

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第6600007号
(P6600007)

(45) 発行日 令和1年10月30日 (2019. 10. 30)

(24) 登録日 令和1年10月11日 (2019. 10. 11)

(51) Int. Cl.	F I
HO 4W 40/22 (2009. 01)	HO 4W 40/22
HO 4W 4/38 (2018. 01)	HO 4W 4/38
HO 4W 84/18 (2009. 01)	HO 4W 84/18 1 1 0
HO 4W 8/26 (2009. 01)	HO 4W 8/26 1 1 0

請求項の数 19 (全 47 頁)

(21) 出願番号	特願2017-550730 (P2017-550730)	(73) 特許権者	591016976
(86) (22) 出願日	平成28年1月21日 (2016. 1. 21)		ザ・チャールズ・スターク・ドレイパ・ラ
(65) 公表番号	特表2018-520527 (P2018-520527A)		ボラトリー・インコーポレイテッド
(43) 公表日	平成30年7月26日 (2018. 7. 26)		アメリカ合衆国〇 2 1 3 9 マサチューセッ
(86) 国際出願番号	PCT/US2016/014241		ツ州ケンブリッジ、テクノロジー・スクウ
(87) 国際公開番号	W02016/175905		ェア 5 5 5
(87) 国際公開日	平成28年11月3日 (2016. 11. 3)	(74) 代理人	100078282
審査請求日	平成30年2月13日 (2018. 2. 13)		弁理士 山本 秀策
(31) 優先権主張番号	14/697, 831	(74) 代理人	100113413
(32) 優先日	平成27年4月28日 (2015. 4. 28)		弁理士 森下 夏樹
(33) 優先権主張国・地域又は機関	米国 (US)	(74) 代理人	100181674
			弁理士 飯田 貴敏
		(74) 代理人	100181641
			弁理士 石川 大輔

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 センサアレイのための無線ネットワーク

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

線形センサネットワークであって、前記線形センサネットワークは、

複数のネットワークノードであって、前記複数のネットワークノードは、複数の部分的に重複するブランチを形成し、かつ、前記複数の部分的に重複するブランチの要素であり、前記複数のブランチの各ブランチは、それぞれの第1の端部およびそれぞれの第2の端部を有し、前記複数のブランチは、共通のルートを有し、前記複数のネットワークノードのうちの少なくとも1つのネットワークノードは、前記複数のブランチのうちの少なくとも2つのブランチの要素であり、前記複数のネットワークノードの各ネットワークノードは、前記ネットワークノードが要素である各ブランチに対する自身に関連付けられているそれぞれの固有のネットワークノード識別子を有し、前記複数のネットワークノードは、前記ノードのそれぞれのネットワークノード識別子に従って、前記複数のブランチに沿って論理的に配列されており、そのことにより、前記ネットワークノード識別子が、各ブランチに沿って、前記ブランチの前記第1の端部から前記ブランチの前記第2の端部まで単調に変動するようになっている、複数のネットワークノードと、

前記複数のブランチの前記共通のルートに隣接する基地局であって、前記基地局は、無線送受信機を備え、自身に関連付けられているネットワークノード識別子を有する、基地局と

を備え、

各ネットワークノードは、前記ネットワークノードのネットワークノード識別子の各々

10

20

の表現を記憶し、

各ネットワークノードは、それぞれのセンサと、それぞれの無線送受信機とを備え、

各ネットワークノードは、そのセンサを用いてデータを収集し、前記基地局において発信するコマンドを受信することに応答して、少なくとも1つのネットワークパケットを使用して、その無線送受信機を介して前記データを伝送し、

前記複数のネットワークノードの各ネットワークノードは、前記ネットワークノードが要素である前記ブランチの前記第1の端部におけるそれぞれの最初のネットワークノードおよび前記第2の端部におけるそれぞれの最後のネットワークノードを除いて、その無線送受信機を介して、ネットワークパケットを転送し、そのことにより、各ネットワークパケットが、それぞれの一連のネットワークノードによって転送されるようになっており、前記一連のネットワークノードのそれぞれのネットワークノード識別子は、前記一連のネットワークノードに沿って単調に変動する、線形センサネットワーク。

10

【請求項2】

各ネットワークノードは、

前記無線送受信機に結合され、受信されたネットワークパケットにおける送信元ネットワークノード識別子を読み取るネットワークパケット送信元識別装置と、

前記無線送受信機に結合され、受信されたネットワークパケットにおける宛先ネットワークノード識別子を読み取るネットワークパケット宛先識別装置と、

前記ネットワークパケット送信元識別装置および前記ネットワークパケット宛先識別装置に結合されているネットワークノード識別子コンパレータであって、前記ネットワークノード識別子コンパレータは、前記ノードのネットワークノード識別子の記憶された表現を前記受信されたネットワークパケットにおける送信元ネットワークノード識別子および前記受信されたネットワークパケットにおける宛先ネットワークノード識別子と比較する、ネットワークノード識別子コンパレータと、

20

前記ネットワークノード識別子コンパレータに結合されているネットワークパケットルータと

を備え、

前記ネットワークパケットルータは、前記ノードのネットワークノード識別子の表現に対する前記送信元ネットワークノード識別子の値に基づき、かつ前記ノードのネットワークノード識別子の表現に対する前記宛先ネットワークノード識別子の値に基づいて、前記受信されたネットワークパケットを転送することを検討すべきかどうかを決定する、請求項1に記載の線形センサネットワーク。

30

【請求項3】

前記ネットワークパケットルータは、ルーティングテーブルを参照することなく、前記受信されたネットワークパケットを転送することを検討すべきかどうかを決定する、請求項2に記載の線形センサネットワーク。

【請求項4】

前記ネットワークパケット送信元識別装置および前記ネットワークパケット宛先識別装置に結合されているパケット送信元および宛先ノード識別子コンパレータをさらに備え、前記パケット送信元および宛先ノード識別子コンパレータは、前記受信されたネットワークパケットにおける送信元ネットワークノード識別子および前記受信されたネットワークパケットにおける宛先ネットワークノード識別子を比較し、

40

前記ネットワークパケットルータは、前記パケット送信元および宛先ノード識別子コンパレータに結合され、前記宛先ネットワークノード識別子の値に対する前記送信元ネットワークノード識別子の値にも基づいて、前記受信されたネットワークパケットを転送することを検討すべきかどうかを決定する、請求項2に記載の線形センサネットワーク。

【請求項5】

前記複数のネットワークノードの各ノードに対して、前記最初のネットワークノードおよび前記最後のネットワークノードを除いて、前記ネットワークノードが要素である前記ブランチ上のノードの場所は、前記ブランチを前記ノードに対して第1の部分と第2の部

50

分とに論理的に分け、

前記複数のネットワークノードの各ネットワークノードは、前記最初のネットワークノードおよび前記最後のネットワークノードを除いて、その無線送受信機を介して、前記ネットワークノードが要素である前記ブランチの前記第1の部分上のそれぞれのノードから受信されたネットワークパケットを前記ネットワークノードが要素である前記ブランチの前記第2の部分上の少なくとも1つのノードに転送し、各ネットワークノードは、前記最初のネットワークノードおよび前記最後のネットワークノードを除いて、その無線送受信機を介して、前記ネットワークノードが要素である前記ブランチの前記第2の部分上のそれぞれのノードから受信されたネットワークパケットを前記ネットワークノードが要素である前記ブランチの前記第1の部分上の少なくとも1つのノードに転送する、請求項1に記載の線形センサネットワーク。

10

【請求項6】

ネットワークパケットを転送する方法であって、前記方法は、

複数のネットワークノードから複数の部分的に重複するブランチを形成することであって、前記複数のブランチの各ブランチは、それぞれの第1の端部およびそれぞれの第2の端部を有し、前記複数のブランチは、共通のルートを有し、前記複数のネットワークノードのうちの少なくとも1つのネットワークノードは、前記複数のブランチのうちの少なくとも2つのブランチの要素である、ことと、

前記複数のネットワークノードの各ネットワークノードに、前記ネットワークノードが要素である各ブランチに対する固有のネットワークノード識別子を割り当てることであって、そのことにより、前記複数のネットワークノードが、それぞれのネットワークノード識別子に従って、前記複数のブランチに沿って論理的に配列されて、前記ネットワークノード識別子が、各ブランチに沿って、前記ブランチの前記第1の端部から前記ブランチの前記第2の端部まで単調に変動するようになっている、ことと、

20

前記複数のブランチの前記共通のルートに隣接して基地局を配置することであって、前記基地局は、無線送受信機を備え、自身に関連付けられているネットワークノード識別子を有する、ことと、

各ネットワークノード内に前記ネットワークノードのネットワークノード識別子の各々の表現を記憶することと、

各ネットワークノードにおいて、前記ネットワークノードのセンサを使用して、データを収集することと、

30

前記複数のネットワークノードのうちの少なくとも1つにおいて、前記基地局において発信するコマンドを受信することに応答して、少なくとも1つのネットワークパケットを使用して、前記ネットワークノードの無線送受信機を介して、前記データを伝送することと、

前記複数のネットワークノードの各ネットワークノードにおいて、前記ネットワークノードが要素である前記ブランチの前記第1の端部におけるそれぞれの最初のネットワークノードおよび前記第2の端部におけるそれぞれの最後のネットワークノードを除いて、前記ネットワークノードの無線送受信機を介して、ネットワークパケットを転送することであって、そのことにより、各ネットワークパケットが、それぞれの一連のネットワークノードによって転送されるようになっており、前記一連のネットワークノードのそれぞれのネットワークノード識別子は、前記一連のネットワークノードに沿って単調に変動する、ことと

40

を含む、方法。

【請求項7】

各ネットワークノード識別子は、ブランチ識別子を含む、請求項1に記載の線形センサネットワーク。

【請求項8】

2つ以上のブランチの要素である各ネットワークノードは、それぞれのそのようなブランチについての情報を記憶する、請求項1に記載の線形センサネットワーク。

50

【請求項 9】

2つ以上のブランチの要素である各ネットワークノードは、前記2つ以上のブランチの各ブランチの要素である少なくとも1つのネットワークノードについての情報を記憶する、請求項1に記載の線形センサネットワーク。

【請求項 10】

前記少なくとも1つのネットワークノードの各ネットワークノードに対して、前記情報は、前記ネットワークノードの前記ネットワークノード識別子を含む、請求項9に記載の線形センサネットワーク。

【請求項 11】

2つ以上のブランチの要素である各ネットワークノードは、(a)前記ネットワークノードの無線範囲内でありかつ(b)前記2つ以上のブランチの各ブランチの要素である少なくとも1つのネットワークノードについての情報を記憶する、請求項1に記載の線形センサネットワーク。

10

【請求項 12】

前記少なくとも1つのネットワークノードの各ネットワークノードに対して、前記情報は、前記ネットワークノードの前記ネットワークノード識別子を含む、請求項11に記載の線形センサネットワーク。

【請求項 13】

前記固有のネットワークノード識別子を割り当てることは、ブランチ識別子を含むネットワークノード識別子を割り当てることを含む、請求項6に記載の方法。

20

【請求項 14】

各ネットワークノード内に前記ネットワークノードのネットワークノード識別子の各々の表現を記憶することは、2つ以上のブランチの要素である各ネットワークノードに対して、それぞれのそのようなブランチについての情報を記憶することを含む、請求項6に記載の方法。

【請求項 15】

各ネットワークノード内に前記ネットワークノードのネットワークノード識別子の各々の表現を記憶することは、2つ以上のブランチの要素である各ネットワークノードに対して、前記2つ以上のブランチの各ブランチの要素である少なくとも1つのネットワークノードについての情報を記憶することを含む、請求項6に記載の方法。

30

【請求項 16】

各ネットワークノード内に前記ネットワークノードのネットワークノード識別子の各々の表現を記憶することは、2つ以上のブランチの要素である各ネットワークノードに対して、それぞれのそのようなブランチについて、そのようなブランチの要素である少なくとも1つのネットワークノードについての情報を記憶することを含む、請求項6に記載の方法。

【請求項 17】

前記情報は、そのようなブランチの要素である前記ネットワークノードの前記ネットワークノード識別子を含む、請求項16に記載の方法。

【請求項 18】

各ネットワークノード内に前記ネットワークノードのネットワークノード識別子の各々の表現を記憶することは、2つ以上のブランチの要素である各ネットワークノードに対して、それぞれのそのようなブランチに対して、(a)そのようなブランチの要素でありかつ(b)無線範囲内である少なくとも1つのネットワークノードについての情報を記憶することを含む、請求項6に記載の方法。

40

【請求項 19】

前記少なくとも1つのネットワークノードの各ネットワークノードに対して、前記情報は、前記ネットワークノードの前記ネットワークノード識別子を含む、請求項18に記載の方法。

50

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

(関連出願の引用)

本願は、米国特許出願第14/697,831号(2015年4月28日出願、名称「Wireless Network for Sensor Array」)に対する優先権を主張し、上記出願の全内容は、あらゆる目的のために参照により本明細書に引用される。

【0002】

本発明は、無線コンピュータネットワークに関し、より具体的には、パイプラインまたは道路に沿ったセンサ等のノードの線形アレイのための無線コンピュータネットワークに関する。

【背景技術】

【0003】

パイプライン、幹線道路、鉄道線路、または公共設備配管に沿って設置されるセンサ等のセンサアレイは、典型的には、それらが設置されると、殆どまたは全く保守することなく、長期間、多くの場合、数年にわたって動作するように設計される。多くのそのようなアレイは、互いに、かつ最終的に、1つ以上の中央コントローラ(基地局)と無線で通信するノードのコンピュータネットワークを形成し、例えば、センサデータもしくはメータ読み取り値を収集し、それらを基地局に転送すること、または基地局からのコマンドに回答して、センサパラメータを設定すること、もしくは他の遠隔デバイスを制御することを行う。ノードは、アクセス困難な場所に設置され、バッテリー交換等の保守を困難かつ高価にし得る。

【0004】

ノード内の無線送信機および受信機(送受信機)が、ノード間およびノードと基地局との間の無線通信を提供する。これらの無線機は、有意な量の電力を消費し得る。しかしながら、各ノードは、典型的には、ノードを数年にわたって、場合によってはノードの全期待寿命にわたって動作させ続けることが予期されるバッテリー等、非常に限定された電気エネルギー源を有する。いくつかの場合、ノードは、その出力が比較的に小さい、太陽光、熱、または他のタイプのエネルギー回収装置によって給電される。

【0005】

その結果、エネルギー効率的無線通信プロトコルが、開発された。殆どのそのようなプロトコルは、低デューティサイクルを採用し、無線機は、周期的に、かつ比較的に短期間にわたってのみオンに切り替えられる。例えば、ContikiMAC無線デューティサイクルプロトコルによると、無線機は、1秒あたり約8回オンに切り替えられる。無線機がオフである時間量と比較した無線機がオンである時間量は、無線機のデューティサイクルと称される。約0.6%と同程度に低いデューティサイクルが、使用される。低デューティサイクルプロトコルは、エネルギーを節約するが、それらは、ノードが良好に同期させられたクロックを維持することを要求し、したがって、ノードは、その無線機をその近隣対応物と同時またはほぼ同時にオンにし得る。多数のノード間でクロックを同期させることは、エネルギーおよびコンピュータリソース消費の観点から非常に高価であり得る。改良された低デューティサイクルプロトコルが、したがって、望ましい。

【発明の概要】

【課題を解決するための手段】

【0006】

本発明の実施形態は、線形センサネットワークを提供する。線形センサネットワークは、少なくとも2つのネットワークノードと、基地局とを含む。少なくとも2つのネットワークノードは、ブランチに沿って論理的に配列される。ブランチは、第1の端部と、第2の端部とを有する。少なくとも2つのネットワークノードの各ネットワークノードは、それぞれのネットワークノード識別子に関連付けられている。少なくとも2つのネットワー

クノードは、それらのそれぞれの関連付けられているネットワークノード識別子に従って、ブランチに沿って論理的に配列される。少なくとも2つのネットワークノードは、ブランチに沿って論理的に配列され、したがって、ネットワークノード識別子は、ブランチに沿って、第1の端部から第2の端部に単調に変動する。ネットワークノード識別子は、ブランチに沿って、第1の端部から第2の端部に単調に増加し得る、またはネットワークノード識別子は、ブランチに沿って、第1の端部から第2の端部に単調に減少し得る。

【0007】

基地局は、無線送受信機を含む。基地局は、ブランチの一方の端部に隣接する。ネットワークノード識別子が、基地局に関連付けられている。

【0008】

各ネットワークノードは、そのそれぞれのネットワークノード識別子の表現を記憶する。各ネットワークノードは、それぞれのセンサと、それぞれの無線送受信機とを含む。各ネットワークノードは、そのセンサを用いてデータを収集し、基地局において発信するコマンドを受信することに応答して、少なくとも1つのネットワークパケットを使用して、その無線送受信機を介して、データを伝送する。

【0009】

少なくとも2つのネットワークノードの各ネットワークノードは、ブランチの一方の端部における最初のネットワークノードおよびブランチの他方の端部における最後のネットワークノードを除いて、その無線送受信機を介して、ネットワークパケットを転送する。各ネットワークパケットは、それぞれの一連のネットワークノードによって転送され、それらのそれぞれのネットワークノード識別子は、一連のネットワークノードに沿って単調に変動する。

【0010】

各ネットワークノードは、ネットワークパケット送信元識別装置と、ネットワークパケット宛先識別装置と、ネットワークノード識別子コンパレータと、ネットワークパケットルータとを含み得る。ネットワークパケット送信元識別装置は、無線送受信機に結合される。ネットワークパケット送信元識別装置は、受信されたネットワークパケットにおける送信元ネットワークノード識別子を読み取る。ネットワークパケット宛先識別装置も、無線送受信機に結合される。ネットワークパケット宛先識別装置は、受信されたネットワークパケットにおける宛先ネットワークノード識別子を読み取る。

【0011】

ネットワークノード識別子コンパレータは、ネットワークパケット送信元識別装置およびネットワークパケット宛先識別装置に結合される。ネットワークノード識別子コンパレータは、ノードのネットワークノード識別子の記憶された表現を受信されたネットワークパケットにおける送信元ネットワークノード識別子および受信されたネットワークパケットにおける宛先ネットワークノード識別子と比較する。

【0012】

ネットワークパケットルータは、ネットワークノード識別子コンパレータに結合される。ネットワークパケットルータは、ノードのネットワークノード識別子の表現に対する送信元ネットワークノード識別子の値およびノードのネットワークノード識別子の表現に対する宛先ネットワークノード識別子の値に基づいて、受信されたネットワークパケットを転送することを検討すべきかどうかを決定する。

【0013】

ネットワークパケットルータは、ルーティングテーブルを参照することなく、受信されたネットワークパケットを転送することを検討すべきかどうかを決定し得る。

【0014】

線形センサネットワークは、パケット送信元および宛先ノード識別子コンパレータも含み得る。パケット送信元および宛先ノード識別子コンパレータは、ネットワークパケット送信元識別装置およびネットワークパケット宛先識別装置に結合される。パケット送信元および宛先ノード識別子コンパレータは、受信されたネットワークパケットにおける送信

10

20

30

40

50

元ネットワークノード識別子および受信されたネットワークパケットにおける宛先ネットワークノード識別子を比較する。

【0015】

ネットワークパケットルータは、パケット送信元および宛先ノード識別子コンパレータに結合され得る。ネットワークパケットルータは、宛先ネットワークノード識別子の値に対する送信元ネットワークノード識別子の値にも基づいて、受信されたネットワークパケットを転送することを検討すべきかどうかを決定し得る。

【0016】

随意に、各ノードに対して、最初のネットワークノードおよび最後のネットワークノードを除いて、ブランチ上のノードの場所は、ブランチをノードに対して第1の部分および第2の部分に論理的に分ける。各ネットワークノードは、最初のネットワークノードおよび最後のネットワークノードを除いて、その無線送受信機を介して、ブランチの第1の部分上のそれぞれのノードから受信されたネットワークパケットをブランチの第2の部分上の少なくとも1つのノードに転送する。各ネットワークノードは、最初のネットワークノードおよび最後のネットワークノードを除いて、その無線送受信機を介して、ブランチの第2の部分上のそれぞれのノードから受信されたネットワークパケットをブランチの第1の部分上の少なくとも1つのノードに転送する。

