

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2016-154286

(P2016-154286A)

(43) 公開日 平成28年8月25日(2016.8.25)

(51) Int.Cl.	F I	テーマコード (参考)
<b>HO4W 16/14 (2009.01)</b>	HO4W 16/14	5K067
<b>HO4W 4/04 (2009.01)</b>	HO4W 4/04	190
<b>HO4W 74/08 (2009.01)</b>	HO4W 74/08	

審査請求 未請求 請求項の数 10 O L (全 33 頁)

(21) 出願番号 特願2015-31518 (P2015-31518)  
 (22) 出願日 平成27年2月20日 (2015.2.20)

(出願人による申告)平成26年度、総務省「環境認知型超高効率無線センサネットワークの研究開発」、産業技術力強化法第19条の適用を受ける特許出願

(71) 出願人 504133110  
 国立大学法人電気通信大学  
 東京都調布市調布ヶ丘一丁目5番地1  
 (74) 代理人 100102864  
 弁理士 工藤 実  
 (74) 代理人 100117617  
 弁理士 中尾 圭策  
 (72) 発明者 藤井 威生  
 東京都調布市調布ヶ丘一丁目5番地1 国立大学法人電気通信大学内  
 (72) 発明者 柿沼 幸治  
 東京都調布市調布ヶ丘一丁目5番地1 国立大学法人電気通信大学内

最終頁に続く

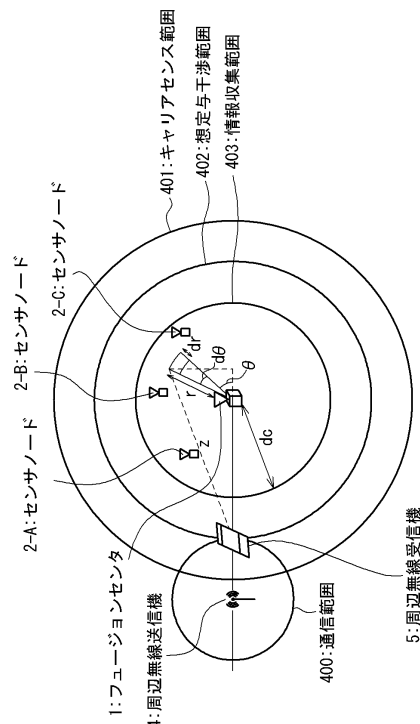
(54) 【発明の名称】ワイヤレスセンサネットワークシステムおよび情報収集方法

(57) 【要約】

【課題】同じ周波数帯域を利用する他の通信システムとの間で互いの干渉を回避する、ワイヤレスセンサネットワークシステムおよびこれに用いる情報収集方法を提供する。

【解決手段】複数のセンサノード2から観測結果を収集するフュージョンセンタ1が、同じ周波数帯域で通信を行う周辺無線送信機4を検出するキャリアセンスを行う。キャリアセンスの結果から、周辺無線送信機4や周辺無線受信機5との干渉または与干渉が回避される通信条件を算出し、複数のセンサノード2の全部またはその中の2個以上のセンサノードにリクエスト信号を送信する。応答を要求されたセンサノードは、自己以外のセンサノードによる通信の有無にかかわらず、受信したリクエスト信号の通信条件に応じて応答信号をフュージョンセンタ1に向けて送信する。

【選択図】図6D



**【特許請求の範囲】****【請求項 1】**

それぞれに独立して観測対象を測定し、前記測定の結果に対応する周波数を有する応答信号を送信できる複数のセンサノードと、

前記センサノードから送信される前記応答信号を受信するフュージョンセンタとを具備するワイヤレスセンサネットワークシステムであって、

前記フュージョンセンタは、

前記フュージョンセンタおよび前記センサノードが利用する所定の周波数帯域における、前記複数のセンサノード以外の周辺通信機器による通信の有無を検出するキャリアセンス部と、

前記複数のセンサノードの全部またはその中の 2 個以上のセンサノードに対し応答を要求するリクエスト信号を生成するリクエスト信号生成部と、

生成された前記リクエスト信号を送信する送受信部とを具備し、

前記複数のセンサノードのそれぞれは、

前記リクエスト信号を受信する送受信部と、

前記応答信号を生成する応答信号生成部と

を具備し、

応答を要求された前記センサノードは、自己以外のセンサノードによる通信の有無にかかわらず、受信した前記リクエスト信号に応じて前記応答信号を前記フュージョンセンタに向けて送信する

ワイヤレスセンサネットワークシステム。

**【請求項 2】**

それぞれに独立して観測対象を測定し、前記測定の結果に対応する周波数を有する応答信号を送信できる複数のセンサノードと、

前記センサノードから送信される前記応答信号を受信するフュージョンセンタとを具備するワイヤレスセンサネットワークシステムであって、

前記フュージョンセンタは、

前記フュージョンセンタおよび前記センサノードが利用する所定の周波数帯域で通信している、前記複数のセンサノード以外の周辺通信機器を検出するキャリアセンス部と、

前記周辺通信機器との前記周波数帯域における干渉または与干渉を回避する通信条件を、前記検出結果に基づいて算出する通信条件算出部と、

算出された前記通信条件に基づいて、前記複数のセンサノードの全部またはその中の 2 個以上のセンサノードに向けるリクエスト信号を生成するリクエスト信号生成部と、

生成された前記リクエスト信号を送信する送受信部とを具備し、

前記複数のセンサノードのそれぞれは、

前記リクエスト信号を受信する送受信部と、

前記応答信号を生成する応答信号生成部と

を具備し、

応答を要求された前記センサノードは、自己以外のセンサノードによる通信の有無にかかわらず、受信した前記リクエスト信号に応じて前記応答信号を前記フュージョンセンタに向けて送信する

ワイヤレスセンサネットワークシステム。

**【請求項 3】**

請求項 2 に記載のワイヤレスセンサネットワークシステムにおいて、

前記各センサノードは、

自己に設定された固有番号を記憶するメモリと、

受信された前記リクエスト信号から前記通信条件を検出する通信条件検出部とをさらに具備し、

10

20

30

40

50

前記フュージョンセンタは、  
前記複数のセンサノードに前記固有番号が対応付けられているテーブルを記憶するメモリ

をさらに具備し、

前記通信条件算出部は、

前記通信条件として、前記周辺通信機器との前記周波数帯域における干渉または与干渉を回避して通信できる情報収集範囲を算出し、

前記情報収集範囲に基づいて、前記複数のセンサノードのそれぞれを、前記応答信号の送信を要求する対象センサノードまたは応答信号の送信を要求しない対象外センサノードに分別するセンサノード分別情報をさらに算出し、

10

前記リクエスト信号は、前記センサノード分別情報をさらに含み、

前記通信条件検出部は、前記リクエスト信号から前記センサノード分別情報を検出し、

前記各センサノードは、前記対象センサノードに分別されている場合にのみ前記応答信号を送信する

ワイヤレスセンサネットワークシステム。

#### 【請求項 4】

請求項 3 に記載のワイヤレスセンサネットワークシステムにおいて、

前記情報収集範囲は第 1 領域を含み、

前記第 1 領域は第 2 領域を含み、

前記複数のセンサノードは、

20

前記第 1 領域の内部、かつ、前記第 2 領域の外部に配置されている第 1 センサノード群と、

前記第 2 領域の内部に配置されている第 2 センサノード群と

を含み、

前記リクエスト信号が前記フュージョンセンタから前記第 1 センサノード群および前記第 2 センサノード群の両方に選択的に届く前記リクエスト信号の送信電力は、第 1 送信電力であって、

前記リクエスト信号が前記フュージョンセンタから前記第 2 センサノード群に選択的に届く前記リクエスト信号の送信電力は、第 2 送信電力であって、

前記フュージョンセンタは、

30

前記第 2 センサノード群に向けて前記第 2 送信電力を有する第 2 リクエスト信号を送信した後に、前記第 1 センサノード群および前記第 2 センサノード群に向けて前記第 1 送信電力を有する第 1 リクエスト信号を送信し、

前記第 2 リクエスト信号は、前記第 2 センサノード群が前記第 1 リクエスト信号を無視する通信条件を含む

ワイヤレスセンサネットワークシステム。

#### 【請求項 5】

請求項 2 に記載のワイヤレスセンサネットワークシステムにおいて、

前記各センサノードは、

前記それぞれのセンサノードに設定された固有番号と、前記固有番号および前記測定結果の組み合わせを前記応答信号の周波数に関連付けるテーブルとを記憶するメモリ

40

をさらに具備し、

前記応答信号生成部は、

前記通信条件および前記テーブルに基づいて、前記固有番号および前記測定結果の前記組み合わせに対応する前記周波数を有する前記応答信号を生成し、

前記フュージョンセンタは、

前記複数のセンサノードの全ての前記テーブルの内容を含むテーブルを記憶するメモリと、

受信した前記応答信号に含まれる複数の周波数成分のそれぞれについて送信元センサノードの前記固有番号および前記測定結果を特定する分析部と

50

をさらに具備する

ワイヤレスセンサネットワークシステム。

【請求項 6】

請求項 1 ~ 5 のいずれか一項に記載のワイヤレスセンサネットワークシステムにおいて

、  
前記センサノードの送受信部は、前記応答信号を、OFDM (Orthogonal Frequency-Division Multiplexing: 直交周波数分割多重) 方式で生成して送信し、

前記フュージョンセンタの送受信部は、前記応答信号を前記 OFDM 方式で受信するワイヤレスセンサネットワークシステム。

10

【請求項 7】

請求項 1 ~ 5 のいずれか一項に記載のワイヤレスセンサネットワークシステムにおいて

、  
前記応答信号がトーン信号である

ワイヤレスセンサネットワークシステム。

【請求項 8】

フュージョンセンタが、複数のセンサノードに向けたリクエスト信号を送信するステップと、

複数のセンサノードが、前記リクエスト信号を受信するステップと、

前記複数のセンサノードのそれぞれが、自己以外のセンサノードによる通信の有無にかかわらず、受信した前記リクエスト信号に応じて、観測対象の測定結果に対応する周波数を有する応答信号を、前記フュージョンセンタに向けて送信するステップと、

20

前記フュージョンセンタが、前記複数のセンサノードから送信される複数の前記応答信号を受信するステップと

を含む情報収集方法であって、

前記リクエスト信号を送信するステップは、

前記フュージョンセンタおよび前記センサノードが利用する所定の周波数帯域で通信している、前記複数のセンサノード以外の周辺通信機器による通信の有無を検出するステップと、

前記周辺通信機器との前記周波数帯域における干渉または与干渉を回避する通信条件を、前記検出結果に基づいて算出するステップと、

30

算出された前記通信条件に基づいて、前記複数のセンサノードの全部またはその中の 2 個以上のセンサノードに向けるリクエスト信号を生成するステップと

を含む

情報収集方法。

【請求項 9】

請求項 8 に記載の情報収集方法に含まれるステップのうち、前記フュージョンセンタが行うステップを、前記フュージョンセンタのプロセッサが実行することで実現する

プログラム。

【請求項 10】

40

それぞれに独立して観測対象を測定し該測定の結果に対応する周波数を有する応答信号を送信できる複数のセンサノードから送信される前記応答信号を受信するフュージョンセンタであって、

前記フュージョンセンタは、

前記フュージョンセンタおよび前記センサノードが利用する所定の周波数帯域における、前記複数のセンサノード以外の周辺通信機器による通信の有無を検出するキャリアセンサ部と、

前記検出結果に基づいて、前記周辺通信機器への干渉または与干渉を回避して通信できる情報収集範囲を算出する通信条件算出部と、

前記複数のセンサノードのうち、前記情報収集範囲内に配置されたセンサノードのみか

50

ら前記応答信号が送信されるリクエスト信号を生成するリクエスト信号生成部と、生成された前記リクエスト信号を送信する送受信部とを具備するフュージョンセンタ。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明はワイヤレスセンサネットワークシステムおよびこれに用いる情報収集方法に関し、例えば、複数のセンサノードと、観測データを収集する基地局であるフュージョンセンタとを含むワイヤレスセンサネットワークシステムおよびこれに用いる情報収集方法に好適に利用できるものである。

10

【背景技術】

【0002】

近年、ワイヤレスセンサネットワークに係る技術の研究開発が活発に行われている。ワイヤレスセンサネットワークとは、観測のためのセンサなどを備えるセンサノードを、無線通信によって構成されたネットワークを介して制御したり、位置や環境に係る情報の収集に利用したりする無線ネットワークである。

ワイヤレスセンサネットワークは、モニタリングシステムや、ホーム・オートメーションなど、様々な分野での活用が期待されている。センサネットワークを無線通信で構築することによって、コストダウンや、センシング範囲の拡大や、ネットワークの変更における柔軟性などのメリットが期待できる。

20

【0003】

このようなワイヤレスセンサネットワークでは複数のセンサ情報を同一周波数で共有する技術として、各センサノードが空きチャンネルを検出した場合に各々のタイミングでデータを送信するキャリアセンスを用いてきた。

この時、短時間の空きチャンネルを有効活用するために、各センサノードにおいて送信すべきデータを収容したパケットを生成し情報伝送していた。パケットには通常、送信元や送信宛先などのヘッダ情報を付与して伝送することになるが、決められたフォーマットに従って、すべてのデータにヘッダ情報を入れる必要があるため、センサ情報収集時にこれらの情報が不要な場合でも付与され、その場合には各ノードにおける消費電力の浪費につながっていた。

30

上記のような問題を解決すべく、特許文献1（特許第5182713号）および特許文献2（特開2013-187552号公報）に、新規な無線通信方法に係る発明が開示されている。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0004】

