

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号  
特許第7385568号  
(P7385568)

(45)発行日 令和5年11月22日(2023.11.22)

(24)登録日 令和5年11月14日(2023.11.14)

(51)国際特許分類

F I

H 0 4 B 1/7183(2011.01)

H 0 4 B 1/7183

請求項の数 50 (全46頁)

(21)出願番号	特願2020-530979(P2020-530979)	(73)特許権者	518276357
(86)(22)出願日	平成30年12月7日(2018.12.7)		デカウェーブ リミテッド
(65)公表番号	特表2021-506167(P2021-506167 A)		アイルランド国 8 ダブリン ピーター ストリート アデレイド チャンバース
(43)公表日	令和3年2月18日(2021.2.18)	(74)代理人	100141173
(86)国際出願番号	PCT/EP2018/084058		弁理士 西村 啓一
(87)国際公開番号	WO2019/110833	(72)発明者	マクラフリン マイケル
(87)国際公開日	令和1年6月13日(2019.6.13)		アイルランド国 1 8 ダブリン フォック クスロック ビーチ パーク ロード 3 0
審査請求日	令和3年12月6日(2021.12.6)	(72)発明者	ニェフチャス ヤロスロー
(31)優先権主張番号	1720550.1		ポーランド国 0 5 - 4 2 0 ユジェフフ オグロドバ 2 5 ビー
(32)優先日	平成29年12月8日(2017.12.8)	(72)発明者	ニェフチャス ヤロスロー
(33)優先権主張国・地域又は機関	英国(GB)	審査官	大野 友輝
(31)優先権主張番号	1804735.7		
(32)優先日	平成30年3月23日(2018.3.23)		
最終頁に続く		最終頁に続く	

(54)【発明の名称】 同時フレームとのレンジング

(57)【特許請求の範囲】

【請求項 1】

複数のトランシーバを有する第 1 ノードから第 2 ノードに信号を送信する方法であって、  
前記第 1 ノードにおいて前記第 2 ノードからメッセージを受信する工程であって、前記  
メッセージは前記第 1 ノードの複数の前記トランシーバのそれぞれにより受信される工程  
と、

前記メッセージに応じて、複数の前記トランシーバのそれぞれにより、各データフレー  
ムを前記第 2 ノードに送信する工程と、  
を含み、

前記トランシーバのそれぞれは、前記トランシーバによるメッセージの受信後、所定期  
間、それぞれの前記データフレームの送信を開始し、

前記各データフレームは、第 1 トレーニングシーケンスと、第 2 トレーニングシーケンス  
と、を含み、前記各データフレームごとに、

前記第 1 トレーニングシーケンスは、前記各データフレームの開始に位置し、前記各ト  
ランシーバによる前記メッセージの受信後に第 1 期間を開始するように構成され、

前記第 1 期間は、他のデータフレームのそれぞれの前記第 1 期間とは異なり、

前記第 2 トレーニングシーケンスは、暗号的に生成されたトレーニングシーケンスを含  
み、前記各トランシーバによる前記メッセージの受信後に第 2 期間を開始するように構成  
され、

前記第 2 期間は、前記データフレームのそれぞれについて同じである、

10

20

ことを特徴とする方法。

【請求項 2】

前記データフレームの前記所定期間は、前記データフレームのそれぞれの送信持続時間よりも短く、互いに異なる、  
請求項 1 記載の方法。

【請求項 3】

前記第 1 トレーニングシーケンスは、  
シンボルレートで複数のシンボル、  
を含み、

前記各第 1 トレーニングシーケンスの開始は、所与のトレーニングシーケンスの開始時間  
間  
が他のフレームの第 1 トレーニングシーケンスのいずれかのシンボル境界と一致しない  
ように、および / または前記各第 1 トレーニングシーケンスのシンボル境界が整列されな  
いように選択される、

請求項 1 または 2 記載の方法。

【請求項 4】

前記各第 1 トレーニングシーケンスに先行する遅延期間は、前記第 1 トレーニングシー  
ケンスおよび / または前記第 2 トレーニングシーケンスのシンボル期間の非整数倍である、  
請求項 1 乃至 3 のいずれかに記載の方法。

【請求項 5】

前記第 1 トレーニングシーケンスは、  
完全な周期的自己相関を有するシーケンス、好ましくは、I p a t o v シーケンス、  
を含む、  
請求項 1 乃至 4 のいずれかに記載の方法。

【請求項 6】

前記第 2 トレーニングシーケンスが前記各トランシーバによる前記メッセージの受信後  
に共通の時間オフセットで開始するように、前記第 2 トレーニングシーケンスに先行する  
前記データフレームの 1 つまたは複数の部分の長さを変更する工程を含む、  
請求項 1 乃至 5 のいずれかに記載の方法。

【請求項 7】

前記データフレームの異なるものの間で、前記第 1 トレーニングシーケンスと、前記フ  
レームのデータペイロードと、前記第 2 トレーニングシーケンスの前に挿入された送信ギ  
ャップとのうち 1 つまたは複数の長さを変更する工程を含む、  
請求項 6 記載の方法。

【請求項 8】

前記各データフレームの 1 つまたは複数の部分の長さは、前記各データフレームの開始  
前に挿入された送信遅延を補償するために変更される、  
請求項 6 または 7 記載の方法。

【請求項 9】

前記データフレームのそれぞれの前記第 2 トレーニングシーケンスが前記各トランシー  
バにおける前記メッセージの受信に対して同時オフセットで生じるようにサイズ設定され  
た各送信ギャップは、前記各第 2 トレーニングシーケンスに先行する、  
請求項 1 乃至 8 のいずれかに記載の方法。

【請求項 10】

前記第 2 トレーニングシーケンスに先行する前記フレームの一部において、好ましくは  
、物理レイヤヘッダと前記フレームのペイロードとのうち一方または両方において、前記  
送信ギャップサイズをシグナリングする工程を含む、  
請求項 9 記載の方法。

【請求項 11】

前記データフレームの所定の 1 つに対して、前記物理レイヤヘッダ内に暗号化されてい  
ない形式で、かつ前記ペイロード内に再び暗号化された形式でそれぞれの送信ギャップを

10

20

30

40

50

特定する情報を含む、  
請求項 10 記載の方法。

【請求項 12】

前記第 2 トレーニングシーケンスは、前記各データフレームの終わりに位置する、  
請求項 1 乃至 11 のいずれかに記載の方法。

【請求項 13】

前記各データフレームは、それぞれ異なる前記第 2 トレーニングシーケンスを含む、  
請求項 1 乃至 12 のいずれかに記載の方法。

【請求項 14】

前記第 2 トレーニングシーケンスは、前記各データフレームについて同じである、  
請求項 1 乃至 12 のいずれかに記載の方法。

10

【請求項 15】

前記各データフレームは、  
第 3 トレーニングシーケンス、好ましくは、暗号的に生成されたトレーニングシーケンス、  
を含む、  
請求項 1 乃至 14 のいずれかに記載の方法。

【請求項 16】

前記第 3 トレーニングシーケンスは、前記各データフレームについて同じである、  
請求項 15 記載の方法。

20

【請求項 17】

前記第 3 トレーニングシーケンスは、前記第 2 トレーニングシーケンスとは異なる、  
請求項 15 または 16 記載の方法。

【請求項 18】

前記各第 2 トレーニングシーケンスは、前記各トランシーバによる前記メッセージの受信後に共通の開始時間で開始するように構成され、  
前記各第 3 トレーニングシーケンスは、任意選択で可変送信ギャップが先行することにより、前記各トランシーバによる前記メッセージの受信後にそれぞれの異なる開始時間で開始するように構成される、  
請求項 15 乃至 17 のいずれかに記載の方法。

30

【請求項 19】

前記各データフレームは、  
前記第 2 トレーニングシーケンスと前記第 3 トレーニングシーケンスとの前、前記第 2 トレーニングシーケンスと前記第 3 トレーニングシーケンスとの間、または前記第 2 トレーニングシーケンスと前記第 3 トレーニングシーケンスとの後に位置するそれぞれの前記ペイロード、  
を含む、  
請求項 7、10 または 11 のいずれかに記載の方法。

【請求項 20】

前記各データフレームは、  
第 1 整列 I p a t o v トレーニングシーケンスと、  
第 2 整列暗号トレーニングシーケンスと、  
第 3 非整列暗号トレーニングシーケンスと、  
を含む、  
請求項 15 乃至 19 のいずれかに記載の方法。

40

【請求項 21】

前記各トランシーバの送信タイミングは、前記各トランシーバのクロックに基づき、  
前記方法は、  
1 つまたは複数の前記クロックのクロック周波数を調整して、前記各トランシーバのキャリア周波数オフセット (C F O) を調整する工程、

50

を含む、

請求項 1 乃至 20 のいずれかに記載の方法。

【請求項 22】

前記クロック周波数は、前記第 2 ノードから受信された以前の送信の検出された C F O に基づいて調整される、

請求項 21 記載の方法。

【請求項 23】

前記トランシーバのクロック周波数を調整して、前記受信された送信の C F O に対して各トランシーバの共通 C F O を設定する工程を含む、

請求項 22 記載の方法。

10

【請求項 24】

前記受信された送信の C F O に関して各トランシーバについて異なる相対 C F O オフセットを設定することを含む、

請求項 22 または 23 記載の方法。

【請求項 25】

前記第 2 ノードからの初期メッセージに基づいて第 1 クロック調整を実行する工程と、前記第 2 ノードからの後続のメッセージに基づいて前記クロック調整を精緻化する工程とを含む、

請求項 21 乃至 24 のいずれかに記載の方法。

【請求項 26】

20

前記各トランシーバは、クロック信号の周期に基づいて離散時間増分で送信を開始するように構成され、

前記方法は、

送信開始時間の前に前記クロック信号のクロック周波数を調整することにより、前記離散時間増分に対して前記トランシーバの送信開始時間を調整する工程、を含む、

請求項 1 乃至 25 のいずれかに記載の方法。

【請求項 27】

好ましくは、決定された持続時間の間、前記クロック周波数を増加または減少させて、フレーム送信の開始を、調整前に、前記クロックにより定義された離散時間増分に対して、より早い時間またはより遅い時間に調整する工程を含む、

30

請求項 26 記載の方法。

【請求項 28】

1 つまたは複数の前記データフレームの一部の送信をミュートする工程を含む、

請求項 1 乃至 27 のいずれかに記載の方法。

【請求項 29】

前記ミュートされた部分は、

前記第 1 トレーニングシーケンスと、フレーム開始デリミタと、物理レイヤヘッダと、データペイロードとのうち 1 つまたは複数、

を備える、

40

請求項 28 記載の方法。

【請求項 30】

前記データフレームのうち少なくとも 1 つがミュートされていない形態の部分を含むように、前記データフレームの全てではないが、前記データフレームのうち 1 つまたは複数についてミュートを実行する工程を含む、

請求項 28 または 29 記載の方法。

【請求項 31】

前記第 2 トレーニングシーケンスおよび / または前記第 3 トレーニングシーケンスは、前記データフレームのいずれについても前記ミュートされた部分に含まれない、

請求項 15 乃至 19 のいずれかに記載の方法。

50

**【請求項 3 2】**

前記第 2 ノードからのメッセージと、  
前記トランシーバの送信強度、または、前記トランシーバと前記第 2 ノードとの間のチャネル品質と、

のうち 1 つまたは複数に基づいて、前記データフレームの前記部分がミュートされるべき 1 つまたは複数の前記トランシーバを選択する工程を含む、

請求項 3 1 記載の方法。

**【請求項 3 3】**

前記第 1 トレーニングシーケンスがミュートされていないデータパケットの送信のため、比較的大きい送信強度またはより良好なチャネル品質を有する 1 つまたは複数の前記トランシーバを選択する工程を含む、

請求項 3 2 記載の方法。

**【請求項 3 4】**

前記データフレームの一部の送信をミュートする工程は、  
送信電力を低減する工程、または、前記データフレームの前記一部の送信を無効化する工程、

を含む、

請求項 2 8 乃至 3 3 のいずれかに記載の方法。

**【請求項 3 5】**

1 つまたは複数の前記データフレームの全体の送信をミュートする工程を含み、  
好ましくは、前記トランシーバのうち 1 つまたは複数の予め選択された前記トランシーバ用のデータフレームのみが送信される、

請求項 2 8 乃至 3 4 のいずれかに記載の方法。

**【請求項 3 6】**

好ましくは、閾値信号強度を超える信号の検出された第 1 パスの信号強度を検出することに応じて、前記第 2 ノードから以前に受信された信号の信号強度に基づいて、1 つまたは複数の前記データフレームのための送信電力を低減する工程を含む、

請求項 1 乃至 3 5 のいずれかに記載の方法。

**【請求項 3 7】**

前記第 2 トレーニングシーケンスの後に、前記データフレームの追加のデータが続き、  
前記方法は、好ましくは、

1 つまたは複数の前記データフレームのための前記第 2 トレーニングシーケンスの送信後に、送信電力を低減する工程、または送信を無効化にする工程と、  
を含む、

請求項 1 乃至 3 6 のいずれかに記載の方法。

**【請求項 3 8】**

前記データフレームは、前記第 2 ノードと前記第 1 ノードとの間のレンジング交換の一部として送信される、

請求項 1 乃至 3 7 のいずれかに記載の方法。

**【請求項 3 9】**

前記データフレームは、前記第 2 ノードから前記第 1 ノードに送信された前記レンジング交換の初期メッセージに応じて送信される、

請求項 3 8 記載の方法。

**【請求項 4 0】**

前記第 2 ノードにおいて前記送信されたデータフレームに対応する信号を受信する工程を含む、

請求項 1 乃至 3 9 のいずれかに記載の方法。

**【請求項 4 1】**

前記第 2 ノードにおいて前記各データフレームのうちの特定の 1 つを識別する工程と、  
前記識別されたフレームのデータを取得する工程とを含む、

10

20

30

40

50

請求項 4 0 記載の方法。

【請求項 4 2】

前記第 1 トレーニングシーケンスを使用して前記データフレームを検出する工程と、前記第 1 トレーニングシーケンスの検出に基づいて前記データフレームの取得を開始する工程とを含む、

請求項 4 1 記載の方法。

【請求項 4 3】

前記第 1 トレーニングシーケンス、前記第 2 トレーニングシーケンス、および / または前記第 3 トレーニングシーケンスのうち 1 つまたは複数の受信時間から導出された複数の距離測定値に基づいて、前記第 1 ノードの位置を測定する工程を含む、

請求項 4 0 乃至 4 2 のいずれかに記載の方法。

【請求項 4 4】

前記データフレームのミュートされた部分が受信されている間、および / または前記第 2 トレーニングシーケンスの受信後に、前記第 2 ノードで受信機を無効化する工程を含む、

請求項 1 乃至 4 3 のいずれかに記載の方法。

【請求項 4 5】

前記ノード間の通信は、無線通信プロトコルに基づく無線であり、好ましくは、超広帯域 (UWB) 無線通信システムに基づく無線通信プロトコルである、

請求項 1 乃至 4 4 のいずれかに記載の方法。

【請求項 4 6】

前記第 1 ノードは、車両を構成し、

前記第 2 ノードは、車両用無線キー FOB 等の遠隔操作デバイスを構成する、

請求項 1 乃至 4 5 のいずれかに記載の方法。

【請求項 4 7】

前記フレームは、前記車両の自動運転を制御するための制御メッセージ交換の一部として交換される、

請求項 4 6 記載の方法。

【請求項 4 8】

請求項 1 乃至 4 7 のいずれかに記載の方法を実行するための手段を有することを特徴とするデバイスまたはシステム。

【請求項 4 9】

複数のトランシーバを備えるデバイスまたはシステムであって、

前記各トランシーバは、遠隔デバイスからメッセージを受信し、前記メッセージに応じてそれぞれのデータフレームを前記遠隔デバイスに送信するように構成され、

前記各トランシーバは、前記トランシーバによる前記メッセージの受信後、所定期間、そのそれぞれの各データフレームの送信を開始するように構成され、

前記各データフレームは、第 1 トレーニングシーケンスと第 2 トレーニングシーケンスとを含み、前記各データフレームごとに、

前記第 1 トレーニングシーケンスは、前記各データフレームの開始に位置し、前記各トランシーバによる前記メッセージの受信後に第 1 期間を開始するように構成され、

前記第 1 期間は、他のデータフレームのそれぞれの前記第 1 期間とは異なり、

前記第 2 トレーニングシーケンスは、暗号的に生成されたトレーニングシーケンスを含み、前記各トランシーバによる前記メッセージの受信後に第 2 期間を開始するように構成され、

前記第 2 期間は、前記データフレームのそれぞれについて同じである、ことを特徴とするデバイスまたはシステム。

【請求項 5 0】

請求項 1 乃至 4 7 のいずれかに記載の方法を実行するかまたはそれに参加するように構成される、

10

20

30

40

50

ことを特徴とする請求項４９記載のデバイスまたはシステム。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【０００１】

本発明は、デバイスのうち少なくとも１つが複数のトランシーバを含む場合における、デバイス間の通信のためのシステムと方法とに関する。具体的には、当該デバイス間のレンジング（*ranging*）交換に関する。

【背景技術】

【０００２】

デバイス（特に車両などのより大きなデバイス）上に複数の送信機を設けることにより、他の遠隔デバイス（例えば、車両の無線キー FOB）で送信が確実に受信される可能性が向上できる。このような送信は、例えば、レンジング（測距）または遠隔操作（例えば、ドアの施錠／解錠、自動駐車機能など）に使用され得る。しかし、送信機のいずれかからの通信の接続待ちをする遠隔デバイスに対するニーズは遠隔デバイスにおける電力要件を増加させ、これは典型的には限られたバッテリー容量および／または長いバッテリー寿命要件を有する多くの小型デバイス（例えば、キー FOB）にとって問題である。

【発明の概要】

【０００３】

本発明の実施形態はそのような問題を改善し、マルチ送信器デバイスのための改善された通信方式を提供する。

【０００４】

したがって、本発明の第１態様では複数のトランシーバを有する第１ノードから第２ノードに信号を送信する方法であって、第１ノードにおいて第２ノードからメッセージを受信する工程であって、メッセージは第１ノードの複数のトランシーバのそれぞれにより受信される工程と、メッセージに応じて、複数のトランシーバのそれぞれにより、それぞれのデータフレームを第２ノードに送信する工程と、を含み、各トランシーバはトランシーバによるメッセージの受信後、所定の期間、それぞれのデータフレームの送信を開始し、複数のトランシーバからのデータフレームの送信は重複する、方法が提供される。

【０００５】

所定の期間は、送信されたデータフレームのそれぞれについて同じでもよい。

【０００６】

また、所定の期間は、送信されたデータフレームのそれぞれについて異なってもよい。好ましくは、データフレームのための所定の期間は、データフレームのそれぞれの送信持続時間よりも短く、互いに異なる。好ましくは、所定の期間のそれぞれは、データフレームの送信時間よりも短い。