【0017】

本発明の別の実施形態は、ネットワークパケットを転送する方法を提供する。方法は、少なくとも2つのネットワークノードのそれぞれのものに関連付けられているそれぞれのネットワークノード識別子に従って、ブランチに沿って少なくとも2つのネットワークノードを論理的に配列することを含む。ブランチは、第1の端部と、第2の端部とを有する。ネットワークノード識別子は、ブランチに沿って、第1の端部から第2の端部に単調に変動する。ネットワークノード識別子は、ブランチに沿って、第1の端部から第2の端部に単調に増加し得るか、またはネットワークノード識別子は、ブランチに沿って、第1の端部から第2の端部に単調に減少し得る。

【0018】

基地局が、ブランチの一方の端部に隣接して配置される。基地局は、無線送受信機を含む。ネットワークノード識別子が、基地局に関連付けられている。

【0019】

そのそれぞれのネットワークノード識別子の表現が、ネットワークノードのメモリ内等、各ネットワークノード内に記憶される。各ネットワークノードにおいて、データが、ネットワークノードのセンサを使用して収集される。少なくとも2つのネットワークノードのうちの少なくとも1つにおいて、基地局において発信するコマンドを受信することに対応して、データは、少なくとも1つのネットワークパケットを使用して、ネットワークノードの無線送受信機を介して伝送される。

【0020】

少なくとも2つのネットワークノードの各ネットワークノードにおいて、ブランチの一方の端部における最初のネットワークノードおよびブランチの他方の端部における最後のネットワークノードを除いて、ネットワークパケットが、ネットワークノードの無線送受信機を介して転送される。各ネットワークパケットは、それぞれの一連のネットワークノードによって転送され、それらのそれぞれのネットワークノード識別子は、一連のネットワークノードに沿って単調に変動する。

【0021】

パケットのグループが、最も遠い受信するノードを使用して、すなわち、最大可能ホップを使用して転送され得る。本発明のさらに別の実施形態は、無線線形ネットワーク内で、第1のノードから第2のノードを介して、少なくとも2つのパケットをルーティングする方法を提供する。無線線形ネットワークは、第1のノードと、第1のノードに近接する少なくとも2つの第2のノードと、少なくとも2つの追加のノードとを含み、全てが、ブランチに沿って配列される。各ノードは、ノード識別子を有する。ノード識別子は、ブ

10

20

30

40

50

ンチに沿って、ブランチの一方の端部からブランチの他方の端部に単調に変動する。少なくとも2つのパケットは、最初のパケットと、少なくとも1つの後続パケットとを含む。

【0022】

必ずしも、最初に少なくとも2つの第2のノードとタイムスロットについてネゴシエートせずに、第1のノードは、複数のパケットの各パケットを無線で連続的にブロードキャストする。各パケットは、厳密に1回ブロードキャストされ得る。各パケットは、シーケンス番号と、少なくとも2つのパケットにおけるパケットの合計数の指示とを含む。シーケンス番号は、少なくとも2つのパケット内のパケットを識別する。

【0023】

各第2のノードは、第1のノードから直接、少なくとも2つのパケットのうちの少なくとも1つのパケットを無線で受信する。それに応答して、各第2のノードは、肯定応答メッセージを第1のノードに無線で伝送する。肯定応答メッセージは、第2のノードのノード識別子を含む。肯定応答メッセージは、第2のノードによってどの少なくとも1つのパケットが受信されたかを識別する。少なくとも2つの第2のノードは、それによって、少なくとも2つの伝送される肯定応答メッセージを集合的に伝送する。

【0024】

第1のノードは、少なくとも2つの伝送された肯定応答メッセージのうちの少なくとも1つの肯定応答メッセージを受信する。第1のノードによって受信される少なくとも1つの肯定応答メッセージに従って、少なくとも1つの第2のノードが、少なくとも2つのパケットのうちの全てのパケットを受信した場合、第1のノードは、全てのパケットを受信した1つの第2のノードを選択する。第1のノードは、第2のノードを選択し、第1のノードのノード識別子と選択された第2のノードのノード識別子との間の差異は、第1のノードのノード識別子と全てのパケットを受信した任意の他の第2のノードのノード識別子との間の差異よりも大きい。第1のノードは、選択された第2のノードに命令メッセージを無線で伝送し、選択された第2のノードに、複数のパケットを転送するように命令する。

【0025】

そうでなければ、事前決定された補償試行の回数以内で、第1のノードは、少なくとも2つのパケットのセットをブロードキャストし、セットは、少なくとも1つの第2のノードによって受信されなかったパケットを含む。

【0026】

セットは、少なくとも2つの第2のノードによって受信されなかったパケットの集合を含み得る。

【0027】

類似する方法が、最も遠い受信するノードを使用して、すなわち、最大可能ホップを使用して、単一パケットを転送するために使用され得る。

【0028】

各第2のノードは、第2のノードに割り当てられたタイムスロット中に第1のノードに肯定応答メッセージを無線で伝送し得る。

【0029】

各第2のノードは、衝突検出および/または衝突回避を伴うキャリアセンスマルチプルアクセスプロトコルに従って、肯定応答メッセージを無線で伝送し得る。

【0030】

受信機のクロック位相が、どのパケットが受信された、および/または欠落しているかに基づいて調節され得る。各第2のノードは、クロックと、無線送受信機とを含み得る。方法はさらに、各第2のノードが、第2のノードによる複数のパケットのうちの少なくとも1つのパケットの受信のタイミングに基づいて、第2のノードのクロックを調節することを含み得る。クロックは、いつ第2のノードの無線受信機をオンにするか、および/またはいつ無線受信機をオフにするかを制御するために使用され得る。

【0031】

第2のノードが最初の packets を受信しなかった場合、クロックは、第2のノードが、サイクルにおいて以前よりも早くその無線受信機をオンにするように調節され得る。

【0032】

第2のノードが複数の packets のうちの全ての packets を受信したわけではない場合、クロックは、第2のノードが、少なくとも部分的に、第2のノードによって受信されなかった packets の数に依存する量だけ、サイクルにおいて以前よりも早くその無線受信機をオンにするように調節され得る。

【0033】

クロックを調節することは、少なくとも部分的に、第2のノードによって受信されなかった packets の数に依存する量だけクロックを調節することを含み得る。

10

【0034】

クロックを調節することは、少なくとも部分的に、最初の packets が第2のノードによって受信される前に、受信機がオンであった時間量に依存する量だけクロックを調節することを含み得る。

【0035】

第2のノードが最初の packets を受信した場合、クロックを調節することは、第2のノードが、少なくとも部分的に、最初の packets が第2のノードによって受信される前に、受信機がオンであった時間量に依存する量だけ、サイクルにおいて以前よりも遅くその無線受信機をオンにするようにクロックを調節することを含み得る。

【0036】

20

送信側ノードに近接するノードは、そのクロックを送信側に同期させ得る。本発明の実施形態は、第1のノードが無線線形ネットワーク内の第2のノードを自動的に識別する方法を提供する。そうすることにおいて、第1のノードは、優先順位を第2のノードに割り当てる。無線線形ネットワークは、第1のノードと、第1のノードに近接する少なくとも2つの第2のノードと、少なくとも2つの追加のノードとを含む。全てのノードは、ブランチに沿って配列される。各ノードは、無線送信機と、無線受信機とを含む。各ノードは、ノード識別子を有する。ノード識別子は、ブランチに沿って単調に変動する。ネットワークノード識別子は、ブランチに沿って、第1の端部から第2の端部に単調に増加し得るか、またはネットワークノード識別子は、ブランチに沿って、第1の端部から第2の端部に単調に減少し得る。

30

【0037】

第1のノードは、少なくとも2つの時間的に間隔を置かれた同期メッセージを無線でブロードキャストする。同期メッセージは、少なくとも2つの伝送タイムスロットについての情報を含む。各伝送タイムスロットに対して、同期メッセージは、伝送タイムスロットが割り当てられる単一のそれぞれの潜在的な第2のノードについての情報を含む。

【0038】

各第2のノードは、第1のノードから直接、同期メッセージのうちの少なくとも1つを受信する。各第2のノードは、複数の伝送タイムスロットのうちのどの1つが第2のノードに割り当てられているかを識別する。同期メッセージのうちの少なくとも1つの受信に応答して、各第2のノードは、その割り当てられた伝送タイムスロット中に無線で伝送する。各第2のノードは、第2のノードの識別子を含む肯定応答メッセージを無線で伝送する。したがって、集合的に、第2のノードは、複数の伝送される肯定応答メッセージを伝送する。

40

【0039】

第1のノードは、複数の伝送される肯定応答メッセージのうちの少なくとも1つの肯定応答メッセージを受信する。第1のノードは、その肯定応答メッセージが第1のノードによって受信された第2のノードのセットに優先順位を付ける。優先順位付けは、少なくとも部分的に、その肯定応答メッセージが第1のノードによって受信された第2のノードの識別子に基づく。

【0040】

50

各第2のノードは、クロックを含み得る。各第2のノードは、複数の同期メッセージのうちの少なくとも1つの第2のノードによる受信のタイミングに基づいて、そのクロックを調節し得る。各第2のノードは、いつその無線受信機をオンにするか、および/またはいつ無線受信機をオフにするかを制御するためにクロックを使用し得る。

【0041】

各第2のノードは、クロックを含み得る。各第2のノードは、複数の同期メッセージのうちの少なくとも1つの第2のノードによる受信のタイミングに基づいて、そのクロックを調節し得る。各第2のノードは、いつ第2のノードがスリープ状態に入るか、および/またはいつ第2のノードがスリープ状態からウェイクするかを制御するためにクロックを使用し得る。

10

【0042】

第2のノードのセットに優先順位を付けることは、第2のノードのセットのうちの各第2のノードに対して、第2のノードの識別子と第1のノードの識別子との間の差異に基づいて、第2のノードに優先順位を割り当てることを含み得る。より大きい差異を伴う第2のノードは、より小さい差異を伴う第2のノードよりも高い優先順位を割り当てられ得る。

【0043】

加えて、第2のノードのセットにおける各第2のノードに対して、第1のノードは、優先順位付けメッセージを無線で伝送し得る。優先順位付けメッセージは、第2のノードに割り当てられた優先順位を含み得る。優先順位付けメッセージは、第2のノードに割り当てられた受信タイムスロット中に伝送され得る。

20

【0044】

優先順位付けメッセージを伝送した後、第1のノードは、同期確認要求メッセージを伝送し得る。同期確認要求メッセージの受信に 응답して、第2のノードのセットにおける各第2のノードは、第2のノードに割り当てられた優先順位に関連付けられているそれぞれのタイムスロット中、同期肯定応答メッセージを伝送し得る。

【0045】

第1のノードは、メモリ内に、第2のノードのセットにおける各第2のノードについての情報を記憶し得る。情報は、第2のノードのノード識別子と、第2のノードに割り当てられた優先順位とを含み得る。

30

【0046】

ビルトインスケジューリングを用いた無線プロビジョニングが、提供され得る。本発明の別の実施形態は、少なくとも2つのノードを含むネットワーク内でノードを更新する方法を提供する。少なくとも2つのメッセージが、ネットワーク内で送信される。各メッセージは、更新情報と、未来時の指示とを含む。

【0047】

ネットワークの各ノードは、少なくとも2つのメッセージのうちの少なくとも1つを受信する。ネットワークの各ノードは、少なくとも2つのメッセージのうちの少なくとも1つの中に含まれる更新情報を記憶する。未来時において、ネットワークの各ノードは、ノードを更新するために、記憶された更新情報を使用する。

40

【0048】

ネットワークの各ノードは、未来時においてアウェイクされるための要求を開始し得る。

【0049】

各メッセージは、更新のタイプの指示も含み得る。各ノードは、ノードが更新のタイプに一致する場合のみ、ノードを更新するために、記憶された更新情報を使用し得る。

【0050】

各ノードは、ノードが更新のタイプに一致する場合のみ、更新情報を記憶し得る。

【0051】

健全性および安危情報が、他のタイプのネットワークパケット上で「ピギーバック」さ

50

れ得る。本発明のさらに別の実施形態は、ノードの無線線形センサネットワーク内で第1のネットワークステータス情報を送信する方法を提供する。無線線形センサネットワークは、中央コントローラを介して、別のネットワークに通信可能に結合される。ノードのうちの1つは、第1のネットワークステータス情報を収集する。ノードのうちの1つは、ノードのうちの別の1つからメッセージを無線で受信する。ノードのうちの1つは、メッセージ内に第1のネットワークステータス情報を記憶し、それによって、修正されたメッセージを生産する。ノードのうちの1つは、修正されたメッセージを無線で伝送する。

【0052】

メッセージは、少なくとも修正されることに先立って、どんなネットワークステータス情報も欠き得る。

10

【0053】

メッセージは、第2のネットワークステータス情報を含み得る。ノードのうちの1つは、第2のネットワークステータス情報を第1のネットワークステータス情報と比較する。メッセージ内に第1のネットワークステータス情報を記憶し、それによって、修正されたメッセージを生産することは、事前決定された比較スキームに従って、第1のネットワークステータス情報が、第2のネットワークステータス情報よりも有意である場合のみ、メッセージ内に第1のネットワークステータス情報を記憶し、それによって、修正されたメッセージを生産することを含み得る。

【0054】

複数のネットワークセグメントが、無線センサネットワーク内に含まれ得、それぞれ、その独自のタイムスロットを伴う。本発明の実施形態は、無線センサネットワークを提供する。ネットワークは、少なくとも2つのネットワークセグメントと、基地局とを含む。各ネットワークセグメントは、少なくとも2つのそれぞれのノードを含む。各ノードは、厳密に1つのネットワークセグメントの要素である。各ノードは、それぞれのセンサと、それぞれの無線送受信機とを含む。各ノードは、その無線送受信機を使用し、そのセンサから導出されるデータを伝送する。各ノードは、そのそれぞれのネットワークセグメントの少なくとも1つの他のノードの無線通信範囲内に配置される。各ノードは、(i)ネットワークセグメントの最初のノード、(ii)ネットワークセグメントの最後のノード、または(iii)ネットワークセグメントの中間ノードのうちの1つを含む。最初のノードおよび各中間ノードは、その送受信機を使用して、最初のノードからネットワークポロジックにより遠隔のネットワークセグメントのノードから受信したデータを最初のノードにネットワークポロジックにより近接したネットワークセグメントのノードに転送する。つまり、最後のノードを除く全てのノードが、基地局に向かってパケットを転送する。

20

30

【0055】

基地局は、無線送受信機を含む。基地局は、各ネットワークセグメントの最初のノードの無線通信範囲内に配置される。基地局は、その無線送受信機を使用し、複数のノードのセンサから収集されたデータを受信する。各ノードは、繰り返し時間間隔に従って動作する。各時間間隔は、複数のタイムスロットに分割される。各ネットワークセグメントは、複数のタイムスロットのうちの固有のタイムスロットに関連付けられている。各ノードは、ノードのネットワークセグメントに関連付けられているタイムスロット中、そのセンサから収集されたデータを伝送し、各時間間隔の残りの間、省電力スリープ状態に入る。

40

【0056】

各タイムスロットは、センサデータが1日以内に最後のノードから基地局に転送されることを可能にするために、十分に長くあり得る。

【0057】

各省電力スリープ状態は、少なくともN-1個のタイムスロットの合計と同程度に長くあり得、Nは、各時間間隔におけるタイムスロットの数に等しい。

【0058】

各タイムスロットは、少なくとも2つのサブスロットに分割され得る。各ノードは、(a)サブスロット中にその無線送受信機を使用し、ノードのネットワークセグメントの別

50

のノードからセンサデータを受信することであって、別のノードは、ノードよりも基地局から遠位にある、ことと、(b)後続サブスロット中に無線送受信機を使用し、センサデータを基地局に向かって転送することとを行う。

本明細書は、例えば、以下の項目も提供する。

(項目1)

線形センサネットワークであって、前記線形センサネットワークは、

複数のネットワークノードであって、前記複数のネットワークノードは、前記複数のネットワークノードのそれぞれのものに関連付けられているそれぞれのネットワークノード識別子に従って、ブランチに沿って論理的に配列されており、前記ブランチは、第1の端部と第2の端部とを有し、前記ネットワークノード識別子は、前記ブランチに沿って、前記第1の端部から前記第2の端部まで単調に変動する、複数のネットワークノードと、

前記ブランチの一方の端部に隣接する基地局であって、前記基地局は、無線送受信機を備え、前記基地局に関連付けられているネットワークノード識別子を有する、基地局とを備え、

各ネットワークノードは、そのそれぞれのネットワークノード識別子の表現を記憶し、

各ネットワークノードは、それぞれのセンサと、それぞれの無線送受信機とを備え、

各ネットワークノードは、そのセンサを用いてデータを収集し、前記基地局において発信するコマンドを受信することに応答して、少なくとも1つのネットワークパケットを使用して、その無線送受信機を介して前記データを伝送し、

前記複数のネットワークノードの各ネットワークノードは、前記ブランチの一方の端部における最初のネットワークノードおよび前記ブランチの他方の端部における最後のネットワークノードを除いて、その無線送受信機を介して、ネットワークパケットを転送し、各ネットワークパケットは、それぞれの一連のネットワークノードによって転送され、前記一連のネットワークノードのそれぞれのネットワークノード識別子は、前記一連のネットワークノードに沿って単調に変動する、

線形センサネットワーク。

(項目2)

各ネットワークノードは、

前記無線送受信機に結合され、受信されたネットワークパケットにおける送信元ネットワークノード識別子を読み取るネットワークパケット送信元識別装置と、

前記無線送受信機に結合され、受信されたネットワークパケットにおける宛先ネットワークノード識別子を読み取るネットワークパケット宛先識別装置と、

前記ネットワークパケット送信元識別装置および前記ネットワークパケット宛先識別装置に結合されているネットワークノード識別子コンパレータであって、前記ネットワークノード識別子コンパレータは、前記ノードのネットワークノード識別子の記憶された表現を前記受信されたネットワークパケットにおける送信元ネットワークノード識別子および前記受信されたネットワークパケットにおける宛先ネットワークノード識別子と比較する、ネットワークノード識別子コンパレータと、

前記ネットワークノード識別子コンパレータに結合されているネットワークパケットルータと

を備え、

前記ネットワークパケットルータは、前記ノードのネットワークノード識別子の表現に対する前記送信元ネットワークノード識別子の値に基づき、かつ前記ノードのネットワークノード識別子の表現に対する前記宛先ネットワークノード識別子の値に基づいて、前記受信されたネットワークパケットを転送することを検討すべきかどうかを決定する、項目1に記載の線形センサネットワーク。

(項目3)

前記ネットワークパケットルータは、ルーティングテーブルを参照することなく、前記受信されたネットワークパケットを転送することを検討すべきかどうかを決定する、項目2に記載の線形センサネットワーク。

(項目 4)

前記ネットワークパケット送信元識別装置および前記ネットワークパケット宛先識別装置に結合されているパケット送信元および宛先ノード識別子コンパレータをさらに備え、前記パケット送信元および宛先ノード識別子コンパレータは、前記受信されたネットワークパケットにおける送信元ネットワークノード識別子および前記受信されたネットワークパケットにおける宛先ネットワークノード識別子を比較し、

前記ネットワークパケットルータは、前記パケット送信元および宛先ノード識別子コンパレータに結合され、前記宛先ネットワークノード識別子の値に対する前記送信元ネットワークノード識別子の値にも基づいて、前記受信されたネットワークパケットを転送することを検討すべきかどうかを決定する、項目 2 に記載の線形センサネットワーク。

10

(項目 5)

前記複数のネットワークノードの各ノードに対して、前記最初のネットワークノードおよび前記最後のネットワークノードを除いて、前記ブランチ上のノードの場所は、前記ブランチを前記ノードに対して第 1 の部分と第 2 の部分とに論理的に分け、

前記複数のネットワークノードの各ネットワークノードは、前記最初のネットワークノードおよび前記最後のネットワークノードを除いて、その無線送受信機を介して、前記ブランチの前記第 1 の部分上のそれぞれのノードから受信されたネットワークパケットを前記ブランチの前記第 2 の部分上の少なくとも 1 つのノードに転送し、各ネットワークノードは、前記最初のネットワークノードおよび前記最後のネットワークノードを除いて、その無線送受信機を介して、前記ブランチの前記第 2 の部分上のそれぞれのノードから受信されたネットワークパケットを前記ブランチの前記第 1 の部分上の少なくとも 1 つのノードに転送する、

