

(12) 特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局

(43) 国際公開日
2016年5月12日(12.05.2016)



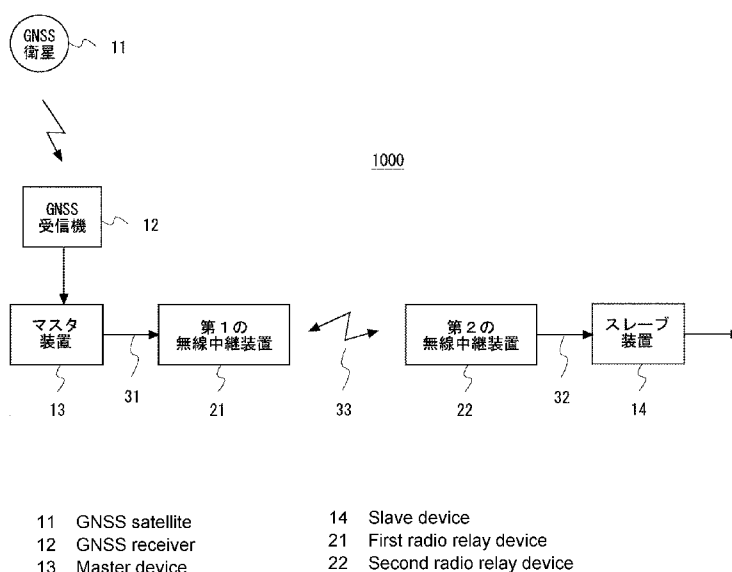
(10) 国際公開番号
WO 2016/072038 A1

- (51) 国際特許分類:
H04L 7/00 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2015/004126
- (22) 国際出願日: 2015年8月19日(19.08.2015)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (30) 優先権データ:
特願 2014-224840 2014年11月5日(05.11.2014) JP
- (71) 出願人: 日本電気株式会社(NEC CORPORATION) [JP/JP]; 〒1088001 東京都港区芝五丁目7番1号 Tokyo (JP).
- (72) 発明者: 大津 誠(OTSU, Makoto); 〒1088001 東京都港区芝五丁目7番1号 日本電気株式会社内 Tokyo (JP). 宗次 修平(MUNETSUGU, Shuhei); 〒1088001 東京都港区芝五丁目7番1号 日本電気株式会社内 Tokyo (JP).
- (74) 代理人: 家入 健(IEIRI, Takeshi); 〒2210835 神奈川県横浜市神奈川区鶴屋町三丁目33番8 アサヒビルディング5階 響国際特許事務所 Kanagawa (JP).
- (81) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JP, KE, KG, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.
- (84) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).
- 添付公開書類:
— 国際調査報告 (条約第21条(3))

(54) Title: COMMUNICATION SYSTEM, TIME SYNCHRONIZATION METHOD, AND RADIO RELAY DEVICE

(54) 発明の名称: 通信システム、時刻同期方法及び無線中継装置

[図1]



(57) Abstract: A communication system (1000) of the present invention is a communication system wherein a time synchronization packet to be used for performing a time synchronization between a master device (13) and a slave device (14) is relayed between a first radio relay device (21) and a second radio relay device (22) through radio communication. The first radio relay device (21) transmits a first radio frame in which a first pulse has been set; the second radio relay device (22) returns, in response to a detection of the first pulse from the received first radio frame, a second radio frame in which a second pulse has been set; the first radio relay device (21) detects the second pulse from the received second radio frame; and one of the two relay devices adjusts a correction value, which is included in the time synchronization packet, by use of a transfer delay time between the two radio relay devices, said transfer delay time being calculated on the basis of at least the setting of the first pulse and the detection of the second pulse.

(57) 要約:

[続葉有]

WO 2016/072038 A1

本発明にかかる通信システム（１０００）は、マスタ装置（１３）とスレーブ装置（１４）で時刻同期を行うための時刻同期パケットを第１の無線中継装置（２１）と第２の無線中継装置（２２）の間で無線通信により中継するものである。第１の無線中継装置（２１）は、第１のパルスを設定した第１の無線フレームを送信し、第２の無線中継装置（２２）は、受信した第１の無線フレームからの第１のパルスの検出に応じて、第２のパルスを設定した第２の無線フレームを返信し、第１の無線中継装置（２１）は、受信した第２の無線フレームから第２のパルスを検出し、いずれか一方の中継装置は、少なくとも第１のパルスの設定及び第２のパルスの検出に基づいて算出される、２つの無線中継装置間の伝送遅延時間を用いて、時刻同期パケットに含まれる補正値を調整する。

明 細 書

発明の名称：通信システム、時刻同期方法及び無線中継装置

技術分野

[0001] 本発明は、通信システム、時刻同期方法及び無線中継装置に関し、特に、時刻同期を行う通信装置間を無線通信により中継する複数の無線中継装置を制御するための通信システム、時刻同期方法及び無線中継装置に関する。

背景技術

[0002] 近年、通信装置間の時刻同期を行う技術として、これまでのGNSS (Global Navigation Satellite System) 等を用いるものから、パケットによる位相同期 (例えば、IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers) 1588等) が注目されている。IEEE 1588では、ネットワーク内の通信装置の間で精度よく時刻を同期させるためのプロトコルとしてPTP (Precision Time Protocol) を定めている。

[0003] 一般に、時刻の同期元の通信装置であるマスタ装置と、時刻の同期先の通信装置であるスレーブ装置との間には、PTPパケットを中継する中継装置が設置される。ここで、パケットによる位相同期の場合、中継装置内の処理により伝送遅延時間に大きな揺らぎが発生する。そこで、IEEE 1588 version 2の通信網における中継時に伝送遅延の揺らぎを低減させる機能として、Transparent Clock機能がある。

[0004] Transparent Clock機能では、マスタ装置においてPTPパケットのオーバーヘッドの補正フィールドに中継装置の滞留時間を時刻の補正值として設定する。具体的には、中継装置は、自己の処理開始時の時刻 (カウント値等) を補正值から減算し、自己の処理終了時の時刻を当該補正值に加算する。そして、スレーブ装置において、マスタ装置から受信したPTPパケット内の補正值を用いて、マスタ装置からスレーブ装置までの到達遅延時間の補正を行う。

[0005] 尚、特許文献1には、時刻同期を行うマスタ装置とスレーブ装置の間に複

数の中継装置（スレーブ装置）により多段に中継する場合において、各装置間で時刻同期を行う技術が開示されている。特許文献1に係る技術では、各スレーブ装置は、マスタ装置から末端のスレーブ装置に向けた測定フレームに、自身の内部処理の測定時間（処理遅延時間）を書込んで中継する。

先行技術文献

特許文献

[0006] 特許文献1：特開2012-175567号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0007] ここで、PTPパケット等の時刻同期パケットを用いて時刻同期を行うマスタ装置とスレーブ装置の間を2以上の無線中継装置が中継する場合に、補正フィールドの補正値の精度を維持することが困難であるという問題点がある。その理由を以下に説明する。

[0008] まず、時刻同期を行うマスタ装置とスレーブ装置の間は、特許文献1のように、2以上の中継装置により通信が中継されることが一般的である。そして、PTPパケットを用いる場合、各中継装置は、補正フィールドに対して自己の処理開始時及び処理終了時の2回の更新をすることで、自身の処理遅延時間を加えることになる。そのため、中継装置の数が増えるほど、更新回数が多くなり、各中継装置の合計の処理遅延時間が増加し、結果としてマスタ装置とスレーブ装置の間の伝送時間（データの到達時間）への影響が大きくなる。

[0009] そこで、各中継装置の更新回数を減らすために、2つの中継装置を一つの中継装置とみなし、一端の中継装置の処理開始時にその時刻を補正フィールドの補正値から減算し、他端の中継装置の処理終了時にその時刻を補正値に加算するという2回の補正フィールドの更新により2つの中継装置の合計の処理遅延時間とみなす方法が考えられる。

[0010] しかしながら、この方法の場合、2つの中継装置の間で時刻（を示すカウ

ンタやクロック）が同期している必要がある。ここで、中継装置間が無線通信の場合、無線通信区間の無線フレームに時刻を同期するための同期パルスを埋め込み、中継装置間の時刻を同期する手法がある。この手法による時刻同期では、カウンタのカウント間隔（又はカウント値が上限値に達した場合にクリアする間隔）の同期を図ることができる。但し、同期パルスの転送時間（つまり、中継装置間の伝送遅延時間）分の時刻（カウント値）の同期をすることができない。

[0011] そのため、この同期により上記２回の更新を行うと、２つの中継装置の合計の処理遅延時間から中継装置間の伝送遅延時間が漏れてしまう。そのため、上記２回の更新を行う際には、補正フィールドの補正值に中継装置間の伝送遅延時間を加算する必要がある。

[0012] ここで、中継装置間が無線通信の場合、２つの装置の設置間隔の自由度が高く、設置される２装置間ごとに伝送遅延時間が異なる。そのため、各中継装置の設置間隔に応じた伝送遅延時間を求めなければ、補正フィールドの補正值の精度を維持することができない。よって、設置するごとに伝送遅延時間を測定し直さなければならず、設置作業が煩雑となる。以上のことから、上述した問題点が発生し得る。

[0013] 本発明は、このような問題点を解決するためになされたものであり、時刻同期 packets を用いて時刻同期を行う通信装置の間を２以上の無線中継装置が中継する場合に、補正フィールドの補正值の精度を維持するための通信システム、時刻同期方法及び無線中継装置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

[0014] 本発明の第１の態様にかかる通信システムは、

時刻同期を行うための補正值を含む時刻同期 packets を、当該時刻同期を行うマスタ装置から受信し、無線通信により転送する第１の無線中継装置と、

前記第１の無線中継装置から前記無線通信により受信した前記時刻同期 packets を、前記時刻同期を行うスレーブ装置へ転送する第２の無線中継装置

と、

を備え、

前記第 1 の無線中継装置は、

第 1 のパルスを設定した第 1 の無線フレームを前記第 2 の無線中継装置へ送信し、

前記第 2 の無線中継装置は、

受信した前記第 1 の無線フレームから前記第 1 のパルスを検出し、

前記第 1 のパルスの検出に応じて、第 2 のパルスを設定した第 2 の無線フレームを前記第 1 の無線中継装置へ送信し、

前記第 1 の無線中継装置は、

受信した前記第 2 の無線フレームから前記第 2 のパルスを検出し、

前記第 1 の無線中継装置又は前記第 2 の無線中継装置のいずれか一方の中継装置は、

少なくとも前記第 1 のパルスの設定及び前記第 2 のパルスの検出に基づいて算出される前記第 1 の無線中継装置と前記第 2 の無線中継装置との間の伝送遅延時間を用いて、前記時刻同期パケットに含まれる前記補正値を調整する。

[0015] 本発明の第 2 の態様にかかる時刻同期方法は、

時刻同期を行うための補正値を含む時刻同期パケットを、当該時刻同期を行うマスタ装置から受信し、無線通信により転送する第 1 の無線中継装置と、

前記第 1 の無線中継装置から前記無線通信により受信した前記時刻同期パケットを、前記時刻同期を行うスレーブ装置へ転送する第 2 の無線中継装置と、

を備える通信システムにおける時刻同期方法であって、

前記第 1 の無線中継装置が、

第 1 のパルスを設定した第 1 の無線フレームを前記第 2 の無線中継装置へ送信し、

前記第 2 の無線中継装置が、
受信した前記第 1 の無線フレームから前記第 1 のパルスを検出し、
前記第 1 のパルスの検出に応じて、第 2 のパルスを設定した第 2 の無線フレームを前記第 1 の無線中継装置へ送信し、
前記第 1 の無線中継装置が、
受信した前記第 2 の無線フレームから前記第 2 のパルスを検出し、
前記第 1 の無線中継装置又は前記第 2 の無線中継装置のいずれか一方の中継装置が、
少なくとも前記第 1 のパルスの設定及び前記第 2 のパルスの検出に基づいて算出される前記第 1 の無線中継装置と前記第 2 の無線中継装置との間の伝送遅延時間を用いて、前記時刻同期パケットに含まれる前記補正値を調整する。

- [0016] 本発明の第 3 の態様にかかる無線中継装置は、
時刻同期を行うための補正値を含む時刻同期パケットを、当該時刻同期を行うマスタ装置とスレーブ装置との間で無線通信により中継する複数の無線中継装置のうちの一つであり、
第 1 の無線フレームに第 1 のパルスを設定し、当該第 1 の無線フレームを前記複数の無線中継装置のうちの他の無線中継装置へ送信し、当該他の無線中継装置から当該第 1 の無線フレームに対して折り返され、かつ、第 2 のパルスが設定された第 2 の無線フレームを受信し、当該第 2 の無線フレームから前記第 2 のパルスを検出する無線通信部と、
前記第 1 のパルスの設定及び前記第 2 のパルスの検出に基づいて自己と前記他の無線中継装置との間の伝送遅延時間を測定する測定部と、
前記伝送遅延時間を用いて当該時刻同期パケットに含まれる前記補正値を調整する調整部と、
を備える。

発明の効果

- [0017] 本発明により、時刻同期パケットを用いて時刻同期を行う通信装置の間を

2以上の無線中継装置が中継する場合に、補正フィールドの補正值の精度を維持するための通信システム、時刻同期方法及び無線中継装置を提供することができる。

図面の簡単な説明

[0018] [図1]本発明の実施の形態1にかかる通信システムの全体構成を示すブロック図である。

[図2]本発明の実施の形態1にかかる伝送遅延時間の算出処理及び時刻同期パケットの補正值の調整処理の流れを示すフローチャートである。

[図3]本発明の実施例1にかかる無線通信を行う2台の無線中継装置の構成を示すブロック図である。

[図4]本発明の実施の形態1にかかる無線フレームに含まれる同期パルス及び遅延測定パルスの概念を説明するための図である。

[図5]本発明の実施例1にかかる伝送遅延時間の算出処理及び補正值の調整処理の流れを示すシーケンス図である。

[図6]本発明の実施の形態1にかかる時刻同期パケットの中継時における補正フィールドの更新処理の流れを示すシーケンス図である。

[図7]本発明の実施例3にかかる無線通信を行う2台の無線中継装置の構成を示すブロック図である。

[図8]本発明の実施例4にかかる無線通信を行う2台の無線中継装置の構成を示すブロック図である。

[図9]本発明の実施例4にかかる伝送遅延時間の算出処理及び補正值の調整処理の流れを示すシーケンス図である。

[図10]本発明の実施例5にかかる無線通信を行う2台の無線中継装置の構成を示すブロック図である。

[図11]本発明の実施の形態2にかかる無線通信を行う3台の無線中継装置の構成を示すブロック図である。

発明を実施するための形態

[0019] 以下では、本発明を適用した具体的な実施の形態について、図面を参照し

ながら詳細に説明する。各図面において、同一要素には同一の符号が付されており、説明の明確化のため、必要に応じて重複説明は省略する。

[0020] <実施の形態１>

図１は、本発明の実施の形態１にかかる通信システム１０００の全体構成を示すブロック図である。通信システム１０００は、ＧＮＳＳ衛星１１と、ＧＮＳＳ受信機１２と、マスタ装置１３と、スレーブ装置１４と、第１の無線中継装置２１と、第２の無線中継装置２２とを備える。尚、本実施の形態１にかかる通信システム１０００は、少なくともマスタ装置１３と、スレーブ装置１４と、第１の無線中継装置２１と、第２の無線中継装置２２とを備えるものであればよい。

[0021] ＧＮＳＳ受信機１２は、衛星航法システムにおける受信機であり、ＧＮＳＳ衛星１１等からの航法信号を受信する。尚、ＧＮＳＳ衛星１１及びＧＮＳＳ受信機１２は、公知のものであるため、詳細な説明を省略する。また、有線伝送路３１及び３２は、例えば、Ethernet（登録商標）による伝送路である。

[0022] マスタ装置１３は、IEEE 1588のTransparent Clock機能に対応した通信装置である。そして、マスタ装置１３は、スレーブ装置１４との間で時刻同期を行う際の時刻の同期元であるものとする。マスタ装置１３は、第１の無線中継装置２１と有線伝送路３１により接続されている。ここで、マスタ装置１３は、ＧＮＳＳ受信機１２から時刻、タイミングパルス又はクロック等を定期的に受信する。そして、マスタ装置１３は、スレーブ装置１４に向けて時刻同期パケット（例えば、PTPパケット）を定期的に送信する。