【０００７】

好ましくは、各データフレームはトレーニングシーケンスを含み、トレーニングシーケンスは各トランシーバによるメッセージの受信後に共通の時間遅延（すなわち、トレーニングシーケンスの開始までの時間遅延は各データフレームについて同じでもよい）でトランシーバにより送信されるように構成される。このトレーニングシーケンスは、データフレームの第２トレーニングシーケンスでもよく、別の第１トレーニングシーケンスよりもフレーム内で後に現れてもよい。

【０００８】

好ましくは、各データフレームは、第１トレーニングシーケンスと第２トレーニングシーケンスとを含む。好ましくは、各データフレームごとに、第１トレーニングシーケンスは各トランシーバによるメッセージの受信後に第１期間を開始するように構成され、第１期間は任意選択で、他のデータフレームのそれぞれの第１期間とは異なる。第２トレーニングシーケンスは各データフレームごとに、各トランシーバによるメッセージの受信後に第２期間を開始するように構成されてもよく、第２期間は任意選択で、データフレームのそれぞれについて同じである。代替的に、第１期間と第２期間との両方が各データフ

10

20

30

40

50

ムについて同じでもよく、そのような実施形態では、フレームが完全に整列されてもよい（各フレームセクションがデータフレームの各バージョンにおけるメッセージの受信後に同じ持続時間を開始する）。このような例では、第2ノードと各トランシーバとの間の異なる伝搬時間による小さな相対オフセットを除いて、フレームは、完全に並列に（整列して）送信される。

【0009】

本発明のさらなる態様では、複数のトランシーバを備える第1ノードから第2ノードに信号を送信する方法が提供され、この方法は第1ノードの複数のトランシーバのそれぞれから第2ノードに各データフレームを送信する工程を含み、各データフレームを送信する工程はデータフレームの送信が重複するように送信開始時間に対して開始され、各データフレームは第1トレーニングシーケンスと第2トレーニングシーケンスとを含み、各データフレームごとに、第1トレーニングシーケンスは他のデータフレームの対応する第1トレーニングシーケンスと比較して、送信開始時間に対して異なる時間で開始するように構成され、第2トレーニングシーケンスは他のデータフレームの対応する第2トレーニングシーケンスと比較して、送信開始時間に対して同時に開始するように構成される。

10

【0010】

この方法は、第2ノードからメッセージを受信する工程を含み、データフレームはメッセージに応じて送信される。各データフレームの送信開始時間は、各トランシーバによるメッセージの受信後の所定の遅延期間として判定されてもよい。

【0011】

20

以下の任意選択的な特徴は、前述の態様のいずれかに適用されてもよい。

【0012】

好ましくは、第1トレーニングは各データフレームの開始に位置し、任意選択、メッセージの受信に対する第1トレーニングシーケンスの開始時間を決定する可変遅延期間が先行する。

【0013】

第1トレーニングシーケンスは、好ましくは、シンボルレートで複数のシンボルを含み、各第1トレーニングシーケンスごとの開始は所与のトレーニングシーケンスの開始時間が他のフレームの第1トレーニングシーケンスのいずれかのシンボル境界と一致しないように、および/または、各第1トレーニングシーケンスのシンボル境界が整列しないように選択される。各第1トレーニングシーケンスに先行する遅延期間は、第1トレーニングシーケンスおよび/または第2トレーニングシーケンスのシンボル期間の非整数倍でもよい。

30

【0014】

好ましくは、第1トレーニングシーケンスは、所定のコードシーケンス（任意選択で、周期的に反復するコードに基づく）を含む。第1トレーニングシーケンスは、完全な周期的自己相関を有するシーケンスでもよく、好ましくはI p a t o vシーケンスでもよい。第2トレーニングシーケンスは、好ましくは暗号的に生成されたトレーニングシーケンスを含む。

【0015】

40

この方法は、第2トレーニングシーケンスがそれぞれのトランシーバによるメッセージの受信後に共通の時間オフセットで開始するように、第2トレーニングシーケンスに先行するデータフレームの1つまたは複数の部分の長さを変更する工程を含んでもよい。この方法は、データフレームの異なるものの間で、第1トレーニングシーケンスと、フレームのデータペイロードと、第2トレーニングシーケンスの前に挿入された送信ギャップと、のうち1つまたは複数の長さを変更する工程を含んでもよい。各データフレームの1つまたは複数の部分の長さは、各データフレームの開始前に挿入された送信遅延を補償する（好ましくは実質的に正確にバランスを取る）ために変更されることが好ましい。好ましくは、これは、第1トレーニングシーケンスの前に挿入された遅延を含む、第2トレーニングシーケンスまでの（しかしそれを含まない）データフレームの全長が全てのデータフレ

50



ームについて同じであるように行われる。

【 0 0 1 6 】

あるアプローチでは、各第2トレーニングシーケンスに先行して、各データフレームの第2トレーニングシーケンスが各トランシーバでのメッセージの受信に対して同一のオフセットで生じるようにサイズ設定された各送信ギャップが設けられてもよい。第2トレーニングシーケンスの前に挿入された送信ギャップと、第1トレーニングシーケンスに先行して挿入された任意の遅延期間との合計は、好ましくは、全てのデータフレームについて実質的に一定である。この方法は、第2トレーニングシーケンスに先行するフレームの一部において、好ましくは物理レイヤヘッダおよびフレームのペイロードの一方または両方において、送信ギャップサイズをシグナリングする工程を含んでもよい。この方法は、データフレームの所定の1つに対して、物理レイヤヘッダ内の暗号化されていない形式の、また、ペイロード内の暗号化された形式の各送信ギャップを特定する情報を含んでもよい。

10

【 0 0 1 7 】

あるアプローチでは、各第2トレーニングシーケンスに先行して、各データフレームの第2トレーニングシーケンスが各トランシーバでのメッセージの受信に対して異なる時間オフセットで発生するようにサイズ設定された各送信ギャップが設けられてもよい。

【 0 0 1 8 】

第2トレーニングシーケンスは、各データフレームの終わりに、および/またはデータフレームのペイロードの後に位置してもよい。各データフレームは、それぞれ異なる第2トレーニングシーケンスを含んでもよく、または、第2トレーニングシーケンスが各データフレームについて同じ（すなわち、同じビットシーケンス）でもよい。

20

【 0 0 1 9 】

任意選択で、各データフレームは、第3トレーニングシーケンス、好ましくは、暗号的に生成されたトレーニングシーケンスをさらに含んでもよい。第3トレーニングシーケンスは、各データフレームに対して同じであることが好ましい。第3トレーニングシーケンスは、第2トレーニングシーケンスとは異なる（すなわち、異なるビットシーケンス）ことが好ましい。

【 0 0 2 0 】

あるアプローチでは、各第2トレーニングシーケンスは各データフレームの送信の開始後に（言い換えると、各トランシーバによるメッセージの受信後に）、共通の開始時間で開始するように構成されてもよく、各第3トレーニングシーケンスは各データフレームの送信の開始後に（言い換えると、各トランシーバによるメッセージの受信後に）、それぞれ異なる開始時間で開始するように構成されてもよく、任意選択で、可変送信ギャップが先行するように構成されてもよい。

30

【 0 0 2 1 】

各データフレームはそれぞれのペイロードを含んでもよく、代替のフレーム構造では、ペイロードは第2トレーニングシーケンスおよび第3トレーニングシーケンスの前、第2トレーニングシーケンスおよび第3トレーニングシーケンスの間、または第2トレーニングシーケンスおよび第3トレーニングシーケンスの後に位置してもよい。

【 0 0 2 2 】

40

一実施形態では、各データフレームは、第1整列I p a t o vトレーニングシーケンスと、第2整列暗号トレーニングシーケンスと、第3非整列暗号トレーニングシーケンスと、を含む。なお、フィールドやトレーニングシーケンスなどが時間的に整列されたものとして本明細書に記載されている場合、これは、一般的には、フレーム送信の開始から共通の時間オフセットで送信されるように、または同様に、各トランシーバにおけるオリジナルメッセージの受信から送信されるようにタイミングが合わせられることを意味し、その結果、フィールドは実質的に同時に送信されることになるが、異なるトランシーバへの異なる伝搬遅延は整列が実際には正確ではなく近似的であることを意味し得ることに留意されたい。

【 0 0 2 3 】

50

この方法は、1つまたは複数のデータフレームの一部の送信をミュートする工程を含んでもよい。ミュートされた部分は、第1トレーニングシーケンスと、フレーム開始デリミタと、物理レイヤヘッダと、データペイロードとのうち1つまたは複数を含んでもよい。ミュートする工程は、少なくとも1つのデータフレームがミュートされていない形態の部分を含むように、データフレームの全てではないが、データフレームのうち1つまたは複数について実行されてもよい。好ましくは、第2トレーニングシーケンスおよび/または第3トレーニングシーケンスがデータフレームのいずれについてもミュートされた部分に含まれない。

【0024】

この方法は、第2ノードからのメッセージと、トランシーバの送信強度またはトランシーバと第2ノードとの間のチャネル品質と、のうち1つまたは複数に基づいて、データフレームの部分がミュートされるべき1つまたは複数のトランシーバを選択する工程を含んでもよい。比較的高い送信強度またはより良好なチャネル品質を有する1つまたは複数のトランシーバは、第1トレーニングシーケンスがミュートされていないデータパケットの送信用に選択されてもよい。選択工程は、フレームが送信されていることに応じて、第2ノードからトランシーバへの前述のメッセージに基づいて行われてもよい（これは、チャネルが一般的に、両方向において非常に類似していると予想され得るためである）。また、最良のチャネルを有するトランシーバは、他の送信プロトコル（利用可能であれば、L F、U H F、B l u e t o o t h（登録商標））に基づいて、または以前の交換に基づいて（好ましくは、それらがごく最近発生した場合）選択されてもよい。

【0025】

データフレームの一部の送信をミュートする工程は、（例えば、フレームの他の部分に対して）送信電力を低減する工程と、またはその部分の送信を無効化する工程を含んでもよい。

【0026】

この方法は、代替的にまたは追加的に、1つまたは複数のデータフレームの全体の送信をミュートする工程を含んでもよく、好ましくは、トランシーバのうち1つまたは複数の事前選択されたトランシーバのためのデータフレームのみが送信される。

【0027】

この方法は、好ましくは、閾値信号強度を超える信号の検出された第1パスの信号強度（例えば、検出された第1パスが特に強い場合）の検出に応じて、第2ノードから以前に受信された信号（例えば、メッセージ）の信号強度に基づいて、データフレームのうち1つまたは複数のための送信電力を低減する工程を含んでもよい。

【0028】

第2トレーニングシーケンスに次いで、データフレームの追加のデータが続いてもよく、この方法は、好ましくは、1つまたは複数のデータフレームのための第2トレーニングシーケンスの送信後に、送信電力を低減する工程、または送信を無効化する工程を含む。追加データは、フレームのペイロードおよび/またはフレームの物理レイヤヘッダを含んでもよい。

【0029】

好ましくは、各トランシーバの送信のタイミングはトランシーバのそれぞれのクロックに基づいており、この方法はトランシーバクロックのうち1つまたは複数のクロック周波数を調整して、各トランシーバのキャリア周波数オフセット（C F O）を調整する工程を含む。クロック周波数は、第2ノードから受信された以前の送信（例えば、メッセージ）の検出されたC F Oに基づいて調整されてもよい。この方法は、受信した送信のC F Oに対して各トランシーバの共通C F Oを設定するようにトランシーバのクロック周波数を調整する工程を含んでもよく、任意選択で、共通C F Oは、所与のC F Oオフセット（動的に計算され得る）だけ受信C F Oよりも小さいかまたは大きい。共通C F Oは、所定の目標C F Oでもよい。この方法は、代替的に、受信した送信のC F Oに関連して、各トランシーバについて異なる相対C F Oオフセットを設定する工程を含んでもよい。この方法は

10

20

30

40

50

、第2ノードからの初期メッセージに基づいて第1クロック調整を実行する工程と、第2ノードからの後続のメッセージに基づいてクロック調整を精緻化する工程とを必要とし得る。

【0030】

各トランシーバのフレームの送信開始は、CFOが共通目標CFOに調整される前に、トランシーバの初期CFOを補償するようにさらに調整されてもよい。

【0031】

各トランシーバは、クロック信号の周期（トランシーバがそれらの特定の時間増分でのみ送信を開始することを可能にする設計上の制限の結果であり得る）に基づいて、離散時間増分で送信を開始するように構成されてもよい。その場合、この方法は、送信開始時間の前にクロック信号のクロック周波数を調整することにより、離散時間増分に対するトランシーバの送信開始時間を調整する工程を含んでもよい。これは、調整前にクロックにより規定される離散時間増分に対して、フレーム送信の開始をより早い、またはより遅い時間に調整するために、好ましくは、決定された期間に亘って、クロック周波数を増減させる工程を含んでもよい。

【0032】

好ましくは、データフレームが第2ノードと第1ノード間のレンジング交換の一部として送られる。データフレームは、第2ノードから第1ノードに送られるレンジング交換の初期メッセージに応じて送られ得る。

【0033】

この方法は、第2ノードにおいて送信されたデータフレームに対応する信号を受信する工程をさらに含んでもよい。次いで、この方法は、第2ノードにおいてそれぞれのデータフレームのうちの特定の1つを識別する工程と、識別されたフレームのデータを取得する工程と、を含んでもよい。この方法は、第1トレーニングシーケンスを使用して、データフレームを検出する工程と、第1トレーニングシーケンスの検出に基づいてデータフレームの取得を開始する工程と、を含んでもよい。

【0034】

本発明のさらなる態様（前述の態様のいずれかと組み合わせてもよい）では、第1ノードと第2ノードとの間の通信の方法が提供される。この方法は、第2ノードにおいて、第1ノードにメッセージを送信する工程と、第1ノードの各トランシーバにより送信された複数の重複したデータフレームに対応する信号を受信する工程と、それぞれのデータフレームのうちの特定の1つを識別して、各データフレームに含まれる第1トレーニングシーケンスに基づいて識別されたデータフレームのデータを取得する工程と、を含み、各第1トレーニングシーケンスは好ましくは、各トランシーバにおけるメッセージの受信時間に対してそれぞれの異なる開始時間で開始し、識別されたフレームのデータを取得する工程は好ましくは、各データフレームに含まれる第2トレーニングシーケンスを検出する工程を含み、データフレームの第2トレーニングシーケンスは各トランシーバにおけるメッセージの受信時間から共通の時間オフセットで開始する。

【0035】

以下の任意選択的特徴は、前述の態様のいずれにも適用され得る。

【0036】

この方法は、第2トレーニングシーケンスの検出に基づいて、（第2ノードにおける）フレームの受信時間を決定する工程を含んでもよい。受信信号は、典型的には、トランシーバから第2ノードへの複数の信号パスに対応するデータフレームの複数の重複バージョンを含む。この方法は、信号内の第2トレーニングシーケンスの最も早い出現を検出し、最も早い出現を使用して、フレームの受信時間を判定する工程を含んでもよい。決定された受信時間は、第1ノードと第2ノードとの間の距離を計算するために使用され得る。

【0037】

この方法は、第1トレーニングシーケンスのうち1つまたは複数（好ましくはそれぞれ）のそれぞれの受信時間を決定する工程と、それぞれの受信時間に基づいてトランシーバ

10

20

30

40

50

のうちのそれぞれのトランシーバまでのそれぞれの距離を測定する工程とを含んでもよい。測定された距離は、例えば三角測量により、第1ノードの位置を計算するために使用されてもよい。この方法は、測定された距離のうち最も短い距離を判定する工程と、第2トレーニングシーケンスの受信に基づいて計算された距離と最短距離を比較する工程と、比較に基づいてフレームを処理する工程とをさらに含んでもよい。この方法は、最短距離が第2トレーニングシーケンスの受信に基づいて測定された距離と一致する場合、フレームが真正であると判断する工程、および/または一致しない場合、フレームまたはそこから測定された距離測定値を破棄する工程を含んでもよい。

【0038】

この方法は、第1トレーニングシーケンス、第2トレーニングシーケンス、および/または第3トレーニングシーケンスのうち1つまたは複数の受信時間から導出された複数の距離測定値に基づいて、第1ノードの位置を測定する工程を含んでもよい。

10

【0039】

この方法は、受信されているデータフレームのミュートされた部分の間、および/または第2トレーニングシーケンスの受信の後に、第2ノードにおける受信機を無効化する工程を含んでもよい。

【0040】

ノード間の通信は、好ましくは、無線通信プロトコルに基づく無線であり、例えば、超広帯域(UWB)無線通信システムに基づく。

【0041】

20

一実施形態では、第1ノードは車両を含んでもよく、第2ノードは車両用の無線キー FOBなどの遠隔操作デバイスを含んでもよい。フレームは、車両の自動運転を制御するための制御メッセージ交換の一部として交換されてもよい。

【0042】

さらなる態様では、前述のような、または以下により詳細に記載されるような、任意の方法を実行するための手段を有するデバイスまたはシステムを提供する。

【0043】

本発明は、複数のトランシーバを備えるデバイスまたはシステムであって、各トランシーバは遠隔デバイスからメッセージを受信し、メッセージに応じて各データフレームを遠隔デバイスに送信するように構成され、各トランシーバは複数のトランシーバからのデータフレームの送信が重複するように、トランシーバによるメッセージの受信後、所定の期間、それぞれのデータフレームの送信を開始するように構成される、デバイスまたはデバイスをさらに提供する。

30

【0044】

本発明は、遠隔デバイスと通信するためのトランシーバであって、遠隔デバイスにメッセージを送信し、遠隔デバイスのそれぞれのトランシーバによりメッセージに応じて送信された複数の重複データフレームに対応する信号を受信するように適合されたトランシーバと、各データフレームの特定の1つを識別し、各データフレームに含まれる第1トレーニングシーケンスに基づいて、識別されたデータフレームのデータを取得するための手段と、を備え、各第1トレーニングシーケンスは好ましくは、各トランシーバにおけるメッセージの受信時間に対してそれぞれの異なる開始時間で開始し、取得手段は好ましくは、データフレームのそれぞれに含まれる第2トレーニングシーケンスを検出するように構成され、データフレームの第2トレーニングシーケンスはそれぞれのトランシーバにおけるメッセージの受信時間から共通の時間オフセットで開始する、デバイスまたはシステムをさらに提供する。

40

【0045】

前述の態様のいずれかにおけるようなデバイスまたはシステムは、上記で説明されたような、または以下でより詳細に説明されるような、任意の方法を実行するか、またはそれに参加するようにさらに構成されてもよい。

【0046】

50

また、本発明は、データ処理デバイスにより実行される場合、本明細書に記載の任意の方法を実行するように適合されたソフトウェアコードを含むコンピュータ可読媒体を提供する。

【 0 0 4 7 】

本発明の一態様における任意の特徴は、任意の適切な組み合わせで、本発明の他の態様に適用されてもよい。特に、方法の態様は、デバイスまたはコンピュータプログラムの態様に適用されてもよく、その逆もまた同様である。

