

明 細 書

発明の名称： 情報処理装置、情報処理方法及びプログラム

技術分野

[0001] 本開示は、情報処理装置、情報処理方法及びプログラムに関する。

背景技術

[0002] ロボット及びF A（ファクトリーオートメーション）等の分野では、ベルトコンベア的位置やアームの位置などを、意図した通りに動作させることが求められる。このような動作をさせるためには、サーボモータやステッピングモータ等の複数の制御対象装置を、高精度に同期させながら動作させる必要がある。例えば特許文献1には、安価で簡単な低速通信を利用しつつ滑らかな制御を実現可能なモーション制御用指令システムが開示されている。

先行技術文献

特許文献

[0003] 特許文献1：特開2010-170435号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0004] コントローラ及び制御対象機器を含む制御システムにおいて、コントローラ及び制御対象機器を接続するネットワークは、産業用ネットワークと呼ばれる。産業用ネットワークで接続される制御システムの動作に異常が生じた場合、どのような原因で異常が発生したのかを調査し、調査結果を踏まえてスムーズに復旧を行うことが望ましい。

[0005] そこで、本開示は、産業用ネットワークで接続される制御システムで異常が発生した場合に、異常解析及び／又は復旧をより迅速に行うことを可能とする技術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

[0006] 本開示の一態様に係る情報処理装置は、産業用ネットワークを介して、マスタ及び1以上のスレーブに接続される情報処理装置であって、産業用ネッ

トワーク内でマスタから繰り返し送信されるフレームを受信する受信部と、フレームのログデータを記憶する第1記憶部と、マスタ又は1以上のスレーブに異常が発生したことが検出された場合、第1記憶部から、異常が発生したことが検出された時刻から所定時間前までのフレームのログデータを抽出する抽出部と、抽出されたフレームのログデータを故障前ログデータとして記憶する第2記憶部と、マスタからの要求に応じて、故障前ログデータを、産業用ネットワークを介してマスタに送信する送信部と、を有する。

発明の効果

[0007] 本開示によれば、産業用ネットワークで接続される制御システムで異常が発生した場合に、異常解析及び／又は復旧をより迅速に行うことを可能とする技術を提供することができる。

図面の簡単な説明

- [0008] [図1]本実施形態に係る制御システム1の一例を示す図である。
- [図2]産業用ネットワークで用いられるフレームの構造例を示す図である。
- [図3]時刻同期処理を説明するための図である。
- [図4]スレーブの構成例を示す図である。
- [図5]監視装置のハードウェア構成例を示す図である。
- [図6]監視装置の機能ブロック構成例を示す図である。
- [図7]同期処理が正常に動作している状態を示す図である。
- [図8]マスタに異常が発生し、フレームを等間隔で送信できなくなった場合に生じる事象を説明するための図である。
- [図9]同期マスタスレーブのローカルクロックに異常が発生し、基準時刻にずれが生じた場合に生じる事象を説明するための図である。
- [図10]監視装置のローカルクロックに異常が発生した場合に生じる事象を説明するための図である。
- [図11]同期処理異常の組み合わせと、同期処理異常が生じる原因との関係を示す図である。
- [図12]同期処理異常を検出する処理手順の一例を示すフローチャートである。

。

[図13]同期異常検出処理の具体例を示す図である。

[図14]変形例を説明するための図である。

[図15]変形例を説明するための図である。

[図16]異常発生時にログデータを抽出してマスタに送信する際の処理手順の一例を示すシーケンス図である。

[図17]故障前ログデータに格納されるフレームのデータの一例を示す図である。

発明を実施するための形態

[0009] 添付図面を参照して、本開示の実施形態について説明する。なお、各図において、同一の符号を付したものは、同一又は同様の構成を有する。

[0010] <システム構成>

図1は、本実施形態に係る制御システム1の一例を示す図である。制御システム1は、マスタ10と、1以上のスレーブ20と、監視装置30とを含む。マスタ10と、1以上のスレーブ20と、監視装置30とは、産業用ネットワークを介して接続されている。

[0011] マスタ10は、スレーブ20を制御することで、制御システム1において所定の機能を実現する装置である。マスタ10は、例えば、モーションコントローラー、シーケンスコントローラー、ロボットコントローラー等であってもよい。また、マスタ10は、コントローラ及び制御装置等と呼ばれてもよい。マスタ10は、専用ハードウェアを用いて実現される装置であってもよいし、非リアルタイムOS及びリアルタイムOSがインストールされた汎用的な情報処理装置であってもよい。非リアルタイムOSの具体例として、例えば、Windows（登録商標）、macOS（登録商標）等が挙げられる。また、リアルタイムOSの具体例として、例えば、RTX（Real Time Extension）、RTH（Real Time Hypervisor）等が挙げられる。また、汎用的な情報処理装置の具体例としては、例えば、PC（パーソナルコンピュータ）、ノート型PC、サーバ等が挙げられる。

- [0012] スレーブ 20 は、例えば、サーボモータ（サーボドライバを含む）、ステップモータ、センサ等であり、制御システム 1 にける各種の処理を実行する装置である。各スレーブは、産業用ネットワークで用いられる通信プロトコルを処理する通信処理部と、モーション制御等の処理を行うアプリケーション部とに分かれている。
- [0013] 監視装置 30 は、制御システム 1 の動作状態を監視する装置であり、産業用ネットワークを流れるフレーム（データ又はパケットと呼ばれてもよい）を常時記録し、制御システム 1 において異常が発生したことを検出する。また、監視装置 30 は、制御システム 1 においてスレーブ 20 として動作する。つまり、監視装置 30 は、マスタ 10 からはスレーブ 20 として認識される。監視装置 30 は、専用ハードウェアを用いて実現される装置であってもよいし、非リアルタイム OS 及びリアルタイム OS がインストールされた汎用的な情報処理装置又はコンピュータであってもよい。
- [0014] 産業用ネットワークに用いられるプロトコルは、例えば、イーサキャット（EtherCAT）（登録商標）、イーサネット／IP（EtherNet/IP）等が挙げられる。以下の説明では、産業用ネットワークはイーサキャットであるものとして説明するが、本実施形態がこれに限定されるものではない。マスタ・スレーブ方式で通信を行い、後述する同期機能を備える通信プロトコルであれば、どのような通信プロトコルであってもよい。
- [0015] 産業用ネットワークでは、マスタ 10 及びスレーブ 20（監視装置 30 を含む）は、オンザフライ方式により通信を行う。オンザフライ方式では、マスタ 10 から送信された 1 つの固定長のフレームは、各スレーブ 20 を順番に通過し、最終的にマスタ 10 に戻る。また、各スレーブ 20 は、フレームが通過する際に、当該フレームから自身宛のデータを読み出すとともに、当該フレームにマスタ 10 又は他のスレーブ 20 宛てのデータを書き込むことができる。図 1 の例では、マスタ 10 から送信されたフレームは、S1～S6 の順に各スレーブ 20 及び監視装置 30 を通り、マスタ 10 に戻る。なお、各スレーブ 20 は、フレームが最初に監視装置 30 を通過する際に処理を

行い、フレームが監視装置30からマスタ10に戻る際、各スレーブ20はフレームの処理は行わない。例えば、スレーブ20-1は、S1で受信したフレームの処理（データの書き込み及び／又は読み出し）を行うが、S5で受信したフレームについては、処理を行わずにそのままマスタ10に転送する。同様に、スレーブ20-2は、S2で受信したフレームの処理（データの書き込み及び／又は読み出し）を行うが、S4で受信したフレームについては、処理を行わずにそのままスレーブ20-1に転送する。

[0016] 本実施形態では、監視装置30は、マスタ10及びスレーブ20で生じる異常を検出するため、産業用ネットワークにおいて、全てのスレーブ20の後に接続される。言い換えると、監視装置30は、終端のスレーブ20として動作する。例えば、制御システム1に、スレーブ20-1及びスレーブ20-2が存在すると仮定する。この場合、監視装置30は、マスタ10から出力されたフレームが、スレーブ20-1、スレーブ20-2、監視装置30の順に通過するように、産業用ネットワークに接続される。

[0017] （産業用ネットワークで用いられるフレーム構造）

図2は、産業用ネットワークで用いられるフレームの構造例を示す図である。1つのフレームは、イーサネットヘッダ（Ethernet Header）、イーサネットデータ（Ethernet Data）及びFCS（Frame Check Sequence）を含む。イーサネットデータは、ヘッダ（Header）及びデータグラム（Datagram）を含む。

[0018] データグラムは、更に、N個のデータグラム領域に分けられる。各データグラム領域は、更に、データグラムヘッダ、データ及びワーキングカウンタ（WKC:Working Counter）を含んでいる。データグラムヘッダには、データの処理方法（値の書き込み、値の読み出し等）を示すコマンドと、データを処理する宛先を示すアドレスとが格納される。

[0019] 産業用ネットワークにおいて、マスタ10からスレーブ20にデータを送信する場合と、スレーブ20からマスタ10にデータを送信する場合とでは、異なるデータグラムが使用される。つまり、マスタ10との間でデータの

送信及び受信を行う1つのスレーブ20に対し、少なくとも2つのデータグラムが割り当てられる。

[0020] ここで、マスタ10が、スレーブ20が備えるメモリ（レジスタとも呼ばれる）に値を書き込んだり、スレーブ20が備えるメモリから値を読み出したりするためには、マスタ10は、値の書き込み又は読み出しを行う対象のメモリのアドレスを指定する必要がある。産業用ネットワークにおいて、メモリのアドレスを指定する方法には2通りの方法が存在する。

