

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2010-93702

(P2010-93702A)

(43) 公開日 平成22年4月22日(2010.4.22)

(51) Int.Cl.
H04L 12/56 (2006.01)F I
H04L 12/56 400Bテーマコード (参考)
5K030

審査請求 未請求 請求項の数 27 O L (全 33 頁)

(21) 出願番号 特願2008-263930 (P2008-263930)
(22) 出願日 平成20年10月10日 (2008.10.10)(71) 出願人 000004237
日本電気株式会社
東京都港区芝五丁目7番1号
(74) 代理人 100065385
弁理士 山下 穰平
(74) 代理人 100130029
弁理士 永井 道雄
(72) 発明者 厩橋 正樹
東京都港区芝五丁目7番1号 日本電気株式会社内
(72) 発明者 崔 珍龍
東京都港区芝五丁目7番1号 日本電気株式会社内

最終頁に続く

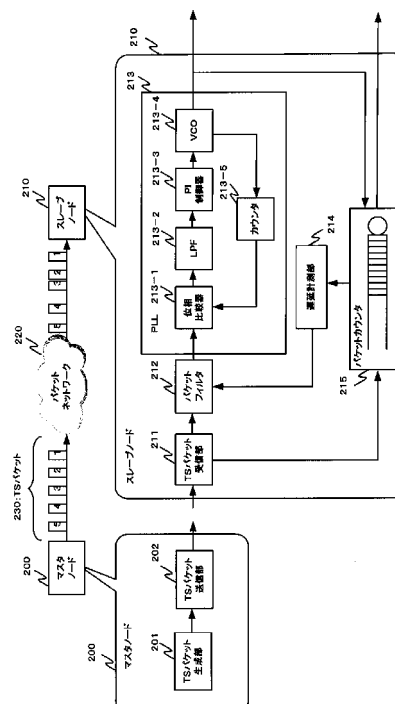
(54) 【発明の名称】 キューイング遅延計測方法、その方法を用いた同期システム、その方法及びそのプログラム

(57) 【要約】

【課題】スレーブノードのクロックをマスタノードのクロックに同期させるクロック同期システムにおいて、マスタ／スレーブ間のクロックが同期していない場合の同期のズレに適切に対処する。

【解決手段】送信側ノードと受信側ノードが相互に接続されており、送信側ノードが受信側ノードに対してパケットを送信するパケットネットワークにおいてクロックを同期させる受信側ノードが、前記送信側ノードが定期的に送信してくるパケットを受け取る。前記受け取ったパケットの到着状況と出力状況をカウンタ値として管理する。前記管理する前記カウンタ値を監視することにより、前記送信側ノードから送信されてきた前記パケットに対して前記パケットネットワーク内で付加されたキューイング遅延を計測する。

【選択図】 図6



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

送信側ノードと受信側ノードが相互に接続されており、送信側ノードが受信側ノードに対してパケットを送信するパケットネットワークにおいてキューイング遅延を計測する受信側ノードであって、

前記送信側ノードが定期的を送信してくるパケットを受け取る受信手段と、

前記受け取ったパケットの到着状況と出力状況をカウンタ値として管理するパケットカウンタと、

前記パケットカウンタの管理する前記カウンタ値を監視することにより、前記送信側ノードから送信されてきた前記パケットに対して前記パケットネットワーク内で付加されたキューイング遅延を計測するキューイング遅延計測手段と、

を備えることを特徴とする受信側ノード。

【請求項 2】

送信側ノードと受信側ノードが相互に接続されており、送信側ノードが受信側ノードに対してパケットを送信するパケットネットワークにおいてクロックを同期させる受信側ノードであって、

前記送信側ノードが定期的を送信してくるパケットを受け取る受信手段と、

前記受け取ったパケットの到着状況と出力状況をカウンタ値として管理するパケットカウンタと、

前記パケットカウンタの管理する前記カウンタ値を監視することにより、前記送信側ノードから送信されてきた前記パケットに対して前記パケットネットワーク内で付加されたキューイング遅延を計測するキューイング遅延計測手段と、

前記キューイング遅延計測手段で計測したキューイング遅延量と所定の閾値とを比較し、比較の結果前記閾値以下のキューイング遅延を含むと判断されたパケットのみを採用するパケットフィルタと、

前記パケットフィルタにおいて採用された前記パケットを元に当該受信側ノードのクロックを再生する位相同期手段と、

を備えることを特徴とする受信側ノード。

【請求項 3】

請求項 1 又は 2 に記載の受信側ノードであって、

前記キューイング遅延計測手段は、所定の計測時間の間、前記パケットカウンタの管理する前記カウンタ値を監視することにより、送信されてきた前記パケットの中でキューイング遅延がゼロのパケットが到着した時のカウンタ値を検出し、その値を基準値とし、前記パケット到着時のカウンタ値と前記基準値との差分からキューイング遅延を求めることを特徴とする受信側ノード。

【請求項 4】

請求項 1 乃至 3 の何れか 1 項に記載の受信側ノードであって、

前記パケットカウンタは、前記パケットの到着時に所定のカウンタ値が加算され、通常時には前記送信側ノードが前記パケットを 1 つ送信する時間間隔に前記所定のカウンタ値と同じ値だけ減算される速さでカウンタ値が減算されることを特徴とする受信側ノード。

【請求項 5】

請求項 1 乃至 3 の何れか 1 項に記載の受信側ノードであって、

前記送信されてくる前記パケットはタイムスタンプパケットであり、前記パケットカウンタは、前記パケットの到着時に格納されるタイムスタンプ値と一つ前に到着した前記パケットに格納されるタイムスタンプ値の差分が所定の値の N (N は 1 以上の自然数) 倍である時に、前記所定のカウンタ値の N 倍の値が加算され、通常時には前記送信側ノードが前記パケットを 1 つ送信する時間間隔に前記所定のカウンタ値と同じ値だけ減算される速さでカウンタ値が減算されることを特徴とする受信側ノード。

【請求項 6】

請求項 4 又は 5 に記載の受信側ノードであって、

前記キューイング遅延計測手段は、前記パケット到着時に前記所定のカウンタ値を加算した後の値を到着時カウンタ値とし、前記所定の計測時間の間での前記到着時カウンタ値の最大値をカウンタ最大値として基準値とし、前記カウンタ最大値と前記到着時カウンタ値との差分からキューイング遅延を求めることを特徴とする受信側ノード。

【請求項 7】

請求項 4 又は 5 に記載の受信側ノードであって、
前記キューイング遅延計測手段は、前記パケット到着時に前記所定のカウンタ値を加算する前の値を到着時カウンタ値とし、前記所定の計測時間の間での前記到着時カウンタ値の最大値をカウンタ最大値として基準値とし、前記カウンタ最大値と前記到着時カウンタ値との差分からキューイング遅延を求めることを特徴とする受信側ノード。

10

【請求項 8】

請求項 1 乃至 3 の何れか 1 項に記載の受信側ノードであって、

前記パケットカウンタは、前記パケットの到着時に所定のカウンタ値が減算され、通常時には前記送信側ノードが前記パケットを 1 つ送信する時間間隔に前記所定のカウンタ値と同じ値だけ加算される速さでカウンタ値が加算されることを特徴とする受信側ノード。

【請求項 9】

請求項 1 乃至 3 の何れか 1 項に記載の受信側ノードであって、

前記送信されてくる前記パケットはタイムスタンプパケットであり、前記パケットカウンタは、前記パケットの到着時に格納されるタイムスタンプ値と一つ前に到着した前記パケットに格納されるタイムスタンプ値の差分が所定の値の N (N は 1 以上の自然数) 倍である時に、前記所定のカウンタ値の N 倍の値が減算され、通常時には前記送信側ノードが前記パケットを 1 つ送信する時間間隔に前記所定のカウンタ値と同じ値だけ加算される速さでカウンタ値が加算されることを特徴とする受信側ノード。

20

【請求項 10】

請求項 8 又は 9 に記載の受信側ノードであって、

前記キューイング遅延計測手段は、前記パケット到着時に前記所定のカウンタ値を減算した後の値を到着時カウンタ値とし、前記所定の計測時間の間での前記到着時カウンタ値の最大値をカウンタ最大値として基準値とし、前記カウンタ最大値と前記到着時カウンタ値との差分からキューイング遅延を求めることを特徴とする受信側ノード。

【請求項 11】

30

請求項 8 又は 9 に記載の受信側ノードであって、

前記キューイング遅延計測手段は、前記パケット到着時に前記所定のカウンタ値を減算する前の値を到着時カウンタ値とし、前記所定の計測時間の間での前記到着時カウンタ値の最大値をカウンタ最大値として基準値とし、前記カウンタ最大値と前記到着時カウンタ値との差分からキューイング遅延を求めることを特徴とする受信側ノード。

【請求項 12】

請求項 1 乃至 11 の何れか 1 項に記載の受信側ノードと、前記送信側ノードと相互に接続されている送信側ノードと、を備えるパケットネットワークシステムであって、

前記送信側ノードが、

パケットを生成するパケット生成手段と、

40

前記パケット生成手段において生成した前記パケットを前記受信側ノードに対して定期的に送信する送信手段と、

を備えることを特徴とするパケットネットワークシステム。

【請求項 13】

送信側ノードと受信側ノードが相互に接続されており、送信側ノードが受信側ノードに対してパケットを送信するパケットネットワークにおいてキューイング遅延を計測するキューイング遅延対処方法であって、

前記受信側ノードが、前記送信側ノードが定期的に送信してくるパケットを受け取る受信ステップと、

前記受信側ノードのパケットカウンタが、前記受け取ったパケットの到着状況と出力状

50

況をカウンタ値として管理する第1のステップと、

前記受信側ノードが、前記パケットカウンタの管理する前記カウンタ値を監視することにより、前記送信側ノードから送信されてきた前記パケットに対して前記パケットネットワーク内で付加されたキューイング遅延を計測するキューイング遅延計測ステップと、
を備えることを特徴とするキューイング遅延対処方法。

【請求項14】

送信側ノードと受信側ノードが相互に接続されており、送信側ノードが受信側ノードに対してパケットを送信するパケットネットワークにおいてクロックを同期させるキューイング遅延対処方法であって、

前記受信側ノードが、前記送信側ノードが定期的を送信してくるパケットを受け取る受信ステップと、

前記受信側ノードのパケットカウンタが、前記受け取ったパケットの到着状況と出力状況をカウンタ値として管理する第2のステップと、

前記受信側ノードが、前記パケットカウンタの管理する前記カウンタ値を監視することにより、前記送信側ノードから送信されてきた前記パケットに対して前記パケットネットワーク内で付加されたキューイング遅延を計測するキューイング遅延計測ステップと、

前記受信側ノードのパケットフィルタが、前記キューイング遅延計測ステップで計測したキューイング遅延量と所定の閾値とを比較し、比較の結果前記閾値以下のキューイング遅延を含むと判断されたパケットのみを採用する第3のステップと、

前記パケットフィルタにおいて採用された前記パケットを元に当該受信側ノードのクロックを再生する位相同期ステップと、

を備えることを特徴とするキューイング遅延対処方法。

【請求項15】

請求項13又は14に記載のキューイング遅延対処方法であって、

前記キューイング遅延計測ステップにおいて、所定の計測時間の間、前記パケットカウンタの管理する前記カウンタ値を監視することにより、送信されてきた前記パケットの中でキューイング遅延がゼロのパケットが到着した時のカウンタ値を検出し、その値を基準値とし、前記パケット到着時のカウンタ値と前記基準値との差分からキューイング遅延を求めることを特徴とするキューイング遅延対処方法。

【請求項16】

請求項13乃至15の何れか1項に記載のキューイング遅延対処方法であって、

前記パケットカウンタは、前記パケットの到着時に所定のカウンタ値が加算され、通常時には前記送信側ノードが前記パケットを1つ送信する時間間隔に前記所定のカウンタ値と同じ値だけ減算される速さでカウンタ値が減算されることを特徴とするキューイング遅延対処方法。

【請求項17】

請求項13乃至15の何れか1項に記載のキューイング遅延対処方法であって、

前記送信されてくる前記パケットはタイムスタンプパケットであり、前記パケットカウンタは、前記パケットの到着時に格納されるタイムスタンプ値と一つ前に到着した前記パケットに格納されるタイムスタンプ値の差分が所定の値のN（Nは1以上の自然数）倍である時に、前記所定のカウンタ値のN倍の値が加算され、通常時には前記送信側ノードが前記パケットを1つ送信する時間間隔に前記所定のカウンタ値と同じ値だけ減算される速さでカウンタ値が減算されることを特徴とするキューイング遅延対処方法。

【請求項18】

請求項16又は17に記載のキューイング遅延対処方法であって、

前記キューイング遅延計測ステップにおいて、前記パケット到着時に前記所定のカウンタ値を加算した後の値を到着時カウンタ値とし、前記所定の計測時間の間での前記到着時カウンタ値の最大値をカウンタ最大値として基準値とし、前記カウンタ最大値と前記到着時カウンタ値との差分からキューイング遅延を求めることを特徴とするキューイング遅延対処方法。

【請求項 19】

請求項 16 又は 17 に記載のキューイング遅延対処方法であって、
前記キューイング遅延計測ステップにおいて、前記パケット到着時に前記所定のカウンタ値を加算する前の値を到着時カウンタ値とし、前記所定の計測時間の間での前記到着時カウンタ値の最大値をカウンタ最大値として基準値とし、前記カウンタ最大値と前記到着時カウンタ値との差分からキューイング遅延を求めることを特徴とするキューイング遅延対処方法。

【請求項 20】

請求項 13 乃至 15 の何れか 1 項に記載のキューイング遅延対処方法であって、
前記パケットカウンタは、前記パケットの到着時に所定のカウンタ値が減算され、通常時には前記送信側ノードが前記パケットを 1 つ送信する時間間隔に前記所定のカウンタ値と同じ値だけ加算される速さでカウンタ値が加算されることを特徴とするキューイング遅延対処方法。

10

【請求項 21】

請求項 13 乃至 15 の何れか 1 項に記載のキューイング遅延対処方法であって、
前記送信されてくる前記パケットはタイムスタンプパケットであり、前記パケットカウンタは、前記パケットの到着時に格納されるタイムスタンプ値と一つ前に到着した前記パケットに格納されるタイムスタンプ値の差分が所定の値の N (N は 1 以上の自然数) 倍である時に、前記所定のカウンタ値の N 倍の値が減算され、通常時には前記送信側ノードが前記パケットを 1 つ送信する時間間隔に前記所定のカウンタ値と同じ値だけ加算される速さでカウンタ値が加算されることを特徴とするキューイング遅延対処方法。

20

【請求項 22】

請求項 20 又は 21 に記載のキューイング遅延対処方法であって、
前記キューイング遅延計測ステップにおいて、前記パケット到着時に前記所定のカウンタ値を減算した後の値を到着時カウンタ値とし、前記所定の計測時間の間での前記到着時カウンタ値の最大値をカウンタ最大値として基準値とし、前記カウンタ最大値と前記到着時カウンタ値との差分からキューイング遅延を求めることを特徴とするキューイング遅延対処方法。

