(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号
特許第7610168号
(P7610168)

(45)発行日　令和7年1月8日(2025.1.8)

(24)登録日　令和6年12月24日(2024.12.24)

(51)国際特許分類
Ｈ０４Ｌ　7/00 (2006.01)

ＦＩ
Ｈ０４Ｌ　7/00　９９０

請求項の数　7　（全24頁）

(21)出願番号　特願2023-564347(P2023-564347)
(86)(22)出願日　令和3年12月1日(2021.12.1)
(86)国際出願番号　PCT/JP2021/044154
(87)国際公開番号　WO2023/100299
(87)国際公開日　令和5年6月8日(2023.6.8)
審査請求日　令和6年4月4日(2024.4.4)

(73)特許権者　000004226
日本電信電話株式会社
東京都千代田区大手町一丁目５番１号
(74)代理人　100147485
弁理士　杉村 憲司
(74)代理人　100164471
弁理士　岡野 大和
(74)代理人　100176728
弁理士　北村 慎吾
(72)発明者　山形 佳祐
東京都千代田区大手町一丁目５番１号
日本電信電話株式会社内
(72)発明者　吉原 慎一
東京都千代田区大手町一丁目５番１号
日本電信電話株式会社内

最終頁に続く

(54)【発明の名称】　時刻同期装置、時刻同期方法およびプログラム

(57)【特許請求の範囲】

【請求項１】

上位装置とのパケットの送受信により、前記上位装置の装置内時刻に自装置の装置内時刻を同期させ、下位装置の装置内時刻を前記自装置の装置内時刻に同期させる時刻同期装置であって、

前記上位装置の装置内時刻と前記自装置の装置内時刻との差であるオフセットを計算するオフセット計算部と、

前記上位装置と自装置との間で送受信されるパケットの伝送遅延時間を計算する伝送遅延時間計算部と、

前記オフセットの変動パターンを判定するオフセットパターン判定部と、

前記伝送遅延時間の変動パターンを判定する伝送遅延時間パターン判定部と、

前記オフセットの変動パターンと、前記伝送遅延時間の変動パターンとに基づき、前記上位装置との時刻同期の障害の発生箇所を判定する障害箇所判定部と、を備える時刻同期装置。

【請求項２】

請求項１に記載の時刻同期装置において、

前記障害箇所判定部は、前記障害の発生箇所が前記上位装置であると判定すると、前記下位装置の装置内時刻の前記自装置の装置内時刻への同期を停止する、時刻同期装置。

【請求項３】

請求項１に記載の時刻同期装置において、

複数の上位装置の中から、自装置の装置内時刻を同期させる上位装置を選択する時刻選択部をさらに備え、
前記障害箇所判定部は、前記障害の発生箇所が前記上位装置であると判定すると、前記時刻選択部に、自装置の装置内時刻を同期させる上位装置を切り替えさせる、時刻同期装置。
【請求項４】
請求項１から３のいずれか一項に記載の時刻同期装置において、
前記オフセットパターン判定部は、前記オフセットの絶対値が第１の閾値より大きいか否かを判定し、前記オフセットの変動パターンとして、前記オフセットの絶対値が前記第１の閾値より大きいと判定された時間または回数が第２の閾値より大きいか否かを判定し、
前記伝送遅延時間パターン判定部は、前記伝送遅延時間が第３の閾値より大きいか否かを判定し、前記伝送遅延時間の変動パターンとして、前記伝送遅延時間が前記第３の閾値より大きいと判定された時間または回数が第４の閾値より大きいか否かを判定する、時刻同期装置。
【請求項５】
請求項４に記載の時刻同期装置において、
前記障害箇所判定部は、
前記オフセットの絶対値が前記第１の閾値より大きいと判定された時間または回数が前記第２の閾値より大きく、かつ、前記伝送遅延時間が前記第３の閾値以下である場合、または、
前記オフセットの絶対値が前記第１の閾値より大きいと判定された時間または回数が前記第２の閾値より大きく、かつ、前記伝送遅延時間が前記第３の閾値より大きいと判定された時間または回数が前記第４の閾値より小さい場合、前記障害の発生箇所が前記上位装置であると判定する、時刻同期装置。
【請求項６】
上位装置とのパケットの送受信により、前記上位装置の装置内時刻に自装置の装置内時刻を同期させ、下位装置の装置内時刻を前記自装置の装置内時刻に同期させる時刻同期方法であって、
前記上位装置の装置内時刻と前記自装置の装置内時刻との差であるオフセットを計算するステップと、
前記上位装置と自装置との間で送受信されるパケットの伝送遅延時間を計算するステップと、
前記オフセットの変動パターンを判定するステップと、
前記伝送遅延時間の変動パターンを判定するステップと、
前記オフセットの変動パターンと、前記伝送遅延時間の変動パターンとに基づき、前記上位装置との時刻同期の障害の発生箇所を判定するステップと、を含む時刻同期方法。
【請求項７】
コンピュータを、請求項１から５のいずれか一項に記載の時刻同期装置として動作させる、プログラム。
【発明の詳細な説明】
【技術分野】
【０００１】
本開示は、時刻同期装置、時刻同期方法およびプログラムに関する。
【背景技術】
【０００２】
ＩＥＥＥ－１５８８規格で定義されたＰＴＰ（Precision Time Protocol）は、ＬＡＮ（Local Area Network）上のコンピュータの時刻（装置内時刻）を高い精度で同期させるプロトコルである（非特許文献１参照）。図１１は、ＰＴＰプロトコルを用いてネットワーク上の装置の時刻を同期させる、時刻同期システム１の構成例を示す図である。
【０００３】

図１１に示す時刻同期システム１は、Grand Master Clock２と、従来のBoundary Clock１００ａと、クライアント装置３とを備える。Grand Master Clock２とBoundary Clock１００ａとは、ＬＡＮなどのネットワークを介して通信可能である。また、Boundary Clock１００ａとクライアント装置３とは、ＬＡＮなどのネットワークを介して通信可能である。

【０００４】

Grand Master Clock２は、ＧＰＳ（Global Positioning System）などの全球測位衛星システム（ＧＮＳＳ：Global Navigation Satellite System）の衛星からの信号（ＧＮＳＳ信号）を受信するＧＮＳＳアンテナを備える。Grand Master Clock２は、ＧＮＳＳアンテナを介してＧＮＳＳ信号を受信し、受信したＧＮＳＳ信号から協定世界時（ＵＴＣ：Universal Time Coordinated）を取得する。Grand Master Clock２は、ネットワークを介して、取得したＵＴＣを基準時刻として配信するマスター機能を備える。

【０００５】

Boundary Clock１００ａは、マスター機能を備える上位装置に対しては、上位装置から配信された時刻に自装置の装置内時刻を同期させるスレーブ機能を備える装置として機能し、スレーブ機能を備える下位装置に対してはマスター機能を備える装置として機能する。図１１に示す時刻同期システム１においては、Boundary Clock１００ａは、Grand Master Clock２に対してはスレーブ機能を備える装置として機能し、クライアント装置３に対してはマスター機能を備える装置として機能する。したがって、Boundary Clock１００ａは、Grand Master Clock２とのＰＴＰパケットの送受信により、Grand Master Clock２から配信される時刻（基準時刻）に、Boundary Clock１００ａの装置内時刻を同期させる。また、Boundary Clock１００ａは、クライアント装置３とのＰＴＰパケットの送受信により、装置内時刻をクライアント装置３に配信し、クライアント装置３の装置内時刻を、自装置の装置内時刻に同期させる。

【０００６】

クライアント装置３は、マスター機能を備える装置から配信された時刻に、装置内時刻を同期させるスレーブ機能を備える。図１１に示す時刻同期システム１では、クライアント装置３は、Boundary Clock１００ａから配信された時刻に、装置内時刻を同期させる。クライアント装置３は、例えば、携帯電話網における基地局装置である。

【先行技術文献】

【非特許文献】

【０００７】

【文献】IEEE Std 1588TM-2008 “IEEE Standard for a Precision Clock Synchronization Protocol for Networked Measurement and Control Systems”

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【０００８】

図１１に示す時刻同期システム１においては、Grand Master Clock２が備えるＧＮＳＳアンテナ、Grand Master Clock２自体、あるいは、Grand Master Clock２とBoundary Clock１００ａの間の伝送経路で障害が発生し、Grand Master Clock２の装置内時刻とBoundary Clock１００ａの装置内時刻とに大きなズレが発生することがある。

【０００９】

伝送経路で障害が発生した場合には、Grand Master Clock２から配信される時刻自体は正確であり、Boundary Clock１００ａは、誤った時刻に同期しない。

【００１０】

一方、Grand Master Clock２が備えるＧＮＳＳアンテナ、あるいは、Grand Master Clock２自体に障害が発生した場合、Grand Master Clock２から配信される時刻自体が、ＵＴＣとのズレが大きい、誤った時刻となることがある。この場合、従来のBoundary Clock１００ａは、大きな誤差を含むGrand Master Clock２の装置内時刻に同期し、配下のクライアント装置３に、ＵＴＣとの誤差が大きく、誤った時刻を配信し続ける可能性

がある。このような誤った時刻が配信されると、クライアント装置３の配下のユーザ装置の装置内時刻までずれて、システム障害あるいは通信障害が発生する可能性がある。また、クライアント装置３の配下のユーザ装置だけでなく、別のGrand Master Clock２あるいは Boundary Clock１００ａと同期することで装置内時刻がずれていないクライアント装置３の配下のユーザ装置に対しても、システム障害あるいは通信障害を引き起こす可能性がある。このように、誤った時刻への同期が発生すると、非常に影響が大きな問題が生じる可能性がある。従って、より正確に上位装置の装置内時刻と自装置の装置内時刻の同期の障害の発生および障害の発生箇所を判定する必要がある。