【 0 0 4 8 】

さらに、ハードウェアで実施される特徴は、一般的に、ソフトウェアで実施されてもよく、その逆もまた同様である。本明細書内のソフトウェアとハードウェアとの機能についての記載は、全て適宜解釈されるべきである。

【 0 0 4 9 】

本発明の好ましい特徴を、以下の添付の図面を参照しながら、例示としてのみ説明する。

【図面の簡単な説明】

【 0 0 5 0 】

【図 1】図 1 は、UWB（超広帯域）双方向レンジングプロトコルの空中フレームを示す。

【図 2】図 2 は、DecaCypherを使用する安全なUWB双方向レンジングプロトコルの空中フレームを示す。

【図 3 A】図 3 A は、複数のトランシーバを有するノードとの通信を示す。

【図 3 B】図 3 B は、記載された通信技術を利用する自動駐車シナリオを示す。

【図 4】図 4 は、複数のアンカ（カム）への双方向レンジングを示す。

【図 5】図 5 は、開示された 1 つの通信方式による準同時フレームの使用を示す。

【図 6】図 6 は、CFO = - 5 ppm の場合の典型的なキャリアループとアキュムレータとを示す。

【図 7】図 7 は、4 つの準同時フレームに対するシミュレーション結果を示す。

【図 8】図 8 は、4 つの準同時フレームの時間領域プロットを示す。

【図 9】図 9 は、同時DecaCypherを有する準同時フレームを使用する代替通信方式を示す。

【図 10】図 10 は、同時DecaCyphersを持つ 4 つの準同時フレームに対するシミュレーション結果を示す。

【図 11】図 11 は、CFOトリミング測定を示す。

【図 12】図 12 は、例えば、DW1100インプリメンテーションにおいて使用されるようなプロトコルフレームを示す。

【図 13】図 13 は、例えば、DW1100トランシーバを使用して実施されるような同時DecaCypherシーケンスを有する通信方法の変形例を示す。

【図 14】図 14 は、分離され、重畳された 4 つの準同時フレームを示す。

【図 15】図 15 は、DW1100実装における同時DecaCypherを有する 4 つの準同時フレームのシミュレーション結果を示す。

【図 16】図 16 は、二パスチャネルの性能比較を示す。

【図 17】図 17 は、減衰したNLOS条件におけるローカリゼーションを示す。

【図 18】図 18 は、LOS条件におけるローカリゼーションを示す。

【図 19】図 19 は、4 つのアンカでの徘徊テスト (walk-around test) を示す。

【図 20】図 20 は、4 つのアンカでの徘徊ローカリゼーションテストの距離測定値を示す。

【図 21】図 21 は、PRF64フレーム構造例 (216  $\mu$ s 持続時間) を示す。

【図 22】図 22 は、任意選択のフレーム部分 (177  $\mu$ s フレーム持続時間) を有するローカリゼーションでの使用のためのPRF64フレーム構造を示す。

【図 23】図 23 は、2 つの有効なIpatovプリアンプおよびペイロード (175  $\mu$ s フレーム持続時間) を有するPRF64フレーム構造を示す。

10

20

30

40

50

【図 2 4】図 2 4 は、P R F 6 4 パケット（フレーム持続時間 1 5 8  $\mu$ s）を示す。

【図 2 5】図 2 5 は、送信された同一のデータ（1 6 3  $\mu$ s フレーム持続時間）を有する P R F 6 4 方式を示す。

【図 2 6】図 2 6 は、データペイロードなしの並列サイマルレンギング（simulranging）（1 2 3  $\mu$ s フレーム持続時間）を示す。

【図 2 7】図 2 7 は、基本的な P R F 1 6 バリエーション（variant）を示す。

【図 2 8】図 2 8 は、ペイロードの差がより小さく、I p a t o v 配列がより長い P R F 1 6 バリエーションを示す。

【図 2 9】図 2 9 は、通信方式の 2 アンカバリエーション（1 5 8  $\mu$ s フレーム持続時間）を示す。

10

【図 3 0】図 3 0 は、（任意選択として）ミュートされた S L A V E C A M \_ B プリアンブルを有する、通信方式の超短時間の 2 アンカバリエーションを示す。

【図 3 1】図 3 1 は、車両とキー FOB との間の送信 / 受信の例示的なシナリオを示す。

【図 3 2】図 3 2 は、例示的なシナリオにおける推定 C I R を示す。

【図 3 3】図 3 3 は、キー FOB とアンカとの空中フレームを示す。

【図 3 4】図 3 4 は、6 . 5 G H z チャンネルにおけるパス振幅対 C F O のプロットを示す。

【図 3 5】図 3 5 は、同じチャンネルにおけるパス振幅対 C F O のズームインプロットを示す。

【図 3 6】図 3 6 は、4 G H z チャンネルにおけるパス振幅対 C F O のプロットを示す。

【図 3 7】図 3 7 は、8 G H z チャンネルにおけるパス振幅対 C F O のプロットを示す。

20

【図 3 8】図 3 8 は、追加の代替フレーム構造を示す。

【図 3 9】図 3 9 は、追加の代替フレーム構造を示す。

【図 4 0】図 4 0 は、追加の代替フレーム構造を示す。

【図 4 1】図 4 1 は、追加の代替フレーム構造を示す。

【発明を実施するための形態】

【0 0 5 1】

I E E E 規格 8 0 2 . 1 5 . 4 - 2 0 1 1 は、図 1 に示されるフレーム構造と双方向レンジング能力とを有する超広帯域物理レイヤ（U W B P H Y）について記載している。実線の輪郭は、送信されたフレームを示す。点線の輪郭は、受信されたフレームを示す。以下の略語は、フレームの特定の部分を示すために、図 1 および後続の図で使用される。

30

・ S F D - フレーム開始デリミタ

・ P H R - P H Y（物理レイヤ）ヘッダ

フレームは、I p a t o v シーケンス形式で、チャンネルサウンディングとフレーム検出のために使用されるトレーニングシーケンスを含む。これは、チャンネルサウンディングの目的（完全な周期的自己相関を含む）に役立つ特定の特性を有する所定のコードシーケンスに基づいて、フレームプリアンブルを形成するシンボルのシーケンスである。

【0 0 5 2】

デバイス A がフレームの送信時間  $T_{sa}$  を把握し、応答の受信時間  $T_{ra}$  を検出し、応答遅延  $t_d$  を把握している場合、デバイス A は、以下のように伝搬時間  $t_p$  を計算することができる。

40

（式 1）

$$t_p = \frac{T_{ra} - T_{sa} - t_d}{2}$$

【0 0 5 3】

次いで、これに光速度を掛けて、デバイス A とデバイス B 間の距離を見出すことができ

50

る。

【0054】

複数パス伝搬のため、各デバイスの受信機は、フレームの複数の遅延重畳コピーから成る信号を受信する。デバイスは、チャネルサウンディング用のトレーニングシーケンスとして *I p a t o v* プリアンブルシーケンスを使用して、チャネルのインパルス応答を推定し、これらのコピーのそれぞれの到着時間を計算する。デバイスは、最初のコピーの到着時間を真の *T r a* として使用する。

【0055】

802.15.4に記載されている方式は、*I p a t o v* プリアンブルシーケンスが事前定義されたコードを繰り返す周期的シーケンスであるため、安全ではない。これは、実際に到着したよりも早く到着したように見せるために、攻撃者によりなりすまされる可能性がある。この理由のため、その全内容が参照により本明細書に組み込まれる国際公開第2017/134310号は、チャネルサウンディングシーケンス（本明細書ではトレーニングシーケンスとも呼ばれる）が例えば、暗号的に安全な乱数発生器（*C S P R N G*）により生成され得る任意のランダムな2進シーケンスであり得る安全な方法を導入した。この場合、受信機と送信機との両方は（送信機において）暗号トレーニングシーケンスを生成し、（受信機において）それを再生成して受信時にシーケンスを検出するために必要な情報（生成アルゴリズムおよび任意のシードおよび/またはキー情報を含む）にアクセスすることができる。これは、中継攻撃からチャネルサウンディングシーケンスを安全にする。このシーケンスを「*D e c a C y p h e r*」と呼ぶことにする。なお、本明細書では *D e c a C y p h e r* シーケンスを「暗号化プリアンブル（*c y p h e r p r e a m b l e*）」または簡単に「暗号」とも呼ぶ。この文脈における「プリアンブル」という用語の使用は、*D e c a C y p h e r* シーケンスがフレームの始めまたはその近傍に位置することを意味するものではなく、トレーニング/チャネルサウンディングシーケンスとしての機能を示すものであり、ここに示す例では *D e c a C y p h e r* は、通常、フレームの終わりまたは中間に位置する（*I p a t o v* プリアンブルはフレームの始めにある）。

【0056】

前述の特許公報において *D e c a C y p h e r* が使用される方法の1つが図2に示される（*D e c a C y p h e r* を用いた安全なUWB双方向レンジングプロトコルのエアフレームを示す）。

【0057】

以下に説明する実施形態は、これらのフレームフォーマットを実施するトランシーバを使用する。

【0058】

なお、本明細書で使用される *D e c a C y p h e r* という用語は、国際公開第2017/134310号に記載されている実施形態のいずれかで使用される安全なトレーニングシーケンスを指す場合があるが、代替的に、他のタイプのトレーニング/パイロットシーケンスが代用され得ることに留意されたい。好ましくは、これらは暗号的に生成されたまたは保護されたトレーニングシーケンスであるが、他の実施形態では（例えば、セキュリティに対してあまり関心がない場合）、任意の他のタイプのトレーニングシーケンスがフレームの *D e c a C y p h e r* 要素として使用されてもよい。

【0059】

文脈上他の解釈を必要としない限り、用語「フレーム」と「パケット」とは、本明細書では通信媒体を介して送信される構造化データユニットを意味するものと互いに互換性を持って使用される（本実施例では無線で）。

【0060】

本発明の実施形態は、ノード間の通信のために前述のフレーム構造の変形を採用し、これらのノードのうち少なくとも1つは、複数の別個の送信機/受信機を含む。そのような構成の一例は、図3Aに示され、第1ノード302と第2ノード304とを含む。第2ノードは、4つの別個のトランシーバ306, 308, 310, 312を含み、これらは本

10

20

30

40

50

明細書では「アンカ」とも呼ばれ、それぞれが、信号の送信／受信用の各アンテナに関連付けられる。この例のノード302は、単一のトランシーバ316を含む（しかし、他の例では、両方のノードが複数のトランシーバを含み得る）。ノード間の通信は、ノード304のいずれかのアンカを介して行うことができる。

#### 【0061】

説明される実施形態は、ノード302および／またはノード304内のトランシーバにおいて、DW1000またはDW1100トランシーバ集積回路（IC）モジュール（アイルランド国、デカウエーブ社から入手可能）を使用してもよい。しかし、任意の適切なトランシーバ技術が使用されてもよい。一実施形態では、ノード304は、本明細書内で記載される様々な技法と、フレーム構造と、フレームタイミングとを使用して、複数のトランシーバからデータを受信し、それぞれのトランシーバからのフレームの送信を制御および調整するためのコントローラ314（たとえば、マイクロプロセッサ）を含んでもよい。しかし、好ましい実施形態では、本明細書で説明する様々な通信方式は、アンカの中央調整（central coordination）なしで動作する。特に、各アンカは、ノード302から独立してメッセージを受信し、自律的に応答フレームを生成する。しかしながら、アンカの応答がアンカでのメッセージの受信に応じて所定のタイミングで生成されるため、それぞれの応答フレームは主にノード302とノード304の異なるアンカとの間の信号伝搬時間の差によるわずかな差を除いて、調整されたやり方で実質的に同時に生成される。

#### 【0062】

現実世界での適用の一例を図3Bに示す。ここで、ノード302は自動車または他の車両用の無線キー FOBであり、ノード304はトランシーバまたはアンカ306からアンカ312（例えば、車両のそれぞれの前隅および後隅に配置される）を含む車両である。この実施形態では、記載された通信方式は、車両の自動駐車機能を実装するために使用される。

#### 【0063】

このシナリオでは、異常がないことを確認するために、自動車が近くの運転者と共に自動的に駐車されている。規則によれば、運転者は自動車から6mを超えない虚栄で離れていなければならない。自動車のバンパの各隅には、キー FOBからの信号に応答する準備ができたトランシーバがある。いかなる特定時においても、運転者はアンテナのうち1つのみを見るのに遮るものがない視界を有してもよく、使用するのに最適なアンテナは車の操縦自体に応じて絶えず変化する可能性がある。安全上の理由から、車がキー FOBから「警報解除（All Clear）」信号の受信を停止した場合、例えば100msのオーダーの短時間内に自動駐車手順を停止しなければならない。

#### 【0064】

これに対処する1つの方法は、キー FOBが100msごとにフレームを送信することである。「カム（Cam）」と呼ばれる、車内の4つのトランシーバ／アンカのそれぞれは、異なる予めプログラムされた応答時間後、例えば20ms、40ms、60ms、80ms後にキー FOBに応答するようにプログラムされる。キー FOBは、少なくとも1つのアンテナを見るための比較的見通しのよい視野を有し、適切な時間にアンテナの応答を準備して聴取するように予めプログラムされているので、通常、少なくとも1つのフレームを受信する。この通信方式は、図4に示される。

#### 【0065】

式（1）を再使用して、各カムへの伝搬遅延を見出すことができ、例えば、カムCの場合は以下の通りである。

（式2）

10

20

30

40

50



$$tp_c = \frac{Trk_c - Tsk - td_c}{2}$$

## 【 0 0 6 6 】

これにはいくつかの問題がある。1つは、キーフォブが通常、小容量バッテリーを有し、1つのフレームを送信し、次いで4つのフレームを受信することに多くの電力を要することである。バッテリー容量に加えて、バッテリーからの過度の瞬間的電流を引き出すことを避けるために、しばしば大容量キャパシタを必要とする。受信するフレームが多いほど、これらのキャパシタは大容量でなくてはならない。

10

## 【 0 0 6 7 】

## 同時フレームとのレンジング

本発明の実施形態は、本明細書において「サイマルレンジング (simulranging)」と呼ばれる方式を用いて、別の解決策を提供する。明瞭さおよび理解を容易にするために、この方式は、車両と通信するキーフォブの文脈 (例えば、自動駐車の手続きまたは安全なドア施錠 / 解除への適用) において説明され続けるが、この方式はこの適用に限定されず、少なくとも1つが複数のトランシーバを含むノードまたはデバイス間の通信を含む任意の適切な文脈で適用され得ることに留意されたい。

20

## 【 0 0 6 8 】

この方式では4つのカム全てが、それらのフレームを準同時に送信するが、1つのカムのみがキーフォブにより受信される。車内の各トランシーバは、各トランシーバにおけるキーフォブからのメッセージの受信から、わずかに異なる時間遅延、例えば、それぞれ100 μs、101.25 μs、102.5 μs、および103.75 μs後に、キーフォブからの初期メッセージに回答するようにプログラムされる。これは、トランシーバが全てほぼ同時に回答するが、1.25 μsの間隔があることを意味する。キーフォブ内の受信機は100 μs後にフレームを受信する準備をするようにプログラムされ、いくつかのフレーム、おそらくは1つのみであるが、おそらくは全てのフレームを「見る」ことになる。しかしながら、1.25 μsの間隔は、(約1 μsのシンボル持続時間を有する) 各DecaCypherトレーニングシーケンスのシンボル境界が整列されていないため、実際には、回答のうち1つのフレームのみを復号し、フレームのうち1つのチャネルインパルス回答のみを推定することを意味する。より一般的には、各オフセットは、DecaCypherシーケンスのシンボル整列を防止するために、DecaCypherシンボル持続時間の任意の非整数倍でもよい。

30

## 【 0 0 6 9 】

したがって、特定のオフセットは、単に例として与えられる (本明細書の他の箇所では例えば128 nsのオフセットが提案されている)。オフセットは、(例えば) 1つの送信機からのマルチパスがそのエネルギーを別の送信機のアキュムレータ領域に重複しないように、予想される遅延拡散 (例えば、マルチパス遅延) よりも大きいことが好ましい。

40

## 【 0 0 7 0 】

前述のように、空中フレームは、図5に示されるように存在する。

## 【 0 0 7 1 】

これは、受信機 (例えば、キーフォブ) がフレームを受信するときに行うものである。

- ・Ipatovプリアンプル検出モードで起動する。
- ・プリアンプル検出モードでは、信号が存在すると継続的に想定され、受信するものが何であってもCIR (チャネルインパルス応答) 推定値を構築する。
- ・CIR推定値が実際の有効な信号から来していると判断すると、取得モードに切り替わります。

50

- ・取得モードでは、アキュムレータを使用して多くのノイズの多いチャネル推定値を合計して、 $1\mu s$ の長いチャネルインパルス応答(CIR)を構成し、キャリア回復アルゴリズムを開始する。
- ・キャリア回復アルゴリズムは、最大のエネルギーを含む完全なCIRの64nsセクションから情報を収集のみする。
- ・取得モードでは、プリアンブルの終わりをシグナリングするSFDも探索する。ここでも、64nsウィンドウから情報を収集のみする。
- ・SFDが見つかり、受信機は、ペイロードを受信する準備をする。Ipatov CIR推定が完了する。
- ・ペイロードは再び、CIRの同じ64nsセクションからの情報のみを使用して復調される。

10

## 【0072】

ペイロードの復調が終了すると、Decacypherを使用して2番目の安全なCIR推定値を構築する。

## 【0073】

図6は、 $-5\text{ppm}$ (百万分率)のキャリア周波数オフセット(CFO)を有し、 $10\text{dB}$ 強度が高く、 $15\text{ns}$ 遅延するピークパスが続く弱いパスがある一般的な受信フレームのアキュムレータとキャリアループを示す。

## 【0074】

一番上のサブプロットは、 $-5\text{ppm}$ オフセットでのキャリア回復ループホーミング(carrier recovery loop homing)である。2番目のサブプロットは、プリアンブル検出から形成されたアキュムレータを示す。受信機は、ここで最も強い信号を拾い、この信号がおよそタップインデックス728に現れるように、その遅延を調整する。次いで、Ipatovプリアンブルの受信中に、そのキャリアとタイミング回復をこの信号に集中させ、そのIpatovベースのチャネル推定値を累積する。3番目のサブプロットは、Ipatovプリアンブルから構築されたチャネル推定値を示す。4番目のサブプロットは、Decacypherから構築されたチャネル推定値を示す。

20

## 【0075】

図5に示された4つのフレーム全てが同時に到着する受信機のシミュレーションが、Matlab(登録商標)でシミュレーションされた。異なるキャリア周波数オフセット(CFO)を有する4フレームは、ほぼ同時に送信された。3つのフレームに対する受信電力は $-90\text{dBm}$ であったが、フレーム4の受信電力は $-88.5\text{dBm}$ であった。各信号のチャネルは、最初のパスがメインパスよりも $10\text{dB}$ 弱い二パスチャネルであった。