[0021] 1つ目の方法は、スレーブ20を識別する識別子（イーサネットでは「設定アドレス」と呼ばれる）と、スレーブ20が備えるメモリのアドレス（実アドレスを意味し、イーサネットでは「レジスタアドレス」と呼ばれる）とを組み合わせることで、メモリの物理アドレスを直接指定する方法である。なお、スレーブ20が備えるメモリに値を書き込んだり読み出したりする際、レジスタアドレスに代えて、インデックス及びサブインデックスを用いることもできる。インデックス及びサブインデックスは、メモリに格納されたデータの内容と対応づけられており、インデックス及びサブインデックスを指定することで、実アドレスを意識することなく、値の書き込み及び読み出しを行うことができる。なお、インデックス及びサブインデックスとメモリのアドレスとの対応関係は、スレーブ20内に予め定義されている。

[0022] 2つ目の方法は、制御システム1に存在する全スレーブ20が備えるメモリ空間を、まとめて1つのメモリ空間とみなし、当該メモリ空間における位置を、1つの論理アドレスで表現する方法である。なお、論理アドレスと各スレーブ20が備えるメモリのアドレス（実アドレス）との対応関係を示すデータは、予め各スレーブ20に設定される。論理アドレスを利用することで、マスタ10は、どのスレーブ20にアクセスしているのかを意識せずにデータの書き込み及び読み出しを行うことができる。

[0023] マスタ10は、メモリのアドレスの指定に加えて、コマンドを指定することで、メモリに値を書き込んだり、メモリから値を読み出したりという処理を行う。コマンドには、例えば、FPWR（スレーブ20及び実アドレスを

指定したデータ書き込み)、FPRD(スレーブ20及び実アドレスを指定したデータ読み出し)、LWR(論理アドレスを指定したデータ書き込み)、LRD(論理アドレスを指定したデータ読み出し)等が挙げられる。

[0024] (同期処理の概要)

図3は、同期処理の概要を説明するための図である。産業用ネットワークは、各スレーブ20間で高精度の時刻同期(例えば時刻同期のずれが1 μ 秒以内)を行う仕組みを備える。イーサネットの場合、当該同期処理はDC(Distributed Clocks)同期と呼ばれる。同期処理が実行されることで、各スレーブ20は、所定の基準となる時刻(以下、「基準時刻」という。)で同期され、各スレーブ20は、基準時刻に従って各種処理を行う。なお、マスタ10が備えるクロックの精度は、コスト低減のため、スレーブ20が備えるクロックの精度よりも低いことが多い。したがって、同期処理では、産業用ネットワークに直列に接続されているスレーブ20のうち、同期処理を実行可能なスレーブ20が保持するローカルクロック(Local Clock)が基準時刻として利用されてもよい。以下の説明において、ローカルクロックが基準時刻として用いられるスレーブ20を「同期マスタスレーブ」と呼ぶ。なお、本実施形態では、同期マスタスレーブは、産業用ネットワークに直列に接続されているスレーブ20のうち、同期処理を実行可能な最初のスレーブ20(図1の例ではスレーブ20-1)であるものとして説明する。また、基準時刻は、イーサネットでは、参照時刻(Reference Clock)と呼ばれる。なお、マスタ10が、スレーブ20と同等の高精度なクロックを保持している場合、マスタ10のローカルクロックが基準時刻として利用されてもよい。

[0025] 基準時刻は、ある時刻を起点(ゼロ)とする絶対時刻で表現される。基準時刻は、所定ビット数の値で表現されてもよい。例えば、イーサネットでは、2001年1月1日0時0分0秒を起点として32ビット又は64ビットの数値で表現される。また、基準時刻の最小単位は、1マイクロ秒又は1ナノ秒であってもよい。

- [0026] マスタ10は、同期処理を実現するために、予め、イーサネット仕様に従って、同期マスタスレーブと各スレーブ20間のフレームの伝搬遅延、及び、基準時刻と各スレーブのローカルクロックとの差分（オフセット値）等を測定し、各スレーブ20のメモリに書き込んでおく。同期マスタスレーブ以外の各スレーブ20は、自身のローカルクロックに当該オフセット値を加算することで、基準時刻を算出することができる。
- [0027] なお、一般的にクロックが刻む時刻には、微細なずれ（ドリフトとも呼ばれる）が存在することから、同期が完了してから長い時間が経過すると、基準時刻からのずれも大きくなる。そこで、マスタ10は、基準時刻からのずれを抑制するために（つまり、クロックのドリフトを補償するために）、周期的に基準時刻を配信する。
- [0028] 具体的には、同期マスタスレーブは、マスタ10の指示に従い、マスタ10から受信したフレームに基準時刻を格納し、基準時刻を格納したフレームを次のスレーブ20に送信する。各スレーブ20は、受信した基準時刻が格納されたフレームから基準時刻を取得し、取得した基準時刻フレームをスレーブ20自身のメモリに書き込む。以下の説明において、基準時刻を各スレーブ20に配信するためのフレームを「基準時刻フレーム」と呼ぶ。なお、マスタ10から繰り返し送信される全フレームが基準時刻フレームであってもよい。若しくは、基準時刻フレームは、マスタ10から繰り返し送信される全フレームのうちNフレーム（Nは自然数）おきに1つであってもよい。図3の例では、全フレームが基準時刻フレームであり、同期マスタスレーブ20-1が、マスタ10から受信したフレームA及びBに基準時刻を格納してスレーブ20-2に送信する様子が図示されている。
- [0029] 同期マスタスレーブ以外の各スレーブ20は、受信した基準時刻フレームから基準時刻を取得する。上記のとおり、各スレーブ20は、同期マスタスレーブとの間の伝搬遅延を把握していることから、基準時刻フレームに含まれる基準時刻に伝搬遅延を加算することで、正しい基準時刻を認識することができる。つまり、同期マスタスレーブ以外の各スレーブ20は、基準時刻

フレームに含まれる基準時刻に基づいて、自身が認識している基準時刻を正しい基準時刻に修正することができる。

[0030] 上記の通り、同期マスタスレーブは、マスタ10から受信したフレームに同期マスタスレーブ自身のローカルクロックの時刻を基準時刻として格納し、次のスレーブ20に送信する。同期マスタスレーブが、基準時刻として格納するローカルクロックの値は、同期マスタスレーブがフレームを受信してから、基準時刻を格納したフレームを次のスレーブ20に送信するまでの間の時間であればよい。

[0031] 図4は、スレーブの構成例を示す図である。各スレーブが備える通信処理部20bは、通信処理部のメモリ20aに書き込まれた基準時刻、伝搬遅延及びオフセット等を参照し、基準時刻と同期する。続いて各スレーブは、同期した基準時刻に従い、所定周期で同期信号を繰り返し生成し、各スレーブが備えるアプリケーション部20cに通知する。同期信号は、イーサネットでは、SYNCO/SYNC1などと呼ばれる。同期信号が繰り返し生成される最初の時刻（以下、「同期信号の開始時刻」という。）及び同期信号の生成周期（以下、「同期信号周期」という。）は、予めマスタ10から各スレーブ20に通知されている。同期信号の開始時刻は、基準時刻の時間軸に従って絶対時刻で指定される。

[0032] 同期処理が用いられる場合、マスタ10は、連続する2つの同期信号の間に、1つのフレームが各スレーブ20に到着するように、同期信号の生成周期と同一周期でフレームを繰り返し送信する。ただし、前述したとおり、マスタ10が備えるクロックの精度は、スレーブ20が備えるクロックの精度よりも低いことが多い。したがって、フレームが各スレーブ20に到着する周期は、各スレーブ20で同期信号が生成される周期と比較すると、多少のばらつきが生じることがある。

[0033] マスタ10が所定周期で繰り返し送信するフレームには、上述した基準時刻に加えて、データを格納する領域が含まれる。当該領域には、例えば、各スレーブ20のメモリに値を書き込むコマンド及び値、及び／又は、各スレ

ープ20のメモリ20aから値を読み出すコマンドが格納されている。スレーブ20の通信処理部20bは、コマンドに従い、受信したフレームから値を読み出してメモリ20aに書き込む。また、スレーブ20のアプリケーション部20cは、通信機能部から同期信号が通知されたタイミングで、メモリ20aに書き込まれた値を用いて、アプリケーション処理（例えばモーション制御等）を行う。つまり、時刻同期機能が正常に動作し、マスタ10が所定周期でフレームを送信し続けている限り、各スレーブ20で同期信号が生成されるタイミングは、スレーブ20間で一致し、各スレーブ20がアプリケーション処理を行うタイミングも一致することになる。

[0034] 例えば、図3に示すとおり、フレームの到着時間は、同期マスタスレーブ20-1及びスレーブ20-2の間の伝送遅延の分、スレーブ20-2の方が遅れることになる。しかしながら、アプリケーション処理（AP処理）は、同期信号をトリガとして実行されることから、同期マスタスレーブ20-1でアプリケーション処理が開始されるタイミングとスレーブ20-2でアプリケーション処理が開始されるタイミングは、一致することになる。

[0035] （監視装置が行う処理の概要）

本実施形態では、監視装置30は以下の処理を行う。

[0036] 1. 同期処理異常の検出：監視装置30は、同期処理に異常が生じたことを検出し、制御システム1を管理するユーザ又はマスタ10に通知する。

[0037] 2. 異常発生直前のフレーム記録：監視装置30は、産業用ネットワークを流れるフレームを常時記録（キャプチャ）し、キャプチャした1以上のフレームのログデータを保存する。また、制御システム1で異常が発生したことを検知した場合、異常発生前の所定期間に産業用ネットワークを流れていた1以上のフレームのログデータを、保存済みのログデータから抽出する。また、監視装置30は、マスタ10から要求を受けた場合、抽出した1以上のフレームのログデータを、産業用ネットワークを介してマスタ10に送信する。