【００１１】

上記のような問題点に鑑みてなされた本開示の目的は、上位装置から配信された時刻に自装置の装置内時刻を同期させ、下位装置の装置内時刻を自装置の装置内時刻に同期させる場合に、より正確に、上位装置の装置内時刻と自装置の装置内時刻との同期の障害の発生および障害の発生箇所を判定することができる時刻同期装置、時刻同期方法およびプログラムを提供することにある。

【課題を解決するための手段】

【００１２】

上記課題を解決するため、本開示に係る時刻同期装置は、上位装置とのパケットの送受信により、前記上位装置の装置内時刻に自装置の装置内時刻を同期させ、下位装置の装置内時刻を前記自装置の装置内時刻に同期させる時刻同期装置であって、前記上位装置の装置内時刻と前記自装置の装置内時刻との差であるオフセットを計算するオフセット計算部と、前記上位装置と自装置との間で送受信されるパケットの伝送遅延時間を計算する伝送遅延時間計算部と、前記オフセットの変動パターンを判定するオフセットパターン判定部と、前記伝送遅延時間の変動パターンを判定する伝送遅延時間パターン判定部と、前記オフセットの変動パターンと、前記伝送遅延時間の変動パターンとに基づき、前記上位装置との時刻同期の障害の発生箇所を判定する障害箇所判定部と、を備える。

【００１３】

また、上記課題を解決するため、本開示に係る時刻同期方法は、上位装置とのパケットの送受信により、前記上位装置の装置内時刻に自装置の装置内時刻を同期させ、下位装置の装置内時刻を前記自装置の装置内時刻に同期させる時刻同期方法であって、前記上位装置の装置内時刻と前記自装置の装置内時刻との差であるオフセットを計算するステップと、前記上位装置と自装置との間で送受信されるパケットの伝送遅延時間を計算するステップと、前記オフセットの変動パターンを判定するステップと、前記伝送遅延時間の変動パターンを判定するステップと、前記オフセットの変動パターンと、前記伝送遅延時間の変動パターンとに基づき、前記上位装置との時刻同期の障害の発生箇所を判定するステップと、を含む。

【００１４】

また、上記課題を解決するため、本開示に係るプログラムは、コンピュータを、上述した時刻同期装置として動作させる。

【発明の効果】

【００１５】

本開示に係る時刻同期装置、時刻同期方法およびプログラムによれば、上位装置から配信された時刻に自装置の装置内時刻を同期させ、下位装置の装置内時刻を自装置の装置内時刻に同期させる場合に、より正確に、上位装置の装置内時刻と自装置の装置内時刻との同期の障害の発生および障害の発生箇所を判定することができる。

【図面の簡単な説明】

【００１６】

【図１】本開示の第１の実施形態に係る時刻同期装置としてのBoundary Clockの構成例を示す図である。

【図２】オフセットおよび伝送遅延時間の計算について説明するための図である。

【図３】図１に示すBoundary Clockの動作の一例を示すフローチャートである。

【図４Ａ】オフセットの変動パターンの一例を示す図である。
【図４Ｂ】オフセットの変動パターンの別の一例を示す図である。
【図５Ａ】伝送遅延時間の変動パターンの一例を示す図である。
【図５Ｂ】伝送遅延時間の変動パターンの別の一例を示す図である。
【図５Ｃ】伝送遅延時間の変動パターンのさらに別の一例を示す図である。
【図６】図１に示す障害箇所判定部による障害箇所の判定について説明するための図である。
【図７】図１に示すBoundary Clockのハードウェア構成の一例を示す図である。
【図８】本開示の第２の実施形態に係る時刻同期装置としてのBoundary Clockの構成例を示す図である。
【図９】図８に示すBoundary Clockの動作の一例を示すフローチャートである。
【図１０】図８に示す時刻選択部による時刻同期の対象の選択について説明するための図である。
【図１１】従来の時刻同期システムの構成例を示す図である。
【発明を実施するための形態】
【００１７】
以下、本開示の実施の形態について図面を参照して説明する。
【００１８】
（第１の実施形態）
図１は、本開示の第１の実施形態に係る時刻同期装置としてのBoundary Clock１００の構成例を示す図である。本実施形態に係るBoundary Clock１００は、図１１に示す時刻同期システム１において、Boundary Clock１００ａの代わりに、Grand Master Clock２から配信された時刻を、クライアント装置３に配信するものである。すなわち、本実施形態に係る時刻同期装置としてのBoundary Clock１００は、上位装置（Grand Master Clock２）とのパケット（ＰＴＰパケット）の送受信により、上位装置の装置内時刻に自装置の装置内時刻を同期させ、下位装置（クライアント装置３）の装置内時刻を自装置の装置内時刻に同期させるものである。
【００１９】
図１に示すように、本実施形態に係るBoundary Clock１００は、パケット送受信部１０１，１０５と、オフセット計算部１０２と、伝送遅延時間計算部１０３と、時刻同期処理部１０４と、閾値記憶部１０６と、オフセットパターン判定部１０７と、伝送遅延時間パターン判定部１０８と、カウントフラグ部１０９と、Clock Class書換部１１０と、障害箇所判定部１１１とを備える。
【００２０】
パケット送受信部１０１は、Grand Master Clock２との間でＰＴＰパケットの送受信を行う。パケット送受信部１０１は、Grand Master Clock２から受信したパケットをオフセット計算部１０２および伝送遅延時間計算部１０３に出力する。
【００２１】
オフセット計算部１０２は、上位装置であるGrand Master Clock２と自装置（Boundary Clock１００）の装置内時刻との差であるオフセットを計算する。具体的には、オフセット計算部１０２は、パケット送受信部１０１から出力されたパケットからタイムスタンプを取得し、取得したタイムスタンプに基づき、オフセットを計算する。以下、オフセット計算部１０２によるオフセットの計算について、図２を参照して説明する。
【００２２】
図２に示すように、Grand Master Clock２は、Sync message（同期メッセージ）をBoundary Clock１００に送信する。Grand Master Clock２は、Sync messageの送信時刻である時刻Ｔ１を示すタイムスタンプを、Sync messageに含めてBoundary Clock１００に送信する。
【００２３】
Boundary Clock１００は、時刻Ｔ２において、Grand Master Clock２から送信され

てきたSync messageを受信すると、時刻Ｔ３において、Delay_Req message（遅延リクエストメッセージ）をGrand Master Clock２に送信する。

【００２４】

Grand Master Clock２は、時刻Ｔ４において、Boundary Clock１００から送信されてきたDelay_Req messageを受信すると、Delay_Resp message（遅延レスポンスメッセージ）をBoundary Clock１００に送信する。Grand Master Clock２は、Delay_Req messageの受信時刻である時刻Ｔ４を示すタイムスタンプを、Delay_Resp messageに含めてBoundary Clock１００に送信する。

【００２５】

オフセット計算部１０２は、Sync messageに含まれる、Grand Master Clock２がSync messageを送信した時刻Ｔ１を示すタイムスタンプ、Boundary Clock１００がSync messageを受信した時刻Ｔ２を示すタイムスタンプ、Boundary Clock１００がDelay_Req messageを送信した時刻Ｔ３を示すタイムスタンプ、および、Delay_Resp messageに含まれる、Grand Master Clock２がDelay_Req messageを送信した時刻Ｔ４を示すタイムスタンプを取得する。そして、オフセット計算部１０２は、以下の式１に基づきオフセットを計算する。

オフセット＝（（Ｔ２－Ｔ１）－（Ｔ４－Ｔ３））／２　・・・式１

【００２６】

図１を再び参照すると、オフセット計算部１０２は、オフセットの計算結果を時刻同期処理部１０４およびオフセットパターン判定部１０７に出力する。

【００２７】

伝送遅延時間計算部１０３は、上位装置であるGrand Master Clock２とBoundary Clock１００との間で送受信されるＰＴＰパケットの伝送遅延時間を計算する。伝送遅延時間計算部１０３は、Boundary Clock１００がSync messageを受信した時刻Ｔ２と、Grand Master Clock２がSync messageを送信した時刻Ｔ１との差、および、Grand Master Clock２がDelay_Req messageを受信した時刻Ｔ４と、Boundary Clock１００がDelay_Req messageを送信した時刻Ｔ３との差の平均を、伝送遅延時間として計算する。すなわち、伝送遅延時間計算部１０３は、図２を参照して説明した、時刻Ｔ１，Ｔ２，Ｔ３，Ｔ４をそれぞれ示すタイムスタンプを用いて、以下の式２に基づき、伝送遅延時間を計算する。

伝送遅延時間＝（（Ｔ２－Ｔ１）＋（Ｔ４－Ｔ３））／２　・・・式２

【００２８】

伝送遅延時間計算部１０３は、伝送遅延時間の計算結果を時刻同期処理部１０４および伝送遅延時間パターン判定部１０８に出力する。

【００２９】

時刻同期処理部１０４は、オフセット計算部１０２により計算されたオフセット、および、伝送遅延時間計算部１０３により計算された伝送遅延時間に基づき、Boundary Clock１００の装置内時刻を、Grand Master Clock２の装置内時刻に同期させる。

【００３０】

パケット送受信部１０５は、クライアント装置３との間でＰＴＰパケットの送受信を行う。クライアント装置３との間で送受信されるパケットには、Boundary Clock１００の装置内時刻の時刻情報が含まれ、当該パケットの送受信により、クライアント装置３の装置内時刻をBoundary Clock１００の装置内時刻に同期させることができる。

【００３１】

閾値記憶部１０６は、後述するオフセットパターン判定部１０７および伝送遅延時間パターン判定部１０８での処理に必要となる閾値（第１の閾値ＴＨ１、第２の閾値ＴＨ２、第３の閾値ＴＨ３および第４の閾値ＴＨ４）を記憶する。各閾値の設定方法としては、予め定められた固定値を設定する方法、一定期間におけるオフセットおよび伝送遅延時間のデータを取得し、その平均値などに基づいて設定する方法などがある。

