

(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2009-111654
(P2009-111654A)

(43) 公開日 平成21年5月21日(2009.5.21)

(51) Int.Cl.			F I			テーマコード (参考)		
HO4L	7/00	(2006.01)	HO4L	7/00	Z	2FOO2		
GO4G	5/00	(2006.01)	GO4G	5/00	J	5KO33		
GO4G	7/02	(2006.01)	GO4G	7/02		5KO47		
HO4W	84/12	(2009.01)	HO4L	7/00	B			
			HO4L	12/28	3OOZ			

審査請求 未請求 請求項の数 7 O L (全 20 頁)

(21) 出願番号 特願2007-281213 (P2007-281213)
(22) 出願日 平成19年10月30日(2007.10.30)

(特許庁注：以下のものは登録商標)

1. UNIX

(71) 出願人 301022471
独立行政法人情報通信研究機構
東京都小金井市貫井北町4-2-1

(71) 出願人 594142115
コーダ電子株式会社
東京都中野区大和町3-44-5

(74) 代理人 100087147
弁理士 長谷川 文廣

(74) 代理人 100108660
弁理士 大川 謙

(74) 代理人 100119161
弁理士 重久 啓子

(72) 発明者 町澤 朗彦
東京都小金井市貫井北町4-2-1 独立行政法人情報通信研究機構内
最終頁に続く

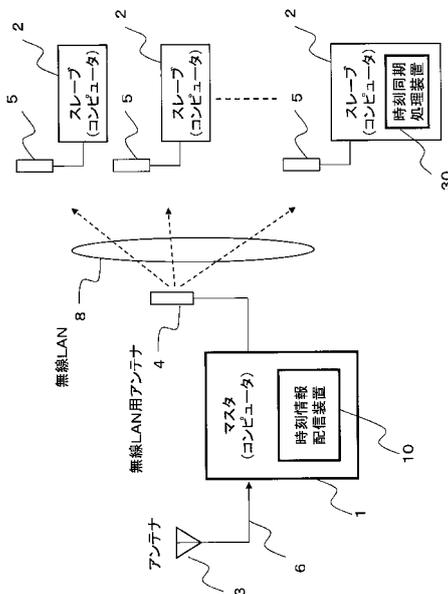
(54) 【発明の名称】 時刻同期処理システム、時刻情報配信装置、時刻同期処理装置、時刻情報配信プログラム、および時刻同期処理プログラム

(57) 【要約】

【課題】 無線ネットワークに接続する装置において高精度かつ簡易な時刻同期処理を可能とする。

【解決手段】 マスタ1の時刻情報配信装置10は、高精度の時計装置に同期する基準時刻信号をアンテナ3で受信し、時刻同期の packets であって、1つ前に送出した時刻 packets の送出完了時刻を情報格納域に記載した時刻 packets を生成し、正確に一定間隔(正1秒)で、無線LAN用アンテナ4からスレーブ2へブロードキャストする。スレーブ2は、無線LAN用アンテナ5により時刻 packets 信号を受信し、時刻同期処理装置30は、受信した時刻 packets の受信完了時刻、時刻 packets 内の先行 packets の送信完了時刻の関係を用いてスレーブ2の時刻をマスタ1の時刻に同期する同期処理を行う。

【選択図】 図1



【特許請求の範囲】**【請求項 1】**

無線ネットワークに接続する時刻情報配信装置および時刻同期処理装置で構成される時刻同期処理システムであって、

前記時刻情報配信装置は、

基準時刻情報を取得し、基準時刻情報記憶手段へ記録する基準時刻情報取得手段と、

前記基準時刻情報をもとに自装置内に時刻情報を提供するマスタ時計手段と、

一定の間隔で、時刻同期用データである時刻パケットを前記無線ネットワークへ送信するパケット送信手段と、

前記時刻パケットの送出完了時刻を検知し、送出完了時刻記憶手段へ記録するパケット送出完了時刻検知手段と、

前記送出完了時刻記憶手段に記録された、直前の時刻パケットの送出完了時刻を情報格納域に記載した時刻パケットを生成する時刻パケット生成手段とを備え、

前記時刻同期処理装置は、

自装置内に時刻情報を提供するスレーブ時計手段と、

前記時刻情報配信装置から送信された時刻パケットを受信するパケット受信手段と、

前記時刻パケットの受信完了時間検知し、到着完了時刻記憶手段へ蓄積するパケット到着完了時刻検出手段と、

前記受信した時刻パケットの情報格納域から前記送出完了時刻を読み出し、受信パケット情報記憶部に記録する受信パケット情報取得部と、

前記到着完了時刻および前記送出完了時刻の関係を用いて前記スレーブ時計手段の時刻補正情報を算出する時刻補正手段と、

前記時刻補正手段の時計補正情報をもとに前記スレーブ時計手段の時刻を設定する時刻設定手段とを備える

ことを特徴とする時刻同期処理システム。

【請求項 2】

前記時刻補正手段は、前記時刻パケットの到着完了時刻および送出完了時刻に統計処理を施すことによって前記時計補正情報を算出する

ことを特徴とする前記請求項 1 記載の時刻同期処理システム。

【請求項 3】

無線ネットワークに接続する時刻情報配信装置であって、

基準時刻情報を取得し、基準時刻情報記憶手段へ記録する基準時刻情報取得手段と、

前記基準時刻情報をもとに自装置内に時刻情報を提供するマスタ時計手段と、

一定の間隔で、時刻同期用データである時刻パケットを前記無線ネットワークへ送信するパケット送信手段と、

前記時刻パケットの送出完了時刻を検知し、送出完了時刻記憶手段へ記録するパケット送出完了時刻検知手段と、

前記送出完了時刻記憶手段に記録された、直前の時刻パケットの送出完了時刻を情報格納域に記載した時刻パケットを生成する時刻パケット生成手段とを備える

ことを特徴とする時刻情報配信装置。

【請求項 4】

無線ネットワークに接続する時刻同期処理装置であって、

自装置内に時刻情報を提供するスレーブ時計手段と、

前記時刻情報配信装置から送信された時刻パケットを受信するパケット受信手段と、

前記時刻パケットの受信完了時間検知し、到着完了時刻記憶手段へ蓄積するパケット到着完了時刻検出手段と、

前記受信した時刻パケットの情報格納域から前記送出完了時刻を読み出し、受信パケット情報記憶部に記録する受信パケット情報取得部と、

前記到着完了時刻および前記送出完了時刻の関係を用いて前記スレーブ時計手段の時刻補正情報を算出する時刻補正手段と、

10

20

30

40

50

前記時刻補正手段の時計補正情報をもとに前記スレーブ時計手段の時刻を設定する時刻設定手段とを備える

ことを特徴とする時刻同期処理装置。

【請求項 5】

前記時刻補正手段は、前記時刻パケットの到着完了時刻および送出完了時刻に統計処理を施すことによって前記時計補正情報を算出する

ことを特徴とする前記請求項 4 記載の時刻同期処理装置。

【請求項 6】

無線ネットワークに接続するコンピュータを、

基準時刻情報を取得し、基準時刻情報記憶手段へ記録する基準時刻情報取得手段と、

前記基準時刻情報をもとに自装置内に時刻情報を提供するマスタ時計手段と、

一定の間隔で、時刻同期用データである時刻パケットを前記無線ネットワークへ送信するパケット送信手段と、

前記時刻パケットの送出完了時刻を検知し、送出完了時刻記憶手段へ記録するパケット送出完了時刻検知手段と、

前記送出完了時刻記憶手段に記録された、直前の時刻パケットの送出完了時刻を情報格納域に記載した時刻パケットを生成する時刻パケット生成手段として

機能させるための時刻情報配信プログラム。

【請求項 7】

無線ネットワークに接続するコンピュータを、

自装置内に時刻情報を提供するスレーブ時計手段と、

前記時刻情報配信装置から送信された時刻パケットを受信するパケット受信手段と、

前記時刻パケットの受信完了時間を検知し、到着完了時刻記憶手段へ蓄積するパケット到着完了時刻検出手段と、

前記受信した時刻パケットの情報格納域から前記送出完了時刻を読み出し、受信パケット情報記憶部に記録する受信パケット情報取得部と、

前記到着完了時刻および前記送出完了時刻の関係を用いて前記スレーブ時計手段の時刻補正情報を算出する時刻補正手段と、

前記時刻補正手段の時計補正情報をもとに前記スレーブ時計手段の時刻を設定する時刻設定手段として

機能させるための時刻同期処理プログラム。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、無線ネットワークにおいて高精度時刻同期を行うシステム、高精度時刻同期のための時刻情報を配信する時刻情報配信装置、時刻同期処理装置およびこれらのプログラムに関する。

