

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号
特許第7278515号
(P7278515)

(45)発行日 令和5年5月19日(2023.5.19)

(24)登録日 令和5年5月11日(2023.5.11)

(51)国際特許分類

F I

H 0 4 L 67/00 (2022.01)

H 0 4 L 67/00

請求項の数 20 (全42頁)

(21)出願番号	特願2023-500158(P2023-500158)	(73)特許権者	000006013
(86)(22)出願日	令和3年2月16日(2021.2.16)		三菱電機株式会社
(86)国際出願番号	PCT/JP2021/005764		東京都千代田区丸の内二丁目7番3号
(87)国際公開番号	WO2022/176031	(74)代理人	110002491
(87)国際公開日	令和4年8月25日(2022.8.25)		弁理士法人クロスボーダー特許事務所
審査請求日	令和5年1月18日(2023.1.18)	(72)発明者	井川 昂輝
早期審査対象出願			東京都千代田区丸の内二丁目7番3号
			三菱電機株式会社内
		(72)発明者	塚本 洋平
			東京都千代田区丸の内二丁目7番3号
			三菱電機株式会社内
		(72)発明者	遠山 治
			東京都千代田区丸の内二丁目7番3号
			三菱電機株式会社内
		審査官	岩田 玲彦

最終頁に続く

(54)【発明の名称】 制御システム、制御方法、制御プログラム、ローカル機器、リモート機器、信号処理方法、パケット処理方法、信号処理プログラム及びパケット処理プログラム

(57)【特許請求の範囲】

【請求項1】

各々に属性としてリモート制御属性及びローカル制御属性のいずれかが設定されている複数の状態の間で状態遷移を行うステートマシンと、

前記ステートマシンの現在の状態の属性が前記リモート制御属性であれば、制御対象機器への出力値を生成する出力値生成処理を前記制御対象機器にとってのリモート環境にあるリモート機器に実行させ、前記ステートマシンの現在の状態の属性が前記ローカル制御属性であれば、前記出力値生成処理を前記制御対象機器にとってのローカル環境にあるローカル機器に実行させる実行制御部とを有し、

前記ステートマシンには、

各々に属性として前記リモート制御属性及び前記ローカル制御属性のいずれかが設定されている複数の状態の間で状態遷移を行う、前記リモート機器で管理されるリモートステートマシンと、

前記リモートステートマシンに含まれる前記複数の状態と同一の複数の状態を含み、前記リモートステートマシンと同期して状態遷移を行い、前記リモートステートマシンの対応する状態と同じ属性が各状態に設定されている、前記ローカル機器で管理されるローカルステートマシンとが含まれ、

前記実行制御部には、

前記リモート機器で動作し、前記リモートステートマシンを管理するリモート実行制御部と、

前記ローカル機器で動作し、前記ローカルステートマシンを管理するローカル実行制御部とが含まれ、

前記リモート実行制御部は、

前記リモートステートマシンの現在の状態が前記リモート制御属性であれば、前記リモートステートマシンに前記出力値生成処理を実行させ、

前記ローカル実行制御部は、

前記ローカルステートマシンの現在の状態が前記ローカル制御属性であれば、前記ローカルステートマシンに前記出力値生成処理を実行させる制御システム。

【請求項 2】

前記実行制御部は、

前記ステートマシンの現在の状態の属性が前記リモート制御属性であれば、前記リモート機器に前記制御対象機器からの入力値を用いた前記出力値生成処理を実行させ、

前記ステートマシンの現在の状態の属性が前記ローカル制御属性であれば、前記ローカル機器に前記制御対象機器からの入力値を用いた前記出力値生成処理を実行させる請求項 1 に記載の制御システム。

【請求項 3】

前記リモート実行制御部は、

前記リモートステートマシンの現在の状態が前記リモート制御属性であれば、前記リモートステートマシンで生成された出力値を前記ローカル実行制御部に通知し、

前記ローカル実行制御部は、

前記ローカルステートマシンの現在の状態が前記リモート制御属性であれば、前記リモート実行制御部から通知された出力値を前記制御対象機器に送信し、

前記ローカルステートマシンの現在の状態が前記ローカル制御属性であれば、前記ローカルステートマシンで生成された出力値を前記制御対象機器に送信する請求項 1 に記載の制御システム。

【請求項 4】

前記ローカル実行制御部は、

前記制御対象機器からの入力値を繰り返し受信し、

前記制御対象機器からの入力値を受信する度に、受信した入力値を前記リモート実行制御部に通知し、

前記リモート実行制御部は、

前記リモートステートマシンの現在の状態の属性が前記リモート制御属性であれば、前記リモートステートマシンに前記制御対象機器からの入力値を用いた前記出力値生成処理を実行させ、

前記ローカル実行制御部は、

前記ローカルステートマシンの現在の状態の属性が前記リモート制御属性であれば、前記リモート実行制御部から通知された出力値を前記制御対象機器に送信し、

前記ローカルステートマシンの現在の状態の属性が前記ローカル制御属性であれば、前記ローカルステートマシンに前記制御対象機器からの入力値を用いた前記出力値生成処理を実行させ、前記ローカルステートマシンで生成された出力値を前記制御対象機器に送信する請求項 3 に記載の制御システム。

【請求項 5】

前記リモート実行制御部は、

前記リモートステートマシンの現在の状態の属性が前記リモート制御属性であれば、前記制御対象機器からの入力値に基づいて前記リモートステートマシンに状態遷移先を決定させ、前記リモートステートマシンの状態を前記状態遷移先に遷移させ、前記ローカル実行制御部に前記状態遷移先を通知し、

