＣ　ＵＥは、例えば、基地局、別のデバイス（例えば、リモートデバイス）、又は何らかの他のエンティティと通信することができる、ロボット、リモートデバイス、センサ、メータ、モニタ、位置タグなどを含む。無線ノードは、例えば、有線通信リンク又は無線通信リンクを介して、ネットワーク（例えば、インターネット又はセルラーネットワークなどのワイドエリアネットワーク）のための、又はネットワークへの接続性を提供することができる。いくつかのＵＥは、モノのインターネット（Internet－of－Things、ＩｏＴ）デバイスと見なされてもよく、かつ／又はＮＢ－ＩｏＴ（narrowband internet of things）（狭帯域のモノのインターネット）デバイスとして実装することができる。いくつかのＵＥは、顧客構内機器（customer premises equipment、ＣＰＥ）と見なすことができる。ＵＥ１２０は、プロセッサ構成要素、メモリ構成要素などのＵＥ１２０の構成要素を収容するハウジングの内部に含まれてもよい。

【００３４】

［0043］　一般に、任意の数の無線ネットワークを所与の地理的エリアにおいて展開することができる。各無線ネットワークは、特定のＲＡＴをサポートすることができ、１つ以上の周波数上で動作することができる。ＲＡＴは、無線技術、エアインターフェースなどと呼ばれる場合もある。周波数は、キャリア、周波数チャネルなどと呼ばれる場合もある。各周波数は、異なるＲＡＴの無線ネットワーク間の干渉を回避するために、所与の地理的エリアにおいて単一のＲＡＴをサポートしてもよい。場合によっては、ＮＲネットワーク又は５Ｇ　ＲＡＴネットワークを展開することができる。

【００３５】

［0044］　いくつかの態様では、２つ以上のＵＥ１２０（例えば、ＵＥ１２０ａ及びＵＥ１２０ｅとして示される）は、１つ以上のサイドリンクチャネルを使用して（例えば、互いと通信するための仲介者として基地局１１０を使用せずに）直接通信することができる。例えば、ＵＥ１２０は、ピアツーピア（peer－to－peer、Ｐ２Ｐ）通信、デバイス間（device－to－device、Ｄ２Ｄ）通信、（例えば、ビークル間（vehicle－to－vehicle、Ｖ２Ｖ）プロトコル、ビークルとインフラストラクチャ間（vehicle－to－infrastructure、Ｖ２Ｉ）プロトコルなどを含むことができる）ビークルとあらゆるモノ間（vehicle－to－everything、Ｖ２Ｘ）プロトコル、メッシュネットワークなどを使用して通信することができる。この場合、ＵＥ１２０は、他の箇所で基地局１１０によって実行されるものとして説明するスケジューリング動作、リソース選択動作、及び／又は他の動作を実行することができる。例えば、基地局１１０は、ダウンリンク制御情報（downlink control information、ＤＣＩ）、無線リソース制御（radio resource control、ＲＲＣ）シグナリング、メディアアクセス制御－制御要素（media access control－control element、ＭＡＣ－ＣＥ）を介して、又はシステム情報（例えば、システム情報ブロック（system information block、ＳＩＢ））を介してＵＥ１２０を構成することができる。

【００３６】

［0045］　再び図１を参照すると、いくつかの態様では、ＵＥ１２０などのＵＥは、チャネルシーケンスの特徴を抽出することができる。ＵＥ１２０は、ニューラルネットワーク処理に基づいてチャネルシーケンスの特徴を抽出するように構成された特徴抽出構成要素１４０を含むことができる。基地局１１０などの基地局も、チャネルシーケンスの特

徴を抽出することができる。基地局１１０は、ニューラルネットワーク処理に基づいてチャネルシーケンスの特徴を抽出するように構成された特徴抽出構成要素１５０を含むことができる。

【００３７】

［0046］　上記で示したように、図１は、一実施例として提供されるにすぎない。他の実施例は、図１に関して説明したものとは異なる場合がある。

【００３８】

［0047］　図２は、図１における基地局のうちの１つ及びＵＥのうちの１つであってもよい、基地局１１０及びＵＥ１２０の設計２００のブロック図を示す。基地局１１０は、Ｔ個のアンテナ２３４ａ～２３４ｔを装備してもよく、ＵＥ１２０は、Ｒ個のアンテナ２５２ａ～２５２ｒを装備してもよく、一般にＴ≧１及びＲ≧１である。

【００３９】

［0048］　基地局１１０において、送信プロセッサ２２０は、１つ以上のＵＥのためのデータをデータソース２１２から受信し、ＵＥから受信したチャネル品質インジケータ（channel quality indicators、ＣＱＩ）に少なくとも部分的に基づいてＵＥごとに１つ以上の変調及びコーディング方式（modulation and coding schemes、ＭＣＳ）を選択し、ＵＥ用に選択されたＭＣＳ（単数又は複数）に少なくとも部分的に基づいてＵＥごとにデータを処理（例えば、符号化及び変調）し、データシンボルを全てのＵＥに提供してもよい。ＭＣＳを減らすと、スループットが下がるが、送信の信頼性が高まる。送信プロセッサ２２０はまた、（例えば、半静的リソース区分情報（semi－static resource partitioning information、ＳＲＰＩ）などのための）システム情報及び制御情報（例えば、ＣＱＩ要求、許可、上位層シグナリングなど）を処理し、オーバーヘッドシンボル及び制御シンボルを提供してもよい。送信プロセッサ２２０はまた、基準信号（例えば、セル固有基準信号（cell－specific reference signal、ＣＲＳ））及び同期信号（例えば、１次同期信号（primary synchronization signal、ＰＳＳ）及び２次同期信号（secondary synchronization signal、ＳＳＳ））のための基準シンボルを生成してもよい。送信（transmit、ＴＸ）多入力多出力（ＭＩＭＯ）プロセッサ２３０は、適用可能な場合、データシンボル、制御シンボル、オーバーヘッドシンボル、及び／又は基準シンボルに対して空間処理（例えば、プリコーディング）を実行することができ、Ｔ個の変調器（modulators、ＭＯＤ）２３２ａ～２３２ｔにＴ個の出力シンボルストリームを提供することができる。各変調器２３２は、（例えば、ＯＦＤＭなどのために）それぞれの出力シンボルストリームを処理して、出力サンプルストリームを取得してもよい。各変調器２３２は、出力サンプルストリームを更に処理（例えば、アナログに変換、増幅、フィルタリング、及びアップコンバート）して、ダウンリンク信号を取得してもよい。変調器２３２ａ～２３２ｔからのＴ個のダウンリンク信号は、Ｔ個のアンテナ２３４ａ～２３４ｔそれぞれを介して送信されてもよい。以下でより詳細に説明する様々な態様によれば、追加の情報を伝えるために位置符号化を用いて同期信号を生成することができる。

【００４０】

［0049］　ＵＥ１２０において、アンテナ２５２ａ～２５２ｒは、基地局１１０及び／又は他の基地局からダウンリンク信号を受信してもよく、受信信号を復調器（demodulators、ＤＥＭＯＤ）２５４ａ～２５４ｒそれぞれに提供してもよい。各復調器２５４は、受信信号を調整（例えば、フィルタリング、増幅、ダウンコンバート、及びデジタル化）して、入力サンプルを取得することができる。各復調器２５４は、入力サンプルを（例えば、ＯＦＤＭなどのために）更に処理して、受信したシンボルを取得してもよい。ＭＩＭＯ検出器２５６は、全てのＲ個の復調器２５４ａ～２５４ｒから受信したシンボルを取得し、適用可能な場合、受信したシンボルに対してＭＩＭＯ検出を実行し、検出されたシンボルを提供することができる。受信プロセッサ２５８は、検出されたシンボルを処理（例えば、復調及び復号）し、ＵＥ１２０のための復号されたデータをデータシンク２６０に提供し、復号された制御情報及びシステム情報をコントローラ／プロセッサ２８０に

提供してもよい。チャネルプロセッサは、基準信号受信電力（ＲＳＲＰ）、受信信号強度インジケータ（received signal strength indicator、ＲＳＳＩ）、基準信号受信品質（reference signal received quality、ＲＳＲＱ）、チャネル品質インジケータ（ＣＱＩ）などを判定することができる。いくつかの態様では、ＵＥ１２０の１つ以上の構成要素は、ハウジングに含まれてもよい。

【００４１】

［0050］　アップリンク上では、ＵＥ１２０において、送信プロセッサ２６４は、データソース２６２からのデータ及びコントローラ／プロセッサ２８０からの（例えば、ＲＳＲＰ、ＲＳＳＩ、ＲＳＲＱ、ＣＱＩなどを備える報告のための）制御情報を受信し、処理してもよい。送信プロセッサ２６４はまた、１つ以上の基準信号のための基準シンボルを生成することができる。送信プロセッサ２６４からのシンボルは、適用可能な場合、ＴＸ　ＭＩＭＯプロセッサ２６６によってプリコーディングされ、変調器２５４ａ～２５４ｒによって（例えば、ＤＦＴ－ｓ－ＯＦＤＭ用、ＣＰ－ＯＦＤＭ用などに）更に処理され、基地局１１０に送信されてもよい。基地局１１０において、ＵＥ１２０及び他のＵＥからのアップリンク信号は、アンテナ２３４によって受信され、復調器２５４によって処理され、適用可能な場合、ＭＩＭＯ検出器２３６によって検出され、受信プロセッサ２３８によって更に処理されて、ＵＥ１２０によって送信された復号されたデータ及び制御情報を取得してもよい。受信プロセッサ２３８は、復号されたデータをデータシンク２３９に提供し、復号された制御情報をコントローラ／プロセッサ２４０に提供してもよい。基地局１１０は、通信ユニット２４４を含んでもよく、通信ユニット２４４を介してネットワークコントローラ１３０と通信してもよい。ネットワークコントローラ１３０は、通信ユニット２９４、コントローラ／プロセッサ２９０、及びメモリ２９２を含んでもよい。