【背景技術】

【0002】

近年、分散計測・制御分野において、マイクロ秒からサブマイクロ秒の高精度な時刻同期が求められており、例えば、IEEE 1588 などの高精度の時刻同期プロトコルが策定されている。

【0003】

しかし、現在のデファクトスタンダードとなっているネットワーク・タイム・プロトコル (Network Time Protocol: NTP) Ver. 3 では、ミリ秒程度の精度の時刻同期しか実現できない。

【0004】

ネットワーク上の時刻同期処理では、ネットワーク上の複数のスレーブ装置 (以下、単に「スレーブ」という) の時計をネットワークを介してマスタ装置 (以下、単に「マスタ」という) の時計に同期させるが、マスタとスレーブの時計の差分を求める処理において

10

20

30

40

50

ネットワークの遅延が問題となる。

【0005】

特に、輻輳制御にCSMA/CA(Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance)を用いて無線ネットワークにおいて高精度時刻同期を行う場合には、“Backoff”と呼ばれるランダムな待機時間が発生して、遅延時間が大きく変動するため、高精度な時刻同期が困難である。

【0006】

従来のNTPでは、PLL(Phase Locked Loop)/FLL(Frequency Locked Loop)によってネットワーク遅延の変動を平滑化しているが、時定数が大きい、すなわちフィードバック係数が小さいために収束が遅く、処理精度も低いという問題がある。

10

【0007】

なお、有線ネットワークでは、待機の生じるネットワークノードに境界時計(Boundary clock)を配するIEEE 1588の時刻同期プロトコルが知られている(例えば、非特許文献1参照)。

【0008】

また、時刻同期パケットの送出後の一定期間に他の機器からのパケット送信を禁止する時刻同期方式が知られている(例えば、特許文献1参照)。

【非特許文献1】IEEE 1588 「IEEE standard for a precision clock synchronization protocol for networked measurement and control systems」 2002年

20

【特許文献1】特許第2705665号公報

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0009】

しかし、マスタとスレーブとが直接通信する無線ネットワークでは、IEEE 1588の時刻同期プロトコルにもとづく境界時計を利用することはできない。

【0010】

また、特許文献1のような方法では、時刻同期パケットの送出前後に通常パケットの送信禁止期間を設定するために、ネットワークのスループットが低下する。さらに、ネットワーク上の全ての機器がパケット送信禁止期間に対応できなければ機能しないという問題もある。

30

【0011】

本発明は、時刻同期用情報をデータパケットとして配信するマスタから、先行パケットの送出時刻を情報格納域に記載した時刻パケットを無線ネットワークを通じて供給することによって、データ転送の遅延時間の絶対値および遅延時間の変動(ジッタ)を小さくし、高精度かつ簡易な時刻同期処理を可能とする時刻同期処理システムを提供することを目的とする。

40

【0012】

また、本発明は、無線ネットワークにおける高精度時刻同期のために、先行パケットの送出時刻を時刻情報として記載した時刻パケットを配信する時刻情報配信装置を提供することを目的とする。

【0013】

さらに、本発明は、無線ネットワークにおける高精度時刻同期のために、先行パケットの送出時刻が時刻情報として記載された時刻パケットを受信して時刻同期処理を行う時刻同期処理装置を提供することを目的とする。

【0014】

また、本発明は、無線ネットワークに接続するコンピュータを、前記時刻情報配信装置

50

または前記時刻同期処理装置として機能させるためのプログラムを提供することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0015】

本発明は、マスタとなる時刻情報配信装置において、時刻パケットのパケット送出完了時刻を検知し、この送信完了時刻を情報格納域に記載した時刻パケットを無線ネットワークを用いて配信することによって、スレーブとなる時刻同期処理装置において高精度かつ簡易な時刻同期処理を実現する。

【0016】

本発明は、無線ネットワークに接続する時刻情報配信装置および時刻同期処理装置で構成される時刻同期処理システムであって、前記時刻情報配信装置は、1) 基準時刻情報を取得し、基準時刻情報記憶手段へ記録する基準時刻情報取得手段と、2) 前記基準時刻情報をもとに自装置内に時刻情報を提供するマスタ時計手段と、3) 一定の間隔で、時刻同期用データである時刻パケットを前記無線ネットワークへ送信するパケット送信手段と、4) 前記時刻パケットの送出完了時刻を検知し、送出完了時刻記憶手段へ記録するパケット送出完了時刻検知手段と、5) 前記送出完了時刻記憶手段に記録された、直前の時刻パケットの送出完了時刻を情報格納域に記載した時刻パケットを生成する時刻パケット生成手段とを備える。

【0017】

また、前記時刻同期処理装置は、6) 自装置内に時刻情報を提供するスレーブ時計手段と、7) 前記時刻情報配信装置から送信された時刻パケットを受信するパケット受信手段と、8) 前記時刻パケットの受信完了時間を検知し、到着完了時刻記憶手段へ蓄積するパケット到着完了時刻検出手段と、9) 前記受信した時刻パケットの情報格納域から前記送出完了時刻を読み出し、受信パケット情報記憶部に記録する受信パケット情報取得部と、前記到着完了時刻および前記送出完了時刻の関係を用いて前記スレーブ時計手段の時刻補正情報を算出する時刻補正手段と、10) 前記時刻補正手段の時計補正情報をもとに前記スレーブ時計手段の時刻を設定する時刻設定手段とを備える。

【0018】

本発明の時刻同期処理システムの時刻情報配信装置では、基準時刻情報取得手段が、基準時刻情報を取得し、基準時刻情報記憶手段へ記録しておく。パケット送出完了時刻検知手段は、パケット送信手段が一定の間隔で時刻パケット生成手段により生成された時刻パケットを前記無線ネットワークへ送信すると、時刻パケットの送出完了時刻を検知し、送出完了時刻記憶手段へ記録する。

【0019】

時刻パケット生成手段は、前記送出完了時刻記憶手段に記録された、直前の時刻パケットの送出完了時刻を情報格納域に記載した時刻パケットを生成する。そして、パケット送信手段は、先行パケットの送出完了時刻を載せた時刻パケット無線ネットワークへ送信する。

【0020】

そして、時刻同期処理システムの時刻同期処理装置では、パケット受信手段が、時刻パケットを受信すると、パケット到着完了時刻検出手段は、時刻パケットの受信完了時間を検知し、到着完了時刻記憶手段へ蓄積する。さらに、受信パケット情報取得部は、受信した時刻パケットの情報格納域から前記送出完了時刻を読み出し、受信パケット情報記憶部に記録する。すると、時刻補正手段が、到着完了時刻および送出完了時刻の関係を用いて前記スレーブ時計手段の時刻補正情報を算出し、時刻設定手段は、時計補正情報をもとにスレーブ時計手段の時刻を設定する。