前記ローカル実行制御部は、

前記リモート実行制御部から前記状態遷移先が通知された場合に、前記ローカルステートマシンの状態を、前記リモート実行制御部から通知された前記状態遷移先に遷移させる

10

20

30

40

50

請求項 4 に記載の制御システム。

【請求項 6】

前記ローカル実行制御部は、

前記ローカルステートマシンの現在の状態の属性が前記ローカル制御属性であれば、前記制御対象機器からの入力値に基づいて前記ローカルステートマシンに状態遷移先を決定させ、前記ローカルステートマシンの状態を前記状態遷移先に遷移させ、前記リモート実行制御部に前記状態遷移先を通知し、

前記リモート実行制御部は、

前記ローカル実行制御部から前記状態遷移先が通知された場合に、前記リモートステートマシンの状態を、前記ローカル実行制御部から通知された前記状態遷移先に遷移させる請求項 4 に記載の制御システム。

10

【請求項 7】

前記リモート実行制御部は、

前記ローカルステートマシンに前記出力値生成処理を実行させるためのプログラムをローカルステートマシンプログラムとして生成し、生成した前記ローカルステートマシンプログラムを前記ローカル実行制御部に出力し、

前記ローカル実行制御部は、

前記ローカルステートマシンプログラムを前記ローカルステートマシンに設定する請求項 1 に記載の制御システム。

【請求項 8】

前記リモートステートマシンに含まれる前記複数の状態の各状態には、前記ローカル機器での前記制御対象機器からの入力値の受信から前記制御対象機器への出力値の送信までに要求される時間である要求応答時間が指定されており、

前記リモート実行制御部は、

前記要求応答時間が短い順に前記複数の状態のうちの既定数の状態の属性を前記ローカル制御属性に設定し、前記複数の状態のうちの残りの状態の属性を前記リモート制御属性に設定する請求項 4 に記載の制御システム。

20

【請求項 9】

前記リモートステートマシンに含まれる前記複数の状態の各状態には、前記ローカル機器での前記制御対象機器からの入力値の受信から前記制御対象機器への出力値の送信までに要求される時間である要求応答時間が指定されており、

前記リモート実行制御部は、

前記複数の状態のうち、前記リモート機器が前記ローカル機器と通信する際に用いられる通信回線の通信品質に基づいて前記要求応答時間が満たせないと予測される状態の属性を前記ローカル制御属性に設定し、前記複数の状態のうちの残りの状態の属性を前記リモート制御属性に設定する請求項 4 に記載の制御システム。

30

【請求項 10】

前記ローカル機器は、

通信の遅延及びジッタの予測が困難な通信回線を介して前記リモート機器と接続されており、

前記通信の遅延及び前記ジッタの予測が困難ではない通信回線を介して前記制御対象機器と接続されている請求項 1 に記載の制御システム。

40

【請求項 11】

前記ローカル実行制御部は、

前記制御対象機器からの入力値を、前記制御対象機器に接続された入出力装置から受信する請求項 4 に記載の制御システム。

【請求項 12】

前記ローカル機器は、

前記制御対象機器に接続された入出力装置と前記リモート機器とに接続され、前記入出力装置と前記リモート機器との間の通信を中継するゲートウェイである請求項 1 に記載の

50

制御システム。

【請求項 1 3】

各々に属性としてリモート制御属性及びローカル制御属性のいずれかが設定されている複数の状態の間で状態遷移を行うステートマシンを用い、

前記ステートマシンの現在の状態の属性が前記リモート制御属性であれば、制御対象機器への出力値を生成する出力値生成処理を前記制御対象機器にとってのリモート環境にあるリモート機器に実行させ、前記ステートマシンの現在の状態の属性が前記ローカル制御属性であれば、前記出力値生成処理を前記制御対象機器にとってのローカル環境にあるローカル機器に実行させる制御方法であって、

前記ステートマシンには、

各々に属性として前記リモート制御属性及び前記ローカル制御属性のいずれかが設定されている複数の状態の間で状態遷移を行う、前記リモート機器で管理されるリモートステートマシンと、

前記リモートステートマシンに含まれる前記複数の状態と同一の複数の状態を含み、前記リモートステートマシンと同期して状態遷移を行い、前記リモートステートマシンの対応する状態と同じ属性が各状態に設定されている、前記ローカル機器で管理されるローカルステートマシンとが含まれ、

前記リモートステートマシンの現在の状態が前記リモート制御属性であれば、前記リモート機器に、前記リモートステートマシンによる前記出力値生成処理を実行させ、

前記ローカルステートマシンの現在の状態が前記ローカル制御属性であれば、前記ローカル機器に、前記ローカルステートマシンによる前記出力値生成処理を実行させる制御方法。

【請求項 1 4】

各々に属性としてリモート制御属性及びローカル制御属性のいずれかが設定されている複数の状態の間で状態遷移を行うステートマシンを用い、

前記ステートマシンの現在の状態の属性が前記リモート制御属性であれば、制御対象機器への出力値を生成する出力値生成処理を前記制御対象機器にとってのリモート環境にあるリモート機器に実行させ、前記ステートマシンの現在の状態の属性が前記ローカル制御属性であれば、前記出力値生成処理を前記制御対象機器にとってのローカル環境にあるローカル機器に実行させる制御プログラムであって、

前記ステートマシンには、

各々に属性として前記リモート制御属性及び前記ローカル制御属性のいずれかが設定されている複数の状態の間で状態遷移を行う、前記リモート機器で管理されるリモートステートマシンと、

前記リモートステートマシンに含まれる前記複数の状態と同一の複数の状態を含み、前記リモートステートマシンと同期して状態遷移を行い、前記リモートステートマシンの対応する状態と同じ属性が各状態に設定されている、前記ローカル機器で管理されるローカルステートマシンとが含まれ、

前記リモートステートマシンの現在の状態が前記リモート制御属性であれば、前記リモート機器に、前記リモートステートマシンによる前記出力値生成処理を実行させ、

前記ローカルステートマシンの現在の状態が前記ローカル制御属性であれば、前記ローカル機器に、前記ローカルステートマシンによる前記出力値生成処理を実行させる制御プログラム。