【特許文献1】特許第5182713号

【特許文献2】特開2013-187552号公報

40

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

上記各発明を具体化するにあたって、ワイヤレスセンサネットワークシステムに含まれる複数のセンサノードおよびフュージョンセンタが、効率良く通信するための通信プロトコルが求められている。

本出願に係る発明は、ワイヤレスセンサネットワークシステムに含まれる複数のセンサノードおよびフュージョンセンタが、効率良く通信できるネットワークシステムおよび情報収集方法を提供するものである。

【0006】

50

また、ワイヤレスセンサネットワークシステムに含まれる複数のセンサノードおよびフュージョンセンタが通信する際に、同じ周波数帯域を利用する他の通信システムとの間で干渉が発生する可能性がある。そのため、このような干渉を回避できる通信プロトコルが求められている。

本出願に係る発明は、同じ周波数帯域を利用する他の通信システムとの間で互いの干渉を回避できる、ワイヤレスセンサネットワークシステムおよびこれに用いる情報収集方法を提供するものである。

【課題を解決するための手段】

【0007】

以下に、[発明を実施するための形態]で使用される番号を用いて、課題を解決するための手段を説明する。これらの番号は、[特許請求の範囲]の記載と[発明を実施するための形態]との対応関係を明らかにするために付加されたものである。

本発明の一実施形態によるワイヤレスセンサネットワークシステムは、複数のセンサノード(2)と、フュージョンセンタ(1)とを具備する。

フュージョンセンタ(1)は、キャリアセンス部(111)と、リクエスト信号生成部(113)と、送受信部(114)とを具備する。ここで、キャリアセンス部(111)は、フュージョンセンタ(1)およびセンサノード(2)が利用する所定の周波数帯域で通信している、複数のセンサノード(2)以外の周辺通信機器(4)による通信の有無を検出する。リクエスト信号生成部(113)は、センサノード(2)に向けるリクエスト信号を生成する。フュージョンセンタの送受信部(114)は、生成されたリクエスト信号を送信する。

複数のセンサノード(2)のそれぞれは、センサノードの送受信部(214)と、応答信号生成部(213)とを具備する。ここで、センサノードの送受信部(214)は、リクエスト信号を受信する。

複数のセンサノード(2)は、それぞれに独立して観測対象を測定し、応答信号生成部(213)は、測定の結果に対応する周波数を有する応答信号(3)を生成する。応答を要求されたセンサノード(2)は、自己以外のセンサノード(2)による通信の有無にかかわらず、受信したリクエスト信号に応じて応答信号(3)をフュージョンセンタ(1)に向けて送信する。

フュージョンセンタ(1)は、センサノード(2)から送信される応答信号(3)を受信する。

【0008】

本発明の一実施形態によるワイヤレスセンサネットワークシステムは、複数のセンサノード(2)と、フュージョンセンタ(1)とを具備する。

フュージョンセンタ(1)は、キャリアセンス部(111)と、通信条件算出部(112)と、リクエスト信号生成部(113)と、送受信部(114)とを具備する。ここで、キャリアセンス部(111)は、フュージョンセンタ(1)および複数のセンサノード(2)が利用する所定の周波数帯域で通信している、複数のセンサノード(2)以外の周辺通信機器(4)(5)を検出する。通信条件算出部(112)は、周辺通信機器(4)(5)との周波数帯域における干渉または与干渉を回避する通信条件を、キャリアセンス部(111)の検出結果に基づいて算出する。リクエスト信号生成部(113)は、算出された通信条件に基づいて、複数のセンサノード(2)に向けるリクエスト信号を生成する。フュージョンセンタの送受信部(114)は、生成されたリクエスト信号を送信する。

複数のセンサノード(2)のそれぞれは、センサノードの送受信部(214)と、通信条件検出部(212)と、応答信号生成部(213)とを具備する。ここで、センサノードの送受信部(214)は、リクエスト信号を受信する。通信条件検出部(212)は、受信されたリクエスト信号から通信条件を検出する。複数のセンサノード(2)は、それぞれに独立して観測対象を測定し、応答信号生成部(213)は、検出された通信条件に基づいて、測定の結果に対応する周波数を有する応答信号(3)を生成する。応答を要求

10

20

30

40

50

されたセンサノード(2)は、自己以外のセンサノード(2)による通信の有無にかかわらず、受信したリクエスト信号に応じて応答信号(3)をフュージョンセンタ(1)に向けて送信する。

フュージョンセンタ(1)は、センサノード(2)から送信される応答信号(3)を受信する。

#### 【0009】

本発明の一実施形態による情報収集方法は、複数のセンサノード(2)が、それぞれに独立して、観測対象を測定することと、フュージョンセンタ(1)が、複数のセンサノード(2)に向けたリクエスト信号を送信することと、複数のセンサノード(2)が、リクエスト信号を受信することと、複数のセンサノード(2)のそれぞれが、受信したリクエスト信号に応じたタイミングで、測定の結果に対応する周波数を有する応答信号(3)を、フュージョンセンタ(1)に向けて送信することと、フュージョンセンタ(1)が、複数のセンサノード(2)から送信される複数の応答信号(3)を受信することを含む。ここで、リクエスト信号を送信することは、フュージョンセンタ(1)および複数のセンサノード(2)が利用する所定の周波数帯域で通信している、複数のセンサノード(2)以外の周辺通信機器(4)(5)を検出することと、周辺通信機器(4)(5)との周波数帯域における干渉または与干渉を回避する通信条件を、周辺無線送信機の検出結果に基づいて算出することと、算出された通信条件に基づいて、複数のセンサノード(2)に向けたリクエスト信号を生成することを含む。応答信号を送信することは、受信されたリクエスト信号から通信条件を検出することと、検出された通信条件に基づいて、応答信号(3)を生成することを含む。

#### 【発明の効果】

#### 【0010】

本発明によれば、ワイヤレスセンサネットワークシステムに含まれる複数のセンサノードおよびフュージョンセンタが通信する際に、同じ周波数帯域を利用する他の通信システムとの間で互いの干渉を回避することが出来る。

#### 【図面の簡単な説明】

#### 【0011】

【図1】図1は、本発明の第1実施形態によるワイヤレスセンサネットワークシステムの構成を示す図である。

【図2A】図2Aは、本発明の第1実施形態によるフュージョンセンタの構成を、物理的な視点から示す図である。

【図2B】図2Bは、本発明の第1実施形態によるフュージョンセンタの構成を、機能的な視点から示す図である。

【図3A】図3Aは、本発明の第1実施形態によるセンサノードの構成を、物理的な視点から示す図である。

【図3B】図3Bは、本発明の第1実施形態によるセンサノードの構成を、機能的な視点から示す図である。

【図4A】図4Aは、本発明の第1実施形態によるワイヤレスセンサネットワークシステムで送受信するトーン信号の周波数と観測値の対応関係を説明する図である。

【図4B】図4Bは、本発明の第1実施形態によるワイヤレスセンサネットワークシステムで送受信するトーン信号の周波数と観測値の対応関係を説明する具体例を示す図である。

【図5A】図5Aは、本発明の第1実施形態によるセンサノードが送信するトーン信号の一例を示す図である。

【図5B】図5Bは、本発明の第1実施形態による他のセンサノードが送信するトーン信号の一例を示す図である。

【図5C】図5Cは、本発明の第1実施形態によるさらに他のセンサノードが送信するトーン信号の一例を示す図である。

【図5D】図5Dは、本発明の第1実施形態によるフュージョンセンタが1つの受信信号

として一括受信する、複数のトーン信号の集合体の一例を示す図である。

【図 6 A】図 6 A は、本発明の第 1 実施形態によるワイヤレスセンサネットワークシステムと、その周辺で通信する他の無線機との相互干渉問題について、距離の観点から説明する図である。

【図 6 B】図 6 B は、図 6 A に例示したワイヤレスセンサネットワークシステムと、その周辺で通信する他の無線機との相互干渉問題について、周波数および信号強度の観点から説明する図である。

【図 6 C】図 6 C は、本発明の第 1 実施形態によるフュージョンセンタが算出する想定干渉範囲を説明する図である。

【図 6 D】図 6 D は、図 6 C に例示したフュージョンセンタ 1 が算出する情報収集範囲について説明する図である。

【図 7 A】図 7 A は、本発明の第 1 実施形態によるワイヤレスセンサネットワークシステムの動作の一例を示すシーケンス図である。

【図 7 B】図 7 B は、本発明の第 1 実施形態によるフュージョンセンタの動作の一例を示すフローチャートである。

【図 7 C】図 7 C は、本発明の第 1 実施形態によるセンサノードの動作の一例を示すフローチャートである。

【図 8】図 8 は、本発明の第 1 実施形態によるワイヤレスセンサネットワークシステムおよび情報収集方法と、従来技術とを、情報収集回数で比較した結果の一例を示すグラフである。

【図 9】図 9 は、本発明の第 2 実施形態による情報収集方法を説明する図である。

【図 10】図 10 は、本発明の第 3 実施形態による情報収集方法を説明する図である。

【図 11】図 11 は、本発明の第 4 実施形態による情報収集方法を説明する図である。

【発明を実施するための形態】

【0012】

添付図面を参照して、本発明によるワイヤレスセンサネットワークシステムおよびこれに用いる情報収集方法を実施するための形態を以下に説明する。なお、本願における各図は本発明を説明するための概念図であり、図示した各物理的構成や機能的構成は、ハードウェアまたはソフトウェアならびにそれらの組み合わせにより構成することができる。

【0013】

[第 1 実施形態]

図 1 は、本発明の第 1 実施形態によるワイヤレスセンサネットワークシステムの構成を示す図である。

図 1 に示したワイヤレスセンサネットワークシステムは、フュージョンセンタ 1 と、複数のセンサノード 2 - A ~ 2 - F を含んでいる。センサノード 2 は、位置や環境に係る情報を観測するセンサである。フュージョンセンタ 1 は、各センサノード 2 - A ~ 2 - F で観測された観測データを収集する基地局である。なお、図 1 では一例として 6 台のセンサノード 2 - A ~ 2 - F が描かれているが、センサノードの台数に制限は特に無い。以降、複数のセンサノードのそれぞれを区別しない場合には、センサノード 2 などと記す。

【0014】

図 1 に示したワイヤレスセンサネットワークシステムの周辺には、周辺無線送信機 4 や、周辺無線受信機 5 が存在する場合がある。ここで、周辺無線送信機 4 および周辺無線受信機 5 は、フュージョンセンタ 1 と複数のセンサノード 2 から構成されるワイヤレスセンサネットワークシステムには含まれない。すなわち、別のネットワークシステムの構成要素である。

なお、図 1 では一例として 1 台の周辺無線送信機 4 および 1 台の周辺無線受信機 5 が描かれているが、周辺無線送信機 4 および周辺無線受信機 5 のそれぞれについて、台数に制限は特に無い。また、同一の周辺無線機が、ある時は周辺無線送信機 4 として動作し、またある時は周辺無線受信機 5 として動作しても良い。以降、周辺無線送信機 4 および周辺無線受信機 5 の集合を、周辺無線システムと記す。

10

20

30

40

50



## 【 0 0 1 5 】

図 1 において、センサノード 2 - A ~ 2 - F は、トーン信号 3 - A ~ 3 - F をそれぞれ送信している。また、フュージョンセンタ 1 は、トーン信号 3 - A ~ 3 - F を受信している。以降、各トーン信号のそれぞれを区別しない場合には、トーン信号 3 などと記す。

後述するように、フュージョンセンタ 1 も信号を送信し、センサノード 2 はこの信号を受信する。このように、本実施形態によるワイヤレスセンサネットワークシステムでは、フュージョンセンタ 1 とセンサノード 2 とは無線で通信する。

なお、トーン信号 3 は、単一周波数を持つ正弦波信号である。したがって、トーン信号 3 は、一般的なパケット信号が含む諸データのような情報を含まないのが通常である。トーン信号 3 は、周波数と、信号強度と、送受信の時刻によって定義可能である。しかし、本発明は通常のトーン信号 3 だけでなく、各センサノード 2 を識別するため、トーン信号の周波数を時間で変化させたり、低速な変調を行うなど ID のようなごく小さな情報を含む応答信号でも適用可能である。本願において応答信号とは、フュージョンセンタ 1 から発信された送信リクエスト信号に応じて、センサノード 2 がフュージョンセンタ 1 に送信する信号であり、トーン信号 3 を含む概念である。実施形態においては、応答信号の一例として、本発明の効果を最も発揮できるトーン信号 3 を例に説明する。

## 【 0 0 1 6 】

同様に、周辺無線送信機 4 が周辺無線信号 6 を送信し、周辺無線受信機 5 がこの周辺無線信号 6 を受信する。この周辺無線信号 6 がトーン信号 3 と同じ周波数帯域に含まれていれば、ワイヤレスセンサネットワークシステムと周辺無線システムとの間で干渉が発生する可能性がある。このような干渉を回避することが、本発明の目的の一つである。

## 【 0 0 1 7 】

複数のセンサノード 2 は、それぞれに独立して観測対象を測定し、測定の結果を表すトーン信号 3 をフュージョンセンタ 1 に向けて一斉に送信する。フュージョンセンタ 1 は、複数のセンサノード 2 から一斉送信される測定結果としてのトーン信号 3 を、無線通信によって一括受信して収集した上で、その分析を行う。これらの動作の詳細については、後述する。