20

項目 1 に記載の線形センサネットワーク。

(項目 6)

ネットワークパケットを転送する方法であって、前記方法は、

複数のネットワークノードのそれぞれのものに関連付けられているそれぞれのネットワークノード識別子に従って、ブランチに沿って前記複数のネットワークノードを論理的に配列することであって、前記ブランチは、第 1 の端部と第 2 の端部とを有し、前記ネットワークノード識別子は、前記ブランチに沿って、前記第 1 の端部から前記第 2 の端部まで単調に変動する、ことと、

30

前記ブランチの一方の端部に隣接して基地局を配置することであって、前記基地局は、無線送受信機を備え、前記基地局に関連付けられているネットワークノード識別子を有する、ことと、

各ネットワークノード内にそのそれぞれのネットワークノード識別子の表現を記憶することと、

各ネットワークノードにおいて、前記ネットワークノードのセンサを使用して、データを収集することと、

前記複数のネットワークノードのうちの少なくとも 1 つにおいて、前記基地局において発信するコマンドを受信することに応答して、少なくとも 1 つのネットワークパケットを使用して、前記ネットワークノードの無線送受信機を介して、前記データを伝送することと、

40

前記複数のネットワークノードの各ネットワークノードにおいて、前記ブランチの一方の端部における最初のネットワークノードおよび前記ブランチの他方の端部における最後のネットワークノードを除いて、前記ネットワークノードの無線送受信機を介して、ネットワークパケットを転送することであって、各ネットワークパケットは、それぞれの一連のネットワークノードによって転送され、前記一連のネットワークノードのそれぞれのネットワークノード識別子は、前記一連のネットワークノードに沿って単調に変動する、ことと

を含む、方法。

(項目 7)

50

無線線形ネットワークにおける方法であって、前記無線線形ネットワークは、第 1 のノードと、前記第 1 のノードに近接する複数の第 2 のノードと、複数の追加のノードとを備え、全てのノードは、ブランチに沿って配列されており、各ノードは、ノード識別子を有し、前記ノード識別子は、前記ブランチに沿って、前記ブランチの一方の端部から前記ブランチの他方の端部に単調に変動し、前記方法は、複数のパケットを前記第 1 のノードから前記第 2 のノードのうちの 1 つを介してルーティングするためのものであり、前記複数のパケットは、最初のパケットと、少なくとも 1 つの後続パケットとを備え、

前記方法は、

前記第 1 のノードが、前記複数のパケットの各パケットを無線で連続的にブロードキャストすることであって、各パケットは、厳密に 1 回ブロードキャストされ、各パケットは

10

前記複数のパケット内のパケットを識別するシーケンス番号と、

前記複数のパケット内のパケットの合計数の指示と

を含む、ことと、

各第 2 のノードが、前記第 1 のノードから直接、前記複数のパケットのうちの少なくとも 1 つのパケットを無線で受信し、それに応答して、肯定応答メッセージを前記第 1 のノードに無線で伝送することであって、前記肯定応答メッセージは、前記第 2 のノードのノード識別子を含み、前記第 2 のノードによってどの前記少なくとも 1 つのパケットが受信されたかを識別し、前記複数の第 2 のノードは、それによって、複数の伝送される肯定応答メッセージを集散的に伝送する、ことと、

20

前記第 1 のノードが、前記複数の伝送される肯定応答メッセージのうちの少なくとも 1 つの肯定応答メッセージを受信することと、

前記第 1 のノードによって受信される少なくとも 1 つの肯定応答メッセージに従って、少なくとも 1 つの第 2 のノードが、前記複数のパケットのうちの全てのパケットを受信した場合、

前記第 1 のノードが、前記全てのパケットを受信した 1 つの第 2 のノードを選択することであって、前記第 1 のノードのノード識別子と前記選択された 1 つの第 2 のノードのノード識別子との間の差異は、前記第 1 のノードのノード識別子と前記全てのパケットを受信した任意の他の第 2 のノードのノード識別子との間の差異よりも大きい、ことと、

前記第 1 のノードが、前記選択された 1 つの第 2 のノードに命令メッセージを無線で伝送し、前記選択された 1 つの第 2 のノードに、前記複数のパケットを転送するように命令することと、

30

そうでなければ、

事前決定された補償試行の回数以内で、

前記第 1 のノードが、前記複数のパケットのセットをブロードキャストすることであって、前記セットは、少なくとも 1 つの第 2 のノードによって受信されなかったパケットを含む、ことと

を含む、方法。

(項目 8)

前記各第 2 のノードが前記第 1 のノードに前記肯定応答メッセージを無線で伝送することは、各第 2 のノードが、前記第 2 のノードに割り当てられたタイムスロット中に前記第 1 のノードに前記肯定応答メッセージを無線で伝送することを含む、項目 7 に記載の方法。

40

(項目 9)

前記各第 2 のノードが前記第 1 のノードに前記肯定応答メッセージを無線で伝送することは、各第 2 のノードが、衝突検出および衝突回避から成るグループから選択される衝突タイプを伴うキャリアセンスマルチプルアクセスプロトコルに従って、前記肯定応答メッセージを無線で伝送することを含む、項目 7 に記載の方法。

(項目 10)

前記セットは、少なくとも 2 つの第 2 のノードによって受信されなかったパケットの和

50

集合を備えている、項目 7 に記載の方法。

(項目 1 1)

各第 2 のノードは、クロックと、無線送受信機とを備え、前記方法は、各第 2 のノードが、

前記第 2 のノードによる前記複数のパケットのうちの前記少なくとも 1 つのパケットの受信のタイミングに基づいて、前記第 2 のノードのクロックを調節することと、

いつ前記第 2 のノードの無線受信機をオンにし、いつ前記無線受信機をオフにするかを制御するために、前記クロックを使用することと

をさらに含む、項目 7 に記載の方法。

(項目 1 2)

前記第 2 のノードが前記最初のパケットを受信しなかった場合、前記クロックを調節することは、前記第 2 のノードが、サイクルにおいて以前よりも早くその無線受信機をオンにするように前記クロックを調節することを含む、項目 1 1 に記載の方法。

(項目 1 3)

前記第 2 のノードが前記複数のパケットのうちの全てのパケットを受信したわけではない場合、前記クロックを調節することは、前記第 2 のノードが、少なくとも部分的に、前記第 2 のノードによって受信されなかったパケットの数に依存する量だけ、サイクルにおいて以前よりも早くその無線受信機をオンにするように前記クロックを調節することを含む、項目 1 1 に記載の方法。

(項目 1 4)

前記クロックを調節することは、前記第 2 のノードによって受信されなかったパケットの数に少なくとも部分的に依存する量だけ前記クロックを調節することを含む、項目 1 1 に記載の方法。

(項目 1 5)

前記クロックを調節することは、前記最初のパケットが前記第 2 のノードによって受信される前に、前記受信機がオンであった時間量に少なくとも部分的に依存する量だけ前記クロックを調節することを含む、項目 1 1 に記載の方法。

(項目 1 6)

前記第 2 のノードが前記最初のパケットを受信した場合、前記クロックを調節することは、前記第 2 のノードが、前記最初のパケットが前記第 2 のノードによって受信される前に、前記受信機がオンであった時間量に少なくとも部分的に依存する量だけ、サイクルにおいて以前よりも遅くその無線受信機をオンにするように前記クロックを調節することを含む、項目 1 1 に記載の方法。

(項目 1 7)

無線線形ネットワークにおける方法であって、前記無線線形ネットワークは、第 1 のノードと、前記第 1 のノードに近接する複数の第 2 のノードと、複数の追加のノードとを備え、全てのノードは、ブランチに沿って配列されており、各ノードは、無線送信機と、無線受信機とを備え、ノード識別子を有し、前記ノード識別子は、前記ブランチに沿って単調に変動し、前記方法は、前記第 1 のノードが前記複数の第 2 のノードを自動的に識別するためのものであり、前記方法は、

前記第 1 のノードが、複数の時間的に間隔を置かれた同期メッセージを無線でブロードキャストすることであって、前記複数の同期メッセージは、複数の伝送タイムスロットについての情報と、前記複数の伝送タイムスロットの各伝送タイムスロットに対して、前記伝送タイムスロットが割り当てられる単一のそれぞれの潜在的な第 2 のノードについての情報とを含む、ことと、

前記複数の第 2 のノードの各第 2 のノードが、前記第 1 のノードから直接、前記複数の同期メッセージのうちの少なくとも 1 つを受信することと、

各第 2 のノードが、前記複数の伝送タイムスロットのうちのどの 1 つが前記第 2 のノードに割り当てられているかを識別することと、

各第 2 のノードが、前記複数の同期メッセージのうちの前記少なくとも 1 つの受信に応

10

20

30

40

50

答して、その割り当てられた伝送タイムスロット中、前記第 2 のノードの識別子を含む肯定応答メッセージを無線で伝送し、前記複数の第 2 のノードは、それによって、複数の伝送される肯定応答メッセージを集合的に伝送することと、

前記第 1 のノードが、前記複数の伝送される前記肯定応答メッセージのうちの少なくとも 1 つの肯定応答メッセージを受信することと、

前記第 1 のノードが、肯定応答メッセージが前記第 1 のノードによって受信された前記複数の第 2 のノードのセットに優先順位を付けることであって、前記優先順位付けは、肯定応答メッセージが前記第 1 のノードによって受信された前記第 2 のノードの識別子に少なくとも部分的に基づく、ことと

を含む、方法。

10

(項目 18)

各第 2 のノードは、クロックを備え、前記方法は、各第 2 のノードが、

前記複数の同期メッセージのうちの前記少なくとも 1 つの第 2 のノードによる受信のタイミングに基づいて、前記第 2 のノードのクロックを調節することと、

いつ前記第 2 のノードの無線受信機をオンにし、いつ前記無線受信機をオフにするかを制御するために、前記クロックを使用することと

をさらに含む、項目 17 に記載の方法。

(項目 19)

各第 2 のノードは、クロックを備え、前記方法は、各第 2 のノードが、

前記複数の同期メッセージのうちの前記少なくとも 1 つの第 2 のノードによる受信のタイミングに基づいて、前記第 2 のノードのクロックを調節することと、

いつ前記第 2 のノードがスリープ状態に入り、いつ前記第 2 のノードが前記スリープ状態からウェイクするかを制御するために、前記クロックを使用することと

をさらに含む、項目 17 に記載の方法。

20

(項目 20)

前記第 2 のノードのセットに優先順位を付けることは、前記第 2 のノードのセットのうちの各第 2 のノードに対して、前記第 2 のノードの識別子と前記第 1 のノードの識別子との間の差異に基づいて、前記第 2 のノードに優先順位を割り当てることを含み、より大きい差異を伴う第 2 のノードは、より小さい差異を伴う第 2 のノードよりも高い優先順位を割り当てられる、項目 17 に記載の方法。

30

(項目 21)

前記第 2 のノードのセットにおける各第 2 のノードに対して、前記第 1 のノードが、優先順位付けメッセージを無線で伝送することをさらに含み、前記優先順位付けメッセージは、前記第 2 のノードに割り当てられた優先順位を含む、項目 20 に記載の方法。

(項目 22)

前記優先順位付けメッセージを伝送した後、前記第 1 のノードが、同期確認要求メッセージを伝送することと、

前記同期確認要求メッセージの受信に回答して、前記第 2 のノードのセットにおける各第 2 のノードが、前記第 2 のノードに割り当てられた優先順位に関連付けられているそれぞれのタイムスロット中、同期肯定応答メッセージを伝送することと

をさらに含む、項目 21 に記載の方法。

40

(項目 23)

前記第 1 のノードが、メモリ内に、前記第 2 のノードのセットにおける各第 2 のノードについての情報を記憶することをさらに含み、前記情報は、前記第 2 のノードのノード識別子と、前記第 2 のノードに割り当てられた優先順位とを備えている、項目 17 に記載の方法。

(項目 24)

複数のノードを備えているネットワークにおいて、前記ノードを更新する方法であって、前記方法は、

前記ネットワーク内で複数のメッセージを送信することであって、各メッセージは、更

50

新情報と、未来時の指示とを含む、ことと、

前記ネットワークの各ノードが、

前記複数のメッセージのうちの少なくとも1つを受信することと、

前記複数のメッセージのうちの前記少なくとも1つの中に含まれる前記更新情報を記憶することと、

前記未来時において、前記記憶された更新情報を使用して、前記ノードを更新することと

を含む、方法。

(項目25)

前記ネットワークの各ノードが、前記未来時においてアウェイクされるための要求を開始することをさらに含む、項目24に記載の方法。

(項目26)

各メッセージは、更新のタイプの指示も含み、

各ノードは、前記ノードが前記更新のタイプに一致する場合のみ、前記記憶された更新情報を使用して、前記ノードを更新する、項目24に記載の方法。

(項目27)

各ノードは、前記ノードが前記更新のタイプに一致する場合のみ、前記更新情報を記憶する、項目26に記載の方法。

(項目28)

ノードの無線線形センサネットワーク内で第1のネットワークステータス情報を送信する方法であって、前記無線線形センサネットワークは、中央コントローラを介して、別のネットワークに通信可能に結合され、前記方法は、

前記ノードのうちの1つが、前記第1のネットワークステータス情報を収集することと

、
前記ノードのうちの前記1つが、前記ノードのうちの別の1つからメッセージを無線で受信することと、

前記ノードのうちの前記1つが、前記メッセージ内に前記第1のネットワークステータス情報を記憶し、それによって、修正されたメッセージを生産することと、

前記ノードのうちの前記1つが、前記修正されたメッセージを無線で伝送することと

を含む、方法。

(項目29)

前記メッセージは、どんなネットワークステータス情報も含んでいない、項目28に記載の方法。

(項目30)

前記メッセージは、第2のネットワークステータス情報を含み、前記方法は、

前記ノードのうちの前記1つが、前記第2のネットワークステータス情報を前記第1のネットワークステータス情報と比較することをさらに含む、

前記メッセージ内に前記第1のネットワークステータス情報を記憶し、それによって、修正されたメッセージを生産することは、事前決定された比較スキームに従って、前記第1のネットワークステータス情報が、前記第2のネットワークステータス情報よりも有意である場合のみ、前記メッセージ内に前記第1のネットワークステータス情報を記憶し、それによって、前記修正されたメッセージを生産することを含む、項目28に記載の方法

。

(項目31)

無線センサネットワークであって、前記無線センサネットワークは、

複数のネットワークセグメントであって、各ネットワークセグメントは、

複数のそれぞれのノードであって、各ノードは、厳密に1つのネットワークセグメントの要素であり、各ノードは、それぞれのセンサと、それぞれの無線送受信機とを備え、各ノードは、その無線送受信機を使用して、そのセンサから導出されるデータを伝送し、各ノードは、そのそれぞれのネットワークセグメントの少なくとも1つの他のノードの無線

10

20

30

40

50

通信範囲内に配置され、各ノードは、前記ネットワークセグメントの最初のノードと、前記ネットワークセグメントの最後のノードと、前記ネットワークセグメントの中間ノードとのうちの1つを備え、前記最初のノードおよび各中間ノードは、その送受信機を使用して、前記最初のノードからネットワークトポロジ的により遠隔の前記ネットワークセグメントのノードから受信したデータを前記最初のノードにネットワークトポロジ的により近接した前記ネットワークセグメントのノードに転送する、複数のそれぞれのノードを備えている、

複数のネットワークセグメントと、

無線送受信機を備えている基地局であって、前記基地局は、各ネットワークセグメントの前記最初のノードの無線通信範囲内に配置され、その無線送受信機を使用して、前記複数のノードのセンサから収集されたデータを受信する、基地局と

を備え、

各ノードは、繰り返し時間間隔に従って動作し、各時間間隔は、複数のタイムスロットに分割され、各ネットワークセグメントは、前記複数のタイムスロットのうちの固有のタイムスロットに関連付けられ、

各ノードは、前記ノードのネットワークセグメントに関連付けられているタイムスロット中、そのセンサから収集されたデータを伝送し、各時間間隔の残りの間、省電力スリープ状態に入る、

無線センサネットワーク。

(項目32)

各タイムスロットは、センサデータが1日以内に前記最後のノードから前記基地局に転送されることを可能にするために、十分に長い、項目31に記載の無線センサネットワーク。

(項目33)

各省電力スリープ状態は、少なくともN-1個のタイムスロットの合計と同程度に長く、Nは、各時間間隔におけるタイムスロットの数に等しい、項目32に記載の無線センサネットワーク。

(項目34)

各タイムスロットは、複数のサブスロットに分割され、

各ノードは、

(a)サブスロット中にその無線送受信機を使用して、前記ノードのネットワークセグメントの別のノードからセンサデータを受信することであって、前記別のノードは、前記ノードよりも前記基地局から遠位にある、ことと、(b)後続サブスロット中に前記無線送受信機を使用して、前記センサデータを前記基地局に向かって転送することとを行う、項目31に記載の無線センサネットワーク。

【図面の簡単な説明】

【0059】

本発明は、図面と併せて具体的実施形態の以下の発明を実施するための形態を参照することによって、より完全に理解されるであろう。

【図1】図1は、本発明の実施形態による、いくつかの仮想線形ネットワークの概略ブロック図である。

【図2】図2は、本発明の実施形態による、仮想線形ネットワークのノードによる無線ブロードキャストの概略ブロック図である。

【図3】図3は、本発明の実施形態による、ネットワークパケットの概略図である。

【図4】図4は、本発明の実施形態による、ルーティングテーブルを伴わない、ネットワークノードルーティング決定を例証する、概略フローチャートである。

【図5】図5は、本発明の実施形態による、ネットワークノードにおけるネットワークパケットルーティング論理の概略ブロック図である。

【図6】図6および7は、本発明の実施形態による、より小さい仮想ネットワークパケットのセットに分けられている大きいメッセージの概略図である。

10

20

30

40

50

【図 7】図 6 および 7 は、本発明の実施形態による、より小さい仮想ネットワークパケットのセットに分けられている大きいメッセージの概略図である。

【図 8】図 8 および 9 は、本発明の実施形態による、タイムスロット配分スキームの概略例証である。

【図 9】図 8 および 9 は、本発明の実施形態による、タイムスロット配分スキームの概略例証である。

【図 10】図 10 は、本発明の実施形態による、仮想線形ネットワーク内でノードを受信することによって送信される肯定応答メッセージを例証する、図 2 と類似する概略ブロック図である。

【図 11】図 11 は、本発明の実施形態による、クロック同期の一部として、受信するノードの受信機がオンである時間に対して、ネットワークパケットがブロードキャストされるタイムスロットを図式的に描写する。

10

【図 12】図 12 は、本発明の実施形態による、ネットワークステータス情報がセンサデータネットワークパケット上で「ビギーバック」することによって送信される方法を例証する、図 2 と類似する概略ブロック図である。

【図 13】図 13 は、本発明の実施形態による、ネットワークノード識別子を示す、図 1 の仮想線形ネットワークのうちの 1 つの概略ブロック図である。

【図 14】図 14 は、本発明の実施形態による、いくつかのネットワークセグメントと、いくつかのブランチとを含む、仮想線形ネットワークの概略ブロック図である。

【図 15】図 15 は、本発明の実施形態による、仮想時間間隔、タイムスロット、およびタイムサブスロットを例証する、概略タイミング図である。

20

【図 16】図 16 は、本発明の実施形態による、図 15 のタイミング図による、図 14 の線形ネットワークの動作を例証する、概略タイミング図である。

【図 17】図 17 は、本発明の実施形態による、線形ネットワークのいくつかの仮想ノードの概略ブロック図である。

【図 18 A】図 18 A および 18 B は、本発明の実施形態による、図 17 のノードによって使用され得るような 4 位相同期プロトコルを図式的に例証する、タイミング図である。

【図 18 B】図 18 A および 18 B は、本発明の実施形態による、図 17 のノードによって使用され得るような 4 位相同期プロトコルを図式的に例証する、タイミング図である。