[0023] ここで、時刻同期パケットは、時刻同期を行うための補正值を含むものである。補正值は、マスタ装置１３とスレーブ装置１４の間で時刻同期パケットの中継を行う各中継装置に時刻同期パケットが滞留した時間の総和である。そして、時刻同期パケットがPTPパケットの場合、補正值はPTPパケット内のオーバーヘッドの補正フィールドに設定される値である。

[0024] スレーブ装置１４は、IEEE 1588のTransparent Clock機能に対応し

た通信装置である。そして、スレーブ装置 14 は、マスタ装置 13 との間で時刻同期を行う際の時刻の同期先であるものとする。スレーブ装置 14 は、第 2 の無線中継装置 22 と有線伝送路 32 により接続されている。

[0025] 第 1 の無線中継装置 21 は、IEEE 1588 の Transparent Clock 機能に対応した無線中継装置である。第 1 の無線中継装置 21 は、マスタ装置 13 と有線伝送路 31 により接続されている。また、第 1 の無線中継装置 21 は、第 2 の無線中継装置 22 と無線伝送路 33 により無線通信が可能である。そのため、第 1 の無線中継装置 21 は、マスタ装置 13 から有線伝送路 31 を介して受信した時刻同期パケットを、無線伝送路 33 を介して第 2 の無線中継装置 22 へ送信する。つまり、第 1 の無線中継装置 21 は、受信した時刻同期パケットを無線通信により第 2 の無線中継装置 22 へ転送する中継装置である。

[0026] 第 2 の無線中継装置 22 は、IEEE 1588 の Transparent Clock 機能に対応した無線中継装置である。第 2 の無線中継装置 22 は、スレーブ装置 14 と有線伝送路 32 により接続されている。また、第 2 の無線中継装置 22 は、第 1 の無線中継装置 21 と無線伝送路 33 により無線通信が可能である。そのため、第 2 の無線中継装置 22 は、第 1 の無線中継装置 21 から無線伝送路 33 を介して受信した時刻同期パケットを、有線伝送路 32 を介してスレーブ装置 14 へ送信する。つまり、第 2 の無線中継装置 22 は、無線通信により受信した時刻同期パケットをスレーブ装置 14 へ転送する中継装置である。

[0027] このように、本実施の形態 1 にかかる通信システム 1000 は、マスタ装置 13 とスレーブ装置 14 との間の通信に 2 つの無線中継装置を経由するものである。そして、マスタ装置 13 からスレーブ装置 14 へ時刻同期パケットを送信するにあたり、上述したように、各無線中継装置の補正值の更新回数を各 1 回とするものである。すなわち、第 1 の無線中継装置 21 は、内部のパケット処理の開始時に、補正フィールドの補正值から、内部のカウンタ（不図示）のカウント値を減算する。そして、第 1 の無線中継装置 21 は、

パケット処理の終了後には補正值の更新をせずに、更新後の補正值を含む時刻同期パケットを無線フレーム化して第2の無線中継装置22へ送信する。また、第2の無線中継装置22は、受信した無線フレーム内の時刻同期パケットに対するパケット処理の開始時には補正值の更新をせず、パケット処理の終了時に、補正フィールドの補正值に、内部のカウンタ（不図示）のカウント値を加算する。このように、マスタ装置13とスレーブ装置14との間で、第1の無線中継装置21及び第2の無線中継装置22を一つの中継装置とみなしてこれらの合計の処理遅延時間を補正值に加えるものである。

[0028] 但し、上記の処理だけでは、上述したように無線中継装置間の時刻のずれがあることから、合計の処理遅延時間から無線中継装置間の伝送遅延時間が漏れてしまうため、合計の処理遅延時間に伝送遅延時間を加算する必要がある。そこで、本発明の実施の形態1では、時刻同期パケットを中継する前に、第1の無線中継装置21と第2の無線中継装置22との間の伝送遅延時間を予め算出し、補正值の調整を行うものである。そのため、以下に、伝送遅延時間の算出処理及び補正值の調整について概要を説明する。

[0029] まず、第1の無線中継装置21は、第2の無線中継装置22との間のRound Trip Delay (RTD) を測定する。そのために、第1の無線中継装置21は、遅延測定パルス（第1のパルス）を設定した第1の無線フレームを第2の無線中継装置22に送信する。そして、第2の無線中継装置22は、遅延測定パルス（第2のパルス）を設定した第2の無線フレームを第1の無線中継装置21に返送する。そして、第1の無線中継装置21又は第2の無線中継装置22のいずれか一方の中継装置は、少なくとも第1のパルスの設定及び第2のパルスの検出に基づいて算出される第1の無線中継装置21と第2の無線中継装置22との間の伝送遅延時間を用いて、時刻同期パケットに含まれる補正值を調整する。

[0030] 尚、上述した第1のパルス及び第2のパルスである遅延測定パルスは、上述したフレームパルスのように周期性を持たせることも可能な情報である。但し、遅延測定パルスは、第1の無線フレームと、その返送である第2の無

線フレームとにそれぞれ少なくとも1回ずつ設定されていればよい。そのため、遅延測定パルスは、第1の無線中継装置21及び第2の無線中継装置22のそれぞれにおいて検出可能な信号又はデータ等の情報を用いることができる。例えば、遅延測定パルスは少なくとも1ビットの信号で表現することもできる。よって、第1のパルス及び第2のパルスは、単に第1の信号及び第2の信号、第1のデータ及び第2のデータ、又は、第1の情報及び第2の情報等と表現してもよい。

[0031] 図2は、本発明の実施の形態1にかかる伝送遅延時間の算出及び時刻同期パケットの補正值の調整処理の流れを示すフローチャートである。まず、第1の無線中継装置21は、遅延測定パルス（第1のパルス）を第1の無線フレームに設定し、当該第1の無線フレームを第2の無線中継装置22へ送信する（S11）。尚、無線フレームに遅延測定パルスを「設定する」ことは、「多重する」と言い換えることができる。そして、第2の無線中継装置22は、第1の無線フレームを受信し、当該第1の無線フレームから第1のパルスを検出する。続いて、第2の無線中継装置22は、第1のパルスの検出に応じて、遅延測定パルス（第2のパルス）を第2の無線フレームに設定し、第2の無線フレームを第1の無線中継装置21へ送信する（S12）。つまり、第2の無線中継装置22は、第1の無線中継装置21から第1のパルスが設定された第1の無線フレームを受信した場合に、第2のパルスが設定された第2の無線フレームを折り返して返信する。

[0032] その後、第1の無線中継装置21は、第2の無線フレームから第2のパルスを検出する。つまり、第1の無線フレームに対して、第2の無線中継装置22から第2のパルスが設定された第2の無線フレームが折り返された場合に、第1の無線中継装置21は、第2の無線フレームから遅延測定パルスを検出する。そして、第1の無線中継装置21は、第1のパルスの設定及び第2のパルスの検出に基づいて、自己と第2の無線中継装置22との間のRTD（第1の時間）を測定する（S13）。

[0033] 一方、第2の無線中継装置22は、第1のパルスの検出及び第2のパルス

の設定に基づいて、第1の無線フレームに対する第2の無線フレームの返送処理時間 d_t （第2の時間）を測定する（S14）。

[0034] ここで、第1の無線中継装置21及び第2の無線中継装置22は、一方の中継装置にRTD及び返送処理時間 d_t を集約させる（S15）。例えば、第1の無線中継装置21が「一方の中継装置」である場合、第2の無線中継装置22が第1の無線中継装置21へ返送処理時間 d_t を通知する。また、第2の無線中継装置22が「一方の中継装置」である場合、第1の無線中継装置21が第2の無線中継装置22へRTDを通知する。これにより、「一方の中継装置」は、RTD及び返送処理時間 d_t の両方を保持する。

[0035] そして、一方の中継装置は、RTD及び返送処理時間 d_t に基づいて第1の無線中継装置21と第2の無線中継装置22との間の伝送遅延時間を算出する（S16）。ここで、伝送遅延時間の算出方法としては、例えば以下の（1）式が挙げられる。

$$\text{伝送遅延時間} = (RTD - d_t) / 2 \quad \cdots (1) \text{式}$$

[0036] その後、一方の中継装置は、伝送遅延時間を用いて補正値を調整する（S17）。ここで、「補正値を調整する」とは、一方の中継装置が有するカウンタのカウント値をクリアするタイミングに関する補正を行うことであるか、または、伝送遅延時間を補正値に加算すること等を含むものとする。

[0037] このように、本実施の形態1では、無線中継装置間の伝送遅延時間を測定するためのパルスを含めて無線フレームの送受信を行うことで、無線中継装置間の設置間隔や設置状況に応じた伝送遅延時間を正確に算出することができる。そのため、各無線中継装置ごとに処理遅延時間を算出する必要がなくなる。そして、一端の無線中継装置のパケット処理開始時に補正値を修正し、他端の無線中継装置のパケット処理終了時に補正値を修正するという2回の更新により、無線中継装置間の当初の時刻のずれに相当する伝送遅延時間を用いて補正値を調整（カウンタのクリアタイミングの補正又は補正値自体の修正）することで、補正値の精度を維持することができる。そのため、複数の無線中継装置を介したマスタ装置13とスレーブ装置14との間の時刻

同期を正確に行うことができる。

[0038] <実施例 1>

続いて、本発明の実施の形態 1 の具体例である実施例 1 について説明する。実施例 1 は、第 1 の無線中継装置 2 1 が「一方の中継装置」であり、「補正值を調整する」ことがカウント値をクリアするタイミングに関する補正である場合について示す。特に、カウント値をクリアするタイミングに関する補正のうち、クリアタイミングを遅らせる場合について示す。そのため、本実施例 1 では、無線中継装置間のカウンタ値の同期を行うことができる。

[0039] 図 3 は、本発明の実施例 1 にかかる無線通信を行う 2 台の無線中継装置の構成を示すブロック図である。第 1 の無線中継装置 2 1 は、カウンタ 2 1 1 と、P o r t 部 2 1 2 と、補正值更新部 2 1 3 と、パケット処理部 2 1 4 と、無線処理部 2 1 5 と、遅延測定部 2 1 6 とを備える。

[0040] カウンタ 2 1 1 は、無線フレームに含まれるフレームパルス（後述）の検出に応じて調整されたカウント間隔に従ってカウント値を 1 ずつ加算し、上限値に達した場合に、カウント値を 0 にクリアする。尚、カウント値をクリアする間隔（上限値）は、無線通信中にカウント値がクリアされることを回避するために、2 つの無線中継装置の合計の処理遅延時間と比べて十分に長い時間であるものとする。また、カウンタ 2 1 1 は、フレームパルスの検出に応じてカウント値のクリア間隔を調整してもよい。

[0041] P o r t 部 2 1 2 は、マスタ装置 1 3 から有線伝送路 3 1 を介して送信された時刻同期パケット等の各種データを受信し、補正值更新部 2 1 3 へ出力する。

[0042] 補正值更新部 2 1 3 は、P o r t 部 2 1 2 から時刻同期パケットの入力を受け付けた時点のカウント値をカウンタ 2 1 1 から取得し、時刻同期パケットのオーバーヘッドから補正值を抽出し、補正值から当該カウント値を減算する。そして、補正值更新部 2 1 3 は、当該オーバーヘッド内の減算前の補正值を減算後の補正值に置き換える。そして、補正值更新部 2 1 3 は、減算後の補正值を含む時刻同期パケットをパケット処理部 2 1 4 へ出力する。

[0043] パケット処理部 214 は、補正值更新部 213 から受け付けた時刻同期パケットに対してパケット処理を行う。ここで、パケット処理とは、第 1 の無線中継装置 21 における時刻同期パケットのペイロードやオーバーヘッドに対する各種処理である。例えば、書き換え処理等である。そのため、パケット処理は、時刻同期パケットのペイロードやオーバーヘッドの各設定値に応じて変動する。そして、パケット処理部 214 は、パケット処理後の時刻同期パケットを無線処理部 215 へ出力する。

[0044] 無線処理部 215 は、第 2 の無線中継装置 22 へ送信するための各種データについて無線フレームとして生成する。そして、無線処理部 215 は、当該生成した無線フレームを、無線伝送路 33 を介して第 2 の無線中継装置 22 へ送信する。ここで、無線フレームの生成にあたり、無線処理部 215 は、カウント間隔の同期を行うためのフレームパルス無線フレームのオーバーヘッドに設定する。ここで、フレームパルスとは、第 1 の無線中継装置 21 が有する第 1 のカウンタ 211 と、第 2 の無線中継装置 22 が有する第 2 のカウンタ 221 とのカウント間隔を同期させるための同期パルスである。また、無線処理部 215 は、第 1 の無線中継装置 21 と第 2 の無線中継装置 22 との間の伝送遅延時間を算出する場合に、RTD を測定するための遅延測定パルス無線フレームのオーバーヘッドに設定する。さらに、無線処理部 215 は、カウンタ 211 とカウンタ 221 とのクリアタイミングを同期する場合に、クリアフラグ無線フレームのオーバーヘッドに設定する。尚、無線処理部 215 は、遅延測定部 216 からの指示に応じて遅延測定パルス及びクリアフラグを設定する。

[0045] また、無線処理部 215 は、第 2 の無線中継装置 22 から無線伝送路 33 を介して無線フレームを受信し、受信した無線フレームについて解析等を行う。例えば、無線処理部 215 は、受信した無線フレームのオーバーヘッドからフレームパルス、遅延測定パルス及び返送処理時間 d_t を検出する。無線処理部 215 は、フレームパルスを検出した場合、カウンタ 211 へ通知し、カウンタ 211 のカウント間隔を調整させる。また、無線処理部 215

は、遅延測定パルス及び返送処理時間 d_t を検出した場合、遅延測定部 216 へ通知する。

[0046] 図 4 は、本発明の実施の形態 1 にかかる無線フレームに含まれる同期パルス及び遅延測定パルスの概念を説明するための図である。無線フレーム群 R_F 1 は、第 1 の無線中継装置 21 から第 2 の無線中継装置 22 の方向へ送信される無線フレームの集合である。無線フレーム群 R_F 1 に属する無線フレーム F 1 は、オーバーヘッド F_{11} とペイロード F_{12} を備える。例えば、無線フレーム F 1 は、第 1 の無線フレームに相当する。そして、オーバーヘッド F_{11} は、フレームパルス P_{11} と、遅延測定パルス P_{12} とが多重されている。ここで、遅延測定パルス P_{12} は、上述した第 1 のパルスに相当する。尚、フレームパルス P_{11} は、無線フレーム F 1 以外の各無線フレームの各オーバーヘッドにそれぞれ多重されている。

[0047] また、無線フレーム群 R_F 2 は、第 2 の無線中継装置 22 から第 1 の無線中継装置 21 の方向へ送信される無線フレームの集合である。無線フレーム群 R_F 2 に属する無線フレーム F 2 は、オーバーヘッド F_{21} とペイロード F_{22} を備える。例えば、無線フレーム F 2 は、第 2 の無線フレームに相当する。そして、オーバーヘッド F_{21} は、フレームパルス P_{21} と、遅延測定パルス P_{22} とが多重されている。ここで、遅延測定パルス P_{22} は、上述した第 2 のパルスに相当する。尚、フレームパルス P_{21} は、フレームパルス P_{11} と同様に、無線フレーム F 2 以外の各無線フレームの各オーバーヘッドにそれぞれ多重されている。

[0048] 尚、Port 部 212 が時刻同期パケットを受信し、補正值更新部 213 が補正值を更新し、パケット処理部 214 が所定のパケット処理を行った後、無線処理部 215 は、無線フレームに時刻同期パケットを含める。例えば、無線フレーム F 1 のしばらく後の無線フレームのペイロード F_{14} 内に PTP パケット PTP を含める。そして、PTP パケットには、補正值 C_F が含まれている。尚、このとき、オーバーヘッド F_{13} にフレームパルスが含まれていても良い。