【請求項 1 5】

制御対象機器にとってのローカル環境にあるローカル機器であって、

前記制御対象機器からの入力値を通知する入力値信号を受信する第 1 の通信部と、

前記制御対象機器にとってのリモート環境にあるリモート機器からの、前記制御対象機器への出力値を通知する出力パケットを受信する第 2 の通信部と、

各々に属性としてリモート制御属性及びローカル制御属性のいずれかが設定されている複数の状態の間で状態遷移を行うローカルステートマシンと、

10

20

30

40

50

前記ローカルステートマシンの現在の状態の属性が前記リモート制御属性であれば、前記出力パケットで通知された前記制御対象機器への出力値を通知する出力値信号を前記第1の通信部を介して前記制御対象機器に送信し、前記ローカルステートマシンの現在の状態の属性が前記ローカル制御属性であれば、前記入力値信号で通知されている前記制御対象機器からの入力値を前記ローカルステートマシンに出力して前記ローカルステートマシンに前記制御対象機器への出力値を生成させ、前記ローカルステートマシンにより生成された前記制御対象機器への出力値を通知する出力値信号を前記第1の通信部を介して前記制御対象機器に送信する実行制御部とを有するローカル機器。

【請求項16】

制御対象機器にとってのリモート環境にあるリモート機器であって、

10

前記制御対象機器にとってのローカル環境にあるローカル機器から送信された、前記制御対象機器からの入力値を通知する入力パケットを受信する通信部と、

各々に属性としてリモート制御属性及びローカル制御属性のいずれかが設定されている複数の状態の間で状態遷移を行うプリミティブステートマシンと、

前記プリミティブステートマシンの現在の状態の属性が前記リモート制御属性であれば、前記入力パケットで通知されている前記制御対象機器からの入力値を前記プリミティブステートマシンに出力して前記プリミティブステートマシンに前記制御対象機器への出力値を生成させ、前記プリミティブステートマシンにより生成された前記制御対象機器への出力値を通知する出力パケットを前記通信部を介して前記ローカル機器に送信し、前記出力パケットで通知されている出力値を通知する出力値信号を前記ローカル機器に前記制御対象機器へ送信させる実行制御部とを有するリモート機器。

20

【請求項17】

各々に属性としてリモート制御属性及びローカル制御属性のいずれかが設定されている複数の状態の間で状態遷移を行うローカルステートマシンを有する、制御対象機器にとってのローカル環境にあるコンピュータであるローカル機器が、

前記制御対象機器からの入力値を通知する入力値信号を受信し、

前記制御対象機器にとってのリモート環境にあるリモート機器からの、前記制御対象機器への出力値を通知する出力パケットを受信し、

前記ローカルステートマシンの現在の状態の属性が前記リモート制御属性であれば、前記出力パケットで通知された前記制御対象機器への出力値を通知する出力値信号を前記制御対象機器に送信し、前記ローカルステートマシンの現在の状態の属性が前記ローカル制御属性であれば、前記入力値信号で通知されている前記制御対象機器からの入力値を前記ローカルステートマシンに出力して前記ローカルステートマシンに前記制御対象機器への出力値を生成させ、前記ローカルステートマシンにより生成された前記制御対象機器への出力値を通知する出力値信号を前記制御対象機器に送信する信号処理方法。

30

【請求項18】

各々に属性としてリモート制御属性及びローカル制御属性のいずれかが設定されている複数の状態の間で状態遷移を行うプリミティブステートマシンを有する、制御対象機器にとってのリモート環境にあるコンピュータであるリモート機器が、

前記制御対象機器にとってのローカル環境にあるローカル機器から送信された、前記制御対象機器からの入力値を通知する入力パケットを受信し、

40

前記プリミティブステートマシンの現在の状態の属性が前記リモート制御属性であれば、前記入力パケットで通知されている前記制御対象機器からの入力値を前記プリミティブステートマシンに出力して前記プリミティブステートマシンに前記制御対象機器への出力値を生成させ、前記プリミティブステートマシンにより生成された前記制御対象機器への出力値を通知する出力パケットを前記ローカル機器に送信し、前記出力パケットで通知されている出力値を通知する出力値信号を前記ローカル機器に前記制御対象機器へ送信させるパケット処理方法。

【請求項19】

各々に属性としてリモート制御属性及びローカル制御属性のいずれかが設定されている

50

複数の状態の間で状態遷移を行うローカルステートマシンを有する、制御対象機器にとってのローカル環境にあるコンピュータであるローカル機器に、

前記制御対象機器からの入力値を通知する入力値信号を受信する第1の通信処理と、

前記制御対象機器にとってのリモート環境にあるリモート機器からの、前記制御対象機器への出力値を通知する出力パケットを受信する第2の通信処理と、

前記ローカルステートマシンの現在の状態の属性が前記リモート制御属性であれば、前記出力パケットで通知された前記制御対象機器への出力値を通知する出力値信号を前記制御対象機器に送信し、前記ローカルステートマシンの現在の状態の属性が前記ローカル制御属性であれば、前記入力値信号で通知されている前記制御対象機器からの入力値を前記ローカルステートマシンに出力して前記ローカルステートマシンに前記制御対象機器への出力値を生成させ、前記ローカルステートマシンにより生成された前記制御対象機器への出力値を通知する出力値信号を前記制御対象機器に送信する実行制御処理とを実行させる信号処理プログラム。

10

【請求項20】

各々に属性としてリモート制御属性及びローカル制御属性のいずれかが設定されている複数の状態の間で状態遷移を行うプリミティブステートマシンを有する、制御対象機器にとってのリモート環境にあるコンピュータであるリモート機器に、