【００４２】

［0051］　基地局１１０のコントローラ／プロセッサ２４０、ＵＥ１２０のコントローラ／プロセッサ２８０、及び／又は図２の任意の他の構成要素（単数又は複数）は、他の箇所でより詳細に説明するように、人工ニューラルネットワークを使用した反復プロセスを最適化するための機械学習に関連付けられた１つ以上の技術を実行することができる。例えば、基地局１１０のコントローラ／プロセッサ２４０、ＵＥ１２０のコントローラ／プロセッサ２８０、及び／又は図２の任意の他の構成要素（単数又は複数）は、例えば、図６～図８のプロセス及び／又は説明されるような他のプロセスの動作を実行又は指示することができる。メモリ２４２及び２８２は、基地局１１０及びＵＥ１２０それぞれのためのデータ及びプログラムコードを記憶してもよい。スケジューラ２４６は、ダウンリンク上及び／又はアップリンク上でのデータ送信のためにＵＥをスケジュールしてもよい。

【００４３】

［0052］　いくつかの態様では、ＵＥ１２０、基地局１１０、又は開示される他のネットワークは、受信する手段と、キャプチャする手段と、訓練する手段と、適用する手段とを含むことができる。そのような手段は、図２に関して説明したＵＥ１２０又は基地局１１０の１つ以上の構成要素を含むことができる。

【００４４】

［0053］　上記で示したように、図２は、一実施例として提供されるにすぎない。他の実施例は、図２に関して説明したものとは異なる場合がある。

【００４５】

［0054］　場合によっては、異なるタイプのアプリケーション及び／又はサービスをサポートする異なるタイプのデバイスが、セルにおいて共存することができる。異なるタイプのデバイスの例としては、ＵＥハンドセット、顧客構内機器（ＣＰＥ）、ビークル、モノのインターネット（ＩｏＴ）デバイスなどが挙げられる。異なるタイプのアプリケーションの例としては、超高信頼低待ち時間通信（ultra－reliable low－latency communications、ＵＲＬＬＣ）アプリケーション、大規模マシンタイプ通信（massive machine－type communications、ｍＭＴＣ）アプリケーション、拡張モバイルブロ

ードバンド（enhanced mobile broadband、ｅＭＢＢ）アプリケーション、ビークルとモノ間（vehicle－to－anything、Ｖ２Ｘ）アプリケーションなどが挙げられる。更に、場合によっては、単一のデバイスが、異なるアプリケーション又はサービスを同時にサポートすることができる。

【００４６】

［0055］　図３は、本開示のいくつかの態様による、無線伝搬チャネルのためのチャネルシーケンスの再構成を生成するように構成された中央処理装置（central processing unit、ＣＰＵ）３０２又はマルチコアＣＰＵを含むことができる、システムオンチップ（ＳＯＣ）３００の例示的な一実装形態を示す。ＳＯＣ３００は、基地局１１０又はＵＥ１２０に含まれてもよい。変数（例えば、ニューラル信号及びシナプス重み）、計算デバイス（例えば、重みを有するニューラルネットワーク）に関連付けられたシステムパラメータ、遅延、周波数ビン情報、及びタスク情報は、ニューラル処理ユニット（neural processing unit、ＮＰＵ）３０８に関連付けられたメモリブロック、ＣＰＵ３０２に関連付けられたメモリブロック、グラフィックス処理ユニット（graphics processing unit、ＧＰＵ）３０４に関連付けられたメモリブロック、デジタル信号プロセッサ（digital signal processor、ＤＳＰ）３０６に関連付けられたメモリブロック、メモリブロック３１８に記憶することができる、又は複数のブロックにわたって分散することができる。ＣＰＵ３０２において実行される命令は、ＣＰＵ３０２に関連付けられたプログラムメモリからロードすることができる、又はメモリブロック３１８からロードすることができる。

【００４７】

［0056］　ＳＯＣ３００はまた、ＧＰＵ３０４、ＤＳＰ３０６、第５世代（fifth generation、５Ｇ）接続性、第４世代ロングタームエボリューション（fourth generation long term evolution、４Ｇ　ＬＴＥ）接続性、Ｗｉ－Ｆｉ接続性、ＵＳＢ接続性、Ｂｌｕｅｔｏｏｔｈ（登録商標）接続性などを含むことができる接続性ブロック３１０、並びに、例えば、ジェスチャを検出及び認識することができるマルチメディアプロセッサ３１２などの、特定の機能に適合された追加の処理ブロックを含むことができる。一実装形態では、ＮＰＵは、ＣＰＵ、ＤＳＰ、及び／又はＧＰＵに実装される。ＳＯＣ３００はまた、センサプロセッサ３１４、画像信号プロセッサ（image signal processors、ＩＳＰ）３１６、及び／又は全地球測位システムを含むことができるナビゲーションモジュール３２０を含むことができる。

【００４８】

［0057］　ＳＯＣ３００は、ＡＲＭ命令セットに基づくことができる。本開示の一態様では、汎用プロセッサ３０２にロードされる命令は、送信デバイスから、無線信号についてのチャネルシーケンスの潜在表現を受信するコードを備えることができる。汎用プロセッサ３０２にロードされる命令はまた、デコーダを介して、物理伝搬チャネルモデルを潜在表現に適用して、無線信号についてのチャネルシーケンスを再構成するコードを備えることができる。

【００４９】

［0058］　深層学習アーキテクチャは、各層内の連続的により高い抽象レベルにおいて入力を表現することを学習し、それによって入力データの有用な特徴表現を構築することによって、オブジェクト認識タスクを実行してもよい。このようにして、深層学習は、従来の機械学習の主要なボトルネックに対処する。深層学習の出現より前に、オブジェクト認識問題に対する機械学習手法は、場合によっては、浅い分類器と組み合わせて、人間が設計した特徴に大きく依拠してきた可能性がある。浅い分類器は、例えば、入力がどのクラスに属するかを予測するために特徴ベクトル成分の加重和を閾値と比較することができる、２クラス線形分類器であってもよい。人間が設計した特徴は、領域専門知識を有する技術者によって特定の問題領域に適合されたテンプレート又はカーネルであってもよい。対照的に、深層学習アーキテクチャは、人間の技術者が設計することができるものと同様である特徴を表現することを、しかし訓練を通して、学習してもよい。更に、深層ネッ

トワークは、人間が考えていなかった可能性がある新しいタイプの特徴を表現及び認識することを学習してもよい。

【００５０】

［0059］　深層学習アーキテクチャは、特徴の階層を学習してもよい。視覚データが提示された場合、例えば、第１の層は、入力ストリームにおけるエッジなどの比較的単純な特徴を認識することを学習してもよい。別の実施例では、聴覚データが提示される場合、第１の層は、特定の周波数におけるスペクトル電力を認識することを学習することができる。第１の層の出力を入力として取る第２の層は、視覚データの場合は単純な形状などの特徴の組み合わせ、又は聴覚データの場合は音の組み合わせを認識することを学習してもよい。例えば、上位層は、視覚データにおける複雑な形状又は聴覚データにおける単語を表現することを学習することができる。更に上位の層は、一般的な視覚オブジェクト又は発話フレーズを認識することを学習してもよい。

【００５１】

［0060］　深層学習アーキテクチャは、自然階層構造を有する問題に適用されたとき、特によく機能する場合がある。例えば、電動ビークルの分類は、車輪、フロントガラス、及び他の特徴を認識することを最初に学習することから恩恵を受ける場合がある。これらの特徴は、自動車、トラック、及び飛行機を認識するために、異なる方法で上位層において組み合わせられてもよい。

【００５２】

［0061］　ニューラルネットワークは、様々な結合性パターンを用いて設計されてもよい。フィードフォワードネットワークでは、所与の層内の各ニューロンが上位層内のニューロンと通信して、情報が下位層から上位層に渡される。上述したように、フィードフォワードネットワークの連続する層内で階層表現が構築されてもよい。ニューラルネットワークはまた、再帰結合又はフィードバック（トップダウンとも呼ばれる）結合を有してもよい。再帰結合では、所与の層内のニューロンからの出力は、同じ層内の別のニューロンに伝達されてもよい。再帰型アーキテクチャは、シーケンスの中でニューラルネットワークに配信される入力データチャンクのうちの２つ以上にわたるパターンを認識する際に有用であり得る。所与の層内のニューロンから下位層内のニューロンへの結合は、フィードバック（又は、トップダウン）結合と呼ばれる。多数のフィードバック結合を有するネットワークは、高レベルの概念の認識が入力の特定の低レベルの特徴を区別する助けとなり得るときに有用であり得る。

【００５３】

［0062］　ニューラルネットワークの層間の結合は、完全結合又は局所結合されていてもよい。図４Ａは、完全結合ニューラルネットワーク４０２の一実施例を示す。完全結合ニューラルネットワーク４０２では、第１の層内のニューロンは、その出力を第２の層内のあらゆるニューロンに伝達してもよく、その結果、第２の層内の各ニューロンは、第１の層内のあらゆるニューロンから入力を受信することになる。図４Ｂは、局所結合ニューラルネットワーク４０４の一実施例を示す。局所結合ニューラルネットワーク４０４では、第１の層内のニューロンは、第２の層内の限られた数のニューロンに結合されていてもよい。より一般的には、局所結合ニューラルネットワーク４０４の局所結合層は、ある層内の各ニューロンが同じ又は類似の結合性パターンを、しかし異なる値（例えば、４１０、４１２、４１４、及び４１６）を有してもよい結合強度を伴って有するように構成することができる。所与の領域の中の上位層ニューロンは、訓練を通じてネットワークへの全入力のうちの制約された部分の特性に調整される入力を受信することがあるので、局所結合の結合性パターンは、上位層内で空間的に別個の受容野を生じることがある。