[0038] <ハードウェア構成>

図5は、監視装置30のハードウェア構成例を示す図である。監視装置30は、CPU (Central Processing Unit)、GPU (Graphical Processing Unit) 等のプロセッサ11、メモリ (例えばRAM (Random Access Memory) 又はROM (Read Only Memory))、HDD (Hard Disk Drive) 及び／又はSSD (Solid State Drive) 等の記憶装置12、有線又は無線通信を行うネットワークIF (Network Interface) 13、入力操作を受け付ける入力装置14、及び情報の出力を行う出力装置15を有する。入力装置14は、例えば、キーボード、タッチパネル、マウス及び／又はマイク等である。出力装置15は、例えば、ディスプレイ、タッチパネル及び／又はスピーカ等である。

[0039] <機能ブロック構成>

図6は、監視装置30の機能ブロック構成例を示す図である。監視装置30は、非リアルタイムOS100と、リアルタイムOS200と、第2記憶部300とを有する。非リアルタイムOS100は、表示部110と、収集部120と、第1検出部130と、抽出部140と、第1記憶部150とを含む。リアルタイムOS200は、スレーブ処理部210を含む。スレーブ処理部210は、通信モジュール220と定周期処理部230とを含む。通信モジュール220は、第3記憶部221を含み、定周期処理部230は、第2検出部231を含む。

[0040] 第1記憶部150、第2記憶部300及び第3記憶部221は、監視装置30が備える記憶装置12を用いて実現することができる。また、表示部110、収集部120、第1検出部130、抽出部140、スレーブ処理部210は、監視装置30のプロセッサ11が、記憶装置12に記憶されたプログラムを実行することにより実現することができる。また、当該プログラムは、記憶媒体に格納することができる。当該プログラムを格納した記憶媒体は、コンピュータ読み取り可能な非一時的な記憶媒体 (Non-transitory computer readable medium) であってもよい。非一時的な記憶媒体は特に限定されないが、例えば、USB (Universal Serial Bus) メモリ又はCD-ROM

M (Compact Disc Read-Only Memory) 等の記憶媒体であってもよい。

- [0041] 第1記憶部150は、非リアルタイムOSに設けられ、ログ蓄積DB (DataBase) 151及び設定ファイル152を記憶する。ログ蓄積DB151は、リアルタイムOS200の通信モジュール220でキャプチャされた、産業用ネットワークを流れるフレームを格納するデータベースである。設定ファイル152は、監視装置30の動作を規定する各種のデータを格納する。
- [0042] 第2記憶部300は、非リアルタイムOS100及びリアルタイムOSの両方から参照可能なメモリに設けられる。
- [0043] 表示部110は、非リアルタイムOSで動作し、ディスプレイ等に各種画面を表示させる。例えば、表示部110は、検出された異常の内容等を示す画面をディスプレイ等に表示させる。
- [0044] 収集部120は、非リアルタイムOSで動作し、リアルタイムOS200から、第2記憶部300に含まれるFIFO (First In First Out) キュー310を介して、産業用ネットワークを流れるフレームを取得し、第1記憶部150のログ蓄積DB151に格納する。言い換えると、第1記憶部150 (ログ蓄積DB151) は、受信された1以上のフレームのログデータを記憶する。
- [0045] 第1検出部130は、非リアルタイムOSで動作し、通信モジュール220で受信されたフレームを分析することで、産業用ネットワーク内で配信される基準時刻に基づいて実行される、マスタ10及び1以上のスレーブ20の間で行われる同期処理に関する異常の有無を検出する。
- [0046] 抽出部140は、非リアルタイムOS上で動作し、マスタ10又は1以上のスレーブ20に異常が発生したことが第1検出部130で検出された場合、ログ蓄積DB151の中から、異常が発生したことが検出された時刻から所定時間前 (第2時間前) までのフレームのログデータを抽出する。また、抽出部140は、抽出したフレームのログデータを、故障前ログデータ320として、第2記憶部300に格納する。言い換えると、第2記憶部300は、抽出部140で抽出されたログデータを故障前ログデータ320として

記憶する。

- [0047] スレーブ処理部 210 は、監視装置 30 がスレーブ 20 として動作するための各種処理を行う。
- [0048] 通信モジュール 220 は、リアルタイム OS 200 で動作し、産業用ネットワークを流れるフレームをキャプチャし、第 3 記憶部 221 に格納する。また、通信モジュール 220 は、産業用ネットワークを流れるフレームに含まれるコマンドの指示に従い、自身宛のデータを取得して第 3 記憶部 221 に格納する。また、産業用ネットワークを流れるフレームに含まれるコマンドの指示に従い、マスタ 10 宛に送信するデータを第 3 記憶部 221 から取得してフレームに格納する。前述の通り、監視装置 30 は、終端のスレーブ 20 として動作する。つまり、第 3 記憶部 221 は、「（産業用ネットワークで用いられるフレーム構造）」で説明した、スレーブ 20 のメモリに対応する。例えば、通信モジュール 220 は、フレームに含まれるコマンドが F P W R であり、かつ、フレームに含まれるアドレスが監視装置 30 を指している場合、第 3 記憶部 221 のうち、フレームに含まれるアドレスで指定された領域に、フレームに含まれる値を格納する。また、通信モジュール 220 は、フレームに含まれるコマンドが、F P R D であり、フレームに含まれるアドレスが監視装置 30 を指している場合、第 3 記憶部 221 のうち、フレームに含まれるアドレスで指定された領域から値を取得して、フレームに格納する。
- [0049] 定周期処理部 230 は、リアルタイム OS 200 で動作する。定周期処理部 230 は、第 3 記憶部 221 から、産業用ネットワークを流れるフレームを取得して、F I F O キュー 310 に格納する処理を、所定周期（例えばマスタ 10 からフレームが送信される周期）で繰り返し行う。また、定周期処理部 230 は、故障前ログデータ 320 から、フレームに格納するデータを取得して第 3 記憶部 221 に格納する。
- [0050] 第 2 検出部 231 は、通信モジュール 220 でキャプチャされたフレームを分析することで、産業用ネットワーク内で配信される基準時刻に基づいて

実行される、マスタ 10 及び 1 以上のスレーブ 20 の間で行われる同期処理に関する異常の有無を検出する。なお、監視装置 30 は、少なくとも第 1 検出部 130 及び第 2 検出部 231 のうちいずれか一方を備えているものとする。つまり、監視装置 30 は、非リアルタイム OS 100 側で（つまり第 1 検出部 130 で）同期処理の異常有無を検出するようにしてもよいし、リアルタイム OS 200 側で（つまり第 2 検出部 231 で）同期処理の異常有無を検出するようにしてもよい。第 1 検出部 130 及び第 2 検出部 231 は、「異常検出部」と呼ばれてもよい。

[0051] 通信モジュール 220 は、「送信部」及び「受信部」と呼ばれてもよい。通信モジュール 220（受信部）は、産業用ネットワーク内でマスタ 10 から繰り返し送信されるフレームを受信する。また、通信モジュール 220（送信部）は、マスタ 10 からの要求に応じて、故障前ログデータ 320 を、産業用ネットワークを介してマスタ 10 に送信する。

[0052] <処理手順>

（同期処理異常の検出）

続いて、同期処理に異常が生じたことを監視装置 30 が検出する処理について具体的に説明する。以下の説明では、同期処理異常の検出を、第 1 検出部 130 で行う前提で説明するが、前述の通り、同期処理異常の検出を第 2 検出部 231 で行うことも可能である。また、以下の説明では、スレーブ 20 と監視装置 30 は異なる装置であるものとして説明する。

[0053] 監視装置 30 は、以下で説明する、同期異常 A 及び同期異常 B の 2 パターンの同期処理異常を検出し、当該 2 パターンの同期処理異常の組み合わせに基づいて、同期処理異常が生じた原因を判断する。なお、同期異常 A 及び同期異常 B は、それぞれ、「第 1 異常」及び「第 2 異常」と呼ばれてもよい。

[0054] 同期異常 A：基準時刻フレームが受信されるべき、連続する 2 つの同期信号が生成される時刻の間に、基準時刻フレームに格納された基準時刻が含まれていない場合

同期異常 B：連続する 2 つの時刻同期フレームの各々に含まれる基準時刻

の差分と、当該連続する2つの時刻同期フレームの各々を監視装置30が受信した時刻の差分とが乖離している場合。

[0055] 図7は、同期処理が正常に動作している状態を示す図である。図7を用いて、同期異常A及び同期異常Bを検出する処理について具体的に説明する。

[0056] [同期異常A]

図7において、横軸tは、同期信号が生成される時刻を表す。同期信号が生成される時刻は、どのように表現されてもよいが、例えば、2000年1月1日0時0分0秒を起点として32ビット又は64ビットの数値で表現され、時刻の最小単位は1ナノ秒であってもよい。

[0057] 図7の例では、同期信号周期は1000（例えば1ms）に設定され、各フレームが基準時刻フレームであるものとする。また、スレーブ20-1は、同期マスタスレーブであり、以下の説明では、同期マスタスレーブ20-1と記載する。つまり、同期マスタスレーブ20-1は、マスタ10から受信した基準時刻フレームに基準時刻を格納してスレーブ20-2に送信する。スレーブ20-2は、受信した基準時刻フレームから基準時刻を取得し、当該基準時刻フレームを監視装置30に送信する。監視装置30も、受信した基準時刻フレームから基準時刻を取得し、当該基準時刻フレームをマスタ10に送信する。

