

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第5716229号
(P5716229)

(45) 発行日 平成27年5月13日 (2015. 5. 13)

(24) 登録日 平成27年3月27日 (2015. 3. 27)

(51) Int. Cl.

F I

H O 4 L 7/00 (2006. 01)
G O 4 G 5/00 (2013. 01)H O 4 L 7/00 Z
G O 4 G 5/00 J

請求項の数 13 (全 26 頁)

(21) 出願番号 特願2011-287909 (P2011-287909)
 (22) 出願日 平成23年12月28日 (2011. 12. 28)
 (65) 公開番号 特開2013-138312 (P2013-138312A)
 (43) 公開日 平成25年7月11日 (2013. 7. 11)
 審査請求日 平成26年5月26日 (2014. 5. 26)

(73) 特許権者 000005108
 株式会社日立製作所
 東京都千代田区丸の内一丁目6番6号
 (74) 代理人 100114236
 弁理士 藤井 正弘
 (74) 代理人 100075513
 弁理士 後藤 政喜
 (74) 代理人 100120260
 弁理士 飯田 雅昭
 (72) 発明者 緒方 祐次
 東京都国分寺市東恋ヶ窪一丁目280番地
 株式会社日立製作所 中央研究所内
 (72) 発明者 山田 雅毅
 東京都国分寺市東恋ヶ窪一丁目280番地
 株式会社日立製作所 中央研究所内
 最終頁に続く

(54) 【発明の名称】時刻同期システム、管理ノード、及び時刻同期方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

時刻マスタと時刻スレーブと管理ノードとが複数のネットワークを介して接続された時刻同期システムであって、

前記時刻マスタは、所定のタイミングで時刻パケットを少なくとも一つのネットワークを介して前記時刻スレーブに送信し、

前記時刻スレーブは、

しきい値が前記複数のネットワークごとに登録されたしきい値情報を格納しており、

前記時刻マスタから送信された時刻パケットを前記ネットワークを介して受信し、前記しきい値情報を参照し、前記受信した時刻パケットに基づいて時刻の補正を実行するか否かを判定する時刻補正実行可否判定部と、

前記時刻補正実行可否判定部が前記時刻の補正を実行すると判定した場合、前記受信した時刻パケットに基づいて時刻を補正する時刻補正部と、を有し、

前記管理ノードは、

前記時刻パケットを送信するネットワークを他のネットワークに切り替えるか否かを判定するネットワーク切替判定部と、

前記時刻パケットを送信するネットワークを切り替えると判定した場合、当該切り替え先のネットワークを特定可能な情報を前記時刻スレーブに通知するネットワーク切替通知部と、を有することを特徴とする時刻同期システム。

【請求項 2】

10

20

請求項 1 に記載の時刻同期システムであって、
前記管理ノードは、前記時刻スレーブに格納されたしきい値を変更するか否かを判定するしきい値変更判定部を備え、
前記時刻スレーブは、前記ネットワークを介して受信した時刻パケットに関連した値であって、前記しきい値変更判定部による判定に用いられる動作値を格納し、
前記しきい値変更判定部は、前記動作値を取得し、前記取得した動作値に基づいて、前記しきい値を変更するか否かを判定することを特徴とする時刻同期システム。

【請求項 3】

請求項 2 に記載の時刻同期システムであって、
前記時刻スレーブは、
前記動作値が所定の条件に適合するか否かを判定し、
前記動作値が所定の条件に適合すると判定された場合、その旨を前記しきい値変更判定部に通知し、
前記しきい値変更判定部は、前記動作値が所定の条件に適合する旨が通知された場合、前記動作値を取得し、前記取得した動作値に基づいて、前記しきい値を変更するか否かを判定することを特徴とする時刻同期システム。

【請求項 4】

請求項 2 又は請求項 3 に記載の時刻同期システムであって、
前記時刻スレーブは、前記受信した時刻パケットのネットワーク遅延に関する値を算出する遅延算出部を有し、
前記遅延算出部によって算出された前記時刻パケットのネットワーク遅延に関する値を前記動作値として格納することを特徴とする時刻同期システム。

【請求項 5】

請求項 2 又は請求項 3 に記載の時刻同期システムであって、
前記時刻スレーブは、前記時刻補正実行可否判定部が時刻の補正を実行しないと判定した回数を前記動作値として格納することを特徴とする時刻同期システム。

【請求項 6】

請求項 1 から請求項 5 のいずれか一つに記載の時刻同期システムであって、
前記時刻スレーブは、前記受信した時刻パケットのネットワーク遅延に関する値を算出する遅延算出部を有し、
前記時刻補正実行可否判定部は、
前記しきい値情報から、前記時刻パケットを受信したネットワークに対応するしきい値を読み出し、
前記遅延算出部によって算出されたネットワーク遅延に関する値と前記読み出されたしきい値とに基づいて、前記時刻の補正を実行するか否かを判定することを特徴とする時刻同期システム。

【請求項 7】

請求項 6 に記載の時刻同期システムであって、
前記しきい値情報は、前記複数のネットワークのうち、前記時刻マスタによって前記時刻パケットが送信されるネットワークを特定可能な情報を含み、
前記時刻スレーブは、前記切り替え先のネットワークを特定可能な情報が通知された場合、前記切り替え先のネットワークが、前記時刻マスタによって前記時刻パケットが送信されるネットワークとなるように前記しきい値情報を更新することを特徴とする時刻同期システム。

【請求項 8】

請求項 6 又は請求項 7 に記載の時刻同期システムであって、
前記時刻マスタが前記時刻パケットを送信可能なネットワークは複数あって、
前記時刻補正実行可否判定部は、
前記遅延算出部によって算出されたネットワーク遅延に関する値が前記読み出されたしきい値以内である場合、前記遅延算出部によって算出されたネットワーク遅延に関する値

10

20

30

40

50

が、前記時刻マスタが前記時刻パケットを送信可能なネットワークの中で最小値であるか否かを判定し、

前記遅延算出部によって算出されたネットワーク遅延に関する値が、前記時刻マスタが前記時刻パケットを送信可能なネットワークの中で最小値であると判定された場合、前記時刻の補正を実行すると判定することを特徴とする時刻同期システム。

【請求項 9】

請求項 1 から請求項 8 のいずれか一つに記載の時刻同期システムであって、

前記時刻スレーブと前記複数のネットワークとの間に、前記複数のネットワークから前記時刻スレーブへと前記時刻パケットを中継する中継装置を備え、

前記中継装置は、前記複数のネットワークから前記時刻パケットを受信する時刻パケット受信部を前記複数のネットワークごとに有し、前記時刻スレーブに前記受信した時刻パケットを送信する時刻パケット送信部を有し、

前記複数のパケット受信部は、前記時刻パケットを受信した場合、自身の識別子を前記時刻パケットに含め、

前記時刻パケット送信部は、前記パケット受信部の識別子を含む時刻パケットを前記時刻スレーブに送信することを特徴とする時刻同期システム。

【請求項 10】

時刻マスタと時刻スレーブとが複数のネットワークを介して接続される時刻同期システムにおいて、前記複数のネットワークを管理する管理ノードであって、

前記時刻スレーブは、所定のタイミングで前記時刻マスタから送信された時刻パケットを、前記時刻パケットが送信されたネットワークを介して受信し、前記受信した時刻パケットに基づいて時刻を補正し、

前記管理ノードは、

前記時刻パケットを送信するネットワークを他のネットワークに切り替えるか否かを判定するネットワーク切替判定部と、

前記時刻パケットを送信するネットワークを切り替えると判定した場合、当該切り替え先のネットワークを特定可能な情報を前記時刻スレーブに通知するネットワーク切替通知部と、

前記時刻スレーブが時刻の補正を実行するか否かの判定に用いるしきい値を変更するか否かを判定するしきい値変更判定部と、を備え、

前記しきい値変更判定部は、

前記ネットワークを介して前記時刻スレーブが受信した時刻パケットに関連した値であって、前記しきい値変更判定部による判定に用いられる動作値を前記時刻スレーブから取得し、

前記取得した動作値に基づいて、前記しきい値を変更するか否かを判定することを特徴とする管理ノード。

【請求項 11】

請求項 10 に記載の管理ノードであって、

前記しきい値変更判定部が取得する動作値は、前記時刻スレーブが受信した時刻パケットのネットワーク遅延に関する値であることを特徴とする管理ノード。

【請求項 12】

請求項 10 に記載の管理ノードであって、

前記しきい値変更判定部が取得する動作値は、前記時刻スレーブが時刻の補正を実行しないと判定した回数であることを特徴とする管理ノード。

【請求項 13】

時刻マスタと時刻スレーブと管理ノードとが複数のネットワークを介して接続された時刻同期システムにおける時刻同期方法であって、

前記時刻スレーブは、しきい値が前記複数のネットワークごとに登録されたしきい値情報を格納しており、

前記時刻マスタが、所定のタイミングで時刻パケットを少なくとも一つのネットワーク

10

20

30

40

50

を介して前記時刻スレーブに送信するステップと、

前記時刻スレーブが、前記時刻マスタから送信された時刻パケットを前記ネットワークを介して受信し、前記しきい値情報を参照し、前記受信した時刻パケットに基づいて時刻の補正を実行するか否かを判定する時刻補正実行可否判定ステップと、

前記時刻補正実行可否判定ステップで前記時刻の補正を実行すると判定された場合、前記受信した時刻パケットに基づいて時刻を補正する時刻補正ステップと、

前記管理ノードが、前記時刻パケットを送信するネットワークを他のネットワークに切り替えるか否かを判定するネットワーク切替判定ステップと、

前記ネットワーク切替判定ステップで前記時刻パケットを送信するネットワークを切り替えると判定した場合、前記管理ノードが当該切り替え先のネットワークを特定可能な情報を前記時刻スレーブに通知するネットワーク切替通知ステップと、を含むことを特徴とする時刻同期方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、時刻マスタと時刻スレーブとを備える時刻同期システムに関し、特に、時刻スレーブが時刻マスタから送信される時刻パケットに基づいて自身が管理する時刻を補正する時刻同期システムに関する。

【背景技術】

【0002】

情報通信ネットワークの広域化及び高速化等に伴って、情報通信ネットワークの適用分野は拡大している。従来、地理的に限定された情報通信ネットワークを利用したシステムが構築されてきたが、現在では、地理的に限定されない広域に渡る情報通信ネットワークを利用した大規模なシステムが考えられている。このようなシステムの例として、スマートグリッド等のエネルギー管理システムが知られている。