前記制御対象機器にとってのローカル環境にあるローカル機器から送信された、前記制御対象機器からの入力値を通知する入力パケットを受信する通信処理と、

前記プリミティブステートマシンの現在の状態の属性が前記リモート制御属性であれば、前記入力パケットで通知されている前記制御対象機器からの入力値を前記プリミティブステートマシンに出力して前記プリミティブステートマシンに前記制御対象機器への出力値を生成させ、前記プリミティブステートマシンにより生成された前記制御対象機器への出力値を通知する出力パケットを前記ローカル機器に送信し、前記出力パケットで通知されている出力値を通知する出力値信号を前記ローカル機器に前記制御対象機器へ送信させる実行制御処理とを実行させるパケット処理プログラム。

20

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本開示は、制御対象機器の制御に関する。

30

【背景技術】

【0002】

近年、コントローラと、センサ及び／又はアクチュエータなどを有する制御対象への入出力機能を有する入出力装置とをネットワークで接続した制御システムが構成されることが多くなってきている。こうした制御システムでは、コントローラと入出力装置との間のネットワークに、通信遅延及び／又はパケットロスが発生する可能性が高いネットワーク（インターネット等）が含まれる場合がある。

高い応答性（リアルタイム性）が要求される処理で通信遅延及び／又はパケットロスが発生すると、要求される応答性が満たされない可能性がある。

【0003】

40

高い応答性が要求される処理として、例えば、以下の処理が考えられる。

（1）コントローラが、センサ及びモータを有する制御対象機器から、センサで得られたセンサ値を入力値として取得する。

（2）センサ値が特定の値である場合に、コントローラが、モータを停止させるための出力値を制御対象機器に出力する。

【0004】

また、高い応答性が要求されない処理として、例えば、以下の処理が考えられる。

（1）コントローラが、プッシュスイッチ及びモニタを有する制御対象機器から、プッシュスイッチの状態を通知する状態値を入力値として取得する。

（2）コントローラが、状態値に基づき、モニタにプッシュスイッチの状態を表示させ

50

るための出力値を制御対象機器に出力する。

【0005】

通信遅延及び／又はパケットロスにより要求される応答性が満たされないという課題に対する対策として以下が考えられる。

例えば、入出力装置に、タイムアウト等の通信エラーを検出する機能を、要求される応答性を考慮して設ける。また、当該機能が通信エラーを検出した場合に、当該機能がフェールセーフ処理等のエラー処理を行う。

【0006】

しかしながら、通信エラーが検出される頻度が高い場合、エラー処理が頻発する。このため、通信エラーが検出される頻度が高い場合は、制御システムの可用性が低下する。

10

【0007】

一方、特定の処理を制御対象機器の近傍で行う方法もある。

例えば特許文献1では、高い応答性が要求とされる処理を工場内のローカル機器が行い、高い応答性が要求されない処理をインターネットを介した管理センタ内のリモート機器が行う制御システムが開示されている。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0008】

【文献】特開2002-82711号公報

【発明の概要】

20

【発明が解決しようとする課題】

【0009】

制御対象機器の制御にステートマシンが用いられる場合は、状態ごとに実行すべき処理が異なり、また、状態遷移の状況により処理の実行順序も変化する。制御対象機器の制御では、制御対象機器への出力値を生成する出力値生成処理が実行される。従って、制御対象機器の制御にステートマシンが用いられる場合は、状態ごとに実行すべき出力値生成処理が異なり、状態遷移の状況により出力値生成処理の実行順序が変化する。

【0010】

特許文献1の手法では、リモート機器とローカル機器に処理を固定的に割り当てるのみである。このため、特許文献1の手法では、リモート機器とローカル機器との間で、出力値生成処理を実行させる機器を状態遷移に応じて状態ごとに切り替えることはできないという課題がある。

30

【0011】

本開示は、このような課題を解決することを主な目的とする。より具体的には、本開示は、リモート機器とローカル機器との間で、出力値生成処理を実行させる機器を状態遷移に応じて状態ごとに切り替えることを主な目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0012】

本開示に係る制御システムは、

各々に属性としてリモート制御属性及びローカル制御属性のいずれかが設定されている複数の状態の間で状態遷移を行うステートマシンと、

40

前記ステートマシンの現在の状態の属性が前記リモート制御属性であれば、制御対象機器への出力値を生成する出力値生成処理を前記制御対象機器にとってのリモート環境にあるリモート機器に実行させ、前記ステートマシンの現在の状態の属性が前記ローカル制御属性であれば、前記出力値生成処理を前記制御対象機器にとってのローカル環境にあるローカル機器に実行させる実行制御部とを有する。

【発明の効果】

【0013】

本開示によれば、リモート機器とローカル機器との間で、出力値生成処理を実行させる機器を状態遷移に応じて状態ごとに切り替えることができる。

50

【図面の簡単な説明】

【0014】

- 【図1】実施の形態1に係る制御システムの構成例を示す図。
【図2】実施の形態1に係るステートマシンの例を示す図。
【図3】実施の形態1に係る初期設定パケットの例を示す図。
【図4】実施の形態1に係る入力パケットの例を示す図。
【図5】実施の形態1に係る出力パケットの例を示す図。
【図6】実施の形態1に係るローカル制御状況パケットの例を示す図。
【図7】実施の形態1に係る状態属性テーブルの例を示す図。
【図8】実施の形態1に係る入出力装置の機能構成例を示す図。
【図9】実施の形態1に係るコントローラの機能構成例を示す図。
【図10】実施の形態1に係る初期化処理の例を示すフローチャート。
【図11】実施の形態1に係る入出力装置の入力処理の例を示すフローチャート。
【図12】実施の形態1に係るコントローラの動作例を示すフローチャート。
【図13】実施の形態1に係る入出力装置の動作例を示すフローチャート。
【図14】実施の形態1に係る入出力装置の動作例を示すフローチャート。
【図15】実施の形態1に係る効果を説明する図。
【図16】実施の形態2に係る制御システムの構成例を示す図。
【図17】実施の形態2に係るローカル入力処理の例を示すフローチャート。
【図18】実施の形態2に係る入出力装置の動作例を示すフローチャート。
【図19】実施の形態2に係る入出力装置の動作例を示すフローチャート。
【図20】実施の形態3に係る制御システムの構成例を示す図。
【図21】実施の形態3に係るゲートウェイの機能構成例を示す図。
【図22】実施の形態3に係るゲートウェイの入力処理の例を示すフローチャート。
【図23】実施の形態3に係るゲートウェイの動作例を示すフローチャート。
【図24】実施の形態4に係る初期化処理の例を示すフローチャート。
【図25】実施の形態1に係る入出力装置のハードウェア構成例を示す図。
【図26】実施の形態1に係るコントローラのハードウェア構成例を示す図。
【図27】実施の形態3に係るゲートウェイのハードウェア構成例を示す図。

