

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号  
特許第7619617号  
(P7619617)

(45)発行日 令和7年1月22日(2025.1.22)

(24)登録日 令和7年1月14日(2025.1.14)

(51)国際特許分類	F I			
H 0 4 B	1/401(2015.01)	H 0 4 B	1/401	
H 0 4 B	7/06 (2006.01)	H 0 4 B	7/06	8 6 0
H 0 4 B	7/08 (2006.01)	H 0 4 B	7/08	6 8 0

請求項の数 8 (全17頁)

(21)出願番号	特願2021-26801(P2021-26801)	(73)特許権者	504157024 国立大学法人東北大学 宮城県仙台市青葉区片平二丁目1番1号
(22)出願日	令和3年2月22日(2021.2.22)	(74)代理人	110003649 弁理士法人真田特許事務所
(65)公開番号	特開2022-128336(P2022-128336 A)	(74)代理人	100092978 弁理士 真田 有
(43)公開日	令和4年9月1日(2022.9.1)	(72)発明者	亀田 卓 宮城県仙台市青葉区片平二丁目1番1号 国立大学法人東北大学内
審査請求日	令和6年1月31日(2024.1.31) (出願人による申告) 令和元年~令和2年度、総務省、「電波資源拡大のための研究開発」、「高ノイズ環境における周波数共用のための適応メディアアクセス制御に関する研究開発」委託研究、産業技術力強化法第17条の適用を受ける特許出願	(72)発明者	芝 隆司 宮城県仙台市青葉区片平二丁目1番1号 国立大学法人東北大学内
		(72)発明者	末松 憲治 宮城県仙台市青葉区片平二丁目1番1号 最終頁に続く

(54)【発明の名称】 通信回路、通信システム及び通信方法

(57)【特許請求の範囲】

【請求項1】

複数のセンサノードと無線通信を行うアクセスポイントに備えられる通信回路であって、前記複数のセンサノードの数、回転周期及び回転方向の計測を行い、計測された前記回転周期に基づき、第1のモード又は第2のモードを選択し、前記第1のモードが選択された場合には、第1の周期で前記アクセスポイントから送出されるビームの向きを前記数及び前記回転方向に基づき回転させて通信範囲に存在するセンサノードに対して通信を行い、前記第2のモードが選択された場合には、前記第1の周期よりも長い第2の周期で前記ビームの向きを前記数及び前記回転方向に基づき回転させ、又は、前記ビームの向きを固定させて、通信範囲に存在するセンサノードに対して通信を行う、通信回路。

10

【請求項2】

前記ビームの向きを固定させることによって前記数及び前記回転周期の計測を同時に行った後に、前記ビームの向きを時計回り及び反時計回りに回転させることによって前記回転方向の計測を行う、請求項1に記載の通信回路。

【請求項3】

前記ビームの向きを固定させることによって前記回転周期の計測を行った後に、前記ビームの向きを時計回り及び反時計回りに回転させることによって前記数及び前記回転方向の計測を行う、請求項1に記載の通信回路。

【請求項4】

20

前記第 1 のモードにおいて、

測定した前記回転周期によって、第 1 の方向から順番にビームの向きを回転させ、前記第 1 の方向とは異なる方向を先頭に変えて順番に前記ビームの向きを回転させる処理を繰り返した後に、前記ビームの向きを固定させて停止しているセンサノードのそれぞれに対して通信を行う、請求項 1 ~ 3 のいずれか一項に記載の通信回路。

【請求項 5】

前記第 1 のモード又は前記第 2 のモードにおける前記アクセスポイントの送信電力は、前記数、前記回転周期及び前記回転周期の計測の際における、前記アクセスポイントの送信電力と最小受信電力との中間値を通信マージン程度上回る値である、請求項 1 ~ 4 のいずれか一項に記載の通信回路。

10

【請求項 6】

アクセスポイントと複数のセンサノードとを有する通信システムであって、前記アクセスポイントは、請求項 1 ~ 5 のいずれか一項に記載の通信回路と、複数のアンテナと、前記センサノードをビームトラッキングするためのバックスキュッタ信号を、前記複数のアンテナのいずれかを介して前記センサノードから受信する受信機と、を備え、

前記複数のセンサノードは、

前記バックスキュッタ信号を前記アクセスポイントへ送信するための単極単投スイッチを備える、通信システム。

20

【請求項 7】

アクセスポイントと複数のセンサノードとを有する通信システムであって、前記複数のセンサノードは、クロック周波数に基づいたオン/オフの制御により生成したバックスキュッタ信号を前記アクセスポイントへ送信するための単極単投スイッチを備え、

前記アクセスポイントは、

複数のアンテナと、

前記センサノードをビームトラッキングするための前記バックスキュッタ信号を前記複数のアンテナのいずれかを介して前記複数のセンサノードから受信して、受信した前記バックスキュッタ信号を前記アクセスポイントからの送信信号とミキシングすることにより、前記複数のセンサノードごとの前記クロック周波数を検出する受信機と、

30

検出された前記クロック周波数に基づいて特定した前記複数のセンサノードに対して、セクタごとのセンサノードの数、回転周期及び回転方向との計測を行うと共に、計測した前記数、前記回転周期及び前記回転方向に基づき、前記複数のアンテナのいずれから送出するビームの向きを制御することにより、通信範囲に存在するセンサノードに対して通信を行う通信回路と、

を備える、通信システム。

【請求項 8】

複数のセンサノードと無線通信を行うアクセスポイントにおいて、前記複数のセンサノードの数、回転周期及び回転方向の計測を行い、計測された前記回転周期に基づき、第 1 のモード又は第 2 のモードを選択し、前記第 1 のモードが選択された場合には、所定の周期よりも短い周期で前記アクセスポイントから送出されるビームの向きを前記数及び前記回転方向に基づき回転させて通信範囲に存在するセンサノードに対して通信を行うと共に、前記ビームの向きを固定させて停止しているセンサノードに対して通信を行い、

40

前記第 2 のモードが選択された場合には、前記所定の周期よりも長い周期で前記ビームの向きを前記数及び前記回転方向に基づき回転させ、又は、前記ビームの向きを固定させて、通信範囲に存在するセンサノードに対して通信を行う、通信方法。

【発明の詳細な説明】

50

## 【技術分野】

## 【0001】

本明細書に記載する技術は、通信回路、通信システム及び通信方法に関する。

## 【背景技術】

## 【0002】

Internet of Things (IoT) 社会においては、あらゆるモノをインターネット等のネットワークに接続することになる。工場を例に考えると、有線ネットワークの末端は無線 Local Area Network (LAN) 等のアクセスポイント (AP) となる。その先のモノへの接続は、無線 LAN をはじめとする各種無線通信システムで行われている。モノは、場所が変動する或いは可動なロボットアーム等の工作機械の先端や、移動する無人搬送車 (AGV) の上に置かれている。このため、有線ネットワークでの接続が困難であることによる。このように、モノへのネットワーク接続のためには、無線 IoT 通信が重要となる。

10

## 【0003】

例えば、工作機械の基部に設置された複数アンテナ素子を備えるアクセスポイントにより、比較的高速に移動・回転する工作機械の可動アーム本体、あるいはアーム先端にとりつけられた物体のセンサノード (SN) を、簡易的なビームフォーミングでトラッキングする無線 IoT 通信と、これを実現するための Wi-Fi 信号を用いたバックスキャッタシステムが存在する。

## 【先行技術文献】

## 【特許文献】

20

## 【0004】

【文献】国際公開第 2011/042974 号

【文献】特開 2008-228136 号公報

## 【非特許文献】

## 【0005】

【文献】D.-H. Kim, J. Hirokawa, and M. Ando, "Design of waveguide short-slot 2-plane couplers for one-body 2-D beam-switching Butler matrix application," IEEE Trans. MTT, vol.64, no.3, pp.776-784, 2016.