【図 19】図 19 は、本発明の実施形態による、4 位相同期プロトコルのノードの状態および状態遷移を図式的に例証する、状態図である。

30

【図 20】図 20 は、本発明の実施形態による、ネットワークノードの概略ブロック図である。

【発明を実施するための形態】

【0060】

本発明の実施形態によると、無線ネットワークのノードによる使用のための無線通信プロトコルを含む、無線線形センサネットワークを構築し、動作させるための方法および装置が、開示される。線形無線センサネットワークが、ネットワークの各ブランチに沿って単調に変動するネットワークノード識別子を有する、ネットワークノードを含む。ネットワーク識別子は、ノードが、ルーティングテーブルの使用を伴わずにネットワークパケットを転送することを可能にする。低デューティサイクル無線通信プロトコルが、ネットワークパケットが、殆ど電力を消費せずに非常に大きなネットワークの全てのノードにルーティングされることを可能にする。ノード間の、ユニキャストではなくブロードキャスト伝送が、最大可能ホップを使用し、可能な限りノードをスキップし、かつ時間的または空間的に変動する無線伝搬条件に自動的に適合して、好ましい信号伝搬条件を利用し、メッセージを転送する。ノードが、クロック同期専用のパケットを必ずしも交換することなく、そのクロックをその近隣対応物のクロックと同期させる。

40

【0061】

(線形ネットワーク、単調に割り当てられたノード識別子、およびルーティング)

本発明のいくつかの実施形態は、殆どの従来のコンピュータネットワークと異なり、無

50

線ネットワークノードの無線センサアレイおよび他のアレイが、多くの場合、その殆どまたは全てのネットワークノードが道路、パイプライン、または鉄道線路等の直線または曲線に沿って配列され、ノードの合計数と比較して、1つまたは少数のブランチ、すなわち、ゼロまたは少数のフォークとともに構築され、これらのアレイおよびネットワークが、比較的静的であることの実状を知ることが誘引となった。各ノードは、ノードの回線における1つのノードである。しかしながら、ノードは、回線に沿って等距離に分散される必要はない。本明細書で使用される場合、ノードの「近隣対応物」は、同一回線上かつノードの無線通信範囲内のノードである。そのようなネットワークは、本明細書では、「線形ネットワーク」と称される。線形ネットワークは、以下にさらに説明される。

【0062】

近隣対応物の数は、昼夜間等にノードの無線伝搬距離が変動するにつれて、またはノードのバッテリー充電レベルが変動するにつれて変動し得る。しかしながら、ネットワークが設置されると、ネットワークトポロジ、すなわち、回線に沿ったノードの配列は、典型的には、変化しないか、または、それは、オフィス内もしくは工場フロア上の典型的なローカルエリアネットワーク(LAN)の変化率と比較して、まれに変化する。典型的な設置では、ノードの回線のトポロジは、数年にわたって一定のままである。「トポロジ」または「ネットワークトポロジ」は、ここでは、ノードの回線に沿ったノードの配列を指し、ノードの対間の可能な無線通信リンクを考慮する。

【0063】

ノードの回線の各端部またはそれに近接する少数のノードを除く場合もあるが、回線の各ノードは、比較的少ない近隣対応物、典型的には、約6つ以下の近隣対応物を有する。回線の端部またはそれに近接するノードは、より少ない近隣対応物を有し、いくつかの場合、1つのみの近隣対応物を有する。

【0064】

各ノードの観点から、ノードは、そのノードの回線を2つの部分に分ける。典型的には、ノードの近隣対応物の約半分が、回線の一方の部分上にあり、すなわち、ノードの一方の側にあり、すなわち、ネットワークトポロジ的に回線の一方の端部により近接し、ノードの近隣対応物の他の約半分は、ノードの他方の側にあり、すなわち、ネットワークトポロジ的に回線の他方の端部により近接する。ノードは、ノードの対応する側のその近隣対応物を介して、全てのネットワークトラフィックを回線の一方の部分上のノードと交換し、それは、ノードの他方の側のその近隣対応物を介して、全てのネットワークトラフィックを回線の他方の部分上のノードと交換する。ノードの「最近傍近隣対応物」は、ノードに最も近接する近隣対応物である。全てのノードは、回線上の最初および最後のノードを除いて、厳密に2つの最近傍近隣対応物を有する。回線の端部におけるノードは、各々、一方の側にのみ1つ以上の近隣対応物を有し、厳密に1つの最近傍近隣対応物を有する。

【0065】

ノードは、必要に応じて、ネットワークメッセージを転送する。典型的なノードの回線は、数十、数百、数千以上のノードを含み得る。その結果、殆どのネットワークメッセージは、それらがそれらの最終宛先に到達する前に、複数回転送される。

【0066】

第1のノードが、第2のノードを介して第3のノードに通信可能に結合される場合、第1のノードは、ネットワークトポロジ的に第2のノードに隣接するが、ネットワークトポロジ的に第3のノードに隣接しない。第1のノードは、ネットワークトポロジ的に、第3のノードよりも第2のノードに近接する。

【0067】

本明細書で使用される場合、「ノード」および「ネットワークノード」は、同義語である。本明細書で使用される場合、ブランチは、線形ネットワークの厳密に線形の部分、すなわち、ネットワークの未分化部分である。線形ネットワークは、1つ以上のブランチを含み得る。センサネットワークが、基地局を含むか、またはそれに接続される場合、ネットワークの所与のブランチの殆どのノードに対して、その近隣対応物のいくつかは、ネッ

10

20

30

40

50

トワークトポロジ的に基地局により近接し、他の近隣対応物は、ネットワークトポロジ的に基地局からより遠くにある。典型的には、ブランチの1つのノード（時として、「最初のノード」と称される）は、ネットワークトポロジ的に基地局に隣接し、かつネットワークの1つの他のノードに隣接する。典型的には、1つの他のノード、すなわち、「エンドノード」は、ノードの回線の他方の端部、すなわち、ブランチの他方の端部に位置し、ネットワークトポロジ的に1つの他のノードにのみ隣接する。ブランチは、本明細書においてより詳細に議論される。

【0068】

述べたように、そのようなネットワークは、本明細書では、線形ネットワークと称される。本明細書で使用される場合、線形ネットワークは、少なくとも50：1のノード：ブランチ比を有する。本開示によると、6LoWPAN（低電力無線パーソナルエリアネットワークにわたるIPv6）等の既存の無線通信プロトコルが、修正され、新しいプロトコルが、実装され、従来の通信プロトコルによるものよりも、より多くのノードをサポートし、より応答性を高くし、よりエネルギー効率的に動作させるために、これらのネットワークの線形特性を利用する。改良されたプロトコルに従って動作するノードおよびネットワークもまた、説明される。

【0069】

図1は、いくつかの仮想線形ネットワーク100、102、および104の概略表現を含む。省略記号によって示されるように、全てのノードが、示されるわけではない。例えば、線形ネットワーク100の4つのノード106、108、110、および112は全て、破線114によって表される、単一のブランチに沿って配列される。線形ネットワーク102は、3つのブランチ116、118、および120を含み、線形ネットワーク104は、3つのブランチ122、124、および126を含む。ブランチ116、118、および120は、共通して1つ以上のノードを有することに留意されたい。例えば、ノード1は、ブランチ116、118、および120の要素であり、ノード10は、ブランチ118および120の要素である。いくつかの実施形態では、複数のブランチ間で共通であるノードは、以下に議論されるように、各ブランチに対して1つの複数のネットワークノード識別子を有する。

【0070】

線形ネットワーク100 - 104の各々は、それぞれ、少なくとも1つの基地局128、130、132、および134を有するが、基地局は、線形ネットワークに対して要求されない。基地局はまた、本明細書では、「エッジルータ」および「中央コントローラ」とも称され、線形ネットワーク100、102、または104等の線形ネットワークをインターネットプロトコルバージョン6（IPv6）ネットワーク等のローカルエリアネットワーク（LAN）または広域ネットワーク（WAN）136によって例示される別のネットワークに接続し得る。

【0071】

各ノード106 - 112、ノード1、ノード2等は、温度センサ、圧力センサ、または磁気計等のセンサ（図示せず）を含む。多くの場合、基地局128等の基地局は、ノード110へのコマンド等、データを収集し、収集されたデータを基地局128に戻すためのコマンドをノードに送信する。

【0072】

ノード106 - 112、ノード1、ノード2等内の無線送信機および受信機（送受信機、図1に図示せず）が、ノード間およびノードと基地局128、130、132との間に無線通信を提供する。送受信機の限定された無線範囲に起因して、これらのコマンドのいくつかは、それらのそれぞれの宛先ノードに到達する前に、ブランチに沿って、ノード106および108のうちの1つ以上のもの等によって、ノードからノードに転送される必要があり得る。同様に、ノードによって送信されたデータは、ブランチに沿って基地局に転送される必要があり得る。

【0073】

10

20

30

40

50

ノード内の無線機に対する電力消費制約は、無線機の無線範囲を限定する。各ノードは、ネットワークのノードの残りの全てまたは大部分ではなく、比較的少数の近傍ノードのみ、場合によっては2つの最近傍近隣対応物のみと直接無線で通信することが可能であり得る。殆どのノードは、基地局から遠隔にありすぎ、基地局と直接無線で通信することができない。基地局内の高出力送信機であっても、遠隔ノードに到達することが可能ではない場合がある。その結果、多くのメッセージ、特に、基地局とブランチに沿って遠く離れたノードとの間のメッセージは、その宛先に到達する前に、複数回（「ホップ」）、等しい数の中間ノードによって、転送されなければならない。各ホップは、メッセージ待ち時間に影響する。

【0074】

10

しかしながら、述べたように、本発明の実施形態によると、通信プロトコルおよびノードは、特に、ノードが各ブランチに沿って単調に番号付けられる場合、これらのネットワークの線形特性を利用するように構成され得る。以下の実施例では、ノードは、それらのそれぞれのノード番号（ネットワークノード識別子）が、ベースノードから離れて、ブランチの一方の端部からブランチの他方の端部へ方向において、ブランチに沿って単調に増加するように番号付けられる。代替として、ノード番号がこの方向に沿って単調に減少するノード番号付けスキームが、使用され得る。分かるであろうように、いずれのタイプの単調ノード識別スキームも、ルーティングテーブルを要求することなく、メッセージを受信するノードによってルーティング決定を行うことを促進する。

【0075】

20

本明細書で使用される場合、第1の端部から第2の端部に「ネットワークノード識別子をブランチに沿って単調に変動させること」は、ベースノードから離れて、ブランチの第1の端部からブランチの第2の端部へ方向に沿って、ネットワークノード識別子を単調に増加させること、またはベースノードから離れて、ブランチの第1の端部からブランチの第2の端部へ方向に沿って、ネットワークノード識別子を単調に減少させることのいずれかを意味する。

【0076】

例えば、図2に図式的に例証されるように、線形ネットワーク200の10個のノードが、ネットワークブランチ202に沿って単調に増加するネットワークノード識別子N1 - N10を割り当てられると仮定する。当然ながら、ブランチ202は、多くのさらなるノードを含む。基地局204も、ゼロ等の関連付けられているネットワークノード識別子を有し得る。各ノードN1 - N10は、他のノードN1 - 10、およびノードのいくつかに対して、基地局204と無線で通信するための送受信機を含む。多くの文脈では、送受信機の電力および感度ならびにノード配置を所与として、各ノードN1 - 10が、ブランチ202に沿って、各方向における約3つのノードの無線範囲内にあることが予想される。

30

【0077】

ノードN4が、ブロードキャストするノードのブランチ202に沿ってより遠くに位置するノードN9に宛先指定されたメッセージをブロードキャストし、ブロードキャストするノードN4の両側のノード（例えば、ノードN2、N3、N5、N6、およびN7）が、メッセージを受信する場合、ブロードキャストするノードの番号（4）を下回るノード番号（この例では、それぞれ、2および3）を伴う受信するノードN2およびN3は、メッセージを無視することができる。なぜなら、それらがブロードキャストするノードN4よりも宛先ノードN9から遠くにあるからである。メッセージをノードN2またはN3のいずれかに転送することは、逆効果であろう。一方、ブロードキャストするノードの番号（4）を上回るノード番号（この例では、それぞれ、5、6、および7）を伴う受信するノードN5、N6、およびN7は、これらのノードがブロードキャストするノードN4よりも宛先ノードN9に近接するので、潜在的転送するノードである。潜在的転送するノードのノード番号は全て、ブロードキャストするノードのノード番号を上回る。

40

【0078】

50

ノードN1 - N10は、ネットワークパケットを送受信することによって通信する。図3は、例示的ネットワークパケット300の概略図である。ネットワークパケット300は、ブロードキャストするノードN4のノード番号302（図2の実施例では4）（「送信元ノード識別子」）と、意図される宛先ノードN9のノード番号304（図2の実施例では9）（「宛先ノード識別子」）とを含む。ネットワークパケット300は、他のヘッダ情報306と、ペイロード308とをさらに含み得る。ペイロード308は、特定のノードにそのセンサを用いてデータを収集することを命令するコマンド等の1つ以上のコマンド、および/またはノードから基地局に送信される収集されたデータ等のデータを含み得る。

【0079】

ネットワークパケット300内の情報に基づいて、ネットワークパケットを受信する各ノードは、ネットワークパケットがルーティングされるべき方向、すなわち、基地局から離れるか、または基地局に向かうかを自動的に決定することができる。宛先ノード識別子304が送信元ノード識別子302を上回る場合、メッセージは、基地局から離れる方向にルーティングされるべきである。一方、宛先ノード識別子304が送信元ノード識別子302を下回る場合、メッセージは、基地局に向かう方向にルーティングされるべきである。当然ながら、ノード番号が基地局に向かう方向に沿って単調に増加する、上で説明される代替ノード番号付けスキームの場合、ルーティング方向は、逆転される。

【0080】

さらに、ネットワークパケット300内の情報および受信するノードの独自のノード識別子番号に基づいて、各受信するノードは、メッセージを無視するか、または潜在的転送のためのメッセージのコピーを記憶するかを自動的に決定することができる。図2に関して述べたように、伝送ノードの識別子を下回るノード識別子番号を伴うノードは、伝送ノードのそれを上回るノード識別子番号を有するノードに宛先指定されるメッセージを安全に無視することができる。同様に、伝送ノードの識別子を上回るノード識別子番号を伴うノードは、伝送ノードのそれを下回るノード識別子番号を有するノードに宛先指定されるメッセージを安全に無視することができる。ノードが、受信されたメッセージを安全に無視することができない場合、ノードは、本明細書に説明されるように、ノードがネットワークに沿ってメッセージを転送するように求められる場合に備えて、メッセージを記憶すべきである。当然ながら、受信するノードの識別番号が、宛先ノード識別子番号に等しい場合、受信するノードは、メッセージのコマンド、データ等処理すべきである。

【0081】

各ノードは、その独自のネットワークノード識別番号を用いてプロビジョニングされる。各ノードは、したがって、メモリ内等に、それらのそれぞれのネットワークノード識別子の表現を記憶する。始動段階中、ネットワークノードは、自動近隣対応物発見プロセスを実行し、基地局にネットワークブランチのトポロジについての情報を転送する。

【0082】

新たに図3を参照すると、宛先ノード番号304（9）が、ブロードキャストするノードの番号302（4）を上回り、ベースノードから離れる方向におけるルーティングを示す場合、ブロードキャストするノードの番号（4）を下回るノード番号（2および3）を有する受信するノードN2およびN3は、メッセージ300を安全に無視することができる一方、ブロードキャストするノードの番号（4）を上回るが、宛先ノード番号（9）を下回るノード番号（5、6、および7）を有する受信するノードN5、N6、およびN7は、潜在的転送するノードである。

【0083】

さらに、2つ以上の潜在的転送するノードN5、N6、およびN7が、ブロードキャストを受信する場合、受信側ノード間で最高の番号を付けられたノードN7は、ブランチに沿って最も遠くにあり、すなわち、宛先ノードN9に最も近接し、したがって、ブロードキャストするノードN4によってメッセージを転送するために選択され、それによって、ノードN5およびN6をスキップし得る。この機構によって、各ホップは、ブランチに沿

10

20

30

40

50

ったノードの番号の観点から、ブロードキャストするノードN4の無線範囲内で、可能な限りメッセージを移動させることができる。したがって、具体的な1つ以上の意図される受信機にネットワークパケットを伝送（ユニキャストまたはマルチキャスト）するのではなく、ブロードキャストすることは、存在するとき、好ましい伝搬条件を利用する。対照的に、従来技術のネットワークは、ホップあたり1つのみのノードにメッセージを転送するか、またはそれらは、パケットを1つ以上の規定された受信側ノードにのみ伝送する。ここで提示される従来技術に優る改良は、ブロードキャストすることと、各ネットワークブランチの長さに沿ってノードを単調に番号付けることとによって可能にされる。実施形態のこれらおよび他の構造的特徴は、ネットワーク効率を改良し、電力消費を低減させ、他の利益を提供する。

10

【0084】

ブランチのノードは、ルーティング決定を行うために、いかなるルーティングテーブルも必要としないことに留意されたい。ネットワークパケットの送信元302（図3）および宛先304のノード識別子間の単純な比較は、ネットワークパケット300がブランチに沿って進行すべき方向、すなわち、基地局に向かうか、またはそれから離れるかを示す。ネットワークパケットの進行方向が決定されると、受信するノードのネットワーク識別子とネットワークパケットの送信元および宛先ノード識別子との間の単純な比較は、受信するノードが潜在的転送するノードであるかどうかを示す。本質的に、ネットワークパケットは、それらがルーティング決定をノードのために殆ど自明なものにする情報を含む点で、「セルフルーティング」である。

20

【0085】

図4は、ルーティングテーブルを伴わない、ネットワークノードがルーティング決定を行い得る方法を例証するフローチャートを含む。400において、受信されたネットワークパケットの宛先ノード識別子304（図3）が、その送信元ネットワークノード識別子302を上回る場合、ネットワークパケットの進行方向は、基地局から離れ、制御は、402に移り、そうでなければ、進行方向は、基地局に向かい、制御は、404に移る。402において、受信ネットワークノードのネットワーク識別子が、送信元ネットワークノード識別子302を上回る場合、制御は、406に移り、そうでなければ、受信ネットワークノードは、送信元ネットワークノードの「他方の側」にあり、ネットワークパケットを効率的に転送する位置になく、その場合、制御は、408に移り、ネットワークパケットは、無視される。406において、受信ネットワークノードのネットワーク識別子が、宛先ノード識別子304を下回る場合、受信するノードは、転送候補であり、制御は、410に移り、そうでなければ、受信するノードは、宛先ネットワークノードを「越え」ており、受信されたネットワークパケットを無視することができ、その場合、制御は、408に移る。

30

【0086】

基地局に向かって進行するネットワークパケットに対して、404において、受信ネットワークノードのネットワーク識別子が、送信元ネットワークノード識別子302を下回る場合、制御は、412に移り、そうでなければ、受信ネットワークノードは、送信元ネットワークノードの「他方の側」にあり、ネットワークパケットを効率的に転送する位置になく、その場合、制御は、408に移り、ネットワークパケットは、無視される。412において、受信ネットワークノードのネットワーク識別子が、宛先ノード識別子304を上回る場合、受信するノードは、転送候補であり、制御は、410に移り、そうでなければ、受信するノードは、宛先ネットワークノードを「越え」ており、すなわち、基地局に近接しすぎであり、受信されたネットワークパケットを無視することができ、その場合、制御は、408に移る。

40

【0087】

このフローチャートは、ネットワークノード識別子が、ブランチに沿って基地局から離れる方向に単調に増加すると仮定する。ネットワークノード識別子が、基地局に向かう方向に単調に増加する場合、402、404、406、および412における比較の意味は

50

、逆転される。

【 0 0 8 8 】

図 5 は、本発明の実施形態による、ネットワークノード 5 0 0 の概略ブロック図である。いくつかの実施形態では、図 5 のブロックは、図 4 のフローチャートに関して本明細書に説明されるネットワークパケットルーティング論理を実装する。無線送受信機 5 0 2 が、基地局および他のノードから、伝送（典型的には、ブロードキャスト伝送）を受信する。ネットワークパケットを含む受信された伝送に対して、ネットワークパケット送信元識別装置 5 0 4 が、ネットワークパケットを伝送したノードまたは基地局のネットワークノード識別子を識別するために、受信されたネットワークパケットのそれらを検証する。同様に、ネットワークパケット宛先識別装置 5 0 6 が、受信されたネットワークパケットのうちの 1 つを検証し、ネットワークパケットが宛先指定されるノードまたは基地局のネットワークノード識別子を識別する。