【0021】

また、前記時刻補正手段は、時刻パケットの到着完了時刻および送出完了時刻に統計処理を施すことによって時計補正情報を算出することができる。

【0022】

10

20

30

40

50

本発明にかかる時刻同期処理システムは、無線ネットワークを構成するサーバ装置および複数のクライアント装置において実現される。

【0023】

本発明にかかる時刻情報配信装置は、一定の間隔で送出する時刻パケットを無線ネットワークに送信する。時刻パケットが時刻情報配信装置から送信されてから、時刻同期処理装置へ到着するまでに要する時間は、空間を伝搬する遅延時間だけなので、back offおよび有線ネットワークで生じるキューイング遅延の影響を受けることなく、直接スレーブに到着する。そのため、遅延時間の絶対値およびジッタが小さく、簡単な統計処理でジッタを除去することができる。

【0024】

したがって、本発明にかかる時刻同期処理は、計算能力の小さなスレーブに実装することができる。

【0025】

また、本発明は、コンピュータにより読み取られ実行されるプログラムとして実施することができる。本発明を実現するプログラムは、コンピュータが読み取り可能な可搬媒体メモリ、半導体メモリ、ハードディスクなどの適当な記録媒体に格納することができる。

【0026】

また、これらの記録媒体に記録して提供され、または、通信インタフェースを介して種々のネットワークを利用した送受信により提供されるものである。

【発明の効果】

【0027】

本発明によれば、マスタとなる時刻情報配信装置が、直前に送出された時刻パケットの送出完了時刻を時刻情報として載せた時刻パケットを無線ネットワークへ送信し、スレーブとなる時刻同期処理装置は、この時刻パケットの到着完了時刻と、時刻パケット内の送信完了時刻との関係をもとに時刻補正を行うことができる。

【0028】

よって、マスタからスレーブまでの遅延時間が、無線ネットワークの伝搬時間だけとなり、Back offおよび有線ネットワークで生じる遅延の影響を受けることなく時刻補正情報を算出することができ、高精度かつ簡易な時刻同期処理を実現することができる。

【0029】

さらに、スレーブ側の時刻同期処理装置では、無線ネットワークを介して時刻パケットを受信し、遅延時間の絶対値およびジッタが小さいため、簡単な統計処理によりジッタを除去することができる。そのため、時刻同期処理装置を、センサーネットなどの計算能力の小さい装置にも実装することができる。

【0030】

しかも、遅延時間の絶対値が小さく、補償が不要であるため、往復遅延を利用する必要がなく、簡単な構成で時刻同期処理システムのマスタおよびスレーブを実装することができる。

【0031】

さらに、マスタおよびスレーブ間にネットワーク配線が不要であり、高精度な時刻同期を要するシステムの構築における作業効率およびコスト削減を図ることができる。

【発明を実施するための最良の形態】

【0032】

図1は、本発明を実施する無線ネットワークの例を示す。

【0033】

本発明にかかる時刻同期処理システムを実施する無線ネットワークは、例えば無線LAN(Local Area Network) 8を通じて時刻情報を提供するマスタ1、無線LAN 8からその時刻情報を受信する一または複数のスレーブ2で構成される。

【0034】

マスタ1は、時刻情報配信装置10、時刻基準信号を受信するアンテナ3、アンテナ3

10

20

30

40

50

の出力端子から時刻情報配信装置 10 までの信号線 6 および無線 LAN 用アンテナ 4 を備える。

【0035】

時刻基準信号として、GPS (Global Positioning System)、電波時計などからの無線経由の信号だけでなく、高精度時計からの有線経由の同期信号も適用できる。

【0036】

スレーブ 2 は、時刻同期処理装置 30 およびマスタから送信される時刻パケット信号を受信するための無線 LAN 用アンテナ 5 を備える。

【0037】

マスタ 1 の時刻情報配信装置 10 は、高精度の時計装置に同期している基準時刻信号をアンテナ 3 で受信し、アンテナ 3 の出力端子から信号線 6 経由で受信する。マスタ 1 の時刻情報配信装置 10 は、1 つ前に送出した時刻パケットの送出完了時刻を時刻情報として記載した時刻パケットを生成し、この時刻パケット信号を、正確に一定間隔 (正 1 秒) で、マスタ 1 の無線 LAN 用アンテナ 4 からスレーブ 2 へブロードキャストする。

【0038】

スレーブ 2 は、時刻パケット信号を無線 LAN 用アンテナ 5 より受信する。スレーブ 2 の時刻同期処理装置 30 は、受信した時刻パケット信号の受信時刻、時刻パケット内の時刻情報を用いて時刻同期処理を行う。

【0039】

なお、マスタ 1 は、コンピュータで実施することができ、また、例えば、電子回路を備えて GPS 信号から時刻パケットを送出できる装置として実施できる。スレーブ 2 は、コンピュータの他、家電機器、ロボット、計測装置などに組み込み可能な装置であって、例えば、所定の処理回路およびデータ記憶域を持つマイコンなどとして実施できる。

【0040】

図 2 は、マスタ 1 の時刻情報配信装置 10 の構成例を示す図である。

【0041】

時刻情報配信装置 10 は、基準時刻情報に同期するマスタ内部時計 15 を用いて、スレーブ 2 へ時刻パケットを一定間隔で無線 LAN 8 に送出する処理を行う装置である。

【0042】

時刻同期処理装置 30 は、基準時刻受信部 11、基準時刻情報記憶部 13、時刻設定部 14、マスタ内部時計 15、時刻パケット生成部 17、パケット送信部 19、パケット送出完了時刻検知部 21、パケット送出完了時刻記憶部 23 を備える。

【0043】

基準時刻受信部 11 は、高精度な時計を有する基準時刻発信源からの基準時刻情報信号を受信し、受信した基準時刻情報信号から基準時刻となる情報を抽出して、基準時刻情報記憶部 13 に記録する処理手段である。

【0044】

基準時刻情報記憶部 13 は、基準時刻受信部 11 で抽出された基準時刻情報を記憶する記憶手段である。

【0045】

時刻設定部 14 は、基準時刻情報記憶部 13 に記録されている基準時刻情報をマスタ内部時計 15 に設定する処理手段である。

【0046】

マスタ内部時計 15 は、基準時刻情報を用いて時刻が設定され、マスタ 1 および各スレーブ 2 の時刻同期処理の基準となる時刻を供給する処理手段である。

【0047】

時刻パケット生成部 17 は、パケット送出完了時刻記憶部 23 から、1 つ前に配信された時刻パケットの送出完了時刻を読み出し、読み出した送出完了時刻を時刻情報として情報格納域に設定した時刻パケットを生成する処理手段である。

10

20

30

40

50

【 0 0 4 8 】

パケット送信部 1 9 は、時刻パケットの信号を無線 LAN 8 へ送信する処理手段である。

【 0 0 4 9 】

パケット送出完了時刻検知部 2 1 は、パケット送信部 1 9 が時刻パケット信号の送出を完了したタイミングに应答して、マスタ内部時計 1 5 の時刻を検知し、検出した送出完了時刻をパケット送出完了時刻記憶部 2 3 に記録する処理手段である。