【文献】C.-H. Hsieh, et al., "A novel concept for 2D Butler matrix with multi-layers technology," 2018 Asia Pacific Microwave Conference, pp.533-535, 2018.

30

## 【発明の概要】

## 【発明が解決しようとする課題】

## 【0006】

無線 IoT 通信の実現方法としては、アンライセンスバンドを使う無線 LAN や Bluetooth (登録商標) 等が多くの場合使われているため、システム間干渉などにより、スループットの低下や、リアルタイム性の欠如が発生するおそれがある。多数の SN が AP へ接続される場合には、システム間干渉がより発生するおそれがある。

## 【0007】

1つの側面では、本明細書に記載する技術は、隣接する同一周波数帯を用いるシステム間干渉を抑圧し、空間利用効率を向上させることを目的とする。

40

## 【課題を解決するための手段】

## 【0008】

1つの側面において、通信回路は、複数のセンサノードと無線通信を行うアクセスポイントに備えられる通信回路であって、前記複数のセンサノードの数、回転周期及び回転方向の計測を行い、計測された前記回転周期に基づき、第1のモード又は第2のモードを選択し、前記第1のモードが選択された場合には、第1の周期で前記アクセスポイントから送出されるビームの向きを前記数及び前記回転方向に基づき回転させて通信範囲に存在するセンサノードに対して通信を行い、前記第2のモードが選択された場合には、前記第1の周期よりも長い第2の周期で前記ビームの向きを前記数及び前記回転方向に基づき回転させ、又は、前記ビームの向きを固定させて、通信範囲に存在するセンサノードに対して

50

通信を行う。

【発明の効果】

【0009】

1つの側面として、隣接する同一周波数帯を用いるシステム間干渉を抑圧し、空間利用効率を向上させることができる。

【図面の簡単な説明】

【0010】

【図1】実施形態としての通信システムの設置例を示す図である。

【図2】図1に示したアクセスポイント及びセンサノードのハードウェア構成例を模式的に示すブロック図である。

10

【図3】図1に示した通信システムにおけるSN検知フェーズの動作例を説明する図である。

【図4】図1に示した通信システムにおけるWi-Fi通信フェーズの動作例を説明する図である。

【図5】(a)及び(b)は図1に示した通信システムにおけるバックスキャッタ信号のダウンコンバートによるSNスペクトラム識別手法を説明する図である。

【図6】図1に示した通信システムにおけるSN検知フェーズの通信範囲を説明する図である。

【図7】図1に示した通信システムにおけるWi-Fi通信フェーズの通信範囲を説明する図である。

20

【図8】図1に示した通信システムにおけるビームフォーミングとセンサノードの動きとの関係を説明する図である。

【図9】図1に示した通信システムにおけるSN検知フェーズのタイムフローを説明する図である。

【図10】図1に示した通信システムにおける高速回転フェーズのタイムフローを説明する図である。

【図11】図1に示した通信システムにおける回転SNを優先する場合の低速回転/停止フェーズのタイムフローを説明する図である。

【図12】図1に示した通信システムにおける停止SNを優先する場合の低速回転/停止フェーズのタイムフローを説明する図である。

30

【図13】図1に示した通信システムにおける通信動作の第1の例を説明するフローチャートである。

【図14】図1に示した通信システムにおける通信動作の第2の例を説明するフローチャートである。

【発明を実施するための形態】

【0011】

以下、図面を参照して実施の形態を説明する。ただし、以下に示す実施形態はあくまでも例示に過ぎず、実施形態で明示しない種々の変形例や技術の適用を排除する意図はない。すなわち、本実施形態を、その趣旨を逸脱しない範囲で種々変形して実施することができる。

40

【0012】

また、各図は、図中に示す構成要素のみを備えるという趣旨ではなく、他の構成要素を含むことができる。以下、図中において、同一の符号を付した部分は特に断らない限り、同一若しくは同様の部分を示す。

【0013】

〔A〕実施形態

〔A-1〕構成例

図1は、実施形態としての通信システム100の設置例を示す図である。

【0014】

通信システム100は、工作機械4等を含む。工作機械4は、例えばアーム形状を有し

50

、アームの先端に設置されているハンドで工作物を把持して、工作物をベルトコンベア 5 に載置する。工作機械 4 は、5 m もしくはそれ以上の間隔で配置されていてよく、ロボットアームの可動範囲は半径 2 m 程度であってよい。

【0015】

工作機械 4 の基部 3 にはアクセスポイント (AP) 1 が取り付けられており、工作機械 4 のハンドやアームにはセンサノード (SN) 2 が取り付けられている。図 1 に示す例では簡単のために各工作機械 4 にセンサノード 2 が 1 つのみ示されているが、本実施形態においては、図 2 等を用いて後述するように工作機械 4 には複数のセンサノード 2 が取り付けられているものとする。

【0016】

通信システム 100 は、例えば 5 GHz 帯の無線 LAN を用いて、工作機械 4 の基部 3 に設置された複数のアンテナ素子を有するアクセスポイント 1 により、比較的高速に移動又は回転する工作機械 4 の可動式のアームやハンドに設置されたセンサノード 2 を、簡易的なビームフォーミングでトラッキングする。アクセスポイント 1 は、工作機械 4 の基部に設置された比較的少数のアンテナ素子 (例えば、2 × 2 パッチアレーアンテナ) を備えてよい。アーム先端に取り付けられたセンサノード 2 の回転数は最大 1,000 rpm (回転周期 60 ms) であってよい。

【0017】

図 2 は、図 1 に示したアクセスポイント 1 及びセンサノード 2 のハードウェア構成例を模式的に示すブロック図である。

【0018】

図 2 に示すように、本実施形態における工作機械 4 は、複数 (図示する例では 7 つ) のセンサノード 2 が取り付けられる。

【0019】

アクセスポイント 1 は、通信回路の一例であり、5 GHz 帯 Wi-Fi TRX 11 (以下、単に「TRX 11」と称する場合がある)、Wi-Fi バックスキャッタ RX 12 (以下、単に「バックスキャッタ RX 12」と称する場合がある)、ビームフォーミング処理部 13、複数の素子アンテナ 14、サーキュレータ 15 及びスイッチ 16 を備える。