10

【 0 0 8 9 】

ネットワークパケット送信元および宛先識別子コンパレータ 5 0 8 が、ネットワークパケット送信元識別装置 5 0 4 およびネットワークパケット宛先識別装置 5 0 6 によって識別される送信元ネットワーク識別子と宛先ネットワーク識別子とを比較する。各受信されたネットワークパケットに対して、ネットワークパケット送信元および宛先識別子コンパレータ 5 0 8 は、ネットワークパケットが転送されるべき方向、すなわち、基地局に向かうか、または基地局から離れるかを決定する。

【 0 0 9 0 】

20

ネットワークノード識別子コンパレータ 5 1 0 が、受信ネットワークノードのネットワーク識別子の記憶された表現 5 1 2 を送信元ネットワーク識別子および宛先ネットワーク識別子と比較する。各受信されたネットワークパケットに対して、ネットワークノード識別子コンパレータ 5 1 0 は、ネットワークパケットが転送されるべき方向に対して、受信ネットワークノードが、（ a ）伝送ネットワークノードと宛先ノードとの間にあるか、（ b ）伝送ネットワークノードの「前」にあるか、または（ c ）宛先ネットワークノードを「越える」かを決定する。

【 0 0 9 1 】

ネットワークパケットルータ 5 1 4 が、（ a ）宛先ネットワークノード識別子の値に対する送信元ネットワークノード識別子の値、（ b ）ノードのネットワークノード識別子の表現に対する送信元ネットワークノード識別子の値、および（ c ）ノードのネットワークノード識別子の表現に対する宛先ネットワークノード識別子の値に基づいて、所与の受信されたネットワークパケットを転送することを検討すべきかどうかを決定する。

30

【 0 0 9 2 】

述べたように、いかなるルーティングテーブルも、受信されたネットワークパケットを転送することを検討すべきかどうかを決定するために、ネットワークパケットルータ 5 1 4 に対して必要とされない。例えば、比較および決定は、図 4 のフローチャートを参照して説明されるようなものであり得る。

【 0 0 9 3 】

従来技術とは異なり、本発明の実施形態によるネットワークパケットルーティング論理は、ネットワークまたはブランチ内のノードの数に依存しない。図 4 に描写される論理は、ネットワークまたはブランチ内のノードの数とは無関係である。本発明の実施形態によるセンサネットワークは、数千以上のネットワークノード、さらには数百万のネットワークノードを含み得ることに留意されたい。一方、従来技術のルーティングアルゴリズムは、ルーティングテーブルに依拠し、そのサイズは、ネットワークサイズに依存する。

40

【 0 0 9 4 】

センサネットワークのノード内のメモリサイズは、典型的には、制約される。したがって、大きいルーティングテーブルを記憶することは、センサネットワークに対して問題を引き起こす。加えて、メモリおよび命令を実行するプロセッサのために利用可能な電力は、典型的には、センサネットワークのノードにおいて限定される。したがって、ルーティ

50

ングテーブル内のエントリの追加、削除、およびトラバースは、センサネットワークに対して問題を引き起こす。従来のセンサネットワークノードにおける電力およびメモリ制約を前提とすると、最大約10～30個のノードしか、従来技術のルーティングテーブルによってサポートされることはできない。これらおよび他の問題は、本発明の実施形態によって解決される。

【0095】

本明細書に説明されるルーティング論理を使用して、ブランチに沿ったノードが、多くの場合、ホップ206、208、および210（図2）によって例示される、一連のホップを利用して、ネットワークパケットをその宛先に転送する。例えば、基地局204は、ネットワークパケットをブロードキャストし得る。ブロードキャストを受信する最高の番号を付けられたノード（N4）は、それをブロードキャストすることによってネットワークパケットを転送し得る。ノードのブロードキャストを受信する最高の番号を付けられたノード（N7）は、ネットワークパケットの宛先ノード識別子フィールド304（図3）に規定されるように、ネットワークパケットが宛先ノード（N10）によって受信されるまで、ネットワークパケット等を転送し得る。

【0096】

ノード、例えば、ノードN7がネットワークパケットを受信した後、ノードN7は、ネットワークブランチ202を2つの部分に分けて見なされ、一方の部分212（図2）は、基地局側で、基地局204からネットワークノードN6に延び、ネットワークノードN6は、この例では、ノードN7の最近傍近隣対応物であり、他方の部分214は、他の最近傍近隣対応物N8からブランチの他方の端部に延び得る。各ネットワークノードは、最初のネットワークノードN1および最後のネットワークノードを除いて、ブランチの第1の部分212内のノードから受信されたパケットを他方の部分214内のノードに転送し、それは、他方の部分214内のノードから受信されたネットワークパケットを第1の部分212内のノードに転送する。

【0097】

ブランチ202に沿った基地局204から1つ以上のノードN1 - N10へのコマンドを伴うネットワークパケット、または1つ以上のノードN1 - N10によって基地局204に送信されるセンサデータを伴うネットワークパケット等の他のネットワークパケットが、ブランチ202に沿って転送される。この方法において、各ネットワークパケットは、それぞれの一連のネットワークノードによって転送され、それらのそれぞれのネットワークノード識別子は、一連のネットワークノードに沿って単調に変動する。つまり、各ネットワークパケットは、一連のネットワークノード（上記の実施例ではN4およびN7）によって転送される。各一連のノードのネットワークノード識別子は、各ネットワークパケットの経路に沿って単調に変動する。例えば、これらのノードN4およびN7のネットワーク識別子は、ネットワークパケットの経路に沿って、基地局204から宛先ノードN9まで単調に増加する。

【0098】

線形ネットワークを設計またはプロビジョニングするとき、隣接するノードに、2以上異なるノード識別子番号を割り当てるのが賢明であり得る。このようにノード識別子番号をスキップすることは、既存のノードに再番号付けすることなく、以前の隣接するノード間に、後にノードを追加することを促進する。述べたように、開示されるルーティング論理は、ネットワークノードの数とは無関係である。したがって、ノードがネットワークに追加される場合、またはそれから削除される場合、ルーティング論理は、変更される必要はなく、いかなるルーティングテーブルも、改訂される必要はない。

【0099】

多くの要因が、無線範囲に影響を及ぼし得る。例えば、電力供給源電圧は、送信機電力出力および受信機感度に影響を及ぼし得る。近傍の重機からの無線雑音は、無線受信に干渉し、受信機が近傍のノードから強い信号のみを受信するように限定し得る。無線信号伝搬は、昼夜間に、例えば、大気変化に起因して、変動し得る。無線範囲が、昼夜間等に経

10

20

30

40

50

時的に、またはバッテリー電圧の変動もしくは断続的無線雑音の結果として変動するので、図2に関して議論されるプロトコルは、適合し、各ホップ時、可能な限り多くのノードを自動的にスキップすることに留意されたい。所与のメッセージに対するスキップされるノードの数も、局所雑音レベルまたはエネルギー回収装置に利用可能な日光の差異等に起因して、空間的に、すなわち、ブランチ202に沿って変動し得る。

【0100】

(低デューティサイクル通信プロトコル)

いくつかの無線デューティサイクルプロトコルは、比較的に小さい最大パケットサイズをサポートする。しかしながら、比較的に大量のデータが、無線線形ネットワークに沿って送信されるべきである場合、データは、無線プロトコルの最大パケットサイズに一致するように、いくつかのパケットに分けられ(フラグメント化され)、パケットは、連続的に送信され得る。例えば、ContikiMACプロトコルは、IPv6パケットよりもはるかに小さい最大パケットサイズを可能にし、線形ネットワークが、IPv6ネットワークからネットワークトラフィックを搬送するように求められ得る。IPv6パケットは、したがって、フラグメント化し、複数のContikiMACのようなパケットを使用して送信され得る。例えば、基地局132(図1)は、WANまたはLAN136からIPv6パケットを受信し、ネットワーク104のノードのうちの1つ以上のもの(ノード1・・・ノード21)への伝送のために、パケットを複数のより小さいContikiMACのようなパケットにフラグメント化し得る。

【0101】

一連の連続的な密接に間隔を置かれた(時間において)パケットとして複数のパケットを送信することは、エネルギー効率的であり得る。なぜなら、受信側ノードがその無線をオンにすると、受信機は、伝送ノードがパケットを伝送することを中止するまで、または少なくとも受信するノードがパケットを受信することを中止するまで、連続的なパケットを受信できるからである。受信するノードは、一連のパケットの各パケットを受信した後ではなく、最後の連続的なパケットを受信した後、肯定応答を送信することができる。

【0102】

本発明の実施形態によると、図6に例示されるように、一連のパケットがノードによって伝送されるとき、一連のパケットの各パケットは、一連のパケット内のパケットを識別するパケットシーケンス番号と、一連のパケット内のパケットの合計数の指示とを含む。ここでは、大きいメッセージ600が、パケット602、604、および606によって例示される一連のパケットにフラグメント化されている。

【0103】

大きいメッセージ600が、IPv6ネットワーク等を介して、別のネットワーク内のパケットとして送信され得るが、明確化のために、それは、この例では、「大きいメッセージ」と称され、線形ネットワークを介して送信されるより小さいパケット602-606は、「パケット」と称される。さらに、一連のパケットは、必ずしも、より大きいメッセージのフラグメントを表す必要はないことに留意されたい。例えば、一連のパケットの各パケットは、異なるノードに宛先指定され得るか、または、それは、別様に、一連のパケットの他のパケットとは無関係であり得る。

【0104】

継続して図6を参照すると、パケットシーケンス番号は、最初のパケットに対する番号であり得る。例えば、最初のパケットは、1と番号付けられ得、一連のパケットの各連続的なパケットは、2、3、4等と番号付けられ得る。つまり、各一連のパケットは、パケットシーケンス番号1で始まる。一連のパケットの合計数の指示は、複数のパケットの最終パケットのパケットシーケンス番号に等しくあり得る。当然ながら、代替として、ゼロベースの番号付けまたは別のパケット番号付けスキームが、使用され得る。

【0105】

代替として、図7に例示されるように、パケット702-706は、シーケンス番号がある一連のものより大きいものに及ぶように、番号付けられ得る。これらの場合、各パケ

10

20

30

40

50

ットは、一連のパケットのうちの最初のパケットのシーケンス番号と一連のパケットの合計数と、または、一連のパケットのうちの最後のパケットのシーケンス番号と一連のパケットの合計数と、または、一連のパケットのうちの最初のパケットのシーケンス番号と最後のパケットのシーケンス番号と、または、いくつかのパケットが一連のパケット内にあるかと（すなわち、各パケットは、複数のパケットにおけるパケットの合計数の指示を含むべきである）、一連のパケットの開始に対する現在のパケットの位置と（すなわち、各パケットは、複数のパケット内のパケットを識別するシーケンス番号を含むべきである）を受信機が計算することを可能にする他の情報の組み合わせを含むべきである。

【 0 1 0 6 】

（関連ネットワークパケットのグループの転送）

図 2 に関して議論されるように、本発明の実施形態は、ネットワークパケットをブロードキャストすることによって転送し、したがって、ネットワークパケットは、各ホップにおいて可能な限り遠く転送されることができる。いくつかの実施形態では、ブロードキャストされるネットワークパケットを受信し、受信されたネットワークパケットを転送する候補である全てのネットワークノード（例えば、図 2 のノード N 5、N 6、および N 7）は、肯定応答メッセージをブロードキャストするノード N 4 に返送し、それら自身を識別し、したがって、ブロードキャストするノード N 4 は、転送するノードであるべき、受信するノードのうちの 1 つを選択することができる。他の条件が同じなら、ブロードキャストするノード N 4 は、ブロードキャストするノード N 4 から最も遠い受信するノード（この例では N 7）を選択するが、概して、宛先ノードを越えるノード（この例では N 9）を選択しない。

【 0 1 0 7 】

いくつかの実施形態では、各ノードは、他のノードからの干渉を防止するように、それがブロードキャストし得るタイムスロットを配分される。例示的タイムスロット配分スキームが、図 8 に図式的に描写される。この例では、タイムスロット 0 中、基地局が、伝送し得る。タイムスロット 1 中、ノード N 1 が、伝送し得る。タイムスロット 2 中、ノード N 2 が、伝送し得、以下同様である。追加のタイムスロットが、必要に応じて、追加の基地局のために追加され得る。グループ 8 0 0 のタイムスロットが、繰り返される。随意に、遅延時間 8 0 2 が、タイムスロットのグループの繰り返し間に生じる。遅延時間 8 0 2 中、いくつかのノードは、それらのそれぞれのセンサを使用し、データを収集し、および / または省電力スリープ状態に入り得る。全てのタイムスロットは、必要ではないが、等しい持続時間であり得る。例えば、タイムスロット 0 は、基地局が、ネットワークノードの各々が送信し得るよりも多くのメッセージまたは長いメッセージを送信することを可能にするために、他のタイムスロットの各々よりも長くあり得る。

【 0 1 0 8 】

基地局から遠いノードからのブロードキャストが、基地局に近接するノードからのブロードキャストに干渉する可能性が低い長いブランチに対して、タイムスロットは、複数のノードによって共有され得る。例えば、ブロードキャストが、「n」個のノードに及ぶ距離に伝搬する可能性が低い場合、図 9 に図式的に描写されるタイムスロット配分スキームが、使用され得る。この例では、ブランチに沿った全「n」個に 1 個のノードが、共通のタイムスロットを共有する。したがって、タイムスロットの数は、ブランチ上のノードの数を下回り得る。

【 0 1 0 9 】

再び図 2 に目を向け、継続して図 8 および 9 を参照すると、ブロードキャストするノード、例えば、ノード N 4 が、ノード N 9 に宛先指定されるネットワークパケットを送信または転送していると仮定する。ノード N 4 は、そのタイムスロット中にネットワークパケットをブロードキャストし、ノード N 5、N 6、および N 7 は、ブロードキャストを受信する。それらのそれぞれのタイムスロット中（現在のグループ 8 0 0 のタイムスロット中、または代替として、後続グループ 8 0 0 のタイムスロット中）、ノード N 5、N 6、および N 7 は、それぞれの肯定応答メッセージをブロードキャストし、それらのそれぞれの

ネットワークノード識別子を示し、ネットワークパケットの受信を肯定応答する。肯定応答メッセージは、ノードN4にアドレスされ、ノードN4は、複数の肯定応答メッセージを受信する。

【0110】

ノードN4は、ノードのうちの1つ(N5、N6、またはN7)を転送するノードとして選択し、ノードN4の後のタイムスロット中、ノードN4は、選択されたノードを示すメッセージをブロードキャストする。このブロードキャストメッセージは、選択された転送するノードにトークンを渡すものと見なされ得る。述べたように、他の条件が同じなら、ノードN4は、プランチに沿って、宛先ノードN9に向かって最も遠く、宛先ノードN9を越えないノードを選択する。この例に対して、ノードN7が選択されると仮定する。

10

【0111】

トークンを受信すると、ノードN7は、ノードN9がネットワークパケットを受信するまで、ノードN4によって以前に実施されたプロセスを繰り返し、以下同様である。随意に、ノードN7は、第2の肯定応答メッセージを送信することによって、または肯定応答をそのネットワークパケットのブロードキャスト内に含めること等によって、トークンの受信を肯定応答する。推定されるように、ノードN4は、ネットワークパケットのブロードキャストを受信し、したがって、ネットワークパケットが転送されたこと、または少なくともノードN4が現在トークンを有しており、したがって、N4がネットワークパケットを転送することに関与していることの確認を受信する。

【0112】

20

図6および7に関して述べたように、一連の連続的な密接に間隔を置かれた(時間において)パケットとして複数のネットワークパケットを送信することは、エネルギー効率的であり得る。いくつかの実施形態では、複数のネットワークパケットが、このエネルギー効率を利用するために、単一のタイムスロット中に単一のネットワークノードによってブロードキャストされる。例えば、図8および9を参照すると、複数のネットワークパケットが、単一のタイムスロット中に単一のネットワークノードによってブロードキャストされ得る。しかしながら、ブロードキャストを受信する全てのネットワークノードが、全てのネットワークパケットを受信するわけではない場合がある。例えば、バースト局所電磁干渉(EMI)が、受信するノードのいくつかが全てのネットワークパケットを受信することを妨害し得る。別の例では、ノードのいくつかは、省電力スリープ状態からウェイクするのが遅すぎて、全てのネットワークパケットを受信しないことがあり、または、いくつかのノードが、全てのネットワークパケットを受信する前に省電力スリープ状態に入り得る。

30

【0113】

いくつかの実施形態では、ネットワークパケットのいずれかを受信するノードは、次いで、それらのそれぞれのネットワークノード識別子およびそれらがどのネットワークパケットを受信したかを示す肯定応答メッセージをブロードキャストする。ネットワークパケット702-706(図7)、すなわち、ネットワークパケットシーケンス番号3792-3848が、ノードN4(図2)によってブロードキャストされ、ネットワークパケットのいくつかまたは全てが、例えば、図2に示されるようなノードN5、N6、およびN7のそれぞれによって受信されると仮定する。図10は、ノードN5がネットワークパケットシーケンス番号3795-3838を受信し、ノードN6がネットワークパケットシーケンス番号3792-3848を受信し、ノードN7がネットワークパケットシーケンス番号3792-3794および3840を受信するこの例を図式的に例証する。

40

【0114】

それらのそれぞれの肯定応答メッセージ1000、1002、および1004において、ノードN5、N6、およびN7は、それらのそれぞれのネットワークノード識別子およびそれらがどのネットワークパケットシーケンス番号を受信したかを示す。(図2とは異なり、ノードN5、N6、およびN7のアンテナからの放射を示す記号は、図10において伝搬距離を示さない。)したがって、集合的に、ノードN5、N6、およびN7は、複

50

数の肯定応答メッセージをブロードキャストし、ノードN 4 は、この複数の肯定応答メッセージを受信する。肯定応答メッセージは、それぞれの受信するノード（N 5、N 6、およびN 7）のタイムスロット中にブロードキャストされ得る。随意に、または代替として、全ての肯定応答ノードは、衝突検出および/または衝突回避を伴うキャリアセンスマルチプルアクセスプロトコルに従って、ブロードキャスト媒体へのアクセスのために競合し得る。

【0115】

ノードN 5、N 6、およびN 7のうちの少なくとも1つが、全てのネットワークパケットを受信する場合、ノードN 4 は、全てのネットワークパケットを受信し、ブランチ202に沿って宛先ノードN 9に向かって最も遠いノードを選択する。この場合、ブロードキャストするノードN 4のノード識別子と選択されたノード（N 5、N 6、またはN 7）のノード識別子との間の差異は、ブロードキャストするノードN 4のノード識別子と全てのパケットを受信する任意の他のノード（N 5、N 6、またはN 7）のノード識別子との間の差異よりも大きい。図10の実施例では、1つのノードN 6のみが、全てのネットワークパケットを受信した。ブロードキャストするノードN 4 は、次いで、トークンを渡すメッセージを選択されたノード、すなわち、図10の例ではノードN 6にブロードキャストする。

【0116】

しかしながら、いずれの受信するノードN 5、N 6、およびN 7も、パケットのグループの全てのパケットを受信しない場合、ブロードキャストするノードN 4 は、「補償」パケットのセットを決定し、その補償パケットをブロードキャストする。補償パケットのセットは、少なくとも、ネットワークパケットのうちの少なくとも1つの受信を肯定応答する、ノードN 5、N 6、およびN 7のうちの少なくとも1つによって受信されていないパケットを含む。補償パケットは、最も少ないネットワークパケットをどのノードが受信することに失敗したか、最も遠い肯定応答ノードがどのパケットを受信することに失敗したか、パケットの半分よりも少ないものを受信することに失敗した最も遠い肯定応答ノードによってどのパケットが受信されなかったか、またはある他の選択基準に基づいて選択され得る。補償セットは、最大数のネットワークパケットを受信した2つの肯定応答ノードまたはブランチに沿って宛先ノードの方向に最も遠い2つの肯定応答ノード等、肯定応答ノードのうちの少なくとも2つによって受信されなかったネットワークパケットの集合を含み得る。ブロードキャストするノードN 4 は、それが補償パケットを送信する回数を限定し得る。