【００３２】

オフセットパターン判定部１０７は、オフセット計算部１０２により計算されたオフセットの変動パターンを判定する。具体的には、オフセットパターン判定部１０７は、オフセットの絶対値が第１の閾値ＴＨ１より大きいか否かを判定する。そして、オフセットパターン判定部１０７は、オフセットの変動パターンとして、オフセットの絶対値が第１の閾値ＴＨ１より大きいと判定された時間または回数が第２の閾値ＴＨ２より大きいか否かを判定する。オフセットパターン判定部１０７は、判定結果を障害箇所判定部１１１に出力する。

【００３３】

伝送遅延時間パターン判定部１０８は、伝送遅延時間計算部１０３により計算された伝送遅延時間の変動パターンを判定する。具体的には、伝送遅延時間パターン判定部１０８は、伝送遅延が第３の閾値ＴＨ３より大きいか否かを判定する。そして、伝送遅延時間パターン判定部１０８は、伝送遅延時間の変動パターンとして、伝送遅延時間が第３の閾値ＴＨ３より大きいと判定された時間または回数が第４の閾値ＴＨ４より大きいか否かを判定する。伝送遅延時間パターン判定部１０８は、判定結果を障害箇所判定部１１１に出力する。

【００３４】

カウントフラグ部１０９は、オフセットの絶対値が第１の閾値ＴＨ１より大きいと判定された時間または回数をカウント中であるか否かを示すオフセットカウントフラグを管理する。また、カウントフラグ部１０９は、伝送遅延時間が第３の閾値ＴＨ３より大きいと判定された時間または回数をカウント中であるか否かを示す伝送遅延時間カウントフラグを管理する。

【００３５】

Clock Class書換部１１０は、障害箇所判定部１１１の制御に従い、Boundary Clock１００の装置内時刻がGrand Master Clock２の装置内時刻に同期しているか否かを示すClock Classを書き換え、パケット送受信部１０５に出力する。Clock Classは、Boundary Clock１００とクライアント装置３との間で送受信されるＰＴＰパケットに含まれ、クライアント装置３に送信される。クライアント装置３では、Clock Classが、Boundary Clock１００の装置内時刻がGrand Master Clock２の装置内時刻に同期していることを示す場合、クライアント装置３の装置内時刻のBoundary Clock１００の装置内時刻への同期が行われる。また、Clock Classが、Boundary Clock１００の装置内時刻がGrand Master Clock２の装置内時刻に同期していないことを示す場合、クライアント装置３の装置内時刻のBoundary Clock１００の装置内時刻への同期が停止される。

【００３６】

障害箇所判定部１１１は、オフセットパターン判定部１０７により判定された、オフセットの変動パターンと、伝送遅延時間パターン判定部１０８により判定された、伝送遅延時間の変動パターンとに基づき、上位装置であるGrand Master Clock２との時刻同期の障害の発生および障害の発生箇所を判定する。

【００３７】

時刻同期の障害の発生箇所としては、Grand Master Clock２が備えるＧＮＳＳアンテナ、Grand Master Clock２自体、あるいは、Grand Master Clock２とBoundary Clock１００との間の伝送経路が考えられる。障害の発生箇所がＧＮＳＳアンテナである場合、ジャミング（妨害電波）あるいはスプーフィング（なりすまし）などの信号攻撃を受けたことが考えられる。また、障害の発生箇所がGrand Master Clock２自体である場合、Grand Master Clock２内の一部の機能が故障したことが考えられる。また、障害の発生の箇所がGrand Master Clock２とBoundary Clock１００との間の伝送経路である場合、例えば、一時的にケーブル異常が発生したことが考えられる。

【００３８】

障害箇所判定部１１１は、障害の発生箇所が、Grand Master Clock２（Grand Master Clock２が備えるＧＮＳＳアンテナ、あるいは、Grand Master Clock２自体）であるか、Grand Master Clock２とBoundary Clock１００との間の伝送経路であるかを判定す

る。障害箇所判定部１１１による障害箇所の判定の詳細については後述する。
【００３９】
障害箇所判定部１１１は、障害の発生箇所がGrand Master Clock２であると判定すると、クライアント装置３の装置内時刻の自装置の装置内時刻への同期を停止する。具体的には、障害箇所判定部１１１は、Boundary Clock１００の装置内時刻がGrand Master Clock２の装置内時刻に同期していないことをClock Classが示すように、Clock Classの書き換えをClock Class書換部１１０に指示する。
【００４０】
次に、本実施形態に係るBoundary Clock１００の動作について説明する。
【００４１】
図３は、本実施形態に係るBoundary Clock１００の動作の一例を示すフローチャートであり、Boundary Clock１００による時刻同期方法を説明するための図である。
【００４２】
オフセット計算部１０２は、パケット送受信部１０１から出力されたパケットからタイムスタンプを取得し、オフセットを計算する（ステップＳ１０１）。
【００４３】
オフセットパターン判定部１０７は、オフセット計算部１０２により計算されたオフセットの絶対値が、閾値記憶部１０６に記憶されている第１の閾値ＴＨ１より大きいか否かを判定する（ステップＳ１０２）。第１の閾値ＴＨ１は、オフセットが大きく変動したか否かを判定するための閾値である。例えば、通常時には、Grand Master Clock２の装置内時刻とBoundary Clock１００の装置内時刻とのオフセットの絶対値が１ｍｓより小さい場合、第１の閾値ＴＨ１は、例えば、１ｍｓに設定される。この場合、オフセットパターン判定部１０７は、オフセットの絶対値が１ｍｓより大きいか否かを逐次、判定する。オフセットパターン判定部１０７は、オフセットの絶対値が第１の閾値ＴＨ１より大きいと連続して判定した回数をカウントする。以下では、このカウント値をオフセットカウントと称する。
【００４４】
なお、上述したように、第１の閾値ＴＨ１としては、一定期間のデータの平均値が設定されてよい。例えば、Grand Master Clock２とBoundary Clock１００との間でＰＴＰでの通信が開始されてからの１分間において、１秒ごとにオフセットを計算し、その６０個のデータの平均値が第１の閾値ＴＨ１として設定されてよい。
【００４５】
オフセットの絶対値が第１の閾値ＴＨ１より大きいと判定した場合（ステップＳ１０２：Ｙｅｓ）、オフセットパターン判定部１０７は、オフセットカウントを１増やし（ステップＳ１０３）、オフセットカウントフラグをオンにする。オフセットパターン判定部１０７は、既にオフセットカウントフラグがオンの場合、オフセットカウントフラグをオンのままとする。
【００４６】
次に、オフセットパターン判定部１０７は、オフセットカウントが第２の閾値ＴＨ２より大きいか否かを判定する（ステップＳ１０４）。第２の閾値ＴＨ２は、オフセットの変化が一時的であるか否かを判定するための閾値である。第２の閾値ＴＨ２は、例えば、１０回に設定される。この場合、オフセットパターン判定部１０７は、オフセットの絶対値が第１の閾値ＴＨ１（例えば、１ｍｓ）よりも１０回連続で大きいか否かを判定する。
【００４７】
オフセットカウントが第２の閾値ＴＨ２以下である（０＜オフセットカウント≦第２の閾値ＴＨ２）であるとオフセットパターン判定部１０７により判定された場合（ステップＳ１０４：Ｎｏ）、ステップＳ１０１から処理が繰り返される。
【００４８】
オフセットカウントが第２の閾値ＴＨ２より大きい（第２の閾値ＴＨ２＜オフセットカウント）と判定した場合（ステップＳ１０４：Ｙｅｓ）、オフセットパターン判定部１０

７は、オフセットカウントが第２の閾値ＴＨ２より大きくなったことを障害箇所判定部１１１に通知する。すなわち、オフセットパターン判定部１０７は、オフセットの変動パターンとして、オフセットの絶対値が第１の閾値ＴＨ１より大きい状態が、第２の閾値ＴＨ２に応じた所定時間だけ継続したことを障害箇所判定部１１１に通知することができる。

【００４９】

オフセットの絶対値が第１の閾値ＴＨ１以下であると判定した場合（ステップＳ１０２：Ｎｏ）、オフセットパターン判定部１０７は、オフセットカウントを０にするとともに、オフセットカウントフラグをオフにする（ステップＳ１０５）。オフセットの絶対値が第１の閾値ＴＨ１以下である状態が継続している場合、オフセットカウントは０であるとともに、オフセットカウントフラグはオフのままである。したがって、オフセットパターン判定部１０７は、オフセットの変動パターンとして、オフセットの絶対値が第１の閾値ＴＨ１以下である状態が継続していることを障害箇所判定部１１１に通知することができる。

【００５０】

なお、オフセットの絶対値が第１の閾値ＴＨ１より大きくても、Boundary Clock１００が、自装置の装置内時刻をGrand Master Clock２の装置内時刻に同期させることで、オフセットはやがて、第１の閾値ＴＨ１よりも小さくなる。したがって、オフセットパターン判定部１０７は、オフセットの変動パターンが、図４Ａに示す、オフセットが第１の閾値ＴＨ１より小さいままであるパターン（パターン０）であるか、図４Ｂに示す、オフセットが第１の閾値ＴＨ１より大きくなり、第２の閾値ＴＨ２に応じた所定時間が経過した後、第１の閾値ＴＨ１より小さくなるパターン（パターン１）であるかを判定し、判定結果を障害箇所判定部１１１に出力する。