30

## 【0076】

フレーム1)  $40\mu s$ 遅延後に送信。CFO =  $-5\text{ppm}$ 。Rxレベル =  $-90\text{dBm}$ 。

フレーム2)  $41.25\mu s$ 遅延後に送信。CFO =  $-4\text{ppm}$ 。Rxレベル =  $-88.5\text{dBm}$ 。

フレーム3)  $42.50\mu s$ 遅延後に送信。CFO =  $-3\text{ppm}$ 。Rxレベル =  $-90\text{dBm}$ 。

40

フレーム4)  $43.75\mu s$ 遅延後に送信。CFO =  $+5\text{ppm}$ 。Rxレベル =  $-90\text{dBm}$ 。

## 【0077】

図7は、シミュレーションによる(準)同時フレームに対する受信機の応答を示す。

## 【0078】

一番上のサブプロットは、最も強い信号の $-4\text{ppm}$ オフセットでのキャリア回復ループのホーミングである。2番目のサブプロットは、プリアンブル検出から形成されたアキュムレータを示す。受信機は、ここで見られる4つの信号のうち最も強い信号を拾い、この最も強い信号がほぼタップインデックス728に現れるようにその遅延を調整する。これは、一般に、自動車の隅の最も近い見通し線(LOS)である。次いで、Ipatov

50

プリアンブルの受信中に、そのキャリアとタイミング回復をこの信号に集中させ、その I p a t o v ベースのチャンネル推定値を累積する。3 番目のサブプロットは、I p a t o v プリアンブルから構築されたチャンネル推定値を示す。4 つのうちの 3 つのフレームは、この推定において強いパスを生成する。フレーム 4 に起因する信号は、その C F O が後続の信号とは 9 p p m 異なるため、存在しない。4 番目のサブプロットは、暗号化されたプリアンブルから構築されたチャンネル推定値を示す。この推定では、1 つのフレームのみが任意のパスを生成する。フレーム 2 による信号は、その遅延が受信機がホームインした遅延に一致する唯一の信号である。他の 3 つのフレームは、1  $\mu$  s 以上離れている。D e c a C y p h e r は、長さ 1  $\mu$  s のシンボルのグループを使用するため、別のシンボルから 1  $\mu$  s 以上離れているシンボルはそれとゼロ相関を有する。

10

【 0 0 7 9 】

#### セキュリティ強化

前述のようなサイマルレンジング方式は、D e c a C y p h e r が使用されているにもかかわらず、安全ではない。4 つのフレームは、全て同じ D e c a C y p h e r シーケンスを有するが、それらの間に遅延を伴って送信される。攻撃者は、第 1 シーケンスを聴取することができ、次いで、3 . 7 5  $\mu$  s で、送信されることを知っているシーケンスよりもわずかに早く同じシーケンスを送信する第 4 フレームに対する記録および再生攻撃を使用することができ、したがって、真の飛行時間 ( T O F ) が低減される。これは、自動駐車での適用には問題にならないが、他のアプリケーション、例えば、パッシブエントリシステム ( p a s s i v e e n t r y s y s t e m ) において問題になり得る。

20

【 0 0 8 0 】

この方式は、図 8 と図 9 とに示され、以下で説明されるように、安全になるように修正することができる。

【 0 0 8 1 】

図 8 は、4 つの準同時フレームの時間領域プロットを示す。

【 0 0 8 2 】

図 9 は、同時 D e c a C y p h e r を有する準同時フレームを示す。ここで、各フレームは ( 別のトランシーバにより送信された先行フレームに対して ) 1 . 2 5  $\mu$  s の時間オフセットで前述のように送信されるが、D e c a C y p h e r は全て整列して送信され、すなわち、各フレームにおいて、その挿入されたギャップと開始時の時間オフセットとの合計がある程度まで等しくなるように、ペイロードと D e c a C y p h e r との間にギャップが挿入され、その結果、各 D e c a C y p h e r はトランシーバによるキーフォブメッセージの受信後に同じ遅延で送信され、したがって、各 D e c a C y p h e r は事実上、4 つのトランシーバのそれぞれから同時に送信される ( キーフォブと異なるトランシーバとの間の異なる伝搬時間によるわずかな変動を除く ) 。

30

【 0 0 8 3 】

当然のことながら、キーフォブ内の受信 I C は 4 つのフレームのうち 1 つを「見る」だけであり、どのフレームがどれかを知ることができず、したがって、ペイロードと D e c a C y p h e r との間のギャップを知らない。この理由のために、それは、D e c a C y p h e r が到着する前のギャップの長さを知らせる。このギャップ長は、P H Y ヘッダ ( P H R ) またはペイロードに符号化され得る。ペイロードは通常、暗号化されるため、複合化に時間がかかる場合があり、このため、P H R は通常、符号化に適した場所である可能性がある。P H R は暗号化されないため、P H R が攻撃され、場合によっては、受信機が実際よりも早く到来したと考えるように騙される可能性がある。この問題に対処するために、送信機は、後の検証のためにペイロード内の同じビット ( おそらく暗号化された ) を符号化することもできる。

40

【 0 0 8 4 】

これは今や安全であり、キーフォブ内の大量のエネルギーを節約する。フレーム受信を 1 回のみ行う必要があるが、最良の位置決めされた送信機からフレームを受信する。

【 0 0 8 5 】

50

この安全な改訂版方式では、プリアンブル検出時間における全ての信号が類似の強度であることが起こり得る。その場合、受信機はキャリアとタイミング回復とを訓練するために、最も離れた信号を抽出し、そのチャンネル推定値を構成することができる。次いで、暗号化された信号が到着し、より近いトランシーバが非常に類似したCFOを有することが起こり得る。このトランシーバからの暗号パルスは、より遠いトランシーバのパルスの前に現れ、チャンネル推定値を破損するように見える。実際、これは破損ではなく、元々ロックオンされていたトランシーバよりも実際に近いトランシーバがあることを示すだけである。

#### 【0086】

図10は、この場合に対応するアルゴリズム出力（同時Decacypherによる4つの準同時フレームのシミュレーション）を示す。

#### 【0087】

##### アンカ内のクロックの目標オフセットへの調整

キーフォブとトランシーバとの間に異なるクロックオフセットが存在する場合、様々な遅延の正確な値は、どのデバイスが遅延をカウントしているかに応じて、わずかな割合だけ変化し得る。これらの遅延変動は集計され、知覚される到着時間を変動させる可能性がある。これは、複雑化を引き起こし得る。本発明の実施形態は、例えば、クリスタルトリミングキャパシタの値に対して小さな調整を行うことにより、ソースクロックの周波数に対して小さな調整を行うためのいくつかの最新のICに設けられた設備を利用して、これに対処する。それらは、1ppm未満の誤差で目標周波数を達成することができる。多くの受信機では、CFOが測定可能である。これにより、ICは特定のCFOでフレームを受信し、そのCFOを測定した後、そのソースクロックを所望の値にトリミングすることができる。これは、それらがそのフレームに対する応答を送信する前に有効になる。例えば、自動車内の全ての受信機が正確に同時に無音送信を開始することを確実にするために、それらは全て、キーフォブに対してそれらのCFOを同じ値に設定することができる。多くの受信機において、小さな負のオフセットは他の利点を提供し、したがって、それらは全て、例えば-2ppmのCFOを目指すことができる。他の理由のために、各受信機に対して異なるクロックオフセットを有することが望ましく、それらはそれぞれ異なる目標、例えば-20ppm、-15ppm、+10ppmおよび+20ppmを有することができる。

#### 【0088】

クリスタルトリミング手順の重要な態様は、全てのアンカが同じCFOに同期することを可能にすることである。したがって、キーフォブが1つのアンカにロックオンされても、他のアンカからのパスは、キーフォブアキュムレータにおいても簡単に確認可能である。これは、以下により詳細に説明される。あるいは、CFOが共通のCFOに同調されていない場合、Ipatovプリアンブルの取得中に受信機が同期したアンカのみが見られる可能性が高い。

#### 【0089】

初期CFOが大きい場合、第1トリミングは、ターゲットCFOへの完全な収束（convergence）をもたらさない可能性がある。これは、クリスタルトリミング機能の特定の予測不能性と、デバイスごとのばらつきによるものです。したがって、実施形態では、クリスタルトリミングは、2つの工程で行われる。第1工程は、短いIpatovプリアンブルのみからなるキーフォブからアンカへの初期ショートメッセージを伴う（そして、プリアンブルの有効性を確認するために、おそらくSFDを伴う）。暗号またはデータペイロードは存在しない。そのため、Ipatovプリアンブル長は最小、例えば、16、24、または32シンボルに低減され得る。クリスタルトリミングは、最初にこの予備メッセージに基づいて実行され、その後、ターゲットCFOへの収束を改善するために、前述のように完全なデータフレームに基づいて繰り返される。

#### 【0090】

8ns TX送信グリッドの補償

10

20

30

40

50

DW1100 ICのデジタル部は、125MHzクロックでクロックされる。この手  
段は、所定の8nsタイムグリッドクロックエッジでのみ送信を開始することができる。  
つまり、パケットによっては、理想的な送信時間から0-8ns遅れることがあり、この  
遅れはパケットごとに異なる。通常、データペイロードは、送信機が受信機に必要な遅延  
を知らせるために使用され、受信機はそれを差し引くことになる。サイマルレンジングと  
複数のパケットとを用いた場合、4つのペイロード全てを復号し、4つのパケット全てを  
補償することは不可能である。この補償なしでは、第1パスの不確実性が最大+/-4ns  
までである可能性がある。これについては、以下の「シナリオ例」でさらに説明する。

【0091】

一実施形態によると、8nsの送信時間の不確実性は、送信機内で除去される。理想時  
間からのグリッド時間のオフセットが計算されると、送信機は必要とされる補償に応じて  
、そのクリスタルクロックレートを変更し、それを一定期間、ある数の百万分率(ppm)  
)だけスピードアップまたはスピードダウンする。たとえば、クリスタルを100μsの  
間30ppms高速化させると、グリッドポイントのエッジが3ns早く移動する。

【0092】

補正は、クロックをスピードアップさせることにより後の8nsグリッドエッジに対し  
て、またはクロックをスローダウンさせることにより前の8nsグリッドエッジに対して  
行われてもよい。

【0093】

正確な補償は、クリスタルトリミング(利用可能な範囲が典型的には+/-40ppmの  
オーダー)と離調期間(典型的には100μsと300μsとの間であり得る)との両方  
を変化させることにより制御され得る。

【0094】

送信電力削減

実施形態は、送信電力を制御するための様々なアプローチを実施してもよい。TX(送  
信)電力は、アンカごとに、また各送信パケット内で個別に変更可能である(例えば、ペ  
イロードのような特定の部分は、プリアンブルよりも低い電力レベルで送信可能である)  
。フレームの所与の部分の送信電力を低減すること、または部分の送信を完全に無効化す  
ること(または部分の送信電力をゼロに等しく低減すること)は、本明細書ではその部分  
を「ミュートすること」とも呼ばれる。

【0095】

自動車全体が1つの送信デバイスとして扱われる場合、各個々の送信機(アンカ)の送  
信電力は、総電力制限を超えることを回避するために低減され得る。一アプローチでは、  
送信するアンカを事前選択するために別のプロトコルが利用可能である場合、各個別のア  
ンカは、例えば、予想される信号強度、送信するアンカの数などに応じて、総TX電力量  
内で動的にそのTX電力セットを有してもよい。

【0096】

一変形例では、キーフォブが交換を開始し、アンカが応答し、アンカはそれらのTX電  
力(送信電力)を調整して、その非常に強い信号により、他のより弱いアンカの「シャド  
ウイング」を防止する。キーフォブから非常に強い第1パスを見るアンカは、電力低減の  
後であっても、キーフォブがその第1パスを見ることに問題がないことを知り、その送信  
電力を大幅に低減することができる。最も強いアンカによる消費電力低減により、キー  
フォブが他のアンカからより弱い第1パスをより容易に見ることができる。アンカのTX電  
力を低減するために使用されるアルゴリズムは、例えば、第1パスの受信レベル(RSL)  
)、キーフォブから受信したマルチパスを含む総RSL、キーフォブ側で適用された送信  
電力の知見、アンカ自身の最小/最大/デフォルトのTX PWR設定、潜在的に送信す  
るアンカの数、パケットの長さ、総TX PWRバジェット、弱いパスを検出するために  
必要な最小受信機RSLなど、複数の要因を考慮することができる。

【0097】

本文書で提示されているいくつかの方法は、フレームの特定の部分(例えば、Ipat

10

20

30

40

50

o v プリアンブルまたはデータペイロード中)におけるTX電力のを削減またはミュートし、暗号化トレーニングシーケンス (DecaCyper) 中に電力を昇圧することを提案している。減衰された (弱い) 第1パスの場合、このアプローチは、この第1パスを検出する可能性を最大にすることができる。

【0098】

パケットの終了前の受信機 / 送信機の停止

この技術は、受信機または送信機RFチェーンを早期に停止することにより、受信機および / または送信機の電力節約を可能にする。例えば、データペイロードが不要であるが、PHRとデータとが暗号化プリアンブル (DecaCyper) の後に依然として送信される場合、受信機 / 送信機は最後の暗号化シンボルの直後にシャットダウンされ得る。

10

【0099】

暗号化の直後にRFチェーンを停止するために、以下の擬似コードが実行される。

1. SFD検出 (またはSFD送信) 後に割込をトリガする (約20 - 30  $\mu$ s かかる)。
2. 受信機または送信機の電源をオフにするためにSPIコマンドを発行する (約10  $\mu$ s かかる)。暗号化には64  $\mu$ s かかり、途中での中断を避けるため、遅延が使用される。
3. SFD検出割込後に、タイマを設定し、次いで、予定時刻に受信 / 送信を停止するコマンドを送信する。

【0100】

20

Ipatov プリアンブル長の短縮

チャネル推定は、チャネル整合フィルタ (CMF) の係数を設定するために使用される。このフィルタは完全なチャネル推定よりもはるかに短く、例えば、DW1000では64サンプル長であるが、チャネル推定は約1000サンプル長である。キャリア回復と、SFD検出と、データ復調ブロックとは、CMFの出力からエネルギーを供給され、完全なチャネル推定タップの制限された部分がこれらの関数に使用される。

【0101】

Ipatovシーケンスは、良好な初期CFO推定値が利用可能である場合、または他の理由のために、通常よりも短縮可能である。これを可能にする状況は、以下の状況が挙げられる。

30

- ・以前のメッセージが同じデバイスから受信されたことが、受信機がCFOターゲットがゼロに近いことを知っていることを既に意味していた状況。
- ・全てのアンカが同じCFOで送信し、キーフォブがこのターゲットCFOを知っている場合、キャリアオフセット推定のためにその開始点を事前に初期化することができる状況。
- ・全てのアンカが同時に送信する場合、同じ受信機CMFウィンドウ内で、キャリアリカバリロック (carrier recovery locking) に使用されるサンプルを決定する (すなわち、64または128nsのタイミングオフセットなしで) 状況。
- ・結果として生じるIpatovアキュムレータにおける弱いパス検出は、暗号アキュムレータのみが第1パス検出に使用されるため、問題ではない。
- ・データ復調がないため、データ復調のための正確なCMFは必要ない (CFOおよびSFD検出では、データ復調ほど正確なCMFが必要ではない。)

40

【0102】

DW1100を用いた安全なサイマルレンジングの実施

Decawave DW1100トランシーバICに基づくトランシーバを使用して、前述の技術の実施に関するさらなる詳細が以下に提供されることに留意されたい。しかしながら、記載されたアプローチは、任意の他の適切なトランシーバ技術に適合されてもよい。

【0103】

これらの実施形態で利用されるDecawave IC (DW1100) では、前述し、図9に示されるような、(DecaCyperフィールドの前に可変送信ギャップを

50

使用する)安全なサイマルレンジング方式の実施はできない。しかしながら、代わりに、フレームは、図12に示されるように構成され得る。

#### 【0104】

この方式では、Ipatovパルス間の128nsのタイミング差を維持するために(同じCMFウィンドウ内にマルチパスが加わることを回避するために)、ペイロードサイズは16オクテットだけ異なるように変更される。これは、各ペイロードシンボルがIpatovシンボルよりも8ns長いく、したがって、 $16 \times 8 \text{ ns} = 128 \text{ ns}$ の時間シフトが導入されるためである。ペイロードサイズは16オクテット異なるが、最小のペイロードはサイズが1オクテットしかない(次のペイロードはそれぞれ17オクテット、33オクテット、49オクテットになる)。

10

#### 【0105】

このアプローチを使用して、車内の4つのアンカ/カムは図13に示されるように応答するように構成され、Ipatovプリアンプルとペイロードの長さとは各フレームの開始時に変化する遅延のバランスを取るために変更される。

#### 【0106】

IpatovプリアンプルとSFDシンボル(より短い「タイプS」シンボル)とは全て、1016nsまでの長さであるが、PHRシンボルと、ペイロードオクテットと、DecaCypheerシンボル(より長い、「タイプL」シンボルまたはオクテット)とは全て、1024nsまでの長さである。これは、ペイロードオクテットがフレームから削除され、同時に1つのIpatovシンボルが追加された場合、フレーム全体の長さは約8nsまで短くなる。このようにして、DecaCypheerの4つ全てが時間的に一致し、したがって、他の1つを聴取することによりそれらのいずれも予測することができないようにDecaCypheerの前に来るフレームの部分を短縮して、個々の応答の前に来る無音の量を相殺することができる。受信機は、ペイロード長がPHRで符号化されているため、DecaCypheerがいつ到着するかを知っている。また、PHRは暗号化方法で保護されていないが、セキュリティが必要な場合、ペイロードは暗号化される。ハッキング技術によってはこれを利用できるため、セキュリティが必要な場合は、暗号化されたペイロードにペイロード長の確認を含めることも可能である。

20

#### 【0107】

場合によっては、このようにペイロードサイズを設定する際に、わずかな複雑さがあり得る。リードソロモン(Reed Solomon)符号は、ペイロードの330ビットごとに6オクテットの誤り訂正ブロックを追加する。これは、いずれかのペイロードサイズが41オクテットを超えると、2番目のチェックブロックが追加される。これにより、他のペイロードブロックの6ダミーオクテットでのパディングが必要となる。当然のことながら、フレーム持続時間は、初期無音時間を増加させること、および/または余分なIpatovプリアンプルシンボルを追加することにより等化され得る。

30

#### 【0108】

これらの同時フレームが互いに干渉しない理由

前述の方法が機能する理由を理解するために、例示的なシミュレーションを見ることが役立つ。図14は、全てが同時に空中にある例示的な4つのフレームを示す。各フレームは、開始時に挿入された異なる無音を有する。無音長は、それぞれ192ns、256ns、128ns、0nsである。そして、各フレームは、異なるIpatovプリアンプル長を有する。長さは、それぞれ72シンボル、64シンボル、56シンボル、48シンボルである。ペイロード長は、それぞれ12オクテット、20オクテット、28オクテット、36オクテットである。これにより、セキュリティを維持するために重要である、各フレームのDecaCypheerが同時に送信されることが保証される。図14は、最初の4つのプロットにおける4つの準同時フレームを別々に示し、最終プロットにおける重畳された4つの準同時フレームを示す。