【0020】

TRX 11 は、送受信機である。TRX 11 の入出力 RF 信号は、ビームフォーミング処理部 13 と複数の素子アンテナ 14 を介して、所定の方向に向けた複数のビームを切り替えることができる。センサノード 2 は、そのビームにカバーされたエリアに入った場合に、5 GHz 帯の Wi-Fi 信号を送受信することになる。

【0021】

バックスキャッタ RX 12 は、受信機であり、TRX 11 による Wi-Fi 信号の送信に応じてセンサノード 2 から返ってきた、バックスキャッタ信号を受信する。ビームフォーミング処理部 13 は、複数の素子アンテナ 14 によって、センサノード 2 との間におけるアナログビームフォーミング処理を実行し、例えば、ビームフォーミングネットワーク (BFN: beam-forming network) と SP4T (single pole four throw) との組み合わせにより実現されてよい。

【0022】

アクセスポイント 1 に備えられる素子アンテナ 14 の数は、4 ~ 16 素子程度であってよい。例えば、2 × 2 又は 4 × 4 のアレーアンテナであれば、2 次元バトラーマトリクス等によりアナログビームフォーミング回路が構成される。SN 検知フェーズで、アクセスポイント 1 においては、センサノード 2 をビームトラッキングするために必要となる Wi-Fi バックスキャッタ信号の受信系であるバックスキャッタ RX 12 はスイッチ 16 の後段に配置され、5 GHz 帯 Wi-Fi TRX 11 はサーキュレータ 15 に接続されている。これにより、アクセスポイント 1 の素子アンテナ 14 で受信された信号はスイッチ 16 により選択的に TRX 11 または RX 12 に入力される。

【0023】

10

20

30

40

50

サーキュレータ 15 は、TRX 11 に接続される信号線とバックスキヤッタ RX 12 が接続される信号線との分岐点に設けられる。サーキュレータ 15 は、3つの端子を有し、或る端子から入力された信号を特定の端子へ出力させる。サーキュレータ 15 は、TRX 11 から出力された送信 Wi-Fi 信号を素子アンテナ 14 側へ出力する。また、サーキュレータ 15 は、スイッチ 16 が ON になっているタイミングでは素子アンテナ 14 側からの入力をバックスキヤッタ RX 12 側へ出力される一方、スイッチ 16 が OFF になっているタイミングでは素子アンテナ 14 側からの入力を TRX 11 側へ出力させる。

**【0024】**

符号 A 1 に示す AP 送信スペクトラムは、アクセスポイント 1 から複数のセンサノード 2 に対する通信信号を示す。

**【0025】**

センサノード 2 は、5 GHz 帯 Wi-Fi TRX 21 (以下、単に「TRX 21」と称する場合がある)、単極単投スイッチ (SPST スイッチ) 22、クロック 23 及び素子アンテナ 24 を備える。ここでは、単素子アンテナの例を示しているが、センサノード 2 の寸法によっては、複数素子アンテナで構成されてもよい。

**【0026】**

TRX 21 は、送受信機であり、素子アンテナ 24 を介して、アクセスポイント 1 との間で 5 GHz 帯の Wi-Fi 信号を送受信する。センサノード 2 が通信を希望する場合、SPST スイッチ 22 において、周期的に ON/OFF の切り替え制御を実行し、アクセスポイント 1 に対してバックスキヤッタ信号を送信する。なお、SPST スイッチ 22 は、それ以外の場合は、常に ON に設定されることになる。SPST スイッチ 22 は、クロック 23 が出力するクロック信号の周波数  $f_{\text{clock}}$  に応じて周期的に ON/OFF の切り替え制御がされる。

**【0027】**

符号 A 2 に示す SN 検知フェーズの SN 送信スペクトラムは、通信を希望するセンサノード 2 が存在し、Wi-Fi バックスキヤッタ信号 (以下、単に「バックスキヤッタ信号」と称する場合がある) が発生している状況を示したものであり、5 GHz 帯の Wi-Fi 信号と共に、通信リクエストのタイミングでセンサノード 2 からアクセスポイント 1 に対して送信される。バックスキヤッタ信号が、5 GHz 帯の Wi-Fi 信号の周波数帯域 (チャンネル) の高域側及び低域側に存在していることになる。通常、このバックスキヤッタ信号のレベルは 5 GHz 帯の Wi-Fi 信号よりもパワーが小さい。アクセスポイント 1 の受信信号における 5 GHz 帯の Wi-Fi 信号は、ビームフォーミング処理部 13 や素子アンテナ 14 における反射や、素子アンテナ 14 から放射された信号が周囲環境 (たとえば、壁、床、天井や工作機械 4 など) での反射、及び、センサノード 2 での反射によるものである。符号 A 3 に示す Wi-Fi 通信フェーズの SN 送信スペクトラムは、Wi-Fi 通信フェーズにおいてセンサノード 2 がアクセスポイント 1 に対して送出する送信信号を示す。

**【0028】**

図 3 は、図 1 に示した通信システム 100 における SN 検知フェーズの動作例を説明する図である。

**【0029】**

符号 B 1 に示すように、アクセスポイント 1 は、まず TRX 11 から Wi-Fi ダミー信号を送信する。この Wi-Fi ダミー信号は Wi-Fi 通信に用いずバックスキヤッタ通信にのみ用いるため、ランダムデータなどで生成したもの、もしくはビーコン信号のような任意の Wi-Fi 信号であってよい。Wi-Fi ダミー信号はビームフォーミング処理部 13 によって、あるセクタに向けたビームとして送信される。

**【0030】**

符号 B 2 に示すように、センサノード 2 は、On-Off-Keying (OOK 変調) によって、素子アンテナ 24 と TRX 21 との間の SPST スイッチ 22 をクロック 23 によって駆動する。これによってスイッチは、オンとオフとがクロック周波数  $f_{\text{clock}}$  で切り替えられ

10

20

30

40

50

る。符号 B 3 に示すように、SN 検知フェーズでは TRX 2 1 は起動せず 50 終端とみなすことができるため、SPST スイッチ 2 2 のオン時は整合の無反射状態となり、SPST スイッチ 2 2 のオフ時は開放端の全反射状態となる。この無反射状態と全反射状態との切り替えによって、受信した Wi-Fi ダミー信号の反射波に OOK 変調がかけられる。したがって、Wi-Fi バックスキャッタ信号は、符号 B 4 で示されているように Wi-Fi 信号の側波スペクトラムとなる。

**【0031】**

センサノード 2 から送信された Wi-Fi バックスキャッタ信号は、アクセスポイント 1 で受信され、サーキュレータ 1 5 によって送信波と分離され、符号 B 5 に示すように SN 検知フェーズでオンにされているスイッチ 1 6 を経由して、バックスキャッタ Rx 1 2 10 に入力される。