【0003】

広域に渡る情報通信ネットワークを利用した大規模なシステムにおいては、ネットワークの信頼性を高めるという要求がある。ネットワークの信頼性を高めるために、時刻マスタが時刻パケットをネットワークを介して送信することによって時刻スレーブが管理する時刻と時刻マスタが管理する時刻とを高精度に同期する技術が考えられている。

【0004】

例えば、マイクロ秒単位で時刻を同期する技術として、IEEE1588v2がある。図19は、IEEE1588v2の基本原理の説明図である。IEEE1588v2における時刻同期システムは、時刻パケットを送信する時刻マスタと、時刻マスタにネットワークを介して接続され、時刻パケットを受信する時刻スレーブと、を備える。また、時刻パケットが通信されるネットワークは、トランスペアレントクロック機能を備えるスイッチによって構成される。トランスペアレントクロック機能は、スイッチ内でパケットを送信するためにかった時間を当該パケットに含めてパケットを中継する機能である。

【0005】

図20は、基本となるIEEE1588の時刻同期アルゴリズムによる通信シーケンスを表すシーケンス図である。時刻マスタと時刻スレーブとが双方向で通信し、時刻スレーブの時刻を時刻マスタの時刻に同期させる。

【0006】

時刻マスタは、時刻スレーブに対して、定期的にSyncメッセージを送信する。時刻マスタは、このSyncメッセージの送信時刻（以下、「Sync送信時刻」という。）T1を記録する。次に、時刻マスタは、時刻スレーブに対して、Follow_upメッセージを送信する。このとき、時刻マスタは、Follow_upメッセージの中に、Sync送信時刻T1を格納する。

【0007】

時刻スレーブは、Syncメッセージを受信すると、この受信処理をトリガとしてSyncメッセージの受信時刻（以下、「Sync受信時刻」という。）T2を記録する。次に、時刻スレー

10

20

30

40

50

ブはFollow_upメッセージを受信し、Follow_upメッセージ中に格納されるSync送信時刻T1を抽出し記録する。次に、時刻スレーブは、時刻マスタに対して、Delay_Requestメッセージを送信する。そして、時刻スレーブは、このDelay_Requestメッセージの送信時刻（以下、「Delay送信時刻」という。）T3を記録する。

【0008】

時刻マスタは、Delay_Requestメッセージを受信すると、この受信処理をトリガとしてDelay_Requestメッセージの受信時刻（以下、「Delay受信時刻」という。）T4を記録する。次に、時刻マスタは、時刻スレーブに対してDelay_Responseメッセージを送信する。このとき、時刻マスタは、Delay_Responseメッセージの中に、Delay受信時刻T4を格納する。

10

【0009】

時刻スレーブは、Delay_Responseメッセージを受信すると、Delay_Responseメッセージ中に格納されるDelay受信時刻T4を抽出し記録する。時刻スレーブは、Sync送信時刻T1、Sync受信時刻T2に基づいて、以下の式1から、時刻マスタにおける時刻（以下、「マスタ時刻」という。）と時刻スレーブにおける時刻（以下、「スレーブ時刻」という。）との差分MS_Diffを算出する。

$$MS_Diff = T2 - T1 \quad \dots \text{式 1}$$

また、時刻スレーブは、Delay送信時刻T3、Delay受信時刻T4に基づいて、以下の式2から、スレーブ時刻とマスタ時刻との差分を求める。

$$SM_Diff = T4 - T3 \quad \dots \text{式 2}$$

20

次に、MS_DiffとSM_Diffを用いて、以下の式3から、時刻マスタと時刻スレーブ間の方向の遅延Delayを求める。

$$Delay = (MS_Diff + SM_Diff) / 2 \quad \dots \text{式 3}$$

次に、以下の式4から、時刻マスタに対する時刻スレーブの時刻オフセットOffsetを求め、スレーブ時刻の修正を行う。

$$Offset = MS_Diff - Delay = ((T2 - T1) - (T4 - T3)) / 2 \quad \dots \text{式 4}$$

なお、前述した計算方法は、ネットワークの伝送遅延時間が一定であることを仮定している。

【0010】

一方で、時刻マスタと時刻スレーブとの間の伝搬遅延の変動及びネットワーク上の中継ノードで生じるキューイング遅延の変動があった場合に、より高い同期精度を得るには、より正確なネットワークの伝送遅延時間を計測することが必要となるため、図21に示すように、時刻同期ネットワークを構築するスイッチはトランスペアレントクロック機能を有する。図21は、IEEE1588v2によるトランスペアレントクロック機能を有するスイッチを含むシステムの時刻同期アルゴリズムによる通信シーケンスを表すシーケンス図である。トランスペアレントクロック機能を有するスイッチは、自身で生じた遅延時間T5-T4、T7-T6、T9-T8、及びT11-T10を時刻パケットに含めて転送する。この場合、時刻スレーブは、スイッチで生じた遅延時間を考慮して時刻を補正できる。

30

【0011】

このような時刻同期ネットワークを構築する場合、ネットワークを構築するすべてのスイッチがトランスペアレントクロック機能を有する必要がある。一方、既にネットワークに配置されているスイッチは、トランスペアレントクロック機能を持たないものが大部分を占めている。そのため、スイッチの置き換えや機能追加が必要となり、時刻同期ネットワークの構築コストや手間が増大する。このような問題の解決を目的として、通信ノードがそれ自身の遅延量を簡便な方法で計測し、時刻を補正する方式が知られている（例えば、特許文献1参照）。

40

【0012】

さらに、時刻同期ネットワークを構築するスイッチが特別な手段を有さずとも、時刻スレーブでネットワークのジッタを計測し、予め設定したジッタの許容値範囲外の際には時刻を補正しないようにして、時刻同期精度を高める方式が知られている（例えば、特許

50

文献 2 参照)。

【 0 0 1 3 】

また、特許文献 2 には、時刻スレーブで計測したネットワークのジッタを統計処理することによって、ジッタが大きく変化した場合に、時刻同期に用いるネットワーク経路が切り替わったことを検出することが開示されている。

【 先行技術文献 】

【 特許文献 】

【 0 0 1 4 】

【 特許文献 1 】 特開 2 0 1 1 - 1 3 5 4 8 2 号公報

【 特許文献 2 】 特開 2 0 0 9 - 0 7 7 2 0 7 号公報

10

【 発明の概要 】

【 発明が解決しようとする課題 】

【 0 0 1 5 】

特許文献 2 に開示された方式では、時刻スレーブはネットワーク経路が切り替わったことを検出するまでに複数回分の時刻パケットを受信する必要があり、ネットワーク経路が切り替わった直後に当該切替を検出することができず、その間の時刻同期精度が悪化するという課題が存在する。

【 0 0 1 6 】

また、特許文献 2 に開示された方式では、切替後のネットワーク経路と切替前のネットワーク経路とでジッタが大きく変化しない場合、ネットワーク経路の切替を検出できないという課題が存在する。

20

【 0 0 1 7 】

本発明は、複数のネットワークを用いた時刻同期システムにおいて、時刻スレーブがネットワークの切替を検出する時間を最小にすることによって、ネットワークの切替直後であっても適切な時刻補正を実行する時刻同期システ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 】

【 0 0 1 8 】

本発明の代表的な一例を示せば、時刻マスタと時刻スレーブと管理ノードとが複数のネットワークを介して接続された時刻同期システムであって、前記時刻マスタは、所定のタイミングで時刻パケットを少なくとも一つのネットワークを介して前記時刻スレーブに送信し、前記時刻スレーブは、しきい値が前記複数のネットワークごとに登録されたしきい値情報を格納しており、前記時刻マスタから送信された時刻パケットを前記ネットワークを介して受信し、前記しきい値情報を参照し、前記受信した時刻パケットに基づいて時刻の補正を実行するか否かを判定する時刻補正実行可否判定部と、前記時刻補正実行可否判定部が前記時刻の補正を実行すると判定した場合、前記受信した時刻パケットに基づいて時刻を補正する時刻補正部と、を有し、前記管理ノードは、前記時刻パケットを送信するネットワークを他のネットワークに切り替えるか否かを判定するネットワーク切替判定部と、前記時刻パケットを送信するネットワークを切り替えると判定した場合、当該切り替え先のネットワークを特定可能な情報を前記時刻スレーブに通知するネットワーク切替通知部と、を有することを特徴とする。

30

40

【 発明の効果 】

【 0 0 1 9 】

本願において開示される発明のうち代表的なものによって得られる効果を簡潔に説明すれば、下記の通りである。すなわち、複数のネットワークを用いた時刻同期システムにおいて、時刻スレーブがネットワークの切替を検出する時間を最小にすることによって、ネットワークの切替直後であっても適切な時刻補正を実行する時刻同期システムを提供できる。

【 図面の簡単な説明 】

【 0 0 2 0 】

【 図 1 】 本発明の第 1 実施形態の時刻同期システムの構成の説明図である。

50

【図 2】本発明の第 1 実施形態の時刻スレーブの構成の説明図である。

【図 3】本発明の第 1 実施形態の時刻補正部の構成の説明図である。

【図 4】本発明の第 1 実施形態のしきい値テーブルの説明図である。

【図 5】本発明の第 1 実施形態のしきい値テーブルの変形例の説明図である。

【図 6】本発明の第 1 実施形態の動作値テーブルの説明図である。

【図 7】本発明の第 1 実施形態の時刻補正部によって実行される時刻補正処理のフローチャートである。

【図 8】本発明の第 1 実施形態の管理ノードによる使用ネットワーク切替指示を時刻スレーブ 1 3 に通知するシーケンス図である。

【図 9】本発明の第 1 実施形態の管理ノードによる動作値テーブルの読出処理及びしきい値テーブルの書換処理のシーケンス図である。 10

【図 10】本発明の第 1 実施形態のしきい値変更判定処理のフローチャートである。

【図 11】本発明の第 1 実施形態の管理ノードの構成の説明図である。

【図 12】本発明の第 1 実施形態の時刻補正部のテーブル制御部によるしきい値テーブル 6 1 1 の事前設定処理のフローチャートである。

【図 13】本発明の第 1 実施形態の時刻補正部のテーブル制御部によるしきい値テーブル 6 1 1 の使用状態書換処理のフローチャートである。

【図 14】本発明の第 2 実施形態の時刻補正部の構成の説明図である。

【図 15】本発明の第 2 実施形態の時刻補正部によって実行される時刻補正処理のフローチャートである。 20

【図 16】本発明の第 3 実施形態の時刻同期システムの構成の説明図である。

【図 17】本発明の第 3 実施形態の中継装置の構成の説明図である。

【図 18】本発明の第 3 実施形態の時刻補正部の構成の説明図である。

【図 19】IEEE1588v2 の基本原理の説明図である。

【図 20】基本となる IEEE1588 の時刻同期アルゴリズムによる通信シーケンスを表すシーケンス図である。

【図 21】IEEE1588v2 によるトランスペアレントクロック機能を有するスイッチを含むシステムの時刻同期アルゴリズムによる通信シーケンスを表すシーケンス図である。