【 0 0 5 0 】

パケット送出完了時刻記憶部 2 3 は、パケット送信部 1 9 から送出された時刻パケットの送出完了時刻を記憶する記憶手段である。

10

【 0 0 5 1 】

図 3 は、スレーブ 2 の時刻同期処理装置 3 0 の構成例を示す図である。

【 0 0 5 2 】

時刻同期処理装置 3 0 は、マスタ 1 から送出された時刻パケットの到着完了時刻および時刻パケット内の情報格納域の送出完了時刻を読み出し、これらの時刻情報を時刻補正処理に用いて、スレーブ内部時計 4 5 の時刻をマスタ内部時計 1 5 の時刻に同期させる処理装置である。

【 0 0 5 3 】

時刻同期処理装置 3 0 は、パケット受信部 3 1、パケット到着完了時刻検知部 3 3、パケット到着完了時刻記憶部 3 5、到着パケット情報読み込み部 3 7、到着パケット情報記憶部 3 9、時刻補正処理部 4 1、時刻設定部 4 3、スレーブ内部時計 4 5 を備える。

20

【 0 0 5 4 】

パケット受信部 3 1 は、マスタ 1 から送信される時刻パケットを受信する処理手段である。

【 0 0 5 5 】

パケット到着完了時刻検知部 3 3 は、スレーブ 2 での時刻パケットの到着完了のタイミングに应答して、スレーブ内部時計 4 5 の時刻を検知し、時刻パケットの到着完了時刻をパケット到着完了時刻記憶部 3 5 に記録する処理手段である。

【 0 0 5 6 】

パケット到着完了時刻記憶部 3 5 は、パケット受信部 3 1 で受信された時刻同期パケットの到着完了時刻を記憶する記憶手段である。

30

【 0 0 5 7 】

到着パケット情報読み込み部 3 7 は、パケット受信部 3 1 で受信された時刻パケットから先行パケットの送出完了時刻を含むパケット情報を読み出し、到着パケット情報記憶部 3 9 に記録する処理手段である。

【 0 0 5 8 】

到着パケット情報記憶部 3 9 は、到着パケット情報読み込み部 3 7 で読み込まれたパケット情報を記憶する記憶手段である。

【 0 0 5 9 】

時刻補正処理部 4 1 は、受信した時刻パケットの到着完了時刻と、時刻パケット内の送出完了時刻をもとに、スレーブ内部時計 4 5 をマスタ内部時計 1 5 に同期させるための時刻補正を行う処理手段である。

40

【 0 0 6 0 】

時刻設定部 4 3 は、時刻補正処理部 4 1 の時刻補正処理にもとづいてスレーブ内部時計 4 5 に時刻設定を行う処理手段である。

【 0 0 6 1 】

スレーブ内部時計 4 5 は、スレーブ 2 において基準となる時刻を供給する処理手段である。

【 0 0 6 2 】

以下に、無線ネットワークにおける遅延時間およびその変動を説明する。

50

【 0 0 6 3 】

図 4 は、C S M A / C A 方式による無線ネットワークのフレームタイミングを、図 5 は、無線ネットワークにおける遅延時間測定例を示す。

【 0 0 6 4 】

一般に、時刻同期では、マスタ 1 の時刻参照時の時刻 S に、マスタ 1 の時刻を参照してからスレーブ 2 の時刻を設定するまでに要する時間（遅延時間） t_d を加えた値をスレーブ 2 の時刻 C とすると、以下の式（1）のような関係となる。

【 0 0 6 5 】

$$C = S + t_d \quad (1)$$

10

ところで、無線ネットワークでは、C S M A / C A の輻輳制御が行われている。C S M A / C A では、パケットを送出する前に、回線の利用状況を確認し、他の機器により回線が使用中の場合には、*backoff* と呼ばれる待機動作を行う。待機時間は、図 4 に示す *Contention Window* を変化させることにより、数十マイクロ秒から数十ミリ秒のランダムな時間となる。遅延時間の変動は、時刻同期の精度を劣化させる。

【 0 0 6 6 】

図 5 に、無線ネットワークの遅延時間の変動（ジッタ：*Jitter*）の測定結果例を示す。図 5 に示すように、変動特性が 30 ミリ秒ほどの散らばりを有することが分かる。

【 0 0 6 7 】

ここで、従来方式において、遅延時間 t_d 、*backoff* を含む送出までに要する時間（送出処理時間） t_b 、無線パケットの伝搬時間 t_p とすると、遅延時間 t_d は式（2）に示すものとなる。

20

【 0 0 6 8 】

$$t_d = t_b + t_p \quad (2)$$

より具体的に、遅延時間 t_d を示す。

【 0 0 6 9 】

まず、伝搬時間 t_p は、伝搬距離 D 、空気中の電波の速度 v_c とすれば、以下の式（3）のようになる。

30

【 0 0 7 0 】

$$t_p = D / v_c \quad (3)$$

ここで、伝搬距離の最大は、IEEE 802.11 で $D = 100 \text{ m}$ 、IEEE 802.15 で $D = 20 \text{ m}$ 程度であるため、空気中の電波の速度 $v_c = 3 \times 10^8 \text{ [m/秒]}$ として、式（3）に代入して計算すると、伝搬時間 t_p は 333 ナノ秒以下となる。

【 0 0 7 1 】

遅延時間 t_d は、送出処理時間 t_b の値に影響を受けることになるが、この結果から、マイクロ秒の同期精度を必要とする同期処理においては、伝搬時間を無視できることが明らかとなる。

40

【 0 0 7 2 】

図 6 および図 7 を用いて、従来方式との比較により本発明を説明する。

【 0 0 7 3 】

図 6 は、従来方式を無線ネットワークに適用した場合に、時刻パケットのマスタ 1 での送出時刻とスレーブ 2 での到着時刻との関係を示す図、図 7 は、本発明における、時刻パケットのマスタ 1 での送出時刻とスレーブ 2 での到着時刻との関係を示す図である。

【 0 0 7 4 】

図 6 において、マスタ 1 から、マスタ内部時計 15 基準のタイムスタンプ S （時刻 5 4

50

)で送出開始されたパケット51は、T×END時間後(時刻55)に送出が完了する。そして、マスタ内部時計15基準のタイムスタンプC(時刻56)でスレーブ2にパケット51が到着完了することを示している。

【0075】

したがって、スレーブ2にパケット51が到着する時点の時刻Cは、以下に示す式(4)となる。

【0076】

$$C = S + t_p + t_d \quad (4)$$

10

ここで、送出处理時間57(t_b)に比して伝搬時間58(t_p)は小さい値であることから、送出处理時間57(t_b)の影響が大きい。スレーブ2において、マスタ内部時計15との時間差および変動成分は大きなものとなる。

【0077】

図7において、マスタ1から、マスタ内部時計15基準のタイムスタンプS(時刻62)を時刻パケット61の送出完了時の時刻(T×END)に取り、マスタ1の時刻情報配信装置10において、この送出完了時刻を後続の時刻パケットに載せる。

【0078】

スレーブ2は、受信した時刻パケット61内の到着完了時刻のマスタ内部時計15基準のタイムスタンプC(65)のタイミングを、スレーブ2の時刻同期処理装置30のスレーブ内部時計45により検知する。

20

【0079】

このときに、Cは以下の式(5)のように示される。

【0080】

$$C = S + t_p \quad (5)$$

伝搬時間 t_p は、無視できるほど小さい値であるので、タイムスタンプC(時刻65)は、タイムスタンプS(時刻64)に非常に近い時刻となる。

【0081】

30

これより、スレーブ2は、受信した時刻パケット61の到着完了時刻をパケット到着完了時刻検知部33がスレーブ内部時計45を基準に検知し、そして、パケット送信側のマスタ1の先行パケットのタイムスタンプS(時刻64)の送出完了時刻を取得する。この2つの時刻を補正処理に用いることにより、マスタ内部時計15にスレーブ内部時計45が高精度に時刻同期することが可能となる。