**【0032】**

以上の仕組みにより、アクセスポイント 1 においては各センサノード 2 から送信されたバックスキャッタ信号を利用してセクタ内のセンサノード 2 の有無を検知できる。

**【0033】**

図 4 は、図 1 に示した通信システム 1 0 0 における Wi-Fi 通信フェーズの動作例を説明する図である。

**【0034】**

符号 C 1 に示すように、アクセスポイント 1 は、通常の Wi-Fi 規格に基づいて Wi-Fi 通信信号を送受信する。符号 C 2 に示すように、アクセスポイント 1 におけるセンサノード 2 からの Wi-Fi 信号受信時には、サーキュレータ 1 5 に接続されているフェーズ切替のためのスイッチ 1 6 をオフにすることで、受信波はバックスキャッタ Rx 1 2 20 に入力されず、TRX 1 1 に入力される。符号 C 3 に示すように、センサノード 2 の SPST スイッチ 2 2 は、クロック 2 3 に接続せず連続してオンにすることで、符号 C 4 に示すような Wi-Fi 通信信号を連続して送受信する。

**【0035】**

図 5 の ( a ) 及び ( b ) は、図 1 に示した通信システムにおけるバックスキャッタ信号のダウンコンバートによる SN スペクトラム識別手法を説明する図である。

**【0036】**

ごく短時間の SN 検知フェーズでセンサノード 2 の数を計測するためには、複数の Wi-Fi バックスキャッタ信号を同時に受信する必要がある。しかし、Wi-Fi バックスキャッタ信号は連続波を用いたバックスキャッタ信号と比べると広帯域信号であり、周波数分割による同時受信や多元接続は難しい。したがって、複数の Wi-Fi バックスキャッタ信号を同時に受信しセンサノード 2 の数を計測する方法が必要である。 30

**【0037】**

例えば、元の Wi-Fi 信号の乗算によるダウンコンバートによって狭帯域化することにより、センサノード 2 の数を識別することが想定される。センサノード 2 のクロック周波数  $f_{clock}$  は Wi-Fi 信号の帯域幅以上とすることで、バックスキャッタ信号と元の Wi-Fi 信号とは周波数軸上で重ならず、通常の Wi-Fi 通信とバックスキャッタ通信とを両立することができる。 40

**【0038】**

しかし複数のセンサノード 2 が同時に存在するとき、図 5 の ( a ) に示すようにバックスキャッタ信号同士は周波数軸上で重なりあうため、それぞれの信号を分離することができない。そこで、バックスキャッタ信号と元の Wi-Fi 信号の乗算によるダウンコンバートを行う。

**【0039】**

図 5 の ( b ) にダウンコンバート後の信号を示す。これによって RF 帯で広帯域のバックスキャッタ信号を IF 帯で狭帯域信号として受信することができる。更にセンサノード 2 毎にクロック周波数  $f_{clock}$  を変えることで、各バックスキャッタ信号は周波数軸上で重ならず、それぞれの信号を分離することができる。 50

## 【 0 0 4 0 】

図 6 は、図 1 に示した通信システム 1 0 0 における S N 検知フェーズの通信範囲を説明する図である。図 7 は、図 1 に示した通信システム 1 0 0 における W i - F i 通信フェーズの通信範囲を説明する図である。

## 【 0 0 4 1 】

S N 検知フェーズはバックスキット通信を行うため、アクセスポイント 1 の W i - F i 送信電力は W i - F i 通信フェーズの送信電力よりも大きくなる。図 1 に示した通信システム 1 0 0 の諸元を例示する。アクセスポイント 1 のアンテナ利得は 2 × 2 パッチアレーアンテナを想定して  $G_{AP} = 9$  [dBi] であってよく、センサノード 2 のアンテナ利得は無指向性単素子アンテナを想定して  $G_{SN} = 0$  [dBi] であってよい。また、S N 検知フェーズ時におけるセンサノード 2 の入出力電力比は  $M = -7$  [dB] であってよい。

10

## 【 0 0 4 2 】

図 6 に示す例において、S N 検知フェーズにおいては、アクセスポイント 1 の W i - F i 信号の空中線電力は  $P_{AP} = 20$  [dBm] と設定した。フリスの伝達公式から導出されるバックスキット通信のアクセスポイント 1 の受信電力  $P_r$  は式 ( 1 ) のように求められる。

## 【 0 0 4 3 】

## 【 数 1 】

$$P_r = \frac{P_{AP} G_{AP}^2 G_{SN}^2 \lambda^4 M}{(4\pi D)^4} \quad (1)$$

20

## 【 0 0 4 4 】

ここで、 $\lambda$  は搬送波の波長、 $D$  はアクセスポイント 1 とセンサノード 2 との間の距離である。式 ( 1 ) による  $P_r$  の導出を以下では通信手順に沿って説明する。アクセスポイント 1 から 2.6m ( 図 6 の実線円を参照 ) 離れたセンサノード 2 におけるアクセスポイント 1 の W i - F i 信号の受信電力は、-26.6 dBm (  $P_{AP}$  から 46.6 dB 減衰 ) である。 $M = -7$  [dB] であるため、このセンサノード 2 のバックスキット送信電力は -33.6 dBm であり、バックスキット R X 1 2 の最小受信感度を -80dBm とすれば、この時のアクセスポイント 1 におけるセンサノード 2 からのバックスキット信号の受信電力から想定して、S N 検知フェーズにおけるバックスキット通信可能なセンサノード 2 の範囲はアクセスポイント 1 から 2.6m ( 図 6 の実線円を参照 ) とした。また、W i - F i 通信におけるアクセスポイント 1 からの W i - F i 通信信号の受信感度を -70 dBm とすると、その通信範囲はアクセスポイント 1 から 390m ( 図 6 の二点鎖線円を参照 ) である。

30

## 【 0 0 4 5 】

W i - F i 通信フェーズにおいては、これまでに求めた S N 検知フェーズの通信範囲である 2.6m ( 図 6 の実線円を参照 ) 以上の通信範囲で W i - F i 通信可能であればよい。ここでは、マージンを考えて W i - F i 通信フェーズにおける通信範囲を 2 倍の 5.2m ( 図 6 の一点鎖線円を参照 ) とした。

40

## 【 0 0 4 6 】

図 7 にこの時の W i - F i 通信フェーズにおける通信範囲を示す。アクセスポイント 1 から 5.2m ( 図 7 の実線円を参照 ) の位置におけるアクセスポイント 1 からの W i - F i 通信信号の受信感度を -70 dBm とすると、フリスの伝達公式からアクセスポイント 1 の W i - F i 信号の空中線電力は  $P_{AP} = -17.4$  [dBm] と求められる。

## 【 0 0 4 7 】

すなわち、W i - F i 通信モードにおけるアクセスポイント 1 の送信電力は、S N 検知フェーズにおける、アクセスポイント 1 の送信電力と最小受信感度の中間値を通信マージン程度上回る値であってよい。