【請求項 23】

請求項 20 又は 21 に記載のキューイング遅延対処方法であって、
前記キューイング遅延計測ステップにおいて、前記パケット到着時に前記所定のカウンタ値を減算する前の値を到着時カウンタ値とし、前記所定の計測時間の間での前記到着時カウンタ値の最大値をカウンタ最大値として基準値とし、前記カウンタ最大値と前記到着時カウンタ値との差分からキューイング遅延を求めることを特徴とするキューイング遅延対処方法。

30

【請求項 24】

請求項 13 乃至 23 の何れか 1 項に記載のキューイング遅延対処方法であって、
前記送信側ノードが、パケットを生成するパケット生成ステップと、
前記送信側ノードが、前記パケット生成ステップにおいて生成した前記パケットを前記受信側ノードに対して定期的に送信する送信ステップと、
を更に備えることを特徴とするキューイング遅延対処方法。

40

【請求項 25】

送信側ノードと受信側ノードが相互に接続されており、送信側ノードが受信側ノードに対してパケットを送信するパケットネットワークにおいてキューイング遅延を計測するキューイング遅延対処プログラムであって、

前記送信側ノードが定期的に送信してくるパケットを受け取る受信手段と、

前記受け取ったパケットの到着状況と出力状況をカウンタ値として管理するパケットカウンタと、

前記パケットカウンタの管理する前記カウンタ値を監視することにより、前記送信側ノードから送信されてきた前記パケットに対して前記パケットネットワーク内で付加された

50

キューイング遅延を計測するキューイング遅延計測手段と、

を備える受信側ノードとしてコンピュータを機能させることを特徴とするキューイング遅延対処プログラム。

【請求項 26】

送信側ノードと受信側ノードが相互に接続されており、送信側ノードが受信側ノードに対してパケットを送信するパケットネットワークにおいてクロックを同期させるキューイング遅延対処プログラムであって、

前記送信側ノードが定期的に送信してくるパケットを受け取る受信手段と、

前記受け取ったパケットの到着状況と出力状況をカウンタ値として管理するパケットカウンタと、

前記パケットカウンタの管理する前記カウンタ値を監視することにより、前記送信側ノードから送信されてきた前記パケットに対して前記パケットネットワーク内で付加されたキューイング遅延を計測するキューイング遅延計測手段と、

前記キューイング遅延計測手段で計測したキューイング遅延量と所定の閾値とを比較し、比較の結果前記閾値以下のキューイング遅延を含むと判断されたパケットのみを採用するパケットフィルタと、

前記パケットフィルタにおいて採用された前記パケットを元に当該受信側ノードのクロックを再生する位相同期手段と、

を備える受信側ノードとしてコンピュータを機能させることを特徴とするキューイング遅延対処プログラム。

【請求項 27】

請求項 25 又は 26 に記載のキューイング遅延対処プログラムであって、

前記キューイング遅延計測手段は、所定の計測時間の間、前記パケットカウンタの管理する前記カウンタ値を監視することにより、送信されてきた前記パケットの中でキューイング遅延がゼロのパケットが到着した時のカウンタ値を検出し、その値を基準値とし、前記パケット到着時のカウンタ値と前記基準値との差分からキューイング遅延を求める受信側ノードとしてコンピュータを機能させることを特徴とするキューイング遅延対処プログラム。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、パケットネットワークにおける送信側装置から受信側装置に転送されるパケットの遅延計測システム、その方法及びそのプログラムに関する。

【0002】

更に、本発明は、前記遅延計測システム、その方法及びそのプログラムを用いて、パケットネットワークを介して装置間のクロックを同期させるシステム、その方法及びそのプログラムに関する。

【背景技術】

【0003】

ネットワークの転送されるデータ量の増大に伴い、通信事業者にとって、高速データ通信網を安価に実現する必要性が増している。そのため、時分割多重（TDM：Time Division Multiplexing）方式（以下、TDM方式と記載する）を用いた高コストなネットワークからインターネットプロトコル（IP：Internet Protocol）方式（以下、IP方式と記載する）を用いた低コストかつ高効率なネットワークへの移行が進められつつある。

【0004】

ネットワークに転送されるトラフィックの中には、送信ノード側と受信ノード側で正確なクロック同期が求められるものがある。例えば音声やビデオなどのリアルタイムデータの送信及び再生である。このようなリアルタイムデータを高品質にやり取りするためには、予め決められたタイミングでデータを再生する必要がある、そのために安定したクロックが必要となる。

10

20

30

40

50

【0005】

また、他の例としては、モバイルネットワークサービスでは、セル間のハンドオーバを滞りなく実現するために正確なクロック同期が求められている。具体的には、モバイルネットワーク上の各基地局装置は無線ネットワーク制御装置との間で、50 parts per billion (ppb) という非常に高精度のクロック同期が求められている。サービス中にもしも基地局装置のクロック同期精度がこの要求値を超えてしまうと、セル間のハンドオーバが失敗してしまう可能性があり、データが欠落し、通信品質が劣化する恐れがある。

【0006】

従来のTDM方式ベースのネットワークでは、受信ノードは伝送路を介して送信ノードのクロック情報を抽出することができるため、送受信ノード間で高精度のクロック同期を実現可能だった。これに対して、IPネットワーク方式では、ネットワーク内でデータが非同期に転送されるため、受信側ノードでのデータの到着間隔には揺らぎがあり、受信データから高精度のクロック情報を抽出することは困難であり、送信側のクロックを再生する必要がある。

10

【0007】

上述の問題に鑑みて、IPネットワークのようなパケットネットワークを介して高精度のクロック再生を実現する技術として、タイムスタンプ方式が提案されている。タイムスタンプ方式の構成図を図1に示す。

【0008】

タイムスタンプ方式では、送信側ノードにあたるマスタノード100がタイムスタンプ（以下、TSと記載する）を格納したTSパケット230を受信側ノードにあたるスレーブノード110に向けて送信する。TSパケット230はパケットネットワーク220を経由して、スレーブノード110に到着する（図1上部分参照）。TSパケット230を受信したスレーブノード110は、格納されたTS情報を利用して自身のクロックを調整することにより、マスタノード100のクロックと同期する。次に、スレーブノード110の構成を説明しながら、より詳細にクロック同期の動作を説明する。

20

【0009】

スレーブノード110は位相同期ループ（PLL：Phase-locked loop）140を有し、自身のクロックから生成するTSとマスタノード100から受信したTSとの差分を計算し、PLL140において、その差分を元に自身のクロックを調整することにより、クロック同期を実現する。PLL140の構成の一例としては、位相比較器141、ループフィルタ（LPF：Low Pass Filter）142、比例・積分（PI：Proportion・Integration）回路143、電圧制御発振器（VCO：Voltage Control Oscillator）144、カウンタ145の5つの機能から構成される場合がある。

30

【0010】

位相比較器141は、受信したTSパケット230に格納されているTSである「受信TS」と自身のクロックから生成するTSである「生成TS」との差分信号を計算する。この差分信号はLPF142に入力され、ジッタやノイズが除去される。LPF142において平滑化された差分信号は、PI制御器143に入力される。PI制御器143では、差分信号を最終的にゼロに収束させる制御信号を計算し、VCO144に出力する。VCO144はPI制御器143からの制御信号によって決定される周波数のクロックを出力する。これにより、スレーブ側のクロックが調整される。また、カウンタ145は調整されたクロックに基づき、スレーブ側の生成するTSである「生成TS」を生成し、位相比較器141に渡す。このようなPLL140の動作により、スレーブノード110では、パケットネットワーク220を経由しても、マスタノード100のクロックを再生し、マスタノード100と同期することができる（例えば特許文献1参照）。

40

【0011】

パケットネットワークの入り口側エッジに位置するマスタノードと出口側エッジに位置するスレーブノードが、以上説明した構成を有することにより、パケットネットワークを経由するTDMフローの同期制御を行なうことができる。

50

【0012】

他方、以下のような問題も存在する。この点について説明する。

【0013】

現実のネットワークにおいては、パケットがパケットネットワーク内を転送される際にルータやスイッチにおいてキューイング遅延を受ける。なお、「遅延」という文言は、固定された遅延である伝播遅延と、変動する遅延であるキューイング遅延の組合せを指すこともあるが、本願では特に断りのない限り、以下でいう「遅延」とはキューイング遅延のことを指すものとする。

【0014】

そして、上述のようにスレーブノードに到着するパケットには遅延が含まれており、中には遅延量が多いパケットも存在する。そのため、上述したようにスレーブノードにおけるLPFにより、遅延のランダム性を平準化し、その影響を軽減する処理が施される。しかし、遅延量が多いパケットが到着するとLPFにおいてもその影響を十分に軽減できない場合がある。この場合、クロック同期回路に対してある種のノイズが入力されることになり、同期精度の劣化をもたらす。これを回避するために、到着パケットの遅延量に応じてパケットを選択的に廃棄するパケットフィルタ機能が用いられている。すなわち、或る閾値を定め、閾値を超える遅延のパケットは廃棄するという機能である。以下で図2を用いてパケットフィルタの機能について具体的に説明する。

【0015】

図2は、遅延量の分布の一例を示している。この例では遅延がほぼゼロから数100 μ 秒まで分布している。パケットフィルタ機能では、遅延量に関して閾値を設定し、遅延がこの閾値以下のパケットは採用し、閾値を超えるパケットは廃棄する。このように、遅延が閾値を超過するパケットを選択的に廃棄することにより、遅延が小さいパケットのみを用いてクロック同期制御を行なうことが可能になるため、同期精度の向上が期待できる。

【0016】

ここで、上述のクロック同期制御を実現するために遅延を計測する方法としては、マスタノードとスレーブノードが例えばGPS (Global Positioning System) 等を用いて時刻同期をするという方法が例示出来る。両ノードが時刻同期している場合には、マスタノードがパケット送信時に送信時刻情報をパケット内に格納して送信することにより、スレーブノードはパケット受信時の受信時刻とパケット内に格納された送信時刻情報の差分を計算することが可能となる。そして、計算した送信時刻情報の差分を用いることでそのパケットの伝播遅延を含む遅延を計測することができる。しかしながら、ここで説明した方法はマスタ／スレーブノード間が時刻同期していることを前提としている。現状のパケットネットワークでは、各ノードが時刻同期していない場合も多く、その場合はこの方法で遅延を計測することはできない。このように、時刻同期していない場合は以下のような方法を用いる。

【0017】

続いて、時刻同期していない場合の例を説明する。図3は、パケットフィルタを備えたスレーブノード150を示している。図1におけるスレーブノード110に対して、パケットフィルタ151が追加されている。パケットフィルタ151は到着したTSパケットに格納される受信TSの値(受信TS: T_m)と到着時の自身で生成しているTSの値(生成TS: T_s)とから遅延Dを求め、遅延Dが所定の閾値 D_{th} 以下の場合にそのTSパケットを採用し、閾値を超える場合には廃棄する。パケットを採用した場合には、そのパケットをPLL140に渡す。

【0018】

図4は、パケットフィルタ機能を使用する際のTSパケットのタイミングフローを示している。時間軸L11はマスタノードにおけるパケット送信タイミングを示す時間軸を示している。また、時間軸L11の下部にマスタノードにおけるクロックL12が示されている。

【0019】

10

20

30

40

50

この例では、TS パケット P 1 1 が送信されている。マスタノードにおいては、TS パケット P 1 1 がマスタ側のクロック 5 5 のタイミングで送信されている。そのため、TS パケット P 1 1 にはタイムスタンプとして 5 5 が格納されている。

【0020】

続いて、その下部にはスレーブノードにおける時間軸 L 1 3 とスレーブノードにおけるクロック L 1 4 が示されている。この例では、マスタノードのクロック L 1 2 とスレーブノードのクロック L 1 4 は同期している。そのため、各クロックの時間幅は同一である。

【0021】

マスタノードにおいて送信タイミング = 5 5 で送信された TS パケット P 1 1 は、スレーブノードにおいて、スレーブノードのクロック L 1 4（この例では、理想状態として、マスタノードと完全に同期していることを想定しているため、クロック L 1 4 を Ideal CLK と書くこととする）の 5 5 のタイミングで到着するはずだが（図中では P 1 2 として図示する）、マスタ／スレーブ間のパケットネットワークにおいて遅延量 = D が付加されることにより、Ideal CLK = 5 9 のタイミングで到着している（図中では P 1 3 として図示する）。特許文献 2 にも紹介されているように、遅延量 D は到着タイミングにおけるスレーブノードの TS (Ts) と受信した TS パケットに格納される TS (Tm) との差分で求められる。すなわち、遅延 = 生成 TS - 受信 TS ($D = T_s - T_m$) で表される。

【0022】

図 4 の例では、 $D = T_s (= 59) - T_m (= 55) = 4$ となる。閾値 $D_{th} = 8$ と設定されているので、遅延 D が $0 \leq D \leq D_{th}$ を満たしているため、このパケット P 1 3 は採用となる。一方、もしも、 $D > D_{th}$ の TS パケットが到着した場合は廃棄となる。

【0023】

このように、受信 TS、生成 TS から遅延 D を求め、閾値 D_{th} からなる条件でフィルタを実行することにより、遅延量が閾値 D_{th} よりも大きいパケットを選択的に廃棄し、閾値 D_{th} よりも小さいパケットのみを選択してクロック同期制御を行なうことが可能となる。

【特許文献 1】特開 2004-248123 号公報

【特許文献 2】特開 2004-274766 号公報

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0024】

図 4 の例ではマスタ／スレーブノード間が同期している場合を例示して説明したが、現実では同期していない状況から同期制御をかけることにより同期させることを目的としており、同期していない状況を考慮する必要がある。マスタ／スレーブノード間が同期していない場合には、以下に説明する課題がある。

【0025】

図 5 は、図 4 で示したタイミングフローにマスタ／スレーブ間が同期していない場合、特にスレーブ速度が速い場合のタイミングフローを追加した図である。

【0026】

図 5 では、図 4 で示したマスタノードの時間軸 L 1 1、マスタノードのクロック L 1 2、スレーブノードの時間軸 L 1 3、スレーブノードがマスタノードに同期している場合のスレーブノードのクロックである Ideal CLK L 1 4 に加えて、スレーブノードがマスタノードに同期していない場合のスレーブノードのクロック L 1 5 が追加されている。Ideal CLK L 1 4 が理想状態で完全同期している場合を示しているのに対して、クロック L 1 5 は現実のスレーブノードのクロックを示しているため、Real CLK 501 と示すこととする。この例では、スレーブノードはマスタノードに同期していないため（スレーブノードの方が高速（周波数が高い））、Real CLK 501 は Ideal CLK L 1 4 に対して、時間幅が短い。

【0027】

I d e a l C L K L 1 4とR e a l C L K L 1 5のクロックの時間幅の相違により、クロック同期していない場合のR e a l C L K L 1 5の下でのパケット到着タイミングにおける生成T Sの値は、I d e a l C L K L 1 4におけるパケット到着タイミングにおける生成T Sの値との間でズレが生じている。

【0028】

図5において、同期していない状態では、R e a l C L K L 1 5においては、遅延Dが含まれる場合のT SパケットP 1 3の到着タイミングにおける生成T Sの値は $T_s = 69$ となっており（図中ではP 1 5として図示する）、遅延Dが含まれていない場合のタイミングにおける生成T Sの値は $T_s = 65$ となっている（図中ではP 1 4として図示する）。