【００５１】

上述したステップＳ１０１からステップＳ１０５の処理と並行して、以下で説明するステップＳ１０６からステップＳ１０９の処理が行われる。

【００５２】

伝送遅延時間計算部１０３は、パケット送受信部１０１から出力されたパケットからタイムスタンプを取得し、伝送遅延時間を計算する（ステップＳ１０６）。

【００５３】

伝送遅延時間パターン判定部１０８は、伝送遅延時間計算部１０３により計算された伝送遅延時間が、閾値記憶部１０６に記憶されている第３の閾値ＴＨ３より大きいか否かを判定する（ステップＳ１０７）。第３の閾値ＴＨ３は、伝送遅延時間が大きく変動したか否かを判定するための閾値である。例えば、通常時には、Grand Master Clock２とBoundary Clock１００との間で、１０ｍｓ以内でパケットの送受信が行われる場合、第３の閾値ＴＨ３は、例えば、１０ｍｓに設定される。この場合、伝送遅延時間パターン判定部１０８は、伝送遅延時間が１０ｍｓより大きいか否かを逐次、判定する。伝送遅延時間パターン判定部１０８は、伝送遅延時間が第３の閾値ＴＨ３より大きいと連続して判定した回数をカウントする。以下では、このカウント値を伝送遅延時間カウントと称する。

【００５４】

なお、上述したように、第３の閾値ＴＨ３としては、一定期間のデータの平均値が設定されてよい。例えば、Grand Master Clock２とBoundary Clock１００との間でＰＴＰでの通信が開始されてからの１分間において、１秒ごとに伝送遅延時間を計算し、その６０個のデータの平均値が第３の閾値ＴＨ３として設定されてよい。

【００５５】

伝送遅延時間が第３の閾値ＴＨ３より大きいと判定した場合（ステップＳ１０７：Ｙｅｓ）、伝送遅延時間パターン判定部１０８は、伝送遅延時間カウントを１増やし（ステップＳ１０８）、伝送遅延時間カウントフラグをオンにする。伝送遅延時間パターン判定部１０８は、既に伝送遅延時間カウントフラグがオンの場合、伝送遅延時間カウントフラグをオンのままとする。

【００５６】

次に、伝送遅延時間パターン判定部１０８は、伝送遅延時間カウントが第４の閾値ＴＨ４より大きいか否かを判定する（ステップＳ１０９）。第４の閾値ＴＨ４は、伝送遅延時間の変化が一時的であるか否かを判定するための閾値である。第４の閾値ＴＨ４は、例えば、１０回に設定される。この場合、伝送遅延時間パターン判定部１０８は、伝送遅延時間が第３の閾値ＴＨ３（例えば、１０ｍｓ）よりも１０回連続で大きいか否かを判定する。

【００５７】

伝送遅延時間カウントが第４の閾値ＴＨ以下である（０＜伝送遅延時間カウント≦第４の閾値ＴＨ４）であると伝送遅延時間パターン判定部１０８により判定された場合（ステップＳ１０９：Ｎｏ）、ステップＳ１０６から処理が繰り返される。

【００５８】

伝送遅延時間カウントが第４の閾値ＴＨ４より大きい（第４の閾値ＴＨ４＜伝送遅延時間カウント）と判定した場合（ステップＳ１０９：Ｙｅｓ）、伝送遅延時間パターン判定部１０８は、伝送遅延時間カウントが第４の閾値ＴＨ４より大きくなったことを障害箇所判定部１１１に通知する。すなわち、伝送遅延時間パターン判定部１０８は、伝送遅延時間の変動パターンとして、伝送遅延時間が第３の閾値ＴＨ３より大きい状態が、第４の閾値ＴＨ４に応じた所定時間だけ継続したことを障害箇所判定部１１１に通知することができる。

【００５９】

伝送遅延時間が第３の閾値ＴＨ３以下であると判定した場合（ステップＳ１０７：Ｎｏ）、伝送遅延時間パターン判定部１０８は、伝送遅延時間カウントを０にするとともに、伝送遅延時間カウントフラグをオフにする（ステップＳ１０５）。伝送遅延時間が第３の閾値ＴＨ３以下である状態が継続している場合、伝送遅延時間カウントは０であるとともに、伝送遅延時間カウントフラグはオフのままである。したがって、伝送遅延時間パターン判定部１０８は、伝送遅延時間の変動パターンとして、伝送遅延時間が第３の閾値ＴＨ３以下である状態が継続していることを障害箇所判定部１１１に通知することができる。また、伝送遅延時間が第３の閾値ＴＨ３より大きくなり、第４の閾値ＴＨ４に応じた所定時間経過する前に、伝送遅延時間が第３の閾値ＴＨ３以下になった場合、伝送遅延時間カウントは０であるとともに、伝送遅延時間カウントフラグはオンからオフになる。したがって、伝送遅延時間パターン判定部１０８は、伝送遅延時間の変動パターンとして、伝送遅延時間が第３の閾値ＴＨ３より大きくなり、第４の閾値ＴＨ４に応じた所定時間の経過前に、伝送遅延時間が第３の閾値ＴＨ３以下になったことを障害箇所判定部１１１に通知することができる。

【００６０】

したがって、伝送遅延時間パターン判定部１０８は、伝送遅延時間の変動パターンが、図５Ａに示す、伝送遅延時間が第３の閾値ＴＨ３より小さいままであるパターン（パターン０）であるか、図５Ｂに示す、伝送遅延時間が第３の閾値ＴＨ３より大きくなり、第４の閾値ＴＨ４に応じた所定時間が経過する前に、第３の閾値ＴＨ３より小さくなるパターン（パターン１）であるか、図５Ｃに示す、伝送遅延時間が第３の閾値ＴＨ３より大きい状態が、第４の閾値ＴＨ４に応じた所定時間を経過しても継続するパターンであるかを判定し、判定結果を障害箇所判定部１１１に出力する。

【００６１】

オフセットパターン判定部１０７によるオフセットの変動パターンの判定結果および伝送遅延時間パターン判定部１０８による伝送遅延時間の変動パターンの判定結果を受けて（ステップＳ１０４、ステップＳ１０５またはステップＳ１０９の処理の後）、障害箇所判定部１１１は、オフセットの変動パターンと、伝送遅延時間の変動パターンとに基づいて、Grand Master Clock２との時刻同期の障害の発生および障害の発生箇所を判定する（ステップＳ１１０）。図６を参照して、障害箇所判定部１１１による障害箇所の判定について説明する。

【００６２】

図４Ａ，４Ｂを参照して説明したように、オフセットの変動パターンとしては、パター

ン０およびパターン１の２通りのパターンがある。また、図５Ａ，５Ｂ，５Ｃを参照して説明したように、伝送遅延時間の変動パターンとしては、パターン０，パターン１およびパターン２の３通りのパターンがある。したがって、オフセットの変動パターンと伝送遅延時間の変動パターンとを組み合わせると、図６に示すように、６通りのパターン（パターンＡ－パターンＦ）がある。

【００６３】

パターンＡは、オフセットの変動パターンがパターン０であり、伝送遅延時間の変動パターンがパターン０であるパターンである。すなわち、パターンＡは、オフセットの絶対値が第１の閾値ＴＨ１以下であり（図４Ａ）、かつ、伝送遅延時間が第３の閾値ＴＨ３以下の状態である。したがって、オフセットおよび伝送遅延時間に異常はなく、Grand Master Clock２の装置内時刻とBoundary Clock１００の装置内時刻との同期に障害は発生していないと考えられる。

【００６４】

パターンＢは、オフセットの変動パターンがパターン１であり、伝送遅延時間の変動パターンがパターン０であるパターンである。すなわち、パターンＢは、オフセットの絶対値が第１の閾値ＴＨ１より大きく、かつ、伝送遅延時間が第３の閾値ＴＨ３以下である状態である。この場合、パターンＢでは、Grand Master Clock２とBoundary Clock１００との間の伝送路には異常が無いにも変わらず、オフセットの絶対値には第１の閾値ＴＨ１より大きいずれが生じていることから、Grand Master Clock２の装置内時刻に異常が生じている（Grand Master Clock２で障害が発生した）と考えられる。

【００６５】

パターンＣは、オフセットの変動パターンがパターン０であり、伝送遅延時間の変動パターンがパターン１であるパターンである。すなわち、パターンＣは、オフセットの絶対値が第１の閾値ＴＨ１以下であり、かつ、伝送遅延時間が第３の閾値ＴＨ３より大きくなり、その後、第３の閾値ＴＨ３より小さくなった状態である。この場合、パターンＣでは、伝送遅延時間が一時的に大きく変動しても、オフセットには第１の閾値ＴＨ１より大きいずれが生じていないことから、Grand Master Clock２とBoundary Clock１００との間の伝送路に一時的な障害（例えば、輻輳）が発生したと考えられる。

【００６６】

パターンＤは、オフセットの変動パターンがパターン１であり、伝送遅延時間の変動パターンがパターン１であるパターンである。すなわち、パターンＤは、オフセットの絶対値が第１の閾値ＴＨ１より大きくなり、その後、第１の閾値ＴＨ１以下となり、かつ、伝送遅延時間が、第３の閾値ＴＨ３より大きくなり、その後、第３の閾値ＴＨ３より小さくなった状態である。この場合、パターンＤでは、伝送遅延時間が一時的に大きくなっても、元の値に戻っていることから、Grand Master Clock２とBoundary Clock１００との間の伝送路には障害が無く、Grand Master Clock２自体に障害が発生したと考えられる。

【００６７】

パターンＥは、オフセットの変動パターンがパターン０であり、伝送遅延時間の変動パターンがパターン２であるパターンである。すなわち、パターンＥは、オフセットの絶対値が第１の閾値ＴＨ１以下であり、かつ、伝送遅延時間が第３の閾値ＴＨ３より大きいままの状態である。また、パターンＦは、オフセットの変動パターンがパターン１であり、伝送遅延時間の変動パターンがパターン２であるパターンである。すなわち、パターンＦは、オフセットの絶対値が第１の閾値ＴＨ１より大きくなり、その後、第１の閾値ＴＨ１以下となり、かつ、伝送遅延時間が第３の閾値ＴＨ３より大きいままの状態である。パターンＥ，Ｆでは、伝送遅延時間の異常が長時間続いていることから、Grand Master Clock２とBoundary Clock１００との間の伝送路（例えば、ケーブル）に異常が生じていると考えられる。