[0058] 基準時刻フレームは、同期信号周期とほぼ同一の周期でマスタ10から繰り返し送信される。例えば基準時刻フレームAは、同期信号Sy1が生成されてから同期信号Sy2が生成されるまでの間にマスタ10から送信され、スレーブ20-1、スレーブ20-2、監視装置30を通過し、同期信号Sy2が生成される前までにマスタ10に戻る。したがって、同期処理が正常である場合、スレーブ20及び監視装置30は、連続する2つの同期信号の間で1つの基準時刻フレームを必ず受信することになる。

[0059] 最初に同期信号が生成される時刻は、「同期信号の開始時刻」として指定された時刻であり、2番目以降の同期信号は、「同期信号周期」が経過するごとに生成される。つまり、N番目（Nは1以上の整数）の同期信号が生成

される時刻は、「同期信号の開始時刻 + $((N - 1) \times \text{同期信号周期})$ 」の式を用いて計算することができる。そうすると、同期処理が開始されてからN番目に送信されるフレームは、「同期信号の開始時刻 + $(N - 1) \times \text{同期信号周期}$ 」から、「同期信号の開始時刻 + $N \times \text{同期信号周期}$ 」の間で、各スレーブ20で受信されるべきであると言えることができる。

[0060] ここで、同期マスタスレーブ20-1は、マスタ10から受信した基準時刻フレームに、同期マスタスレーブ20-1自身のローカルクロックの時刻を基準時刻として格納し、スレーブ20-2に送信する。なお、上述した通り、同期マスタスレーブ20-1が、基準時刻として格納するローカルクロックの値は、同期マスタスレーブ20-1がフレームを受信してから、基準時刻を格納したフレームをスレーブ20-2に送信するまでの間の時間であればよい。そこで、第1検出部130は、マスタ10から繰り返し送信されるフレームのうち基準時刻フレームについて、当該基準時刻フレームが受信されるべき、連続する2つの同期信号が生成される時刻の間に、基準時刻が存在するか否かを判断することで、同期異常Aの異常の有無を検出する。

[0061] より具体的には、第1検出部130は、基準時刻フレームが1以上のスレーブ20（又は同期マスタスレーブ）で受信されるべき、連続する2つの同期信号が1以上のスレーブ20内（又は同期マスタスレーブ内）で生成される時刻の間に、基準時刻が存在する場合、同期異常Aは発生していないと判断する。また、第1検出部130は、基準時刻フレームが1以上のスレーブ20（又は同期マスタスレーブ）で受信されるべき、連続する2つの同期信号が1以上のスレーブ20内（又は同期マスタスレーブ内）で生成される時刻の間に、基準時刻が存在しない場合、同期異常Aが発生していると判断する。

[0062] 第1検出部130は、「同期信号の開始時刻」と「同期信号周期」とを取得し、取得した「同期信号の開始時刻」と「同期信号周期」とに基づいて、基準時刻フレームが受信されるべき、連続する2つの同期信号が生成される時刻を算出（推定）してもよい。例えば、基準時刻フレームが、同期信号の

開始時刻の後、X番目に送信されるフレームであると仮定する。この場合、第1検出部130は、当該基準時刻フレームが受信されるべき、連続する2つの同期信号のうち最初の同期信号が生成される時刻を、「同期信号の開始時刻 + (X - 1) × 同期信号周期」の式を用いて算出（推定）することができる。また、第1検出部130は、当該基準時刻フレームが受信されるべき、連続する2つの同期信号のうち2つ目の同期信号が生成される時刻を、「同期信号の開始時刻 + X × 同期信号周期」の式を用いて算出（推定）することができる。

[0063] 以下で説明するように、同期異常Aは、マスタ10内のローカルクロックの故障等により、マスタ10が、フレームを等間隔で送信することができなくなった場合、若しくは、同期マスタスレーブのローカルクロックが故障し、基準時刻フレームに格納される基準時刻にずれが生じた場合に検出される。

[0064] 図8は、マスタ10に異常が発生し、フレームを等間隔で送信できなくなった場合に生じる事象を説明するための図である。特に言及しない点は、図7と同一でよい。図8の例では、マスタ10に何らかの異常が発生し、基準時刻フレームCがマスタ10から送信されるタイミングが遅延している。この場合、基準時刻フレームCに格納される基準時刻は、同期マスタスレーブ20-1が基準時刻フレームCを受信した時刻（8600）になる。しかしながら、基準時刻フレームCが各スレーブ20で受信されるべき時刻は、同期信号Sy3が生成される時刻（7500）から同期信号Sy4が生成される時刻（8500）の間である。したがって、第1検出部130は、基準時刻フレームCを受信した際、基準時刻フレームCに含まれる基準時刻（8600）は、基準時刻フレームCが受信されるべき期間（同期信号Sy3が生成される時刻（7500）から同期信号Sy4が生成される時刻（8500）の間）に存在しないと判断し、同期異常Aが発生したことを検出する。

[0065] 図9は、同期マスタスレーブのローカルクロックに異常が発生し、基準時刻にずれが生じた場合に生じる事象を説明するための図である。特に言及し

ない点は、図7と同一でよい。図9の例では、同期マススレーブ20-1のローカルクロックが刻む時刻が実際の時刻よりも早くなった結果、フレームC及びフレームDに格納される基準時刻が、実際の時刻（図7に示す7800及び8800）ではなく、8600及び11500にずれている。したがって、第1検出部130は、基準時刻フレームCを受信した際、基準時刻フレームCに含まれる基準時刻（8600）は、基準時刻フレームCが受信されるべき期間（同期信号Sy3が生成される時刻（7500）から同期信号Sy4が生成される時刻（8500）の間）に存在しないと判断し、同期異常Aが発生したことを検出する。

[0066] [同期異常B]

同期マススレーブ20-1のローカルクロックが正常であり（つまり、同期マススレーブ20-1が基準時刻フレームに格納する基準時刻が正常である場合）、かつ、監視装置30のローカルクロックも正常である場合、監視装置30が、連続する2つの基準時刻フレームを受信した時刻の差分と、当該2つの基準時刻フレームに含まれる基準時刻の差分は、ほぼ同一の値になるはずである。例えば、図7の例では、フレームAを監視装置30が受信した時刻（5950）と、フレームBを監視装置30が受信した時刻（6950）との差分（1000）と、フレームAの基準時刻と、フレームBの基準時刻との差分（6800）フレームAの基準時刻との差分（5800）との差分（1000）は同一である。

[0067] そこで、第1検出部130は、基準時刻を含む、連続する2つの基準時刻フレームの各々を監視装置30が受信した時刻の差分と、当該連続する2つの基準時刻フレームの各々に含まれる基準時刻の差分とに基づいて、同期処理に関する異常の有無を検出する。より具体的には、第1検出部130は、連続する2つの基準時刻フレーム各々を受信した時刻の差分と、当該連続する2つの基準時刻フレームの各々に含まれる基準時刻の差分との「ずれ度合い」が所定の値以下である場合、同期異常Bは生じていないと判断する。また、第1検出部130は、連続する2つの基準時刻フレームの各々を受信し

た時刻の差分と、当該連続する2つの基準時刻フレームの各々に含まれる基準時刻の差分との「ずれ度合い」が所定の値を超える場合、同期異常Bが生じていると判断する。ずれ度合いの算出方法は後述する。

[0068] 以下で説明するように、同期異常Bは、同期マススレーブ20-1のローカルクロックが故障し、基準時刻フレームに格納される基準時刻にずれが生じた場合、若しくは、監視装置30のローカルクロックの故障等により、監視装置30が、フレームを受信した時刻を正しく測定することができなくなった場合に検出される。

[0069] 図9の例では、同期マススレーブ20-1のローカルクロックが刻む時刻が実際の時刻よりも早くなった結果、フレームC及びフレームDに格納される基準時刻が、実際の時刻（図7に示す7800及び8800）ではなく、8600にずれている。したがって、第1検出部130は、フレームBを受信した時刻（6950）とフレームCを受信した時刻（7950）の差分（1000）と、フレームBに格納される基準時刻（6800）とフレームCに格納される基準時刻（8600）の差分（1800）とのずれ度合いが所定の値（例えば0.1等）を超えていると判断し、同期異常Bが発生したことを検出する。

[0070] 図10は、監視装置30のローカルクロックに異常が発生した場合に生じる事象を説明するための図である。特に言及しない点は、図7と同一でよい。図10の例では、監視装置30のローカルクロックが刻む時刻が実際の時刻よりも遅くなった結果、フレームC及びフレームDを受信した時刻が、実際の時刻（図7に示す7950及び8950）ではなく、7450及び7950にずれている。したがって、第1検出部130は、フレームBを受信した時刻（6950）とフレームCを受信した時刻（7450）の差分（500）と、フレームBに格納される基準時刻（6800）とフレームCに格納される基準時刻（7800）の差分（1000）とのずれ度合いが所定の値（例えば0.1等）を超えていると判断し、同期異常Bが発生したことを検出する。

[0071] 以上説明したように、同期異常が生じる原因には、マスタ10に異常が発生し、フレームを等間隔で送信できなくなった場合、同期マスタスレーブ20-1のローカルクロックが故障し、基準時刻フレームに格納される基準時刻にずれが生じた場合、又は、監視装置30のローカルクロックに異常が発生した場合の3つの原因が考えられる。また、原因ごとに、同期異常A及び同期異常Bのうちどちらのパターンで異常が検出されるのかが異なる。