【0082】

図8に、本発明における後続パケットと先行パケットの送出完了時刻の関係を示す。

【0083】

マスタ1の時刻情報配信装置10において、マスタ1から送信される時刻パケット P_{i-1} 、 P_i 、 P_{i+1} の送信完了時刻を、 t_{i-1} 、 t_i 、 t_{i+1} とする。

40

【0084】

マスタ1で、時刻パケット P_{i-1} 、 P_i 、 P_{i+1} に、それぞれ、先行の時刻パケットの送出完了時刻 t_{i-2} 、 t_{i-1} 、 t_i が載せられる。

【0085】

また、スレーブ2の時刻同期処理装置30において、スレーブ2で受信される時刻パケット信号 P_{i-1} 、 P_i 、 P_{i+1} のそれぞれの到着完了時刻 t_{i-1} 、 t_i 、 t_{i+1} を、スレーブ内部時計45を基準に検知する。さらに、受信された時刻パケット P_{i-1} 、 P_i 、 P_{i+1} から、それぞれ、先行パケットの送出完了時刻 t_{i-2} 、 t_{i-1} 、 t_i も読み取る。

【0086】

50

マスタ時刻 t_i と、スレーブ時刻 t_{i-1} の間には、一般的に、スレーブ内部時計 4 5 の周波数源に応じた短期間について以下の関係式 (6) のような線形関係が存在する。

【0087】

$$t_{i-1} = R t_i + O \quad (6)$$

ここで、定数 R はクロックレート、定数 O は時刻オフセットである。なお、通常温度補償されていない水晶発振器によって駆動されている内部時計では、線形関係が保持されるのは数十秒以下である。式 (6) より、 t_i と t_{i-1} の関係から簡単な統計処理により、スレーブ内部時計を補正する一次式が算出できる。

10

【0088】

図 9 は、マスタ 1 の時刻情報配信装置 10 の処理を示す流れ図である。

【0089】

ステップ S 1 : 基準時刻受信部 11 は、基準時刻情報信号を正常に受信したか否か判断する処理を行う。正常に時刻データが受信できれば (YES)、時刻データを基準時刻情報記憶部 13 に記録する。正常に受信できなければ (NO)、正常に受信できるまで基準時刻受信部 11 は待機する。

【0090】

ステップ S 2 : 時刻設定部 14 は、基準時刻情報記憶部 13 の時刻データをもとにマスタ内部時計 15 の時刻を設定する。

20

【0091】

ステップ S 3 : パケット送出完了時刻検知部 21 は、すでに時刻パケット生成部 17 で生成された時刻パケットの送出完了信号フラグ (送出完了時のタイミング信号立上がり) 状態を監視して、パケット送信部 19 での時刻パケットの送出完了タイミングを検知する。パケット送出完了時刻検知部 21 は、時刻パケットの送出完了信号フラグが上がると (YES)、ステップ S 4 の処理へ進む。一方、送出完了信号フラグが上がらない期間は (NO)、ステップ S 1 での待機状態を含む他の処理が行われる。

【0092】

ステップ S 4 : 時刻パケットの送出完了信号タイミングを検知すると、パケット送出完了時刻検知部 21 が、送信完了時刻をパケット送出完了時刻記憶部 23 へ記録する。

30

【0093】

ステップ S 5 : 時刻パケット生成部 17 は、次に送出する時刻パケット P_i を生成し、パケット送出完了時刻記憶部 23 に記録されている一つ前に送信された時刻パケット P_{i-1} の送信完了時刻 t_{i-1} をパケットフレームの指定領域へ書込む。

【0094】

ステップ S 6 : パケット送信部 19 は、生成された時刻パケット P_i を、マスタ内部時計 15 に同期した一定間隔のパケット信号として送信する。

【0095】

これによって、マスタ 1 の時刻情報配信装置 10 は、複数のスレーブ 2 へ先行パケットの送出完了時刻 t_{i-1} を含む時刻パケット P_i を送信する。

40

【0096】

図 10 は、スレーブ 2 の時刻同期処理装置 30 の処理を示す流れ図である。

【0097】

ステップ S 10 : パケット受信部 31 は、マスタ 1 から送信される時刻パケット P_i を受信する。パケット到着完了時刻検知部 33 は、時刻パケットの到着完了のタイミングに应答して、パケット到着完了フラグを上げる。

【0098】

ステップ S 11 : パケット到着完了時刻検知部 33 は、パケット到着完了フラグが上がると (YES)、スレーブ内部時計 4 5 の時刻データ t_{i-1} を読み出し、パケット到着完了時刻記憶部 35 へ書込む。

50

【0099】

ステップS12：到着パケット情報読み込み部37は、受信された時刻パケット P_i の情報領域から、先行して送信された時刻パケット P_{i-1} の送出完了時刻 t_{i-1} を含むパケット情報を読み込み、到着パケット情報記憶部39へ書込む。

【0100】

ステップS13：時刻補正処理部41は、受信した時刻パケット P_{i-1} について、パケット到着完了時刻記憶部35から時刻パケット P_{i-1} の到着完了時刻 t_{i-1} 、また、到着パケット情報記憶部39からパケット P_i から取り出して記録した送信完了時刻 t_{i-1} をそれぞれ読み出す。

【0101】

ステップS14：時刻補正処理部41は、2つのデータ、マスタ1の時刻基準による送信完了時刻 t_{i-1} とスレーブ2の時刻基準による t_{i-1} を用いて時刻補正処理を行う。

【0102】

ステップS15：時刻設定部43が、補正処理によって得られた時刻データをもとに、スレーブ内部時計45に設定する。

【0103】

これにより、スレーブ内部時計45は、マスタ内部時計15に時刻同期することができる。

【0104】

以下に、本発明の具体的な実施例を説明する。

【0105】

図11は、本発明の一実施例として、マスタ1の時刻情報配信装置10に、無線ネットワークにネットワーク時空情報(Network Space-Time: NST)サーバを適用する場合のサーバ装置の構成例を示す。ここで、時空情報とは、時刻情報と位置などの空間座標情報を含む情報である。

【0106】

図11の実施例では、マスタ1(NSTサーバ)において、時刻情報配信装置10の基準時刻情報信号としてGPS信号を利用する。GPS受信アンテナ71でGPS電波を受信し、アンテナ出力の電気信号をGPS信号受信部72で受信する。なお、GPS信号受信部72は、既知のGPS受信モジュールを採用することができる。

【0107】

FPGA(Field Programmable Gate Array)部73は、時刻情報配信装置10の時刻パケット生成部17、パケット送出完了時刻検知部21、パケット送出完了時刻記憶部23の各部の処理手段に相当する機能を備えるデバイスなどで実装することができる。

【0108】

GPS信号受信部72からFPGA部73は、1パルス毎秒間隔(1PPS)の高精度の基準クロック信号76、およびUART(Universal Asynchronous Receiver Transmitter)信号77よりGPSの時空情報の供給を受ける。これにより、FPGA部73で、GPSの時刻情報にマスタ内部時計15を時刻同期させるように時刻設定部14を設定することができる。

【0109】

FPGA部73は、送信インタフェース部74とパケット情報データや制御信号などを含む入出力インタフェース(信号)78を備える。また、送信インタフェース部74より通知されるパケット送出完了信号79(TxEND信号)を検出し、該タイミングでのマスタ内部時計15の時刻情報を先行パケットの送出完了時刻として後続の時空情報パケットに載せるものである。パケット送信部75から1秒間隔で時空情報パケットをUDP/IP(User Datagram Protocol/Internet Protocol)で、無線LAN用アンテナ4よりブロードキャストする。