10

20

【発明を実施するための形態】

30

【0015】

以下、実施の形態を図を用いて説明する。以下の実施の形態の説明及び図面において、同一の符号を付したものは、同一の部分又は相当する部分を示す。

【0016】

実施の形態1.

構成の説明

図1は、本実施の形態に係る制御システム60の構成例を示す。

【0017】

本実施の形態に係る制御システム60は、入出力装置10とコントローラ30を含む。入出力装置10とコントローラ30で行われる動作は、制御方法に相当する。

40

制御システム60は、制御対象機器20を制御するためのシステムである。

【0018】

入出力装置10は、制御対象機器20にとってのローカル環境にある機器である。入出力装置10は、ローカル機器に相当する。また、入出力装置10の動作手順は、信号処理方法に相当する。

制御対象機器20にとってのローカル環境は、制御対象機器20との通信で生じる通信の遅延及びジッタが許容範囲内であり、当該通信の遅延及び当該ジッタの最悪値の予測が困難ではない環境である。本実施の形態では、入出力装置10は、制御対象機器20に直接接続されている。このため、入出力装置10と制御対象機器20の間では通信の遅延及びジッタは殆んど生じず、また、通信の遅延及びジッタが生じるとしても、通信の遅延

50

及びジッタの最悪値の予測が容易である。従って、入出力装置 10 は制御対象機器 20 にとってのローカル環境にある。本実施の形態では、入出力装置 10 と制御対象機器 20 が直接接続されている例を示すが、入出力装置 10 と制御対象機器 20 が通信の遅延及びジッタが許容範囲内であり、当該通信の遅延及び当該ジッタの最悪値の予測が困難ではない通信回線を介して接続されてもよい。

【0019】

入出力装置 10 は、コントローラ 30 から送信された初期設定パケット 71 を内部ネットワーク 51 を介してゲートウェイ 40 から受信する。初期設定パケット 71 は、入出力装置 10 の初期化处理に用いられる。

【0020】

入出力装置 10 は、制御対象機器 20 から繰り返し入力値信号 81 を受信する。入力値信号 81 では、制御対象機器 20 からの入力値が通知される。

【0021】

また、入出力装置 10 は、制御対象機器 20 から入力値信号 81 を受信する度に、内部ネットワーク 51 を介して入力パケット 72 をゲートウェイ 40 に送信する。入力パケット 72 では、制御対象機器 20 からの入力値が通知される。

【0022】

また、入出力装置 10 は、内部ネットワーク 51 を介してローカル制御状況パケット 74 をゲートウェイ 40 に送信する。

ローカル制御状況パケット 74 では、後述する状態遷移先及び共有内部値の更新値が通知される。

共有内部値は、入出力装置 10 とコントローラ 30 で共有している内部値である。共有内部値は、後述するプリミティブステートマシン及びローカルステートマシンで演算を行う際に必要になる値である。入出力装置 10 とコントローラ 30 は共有内部値を同期して更新する必要がある。

【0023】

また、入出力装置 10 は、コントローラ 30 から送信された出力パケット 73 を内部ネットワーク 51 を介してゲートウェイ 40 から受信する。出力パケット 73 では、制御対象機器 20 への出力値、状態遷移先、共有内部値の更新値が通知される。

【0024】

また、入出力装置 10 は、制御対象機器 20 に出力値信号 82 を送信する。出力値信号 82 では、制御対象機器 20 への出力値が通知される。

【0025】

制御対象機器 20 は、例えば、センサ及びアクチュエータを有する機器である。

入力値信号 81 で通知される入力値は、例えばセンサで得られたセンサ値である。また、出力値信号 82 で通知される出力値は、例えばアクチュエータを制御するための制御値である。

また、制御対象機器 20 がプッシュスイッチ及びモニタを有する場合は、入力値信号 81 で通知される入力値は、プッシュスイッチの状態を通知する状態値であってもよい。また、出力値信号 82 で通知される出力値は、モニタにプッシュスイッチの状態を表示させるための値であってもよい。

【0026】

コントローラ 30 は、制御対象機器 20 にとってのリモート環境にある機器である。コントローラ 30 はリモート機器に相当する。また、コントローラ 30 の動作手順は、パケット処理方法に相当する。

制御対象機器 20 にとってのリモート環境は、制御対象機器 20 との通信で生じる通信の遅延及びジッタが許容範囲外であり、当該通信の遅延及び当該ジッタの最悪値の予測が困難な環境である。コントローラ 30 は、入出力装置 10、内部ネットワーク 51、ゲートウェイ 40 及び外部ネットワーク 52 を介して制御対象機器 20 と接続されている。このため、コントローラ 30 と制御対象機器 20 との間の通信で生じる通信の遅延及びジッ

10

20

30

40

50

タは大きく、また、生じる通信の遅延及びジッタの最悪値の予測は困難である。従って、コントローラ 30 は制御対象機器 20 にとってのリモート環境にある。

【0027】

ゲートウェイ 40 は、内部ネットワーク 51 を介して入出力装置 10 と接続し、外部ネットワーク 52 を介してコントローラ 30 と接続している。

ゲートウェイ 40 は、入出力装置 10 とコントローラ 30 の間で、初期設定パケット 71、入力パケット 72、出力パケット 73 及びローカル制御状況パケット 74 の通信を中継する。