【００６８】

障害箇所判定部１１１は、図６を参照して説明したような、オフセットの変動パターンと伝送遅延時間の変動パターンとの組み合わせに基づき、障害の発生箇所を判定する。具

体的には、障害箇所判定部１１１は、パターンＡ，Ｃ，Ｅ，Ｆの場合、障害が発生していない、あるいは、Grand Master Clock２とBoundary Clock１００との間の伝送路で障害が発生したと判定する。一方、障害箇所判定部１１１は、パターンＢ，Ｄの場合、Grand Master Clock２で障害が発生したと判定する。

【００６９】

図３を再び参照すると、障害箇所判定部１１１は、障害が発生していない、あるいは、Grand Master Clock２とBoundary Clock１００との間の伝送路で障害が発生したと判定した場合（オフセットの変動パターンと伝送遅延時間の変動パターンとの組み合わせがパターンＡ，Ｃ，Ｅ，Ｆである場合）、Grand Master Clock２から配信される時刻自体は正確であるため引き続き、クライアント装置３の装置内時刻を自装置の装置内時刻に同期させる。

【００７０】

障害箇所判定部１１１は、Grand Master Clock２で障害が発生したと判定した場合（オフセットの変動パターンと伝送遅延時間の変動パターンとの組み合わせがパターンＢ，Ｄである場合）、Grand Master Clock２で障害が発生したことをClock Class書換部１１０に通知する（ステップＳ１１１）。

【００７１】

Clock Class書換部１１０は、障害箇所判定部１１１の通知を受けると、Boundary Clock１００の装置内時刻がGrand Master Clock２の装置内時刻に同期していないことをClock Classが示すように、Clock Classを書き換える。この結果、クライアント装置３の装置内時刻のBoundary Clock１００の装置内時刻への同期が停止される。

【００７２】

なお、図３においては、第２の閾値ＴＨ２は、オフセットの絶対値が第１の閾値ＴＨ１より大きいと判定された回数である例を用いて説明したが、これに限られるものではない。第２の閾値ＴＨ２は、連続してオフセットの絶対値が第１の閾値ＴＨ１より大きいと判定された時間であってもよい。この場合、オフセットパターン判定部１０７は、例えば、オフセットの絶対値が第１の閾値ＴＨ１を超えている時間が、第２の閾値ＴＨ２（例えば、３０秒）より長い否かを判定する。

【００７３】

また、図３においては、第４の閾値ＴＨ４は、伝送遅延時間が第３の閾値ＴＨ３より大きいと判定された回数である例を用いて説明したが、これに限られるものではない。第４の閾値ＴＨ４は、連続して伝送遅延時間が第３の閾値ＴＨ３より大きいと判定された時間であってもよい。この場合、伝送遅延時間パターン判定部１０８は、例えば、伝送遅延時間が第３の閾値ＴＨ３を超えている時間が、第４の閾値ＴＨ４（例えば、３０秒）より長いか否かを判定する。

【００７４】

そして、障害箇所判定部１１１は、オフセットの絶対値が第１の閾値ＴＨ１より大きいと判定された時間または回数が第２の閾値ＴＨ２より大きく、かつ、伝送遅延時間が第３の閾値ＴＨ３以下である場合、障害の発生箇所がGrand Master Clock２であると判定する。または、障害箇所判定部１１１は、オフセットの絶対値が第１の閾値ＴＨ１より大きいと判定された時間または回数が第２の閾値ＴＨ２より大きく、かつ、伝送遅延時間が第３の閾値ＴＨ３より大きいと判定された時間または回数が第４の閾値ＴＨ４より小さい場合、障害の発生箇所がGrand Master Clock２であると判定する。

【００７５】

なお、伝送遅延時間の変動パターンのみを用いて、障害の発生および障害の発生箇所を判定する方法も考えられる。例えば、伝送遅延時間の変動パターンが、図５Ｂに示すパターン１のように変動した場合には、Grand Master Clock２で障害が発生し、図５Ｃに示すパターン２のように変動した場合には、Grand Master Clock２とBoundary Clock１００との間の伝送路で障害が発生したと判定する方法が考えられる。しかしながら、この方法では、障害の発生および障害の発生箇所を正確に判定できない場合がある。

【００７６】
例えば、時刻Ｔ１および時刻Ｔ４が同じ時間だけずれた場合、上述した式２から明らかなように、時刻Ｔ１と時刻Ｔ４とが打ち消し合い、時刻Ｔ１および時刻Ｔ４のずれによる伝送遅延時間の変化が判別できないことがある。
【００７７】
一方、本実施形態においては、伝送遅延時間の変動パターンだけでなく、オフセットの変動パターンも用いることで、より正確に障害の発生および障害の発生箇所を正確に判定することができる。上述した例では、時刻Ｔ１および時刻Ｔ４が同じ時間だけずれた場合にも、上述した式１から明らかなように、時刻Ｔ１と時刻Ｔ４とが打ち消されることが無いので、時刻Ｔ１および時刻Ｔ４のずれを、オフセットの変動として判別することができる。
【００７８】
なお、本実施形態においては、本開示に係る時刻同期装置が、Grand Master Clock２とクライアント装置３との間で時刻同期を行う例を用いて説明したが、これに限られるものではない。本開示に係る時刻同期装置は、例えば、一のBoundary Clockと他のBoundary Clockとの間で時刻同期を行うものであってもよい。
【００７９】
次に、本実施形態に係る時刻同期装置としてのBoundary Clock１００のハードウェア構成について説明する。
【００８０】
図７は、本実施形態に係る時刻同期装置としてのBoundary Clock１００のハードウェア構成の一例を示す図である。図７においては、Boundary Clock１００がプログラム命令を実行可能なコンピュータにより構成される場合の、Boundary Clock１００のハードウェア構成の一例を示している。ここで、コンピュータは、汎用コンピュータ、専用コンピュータ、ワークステーション、ＰＣ（Personal computer）、電子ノートパッドなどであってもよい。プログラム命令は、必要なタスクを実行するためのプログラムコード、コードセグメントなどであってもよい。
【００８１】
図７に示すように、Boundary Clock１００は、プロセッサ１１、ＲＯＭ（Read Only Memory）１２、ＲＡＭ（Random Access Memory）１３、ストレージ１４、入力部１５、表示部１６および通信インタフェース（Ｉ／Ｆ）１７を有する。各構成は、バス１９を介して相互に通信可能に接続されている。プロセッサ１１は、具体的にはＣＰＵ(Central Processing Unit)、ＭＰＵ（Micro Processing Unit）、ＧＰＵ（Graphics Processing Unit）、ＤＳＰ（Digital Signal Processor）、ＳｏＣ（System on a Chip）などであり、同種または異種の複数のプロセッサにより構成されてもよい。
【００８２】
プロセッサ１１は、各構成の制御および各種の演算処理を実行する制御部である。すなわち、プロセッサ１１は、ＲＯＭ１２またはストレージ１４からプログラムを読み出し、ＲＡＭ１３を作業領域としてプログラムを実行する。プロセッサ１１は、ＲＯＭ１２あるいはストレージ１４に記憶されているプログラムに従って、上記各構成の制御および各種の演算処理を行う。本実施形態では、ＲＯＭ１２またはストレージ１４には、コンピュータを本開示に係るBoundary Clock１００として機能させるためのプログラムが格納されている。当該プログラムがプロセッサ１１により読み出されて実行されることで、Boundary Clock１００の各構成、すなわち、オフセット計算部１０２、伝送遅延時間計算部１０３、時刻同期処理部１０４、オフセットパターン判定部１０７、伝送遅延時間パターン判定部１０８、カウントフラグ部１０９、Clock Class書換部１１０および障害箇所判定部１１１が実現される。
【００８３】
プログラムは、ＣＤ－ＲＯＭ（Compact Disk Read Only Memory）、ＤＶＤ－ＲＯＭ（Digital Versatile Disk Read Only Memory）、ＵＳＢ（Universal Serial Bus

）メモリなどの非一時的（non-transitory）記憶媒体に記憶された形態で提供されてもよい。また、プログラムは、ネットワークを介して外部装置からダウンロードされる形態としてもよい。

【００８４】

ＲＯＭ１２は、各種プログラムおよび各種データを格納する。ＲＡＭ１３は、作業領域として一時的にプログラムまたはデータを記憶する。ストレージ１４は、ＨＤＤ（Hard Disk Drive）またはＳＳＤ（Solid State Drive）により構成され、オペレーティングシステムを含む各種プログラムおよび各種データを格納する。ＲＯＭ１２またはストレージ１４は、例えば、上述した第１の閾値ＴＨ１、第２の閾値ＴＨ２、第３の閾値ＴＨ３および第４の閾値ＴＨ４を記憶する。

【００８５】

入力部１５は、マウスなどのポインティングデバイス、およびキーボードを含み、各種の入力を行うために使用される。

【００８６】

表示部１６は、例えば、液晶ディスプレイであり、各種の情報を表示する。表示部１６は、タッチパネル方式を採用して、入力部１５として機能してもよい。

【００８７】

通信インタフェース１７は、他の装置（例えば、Grand Master Clock２およびクライアント装置３）と通信するためのインタフェースであり、例えば、ＬＡＮ用のインタフェースである。

【００８８】

上述したBoundary Clock１００の各部として機能させるためにコンピュータを好適に用いることが可能である。そのようなコンピュータは、Boundary Clock１００の各部の機能を実現する処理内容を記述したプログラムを該コンピュータの記憶部に格納しておき、該コンピュータのプロセッサによってこのプログラムを読み出して実行させることで実現することができる。すなわち、当該プログラムは、コンピュータを、上述したBoundary Clock１００として機能させることができる。また、当該プログラムを非一時的記憶媒体に記録することも可能である。また、当該プログラムを、ネットワークを介して提供することも可能である。