[0049] 図3に戻り説明を続ける。

遅延測定部216は、第1の無線中継装置21と第2の無線中継装置22との間の伝送遅延時間を算出する場合に、遅延測定パルス（第1のパルス）の設定を無線処理部215へ指示する。そして、遅延測定部216は、遅延測定パルスの設定を指示した時点のカウント値をカウンタ211から取得し、保持する。

[0050] また、遅延測定部216は、無線処理部215から遅延測定パルス（第2のパルス）を検出した旨の通知を受け付けた場合、この時点のカウント値をカウンタ211から取得し、保持する。そして、遅延測定部216は、第1のパルスの設定時と第2のパルスの検出時の差分をRTDとして測定する。

[0051] また、遅延測定部216は、無線処理部215から返送処理時間 d_t の通知を受け付けた場合、上記（1）式により伝送遅延時間を算出する。そして、遅延測定部216は、カウンタ211のカウント値をクリアするタイミングに関する補正を行う。本実施例1では、遅延測定部216は、カウンタ211のカウント値をクリアするタイミングを、算出した伝送遅延時間分遅らせる。例えば、遅延測定部216は、カウンタ211のカウント値のクリアタイミングにおいて、クリアを抑止し、クリアフラグを含めた無線フレームを第2の無線中継装置22へ送信する指示を、無線処理部215へ行う。そして、遅延測定部216は、上記クリアフラグを送信する指示から伝送遅延時間の経過後に、カウンタ211のカウント値を0にクリアする。

[0052] 続いて、第2の無線中継装置22は、カウンタ221と、Port部222と、補正值更新部223と、パケット処理部224と、無線処理部225と、遅延測定部226とを備える。

[0053] カウンタ221は、カウンタ211と同様に、フレームパルスの検出に応じて調整されたカウント間隔に従ってカウント値を1ずつ加算し、上限値に達した場合に、カウント値を0にクリアする。また、カウンタ221は、無線処理部225からクリアフラグの検出の通知を受け付けた場合にも、カウント値を0にクリアする。

- [0054] 無線処理部 225 は、第 1 の無線中継装置 21 から無線伝送路 33 を介して無線フレームを受信し、受信した無線フレームについて解析等を行う。例えば、無線処理部 225 は、受信した無線フレームのオーバーヘッドからフレームパルス、遅延測定パルス及びクリアフラグを検出する。無線処理部 215 は、フレームパルスを検出した場合、カウンタ 221 へ通知し、カウンタ 221 のカウント間隔を調整させる。特に、フレームパルスは常時、無線フレームに含まれるため、カウンタ 211 とカウンタ 221 とは、カウント間隔が同期している。
- [0055] また、無線処理部 225 は、遅延測定パルスを検出した場合、遅延測定部 226 へ通知する。さらに、無線処理部 225 は、クリアフラグを検出した場合、カウンタ 221 のカウント値をクリアさせる。
- [0056] また、無線処理部 225 は、無線フレームのペイロードから抽出した時刻同期パケット等をパケット処理部 224 へ出力する。
- [0057] また、無線処理部 225 は、遅延測定部 226 からの指示に応じて、遅延測定パルス及び返送処理時間 d_t を無線フレームのオーバーヘッドに設定する。
- [0058] 尚、別の側面では、無線処理部 215 及び 225 は、BB 信号から RF 信号への変調処理や、RF 信号から BB 信号への復調処理を行うものということができる。
- [0059] 遅延測定部 226 は、無線処理部 225 から遅延測定パルス（第 1 のパルス）を検出した旨の通知を受け付けた場合、この時点のカウント値をカウンタ 221 から取得し、保持する。そして、遅延測定部 226 は、第 1 のパルスを検出した旨の通知に応じて、遅延測定パルス（第 2 のパルス）の設定を無線処理部 225 へ指示する。そして、遅延測定部 226 は、遅延測定パルスの設定を指示した時点のカウント値をカウンタ 221 から取得し、保持する。そして、遅延測定部 226 は、第 1 のパルスの検出時と第 2 のパルスの設定時の差分を返送処理時間 d_t として測定する。その後、遅延測定部 226 は、測定した返送処理時間 d_t を無線処理部 225 へ出力し、第 1 の無線

中継装置 2 1 へ通知する指示を行う。

[0060] 尚、返送処理時間 d_t は、第 1 のパルスの検出から第 2 のパルスの設定までに要する時間であり、無線フレームのペイロードの内容に依存しないといえる。そのため、一度、カウンタ 2 1 1 とカウンタ 2 2 1 とのカウント間隔の同期が取れば、返送処理時間 d_t は第 1 の無線中継装置 2 1 と第 2 の無線中継装置 2 2 との設置間隔に依存せず、一定といえる。よって、第 2 の無線中継装置 2 2 における返送処理時間 d_t が一度測定されれば、以後、第 2 の無線中継装置 2 2 の設置位置を変更したとしても返送処理時間 d_t の測定は不要といえる。その場合、返送処理時間 d_t の第 1 の無線中継装置 2 1 への通知も不要となる。さらに、第 2 の無線中継装置 2 2 において、第 1 のパルスの検出タイミングと第 2 のパルスの設定タイミングを予め規定することで、返送処理時間 d_t の測定自体を省略することもできる。

[0061] パケット処理部 2 2 4 は、無線処理部 2 2 5 から受け付けた時刻同期パケットに対してパケット処理を行う。そして、パケット処理部 2 2 4 は、パケット処理後の時刻同期パケットを補正值更新部 2 2 3 へ出力する。補正值更新部 2 2 3 は、パケット処理部 2 2 4 から時刻同期パケットの入力を受け付けた時点のカウント値をカウンタ 2 2 1 から取得し、時刻同期パケットのオーバーヘッドから補正值を抽出し、補正值に当該カウント値を加算する。そして、補正值更新部 2 2 3 は、当該オーバーヘッド内の加算前の補正值を加算後の補正值に置き換える。そして、補正值更新部 2 2 3 は、加算後の補正值を含む時刻同期パケットを P o r t 部 2 2 2 へ出力する。

[0062] P o r t 部 2 2 2 は、補正值更新部 2 2 3 から受け付けた時刻同期パケットを、有線伝送路 3 2 を介してスレーブ装置 1 4 へ送信する。

[0063] 図 5 は、本発明の実施例 1 にかかる伝送遅延時間の算出処理及び補正值の調整処理の流れを示すシーケンス図である。まず、第 1 の無線中継装置 2 1 は、第 1 のパルスを設定する (S 3 0 1) 。例えば、図 4 の場合、無線処理部 2 1 5 は、遅延測定部 2 1 6 の指示に応じて、無線フレーム F 1 のオーバーヘッド F 1 1 に遅延測定パルス P 1 2 を設定する。

- [0064] 次に、第1の無線中継装置21は、第1のパルスが設定された無線フレームを第2の無線中継装置22へ送信する(S302)。そして、第2の無線中継装置22は、受信した無線フレームから第1のパルスを検出する(S303)。例えば、図4の場合、無線処理部225は、無線フレームF1のオーバーヘッドF11から遅延測定パルスP12を検出し、その旨を遅延測定部226へ通知する。
- [0065] 第2の無線中継装置22は、第1のパルスの検出に応じて、第2のパルスを設定する(S304)。例えば、図4の場合、無線処理部225は、遅延測定部226の指示に応じて、無線フレームF2のオーバーヘッドF21に遅延測定パルスP22を設定する。
- [0066] そして、第2の無線中継装置22は、第2のパルスが設定された無線フレームを第1の無線中継装置21へ送信する(S305)。そして、第1の無線中継装置21は、受信した無線フレームから第2のパルスを検出する(S306)。例えば、図4の場合、無線処理部215は、無線フレームF2のオーバーヘッドF21から遅延測定パルスP22を検出し、その旨を遅延測定部216へ通知する。
- [0067] その後、第1の無線中継装置21は、RTDを測定する(S307)。つまり、遅延測定部216は、無線フレームF1のオーバーヘッドF11に遅延測定パルスP12を設定した時から、無線フレームF2のオーバーヘッドF21から遅延測定パルスP22を検出するまでの時間をRTDとして測定する。
- [0068] また、ステップS306及びS307と並行して、第2の無線中継装置22は、返送処理時間dtを測定する(S308)。つまり、遅延測定部226は、無線フレームF1のオーバーヘッドF11から遅延測定パルスP12を検出した時から、無線フレームF2のオーバーヘッドF21に遅延測定パルスP22を設定するまでの時間を返送処理時間dtとして測定する。そして、第2の無線中継装置22は、返送処理時間dtを含めた無線フレームを第1の無線中継装置21へ送信する(S309)。これにより、第1の無線

中継装置 2 1 に R T D と返送処理時間 d_t とが集約される。

[0069] そして、第 1 の無線中継装置 2 1 は、受信した無線フレームに含まれる返送処理時間 d_t と自己が測定した R T D とを用いて、伝送遅延時間を算出する (S 3 1 0) 。

[0070] その後、第 1 の無線中継装置 2 1 は、カウンタ 2 1 1 の補正前のクリアタイミングとなった時に (S 3 1 1) 、カウント値のクリアを抑止し、クリアフラグを含めた無線フレームを第 2 の無線中継装置 2 2 へ送信する (S 3 1 2) 。そして、第 1 の無線中継装置 2 1 は、ステップ S 3 1 1 から伝送遅延時間の経過後に、カウンタ 2 1 1 のカウント値を 0 にクリアする (S 3 1 3) 。また、第 2 の無線中継装置 2 2 は、受信した無線フレームからクリアフラグを検出したタイミングで、カウンタ 2 2 1 のカウント値を 0 にクリアする (S 3 1 4) 。このようにして、カウンタ 2 1 1 とカウンタ 2 2 1 のカウント値のクリアタイミングを同期する。

[0071] そのため、以後、第 1 の無線中継装置 2 1 におけるパケット処理開始時に、カウンタ 2 1 1 のカウント値を補正值から減算し、第 2 の無線中継装置 2 2 におけるパケット処理終了時に、カウンタ 2 2 1 のカウント値を補正值に加算することで、第 1 の無線中継装置 2 1 と第 2 の無線中継装置 2 2 との間の伝送遅延時間を加味した補正值とすることができる。

[0072] 図 6 は、本発明の実施例 1 にかかる時刻同期パケットの中継時における補正フィールドの更新処理の流れを示すシーケンス図である。尚、図 6 の処理の開始前に図 5 の処理が完了しており、カウンタ 2 1 1 とカウンタ 2 2 1 とのカウント値は同期しているものとする。また、図 6 では時刻同期パケットを P T P パケットであるものとして説明する。まず、マスタ装置 1 3 は、スレーブ装置 1 4 宛の P T P パケットを、有線伝送路 3 1 を介して第 1 の無線中継装置 2 1 へ送信する (S 2 1) 。このとき、P T P パケットには上述した通り補正值が含まれている。

[0073] 次に、第 1 の無線中継装置 2 1 は、P T P パケットを受信し、受信した P T P パケット内の補正值を更新する (S 2 2) 。具体的には、補正值更新部

213は、カウンタ211のカウント値を補正值から減算して、減算後の補正值をPTPパケットに多重する。すなわち、ステップS22において第1の無線中継装置21は、パケット処理の開始時のカウント値を補正值から減算する。

[0074] そして、第1の無線中継装置21は、PTPパケットについてパケット処理を行う（S23）。

[0075] 続いて、第1の無線中継装置21は、パケット処理後のPTPパケットについて無線処理を行う（S24）。例えば、図4の場合、無線処理部215は、無線フレームのペイロードF14にPTPパケットを含める。そして、第1の無線中継装置21は、PTPパケットを含む無線フレームを、無線伝送路33を介して第2の無線中継装置22へ無線送信する（S25）。

[0076] 続いて、第2の無線中継装置22は、無線フレームを受信し、受信した無線フレームからPTPパケットを抽出する無線処理を行う（S26）。続いて、第2の無線中継装置22は、抽出したPTPパケットについてパケット処理を行う（S27）。

[0077] そして、第2の無線中継装置22は、パケット処理後のPTPパケット内の補正值を更新する（S28）。具体的には、第2の無線中継装置22は、カウンタ221のカウント値を補正值に加算して、加算後の補正值をPTPパケットに多重する。すなわち、ステップS28において第2の無線中継装置22は、パケット処理の終了時のカウント値を補正值に加算する。

[0078] その後、第2の無線中継装置22は、更新済みの補正值を含むPTPパケットを、有線伝送路32を介してスレーブ装置14へ送信する（S29）。これにより、スレーブ装置14は、受信したPTPパケットに含まれる補正值を用いて、マスタ装置13との時刻の同期を行うことができる。

[0079] <実施例2>

続いて、本発明の実施の形態1の具体例である実施例2について説明する。実施例2は、実施例1との違いとして、カウント値をクリアするタイミングに関する補正として、カウント値を補正する場合について示す。

[0080] 実施例 1 との違いとして、本実施例 2 にかかる第 1 の無線中継装置 2 1 は、遅延測定部 2 1 6 がカウンタ 2 1 1 のカウント値をクリアするタイミングにおいて、伝送遅延時間を用いて当該カウント値を修正することにより、タイミングに関する補正を行うものである。具体的には、本実施例 2 にかかる遅延測定部 2 1 6 は、カウント値を以下の (2) 式に示す値に修正する。

$$T_{max} = ((RTD - dt) / 2) \cdots (2) \text{ 式}$$

[0081] 言い換えると、カウント値が上限値 (T_{max}) に達したときに (例えば、図 5 のステップ S 3 1 1 のタイミングに)、第 1 の無線中継装置 2 1 は、カウント値を 0 ではなく、伝送遅延時間分減算した値とする。そして、その後、図 5 のステップ S 3 1 2 と同様に、第 1 の無線中継装置 2 1 は、クリアフラグを含めた無線フレームを第 2 の無線中継装置 2 2 へ送信する。そのため、ステップ S 3 1 1 から伝送遅延時間の経過後に、カウンタ 2 1 1 のカウント値が上限値 (T_{max}) に達するため、通常通り、第 1 の無線中継装置 2 1 は、カウント値を 0 にクリアする。そして、同時に、ステップ S 3 1 1 から伝送遅延時間の経過後に、第 2 の無線中継装置 2 2 は、受信した無線フレームからクリアフラグを検出するため、図 5 のステップ S 3 1 4 と同様に、カウンタ 2 2 1 のカウント値を 0 にクリアする。このように、実施例 2 においてもカウンタ 2 1 1 とカウンタ 2 2 1 との同期を取ることができる。実施例 2 では、実施例 1 と比べて、ステップ S 3 1 2 の後に、第 1 の無線中継装置 2 1 が伝送遅延時間の経過を測定する必要がなく、通常のカウントアップにより結果的に伝送遅延時間の経過後にカウンタ 2 1 1 のカウント値が上限値 (T_{max}) に達する。つまり、実施例 2 は、実施例 1 と比べて調整処理自体を簡略化できる。

<実施例 3>

続いて、本発明の実施の形態 1 の具体例である実施例 3 について説明する。実施例 3 は、実施例 1 との違いとして、「補正値を調整する」ことが伝送遅延時間を補正値から加算する場合について示す。

[0082] 図 7 は、本発明の実施例 3 にかかる無線通信を行う 2 台の無線中継装置の

構成を示すブロック図である。尚、第2の無線中継装置22は、実施例1の図3と同等である。第1の無線中継装置21aは、図3の第1の無線中継装置21との違いとして、補正值更新部213及び遅延測定部216が補正值更新部213a及び遅延測定部216aに置き換わったものである。その他の構成は実施例1と同等であるため説明を省略する。

[0083] 遅延測定部216aは、伝送遅延時間を算出した後、カウンタ211のクリアを抑止するのではなく、補正值更新部213aに伝送遅延時間を入力する。そして、補正值更新部213aは、遅延測定部216aから受け付けた伝送遅延時間を補正值に加算することにより、補正值を調整する。そのため、図6のステップS22においては、補正值更新部213aは、補正值からカウンタ211のカウント値を減算し、かつ、補正值に伝送遅延時間を加算する。