## 【 0 0 1 8 】

図 2 A は、本発明の第 1 実施形態によるフュージョンセンタ 1 の構成を、物理的な視点から示す図である。図 2 A に示したフュージョンセンタ 1 は、バス 1 0 と、演算部であるプロセッサ 1 1 と、記憶部であるメモリ 1 2 と、送受信装置 1 3 と、送受信用のアンテナ 1 3 1 と、入出力装置 1 4 とを有している。

メモリ 1 2 は、データを記憶するためのデータ領域 1 2 1 と、制御用プログラムを記憶したプログラム領域 1 2 2 を含んでいる。メモリ 1 2 は、一時記憶型のメモリまたは長期記憶型のハードディスク、ならびにそれらの組み合わせでも良い。

フュージョンセンタ 1 は、プログラムやデータを格納した記憶媒体 1 4 1 をさらに含んでも良い。なお、記憶媒体 1 4 1 は、プログラムやデータをメモリ 1 2 に移動または複製した後に、フュージョンセンタ 1 から取り外しても良い。

## 【 0 0 1 9 】

また、フュージョンセンタ 1 は、図示しない電源をさらに有している。フュージョンセンタ 1 は、各センサノード 2 を制御したり、受信した情報を処理したりするため、多くの電力を消費する。したがって、フュージョンセンタ 1 は、常時電力を供給できるよう、電源コンセントなどから電力を供給する構成が望ましい。

バス 1 0、プロセッサ 1 1、メモリ 1 2、入出力装置 1 4 としては汎用のコンピュータを用いることができ、送受信用のアンテナ 1 3 1 を備えた送受信装置 1 3 を、コンピュータに有線または無線で接続することによりフュージョンセンタ 1 とすることができる。また、フュージョンセンタ 1 は、送受信装置 1 3 を備えたコンピュータそのものであっても良い。

## 【 0 0 2 0 】

図 2 A に示したフュージョンセンタ 1 の各構成要素の接続関係について説明する。プロ

10

20

30

40

50

セッサ 11 と、メモリ 12 と、送受信装置 13 と、アンテナ 131 と、入出力装置 14 とは、それぞれバス 10 を介して接続されている。ここで、バス 10 は、各構成要素の間で相互に信号を送受信する接続関係を一例として表しており、各構成要素は必ずしも図示したとおりに接続されていなくても良い。

アンテナ 131 は、送受信装置 13 に接続されている。

記憶媒体 141 は、入出力装置 14 に着脱可能に接続される。

#### 【0021】

図 2A に示したフュージョンセンタ 1 の構成要素の動作について説明する。プロセッサ 11 は、プログラム領域 122 に格納されたプログラムを実行する。このとき、プロセッサ 11 は、データ領域 121 にアクセスしてデータの読み書きを行っても良いし、送受信装置 13 や入出力装置 14 を制御しても良い。

データ領域 121 は、データを読み書き可能に格納している。また、プログラム領域 122 は、プログラムを読み書き可能に格納している。

送受信装置 13 は、アンテナ 131 を介して、無線信号の送信および受信を行う。

#### 【0022】

入出力装置 14 は、データ、プログラム、制御信号などの入力および出力を行う。入出力装置 14 は、一例として、記憶媒体 141 の読み書きを行うドライブであっても良いし、フュージョンセンタ 1 の動作を制御するボタンやマウス、キーボードなどのユーザ・インタフェースであっても良いし、プロセッサ 11 がプログラムを実行した結果などを表示するディスプレイであっても良いし、これらの集合であっても良い。

#### 【0023】

図 2B は、本発明の第 1 実施形態によるフュージョンセンタ 1 の構成を、機能的な視点から示す図である。図 2B に示したフュージョンセンタ 1 は、仮想バス 110 と、キャリアセンス部 111 と、通信条件算出部 112 と、送信リクエスト信号生成部 113 と、送受信部 114 と、分析部 115 とを有している。

キャリアセンス部 111 と、通信条件算出部 112 と、送信リクエスト信号生成部 113 と、送受信部 114 と、分析部 115 とは、それぞれ、仮想バス 110 を介して接続されている。ここで、仮想バス 110 は、各構成要素の間で相互に信号を送受信する接続関係を一例として表しており、各構成要素は必ずしも図示したとおりに接続されていなくても良い。

#### 【0024】

次に、図 2B に示したフュージョンセンタ 1 の構成要素の動作について説明する。キャリアセンス部 111 は、フュージョンセンタ 1 の周辺で、フュージョンセンタ 1 およびセンサノード 2 が利用する所定の周波数帯域で通信している、センサノード 2 以外の周辺無線送信機 4 を検出する。

通信条件算出部 112 は、周辺無線送信機 4 および周辺無線送信機 4 と通信する周辺無線受信機 5 との周波数帯域における干渉を回避できる通信条件を、キャリアセンス部 111 による周辺無線送信機 4 の検出結果に基づいて、算出する。

送信リクエスト信号生成部 113 は、通信条件算出部 112 によって算出された通信条件に基づいて、複数のセンサノード 2 の全てに向けた送信リクエスト信号を生成する。

キャリアセンス部 111 ・通信条件算出部 112 ・送信リクエスト信号生成部 113 の動作はそれぞれ、プロセッサ 11 が、プログラム領域 122 に格納されたキャリアセンスプログラム・通信条件算出プログラム・送信リクエスト信号生成プログラムを実行し、データ領域 121 にアクセスしてデータの読み書きを行うことなどによって、実現する。

#### 【0025】

送受信部 114 は、送信リクエスト信号生成部 113 によって生成された送信リクエスト信号を、センサノード 2 に向けて送信する。また、送受信部 114 は、複数のセンサノード 2 から一斉送信される複数のトーン信号 3 の集合体を、受信信号として一括受信する。送受信部 114 の動作は、プロセッサ 11 が、プログラム領域 122 に格納された送信リクエスト信号送信プログラムまたは受信信号受信プログラムを実行し、送受信装置 13

10

20

30

40

50

を制御し、データ領域 1 2 1 にアクセスしてデータの読み書きを行うことなどによって、実現する。

【0026】

分析部 1 1 5 は、送受信部 1 1 4 によって受信された受信信号の分析を行う。分析部 1 1 5 の動作は、プロセッサ 1 1 が、プログラム領域 1 2 2 に格納された分析プログラムを実行し、データ領域 1 2 1 にアクセスしてデータの読み書きを行うことなどによって、実現する。

【0027】

図 3 A は、本発明の第 1 実施形態によるセンサノード 2 の構成を、物理的な視点から示す図である。図 3 A に示したセンサノード 2 は、バス 2 0 と、プロセッサ 2 1 と、メモリ 2 2 と、送受信装置 2 3 と、アンテナ 2 3 1 と、入出力装置 2 4 と、センサ 2 5 とを有している。メモリ 2 2 は、データ領域 2 2 1 と、プログラム領域 2 2 2 とを含んでいる。センサノード 2 は、プログラムやデータを格納した記憶媒体 2 4 1 をさらに含んでも良い。なお、記憶媒体 2 4 1 は、プログラムやデータをメモリ 2 2 に移動または複製した後に、センサノード 2 から取り外しても良い。

また、センサノード 2 は、図示しない電源をさらに有していることが望ましい。本発明におけるセンサノード 2 は低消費電力であるため、電源として乾電池などを使用することができ、小型化を図ることができる。

【0028】

図 3 A に示したセンサノード 2 の構成要素の接続関係について説明する。プロセッサ 2 1 と、メモリ 2 2 と、送受信装置 2 3 と、アンテナ 2 3 1 と、入出力装置 2 4 と、センサ 2 5 とは、それぞれ、バス 2 0 を介して接続されている。ここで、バス 2 0 は、各構成要素の間で相互に信号を送受信する接続関係を一例として表しており、各構成要素は必ずしも図示したとおりに接続されていなくても良い。

アンテナ 2 3 1 は、送受信装置 2 3 に接続されている。

記憶媒体 2 4 1 は、入出力装置 2 4 に着脱可能に接続される。

【0029】

図 3 A に示したセンサノード 2 の構成要素の動作について説明する。プロセッサ 2 1 は、プログラム領域 2 2 2 に格納されたプログラムを実行する。このとき、プロセッサ 2 1 は、データ領域 2 2 1 にアクセスしてデータの読み書きを行っても良いし、送受信装置 2 3 や、入出力装置 2 4 や、センサ 2 5 を制御しても良い。

データ領域 2 2 1 は、データを読み書き可能に格納している。また、プログラム領域 2 2 2 は、プログラムを読み書き可能に格納している。

送受信装置 2 3 は、アンテナ 2 3 1 を介して、無線信号の送信および受信を行う。

【0030】

入出力装置 2 4 は、データ、プログラム、制御信号などの入力および出力を行う。入出力装置 2 4 は、一例として、記憶媒体 2 4 1 の読み書きを行うドライブであっても良いし、センサノード 2 の動作を制御するボタンやマウス、キーボードなどのユーザ・インタフェースであっても良いし、プロセッサ 2 1 がプログラムを実行した結果などを表示するディスプレイであっても良いし、これらの集合であっても良い。

センサ 2 5 は、プロセッサ 2 1 によって制御されるなどして、観測対象の測定を行う。この測定の結果は、バス 2 0 やプロセッサ 2 1 を介して、データ領域 2 2 1 に格納されることが望ましい。

【0031】

図 3 B は、本発明の第 1 実施形態によるセンサノード 2 の構成を、機能的な視点から示す図である。図 3 B に示したセンサノード 2 は、仮想バス 2 1 0 と、測定部 2 1 1 と、通信条件検出部 2 1 2 と、トーン信号生成部 2 1 3 と、送受信部 2 1 4 とを有している。

測定部 2 1 1 と、通信条件検出部 2 1 2 と、トーン信号生成部 2 1 3 と、送受信部 2 1 4 とは、それぞれ、仮想バス 2 1 0 を介して接続されている。ここで、仮想バス 2 1 0 は、各構成要素の間で相互に信号を送受信する接続関係を一例として表しており、各構成要

10

20

30

40

50

素は必ずしも図示したとおりに接続されていなくても良い。

【0032】

次に、図3Bに示したセンサノード2の構成要素の動作について説明する。測定部211は、センサノード2が設置されている場所において、観測対象の測定を行う。測定部211の動作は、図3Aに示すプロセッサ21が、プログラム領域222に格納された測定プログラムを実行し、センサ25を制御し、データ領域221にアクセスしてデータの読み書きを行うことなどによって、実現する。

【0033】

通信条件検出部212は、受信された送信リクエスト信号から通信条件を検出する。検出された通信条件は、データ領域221に格納されることが望ましい。

トーン信号生成部213は、検出された通信条件に基づいて、測定の結果を表すトーン信号3を生成する。

通信条件検出部212・トーン信号生成部213の動作はそれぞれ、プロセッサ21が、プログラム領域222に格納された通信条件検出プログラム・トーン信号生成プログラムを実行し、データ領域221にアクセスしてデータの読み書きを行うことなどによって、実現する。

【0034】

送受信部214は、フュージョンセンタ1から送信された送信リクエスト信号を受信する。受信された送信リクエスト信号は、データ領域221に格納されることが望ましい。また、送受信部214は、トーン信号生成部213によって生成されたトーン信号3を、送信リクエスト信号に応じたタイミングでフュージョンセンタ1に向けて送信する。

送受信部214の動作は、プロセッサ21が、プログラム領域222に格納された送信リクエスト信号受信プログラムまたはトーン信号送信プログラムを実行し、送受信装置23を制御し、データ領域221にアクセスしてデータの読み書きを行うことなどによって、実現する。

ここまでは主に、本実施形態によるワイヤレスセンサネットワークシステムの構成について説明した。ここからは主に、本実施形態によるワイヤレスセンサネットワークの動作、すなわち本実施形態による情報収集方法について説明する。

【0035】

まず、測定部211の動作の詳細について説明する。測定部211が測定する観測対象は、例えば、温度、湿度、気圧、明るさ、濃度、線量、緯度、経度、などであっても良い。いずれの場合も、センサ25として、温度計、湿度計、気圧計、照度計、濃度計、ガイガーカウンター、GPS(Global Positioning System: 地球測位網)受信装置、などの適切な測定手段を用意することが望ましい。観測対象は上記のものに限られず、種々のものが考えられる。

ここでは、一例として、観測対象がセンサノード2周辺の気温であり、センサ25が温度計である場合について説明する。

【0036】

測定部211が観測対象を測定するには、例えば、プロセッサ21の制御下でセンサ25が気温を測定する。その測定結果は、データ領域221に記憶させることが望ましい。この測定動作は、センサノード2の消費電力を節約する観点からは、送信リクエスト信号を受信した際にのみ実行されることが望ましい。しかしながら、例えばガイガーカウンターによる線量の測定には比較的長い時間が必要であるので、送信リクエスト信号を受信してからトーン信号3を送信するまでのタイムラグを最小化する観点からは、一連の測定動作を常時繰り返し実行されても良い。

【0037】

次に、トーン信号生成部213の動作の詳細について説明する。トーン信号生成部213は、OFDM(Orthogonal Frequency-Division Multiplexing: 直交周波数分割多重)方式でトーン信号3を生成する。すなわち、トーン信号3の周波数は、OFDMサブキャリア周波数の集合から選択されて設定され

10

20

30

40

50

る。観測値をトーン信号 3 の周波数に変換するこの手法を、以降、周波数軸マッピングと記す。

図 4 A は、本発明による周波数軸マッピングの原理を概略的に示す図である。図 4 A は、観測値を示す第 1 の軸と、サブキャリア周波数番号を示す第 2 の軸とを示している。