【００８９】

このように本実施形態に係る時刻同期装置としてのBoundary Clock１００は、オフセット計算部１０２と、伝送遅延時間計算部１０３と、オフセットパターン判定部１０７と、伝送遅延時間パターン判定部１０８と、障害箇所判定部１１１とを備える。オフセット計算部１０２は、上位装置の装置内時刻と自装置の装置内時刻との差であるオフセットを計算する。伝送遅延時間計算部１０３は、上位装置と自装置との間で送受信されるパケットの伝送遅延時間を計算する。オフセットパターン判定部１０７は、オフセットの変動パターンを判定する。伝送遅延時間パターン判定部１０８は、伝送遅延時間の変動パターンを判定する。障害箇所判定部１１１は、オフセットの変動パターンと、伝送遅延時間の変動パターンとに基づき、上位装置との時刻同期の障害の発生箇所を判定する。

【００９０】

また、実施形態に係る時刻同期方法は、オフセット計算部１０２が、上位装置の装置内時刻と自装置の装置内時刻との差であるオフセットを計算するステップ（ステップＳ１０１）と、伝送遅延時間計算部１０３が、上位装置と自装置との間で送受信されるパケットの伝送遅延時間を計算するステップ（ステップＳ１０６）とを含む。また、本実施形態に係る時刻同期方法は、オフセットパターン判定部１０７が、オフセットの変動パターンを判定するステップ（ステップＳ１０２～ステップＳ１０４）と、伝送遅延時間パターン判定部１０８が、伝送遅延時間の変動パターンを判定するステップ（ステップＳ１０７～ステップＳ１０９）と、障害箇所判定部１１１が、オフセットの変動パターンと、伝送遅延時間の変動パターンとに基づき、上位装置との時刻同期の障害の発生箇所を判定するステップ（ステップＳ１１０）と、を含む。

【００９１】
オフセットの変動パターンと、伝送遅延時間の変動パターンとに基づき、障害の発生箇所を判定することで、Grand Master Clock２における装置内時刻のずれ方の影響を受けることなく、より正確に障害の発生および障害の発生箇所を正確に判定することができる。その結果、下位装置の装置内時刻を誤った時刻に同期させる可能性の低減を図ることができる。
【００９２】
（第２の実施形態）
図８は、本開示の第２の実施形態に係る時刻同期装置としてのBoundary Clock１００Ａの構成例を示す図である。
【００９３】
図８に示すように、本実施形態に係るBoundary Clock１００Ａは、パケット送受信部１０１，１０１Ａ，１０５と、オフセット計算部１０２と、伝送遅延時間計算部１０３と、時刻同期処理部１０４と、閾値記憶部１０６と、オフセットパターン判定部１０７、伝送遅延時間パターン判定部１０８と、カウントフラグ部１０９と、障害箇所判定部１１１Ａと、時刻選択部１１２とを備える。本実施形態に係るBoundary Clock１００Ａは、第１の実施形態に係るBoundary Clock１００と比較して、パケット送受信部１０１Ａおよび時刻選択部１１２が追加された点と、Clock Class書換部１１０が削除された点と、障害箇所判定部１１１が障害箇所判定部１１１Ａに変更された点とが異なる。
【００９４】
パケット送受信部１０１Ａは、パケット送受信部１０１がパケットの送受信を行うGrand Master Clock２とは別のGrand Master Clock２Ａとパケットの送受信を行う。すなわち、本実施形態に係るBoundary Clock１００Ａは、複数のGrand Master Clock２，２Ａと通信可能である。パケット送受信部１０１Ａは、Grand Master Clock２Ａから受信したパケットをオフセット計算部１０２および伝送遅延時間計算部１０３に出力する。
【００９５】
時刻選択部１１２は、Boundary Clock１００Ａが通信可能な複数のGrand Master Clock２，２Ａの中から、自装置の装置内時刻を同期させる対象を選択する。時刻選択部１１２は、例えば、IEEE Std 1588™-2019で規定されているＢＭＣＡ（Best Master Clock Algorithm）に従い、装置内時刻を同期させる対象を選択する。
【００９６】
障害箇所判定部１１１Ａは、障害箇所判定部１１１と同様に、オフセットの変動パターンと、伝送遅延時間の変動パターンとに基づき、上位装置との時刻同期の障害の発生および障害の発生箇所を判定する。そして、障害箇所判定部１１１Ａは、障害の発生箇所が、自装置の装置内時刻を同期させている上位装置であると判定すると、時刻選択部１１２に、自装置の装置内時刻を同期させる対象を切り替えさせる。
【００９７】
次に、本実施形態に係るBoundary Clock１００Ａの動作について説明する。
【００９８】
図９は、本実施形態に係るBoundary Clock１００Ａの動作の一例を示すフローチャートである。図９において、図３と同様の処理には同じ符号を付し、説明を省略する。
【００９９】
時刻選択部１１２は、図３を参照して説明した、ステップＳ１０１からステップＳ１０４の処理およびステップＳ１０６からステップＳ１０９の処理と並行して、ＢＭＣＡにより、自装置の装置内時刻を同期させる、時刻同期の対象を選択する（ステップＳ２０１）。ＢＭＣＡによる時刻同期の対象の選択については、IEEE Std 1588™-2019などに記載されているため、詳細な説明は省略するが、概要について、図１０を参照して説明する。図１０においては、２つの上位装置（Grand Master Clock AおよびGrand Master Clock B）の中から時刻同期の対象を選択する例を用いて説明する。
【０１００】

時刻選択部１１２は、パケット送受信部１０１，１０１Ａを介して、Grand Master Clock AおよびGrand Master Clock Bそれぞれ送信された、以下に示すパラメータを含むパケットを取得する。

識別コード（GM Identity）：Grand Master Clock固有の識別コード

優先度１（GM priority 1）：管理者が設定するGrand Master Clockごとの第１の優先度

ＧＭクラス（GM class）：Grand Master Clockごとのトレーサビリティ（ＵＴＣへの追跡可能性（時刻の信頼性を示す指標））を示す値

ＧＭクロック精度：（GM accuracy value）：Grand Master Clockごとの時刻の精度を示す値

ＧＭクロック安定度（GM offsetScaledLogVariance）：Grand Master Clockごとの安定度を示す値

優先度２（GM priority 2）：管理者が設定するGrand Master Clockごとの第２の優先度

【０１０１】

まず、時刻選択部１１２は、Grand Master Clock AおよびGrand Master Clock Bの識別コードを比較し、Grand Master Clock AおよびGrand Master Clock Bの識別コードが同じであるか否かを判定する（ステップＳ３０１）。Grand Master Clock AおよびGrand Master Clock Bの識別コードが同じであると判定した場合（ステップＳ３０１：Ｙｅｓ）、詳細は省略するが、時刻選択部１１２は、各Grand Master ClockからBoundary Clock１００Ａまでの接続段数、上流のポート番号、受信側のポート番号、同一のデータセットの受信側のポート番号の比較により、時刻同期の対象を選択する。

【０１０２】

Grand Master Clock AおよびGrand Master Clock Bの識別コードが同じでないと判定した場合（ステップＳ３０１：Ｎｏ）、時刻選択部１１２は、Grand Master Clock AおよびGrand Master Clock Bの優先度１を比較する（ステップＳ３０２）。

【０１０３】

Grand Master Clock Aの優先度１がGrand Master Clock Bの優先度１よりも小さい場合（Ａ＜Ｂ）、時刻選択部１１２は、Grand Master Clock Aを時刻同期の対象として選択する。

【０１０４】

Grand Master Clock Bの優先度１がGrand Master Clock Aの優先度１よりも小さい場合（Ｂ＜Ａ）、時刻選択部１１２は、Grand Master Clock Bを時刻同期の対象として選択する。

【０１０５】

Grand Master Clock AおよびGrand Master Clock Bの優先度１が同じである場合（Ａ＝Ｂ）、時刻選択部１１２は、Grand Master Clock AおよびGrand Master Clock BのＧＭクラスを比較する（ステップＳ３０３）。

【０１０６】

Grand Master Clock AのＧＭクラスがGrand Master Clock BのＧＭクラスよりも小さい場合（Ａ＜Ｂ）、時刻選択部１１２は、Grand Master Clock Aを時刻同期の対象として選択する。

【０１０７】

Grand Master Clock BのＧＭクラスがGrand Master Clock AのＧＭクラスよりも小さい場合（Ｂ＜Ａ）、時刻選択部１１２は、Grand Master Clock Bを時刻同期の対象として選択する。

【０１０８】

Grand Master Clock AおよびGrand Master Clock BのＧＭクラスが同じである場合（Ａ＝Ｂ）、時刻選択部１１２は、Grand Master Clock AおよびGrand Master Clock BのＧＭクロック精度を比較する（ステップＳ３０４）。