【0028】

内部ネットワーク 51 は、想定済みのトラフィックしか存在せず、通信の遅延及びジッタが許容範囲内であり、通信の遅延及びジッタの最悪値の予測が容易な通信路である。内部ネットワーク 51 は、例えば、フィールドネットワークである。

【0029】

外部ネットワーク 52 は、未想定 of トラフィックが存在することがあり、通信の遅延及びジッタが許容範囲外であり、通信の遅延及びジッタの最悪値の予測が困難な通信路である。外部ネットワーク 52 は、例えばインターネットである。

【0030】

図 2 は、本実施の形態で用いられるステートマシンの例を示す。

本実施の形態で用いられるステートマシンには、プリミティブステートマシンとローカルステートマシンがある。

プリミティブステートマシンはコントローラ 30 で管理されるステートマシンである。プリミティブステートマシンは、リモートステートマシンに相当する。

ローカルステートマシンは入出力装置 10 で管理されるステートマシンである。

【0031】

プリミティブステートマシンは、制御仕様が定義された複数の状態が含まれるステートマシンである。プリミティブステートマシンは複数の状態の間で状態遷移を行う。

また、プリミティブステートマシンに含まれる複数の状態の各々には、属性としてリモート制御属性及びローカル制御属性のいずれかが設定されている。例えば、プリミティブステートマシンに含まれる状態の数が N ($N \geq 2$) 個である場合は、プリミティブステートマシンには、 L 個 ($1 \leq L < N$) のローカル制御属性を有する状態と、 $(N - L)$ 個のリモート制御属性を有する状態が存在する。

また、プリミティブステートマシンの各状態には、演算手段が含まれる。各演算手段は、入力値及び共有内部値を用いた演算を行う。各演算手段は、演算により、状態遷移先、出力値、共有内部値の更新値を得る。

コントローラ 30 は、演算手段の演算により得られた状態遷移先にプリミティブステートマシンの状態を遷移させる。更に、コントローラ 30 は、入出力装置 10 から通知された状態遷移先にプリミティブステートマシンの状態を遷移させることもある。

また、各状態には、要求応答時間が指定されている。要求応答時間とは、入出力装置 10 での制御対象機器 20 からの入力値の受信から制御対象機器 20 への出力値の送信までに要求される時間である。

なお、コントローラ 30 は、各状態の要求応答時間に基づいて、各状態の属性をリモート制御属性及びローカル制御属性のいずれかに設定してもよい。

【0032】

ローカルステートマシンは、プリミティブステートマシンに含まれる複数の状態と同一の複数の状態を含む。ローカルステートマシンは、プリミティブステートマシンと同期して状態遷移を行う。

また、ローカルステートマシンでは、プリミティブステートマシンの対応する状態と同じ属性が各状態に設定されている。つまり、ローカルステートマシンでも、プリミティブステートマシンと同じく、 L 個のローカル制御属性を有する状態と、 $(N - L)$ 個のリモート制御属性を有する状態が存在する。

10

20

30

40

50

ローカルステートマシンでは、ローカル制御属性を有する状態にのみ演算手段が含まれる。リモート制御属性を有する状態には演算手段が含まれない。ローカルステートマシン内のローカル制御属性を有する状態の演算手段は、プリミティブステートマシン内の対応する状態の演算手段と同様の動作を行う。

入出力装置 10 は、演算手段の演算により状態遷移先が得られた場合は、演算手段の演算により得られた状態遷移先にプリミティブステートマシンの状態を遷移させる。また、入出力装置 10 は、コントローラ 30 から通知された状態遷移先にプリミティブステートマシンの状態を遷移させることもある。

【0033】

ここで、リモート制御属性及びローカル制御属性について説明する。

リモート制御属性は、プリミティブステートマシンの演算手段で出力値生成処理、状態遷移先特定処理及び共有内部値更新処理が行われる属性である。一方、ローカル制御属性は、ローカルステートマシンの演算手段で出力値生成処理、状態遷移先特定処理及び共有内部値更新処理が行われる属性である。

出力値生成処理は制御対象機器 20 からの入力値に基づき制御対象機器 20 への出力値を生成する処理である。なお、出力値生成処理は、入力値に加え、共有内部値に基づき制御対象機器 20 への出力値を生成する処理であってもよい。状態遷移先特定処理は、プリミティブステートマシン及びローカルステートマシンの状態遷移先を特定する処理である。共有内部値更新処理は、入出力装置 10 及びコントローラ 30 で共有内部値を更新する処理である。

【0034】

図 2 の例では、プリミティブステートマシンに ST_0、ST_1、ST_2 及び ST_3 の 4 つの状態が含まれる。そして、ST_0、ST_1、ST_3 にリモート制御属性が設定され、ST_2 にローカル制御属性が設定されている。プリミティブステートマシンでは、ST_0、ST_1、ST_2 及び ST_3 の各々に演算手段が存在する。

ローカルステートマシンでも同様に ST_0、ST_1、ST_2 及び ST_3 の 4 つの状態が含まれるが、演算手段はローカル制御属性が設定されている ST_2 にのみ存在する。

【0035】

図 3 は、初期設定パケット 71 の例を示す。

前述のように、初期設定パケット 71 はコントローラ 30 から入出力装置 10 に送信される。

初期設定パケット 71 には、ヘッダ、状態属性テーブル、ローカルステートマシンプログラム及びフッタが含まれる。

状態属性テーブルは、プリミティブステートマシン及びローカルステートマシンに含まれる各状態の属性を示すテーブルである。

ローカルステートマシンプログラムは、ローカル制御属性を有する状態の演算手段を実現するプログラムである。つまり、ローカルステートマシンプログラムは、ローカルステートマシンに出力値生成処理、状態遷移先特定処理及び共有内部値更新処理を実行させるためのプログラムである。