【発明を実施するための形態】

【0021】 30

(第 1 実施形態)

以下、本発明の第 1 実施形態を図 1 ~ 図 13 を用いて説明する。

【0022】

本実施形態の時刻同期システムは、複数の拠点間を結ぶ広域のネットワーク網を利用した時刻同期システムであり、時刻マスタが時刻パケットを送信するネットワークが切り替わった場合、管理ノードがネットワークの切替通知を時刻スレーブに送信する。これによって、時刻スレーブはネットワークが切り替わった旨をいち早く検出することができる。

【0023】

図 1 は、本発明の第 1 実施形態の時刻同期システムの構成の説明図である。

【0024】 40

時刻同期システムでは、時刻マスタ 10 が配置される制御拠点 400 と、時刻スレーブ 13 が配置される拠点 406 ~ 408 とが、広域ネットワーク 405 A 及び 405 B (以下、広域ネットワーク 405 A 及び 405 B を総称して広域ネットワーク 405 という) によって接続される。

【0025】

制御拠点 400 には、時刻マスタ 10、アプリケーションサーバ 401、管理ノード 402、及びネットワークノード 404 が配置される。ネットワークノード 404 は広域ネットワーク 405 に接続され、時刻マスタ 10、アプリケーションサーバ 401、管理ノード 402、及びネットワークノード 404 は、拠点内ネットワーク 403 を介して接続される。 50

【 0 0 2 6 】

時刻マスタ 1 0 は、定期的に時刻パケットを広域ネットワーク 4 0 5 を介して時刻スレーブ 1 3 に送信する。アプリケーションサーバ 4 0 1 は、アプリケーションを実行する計算機である。管理ノード 4 0 2 は、時刻マスタ 1 0 が時刻パケットの送信に用いる広域ネットワーク 4 0 5 を管理する計算機である。ネットワークノード 4 0 4 は、通信機能を備えるルータ又はスイッチである。

【 0 0 2 7 】

アプリケーションサーバ 4 0 1 は、後述するセンサ 4 0 9 によって検出された各種データを時刻スレーブ 1 3 及び広域ネットワーク 4 0 5 を介して収集し、収集した各種データを保存し、又は各種データに基づく演算処理を実行する。

10

【 0 0 2 8 】

拠点 4 0 6 には、時刻スレーブ 1 3、センサ 4 0 9、及び制御装置 4 1 0 が配置される。時刻スレーブ 1 3 には、センサ 4 0 9 及び制御装置 4 1 0 が有線又は無線の通信回線を介して接続される。

【 0 0 2 9 】

時刻スレーブ 1 3 は、広域ネットワーク 4 0 5 に接続されるネットワークノードで、通信機能の他に判定処理機能及び演算処理機能を備える高機能なネットワークノードである。時刻スレーブ 1 3 は、時刻を計時する機能を備え、時刻マスタ 1 0 から時刻パケットを受信することによって、時刻マスタ 1 0 と時刻を同期する。また、時刻スレーブ 1 3 は、センサ 4 0 9 によって検出されたデータの監視及び当該データに対して演算処理を実行する。さらに、時刻スレーブ 1 3 は、制御装置 4 1 0 に関連する処理を実行する。

20

【 0 0 3 0 】

時刻スレーブ 1 3 が受信する時刻パケットには、時刻パケットの送信に用いられる広域ネットワーク 4 0 5 の伝送遅延時間が発生する。この伝送遅延時間は、時刻スレーブ 1 3 が受信するたびに变化する。この伝送遅延時間の变化を伝送遅延時間の揺らぎ（ジッタ）という。この伝送遅延時間の揺らぎが時刻スレーブ 1 3 の時刻同期の誤差の原因となる。換言すれば、時刻パケットの伝送遅延時間が大きければ、時刻スレーブ 1 3 は、時刻パケットに基づいて時刻を補正しても、時刻マスタ 1 0 の時刻と同期できない場合がある。

【 0 0 3 1 】

そこで、本実施形態の時刻スレーブ 1 3 には、広域ネットワーク 4 0 5 ごとに時刻を補正するか否かのジッタのしきい値が設定され、時刻パケットのジッタがしきい値以内であれば、当該時刻パケットに基づいて時刻を補正する。

30

【 0 0 3 2 】

本実施形態では、時刻パケットの送信に用いられる広域ネットワーク 4 0 5 ごとにしきい値を時刻スレーブ 1 3 で管理し、管理ノード 4 0 2 から使用ネットワーク切替通知に基づいて時刻を補正するか否かの判定に用いるしきい値を変更することによって、広域ネットワーク 4 0 5 の切替直後であっても、切替後の広域ネットワーク 4 0 5 に対応するしきい値を用いて時刻を補正するか否かを判定できる。

【 0 0 3 3 】

また、本実施形態では、時刻スレーブ 1 3 が実際に受信した時刻パケットに関連する動作値を記憶しておき、管理ノード 4 0 2 が当該動作値を読み出し、読み出した動作値に基づいてしきい値が妥当か否かを判定する。これによって、しきい値の妥当性を検討できる。

40

【 0 0 3 4 】

センサ 4 0 9 及び制御装置 4 1 0 は、時刻スレーブ 1 3 が計時する時刻を利用する装置である。センサ 4 0 9 は、温度や電圧値などの物理的な情報を信号へと変換する機構の総称であり、例えば、温度センサ、湿度センサ、振動センサ、圧力センサ、人感センサ、マイク、及びカメラなどであり、多様なものが存在する。制御装置 4 1 0 は、入力された信号を物理的な運動へと変換する機構の総称であり、例えば、警報器、開閉スイッチ、及びモータなどであり、多様なものが存在する。

50

【 0 0 3 5 】

なお、時刻スレーブ 1 3 にはセンサ 4 0 9 及び制御装置 4 1 0 が必ずしも接続される必要はなく、時刻スレーブ 1 3 が計時する時刻を利用する何らかの装置が接続されていればよい。

【 0 0 3 6 】

また、時刻スレーブ 1 3 は、拠点 4 0 6 ~ 4 0 8 に配置されるものとして説明したが、拠点 4 0 6 ~ 4 0 8 単位ではなく、時刻スレーブ 1 3 の処理性能に応じて、部屋単位、フロア単位、又は建物単位で配置されてもよい。

【 0 0 3 7 】

さらに、時刻スレーブ 1 3、センサ 4 0 9、制御装置 4 1 0、及び広域ネットワーク 4 0 5 の数は、図 1 に限定されない。 10

【 0 0 3 8 】

図 2 は、本発明の第 1 実施形態の時刻スレーブ 1 3 の構成の説明図である。

【 0 0 3 9 】

時刻スレーブ 1 3 は、中央処理演算装置 (Central Processing Unit: CPU) 5 5、メモリ 5 6、及び入出力部 (Input Output Unit: I/O) 5 7 等のハードウェア 5 4 を備える。CPU 5 5 は、各種演算処理を実行する処理部である。メモリ 5 6 は、各種プログラム及びデータを記憶する記憶部である。I/O 5 7 は、広域ネットワーク 4 0 5、センサ 4 0 9 及び制御装置 4 1 0 へのインタフェースである。

【 0 0 4 0 】

ハードウェア 5 4 の上位層にはオペレーティングシステム (Operating System: OS) 5 3 があり、OS 5 3 は CPU 5 5 によって実行される。 20

【 0 0 4 1 】

OS 5 3 の上位層には、時刻補正部 5 0、時刻計時部 5 1、及びアプリケーション 5 2 が存在する。時刻補正部 5 0、時刻計時部 5 1、及びアプリケーション 5 2 は、CPU 5 5 がそれぞれに対応するプログラムを実行することによって実現される。

【 0 0 4 2 】

時刻補正部 5 0 は、時刻スレーブ 1 3 が受信した時刻パケットに基づいて時刻計時部 5 1 が計時する時刻を補正する。時刻計時部 5 1 は時刻を計時する。アプリケーション 5 2 は、時刻スレーブ 1 3 に接続されたセンサ 4 0 9 及び制御装置 4 1 0 に関連する処理を実行する。 30

【 0 0 4 3 】

図 3 は、本発明の第 1 実施形態の時刻補正部 5 0 の構成の説明図である。

【 0 0 4 4 】

時刻補正部 5 0 は、パケット送受信部 6 0 4 ~ 6 0 6、時刻パケット送受信部 6 0 7、ジッタ演算部 6 0 8、動作値テーブル 6 0 9、時刻補正実行可否判定部 6 1 0、しきい値テーブル 6 1 1、テーブル制御部 6 1 2 を備える。

【 0 0 4 5 】

パケット送受信部 6 0 4 ~ 6 0 6 は、通信インタフェース 6 0 1 ~ 6 0 3 が接続され、パケットを送受信する。パケット送受信部 6 0 4 には、通信路 6 1 3 (広域ネットワーク 4 0 5 A) に接続される通信インタフェース 6 0 1 が接続される。パケット送受信部 6 0 5 には、通信路 6 1 4 (広域ネットワーク 4 0 5 B) に接続される通信インタフェース 6 0 2 が接続される。パケット送受信部 6 0 6 には、通信路 6 1 5 (管理ノード 4 0 2 に接続されたネットワーク) に接続される通信インタフェース 6 0 3 が接続される。 40

【 0 0 4 6 】

時刻マスタ 1 0 が広域ネットワーク 4 0 5 A に送信した時刻パケットは、通信路 6 1 3 及び通信インタフェース 6 0 1 を介してパケット送受信部 6 0 4 によって受信される。時刻マスタ 1 0 が広域ネットワーク 4 0 5 B に送信した時刻パケットは、通信路 6 1 4 及び通信インタフェース 6 0 2 を介してパケット送受信部 6 0 5 によって受信される。