10

【0029】

I d e a l C L K L 1 4において遅延Dが含まれていない場合の生成T S値は $T_s = 55$ であることを考慮すると、R e a l C L K L 1 5の下での到着タイミングはI d e a l C L K L 1 4の下での到着タイミングに対して、タイムスタンプ値として -9 というズレが存在していることが分かる。このズレは、スレーブノードのクロックがマスタノードのクロックに同期していないことから生じている。そして、このスレーブノードのクロックが同期ズレを含んでいることにより、適切に遅延量を計算できない。具体的には以下の通りである。

【0030】

図4で説明したように、同期状態では、T SパケットP 1 3の遅延量は、 $D = T_s (= 59) - T_m (= 55) = 4$ となった。この場合、閾値 $D_{th} = 8$ と設定されているため、 $0 \leq D \leq D_{th}$ を満たし、このパケットは採用となった。

20

【0031】

これに対して、図5のように同期していない場合、T SパケットP 1 3到着時の生成T Sは $T_s = 69$ であるため、遅延量は、 $D = T_s (= 69) - T_m (= 55) = 14$ となる。これはR e a l C L K L 1 5がI d e a l C L K L 1 4に対して、同期ズレ Δ を含んでいるため（この例では $\Delta = -9$ ）、I d e a l C L Kにおける到着タイミングからの遅延量を適切に求められないためである。この場合、閾値 $D_{th} = 8$ と設定されているため、遅延Dが、 $D > D_{th}$ となり、遅延量が閾値よりも大きいと判断されるため、このパケットP 1 5は廃棄される。

30

【0032】

以上説明したように、マスタ／スレーブ間のクロックが同期していない場合、R e a l C L KはI d e a l C L Kに対して同期ズレ Δ を含むため、R e a l C L Kにおいて遅延がゼロとなる基準点をスレーブノード側で認識することができない。そのため、スレーブノード側で遅延量を適切に算出することができないという課題がある。

【0033】

そこで、本発明は、マスタ／スレーブノード間で時刻同期、クロック同期していない場合であっても、マスタノードからスレーブノードへの片方向の遅延を計測することが可能なパケットネットワークの片方向遅延計測方法、その装置及びそのプログラムを提供することを目的とする。

40

【0034】

更に、本発明は、算出した到着パケットの遅延量に基づき、設定した閾値に応じて遅延量の大きいパケットを適切に廃棄して、遅延量の小さいパケットのみをクロック同期回路に取り込むことが可能なパケットネットワークの片方向遅延計測方法を用いた同期システム、その方法及びそのプログラムを提供することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0035】

本発明の第1の観点によれば、送信側ノードと受信側ノードが相互に接続されており、送信側ノードが受信側ノードに対してパケットを送信するパケットネットワークにおいてキューイング遅延を計測する受信側ノードであって、前記送信側ノードが定期的に送信し

50

てくるパケットを受け取る受信手段と、前記受け取ったパケットの到着状況と出力状況をカウンタ値として管理するパケットカウンタと、前記パケットカウンタの管理する前記カウンタ値を監視することにより、前記送信側ノードから送信されてきた前記パケットに対して前記パケットネットワーク内で付加されたキューイング遅延を計測するキューイング遅延計測手段と、を備えることを特徴とする受信側ノードが提供される。

【0036】

本発明の第2の観点によれば、送信側ノードと受信側ノードが相互に接続されており、送信側ノードが受信側ノードに対してパケットを送信するパケットネットワークにおいてクロックを同期させる受信側ノードであって、前記送信側ノードが定期的を送信してくるパケットを受け取る受信手段と、前記受け取ったパケットの到着状況と出力状況をカウンタ値として管理するパケットカウンタと、前記パケットカウンタの管理する前記カウンタ値を監視することにより、前記送信側ノードから送信されてきた前記パケットに対して前記パケットネットワーク内で付加されたキューイング遅延を計測するキューイング遅延計測手段と、前記キューイング遅延計測手段で計測したキューイング遅延量と所定の閾値とを比較し、比較の結果前記閾値以下のキューイング遅延を含むと判断されたパケットのみを採用するパケットフィルタと、前記パケットフィルタにおいて採用された前記パケットを元に当該受信側ノードのクロックを再生する位相同期手段と、

を備えることを特徴とする受信側ノードが提供される。

【0037】

本発明の第3の観点によれば、上述の第1の観点又は第2の観点により提供される受信側ノードと、前記送信側ノードと相互に接続されている送信側ノードと、を備えるパケットネットワークシステムであって、前記送信側ノードが、パケットを生成するパケット生成手段と、前記パケット生成手段において生成した前記パケットを前記受信側ノードに対して定期的を送信する送信手段と、を備えることを特徴とするパケットネットワークシステムが提供される。

【0038】

本発明の第4の観点によれば、送信側ノードと受信側ノードが相互に接続されており、送信側ノードが受信側ノードに対してパケットを送信するパケットネットワークにおいてキューイング遅延を計測するキューイング遅延対処方法であって、前記受信側ノードが、前記送信側ノードが定期的を送信してくるパケットを受け取る受信ステップと、前記受信側ノードのパケットカウンタが、前記受け取ったパケットの到着状況と出力状況をカウンタ値として管理する第1のステップと、前記受信側ノードが、前記パケットカウンタの管理する前記カウンタ値を監視することにより、前記送信側ノードから送信されてきた前記パケットに対して前記パケットネットワーク内で付加されたキューイング遅延を計測するキューイング遅延計測ステップと、を備えることを特徴とするキューイング遅延対処方法が提供される。

【0039】

本発明の第5の観点によれば、送信側ノードと受信側ノードが相互に接続されており、送信側ノードが受信側ノードに対してパケットを送信するパケットネットワークにおいてクロックを同期させるキューイング遅延対処方法であって、前記受信側ノードが、前記送信側ノードが定期的を送信してくるパケットを受け取る受信ステップと、前記受信側ノードのパケットカウンタが、前記受け取ったパケットの到着状況と出力状況をカウンタ値として管理する第2のステップと、前記受信側ノードが、前記パケットカウンタの管理する前記カウンタ値を監視することにより、前記送信側ノードから送信されてきた前記パケットに対して前記パケットネットワーク内で付加されたキューイング遅延を計測するキューイング遅延計測ステップと、前記受信側ノードのパケットフィルタが、前記キューイング遅延計測ステップで計測したキューイング遅延量と所定の閾値とを比較し、比較の結果前記閾値以下のキューイング遅延を含むと判断されたパケットのみを採用する第3のステップと、前記パケットフィルタにおいて採用された前記パケットを元に当該受信側ノードのクロックを再生する位相同期ステップと、を備えることを特徴とするキューイング遅延対

10

20

30

40

50

処方法が提供される。

【0040】

本発明の第6の観点によれば、送信側ノードと受信側ノードが相互に接続されており、送信側ノードが受信側ノードに対してパケットを送信するパケットネットワークにおいてキューイング遅延を計測するキューイング遅延対処プログラムであって、前記送信側ノードが定期的に送信してくるパケットを受け取る受信手段と、前記受け取ったパケットの到着状況と出力状況をカウンタ値として管理するパケットカウンタと、前記パケットカウンタの管理する前記カウンタ値を監視することにより、前記送信側ノードから送信されてきた前記パケットに対して前記パケットネットワーク内で付加されたキューイング遅延を計測するキューイング遅延計測手段と、を備える受信側ノードとしてコンピュータを機能させることを特徴とするキューイング遅延対処プログラムが提供される。

10

【0041】

本発明の第7の観点によれば、送信側ノードと受信側ノードが相互に接続されており、送信側ノードが受信側ノードに対してパケットを送信するパケットネットワークにおいてクロックを同期させるキューイング遅延対処プログラムであって、前記送信側ノードが定期的に送信してくるパケットを受け取る受信手段と、前記受け取ったパケットの到着状況と出力状況をカウンタ値として管理するパケットカウンタと、前記パケットカウンタの管理する前記カウンタ値を監視することにより、前記送信側ノードから送信されてきた前記パケットに対して前記パケットネットワーク内で付加されたキューイング遅延を計測するキューイング遅延計測手段と、前記キューイング遅延計測手段で計測したキューイング遅延量と所定の閾値とを比較し、比較の結果前記閾値以下のキューイング遅延を含むと判断されたパケットのみを採用するパケットフィルタと、前記パケットフィルタにおいて採用された前記パケットを元に当該受信側ノードのクロックを再生する位相同期手段と、を備える受信側ノードとしてコンピュータを機能させることを特徴とするキューイング遅延対処プログラムが提供される。

20

【発明の効果】

【0042】

本発明によれば、遅延計測部が所定の計測時間の間、パケットカウンタのカウンタ値を監視し、所定の計測時間における最大値または最小値を遅延ゼロパケット到着時の基準点と認識し、基準点であるカウンタ最大値または最小値と各パケットの到着時のカウンタ値との差分を算出できることから遅延量を算出することが可能となる。

30

【0043】

更に、本発明によれば、パケットフィルタで、この遅延量を用いて、設定された閾値より遅延が小さいパケットを適切に選択することができるため、遅延量の小さいパケットのみをクロック同期回路に取り込むことが可能となり、同期精度を向上できるという効果を奏する。

【発明を実施するための最良の形態】

【0044】

次に、本発明を実施するための実施形態について、図面を参照して詳細に説明する。

【0045】

40

<実施形態1>

<構成の説明>

図6の上部分を参照すると、本発明の実施形態は全体構成として、マスタノード200、スレーブノード210及びパケットネットワーク220を有する。マスタノード200とスレーブノード210は、パケットネットワーク220を介して相互に接続されている。

【0046】

<マスタノード>

マスタノード200は、TSパケット生成部201と、TSパケット送信部202を有する。

50

【0047】

TS パケット生成部 201 は、クロック同期を行なうための TS が格納されたパケットである TS パケット 230 を生成する。ここで、TS とはマスタノード 200 のクロックを基にして生成される時間情報を示す値であり、例えば、マスタノード 200 のクロックの最小時間単位（例えば 125 μ sec）が経過する毎に 1 ずつ増加する数値である。

【0048】

TS パケット送信部 202 は、TS パケット生成部 201 で生成された TS パケット 230 を、スレーブノード 210 にパケットネットワーク 220 を介して定期的に送信する。

【0049】

10

<スレーブノード>

スレーブノード 210 は、TS パケット受信部 211、パケットフィルタ 212、PLL 部 213、遅延計測部 214 及びパケットカウンタ 215 を有する。

【0050】

TS パケット受信部 211 は、マスタノード 200 からパケットネットワーク 220 を経由して転送されてきた TS パケット 230 を受信する。受信した TS パケット 230 はパケットフィルタ 212 とパケットカウンタ 215 のそれぞれに送られる。

【0051】

20

パケットフィルタ 212 は、TS パケット受信部 211 から受信した TS パケット 230 に関して、遅延計測部 214 から通知される遅延 D と予め設定された閾値 D_{th} との比較をすることにより、受信した TS パケット 230 を採用するか、廃棄するかを決定する。そして、パケットフィルタ 212 は、採用すると決定した TS パケット 230 のみを PLL 部 213 に送る。

【0052】

なお、パケットフィルタ 212 の起動のタイミングについては、マスタノード 200 との TS パケット 230 の送受信開始時から起動するという方法を採用してもよい。また、もう一つの方法として、初めのうちは起動せずに全パケットを取り込み、ある程度安定してからパケットフィルタ 212 を起動するようにしてもよい。このように初めのうちは起動せずにある程度安定してから起動するメリットについて以下に説明する。

【0053】

30

一般的に PLL 部 213 に取り込まれる TS パケットの数が減ると、その分、安定するまでに時間が必要となる。なぜならば、パケットフィルタ 212 を起動すると遅延大のパケットは廃棄されるため、採用パケット数が減るためである。しかし、だからといって遅延大パケットを取り込むようにすると同期精度が十分に得られない可能性がある。そこで、ある程度安定するまではパケットフィルタ 212 は起動せずに全パケットを取り込み、ある程度安定したらパケットフィルタ 212 を起動して、遅延大パケットを廃棄することで、最終的に実現出来る同期精度は変わらずに安定するまでの時間を短縮することができる。

【0054】

40

PLL 部 213 は、位相比較器 213-1、LPF 213-2、PI 制御器 213-3、VCO 213-4 及びカウンタ 213-5 を有する。ただし、この構成はあくまでも一例である。本実施形態の構成と異なる構成であっても、自身のクロックから生成する TS とマスタノード 100 から受信した TS との差分を計算し、その差分を元に自身のクロックを調整することができるのであれば、どのような構成を採用したとしても本発明を実現できる。これは、本発明の思想の範囲内の事項であり、当業者にとって自明なことである。

【0055】

位相比較器 213-1 は、パケットフィルタ 212 から受信した TS パケット 230 に格納されている受信 TS とカウンタ 213-5 で生成される生成 TS の差分信号を計算し、LPF 213-2 に出力する。

50

【0056】

L P F 2 1 3 - 2 は差分信号を平準化し、ジッタやノイズを抑圧するとともに、その結果を P I 制御器 2 1 3 - 3 に出力する。

【0057】

P I 制御器 2 1 3 - 3 はこの平準化された差分信号が最終的にゼロとなるような制御信号を生成し、V C O 2 1 3 - 4 に出力する。

【0058】

V C O 2 1 3 - 4 は入力された制御信号によって決定される周波数のクロックを生成し、カウンタ 2 1 3 - 5 に出力する。また、生成した周波数のクロックに従い、パケットカウンタ 2 1 5 のカウンタ値を減少する。

10

【0059】

カウンタ 2 1 3 - 5 はクロックを元に生成 T S を生成し、位相比較器 2 1 3 - 1 に転送する。

【0060】

パケットカウンタ 2 1 5 は、T S パケット受信部 2 1 1 から T S パケット 2 3 0 を受信する毎に、カウンタの値を所定の値分だけ増加させる。同時に V C O 2 1 3 - 4 で決定される周波数に従い、カウンタの値を減少させる。なお、パケットカウンタ 2 1 5 がパケットバッファであってもかまわない。パケットカウンタ 2 1 5 がパケットバッファの場合、T S パケット受信部 2 1 1 から T S パケット 2 3 0 を受信すると、パケットをバッファに蓄積し、同時に V C O 2 1 3 - 4 で決定される周波数に従い、蓄積しているパケットを出力する。

20

【0061】

遅延計測部 2 1 4 は、パケットカウンタ 2 1 5 のカウンタ値の増減状況をモニタすることにより、到着 T S パケットの遅延量を算出し、算出した遅延情報をパケットフィルタ 2 1 2 に通知する。

【0062】

本発明の実施形態の基本的構成は以上の通りである。次に、本実施形態における課題の解決を実現するための基本的な考え方について説明する。

【0063】

本発明の課題である到着パケットの遅延量の計測については、上述の構成で説明したように、遅延計測部 2 1 4 がパケットカウンタ 2 1 5 のカウンタ値の増減状況をモニタすることにより、遅延量を計測する。この遅延量の計測は、具体的にはカウンタ値に関する下記の原理を利用して計測する。この点を図 7 及び図 8 を参照して説明する。