40

#### 【0109】

図15は、この状況でのDW1100 ICのシミュレーション結果を示す。この場合

50

、各フレームは、それぞれ - 2 p p m、 - 3 p p m、 - 4 p p m、 - 5 p p mのキャリア周波数オフセット ( C F O ) を有する空中のフレームとしてシミュレートされた。フレーム振幅は、 - 4 p p mフレームが - 8 9 d B mに、他の3つのフレームが - 9 1 d B mになるようにスケーリングされた。

#### 【 0 1 1 0 】

プリアンプル検出アルゴリズムは、推定されるチャネル応答の短いスナップショットを構築する。これは、図 1 5 の第 2 サブプロットに見ることができる。受信機は、最も強いエネルギーウィンドウを探し、アキュムレータのタップ 7 2 8 とタップ 7 9 2 間の 6 4 n s ウィンドウにこのエネルギーとそのチャネル整合フィルタ ( C M F ) を配置するように、受信機遅延を調整する。推定されたチャネル応答のこの部分は、チャネル整合フィルタの係数を設定するために使用される。この特定のシミュレーションにおいて、プリアンプル検出中に見られる最も強い信号は、2 番目に到着した信号であった。一旦プリアンプルが検出されると、キャリア回復と、タイミング回復と、S F D 検出とは、動作するためにチャネル推定の C M F 部分内のエネルギーのみを使用する。これは図 1 5 の第 1 サブプロットに見られるように、キャリアループで追跡されている推定キャリアオフセットを - 4 p p m に収束させる。次いで、アキュムレータは、S F D が検出されるまで、そのチャネル推定値を構築する。これは、図 1 5 の第 3 サブプロットでわかる。2 つの理由から、2 番目に到着した信号が最も強く見える。第一に、信号が実際には 2 d B 強く、第二に、他の信号の C F O が補正されていないため、これらの他の信号が部分的に打ち消されてしまうからである。

#### 【 0 1 1 1 】

2 番目に到着する信号の S F D が検出される。なお、より早く到着する S F D は、C M F が配置されているウィンドウ内に到着しないため、見えないことに留意されたい。C M F のスパンは 6 4 n s のみであり、4 つの信号は全て互いに少なくとも 6 4 n s だけ遅延される。

#### 【 0 1 1 2 】

次いで、受信機は、データの複合を開始し、P H R 内のデータビットを受信し、次いでペイロードを受信する。それは、他のフレームのデータビットのエネルギーが C M F により掻き集められないように、所望の信号があるウィンドウからエネルギーを収集のみする C M F を使用する。また、P H R および後続のデータの各ビットは、送信機において異なる拡散コードを使用し、受信機において逆拡散コードを使用し、これは、真のデータを不要な他の信号からさらに分離する。

#### 【 0 1 1 3 】

次いで、受信機は、個々の伝搬遅延により分離された全てのフレームから 4 つの D e c a C y p h e r 信号の全てを同時に取得する。受信機は、D e c a C y p h e r 内の各シンボルを構成するパルスのシーケンス内の各パルスの極性を知っているため、予想されるパルスと相関し、チャネルインパルス応答の推定値を得ることができる。同様の時間に受信機に到着する D e c a C y p h e r シーケンスのコピーが 4 つまでであるため、インパルス応答推定値は、オーバーレイされた 4 つのチャネル全ての推定値である。このように、自動車までの距離を計算するためにこれを使用する場合、最初に到着する信号は、到着するこれらの全ての D e c a C y p h e r のための最初の十分に大きなパスとなる。

#### 【 0 1 1 4 】

図 1 6 は、シングルパケットと 4 つの同時パケット ( ニパスチャネル ) のパフォーマンス比較を示す。

#### 【 0 1 1 5 】

なお、上記の例では、特定の遅延と、無音と、I p a t o v 長と、ペイロードサイズとが使用されることに留意されたい。同様の効果を達成するために、無音をフレーム長とバランスさせる、またはほぼバランスさせるために使用可能な多くの他の遅延がある。使用可能な、6 4 n s 以外の多くの C M F 長さがある。シンボル長は、基礎となる概念を変更することなく、1  $\mu$  s から変動可能である。また、上記の例は、I E E E 8 0 2 . 1 5 .

10

20

30

40

50



4 - 2 0 1 1 に記載される 6 . 8 M b p s モード用である。遅延のバランスを取るために異なる数を必要とする、使用可能な他のビットレートもある。また、I E E E 8 0 2 . 1 5 . 4 f、I E E E 8 0 2 . 1 5 . 6、I E E E 8 0 2 . 1 5 . 8、を含むその他多くの無線実装もあり、これらは、本明細書に記載される技術からメリットを得る。

#### 【 0 1 1 6 】

##### サイマルレンジングベースのローカリゼーション

三角測量法によるローカリゼーションもまた、サイマルレンジングパケットを用いて可能となる。三角測量するために、2 つ以上のアンカからキーフォブまでの距離が取得される。全ての暗号送信が整列されるため、一般的に、暗号アキュムレータにおいて様々なアンカパスを分離することは不可能である。しかしながら、I p a t o v アキュムレータの部位に基づいて異なる距離を計算することが可能である。

#### 【 0 1 1 7 】

これを行うために、アンカからのパルスシーケンスはそれらが I p a t o v アキュムレータ内の異なるセグメントを占有するように、例えば 1 2 8 n s だけシフトされる。

#### 【 0 1 1 8 】

4 つのアンカが本体の背後に隠れている、難しい N L O S (見通し外) シナリオ (例えば、バックポケット内のキーフォブ) において、このシフト技術を使用する例が図 1 7 のアキュムレータプロットに示される。最初の 1 0 1 6 個のアキュムレータサンプルは、I p a t o v プリアンブルからのアキュムレータである。次の 5 1 2 個のサンプルは、暗号化プリアンブル (D e c a C y p h e r) からのアキュムレータである。0 メートルの距離に対応する仮定の I p a t o v サンプルインデックスは、各アンカについて計算される (垂直赤線)。これらの線から第 1 パスまでの距離は、各アンカの距離を測定し、この例では 2 . 1 m、1 . 3 m、1 . 6 m、1 . 7 m であり、これらは実際の距離に近い。暗号に基づく距離は 1 . 5 m と計算されたため、三角測量プロセスではセキュリティ上の理由から、最短の I p a t o v に基づく距離は 1 . 3 から 1 . 5 m に増加する。

#### 【 0 1 1 9 】

L O S (見通し線) 条件では、一つのアンカが極端に近い距離にあり、巨大な電力で発破する場合を除いて、パスはより強く、より鋭くなる。図 1 8 において、第 3 アンカは、2 . 0 から 2 . 6 メートルで他の L O S パスの振幅を減少させる 0 . 1 m の距離にある。

#### 【 0 1 2 0 】

徘徊テストの結果を以下に示す。4 つのアンカを表す 4 つの点を、図 1 9 に示されるように、互いに約 1 . 9 m 離れた正形状に配置し、歩行パスを示した。

#### 【 0 1 2 1 】

(個々の I p a t o v プリアンブルに基づく) 4 つ全てのアンカまでの測定された距離は、暗号距離 (すなわち、同時 D e c a C y p h e r トレーニングシーケンスに基づいて測定された距離) と共に、図 2 0 に示される。

#### 【 0 1 2 2 】

##### サイマルレンジングパケット構造の最適化

上記で提案されたベースラインと比較して、多くの最適化アプローチが可能である。

1 . I p a t o v パルスのタイミングオフセットの低減。タイミングオフセットは、1 2 8 n s から 9 6 n s に、さらには 6 4 n s に低減され得る。これは、別のパスのマルチパス重複 C M F ウィンドウを防止するために依然として十分でなければならない。その結果、ペイロードサイズ間の差が減少する。P R F 6 4 モードでは、1 6 オクテットだけ異なるペイロード (1 2 8 n s のタイミングオフセットをもたらす) の代わりに、ペイロードは、8 オクテット (6 4 n s のオフセット) だけ異なり得る。これは、全体的なパケットサイズを縮小させることに役立つ。

2 . データパケットサイズの縮小。最小データパケットブロックが 1 6 オクテットではなく 4 オクテットの場合、全てのペイロードサイズが 1 2 オクテット (1 2  $\mu$  s) 縮小される。データペイロードが不要な場合、データオクテット (0 サイズ) なしで P H R を送信することも可能である。その場合、ペイロードサイズは、4 つのアンカの場合、0 オクテ

10

20

30

40

50

ット、16オクテット、32オクテット、48オクテットとすることができます。

3. TX電力/ミュートの低減。キーフォブは1つのアンカにロックオンし、1つのアンカからペイロードを復号するだけでよいので、他のアンカIpatov/ペイロードを遅延させ、ミュートする(または、より低い電力で送信する)ことができる。このようにして、総TX電力バジェットは最適化され得て、選択されたシーケンスの電力は増加され得る。特定のアンカのみが有効なペイロード(マスターアンカ)を送信するパケット構造の場合、残りのアンカの1つ(スレーブ)は、ペイロードが暗号の後に送信される代替の暗号モードで動作可能である(したがって、全体的なパケット長が短縮される)。

4. 事前選択。別の物理通信レイヤ(LFなど)、または以前のUWBパケット送信に基づいて、システムは、例えば、最も強い信号を有する2つの最良のアンカのアンカ事前選択を行うことができ、2アンカバリエーションが可能であり、4アンカバリエーションと比較してパケット長の増加を大幅に低減する。または、2つの最良の事前選択されたアンカがデータと共にIpatovプリアンプルを送信することができ、一方、残りのアンカは(ミュートされたIpatovプリアンプル、SFD、PHR/データと共に)暗号化プリアンプルのみを送信することができる(図22参照)。

5. 最短のIpatovプリアンプルへのロックオンを回避するための無音ギャップの追加。Ipatovアキュムレータの品質を改善するために(例えば、ローカリゼーションの目的のために)、Ipatovアキュムレータを最短のIpatov長よりも長く累積させることが最良である。最短のIpatovへのロック(および第1SFD後の累積の停止)を防ぐために、最短のアキュムレータの前には少なくとも8シンボル長無音が先行し得る。これにより、キーフォブは、先に到着したIpatovプリアンプルにロックオンする。より短いIpatovアンカからのチャネル推定の品質を改善するために、それらのIpatov TX電力は、データペイロードを犠牲にして(いずれにせよ復号されない)、増加され得る(図21参照)。

6. 混合暗号プロトコルの使用。特定のアンカ(暗号の前は1024nsのシンボルは存在しない)と、暗号の前に211024nsのシンボルを有するペイロードサイズ0(PHRのみ)を有する特定のアンカにおいて、暗号がSFDの直後に送信される暗号プロトコル1を使用する。受信機はモード1またはモード2のいずれかのために構成されるため、異なるモードで動作するアンカはスレーブアンカであるべきである(すなわち、受信機はそれらにロックオンしない)(図22参照)。

7. 暗号ギャップの使用。スレーブモードのアンカの場合(キーフォブがロックオンすることはない)、長いペイロードや長いIpatovではなく、暗号プリアンプルの前に設定可能な送信ギャップが使用可能である。これは送信電力が節約されることを可能にし、電力バジェットは他のシーケンスの電力を昇圧するために使用され得る。

8. 早期RFのシャットダウン。RF受信機および/または送信機は、PHR/データを待たずに、暗号を受信/送信した直後にシャットダウンされ得る。これにより、少なくとも21-28μs(図26)だけパケット長をさらに短縮することができる。

9. タイミングオフセットのない並列パケット。クリスタルがトリミングされ、全てのアンカが同じCFOを有し、同一のデータペイロードを有する(またはデータペイロードが全くない)場合、タイミングオフセットなしに完全に並列に送信することが可能である。その場合、追加のアンカは、マルチパスのように見える。特定のアンカメッセージは、アクティブシーケンスのTX電力の増加を可能にするために、任意選択で、ミュートされたIpatov/SFDプリアンプルを有し得る。

10. Ipatovプリアンプルの短縮。キーフォブに知られているCFOと、複数のアンカから来る強い信号とを用いて、Ipatovプリアンプルを短縮することが可能でなければならない。

そしていくつかのPRF16ベースの最適化アプローチは以下の通りである。

11. PRF16モードの使用。Ipatovシンボル長は992nsであり、アンカのペイロード間の長さの差を16オクテットからちょうど4オクテットに減少させることができる。これにより、パケット長の短縮、または有効プリアンプル長の(同じパケットサ

10

20

30

40

50

イズでの) 拡張が可能になり、より良好なローカリゼーション性能が得られる。

12. PRF16 IpatovをPRF64暗号と共に使用する混合モードも可能である。それは、最良の暗号品質を提供しながら、ペイロードサイズを最適化する。PRF16 Ipatovは、PRF16中の全てのIpatov配列がほぼ同じ長さを有するため、PRF64 Ipatovよりも良好な感度を有する。例えば、88長PRF16は48長PRF64よりも性能が良く、両方とも同じパケットサイズになる。暗号化プリアンブルでは、シンボルカウントがPRFに関係なく同じであり、PRF64はより良好に動作する。

#### 【0123】

非常に多数の正規の組み合わせがあり、これらは機能し、整列した暗号プリアンブルをもたらす。ユーザは、シナリオと要求に応じて、提示されたアイデアを選択的に適用し、パケット構造を最適化することができる。いくつかのシナリオを以下の実施例に示す。

10

#### 【0124】

ローカリゼーションを支持するPRF64バリエーション

ローカリゼーションは、全てのIpatovシーケンスが既知のタイミングシフト(例えば、128ns)だけ離れてシフトされることを必要とする。このタイミングシフトは、データシンボルの数(各1024ns長)を増加させることにより、またはPHR(これも1024nsシンボルからなる)を有効化/無効化することにより実施され得る。

#### 【0125】

以下の例は、前述の最適化アイデアを実施する。

20

#### 【0126】

図12に示されるデフォルト構造に戻ると、その配置のパケット長は、以下の通りである。

$$384 + 96 * 1016 + 8 * 1016 + 21 * 1024 + 1024 * 22 + 65536 = 215616 \text{ ns} = 216 \mu\text{s}$$

#### 【0127】

デフォルト構造の1つの弱点は、Ipatovプリアンブルが最も短いカムAにロックすると、40-48シンボル後に累積プロセスを停止させることである。これは、Ipatovピークの品質を低下させる。

#### 【0128】

30

提案された代替案では、カムA/Bの開始遅延のために、キーフォブはアンカCまたはDのいずれかにロックするが、AおよびBからのパスはIpatovアキュムレータに存在する。これで、累積は80シンボルまたは96シンボルをとり、IpatovアキュムレータのアンカC/Dの電力を最大化する。キーフォブはAまたはBにロックしないので、それらのペイロードは最小電力を使用して送信され得る。カムAおよびBは、それらのより短い長さを補償するために、より高いTX電力でそれらのIpatovプリアンブルを送信する代わりに、それらのTX電力バジェットを使用することができる。この代替案は、デフォルトのものと同じ長さ(216μs)を有するが、より正確な位置特定のためにはるかに良好なIpatovピーク品質を有するべきである。

#### 【0129】

40

データペイロードが不要な場合は、パケット長を短縮することが可能である(全てのペイロードを22シンボル短縮する)。

#### 【0130】

図21は、PRF64フレーム構造例(216μs)を示す。

#### 【0131】

図22は、より短い代替案を提示しており、Decacipherの開始から終了までのパケット長は、ちょうど $424 + 13 * 1016 + 88 * 1016 + 8 * 1016 + 65536 = 176704 \text{ ns} = 177 \mu\text{s}$ である。これは、暗号の後にPHR/データを使用して第1アンカを設定し、PHRのみを使用して第2を設定することにより実現される。データなしのPHRのみ(21シンボル×1024ns)を使用すると、Ipatov

50

v パルスグリッドは  $21 \times 8 \text{ ns} = 168 \text{ ns}$  シフトし、これは十分以上である。

#### 【0132】

I p a t o v の前に > 8 シンボルの無音部分を配置すると、キーフォブがアンカにロックオンしなくなる。この方式の弱点は、より短い I p a t o v シーケンス (カム C またはカム D)、一般的にはより短い累算長にロックすることである。

#### 【0133】

ローカリゼーションを伴わないがアンカ固有のデータ要件を伴う R F 64 バリエーション  
ローカリゼーションが必要とされない多くの場合、特にアンカ事前選択を用いて、4つのペイロードまたは4つの I p a t o v シーケンスを送信する必要がなく、低減された数の有効な I p a t o v / ペイロードメッセージが送信可能である。図 23 に示される例では、カム C およびカム D のみが有効な I p a t o v プリアンブルとペイロードとを送信する。キーフォブは、4つのアンカ全てから暗号化されたプリアンブルを依然として受信しながら、これらのうち1つにロックオンする。一部のアンカで有効なデータペイロードを送信しないと、全体的なマルチパケット長の削減が可能になる。ここでの例では、パケット長 (暗号の終わりまで) は以下の通りである。

$$0 + 48 * 1016 + 8 * 1016 + 21 * 1024 + 30 * 1024 + 65536 = 174656 = 175 \mu s$$

#### 【0134】

カム A とカム B とは、ほとんどが暗号化プリアンブル (D e c a C y p h e r) を除いてミュートされるため、代替的にカム C / D と同じ方法でプログラム可能であるが、ミュートされる I p a t o v / S F D / P H R / データを用いる。

#### 【0135】

単一のアンカが (ペイロードを受信するために) 十分であると見なされる場合、カム C は、カム A / B と同様にセットアップされ得て、カム D のみが有効なペイロードと I p a t o v とを送信する。これにより、図 24 に示されるように、パケットは、さらに短縮されます。

$$\text{長さ: } 48 * 1016 + 8 * 1016 + 21 * 1024 + 14 * 1024 + 65536 = 158272 \text{ ns} = 158 \mu s$$

#### 【0136】

ローカリゼーションサポートを伴わず、全てのアンカ上で同一のデータを有するバリエーション

全てのアンカ上の正確なクリスタルトリミングにより、タイミングシフト (64, 128 ns 等) なしに全てのアンカからの同時の送信が可能となる。このような送信は、マルチパスプロファイルの追加パスとしてキーフォブにより認識されます。全てのパスが同じ C M F ウィンドウ (64 ns 幅) に終わるので、全ての送信は、同一のデータと、非常に密接に整合した C F O と、を有する必要がある。したがって、アンカ固有のデータ (たとえば、アンカ ID) を送信する必要がない場合、またはデータを全く送信する必要がない場合、図 25 に示される方式が使用され得る。