10

20

30

40

50

【0110】

図12は、本発明の一実施例として、無線ネットワークにNSTサーバを適用する場合のスレーブ2となる時空クライアント装置の構成例を示す。

【0111】

図12の実施例では、スレーブ2の時刻同期処理装置30において、マスタ1から送信される時空情報パケットの信号をパケット受信部81で受信し、時空情報パケットに載せられたデータ（先行する時空情報パケットの送信完了時刻）85が受信インタフェース部82からCPU処理部83へ転送される。また、時空情報パケットの到着完了に応答したタイミングを受信インタフェース部82が検知し、パケット到着完了信号（RXEND信号）86としてCPU処理部83へ通知する。この他に、処理データ85を記憶するデータ記憶部84、スレーブ内部時計45、スレーブ内部時計45の時刻を設定する時刻設定部43とを含んで構成されている。

10

【0112】

図13は、本実施例の時空情報パケットのフォーマットを示す図である。

【0113】

図13に示す各フィールドは、以下のとおりである。

【0114】

M a g i c : 時空情報パケットを識別するためのビットパターン (6 A 8 8 h)
 V e r : パケットフォーマットバージョン
 G P S m o d e : G P S 測位モード (1 : 非測位、 2 : 2 D 測位、 3 : 3 D 測位)
 L e a p S e c : うるう秒 (T A I - U T C)
 U N I X T i m e (T A I) : 1 9 7 0 / 0 1 / 0 1 を 起 点 と す る 積 算 秒 数
 O u t b o u n d l a t e n c y : 1 パルス毎秒の立上がりから、パケットがパケット送信部から送出されるまでの所定の時間 (ナノ秒)
 P P T T (S) : 先行パケット送出時刻整数部 (秒)
 P P T T (N) : 先行パケット送出時刻小数部 (ナノ秒)
 L a t i t u d e : 緯度 (度)
 L o n g i t u d e : 経度 (度)
 A l t i t u d e : 海拔高度 (メートル)
 T r a c k : 進行方向 (度)
 S p e e d : 速度 (キロメートル毎時)

20

30

NSTサーバから提供される空間情報は、接続しているGPSアンテナの位置であり、建物を識別する程度のものである。これより、無線ネットワークにおいて、NSTサーバおよびクライアント装置の利用分野は、時刻情報としては高精度を必要とするが、位置情報としては粗粒度（数十か数百メートル）精度の用途分野での利用ができる。

【0115】

以上、本発明をその実施の形態により説明したが、本発明はその主旨の範囲において種々の変形が可能であることは当然である。

【0116】

本発明によれば、マスタにおいて、先行パケットの送出時刻を後続パケットに時刻情報として載せた時刻パケットを送出することにより、スレーブにおいては、無線ネットワークの遅延時間が伝搬遅延時間だけであるような、遅延時間の絶対値およびジッタを小さくした時刻パケットの送信を行うことができ、無線ネットワークにおける高精度な時刻同期処理装置を実現することができる。

40

【0117】

また、スレーブ側でも、簡単な統計処理によりジッタを除去することができる。

【0118】

以上のように、遅延時間を小さくすることができるため、遅延時間を補償する必要がないので、往復遅延を利用する必要がなく、この結果、無線ネットワークを簡単な構成でサーバ装置およびクライアント装置を実装することができる。

50

【 0 1 1 9 】

例えば、分散計測および分散制御を用いた産業オートメーションの無線システムにおいて、スレーブ側装置として数多くのセンサや駆動装置に本発明にかかる時刻同期処理を実装し、これらの機器を高精度に同期運転することができる。

【 0 1 2 0 】

また、例えば、地震による建物などの構造物の振動を、多数の振動計で計測したデータを同期解析することにより、振動の伝達状況を解明することが可能となる。

【 0 1 2 1 】

また、コードレスIP電話において、時分割伝送を可能とすることにより、低遅延の高品質な音声通話サービスが可能となる。

【 図面の簡単な説明 】

【 0 1 2 2 】

【 図 1 】本発明にかかる時刻同期処理システムを実施する無線ネットワーク例を示す図である。

【 図 2 】マスタの時刻情報配信装置の構成例を示す図である。

【 図 3 】スレーブの時刻同期処理装置の構成例を示す図である。

【 図 4 】CSMA/CA方式による無線ネットワークのフレームタイミングを説明するための図である。

【 図 5 】無線ネットワークにおける遅延時間の測定例を示す図である。

【 図 6 】従来方式を無線ネットワークに適用した場合の時刻パケットの送出および受信タイミング例を示す図である。

【 図 7 】本発明における時刻パケットの送出および受信のタイミング例を示す図である。

【 図 8 】本発明における時刻パケットの送出完了時刻の関係を示す図である。

【 図 9 】時刻情報配信装置の処理の流れを示す図である。

【 図 1 0 】時刻同期処理装置の処理の流れを示す図である。

【 図 1 1 】本発明の実施例におけるマスタとなる時空サーバ装置の構成例を示す図である。

【 図 1 2 】本発明の実施例におけるスレーブとなる時空クライアント装置の構成例を示す図である。

【 図 1 3 】本発明の実施例における時刻パケットのデータフォーマット例を示す図である。

【 符号の説明 】

【 0 1 2 3 】

- 1 マスタ
- 2 スレーブ
- 3 基準時刻情報受信用のアンテナ
- 4 マスタ側の無線LAN用アンテナ
- 5 スレーブ側の無線LAN用アンテナ
- 6 基準時刻情報信号線
- 8 無線LAN
- 1 0 時刻情報配信装置
- 1 1 基準時刻受信部
- 1 3 基準時刻情報記憶部
- 1 4 時刻設定部
- 1 5 マスタ内部時計
- 1 7 時刻パケット生成部
- 1 9 パケット送信部
- 2 1 パケット送出完了時刻検知部
- 2 3 パケット送出完了時刻記憶部
- 3 0 時刻同期処理装置