[0072] この関係を表にすると、図11のようになる。図11は、同期処理異常の組み合わせと、同期処理異常が生じる原因との関係を示す図である。第1検出部130は、図11に示す関係に基づいて、異常の要因を判断する。具体的には、第1検出部130は、同期異常Aが生じており、同期異常Bが生じていない場合、マスタ10から繰り返し送信されるフレームの送信周期に異常があると判断する。また、第1検出部130は、同期異常Aが生じておらず、同期異常Bが生じている場合、監視装置30が備えるクロックに異常があると判断する。また、第1検出部130は、同期異常A及び同期異常Bの両方が生じている場合、同期マスタスレーブのクロックに異常があると判断する。

[0073] (同期処理異常の検出手順) 基準信号フレーム

図12は、同期処理異常を検出する処理手順の一例を示すフローチャートである。図12の説明において、マスタ10は、同期信号周期に従ってフレームを繰り返し送信するものとする。また、「フレーム」は、基準時刻フレーム及び基準時刻フレーム以外のフレーム（つまり、基準時刻を含まないフレーム）の両方を意味する。制御システム1は、モーション制御などの制御システム1が行うべき動作を開始する前に、モーション制御等に用いる各種データの設定の配布などの初期化処理を行う。初期化処理が完了すると、制御システム1は、動作を開始できる状態（「運用可能状態 (Operational State)」という。）に遷移する。また、監視装置30は、運用可能状態に遷移する前に、「同期信号の開始時刻」と「同期信号周期」を、予め取得しているものとする。なお、以下の説明で用いるT-initは、「同期信号の開始時刻

」を意味する。カウンタ m は、1 以上の整数であり、監視装置 30 が基準時刻フレームを受信した累積回数を表す。カウンタ n は、1 以上の整数であり、監視装置 30 がフレームを受信した累積回数を表す（ただし、最初の基準時刻フレームを 1 回目のフレームとし、当該基準時刻フレームより前に受信したフレームはカウントしない）。また、カウンタ n 及び m の初期値は 0 であるものとする。

- [0074] ステップ S 20 で、第 1 検出部 130 は、ログ蓄積 DB 151 からフレームを 1 つ取得する。
- [0075] ステップ S 21 で、第 1 検出部 130 は、フレームが基準時刻フレームである場合、ステップ S 22 の処理手順に進む。フレームが基準時刻フレームではない場合、ステップ S 23 の処理手順に進む。
- [0076] ステップ S 22 で、第 1 検出部 130 は、カウンタ m が 1 以上である場合、カウンタ n に 1 を加算し、ステップ S 37 の処理手順に進む。カウンタ m が 0 である場合、第 1 検出部 130 は、何も行わずにステップ S 37 の処理手順に進む。
- [0077] ステップ S 23 で、第 1 検出部 130 は、カウンタ n 及び m に 1 を加算する。
- [0078] ステップ S 24 で、第 1 検出部 130 は、基準時刻フレームに含まれる基準時刻の値を変数 $Rt[m]$ に格納する。
- [0079] ステップ S 25 で、第 1 検出部 130 は、基準時刻フレームを通信モジュール 220 が受信した時刻（監視装置 30 のクロックの値）を、変数 $Nt[m]$ に格納する。
- [0080] ステップ S 26 で、 $m=1$ である場合はステップ S 27 の処理手順に進み、 $m=1$ ではない場合、ステップ S 28 の処理手順に進む。
- [0081] ステップ S 27 で、第 1 検出部 130 は、監視装置 30 が異常検出処理を開始する時刻（以下、「異常検出開始時刻」という。）（ $T\text{-start}$ ）を算出する。なお、異常検出開始時刻（ $T\text{-start}$ ）は、以下の式（1）を用いて算出することができる。なお、 X は 0 以上の整数である。

[0082] 式(1) : $T\text{-start} = T\text{-init} + (\text{同期信号周期} \times X)$ としたとき、 $T\text{-start} < \text{変数Rt}[1]$ を満たす最も大きい $T\text{-start}$

ステップS28で、第1検出部130は、以下の式(2)を用いて変数 T_n を算出する。

[0083] 式(2) : $T_n = T\text{-start} + \text{同期信号周期} \times (n-1)$

ステップS29で、第1検出部130は、以下の式(3)を用いて変数 T_{n+1} を算出する。

[0084] 式(3) : $T_{n+1} = T\text{-start} + \text{同期信号周期} \times (n)$

ステップS30で、第1検出部130は、以下の式(4)を満たす場合はステップS31の処理手順に進み、以下の式(4)を満たさない場合はステップS32の処理手順に進む。

[0085] 式(4) : $T_n < \text{Rt}[m] < T_{n+1}$

ステップS31で、第1検出部130は、同期異常Aを検出したと判定する。

[0086] ステップS32で、第1検出部130は、カウンタ m が2以上である場合はステップS33の処理手順に進み、カウンタ m が1である場合はステップS37の処理手順に進む。

[0087] ステップS33で、第1検出部130は、以下の式(5)を用いて変数 $E1$ を算出する。

[0088] 式(5) : $E1 = \text{Rt}[m] - \text{Rt}[m-1]$

ステップS34で、第1検出部130は、以下の式(6)を用いて変数 $E2$ を算出する。

[0089] 式(6) : $E2 = \text{Nt}[m] - \text{Nt}[m-1]$

ステップS35で、第1検出部130は、以下の式(7)を用いてずれ度合いを算出し、ずれ度合いが所定値を超える場合はステップS36の処理手順に進み、ずれ度合いが所定値以下である場合はステップS37の処理手順に進む。なお、式(7)のAbsは絶対値を意味する。

[0090] 式(7) : $\text{ずれ度合い} = \text{Abs}(1.0 - (E1/E2))$

ステップS 3 6で、第1検出部130は、同期異常Bを検出したと判定する。

[0091] ステップS 3 7で、第1検出部130は、異常検出処理を終了しない場合はステップS 2 0に戻り、異常検出処理を終了する場合は、図12の処理を終了する。

[0092] 以上説明した処理手順を実行することで、同期異常の一つとして、同期マスタスレーブのクロック異常が検出される一例を、図13を用いて具体的に説明する。

[0093] 図13は、同期異常検出処理の具体例を示す図である。図13の例では、同期信号の開始時刻(T-init)は5500(基準時刻の起点を0とした場合の時刻)であり、同期信号周期は1000(例えば1ms)であるものとする。また、基準時刻フレームB、D、E及びHに格納される基準時刻は、それぞれ、7000、9000、11000及び14000であるものとする。

[0094] 以下、図12及び図13を参照しながら、同期マスタスレーブのローカルクロックに異常が生じた場合を想定して、監視装置30が同期異常を検出する処理を説明する。なお、図12のステップS 3 5の処理手順における所定値は0.1であるものとする。

[0095] まず、第1検出部130は、フレームAを取得する(図12のS 2 0、S 2 1-NO、S 2 2、S 3 7-NO)。続いて、第1検出部130は、基準時刻フレームBを取得し、カウンタn及びmにそれぞれ1を加算する(図12のS 2 0、S 2 1-YES、S 2 3)。また、第1検出部130は、変数Rt[1]に、基準時刻フレームBに含まれる基準時刻の値7000を格納し、変数Nt[1]に、基準時刻フレームBを通信モジュール220が受信した時刻7200を格納し、変数T-startを、式(1)に従って算出する(図12のS 2 4、S 2 5、S 2 6-YES、S 2 7)。

[0096] ここで、式(1)において、X=1とした場合のT-startは、 $T\text{-start}=5500+1000=6500$ であり、 $T\text{-start} < 7000$ を満たす。次に、X=2とした場合のT-startは、 $T\text{-start}=5500+1000 \times 2=7500$ であり、 $T\text{-start} < 7000$ を満たさない。したが

って、T-startの値は6500になる。

[0097] 続いて、第1検出部130は、変数 T_n 及び変数 T_{n+1} を、式(2)及び式(3)に従って算出する(図12のS28、S29)。この時点で $n=1$ であるから、 T_n は、 $6500+1000 \times (1-1)=6500$ になる。同様に、 T_{n+1} は、 $6500+1000 \times 1=7500$ になる。

[0098] 第1検出部130は、式(4)を満たすか否かを判定する。この時点で、 $m=1$ であり、 $Rt[1]$ は7000であるから、 $6500 < Rt[1] < 7500$ を満たす(図12のS30)。したがって、第1検出部130は、同期異常Aは生じていないと判断する。続いて、第1検出部130は、 $m=1$ であるから、図12のステップS33～ステップS36の処理手順をスキップする(S32-NO)。

[0099] 続いて、第1検出部130は、フレームCを受信し、 n に1を加算する(図12のS20、S21-NO、S22)。この時点で、 $n=2$ 、 $m=1$ である。

[0100] 続いて、第1検出部130は、基準時刻フレームDを取得し、カウンタ n 及び m にそれぞれ1を加算する(図12のS20、S21-YES、S23)。また、第1検出部130は、変数 $Rt[2]$ に、基準時刻フレームDに含まれる基準時刻の値9000を格納し、変数 $Nt[2]$ に、基準時刻フレームDを通信モジュール220が受信した時刻9200を格納する。(図12のS24、S25)。

[0101] 続いて、第1検出部130は、変数 T_n 及び変数 T_{n+1} を、式(2)及び式(3)に従って算出する(図12のS28、S29)。この時点で $n=3$ であるから、 T_n は、 $6500+1000 \times (3-1)=8500$ になる。同様に、 T_{n+1} は、 $6500+1000 \times 3=9500$ になる。