【００５４】

［0063］　局所結合ニューラルネットワークの一例は、畳み込みニューラルネットワークである。図４Ｃは、畳み込みニューラルネットワーク４０６の一実施例を示す。畳み込みニューラルネットワーク４０６は、第２の層内の各ニューロンに対する入力に関連付けられた結合強度が共有されるように構成することができる（例えば、４０８）。畳み込

みニューラルネットワークは、入力の空間位置が意味のある問題に好適である場合がある。

【００５５】

［0064］　１つのタイプの畳み込みニューラルネットワークは、深層畳み込みネットワーク（ＤＣＮ）である。図４Ｄは、車載カメラなどの画像キャプチャデバイス４３０から入力された画像４２６から視覚特徴を認識するように設計された、ＤＣＮ４００の詳細な実施例を示す。本実施例のＤＣＮ４００は、交通標識、及び交通標識上に設けられた数を識別するように訓練することができる。もちろん、ＤＣＮ４００は、車線区分線を認識すること、又は交通信号を識別することなどの、他のタスクのために訓練することができる。

【００５６】

［0065］　ＤＣＮ４００は、教師あり学習を用いて訓練することができる。訓練の間、ＤＣＮ４００は、速度制限標識の画像４２６などの画像を提示されてもよく、次いで、フォワードパスを計算して、出力４２２を生成することができる。ＤＣＮ４００は、特徴抽出セクション及び分類セクションを含むことができる。画像４２６を受信すると、畳み込み層４３２は、畳み込みカーネル（図示せず）を画像４２６に適用して、特徴マップの第１のセット４１８を生成することができる。一実施例として、畳み込み層４３２のための畳み込みカーネルは、２８×２８の特徴マップを生成する５×５のカーネルであってもよい。本実施例では、特徴マップの第１のセット４１８の中で４つの異なる特徴マップが生成されるので、４つの異なる畳み込みカーネルが畳み込み層４３２において画像４２６に適用された。畳み込みカーネルは、フィルタ又は畳み込みフィルタと呼ばれることもある。

【００５７】

［0066］　特徴マップの第１のセット４１８は、最大プーリング層（図示せず）によってサブサンプリングされて、特徴マップの第２のセット４２０を生成することができる。最大プーリング層は、特徴マップの第１のセット４１８のサイズを縮小する。すなわち、１４×１４などの特徴マップの第２のセット４２０のサイズは、２８×２８などの特徴マップの第１のセット４１８のサイズよりも小さい。縮小されたサイズにより、メモリ消費量を低減しながら、類似の情報を後続の層に提供する。特徴マップの第２のセット４２０は、１つ以上の後続の畳み込み層（図示せず）を介して更に畳み込まれて、特徴マップの１つ以上の後続のセット（図示せず）を生成することができる。

【００５８】

［0067］　図４Ｄの実施例では、特徴マップの第２のセット４２０が畳み込まれて、第１の特徴ベクトル４２４を生成する。更に、第１の特徴ベクトル４２４が更に畳み込まれて、第２の特徴ベクトル４２８を生成する。第２の特徴ベクトル４２８の各特徴は、「標識」、「６０」、及び「１００」などの画像４２６の可能な特徴に対応する数を含んでもよい。ソフトマックス関数（図示せず）は、第２の特徴ベクトル４２８における数を確率に変換してもよい。したがって、ＤＣＮ４００の出力４２２は、画像４２６が１つ以上の特徴を含む確率である。

【００５９】

［0068］　本実施例では、「標識」及び「６０」に対する出力４２２における確率は、「３０」、「４０」、「５０」、「７０」、「８０」、「９０」、及び「１００」などの出力４２２のその他のものの確率よりも高い。訓練の前に、ＤＣＮ４００によって生成された出力４２２は、不正確である可能性がある。したがって、出力４２２とターゲット出力との間で誤差が計算されてもよい。ターゲット出力は、画像４２６のグラウンドトゥルース（例えば、「標識」及び「６０」）である。次いで、ＤＣＮ４００の出力４２２がターゲット出力とより近接して整合されるように、ＤＣＮ４００の重みを調整することができる。

【００６０】

［0069］　重みを調整するために、学習アルゴリズム又はプロセスは、重みに対する

勾配ベクトルを算出してもよい。勾配は、重みが調整された場合に誤差が増加又は減少することになる量を示すことができる。最上層において、勾配は、最後から２番目の層内の活性化されたニューロンと出力層内のニューロンとを結合する重みの値に直接対応することができる。下位層では、勾配は、重みの値、及び上位層の算出された誤差勾配に依存することができる。次いで、重みは、誤差を低減するように調整されてもよい。重みを調整するこの方式は、ニューラルネットワークを通じた「逆方向パス」を伴うので、「逆伝搬法」と呼ばれることがある。

【００６１】

［0070］　実際には、重みの誤差勾配は、計算された勾配が真の誤差勾配に近似するように、少数の例にわたって計算されてもよい。この近似法は、確率的勾配降下法と呼ばれることがある。確率的勾配降下法は、システム全体の達成可能な誤差率が下げ止まるまで、又は誤差率がターゲットレベルに達するまで反復されてもよい。学習の後、ＤＣＮは、新しい画像（例えば、画像４２６の速度制限標識）を提示されてもよく、ネットワークを通したフォワードパスは、ＤＣＮの推論又は予測と見なすことができる出力４２２をもたらすことができる。

【００６２】

［0071］　深層信念ネットワーク（Deep belief networks、ＤＢＮ）は、隠れノードの複数の層を備える確率的モデルである。ＤＢＮは、訓練データセットの階層表現を抽出するために使用されてもよい。ＤＢＮは、制限付きボルツマンマシン（Restricted Boltzmann Machines、ＲＢＭ）の層を積層することによって取得されてもよい。ＲＢＭは、入力のセットにわたる確率分布を学習できるタイプの人工ニューラルネットワークである。ＲＢＭは、各入力がカテゴリー分類されるべき先のクラスについての情報がない状態で確率分布を学習できるので、ＲＢＭは、教師なし学習において頻繁に使用される。教師なしと教師ありとのハイブリッドパラダイムを使用して、ＤＢＮの下部ＲＢＭは、教師なし方式で訓練することができ、特徴抽出器として機能することができ、上部ＲＢＭは、（前の層及びターゲットクラスからの入力の同時分布上で）教師あり方式で訓練することができ、分類器として機能することができる。

【００６３】

［0072］　深層畳み込みネットワーク（ＤＣＮ）は、追加のプーリング層及び正規化層で構成された、畳み込みネットワークのネットワークである。ＤＣＮは、多数のタスクに対して最先端の性能を達成している。ＤＣＮは、入力と出力ターゲットの両方が、多数の標本に対して知られており、かつ勾配降下法の使用によってネットワークの重みを修正するために使用される、教師あり学習を使用して訓練することができる。

【００６４】

［0073］　ＤＣＮは、フィードフォワードネットワークであってもよい。加えて、上述したように、ＤＣＮの第１の層内のニューロンから次の上位層内のニューロンのグループへの結合は、第１の層内のニューロンにわたって共有される。ＤＣＮのフィードフォワード結合及び共有される結合は、高速処理のために活用することができる。ＤＣＮの計算負担は、例えば、再帰結合又はフィードバック結合を備える同様のサイズのニューラルネットワークの計算負担よりもはるかに小さい場合がある。

【００６５】

［0074］　畳み込みネットワークの各層の処理は、空間的に不変のテンプレート又は基底射影と見なされてもよい。入力が、カラー画像の赤色チャネル、緑色チャネル、及び青色チャネルなどの複数のチャネルに最初に分解される場合、その入力に対して訓練される畳み込みネットワークは、画像の軸に沿った２つの空間次元及び色情報をキャプチャする第３の次元を有する、３次元と見なされてもよい。畳み込み結合の出力は、後続の層内で特徴マップを形成するものと見なされてもよく、特徴マップ（例えば、２２０）の各要素が、前の層（例えば、特徴マップ２１８）内のある範囲のニューロンから、かつ複数のチャネルの各々から、入力を受信する。特徴マップにおける値は、整流、ｍａｘ（０，ｘ）などの非線形性を用いて更に処理されてもよい。隣接するニューロンからの値は更に、

ダウンサンプリングに対応するプーリングが行われてもよく、追加の局所不変性及び次元数低減をもたらすことができる。白色化に対応する正規化が、特徴マップ内のニューロン間の側方抑制を通して適用される場合もある。

【００６６】

［0075］　深層学習アーキテクチャの性能は、より多くのラベル付けされたデータポイントが利用可能になるほど、又は計算能力が高まるほど、向上することができる。現代の深層ニューラルネットワークは、わずか１５年前に典型的な研究者が利用可能であったものよりも数千倍大きい計算リソースを用いて、ルーチン的に訓練される。新しいアーキテクチャ及び訓練パラダイムは、深層学習の性能を更に高めることができる。整流線形ユニットは、勾配消失として知られる訓練問題を低減する場合がある。新しい訓練技術は、過剰適合を低減し、したがって、より大きいモデルがより良い汎化を達成することを可能にする場合がある。カプセル化技術は、所与の受容野内のデータを抽出し、全体的な性能を更に高める場合がある。

【００６７】

［0076］　図５は、深層畳み込みネットワーク５５０を示すブロック図である。深層畳み込みネットワーク５５０は、結合性及び重み共有に基づいて、複数の異なるタイプの層を含むことができる。図５に示されているように、深層畳み込みネットワーク５５０は、畳み込みブロック５５４Ａ、５５４Ｂを含む。畳み込みブロック５５４Ａ、５５４Ｂの各々は、畳み込み層（convolution layer、ＣＯＮＶ）３５６、正規化層（normalization layer、ＬＮｏｒｍ）５５８、及び最大プーリング層（max pooling layer、ＭＡＸ　ＰＯＯＬ）５６０を用いて構成することができる。