[0084] このように、本実施例3では、実施例1及び2と比べて、クリアタイミングの調整が不要となり、即時に伝送遅延時間の反映が可能となる。

[0085] <実施例4>

続いて、本発明の実施の形態1の具体例である実施例4について説明する。実施例4は、第2の無線中継装置22が「一方の中継装置」であり、「補正值を調整する」ことがカウント値をクリアするタイミングに関する補正である場合について示す。特に、クリアするタイミングに関する補正として、カウント値を補正する場合について示す。

[0086] 図8は、本発明の実施例4にかかる無線通信を行う2台の無線中継装置の構成を示すブロック図である。第1の無線中継装置21bは、図3の第1の無線中継装置21との違いとして、無線処理部215及び遅延測定部216が無線処理部215b及び遅延測定部216bに置き換わったものである。その他の構成は実施例1と同等であるため説明を省略する。

[0087] 遅延測定部216bは、RTDを測定する処理までは遅延測定部216と同様である。遅延測定部216bは、測定したRTDを無線処理部215bへ出力し、第2の無線中継装置22bへ通知する指示を行う。また、無線処

理部 215b は、遅延測定部 216b からの指示に応じて遅延測定パルス、RTD 及びクリアフラグを設定して、第 2 の無線中継装置 22b へ送信する。特に、無線処理部 215b は、RTD の送信後、カウンタ 211 のカウント値がクリアされた後、クリアフラグを設定した無線フレームを第 2 の無線中継装置 22b へ送信する。

[0088] 第 2 の無線中継装置 22b は、図 3 の第 2 の無線中継装置 22 との違いとして、無線処理部 225 及び遅延測定部 226 が無線処理部 225b 及び遅延測定部 226b に置き換わったものである。その他の構成は実施例 1 と同等であるため説明を省略する。

[0089] 無線処理部 225b は、受信した無線フレームのオーバーヘッドからフレームパルス、遅延測定パルス、RTD 及びクリアフラグを検出する。また、無線処理部 225b は、遅延測定パルス、RTD 及びクリアフラグを検出した場合、遅延測定部 226b へ通知する。

[0090] 遅延測定部 226b は、返送処理時間 d_t を測定する処理までは遅延測定部 226 と同様である。遅延測定部 226b は、無線処理部 225b から RTD の通知を受け付けた場合、上記 (1) 式により伝送遅延時間を算出する。そして、遅延測定部 226b は、無線処理部 225b からクリアフラグを検出した旨の通知を受け付けた場合、伝送遅延時間を用いて当該カウント値を修正することにより、タイミングに関する補正を行うものである。具体的には、遅延測定部 226b は、カウント値を伝送遅延時間に修正する。

[0091] 言い換えると、第 2 の無線中継装置 22b は、第 1 の無線中継装置 21b のカウンタ 211 のカウント値がクリアされてから伝送遅延時間の経過後にクリアフラグを検出する。そして、第 2 の無線中継装置 22b は、クリアフラグを検出した際に、カウント値を 0 ではなく、伝送遅延時間に相当する値とする。これにより、その後、「上限値 (T_{max}) - 伝送遅延時間」の経過後に、カウンタ 211 及びカウンタ 221 のカウント値が、同時に 0 にクリアされる。つまり、カウンタ 211 とカウンタ 221 との同期を取ることができる。そのため、実施例 1 と比べて、調整処理自体を簡略化できる。

[0092] 図9は、本発明の実施例4にかかる伝送遅延時間の算出処理及び補正値の調整処理の流れを示すシーケンス図である。図5との違いは、ステップS309以降がステップS309a、S310a、S311a、S312a及びS313aに置き換わった点である。

[0093] ステップS307の後、第1の無線中継装置21bは、RTDを含めた無線フレームを第2の無線中継装置22bへ送信する（S309a）。これにより、第2の無線中継装置22bにRTDと返送処理時間d_tとが集約される。

[0094] そして、第2の無線中継装置22bは、受信した無線フレームに含まれるRTDと自己が測定した返送処理時間d_tとを用いて、伝送遅延時間を算出する（S310a）。

[0095] 一方、第1の無線中継装置21bは、カウンタ211のクリアタイミングにカウント値を0にクリアする（S311a）。そして、同時に、第1の無線中継装置21bは、クリアフラグを含めた無線フレームを第2の無線中継装置22へ送信する（S312a）。ステップS311aから伝送遅延時間の経過後に、第2の無線中継装置22bは、受信した無線フレームからクリアフラグを検出し、カウント値を伝送遅延時間に補正する（S313a）。そのため、この後、「上限値（T_{max}）－伝送遅延時間」の経過後に、カウンタ211とカウンタ221は共にカウント値のクリアタイミングとなり、同期する。

[0096] <実施例5>

続いて、本発明の実施の形態1の具体例である実施例5について説明する。実施例5は、実施例4との違いとして、「補正値を調整する」ことを、伝送遅延時間を補正値から加算することとする場合について示す。

[0097] 図10は、本発明の実施例5にかかる無線通信を行う2台の無線中継装置の構成を示すブロック図である。第1の無線中継装置21bは、図8と同等である。第2の無線中継装置22cは、図8の第2の無線中継装置22bとの違いとして、補正値更新部223及び遅延測定部226bが補正値更新部

２２３ｃ及び遅延測定部２２６ｃに置き換わったものである。尚、無線処理部２２５ｃは、無線処理部２２５ｂと同等である。その他の構成は実施例４と同等であるため説明を省略する。

[0098] 遅延測定部２２６ｃは、伝送遅延時間を算出した後、カウンタ２２１のカウント値の補正を行うのではなく、補正值更新部２２３ｃに伝送遅延時間を出力する。そして、補正值更新部２２３ｃは、遅延測定部２２６ｃから受け付けた伝送遅延時間を補正值に加算することにより、補正值を調整する。そのため、図６のステップＳ２８においては、補正值更新部２２３ｃは、補正值にカウンタ２２１のカウント値を加算し、かつ、補正值に伝送遅延時間を加算する。

[0099] このように、本実施例５では、実施例４と比べて、クリアタイミングの調整が不要となり、即時に伝送遅延時間の反映が可能となる。

[0100] ＜実施の形態２＞

本発明の実施形態２は、第１の無線中継装置に対向する中継装置が２台ある場合を示す。但し、本発明の実施形態２は第１の無線中継装置に対向する中継装置が３台以上であっても適用可能である。

[0101] 図１１は、本発明の実施の形態２にかかる無線通信を行う３台の無線中継装置の構成を示すブロック図である。図１１では、第１の無線中継装置２１ｄと、第２の無線中継装置２２ｃと、第３の無線中継装置２３とを備える。

[0102] 第１の無線中継装置２１ｄは、図３の第１の無線中継装置２１との違いとして、補正值更新部２１３、パケット処理部２１４、無線処理部２１５及び遅延測定部２１６が、補正值更新部２１３ｄ、パケット処理部２１４１及び２１４２、無線処理部２１５１及び２１５２、並びに、遅延測定部２１６ｄに置き換わったものである。その他の構成は実施例１と同等であるため説明を省略する。

[0103] 補正值更新部２１３ｄは、減算後の補正值を含む時刻同期パケットをパケット処理部２１４１及び２１４２の双方へ出力する。パケット処理部２１４１及び２１４２のそれぞれは、独立してパケット処理部２１４と同等のパケ

ット処理を行い、パケット処理後の時刻同期パケットを無線処理部 2 1 5 1 及び 2 1 5 2 のそれぞれへ出力する。

[0104] 無線処理部 2 1 5 1 は、無線処理部 2 1 5 と同等である。無線処理部 2 1 5 2 は、カウンタ 2 1 1 への通知を除くと、無線処理部 2 1 5 と同等である。尚、カウンタ 2 1 1 への通知は、無線処理部 2 1 5 1 の代わりに無線処理部 2 1 5 2 が行っても構わない。

[0105] 遅延測定部 2 1 6 d は、図 8 及び図 9 の遅延測定部 2 1 6 b の処理を、第 2 の無線中継装置 2 2 c 側及び第 3 の無線中継装置 2 3 側の双方について行う。つまり、遅延測定部 2 1 6 d は、第 1 の無線中継装置 2 1 d と第 2 の無線中継装置 2 2 c との間の R T D を測定し、測定した R T D を無線処理部 2 1 5 1 へ出力し、第 2 の無線中継装置 2 2 c へ通知する指示を行う。また、遅延測定部 2 1 6 d は、第 1 の無線中継装置 2 1 d と第 3 の無線中継装置 2 3 との間の R T D を測定し、測定した R T D を無線処理部 2 1 5 2 へ出力し、第 3 の無線中継装置 2 3 へ通知する指示を行う。

[0106] 第 2 の無線中継装置 2 2 c は、第 1 の無線中継装置 2 1 d の無線処理部 2 1 5 1 と無線通信を行うものであり、図 1 0 と同等である。第 3 の無線中継装置 2 3 は、第 1 の無線中継装置 2 1 d の無線処理部 2 1 5 2 と無線通信を行うものである。

[0107] また、第 3 の無線中継装置 2 3 は、マスタ装置 1 3 と時刻同期を行う他のスレーブ装置（不図示）へ時刻パケットを転送する中継装置である。第 3 の無線中継装置 2 3 は、他のスレーブ装置と有線伝送路（不図示）により接続されている。尚、第 3 の無線中継装置 2 3 は、第 2 の無線中継装置 2 2 c と同等の機能を有する。そのため、第 3 の無線中継装置 2 3 のカウンタ 2 3 1 、 P o r t 部 2 3 2 、補正值更新部 2 3 3 、パケット処理部 2 3 4 、無線処理部 2 3 5 及び遅延測定部 2 3 6 は、対応する第 2 の無線中継装置 2 2 c の各構成と同等である。

[0108] これにより、本実施形態 2 にかかる通信システムは、第 1 の無線中継装置 2 1 d と第 2 の無線中継装置 2 2 c との間の伝送遅延時間と、第 1 の無線中

継装置 2 1 d と第 3 の無線中継装置 2 3 との間の伝送遅延時間とを、それぞれ正確に算出し、それぞれのスレーブ装置へ転送される補正值も正確に調整することができる。

[0109] 尚、上記では、第 2 の無線中継装置及び第 3 の無線中継装置に実施例 5 相当のものを適用したが、実施例 4 相当のものを適用しても構わない。

[0110] 尚、本実施形態 2 にかかる通信システムは、実施の形態 1 に以下の構成を加えることで実現できる。すなわち、通信システムは、

前記第 1 の無線中継装置から前記無線通信により受信した前記時刻同期パケットを、前記時刻同期を行う他のスレーブ装置へ転送する第 3 の無線中継装置をさらに備え、

前記第 1 の無線中継装置は、

前記第 1 の無線フレームを前記第 3 の無線中継装置へさらに送信し、

前記第 3 の無線中継装置は、

受信した前記第 1 の無線フレームから前記第 1 のパルスを検出し、

前記第 1 のパルスの検出に応じて、第 3 のパルスを設定した第 3 の無線フレームを前記第 1 の無線中継装置へ送信し、

前記第 1 のパルスの検出時から前記第 3 のパルスの設定時までの第 3 の時間を測定し、

前記第 1 の無線中継装置は、

受信した前記第 3 の無線フレームから前記第 3 のパルスを検出し、

前記第 1 のパルスの設定時から前記第 3 のパルスの検出時までの第 4 の時間を測定し、

前記測定した前記第 4 の時間を前記第 3 の無線中継装置へ送信し、

前記第 3 の無線中継装置は、

前記第 1 の無線中継装置から受信した前記第 4 の時間と、自己が測定した前記第 3 の時間とを用いて、前記伝送遅延時間を算出し、

前記算出した前記伝送遅延時間を用いて前記補正值を調整する。

[0111] <その他の実施の形態>

尚、本発明の実施形態 1 及び 2 と上述した特許文献 1 との違いについて補足する。まず、IEEE 1588 v 2 では超高精度の時刻同期（ns オーダの精度）を要求される。ここで、上述した特許文献 1 にかかる技術は、スレーブ装置で発生する「中継時間」を計測応答フレームに多重し、その値を用いて時刻同期を行い、中継時間は各スレーブ装置にて測定するものといえる。しかし、マスタ装置と各スレーブ装置は、通常、異なるクロックで動作している為、各スレーブ装置におけるクロック間隔（カウント間隔）には揺らぎがある。そのため、各スレーブ装置のカウンタで「中継時間」として測定した時間は、マスタ装置のカウンタを基準とした場合、カウント間隔の揺らぎによる誤差が発生する。例えば、マスタ装置とスレーブ装置の各カウンタに使用するクロック間隔にそれぞれ 100ppm のズレがあったとする。このとき、スレーブ 1 台あたり 100us 転送時間かかる場合、100ns の誤差が生じる。スレーブ装置の 3 台で最大 300ns、往復で最大 600ns の誤差が発生し、高精度同期システムとしては精度が不十分と言わざるを得ない。

[0112] 一方、本発明の実施の形態 1 では無線通信を前提としており、無線区間は「無線フレーム」と呼ぶ、連続的なフレームでデータのやり取りを行っている。この無線フレームにはフレームパルス（FP）と呼ぶ同期パルスを定期的に送信する事により、常時、クロック同期を行っている。従って、第 1 の無線中継装置と第 2 の無線中継装置ではカウント間隔の同期がとれた状態となっている。そのため、本発明の実施例 1 では、第 1 の無線中継装置 21 のカウンタ 211 と、第 2 の無線中継装置 22 のカウンタ 221 とは、カウント間隔の同期がとれたクロックで動作するため、特許文献 1 のようなカウント間隔の揺らぎによる誤差は発生しない。

[0113] さらに、特許文献 1 の様に遅延測定にパケットを使用する場合、「宛先」「送信元」「フレーム種別」「往復中継時間」「基準時刻」「補正後マスタ往復伝搬遅延時間」「先行中継時間」などの情報を多重する必要がある（特許文献 1 の段落 0121～0124）。そのため、回線帯域のリソースを多く使用する。回線帯域が広い場合には問題ないが、無線回線では回線状況な

どにより帯域が狭い場合もあり、帯域を節約することは重要である。

[0114] 一方、本発明の実施の形態1の場合、遅延の測定はパルス（1ビット）のやり取りのみで済み、遅延測定後にマスタ装置とスレーブ装置の間でやり取りするデータも、実施例1～3の場合は返送処理時間 d_t のみ、実施例4及び5の場合はRTD測定結果（T）のみでよい。そのため、本発明の実施の形態1では、帯域を節約できるという効果も奏する。

[0115] 尚、本実施の形態1にかかる第1の無線中継装置21又は第2の無線中継装置22は、次のような構成としても、同等の効果を奏する。すなわち、

時刻同期を行うための補正值を含む時刻同期パケットを、当該時刻同期を行うマスタ装置とスレーブ装置との間で無線通信により中継する複数の無線中継装置のうちの一つであり、

第1の無線フレームに第1のパルスを設定し、当該第1の無線フレームを前記複数の無線中継装置のうちの他の無線中継装置へ送信し、当該他の無線中継装置から当該第1の無線フレームに対して折り返され、かつ、第2のパルスが設定された第2の無線フレームを受信し、当該第2の無線フレームから前記第2のパルスを検出する無線通信部と、

前記第1のパルスの設定及び前記第2のパルスの検出に基づいて自己と前記他の無線中継装置との間の伝送遅延時間を測定する測定部と、

前記伝送遅延時間を用いて当該時刻同期パケットに含まれる前記補正值を調整する調整部と、

を備える無線中継装置。

[0116] また、上述の実施の形態では、本発明をハードウェアの構成として説明したが、本発明は、これに限定されるものではない。本発明は、任意の処理を、CPU（Central Processing Unit）にコンピュータプログラムを実行させることにより実現することも可能である。

[0117] 上述の例において、プログラムは、様々なタイプの非一時的なコンピュータ可読媒体（non-transitory computer readable medium）を用いて格納され、コンピュータに供給することができる。非一時的なコンピュータ可読媒体