10

20

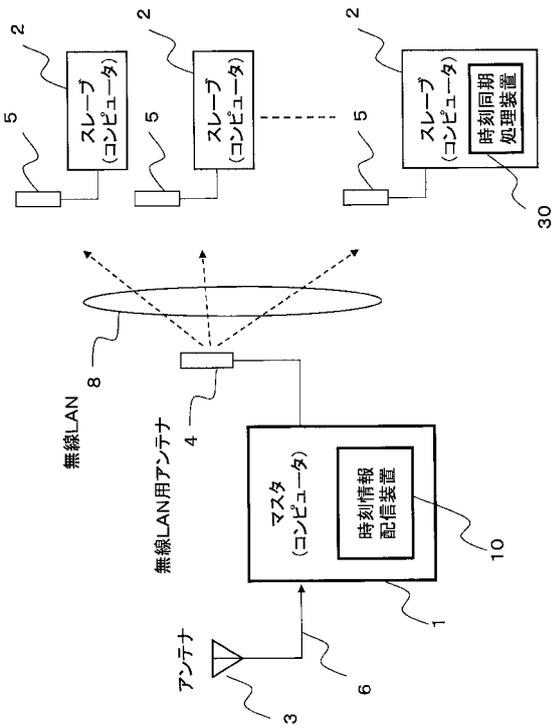
30

40

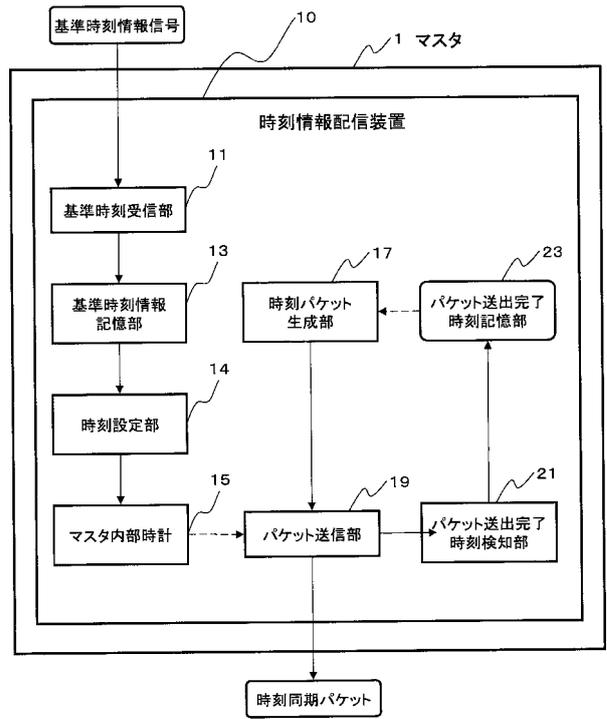
50

3 1	パケット受信部	
3 3	パケット到着完了時刻検知部	
3 5	パケット到着完了時刻記憶部	
3 7	到着パケット情報読み込み部	
3 9	到着パケット情報記憶部	
4 1	時刻補正処理部	
4 3	時刻設定部	
4 5	スレーブ内部時計	
5 1、6 1	パケット(信号)	
5 4、5 5、5 6、6 4、6 5	時刻	10
5 7	backoffを含む送出までに要する送出処理時間	
5 8、6 6	無線パケットの伝搬時間	
7 1	GPS受信アンテナ	
7 2	GPS信号受信部	
7 3	FPGA部	
7 4	送信インタフェース部	
7 5	パケット送信部	
7 6	1パルス毎秒基準クロック信号	
7 7	UART信号	
7 8	入出力インタフェース(信号)	20
7 9	パケット送出完了信号	
8 1	パケット受信部	
8 2	受信インタフェース部	
8 3	CPU処理部	
8 4	データ記憶部	
8 5	データ信号	
8 6	パケット到着完了信号	

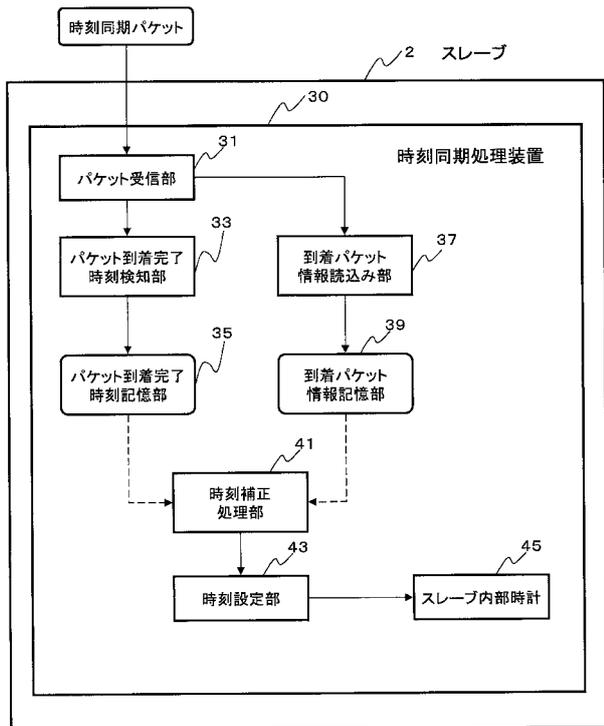
【図1】



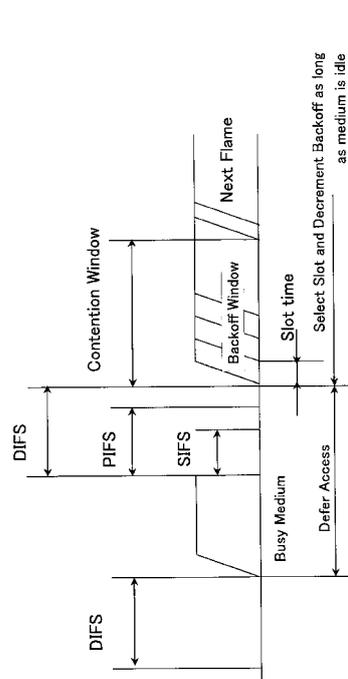
【図2】



【図3】



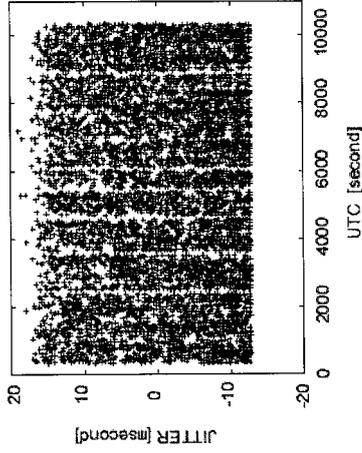
【図4】



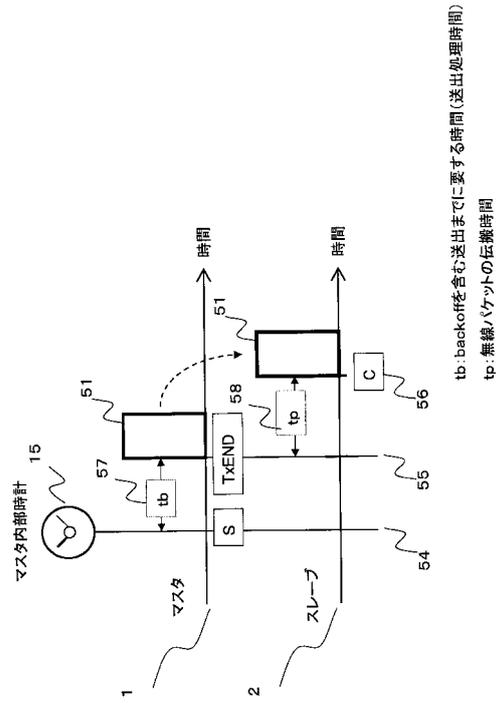
(フレーム間隔の定義)

- DCF (Distributed Coordination Function) : CSMA/CA方式のアクセス制御
- PCF (Point Coordination Function) : ポーリングによるアクセス制御
- DIFS (DCF Interframe Space) : 分散制御用フレーム間隔
- PIFS (PCF Interframe Space) : ポーリング用フレーム間隔
- SIFS (Short Interframe Space) : 送達確認用フレーム間隔(最優先)