【0117】

ネットワークパケット702 - 706（図7）がこの例において使用されたが、ネットワークパケット702 - 706のいくつかのサブセットが、1つのタイムスロット中にグループとして送信され得る。1つのタイムスロット中にブロードキャストするノードによって送信されるパケットのグループは、より大きいメッセージ700の一部または全てである必要はない。1つのタイムスロット中に送信されるグループ内のネットワークパケットは、より大きいメッセージ700の一部ではないネットワークパケット等、互いに無関係であり得る。加えて、図6に関して議論されるように、他のネットワークパケット番号付けスキームが、使用され得る。したがって、ネットワークパケット602 - 606のいくつかもしくは全ておよび/または図6に示されない他のネットワークパケットが、1つのタイムスロット中に送信されるパケットのグループを形成し得る。

【0118】

いくつかの実施形態では、32個のネットワークパケットが、1つのタイムスロット中に送信される。いくつかの実施形態では、2～32個のネットワークパケットが、1つのタイムスロット中に送信される。タイムスロットあたり他の数のネットワークパケットが、送信され得る。複数のネットワークパケットをブロードキャストすることに先立って、いかなるネゴシエーションも、ブロードキャストネットワークノードと潜在的受信ネットワークノードとの間に実行されないことに留意されたい。代わりに、ブロードキャストネ

10

20

30

40

50

ットワークノードは、単に、複数のネットワークパケットをブロードキャストし、次いで、ブロードキャストネットワークノードは、1つ以上の受信するノードによって欠落したネットワークパケットを「充填」する。

【0119】

代替として、いくつかの実施形態では、ブロードキャストは、欠落したネットワークパケットを充填しない。代わりに、ブロードキャストするノードは、単に、受信するノードによって受信されたネットワークパケットに対して、受信するノードのうちの1つにトークンを渡す。次いで、ブロードキャストするノードは、欠落したネットワークパケットを新しいトランザクションとしてブロードキャストする。

【0120】

従来の通信プロトコルによると、ユニキャストおよびマルチキャストメッセージは、典型的には、肯定応答を要求するが、ブロードキャストメッセージは、肯定応答を要求しないことに留意されたい。対照的に、本発明の実施形態は、ブロードキャストメッセージの肯定応答を要求し、これは、従来技術によって教示または示唆されていない。

【0121】

(受信されたノード欠落したパケットに基づくノードクロック位相の調節)

各ネットワークノードは、ネットワークノードに割り当てられるタイムスロット(図8および9)の開始および終了、いつノードの無線受信機をオンおよびオフにすべきか、ならびにいつ省電力スリープ状態に入り、いつ省電力スリープ状態からノードをウェイクさせるべきかを決定することを促進するクロックを含む。別個のクロックまたは他の回路が、これらの機能のために使用され得るが、説明を簡易化するために、全てのこれらのクロックおよび回路は、集合的に、本明細書では、各ネットワークノード内の単一クロックと称される。種々のネットワークノードクロックは、互いに、少なくとも無線範囲内の他のネットワークノードと、いくつかの場合、任意の基地局内のクロックと合理的に同期させられるべきである。しかしながら、部分的に、各ネットワークノードの限定されたエネルギー供給源に起因して、ネットワークノードクロックは、互いに対して、かつ基地局内のクロックに対して、ドリフトする可能性が高い。

【0122】

同期させられたクロックを要求する従来技術の通信プロトコルは、クロックを同期させるための方法を含む。しかしながら、これらの従来技術の方法は、クロック同期の専用のネットワークトラフィックを要求し、したがって、センサコマンドまたはセンサデータを通信するために使用されない電力および帯域幅を消費する。

【0123】

本発明の実施形態は、ネットワークノード内のクロックを調節し、専用クロック同期通信に依拠することなく、クロックを他のネットワークノード内のクロックおよび/または基地局内のクロックと同期させる。図2および6-10に関して議論されるように、複数のネットワークパケットが、単一のタイムスロット中にブロードキャストされ得る。ネットワークパケットのいずれかを受信するネットワークノードは、いくつかのネットワークパケットがブロードキャストされたかについての情報とともに、ノードがその無線受信機をオンにしたときに対する、ネットワークパケットの受信のタイミングについての情報を使用し、そのクロックをブロードキャストするノードのクロックと同期させ得る。

【0124】

図11は、上記の例のネットワークパケット702-706がネットワークノードN4によってブロードキャストされるタイムスロット1100を図式的に描写する。ブロードキャストするノード(N4)のクロックに従って、タイムスロット1100は、時間1102において開始する。最大数のネットワークパケットがブロードキャストされ、すなわち、タイムスロット1100が満杯であると仮定し、ノードN4クロックに従って、タイムスロットは、時間1104において終了する。

【0125】

電力を節約するために、各ネットワークノードは、それが他のノードがブロードキャスト

10

20

30

40

50

トすることを予期する期間の開始時、またはその直前にその無線受信機をオンにし、ノードは、予期されるブロードキャスト期間の終了時、またはその直後にその無線受信機をオフにすることを思い出されたい。受信するノードが全てのネットワークパケット702-706を受信する場合、受信するノードのクロックは、ブロードキャストするノードのクロックと合理的に同期させられている。しかしながら、受信するノードがその無線受信機をオンにするのが遅すぎて、ネットワークパケット702、703等のうちの最初の1つ以上のものを受信できない場合、受信するノードのクロックは、ブロードキャストするノードのクロックよりも遅れており、したがって、それと同期させられていない(すなわち、受信機のクロックは、「遅い」)。同様に、受信するノードが、ネットワークパケット702-706のグループの全てのネットワークパケットが受信される前にその無線受信機をオフにする場合、受信するノードのクロックは、ブロードキャストするノードのクロックよりも進んでおり、したがって、それと同期させられていない(すなわち、受信機のクロックは、「早い」)。

10

【0126】

図6および7に関して議論されるように、各ネットワークパケットは、受信ネットワークノードが、いくつかのネットワークパケットが一連のネットワークパケット内にあるかおよび一連のネットワークパケットの開始に対する現在のネットワークパケットの位置を計算することを可能にするために、十分な情報を含む。ネットワークノードが開始時に受信していない、一連のネットワークパケットのうちのネットワークパケットの数に基づいて、ネットワークノードは、受信ネットワークノードのクロックがどれくらいの時間だけ遅いかを推定し、ネットワークノードは、その時間量だけそのクロックを調節する。例えば、仮想受信するノードAクロックが、ノードAにその無線受信機を時間1106においてオンにさせ、時間1108においてオフにさせる場合、ノードAの受信期間1110は、ブロードキャストするノードのタイムスロット1100に十分に一致せず、その結果、ノードAは、ネットワークパケット702および704を受信しない。ノードAは、欠落したネットワークパケットの数、すなわち、2つを計算し、その遅いクロックを少なくとも2つのネットワークパケットを受信するために十分な時間量だけ進め、それによって、そのクロックをブロードキャストするノードのクロックとより良好に同期させる。

20

【0127】

同様に、ネットワークノードが終了時に受信していない、一連のネットワークパケットのうちのネットワークパケットの数に基づいて、ネットワークノードは、受信ネットワークノードのクロックがどれくらいの時間だけ早いかを推定し、ネットワークノードは、その時間量だけそのクロックを調節する。例えば、仮想受信するノードBクロックが、ノードBにその無線受信機を時間1112においてオンにさせ、時間1114においてオフにさせる場合、ノードBの受信期間1116は、ブロードキャストするノードのタイムスロット1100に十分に一致せず、ノードBは、ネットワークパケット706を受信しない。ノードBは、欠落したネットワークパケットの数、すなわち、1つを計算し、その早いクロックを少なくとも1つのネットワークパケットを受信するために十分な時間量だけ遅らせ、それによって、そのクロックをブロードキャストするノードのクロックとより良好に同期させる。

30

40

【0128】

随意に、または代替として、受信するノードBは、最初のネットワークパケット702が受信される前にその受信機がオンであった時間量1118を測定または推定し、およその時間量1118だけそのクロックを遅らせ得る。同様に、随意に、または代替として、受信するノードAは、最後のネットワークパケット706が受信された後にその受信機がオンであった時間量1120を測定または推定し、およその時間量1120だけそのクロックを進め得る。

【0129】

各ネットワークノードは、ネットワークノードがブロードキャストを受信することが予期される、他のネットワークノード(すなわち、その予期される、または可能な近隣対応

50

物)の各々に対するタイムスロットタイミング情報を同期させることを含め、維持する。述べたように、いくつかの文脈では、各ネットワークノードは、各方向における同一のブランチ上に約3つの近隣対応物ノードを有することが予期される。したがって、これらの文脈では、各ネットワークノードは、約6つの他のネットワークノードからブロードキャストを受信することが予期される。その結果、各ネットワークノードは、6つの他のノードについてのタイムスロットタイミング情報を維持することが可能であるべきである。2つ以上のブランチの要素であるネットワークノードは、ブランチあたり6つの他のノードについてのタイムスロットタイミング情報を維持すべきである。

【0130】

(近傍のノードの自動識別およびクロック同期)

10

随意に、または代替として、線形ネットワークのノードは、この目的のためにメッセージを交換することによって、それらのそれぞれのクロックを同期させ得る。4位相クロック同期プロトコルが、図17、18、および19に関して説明される。図18は、2つのシート(図18Aおよび18B)に分割される。述べたように、各ノードは、比較的少数の近隣対応物、典型的には、約6つを有し、各ノードは、その近隣対応物からの伝送の受信を見込んで、周期的にウェイクする。同期させられたクロックは、これらの通信を促進する。基地局から離れる等、ブランチに沿って一方の方向に流動するネットワークトラフィックは、他方の方向に流動するネットワークトラフィックとは別個にハンドリングされる。その結果、ノードは、他方の側のその近隣対応物との同期とは別個に、ノードの一方の側のその近隣対応物との同期を維持し得る。さらに、同期させられたクロックは、その近隣対応物と同期して、ノードが省電力スリープ状態に入り、それからウェイクすることを促進し、調子を合わせてその近隣対応物からブロードキャストを受信し、調子を合わせてそのセンサを用いてデータを収集等する。

20

【0131】

説明を目的として、ノードN5(図27)は、一方の側でノードN6、N7、およびN8の無線通信範囲内にあるが、ノードN5は、まだノードN6-N8を発見していないか、またはノードN5は、これらのノードN6-N8と直接無線で通信するその能力を確認する必要があると仮定する。一方の側のその近隣対応物を発見または確認することにおいて、ノードN5は、4位相クロック同期プロトコルに従って、その側のその近隣対応物が、それらのそれぞれのクロックをノードN5のクロックと同期させることを可能にするパケットを送送する。ノードN5は、当然ながら、代表的ものである。線形ネットワークの各ノードは、周期的または随時、このプロトコルに従い、その上流または下流近隣対応物のクロックをそのノードのクロックに同期させ得る。

30

【0132】

図18は、時間が右側に進行する概略タイミング図であり、4位相クロック同期プロトコルに従う、ノードN5-N8間の通信の仮想セットを示す。ノードN5-N8は、125ミリ秒(m秒)ウェイクアップサイクルで動作すると仮定するが、他のウェイクアップサイクル時間が、使用され得る。第1の位相1800中、ノードN5は、時間的に間隔を置かれた同期パケットのセットを送送する。各同期パケットは、対応するタイムスロット1-8中に伝送される。8つの伝送が、矢印1802、1804、1806、および1808によって表される垂直矢印によって示される。

40

【0133】

各同期メッセージ1802-1808は、伝送ノードN5のどの側が同期させられているかのインジケータを含む。例えば、インジケータは、ノードN5のノード識別子と、より大きいノード識別子を有するノード、すなわち、上流ノードが同期させられている指示とを含み得る。ノード識別子は、ノード識別子がブランチに沿って単調に変動するようにノードに割り当てられることを思い出されたい。

【0134】

図18の例では、8つのタイムスロット1-8が、125ミリ秒サイクル毎に示されるが、しかしながら、他の数のタイムスロットが、使用され得る。各タイムスロット1-8

50

は、単一の潜在的なそれぞれの受信するノードに割り当てられる。図18の実施例は、伝送を受信するノードN6 - N8よりも多いタイムスロット1 - 8を示す。したがって、タイムスロット1 - 8は、これらのノードがノードN5の無線通信範囲内にある場合、ノードN9およびN10（図17）等の追加のノードに適応し得る。述べたように、夜間等の他の時間中、より多くのノードが、ノードN5の無線通信範囲内にあり得る。したがって、タイムスロット1 - 8の数は、同期パケット伝送1802 - 1808を受信するノードN6 - N8の数に等しい必要はない。

【0135】

同期メッセージ1802 - 1808は、タイムスロット1 - 8を識別し、どのノードがどのタイムスロットに割り当てられているかを示す情報を含む。例えば、タイムスロットは、これらのノードが無線通信範囲内にある場合に備えて、ノードN9およびN10に割り当てられ得る。タイムスロットの順序は、潜在的受信するノードに割り当てられたノード識別子の順序に相關する必要はない。

【0136】

ノードN6、N7、およびN8内のそれぞれの無線受信機がオンである時間が、棒線1810、1812、および1814によって示される。「オン」時間1810 - 1814は、同期パケットが伝送される時間1802 - 1808と十分に整列されておらず、ノードN6 - N8内のクロックがノードN5内のクロックと良好に同期させられていないことを示し得ることに留意されたい。

【0137】

ノードN6 - N8の各々は、伝送ノードN5から直接、すなわち、同期パケットが任意の他のノードによって転送されることなく、8つの同期パケット伝送1802 - 1808のうちの少なくとも1つを受信すると仮定する。この例では、ノードN5の同一側のノードN9等の他のノードは、同期パケット伝送1802 - 1808のいずれも受信しない。伝送ノードN5の他の側のノードN4等の1つ以上の他のノードは、同期パケット伝送1802 - 1808のうちの1つ以上のものを受信し得るが、それらは、ノードN5の他の側のノードに意図されるので、これらの伝送を無視する。用語「同期パケット伝送を受信するノード」は、これらの他のノードを含まない。

【0138】

同期パケット伝送1802 - 1808を受信する各ノードN6 - N8は、タイムスロットのどれがそのノードに割り当てられているかを識別する。8つのタイムスロットが8つの潜在的受信するノードに割り当てられ、割当についての情報が同期パケット内に含まれることを思い出されたい。ノードN6は、タイムスロット1を割り当てられ、ノードN7は、タイムスロット2を割り当てられ、ノードN8は、タイムスロット5を割り当てられると仮定する。

【0139】

同期パケット伝送の受信に応答して、第2の位相1816中、各ノードN6 - N8は、その割り当てられたタイムスロット中、矢印1818、1820、および1822によって示されるように、肯定応答パケットを無線で伝送する。各肯定応答メッセージは、それぞれの伝送ノードのノード識別子を含む。したがって、ノードN6、N7、およびN8は、複数の伝送される肯定応答メッセージ1818 - 1822を集合的に伝送する。

【0140】

同期ノードN5は、肯定応答メッセージ1818 - 1822のうちの少なくとも1つを受信すると仮定する。同期ノードN5は、その肯定応答メッセージが受信されたノードN6 - N8のセットに優先順位を付ける。優先順位付けは、少なくとも部分的に、その肯定応答メッセージが同期ノードN5によって受信されたノードのネットワークノード識別子に基づく。優先順位は、同期ノードN5からの距離に基づいて割り当てられ、より高い優先順位が、より遠隔のノードに割り当てられる。同期ノードN5からの距離の尺度は、同期ノードN5のノード識別子と肯定応答ノードN6 - N8のノード識別子との間の差異を計算することによって決定され得ることに留意されたい。このスキームは、メッセージを

10

20

30

40

50

最も遠隔のノードに転送することに有利であり、したがって、ネットワークホップを可能な限り大きくする。

【0141】

ノード識別子は単調に割り当てられるので、同期ノードN5は、肯定応答メッセージ1818-1822を送信するノードN6-N8間で、最大のノード識別子を伴うノードN8が、ブランチに沿って最も遠い、すなわち、同期ノードN5から最も遠いと仮定することができる。同期ノードN5は、したがって、最も高い優先順位をノードN8に割り当て、次に高い優先順位を次に最も遠隔のノードN7に割り当て、以下同様である。同期ノードN5が、他の側のノード内のクロックに同期していた場合、またはノード識別子が、ノードN5からノードN8へ方向に減少する場合、優先順位割当は、最大ノード識別子ではなく、最小ノード識別子に基づくであろう。

10

【0142】

第3の位相1824中、同期ノードN5は、矢印1826、1828、および1830によって示されるように、優先順位付けパケットを優先順位付けられたノードN6-N8のうちの少なくとも1つに伝送する。優先順位付けパケットは、意図される受信するノードN6-N8に割り当てられたそれぞれのタイムスロット(1、2、および5)中に伝送される。ノードN6、N7、およびN8内のそれぞれの無線受信機がオンである時間が、棒線1832、1834、および1836によって示される。

【0143】

第1の位相1800または第3の位相1824のいずれかの間に同期ノードN5から伝送を受信した結果、各受信するノードN6-N8は、ノードの受信機「オン」時間1810-1814または1832-1836中、いつ同期ノードN5からの伝送が受信されるかに基づいてそのクロックを調節する。例えば、図11に関して議論されるやり方で、同期ノードN5からの伝送が、受信機「オン」時間1810-1814または1832-1836の開始時付近で受信される場合、受信するノードN6-N8は、そのクロックを遅い(遅れている)と見なし、その受信機をより早くオンにするようにそのクロックを調節し得る。その結果、同期ノードN5からの将来の伝送は、受信するノードの「オン」時間1810-1814または1832-1836の中心により近接して受信されるはずである。

20

【0144】

随意に、第4の位相1838中、同期ノードN5は、同期メッセージを確認するための要求1840を伝送する。同期メッセージを確認するための要求1840を受信するノードN6-N8は、矢印1842、1844、および1846によって示されるように、それぞれの肯定応答パケットを伝送することによって、受信を肯定応答する。ノードN6-N8は、優先順位順にそれらのそれぞれの肯定応答を伝送する。同期ノードN5は、肯定応答パケットを受信し、それらのそれぞれの優先順位を含む同期させられたノードN6-N8のリストを維持する。

30

【0145】

図19に図式的に示される状態図は、ノードN5-N8の同期状態および状態間の遷移を例証する。述べたように、各ノードは、各近隣対応物に対する別個のクロック情報を維持する。したがって、各ノードは、それが伝送を受信することを予期する各近隣対応物のために別個の同期状態を維持する。以下は、それぞれのそのような同期状態が1つの近隣対応物に対して維持される方法を説明する。

40

【0146】

始動時、各ノードは、「同期させられていない」状態1900に入る。ノードN6-N8のうちの1つ等のノードが、上で議論されるようなノードN5等のその近隣対応物と同期させられると、ノードN5は、それが同期させられたノード(N6-N8)に対して、「同期させられた」状態1902に入る。ノードN5は、事前決定された時間量にわたって、またはノードにそのクロックを再同期させるべきイベントが起こるまで、同期させられた状態1902のままであり得る。同期ノード(ノードN5等)は、周期的または随時

50

、比較的に小さい同期パケットを送信し得、したがって、その近隣対応物は、それらのそれぞれのクロックを同期ノードのクロックと同期して維持することができる。しかしながら、ノードが事前決定された時間量にわたって同期パケットを受信しない場合、ノードは、「再同期」状態 1904 に入る。ノードがその近隣における変化を検出する場合、すなわち、より多いまたは少ないノードが近隣対応物である場合、ノードは、同期させられていない状態 1900 に入り、新しい同期および優先順位を確立する。

【0147】

周期的または時折、ノードは、「ディープスリープ」状態 1906 に入り、その状態において、それは、比較的に長い期間にわたって省電力モードに入る。ディープスリープ中、ノードの送信機および受信機は、オフのままであり、電力を節約する。ディープスリープの持続時間は、ノードのバッテリーの充電レベルならびにノードまたはネットワーク内およびノードもしくはこのノードのブランチ内のノードの数等の考慮事項に基づいて、事前決定され得る。これらの考慮事項は、ネットワークが、所望の数のコマンドおよびノードまたはデータを 1 日等の規定された時間量以内に各ブランチの一方の端部と各ブランチの他方の端部との間に伝達することを可能にする等の設計目的を満たすことに関連し得る。

【0148】

(スケジューリングされた実装を用いた無線プロビジョニング)