は、様々なタイプの実体のある記録媒体 (tangible storage medium) を含む。非一時的なコンピュータ可読媒体の例は、磁気記録媒体 (例えばフレキシブルディスク、磁気テープ、ハードディスクドライブ)、光磁気記録媒体 (例えば光磁気ディスク)、CD-ROM (Read Only Memory)、CD-R、CD-R/W、DVD (Digital Versatile Disc)、BD (Blu-ray (登録商標) Disc)、半導体メモリ (例えば、マスクROM、PROM (Programmable ROM)、EPROM (Erasable PROM)、フラッシュROM、RAM (Random Access Memory)) を含む。また、プログラムは、様々なタイプの一時的なコンピュータ可読媒体 (transitory computer readable medium) によってコンピュータに供給されてもよい。一時的なコンピュータ可読媒体の例は、電気信号、光信号、及び電磁波を含む。一時的なコンピュータ可読媒体は、電線及び光ファイバ等の有線通信路、又は無線通信路を介して、プログラムをコンピュータに供給できる。

[0118] 上記の実施形態の一部又は全部は、以下の付記のようにも記載され得るが、以下には限られない。

(付記1)

時刻同期を行うための補正值を含む時刻同期パケットを、当該時刻同期を行うマスタ装置から受信し、無線通信により転送する第1の無線中継装置と、

前記第1の無線中継装置から前記無線通信により受信した前記時刻同期パケットを、前記時刻同期を行うスレーブ装置へ転送する第2の無線中継装置と、

を備え、

前記第1の無線中継装置は、

第1のパルスを設定した第1の無線フレームを前記第2の無線中継装置へ送信し、

前記第2の無線中継装置は、

受信した前記第1の無線フレームから前記第1のパルスを検出し、

前記第 1 のパルスの検出に応じて、第 2 のパルスを設定した第 2 の無線フレームを前記第 1 の無線中継装置へ送信し、

前記第 1 の無線中継装置は、

受信した前記第 2 の無線フレームから前記第 2 のパルスを検出し、

前記第 1 の無線中継装置又は前記第 2 の無線中継装置のいずれか一方の中継装置は、

少なくとも前記第 1 のパルスの設定及び前記第 2 のパルスの検出に基づいて算出される前記第 1 の無線中継装置と前記第 2 の無線中継装置との間の伝送遅延時間を用いて、前記時刻同期パケットに含まれる前記補正值を調整する

通信システム。

(付記 2)

前記第 1 の無線中継装置は、

前記第 1 のパルスの設定時から前記第 2 のパルスの検出時までの第 1 の時間を測定し、

前記第 2 の無線中継装置は、

前記第 1 のパルスの検出時から前記第 2 のパルスの設定時までの第 2 の時間を測定し、

前記第 1 の無線中継装置及び前記第 2 の無線中継装置は、

前記一方の中継装置に前記第 1 の時間及び前記第 2 の時間を集約させ、

前記一方の中継装置は、

前記第 1 の時間及び前記第 2 の時間に基づいて、前記伝送遅延時間を算出し、

前記算出した前記伝送遅延時間を用いて前記補正值を調整する

付記 1 に記載の通信システム。

(付記 3)

前記一方の中継装置は、前記第 1 の無線中継装置であり、

前記第 2 の無線中継装置は、前記測定した前記第 2 の時間を前記第 1 の無

線中継装置へ送信し、

前記第 1 の無線中継装置は、

前記第 2 の無線中継装置から受信した前記第 2 の時間と、自己が測定した前記第 1 の時間とを用いて、前記伝送遅延時間を算出し、

前記算出した前記伝送遅延時間を用いて前記補正値を調整する

付記 2 に記載の通信システム。

(付記 4)

前記一方の中継装置は、前記第 2 の無線中継装置であり、

前記第 1 の無線中継装置は、前記測定した前記第 1 の時間を前記第 2 の無線中継装置へ送信し、

前記第 2 の無線中継装置は、

前記第 1 の無線中継装置から受信した前記第 1 の時間と、自己が測定した前記第 2 の時間とを用いて、前記伝送遅延時間を算出し、

前記算出した前記伝送遅延時間を用いて前記補正値を調整する

付記 2 に記載の通信システム。

(付記 5)

前記第 1 の無線中継装置が有する第 1 のカウンタと前記第 2 の無線中継装置が有する第 2 のカウンタとは、前記第 1 の無線中継装置と前記第 2 の無線中継装置との間で送受信される任意の無線フレームに含まれる同期パルスの検出タイミングによりカウント間隔が同期しており、

前記一方の中継装置は、

前記伝送遅延時間に基づいて、前記第 1 及び前記第 2 のカウンタのうち当該一方の中継装置が有する対象カウンタのカウント値をクリアするタイミングに関する補正を行うことにより、前記補正値を調整する

付記 1 乃至 4 のいずれか 1 項に記載の通信システム。

(付記 6)

前記一方の中継装置は、

前記対象カウンタのカウント値をクリアするタイミングを前記伝送遅延時

間分変更することにより、前記タイミングに関する補正を行う

付記 5 に記載の通信システム。

(付記 7)

前記一方の中継装置は、

前記対象カウンタのカウント値をクリアするタイミングにおいて、前記伝送遅延時間を用いて当該カウント値を修正することにより、前記タイミングに関する補正を行う

付記 5 に記載の通信システム。

(付記 8)

前記一方の中継装置は、

前記伝送遅延時間を前記補正值に加算することにより、前記補正值を調整する

付記 1 乃至 4 のいずれか 1 項に記載の通信システム。

(付記 9)

前記第 1 の無線中継装置から前記無線通信により受信した前記時刻同期パケットを、前記時刻同期を行う他のスレーブ装置へ転送する第 3 の無線中継装置をさらに備え、

前記第 1 の無線中継装置は、

前記第 1 の無線フレームを前記第 3 の無線中継装置へさらに送信し、

前記第 3 の無線中継装置は、

受信した前記第 1 の無線フレームから前記第 1 のパルスを検出し、

前記第 1 のパルスの検出に応じて、第 3 のパルスを設定した第 3 の無線フレームを前記第 1 の無線中継装置へ送信し、

前記第 1 のパルスの検出時から前記第 3 のパルスの設定時までの第 3 の時間を測定し、

前記第 1 の無線中継装置は、

受信した前記第 3 の無線フレームから前記第 3 のパルスを検出し、

前記第 1 のパルスの設定時から前記第 3 のパルスの検出時までの第 4 の時

間を測定し、

前記測定した前記第 4 の時間を前記第 3 の無線中継装置へ送信し、

前記第 3 の無線中継装置は、

前記第 1 の無線中継装置から受信した前記第 4 の時間と、自己が測定した前記第 3 の時間とを用いて、前記伝送遅延時間を算出し、

前記算出した前記伝送遅延時間を用いて前記補正値を調整する

付記 3 に記載の通信システム。

(付記 10)

前記補正値は、前記マスタ装置と前記スレーブ装置の間で前記時刻同期パケットの中継を行う各中継装置に当該時刻同期パケットが滞留した時間の総和である

付記 1 乃至 8 のいずれか 1 項に記載の通信システム。

(付記 11)

時刻同期を行うための補正値を含む時刻同期パケットを、当該時刻同期を行うマスタ装置から受信し、無線通信により転送する第 1 の無線中継装置と、

前記第 1 の無線中継装置から前記無線通信により受信した前記時刻同期パケットを、前記時刻同期を行うスレーブ装置へ転送する第 2 の無線中継装置と、

を備える通信システムにおける時刻同期方法であって、

前記第 1 の無線中継装置が、

第 1 のパルスを設定した第 1 の無線フレームを前記第 2 の無線中継装置へ送信し、

前記第 2 の無線中継装置が、

受信した前記第 1 の無線フレームから前記第 1 のパルスを検出し、

前記第 1 のパルスの検出に応じて、第 2 のパルスを設定した第 2 の無線フレームを前記第 1 の無線中継装置へ送信し、

前記第 1 の無線中継装置が、

受信した前記第 2 の無線フレームから前記第 2 のパルスを検出し、
前記第 1 の無線中継装置又は前記第 2 の無線中継装置のいずれか一方の中
継装置が、

少なくとも前記第 1 のパルスの設定及び前記第 2 のパルスの検出に基づい
て算出される前記第 1 の無線中継装置と前記第 2 の無線中継装置との間の伝
送遅延時間を用いて、前記時刻同期パケットに含まれる前記補正値を調整す
る

時刻同期方法。

(付記 1 2)

時刻同期を行うための補正値を含む時刻同期パケットを、当該時刻同期を
行うマスタ装置とスレーブ装置との間で無線通信により中継する複数の無線
中継装置のうちの一つであり、

第 1 の無線フレームに第 1 のパルスを設定し、当該第 1 の無線フレームを
前記複数の無線中継装置のうちの他の無線中継装置へ送信し、当該他の無線
中継装置から当該第 1 の無線フレームに対して折り返され、かつ、第 2 のパ
ルスが設定された第 2 の無線フレームを受信し、当該第 2 の無線フレームか
ら前記第 2 のパルスを検出する無線通信部と、

前記第 1 のパルスの設定及び前記第 2 のパルスの検出に基づいて自己と前
記他の無線中継装置との間の伝送遅延時間を測定する測定部と、

前記伝送遅延時間を用いて当該時刻同期パケットに含まれる前記補正値を
調整する調整部と、

を備える無線中継装置。

[0119] 以上、実施の形態を参照して本願発明を説明したが、本願発明は上記によ
って限定されるものではない。本願発明の構成や詳細には、発明のスコープ
内で当業者が理解し得る様々な変更をすることができる。

[0120] この出願は、2014 年 11 月 5 日に提出された日本出願特願 2014 -
224840 を基礎とする優先権を主張し、その開示の全てをここに取り込
む。

符号の説明

- [0121] 1 0 0 0 通信システム
- 1 1 G N S S 衛星
- 1 2 G N S S 受信機
- 1 3 マスタ装置
- 1 4 スレーブ装置
- 2 1 第 1 の無線中継装置
- 2 1 a 第 1 の無線中継装置
- 2 1 b 第 1 の無線中継装置
- 2 1 c 第 1 の無線中継装置
- 2 1 d 第 1 の無線中継装置
- 2 1 1 カウンタ
- 2 1 2 P o r t 部
- 2 1 3 補正值更新部
- 2 1 3 a 補正值更新部
- 2 1 3 d 補正值更新部
- 2 1 4 パケット処理部
- 2 1 4 1 パケット処理部
- 2 1 4 2 パケット処理部
- 2 1 5 無線処理部
- 2 1 5 1 無線処理部
- 2 1 5 2 無線処理部
- 2 1 5 c 無線処理部
- 2 1 6 遅延測定部
- 2 1 6 b 遅延測定部
- 2 1 6 c 遅延測定部
- 2 1 6 d 遅延測定部
- 2 2 第 2 の無線中継装置

2 2 b 第2の無線中継装置

2 2 c 第2の無線中継装置

2 2 1 カウンタ

2 2 2 P o r t 部

2 2 3 補正值更新部

2 2 3 c 補正值更新部

2 2 4 パケット処理部

2 2 5 無線処理部

2 2 5 b 無線処理部

2 2 5 c 無線処理部

2 2 6 遅延測定部

2 2 6 b 遅延測定部

2 2 6 c 遅延測定部

2 3 第3の無線中継装置

2 3 1 カウンタ

2 3 2 P o r t 部

2 3 3 補正值更新部

2 3 4 パケット処理部

2 3 5 無線処理部

2 3 6 遅延測定部

3 1 有線伝送路

3 2 有線伝送路

3 3 無線伝送路

R F 1 無線フレーム群

F 1 無線フレーム

F 1 1 オーバーヘッド

F 1 2 ペイロード

F 1 3 オーバーヘッド

F 1 4 ペイロード
P 1 1 フレームパルス
P 1 2 遅延測定パルス
P T P 時刻同期パケット
C F 補正值
R F 2 無線フレーム群
F 2 無線フレーム
F 2 1 オーバーヘッド
F 2 2 ペイロード
P 2 1 フレームパルス
P 2 2 遅延測定パルス

請求の範囲

[請求項1] 時刻同期を行うための補正值を含む時刻同期パケットを、当該時刻同期を行うマスタ装置から受信し、無線通信により転送する第1の無線中継装置と、

前記第1の無線中継装置から前記無線通信により受信した前記時刻同期パケットを、前記時刻同期を行うスレーブ装置へ転送する第2の無線中継装置と、

を備え、

前記第1の無線中継装置は、

第1のパルスを設定した第1の無線フレームを前記第2の無線中継装置へ送信し、

前記第2の無線中継装置は、

受信した前記第1の無線フレームから前記第1のパルスを検出し、

前記第1のパルスの検出に応じて、第2のパルスを設定した第2の無線フレームを前記第1の無線中継装置へ送信し、

前記第1の無線中継装置は、

受信した前記第2の無線フレームから前記第2のパルスを検出し、

前記第1の無線中継装置又は前記第2の無線中継装置のいずれか一方の中継装置は、

少なくとも前記第1のパルスの設定及び前記第2のパルスの検出に基づいて算出される前記第1の無線中継装置と前記第2の無線中継装置との間の伝送遅延時間を用いて、前記時刻同期パケットに含まれる前記補正值を調整する

通信システム。

[請求項2] 前記第1の無線中継装置は、

前記第1のパルスの設定時から前記第2のパルスの検出時までの第1の時間を測定し、

前記第2の無線中継装置は、

前記第 1 のパルスの検出時から前記第 2 のパルスの設定時までの第 2 の時間を測定し、

前記第 1 の無線中継装置及び前記第 2 の無線中継装置は、

前記一方の中継装置に前記第 1 の時間及び前記第 2 の時間を集約させ、

前記一方の中継装置は、

前記第 1 の時間及び前記第 2 の時間に基づいて、前記伝送遅延時間を算出し、

前記算出した前記伝送遅延時間を用いて前記補正値を調整する

請求項 1 に記載の通信システム。

[請求項3]

前記一方の中継装置は、前記第 1 の無線中継装置であり、

前記第 2 の無線中継装置は、前記測定した前記第 2 の時間を前記第 1 の無線中継装置へ送信し、

前記第 1 の無線中継装置は、

前記第 2 の無線中継装置から受信した前記第 2 の時間と、自己が測定した前記第 1 の時間とを用いて、前記伝送遅延時間を算出し、

前記算出した前記伝送遅延時間を用いて前記補正値を調整する

請求項 2 に記載の通信システム。

[請求項4]

前記一方の中継装置は、前記第 2 の無線中継装置であり、

前記第 1 の無線中継装置は、前記測定した前記第 1 の時間を前記第 2 の無線中継装置へ送信し、

前記第 2 の無線中継装置は、

前記第 1 の無線中継装置から受信した前記第 1 の時間と、自己が測定した前記第 2 の時間とを用いて、前記伝送遅延時間を算出し、

前記算出した前記伝送遅延時間を用いて前記補正値を調整する

請求項 2 に記載の通信システム。

[請求項5]

前記第 1 の無線中継装置が有する第 1 のカウンタと前記第 2 の無線中継装置が有する第 2 のカウンタとは、前記第 1 の無線中継装置と前

記第2の無線中継装置との間で送受信される任意の無線フレームに含まれる同期パルスの検出タイミングによりカウント間隔が同期しており、

前記一方の中継装置は、

前記伝送遅延時間に基づいて、前記第1及び前記第2のカウントのうち当該一方の中継装置が有する対象カウントのカウント値をクリアするタイミングに関する補正を行うことにより、前記補正値を調整する

請求項1乃至4のいずれか1項に記載の通信システム。

[請求項6]

前記一方の中継装置は、

前記対象カウントのカウント値をクリアするタイミングを前記伝送遅延時間分変更することにより、前記タイミングに関する補正を行う

請求項5に記載の通信システム。

[請求項7]

前記一方の中継装置は、

前記対象カウントのカウント値をクリアするタイミングにおいて、前記伝送遅延時間を用いて当該カウント値を修正することにより、前記タイミングに関する補正を行う

請求項5に記載の通信システム。

[請求項8]

前記一方の中継装置は、

前記伝送遅延時間を前記補正値に加算することにより、前記補正値を調整する

請求項1乃至4のいずれか1項に記載の通信システム。

[請求項9]