[0102] 第1検出部130は、式(4)を満たすか否かを判定する。この時点で、 $m=2$ であり、 $Rt[2]$ は9000であるから、 $8500 < Rt[2] < 9500$ を満たす(図12のS30-YES)。したがって、第1検出部130は、同期異常Aは生じていないと判断する。また、第1検出部130は、E1及びE2を、式(5)及び式(6)に従って算出する(図12のS32-YES、S33、S34)。E1は、 $Rt[2]-Rt[1]=9000-7000=2000$ であり、E2は、 $Nt[2]-Nt[1]=9200-7200=2000$ である。第1検出部130は、式(7)を満たすか否かを判定する(図

12のS35)。Abs(1.0-E2/E1)=1.0-2000/2000=0であり、所定値100以下であるから、第1検出部130は、同期異常Bは生じていないと判断する(図12のS35-YES)。

[0103] 続いて、第1検出部130は、フレームEを受信し、nに1を加算する(図9のS20、S21-NO、S22)。この時点で、n=4、m=2である。

[0104] 続いて、第1検出部130は、基準時刻フレームFを取得し、カウンタn及びカウンタmに1を加算し、変数Rt[3]に、基準時刻フレームFに含まれる基準時刻の値11000を格納し、変数Nt[3]に、基準時刻フレームFを通信モジュール220が受信した時刻11200を格納し、変数T_n及び変数T_{n+1}を、式(2)及び式(3)に従って算出する(図12のS23、S24、S25、S26-NO、S28、S29)。この時点でn=5であるから、T_nは、6500+1000×(5-1)=10500になる。同様に、T_{n+1}は、6500+1000×5=11500になる。

[0105] 第1検出部130は、式(4)を満たすか否かを判定する。この時点で、m=3であり、Rt[3]は11000であるから、10500 < Rt[3] < 11500を満たす(図12のS30-NO)。したがって、第1検出部130は、同期異常Aは生じていないと判断する。また、第1検出部130は、E1及びE2を、式(5)及び式(6)に従って算出する(図12のS33、S34)。E1は、Rt[3]-Rt[3]=11000-9000=2000であり、E2は、Nt[3]-Nt[2]=11200-9200=2000である。第1検出部130は、式(7)を満たすか否かを判定する(図12のS35)。Abs(1.0-E2/E1)=1.0-2000/2000=0であり、所定値100以下であるから、第1検出部130は、同期異常Bは生じていないと判断する(図12のS35-NO)。

[0106] 続いて、第1検出部130は、フレームGを受信し、nに1を加算する(図12のS22)。この時点で、n=6、m=3である。

[0107] 続いて、第1検出部130は、基準時刻フレームHを取得し、カウンタn及びカウンタmに1を加算する(図12のS20、S21-YES、S23)。また、第1検出部130は、変数Rt[4]に、基準時刻フレームHに含まれる基準時刻の値14000を格納し、変数Nt[4]に、基準時刻フレームHを通信モジュール

ール220が受信した時刻13200を格納し、変数 T_n 及び変数 T_{n+1} を、式(2)及び式(3)に従って算出する(図12のS24、S25、S26-NO、S28、S29)。この時点で $n=7$ であるから、 T_n は、 $6500+1000 \times (7-1)=12500$ になる。同様に、 T_{n+1} は、 $6500+1000 \times 7=13500$ になる。

[0108] 第1検出部130は、式(4)を満たすか否かを判定する。この時点で、 $m=4$ であり、 $Rt[4]$ は14000であるから、 $12500 < Rt[4] < 13500$ を満たさない(図12のS30-NO)。したがって、第1検出部130は、同期異常Aが生じたと判断する(図12のS31)。また、第1検出部130は、E1及びE2を、式(5)及び式(6)に従って算出する(図12のS33、S34)。E1は、 $Rt[4]-Rt[3]=14000-11000=3000$ であり、E2は、 $Nt[4]-Nt[3]=13200-11200=2000$ である。第1検出部130は、式(7)を満たすか否かを判定する(図12のS35)。 $Abs(1.0-E2/E1)=Abs(1.0-3000/2000)=0.5$ であり、所定値0.1以下ではないから、第1検出部130は、同期異常Bが生じたと判断する(図12のS35-NO、S36)。

[0109] 以上説明したとおり、第1検出部130は、同期異常A及び同期異常Bを検出し、図11の表に従い、同期マスタスレーブ20-1のクロックが異常であると判断する。

[0110] [同期処理異常の検出における変形例]

(変形例1)

以上説明した同期処理異常の検出において、監視装置30は、同期異常Aの検出又は同期異常Bの検出のうちいずれか一方の検出のみを実行するようにしてもよい。

[0111] (変形例2)

ログ蓄積DB151には、通信モジュール220がキャプチャした最新のフレームの内容が、各フレームを監視装置30(より具体的には通信モジュール220)が受信した時刻と対応づけられて順次格納されていく。そこで、第1検出部130は、ログ蓄積DB151に順次格納されるフレームを、図12に示すフローチャートに従って逐次的に分析することで、同期異常の

発生を迅速に検出するようにしてもよい。若しくは、第1検出部130は、過去にログ蓄積DB151に蓄積されたフレームを、図12に示すフローチャートに従ってバッチ処理で分析することで、同期異常の発生を事後的に検出するようにしてもよい。

[0112] (変形例3)

監視装置30のクロックは、必ずしも基準時刻と同一の時間軸で動作する必要はない。監視装置30のクロックは、基準時刻とは異なる時間軸で動作してもよい。

[0113] (変形例4)

図14及び図15は、変形例を説明するための図である。産業用ネットワークはオンザフライ方式でフレームを処理することから、同期マスタスレーブにフレームが到着してから、最後にフレームを処理するスレーブ20にフレームが到着するまでには、伝搬遅延分のタイムラグが生じる。また、フレームがスレーブ20に到着してから、アプリケーション部で処理可能になるまでに多少のタイムラグが必要になると考えられる。

[0114] 例えば図14の例では、スレーブ20-2にフレームAが到着するのは、同期信号2が生成される時刻 t_2 の直前であることから、スレーブ20-2は、この時刻にフレームAを受信しても、AP処理を時刻 t_2 に合わせて開始することは困難であることが考えられる。そこで、第1検出部130は、当該タイムラグを考慮して、同期異常Aの異常の有無を検出するようにしてもよい。

[0115] 例えば、第1検出部130は、マスタ10から繰り返し送信されるフレームのうち基準時刻フレームについて、基準時刻フレームが受信されるべき、連続する2つの同期信号のうち1つめの同期信号1が生成された時刻(図15の t_1)から、2つめの同期信号2が生成された時刻(図15の t_2)よりも所定時間(第3時間)前の時刻(図15の $t_2 - a$)の間に、基準時刻が存在するか否かを判断することで、同期異常Aの異常の有無を検出してよい。所定時間(第3時間)は、同期マスタスレーブと最後にフレームを処

理するスレーブ20との間の伝搬遅延Dとスレーブ20内の処理遅延時間との合計値よりも長い時間に設定されてもよい。

- [0116] より具体的には、第1検出部130は、基準時刻フレームが1以上のスレーブ20（又は同期マスタスレーブ）で受信されるべき、連続する2つの同期信号のうち1つめの同期信号が1以上のスレーブ（又は同期マスタスレーブ）内で生成される時刻と、2つめの同期信号が1以上のスレーブ内で生成される時刻から所定時間（第3時間）前の時刻との間に基準時刻が存在する場合、同期異常Aは発生していないと判断してもよい。また、第1検出部130は、基準時刻フレームが1以上のスレーブ20（又は同期マスタスレーブ）で受信されるべき、連続する2つの同期信号のうち1つめの同期信号が1以上のスレーブ（又は同期マスタスレーブ）内で生成される時刻と、2つめの同期信号が1以上のスレーブ（又は同期マスタスレーブ）内で生成される時刻から所定時間（第3時間）前の時刻との間に基準時刻が存在しない場合、同期異常Aが発生していると判断してもよい。

- [0117] （異常発生直前のフレーム記録）

続いて、制御システム1において異常が発生した場合に、異常発生前に産業用ネットワークを流れていたフレームのログデータを抽出し、抽出したログデータをマスタ10に送信する処理について説明する。

- [0118] ここで、ログ蓄積DB151に蓄積されているデータの内容を説明する。ログ蓄積DB151には、リアルタイムOS200の通信モジュール220でキャプチャされた、産業用ネットワークを流れるフレームが格納される。このとき、ログ蓄積DB151に格納されるフレームのデータには、マスタ10から繰り返し送信されるフレームを一意に識別する識別子（第1識別子）が含まれていてもよい。フレームを一意に識別する識別子は、「サイクル番号」と呼ばれる。サイクル番号は、マスタ10及び監視装置30で管理される番号であり、フレームには含まれない。例えば、マスタ10は、運用可能状態に遷移してから最初に送信するフレームのサイクル番号を0とし、フレームを送信する度に、サイクル番号を1つずつ増加させていく。同様に、

監視装置30は、運用可能状態に遷移してから最初に受信するフレームのサイクル番号を0とし、フレームを受信する度に、サイクル番号を1つつ増加させていく。

[0119] また、ログ蓄積DB151に格納されるフレームのデータには、マスタ10から繰り返し送信されるフレームにおいて、データ（オブジェクトとも呼ばれる）を書き込む先又は読み出す先のメモリ位置を示す識別子（第2識別子）が含まれていてもよい。当該メモリ位置を示す識別子は、スレーブ20を識別する識別子（設定アドレス）、インデックス及びサブインデックスの組み合わせであってもよい。