【００６８】

［0077］　畳み込み層５５６は、特徴マップを生成するために、入力データに適用することができる、１つ以上の畳み込みフィルタを含むことができる。畳み込みブロック５５４Ａ、５５４Ｂのうちの２つのみが示されているが、本開示は、そのように限定しておらず、代わりに、設計選好に従って、任意の数の畳み込みブロック５５４Ａ、５５４Ｂが深層畳み込みネットワーク５５０に含まれてもよい。正規化層５５８は、畳み込みフィルタの出力を正規化してもよい。例えば、正規化層５５８は、白色化又は側方抑制をもたらすことができる。最大プーリング層５６０は、局所不変性及び次元数低減のために、空間にわたってダウンサンプリング集約をもたらすことができる。

【００６９】

［0078］　例えば、深層畳み込みネットワークの、並列フィルタバンクは、高性能及び低電力消費を達成するために、ＳＯＣ３００のＣＰＵ３０２又はＧＰＵ３０４上にロードすることができる。代替実施形態では、並列フィルタバンクは、ＳＯＣ３００のＤＳＰ３０６又はＩＳＰ３１６上にロードすることができる。加えて、深層畳み込みネットワーク５５０は、センサ及びナビゲーションそれぞれに専用の、センサプロセッサ３１４及びナビゲーションモジュール３２０などの、ＳＯＣ３００上に存在することができる他の処理ブロックにアクセスすることができる。

【００７０】

［0079］　深層畳み込みネットワーク５５０はまた、１つ以上の完全結合層５６２（ＦＣ１及びＦＣ２）を含んでもよい。深層畳み込みネットワーク５５０は、ロジスティック回帰（logistic regression、ＬＲ）層５６４を更に含んでもよい。深層畳み込みネットワーク５５０の各層５５６、５５８、５６０、５６２、５６４の間に、更新されることになる重み（図示せず）がある。層（例えば、５５６、５５８、５６０、５６２、５６４）の各々の出力は、畳み込みブロック５５４Ａのうちの第１のものにおいて供給された入力データ５５２（例えば、画像、オーディオ、ビデオ、センサデータ、及び／又は他の入力データ）から階層的な特徴表現を学習するために、深層畳み込みネットワーク５５０内の層（例えば、５５６、５５８、５６０、５６２、５６４）のうちの後続の層の入力として機能することができる。深層畳み込みネットワーク５５０の出力は、入力データ５５２に対する分類スコア５６６である。分類スコア５６６は、確率のセットであってもよく

、各確率は、特徴のセットからの特徴を含む、入力データの確率である。
【００７１】
［0080］　上記で示したように、図３～図５は、実施例として提供される。他の実施例は、図３～図５に関して説明するものとは異なる場合がある。
【００７２】
［0081］　図６は、チャネル特徴抽出のための従来のアーキテクチャ６００を示すブロック図である。図６を参照すると、例示的なアーキテクチャ６００は、エンコーダ６０２（例えば、推論ニューラルネットワーク）及びデコーダ６０４（例えば、生成ニューラルネットワーク）を含むオートエンコーダであってもよい。
【００７３】
［0082］　無線伝搬チャネルのチャネルシーケンス（例えば、高次元表現）は、エンコーダ６０２への入力として受信することができる。エンコーダ６０２は、チャネルシーケンスを処理して、無線伝搬チャネルの潜在チャネル表現（例えば、低次元表現）を生成することができる。潜在チャネル表現は、デコーダ６０４に供給することができる。デコーダ６０４は、潜在チャネル表現を処理して、チャネルシーケンスの再構成（高次元表現）を生成する。この従来のアーキテクチャ６００は、大量のラベル付けされていないチャネルデータを有益に利用することができる。しかしながら、説明したように、従来のアーキテクチャ６００は、潜在ベクトルの解釈可能性及び制御を欠いている。
【００７４】
［0083］　図７は、本開示の態様による、モデルベースのチャネル特徴抽出のための例示的なアーキテクチャ７００を示す図である。図７に示すように、アーキテクチャ７００は、（例えば、エンコーダ６０２と同様の）エンコーダ７０２及びデコーダ７０４を含む。エンコーダ７０２は、畳み込みフィルタの複数の層（例えば、図５に示す畳み込み層５５６）、完全結合層、又は任意の他のタイプのニューラルネットワーク層を含むことができる。エンコーダ７０２は、入力として第１の層においてチャネルシーケンス（高次元表現）H_tを受信することができる。チャネルシーケンスH_tは、エンコーダ７０２の畳み込みフィルタの連続する層を介して処理することができる。エンコーダ７０２の各層は、チャネルシーケンスH_tの特徴を抽出して、潜在チャネル表現z_tを生成することができる。
【００７５】
［0084］　例示的なアーキテクチャ７００は、デコーダ７０４を含む。エンコーダ７０２としてニューラルネットワークを使用するのではなく、送信機（例えば、基地局１１０）と受信機（例えば、ＵＥ１２０）との間の物理伝搬チャネルモデルが、潜在表現を復号することができる。すなわち、潜在表現とチャネルとの間の物理学に基づく関係を適用して、入力チャネルシーケンスの再構成を生成することができる。一実施例では、物理伝搬チャネルモデルは、３ＧＰＰ　ＴＲ　３８．９０１に提示され、以下によって与えられるような、見通し外（non－line of sight、ＮＬＯＳ）インパルス応答
【００７６】
【数２】

$$H_{u,s,n}^{NLOS}$$

を含むことができる。
【００７７】
【数３】

$$H_{u,s,n}^{NLOS}(t)=\sqrt{\frac{P_n}{M}}\sum_{m=1}^{M}\begin{bmatrix}F_{rx,u,\theta}(\theta_{n,m,AOA},\phi_{n,m,AOA})\\F_{rx,u,\phi}(\theta_{n,m,AOA},\phi_{n,m,AOA})\end{bmatrix}^{T}\begin{bmatrix}\exp(j\Phi_{n,m}^{\theta\theta}) & \sqrt{\kappa_{n,m}^{-1}}\exp(j\Phi_{n,m}^{\theta\phi})\\ \sqrt{\kappa_{n,m}^{-1}}\exp(j\Phi_{n,m}^{\phi\theta}) & \exp(j\Phi_{n,m}^{\phi\phi})\end{bmatrix}$$
$$\begin{bmatrix}F_{tx,s,\theta}(\theta_{n,m,ZOD},\phi_{n,m,ZOD})\\F_{tx,s,\phi}(\theta_{n,m,ZOD},\phi_{n,m,ZOD})\end{bmatrix}\exp\left(\frac{j2\pi(\hat{r}_{rx,n,m}\cdot\bar{d}_{rx,u})}{\lambda_0}\right)\exp\left(\frac{j2\pi(\hat{r}_{tx,n,m}\cdot\bar{d}_{tx,s})}{\lambda_0}\right)\exp\left(j2\pi\frac{\hat{r}_{rx,n,m}\cdot\bar{v}}{\lambda_0}t\right)$$

式中、

【００７８】

【数４】

$$\left\{\Phi_{n,m}^{\theta\theta},\Phi_{n,m}^{\theta\phi},\Phi_{n,m}^{\phi\theta},\Phi_{n,m}^{\phi\phi}\right\}$$

は、各クラスタｎの各光線ｍの初期位相であり、Ｆｒｘ，ｕ，θ及びＦｒｘ，ｕ，φは、受信アンテナ素子ｎの、かつ球面基底ベクトル

【００７９】

【数５】

$$\hat{\theta}$$

及び

【００８０】

【数６】

$$\hat{\phi}$$

それぞれの方向におけるフィールドパターンであり、Ｆｔｘ，ｓ，θ及びＦｔｘ、ｓ、φは、送信アンテナ素子ｓの、球面基底ベクトル

【００８１】

【数７】

$$\hat{\theta}$$

及び

【００８２】

【数８】

$$\hat{\phi}$$

それぞれの方向におけるフィールドパターンである。パラメータ

【００８３】

【数９】

$$\hat{r}_{rx,n,m}$$

は、方位角到来角（azimuth arrival angle）φｎ，ｍ，ＡＯＡ及び仰角到来角（elevation arrival angle）θｎ，ｍ，ＺＯＡを有する球面単位ベクトルであり、次式によって与えられる。

【００８４】

【数１０】

$$\hat{r}_{rx,n,m} = \begin{bmatrix} \sin\theta_{n,m,ZOA}\cos\phi_{n,m,AOA} \\ \sin\theta_{n,m,ZOA}\sin\phi_{n,m,AOA} \\ \cos\theta_{n,m,ZOA} \end{bmatrix}$$

式中、ｎは、クラスタを示し、ｍは、クラスタｎ内の光線を示す。パラメータ

【００８５】

【数１１】

$$\hat{r}_{tx,n,m}$$

は、方位角発射角（azimuth departure angle）$\Phi_{n,m,AOD}$及び仰角発射角（elevation departure angle）$\theta_{n,m,ZOD}$を有する球面単位ベクトルであり、次式によって与えられる。

【００８６】

【数１２】

$$\hat{r}_{tx,n,m} = \begin{bmatrix} \sin\theta_{n,m,ZOD}\cos\phi_{n,m,AOD} \\ \sin\theta_{n,m,ZOD}\sin\phi_{n,m,AOD} \\ \cos\theta_{n,m,ZOD} \end{bmatrix}$$