【 0 0 3 8 】

まず、観測値を  $k$  と置き、観測範囲の最小値を  $K_{m i n}$  と置き、同じく最大値を  $K_{m a x}$  と置き、中心値を  $K_c$  と置く。ここで、観測範囲中心値  $K_c$  は、観測範囲の最大値および最小値の中心値であり、次の式で定義されるものとする。

$$K_c = (K_{m a x} + K_{m i n}) / 2$$

なお、観測範囲の幅の半分の値  $W$  は、以下のように定義される。

$$W = (K_{m a x} - K_{m i n}) / 2$$

【 0 0 3 9 】

次に、サブキャリア周波数番号を  $n_c$  と置き、サブキャリア周波数番号の最小値を  $N_{m i n}$  と置き、同じく最大値を  $N_{m a x}$  と置き、中心値を  $N_c$  と置く。ここで、サブキャリア周波数中心番号  $N_c$  は、サブキャリア周波数番号の最大値と、最小値との中心値であり、次の式で定義されるものとする。

$$N_c = (N_{m a x} + N_{m i n}) / 2$$

なお、このようなサブキャリア周波数中心番号  $N_c$  が存在するためには、サブキャリアの総数は奇数である必要があり、以下のように定義される整数  $A$  が存在するものとする。

$$N_{m a x} - N_{m i n} = 2 A$$

【 0 0 4 0 】

周波数軸マッピングの具体的な計算方法について説明する。観測値  $k$  が観測範囲最小値  $K_{m i n}$  以下であれば、サブキャリア周波数最小番号  $N_{m i n}$  を割り当てる。同様に、観測値  $k$  が観測範囲最大値  $K_{m a x}$  以上であれば、サブキャリア周波数最大番号  $N_{m a x}$  を割り当てる。

観測値  $k$  が上記以外の、すなわち

$$K_{m i n} < k < K_{m a x}$$

の関係を満たす場合は、観測値  $k$  を整数  $2 A$  で刻んでサブキャリア周波数番号  $n_c$  に割り当てる。このとき、割り当てられるサブキャリア周波数番号  $n_c$  は以下の式で算出される。

【 数 1 】

$$\begin{aligned} n_c &= \left\lfloor \frac{1}{2}(N_{\max} - N_{\min}) + \frac{1}{A}(k - K_c) \right\rfloor \\ &= \left\lfloor \frac{1}{A}(W + k - K_c) \right\rfloor \end{aligned}$$

すなわち、観測値  $k$  と、観測範囲中心値  $K_c$  との差を、整数  $2 A$  の逆数で離散化し、小数点以下を切り捨てた上で、対応するサブキャリア周波数番号  $n_c$  と、サブキャリア周波数中心番号  $N_c$  との差に置き換えることが出来る。

【 0 0 4 1 】

図 4 B は、本発明による周波数軸マッピングの具体例を示す図である。この例では、温度を  $20 \sim 30$  °C の範囲で測定し、サブキャリア周波数番号  $0 \sim 100$  番の範囲でマッピングする。図 4 A に対応させて考えると、

$$K_{m i n} = 20$$

$$K_{m a x} = 30$$

$$K_c = 25$$

$$W = 5$$

10

20

30

40

50

$$\begin{aligned} N_{\min} &= 0 \\ N_{\max} &= 100 \\ N_c &= 50 \\ A &= 50 \end{aligned}$$

となり、より具体的には、周波数軸マッピングは以下の式を演算することに等しくなる。

【数 2】

$$n_c = \left\lfloor \frac{1}{0.1} (k - 20) \right\rfloor$$

10

【0042】

トーン信号 3 の周波数は、上記に説明したような周波数軸マッピングによって、すなわち観測対象の測定結果に応じて決定される。

決定されたトーン信号周波数は、少なくともトーン信号送信時刻までは、トーン信号周波数データとしてデータ領域 221 に格納されることが望ましい。なお、データ領域 221 に格納されたトーン信号周波数データは、次回に決定される周波数と入れ替わりで削除されても良いし、データ領域 221 に空き領域が残っている限り累積しても良い。または、最新のトーン信号周波数データをデータ領域 221 に格納する空き領域が足りなければ古いトーン信号周波数データから順番に入れ替わりで削除されても良い。

20

【0043】

ここで、センサノード 2 の送受信部 214 の動作のうち、トーン信号 3 を送信する動作の詳細について説明する。

送受信部 214 は、トーン信号周波数データと、トーン信号 3 の信号強度を表すトーン信号強度データと、トーン信号 3 を送信する時刻を表すトーン信号送信時刻データとを、データ領域 221 から読み出す。なお、詳細については後述するが、トーン信号強度データと、トーン信号送信時刻データとは、いずれも、後述する通信条件検出部 212 の動作によって、データ領域 221 に格納されている。

【0044】

送受信部 214 は、トーン信号送信時刻に、観測結果に応じたトーン信号周波数を有するトーン信号 3 を、フュージョンセンタ 1 に向けて送信する。トーン信号 3 の送信は、全てのセンサノード 2 またはその一部において、一斉に実行される。

30

このように、センサノード 2 からフュージョンセンタ 1 に向けたトーン信号 3 の送信は、それぞれのトーン信号 3 がごく短い上に、一斉に実行されるので、一度の送信がやはりごく短い時間で完了する。

【0045】

ここで、フュージョンセンタ 1 の送受信部 114 の動作のうち、トーン信号 3 を一括受信する動作の詳細について説明する。

複数のセンサノード 2 の送受信部 214 から一斉に送信された複数のトーン信号 3 は、フュージョンセンタ 1 にほぼ同時に到達する。厳密には、各センサノード 2 からフュージョンセンタ 1 までの距離が異なるため、各トーン信号 3 の到達時刻には多少のずれが生じ得るが、ここではこのずれを無視する。

40

フュージョンセンタ 1 の送受信部 114 は、複数のセンサノード 2 から一斉送信される複数のトーン信号 3 の集合体を、1つの受信信号として一括受信すれば良い。この動作の一例を、図 5A ~ 図 5D を参照して説明する。

【0046】

図 5A は、本発明の第 1 実施形態によるセンサノード 2 - A が送信するトーン信号 3 - A の一例を示す図である。図 5B は、本発明の第 1 実施形態による他のセンサノード 2 - B が送信するトーン信号 3 - B の一例を示す図である。図 5C は、本発明の第 1 実施形態によるさらに他のセンサノード 2 - C が送信するトーン信号 3 - C の一例を示す図である

50

。図5A～図5Cに示した例では、3つのセンサノード2-A～2-Cが送信する3つのトーン信号3-A～3-Cは、それぞれ異なる周波数を有しているが、一部またはすべてのトーン信号3において周波数が同じであっても良い。なお、3つのセンサノード2-A～2-Cが送信する3つのトーン信号3-A～3-Cにおいて、信号強度は同じであることが望ましい。

【0047】

図5Dは、本発明の第1実施形態によるフュージョンセンタ1が1つの受信信号として一括受信する、複数のトーン信号3-A～3-Cの集合体の一例を示す図である。

図5Dに示した例では、フュージョンセンタ1が受信する信号は、3つの周波数成分を有している。これら3つの周波数成分は、3つのトーン信号3-A～3-Cの周波数にそれぞれ対応している。なお、同じ周波数を有する複数のトーン信号3は、当然ながら信号強度が大きい1つの周波数成分として受信される。

【0048】

これら3つの周波数成分において、それぞれの信号強度は必ずしも同じではない。受信時の信号強度の違いは、送信元から送信先までの距離に反比例して信号の強度が減衰することに由来する。各周波数成分の信号強度は、いずれの場合も、閾値である所望受信電力 $P_{rFC}$ より大きくなければならない。したがって、トーン信号3の送信時の信号強度は、所望受信電力 $P_{rFC}$ の値や、各センサノード2からフュージョンセンタ1までの最大距離などから逆算して設定されることが望ましい。

また、所望受信電力 $P_{rFC}$ や、トーン信号3の送信時の信号強度は、使用する周波数帯域における雑音電力よりも十分に大きいことが望ましい。

なお、トーン信号3の信号強度は予め所定値に決まっている必要はない。フュージョンセンタ1から送信される送信リクエスト信号にトーン信号3の信号強度を指定するトーン信号強度情報を含めることにより、トーン信号3の信号強度が、フュージョンセンタ1から送信される送信リクエスト信号により指定される構成でも良い。

【0049】

ここで、分析部115の動作の詳細について説明する。

フュージョンセンタ1が受信したトーン信号3の集合体が含む情報のうち、分析部115が主に利用するのは、その周波数成分である。すなわち、分析部115は、OFDMのサブキャリア周波数のうち、どれが利用されて、どれが利用されなかったか、を検出する。

【0050】

一例として、用意された0番から100番のサブキャリア周波数のうち、20番から30番までの11種類と、80番との、合計12種類のサブキャリア周波数に対応する周波数成分が、トーン信号3の集合体から検出された場合について考える。このような場合は、80番のサブキャリア周波数に対応する周波数成分が例外的であると推定することが出来る。これは、一つの室内に温度測定用のセンサノード2を例えば30個散在させたときに、通常の反応を示しているセンサノードはそれぞれ20番から30番までのサブキャリア周波数でトーン信号3を発信し、例外的に1個または数個のセンサノードが80番のサブキャリア周波数でトーン信号3を発信したことを意味する。

ここで、20番、21番、22番・・・30番は、それぞれ22.0、22.1、22.2・・・23.0を観測した場合に、センサノードが発信するトーン信号のサブキャリア周波数である。また80番は、28.0を観測した場合に、センサノードが発信するトーン信号のサブキャリア周波数である。1個または数個のセンサノードだけが80番のサブキャリア周波数でトーン信号3を発信したことは、22～23の室内の一部に28の場所があることを示す。フュージョンセンタ1が受信したトーン信号3の集合体の中に、このような例外的な異常値を検出することにより、例えば部屋の一部で火災が起きていることなどを発見することができる。

【0051】

なお、各周波数成分の受信電力については、同じ周波数のトーン信号3を送信したセン

サノード 2 の総数や、センサノード 2 ごとのフュージョンセンタ 1 までの距離などに左右されるため、ここでは情報が否かの閾値判定以外の分析には利用しない。

分析部 1 1 5 は、以上のような分析の結果を、データ領域 1 2 1 に格納しても良いし、入出力装置 1 4 から出力しても良い。

【 0 0 5 2 】

次に、本発明の課題の 1 つである周辺無線システムとの干渉回避を実現するために行うキャリアセンスについて説明する。

まず、キャリアセンス部 1 1 1 の動作の詳細について説明する。図 6 A は、本発明の第 1 実施形態によるワイヤレスセンサネットワークシステムと、その周辺で通信する周辺無線システムの無線機との相互干渉問題について、距離の観点から説明する図である。

10

【 0 0 5 3 】

図 6 A は、フュージョンセンタ 1 と、2 つのセンサノード 2 - A、2 - B と、2 つの周辺無線送信機 4 - A、4 - B と、周辺無線受信機 5 とが配置された位置関係の例を示している。ここで、周辺無線送信機 4 - A、4 - B および周辺無線受信機 5 は、フュージョンセンタ 1 とセンサノード 2 - A、2 - B から構成されるワイヤレスセンサネットワークシステムには含まれない。すなわち、別のネットワークシステムの構成要素である。

通信範囲 2 0 0 - A は、センサノード 2 - A から送信されるトーン信号 3 - A が到達する範囲を示しており、その形状は例えば、センサノード 2 - A を中心とする円である。同様に、通信範囲 2 0 0 - B は、センサノード 2 - B から送信されるトーン信号 3 - B が到達する範囲を示しており、その形状は例えば、センサノード 2 - B を中心とする円である。

20

また、通信範囲 4 0 0 - A は、周辺無線送信機 4 - A が送信する周辺無線信号 6 - A が到達する範囲を示しており、その形状は例えば、周辺無線送信機 4 - A を中心とする円である。その他、周辺無線送信機 4 - B からは周辺無線信号 6 - B が送信される。なお、本実施の形態においては、特に平面距離が問題となるため、送信機を中心とする円を基準にしているが、本発明は送信機を中心とする球面を基準に考えた場合にも同様に適用可能である。

【 0 0 5 4 】

フュージョンセンタ 1 の位置は、通信範囲 2 0 0 - A の内側であり、通信範囲 2 0 0 - B の内側でもあるが、通信範囲 4 0 0 - A の外側である。また、フュージョンセンタ 1 から周辺無線送信機 4 - B までの距離は、フュージョンセンタ 1 から周辺無線送信機 4 - A までの距離よりもさらに長い。

30

【 0 0 5 5 】

図 6 B は、図 6 A に例示したワイヤレスセンサネットワークシステムと、その周辺で通信する他の無線機との相互干渉問題について、周波数および信号強度の観点から説明する図である。

図 6 B は、横軸が周波数を表し、縦軸が受信電力を表すグラフである。図 6 B のグラフには、図 6 A に例示した 4 つの信号、すなわちトーン信号 3 - A、3 - B および周辺無線信号 6 - A、6 - B と、その他の雑音 N と、が含まれている。ここで雑音とは、主としてフュージョンセンタ 1 の回路内で発生する不規則な信号を指しており、周辺無線システムがキャリアセンス対象のチャネルを利用して情報信号を発信していないにもかかわらず検出される信号を意味する。したがって、雑音は情報信号に比べて無視できるくらい小さい場合も含む。

40

図 6 B に示した例では、4 つの信号はそれぞれ周波数が異なっているが、実際には一部の信号において周波数が同じである場合も考えられる。その一方で、雑音 N は、幅広い周波数帯域に広がって存在している。