30

【0064】

図 7 及び図 8 は T S パケット 2 3 0 の到着状況とそれに対応するパケットカウンタ 2 1 5 のカウンタ値の増減状況を示す図である。横軸方向が経過時間であり、縦軸方向がカウンタ値を示している。

【0065】

図 7 は、ネットワーク内で T S パケット 2 3 0 に付加される遅延が常に 0 である場合におけるカウンタ値を表している。また、図 8 は、ネットワーク内で T S パケット 2 3 0 に付加される遅延が存在する場合のカウンタ値を表している。

40

【0066】

図 7 の、カウンタ最大値を示す線である L 2 2 を見ると分かるように、カウンタ値の最大値は一定値となっている。

【0067】

まず、パケットカウンタ 2 1 5 にパケットが到着すると、1 パケット分のカウンタ値が増加する。一方で、カウンタ値は V C O 2 1 3 - 4 の速度に従い減算されていく。図中ではこのカウンタ値の推移を L 2 0 として示している。V C O 2 1 3 - 4 の減算速度は、パケット到着間隔において 1 つのパケットが到着したときに増加する分と同じ数だけ、カウンタ値が減算されている。図 7 に示す例では、各パケットは遅延を受けずに一定間隔で到

50

着しているため、パケット到着毎にカウンタ値の増加、減少を繰り返しており、パケットが到着した際のカウンタ最大値はどのパケットの到着時であっても常に一定となっている。

【0068】

これに対して、図8では、遅延ゼロのパケットの到着した際のカウンタ値の最大値が一定値になっている点は図7と同様である。しかし、中ほどでTSパケットが遅延を受けている部分では、パケット到着時のカウンタ値は最大値よりも小さくなっている点が図7と異なる。

【0069】

はじめの3パケットまでは、図7と同様にパケットが遅延を受けておらず、パケット到着毎にカウンタ値の増加、減少を繰り返し、増加した時のカウンタ最大値は一定となっている。

10

【0070】

しかし、その後、4パケット目から7パケット目までのパケットは遅延が付加されている。パケットに遅延が付加された場合、パケット到着が遅れることにより、到着が遅れた分だけカウンタ値の減少が進み、カウンタ値の下限値はパケットが遅延を受けていないときに比べてより小さくなる。また、パケット到着時のカウンタ増加量は1パケット分で等しいため、遅延を受けたパケットの到着時のカウンタ値は、遅延ゼロで到着する場合の最大値よりも小さくなっている。

【0071】

20

その後、8パケット目で遅延がゼロのパケットが到着した時は、カウンタ値がそれ以前に遅延ゼロでパケットが到着した時の最大値まで達している。それ以降の遅延ゼロのパケットについても同一の最大値に達している。

【0072】

以上、図7及び図8を参照して説明したように、遅延がゼロのパケットが到着した時にパケットカウンタ215のカウンタ値は最大値となり、遅延を受けたパケットが到着した時にはカウンタ値は最大値に届かないということが分かる。

【0073】

このことから、あるモニタ期間（例えば10秒間）において、遅延がゼロのパケットが1つでも到着する場合には、そのモニタ期間におけるカウンタ最大値を計測することで、その最大値を遅延ゼロの基準点と見なすことができる。

30

【0074】

発明が解決しようとする課題の欄で説明したように、従来は遅延ゼロの基準点を認識することができなかったのに対して、この原理を用いることにより、モニタ期間における最大値をカウンタ値という軸における遅延ゼロの基準点と見なせることから、遅延ゼロの基準点を認識することができるようになる。そして、このように遅延ゼロの基準点を認識できるようになったことを利用して各パケットの遅延量を算出することができる。以下、図9を参照して算出方法について具体的に説明する。

【0075】

図9は図8と同様に、TSパケットP20～P29の到着状況とそれに対応するパケットカウンタ215のカウンタ値C10～C19の増減状況を示している。TSパケットはネットワーク内でランダムに遅延が付加されている。図9の例では、TSパケットP20、P21、P22、P27、P29は遅延が付加されておらず、TSパケットP23、P24、P25、P26、P28は遅延が付加されている。図9では、横軸方向が経過時間を、縦軸方向がカウンタ値を示している。

40

【0076】

図7及び図8で説明したように、遅延ゼロのパケットが到着した時のカウンタ値であるカウンタ最大値L28を遅延ゼロの基準点と見なすことができる。これに対して、遅延を受けたパケットが到着する際、遅延量に比例して到着時カウンタ値C10～C19はカウンタ最大値L28より小さな値となっている。そのため、遅延を受けたパケットが到着し

50

た時のカウンタ値 $C10 \sim C19$ とカウンタ最大値 $L28$ との差分は、遅延量に比例した量となっている。このことから、各パケットが到着する際に、カウンタ最大値 $L28$ と到着時のカウンタ値 $C10 \sim C19$ の差分を計算し、カウンタ値（ビット数）をリンク速度 $LS [bps]$ を用いて時間に換算することで遅延を算出することができる。計算式は以下の通りである。

- ・遅延 [ビット数] = カウンタ最大値 $L28$ - 到着時カウンタ値 $C10 \sim C19$
- ・遅延 [時間] = (カウンタ最大値 $L28$ - 到着時カウンタ値 $C10 \sim C19$) / LS

なお、前述のようにカウンタ最大値 $L28$ は所定のモニタ期間におけるカウンタ値を計測して最大値を検出している。この検出したカウンタ最大値は次のモニタ期間における遅延算出に用いられる。したがって、上の式をより詳しく書くと、

- ・或るモニタ期間 X における遅延 [ビット数] = モニタ期間 $X-1$ におけるカウンタ最大値 $L28$ - モニタ期間 X に到着したパケットの到着時カウンタ値 $C10 \sim C19$
 - ・或るモニタ期間 X における遅延 [時間] = モニタ期間 $X-1$ におけるカウンタ最大値 $L28$ - モニタ期間 X に到着したパケットの到着時カウンタ値 $C10 \sim C19$ / LS
- となる。

【0077】

<動作の説明>

課題解決の基本的な考え方で説明したように、本発明では、モニタ期間におけるカウンタ最大値と各パケットの到着時のカウンタ値との差分から遅延量を算出することを特徴としている。これを実現するためのスレーブノードの動作について図10及び図11を参照して説明する。

【0078】

図10は図6における遅延計測部214の詳細な構成を示している。また、図11は遅延計測部214の動作フローを示すフローチャートである。図10、11を用いて、遅延算出に関する動作を説明する。

【0079】

図10に示すように、遅延計測部214は、遅延算出部214-1とカウンタ最大値モニタ部214-2と到着時カウンタ値モニタ部214-3を有する。カウンタ最大値モニタ部214-2と到着時カウンタ値モニタ部214-3は、パケットカウンタ215をモニタすることにより、それぞれ、カウンタ最大値と到着時カウンタ値を把握する。そして、カウンタ最大値モニタ部214-2と到着時カウンタ値モニタ部214-3は、モニタの結果を遅延算出部214-1に通知する。遅延算出部214-1はその通知された情報を用いて遅延を算出する。そして、算出した遅延情報をパケットフィルタ212に通知する。

【0080】

図11を用いて遅延計測部214の詳細な動作を説明する。

【0081】

図7乃至9で説明したように、TSパケットの到着状況に応じてパケットカウンタ215のカウンタ値 $L20$ 、 $L24$ 、 $L28$ は増減している。

【0082】

まず、カウンタ最大値モニタ部214-2はモニタ期間 i におけるカウンタ最大値 $P(i)$ をモニタする（ステップ $S101$ ）。

【0083】

モニタ期間 i が終了すると、カウンタ最大値モニタ部214-2は計測したモニタ期間 i におけるカウンタ最大値 $P(i)$ を遅延算出部214-1に通知する（ステップ $S102$ ）。すなわち、遅延算出部214-1にはモニタ期間経過毎にカウンタ最大値 $P(i)$ が通知されることになる。

【0084】

一方、到着時カウンタ値モニタ部214-3は、モニタ期間 i における n 番目のTSパケットが到着すると、到着時のカウンタ値 $C(i, n)$ をモニタする（ステップ $S103$ ）

）。

【0085】

そして、到着時カウンタモニタ部214-3は、TSパケット到着毎に、その都度計測したカウンタ値 $C(i, n)$ を遅延算出部214-1に通知する（ステップS104）。

【0086】

次に、遅延算出部214-1は、到着時カウンタモニタ部214-3からカウンタ値 $C(i, n)$ を受信する毎に、カウンタ最大値モニタ部214-2から通知されているカウンタ最大値 $P(i)$ とを用いて、以下の式で遅延 $D(i, n)$ を計算する（ステップS105）。

$$\cdot D(i, n) = P(i-1) - C(i, n)$$

10

ここで注意するのは、カウンタ最大値 $P(i)$ が $P(i-1)$ となっていることである。すなわち、一つ前のモニタ期間の最大値 $P(i-1)$ が、モニタ期間 i における遅延計算に使用される。

【0087】

最後に、遅延算出部214-1はステップS105で遅延 $D(i, n)$ を計算する毎に、パケットフィルタ212に遅延情報 $D(i, n)$ を通知する（ステップS106）。

【0088】

上述の動作を行うことにより、遅延計測部214がこれまで説明したように本発明の実施形態の特徴であるパケットカウンタ215のカウンタ値の変化量を用いて遅延量を正しく算出できる。そのため、パケットフィルタ212は遅延計測部214から通知される遅延量 $D(i, n)$ と予め設定されたフィルタ閾値 D_{th} とを比較することで、遅延が小さいパケットを適切に選択することができる。パケットフィルタ212は以下の条件にしたがって、パケットの採用／廃棄を決定する。

20

$$\cdot D(i, n) \leq D_{th} \text{ ならば採用}$$

$$\cdot D(i, n) > D_{th} \text{ ならば廃棄}$$

このフィルタ条件を図7乃至9で説明したパケットカウンタ215のカウンタ値に当てはめた図が図12である。

【0089】

遅延ゼロの基準ラインとなるカウンタ最大値 L_{28} に対して、フィルタ閾値 L_{29} はカウンタ最大値 L_{28} からフィルタ閾値に相当するカウンタ量だけ減少した値となる。パケット到着時のカウンタ値が閾値ラインとカウンタ最大値との間にあれば採用、閾値ラインよりも下回っていれば廃棄となる。図12の例では、TSパケットP24、P25、P28が廃棄、それ以外のTSパケットは採用となる。

30

【0090】

以上説明した本発明の実施形態について、実際の数値を当てはめた時の数値例を図13に示した。図13では、図6におけるマスタノード200とスレーブノード210の間のリンク帯域が10Mbps、マスタノード200が送信するTSパケット230（図13におけるTSパケットP20～P29）の送信間隔を1msec、スレーブノード210のパケットフィルタ212で設定されているフィルタ閾値が10usecであるという条件を置いている。リンク帯域10Mbpsでは時間当たりのビット数は、例えば1usecあたりでは10ビットとなるため、フィルタ閾値=10usecをビット換算すると、100ビットとなる。したがって、パケットフィルタ212におけるフィルタ条件としては $D_{th} = 100$ となる。また、カウンタ最大値は10000となっている。

40

【0091】

以上説明した条件のもとで、TSパケットP20～P29が図の下段に記載のようなタイミングで到着した場合のカウンタ値の推移を表す L_{26} を図の中段に記載しており、各TSパケットP20～P29の到着時カウンタ値 $C_{10} \sim C_{19}$ とそこから計算される遅延と計算した遅延に基づきフィルタ処理した結果である採用／廃棄の情報について、上段の表にまとめている。

【0092】

50

T S パケット P 2 0 ~ P 2 2、P 2 7、P 2 9 は到着時カウンタ値が 1 0 0 0 0 であるため、遅延の算出式で計算すると、

・遅延 = カウンタ最大値 - 到着時カウンタ値 = 1 0 0 0 0 - 1 0 0 0 0 = 0

となる。パケットフィルタ 2 1 2 での判定としては、

・遅延 = 0 < フィルタ閾値 = 1 0 0

となるため、採用となる。

【0093】

また、T S パケット P 2 3、P 2 6 は到着時カウンタ値がそれぞれ 9 9 5 0、9 9 0 0 であるため、遅延は、

・T S パケット P 2 3 : 遅延 = カウンタ最大値 - 到着時カウンタ値 = 1 0 0 0 0 - 9 9 5 0 = 5 0 10

・T S パケット P 2 6 : 遅延 = カウンタ最大値 - 到着時カウンタ値 = 1 0 0 0 0 - 9 9 0 0 = 1 0 0

となる。パケットフィルタ 2 1 2 での判定としては、

・T S パケット P 2 3 : 遅延 = 5 0 ≤ フィルタ閾値 = 1 0 0

・T S パケット P 2 6 : 遅延 = 1 0 0 ≤ フィルタ閾値 = 1 0 0

となるため、採用となる。

【0094】

一方、T S パケット P 2 4、P 2 5、P 2 8 は到着時カウンタ値がそれぞれ 9 8 5 0、9 8 0 0、9 7 0 0 であるため、遅延は、

・T S パケット P 2 4 : 遅延 = カウンタ最大値 - 到着時カウンタ値 = 1 0 0 0 0 - 9 8 5 0 = 1 5 0 20

・T S パケット P 2 5 : 遅延 = カウンタ最大値 - 到着時カウンタ値 = 1 0 0 0 0 - 9 8 0 0 = 2 0 0

・T S パケット P 2 8 : 遅延 = カウンタ最大値 - 到着時カウンタ値 = 1 0 0 0 0 - 9 7 0 0 = 3 0 0

となる。パケットフィルタ 2 1 2 での判定としては、

・T S パケット P 2 4 : 遅延 = 1 5 0 > フィルタ閾値 = 1 0 0

・T S パケット P 2 5 : 遅延 = 2 0 0 > フィルタ閾値 = 1 0 0

・T S パケット P 2 8 : 遅延 = 3 0 0 > フィルタ閾値 = 1 0 0 30

となるため、いずれも廃棄となる。

【0095】

また、T S パケット P 2 0 ~ P 2 9 に関して、算出したカウンタ値としての遅延はそれぞれ、0、0、0、50、150、200、100、0、300、0 であり、これを 1 u s e c に対して 10 ビットという比率で時間換算すると、それぞれ、0、0、0、5 u s、15 u s、20 u s、10 u s、0、30 u s、0 となる。これは図 1 3 の最下部に記している各パケットの遅延値と同一となっている。

【0096】

ここまで、本発明の構成、動作、具体的数値を用いた動作例を説明した。これまでの説明では、パケットカウンタ 2 1 5 は、T S パケット受信部 2 1 1 から T S パケット 2 3 0 を受信する毎に、カウンタの値を所定の値分だけ増加させるとともに、V C O 2 1 3 - 4 で決定される周波数に従い、カウンタの値を減少させるという動作していた。ここで、T S パケット 2 3 0 がパケットネットワーク 2 2 0 で廃棄された場合、カウンタ値が 1 パケット分シフトしてしまうという問題がある。これを考慮した他の動作例を説明する。