ローカルステートマシンプログラムはコントローラ 30 で生成される。

【0036】

図 4 は、入力パケット 72 の例を示す。

前述のように、入力パケット 72 は入出力装置 10 からコントローラ 30 に送信される。

入力パケット 72 には、ヘッダ、入力値及びフッタが含まれる。

入力値は、入力値信号 81 で通知された値である。

【0037】

図 5 は、出力パケット 73 の例を示す。

前述のように、出力パケット 73 はコントローラ 30 から入出力装置 10 に送信される。

出力パケット 73 には、ヘッダ、出力値、状態遷移先、共有内部値及びフッタが含まれ

10

20

30

40

50

る。

プリミティブステートマシン及びローカルステートマシンの現在の状態の属性がリモート制御属性である場合に、出力パケット 7 3 により、プリミティブステートマシンの演算手段の演算により得られた出力値、状態遷移先及び共有内部値の更新値が通知される。なお、共有内部値が更新されない場合は、出力パケット 7 3 に共有内部値を含まなくてもよい。

【 0 0 3 8 】

図 6 は、ローカル制御状況パケット 7 4 の例を示す。

前述のように、ローカル制御状況パケット 7 4 は入出力装置 1 0 からコントローラ 3 0 に送信される。

ローカル制御状況パケット 7 4 には、ヘッダ、状態遷移先、共有内部値及びフッタが含まれる。

プリミティブステートマシン及びローカルステートマシンの現在の状態の属性がローカル制御属性である場合に、ローカル制御状況パケット 7 4 により、ローカルステートマシンの演算手段の演算により得られた状態遷移先及び共有内部値の更新値が通知される。なお、共有内部値が更新されない場合は、ローカル制御状況パケット 7 4 に共有内部値を含まなくてもよい。

【 0 0 3 9 】

図 7 は、状態属性テーブルの例を示す。

前述したように、状態属性テーブルは、プリミティブステートマシン及びローカルステートマシンに含まれる各状態の属性を示すテーブルである。

図 7 の例では、図 2 に示す S T _ 0 、 S T _ 1 、 S T _ 2 及び S T _ 3 の 4 つの状態と、各状態の属性が示される。

【 0 0 4 0 】

図 8 は、本実施の形態に係る入出力装置 1 0 の機能構成例を示す。

また、図 2 5 は、入出力装置 1 0 のハードウェア構成例を示す。

先ず、図 2 5 を参照して入出力装置 1 0 のハードウェア構成例を説明する。

【 0 0 4 1 】

本実施の形態に係る入出力装置 1 0 は、コンピュータである。

入出力装置 1 0 は、ハードウェアとして、プロセッサ 7 0 1 、主記憶装置 7 0 2 、補助記憶装置 7 0 3 及び通信装置 7 0 4 を備える。

補助記憶装置 7 0 3 には、図 8 を参照して後述する第 1 の通信部 1 1 、第 2 の通信部 1 2 、ローカルステートマシン 1 3 及び実行制御部 1 4 の機能を実現するプログラムが記憶されている。なお、第 1 の通信部 1 1 、第 2 の通信部 1 2 及び実行制御部 1 4 の機能を実現するプログラムは、信号処理プログラムに相当する。

これらプログラムは、補助記憶装置 7 0 3 から主記憶装置 7 0 2 にロードされる。そして、プロセッサ 7 0 1 がこれらプログラムを実行して、後述する第 1 の通信部 1 1 、第 2 の通信部 1 2 、ローカルステートマシン 1 3 及び実行制御部 1 4 の動作を行う。

図 2 5 では、プロセッサ 7 0 1 が第 1 の通信部 1 1 、第 2 の通信部 1 2 、ローカルステートマシン 1 3 及び実行制御部 1 4 の機能を実現するプログラムを実行している状態を模式的に表している。

なお、ローカルステートマシン 1 3 及び実行制御部 1 4 の機能を実現するプログラムと、後述するプリミティブステートマシン 3 2 と実行制御部 3 3 の機能を実現するプログラムは、制御プログラムに相当する。

【 0 0 4 2 】

次に、図 8 を参照して入出力装置 1 0 の機能構成例を説明する。

【 0 0 4 3 】

第 1 の通信部 1 1 は、制御対象機器 2 0 と通信する。

具体的には、第 1 の通信部 1 1 は、通信装置 7 0 4 を用いて、制御対象機器 2 0 から入力値信号 8 1 を受信する。また、第 1 の通信部 1 1 は、通信装置 7 0 4 を用いて、制御対

10

20

30

40

50

象機器 20 に出力値信号 821 又は出力値信号 822 を送信する。出力値信号 821 は、後述するローカルステートマシン 13 により生成された出力値を通知する信号である。一方、出力値信号 822 は、コントローラ 30 により生成された出力値を通知する信号である。

なお、第 1 の通信部 11 により行われる処理は、第 1 の通信処理に相当する。

【0044】

第 2 の通信部 12 は、内部ネットワーク 51 を介してゲートウェイ 40 と通信する。

具体的には、第 2 の通信部 12 は、通信装置 704 を用いて、入力パケット 72 及びローカル制御状況パケット 74 をゲートウェイ 40 に送信する。

また、第 2 の通信部 12 は、通信装置 704 を用いて、ゲートウェイ 40 から初期設定パケット 71 及び出力パケット 73 を受信する。

なお、第 2 の通信部 12 により行われる処理は、第 2 の通信処理に相当する。

【0045】

ローカルステートマシン 13 は、図 2 を用いて説明したローカルステートマシンである。

【0046】

実行制御部 14 は、ステートマシン（ローカルステートマシン 13）の現在の状態の属性がリモート制御属性であれば、制御対象機器 20 への出力値を生成する出力値生成処理を制御対象機器 20 にとってのリモート環境にあるリモート機器（コントローラ 30）に実行させる。一方、ステートマシン（ローカルステートマシン 13）の現在の状態の属性がローカル制御属性であれば、実行制御部 14 は、出力値生成処理を制御対象機器 20 にとってのローカル環境にあるローカル機器（入出力装置 10）に実行させる。