50

## 【 0 0 4 8 】

図 8 は、図 1 に示した通信システム 1 0 0 におけるビームフォーミングとセンサノードの動きとの関係を説明する図である。

## 【 0 0 4 9 】

図 8 では、アクセスポイント 1 に搭載の 2 × 2 パッチアレーアンテナで実現される 4 方向ビームフォーミングとともに、以下の説明で仮定するセンサノード 2 ( S N # 1 ) の動きを示している。4 方向のビームはアンテナ上部からアンテナ方向にみて時計回りに Y , R , B , G の順序で 4 方向のビームが形成されているとする。また、S N # 1 は時計回りに、周期 60 ms ( 回転数 1,000 rpm ) もしくは 600 ms ( 回転数 100 rpm ) で回転していると仮定する。

10

## 【 0 0 5 0 】

図 9 は、図 1 に示した通信システム 1 0 0 における S N 検知フェーズのタイムフローを説明する図である。

## 【 0 0 5 1 】

符号 D 1 に示すビームフォーミング ( B F ) 方向は、アクセスポイント 1 が選択中のビーム方向を示している。符号 D 2 に示す S N # 1 信号受信は、そのビーム方向の W i - F i ダミー信号によって S N # 1 が生成したボックスキャッタ信号のアクセスポイント 1 における受信状況を示している。

## 【 0 0 5 2 】

ビーム範囲 ( セクタ ) は理想的に回転周期の 1/4 ごとに切り替わり、オーバーラップはないと仮定している。S N 検知フェーズにおいては、アクセスポイント 1 のビームフォーミング動作で 2 つのパートに分かれている。前半の回転周期・S N 数計測では、ビームフォーミングはその都度設定されたある 1 つのビーム方向に固定された状態でボックスキャッタ通信を試みる。この場合、例えば S N # 1 が周期 60 ms で回転していたとすると、図 9 のように周期 60 ms ごとに 15 ms の間、S N # 1 のボックスキャッタ信号がアクセスポイント 1 に到達する。この動作によって回転するセンサノード 2 群の回転周期を計測できるとともに、回転するセンサノード 2 群の存在位置の分布を計測することができる。また、ビーム Y 方向で停止しているセンサノード 2 群については、ボックスキャッタ信号が連続してアクセスポイント 1 に到達するため、そのセンサノード 2 の数を計測することができる。

20

30

## 【 0 0 5 3 】

他のビーム方向に関しては、次の S N 検知フェーズにおいてビーム方向を他の方向に切り替えて固定することで計測可能である。後半の回転方向計測では、前半で求めた回転するセンサノード 2 群の回転周期に応じて、ビーム方向を変化させる。

## 【 0 0 5 4 】

この時点では回転方向が分からないので、時計回り・反時計回りの両方向でビームを順に切り替え、ボックスキャッタ信号の受信頻度により回転方向の判定を行う。

## 【 0 0 5 5 】

図 9 に示すように、例えば 120ms 以上の時間幅でビームの向きを固定させることによってセンサノード 2 の数及び回転周期の計測が同時に行われた後に、例えば 120ms 以上の時間幅でビームの向きを時計回り及び反時計回りに回転させることによってセンサノード 2 の回転方向の計測が行われてよい。また、ビームの向きを固定させることによってセンサノード 2 の回転周期の計測が行われた後に、ビームの向きを時計回り及び反時計回りに回転させることによってセンサノード 2 の数及び回転方向の計測が行われてもよい。

40

## 【 0 0 5 6 】

図 1 0 は、図 1 に示した通信システム 1 0 0 における高速回転フェーズのタイムフローを説明する図である。

## 【 0 0 5 7 】

符号 E 1 に示すビームフォーミング方向は、アクセスポイント 1 が選択中のビーム方向を示している。符号 E 2 に示す S N # 1 信号受信は、そのビーム方向で W i - F i 通信

50

号のやり取りができる時間帯を示している。SN#1受信信号の周期は、60ms（別言すれば、第1の周期）であってよい。高速回転フェーズにおいては、高速回転と停止との2つのサブフェーズに分かれている。

【0058】

前半の高速回転サブフェーズでは、例えば240ms以上の時間幅において、SN検知フェーズで計測されたセンサノード2群の存在位置の分布（センサノード2の数）を基に、4方向の初期ビームごとの通信時間を最適化する。また、SN検知フェーズで計測された回転周期・方向を基にしてビーム切り替えを行うことで、回転しているセンサノード2群に対して常にビームを向けることで安定した通信を実現する。すなわち、測定された回転周期によって、第1の方向から順番にビームの向きを回転させ、第1の方向とは異なる方向を先頭に変えて順番にビームの向きを回転させる処理が繰り返された後に、ビームの向きを固定させて停止しているセンサノード2のそれぞれに対して通信が行われる。

10

【0059】

後半の停止サブフェーズでは、例えば240ms以上の時間幅において、SN検知フェーズで最初に設定されたある1つのビーム方向に停止しているセンサノード2群が検知された場合に、そのセンサノード2の数に応じてビーム方向固定の通信時間を設定する。

【0060】

図11は、図1に示した通信システム100における回転SNを優先する場合の低速回転/停止フェーズのタイムフローを説明する図である。

【0061】

符号F1のビームフォーミング方向に示すように、SN検知フェーズで最初に設定されたある方向Yにビームが固定され、回転しているセンサノード2群はそのビーム方向に入った場合にのみ通信を行う。回転周期の1/4以上の通信時間を確保することで、符号F2のSN#1受信信号に示すように、すべての回転しているセンサノード2とビームY方向に存在する停止しているセンサノード2群が通信可能である。他のビーム方向で停止しているセンサノード2群については、次のフェーズでビーム方向を切り替えることで通信可能となる。SN#1の受信信号の周期は、600ms（別言すれば、第1の周期よりも長い第2の周期）であってよい。

20

【0062】

図12は、図1に示した通信システムにおける停止SNを優先する場合の低速回転/停止フェーズのタイムフローを説明する図である。

30

【0063】

停止しているセンサノード2の数が多い場合には、ビームを切り替えることですべての停止しているセンサノード2を一度の低速回転/停止フェーズで通信できるように設定することも考えられる。符号G1に示すビームフォーミング方向は、Y、R、Gの方向に順次切り替えられている。符号G2に示す停止しているSN#1の受信信号は、ビームYが送出されているタイミングのみで検知される。

【0064】

〔A-2〕動作例

図1に示した通信システム100における通信動作の第1の例を、図13に示すフローチャート（ステップS1～S8）を用いて説明する。

40

【0065】

実施形態における通信プロトコルは、ステップS1～S3に示す検知フェーズ、ステップS6～S8に示す高速回転フェーズ及びステップS5に示す低速回転/停止フェーズの3つのフェーズを含む。検知フェーズ、高速回転フェーズ（別言すれば、第1のモード）及び低速回転/停止フェーズ（別言すれば、第2のモード）における各処理は、図2等に示したバックキャッタRX12内または、アクセスポイント1内に配置されてよく、その処理結果により、ビームフォーミング処理部13に処理命令が出力される。