【0097】

ここでは、T S パケット 2 3 0 に格納される T S 値を利用する。前述のように、T S とはマスタノード 2 0 0 のクロックを基にして生成される時間情報を示す値である。したがって、マスタノード 2 0 0 が或る時間に送信した T S パケット 2 3 0 とその次に送信した T S パケット 2 3 0 に格納される T S 値の差分は送信間隔を示す。マスタノード 2 0 0 は等間隔で T S パケット 2 3 0 を送信することを前提としているので、マスタノード 2 0 0 50

が送信する隣接のTSパケット230のTS値の差分は一定値（例えばT）となる。このことを利用すると、スレーブノード210において、到着するTSパケット230毎に格納されるTS値の差分を見てみると、パケットネットワーク220においてパケット廃棄がない場合の差分はTとなる。一方、例えば1パケット廃棄された場合は、到着間隔は2倍になるため、差分は2Tとなる。このことから、スレーブノード210において受信したTSパケット230と一つ前に受信したTSパケット230のTS値の差分を計算することにより、パケット廃棄が行われたか否かが判断出来る。また、廃棄が行われたとした場合に、パケットが連続していくつ廃棄されたのかということも判断出来る。

【0098】

そこでパケットカウンタ215の動作として、TSパケット受信部211からTSパケット230を受信すると、TSパケット230に格納されている受信TSの値を抽出し、一つ前に受信したTSパケット230の受信TSの値との差分を計算する。そして差分をTで割った数Xを求め、カウンタの値を所定の数×Xだけ増加させることとする。カウンタ値の減少については、これまでと同様にVCO213-4で決定される周波数に従い、カウンタの値を減少させることとする。このような動作をすることにより、パケットネットワーク220においてTSパケット230が廃棄された場合でも、パケットカウンタ215のカウント値は1パケット分シフトすることなく、これまでと同様の増減状況を示すこととなり、パケット廃棄に対応可能となる。

【0099】

最後に、図14-1及び図14-2に記載の具体的な性能評価例を用いて、本発明の効果について説明する。

【0100】

図14-1は、本発明の第一の効果として、遅延量の計測が正しく行なわれているかを確認するために、ここまで説明した方法で計測した遅延量の確率分布を示している。図6のパケットネットワーク220の位置にネットワークエミュレータを接続し、マスタノード200から定期的に出されるTSパケット230に対して、遅延を付加し、スレーブノード210において、提案する発明により遅延を測定している。図14-1では、ネットワークエミュレータで付加した遅延の分布とスレーブノード210で計測した遅延の分布を示している。横軸が付加した遅延、縦軸が確率を示している。3種類の分布を付加した時の結果を示しているが、いずれの場合も計測した遅延分布がネットワークエミュレータで付加した遅延分布にほぼ一致しており、スレーブノード210において本発明の手法により遅延を正しく計測していることが示されている。

【0101】

また、図14-2は、本発明の第二の効果として、スレーブノード210の遅延計測部214で本発明の計測方法により計測した遅延情報に基づきパケットフィルタ212でフィルタ処理を行なった時とフィルタ処理を行なわない時のクロック同期精度を示している。図14-1と同様に、パケットネットワーク220の位置でネットワークエミュレータにより遅延を付加しており、ここでは、一様分布の遅延を付加している。図14-2では、横軸が一様分布における最大遅延の値、縦軸がクロック同期精度を示している。マスタノード200からのTSパケット230の送信間隔は100ms、スレーブノード210のパケットフィルタ212でのフィルタ閾値は5μsとしている。図14-2より、本発明の遅延計測に基づきパケットフィルタを行なう場合はフィルタを行なわない場合に比べ、クロック同期精度を大幅に改善している。また、前述した、モバイルバックホールで要求される50ppbというクロック同期精度の要求値も満たしている。

【0102】

以上の図14-1及び図14-2より、本発明を用いることにより、遅延を正しく計測することができ、その計測した遅延に基づきパケットフィルタ処理を行なうことにより、遅延小のパケットのみを選択することができ、遅延大のパケットの影響を排除できることから、良好なクロック同期精度を得られるという効果が確認できる。

【0103】

＜実施形態 2＞

実施形態 1 では、各パケットの遅延量を算出するために、遅延ゼロのパケットが到着した時のカウンタ値であるカウンタ最大値を遅延ゼロの基準点と見なし、各パケットが到着する際に、カウンタ最大値と到着時のカウンタ値との差分を計算することにより遅延を算出した。

【0104】

本実施形態 2 では、他の遅延の算出方法について説明する。

【0105】

実施形態 1 におけるカウンタ値の取り扱いをより詳細に見てみると、到着時のカウンタ値並びにその中の一つとなるカウンタ最大値は、到着パケットのカウンタ増加分を加算した後のカウンタ値である。パケット到着時のカウンタ増加量は 1 パケット分と一定であるため、到着時のカウンタ値として参照する値を、到着パケットのカウンタ増加分を加算する前の値としても、同様の効果が得られる。そこで、実施形態 2 では、到着時のカウンタ値をカウンタ増加分加算前の値として、遅延量を計測することとする。

【0106】

図 15 は実施形態 1 の図 9 に相当する図である。カウンタ値の推移 L 26 はパケットカウンタ 215 のカウンタ値の増減状況を示している。到着する TS パケット P 20～P 29 とその到着タイミングは図 9 と同様となっている。実施形態 1 の図 9 では到着時カウンタ値をカウンタ増加分加算 C 10～C 19 としていたのに対して、実施形態 2 ではカウンタ増加分加算前の C 20～C 29 としている。到着時カウンタ値をカウンタ増加分加算前の C 20～C 29 としているため、カウンタ最大値 L 30 も到着時カウンタ値 C 20～C 29 の中の最大値となる（カウンタ最大値 L 30 をカウンタ増加分加算前の到着時カウンタ値 C 20～C 29 の中の最大値としているため、カウンタ最大値 L 30 がカウンタ値の推移 L 26 の中の最大値を示しているわけではない）。

【0107】

遅延量の計算方法は実施形態 1 と変わらず、カウンタ最大値 L 30 と到着時カウンタ値 C 20～C 29 との差分となり、カウンタ値（ビット数）をリンク速度 LS [bps] を用いて時間換算すれば算出できる。

・遅延 [ビット数] = カウンタ最大値 L 30 - 到着時カウンタ値 C 20～C 29

・遅延 [時間] = (カウンタ最大値 L 30 - 到着時カウンタ値 C 20～C 29) / LS

図 15 で説明した遅延算出におけるカウンタ値の取り扱いの変更に伴い、遅延計測部 214 の動作フローも一部変更となる。図 16 は実施形態 2 における遅延計測部 214 の動作を示すフローチャートである。実施形態 1 における遅延計測部 214 の動作フローを示した図 11 に対して、ステップ S 101 と S 103 がステップ S 201、S 203 に変更となる。他のステップは、対象を P から P' へ、C から C' へと変更したのみであり、実質的には図 11 に示す各ステップと同様の動作である。

【0108】

まず、カウンタ最大値モニタ部 214-2 はモニタ期間 i におけるカウンタ最大値（カウンタ増加分加算前のカウンタ値の中での最大値 P' (i)）をモニタする（ステップ S 201）。

【0109】

モニタ期間 i が終了すると、カウンタ最大値モニタ部 214-2 は計測したモニタ期間 i におけるカウンタ最大値 P' (i) を遅延算出部 214-1 に通知する（ステップ S 202）。すなわち、遅延算出部 214-1 にはモニタ期間経過毎にカウンタ最大値 P' (i) が通知される。

【0110】

一方、ステップ 1602 において、到着時カウンタ値モニタ部 214-3 は、モニタ期間 i における n 番目の TS パケットが到着すると、到着時のカウンタ値（カウンタ増加分加算前のカウンタ値）C' (i, n) をモニタする（ステップ S 203）。

【0111】

そして、着時カウンタモニタ部 214-3 は、TS パケット到着毎に、その都度計測したカウンタ値 $C'(i, n)$ を遅延算出部 214-1 に通知する（ステップ S204）。

【0112】

ステップでは、遅延算出部 214-1 は、到着時カウンタモニタ部 214-3 からカウンタ値 $C'(i, n)$ を受信する毎に、カウンタ最大値モニタ部 214-2 から通知されているカウンタ最大値 $P'(i)$ とを用いて、以下の式で遅延 $D(i, n)$ を計算する（ステップ S20）。

$$\cdot D(i, n) = P'(i-1) - C'(i, n)$$

なお、ステップ S101 での記載の繰り返しになるが、カウンタ最大値 $P'(i)$ はモニタ期間経過毎にカウンタ最大値モニタ部 214-2 から受信され、更新される。

10

【0113】

最後に、遅延算出部 214-1 はステップ 1104 で遅延 $D(i, n)$ を計算する毎に、パケットフィルタ 212 に遅延情報 $D(i, n)$ を通知する（ステップ S206）。

【0114】

パケットフィルタ 212 では、実施形態 1 と同様に、予め設定されたフィルタ閾値 D_{th} と受信した遅延情報 $D(i, n)$ とを比較して、以下の条件に従ってパケットの採用／廃棄を決定する。

$$\cdot D(i, n) \leq D_{th} \text{ ならば採用}$$

$$\cdot D(i, n) > D_{th} \text{ ならば廃棄}$$

図 15 では、遅延ゼロの基準ラインとなるカウンタ最大値 L_{30} に対して、フィルタ閾値ライン L_{31} はカウンタ最大値 L_{30} からフィルタ閾値に相当するカウンタ量だけ減少した値となる。パケット到着時のカウンタ値が閾値ライン L_{31} とカウンタ最大値 L_{30} との間であれば採用、閾値ライン L_{31} よりも下回っていれば廃棄となる。図 15 の例では、TS パケット P24、P25、P28 が廃棄、それ以外は採用となる。

20

【0115】

以上説明したように、実施形態 1 では、遅延を計算する際に参照するカウンタ値を到着パケットのカウンタ増加分を加算した後の値としたのに対して、本実施形態 2 では、到着パケットのカウンタ値増加分を加算する前の値としている。パケット到着時のカウンタ増加分は 1 パケット分で一定であるため、実施形態 2 でのカウンタ最大値 L_{30} と到着時カウンタ値 $C_{20} \sim C_{29}$ は実施形態 1 でのカウンタ最大値 L_{28} と到着時カウンタ値 $C_{10} \sim C_{19}$ からそれぞれ 1 パケット分のカウンタ増加分を差し引いた値となっている。そのため、実施形態 2 の遅延量＝カウンタ最大値 L_{30} －到着時カウンタ値 $C_{20} \sim C_{29}$ は実施形態 1 の遅延量＝カウンタ最大値 L_{28} －到着時カウンタ値 $C_{10} \sim C_{19}$ と等しい。その結果、実施形態 2 の遅延量計算方法でも実施形態 1 と同様に、正しく遅延を計測することができ、その計測した遅延に基づきパケットフィルタ処理を行なうことにより、良好なクロック同期精度を得ることができるという効果を得ることができる。

30

【0116】

<実施形態 3>

実施形態 1、2 では、各パケットの遅延量を算出するために、遅延ゼロのパケットが到着した時のカウンタ値であるカウンタ最大値を遅延ゼロの基準点と見なし、各パケットが到着する際に、カウンタ最大値と到着時のカウンタ値との差分を計算することにより遅延を算出していた。

40

【0117】

本実施形態 3 では、他の遅延の算出方法について説明する。

【0118】

実施形態 1、2 のパケットカウンタ 215 では、パケットが到着すると 1 パケット分のカウンタ値が加算され、一方で、通常時は VCO 213-5 の速度に従いカウンタ値は減算されている。

【0119】

これに対して、本実施形態 3 では、パケットカウンタ 215 のカウンタ値の加算／減算

50

方法を変更する。実施形態 3 においては、パケットカウンタ 2 1 5 は、パケットが到着すると 1 パケット分のカウンタ値を減算し、一方で、通常時は V C O 2 1 3 - 5 の速度に従いカウンタ値は加算される、という動作に変更するものとする。以上の変更に伴い、図 6 の構成図が図 1 7 に変更される。図 1 7 を参照すると分かるように図 6 におけるスレーブノード 2 1 0、遅延計測部 2 1 4、パケットカウンタ 2 1 5 がスレーブノード 3 1 0、遅延計測部 3 1 4、減算／加算パケットカウンタ 3 1 5 に変更される。

【0 1 2 0】

図 1 8 は、本実施形態における実施形態 1 の図 9 に相当する図である。カウンタ値の推移 L 4 0 は減算／加算パケットカウンタ 3 1 5 のカウンタ値の増減状況を示している。到着する T S パケット P 2 0 ~ P 2 9 とその到着タイミングは図 9 と同様となっている。実施形態 3 では、パケット到着時のカウンタ値の扱いとして、カウンタ減少分減算後の値を到着時カウンタ値 C 3 0 ~ C 3 9 としている。実施形態 1、2 では、遅延ゼロパケットが到着した時のカウンタ値はカウンタ最大値となり、遅延が付加されたパケットが到着した時の到着時カウンタ値は遅延量に応じて最大値からカウンタ値が減少していた。これに対して、本実施形態 3 では、減算／加算パケットカウンタ 3 1 5 のカウンタ値の加算／減算方法が変更されるため、遅延ゼロパケットが到着した時のカウンタ値はカウンタ最小値 L 4 2 となり、遅延が付加されたパケットが到着した時の到着時カウンタ値 C 3 0 ~ C 3 9 は遅延量に応じてカウンタ最小値 L 4 2 からカウンタ値が増加する。

【0 1 2 1】

したがって、遅延量の計算方法は実施形態 1、2 からは以下のように変更される。すなわち、遅延量は、到着時カウンタ値 C 3 0 ~ C 3 9 とカウンタ最小値 L 4 2 との差分となり、カウンタ値（ビット数）をリンク速度 L S [b p s] を用いて時間換算すれば算出できる。

・遅延 [ビット数] = 到着時カウンタ値 C 3 0 ~ C 3 9 - カウンタ最小値 1 8 2 0

・遅延 [時間] = (到着時カウンタ値 C 3 0 ~ C 3 9 - カウンタ最小値 1 8 2 0) / L S

図 1 8 で説明した遅延算出におけるカウンタ値の取り扱いの変更に伴い、遅延計測部 2 1 4 の構成ならびに動作フローも一部変更となり、遅延計測部 3 1 4 となる。

【0 1 2 2】

図 1 9 は図 1 7 における遅延計測部 3 1 4 の詳細構成を示し、図 2 0 は遅延計測部 3 1 4 の動作フローを示している。図 1 9、2 0 を用いて、実施形態 3 における遅延計測部 3 1 4 の構成と、遅延算出に関する動作を説明する。

【0 1 2 3】

図 1 9 に示すように、遅延計測部 3 1 4 は、遅延算出部 3 1 4 - 1 とカウンタ最小値モニタ部 3 1 4 - 2 と到着時カウンタ値モニタ部 2 1 4 - 3 を有する。カウンタ最小値モニタ部 3 1 4 - 2 と到着時カウンタ値モニタ部 2 1 4 - 3 は、減算／加算パケットカウンタ 3 1 5 をモニタすることにより、それぞれ、カウンタ最小値と到着時カウンタ値を把握する。そして、カウンタ最小値モニタ部 3 1 4 - 2 と到着時カウンタ値モニタ部 2 1 4 - 3 は、モニタの結果を遅延算出部 3 1 4 - 1 に通知する。遅延算出部 3 1 4 - 1 はその通知された情報を用いて遅延を算出する。そして、算出した遅延情報をパケットフィルタ 2 1 2 に通知する。