【 0 0 5 6 】

図 6 B の縦軸において、キャリアセンスレベル  $P_{cs}$  は、受信した信号の周波数成分ごとにキャリアセンス部 1 1 1 が検出可能な最小の受信電力である。言い換えれば、周辺無線信号 6 - B のように、受信電力がキャリアセンスレベル  $P_{cs}$  を下回る信号を、キャリ

50



アセス部 1 1 1 は無視する。このように、キャリアセンスレベル  $P_{CS}$  としては、キャリアセンスにおいて空きチャンネルとして無視できる程度の受信電力の値を設定する。なお、キャリアセンスレベル  $P_{CS}$  は、雑音  $N$  の電力より十分に大きく設定されることが望ましい。

#### 【 0 0 5 7 】

図 6 B の縦軸において、情報判定閾値  $P_{TH}$  は、受信した信号の周波数成分ごとにキャリアセンス部 1 1 1 が有効と判定する最小の受信電力である。言い換えれば、受信信号のうち、所望する成分であるトーン信号 3 - A、3 - B は、図 6 B に例示したように、情報判定閾値  $P_{TH}$  を上回っている必要がある。その一方で、図 6 B に示した例では、所望しない周辺無線信号 6 - A も情報判定閾値  $P_{TH}$  を上回っている。

10

このような周辺無線信号 6 - A は、分析部 1 1 5 において、センサノード 2 から送信されたトーン信号 3 と区別できないおそれがある。すなわち、フュージョンセンタ 1 およびセンサノード 2 が、周辺無線送信機 4 および周辺無線受信機 5 から悪影響を受ける恐れがある。このような悪影響を、以降、干渉と記す。本出願において、周辺無線システムとの干渉を回避するとは、まったく干渉が生じない状態だけを意味するものではなく、ワイヤレスセンサネットワークシステムが情報の送受信を行うに際して、周辺無線システムから受ける悪影響が問題にならない程度に抑制された状態も含むものとする。

また、このような周辺無線信号 6 の存在は、反対に、フュージョンセンタ 1 およびセンサノード 2 が、周辺無線送信機 4 および周辺無線受信機 5 からなる周辺無線システムに悪影響を与えている可能性を示唆している。このような悪影響を、以降、与干渉と記す。本出願において、与干渉を回避するとは、まったく与干渉が生じない状態だけを意味するものではなく、周辺無線システムが情報の送受信を行うに際して、ワイヤレスセンサネットワークシステムから受ける悪影響が問題にならない程度に抑制された状態も含むものとする。

20

#### 【 0 0 5 8 】

上記に説明した干渉または与干渉を回避するために、本実施形態によるワイヤレスセンサネットワークシステムでは、フュージョンセンタ 1 およびセンサノード 2 の間で通信を行う前に、この通信で使用する周波数帯域で周辺無線送信機 4 や周辺無線受信機 5 などが通信を行っているかどうかを検出する。このような検出をキャリアセンスと記す。キャリアセンスを行えば、チャンネルが空いたタイミングで通信を行うことができる。その結果、周辺無線送信機 4 や周辺無線受信機 5 が通信を行っていないときに、ワイヤレスセンサネットワークシステムが情報の送受信を行うことができるため、周辺無線システムからの干渉を回避することができる。

30

#### 【 0 0 5 9 】

従来技術として、無線通信システムには、それに含まれる複数の無線送受信機がそれぞれにキャリアセンスを行う方法がある。このような方法では、無線送受信機の総数が増えるとキャリアセンスに必要な時間が増大する。また、各無線送受信機がキャリアセンスに必要な構造を有するため、無線送受信機のサイズが大きくなり、消費電力も大きくなる。

その一方で、本実施形態によるワイヤレスセンサネットワークシステムでは、フュージョンセンタ 1 がキャリアセンスを行い、センサノード 2 はキャリアセンスを行わない。この方法は、本実施形態によるワイヤレスセンサネットワークシステムでは、複数のセンサノード 2 の全てまたは一部がフュージョンセンタ 1 との通信を一斉に行い、かつ、一度の通信が非常に短い時間で完了するからこそ可能となる。

40

#### 【 0 0 6 0 】

図 6 C は、本発明の第 1 実施形態によるフュージョンセンタ 1 が算出する想定与干渉範囲を説明する図である。ここで、想定与干渉範囲とは、フュージョンセンタ 1 および複数のセンサノード 2 が通信する際に、同じ周波数帯域で通信する周辺無線送信機 4 および周辺無線受信機 5 への干渉が発生し得る範囲である。

キャリアセンスを行うことで、周辺無線システムによる通信の有無、延いては周辺無線信号 6 を送信している周辺無線送信機 4 の存在を検出できる。また、フュージョンセンタ

50

1 から見た周辺無線信号 6 の受信電力に基づいて、フュージョンセンタ 1 から周辺無線送信機 4 までの距離を推測することもできる。

【 0 0 6 1 】

また、フュージョンセンタ 1 は、周辺無線信号 6 に含まれるパケットデータの種類や、複数の周辺無線送信機 4 が配置されている密度などに係る情報に基づいて、周辺無線送信機 4 から周辺無線受信機 5 までの距離を推測することが出来る。図 6 C では、周辺無線送信機 4 から周辺無線受信機 5 までの距離を  $d_1$  と記している。

しかし、想定与干渉範囲を算出するためには、周辺無線送信機 4 までの距離のみならず、周辺無線受信機 5 までの距離も推定する必要がある。図 6 C では、フュージョンセンタ 1 から周辺無線受信機 5 までの距離を  $d_2$  と記している。

フュージョンセンタ 1 は、キャリアセンスを行うことによって、所定の周波数帯域で通信を行う周辺無線送信機 4 の存在を検出するのみならず、この周辺無線送信機 4 が送信する周辺無線信号 6 を受信する周辺無線受信機 5 が存在し得る場所も推測する。この動作について説明する。

【 0 0 6 2 】

まず、フュージョンセンタ 1 のキャリアセンス部 1 1 1 は、キャリアセンスレベルを決定する。キャリアセンスレベルとは、キャリアセンスの対象となる周波数帯域で受信した信号を考慮するか否かの基準となる受信電力閾値である。したがって、キャリアセンスレベルを決定することは、図 6 C に示したキャリアセンス範囲 4 0 1 を決定することに等しい。

キャリアセンスレベルを低く設定することは、小さな受信電力であってもキャリアセンスの対象とすることを意味する。すなわち、フュージョンセンタ 1 から遠くにある周辺無線送信機 4 までキャリアセンスの対象とすることになり、キャリアセンス範囲 4 0 1 は広くなる。

逆に、キャリアセンスレベルを高く設定することは、小さな受信電力である場合にはキャリアセンスの対象としないことを意味する。すなわち、フュージョンセンタ 1 から近くにある周辺無線送信機 4 だけをキャリアセンスの対象とすることになり、キャリアセンス範囲 4 0 1 は狭くなる。

キャリアセンス範囲 4 0 1 の形状は例えば、フュージョンセンタ 1 を中心とする円である。

ここで、キャリアセンスレベルは、任意に決定して良い。例えば、予めデータ領域 1 2 1 にキャリアセンスレベルの候補値と、対応するキャリアセンス範囲の半径との対をリストアップしたテーブルを予め用意しておき、このテーブルの中から選択することでキャリアセンスレベルを決定すれば良い。この場合は、複数回のキャリアセンスをそれぞれ異なるキャリアセンスレベルで実行しても良い。また、キャリアセンスレベルを人為的に決定し、入出力装置 1 4 から入力して、キャリアセンス部 1 1 1 における決定値としても良い。

【 0 0 6 3 】

次に、周辺無線送信機 4 が、キャリアセンス範囲 4 0 1 の外側に位置していると想定する。ここでは、キャリアセンス範囲 4 0 1 の境界線上に位置していると想定する。

上記のように、周辺無線送信機 4 から周辺無線受信機 5 までの距離  $d_1$  を仮定し、図 6 C に示した周辺無線送信機 4 の通信範囲 4 0 0 を推測する。図 6 C に示した例では、通信範囲 4 0 0 の形状は、周辺無線送信機 4 を中心とし、距離  $d_1$  を半径とする円である。

【 0 0 6 4 】

そして、通信範囲 4 0 0 の中で、フュージョンセンタ 1 との距離が最小となる点に、周辺無線受信機 5 が位置していると推定する。このとき、図 6 C に示した距離  $d_2$  が、フュージョンセンタ 1 から周辺無線受信機 5 までの距離である。

【 0 0 6 5 】

次に、想定与干渉範囲 4 0 2 を算出する。図 6 C に示した例では、想定与干渉範囲 4 0 2 の形状は、フュージョンセンタ 1 を中心とし、距離  $d_2$  を半径とする円である。

10

20

30

40

50

想定与干渉範囲 402 を算出した後は、周辺無線送信機 4 および周辺無線受信機 5 に対する干渉および与干渉を回避しつつフュージョンセンタ 1 およびセンサノード 2 の間で通信を行える範囲を算出する。このような範囲を、以降、情報収集範囲と記す。

【0066】

図 6D は、図 6C に例示したフュージョンセンタ 1 が算出する情報収集範囲 403 について説明する概念図である。

図 6D には、図 6C に例示したフュージョンセンタ 1、センサノード 2 - A ~ 2 - C、周辺無線送信機 4、周辺無線受信機 5、通信範囲 400、キャリアセンス範囲 401 および想定与干渉範囲 402 の他に、情報収集範囲 403 がさらに例示されている。

情報収集範囲 403 は、基本的に、想定与干渉範囲 402 より狭い。

10

【0067】

ここで、通信条件算出部 112 の動作の詳細について説明する。以下の通信条件の算出は、通信条件算出部 112 によって行う。

フュージョンセンタ 1 においては、フュージョンセンタ 1 の送受信装置 13 で受信した受信電力が、ある所望の閾値である受信電力  $P_{rFC}$  を超えた場合を、センサノード 2 からのトーン信号 3 として認識する。

そのため、センサノード 2 がトーン信号 3 を送信する際の送信電力  $P_{tSN}$  は、トーン信号 3 がフュージョンセンタ 1 で受信されたときに、所望受信電力  $P_{rFC}$  を超えるように設計する必要がある。

以下に、センサノード 2 の送信電力  $P_{tSN}$  を設計する方法について説明する。

20

【0068】

OFDM サブキャリア 1 つあたりのフュージョンセンタ 1 の所望受信電力  $P_{rFC}$  と、SNR (Signal to Noise ratio: 信号対雑音比) の関係は、以下の計算式で与えられる。

【数 3】

$$SNR_{FC} = 10 \log \frac{P_{rFC}}{N \times \frac{W_{SN}}{W_{ST}} \times \frac{2}{SC+1}}$$

30

ここで、 $SNR_{FC}$  はフュージョンセンタ 1 における所望 SNR を示し、 $P_{rFC}$  はフュージョンセンタ 1 における所望受信電力を示す。N はトーン信号 3 の帯域幅における雑音電力を示し、 $W_{ST}$  はトーン信号 3 の使用帯域幅を示す。 $W_{SN}$  は OFDM サブキャリアの総帯域幅を示し、SC はサブキャリアの総数を示す。数 3 の分母は 1 サブキャリアあたりの雑音電力を表している。

【0069】

1 つのセンサノード 2 あたりの送信電力  $P_{tSN}$  は、受信電力と距離による減衰の関係から算出される。ここでは、各センサノード 2 が送信するトーン信号 3 の送信電力が一律である場合について説明する。フュージョンセンタ 1 から最も遠いセンサノードの場合でも、送信電力  $P_{tSN}$  が距離による減衰によって所望受信電力  $P_{rFC}$  を下回らないことが望ましい。このような条件は、以下の式で表される。

40

【数 4】

$$P_{tSN}(d_c) = P_{rFC} \left( \frac{4\pi d_0}{\lambda} \right)^2 \left( \frac{d_c}{d_0} \right)^n$$

50

ここで、 $P_{tSN}$  は1つのセンサノード2あたりの送信電力を示し、 $P_{rFC}$  はフュージョンセンタ1の所望受信電力を示す。 $\lambda$  はトーン信号3の波長を示し、 $d_c$  は情報収集範囲403の半径を示す。 $d_0$  は所定の参照距離を示し、 $n$  は伝搬減衰係数を示している。

【0070】

フュージョンセンタ1を中心とする情報収集範囲403の半径である距離 $d_c$ を徐々に大きく設定し、そのときに所望される送信電力 $P_{tSN}$ を数4より算出する。

そして、以下の数5より、フュージョンセンタ1および各センサノード2が周辺無線送信機4および周辺無線受信機5に与える合成干渉電力 $I_{agg}$ を、以下の式により算出する。

【数5】

$$I_{agg} = \int_0^{2\pi} \int_0^{d_c(r,\theta)} P_{tSN}(d_c) \rho_{SN}(r, \theta) r \left( \frac{\lambda}{4\pi d_0} \right)^2 \left( \frac{d_0}{z} \right)^n dr d\theta$$

ここで、 $I_{agg}$  は周辺無線システムへ与える合成干渉電力を示し、 $r$  はフュージョンセンタ1からの距離を示す。また、 $\theta$  はフュージョンセンタ1を中心とした所定方向との角度を示し、 $d_c$  は情報収集範囲403の半径を示す。 $P_{tSN}(d_c)$  はフュージョンセンタ1からの距離 $d_c$ に位置するセンサノード2の送信電力を示し、 $\rho_{SN}(r, \theta)$  はフュージョンセンタ1を中心として距離 $r$ 、角度 $\theta$ の範囲におけるセンサノード2の密度を示す。 $d_0$  は所定の参照距離を示し、 $z$  はセンサノード2から周辺無線受信機5までの距離を示す。