#### 【0137】

追加のアンカは、I p a t o v / S F D プリアンブル中にミュートされるか、または送信することができる。この方式は、任意の数のアンカを用いて実施することができる。キーフォブにより受信される潜在的に良好な I p a t o v 信号品質と、制御された C F O (キーフォブにとって先験的に知られている) とにより、I p a t o v シーケンスを短縮することが可能であり得る。

#### 【0138】

ローカリゼーションサポートとデータ要件とを伴わないバリエーション

データが必要とされない場合、各アンカは、D e c a C y p h e r フィールドの後に送信される P H R / データ (0 サイズ) で、かつその T X 電力がミュートされた状態で構成されることができる。したがって、キーフォブ内の受信機は、暗号化の直後にその R F を遮断することができる (同様に、送信機は、暗号化の後にその R F を遮断することができ

10

20

30

40

50

る)。この技術は、前述の通りである。一例が図 26 に示される。48 シンボルの I p a t o v では全シーケンス長は  $123 \mu s$  (未使用の P H R を除く) であるが、より短い I p a t o v プリアンブルを使用することができる場合 (前述のように)、全シーケンス長はさらに短縮され得る。

#### 【0139】

ローカリゼーションを支持する P R F 16 I p a t o v バリエーション

P R F 16 では、I p a t o v / S F D シンボル長は  $992 ns$  であり、ペイロードシンボル長よりも  $32 ns$  短い。これはペイロードサイズが 4 オクテットだけ異なり得るため、パケットのスケジューリングをより最適にする (4 シンボル倍の  $32 ns$  の差は I p a t o v の間のパケットパルス間の  $128 ns$  のタイミングシフトを与える)。

10

#### 【0140】

図 27 は、例示的な P R F 16 構造を示す。なお、全てのペイロードを同じオクテット数だけ減らすことができ (たとえば、4 オクテット、12 オクテット、20 オクテット、28 オクテット)、I p a t o v プリアンブルを例えば 48 シンボル (カム A)、56 シンボル (カム B)、64 シンボル (カム C)、72 シンボル (カム D) に減らすことができることに留意されたい。

#### 【0141】

ペイロードの長さの差を 4 オクテットに低減するために、さらなる最適化を行うことができる。この方式では、 $4 \times 992 ns$  無音をカム B とカム D に加えると、2 つの I p a t o v 長さのみが使用可能となる。また、前の例と同様に、ペイロードを 4 オクテット、8 オクテット、12 オクテット、16 オクテットに減らすことができ、I p a t o v シーケンスを 48 シンボル (カム A とカム B) と 56 シンボル (カム C とカム D) に減らすことができる。一例は図 28 に示され、ペイロード差がより小さく、I p a t o v シーケンスがより長い P R F 16 構造が示される。

20

#### 【0142】

パケット長最適化 2 アンカバリエーション (データあり / なし)

2 - アンカバリエーションは、前述の 4 - アンカバリエーションに由来し得る。

小さいペイロードを用いた例 ( $158 \mu s$ ) が図 29 に示される。I p a t o v プリアンブルとデータペイロードとは、一方または両方のアンカで送信できます。データが両方で送信される場合、それは同一でなければならない。

30

#### 【0143】

ペイロードが必要とされない場合、暗号化プリアンブルの後に P H R / データを移動させることが可能である。これは図 30 に示される。カム B I p a t o v / S F D はミュートされるか、またはより低い電力で送信され得て、P H R / データは常にミュートされる。これは、D e c a C y p h e r シーケンスの後に送信機 / 受信機 R F が (前のセクションで説明したように) 遮断されると仮定し、超短  $123 \mu s$  パケット (または I p a t o v を短くすることができる場合はより短い) を提供する。

#### 【0144】

これらのバリエーションの利点は、以下を含む。

- ・可能な限り低い電力消費のための超短パケットサイズ。
- ・T X 電力限界は  $1000 \mu s$  ごとに計算されるため、ベースライン T X 電力  $1000 / 123 = 8.13$  倍、すなわち  $9.1 dB$  ( $123 \mu s$  長と仮定) 増加させることができる
- ・任意選択で、スレーブカム B は、暗号 ( $64 \mu s$ ) のみを送信することができる。スレーブにより節約された約 50 % の T X 電力は、全体の T X 電力バジェットを増やすために送信され得る。

40

#### 【0145】

スレーブカム B が I p a t o v プリアンブルを送信していない場合、カム A がロックオンされない可能性がある。しかしながら、このリスクは、以下の理由により低減される。

- ・ベストアンカの事前選択

50

- ・追加の使用可能な T X 電力
- ・スレーブアンカからの干渉なし

【 0 1 4 6 】

応答が失敗した場合、自動車は、交換されたアンカを用いてプロセスを再開することができる。

【 0 1 4 7 】

シナリオ例

例示的なシナリオは図 3 1 に示され、車両 3 1 0 6 からそれた方向を向いているキーフォブ 3 1 0 4 を有するユーザ 3 1 0 2 が示される。車両は、前述のように複数のアンカを含む。アンカ 1 は、(ユーザの介在する身体のために)弱い第 1 パスを有する。アンカ 2 は、弱い第 1 パスを有するが、リフレクタ 3 1 1 2 による強いマルチパスを有する(例えば、パス障害による減衰は信号パスを横切る太い黒いバーとして示される)。

10

【 0 1 4 8 】

このシナリオでは、以下のことが起こる。アンカ 1 とアンカ 2 との両方は、キーフォブの packets を参照し、応答する。マルチパスが強いため、キーフォブ 3 1 0 4 は、アンカ 2 にラッチし、アンカ 2 の S F D とデータとを見る。アンカ 2 への到着時間  $T o A_2$  は、データ packets 内のフォブに戻って伝達される。D e c a C y p h e r はほぼ同時に到着するが、アンカ 1 の暗号は、( a ) フォブの開始 packets をわずかに早く受信し、( b ) アンカ 1 の暗号は移動する距離が短いため、わずかに早く到着する。これは、アンカ 1 から来るフォブの C I R 推定に、アンカ 1 からの F P よりもわずかに早く存在する第 1 パスをもたらす。C I R 推定値は、図 3 2 に示されるように近似的に見える。

20

【 0 1 4 9 】

フォブからの packets のアンカ 2 への到着時刻  $T o A_2$  は、フォブ packets の送信時刻  $T o S$  に、フォブからアンカ 2 への飛行時刻  $T p A_2$  を加えたものになる。

$$T o A_2 = T o S + T p A_2$$

同様に、以下ようになる。

$$T o A_1 = T o S + T p A_1$$

【 0 1 5 0 】

次いで、アンカは、既知の応答遅延時間 (  $T d e l$  ) を待った後に応答する。送信と応答とは、図 3 3 に示される。

30

【 0 1 5 1 】

アンカ 2 からの最初のパス  $T f p_2$  のフォブへの到着時刻は以下の通りである。

$$T f p_2 = T o A_2 + T d e l_2 + T p A_2$$

【 0 1 5 2 】

ここで、 $T d e l_2$  は、アンカ 2 で実行される時間遅延である。これは事前に合意された遅延だが、アンカ 2 のクロックでカウントされ、これは一般的には、理想的には正確なクロックではないが、0 から 2 0 p p m または 0 から  $2 0 \times 10^{-6}$  のオーダーの小さい分数、 $\epsilon_2$  でオフセットされる。

( 式 3 )

40

$$T d e l_2 = (T d e l + \delta_2) (1 + \epsilon_2) \approx T d e l (1 + \epsilon_2) + \delta_2$$

【 0 1 5 3 】

送信機が厳密な応答時間に対して有限の制御しか持たないため、少量の時間  $\epsilon_2$  が加算される。

【 0 1 5 4 】

50

同様に、アンカ 1 からの最初のパスのフォブへの到着時刻  $T_{fp1}$  は、以下の通りである。

$$T_{fp1} = T_{oA1} + T_{del1} + T_{pA1}$$

【0155】

$T_{oA1}$  の置換をすると、以下のようになる。

$$T_{fp1} = T_{oS} + T_{pA1} + T_{del1} + T_{pA1}$$

【0156】

(式4)

10

$$T_{del1} = (T_{del} + \delta_1) (1 + \varepsilon_1) \approx T_{del} (1 + \varepsilon_1)$$

上記の場合、時間遅延はアンカ 1 において実施される。

【0157】

フォブは、アンカ 2 からのパケットの CFO を測定し、次いで、 $T_{oS}$  を減算して飛行時間を計算する。メッセージはアンカ 2 から来たため、 $T_{del2}$  は以下の通りになる。

$$T_{p2\_est} = (T_{fp1} - T_{oS} - T_{del2}) / 2$$

20

【0158】

$T_{fp1}$  の代替は以下の通りである。

$$= (T_{oS} + T_{oFA1} + T_{del1} + T_{pA1} - T_{oS} - T_{del2}) / 2$$

【0159】

$T_{del1}$  と  $T_{del2}$  との代替は以下の通りである。

$$= (T_{oS} + T_{oFA1} + T_{del} + \varepsilon_1 T_{del} + \varepsilon_1 + T_{pA1} - T_{oS} - T_{del} - \varepsilon_2 T_{del} - \varepsilon_2) / 2$$

$$= (2 T_{pA1} + \varepsilon_1 T_{del} + \varepsilon_1 - \varepsilon_3 T_{del} - \varepsilon_2) / 2$$

$$T_{p2\_est} = T_{pA1} + T_{del} (\varepsilon_1 - \varepsilon_2) / 2 + (\varepsilon_1 - \varepsilon_2) / 2$$

【0160】

30

Decawave DW シリーズ IC では、トランスミッタは 8 ns 境界線でのみパケットを送信できる。これは  $\varepsilon_1$  と  $\varepsilon_2$  とが 0 ns から 8 ns の間で任意の値を取ることができるため、 $(\varepsilon_1 - \varepsilon_2) / 2$  は -4 ns から 4 ns の範囲で変化し得ることを意味する。なお、この誤差が正であり、パスをさらに遠くに移動させる場合、最も遠くに移動することができるのは、 $T_{fp2}$  の位置であることに留意されたい。その結果、より近いアンカは、より遠いアンカより遠くに見えることはない。

【0161】

$T_{del}$  は、SFD マーカの受信と SFD マーカの送信との間の時間隔である。ターンアラウンド時間は、受信機が受信パケットを読み取り、新しい送信時間を送信パケットに挿入することを可能にする必要があり、したがって、 $135 \mu s$  がこれに加えて許容され、パケット自体の長さが  $165 \mu s$  である場合、 $T_{del}$  は約  $300 \mu s$  になる。

40

【0162】

前述のグリッドシフト方法が実施される場合（クロック周波数の精密な制御により固定 8 ns グリッドからの送信時間を調整する）、送信機は、所望の任意の時間に送信を始めることができ、すなわち  $\varepsilon_1 = 0$ 、 $\varepsilon_2 = 0$  にする。この場合、最終方程式は以下のようになる。

$$T_{p2\_est} = T_{pA1} + T_{del} (\varepsilon_1 - \varepsilon_2) / 2$$

【0163】

全てのカムがほぼ同一のクロックオフセットを使用する場合、 $\varepsilon_1 = \varepsilon_2$  となる。

(式5)

50

$$T_{p_{2\_est}} \approx T_{p_{A1}}$$

#### 【 0 1 6 4 】

したがって、アンカ 2 からパケットを受け取ったとしても、所望のアンカ 1 への飛行時間がわかる。

10

#### 【 0 1 6 5 】

C F O のパスの振幅への影響

2 つのパケットの C F O 差が大きいほど、パスの累積振幅は小さくなる。アキュムレータは、回転する第 1 パスの合計、すなわちキャリアオフセット周波数で回転する指数関数の合計を保持する。オフセットによっては、パスは、プリアンプルのコースに亘ってちょうど 1 サイクル回転する。この場合、全ての構成要素は、合計してゼロになる。この和を積分で近似すると、以下ようになる。

( 式 6 )

$$\int_0^T e^{j\omega t} e^{j\theta} dt = -j e^{j\theta} \frac{e^{j\omega T} - 1}{\omega}$$

20

#### 【 0 1 6 6 】

ここで、 $\omega$  がキャリアオフセット周波数であれば、 $T$  は暗号の長さであり、 $\theta$  は最初の位相オフセットである。図 3 4 に示されるように現れるチャネル 5 ( 6 . 5 G H z ) の 6 4 長の暗号について、パス振幅対 C F O のプロットが示される。なお、強度は開始段階とは無関係であることに留意されたい。

30

#### 【 0 1 6 7 】

チャネル 5 における C F O に対する拡大されたパス振幅は、図 3 5 に示される。

#### 【 0 1 6 8 】

約  $\pm 1$  p p m までは 3 d B 以下の減衰があり、 $\pm 6 . 3$  p p m を超えると 2 0 d B 以上の減衰がある。

#### 【 0 1 6 9 】

チャネル 2 ( 4 G H z ) では、図 3 6 ( チャネル 2 のパス振幅対 C F O ) に示されるように、応答が広がります。チャネル 9 ( 8 G H z ) では、図 3 7 ( チャネル 9 のパス振幅対 C F O ) に示されるように、応答が狭くなる。

#### 【 0 1 7 0 】

40

D W 1 1 0 0 は、約 0 . 5 p p m の精度でクロックを調整する能力を有する。チャネル 5 において同時応答を使用するとき、全ての第 1 パスが見えるようにするためには、全てのアンカのクロックがキーフォブの周波数よりも約 2 p p m 低くなるように調整されることが好ましい。これは、パスが約 1 d B を超えて減衰されないことを保証する。

#### 【 0 1 7 1 】

さらなる実施形態

前述の実施形態の多くでは、暗号フィールドは同じであり、時間的に整列されていた。

#### 【 0 1 7 2 】

しかしながら、他の実施形態では、各応答トランシーバ ( 「カム」 ) がそれ自体の ( 異なる ) 暗号プリアンプルを異なる遅延で送信する。一例は、図 3 8 に示される。ここで、

50



各トランシーバにより送信されるフレームは、それぞれ異なる暗号フィールド 1 - 4（先の実施形態で示された「DecaCypher」フィールドに対応する）を含む。

【0173】

これにより、受信機は、複数の距離測定値（応答するトランシーバごとに1つなど）を取得可能となる。これを可能にするために、各ペイロードの後のギャップのサイズは、前述のように単純に  $N * 128 \text{ ns}$  ではなく、 $N * 128 \text{ ns} + m * (\text{暗号長} + \text{暗号を分離する余分なギャップ})$  である。暗号を分離する余分なギャップは（図38の例に示されるように）0でもよく、より大きな分離を提供するために0より大きくてもよい（代替の例では、暗号は互い違いにされ、部分的に重複される）。

【0174】

さらなるバリエーションでは、複数の暗号プリアンブルは、各トランシーバのフレームに含まれ得る。特定の例では、図39に示されるように、各フレームに2つの暗号（1および2）がある。暗号1は（例えば、前述の技術を使用して）最も近いデバイスへの安全な距離測定のために使用され、全ての暗号1セグメントは時間整列される。暗号2は、互い違いにされ、相関/累積後に複数のピークを生成することが意図される。これらのピークは、応答トランシーバの個々の距離を明らかにする。これらの複数の距離測定値に基づいて、車両に対するキーフォブの位置（またはその逆も可能）（例えば、距離および方向）を見出すために、マルチラテレーションおよび/または三角測量が使用可能である。第2暗号の分野のずれ込みは、暗号1と暗号2との間の可変的な送信ギャップにより達成される（この例では0から3の範囲の  $n$  に対して、 $1024 \text{ ns} + n * 128 \text{ ns}$ ）。

【0175】

暗号2から導出された距離は、暗号2がトランシーバ「カムA」からの最初の送信後に攻撃者に知られ得るので、安全ではない場合がある。暗号1は、任意選択でスキップされてもよく、その場合、トランシーバ「カムA」の距離測定値のみが安全であり、残り（B, C, D）は潜在的に攻撃される可能性がある。

【0176】

図40と図41とは、フレームごとに2つの暗号プリアンブルを使用するが、ペイロードの位置が異なる、図39の実施形態の代替的な変形を示す。図39ではペイロードは両方の暗号フィールドに先行するが、図40ではペイロードは暗号フィールドの間に置かれ、図41ではペイロードはフレームの終わりに、第2暗号フィールドの後に付加される。

【0177】

本発明は、上記の記載を単に例示としてのみ示し、詳細の修正は、本発明の範囲内でなされ得ることが理解されたい。

【0178】

場合によっては異なる実施形態として説明されるが、本開示全体にわたって説明される変形例のいずれかまたは全て（例えば、説明された種々のフレームの編成、暗号フィールドなど）は単一のデバイスまたはシステム内の異なる動作モードとして提供され得る。

【0179】

前述の本発明の様々な実施形態は、下記の特徴および利点のいくつかまたは全てを提供することができる。

【0180】

実施形態は、直列的ではなく並列的に複数のパケットの送信を提供してもよい。これにより、受信機がアクティブのままである必要がある時間が短縮される（省電力）。

【0181】

様々な異なる方法および組み合わせが可能である。例えば、複数の送信の開始時間（第1 *Inter-preamble* シンボル）は、可変遅延（前述の例では典型的には0から  $2000 \text{ ns}$  の間であるが、他の遅延を使用することができる）によりオフセット可能である。記載された方法の多くまたは全てに共通することは、暗号プリアンブルの開始が全ての送信にわたって整列されることである。

【0182】

10

20

30

40

50

実施形態は、単一の同時パケットに基づいてローカリゼーションを計算することを可能にし得る（「単一の同時パケット」という用語が並列に送信される応答フレームの複数のバージョンを指す）。可変オフセットにより、I p a t o v アキュムレータには複数の分離したピークがある。これは、各ロック / アンカからキーフォブまでの距離の計算を可能にする。複数の I p a t o v ベースの距離は安全ではない可能性があるが、最短の I p a t o v 距離は、一般的に、D e c a C y p h e r ベースの距離に一致すべきである。これにより、3 回少ない、1 回の安全な距離測定を行うことができる。したがって、このような三角測量に基づく位置特定は、依然として適度に安全である。安全な距離測定値（D e c a C y p h e r に基づく）が I p a t o v に基づく測定値の最短値と一致する場合、パケットは、したがって、信頼性がある / 真正であるとみなされ、それ以外の場合、パケットは廃棄され、および / または距離測定のために利用され得ない。

10

#### 【0183】

実施形態は、キーフォブ（最終メッセージの受信機）がそのアキュムレータ内の全てのピークを見ることができるよう、応答アンカデバイス上でクロッククリスタルのトリミングを実施し得る。アンカ間の C F O が 1 - 2 p p m を超えて異なる場合、キーフォブは、それがロックオンしたアンカのピークのみを見る。他のアンカからの余分なピークは全くない（または、強く減衰される）。全ての C F O を互いに近づけるために、全てのアンカはキーフォブからの初期メッセージを聴取し、受信中に計算された C F O をチェックし、次いで、全てが正確に同じ周波数（例えば、キーフォブのクロックから 2 p p m）で応答するようにそれらのクリスタルをトリミングする。キーフォブは、目標とする C F O（この例では - 2 p p m）を知っているため、（キャリア積分器を - 2 p p m に事前に初期化することにより）そのキャリア回復アルゴリズムをより速く収束させることができる。これは、I p a t o v プリアンプルの短縮を可能にする。