式中、

【００８７】

【数１３】

$$\bar{d}_{rx,u}$$

は、受信アンテナ素子ｕの位置ベクトルであり、

【００８８】

【数１４】

$$\bar{d}_{tx,s}$$

は、送信アンテナ素子ｓの位置ベクトルである。パラメータ$k_{n,m}$は、線形スケールでの交差偏波電力比であり、λ_0は、搬送周波数の波長である。

【００８９】

［0085］　物理伝搬チャネルモデルベースのデコーダ（例えば、７０４）を使用して潜在表現を復号し入力の再構成を生成することによって、潜在表現を、例えば、遅延（delay）及び到来角（angle of arrival）などの物理パラメータに従うようにさせることができる。これによりまた、デコーダ７０４も訓練するのとは対照的にエンコーダ７０２のみが訓練されるので、より効率的な訓練を可能にすることができる。加えて、デコーダ７０４は、潜在表現z_tの部分を物理伝搬チャネルの態様にマッピングすることができるので、物理伝搬チャネルモデルベースのデコーダ７０４は、解釈可能性を可能にする。例えば、潜在表現z_tの最初の要素は、到来角に対応するように定義されてもよい。更に、例示的なアーキテクチャ７００は、物理伝搬チャネルモデルに基づいて動的モデリング（例えば、カルマンフィルタリング、レイトレーシング）を可能にすることができる。潜在表現z_tは、解釈可能であるので、予測可能性を改善することができる。

【００９０】

［0086］　いくつかの態様では、既知の物理モデルは、完全には知られていない。すなわち、受信機（receiver、Ｒｘ）アレイ応答などの、モデルのいくつかのパラメータ値は、未知であり得る。これらの態様では、ネットワークは、未知の特徴を推定することができる。この手法は、ハイブリッド手法と呼ばれることがある。

【００９１】

［0087］　いくつかの態様では、物理伝搬チャネルモデルは、マルチパス成分（multipath components、ＭＰＣ）の和（sum）として表すことができる。各マルチパス成分は、例えば、遅延及び複素振幅（complex magnitude）を有することができる。加えて、各マルチパス成分は、関連付けられた送信機（Ｔｘ）アレイ応答（transmitter (Tx) array response）及び受信機（Ｒｘ）アレイ応答（receiver (Rx) array response）を有することができる。いくつかの態様では、Ｔｘアレイ応答及びＲｘアレイ応答は、角度応答の学習可能関数（learnable function）として（例えば、ニューラルネットワーク層として）表すことができる。更に、物理伝搬チャネルモデルはまた、Ｔｘチェーン及びＲｘチェーンのインパルス応答を含むことができる。いくつかの実施例では、物理伝搬チャネルモデルは、以下の式によって与えられてもよい。

Ｈ［ｋ］＝H_{RX}［ｋ］H_{OTA}［ｋ］H_{TX}［ｋ］　（３）

【００９２】

【数１５】

$$\boldsymbol{H}_{OTA}[k] = \sum_{n=0}^{N-1} \alpha_n \mathbf{a}_{RX}(\psi_{RX}) \mathbf{a}_{TX}^{H}(\psi_{TX}) \exp(-j2\pi\tau_n k) \quad (4)$$

式中、Ｈ［ｋ］は、総インパルス応答であり、H_{OTA}［ｋ］は、伝搬チャネルのインパルス応答である。加えて、α_nは、ｎ番目のマルチパス成分のスケーリングされた複素振幅であり、τ_nは、ｎ番目のＭＰＣのスケーリングされた遅延であり、

【００９３】

【数１６】

$$\psi_{RX}, \psi_{TX}$$

は、ｎ番目のＭＰＣのＲｘ及びＴｘ角度（方位、天頂）であり、パラメータa_{RX}（・）、a_{TX}（・）は、訓練可能なニューラルネットワーク（neural network、ＮＮ）層によって表されるＲｘ及びＴｘアレイ応答それぞれである。更に、サブキャリアごとに、パラメータH_{RX}［ｋ］＝ｄｉａｇ｛$h_{RX,m}$［ｋ］｝は、ｍ番目のＲｘアンテナに対する受信機チェーン周波数応答であり、H_{TX}［ｋ］＝ｄｉａｇ｛$h_{TX,m}$［ｋ］｝は、ｎ番目のＴｘアンテナに対する送信機チェーン周波数応答であり、

【００９４】

【数１７】

$$z = \{(\alpha_n, \tau_n, \psi_{RX}, \psi_{TX}) | 0 \le n < N\}$$

である。

【００９５】

［0088］　いくつかの態様では、例示的なアーキテクチャ７００は、測定チャネルデータに基づく教師なし学習を介して訓練することができる。訓練されると、ＮＮのエンコーダを使用して、所与のチャネルから潜在特徴を抽出することができる。ＮＮのデコーダは、潜在チャネル特徴から新しいチャネルサンプル及び／又はチャネルサンプルシーケンスを生成することができる。訓練されたエンコーダ／デコーダニューラルネットワークペアはまた、ＵＥと基地局（例えば、ｇＮｏｄｅＢ（ｇＮＢ））との間のチャネル状態フィードバック（channel state feedback）のために構成及び訓練することができる。

【００９６】

［００８９］　いくつかの態様では、例示的なアーキテクチャ７００は、帯域幅スティッチングを実行することができる。例えば、ガードバンド（guard band）によって分離された２つの周波数帯域（frequency band）が与えられると、ガードバンドにおける未知のチャネルは、連続チャネル応答を構成することができるように推測することができる。

【００９７】

［００９０］　いくつかの態様では、送信デバイス（例えば、基地局１１０）は、エンコーダ及びデコーダのカスケード（cascade）がエンコーダへの入力として与えられた元のチャネルシーケンスを再構成するように、エンコーダとデコーダとのペアを共同で訓練する。しかしながら、エンコーダのみが使用され、デコーダは廃棄されてもよい。すなわち、送信デバイスは、エンコーダ入力を再構成する際に使用するためではなく、エンコーダを訓練する目的のためだけにデコーダを訓練することができる。代わりに、受信デバイスは、送信デバイスが内部に有するデコーダとは異なり得る（異なる）デコーダ（例えば、物理伝搬チャネルモデルを使用することができるデコーダ７０４）を独立して訓練することができる。このようにして、送信デバイス（例えば、基地局１１０）は、そのエンコーダ設計を不明瞭にし、いくつかの態様では、そのエンコーダ設計を受信デバイス（例えば、ＵＥ１２０）に明らかにすることを回避することができる。同様に、受信デバイス（例えば、ＵＥ１２０）は、そのデコーダ設計を不明瞭にし、いくつかの態様では、そのデコーダ設計を送信デバイス（例えば、基地局１１０）に開示することを回避することができる。更に、いくつかの態様では、送信デバイス（例えば、基地局１１０）も受信デバイス（例えば、ＵＥ１２０）も、特定のエンコーダ又はデコーダの使用を他のデバイスに強要しない。

【００９８】

［００９１］　したがって、本開示の態様は、従来の非物理伝搬チャネルベースの手法と比較して、より効率的かつ解釈可能な学習を提供する。更に、改善された解釈可能性により、ｇＮＢ及びＵＥにわたるニューラルネットワークペアのより複雑でない仕様を可能にする。潜在表現は解釈可能な意味を有するので、エンコーダ（例えば、７０２）は、スタンドアロン実装形態として残されてもよい。これは、互換性のあるエンコーダとデコーダとのペアの共同訓練及び仕様を使用する従来のオートエンコーダベースのニューラルネットワークとは対照的である。

【００９９】

［００９２］　図８は、本開示の様々な態様による、例えば、プロセッサによって実行される例示的なプロセス８００を示すフロー図である。ブロック８０２において、プロセス８００は、送信デバイスから、無線信号についてのチャネル特徴の潜在表現を受信する。送信デバイスは、エンコーダ（例えば、図７のエンコーダ７０２）を使用して、チャネルシーケンスを潜在表現に変換することができる。潜在表現は、例えば、遅延、複素振幅、発射角（angle of departure）、及び到来角のセットのうちの１つ以上を含むことができる。いくつかの態様では、潜在表現は、チャネル状態フィードバックとして受信デバイスに送信されてもよい。

【０１００】

［００９３］　ブロック８０４において、プロセス８００は、デコーダを介して、物理伝搬チャネルモデルを潜在表現に適用して、無線信号についてのチャネル特徴を再構成する。受信デバイスは、デコーダ（例えば、図７のデコーダ７０４）を使用して、潜在表現からチャネル特徴を再構成することができる。

【０１０１】

［００９４］　いくつかの態様では、物理伝搬チャネルモデルは、マルチパス成分の和を含むことができる。マルチパス成分の各々は、例えば、遅延及び複素振幅を含むことができる。他の実施例では、各マルチパス成分は、送信機（Ｔｘ）アレイ応答（transmitter (Tx) array response）及び受信機（Ｒｘ）アレイ応答を含むことができる。更に、ＴｘアレイＲｘアレイ応答は、方位角（azimuth）及び天頂発射角（zenith a

ngles of departure）並びに方位角及び天頂到来角（zenith angles of arrival）それぞれの学習可能関数として表すことができる。

【０１０２】

［0095］　いくつかの態様では、物理チャネルモデルによってキャプチャされない無線信号に対する追加の影響（additional effect）は、追加の学習可能ニューラルネットワーク層（additional learnable neural network layer）を介してキャプチャすることができる。例えば、追加の影響は、受信機（Ｒｘ）チェーンインパルス応答（receiver (Rx) chain impulse response）及び送信機（Ｔｘ）チェーンインパルス応答（transmitter (Tx) chain impulse response）を含むことができる。

【０１０３】

［0096］　いくつかの態様では、エンコーダは、第１のニューラルネットワーク（例えば、図７のエンコーダ７０２）であってもよく、デコーダは、物理伝搬チャネルモデルに基づく第２のニューラルネットワーク（例えば、図７のデコーダ７０４）である。デコーダ及びエンコーダは、共同で又は独立して訓練することができる。