前記第1の無線中継装置から前記無線通信により受信した前記時刻同期パケットを、前記時刻同期を行う他のスレーブ装置へ転送する第3の無線中継装置をさらに備え、

前記第1の無線中継装置は、

前記第1の無線フレームを前記第3の無線中継装置へさらに送信し

、

前記第 3 の無線中継装置は、
受信した前記第 1 の無線フレームから前記第 1 のパルスを検出し、
前記第 1 のパルスの検出に応じて、第 3 のパルスを設定した第 3 の無線フレームを前記第 1 の無線中継装置へ送信し、
前記第 1 のパルスの検出時から前記第 3 のパルスの設定時までの第 3 の時間を測定し、
前記第 1 の無線中継装置は、
受信した前記第 3 の無線フレームから前記第 3 のパルスを検出し、
前記第 1 のパルスの設定時から前記第 3 のパルスの検出時までの第 4 の時間を測定し、
前記測定した前記第 4 の時間を前記第 3 の無線中継装置へ送信し、
前記第 3 の無線中継装置は、
前記第 1 の無線中継装置から受信した前記第 4 の時間と、自己が測定した前記第 3 の時間とを用いて、前記伝送遅延時間を算出し、
前記算出した前記伝送遅延時間を用いて前記補正値を調整する
請求項 3 に記載の通信システム。

[請求項10] 前記補正値は、前記マスタ装置と前記スレーブ装置の間で前記時刻同期パケットの中継を行う各中継装置に当該時刻同期パケットが滞留した時間の総和である

請求項 1 乃至 8 のいずれか 1 項に記載の通信システム。

[請求項11] 時刻同期を行うための補正値を含む時刻同期パケットを、当該時刻同期を行うマスタ装置から受信し、無線通信により転送する第 1 の無線中継装置と、

前記第 1 の無線中継装置から前記無線通信により受信した前記時刻同期パケットを、前記時刻同期を行うスレーブ装置へ転送する第 2 の無線中継装置と、

を備える通信システムにおける時刻同期方法であって、

前記第 1 の無線中継装置が、

第1のパルスを設定した第1の無線フレームを前記第2の無線中継装置へ送信し、

前記第2の無線中継装置が、

受信した前記第1の無線フレームから前記第1のパルスを検出し、

前記第1のパルスの検出に応じて、第2のパルスを設定した第2の無線フレームを前記第1の無線中継装置へ送信し、

前記第1の無線中継装置が、

受信した前記第2の無線フレームから前記第2のパルスを検出し、

前記第1の無線中継装置又は前記第2の無線中継装置のいずれか一方の中継装置が、

少なくとも前記第1のパルスの設定及び前記第2のパルスの検出に基づいて算出される前記第1の無線中継装置と前記第2の無線中継装置との間の伝送遅延時間を用いて、前記時刻同期パケットに含まれる前記補正值を調整する

時刻同期方法。

[請求項12]

時刻同期を行うための補正值を含む時刻同期パケットを、当該時刻同期を行うマスタ装置とスレーブ装置との間で無線通信により中継する複数の無線中継装置のうちの一つであり、

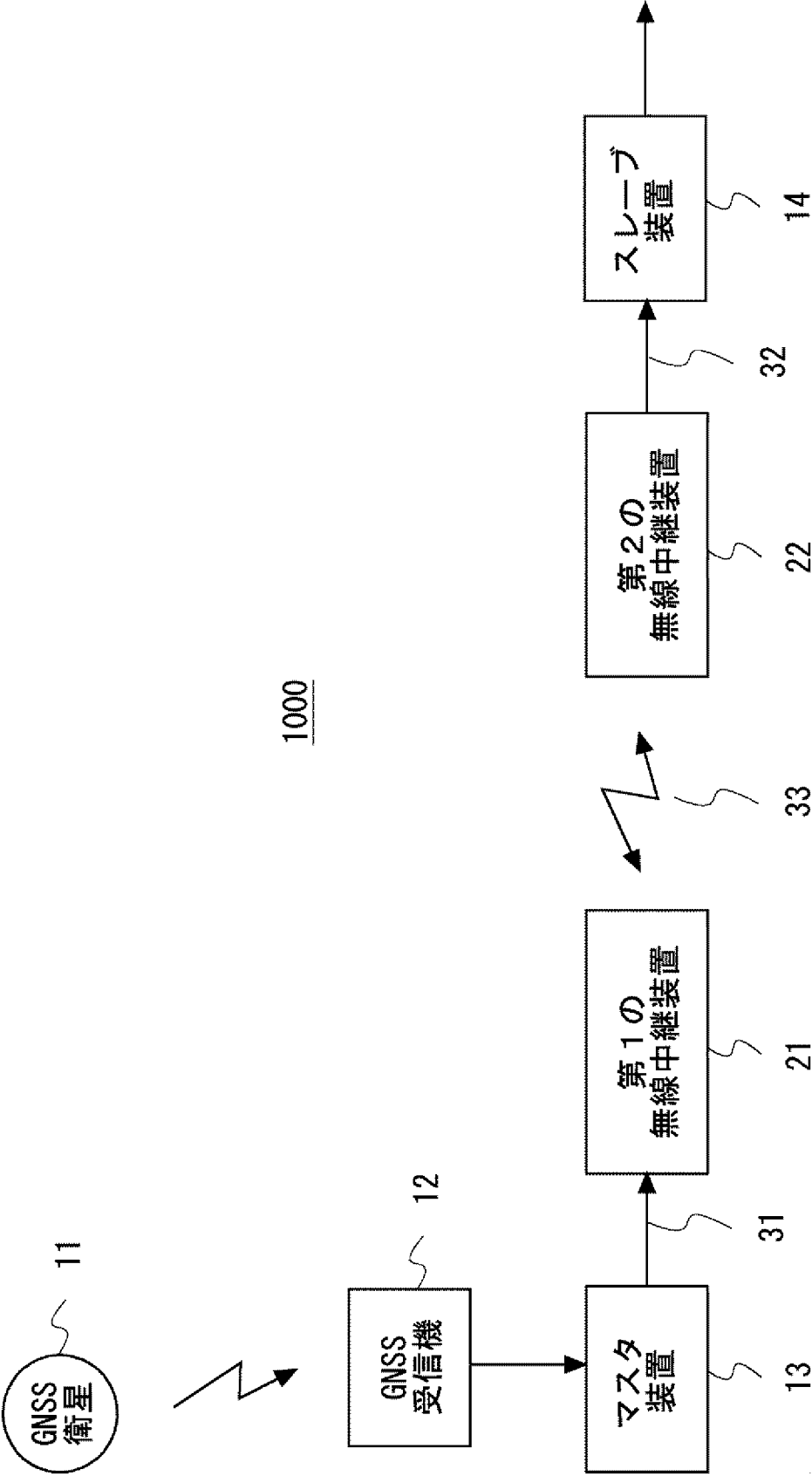
第1の無線フレームに第1のパルスを設定し、当該第1の無線フレームを前記複数の無線中継装置のうちの他の無線中継装置へ送信し、当該他の無線中継装置から当該第1の無線フレームに対して折り返され、かつ、第2のパルスが設定された第2の無線フレームを受信し、当該第2の無線フレームから前記第2のパルスを検出する無線通信手段と、

前記第1のパルスの設定及び前記第2のパルスの検出に基づいて自己と前記他の無線中継装置との間の伝送遅延時間を測定する測定手段と、

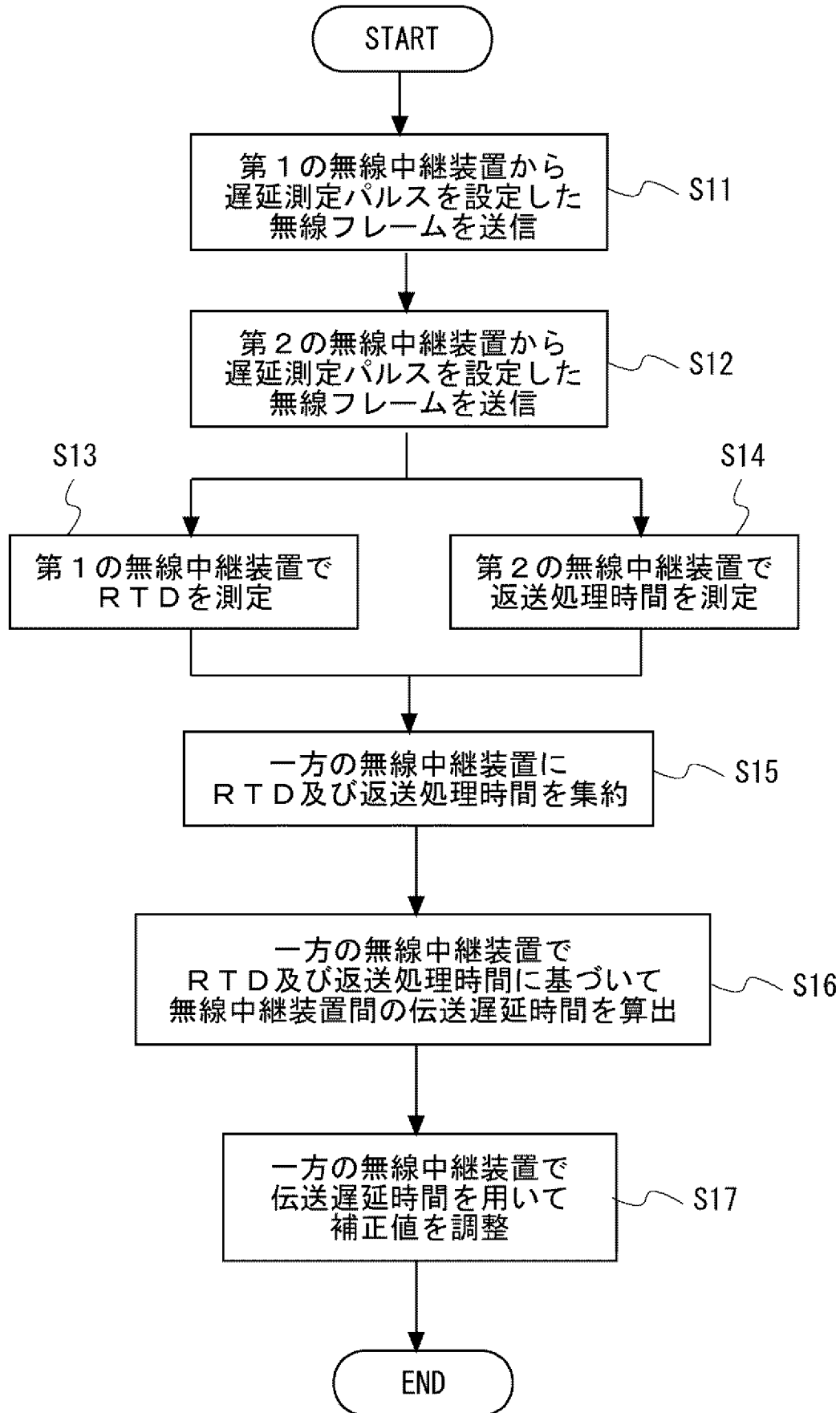
前記伝送遅延時間を用いて当該時刻同期パケットに含まれる前記補

正值を調整する調整手段と、
を備える無線中継装置。

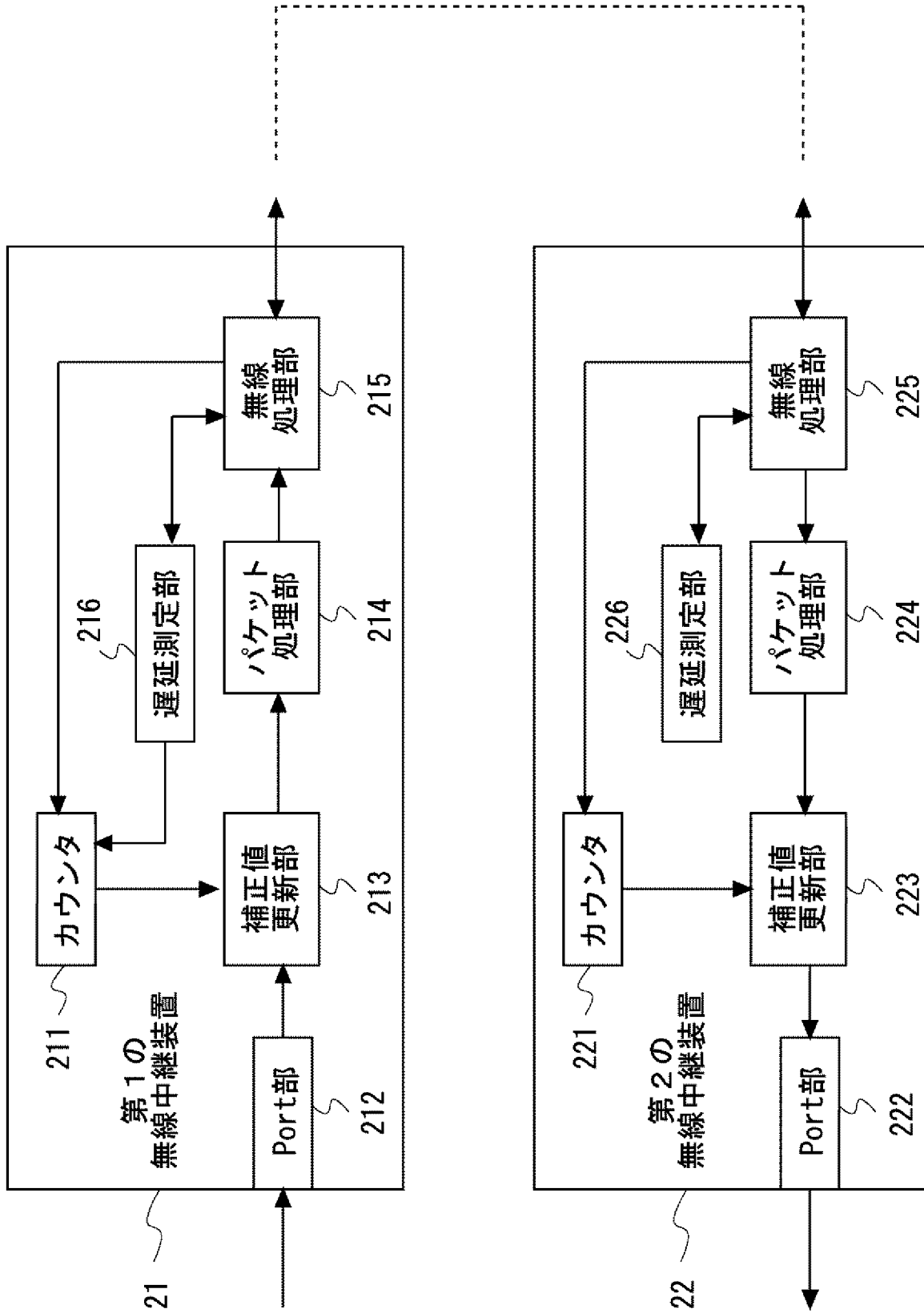
[図1]