【0 1 2 4】

図 2 0 を用いて実施形態 3 における遅延計測部 3 1 4 の動作を説明する。

【0 1 2 5】

まず、カウンタ最小値モニタ部 3 1 4 - 2 はモニタ期間 i におけるカウンタ最小値 M (i) をモニタする（ステップ S 3 0 1）。

【0 1 2 6】

モニタ期間 i が終了すると、カウンタ最小値モニタ部 3 1 4 - 2 は計測したモニタ期間 i におけるカウンタ最小値 M (i) を遅延算出部 3 1 4 - 1 に通知する（ステップ S 3 0 2）。すなわち、遅延算出部 3 1 4 - 1 にはモニタ期間経過毎にカウンタ最小値 M (i) が通知される。

10

20

30

40

50

【0127】

一方、到着時カウンタ値モニタ部214-3は、モニタ期間*i*における*n*番目のTSパケットが到着すると、到着時のカウンタ値（カウンタ減少分減算後のカウンタ値） $A(i, n)$ をモニタする（ステップS303）。

【0128】

そして、到着時カウンタモニタ部214-3は、TSパケット到着毎に、その都度計測したカウンタ値 $A(i, n)$ を遅延算出部314-1に通知する（ステップS304）。

【0129】

次に、遅延算出部314-1は、到着時カウンタモニタ部214-3からカウンタ値 $A(i, n)$ を受信する毎に、カウンタ最小値モニタ部314-2から通知されているカウンタ最小値 $M(i)$ とを用いて、以下の式で遅延 $D(i, n)$ を計算する（ステップS305）。

$$D(i, n) = A(i, n) - M(i - 1)$$

最後に、遅延算出部314-1はステップ2004で遅延 $D(i, n)$ を計算する毎に、パケットフィルタ212に遅延情報 $D(i, n)$ を通知する（ステップS306）。

【0130】

パケットフィルタ212では、実施形態1、2と同様に、予め設定されたフィルタ閾値 D_{th} と受信した遅延情報 $D(i, n)$ とを比較して、以下の条件に従ってパケットの採用／廃棄を決定する。

- ・ $D(i, n) \leq D_{th}$ ならば採用
- ・ $D(i, n) > D_{th}$ ならば廃棄

図18では、遅延ゼロの基準ラインとなるカウンタ最小値 L_{42} に対して、フィルタ閾値ライン L_{43} はカウンタ最小値 L_{42} からフィルタ閾値に相当するカウンタ量だけ増加した値となる。パケット到着時のカウンタ値がカウンタ最小値 L_{42} と閾値ライン L_{43} との間にあれば採用、閾値ライン L_{43} よりも上回っていれば廃棄となる。図18の例では、TSパケットP24、P25、P28が廃棄、それ以外は採用となる。

【0131】

以上説明したように、実施形態1では、パケットカウンタ215は、パケットが到着すると1パケット分のカウンタ値が加算され、一方で、通常時はVCO213-5の速度に従いカウンタ値は減算されていたのに対して、本実施形態3では、減算／加算パケットカウンタ315は、パケットが到着すると1パケット分のカウンタ値を減算し、一方で、通常時はVCO213-5の速度に従いカウンタ値は加算されるという動作を行なっている。

【0132】

これに応じて遅延ゼロとなる基準点が実施形態1のカウンタ最大値から実施形態3ではカウンタ最小値に変更となる。それと共に、遅延の算出式を到着時カウンタ値とカウンタ最小値との差分としている。その結果、実施形態3の遅延量計算方法でも実施形態1と同様に、正しく遅延を計測することができ、その計測した遅延に基づきパケットフィルタ処理を行なうことにより、良好なクロック同期精度を得ることができるという効果がある。

【0133】

<実施形態4>

実施形態4では、実施形態3の遅延算出方法を一部変更する。

【0134】

実施形態3では、減算／加算パケットカウンタ315は、パケットが到着すると1パケット分のカウンタ値を減算し、一方で、通常時はVCO213-5の速度に従いカウンタ値は加算されるという動作を行ない、その上で、到着時のカウンタ値並びにその中の一つとなるカウンタ最小値は、到着したパケットのカウンタ減少分を減算した後の値としている。パケット到着時のカウンタ減少量は1パケット分で一定であるため、到着時のカウンタ値として参照する値を、到着したパケットのカウンタ減少分を減算する前の値としても、同様の効果が得られる。そこで、実施形態4では、到着時のカウンタ値をカウンタ減少

10

20

30

40

50

分減算前の値として、遅延量を計測することとする。

【0135】

図21は実施形態3の図18に相当する図である。カウンタ値の推移L40は減算／加算パケットカウンタ315のカウンタ値の増減状況を示している。到着するTSパケットP20～P29とその到着タイミングは図9と同様となっている。実施形態3の図18では到着時カウンタ値をカウンタ減少分減算後のC30～C39としていたのに対して、実施形態4ではカウンタ減少分減算前のC40～C49としている。到着時カウンタ値をカウンタ減少分減算前のC40～C49としているため、カウンタ最小値L44も到着時カウンタ値C40～C49の中の最小値となる。なお、ここではカウンタ最小値L44という表現を用いているが、カウンタ値の推移L40における最小値ではなく、カウンタ減少分減算前の到着時カウンタ値C40～C49の中での最小値となる。遅延量の計算方法は実施形態3と変わらず、到着時カウンタ値とカウンタ最小値との差分となり、カウンタ値（ビット数）をリンク速度LS[bps]を用いて時間換算すれば算出できる。

・遅延[ビット数]＝到着時カウンタ値C40～C49－カウンタ最小値2120

・遅延[時間]＝（到着時カウンタ値C40～C49－カウンタ最小値2120）／LS

図21で説明した遅延算出におけるカウンタ値の取り扱いの変更に伴い、遅延計測部314の動作フローも一部変更となる。図22は実施形態4における遅延計測部314の動作を示すフローチャートである。実施形態3における遅延計測部314の動作フローを示した図20に対して、ステップS301とS303がステップS401、S403に変更となる。他のステップは、対象をMからM'へ、AからA'へと変更したのみであり、実質的には図20に示す各ステップと同様の動作である。

【0136】

まず、カウンタ最小値モニタ部1901はモニタ期間iにおけるカウンタ最小値（カウンタ減少分減算前のカウンタ値の中での最小値）M'（i）をモニタする（ステップS401）。

【0137】

また、到着時カウンタ値モニタ部214-3は、モニタ期間iにおけるn番目のTSパケットが到着すると、到着時のカウンタ値（カウンタ減少分減算前のカウンタ値）A'（i, n）をモニタする（ステップS403）。

【0138】

他の各ステップは図20と同様である。

【0139】

パケットフィルタ212では、実施形態1、2及び3と同様に、予め設定されたフィルタ閾値Dthと受信した遅延情報D（i, n）とを比較して、以下の条件に従ってパケットの採用／廃棄を決定する。

・D（i, n）≤Dthならば採用

・D（i, n）>Dthならば廃棄

図21では、遅延ゼロの基準ラインとなるカウンタ最小値L44に対して、フィルタ閾値ラインL45はカウンタ最小値L44からフィルタ閾値L45に相当するカウンタ量だけ増加した値となる。パケット到着時のカウンタ値がカウンタ最小値L44と閾値ラインL45との間にあれば採用、閾値ラインよりも上回っていれば廃棄となる。図18の例では、TSパケットP24、P25、P28が廃棄、それ以外は採用となる。

【0140】

以上説明したように、実施形態3では、遅延を計算する際に参照するカウンタ値を到着パケットのカウンタ減少分を減算した後の値としたのに対して、本実施形態4では、到着パケットのカウンタ値減少分を減算する前の値としている。パケット到着時のカウンタ減少量は1パケット分で一定であるため、実施形態4でのカウンタ最小値L44と到着時カウンタ値C40～C49は実施形態3でのカウンタ最大値L42と到着時カウンタ値C30～C39からそれぞれ1パケット分のカウンタ減少量を加えた値となっている。そのため、実施形態4の遅延量＝到着時カウンタ値C40～C49－カウンタ最小値L44は、

実施形態 3 の遅延量＝到着時カウンタ値 1 8 3 0～1 8 3 9－カウンタ最小値 L 4 2 と等しい。その結果、実施形態 4 の遅延量計算方法でも実施形態 3 と同様に、正しく遅延を計測することができ、その計測した遅延に基づきパケットフィルタ処理を行なうことにより、良好なクロック同期精度を得ることができるという効果がある。

【0 1 4 1】

<効果>

以上説明したように、本発明によれば、遅延計測部が所定の計測時間の間、パケットカウンタのカウンタ値を監視し、計測時間における最大値または最小値を遅延ゼロパケット到着時の基準点と認識し、基準点であるカウンタ最大値または最小値と各パケットの到着時のカウンタ値との差分から遅延量を算出することができるという効果を奏する。

10

【0 1 4 2】

更に、パケットフィルタでは、この遅延量を用いて、設定された閾値より遅延が小さいパケットを適切に選択することができるため、遅延量の小さいパケットのみをクロック同期回路に取り込むことが可能となり、同期精度を向上できるという効果を奏する。

【0 1 4 3】

なお、本発明の実施形態であるマスタノード及びスレーブノードは、ハードウェア、ソフトウェア又はこれらの組合せにより実現することができる。

【図面の簡単な説明】

【0 1 4 4】

【図 1】タイムスタンプ方式を用いた場合のネットワーク構成並びにスレーブノード構成を示す図である。

20

【図 2】遅延の確率分布を示す図である。

【図 3】パケットフィルタ機能を用いた時のスレーブノード構成を示す図である。

【図 4】マスタノードとスレーブノードが同期している場合の各ノードのクロック並びに T S パケットの転送／到着タイミングを示す図である。

【図 5】マスタノードとスレーブノードが同期せず、スレーブノードが速い場合の各ノードのクロック並びに T S パケットの転送／到着タイミングを示す図である。

【図 6】本発明の実施形態のマスタノード並びにスレーブノードの構成を示す図である。

【図 7】パケットネットワークにおける遅延がない場合の T S パケットの到着タイミング並びにそれに応じたパケットカウンタ 2 1 5 のカウンタ値を示す図である。

30

【図 8】パケットネットワークにおける遅延がある場合の T S パケットの到着タイミング並びにそれに応じたパケットカウンタ 2 1 5 のカウンタ値を示す図である。

【図 9】本発明の実施形態 1 の遅延算出方法を説明するための T S パケットの到着タイミング並びにそれに応じたパケットカウンタ 2 1 5 のカウンタ値を示す図である。

【図 1 0】本発明の実施形態における遅延計測部 2 1 4 の詳細構成図である。

【図 1 1】本発明の実施形態 1 の遅延計測部 2 1 4 の処理フローを示す図である。

【図 1 2】本発明の実施形態 1 のフィルタ動作を説明するための T S パケットの到着タイミング並びにそれに応じたパケットカウンタ 2 1 5 のカウンタ値を示す図である。

【図 1 3】本発明の実施形態 1 のフィルタ動作を説明するための T S パケットの到着タイミング並びにそれに応じたパケットカウンタ 2 1 5 のカウンタ値の具体例を示す図である。

40

【図 1 4－1】本発明の第一の効果を示す遅延分布の性能評価結果を示す図である。

【図 1 4－2】本発明の第二の効果を示すクロック同期精度の性能評価結果を示す図である。

【図 1 5】本発明の実施形態 2 の遅延算出方法を説明するための T S パケットの到着タイミング並びにそれに応じたパケットカウンタ 2 1 5 のカウンタ値を示す図である。

【図 1 6】本発明の実施形態 2 の遅延計測部 2 1 4 の処理フローを示す図である。

【図 1 7】本発明の実施形態 3 のマスタノード並びにスレーブノードの構成を示す図である。

【図 1 8】本発明の実施形態 3 の遅延算出方法を説明するための T S パケットの到着タイ

50

ミング並びにそれに応じた減算／加算パケットカウンタ 3 1 5 のカウンタ値を示す図である。

【図 1 9】本発明の実施形態 4 の遅延計測部 3 1 4 の詳細構成図である。

【図 2 0】本発明の実施形態 3 の遅延計測部 3 1 4 の処理フローを示す図である。

【図 2 1】本発明の実施形態 4 の遅延算出方法を説明するための T S パケットの到着タイミング並びにそれに応じた減算／加算パケットカウンタ 3 1 5 のカウンタ値を示す図である。

【図 2 2】本発明の実施形態 4 の遅延計測部 1 7 1 4 の処理フローを示す図である。

【符号の説明】

【 0 1 4 5 】

10

1 0 0、2 0 0 マスタノード

1 1 0、1 5 0、2 1 0、3 1 0 スレーブノード

1 2 0、2 3 0、P 1 1、P 1 2、P 1 3、P 1 4、P 1 5、P 2 0、P 2 1、P 2 2、
P 2 3、P 2 4、P 2 5、P 2 6、P 2 7、P 2 8、P 2 9 T S パケット

1 3 0、2 2 0 パケットネットワーク

1 4 0、2 1 3 P L L

1 4 1、2 1 3－1 位相比較器

1 4 2、2 1 3－2 L P F

1 4 3、2 1 3－3 P I 制御器

1 4 4、2 1 3－4 V C O

20

1 4 5、2 1 3－5 カウンタ

1 5 1、2 1 2 パケットフィルタ

2 0 1 T S パケット生成部

2 0 2 T S パケット送信部

2 1 1 T S パケット受信部

2 1 4、3 1 4 遅延計測部

2 1 5 パケットカウンタ

2 1 4－1、3 1 4－1 遅延算出部

2 1 4－2 カウンタ最大値モニタ部

2 1 4－3 到着時カウンタ値モニタ部

30

3 1 4－2 カウンタ最小値モニタ部

3 1 5 減算／加算パケットカウンタ

C 1 0、C 1 1、C 1 2、C 1 3、C 1 4、C 1 5、C 1 6、C 1 7、C 1 8、C 1 9、

C 2 0、C 2 1、C 2 2、C 2 3、C 2 4、C 2 5、C 2 6、C 2 7、C 2 8、C 2 9、

C 3 0、C 3 1、C 3 2、C 3 3、C 3 4、C 3 5、C 3 6、C 3 7、C 3 8、C 3 9、

C 4 0、C 4 1、C 4 2、C 4 3、C 4 4、C 4 5、C 4 6、C 4 7、C 4 8、C 4 9

カウンタ値

L 1 1 マスタノードの時間軸

L 1 2 マスタクロック

L 1 3 スレーブノードの時間軸

40

L 1 4、5 0 1 スレーブクロック

L 2 0、L 2 3、L 2 6、L 4 0 カウンタ値の推移

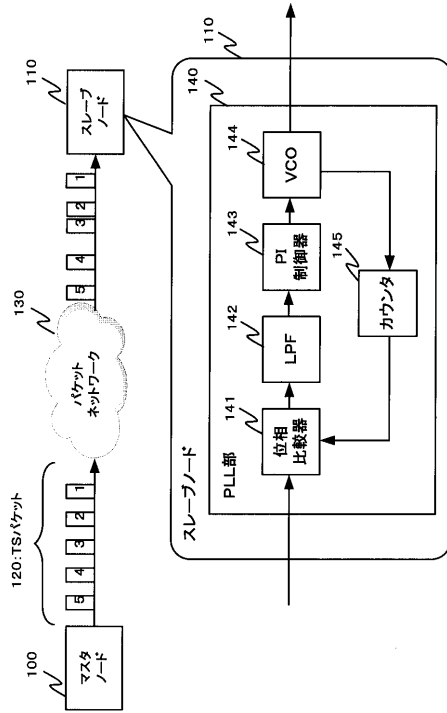
L 2 1、L 2 4、L 2 7、L 4 1 T S パケットの到着タイミング