【０１０４】

［0097］　図９は、本開示の様々な態様による、例えば、プロセッサによって実行される例示的なプロセス９００を示すフロー図である。ブロック９０２において、プロセス９００は、無線信号についてのチャネル特徴を備える入力を受信する。図７に示すように、エンコーダ７０２は、入力として第１の層においてチャネルシーケンス（高次元表現）H_tを受信する。

【０１０５】

［0098］　ブロック９０４において、プロセス９００は、エンコーダを介して、チャネル特徴を処理して、無線信号についてのチャネル特徴の潜在表現を生成し、潜在表現は、物理伝搬チャネルのパラメータにマッピングする少なくとも１つの要素を含む。送信デバイスは、エンコーダ（例えば、図７のエンコーダ７０２）を使用して、チャネル特徴を潜在表現に変換することができる。潜在表現は、例えば、遅延、複素振幅、発射角、及び到来角のセットのうちの１つ以上を含むことができる。いくつかの態様では、潜在表現は、チャネル状態フィードバックとして受信デバイスに送信されてもよい。

【０１０６】

［0099］　ブロック９０４において、プロセス９００は、潜在表現を受信デバイスに送信する。図７に示すように、エンコーダ７０２は、チャネル特徴の潜在表現をデコーダ７０４に送信する。

【０１０７】

［00100］　以下の番号付き条項において実装例が提供される。

１．受信デバイスによる無線通信の方法であって、

送信デバイスから、無線信号についてのチャネルシーケンスの潜在表現を受信することと、

デコーダを介して、物理伝搬チャネルモデルを潜在表現に適用して、無線信号についてのチャネルシーケンスを再構成することと、

を備える、方法。

２．物理伝搬チャネルモデルが、マルチパス成分の和を備える、条項１に記載の方法。

３．マルチパス成分の各々が、遅延及び複素振幅を有する、条項１又は２に記載の方法。

４．マルチパス成分の各々が、送信機（Ｔｘ）アレイ応答及び受信機（Ｒｘ）アレイ応答を有する、条項１から３のいずれか一項に記載の方法。

５．Ｔｘアレイ応答及びＲｘアレイ応答が、方位角及び天頂発射角並びに方位角及び天頂到来角それぞれの学習可能関数として表される、条項１から４のいずれか一項に記載の方法。

６．追加の学習可能ニューラルネットワーク層を介して、物理伝搬チャネルモデルによってキャプチャされない無線信号に対する追加の影響をキャプチャすることを更に備える

、条項１から５のいずれか一項に記載の方法。
７．追加の影響が、受信機（Ｒｘ）チェーンインパルス応答及び送信機（Ｔｘ）チェーンインパルス応答を含む、条項１から６のいずれか一項に記載の方法。
８．潜在表現が、チャネル状態フィードバックとして受信デバイスに送信される、条項１から７のいずれか一項に記載の方法。
９．再構成されたチャネルシーケンスが、ガードバンドによって分離された複数の周波数帯域にわたる連続チャネル応答を備える、条項１から８のいずれか一項に記載の方法。
１０．潜在表現が、遅延、複素振幅、発射角、及び到来角のセットのうちの１つ以上を備える、条項１から９のいずれか一項に記載の方法。
１１．潜在表現が、符号化されたチャネルシーケンス（encoded channel sequence）を備え、受信デバイスが、デコーダを使用して、潜在表現からチャネルシーケンスを再構成する、条項１から１０のいずれか一項に記載の方法。
１２．デコーダが、物理伝搬チャネルモデルに基づくニューラルネットワークである、条項１から１１のいずれか一項に記載の方法。
１３．送信デバイスにおけるエンコーダとは独立して、受信デバイスにおけるデコーダを訓練することを更に備える、条項１から１２のいずれか一項に記載の方法。
１４．送信デバイスによる無線通信の方法であって、
エンコーダを介して、無線信号についてのチャネルシーケンスを備える入力を受信することと、
エンコーダを介して、チャネルシーケンスを処理して、無線信号についてのチャネルシーケンスの潜在表現であって、物理伝搬チャネルモデルのパラメータにマッピングする少なくとも１つの要素を含む、潜在表現を生成することと、
潜在表現を受信デバイスに送信することと、
を備える、方法。
１５．物理伝搬チャネルモデルが、マルチパス成分の和を備える、条項１４に記載の方法。
１６．マルチパス成分の各々が、遅延及び複素振幅を有する、条項１４又は１５に記載の方法。
１７．マルチパス成分の各々が、送信機（Ｔｘ）アレイ応答及び受信機（Ｒｘ）アレイ応答を有する、条項１４から１６のいずれか一項に記載の方法。
１８．Ｔｘアレイ応答及びＲｘアレイ応答が、方位角及び天頂発射角並びに方位角及び天頂到来角それぞれの学習可能関数として表される、条項１４から１７のいずれか一項に記載の方法。
１９．潜在表現が、チャネル状態フィードバックとして受信デバイスに送信される、条項１４から１８のいずれか一項に記載の方法。
２０．エンコーダが、ニューラルネットワークを備える、条項１４から１９のいずれか一項に記載の方法。
２１．送信デバイスが、エンコーダ－デコーダペア（encoder-decoder pair）のエンコーダ及び第２のデコーダのカスケードがエンコーダにおいてチャネルシーケンス入力を再構成するように、エンコーダ－デコーダペアを共同で訓練する、条項１４から２０のいずれか一項に記載の方法。
２２．受信デバイスによる無線通信のための装置であって、
メモリと、
メモリに結合された少なくとも１つのプロセッサと、
を備え、少なくとも１つのプロセッサが、
送信デバイスから、無線信号についてのチャネルシーケンスの潜在表現を受信し、
デコーダを介して、物理伝搬チャネルモデルを潜在表現に適用して、無線信号についてのチャネルシーケンスを再構成する、
ように構成されている、
装置。

２３．物理伝搬チャネルモデルが、マルチパス成分の和を備える、条項２２に記載の装置。
２４．マルチパス成分の各々が、遅延及び複素振幅を有する、条項２２又は２３に記載の装置。
２５．マルチパス成分の各々が、送信機（Ｔｘ）アレイ応答及び受信機（Ｒｘ）アレイ応答を有する、条項２２から２４のいずれか一項に記載の装置。
２６．少なくとも１つのプロセッサが、方位角及び天頂発射角並びに方位角及び天頂到来角それぞれの学習可能関数としてＴｘアレイ応答及びＲｘアレイ応答を表すように更に構成されている、条項２２から２５のいずれか一項に記載の装置。
２７．少なくとも１つのプロセッサが、追加の学習可能ニューラルネットワーク層を介して、物理伝搬チャネルモデルによってキャプチャされない無線信号に対する追加の影響をキャプチャするように更に構成されている、条項２２から２６のいずれか一項に記載の装置。
２８．追加の影響が、受信機（Ｒｘ）チェーンインパルス応答及び送信機（Ｔｘ）チェーンインパルス応答を含む、条項２２から２７のいずれか一項に記載の装置。
２９．少なくとも１つのプロセッサが、受信デバイスを介して、チャネル状態フィードバックとして潜在表現を受信するように更に構成されている、条項２２から２８のいずれか一項に記載の装置。
３０．再構成されたチャネルシーケンスが、ガードバンドによって分離された複数の周波数帯域にわたる連続チャネル応答を備える、条項２２から２９のいずれか一項に記載の装置。
３１．潜在表現が、遅延、複素振幅、発射角、及び到来角のセットのうちの１つ以上を備える、条項２２から３０のいずれか一項に記載の装置。
３２．潜在表現が、符号化されたチャネルシーケンスを備え、受信デバイスが、デコーダを使用して、潜在表現からチャネルシーケンスを再構成する、条項２２から３１のいずれか一項に記載の装置。
３３．デコーダが、物理伝搬チャネルモデルに基づくニューラルネットワークである、条項２２から３２のいずれか一項に記載の装置。
３４．少なくとも１つのプロセッサが、送信デバイスにおけるエンコーダとは独立して、受信デバイスにおけるデコーダを訓練するように更に構成されている、条項２２から３３のいずれか一項に記載の装置。
３５．送信デバイスによる無線通信のための装置であって、
メモリと、
メモリに結合された少なくとも１つのプロセッサと、
を備え、少なくとも１つのプロセッサが、
エンコーダを介して、無線信号についてのチャネルシーケンスを備える入力を受信し、
エンコーダを介して、チャネルシーケンスを処理して、無線信号についてのチャネルシーケンスの潜在表現であって、物理伝搬チャネルモデルのパラメータにマッピングする少なくとも１つの要素を含む、潜在表現を生成し、
潜在表現を受信デバイスに送信する、
ように構成されている、
装置。
３６．物理伝搬チャネルモデルが、マルチパス成分の和を備える、条項３５に記載の装置。
３７．マルチパス成分の各々が、遅延及び複素振幅を有する、条項３５又は３６に記載の装置。
３８．マルチパス成分の各々が、送信機（Ｔｘ）アレイ応答及び受信機（Ｒｘ）アレイ応答を有する、条項３５から３７のいずれか一項に記載の装置。
３９．少なくとも１つのプロセッサが、方位角及び天頂発射角並びに方位角及び天頂到来角それぞれの学習可能関数としてＴｘアレイ応答及びＲｘアレイ応答を表すように更に