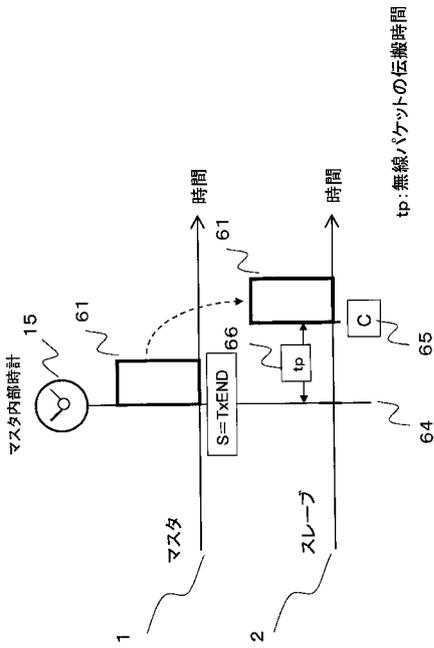
【 図 5 】



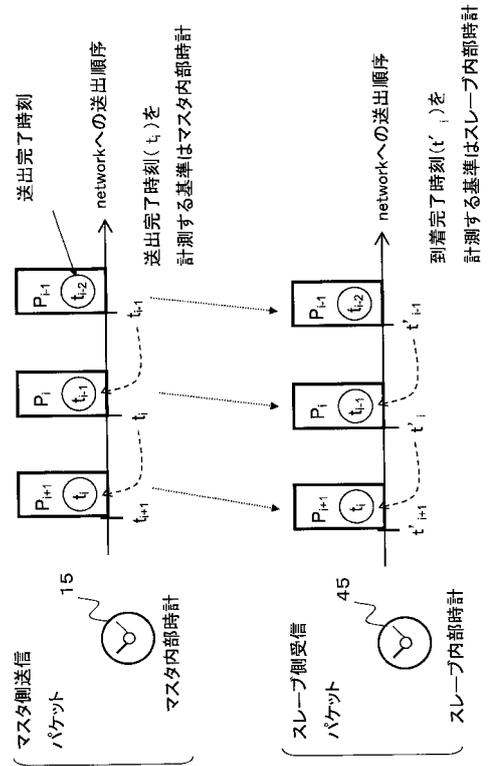
【 図 6 】



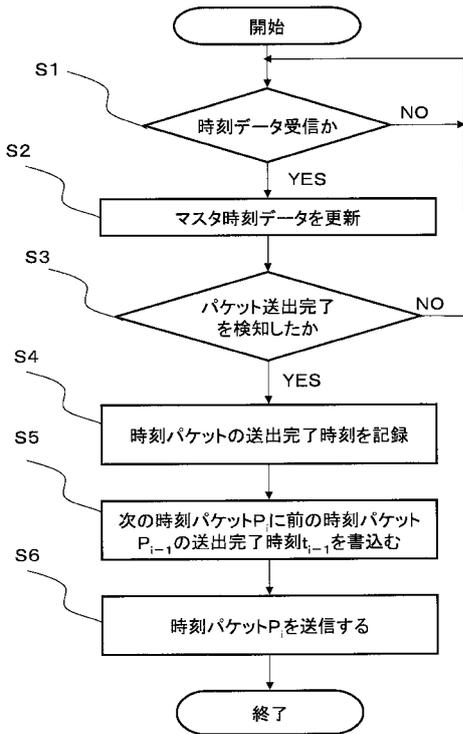
【 図 7 】



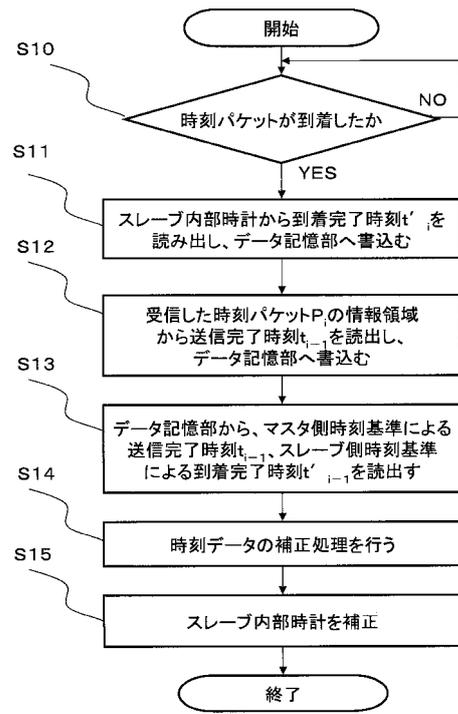
【 図 8 】



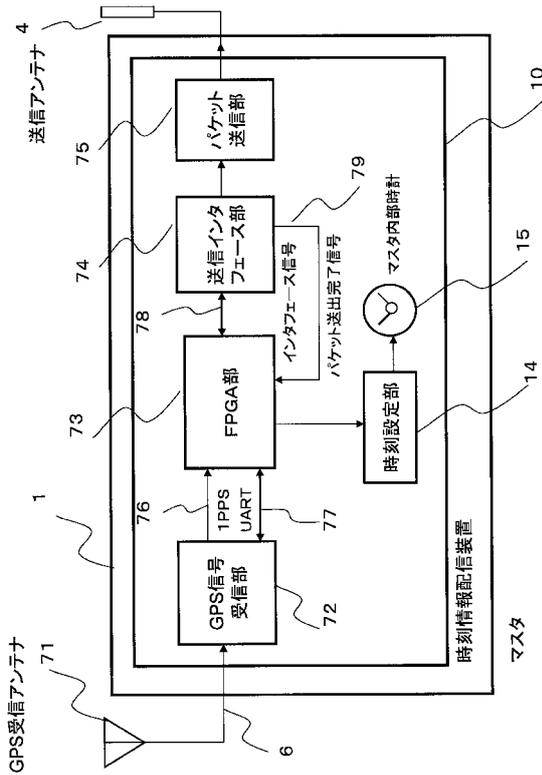
【図9】



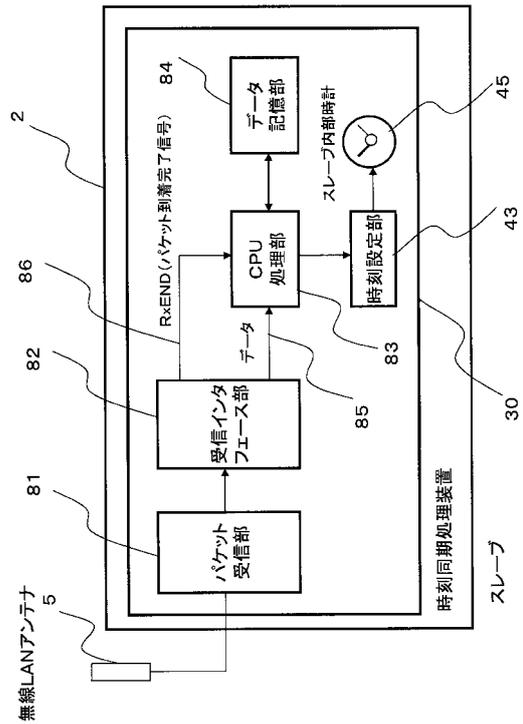
【図10】



【図11】



【図12】



【 図 1 3 】

0000h	0	8	16	24	31bit
0004h	Magic	Ver	GPS mode		
0008h	Leap Sec	Reserve			
000Ch	UNIX Time(秒)				
0010h	Outbound latency(ナノ秒)				
0014h	先行パケット送出時刻整数部(秒)				
0018h	先行パケット送出時刻小数部(ナノ秒)				
001Ch	緯度(度)				
0020h	経度(度)				
0024h	海拔高度(m)				
0028h	進行方向(度)				
002Ch	速度(km/時)				
0030h	予備領域				

オフセット番地

フロントページの続き

- (72)発明者 岩間 司
東京都小金井市貫井北町4 - 2 - 1 独立行政法人情報通信研究機構内
- (72)発明者 鳥山 裕史
東京都小金井市貫井北町4 - 2 - 1 独立行政法人情報通信研究機構内
- (72)発明者 野間 泉
東京都西東京市田無町3 - 1 0 - 1 4 コーダ電子株式会社内
- (72)発明者 佐武 康一郎
東京都西東京市田無町3 - 1 0 - 1 4 コーダ電子株式会社内
- Fターム(参考) 2F002 AA12 AF01 FA16 GA06
5K033 CB15 DA17 DB12
5K047 AA18 GG13 GG16