【 0 0 4 7 】

以上のように、本実施形態では、時刻パケットを伝送する通信路と通信インタフェースとパケット送受信部とは、時刻パケットの送信に用いられる広域ネットワーク４０５ごとに備える構成である。

【００４８】

また、時刻パケット送受信部６０７は、パケット送受信部６０４又は６０５から時刻パケットが入力されることによって、時刻パケットを受信する。なお、時刻パケット送受信部６０７は、ジッタ演算部６０８及び時刻補正実行可否判定部６１０に接続される。

【００４９】

ジッタ演算部６０８は、動作値テーブル６０９及び時刻補正実行可否判定部６１０に接続され、時刻パケット送受信部６０７が受信した時刻パケットの広域ネットワーク４０５によるジッタを算出する。ジッタの算出方法については図７で詳細を説明する。

10

【００５０】

動作値テーブル６０９は、テーブル制御部６１２に接続される。動作値テーブル６０９には、受信した時刻パケットに関連する値であって、管理ノード４０２によるしきい値変更判定処理（図１０参照）に用いる値が登録される。動作値テーブル６０９の詳細は図６で説明する。

【００５１】

時刻補正実行可否判定部６１０は、動作値テーブル６０９及びしきい値テーブル６１１に接続され、しきい値テーブル６１１を参照して、受信した時刻パケットに基づいて時刻の補正処理を実行するか否かを判定する。そして、時刻補正実行可否判定部６１０は、時刻の補正処理を実行すると判定した場合、時刻を補正し、補正した時刻情報を時刻計時部５１に通信路６１６を介して出力する。

20

【００５２】

しきい値テーブル６１１は、テーブル制御部６１２に接続される。しきい値テーブル６１１には、時刻補正実行可否判定部６１０による判定処理に用いる値が登録される。しきい値テーブル６１１の詳細は図４及び図５で詳細を説明する。

【００５３】

テーブル制御部６１２は、動作値テーブル６０９及びしきい値テーブル６１１を制御する。

【００５４】

30

図４は、本発明の第１実施形態のしきい値テーブル６１１の説明図である。しきい値テーブル６１１は、メモリ５６に記憶される。

【００５５】

しきい値テーブル６１１は、ネットワーク名７１、使用状態７２、遅延中央値７３、ジッタ中央値７４、及びジッタ許容誤差７５を含む。

【００５６】

ネットワーク名７１には、時刻スレーブ１３に接続される広域ネットワーク４０５を特定可能な情報が登録される。使用状態７２には、どの広域ネットワーク４０５が時刻パケットの送信に用いられているかを特定可能な情報が登録される。遅延中央値７３には、時刻パケットの広域ネットワーク４０５による遅延時間の中央値が登録される。ジッタ中央値７４には、時刻パケットの広域ネットワーク４０５によるジッタの中央値が登録される。ジッタ許容誤差７５には、時刻補正実行可否判定部６１０による判定処理に用いる値であって、ジッタ中央値７４に登録された値を基準とした幅を示す値が登録される。

40

【００５７】

なお、しきい値テーブル６１１に登録された値の精度及び単位は、時刻同期システムを構築する場合に任意に取り決めることが可能である。

【００５８】

図５は、本発明の第１実施形態のしきい値テーブル６１１の変形例の説明図である。

【００５９】

図５に示すしきい値テーブル６１１は、ジッタ中央値７４及びジッタ許容誤差７５の代

50

わりに、ジッタ最小しきい値 7 6 及びジッタ最大しきい値 7 7 を含む点で、図 4 に示すしきい値テーブル 6 1 1 と相違する。

【 0 0 6 0 】

ジッタ最小しきい値 7 6 には、時刻補正実行可否判定部 6 1 0 による判定処理に用いるジッタの最小値が登録される。ジッタ最大しきい値 7 7 には、時刻補正実行可否判定部 6 1 0 による判定処理に用いるジッタの最大値が登録される。

【 0 0 6 1 】

図 6 は、本発明の第 1 実施形態の動作値テーブル 6 0 9 の説明図である。

【 0 0 6 2 】

動作値テーブル 6 0 9 は、ネットワーク名 8 1、遅延平均値 8 2、ジッタ平均値 8 3、ジッタ標準偏差 8 4、時刻パケット到来回数 8 5、及び、時刻補正不実行回数 8 6 を含む。

【 0 0 6 3 】

ネットワーク名 8 1 には、時刻スレーブ 1 3 に接続される広域ネットワーク 4 0 5 を特定可能な情報が登録される。遅延平均値 8 2 には、時刻パケットの広域ネットワーク 4 0 5 による遅延時間の平均値が登録される。ジッタ平均値 8 3 には、時刻パケットの広域ネットワーク 4 0 5 によるジッタの平均値が登録される。ジッタ標準偏差 8 4 には、時刻パケットの広域ネットワーク 4 0 5 によるジッタの標準偏差が登録される。時刻パケット到来回数 8 5 には、時刻スレーブ 1 3 が時刻パケットを受信した回数が登録される。時刻補正不実行回数 8 6 には、時刻補正実行可否判定部 6 1 0 が時刻の補正処理を実行しないと判定した回数が登録される。

【 0 0 6 4 】

なお、遅延平均値 8 2、ジッタ平均値 8 3、及びジッタ標準偏差 8 4 は、時刻パケットの広域ネットワークによる遅延に関連する値である。また、ジッタ標準偏差 8 4 は動作値テーブル 6 0 9 に必ずしも含まれなくてもよい。

【 0 0 6 5 】

また、動作値テーブル 6 0 9 に登録された値の精度及び単位は、時刻同期システムを構築する場合に任意に取り決めることが可能である。

【 0 0 6 6 】

図 7 は、本発明の第 1 実施形態の時刻補正部 5 0 によって実行される時刻補正処理のフローチャートである。

【 0 0 6 7 】

まず、時刻パケット送受信部 6 0 7 は、時刻パケットに含まれる Sync メッセージを受信する (1 0 1)。次に、時刻パケット送受信部 6 0 7 は、時刻パケットに含まれる Follow_up を受信する (1 0 2)。次に、時刻パケット送受信部 6 0 7 は、Delay_Req メッセージを時刻マスタ 1 0 に送信する (1 0 3)。次に、時刻パケット送受信部 6 0 7 は、時刻パケットのうち Delay_Resp メッセージを受信する (1 0 4)。

【 0 0 6 8 】

ステップ 1 0 1 ~ 1 0 4 の処理は IEEE 1588v2 で規定された処理であり、これらの処理を実行することによって、時刻スレーブ 1 3 は時刻パケットを取得できる。

【 0 0 6 9 】

次に、ジッタ演算部 6 0 8 は、受信した時刻パケットの広域ネットワーク 4 0 5 による遅延量を算出し、算出した遅延量としきい値テーブル 6 1 1 の遅延中央値 7 3 に登録された値とを比較して、ジッタを算出する (1 0 5)。具体的には、ジッタ演算部 6 0 8 は、図 2 0 で説明した IEEE 1588v2 における時刻同期方法における時刻 T 1、T 2、T 3、及び T 4 を用いて広域ネットワーク 4 0 5 の遅延量を演算する。広域ネットワーク 4 0 5 の遅延量は式 5 によって算出される。

遅延量 = { (T 4 - T 3) + (T 2 - T 1) } / 2 …… 式 5

ジッタは、式 6 によって算出される。

ジッタ = 遅延中央値 - 遅延量 …… 式 6

また、ステップ１０５の処理では、ジッタ演算部６０８は、算出した遅延量及びジッタを用いて、動作値テーブル６０９の遅延平均値８２、ジッタ平均値８３、及びジッタ標準偏差８４に登録された値を更新する。さらに、ジッタ演算部６０８は、動作値テーブル６０９の時刻パケット到来回数８５をインクリメントする。

【００７０】

次に、時刻補正実行可否判定部６１０は、しきい値テーブル６１１に含まれる使用状態７２に登録された情報を読み出し、受信した時刻パケットの送信に用いられた広域ネットワーク４０５を判別する（１０６）。

【００７１】

次に、時刻補正実行可否判定部６１０は、しきい値テーブル６１１に登録されたエントリのうち、受信した時刻パケットの送信に用いられた広域ネットワーク４０５に対応するエントリに含まれるジッタ中央値７４及びジッタ許容誤差７５に登録された値をしきい値として読み出す（１０７）。

10

【００７２】

次に、時刻補正実行可否判定部６１０は、ステップ１０５の処理で算出されたジッタと、ステップ１０７の処理で読み出されたしきい値とを比較し、ステップ１０５の処理で算出されたジッタがステップ１０７の処理で読み出されたしきい値より小さいか否かを判定する（１０８）。

【００７３】

ステップ１０５の処理で算出されたジッタがステップ１０７の処理で読み出されたしきい値より小さいと、ステップ１０８の処理で判定された場合、時刻補正実行可否判定部６１０は、受信した時刻パケットに基づいて時刻の補正処理（１０９）を実行し、補正された時刻情報を時刻計時部５１に出力し、時刻補正処理を終了する。

20

【００７４】

ステップ１０５の処理で算出されたジッタがステップ１０７の処理で読み出されたしきい値上であると、ステップ１０８の処理で判定された場合、時刻補正実行可否判定部６１０は、受信した時刻パケットに基づいて時刻の補正処理（１０９）を実行せずに、動作値テーブル６０９の時刻補正不実行回数８６をインクリメントして、時刻補正処理を終了する。

【００７５】

30

図８は、本発明の第１実施形態の管理ノード４０２による使用ネットワーク切替指示を時刻スレーブ１３に通知するシーケンス図である。

【００７６】

広域ネットワーク４０５が自設されている場合等には、広域ネットワーク４０５を構成する通信機器１１１は、障害の発生を検出し（１１３Ａ）、障害の発生を示す障害情報を管理ノード４０２に送信する（１１４Ａ）。

【００７７】

また、広域ネットワーク提供事業者１１２が提供する広域ネットワーク４０５をユーザが利用する場合等には、広域ネットワーク提供事業者１１２のサーバが障害の発生を検出し（１１３Ｂ）、障害の発生を示す障害情報を管理ノード４０２に送信する（１１４Ｂ）。