構成されている、条項３５から３８のいずれか一項に記載の装置。
４０．少なくとも１つのプロセッサが、チャネル状態フィードバックとして潜在表現を受信デバイスに送信するように更に構成されている、条項３５から３９のいずれか一項に記載の装置。
４１．エンコーダが、ニューラルネットワークを備える、条項３５から４０のいずれか一項に記載の装置。
４２．少なくとも１つのプロセッサが、送信デバイスを介して、エンコーダ－デコーダペアのエンコーダ及び第２のデコーダのカスケードがエンコーダにおいてチャネルシーケンス入力を再構成するように、エンコーダ－デコーダペアを共同で訓練するように更に構成されている、条項３５から４１のいずれか一項に記載の装置。
４３．受信デバイスによる無線通信のための装置であって、
送信デバイスから、無線信号についてのチャネルシーケンスの潜在表現を受信する手段と、
デコーダを介して、物理伝搬チャネルモデルを潜在表現に適用して、無線信号についてのチャネルシーケンスを再構成する手段と、
を備える、装置。
４４．送信デバイスによる無線通信の方法であって、
無線信号についてのチャネルシーケンスを備える入力を受信する手段と、
エンコーダを介して、チャネルシーケンスを処理して、無線信号についてのチャネルシーケンスの潜在表現であって、物理伝搬チャネルのパラメータにマッピングする少なくとも１つの要素を含む、潜在表現を生成する手段と、
潜在表現を受信デバイスに送信する手段と、
を備える、方法。
４５．受信デバイスによる無線通信のためのプログラムコードをその上に符号化した非一時的コンピュータ可読媒体であって、プログラムコードが、プロセッサによって実行され、
送信デバイスから、無線信号についてのチャネルシーケンスの潜在表現を受信するプログラムコードと、
デコーダを介して、物理伝搬チャネルモデルを潜在表現に適用して、無線信号についてのチャネルシーケンスを再構成するプログラムコードと、
を備える、
非一時的コンピュータ可読媒体。
４６．送信デバイスによる無線通信のためのプログラムコードをその上に符号化した非一時的コンピュータ可読媒体であって、プログラムコードが、プロセッサによって実行され、
無線信号についてのチャネルシーケンスを備える入力を受信するプログラムコードと、
エンコーダを介して、チャネルシーケンスを処理して、無線信号についてのチャネルシーケンスの潜在表現であって、物理伝搬チャネルのパラメータにマッピングする少なくとも１つの要素を含む、潜在表現を生成するプログラムコードと、
潜在表現を受信デバイスに送信するプログラムコードと、
を備える、
非一時的コンピュータ可読媒体。
【０１０８】
［００１０１］　上記の開示は、例示及び説明を提供するが、網羅的であること又は開示する厳密な形態に態様を限定することを意図しない。修正及び変形が、上記の開示に照らして加えられてもよく、又は態様の実践から獲得されてもよい。
【０１０９】
［００１０２］　使用されるとき、「構成要素（ｃｏｍｐｏｎｅｎｔ）」という用語は、ハードウェア、ファームウェア、及び／又はハードウェアとソフトウェアの組み合わせとして広く解釈されるものとする。使用されるとき、プロセッサは、ハードウェア、ファームウェ

ア、及び／又はハードウェアとソフトウェアの組み合わせで実装される。

【０１１０】

［００１０３］　いくつかの態様が、閾値に関して説明される。使用されるとき、閾値を満たすことは、文脈に応じて、値が閾値よりも大きいこと、閾値以上であること、閾値未満であること、閾値以下であること、閾値に等しいこと、閾値に等しくないことなどを指すことがある。

【０１１１】

［００１０４］　説明するシステム及び／又は方法は、異なる形態のハードウェア、ファームウェア、及び／又はハードウェアとソフトウェアの組み合わせで実装することができることは明らかであろう。これらのシステム及び／又は方法を実装するのに使用される実際の専用の制御ハードウェア又はソフトウェアコードは、態様を限定するものではない。したがって、システム及び／又は方法の動作及び挙動について、特定のソフトウェアコードを参照することなく説明した。ソフトウェア及びハードウェアは、説明に少なくとも部分的に基づいてシステム及び／又は方法を実装するように設計することができることを理解されたい。

【０１１２】

［００１０５］　特徴の特定の組み合わせが特許請求の範囲において列挙され、かつ／又は本明細書で開示されても、それらの組み合わせは、様々な態様の開示を限定するものではない。実際には、これらの特徴の多くが、具体的に特許請求の範囲において列挙されない、かつ／又は本明細書で開示されない方法で組み合わせられてもよい。以下に列挙する各従属請求項は、ただ１つの請求項に直接従属する場合があるが、様々な態様の開示は、請求項のセットの中のあらゆる他の請求項と組み合わせた各従属請求項を含む。項目の列挙「のうちの少なくとも１つ」を指す句は、単一の要素を含む、それらの項目の任意の組み合わせを指す。例として、「ａ、ｂ、又はｃのうちの少なくとも１つ」は、ａ、ｂ、ｃ、ａ－ｂ、ａ－ｃ、ｂ－ｃ、及びａ－ｂ－ｃ、並びに複数の同じ要素を有する任意の組み合わせ（例えば、ａ－ａ、ａ－ａ－ａ、ａ－ａ－ｂ、ａ－ａ－ｃ、ａ－ｂ－ｂ、ａ－ｃ－ｃ、ｂ－ｂ、ｂ－ｂ－ｂ、ｂ－ｂ－ｃ、ｃ－ｃ、及びｃ－ｃ－ｃ、又はａ、ｂ、及びｃの任意の他の順序）を包含するものとする。

【０１１３】

［００１０６］　使用する要素、行為、又は命令はいずれも、そのように明示的に説明されない限り、重要又は必須として解釈されるべきでない。また、使用されるとき、冠詞「ａ」及び「ａｎ」は、１つ以上の項目を含むものであり、「１つ以上」と互換的に使用されてもよい。更に、使用されるとき、「セット」及び「グループ」という用語は、１つ以上の項目（例えば、関連する項目、関連しない項目、関連する項目と関連しない項目の組み合わせなど）を含むものとし、「１つ以上」と互換的に使用されてもよい。ただ１つの項目が意図される場合、「ただ１つの」という句又は類似の言葉が使用される。また、使用されるとき、「有する（ｈａｓ）」、「有する（ｈａｖｅ）」、「有すること（ｈａｖｉｎｇ）」などの用語は、制限のない用語であるものとする。更に、「に基づいて」という句は、別段に明記されていない限り、「に少なくとも部分的に基づいて」を意味するものとする。