【0066】

SN検知フェーズでは、セクタごとのセンサノード2の数の計測だけでなく、回転する

50

センサノード 2 群の回転周期・方向の計測が行われてよい。その S N 検知フェーズで判定されたセンサノード 2 群の回転周期から、次のフェーズが高速回転フェーズもしくは低速回転/停止フェーズのいずれかから選択され、通信範囲に存在するセンサノード 2 群に対して W i - F i 通信が実現される。

【 0 0 6 7 】

それぞれのフェーズでは、同周期で回転しているセンサノード 2 群と、停止しているセンサノード 2 群とが存在している環境を想定する。

【 0 0 6 8 】

なお、I P ( internet protocol ) アドレス割り当てや認証などのアクセスポイント 1 と各センサノード 2 との間の接続手続きは完了していることを前提としている。

【 0 0 6 9 】

まず、図 9 に示した S N 検知フェーズが開始され、ステップ S 1 において、初期ビームの方向が設定される。

【 0 0 7 0 】

ステップ S 2 において、センサノード 2 の回転周期及び数が計測される。

【 0 0 7 1 】

ステップ S 3 において、各センサノード 2 の回転方向が計測される。

【 0 0 7 2 】

ステップ S 4 において、高速回転しているセンサノード 2 が存在するかを判定する。ここで、高速回転の判断は、アクセスポイント 1 のあるビーム方向の通信可能範囲 ( セクタ ) において通信しようとしているセンサノード 2 群が、W i - F i 通信規格によって定められている通信に必要な時間よりも長い時間、セクタにとどまることが可能な速度で回転しているか否かによって行われてよい。

【 0 0 7 3 】

高速回転しているセンサノード 2 がない場合には、ステップ S 5 において、図 1 1 及び図 1 2 に示した低速回転/停止フェーズの処理が実行され、処理はステップ S 1 へ戻る。

【 0 0 7 4 】

一方、高速回転しているセンサノード 2 がある場合には、図 1 0 に示した高速回転フェーズが開始され、ステップ S 6 において、高速回転サブフェーズの処理が実行される。

【 0 0 7 5 】

ステップ S 7 において、停止しているセンサノード 2 があるかが判定される。

【 0 0 7 6 】

停止しているセンサノード 2 がない場合には、処理はステップ S 1 へ戻る。

【 0 0 7 7 】

一方、停止しているセンサノード 2 がある場合には、ステップ S 8 において、停止サブフェーズの処理が実行され、処理はステップ S 1 へ戻る。

【 0 0 7 8 】

次に、図 1 に示した通信システム 1 0 0 における通信動作の第 2 の例を、図 1 4 に示すフローチャート ( ステップ S 1 1 ~ S 1 8 ) を用いて説明する。

【 0 0 7 9 】

図 1 4 に示すフローチャートでは、図 1 3 に示したフローチャートと比較して、低速回転フェーズと停止フェーズとを分離している。

【 0 0 8 0 】

まず、図 9 に示した S N 検知フェーズが開始され、ステップ S 1 1 において、初期ビームの方向が設定される。

【 0 0 8 1 】

ステップ S 1 2 において、センサノード 2 の回転周期及び数が計測される。

【 0 0 8 2 】

ステップ S 1 3 において、各センサノード 2 の回転方向が計測される。

【 0 0 8 3 】

10

20

30

40

50

ステップ S 1 4 において、高速回転しているセンサノード 2 が存在するかを判定する。

【 0 0 8 4 】

高速回転しているセンサノード 2 がない場合には、ステップ S 1 5 において、図 1 1 に示した低速回転フェーズの処理が実行され、処理はステップ S 1 7 へ進む。

【 0 0 8 5 】

一方、高速回転しているセンサノード 2 がある場合には、図 1 0 に示した高速回転フェーズが開始され、ステップ S 1 6 において、高速回転サブフェーズの処理が実行される。

【 0 0 8 6 】

ステップ S 1 7 において、停止しているセンサノード 2 があるかが判定される。

【 0 0 8 7 】

停止しているセンサノード 2 がない場合には、処理はステップ S 1 1 へ戻る。

【 0 0 8 8 】

一方、停止しているセンサノード 2 がある場合には、ステップ S 1 8 において、図 1 0 に示した停止サブフェーズ又は図 1 2 に示した停止フェーズの処理が実行され、処理はステップ S 1 1 へ戻る。

【 0 0 8 9 】

上述した実施形態の一例では、隣接する同一周波数帯を用いるシステム間干渉を抑圧し、空間利用効率を向上させることができる。

【 0 0 9 0 】

〔 B 〕その他

開示の技術は上述した各実施形態に限定されるものではなく、各実施形態の趣旨を逸脱しない範囲で種々変形して実施することができる。各実施形態の各構成及び各処理は、必要に応じて取捨選択することができ、あるいは適宜組み合わせてもよい。

【 0 0 9 1 】

上述した実施形態では、5 GHz 帯の Wi - Fi 信号を送受信することとしたが、これに限定されるものではない。送受信される信号の周波数帯域は種々変更されてよいし、送受信される信号の種類は Wi - Fi 信号でなく種々の無線信号であってもよい。センサノード 2 では OOK 変調を行なう旨説明したが、他の変調方式であってもよい。たとえば、センサノード 2 の TRX 2 1 に mismatch による反射がある場合は、OOK 変調ではなく、Amplitude Shift Keying (ASK) 変調となる。また、スイッチにより、開放端と短絡端を切り替えることにより、Phase Shift Keying (PSK) 変調としてもよい。

【符号の説明】

【 0 0 9 2 】

- 1 0 0 : 通信システム
- 1 : アクセスポイント
- 1 1 , 2 1 : TRX
- 1 2 : バックスキャッタRX
- 1 3 : ビームフォーミング処理部
- 1 4 , 2 4 : 素子アンテナ
- 1 5 : サーキュレータ
- 1 6 : スイッチ
- 2 : センサノード
- 2 2 : SPST スイッチ
- 2 3 : クロック
- 3 : 基部
- 4 : 工作機械
- 5 : ベルトコンベア