40

【００７８】

なお、通信機器１１１及び広域ネットワーク提供事業者１１２のサーバから管理ノード４０２が障害情報を読み出すことによって、障害を検出してよい。

【００７９】

管理ノード４０２は、通信機器１１１又は広域ネットワーク提供事業者１１２のサーバから障害情報を受信した場合、ネットワーク切替判定処理を実行する（１１５Ａ及び１１５Ｂ）。ネットワーク切替判定処理は、時刻パケットの送信に用いる広域ネットワーク４０５に障害が検出された場合に、障害が検出されていない広域ネットワーク４０５を時刻パケットの送信に用いる広域ネットワーク（切替先の広域ネットワーク）４０５を特定す

50

る処理である。

【0080】

次に、管理ノード402は、切替先の広域ネットワークを特定可能な情報が含まれる使用ネットワーク切替指示をネットワークノード404に送信し(116A及び116B)、当該使用ネットワーク切替指示を時刻スレーブ13に送信する(117A及び117B)。

【0081】

ネットワークノード404は、使用ネットワーク切替指示を受信した場合、拠点内ネットワーク403から受信したパケットを送信する広域ネットワーク405を切替先の広域ネットワーク405に切り替える。これによって、時刻マスタ10が時刻パケットを送信する広域ネットワーク405が切替先の広域ネットワークに切り替えられる。

10

【0082】

一方、時刻スレーブ13は、使用ネットワーク切替指示を受信した場合、受信した使用ネットワーク切替指示に基づいて、しきい値テーブル611の使用状態72を書き換える。この処理は、図13で詳細を説明する。

【0083】

図9は、本発明の第1実施形態の管理ノード402による動作値テーブル609の読出処理及びしきい値テーブル611の書換処理のシーケンス図である。

【0084】

管理ノード402は、所定のタイミングで時刻スレーブ13に記憶された動作値テーブル609に登録された動作値の読み出しを開始し(121)、動作値読出指令を時刻スレーブ13に送信する(122)。動作値読出指令には、動作値を読み出す広域ネットワーク405を特定可能な情報が含まれるものとする。

20

【0085】

時刻スレーブ13は、動作値読出指令を受信した場合、動作値テーブル609に登録されたエントリのうち、ネットワーク名81が受信した動作値読出指令に含まれる広域ネットワーク405を特定可能な情報と一致するエントリを選択し、選択したエントリの遅延平均値82～時刻補正不実行回数86に登録された値を動作値として読み出す(123)。そして、時刻スレーブ13は、読み出した動作値を管理ノード402に送信する(124)。

30

【0086】

管理ノード402は、動作値を受信した場合、受信した動作値に基づいてしきい値を変更する必要があるか否かを判定するしきい値変更判定処理を実行する(125)。しきい値変更判定処理の詳細は図10で説明する。

【0087】

しきい値変更判定処理でしきい値を変更する必要があると判定された場合、管理ノード402は、時刻スレーブ13のしきい値テーブル611に登録されたしきい値を書き換える指令であるしきい値書換指令を時刻スレーブ13に送信する(126)。しきい値書換指令には、しきい値を書き換える広域ネットワーク405を特定可能な情報、及びしきい値の書換値が含まれる。

40

【0088】

時刻スレーブ13は、しきい値書換指令を受信した場合、受信したしきい値書換指令に基づいて、しきい値テーブル611に登録されたしきい値を書き換える(127)。具体的には、時刻スレーブ13は、しきい値テーブル611に登録されたエントリのうち、ネットワーク名71がしきい値書換指令に含まれる広域ネットワーク405を特定可能な情報と一致するエントリを選択する。そして、時刻スレーブ13は、選択したエントリのしきい値を書き換える。時刻スレーブ13が図4に示すしきい値テーブル611を記憶している場合、時刻スレーブ13は、ジッタ許容誤差75をしきい値の書換値に基づいて書き換える。一方、時刻スレーブ13が図5に示すしきい値テーブル611を記憶している場合、時刻スレーブ13は、ジッタ最小しきい値76及びジッタ最大しきい値77をしきい

50

値の書換値に基づいて書き換える。

【0089】

時刻スレーブは、しきい値を書き換えた場合、書換完了通知を管理ノード402に送信する(128)。

【0090】

以上のように、管理ノード402は、時刻スレーブ13が実際に受信した時刻パケットに関する情報に基づいて、現在設定されているしきい値が妥当が否かを判定し、しきい値が妥当でない場合、しきい値を変更することができるので、しきい値を妥当な値に保つことができる。

【0091】

なお、管理ノード402は、動作値読出指令に動作値を読み出す広域ネットワーク405を特定可能な情報が含まれるものとして説明したが、時刻スレーブ13に記憶された動作値テーブル609に登録された動作値の広域ネットワーク405のすべてのエントリを読み出してもよい。例えば、管理ノード402は、動作値テーブル609に登録されたすべてのエントリを読み出すという情報を含んだ動作値読出指令を時刻スレーブ13に送信し、時刻スレーブ13はすべてのエントリの遅延平均値82～時刻補正不実行回数86に登録された値を動作値として読出し、読み出した動作値を管理ノード402に送信する。そして、管理ノード402は、読み出したエントリ毎にしきい値を変更する必要があるか否かを判定し、しきい値を変更する必要があるエントリだけのしきい値書換指令を送信してもよい。

【0092】

また、図9では、管理ノード402が所定のタイミングで動作値読出指令を時刻スレーブ13に送信するとしたが、時刻スレーブ13が動作値テーブル609に登録された動作値が所定の条件を満たす場合にその旨を管理ノード402に通知し、管理ノード402は、動作値が所定の条件を満たす旨が通知された場合、動作値読出指令を時刻スレーブ13に送信するようにしてもよい。例えば、時刻スレーブ13は、動作値テーブル609のジッタ標準偏差84が所定値である1.5を超えた場合に、その旨を通知するようにしてもよい。

【0093】

これによって、しきい値が妥当でない可能性が高い場合にのみ、しきい値変更判定処理が実行されるので、管理ノード402の処理負荷を軽減することができる。

【0094】

図10は、本発明の第1実施形態のしきい値変更判定処理のフローチャートである。

【0095】

しきい値変更判定処理は、図11に示す管理アプリケーション131に含まれる処理であり、図11に示すCPU134によって実行される。

【0096】

まず、管理ノード402は、受信した動作値に含まれる時刻補正不実行回数86に登録された値が所定の範囲内にあるか否かを判定する(2101)。

【0097】

時刻補正不実行回数86に登録された値が所定の範囲内ないと判定された場合、管理ノード402は、しきい値を変更する必要があると判定し(2104)、しきい値の書換値を決定し、しきい値変更判定処理を終了する。

【0098】

具体的には、時刻補正不実行回数86に登録された値が所定の範囲の下限値を下回る場合、広域ネットワーク405による時刻パケットの遅延のばらつきが小さいので、管理ノード402は、しきい値の幅を所定値だけ狭めるように書換値を決定する。一方、時刻補正不実行回数86に登録された値が所定の範囲の上限値を上回る場合、広域ネットワーク405による時刻パケットの遅延のばらつきが大きいので、管理ノード402は、しきい値の幅を所定値だけ広めるように書換値を決定する。なお、しきい値の幅を変更するため

10

20

30

40

50

の所定値はユーザが設定可能である。

【0099】

時刻補正不実行回数86に登録された値が所定の範囲内にあると判定された場合、管理ノード402は、(ジッタ平均値83に登録された値)±(ジッタ標準偏差84に登録された値)を算出し、算出した値が所定の範囲内にある否かを判定する(2102)。

【0100】

ステップ2102の処理で算出した値が所定の範囲内ないと判定された場合、ステップ2104の処理に進み、管理ノード402は、しきい値の書換値を決定し、しきい値変更判定処理を終了する。ここでは、ステップ2102の処理で算出した値が所定の範囲内でない場合、広域ネットワーク405による時刻パケットの遅延のばらつきが大きいので、管理ノード402は、しきい値の幅を所定値だけ広めるように書換値を決定する。ステップ2102の処理で算出した値が所定の範囲内にあると判定された場合、管理ノード402は、しきい値を変更する必要がないと判定し、しきい値変更判定処理を終了してもよい。

10

【0101】

ステップ2102の処理で算出した値が所定の範囲内にあると判定された場合、管理ノード402は、受信した動作値に含まれる遅延平均値82に登録された値が所定の範囲内にあるか否かを判定する(2103)。なお、この所定の範囲は、当該遅延平均値82に対応する遅延中央値73からの所定の範囲が設定されるとよい。

【0102】

ステップ2103の処理で、遅延平均値82に登録された値が所定の範囲内ないと判定された場合、ステップ2104の処理に進み、管理ノード402は、しきい値の書換値を決定し、しきい値変更判定処理を終了する。ここでは、遅延平均値82に登録された値が所定の範囲内ない場合は、広域ネットワーク405による時刻パケットの遅延のばらつきが大きいので、管理ノード402は、しきい値の幅を所定値だけ広めるように書換値を決定する。

20

【0103】

ステップ2103の処理で、遅延平均値82に登録された値が所定の範囲内にあると判定された場合、管理ノード402は、しきい値を変更する必要がないと判定し、しきい値変更判定処理を終了する。

30

【0104】

なお、このしきい値変更判定処理は、時刻スレーブ13が動作値テーブル609を参照して実行するものであってもよく、この場合、時刻スレーブ13は判定結果を管理ノード402に通知してもよい。

【0105】

また、ステップ2102の処理では、管理ノード402が(ジッタ平均値)±(ジッタ標準偏差)を計算したが、様々な変形例が含まれる。例えば、(ジッタ平均値)±2×(ジッタ標準偏差)を計算してもよい。この処理では、ジッタがどの範囲にどのような割合で散らばっているかを判定する処理であるためである。

【0106】

さらに、ステップ2101の処理では、受信した動作値に含まれる時刻補正不実行回数86に登録された値が所定の範囲内にあるか否かを管理ノード402が判定したが、受信した動作値に含まれる時刻補正不実行回数86に登録された値と受信した動作値に含まれる時刻パケット到来回数85に登録された値との比が、所定の範囲内にあるか否かを判定してもよい。

40

【0107】

図11は、本発明の第1実施形態の管理ノード402の構成の説明図である。

【0108】

管理ノード402は、中央処理演算装置(Central Processing Unit: CPU)134、メモリ135、及び入出力部(Input Output Unit: I/O)136等のハードウェア