【0071】

算出された合成干渉電力 $I_{agg}$ が許容値よりも小さい場合は、情報収集範囲403の半径である距離 $d_c$ を徐々に大きくして、所望される送信電力 $P_{tSN}$ および合成干渉電力 $I_{agg}$ の算出を繰り返す。

算出された合成干渉電力 $I_{agg}$ が許容値を上回った場合はそこで算出の繰り返しを終了し、上回ったときの $d_c$ の1つ前の半径である距離 $d_c$ を採用して、情報収集範囲403を決定する。

採用された情報収集範囲403の条件下で算出されたトーン信号3の送信電力 $P_{tSN}$ を、許容干渉値の条件を満たす送信電力として採用し、収集範囲内のセンサノード2に予め設計しておくことができる。その場合、この送信電力は、センサノード2のデータ領域221に格納されることが望ましい。

【0072】

または、採用されたトーン信号3の送信電力を、情報収集範囲403内の各センサノード2にその都度設定することもできる。その場合は、採用された送信電力 $P_{tSN}$ の値をトーン信号強度情報として通信条件に含め、送信リクエスト信号に含まれる通信条件の1つとしてフュージョンセンタ1から各センサノード2に送信される。送信リクエスト信号を受信したセンサノード2は、送受信装置23で受信された送信リクエスト信号に含まれるトーン信号強度情報を、通信条件検出部212で検出し、送信電力 $P_{tSN}$ のトーン信号3をフュージョンセンタ1に送信する。これにより、フュージョンセンタ1は、情報収集範囲403内にあるセンサノード2から、受信電力 $P_{rFC}$ を超えるトーン信号3を受信することができる。

なお、通信条件には、さらに、一部のセンサノード2にはトーン信号の送信を要求し、他のセンサノード2はこの要求の対象外とする、分別条件が含まれても良い。この分別条件については、本発明の他の実施形態として後述する。

【0073】

10

20

30

40

50

さらに、上記で求めた距離  $d_c$  を採用して決定される情報収集範囲 403 内にあるセンサノード 2 に対して送信リクエスト信号が届くように、送信リクエスト信号の送信電力を決定しても良い。この場合、送信リクエスト信号は通信条件を含まなくても良い。

送信リクエスト信号を受信した複数のセンサノード 2 は、送受信装置 23 で受信された送信リクエスト信号の信号電力が、センサノード内で設定されている閾値を超えた場合だけ、フュージョンセンタ 1 にトーン信号 3 を送信する。これにより、フュージョンセンタ 1 は、距離  $d_c$  を採用して決定される情報収集範囲 403 内にあるセンサノード 2 からのみトーン信号 3 の送信を受けることができる。

この送信リクエスト信号の送信電力は、通信条件としてフュージョンセンタ 1 のデータ領域 121 に格納されることが望ましい。

10

#### 【0074】

または、上記で求めた距離  $d_c$  を採用して決定される情報収集範囲 403 内にあるセンサノード 2 のみを指定する ID 情報を、通信条件として送信リクエスト信号に含めても良い。この場合、送信リクエスト信号を受信した複数のセンサノード 2 は、送受信装置 23 で受信された送信リクエスト信号に含まれる ID 情報を、通信条件検出部 212 で検出し、自己が指定されたと判断した場合だけ、フュージョンセンタ 1 にトーン信号 3 を送信する。これにより、フュージョンセンタ 1 は、距離  $d_c$  を採用して決定される情報収集範囲 403 内にあるセンサノード 2 からのみトーン信号 3 の送信を受けることができる。

このセンサノード分別情報としての ID 情報は、通信条件としてフュージョンセンタ 1 のデータ領域 121 に格納されることが望ましい。

20

以上の通信条件の算出は、通信条件算出部 112 によって行う。

#### 【0075】

ここで、送信リクエスト信号生成部 113 の動作の詳細について説明する。

送信リクエスト信号生成部 113 は、センサノード 2 から観測結果としてのトーン信号 3 の送信を要求する送信リクエスト信号を生成する。各センサノード 2 は、送信リクエスト信号を受信した場合には、観測結果に対応する周波数のトーン信号 3 をフュージョンセンタ 1 に送信するように構成されている。したがって、この送信リクエスト信号は、単にセンサノード 2 に応答を要求する信号だけから成るものでも良いし、各種の通信条件を含んでいても良い。ここで、通信条件には、前述した送信電力  $P_{tsn}$  の値をトーン信号強度情報として含んでも良い。

30

送信リクエスト信号に含まれる通信条件には、さらに、各センサノード 2 がフュージョンセンタ 1 に向けたトーン信号 3 を送信するタイミングを指定する情報を含んでいても良い。ただし、実際には周辺無線送信機 4 による周辺無線信号 6 の送信が始まる可能性はいつでもあるので、各センサノード 2 は送信リクエスト信号を受信したら直ちにトーン信号 3 を送信することが望ましい。この場合は、タイミングを指定する必要が無い。

#### 【0076】

ここで、送受信部 114 の動作のうち、送信リクエスト信号を送信する動作の詳細について説明する。

まず、フュージョンセンタ 1 のキャリアセンス部 111 でキャリアセンスを行い、キャリアセンスレベル  $P_{cs}$  を超える受信電力が無いことを確認する。キャリアセンスレベルを超え受信電力が検出されないということは、周辺無線システムが通信を行っていない、または通信を行っていても無視できるレベルであることを意味する。すなわち、フュージョンセンタ 1 およびセンサノード 2 が使用する周波数帯域が空いている状態である。

40

周波数帯域が空いていることを検出したら、送受信部 114 は、生成された送信リクエスト信号を、所定のタイミングで全てのセンサノード 2 に向けて送信する。ただし、前述したとおり、周辺無線送信機 4 による周辺無線信号 6 の送信が始まる可能性はいつでもあるので、送信リクエスト信号生成部 113 は送信リクエスト信号が生成されたら直ちに送信リクエスト信号を送信することが望ましい。ただし、その間に送信リクエスト信号を定義する諸条件を表すデータをデータ領域 121 に格納しても良い。

#### 【0077】

50

ここで、本実施形態によるワイヤレスセンサネットワークシステムの動作、すなわち本実施形態による情報収集方法についてまとめる。図7Aは、本発明の第1実施形態によるワイヤレスセンサネットワークシステムの動作の一例を示すシーケンス図である。

図7Aは、フュージョンセンタ1およびセンサノード2-A~2-Fの動作の一例を示している。ただし、センサノード2-C~2-Eの動作については図示を省略している。なお、前述したとおり、センサノード2の総数に制限は特に無い。

【0078】

図7Aに示した例では、まず、フュージョンセンタ1が、第1ステップS11としてキャリアセンスを行う。次に、フュージョンセンタ1が、第2ステップS12として通信条件を算出する。そして、フュージョンセンタ1が、第3ステップS13として送信リクエスト信号を生成する。次に、フュージョンセンタ1が、第4ステップS14として送信リクエスト信号をセンサノード2-A~2-Fに向けて送信する。

10

【0079】

続いて、センサノード2-A~2-Fのそれぞれが、第5ステップS21A~S21Fとして送信リクエスト信号を受信する。次に、センサノード2-A~2-Fのそれぞれが、第6ステップS22A~S22Fとして通信条件を確認する。そして、センサノード2-A~2-Fのそれぞれが、第7ステップS23A~S23Fとして観測対象を測定する。

センサノード2-A~2-Fのそれぞれが、第8ステップS24A~S24Fとしてトーン信号を生成する。次に、センサノード2-A~2-Fのそれぞれが、第9ステップS25A~S25Fとしてトーン信号3をフュージョンセンタ1に向けて送信する。

20

【0080】

フュージョンセンタ1が、第10ステップS15としてトーン信号3の集合体を一括受信する。そして、フュージョンセンタ1が、第11ステップS16としてトーン信号3の集合体を分析する。

【0081】

ここで、本実施形態によるフュージョンセンタ1の動作、すなわち本実施形態によるフュージョンセンタ1による情報収集方法についてまとめる。図7Bは、本発明の第1実施形態によるフュージョンセンタ1の動作の一例を示すフローチャートである。

フュージョンセンタ1は、まず、第1ステップS11に含まれるステップS111として周辺無線システムが通信中であるか否かの検出を行う。

30

通信中の周辺無線システムが検出された場合(YES)は、第1ステップS11に含まれるステップS112として周辺無線システムの通信が終了するまで待機する。その後、第1ステップS11に含まれるステップS113としてNAV(Network Allocation Vector)時間の待機と、DIFS(Distributed coordination function InterFrame Space)時間の待機とを行う。その後さらに、第1ステップS11に含まれるステップS114としてランダムバックオフ時間の待機を行う。そして、ステップS111に戻る。

【0082】

通信中の周辺無線システムが検出されなかった場合(NO)は、第2ステップS12として通信条件を算出する。続いて、第3ステップS13として送信リクエスト信号を生成する。そして、第4ステップS14として送信リクエスト信号を送信する。

40

第10ステップS15に含まれるステップS151としてトーン信号受信モードを開始する。図7Aに示したとおり、第10ステップS15においてはトーン信号3を受信する。そして、第10ステップS15に含まれるステップS152としてトーン信号受信モードを終了する。

【0083】

次に、第11ステップS16として分析を行う一方で、第12ステップS17としてDIFS(Distributed coordination function InterFrame Space)時間の待機を行う。その後さらに、第13ステップS1

50

8としてランダムバックオフ時間の待機を行う。次に、ステップS 1 1 1に戻る。

【0084】

以上に説明したフュージョンセンタ1の動作は、プログラムとしてプログラム領域1 2 2に格納されていることが好ましい。なお、このプログラムは、記憶媒体1 4 1からプログラム領域1 2 2に供給されても良い。

【0085】

ここで、本実施形態によるセンサノード2の動作、すなわち本実施形態によるセンサノード2による情報測定方法についてまとめる。図7Cは、本発明の第1実施形態によるセンサノード2の動作の一例を示すフローチャートである。

各センサノード2は、まず、第5ステップS 2 1に含まれるステップS 2 1 1として送信リクエスト信号を受信するための待機を行う。次に、第5ステップS 2 1に含まれるステップS 2 1 2として送信リクエスト信号を受信する。

続いて、各センサノード2は、第6ステップS 2 2に含まれるステップS 2 2 1として通信条件を検出する。そして、第6ステップS 2 2に含まれるステップS 2 2 2として、各センサノード2は自身がトーン信号3の送信を要求されている対象であるか否かを確認する。

【0086】

自身がトーン信号3の送信を要求されている対象ではなかった場合(N O)、各センサノード2はステップS 2 1 1に戻る。

反対に、自身がトーン信号3の送信を要求されている対象であった場合(Y E S)、各センサノード2は第7ステップS 2 3として観測対象を測定する。

【0087】

その後、各センサノード2は、第8ステップS 2 4としてトーン信号3を生成する。次に、各センサノード2は、第9ステップS 2 5としてトーン信号3をフュージョンセンタ1に向けて送信する。そして、各センサノード2は、ステップS 2 1 1に戻る。

以上に説明したセンサノード2の動作は、プログラムとしてプログラム領域2 2 2に格納されていることが好ましい。なお、このプログラムは、記憶媒体2 4 1からプログラム領域2 2 2に供給されても良い。

【0088】

ここで、本実施形態によるワイヤレスセンサネットワークシステムおよびこれを用いる情報収集方法で得られる作用効果について説明する。

図8は、本発明の第1実施形態によるワイヤレスセンサネットワークシステムおよび情報収集方法と、複数の無線送受信機がそれぞれにキャリアセンスを行う従来技術とを、情報収集回数で比較したシミュレーション結果の一例を示すグラフである。

図8は、横軸がキャリアセンスエリア内周辺無線システム数を示し、縦軸が収集回数を示すグラフを示している。このグラフは、合計6本のグラフa~fを含んでいる。ここで、キャリアセンスエリア内周辺無線システム数は、周辺無線送信機および周辺無線受信機の対の総数を意味する。

【0089】

第1グラフaは、本実施形態によるワイヤレスセンサネットワークシステムおよび情報収集方法を用いて多数のセンサノード2から送信されるトーン信号3のうち、フュージョンセンタ1が一括受信できたトーン信号3の総数を示している。第2グラフb~第6グラフfは、本実施形態との比較対象として、従来技術によるCSMA/CA(Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance)を用いた送受信機の間で信号を送受信できた回数を示している。なお、CSMA/CAは、例えば無線LAN(Local Area Network)などの通信手段に採用されている通信プロトコルである。

【0090】

ここで、第2グラフb~第6グラフfに示した例は、センサノードの総数が異なる。すなわち、第2グラフbはセンサノードの総数が1個である場合を示し、第3グラフcはセ

10

20

30

40

50

ンサノードの総数が3個である場合を示し、第4グラフdはセンサノードの総数が5個である場合を示し、第5グラフeはセンサノードの総数が10個である場合を示し、第6グラフfはセンサノードの総数が25個である場合を示している。

【0091】

図8から読み取れるように、いずれの場合も、キャリアセンスエリア内の周辺無線システム数が増えれば、収集回数は指数関数的に減少する傾向にある。これは、キャリアセンスエリア内の周辺無線システム数が増えれば、通信できない時間が増えるからであると考えられる。

また、第2グラフb～第6グラフfから読み取れるように、センサノードの総数が増えれば、収集回数が反比例して減少する傾向にある。これは、同じフュージョンセンタと通信できるセンサノードは一度に1個であるからと考えられる。