20

#### 【0184】

実施形態は、200  $\mu$ s のような特定の期間（したがって、時間測定を高速化するか、または低速化する）クロッククリスタルをトリミング解除することにより、その時間オフセットを必要な遅延に調整するまで、送信デバイスにおいて、送信グリッドに対する補償を実施してもよい。これにより、送信機は 8 n s の送信グリッドに限定されるのではなく、いつでも効果的に送信することが可能となる。

#### 【0185】

30

主に特定の条件でパケット長を短縮することを意図したメインの方式の変形例が提供され得る。例えば、将来のチップでは、メッセージ内の任意の遅延を設定し得る。その場合、I p a t o v / データシンボルの数を変える必要はない。ローカリゼーションが必要とされず、全てのデータペイロードが同一であり得る場合、0 n s オフセットを有する方法を実行することが可能である。このようなパケットは、デフォルトよりもはるかに短くなる。これは、また、全てのアンカがパケットを送信することができるという利点を提供することができ、その結果、好ましい事前に選択された送信機からのリターンチャネルにおける障害により、パケットが受信されないという危険性がない。

#### 【0186】

データペイロードが必要でない場合、データペイロードはミュートされ、最後に送信され得て（またはまったく送信されない）、電力が節約される。より一般的には、いくつかのバリエーションでは、例えば、I p a t o v、S F D、および / またはデータペイロードなどのフレームの特定の部分は、いくつかのアンカ上でミュートされ、選択されたアンカのみがフレームのこれらの部分を送信する。しかしながら、全てのアンカは、暗号プリアンブル（D e c a C y p h e r）を送信する。これは、総送信電力バジェットが最適化されることを可能にする。I p a t o v プリアンプルを送信するアンカは、様々な方法、例えば、キーフォブからの以前のメッセージに基づいて、または他の送信方法（B l u e t o o t h（登録商標）など）に基づいて、事前に選択され得る。一般的に、最も強いと考えられるアンカのみが、同期 I p a t o v プリアンプルシーケンスを送信するために選択され得る。

40

50

【 0 1 8 7 】

記載されたプロセスまたはその一部は、適切なデータ処理デバイス（例えば、図 3 A に示されるようなコントローラ）による実行のために、1 つまたは複数のコンピュータ可読媒体に格納された 1 つまたは複数のコンピュータプログラムを使用して実装され得る。いくつかの実施形態では、方法は、ハードウェアとソフトウェアとの組み合わせを使用して実行されてもよいが、ハードウェアのみの実施形態も可能である。

【 図 面 】

【 図 1 】

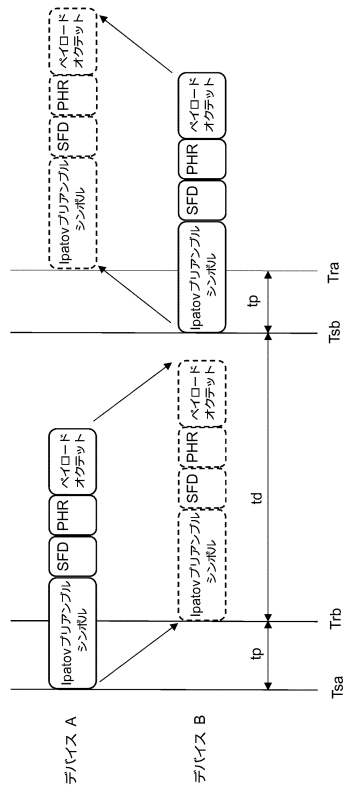


Figure 1

【 図 2 】

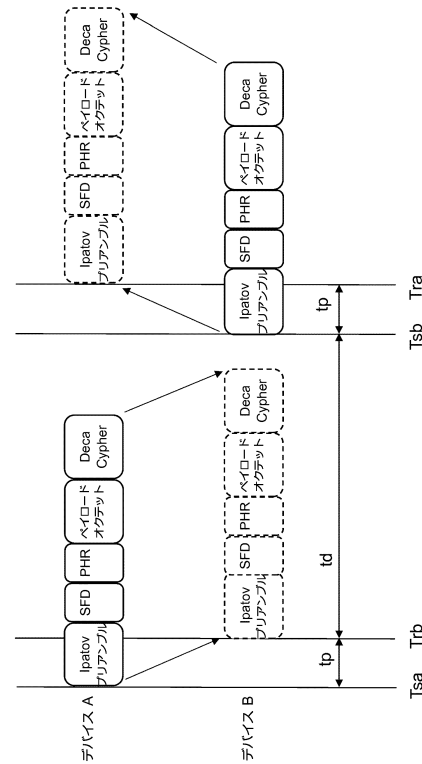


Figure 2

10

20

30

40

50

【図 3 A】

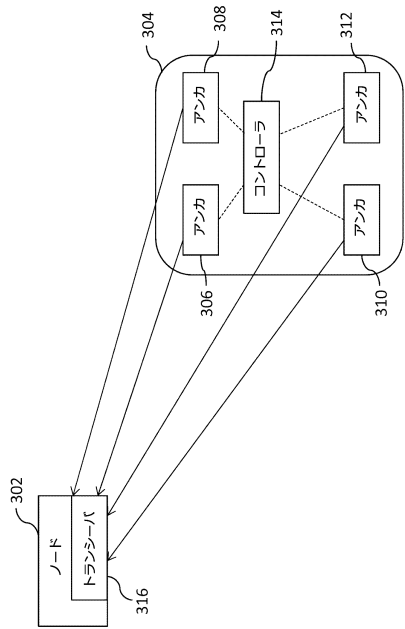


Figure 3A

【図 3 B】

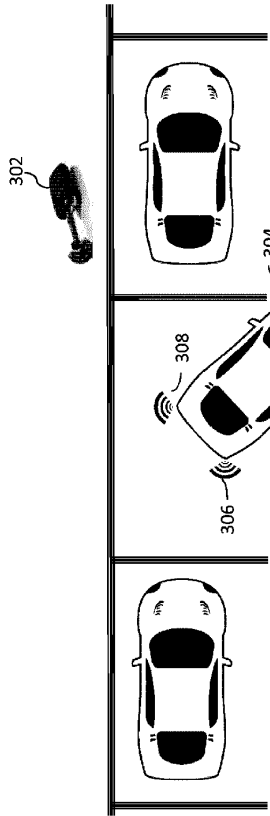


Figure 3B

【図 4】

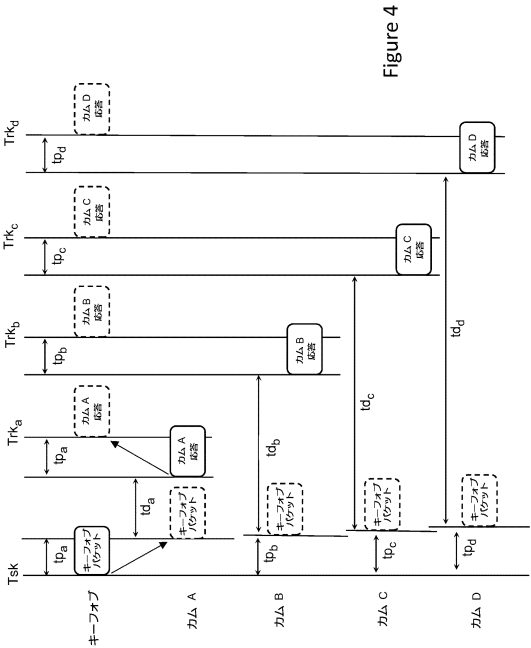
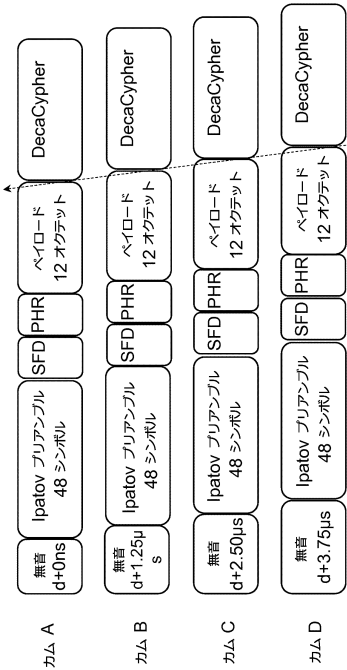