50

１３３を備える。ＣＰＵ１３４は、各種演算処理を実行する処理部である。メモリ１３５は、各種プログラム及びデータを記憶する記憶部である。Ｉ／Ｏ１３６は、拠点内ネットワーク４０３へのインタフェースである。

【０１０９】

ハードウェア１３３の上位層にはオペレーティングシステム（Operating System：ＯＳ）１３２が存在し、ＯＳ１３２はＣＰＵ１３４によって実行される。

【０１１０】

ＯＳ１３２の上位層には、管理アプリケーション１３１が存在する。管理アプリケーション１３１は、ＣＰＵ１３４が対応するプログラムを実行することによって実現される。

【０１１１】

管理アプリケーション１３１は、前述した図８に示すネットワーク切替判定処理１１５Ａ及び１１５Ｂ、図９に示す動作値の読出開始処理１２１、図９及び図１０に示すしきい値変更判定処理１２５を含む。

【０１１２】

図１２は、本発明の第１実施形態の時刻補正部５０のテーブル制御部６１２によるしきい値テーブル６１１の事前設定処理のフローチャートである。

【０１１３】

まず、テーブル制御部６１２は、しきい値テーブル６１１の事前設定情報を管理ノード４０２から受信する（１４１）。事前設定情報には、広域ネットワーク４０５の名称、使用状態、遅延中央値、ジッタ中央値、及びジッタ許容誤差が含まれる。

【０１１４】

次に、テーブル制御部６１２は、受信した事前設定情報をしきい値テーブル６１１に書き込む（１４２）。

【０１１５】

具体的には、しきい値テーブル６１１に新たなエントリを生成し、生成したエントリのネットワーク名７１には事前設定情報に含まれる広域ネットワーク４０５の名称が書き込まれ、使用状態７２には事前設定情報に含まれる使用状態が書き込まれ、遅延中央値７３には事前設定情報に含まれる遅延中央値が書き込まれ、ジッタ中央値７４には事前設定情報に含まれるジッタ中央値が書き込まれ、ジッタ許容誤差７５には事前設定情報に含まれるジッタ許容誤差が書き込まれる。

【０１１６】

次に、テーブル制御部６１２は、しきい値テーブル６１１への書き込みが完了した旨を管理ノード４０２に通知し（１４３）、事前設定処理を終了する。

【０１１７】

以上のように、しきい値テーブル６１１は事前に設定されるテーブルであって、管理ノード４０２がしきい値テーブル６１１を事前に設定できる。

【０１１８】

図１３は、本発明の第１実施形態の時刻補正部５０のテーブル制御部６１２によるしきい値テーブル６１１の使用状態書換処理のフローチャートである。使用状態書換処理は、所定のタイミングで繰り返し実行される。

【０１１９】

まず、テーブル制御部６１２は、管理ノード４０２から送信される使用ネットワーク切替指示を受信したか否かを判定する（１５１）。

【０１２０】

ステップ１５１の処理で使用ネットワーク切替指示を受信していないと判定された場合、使用状態書換処理を終了する。

【０１２１】

一方、ステップ１５１の処理で使用ネットワーク切替指示を受信したと判定された場合、テーブル制御部６１２は、使用ネットワーク切替指示に基づいて、しきい値テーブル６１１の使用状態７２を書き換え（１５２）、使用状態書換処理を終了する。

10

20

30

40

50

【 0 1 2 2 】

具体的には、テーブル制御部 6 1 2 は、しきい値テーブル 6 1 1 に登録されたエントリのうち、ネットワーク名 7 1 が受信した使用ネットワーク切替指示に含まれる切替先の広域ネットワーク 4 0 5 を特定可能な情報と一致するエントリを選択し、選択したエントリの使用状態 7 2 を使用中に更新する。また、時刻スレーブ 1 3 は、しきい値テーブル 6 1 1 に登録されたエントリのうち、使用状態 7 2 が使用中であったエントリを選択し、選択したエントリの使用状態を未使用に更新する。

【 0 1 2 3 】

これによって、時刻スレーブ 1 3 の時刻補正実行可否判定部 6 1 0 は、しきい値テーブル 6 1 1 からしきい値を読み取る場合の処理（図 7 に示すステップ 1 0 7 の処理）を、時刻パケットを受信した広域ネットワーク 4 0 5 を一回ごとに特定するよりも高速化することができる。

10

【 0 1 2 4 】

本実施形態では、時刻マスタ 1 0 が時刻パケットの送信に用いる広域ネットワーク 4 0 5 を管理ノード 4 0 2 が管理し、時刻マスタ 1 0 が時刻パケットの送信に用いる広域ネットワーク 4 0 5 を他の広域ネットワーク 4 0 5 に切り替えた場合、切替先の広域ネットワーク 4 0 5 を時刻スレーブ 1 3 に通知する。これによって、時刻スレーブ 1 3 は、時刻マスタ 1 0 が時刻パケットの送信に用いる広域ネットワーク 4 0 5 の切替直後に、当該切替を検出できる。

【 0 1 2 5 】

20

また、管理ノード 4 0 2 が、時刻スレーブ 1 3 が実際に受信した時刻パケットに関する値に基づいて、しきい値の妥当性を判定するので、時刻スレーブ 1 3 は適切なしきい値に基づいて時刻の補正を実行するか否かを判定できる。

【 0 1 2 6 】

（第 2 実施形態）

本発明の第 2 実施形態について図 1 4 及び図 1 5 を用いて説明する。

【 0 1 2 7 】

第 1 実施形態では、時刻マスタ 1 0 が時刻パケットの送信に用いる広域ネットワーク 4 0 5 が複数のうちから一つを選択して使用する場合を説明したが、第 2 実施形態では、時刻マスタ 1 0 が時刻パケットの送信に用いる広域ネットワーク 4 0 5 が複数のうちから少なくとも一つ以上を選択して使用する場合における第 1 実施形態の差分について説明する。

30

【 0 1 2 8 】

図 1 4 は、本発明の第 2 実施形態の時刻補正部 1 6 0 0 の構成の説明図である。なお、時刻補正部 1 6 0 0 の構成のうち、図 3 に示す時刻補正部 5 0 と同じ構成は同じ符号を付与し、説明を省略する。

【 0 1 2 9 】

本実施形態の時刻補正部 1 6 0 0 は、広域ネットワーク 4 0 5 ごとに時刻パケット送受信部 6 0 7 及びジッタ演算部 6 0 8 を備える点で第 1 実施形態の時刻補正部 5 0 と異なる。具体的には、広域ネットワーク 4 0 5 A と接続されるパケット送受信部 6 0 4 には時刻パケット送受信部 A 6 0 7 A が接続され、時刻パケット送受信部 A 6 0 7 A にはジッタ演算部 A 6 0 8 A が接続される。また、広域ネットワーク 4 0 5 B に接続されるパケット送受信部 6 0 5 には時刻パケット送受信部 B 6 0 7 B が接続され、時刻パケット送受信部 B 6 0 7 B にはジッタ演算部 B 6 0 8 B が接続される。

40

【 0 1 3 0 】

図 1 5 は、本発明の第 2 実施形態の時刻補正部 1 6 0 0 によって実行される時刻補正処理のフローチャートである。本実施形態の時刻補正処理のうち、図 7 に示す第 1 実施形態の時刻補正処理と同じ処理は同じ符号を付与し、説明を省略する。

【 0 1 3 1 】

本実施形態の時刻補正処理では、ステップ 1 0 8 の処理において、ステップ 1 0 5 の処

50

理で算出されたジッタがステップ 1 0 7 の処理で読み出されたしきい値より小さいと判定された場合、時刻補正実行可否判定部 6 1 0 は、使用中の広域ネットワーク 4 0 5 のうち、ステップ 1 0 5 の処理で算出されたジッタが最小であるか否かを判定する (1 7 0 1)
。

【 0 1 3 2 】

ステップ 1 7 0 1 の処理で、使用中の広域ネットワーク 4 0 5 のうち、ステップ 1 0 5 の処理で算出されたジッタが最小であると判定された場合、時刻補正実行可否判定部 6 1 0 は、ステップ 1 0 9 の処理に進み、受信した時刻パケットに基づいて時刻の補正処理 (1 0 9) を実行し、補正された時刻情報を時刻計時部 5 1 に出力し、時刻補正処理を終了する。

10

【 0 1 3 3 】

一方、ステップ 1 7 0 1 の処理で、使用中の広域ネットワーク 4 0 5 のうち、ステップ 1 0 5 の処理で算出されたジッタが最小でないと判定された場合、時刻補正実行可否判定部 6 1 0 は、受信した時刻パケットに基づいて時刻の補正処理 (1 0 9) を実行せずに、動作値テーブル 6 0 9 の時刻補正不実行回数 8 6 をインクリメントして、時刻補正処理を終了する。

【 0 1 3 4 】

本実施形態では、時刻マスタ 1 0 が時刻パケットの送信に用いる広域ネットワーク 4 0 5 が複数であるため、複数の広域ネットワーク 4 0 5 から時刻パケットを受信する。このため、受信した広域ネットワーク 4 0 5 によるジッタが異なるので、ステップ 1 7 0 1 の処理をしないで、時刻の補正処理が実行なされると、補正によって時刻が不正確になってしまう可能性がある。そこで、本実施形態では、ステップ 1 7 0 1 の処理を実行して、使用中の広域ネットワーク 4 0 5 のうち、ステップ 1 0 5 の処理で算出されたジッタが最小である場合にのみ、時刻の補正処理が実行されるようにし、補正によって時刻が不正確になることを防止する。

20

【 0 1 3 5 】

(第 3 実施形態)

本発明の第 3 実施形態について図 1 6 ~ 図 1 8 を用いて説明する。

【 0 1 3 6 】

本実施形態では、時刻スレーブ 1 3 は、広域ネットワーク 4 0 5 と時刻スレーブ 1 3 との間に中継装置 1 8 1 を備える。以下、第 3 実施形態について、第 1 実施形態の差分を説明する。

30

【 0 1 3 7 】

第 1 実施形態では、時刻スレーブ 1 3 が広域ネットワーク 4 0 5 及び管理ノードに接続されるネットワークごとに通信インタフェース 6 0 1 ~ 6 0 3 及びパケット送受信部 6 0 4 ~ 6 0 6 を備える構成であったが、本実施形態では、中継装置 1 8 1 が物理的な三つのネットワークインタフェースを一つのネットワークインタフェースに変換することによって、時刻スレーブ 1 3 は一つの通信インタフェース 2 0 0 1 (図 1 8 参照) 及びパケット送受信部 2 0 0 2 (図 1 8 参照) を備えるだけでよい。