L 2 2、L 2 5、L 2 8、L 3 0 カウンタ最大値

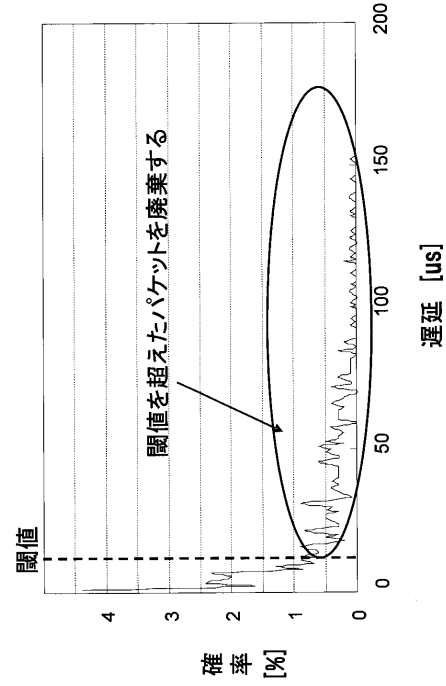
L 3 1、L 4 3、L 4 5 フィルタ閾値

L 4 2、L 4 4 カウンタ最小値

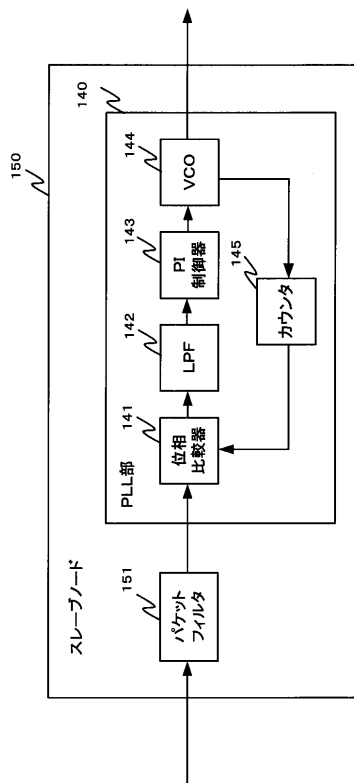
【図 1】



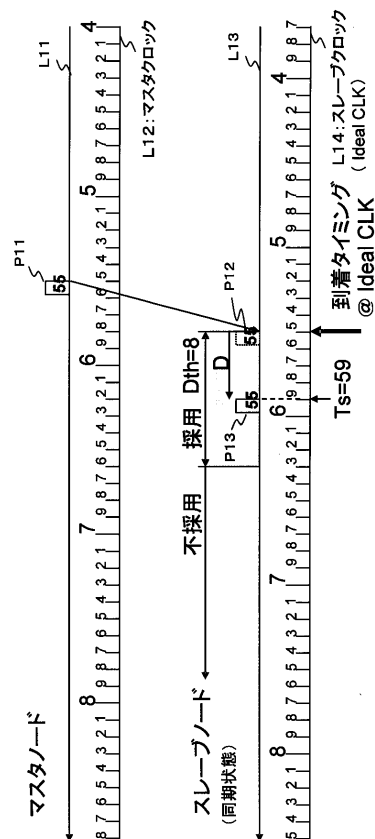
【図 2】



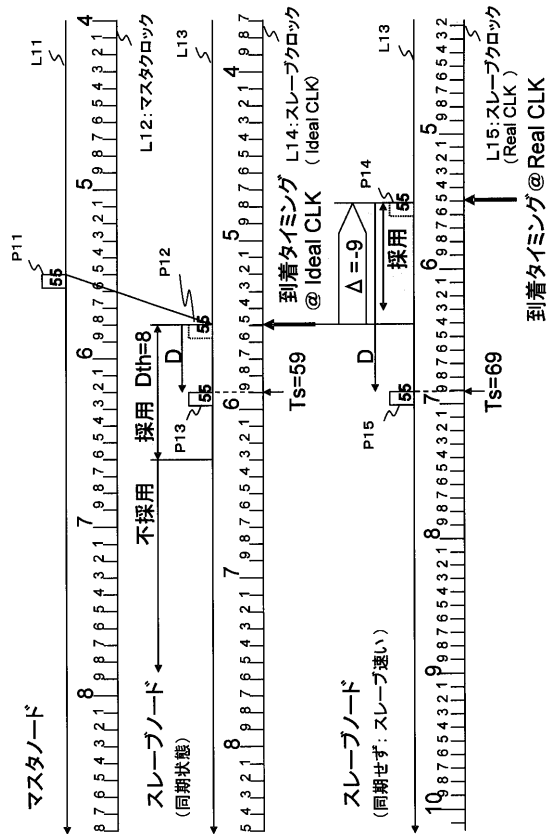
【図 3】



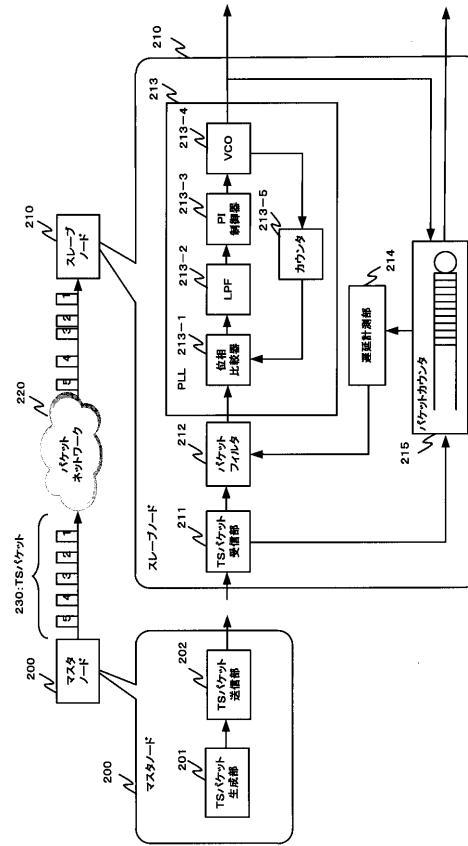
【図 4】



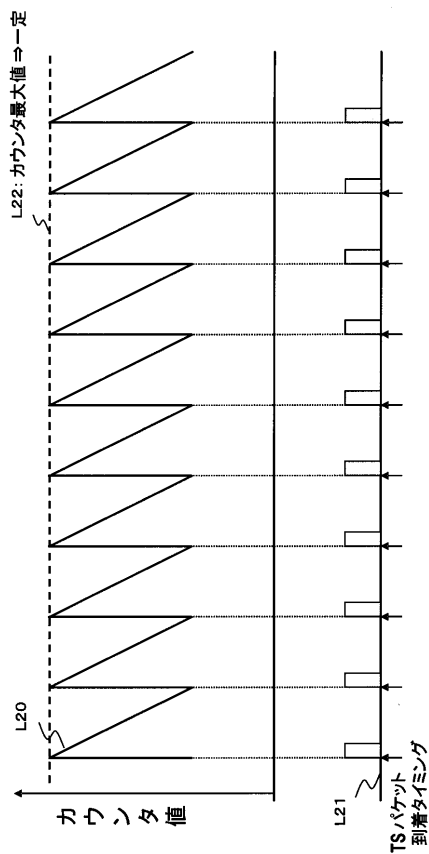
【図 5】



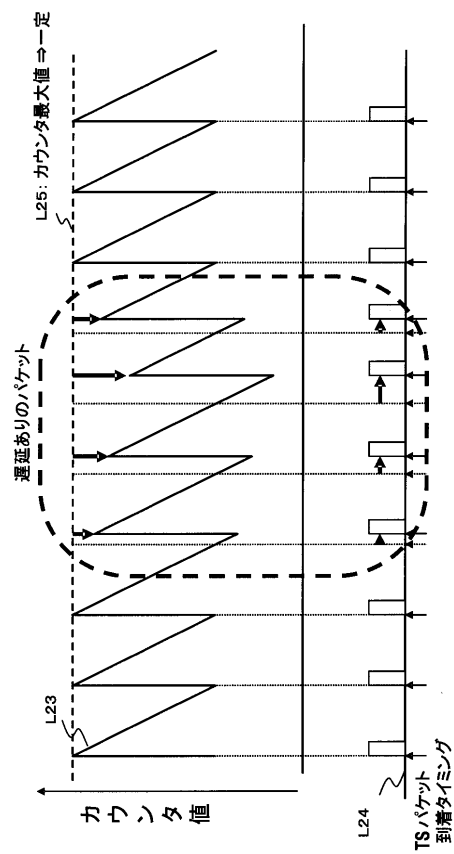
【図 6】



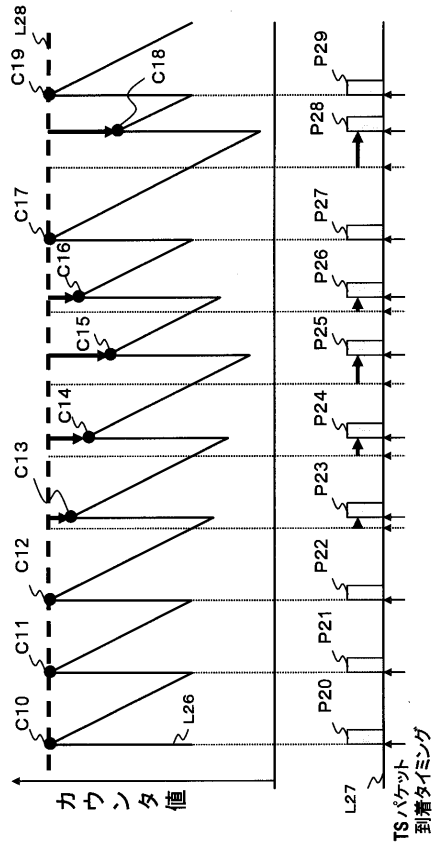
【図 7】



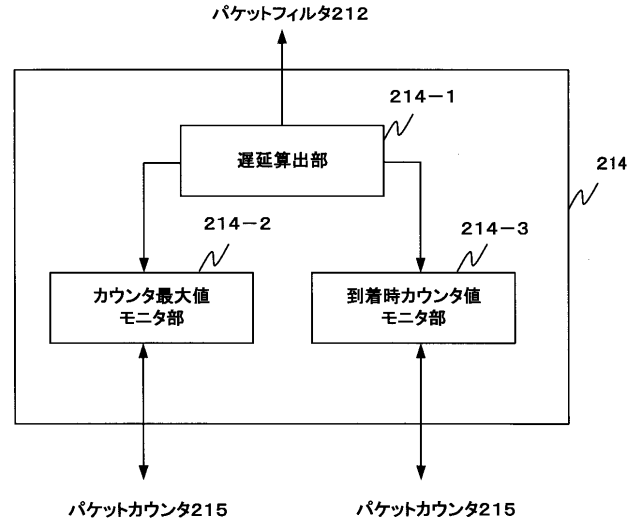
【図 8】



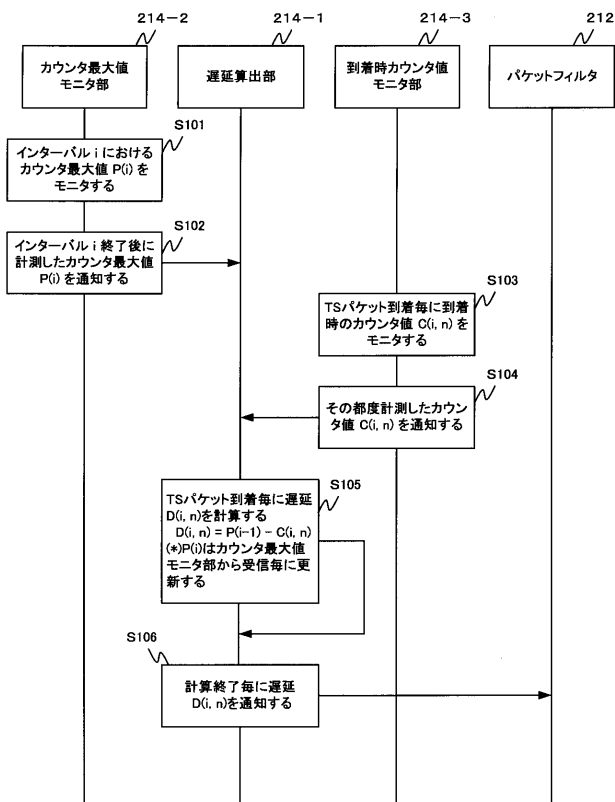
【図 9】



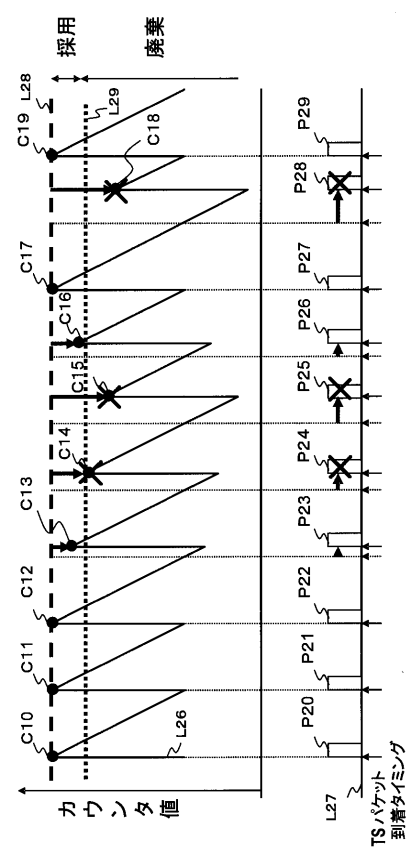
【図 10】



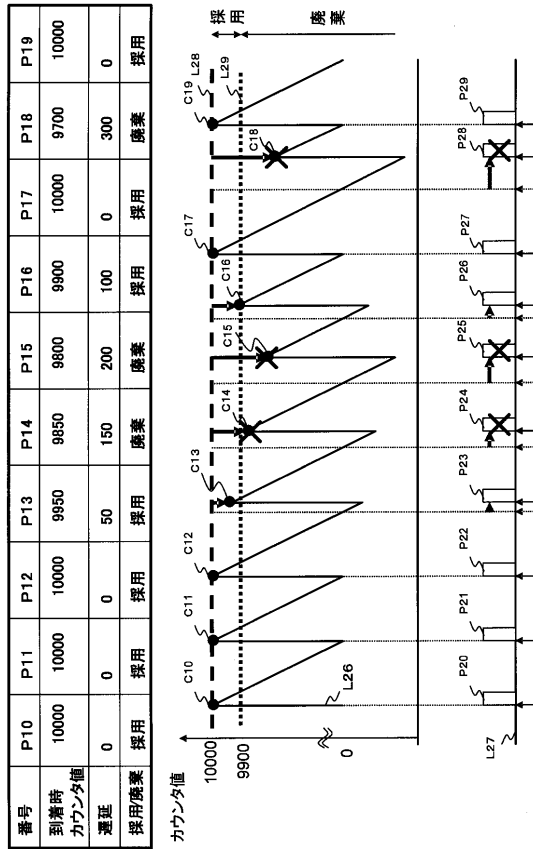