【図面】

【図１】

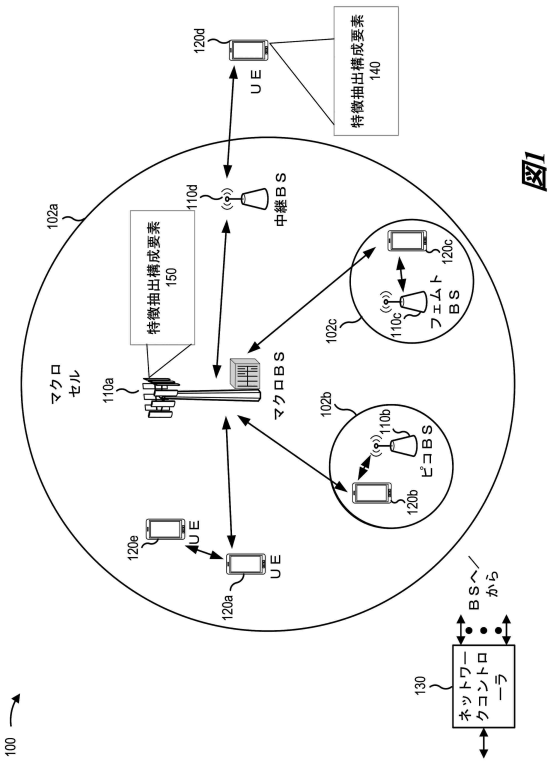


図1

【図２】

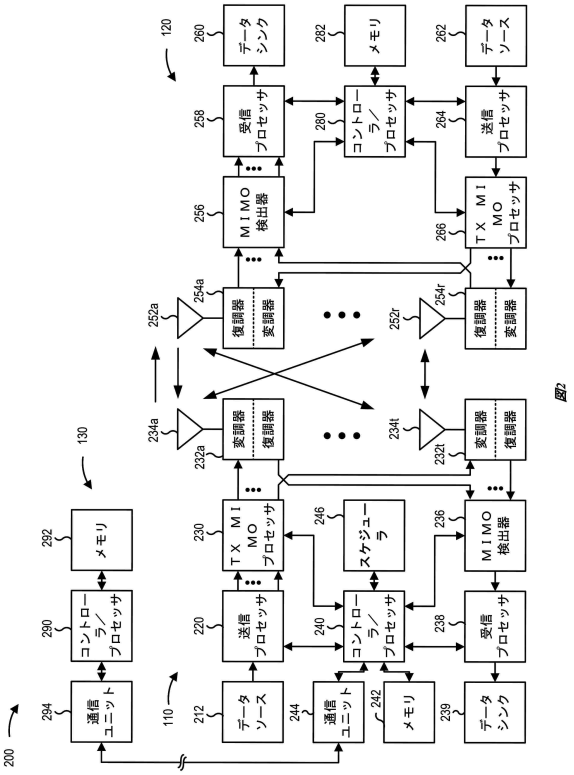


図2

【図３】

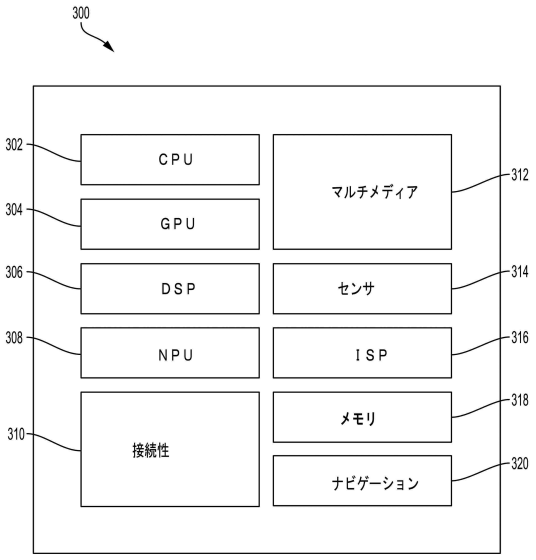


図3

【図４Ａ】

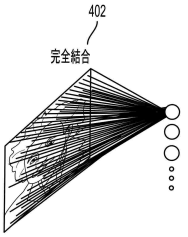


図4A

【図４Ｂ】

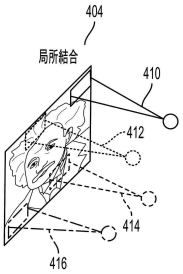


図4B

【図４Ｃ】

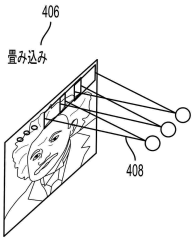


図4C

【図４Ｄ】

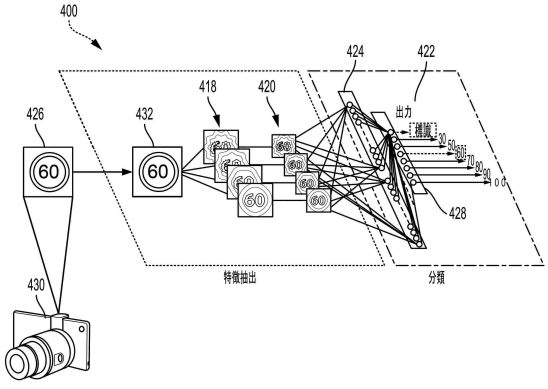


図4D

【図５】

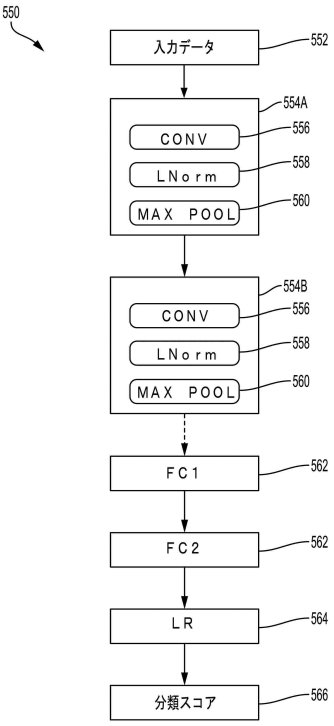


図5

【図６】

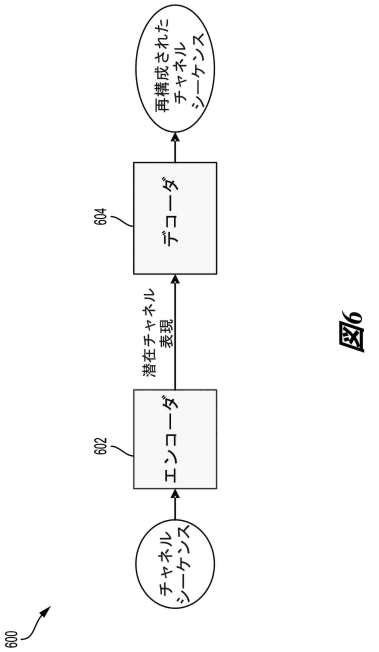


図6

【図７】

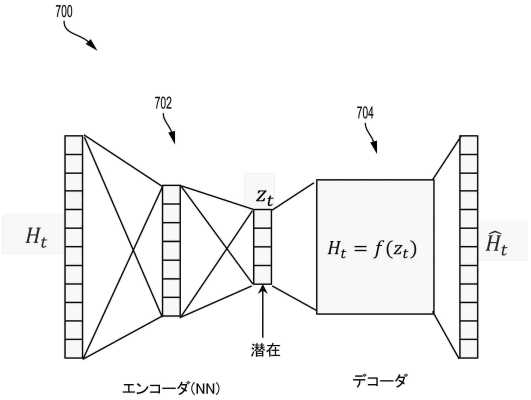


図7

【図８】

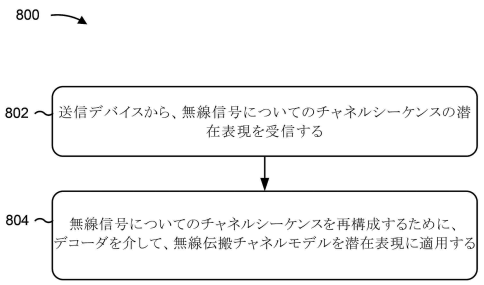


図8

【図９】

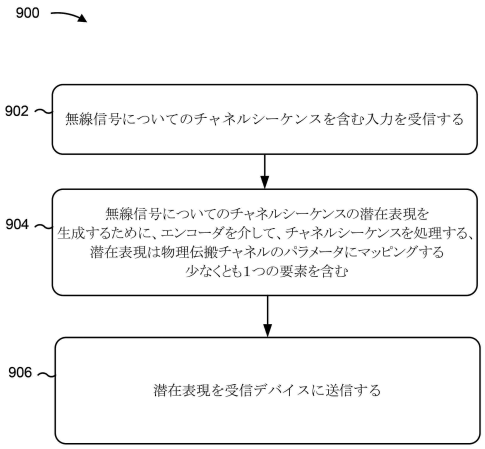


図9

【国際調査報告】

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/US2022/033405

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
INV. H04L25/02
ADD.

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
H04L

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)
EPO-Internal

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	LIU ZHENYU ET AL: "Overcoming the Channel Estimation Barrier in Massive MIMO Communication via Deep Learning", IEEE WIRELESS COMMUNICATIONS, COORDINATED SCIENCE LABORATORY; DEPT. ELECTRICAL AND COMPUTER ENGINEERING; UNIVERSITY OF ILLINOIS AT URBANA-CHAMPAIGN, US, vol. 27, no. 5, 1 October 2020 (2020-10-01), pages 104-111, XP011817282, ISSN: 1536-1284, DOI: 10.1109/MWC.001.1900413 [retrieved on 2020-10-27] page 106, right-hand column - page 109, left-hand column figures 3a, 3c ----- -/--	1-46

[X] Further documents are listed in the continuation of Box C. [ ] See patent family annex.

* Special categories of cited documents :

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date
"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
"X" document of particular relevance;; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
"Y" document of particular relevance;; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search	Date of mailing of the international search report
20 September 2022	17/10/2022

Name and mailing address of the ISA/	Authorized officer
European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016	Marzenke, Marco

Form PCT/ISA/210 (second sheet) (April 2005)

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/US2022/033405

C(Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	MAHDI BOLOURSAZ MASHHADI ET AL: "Deep Learning for Massive MIMO Channel State Acquisition and Feedback", ARXIV.ORG, CORNELL UNIVERSITY LIBRARY, 201 OLIN LIBRARY CORNELL UNIVERSITY ITHACA, NY 14853, 17 February 2020 (2020-02-17), XP081601286, page 4	1-46
A	ZOU CONG ET AL: "Channel Autoencoder for Wireless Communication: State of the Art, Challenges, and Trends", IEEE COMMUNICATIONS MAGAZINE, IEEE SERVICE CENTER, PISCATAWAY, US, vol. 59, no. 5, 3 June 2021 (2021-06-03), pages 136-142, XP011858778, ISSN: 0163-6804, DOI: 10.1109/MCOM.001.2000804 [retrieved on 2021-06-03] page 136, right-hand column - page 138 figure 1	1-46
A	GUNDUZ DENIZ ET AL: "Machine Learning in the Air", IEEE JOURNAL ON SELECTED AREAS IN COMMUNICATIONS, IEEE SERVICE CENTER, PISCATAWAY, US, vol. 37, no. 10, 1 October 2019 (2019-10-01), pages 2184-2199, XP011745736, ISSN: 0733-8716, DOI: 10.1109/JSAC.2019.2933969 [retrieved on 2019-09-13] page 2188, right-hand column - page 2190	1-46

Form PCT/ISA/210 (continuation of second sheet) (April 2005)

フロントページの続き

MK,MT,NL,NO,PL,PT,RO,RS,SE,SI,SK,SM,TR),OA(BF,BJ,CF,CG,CI,CM,GA,GN,GQ,GW,KM,ML,MR,NE,SN,TD,TG),AE,AG,AL,AM,AO,AT,AU,AZ,BA,BB,BG,BH,BN,BR,BW,BY,BZ,CA,CH,CL,CN,CO,CR,CU,CZ,DE,DJ,DK,DM,DO,DZ,EC,EE,EG,ES,FI,GB,GD,GE,GH,GM,GT,HN,HR,HU,ID,IL,IN,IQ,IR,IS,IT,JM,JO,JP,KE,KG,KH,KN,KP,KR,KW,KZ,LA,LC,LK,LR,LS,LU,LY,MA,MD,ME,MG,MK,MN,MW,MX,MY,MZ,NA,NG,NI,NO,NZ,OM,PA,PE,PG,PH,PL,PT,QA,RO,RS,RU,RW,SA,SC,SD,SE,SG,SK,SL,ST,SV,SY,TH,TJ,TM,TN,TR,TT,TZ,UA,UG,US,UZ,VC,VN,WS,ZA,ZM,ZW

２１２１－１７１４、サン・ディエゴ、モアハウス・ドライブ ５７７５

(72)発明者 ビッサラデブニ、パバン・クマー

アメリカ合衆国、カリフォルニア州 ９２１２１－１７１４、サン・ディエゴ、モアハウス・ドライブ ５７７５

(72)発明者 ナムグン、ジュン

アメリカ合衆国、カリフォルニア州 ９２１２１－１７１４、サン・ディエゴ、モアハウス・ドライブ ５７７５

(72)発明者 イェッラマッリ、スリニバス

アメリカ合衆国、カリフォルニア州 ９２１２１－１７１４、サン・ディエゴ、モアハウス・ドライブ ５７７５

(72)発明者 ペゼシュキ、ハメド

アメリカ合衆国、カリフォルニア州 ９２１２１－１７１４、サン・ディエゴ、モアハウス・ドライブ ５７７５

Ｆターム（参考） 5K067 EE02 LL11