【 0 1 3 8 】

図 1 6 は、本発明の第 3 実施形態の時刻同期システムの構成の説明図である。

40

【 0 1 3 9 】

中継装置 1 8 1 は、広域ネットワーク 4 0 5 A 及び 4 0 5 B に接続されるとともに、時刻スレーブ 1 3 にも接続される。すなわち、中継装置 1 8 1 は広域ネットワーク 4 0 5 と時刻スレーブ 1 3 との間を中継する。

【 0 1 4 0 】

図 1 7 は、本発明の第 3 実施形態の中継装置 1 8 1 の構成の説明図である。

【 0 1 4 1 】

中継装置 1 8 1 は、広域ネットワーク 4 0 5 に通信路 1 9 1 2 ~ 1 9 1 4 を介して接続され、時刻スレーブ 1 3 に通信路 1 9 1 1 を介して接続される。

50

【 0 1 4 2 】

中継装置 1 8 1 は、広域ネットワーク 4 0 5 側に三つの通信インタフェース 1 9 0 2 ~ 1 9 0 4、及び三つのパケット送受信部 1 9 0 5 ~ 1 9 0 7 を備え、時刻スレーブ 1 3 側に一つの通信インタフェース 1 9 1 0、及び一つのパケット送受信部 1 9 0 9 を備える。

【 0 1 4 3 】

中継装置 1 8 1 の広域ネットワーク 4 0 5 側のパケット送受信部 1 9 0 5 ~ 1 9 0 7 と、時刻スレーブ 1 3 側のパケット送受信部 1 9 0 9 とは排他制御・重複排除部 1 9 0 8 を介して接続される。

【 0 1 4 4 】

排他制御・重複排除部 1 9 0 8 は、受信した複数のパケットを排他制御することによって、複数のパケットから所望のパケットを選択して通信する機能と、複数のパケットを重複排除することによって、受信した複数のパケットから重複したパケットを排除して通信する機能を備える。

10

【 0 1 4 5 】

図 1 8 は、本発明の第 3 実施形態の時刻補正部 2 0 0 0 の構成の説明図である。なお、本実施形態の時刻補正部 2 0 0 0 のうち、図 3 に示す第 1 実施形態の時刻補正部 5 0 及び図 1 4 に示す第 2 実施形態の時刻補正部 1 6 0 0 と同じ処理は同じ符号を付与し、説明を省略する。

【 0 1 4 6 】

時刻スレーブ 1 3 は、中継装置 1 8 1 との通信路 2 0 1 0 に接続された通信インタフェース 2 0 0 1 を備える。時刻補正部 2 0 0 0 は、通信インタフェース 2 0 0 1 に接続され、中継装置 1 8 1 とパケットを送受信するパケット送受信部 2 0 0 2 を備える。

20

【 0 1 4 7 】

本実施形態では、通信路 2 0 1 0、通信インタフェース 2 0 0 1、パケット送受信部 2 0 0 2 がそれぞれ一つで構成されることが特徴である。通信インタフェース 2 0 0 1 では、時刻マスタ 1 0 及び管理ノード 4 0 2 と情報を通信する。パケット送受信部 2 0 0 2 は、受信したパケットが時刻マスタ 1 0 からの情報であった場合には、当該パケットを時刻パケット送受信部 6 0 7 に渡し、受信したパケットが管理ノード 4 0 2 からの情報であった場合には、当該パケットをテーブル制御部 6 1 2 に渡す。

【 0 1 4 8 】

これは、中継装置 1 8 1 の通信インタフェース 1 9 0 2 ~ 1 9 0 4 又はパケット送受信部 1 9 0 5 ~ 1 9 0 7 が受信したパケットに自身の識別子を付与し、パケット送受信部 1 9 0 9 及び通信インタフェース 1 9 1 0 が当該識別子が付与されたパケットを送信することによって、パケット送受信部 2 0 0 2 は、どのネットワークから受信したパケットであるかを判別できる。

30

【 0 1 4 9 】

なお、時刻補正部 2 0 0 0 のその余の構成は、第 1 実施形態の時刻補正部 5 0 及び第 2 実施形態の時刻補正部 1 6 0 0 と同じである。

【 0 1 5 0 】

以上のように、本発明によれば、時刻マスタ 1 0 が時刻パケットの送信に用いる広域ネットワーク 4 0 5 が切り替わったことを時刻スレーブ 1 3 が検出する時間を短縮化でき、広域ネットワーク 4 0 5 の切替直後であっても時刻補正するか否かの判定を正確に行うことができる。

40

【 0 1 5 1 】

例えば、データセンタを利用した電力の系統安定化システムのように、充電ステーション、太陽光発電設備、及び系統安定化を制御する配電設備等は、それぞれ地理的に分散している。これらの設備は、ネットワークを介してデータセンタと接続され、データセンタは、各設備の需要サイドの拠点からデータを収集して、収集したデータを情報処理する。このようなシステムでは、通信ネットワークの高信頼化のためのネットワークが冗長化がされ、使用するネットワークが切り替わった場合であっても、正確な時刻補正をするか否

50

かの判定が求められる。したがって、本発明は、このようなシステムに最適である。

【0152】

さらに、本発明では、管理ノード402は、時刻スレーブ13が受信した時刻パケットに関する実際の値に基づいて、しきい値の妥当性を判定し、しきい値が妥当でない場合には当該しきい値を変更する。

【0153】

これによって、時刻スレーブ13のしきい値の妥当性を担保でき、正確な時刻補正を実行することができる。

【0154】

なお、本発明は上述した実施形態に限定されるものではなく、様々な変形例が含まれる。例えば、上述した実施形態は本発明を分かりやすく説明するために詳細に説明したのであり、必ずしも説明の全ての構成を備えるものに限定されるものではない。また、例えば、上述した実施形態が適用される時刻同期システムにおいては、各拠点に一つの時刻スレーブが備わる構成をであったが、本発明は、各拠点に複数の時刻スレーブが備わる構成にも当然適用可能である。

10

【0155】

また、上述した各構成、機能、処理部、及び処理手段等は、それらの一部又は全部を、例えば集積回路で設計する等によりハードウェアで実現してもよい。また、上述した各構成、及び機能等は、プロセスがそれぞれの機能を実現するプログラムを解釈し、実行することによってソフトウェアで実現する場合を説明したが、各機能を実現するプログラム、テーブル、及びファイル等の情報は、メモリのみならず、ハードディスク、SSD (Solid State Drive) 等の記録装置、又は、ICカード、SDカード、及びDVD等の記録媒体に記憶できるし、必要に応じてネットワーク等を介してダウンロード及びインストールすることも可能であることは言うまでもない。

20

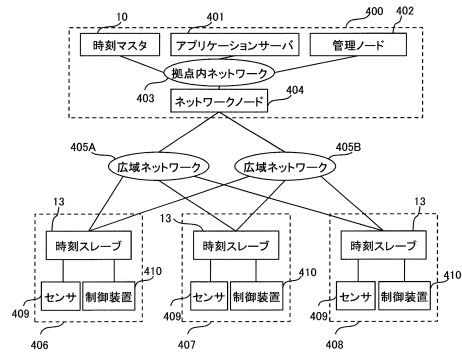
【符号の説明】

【0156】

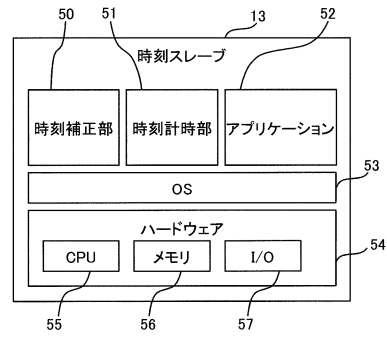
- 10 時刻マスタ
- 13 時刻スレーブ
- 402 管理ノード
- 50 時刻補正部
- 601 ~ 603 通信インタフェース
- 604 ~ 606 パケット送受信部
- 607 時刻パケット送受信部
- 608 ジッタ演算部
- 609 動作値テーブル
- 610 時刻補正実行可否判定部
- 611 しきい値テーブル

30

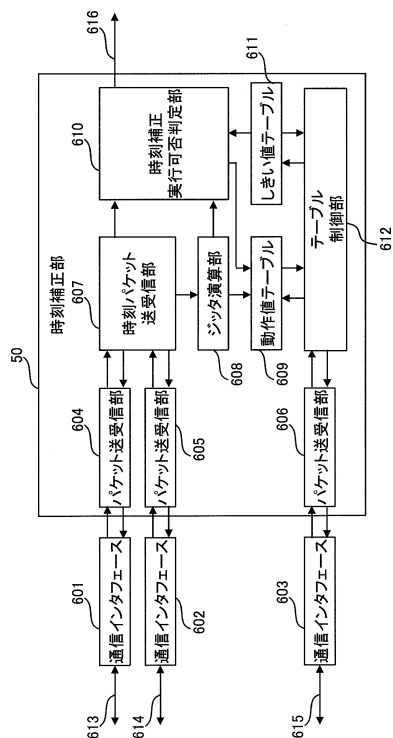
【圖 1】



【 図 2 】



【圖 3】



【 図 4 】

71 ネットワーク名	72 使用状態	73 遅延中央値	74 ジッタ中央値	75 ジッタ許容誤差	61
広域ネットワーク#1	使用中	10ms	20 μ 秒	$\pm 10 \mu$ 秒	
広域ネットワーク#2	未使用	50ms	1000 μ 秒	$\pm 100 \mu$ 秒	
...		

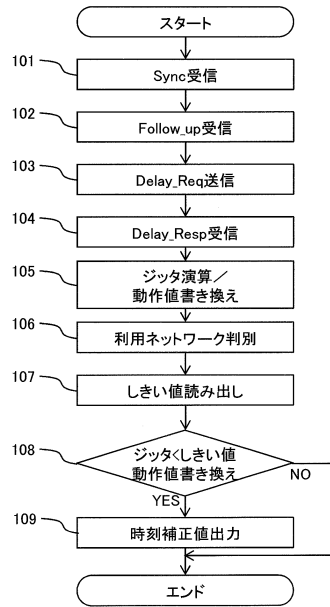
【圖 5】

ネットワーク名	使用状態	遅延中央値	ジッタ最小しきい値	ジッタ最大しきい値
広域ネットワーク#1	使用中	10ms	10 μ秒	30 μ秒
広域ネットワーク#2	未使用	50ms	900 μ秒	1100 μ秒
...