【図 11】



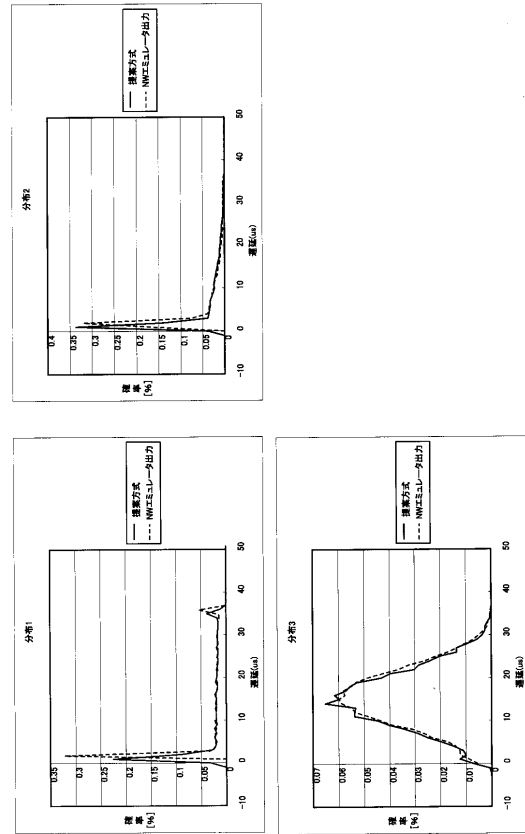
【図 12】



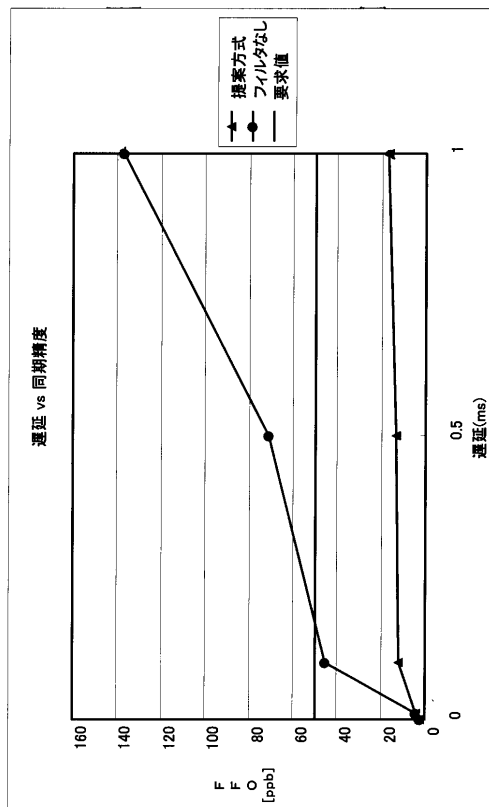
【図 13】



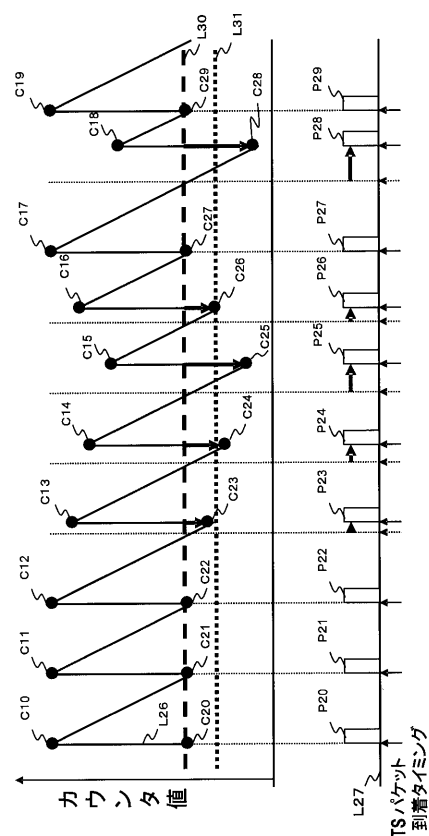
【図 14-1】



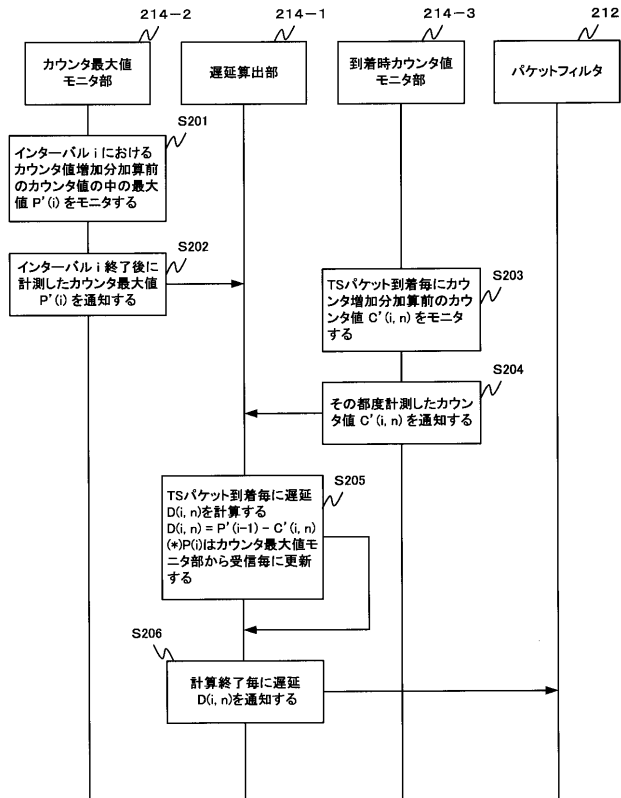
【図 14-2】



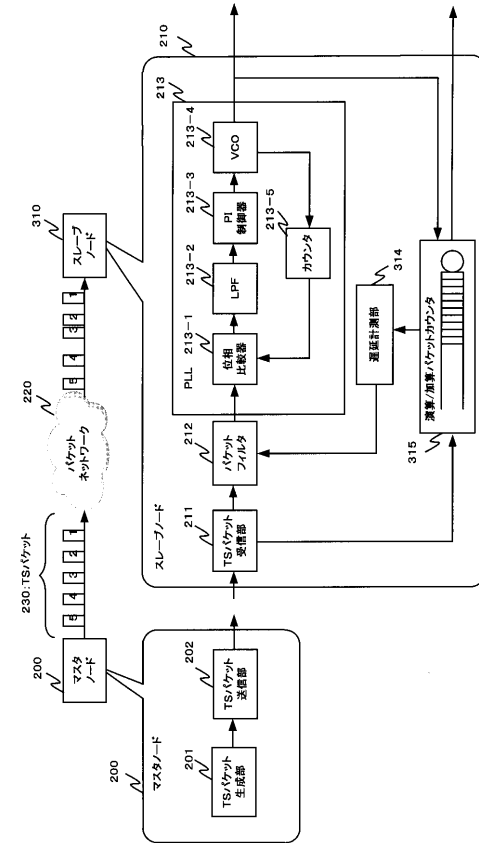
【図 15】



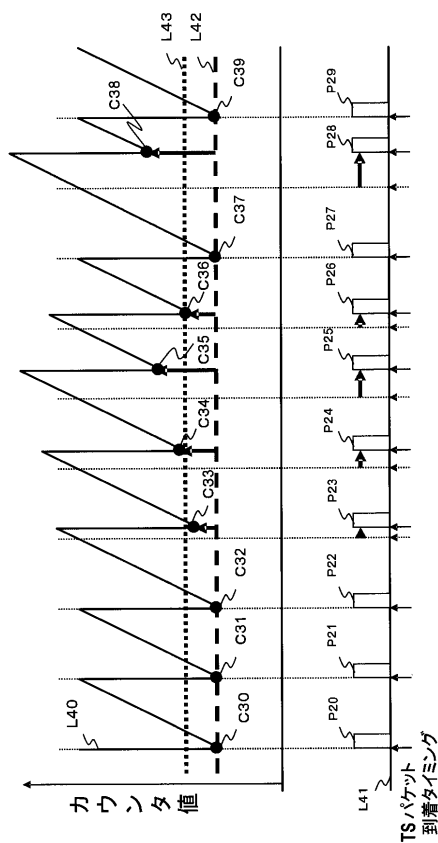
【図 16】



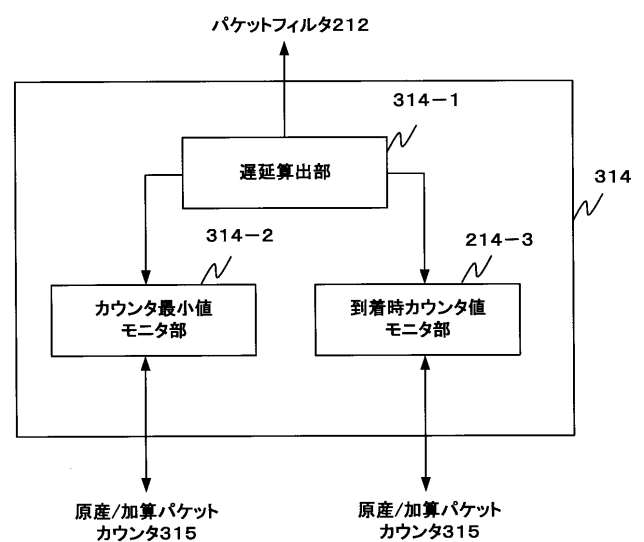
【図 17】



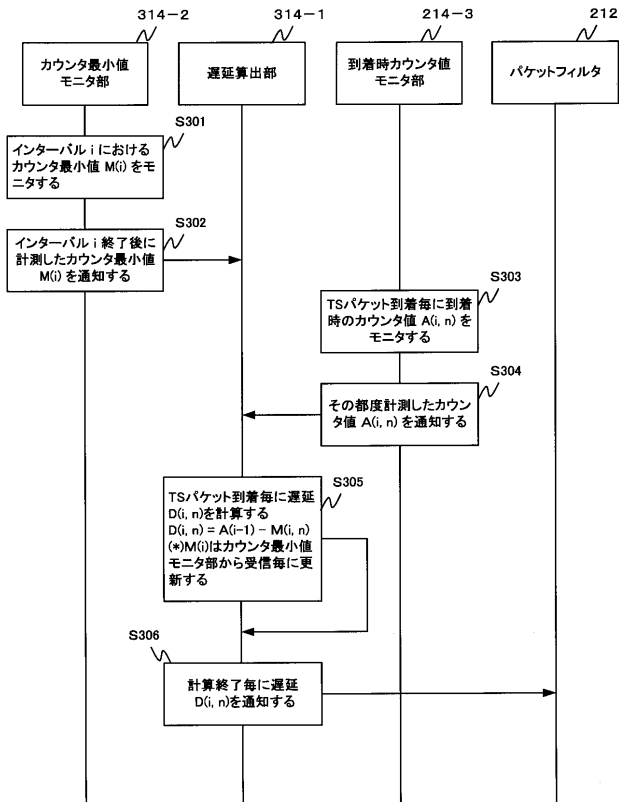
【図 18】



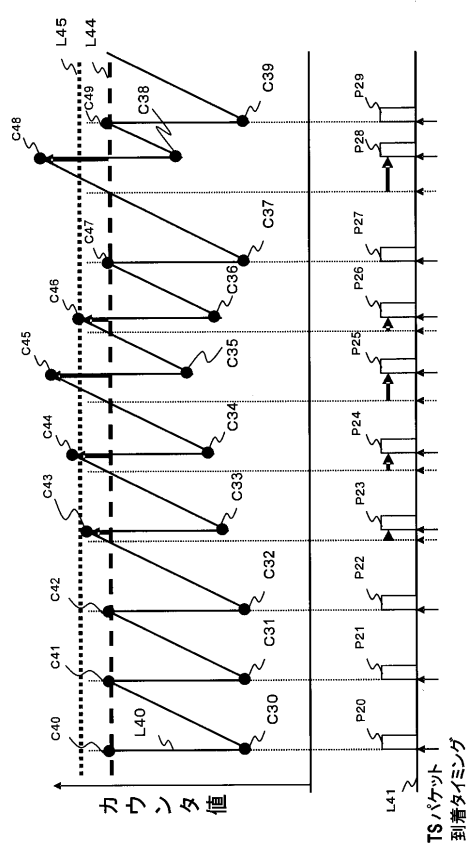
【図 19】



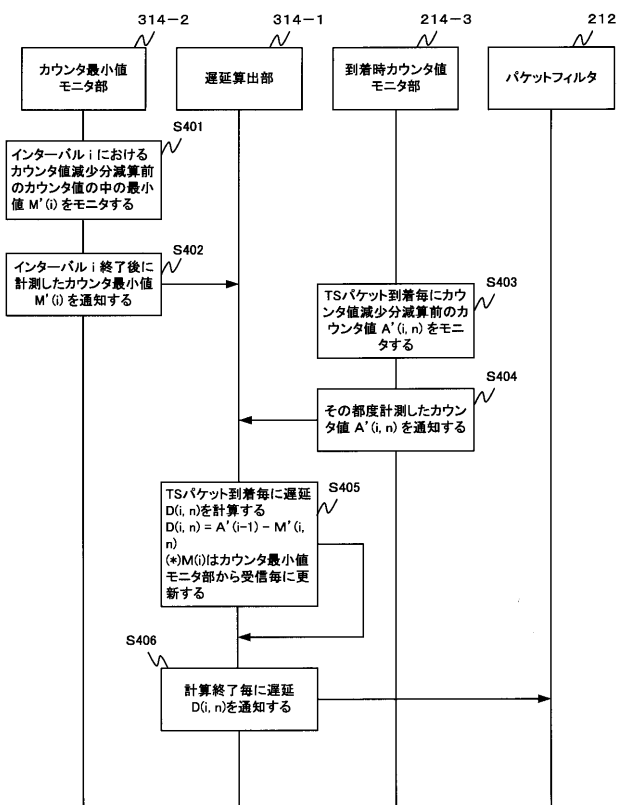
【図 20】



【図 21】



【図 22】



フロントページの続き

(72)発明者 高木 和男

東京都港区芝五丁目7番1号 日本電気株式会社内

Fターム(参考) 5K030 GA14 HA08 KA02 KA21 MA04 MB06 MB09