Figure 4

【図 5】



DecaCyphersは  
1.25μsの間隔をあけて送信される

Figure 5

【図 6】

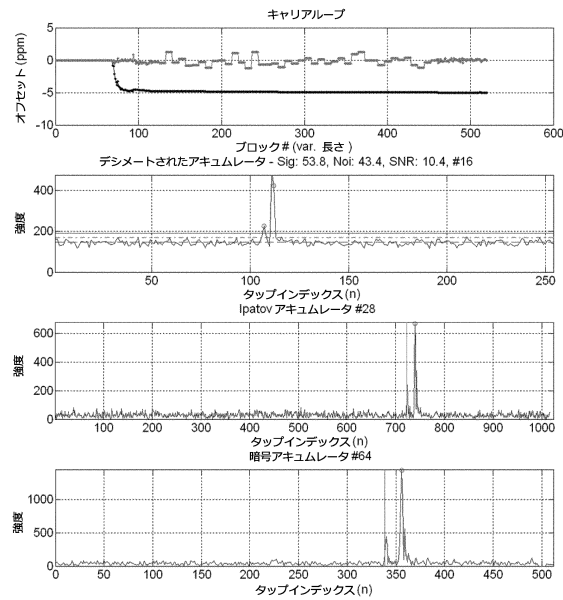


Figure 6

【図 7】

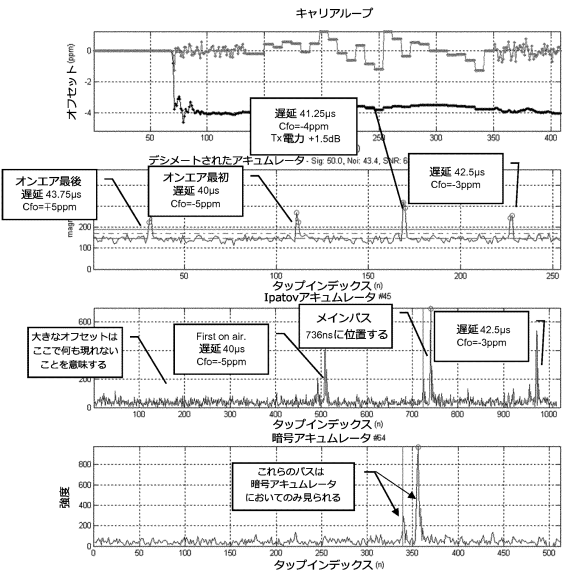


Figure 7

【図 8】

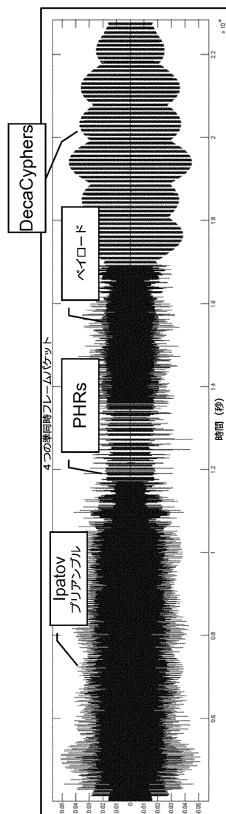


Figure 8

【図 9】

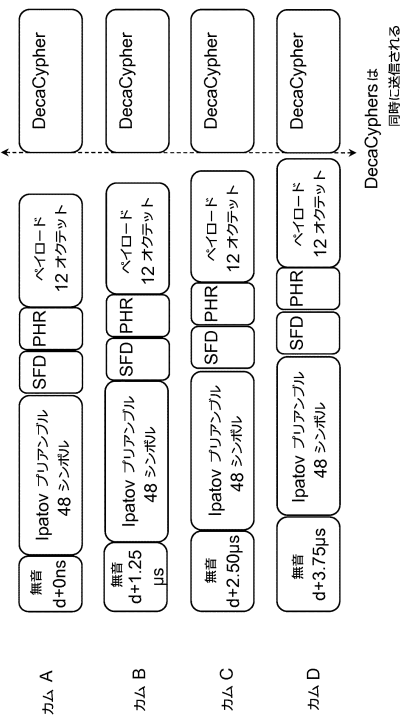


Figure 9

10

20

30

40

50

【図 1 0】

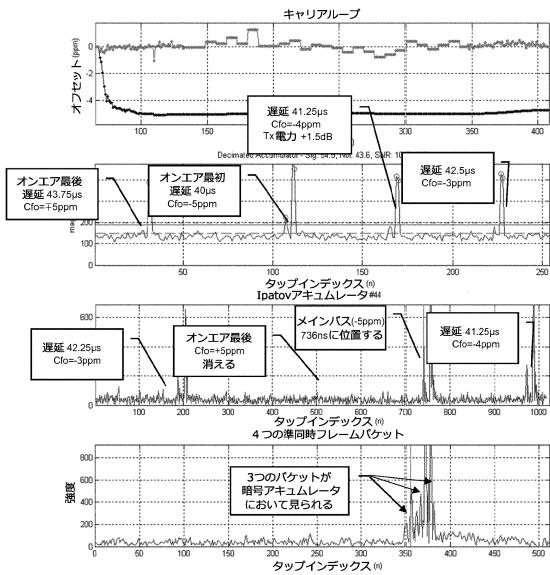


Figure 10

【図 1 1】

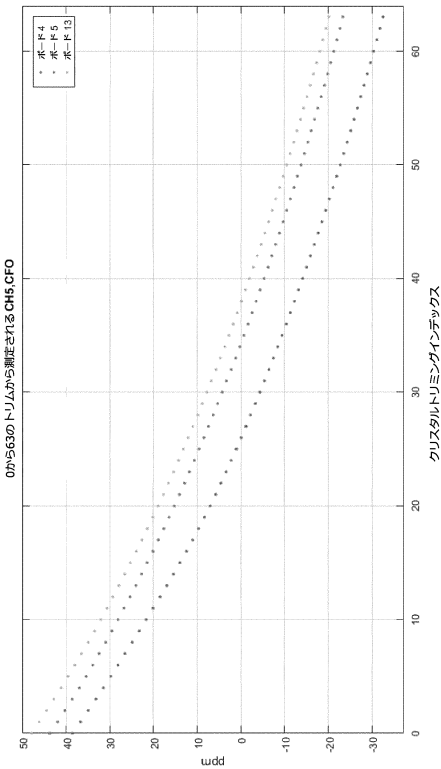


Figure 11

【図 1 2】



Figure 12

【図 1 3】

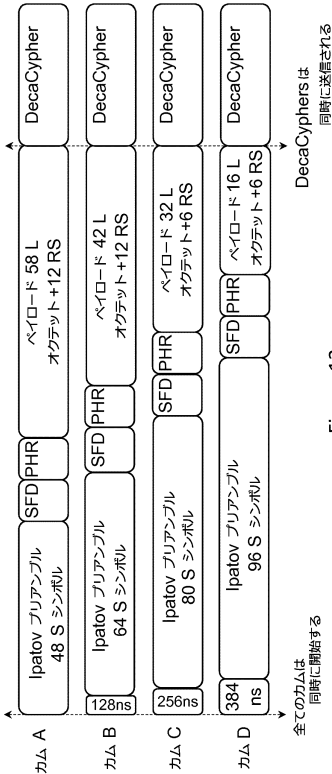


Figure 13

10

20

30

40

50

【図 14】

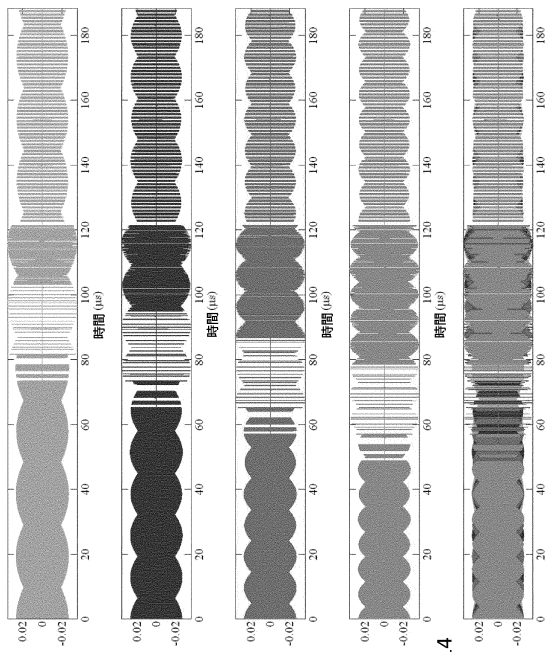


Figure 14

【図 15】

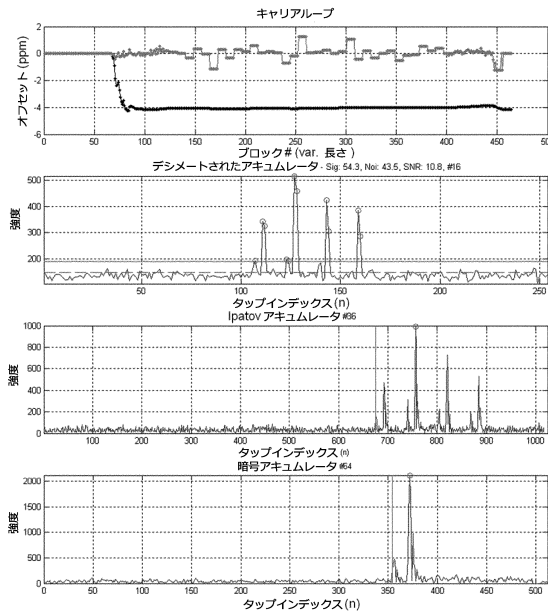


Figure 15

【図 16】

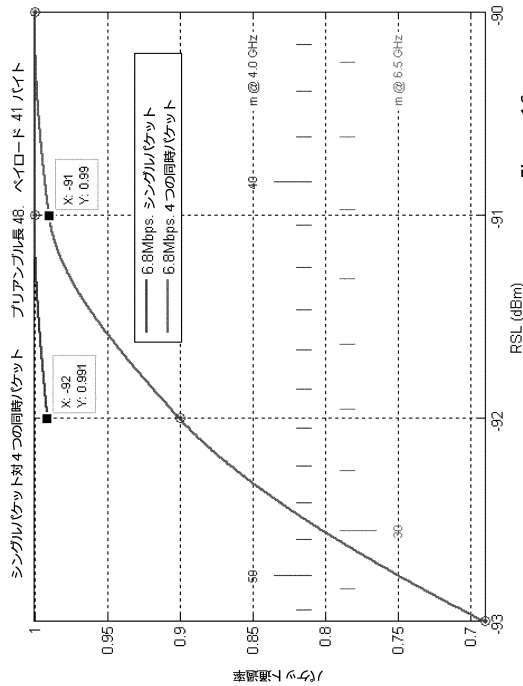


Figure 16

【図 17】

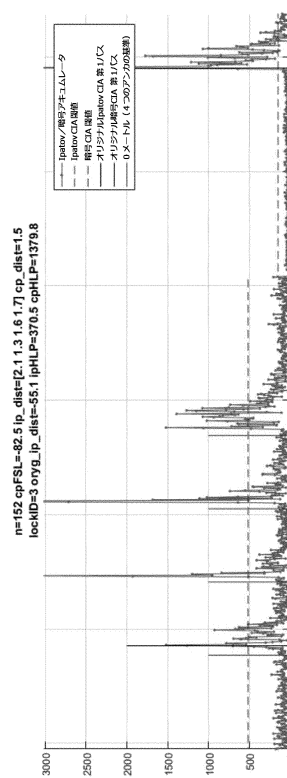


Figure 17

10

20

30

40

50

【図 18】

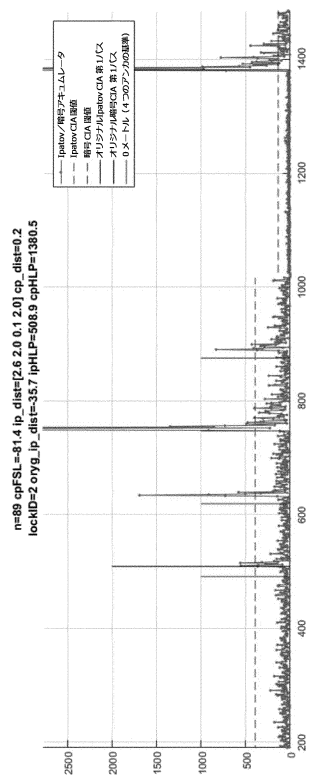


Figure 18

【図 19】

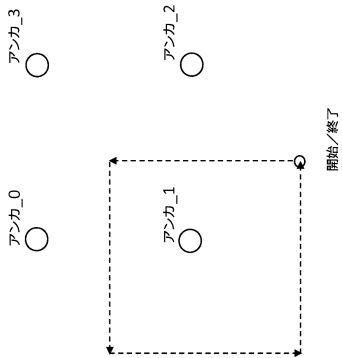


Figure 19

【図 20】

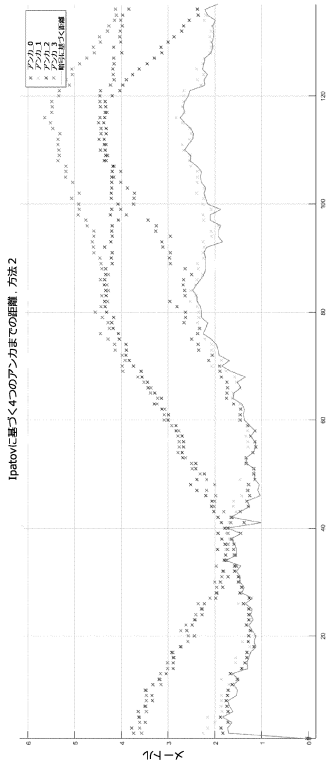


Figure 20

【図 21】

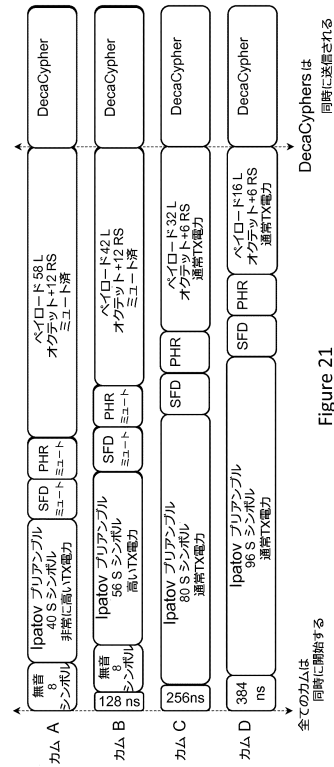


Figure 21

10

20

30

40

50



【図 2 2】

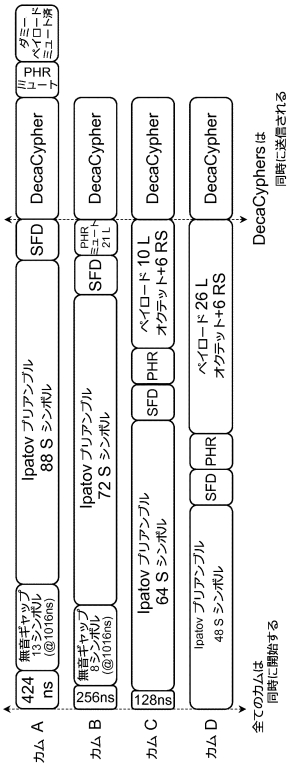


Figure 22

【図 2 3】

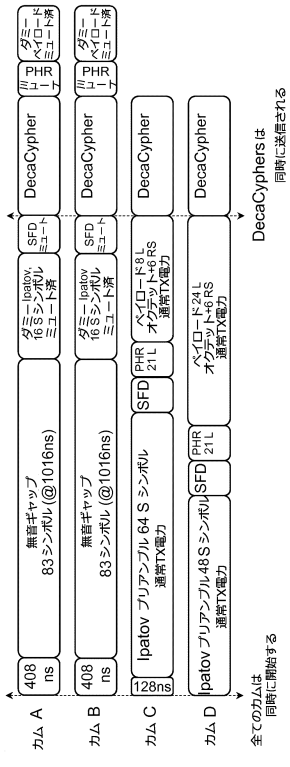


Figure 23

【図 2 4】

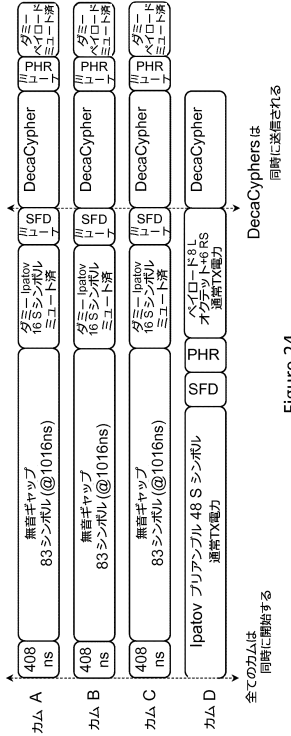


Figure 24

【図 2 5】

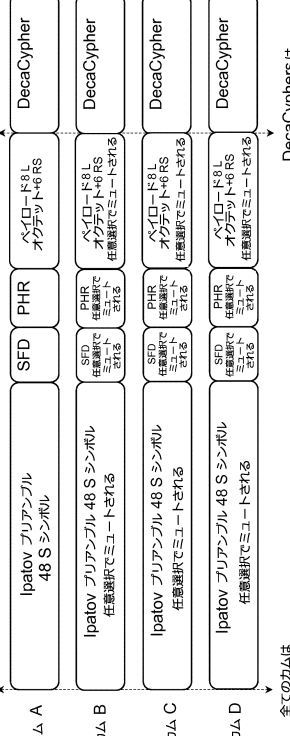


Figure 25

【図 26】

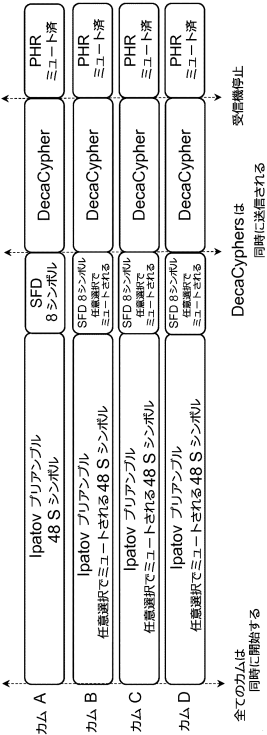


Figure 26

【図 27】

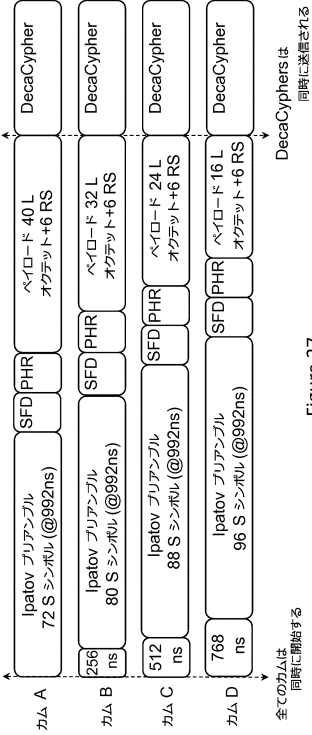


Figure 27

【図 28】

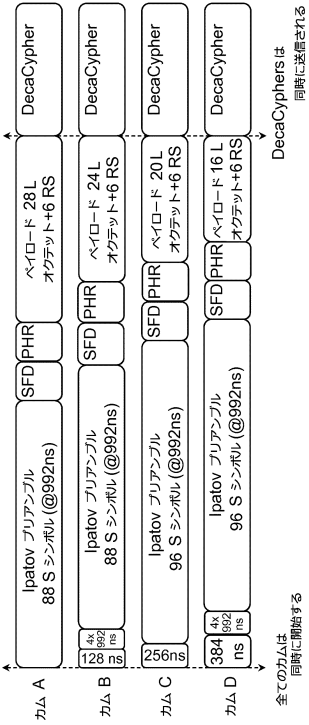


Figure 28

【図 29】

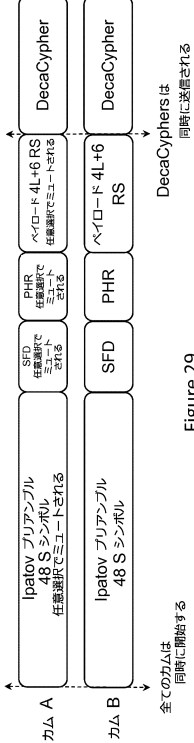


Figure 29

10

20

30

40

50

【図 30】

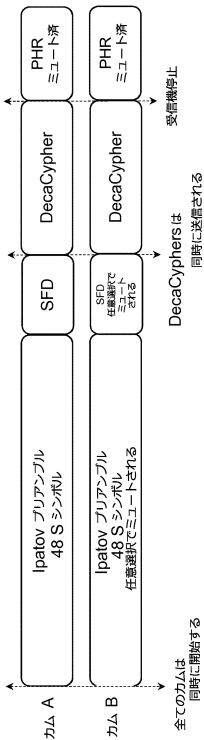


Figure 30

【図 31】

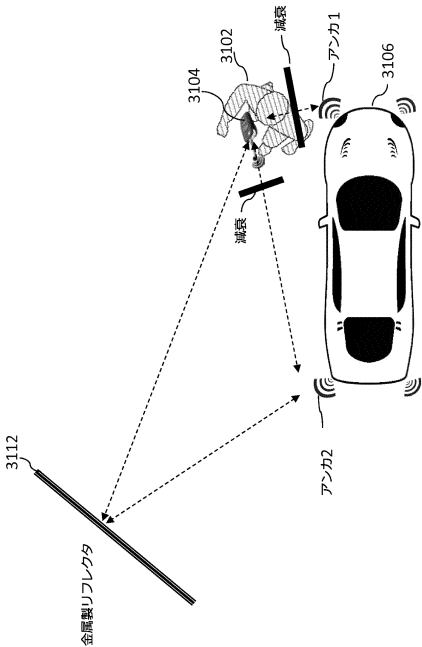


Figure 31

【図 32】

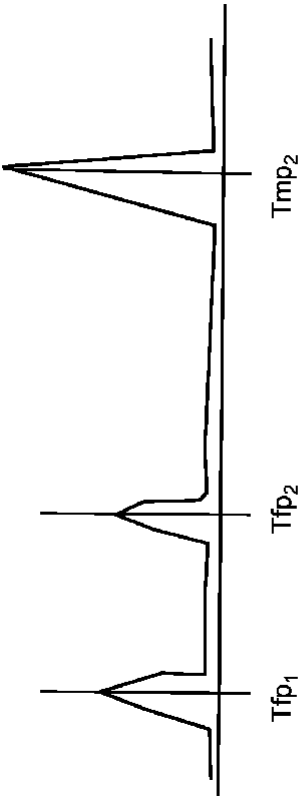


Figure 32

【図 33】

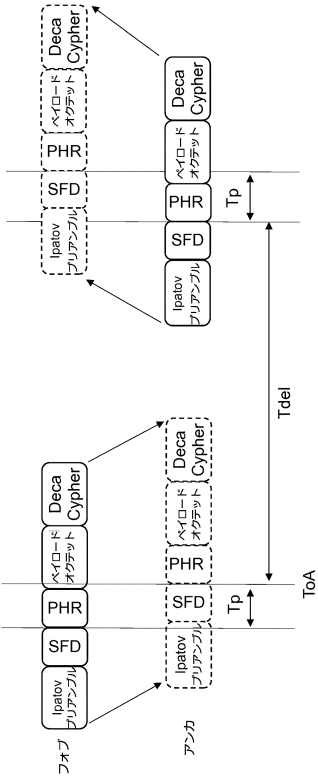


Figure 33

【図 3 4】

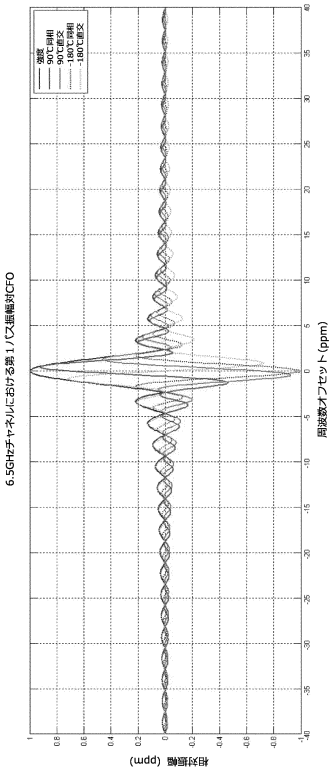


Figure 34

【図 3 5】

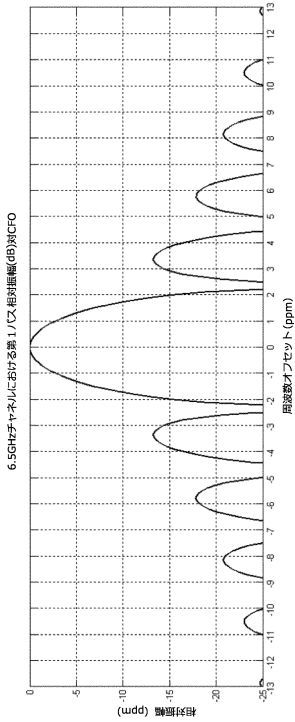


Figure 35

【図 3 6】

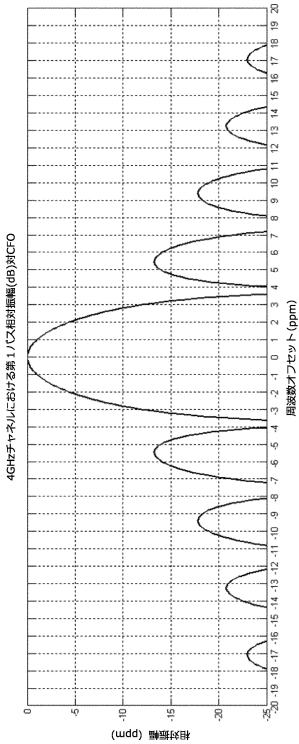


Figure 36

【図 3 7】

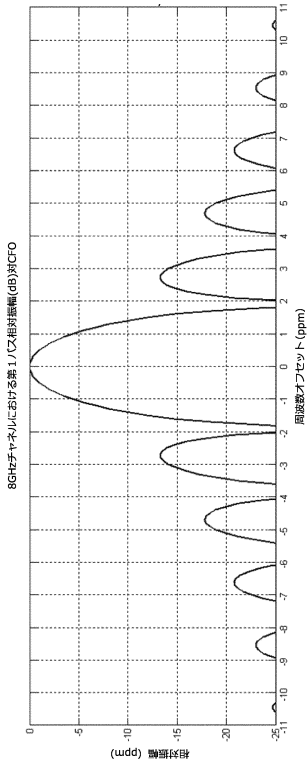


Figure 37

10

20

30

40

50

【図 38】

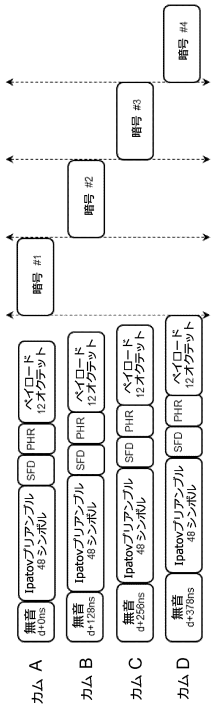


Figure 38

【図 39】

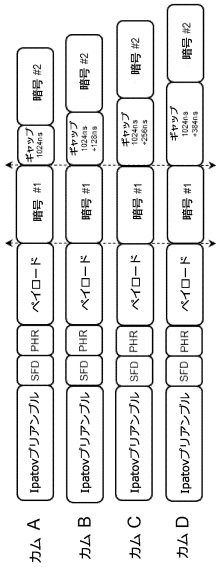


Figure 39

【図 40】

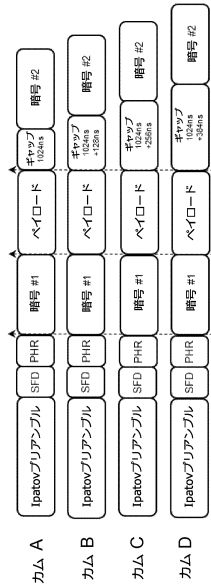


Figure 40

【図 41】

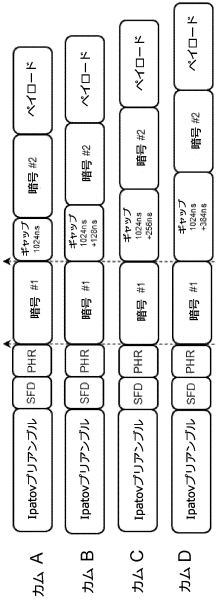


Figure 41

10

20

30

40

50

---

フロントページの続き

(33)優先権主張国・地域又は機関

英国(GB)

(31)優先権主張番号 1811245.8

(32)優先日 平成30年7月9日(2018.7.9)

(33)優先権主張国・地域又は機関

英国(GB)

(56)参考文献 特開2011-217392(JP, A)

米国特許出願公開第2012/0219093(US, A1)

特開2015-062302(JP, A)

特開2010-283582(JP, A)

(58)調査した分野 (Int.Cl., DB名)

H04B 1/7183