10

【0092】

一方、第1グラフaは約500のサブキャリア周波数を用いて情報収集を行った場合のグラフである。本発明によれば、複数のセンサノードから情報を一括受信できるため、基本的にセンサノード数がいくつであっても、理論的には収集回数に変わりはない。そのため、図8の第1グラフaにおいては、従来技術である第2グラフb～第6グラフfのようなセンサノード数は観念されない。

第1グラフaから読み取れるように、本実施形態によれば、センサノード数には制限がなくなるため、例え100個以上と多数になった場合でも、第2グラフbに示した、CSMA/CAにおいてセンサノードの総数が1個である場合にほぼ等しい性能で情報の収集を行える、という優れた作用効果が得られることが分かる。その一因として、複数のセンサノード2が同じフュージョンセンタ1と同時に通信できる、という本発明の特徴が挙げられる。

20

【0093】

本発明の最も簡易な構成として、フュージョンセンタ1は、通信条件算出部112を有していなくても良い。また、センサノード2は、通信条件検出部212を有していなくても良い。

その場合、フュージョンセンタ1は、キャリアセンスの結果に応じて、空きチャネルを利用して通信条件を含まない送信リクエスト信号を全てのセンサノード2に向けて送信する。センサノード2は、送信リクエスト信号を受信したらすぐに、観測結果に対応する周波数でトーン信号3をフュージョンセンタ1に送信する。これにより、極めて短時間だけ空きチャネルを利用して、一括して大量の情報を収集することができる。センサノード2は通信条件検出部を持たないため構成が簡易になり、小型化および低消費電力化も実現できる。

30

【0094】

[第2実施形態]

本発明の第1実施形態においては、複数のセンサノード2の全てに向けて送信リクエスト信号を発信し、全てのセンサノード2から情報を収集する形態を説明した。本発明の第2実施形態においては、トーン信号3の送信を要求する対象と、対象外とに分別し、一部のセンサノードのみから情報を収集する形態について説明する。

40

本実施の形態によれば、情報収集の対象を一部のセンサノード2に限定することにより、センサノード2の密度を仮想的に下げることが可能となり、情報収集範囲を広げることにつながる。

【0095】

図9は、本発明の第2実施形態による情報収集方法を説明する図である。図9は、各センサノード2に固有のID番号を対応付けたテーブルを示している。このようなテーブルは、例えば、フュージョンセンタ1のデータ領域121に格納しておく。

また、各センサノード2は、自身のID番号をデータ領域221に格納しておく。

図9のテーブルでは、さらに、各センサノード2をグループ1またはグループ2に割り振っている。図9に示した例では、ID番号が奇数のセンサノード2がグループ1に所属

50



し、ID番号が偶数のセンサノード2がグループ2に所属している。

【0096】

フュージョンセンタ1が送信リクエスト信号を送信する際に、「ID番号が奇数」または「ID番号が偶数」を示す1ビットの情報を加えた通信条件を含める。送信リクエスト信号を受信した各センサノード2は、自身のID番号をデータ領域221から読み出し、通信条件と照合し、自身がトーン信号の応答を要求された対象であるか否かを判定する。各センサノード2は、判定結果に従って、自身が応答を要求されていた場合にはトーン信号3を送信し、要求されていない場合にはトーン信号3を送信しない。トーン信号3を送信しない場合は、消費電力を節約するために、センサ25における測定の動作を省略しても良い。

10

【0097】

応答対象となるセンサノード2を半分に絞ることにより、トーン信号3を送信するセンサノード2の総数も半分になり、トーン信号全体の送信電力も半分になる。その結果、与干渉電力が低減されるため、その分だけ情報収集範囲403を広げることが可能となる。

【0098】

また、今回の送信リクエスト信号では対象と対象外の分別条件を逆に設定することで、前回の送信リクエスト信号ではトーン信号3を送信しなかったセンサノード2だけにトーン信号3の送信を要求することが出来る。この動作を繰り返すことで、情報収集にかかる時間は2倍に増えるものの、情報収集範囲403を広げることが可能となる。

対象とするセンサノード2の一例として奇数IDと偶数IDで分別する例を示したが、IDが3の倍数のもののみに限定したり、ランダムで選ぶなどすることにより、対象とするセンサノード2の比率を変えることも可能である。なお、一度に情報収集する対象となるセンサノード数は、2個以上であることが望ましい。

20

また、図9では、各センサノード2に固有のID番号を対応付けたテーブルを示したが、当該テーブルは、さらにID番号に対応させて各センサノード2の配置情報を含んでいても良い。

【0099】

[第3実施形態]

本発明の第2実施形態とは異なる分別条件として、送信リクエスト信号の送信電力を変更する方法について、本発明の第3実施形態として説明する。

30

図10は、本発明の第3実施形態による情報収集方法を説明する図である。図10に示した例では、情報収集範囲を3つの同心円状の通信範囲201、202、203に分割している。通信範囲201、202、203の中心にはフュージョンセンタ1が位置している。センサノード2-A、2-Bは通信範囲201の内側に位置している。センサノード2-C、2-Dは通信範囲202の内側、かつ、通信範囲201の外側に位置している。センサノード2-E、2-Fは通信範囲203の内側、かつ、通信範囲202の外側に位置している。

【0100】

本実施形態では、情報収集を3回に分けて行う。1回目には、通信範囲201の内側だけに届く送信電力でフュージョンセンタ1が送信リクエスト信号を送信する。さらに、送信リクエスト信号に含まれる通信条件として、以降受信する送信リクエスト信号を2回だけ無視する指定を追加する。その結果、センサノード2-A、2-Bだけが送信リクエスト信号を受信してトーン信号3を送信する。

40

【0101】

2回目には、通信範囲202の内側だけに届く送信電力でフュージョンセンタ1が送信リクエスト信号を送信する。さらに、送信リクエスト信号に含まれる通信条件として、以降受信する送信リクエスト信号を1回だけ無視する指定を追加する。その結果、センサノード2-A~2-Dだけが送信リクエスト信号を受信して、そのうちセンサノード2-C、2-Dだけがトーン信号3を送信する。

【0102】

50

3回目には、通信範囲203の全域に届く送信電力でフュージョンセンタ1が送信リクエスト信号を送信する。その結果、センサノード2-A~2-Fの全てが送信リクエスト信号を受信して、そのうちセンサノード2-E、2-Fだけがトーン信号3を送信する。

【0103】

こうすることで、フュージョンセンタ1を中心とする同心円上の範囲ごとに測定情報を個別に収集することが可能となる、という優れた作用効果が得られる。なお、第2実施形態と同様に、一度にトーン信号3を送信するセンサノード2の総数が3分の1に減るので、トーン信号全体としての送信電力も3分の1に減り、その分だけ情報収集範囲が広がる、という作用効果も同時に得られる。

なお、上記の例では3段階に分けて情報収集を行ったが、段階の数は自由に変更可能である。本実施形態においても、一度に情報収集する対象となるセンサノード数は、2個以上であることが望ましい。

【0104】

[第4実施形態]

本発明の第2実施形態で用いた各センサノード2に固有のID番号を、本発明の第1実施形態で説明した周波数軸マッピングと組み合わせることについて、本発明の第4実施形態として説明する。

図11は、本発明の第4実施形態による情報収集方法を説明する図である。図11は、センサノード2のID番号と、周波数軸マッピングで用いる観測値と、同じく周波数軸マッピングで用いるOFDMサブキャリア番号との対応関係を規定するテーブルの一例を示している。このテーブルは、フュージョンセンタ1のデータ領域121に格納されていることが好ましい。また、各センサノード2は、このテーブルのうち少なくとも自身に係る部分をデータ領域221に格納していることが好ましい。

【0105】

本実施形態では、OFDMサブキャリアの総数を、利用するセンサノード2の数で乗算する。すなわち、本発明の第1実施形態では101だったOFDMサブキャリアの総数を、例えば、センサノード2の総数が6であれば606以上に増やす。このとき、使用する周波数帯域を広げても良いし、サブキャリアごとに割り当てられる周波数帯域を狭めても良い。

【0106】

各センサノード2は、自身のデータ領域221に格納しているテーブルまたはその一部を参照し、このテーブルで規定されている対応関係に応じた周波数のトーン信号3を生成し、フュージョンセンタ1に向けて送信する。フュージョンセンタ1は、第1実施形態と同様にトーン信号3の集合を一括受信しても、分析部115がデータ領域121に格納されているテーブルを参照することで、どの周波数成分がどのID番号を有するセンサノード2から届き、かつ、どの観測値を意味するかを読み取ることが出来る。その結果、本実施形態によるワイヤレスセンサネットワークシステムおよび情報収集方法では、より詳細な情報を収集することが可能となる。なお、本実施形態においても、一度に情報収集する対象となるセンサノード数は、2個以上であることが望ましい。

【0107】

第2~第4実施形態では、応答対象とするセンサノード2を絞るための様々なバリエーションを説明したが、センサノード2を絞る方法が種々存在することを示唆する例示である。

また、各センサノード2の応答信号としてトーン信号3を例に説明したが、応答信号はトーン信号である必要はなく、測定結果に対応した所定の周波数を有する他の信号でも良い。

以上、発明者によってなされた発明を実施の形態に基づき具体的に説明したが、本発明は前記実施の形態に限定されるものではなく、その要旨を逸脱しない範囲で種々変更可能であることはいうまでもない。

【0108】

また、前記実施の形態に説明したそれぞれの特徴は、技術的に矛盾しない範囲で自由に組み合わせることが可能である。具体的には、第4実施形態に第2実施形態または第3実施形態を組み合わせることで、OFDMサブキャリアの総数に乘算する係数を減らし、第4実施形態をより安定的に実行することが可能となる。

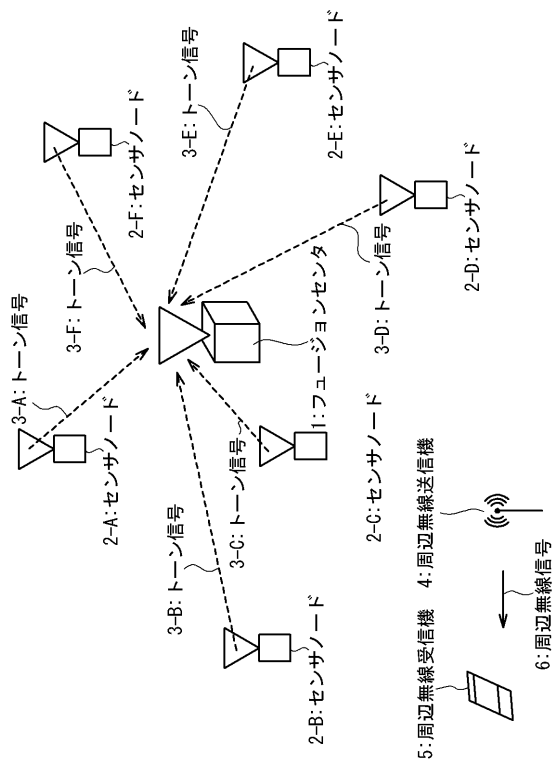
【符号の説明】

【0109】

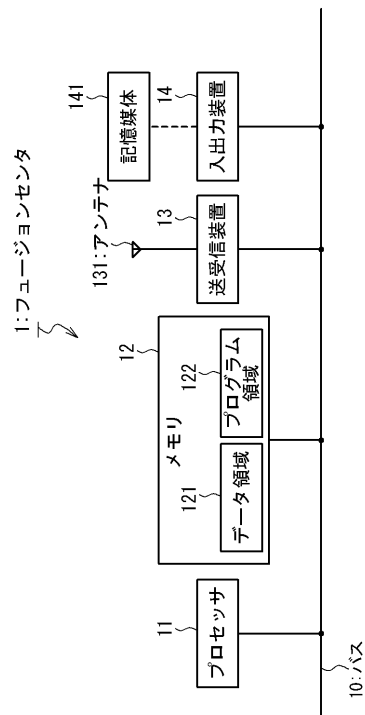
1	フュージョンセンタ	
10	バス	
11	プロセッサ	
110	仮想バス	10
111	キャリアセンス部	
112	通信条件算出部	
113	送信リクエスト信号生成部	
114	送受信部	
115	分析部	
12	メモリ	
121	データ領域	
122	プログラム領域	
13	送受信装置	
131	アンテナ	20
14	入出力装置	
141	記憶媒体	
2、2-A~2-F	センサノード	
20	バス	
200-A、200-B	通信範囲	
201~203	通信範囲	
21	プロセッサ	
210	仮想バス	
211	測定部	
212	通信条件検出部	30
213	トーン信号生成部	
214	送受信部	
22	メモリ	
221	データ領域	
222	プログラム領域	
23	送受信装置	
231	アンテナ	
24	入出力装置	
241	記憶媒体	
25	センサ	40
3、3-A~3-F、3-0~3-100	トーン信号	
4、4-A、4-B	周辺無線送信機	
400、400-A、400-B	通信範囲	
401	キャリアセンス範囲	
402	想定与干渉範囲	
403	情報収集範囲	
5	周辺無線受信機	
6、6-A、6-B	周辺無線信号	
N	雑音	
P <sub>Cs</sub>	キャリアセンスレベル	50