【０１０９】
Grand Master Clock AのＧＭクロック精度がGrand Master Clock BのＧＭクロック精度よりも小さい場合（Ａ＜Ｂ）、時刻選択部１１２は、Grand Master Clock Aを時刻同期の対象として選択する。
【０１１０】
Grand Master Clock BのＧＭクロック精度がGrand Master Clock AのＧＭクロック精度よりも小さい場合（Ｂ＜Ａ）、時刻選択部１１２は、Grand Master Clock Bを時刻同期の対象として選択する。
【０１１１】
Grand Master Clock AおよびGrand Master Clock BのＧＭクロック精度が同じである場合（Ａ＝Ｂ）、時刻選択部１１２は、Grand Master Clock AおよびGrand Master Clock BのＧＭクロック安定度を比較する（ステップＳ３０５）。
【０１１２】
Grand Master Clock AのＧＭクロック安定度がGrand Master Clock BのＧＭクロック安定度よりも小さい場合（Ａ＜Ｂ）、時刻選択部１１２は、Grand Master Clock Aを時刻同期の対象として選択する。
【０１１３】
Grand Master Clock BのＧＭクロック安定度がGrand Master Clock AのＧＭクロック安定度よりも小さい場合（Ｂ＜Ａ）、時刻選択部１１２は、Grand Master Clock Bを時刻同期の対象として選択する。
【０１１４】
Grand Master Clock AおよびGrand Master Clock BのＧＭクロック安定度が同じである場合（Ａ＝Ｂ）、時刻選択部１１２は、Grand Master Clock AおよびGrand Master Clock Bの優先度２を比較する（ステップＳ３０６）。
【０１１５】
Grand Master Clock Aの優先度２がGrand Master Clock Bの優先度２よりも小さい場合（Ａ＜Ｂ）、時刻選択部１１２は、Grand Master Clock Aを時刻同期の対象として選択する。
【０１１６】
Grand Master Clock Bの優先度２がGrand Master Clock Aの優先度２よりも小さい場合（Ｂ＜Ａ）、時刻選択部１１２は、Grand Master Clock Bを時刻同期の対象として選択する。
【０１１７】
Grand Master Clock AおよびGrand Master Clock Bの優先度２が同じである場合（Ａ＝Ｂ）、時刻選択部１１２は、Grand Master Clock AおよびGrand Master Clock Bの識別コードを比較する（ステップＳ３０７）。
【０１１８】
Grand Master Clock Aの識別コードがGrand Master Clock Bの識別コードよりも小さい場合（Ａ＜Ｂ）、時刻選択部１１２は、Grand Master Clock Aを時刻同期の対象として選択する。
【０１１９】
Grand Master Clock Bの識別コードがGrand Master Clock Aの識別コードよりも小さい場合（Ｂ＜Ａ）、時刻選択部１１２は、Grand Master Clock Bを時刻同期の対象として選択する。
【０１２０】
上述した処理により、時刻選択部１１２は適宜、Boundary Clock１００Ａの装置内時刻を同期させる上位装置（Grand Master Clock２またはGrand Master Clock２Ａ）を選択する。
【０１２１】
図９を再び参照すると、障害箇所判定部１１１Ａは、障害の発生箇所が自装置の装置内

時刻を同期させている上位装置（例えば、Grand Master Clock２）であると判定すると、Grand Master Clock２で障害が発生したことを時刻選択部１１２に通知する（ステップＳ２０２）。

【０１２２】

障害箇所判定部１１１Ａからの通知を受けて、時刻選択部１１２は、自装置の装置内時刻を同期させる時刻同期の対象を切り替える。例えば、Grand Master Clock２の装置内時刻に自装置の装置内時刻を同期させている状態で、Grand Master Clock２で障害が発生したことを障害箇所判定部１１１Ａから通知されると、時刻選択部１１２は、時刻同期の対象を、Grand Master Clock２からGrand Master Clock２Ａに切り替える。時刻選択部１１２は、例えば、図１０を参照して説明したＢＭＣＡによる時刻同期の対象の選択の処理おいて、ステップＳ３０５でＡ＝Ｂであると判定すると、時刻同期の対象を切り替える。

【０１２３】

このように本実施形態に係る時刻同期装置としてのBoundary Clock１００Ａは、複数の上位装置（Grand Master Clock２，２Ａ）の中から、自装置の装置内時刻を同期させる上位装置を選択する時刻選択部１１２をさらに備える。障害箇所判定部１１１Ａは、障害の発生箇所が、自装置の装置内時刻を同期させている上位装置であると判定すると、時刻選択部１１２に、自装置の装置内時刻を同期させる上位装置を切り替えさせる。

【０１２４】

そのため、下位装置の装置内時刻を誤った時刻に同期させる可能性の低減を図ることができる。

【０１２５】

なお、第２の実施形態に係るBoundary Clock１００Ａについても、図７を参照して説明したハードウェア構成のコンピュータにより構成することができる。

【０１２６】

以上の実施形態に関し、更に以下の付記を開示する。

【０１２７】

［付記項１］

上位装置とのパケットの送受信により、前記上位装置の装置内時刻に自装置の装置内時刻を同期させ、下位装置の装置内時刻を前記自装置の装置内時刻に同期させる時刻同期装置であって、

メモリと、

前記メモリに接続された制御部と、

を備え、

前記制御部は、

前記上位装置の装置内時刻と前記自装置の装置内時刻との差であるオフセットを計算し、

前記上位装置と自装置との間で送受信されるパケットの伝送遅延時間を計算し、

前記オフセットの変動パターンを判定し、

前記伝送遅延時間の変動パターンを判定し、

前記オフセットの変動パターンと、前記伝送遅延時間の変動パターンとに基づき、前記上位装置との時刻同期の障害の発生箇所を判定する、時刻同期装置。

【０１２８】

［付記項２］

付記項１に記載の時刻同期装置において、

前記制御部は、前記障害の発生箇所が前記上位装置であると判定すると、前記下位装置の装置内時刻の前記自装置の装置内時刻への同期を停止する、時刻同期装置。

【０１２９】

［付記項３］

付記項１に記載の時刻同期装置において、

前記制御部は、

複数の上位装置の中から、自装置の装置内時刻を同期させる上位装置を選択し、
前記障害の発生箇所が前記上位装置であると判定すると、複数の上位装置の中から、自装置の装置内時刻を同期させる上位装置を切り替える、時刻同期装置。

【０１３０】

［付記項４］

付記項１に記載の時刻同期装置において、
前記制御部は、
前記オフセットの絶対値が第１の閾値より大きいか否かを判定し、前記オフセットの変動パターンとして、前記オフセットの絶対値が前記第１の閾値より大きいと判定された時間または回数が第２の閾値より大きいか否かを判定し、
前記伝送遅延時間が第３の閾値より大きいか否かを判定し、前記伝送遅延時間の変動パターンとして、前記伝送遅延時間が前記第３の閾値より大きいと判定された時間または回数が第４の閾値より大きいか否かを判定する、時刻同期装置。

【０１３１】

［付記項５］

付記項４に記載の時刻同期装置において、
前記制御部は、前記オフセットの絶対値が前記第１の閾値より大きいと判定された時間または回数が前記第２の閾値より大きく、かつ、前記伝送遅延時間が前記第３の閾値以下である場合、または、前記伝送遅延時間が前記第３の閾値より大きいと判定された時間または回数が前記第４の閾値より小さい場合、前記障害の発生箇所が前記上位装置であると判定する、時刻同期装置。

【０１３２】

［付記項６］

上位装置とのパケットの送受信により、前記上位装置の装置内時刻に自装置の装置内時刻を同期させ、下位装置の装置内時刻を前記自装置の装置内時刻に同期させる時刻同期方法であって、
前記上位装置の装置内時刻と前記自装置の装置内時刻との差であるオフセットを計算し、
前記上位装置と自装置との間で送受信されるパケットの伝送遅延時間を計算し、
前記オフセットの変動パターンを判定し、
前記伝送遅延時間の変動パターンを判定し、
前記オフセットの変動パターンと、前記伝送遅延時間の変動パターンとに基づき、前記上位装置との時刻同期の障害の発生箇所を判定する、時刻同期方法。

【０１３３】

［付記項７］

コンピュータによって実行可能なプログラムを記憶した非一時的記憶媒体であって、前記コンピュータを、付記項１に記載の時刻同期装置として動作させる、プログラムを記憶した非一時的記憶媒体。

【０１３４】

上述の実施形態は代表的な例として説明したが、本開示の趣旨および範囲内で、多くの変更および置換ができることは当業者に明らかである。したがって、本発明は、上述の実施形態によって制限するものと解するべきではなく、請求の範囲から逸脱することなく、種々の変形または変更が可能である。例えば、実施形態の構成図に記載の複数の構成ブロックを１つに組み合わせたり、あるいは１つの構成ブロックを分割したりすることが可能である。

【符号の説明】

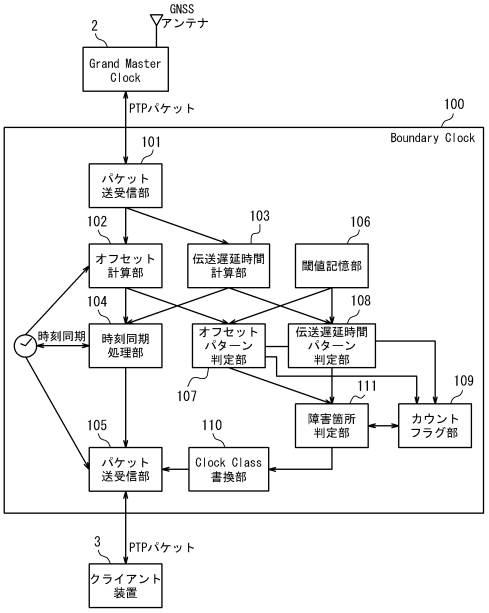
【０１３５】

１　時刻同期システム
２，２Ａ　Grand Master Clock（上位装置）
３　クライアント装置（下位装置）
１１　プロセッサ

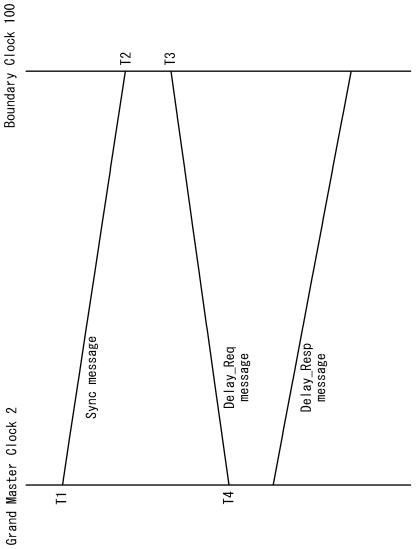
１２　ＲＯＭ
１３　ＲＡＭ
１４　ストレージ
１５　入力部
１６　表示部
１７　通信Ｉ／Ｆ
１９　バス
１００，１００Ａ　Boundary Clock（時刻同期装置）
１０１，１０１Ａ，１０５　パケット送受信部
１０２　オフセット計算部
１０３　伝送遅延時間計算部
１０４　時刻同期処理部
１０６　閾値記憶部
１０７　オフセットパターン判定部
１０８　伝送遅延時間パターン判定部
１０９　カウントフラグ部
１１０　Clock Class書換部
１１１，１１１Ａ　障害箇所判定部
１１２　時刻選択部