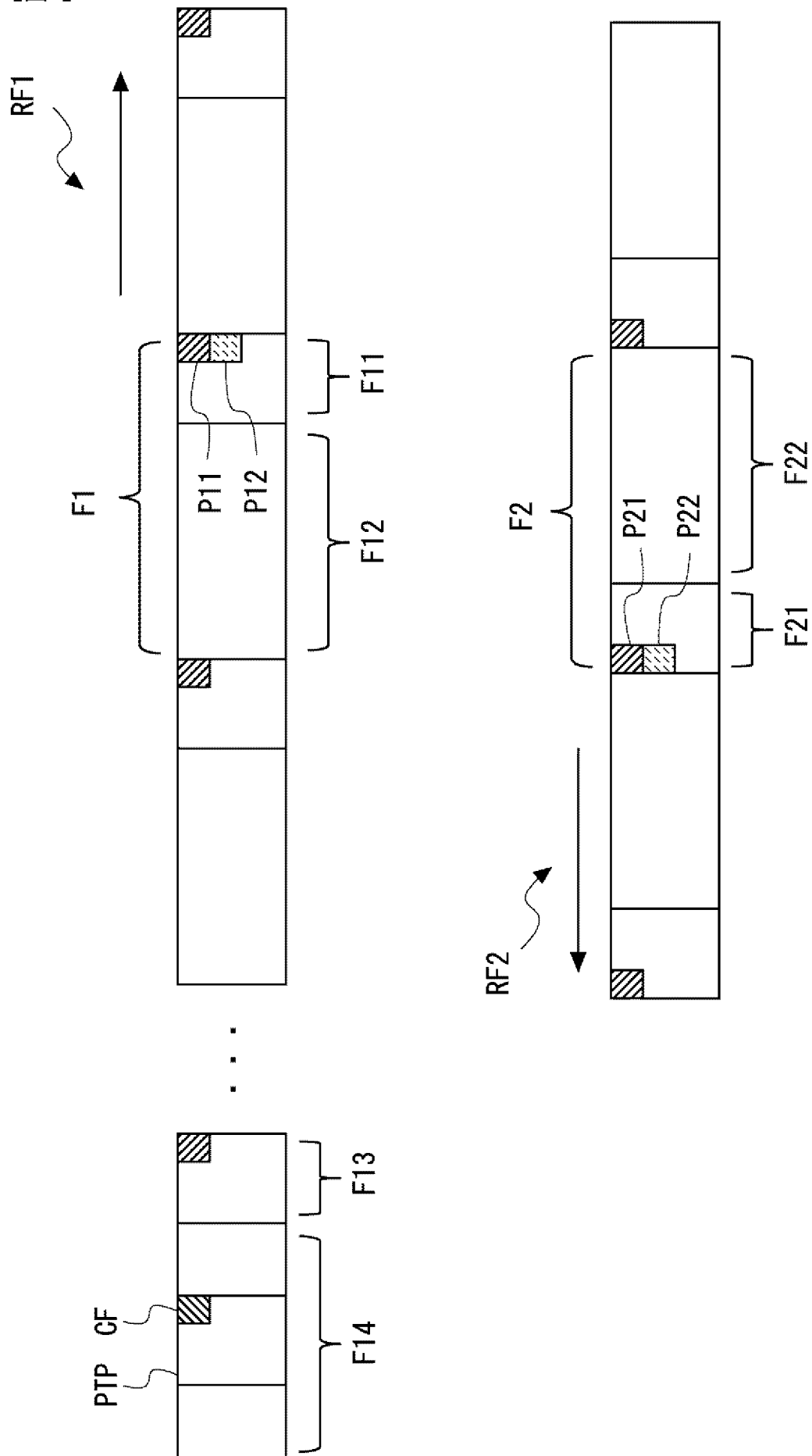
[図2]



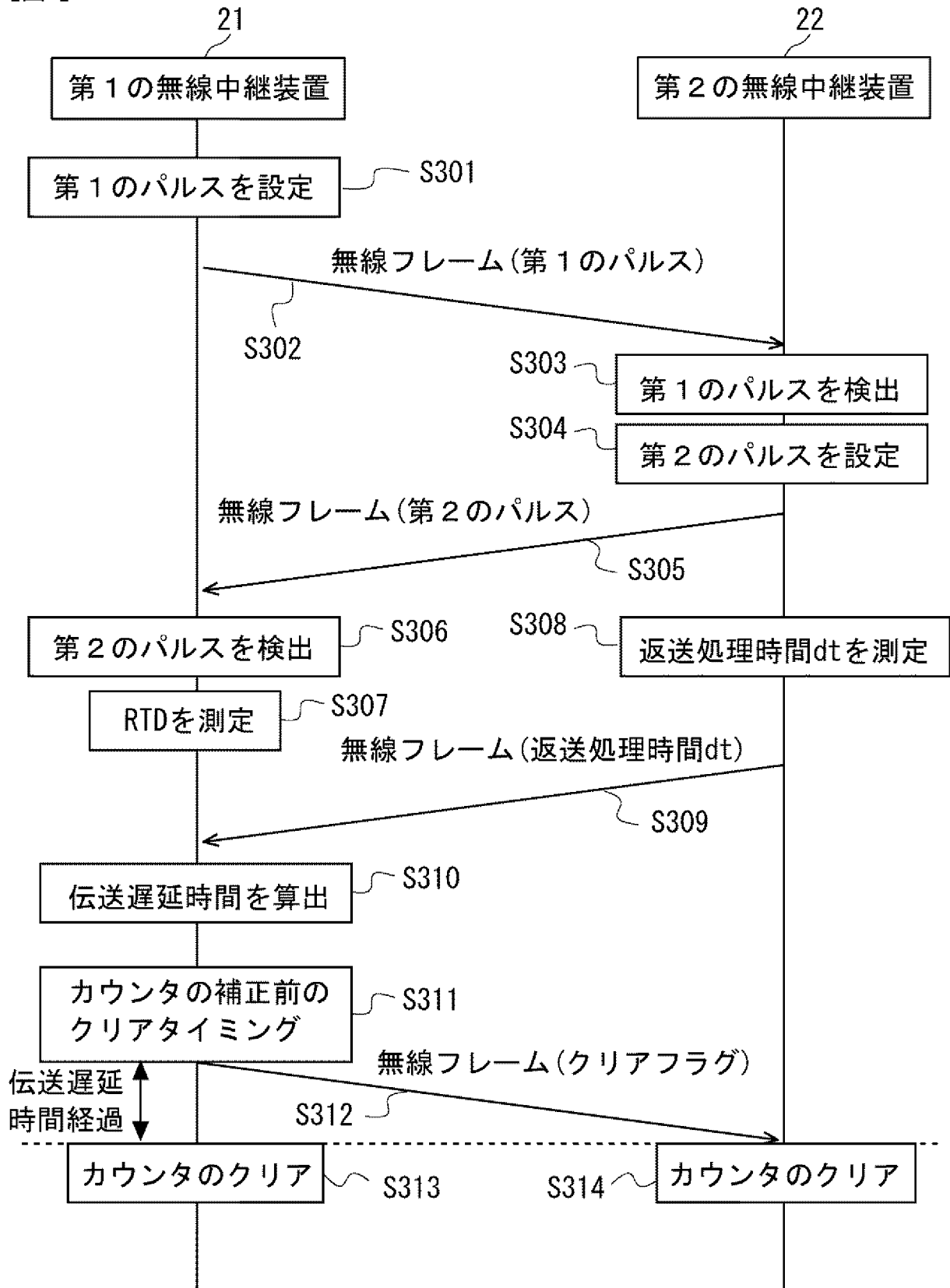
[図3]



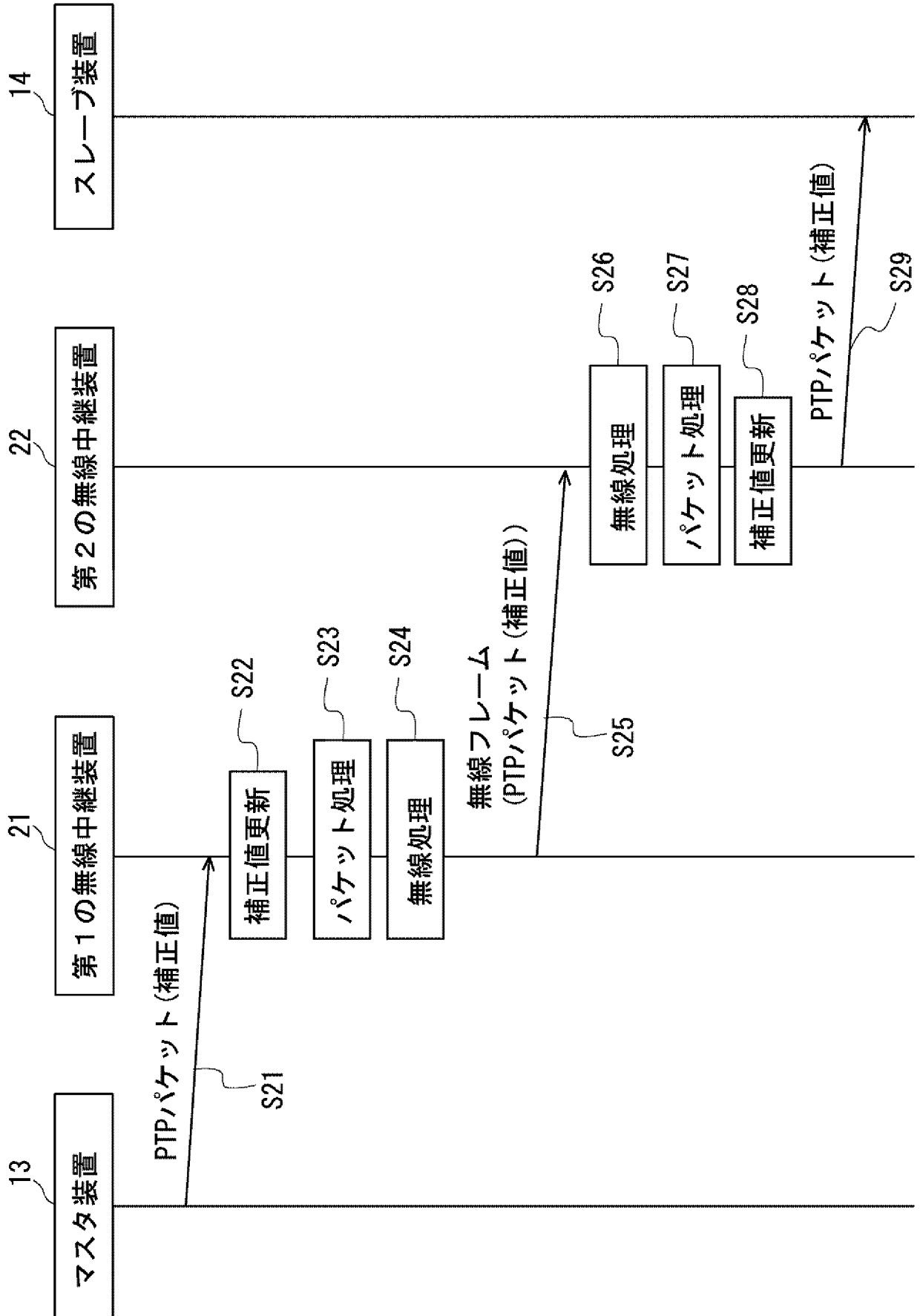
[図4]



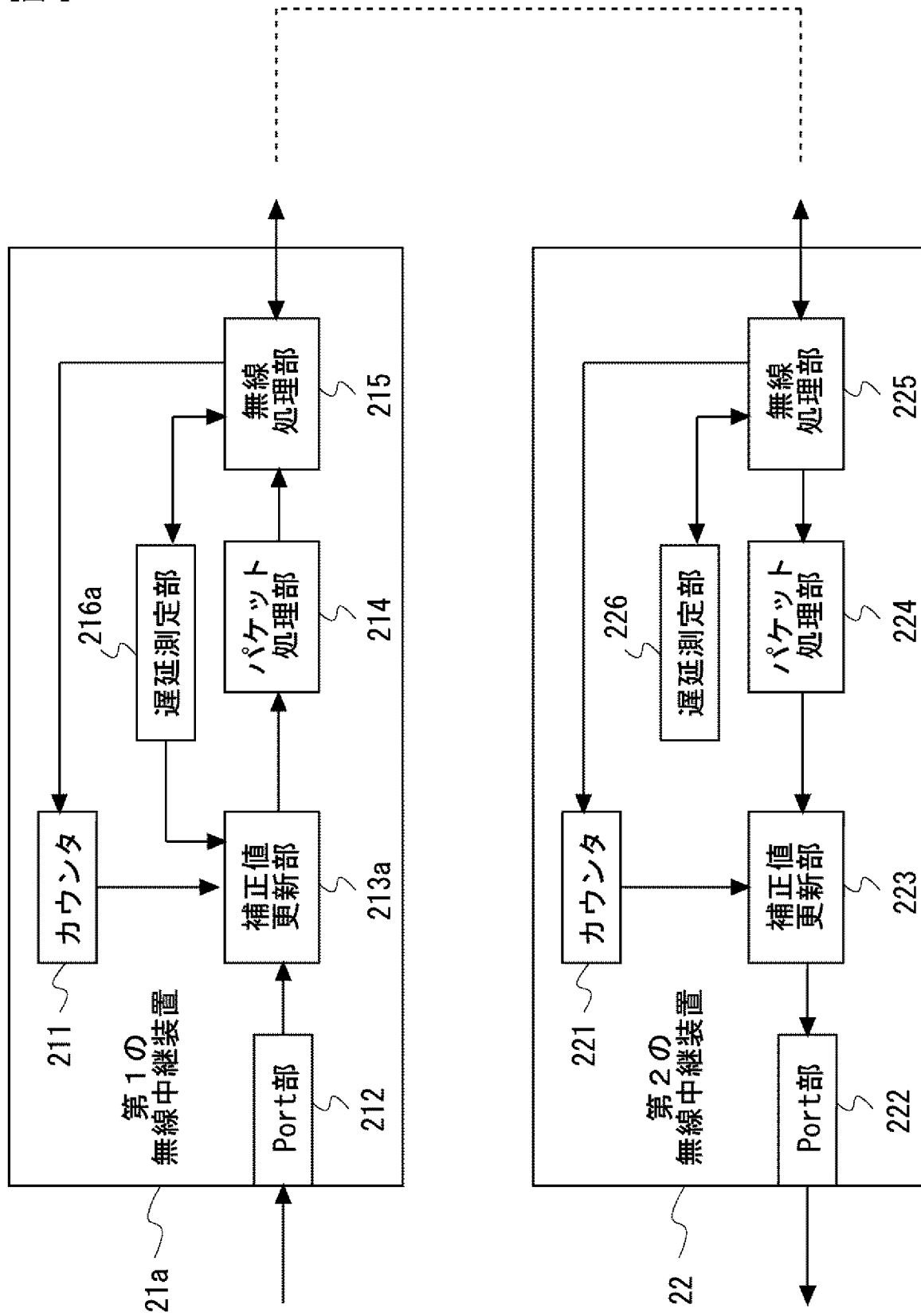
[図5]



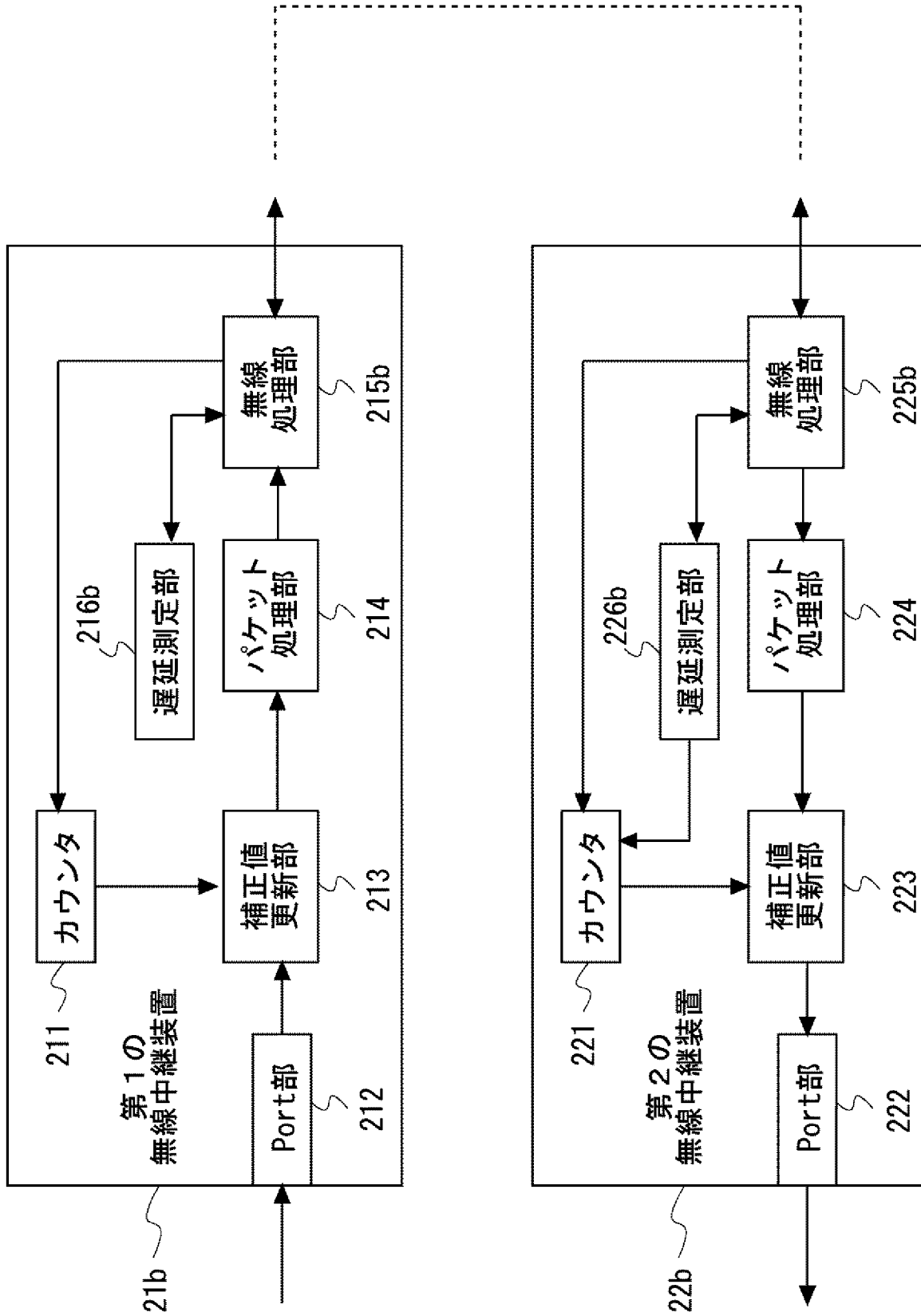
[図6]