10

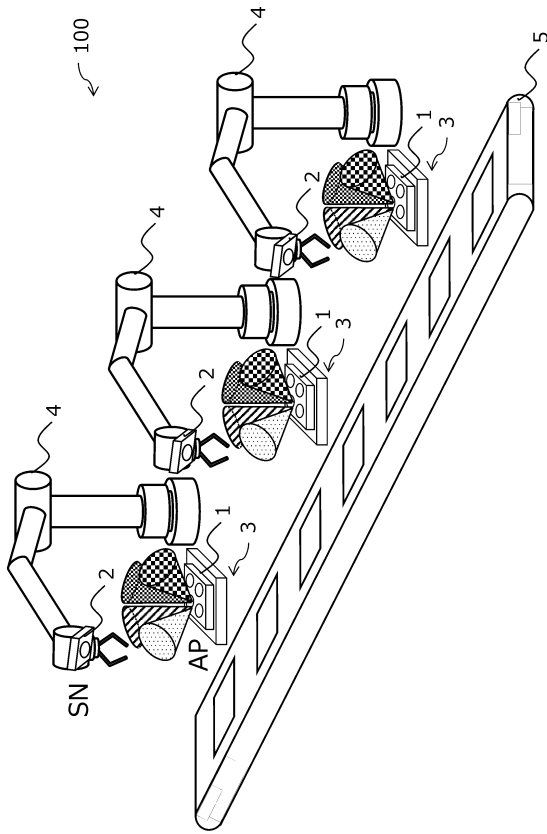
20

30

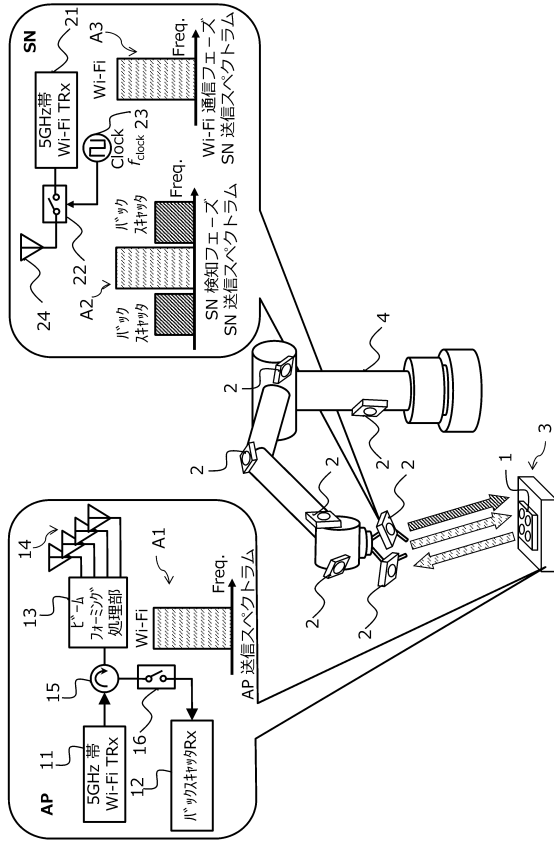
40

50

【図面】  
【図 1】



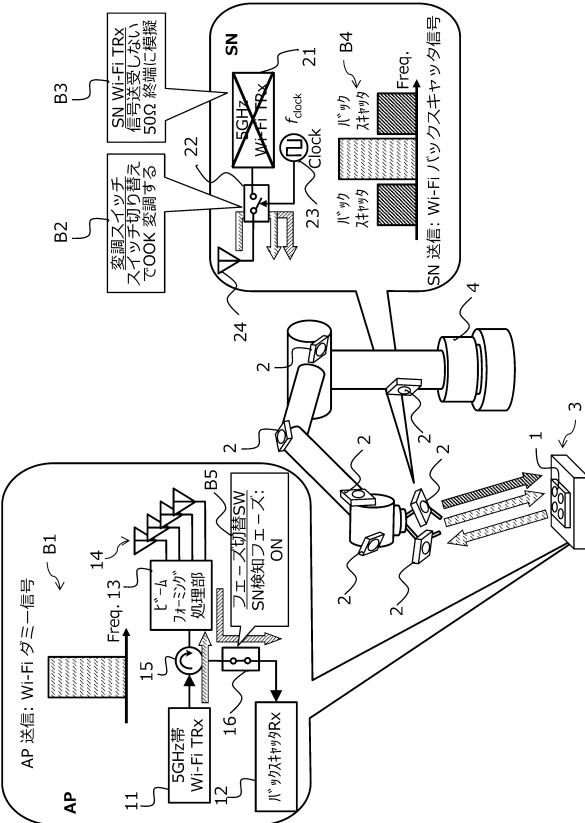
【図 2】



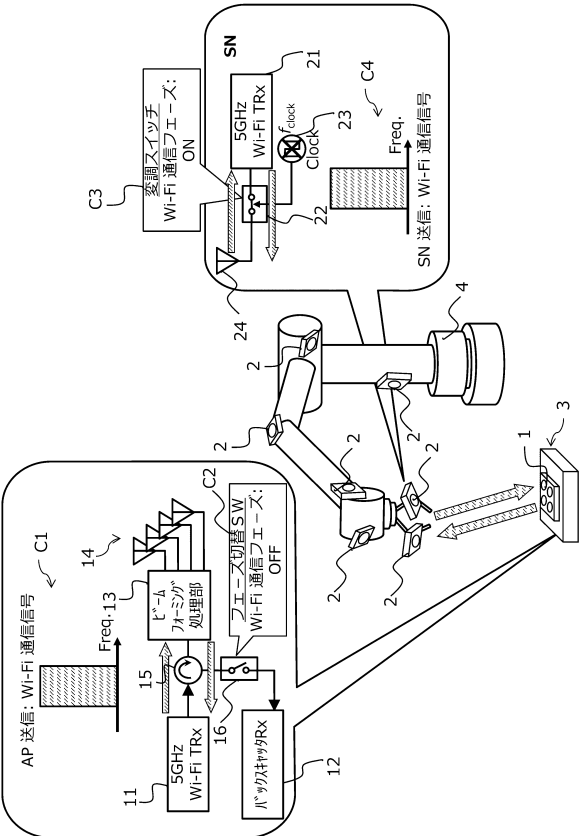
10

20

【図 3】



【図 4】

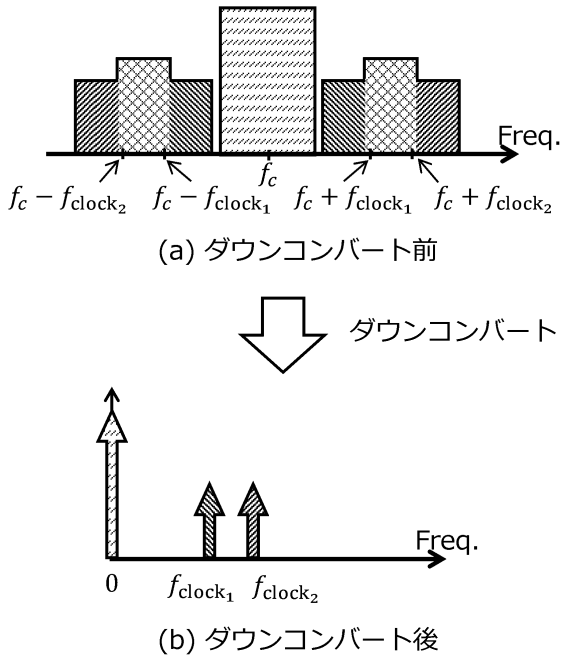


30

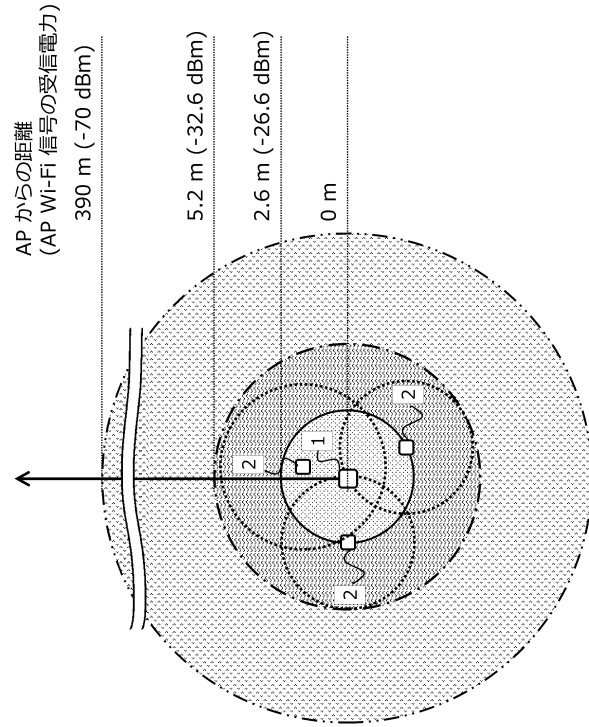
40

50

【 図 5 】



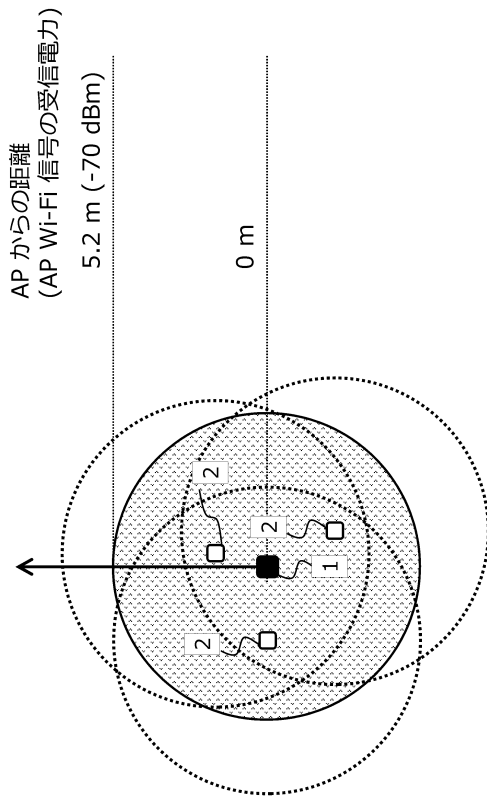
【 図 6 】



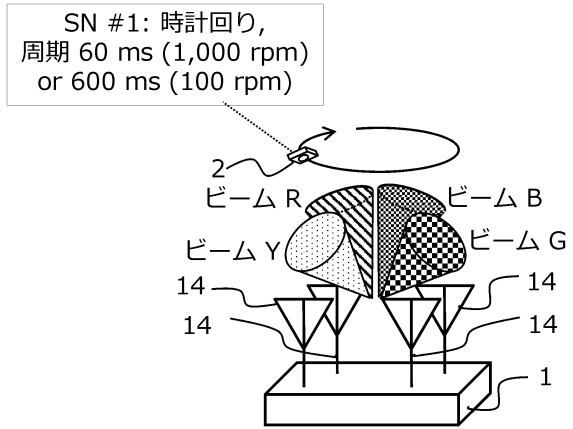
10

20