センサネットワークのネットワークノードの寿命にわたって、随時、ネットワークノードにおいて、ネットワークノード識別子、省電力スリープ間隔、タイムスロット配分、センサデータを収集する開始ノード/中止時間等のパラメータおよびノードまたはソフトウェアを更新することが、望ましいか、または必要であり得る。多くの場合、ネットワークノード間のネットワークノード識別子の一貫性を維持する等のために、全てのネットワークノードに対するそのような変更を同時に、または事前決定された時間ウィンドウ以内に実装することが、望ましいか、または必要である。しかしながら、特に、長いブランチを伴うネットワーク上では、ブランチの一方の端部からブランチの他方の端部にネットワークパケットを転送するために要求される時間は、長すぎて、全ての影響を受けるノードに対する変更を同時に、または所望の時間ウィンドウ以内に有効化できない場合がある。

【0149】

本発明の実施形態は、影響を受けるネットワークノードにメッセージを配信することによって、または単に、ネットワークもしくはブランチ全体をメッセージで氾濫させることによって、この問題を解決する。各メッセージは、新しいソフトウェア、更新されるネットワークノード識別子、またはノードの識別子を再計算する方法の指示等の更新情報と、変更がノードによって実装されるべき未来時の指示とを含む。各メッセージは、各影響を受けるノードによって実行されるべきスクリプトを含み得る。これらのメッセージは、基地局または任意の他の好適な更新コマンドの送信元によって送信され得る。メッセージ送信側は、メッセージの一部がドロップされる場合に備えて、影響を受けるノードのそれぞれにメッセージの冗長コピーを送信し得る。

【0150】

各影響を受けるノードは、影響を受けるノードに宛先指定されるメッセージのうちの少なくとも 1 つを受信し、メッセージ内に含まれる更新情報を記憶する。各影響を受けるノードは、必要に応じて、省電力スリープ状態からアウェイクされることを含め、未来時またはその前に通知されるように、内部タイマを設定するか、または別の好適な機構を使用する。ネットワークノードが、未来時が今であることを通知されると、ネットワークノードは、記憶された更新情報を使用して、変更を行う、すなわち、それ自体を更新する。

【0151】

いくつかの場合、あるネットワークノードのみが、更新されるべきである。例えば、あるハードウェアコンポーネントもしくはあるバージョンのハードウェアコンポーネントを含む、またはあるバージョンのソフトウェアもしくはより前のバージョンのソフトウェアを実行するネットワークノードのみが、更新されるべきである。これらの場合、各メッセージは、更新のタイプの指示を含み得、各ノードは、更新のタイプをチェックし、更新が

ノードに適用されるかどうかを決定する。ノードが更新のタイプに一致する場合、ノードは、上で説明されるような更新を実装する。随意に、または代替として、各ノードは、ノードが更新のタイプに一致する場合のみ、更新情報を記憶する。

【0152】

(他のネットワークトラフィック上でピギーバックする健全性および安危情報)

多くの状況では、センサステータス、バッテリー充電レベル、エネルギー回収装置生産量、無線信号対雑音比、無線範囲内の他のノードの数、近傍のノードへの有効帯域幅等、ネットワークノードからネットワークノード健全性および安危情報を取得することが、望ましいか、または必要である。しかしながら、述べたように、電力およびネットワーク帯域幅を節約することが、望ましいか、または必要である。

10

【0153】

別個の健全性および安危ネットワークパケット(以降では、単純に、ネットワークステータス情報と称される)を送信することを回避するために、いくつかの実施形態は、この種類の情報をコマンドおよび/またはデータを搬送するネットワークパケット内に含む。図12は、そのような実施形態による、仮想例示的シナリオを図式的に描写する。ノードN8は、ネットワークステータス情報1200が送信されるべき方向に転送されているネットワークパケット1202をノードが受信し、そのネットワークパケット1202がネットワークステータス情報1200の一部または全てを含むために十分な自由空間を有するまで、ネットワークステータス情報1200を収集し、記憶する。ノードN8は、ネットワークパケット内に、ネットワークステータス情報1204またはその一部を記憶し、それによって、修正されたネットワークパケット1206を生産する。ノードN8は、次いで、修正されたネットワークパケット1206をブロードキャストし、修正されたネットワークパケット1206をそのルート上で転送する。

20

【0154】

修正されたネットワークパケット1206が、基地局1208等のその宛先に着信すると、ネットワークステータス情報1204が同一の宛先に宛先指定される場合、ネットワークステータス情報1204は、送達される。そうでなければ、ネットワークステータス情報1204は、ネットワークステータス情報1204を転送するために好適な別のネットワークパケットが、さらにそのルートに沿って受信されるまで、受信するノードによって記憶され得る。

30

【0155】

いくつかの実施形態では、転送ネットワークパケットは、センサコマンドおよび/またはセンサデータを搬送し、ネットワークステータス情報を搬送するために特に生成されるネットワークパケットではない。そのようなネットワークパケットは、したがって、本明細書に説明されるように、ノードが記憶されたネットワークステータス情報をパケットに追加するまで、任意のネットワークステータス情報を欠いている。

【0156】

ネットワークパケットは、ネットワークステータス情報のための限定された空間を必然的に有し、時として、いかなる空間も有していない。いくつかの場合、ブランチ上の2つ以上のネットワークノードは、送信すべきネットワークステータス情報を並行して有するが、ネットワークパケット内の利用可能な空間は、ノードの全て、またはいくつかの場合、ノードのうちの2つ以上のものを収容するために不十分であり得る。いくつかの実施形態は、事前決定された、恣意的でさえある比較スキームに従って、ネットワークステータス情報の重要性等に基づいて、ネットワークステータス情報の転送に優先順位を付ける。

40

【0157】

例えば、1つのノードのネットワークステータス情報は、ノードのセンサによって今まで取得されたサンプルの数等のルーチンの履歴情報を含み得る一方、別のノードのネットワークステータス情報は、ノードのバッテリー充電が極めて低いことを示し得る。履歴情報は、バッテリーステータス情報よりも重要ではないと見なされ得る。

【0158】

50

いくつかの実施形態では、ネットワークステータス情報を搬送するネットワークパケットが、ネットワークノードを通過するとき、ネットワークノードが、ネットワークパケットが転送されている方法と同一の方向に送信されるべきネットワークステータス情報を記憶しており、かつ通過ノードによって記憶されているネットワークステータス情報が、事前決定された比較スキームに従って、現在ネットワークパケット内にあるネットワークステータス情報よりも重要である場合、通過ノードは、ネットワークパケット内にそのネットワークステータス情報を記憶し、必要に応じて、現在ネットワークパケット内にあるネットワークステータス情報に取って代わる。

【0159】

(ネットワークブランチ)

図1に関して述べたように、線形ネットワークは、1つ以上のブランチを含む。複数のブランチ間で共通であるネットワークノードは、各ブランチのために1つの複数のネットワークノード識別子を有する。図13は、図1の線形ネットワーク102のための例示的仮想ネットワークノード識別子スキームを例証する。述べたように、線形ネットワーク102は、3つのブランチ116、118、および120を含む。

【0160】

全てがブランチ116の要素である、ノード1、2、3、4等は、そのブランチの指示を含むネットワーク識別子を割り当てられる。例えば、ノード1は、ネットワーク識別子B1-1を割り当てられ、ノード2は、ネットワーク識別子B1-2を割り当てられ、以下同様であり、B1は、ブランチ116を示す。このスキームによると、ノード1、2、3、4等は、ブランチ116に沿って、ベースノード130から離れ、ブランチ116の一方の端部からブランチ116の他方の端部への方向に単調に増加するネットワークノード識別子を割り当てられる。

【0161】

全てがブランチ118の要素である、ノード1、10、11、12等は、そのブランチの指示を含むネットワーク識別子を割り当てられる。例えば、ノード1は、ネットワーク識別子B2-1を割り当てられ、ノード10は、ネットワーク識別子B2-2を割り当てられ、ノード11は、ネットワーク識別子B2-3を割り当てられ、以下同様であり、B2は、ブランチ118を示す。このスキームによると、ノード1、10、11、12等は、ブランチ118に沿って、ベースノード130から離れ、ブランチ118の一方の端部からブランチ118の他方の端部への方向に単調に増加するネットワークノード識別子を割り当てられる。

【0162】

全てがブランチ120の要素である、ノード1、10、11、20、21、22等は、そのブランチの指示を含むネットワーク識別子を割り当てられる。例えば、ノード1は、ネットワーク識別子B3-1を割り当てられ、ノード10は、ネットワーク識別子B3-2を割り当てられ、ノード11は、ネットワーク識別子B3-3を割り当てられ、ノード20は、ネットワーク識別子B3-4を割り当てられ、ノード21は、ネットワーク識別子B3-5を割り当てられ、以下同様であり、B3は、ブランチ120を示す。このスキームによると、ノード1、10、11、20、21、22等は、ブランチ120に沿って、ベースノード130から離れ、ブランチ120の一方の端部からブランチ120の他方の端部への方向に単調に増加するネットワークノード識別子を割り当てられる。

【0163】

ノード1、10、および11は、複数のネットワーク識別子を有することに留意されたい。述べたように、各ネットワークノードは、メモリ内等に、それらのそれぞれのネットワークノード識別子の表現を記憶する。図4および5を参照して議論されるように、これらのノードがネットワークパケットを受信し、ネットワークパケットルーティングを実施するとき、ノードは、それを経由してネットワークパケットが受信されるブランチに関連付けられたそれらのそれぞれのネットワークノード識別子の記憶された表現を使用する。それを経由して所与のネットワークパケットが受信されるブランチは、ネットワークパケ

10

20

30

40

50

ットをブロードキャストするノードのネットワークノード識別子も一部（B 1、B 2、またはB 3部分等）によって識別されることができる。2つ以上のブランチの要素である各ネットワークノードは、それぞれのそのようなブランチについての情報を維持し得る。情報は、無線通信範囲内であるブランチ上の近傍のノードのネットワーク識別子を含み得る。

【0164】

（電力消費を低減させながらネットワークサイズを増加させるネットワークセグメント化）

議論されるように、低デューティサイクル無線通信プロトコルが、ネットワークノードを殆どの時間、省電力スリープ状態に保つことによって、電力を大幅に節約するために使用される。しかしながら、ネットワークノードが、それらが収集するデータを24時間等の事前決定された時間量以内に基地局に伝達することを要求されるか、または基地局からのコマンドが、事前決定された時間量以内にその宛先ネットワークノードに送達される必要がある場合、各ネットワークブランチの長さ（ノードの数において）は、事前決定された時間量以内に起こることが可能なホップの数によって限定される。ContikiMAC無線デューティサイクルプロトコル等の従来の低デューティサイクル無線通信プロトコルは、ネットワークブランチ内の比較的少数のノードしかサポートすることができない。なぜなら、ノードがアウェイクし、他のノードからおよびそれにネットワークパケットを受信および送信することが可能な合計時間量が、24時間等の所与の期間中に起こることが可能なホップの数を限定するからである。

【0165】

本発明の実施形態は、所与の線形ネットワークを2つ以上のネットワークセグメントに分割し、各ネットワークセグメントを異なるタイムスロットに関連付けることによって、従来の低デューティサイクル無線通信プロトコルを改良する。その結果、通信は、1つのネットワークセグメントの通信が別のネットワークセグメント上の通信に干渉することなく、複数のネットワークセグメント内で並行して起こり得る。これは、特に、いくつかのネットワークセグメントのノードが互いの無線範囲内にあり得る、基地局に近接するエリアにおいて重要である。

【0166】

図14は、基地局1402と、「p」ネットワークセグメント（4つが示される）1404、1406、1408、および1410とを有する仮想無線センサネットワーク1400の概略ブロック図である。本明細書で使用される場合、ネットワークセグメントは、基地局または別のネットワークセグメントのネットワークノードを通過することなく、直接または同一のネットワークセグメントの他のネットワークノードのみを介して、互いにネットワークパケットを送受信し得る全てのネットワークノードを含む。基地局は、各ネットワークセグメントの一部と見なされ得る。しかしながら、ネットワークパケットをルーティングするために、基地局が、最初のネットワークノードからネットワークパケットを受信し、次いで、別のネットワークノードにネットワークパケットを送信しなければならない場合、他のネットワークノードは、最初のネットワークノードと同一のネットワークセグメント上にない。

【0167】

各ネットワークセグメントは、少なくとも1つのネットワークブランチを含む。例えば、ネットワークセグメント1404は、ネットワークブランチ1412、1414、および1416を含む。他の3つの示されるネットワークブランチ1406 - 1410の各々は、それぞれ、1つのネットワークブランチ1418、1420、および1422のみを含む。

【0168】

本発明の実施形態によると、各ネットワークセグメント1404 - 1410は、ネットワークセグメントのネットワークノードがブロードキャストし得る異なるタイムスロットを割り当てられる。各ネットワークセグメントの基地局端部に近接する、ネットワークノ

ード100、105、110、200、205、300、305、310、p00、およびp05等のネットワークノードは、互いの無線範囲内にあり得るが、そのブロードキャストは、1つのネットワークセグメントのネットワークノードがブロードキャストするとき、基地局1402に近接する他のネットワークセグメント内のネットワークノードの無線受信機がオフであるので、各他のネットワークセグメント内のネットワークノードによるブロードキャストに干渉しない。

【0169】

各ネットワークセグメントのタイムスロットは、「時間間隔」と称されるより長い期間の開始をマーキングする。ネットワークセグメント1404（図14）に関する例示的仮想時間間隔1502およびタイムスロット1500が、図15に図式的に例証される。各タイムスロット1500は、3つの期間1504、1506、および1508に分割される。時間間隔1502の残りは、長スリープ期間1510と称される。第1の期間1504は、複数の第1のサブスロット（サブタイムスロット）1512に細分化され、第3の期間1508は、複数の第2のサブスロット（サブタイムスロット）1514に細分化される。図15に示されるように、各サブスロット1512および1514は、その隣接するサブスロットから時間的に間隔を置かれ得るか、または代替として、図15の下部に示されるように、サブスロットは、連続的であり得る。

【0170】

第1のサブスロット1512の各々中、ネットワークセグメント1404のネットワークノードは、ネットワークパケットを基地局1402から離れる方向に転送することを目的としてブロードキャストし得、第2のサブスロット1514の各々中、ネットワークセグメント1404のネットワークノードは、ネットワークパケットを基地局1402に向かう方向に転送することを目的としてブロードキャストし得る。

【0171】

第2の期間1506中、ネットワークセグメント1404のネットワークノードは、それらのそれぞれのセンサを動作させ、データを感知し、感知されたデータを記憶し得る。ネットワークノードは、第2の期間1506中、連続的に動作し得るか、またはそれらは、周期的または時折、省電力スリープ状態に入り得る。ネットワークセグメント1404のネットワークノードのうちのそれぞれのものが、所与の期間中にデータを収集するように割り当てられない場合、ノードは、第2の期間1506中に省電力スリープ状態に入り得る。長スリープ期間1510中、ネットワークセグメント1404のノードは、省電力スリープ状態に入る。

【0172】

図15は、縮尺通りに描かれないことに留意されたい。長スリープ期間1510は、タイムスロット1500よりもはるかに長い。その結果、ネットワークセグメント1404のノードは、時間の99%にわたって省電力スリープ状態にある。本発明の実施形態によると、ネットワークセグメント1404のノードは、従来技術の低電力無線デューティサイクルプロトコルを上回る割合の時間において省電力スリープ状態にある。その結果、ネットワークセグメント1404のノードは、従来技術の低電力無線デューティサイクルプロトコルにおいてよりも、第1および第2の期間1504および1508中に頻繁にウェイクしているために利用可能な電力を有する。より頻繁にウェイクしていることが可能であることは、ネットワークセグメント1404のノードが、従来技術の低電力無線デューティサイクルプロトコルを使用して可能なものよりも、24時間等の一連の所与の期間にわたって多くのホップをハンドリングすることを可能にする。その結果、本発明のこれらの実施形態は、従来技術の低電力無線デューティサイクルプロトコルよりも長い（ネットワークノードの数の観点から）ブランチをサポートすることができる。

【0173】

図16は、それぞれのネットワークセグメント1404-1410（図14）に関する時間間隔の仮想タイミングを例証する、概略図である。図16において分かり得るように、時間間隔1502、1600、1602、・・・、1604の開始時間は、1つのネッ

10

20

30

40

50

トワークセグメントのネットワークノードによるブロードキャストが、任意の他のネットワークセグメントのネットワークノードによるブロードキャストに干渉することを防止するように、互い違いにされる。例えば、互い違いの持続時間 1 6 0 6 は、タイムスロット 1 1 5 0 0 等のタイムスロットと少なくとも同程度に長い。時間間隔 1 5 0 2 - 1 6 0 4 は、繰り返される。

【 0 1 7 4 】

ある実施形態では、タイムスロット、時間間隔、およびサブスロットは、少なくとも 1 , 0 0 0 , 0 0 0 個のネットワークノードの線形ネットワークが、全て 2 4 期間以内に、各ブランチ上で少なくとも 1 つのコマンドネットワークパケットを基地局から最後のネットワークノードに転送し、各ブランチ上で少なくとも 1 つのセンサデータパケットを最後のネットワークノードから基地局に転送することを可能にするように選択される。そのようなネットワークは、比較的多数のブランチ（いくつかの場合、約 1 , 0 0 0 個のブランチ）を要求する可能性が高い。

10

【 0 1 7 5 】

本明細書に説明されるような方法および装置は、帯域幅を増加させるために、複数の無線周波数（チャンネル）において同時に動作し得る。

【 0 1 7 6 】

IEEE 8 0 2 . 1 5 . 4 は、低速無線パーソナルエリアネットワーク（LR - WPAN）のための物理層および媒体アクセス制御（MAC）を規定する規格である。IEEE 8 0 2 . 1 5 . 4 は、ZigBee（登録商標）、ISA100 . 1 1 a、WirelessHART、およびMiWi仕様に関する基準であり、それらの各々はさらに、IEEE 8 0 2 . 1 5 . 4 において定義されない、上位層を開発することによってこの規格を拡張させる。代替として、IEEE 8 0 2 . 1 5 . 4 は、6LoWPANプロトコルおよび標準インターネットプロトコルと共に使用され、無線組み込みインターネットを構築することができる。6LoWPANは、IEEE 8 0 2 . 1 5 . 4 規格に基づいて、無線センサネットワークを経由するIPv6パケットの伝送を可能にする。6LoWPANは、IPv6パケットが、IEEE 8 0 2 . 1 5 . 4 ベースのネットワークに送信され、それから受信されることを可能にするカプセル化およびヘッダ圧縮機構を定義する。IPv4およびIPv6は、通常、ローカルエリアネットワーク、メトロポリタンエリアネットワーク、およびインターネット等の広域ネットワークを経由するデータ送達のために使用される。同様に、IEEE 8 0 2 . 1 5 . 4 デバイスは、無線ドメインにおいて感知通信能力を提供することができる。本発明の実施形態は、6LoWPANおよび他のプロトコルの側面を拡張および/または修正する。

20

30

【 0 1 7 7 】

本発明は、上で説明される例示の実施形態を通して説明されるが、本明細書に開示された発明的概念から逸脱することなく、例証される実施形態の修正および変更が、成され得る。さらに、開示される側面またはその一部は、上記に列挙されていない、および/または明示的に請求されていない方法で組み合わせられ得る。故に、本発明は、開示された実施形態に限定されると見なされるべきではない。

【 0 1 7 8 】

40

実施形態の側面は、フローチャートおよび/またはブロック図を参照して説明され得るが、各ブロックの全てもしくは一部、またはブロックの組み合わせの機能、動作、決定等は、組み合わせられるか、別個の動作に分離されるか、または他の順序で実施され得る。各ブロックの全てもしくは一部、またはブロックの組み合わせは、コンピュータプログラム命令（ソフトウェア等）、ハードウェア（組み合わせ論理、特定用途向け集積回路（ASIC）、フィールドプログラマブルゲートアレイ（FPGA）、または他のハードウェア等）、ファームウェア、またはそれらの組み合わせとして実装され得る。

【 0 1 7 9 】

図 2 0 は、本発明の実施形態による、ネットワークノード 2 0 0 0 の概略ブロック図である。ノード 2 0 0 0 は、本明細書に議論されるように、無線送受信機 2 0 0 4 と、クロ