$P_N$  雑音電力  
 $P_{TH}$  情報判定閾値  
 $P_{rFC}$  所望受信電力

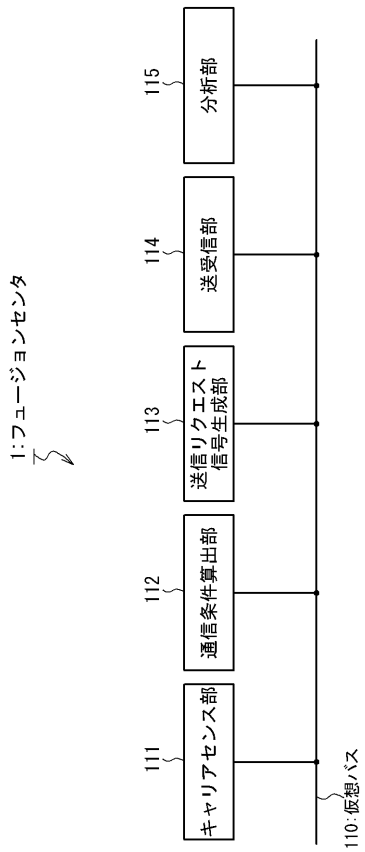
【図1】



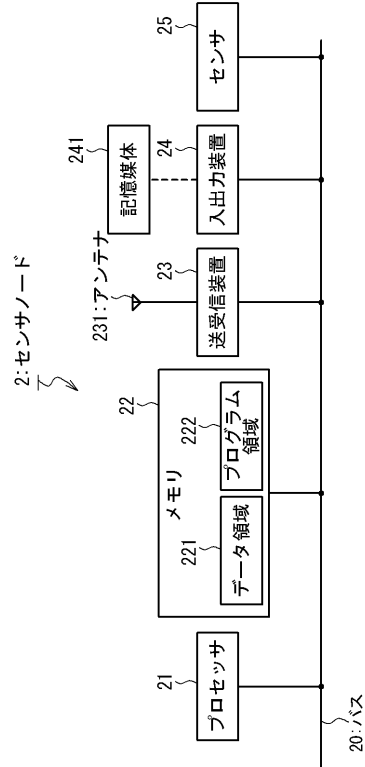
【図2A】



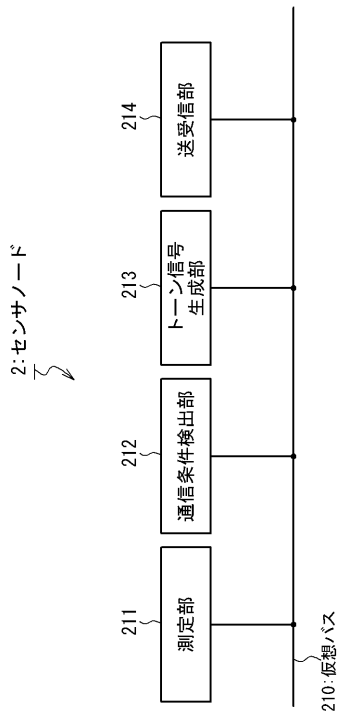
【図 2 B】



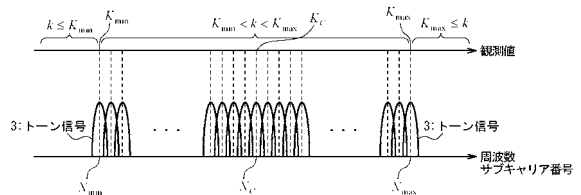
【図 3 A】



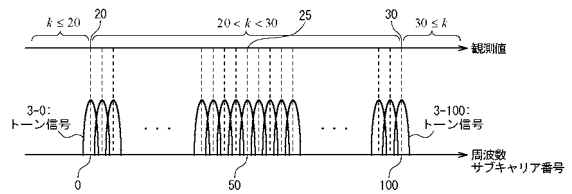
【図 3 B】



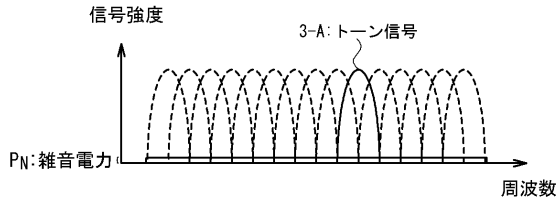
【図 4 A】



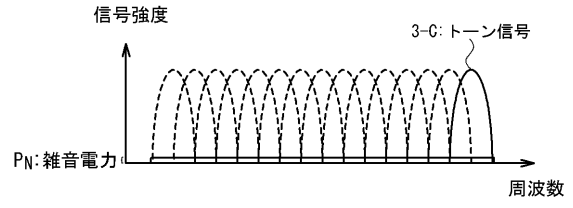
【図 4 B】



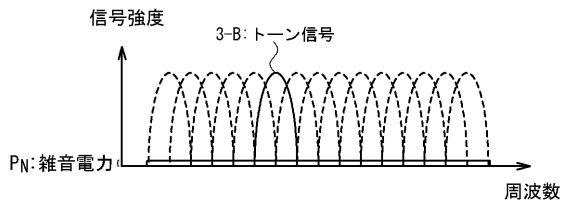
【図 5 A】



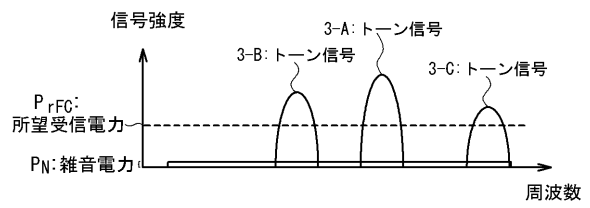
【図 5 C】



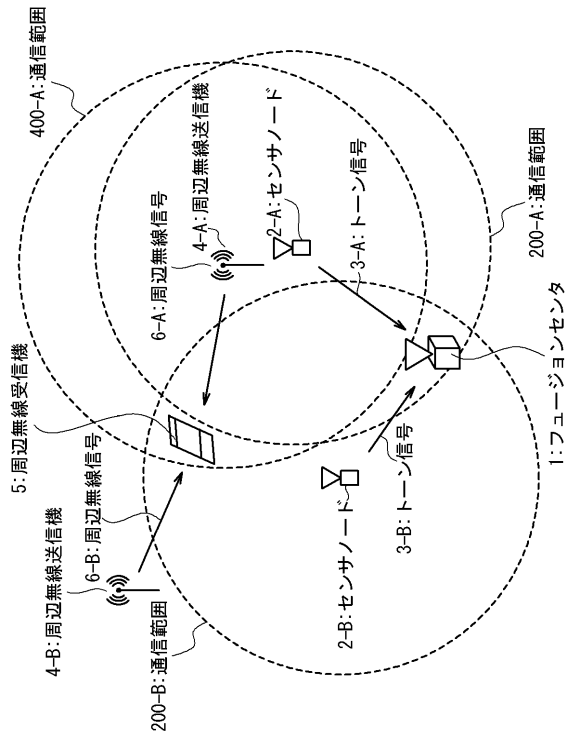
【図 5 B】



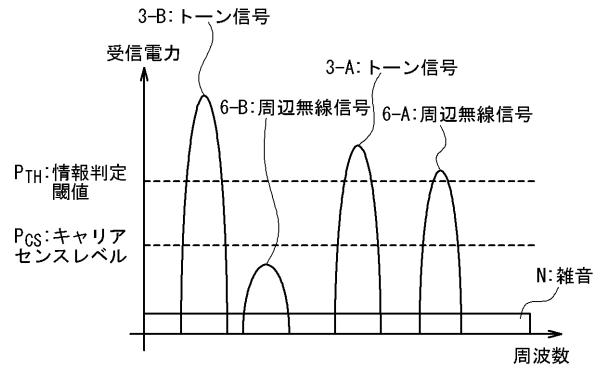
【図 5 D】



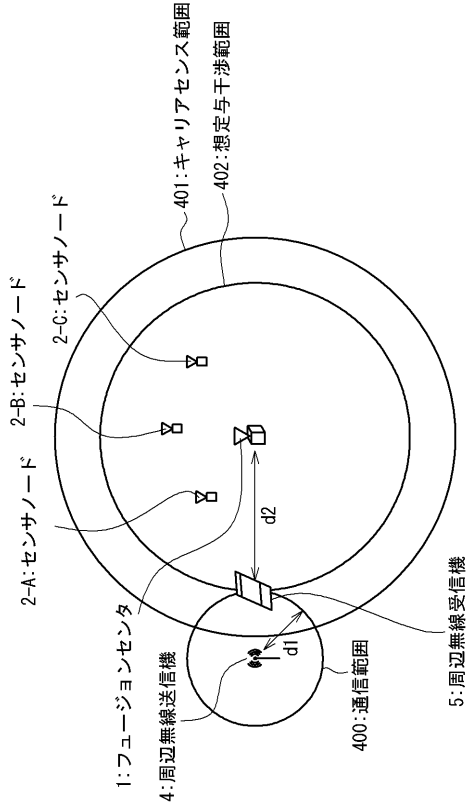
【図 6 A】



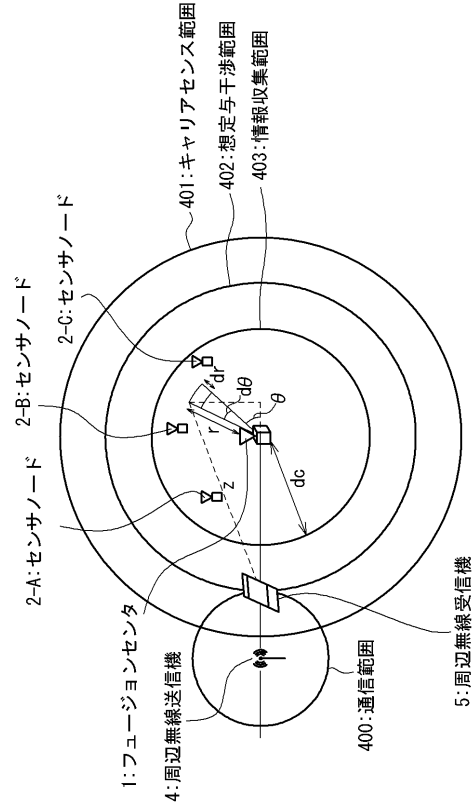
【図 6 B】



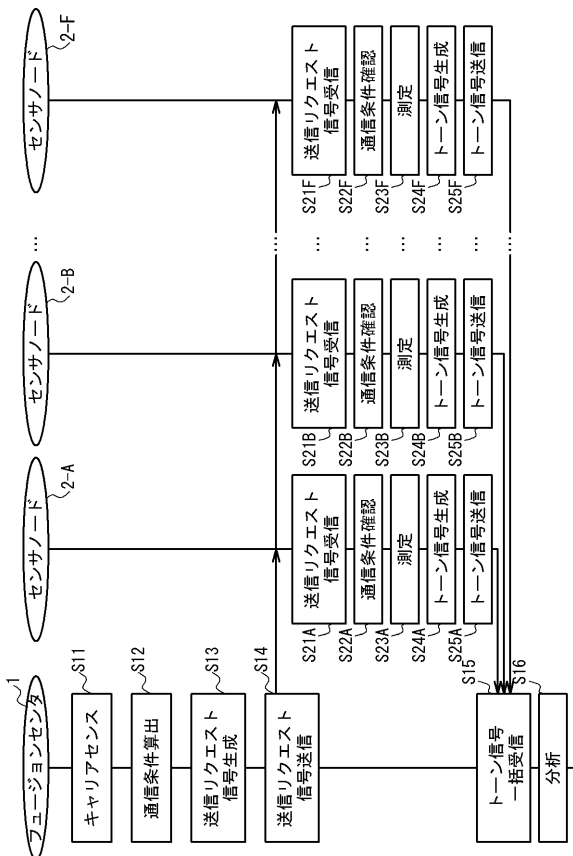
【図 6 C】



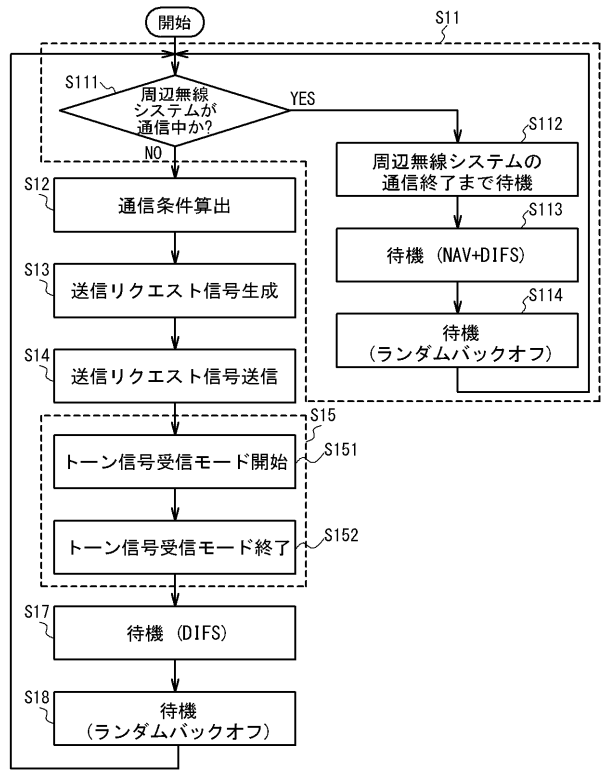
【図 6 D】



【図 7 A】



【図 7 B】







---

フロントページの続き

(72)発明者 高 木 俊輔

東京都調布市調布ヶ丘一丁目5番地1 国立大学法人電気通信大学内

(72)発明者 中山 敦喜

東京都調布市調布ヶ丘一丁目5番地1 国立大学法人電気通信大学内

(72)発明者 坂井 駿太

東京都調布市調布ヶ丘一丁目5番地1 国立大学法人電気通信大学内

Fターム(参考) 5K067 AA03 AA13 BB27 CC02 DD24 DD27 EE02 EE10 EE12 FF16  
GG01 JJ04 JJ38