【図面】

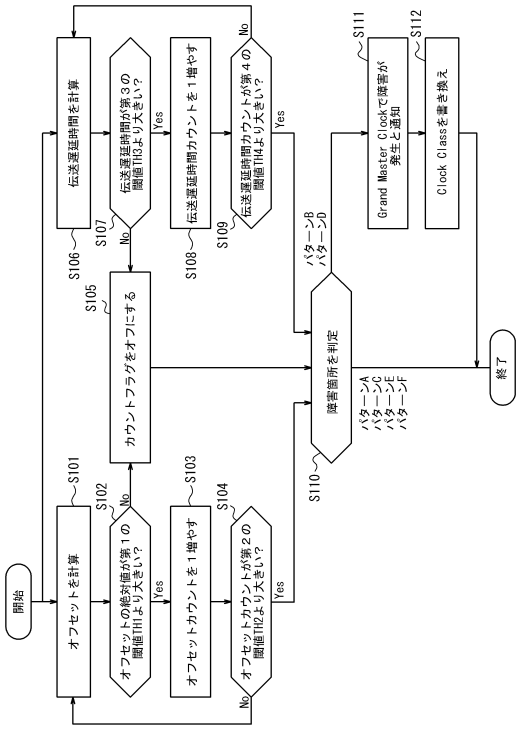
【図１】



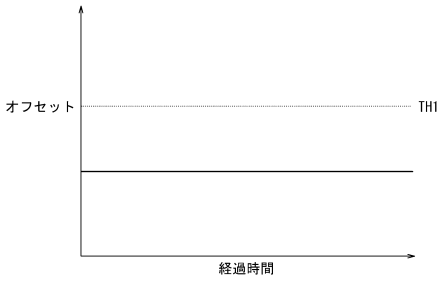
【図２】



【図３】

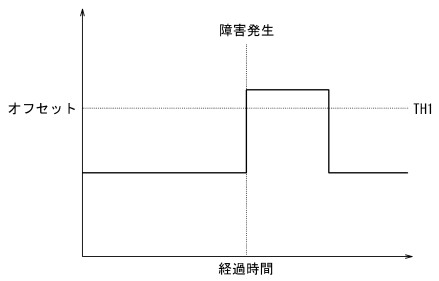


【図４Ａ】



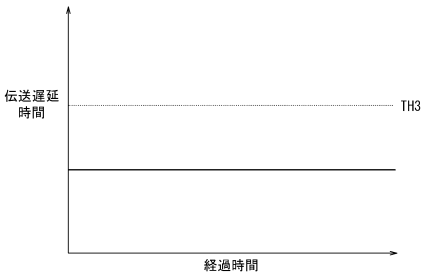
パターン0

【図４Ｂ】



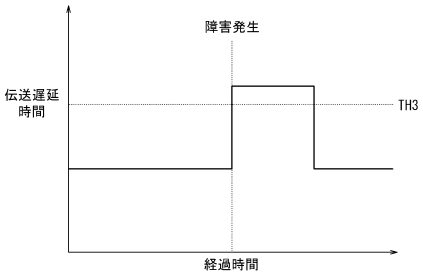
パターン1

【図５Ａ】



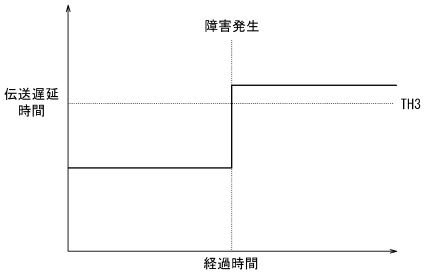
パターン0

【図５Ｂ】



パターン1

【図５Ｃ】

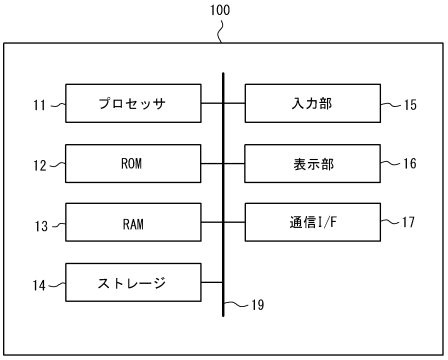


パターン2

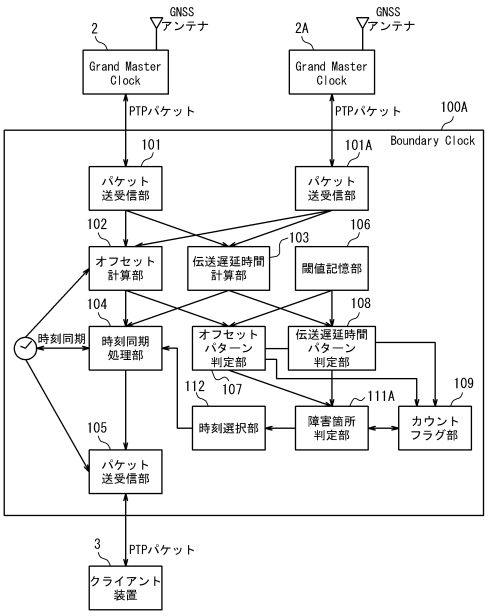
【図６】

		オフセットの変動パターン	
		パターン0	パターン1
伝送遅延時間の変動パターン	パターン0	パターンA	パターンB
	パターン1	パターンC	パターンD
	パターン2	パターンE	パターンF

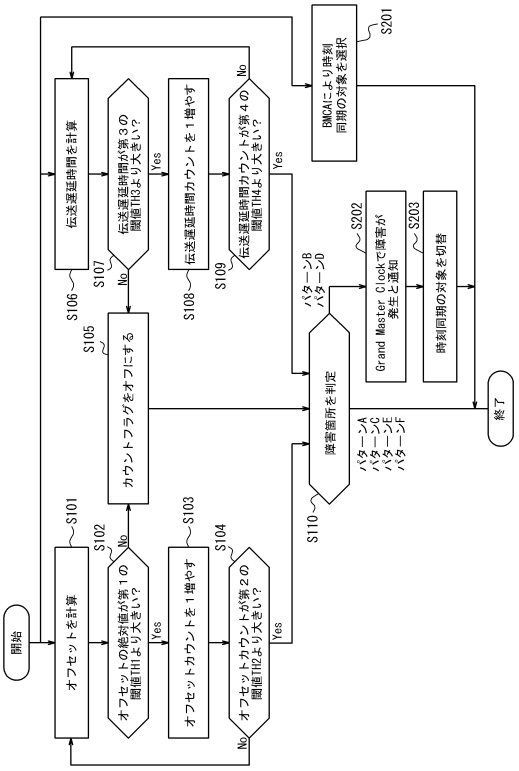
【図７】



【図８】



【図９】



【図１０】

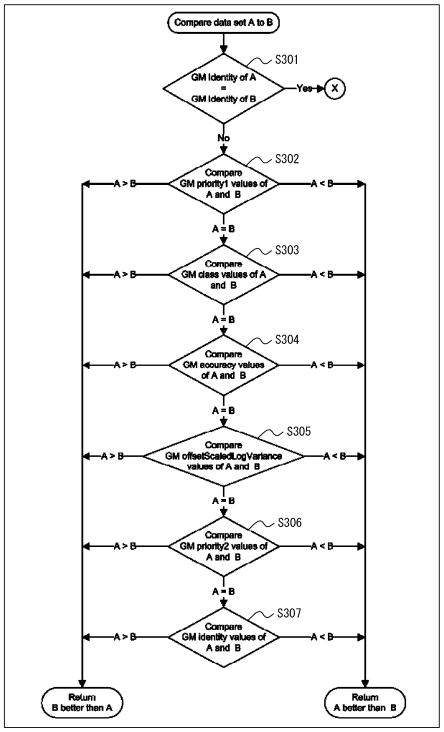
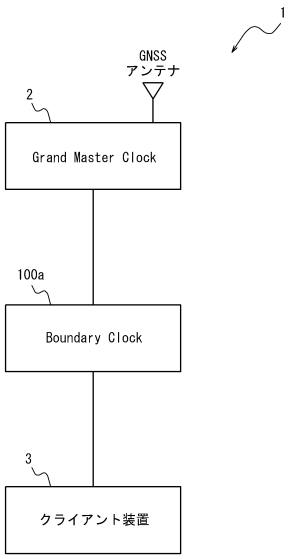


Figure 27—Data set comparison algorithm, part 1

【図１４】



フロントページの続き

(72)発明者　矢沢 豪
東京都千代田区大手町一丁目５番１号 日本電信電話株式会社内
(72)発明者　中西 隆
東京都千代田区大手町一丁目５番１号 日本電信電話株式会社内
審査官　北村 智彦
(56)参考文献　特開２０１６－１５２４８８（ＪＰ，Ａ）
特開２０１７－０９８６９４（ＪＰ，Ａ）
中西 隆 他，高精度時刻同期アクセスシステムの開発導入，ＮＴＴ技術ジャーナル，日本，2017年04月01日，第２９巻，第４号，pp.50-53
(58)調査した分野　(Int.Cl.，ＤＢ名)
Ｈ０４Ｌ　７／００
ＩＥＥＥ Ｘｐｌｏｒｅ