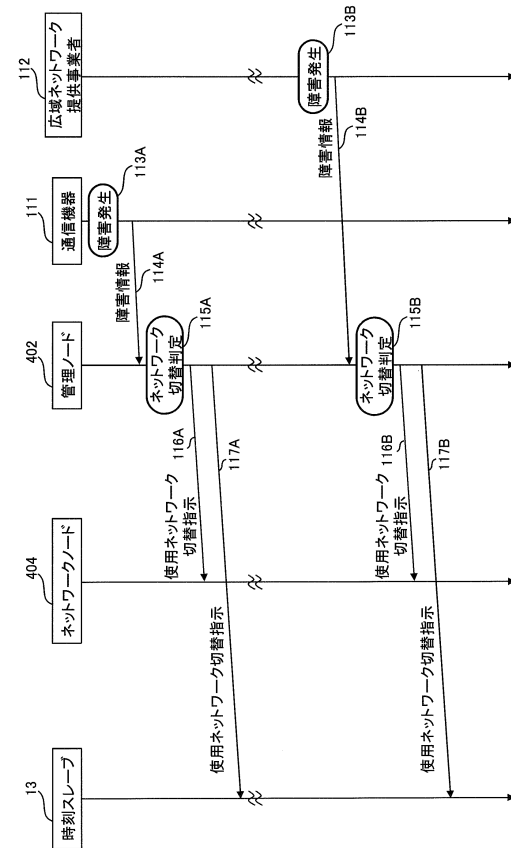
【 図 6 】

ネットワーク名	遅延 平均値	ジッタ 平均値	ジッタ 標準偏差	時刻バリエーション 到来回数	時刻補正 不実行回数
広域ネットワーク#1	13ms	24 μs	1.41	300回	3回
広域ネットワーク#2	53ms	1030 μs	100	300回	150回
...

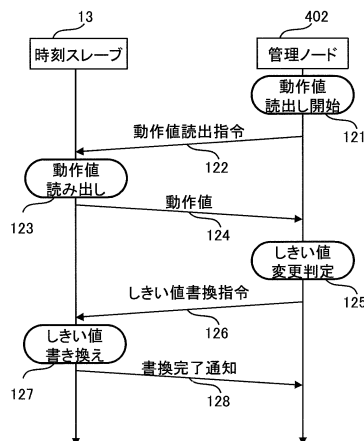
【図 7】



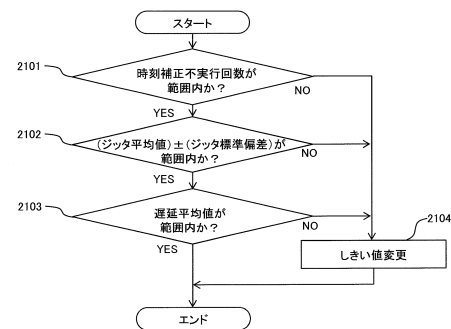
【図 8】



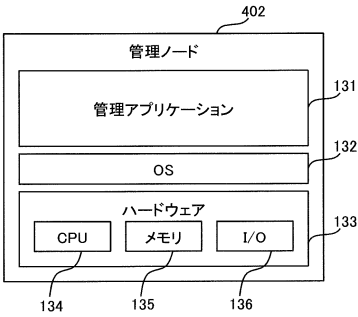
【図 9】



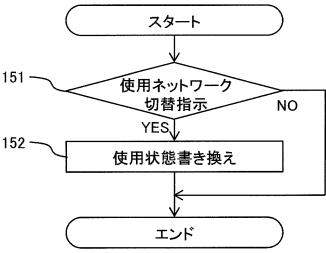
【図 10】



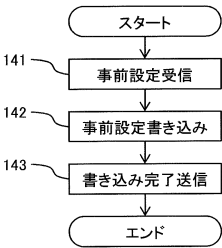
【図 1 1】



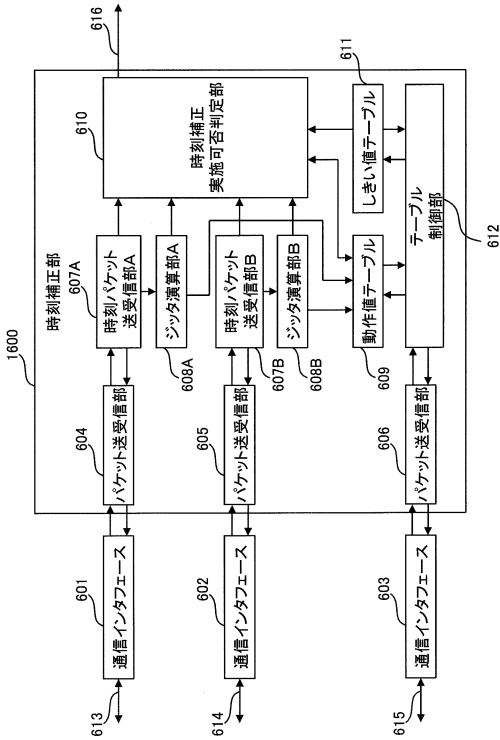
【図 1 3】



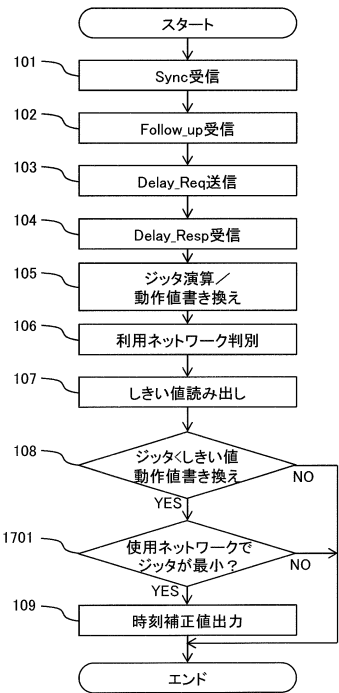
【図 1 2】



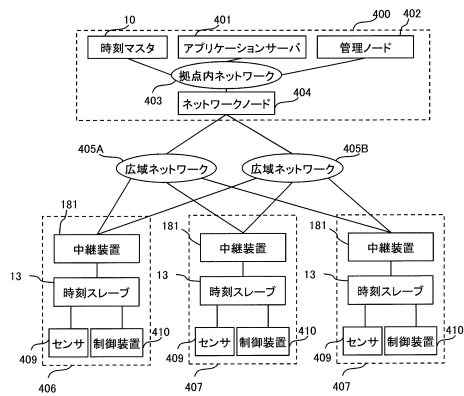
【図 1 4】



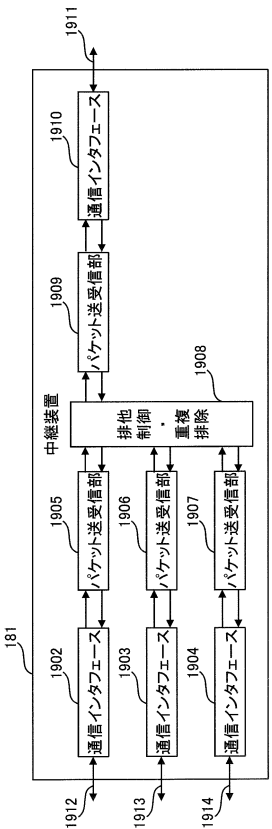
【図 1 5】



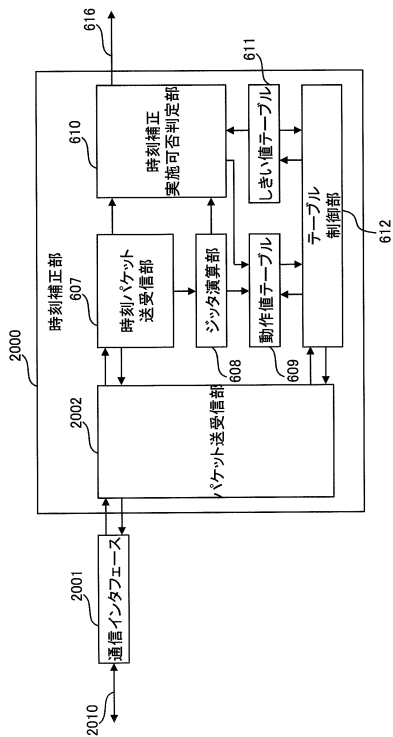
【図 16】



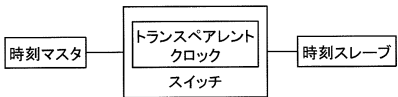
【図 17】



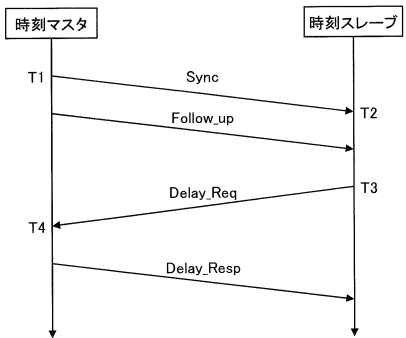
【図 18】



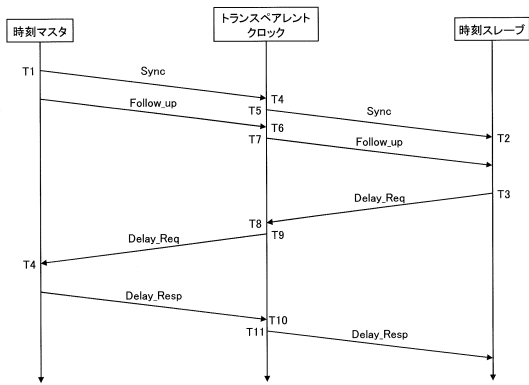
【図 19】



【図 20】



【図 21】



フロントページの続き

審査官 阿部 弘

(56)参考文献 特開 2 0 1 1 - 8 2 8 5 8 (J P , A)
特開 2 0 1 1 - 1 7 6 7 1 8 (J P , A)
特開 2 0 0 7 - 3 1 0 5 2 2 (J P , A)

(58)調査した分野(Int.Cl. , D B 名)
H 0 4 L 7
G 0 4 G 5