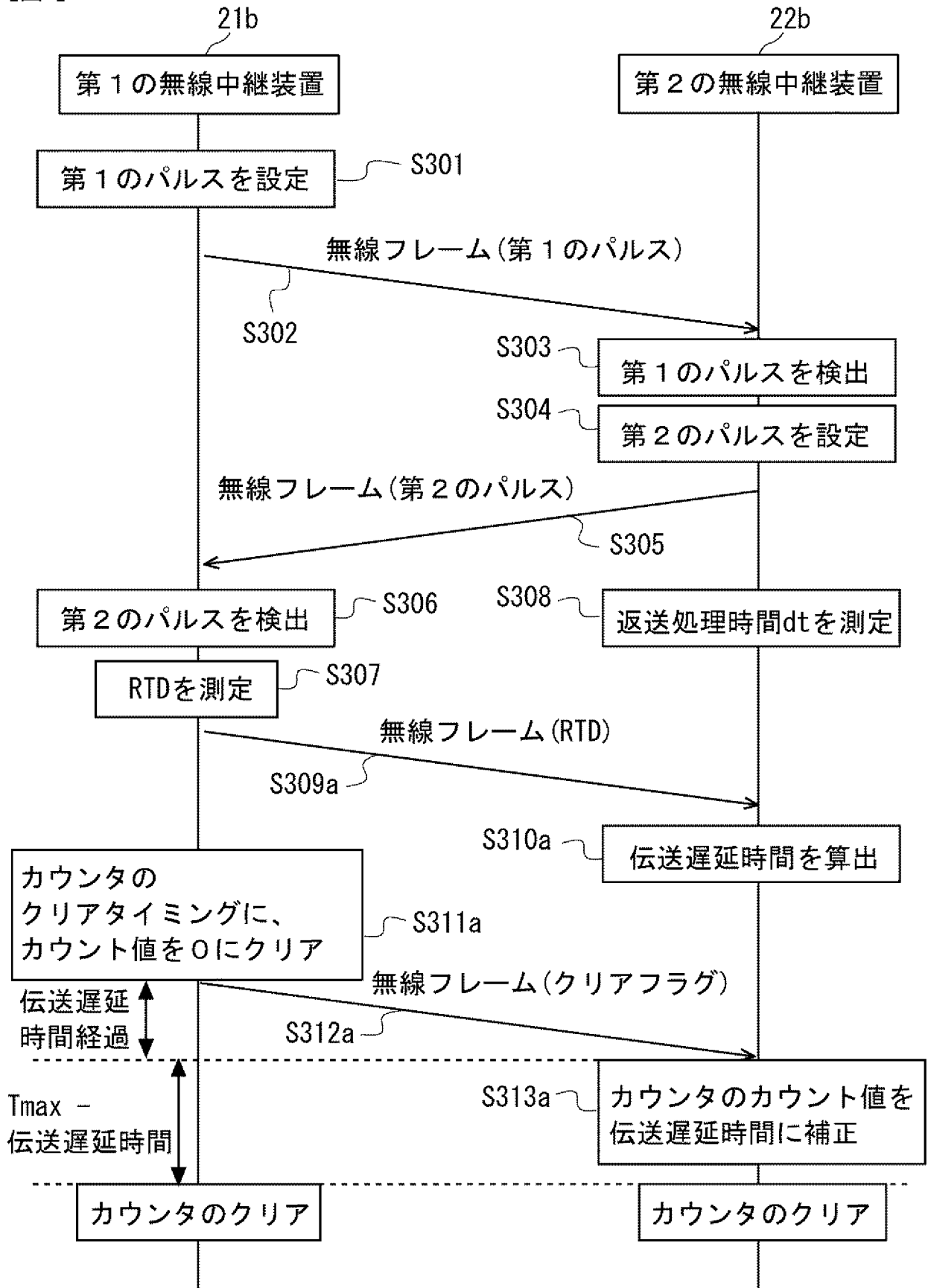


[図7]

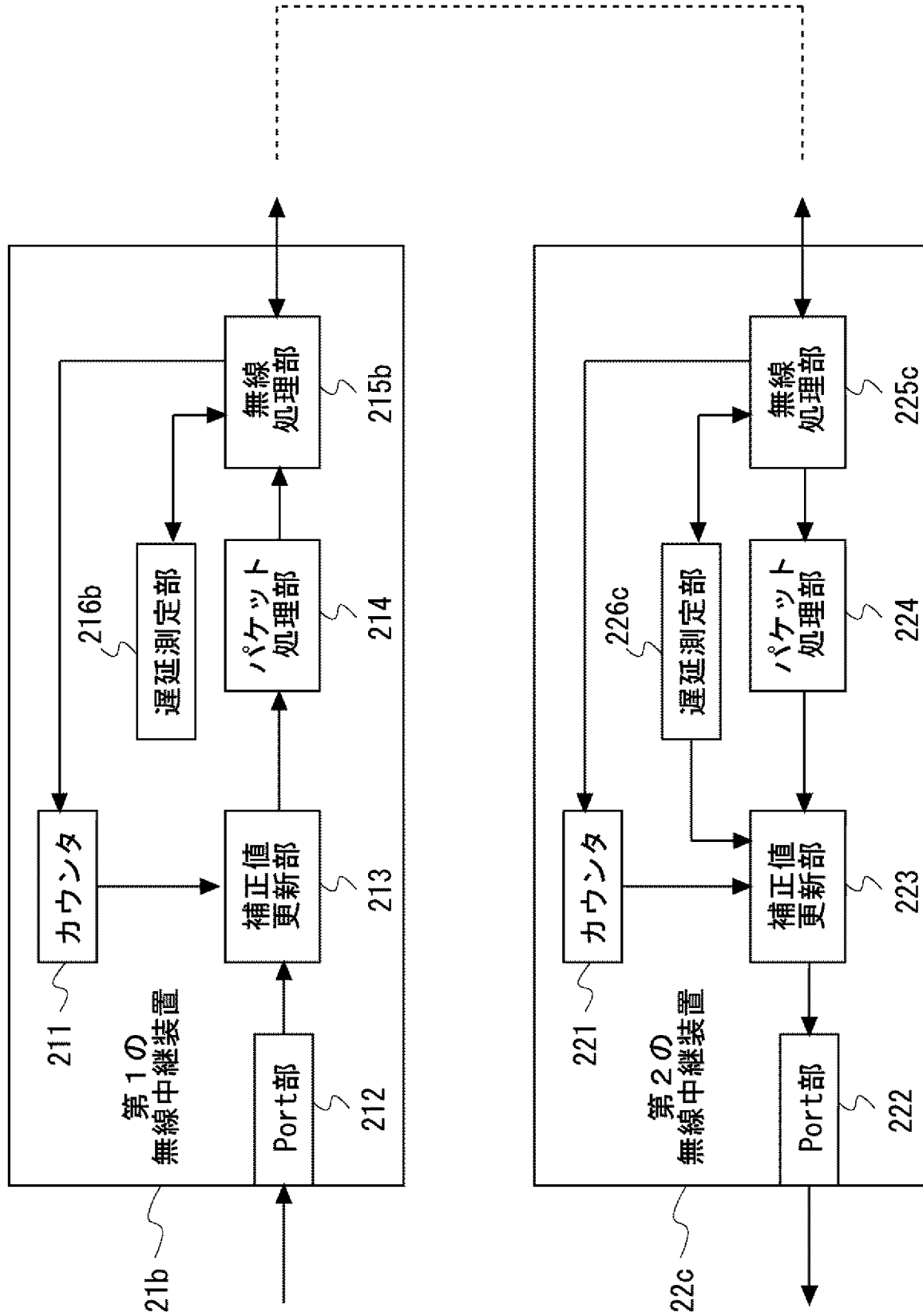


[図8]

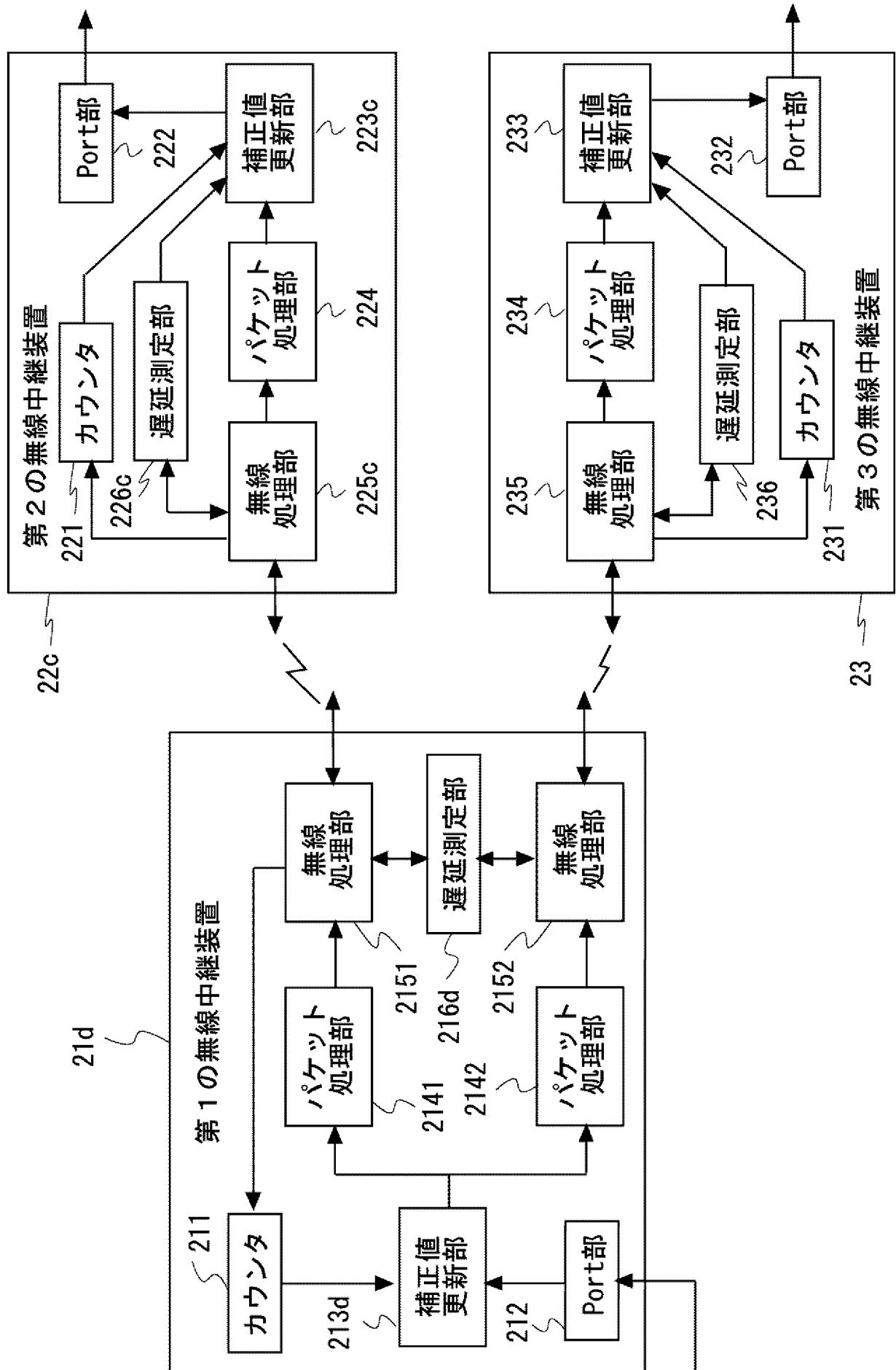




[図10]



[図11]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2015/004126

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER H04L7/00(2006.01) i		
According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC		
B. FIELDS SEARCHED Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols) H04L7/00		
Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched Jitsuyo Shinan Koho 1922-1996 Jitsuyo Shinan Toroku Koho 1996-2015 Kokai Jitsuyo Shinan Koho 1971-2015 Toroku Jitsuyo Shinan Koho 1994-2015		
Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)		
C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y A	JP 2012-34224 A (Hitachi Cable Ltd.), 16 February 2012 (16.02.2012), paragraph [0011]; fig. 1, 3 (Family: none)	1-4, 8-12 5-7
Y A	JP 5-161181 A (NEC Corp.), 25 June 1993 (25.06.1993), paragraph [0010]; fig. 1, 2 (Family: none)	1-4, 8-12 5-7
A	JP 2014-78781 A (Hitachi, Ltd.), 01 May 2014 (01.05.2014), entire text & US 2014/0098706 A1	1-12
☐ Further documents are listed in the continuation of Box C. ☐ See patent family annex.		
* Special categories of cited documents: "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance "E" earlier application or patent but published on or after the international filing date "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified) "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed "T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art "&" document member of the same patent family		
Date of the actual completion of the international search 20 October 2015 (20.10.15)		Date of mailing of the international search report 27 October 2015 (27.10.15)
Name and mailing address of the ISA/ Japan Patent Office 3-4-3, Kasumigaseki, Chiyoda-ku, Tokyo 100-8915, Japan		Authorized officer Telephone No.

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（I P C）） Int.Cl. H04L7/00(2006.01)i			
B. 調査を行った分野 調査を行った最小限資料（国際特許分類（I P C）） Int.Cl. H04L7/00			
最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの 日本国実用新案公報 1922-1996年 日本国公開実用新案公報 1971-2015年 日本国実用新案登録公報 1996-2015年 日本国登録実用新案公報 1994-2015年			
国際調査で使用した電子データベース（データベースの名称、調査に使用した用語）			
C. 関連すると認められる文献			
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号	
Y	JP 2012-34224 A（日立電線株式会社）2012.02.16, 段落[0011], 第1, 3図	1-4, 8-12	
A	（ファミリーなし）	5-7	
Y	JP 5-161181 A（日本電気株式会社）1993.06.25, 段落[0010], 第1, 2図	1-4, 8-12	
A	（ファミリーなし）	5-7	
☒ C欄の続きにも文献が列挙されている。 ☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。			
* 引用文献のカテゴリー 「A」 特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの 「E」 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの 「L」 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献（理由を付す） 「O」 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献 「P」 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願			
の日の後に公表された文献 「T」 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの 「X」 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの 「Y」 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの 「&」 同一パテントファミリー文献			
国際調査を完了した日 20.10.2015		国際調査報告の発送日 27.10.2015	
国際調査機関の名称及びあて先 日本国特許庁（I S A / J P） 郵便番号100-8915 東京都千代田区霞が関三丁目4番3号		特許庁審査官（権限のある職員） 阿部 弘 電話番号 03-3581-1101 内線 3556	5 K 9382

C (続き) . 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
A	JP 2014-78781 A (株式会社日立製作所) 2014.05.01, 全文 & US 2014/0098706 A1	1-12