【 図 7 】



【 図 8 】



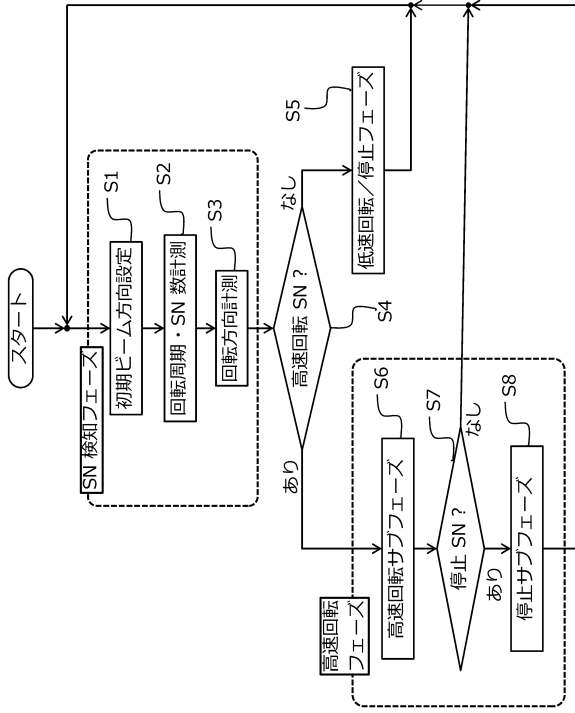
30

40

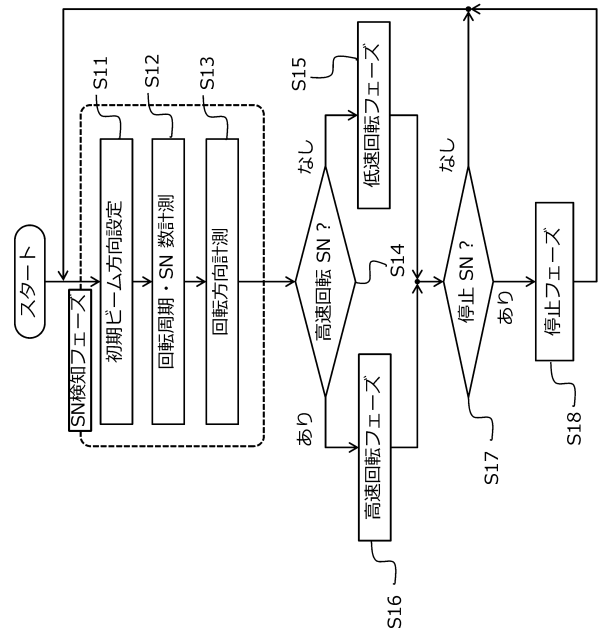
50



【図 1 3】



【図 1 4】



10

20

30

40

50

---

フロントページの続き

国立大学法人東北大学内

審査官 赤穂 美香

- (56)参考文献 特表2011-517392(JP,A)  
米国特許出願公開第2011/0002373(US,A1)  
特開2008-289192(JP,A)  
国際公開第2005/015764(WO,A1)  
特開2003-158470(JP,A)
- (58)調査した分野 (Int.Cl., DB名)
- |      |       |
|------|-------|
| H04B | 1/401 |
| H04B | 7/06  |
| H04B | 7/08  |