50

ック 2004 と、少なくとも 1 つのセンサ 2006 と、メモリ 2008 とを含む。メモリ 2008 は、ノード 2000 のネットワークノード識別子 2010、ノード更新情報 2012、ネットワークステータス情報 2014、および近隣対応物同期情報 2016 等の情報を記憶するために使用され得る。ネットワークノード 2000 はまた、図 18 に関して議論されるように、同期メッセージを生成する同期メッセージジェネレータ 2018 を含む。データコレクタ/送信装置 2020 が、センサ 2006 をハンドリングし、必要に応じてセンサ 2006 から収集されたデータを記憶し、収集されたデータの全てまたは一部を基地局等に向かって送信する。

【0180】

受信パケットハンドラ 2024 が、必要に応じて大きいパケットをフラグメント化することを含め、本明細書に議論されるように、ネットワークパケットを転送する等のタスクをハンドリングする。転送するノードセクタ 2024 が、図 2 - 5 等に関して説明されるように、パケットを転送するノードを選択する。補償パケット識別装置/送信装置 2026 が、図 10 等に関して説明されるように、他のノードに送信されるべき補償パケットを識別し、補償パケットを送信する。

10

【0181】

クロックシンクロナイザ 2028 が、図 11 および 18 - 19 等に関して説明されるように、クロック 2004 を調節し、必要に応じて他のノードとの同期を維持する。クロックシンクロナイザ 2028 はまた、近隣対応物ノードについての同期ステータス情報も維持し得る。タイムスロットマネージャ 2030 およびサブタイムスロットマネージャ 2032 が、図 15、16、および 18 に関して議論されるように、いつノード 2000 が伝送および受信するかを制御する。肯定応答メッセージジェネレータ 2034 が、最後の連続的パケットを受信した後に送信されるもの、どのノードがブロードキャストを受信したかを示すためのもの、クロックを同期させるためのもの等の肯定応答メッセージを生成する。

20

【0182】

ノードプライオリタイザ 2036 が、図 18 等に関して議論されるように、ノードに優先順位を付ける。ノードアップデータ 2038 が、メモリ 2008 内に更新情報 2012 を記憶し、クロック 2004 によってトリガされると、更新情報 2012 を適用すること等によって、ノード更新をハンドリングする。ネットワークステータス情報マネージャ 2040 が、ブランチに沿ったネットワークステータス情報の転送をハンドリングする。

30

【0183】

実施形態は、メモリ内に記憶された命令を実行する、またはそれによって制御されるプロセッサによって実装され得る。メモリは、制御ソフトウェアまたは他の命令およびデータを記憶するために好適であるランダムアクセスメモリ (RAM)、読み取り専用メモリ (ROM)、フラッシュメモリ、または任意の他のメモリ、またはそれらの組み合わせであり得る。

【0184】

本発明の機能を定義する命令は、限定ではないが、有形の書込不可能な記憶媒体 (例えば、ROM 等のコンピュータ内の読み取り専用メモリデバイス、または CD-ROM もしくは DVD ディスク等のコンピュータ I/O アタッチメントによって読み取り可能であるデバイス) 上に恒久的に記憶された情報、有形の書込可能な記憶媒体 (例えば、フロッピーディスク、取り外し可能フラッシュメモリ、およびハードドライブ) 上に変更可能に記憶された情報、または有線もしくは無線コンピュータネットワークを含む通信媒体を通してコンピュータに伝達される情報を含む、多くの形態においてプロセッサに送達され得る。さらに、実施形態は、種々の例証的データ構造と関連して説明され得るが、システムは、種々のデータ構造を使用して具現化され得る。

40

【図 1】

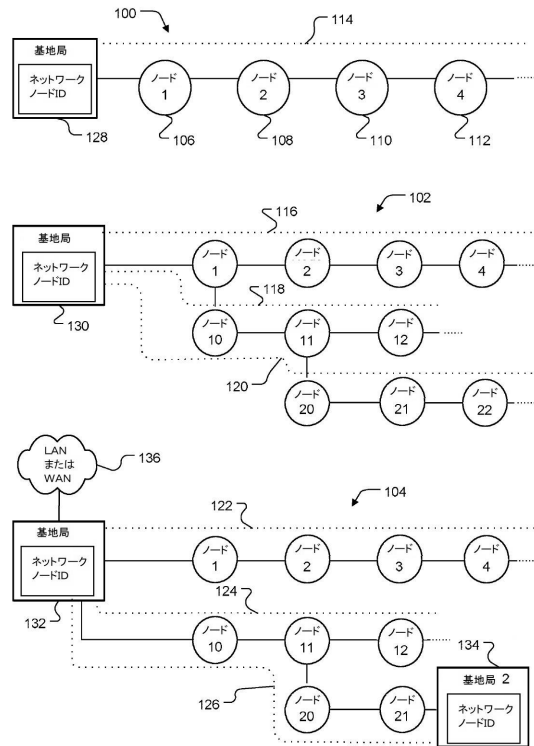


Fig. 1

【図 2】

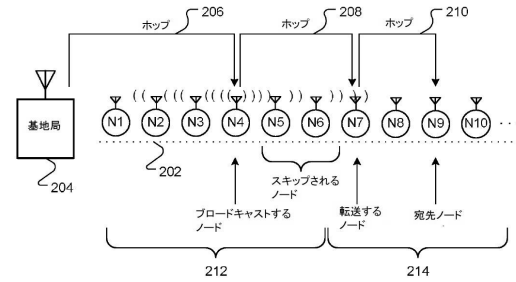


Fig. 2

【図 3】

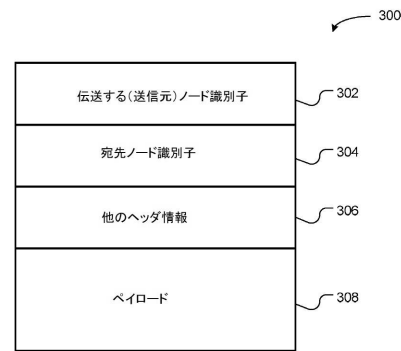


Fig. 3

【図 4】

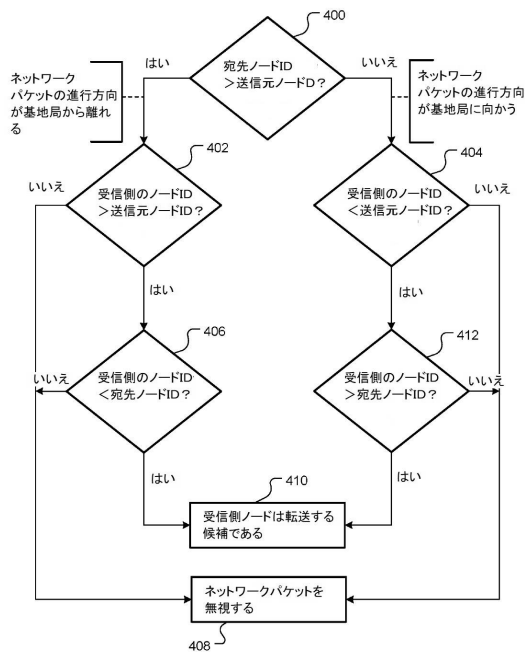


Fig. 4

【図 5】

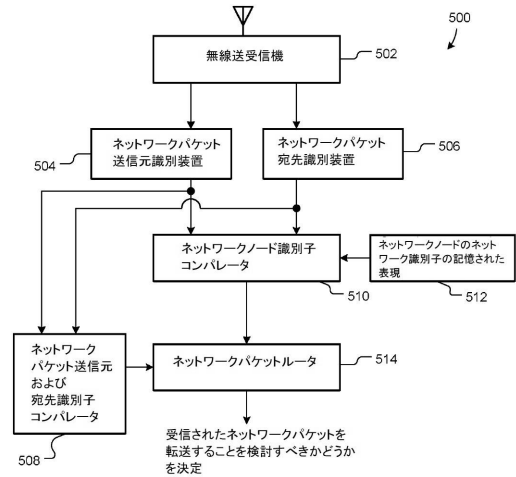


Fig. 5

【図 6】

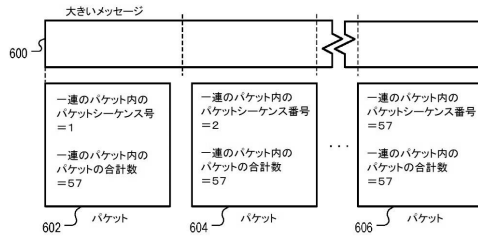


Fig. 6

【図 7】

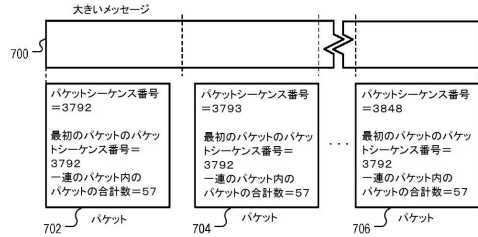


Fig. 7

【図 8】

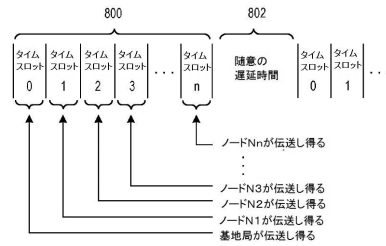


Fig. 8

【図 9】

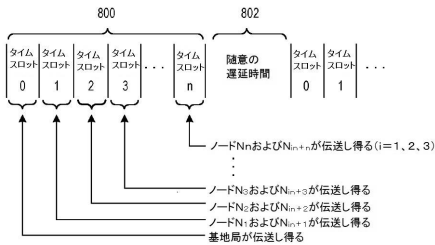


Fig. 9

【図 10】

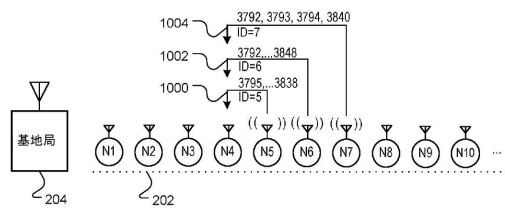


Fig. 10

【図 12】

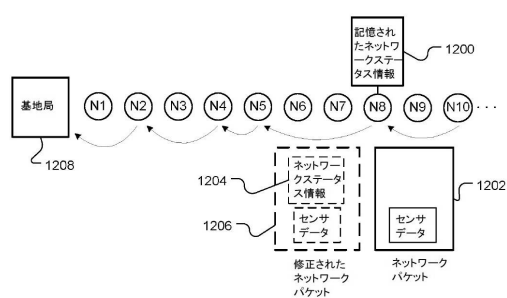


Fig. 12

【図 11】

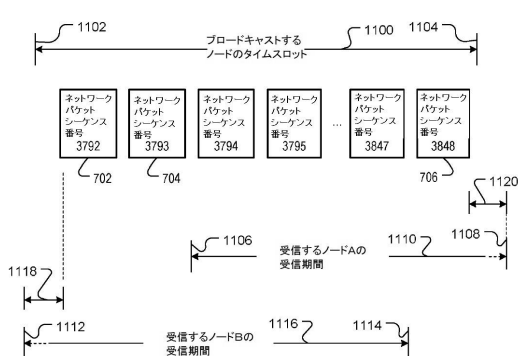


Fig. 11

【図 13】

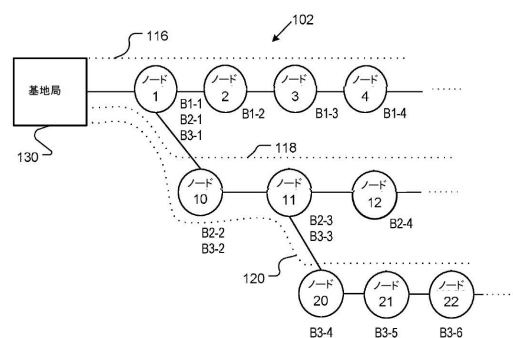


Fig. 13

【 図 1 4 】

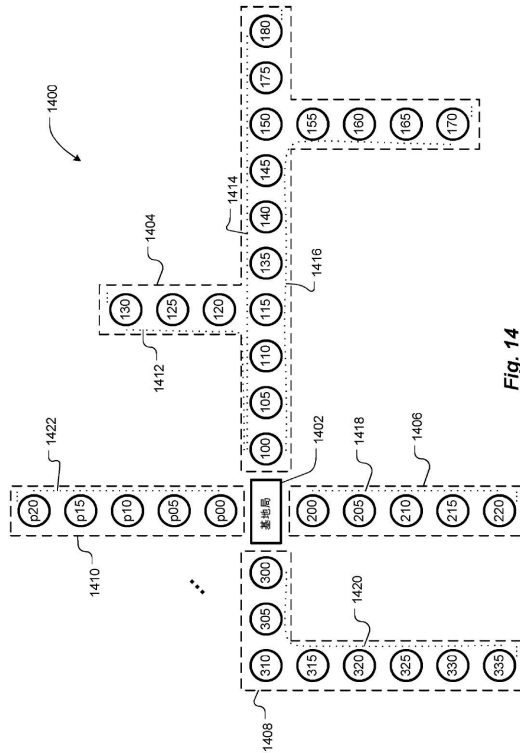


Fig. 14

【 図 1 5 】

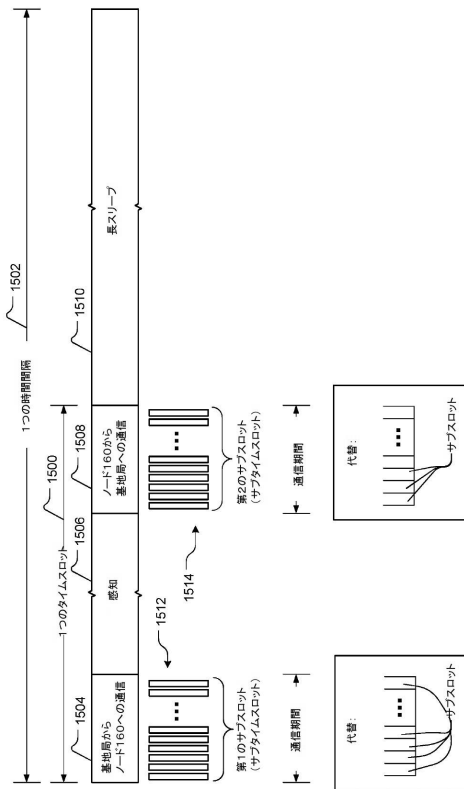


Fig. 15

【 ㄨ 1 6 】

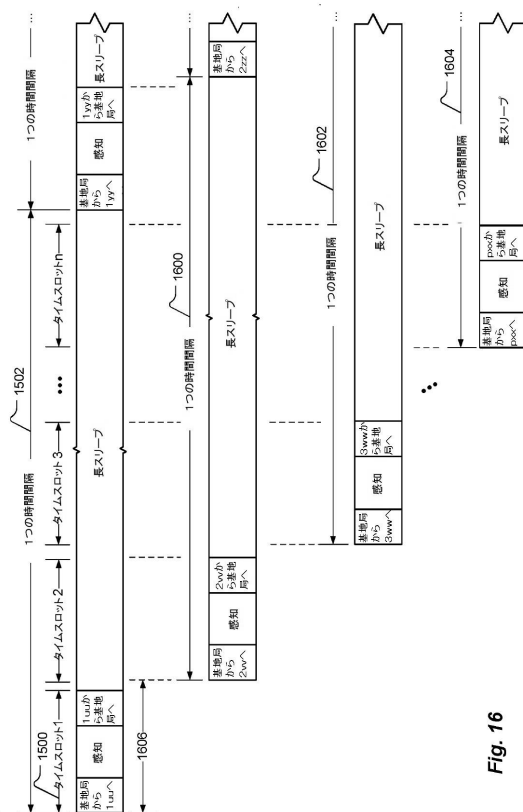


Fig. 16

【 図 1 7 】



Fig. 17

【図 18A】

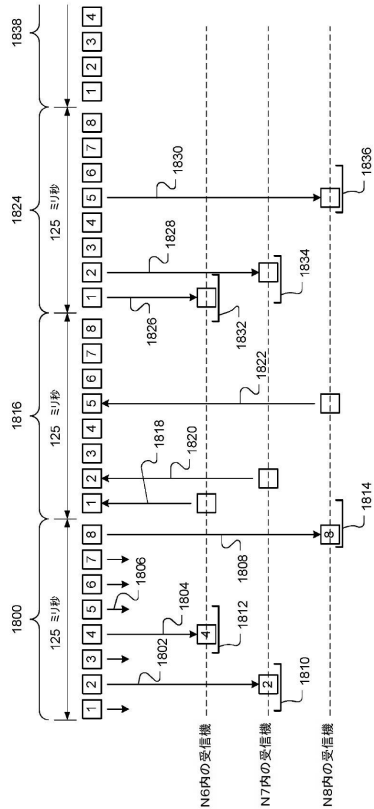


Fig. 18A

【図 18B】

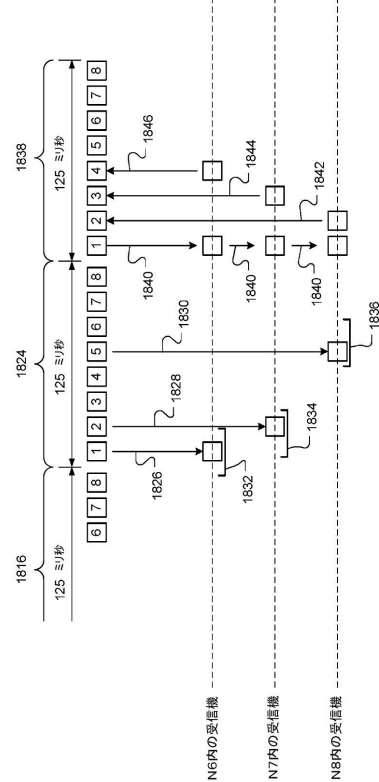


Fig. 18B

【図 19】

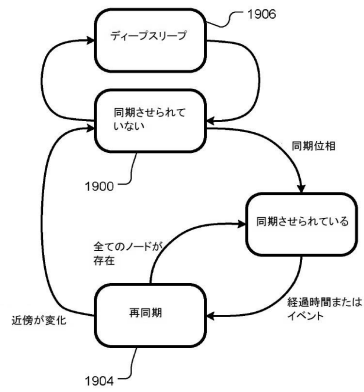


Fig. 19

【図 20】

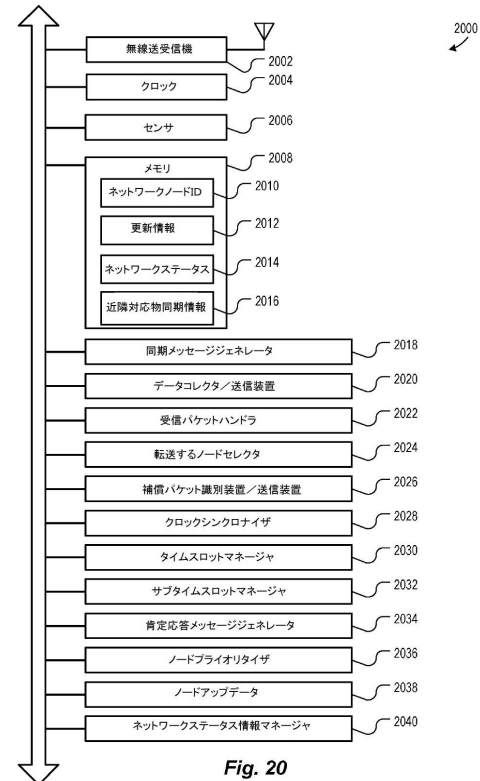


Fig. 20

フロントページの続き

(74)代理人 230113332

弁護士 山本 健策

(72)発明者 デイビス, アルミール ディー.

アメリカ合衆国 マサチューセッツ 02171, クインシー, イー. スクアンタム ストリート 124, ナンバー5

(72)発明者 ウィルマース, ロジャー ジェイ.

アメリカ合衆国 マサチューセッツ 01810, アンドーバー, ノレット ドライブ 10

(72)発明者 バブコック, フィリップ エス. ザ フォース

アメリカ合衆国 マサチューセッツ 01886, ウェストフォード, ポリー ロード 25

(72)発明者 カーン, イムラン

アメリカ合衆国 マサチューセッツ 01760, ネイティック, エリオット ヒル ロード 41

審査官 久松 和之

(56)参考文献 特開平9-36916(JP,A)

特開2014-64215(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H04B 7/24 - 7/26

H04W 4/00 - 99/00