[0120] 同様に、ログ蓄積DB151から抽出されたログデータが格納された故障前ログデータ320にも、サイクル番号、及び、メモリ位置を示す識別子（第2識別子）が含まれていてもよい。

[0121] つまり、監視装置30は、サイクル番号が指定されることで、故障前ログデータ320の中から、指定されたサイクル番号でマスタから送信されたフレームのデータを取得することができる。また、監視装置30は、サイクル番号、及び、メモリ位置を示す識別子が指定されることで、故障前ログデータ320の中から、指定されたサイクル番号でマスタから送信されたフレームのデータであって、特定のスレーブ20の特定のメモリ宛てのデータ、若しくは、特定のスレーブ20の特定のメモリから読み出されてフレームに格納されたデータを取得することができる。

[0122] 抽出部140は、マスタ10又は1以上のスレーブ20に異常が発生したことが通知された場合、ログ蓄積DB151の中から、異常が発生したことが検出された時刻から所定時間前（第1時間前）までのログデータを抽出する。なお、異常が発生したことが検出された時刻は、監視装置30が、異常発生を検出した時刻であってもよいし、監視装置30が、異常発生を検出したフレームを受信した時刻であってもよい。また、抽出部140は、抽出したログデータを、故障前ログデータ320として、リアルタイムOS200から参照可能な第2記憶部300に格納する。

- [0123] ここで、所定時間（第1時間）は、マスタ10から指定されてもよいし、予め設定ファイル152に格納されていてもよい。所定時間は、サイクル数（例えば1000サイクル等）で表現されてもよいし、具体的な時間長（例えば1秒等）で表現されてもよい。サイクル数で表現される場合、所定時間は、「指定サイクル数」と呼ばれてもよい。なお、1サイクルの時間長は同期信号周期と同一であるから、サイクル数と時間長は相互に変換することができる。したがって、所定時間を具体的な時間長で表現することと、サイクル数で表現することは同義である。
- [0124] 第2検出部231は、マスタ10から繰り返し送信されるフレームを一定時間（第2時間）の間受信できなかった場合、マスタ10に異常が発生したと判断するようにしてもよい。一定時間は、「WD（ウォッチドック）タイマー」と呼ばれてもよい。WDタイマーはマスタ10から指定されてもよいし、予め設定ファイル152に格納されていてもよい。また、監視装置30は、上述した同期異常A又は同期異常Bを検出した場合、マスタ10又は1以上のスレーブ20に異常が発生したと判断するようにしてもよい。WDタイマーは、サイクル数（例えば1000サイクル等）で表現されてもよいし、具体的な時間長（例えば0.1秒等）で表現されてもよい。なお、前述の通り、サイクル数と時間長は相互に変換することができるから、WDタイマーを具体的な時間長で表現することと、サイクル数で表現することは同義である。
- [0125] 通信モジュール220は、故障前ログデータ320に格納されたログデータを、マスタ10からの要求に応じて、産業用ネットワークを介してマスタ10に送信する。具体的には、通信モジュール220（受信部）は、マスタ10から、サイクル番号（第1識別子）を含む、故障前ログデータの送信要求を受信する。また、通信モジュール220（送信部）は、当該送信要求を受信した場合、故障前ログデータのうち、サイクル番号で指定されたフレームのデータをマスタ10に送信する。
- [0126] また、通信モジュール220（受信部）は、マスタ10から、サイクル番

号（第１識別子、及び、メモリ位置を示す識別子（第２識別子）を含む、故障前ログデータの送信要求を受信してもよい。また、通信モジュール２２０（送信部）は、当該送信要求を受信した場合、故障前ログデータのうち、サイクル番号で指定されたフレームにおける、メモリ位置を示す識別子に対応するデータ（つまり、当該識別子が示すメモリに書き込まれるデータ又は当該識別子が示すメモリから読み出されたデータ）をマスタ１０に送信するようにしてもよい。

[0127] なお、スレーブ処理部２１０は、マスタ１０からの指示を受けた場合、故障前ログデータ３２０を削除するようにしてもよい。具体的には、通信モジュール２２０（受信部）は、マスタ１０から、故障前ログデータ３２０の削除要求を受信し、第２検出部２３１は、当該削除要求を受信した場合、故障前ログデータ３２０を削除するようにしてもよい。なお、第２検出部２３１は、「削除処理部」と呼ばれてもよい。

[0128] 図１６は、異常発生時にログデータを抽出してマスタ１０に送信する際の処理手順の一例を示すシーケンス図である。

[0129] ステップＳ１００で、マスタ１０は、ＷＤタイマー及び指定サイクル数を含むフレームを送信することで、監視装置３０の第３記憶部２２１における所定のメモリ領域に、ＷＤタイマー及び指定サイクル数を書き込む。監視装置３０の第２検出部２３１は、第３記憶部２２１に書き込まれたＷＤタイマー及び指定サイクル数を取得することで、ＷＤタイマーの値及び指定サイクル数を認識する。

[0130] ステップＳ１００の処理手順が完了した後、制御システム１は運用可能状態に遷移し、マスタ１０からフレームの送信が開始される。

[0131] ステップＳ１０１で、第２検出部２３１は、異常発生を検知する。例えば、第２検出部２３１は、ＷＤタイマーで設定された期間の間、マスタ１０からフレームを受信することができなかった場合、異常発生を検知するようにしてもよい。第２検出部２３１は、異常発生を検知した場合、第３記憶部２２１に、異常が検出されたことを示す「異常検出フラグ」、異常が検出され

た際に、最後に受信したフレームのサイクル番号を示す「異常検出時サイクル番号」を格納する。なお、異常検出フラグ及び異常検出時サイクル番号を第3記憶部221に格納するのは、マスタ10が、産業用ネットワーク内で異常が発生したことを認識できるようにするためである。また、第2検出部231は、異常が発生したことを抽出部140に通知する。例えば、第2検出部231は、異常検出フラグ及び異常検出時サイクル番号を第2記憶部300に格納し、抽出部140は、定期的に第2記憶部300を参照することで、異常検出フラグ及び異常検出時サイクル番号を取得するようにしてもよい。

[0132] ステップS102で、抽出部140は、異常が発生したことを第2検出部231から通知された場合、ログ蓄積DB151から、異常が検出された際のサイクル番号から指定サイクル数前までのフレームのログデータを抽出し、故障前ログデータ320に格納する。また、抽出部140は、故障前ログデータ320を格納したことを、第2検出部231に通知する。例えば、抽出部140は、故障前ログデータ320の格納が完了したことを示す情報を第2記憶部300に格納し、抽出部140は、定期的に第2記憶部300を参照して当該情報の有無を確認することで、第2記憶部300に故障前ログデータ320が格納されたことを認識するようにしてもよい。

[0133] 第2検出部231は、第2記憶部300に故障前ログデータ320が格納された場合、抽出完了フラグを、第3記憶部221に格納する。抽出完了フラグは、故障前ログデータ320の抽出が完了し、マスタ10から故障前ログデータ320の読み出しが可能になったことを表す。

[0134] ステップS103で、通信モジュール220は、マスタ10からの指示を受けて、異常検出フラグ、異常検出時サイクル番号及び抽出完了フラグをフレームに格納してマスタ10に送信する。マスタ10は、受信したフレームから、異常検出フラグ、異常検出時サイクル番号及び抽出完了フラグを読み出すことで、監視装置30で異常が検出されたこと、異常が発生した際のサイクル番号、及び、監視装置30から故障前ログデータ320の読み出しが

可能になったことを認識する。なお、ステップS 1 0 3の処理手順は、例えば、マスタ1 0を管理する管理者等が、マスタ1 0の画面を操作することで実行されることとしてもよい。

[0135] ステップS 1 0 4で、マスタ1 0は、監視装置3 0から、異常検出時サイクル番号から指定サイクル数前までのサイクルのうち、どのサイクル番号のフレームを読み出すのか、どのスレーブ2 0宛てのフレームを読み出すのか、どのインデックス及びサブインデックスの値を読み出すのか等を決定する。なお、当該決定は、マスタ1 0を管理する管理者等がサイクル番号等を指定することにより行われることとしてもよい。

[0136] ステップS 1 0 5で、マスタ1 0は、ステップS 1 0 4の処理手順で決定されたサイクル番号のフレームのデータを読み出すために、監視装置3 0を示す識別子、読み出す対象のフレームのサイクル番号、読み出す対象であるスレーブ2 0の識別子（設定アドレス）、読み出す値に対応するインデックス及びサブインデックスを含むフレームを送信する。なお、読み出す対象であるスレーブ2 0の識別子、読み出す値に対応するインデックス及びサブインデックスは省略されてもよい。例えば、あるサイクル番号のフレームのデータをすべて取得したい場合、マスタ1 0は、サイクル番号のみを指定し、読み出す対象であるスレーブ2 0の識別子、インデックス及びサブインデックスを省略することとしてもよい。

[0137] ステップS 1 0 6で、通信モジュール2 2 0は、ステップS 1 0 5の処理手順でマスタ1 0から指示されたサイクル番号のフレームのデータを、ステップS 1 0 5の処理手順でマスタ1 0から受信したフレームに格納してマスタ1 0に送信する。マスタ1 0は、受信したフレームから、指定したサイクル番号のフレームのデータを取得する。なお、マスタ1 0は、複数サイクルのフレームのデータを読み出す場合、ステップS 1 0 5及びステップS 1 0 6の処理手順を繰り返す。

[0138] ステップS 1 0 7で、マスタ1 0は、取得したフレームのデータを記憶する。

- [0139] 図17は、故障前ログデータ320に格納されるフレームのデータの一例を示す図である。記録値インデックスは、故障前ログデータ320に記録されたレコードを一意に識別するための識別子である。例えば、サイクル数が1000～1049であるフレームにおけるすべての値を取得したい場合、マスタ10は、ステップS105の処理手順でサイクル数1000を指定し、ステップS106の処理手順でサイクル数が1000であるフレームのデータを取得する手順を、サイクル数を1ずつ増加させながら50回繰り返す。図16に戻り説明を続ける。
- [0140] なお、ステップS105及びステップS106の処理手順で用いられるフレームは、フレームであってもよいし、同期処理とは無関係に非周期で送信されるフレームであってもよい。
- [0141] ステップS108で、マスタ10は、監視装置30に格納された故障前ログデータ320を消去するために、監視装置30の識別子、リセット指令フラグが格納されるメモリ領域を示すインデックス及びサブインデックス、リセット指令フラグの値を含むフレームを送信することで、監視装置30の第3記憶部221における所定のメモリ領域に、リセット指令フラグを書き込む。
- [0142] ステップS109で、監視装置30の第2検出部231は、第3記憶部221にリセット指令フラグが書き込まれたことを検出した場合、故障前ログデータ320を削除する。また、第2検出部231は、第3記憶部221に格納した、異常検出フラグ、異常検出時サイクル番号及び抽出完了フラグを削除する。
- [0143] <まとめ>
- 以上説明した実施形態によれば、産業用ネットワークで接続される制御システムにおいて発生する異常を、より早期に検出することが可能になる。また、産業用ネットワークで接続される制御システムで異常が発生した場合に、異常解析及び／又は復旧をより迅速に行うことが可能になる。
- [0144] また、監視装置30は、マスタ10から送信されるフレームを、同期信号

の生成周期ごとに分析することから、同期異常の発生を、次の同期信号の生成周期が到来するまでに迅速に検出することが可能になる。

[0145] また、監視装置30は、同期異常A及び同期異常Bの2パターンの異常を検出するようにした。これにより、監視装置30は、制御システム1において同期異常が発生した際の要因を具体的に特定することが可能になる。具体的には、監視装置30自身のクロックが異常であるのか、マスタ10が送信するフレームの送信周期に異常があるのか、同期マスタスレーブのローカルクロックに異常があるのかを特定することが可能になる。

[0146] 監視装置30が存在しない場合、同期異常が発生しても、マスタ10のローカルクロックに異常が発生したのか、同期マスタスレーブのローカルクロックに異常が発生したのかを識別することは困難であった。一方、本実施形態では、マスタ10とは別に監視装置30で同期異常の発生を監視するようにしたことから、同期異常の要因を具体的に特定することが可能になる。

[0147] また、監視装置30は、マスタ10から送信されるフレームをキャプチャして、非リアルタイムOS100上のログ蓄積DB151に記憶させるようにした。大量のデータを扱うことができる非リアルタイムOS側にログ蓄積DB151を記憶させるようにしたことで、監視装置30は、大量のフレームのデータをキャプチャして記憶することが可能になる。

[0148] また、監視装置30は、異常が発生したことを検出した場合、異常が発生する直前のフレームのデータをログ蓄積DB151から抽出し、抽出した故障前ログデータ320を、リアルタイムOS200から参照可能なメモリ上に格納するようにした。非リアルタイムOSは、リアルタイム処理を行うことは困難であることから、フレームの周期に従って故障前ログデータ320を取得し、フレームに書き込むことは不可能である。しかしながら、故障前ログデータ320をリアルタイムOS200から参照可能にしたことで、監視装置30は、同期信号周期にしたがって故障前ログデータ320を取得し、フレームに書き込むことが可能になる。言い換えると、マスタ10は、同期信号周期に従って繰り返し送信するフレームを用いて、故障前ログデータ

320を読み出すことが可能になる。

[0149] また、マスタ10は、故障前ログデータ320を読み出すことで、モーション制御が停止した位置を特定することができ、異常復旧後に、停止した位置からモーション制御を続行することが可能になる。

[0150] また、監視装置30は、産業用ネットワークを介して故障前ログデータ320を送信するようにした。これにより、制御システム1で用いられるマスタ10が、USB等の外部入力が困難である場合であっても、監視装置30は、故障前ログデータ320を容易にマスタ10に送信することが可能になる。

[0151] 以上説明した実施形態は、本開示の理解を容易にするためのものであり、本開示を限定して解釈するためのものではない。実施形態で説明したフローチャート、シーケンス、実施形態が備える各要素並びにその配置、材料、条件、形状及びサイズ等は、例示したものに限定されるわけではなく適宜変更することができる。また、異なる実施形態で示した構成同士を部分的に置換し又は組み合わせることが可能である。

符号の説明

[0152] 1 制御システム、10 マスタ、11 プロセッサ、12 記憶装置、13 ネットワークIF、14 入力装置、15 出力装置、20 スレーブ、30 監視装置、110 表示部、120 収集部、130 第1検出部、140 抽出部、150 第1記憶部、151 ログ蓄積DB、152 設定ファイル、210 スレーブ処理部、220 通信モジュール、221 第3記憶部、230 定周期処理部、231 第2検出部、300 第2記憶部、310 FIFOキュー、320 故障前ログデータ

請求の範囲

- [請求項1] 産業用ネットワークを介して、マスタ及び1以上のスレーブに接続される情報処理装置であって、
- 前記産業用ネットワーク内で前記マスタから繰り返し送信されるフレームを受信する受信部と、
- 前記フレームのログデータを記憶する第1記憶部と、
- 前記マスタ又は前記1以上のスレーブに異常が発生したことが検出された場合、前記第1記憶部から、前記異常が発生したことが検出された時刻から所定時間前までの前記フレームのログデータを抽出する抽出部と、
- 抽出された前記フレームのログデータを故障前ログデータとして記憶する第2記憶部と、
- 前記マスタからの要求に応じて、前記故障前ログデータを、前記産業用ネットワークを介して前記マスタに送信する送信部と、
- を有する、情報処理装置。
- [請求項2] 前記情報処理装置は、非リアルタイムOSとリアルタイムOSを有し、
- 前記受信部は、前記リアルタイムOSで動作し、
- 前記第1記憶部は、前記非リアルタイムOSに設けられ、
- 前記抽出部は、前記非リアルタイムOSで動作し、
- 前記第2記憶部は、前記リアルタイムOS及び前記リアルタイムOSから参照可能なメモリに設けられ、
- 前記送信部は、前記リアルタイムOSで動作する、
- 請求項1に記載の情報処理装置。
- [請求項3] 前記フレームのログデータには、前記マスタから繰り返し送信されるフレームを一意に識別する第1識別子が含まれており、
- 前記受信部は、前記マスタから、前記第1識別子を含む、前記故障前ログデータの送信要求を受信し、

前記送信部は、前記送信要求を受信した場合、前記故障前ログデータのうち、前記第 1 識別子で指定されたフレームのデータを前記マスタに送信する、

請求項 1 に記載の情報処理装置。

[請求項 4]

前記フレームのログデータには、更に、前記マスタから繰り返し送信されるフレームに格納されるデータに関連づけられるメモリ位置を示す第 2 識別子が含まれており、

前記受信部は、前記マスタから、前記第 1 識別子及び前記第 2 識別子を含む、前記故障前ログデータの送信要求を受信し、

前記送信部は、前記送信要求を受信した場合、前記故障前ログデータのうち、前記第 1 識別子で指定されたフレームの前記第 2 識別子に対応するデータを前記マスタに送信する、

請求項 3 に記載の情報処理装置。

[請求項 5]

前記受信部は、前記マスタから、前記故障前ログデータの削除要求を受信し、

前記削除要求を受信した場合、前記故障前ログデータを削除する削除処理部、を有する、

請求項 1 に記載の情報処理装置。

[請求項 6]

産業用ネットワークを介して、マスタ及び 1 以上のスレーブに接続される情報処理装置が実行する情報処理方法であって、

前記産業用ネットワーク内で前記マスタから繰り返し送信されるフレームを受信するステップと、

前記フレームのログデータを第 1 記憶部に記憶させるステップと、

前記マスタ又は前記 1 以上のスレーブに異常が発生したことが検出された場合、前記第 1 記憶部から、前記異常が発生したことが検出された時刻から所定時間前までの前記フレームのログデータを抽出するステップと、

抽出された前記フレームのログデータを故障前ログデータとして第

2 記憶部に記憶させるステップと、

前記マスタからの要求に応じて、前記故障前ログデータを、前記産業用ネットワークを介して前記マスタに送信するステップと、
を含む、情報処理方法。

[請求項7]

産業用ネットワークを介して、マスタ及び1以上のスレーブに接続されるコンピュータに、

前記産業用ネットワーク内で前記マスタから繰り返し送信されるフレームを受信するステップと、

前記フレームのログデータを第1記憶部に記憶させるステップと、

前記マスタ又は前記1以上のスレーブに異常が発生したことが検出された場合、前記第1記憶部から、前記異常が発生したことが検出された時刻から所定時間前までの前記フレームのログデータを抽出するステップと、

抽出された前記フレームのログデータを故障前ログデータとして第2記憶部に記憶させるステップと、

前記マスタからの要求に応じて、前記故障前ログデータを、前記産業用ネットワークを介して前記マスタに送信するステップと、
を実行させるためのプログラム。