【0047】

また、実行制御部 14 は、第 2 の通信部 12 から初期設定パケット 71 を取得する。

そして、実行制御部 14 は、初期設定パケット 71 に含まれるローカルステートマシンプログラムをローカルステートマシン 13 に設定する。つまり、実行制御部 14 は、ローカルステートマシン 13 がローカルステートマシンプログラムを実行できるようにローカルステートマシンプログラムを主記憶装置 902 に実装する。実行制御部 14 がローカルステートマシンプログラムをローカルステートマシン 13 に設定することにより、演算手段が実行可能になる。

また、実行制御部 14 は、初期設定パケット 71 に含まれる状態属性テーブルを主記憶装置 902 に実装する。図 8 に示す状態属性テーブル 16 は、主記憶装置 902 に実装された状態の状態属性テーブルを表している。実行制御部 14 は状態属性テーブル 16 を参照可能である。

【0048】

また、実行制御部 14 は、第 1 の通信部 11 から入力値信号 81 を取得する。また、実行制御部 14 は、入力値信号 81 から、入力信号を通知する入力パケット 72 を生成する。そして、入力パケット 72 を第 2 の通信部 12 に出力する。

このように、実行制御部 14 は、制御対象機器 20 からの入力値を受信し、入力パケット 72 にて制御対象機器 20 からの入力値をコントローラ 30 に通知する。

また、実行制御部 14 は、次に入力値信号 81 を取得するまで、入力値を内部バッファである入力値バッファ（不図示）に保持しておく。

【0049】

更に、実行制御部 14 は、状態属性テーブル 16 を参照して、ローカルステートマシン 13 の現在の状態の属性がリモート制御属性であるかローカル制御属性であるかを判定する。ローカルステートマシン 13 の現在の状態とは、後述する制御周期 T1 の到来時のローカルステートマシン 13 の状態である。

ローカルステートマシン 13 の現在の状態の属性がローカル制御属性であれば、実行制御部 14 は、ローカルステートマシン 13 に出力値生成処理を実行させる。つまり、実行制御部 14 は、制御対象機器 20 からの入力値をローカルステートマシン 13 に通知し、ローカルステートマシン 13 に入力値を用いた出力値生成処理を実行させる。

そして、実行制御部 14 は、ローカルステートマシン 13 で生成された出力値を通知する出力値信号 821 を生成し、出力値信号 821 を第 1 の通信部 11 に出力する。

また、実行制御部 14 は、ローカルステートマシン 13 の現在の状態がローカル制御属性であれば、入力値に基づいてローカルステートマシン 13 に状態遷移先を決定させ、ローカルステートマシン 13 の状態を状態遷移先に遷移させる。また、実行制御部 14 は、ローカルステートマシン 13 に共有内部値の更新値を生成させる。

そして、実行制御部 14 は、状態遷移先及び共有内部値の更新値を通知するローカル制御状況パケット 74 を生成し、ローカル制御状況パケット 74 を第 2 の通信部 12 に出力する。

このように、ローカルステートマシン 13 の現在の状態の属性がローカル制御属性であるときには、実行制御部 14 は、コントローラ 30 に状態遷移先、共有内部値の更新値を通知する。

【0050】

一方、ローカルステートマシン 13 の現在の状態の属性がリモート制御属性である場合は、実行制御部 14 は、第 2 の通信部 12 から出力パケット 73 を取得する。そして、実行制御部 14 は、出力パケット 73 から、制御対象機器 20 への出力値を通知する出力値信号 822 を生成し、出力値信号 822 を第 1 の通信部 11 に出力する。つまり、実行制御部 14 は、出力値を制御対象機器 20 に通知する。

更に、実行制御部 14 は、ローカルステートマシン 13 の状態を、出力パケット 73 で通知された状態遷移先に遷移させる。また、実行制御部 14 は、共有内部値を、出力パケット 73 で通知された共有内部値の更新値に更新する。

【0051】

実行制御部 14 は、ローカル実行制御部に相当する。また、実行制御部 14 により行われる処理は、ローカル実行制御処理に相当する。

また、実行制御部 14 と、後述する実行制御部 33 とにより行われる処理は、実行制御処理に相当する。

【0052】

内部値バッファ 15 は、共有内部値を含む内部値を保持するバッファである。なお、制御対象機器 20 の制御に内部値が不要な場合は、内部値バッファ 15 は省略してもよい。

【0053】

図 9 は、本実施の形態に係るコントローラ 30 の機能構成例を示す。

また、図 26 は、コントローラ 30 のハードウェア構成例を示す。

先ず、図 26 を参照してコントローラ 30 のハードウェア構成例を説明する。

【0054】

本実施の形態に係るコントローラ 30 は、サーバなどのコンピュータである。

コントローラ 30 は、ハードウェアとして、プロセッサ 801、主記憶装置 802、補助記憶装置 803 及び通信装置 804 を備える。なお、仮想化環境上において、これらハードウェアは同等な機能を持つ仮想ハードウェアとして実現されていてもよい。この場合、複数のサーバなどの複数のコンピュータによって仮想ハードウェアが構築されていてもよい。

補助記憶装置 803 には、図 9 を参照して後述する通信部 31、プリミティブステートマシン 32 及び実行制御部 33 の機能を実現するプログラムが記憶されている。通信部 31 及び実行制御部 33 の機能を実現するプログラムは、パケット処理プログラムに相当する。

これらプログラムは、補助記憶装置 803 から主記憶装置 802 にロードされる。そして、プロセッサ 801 がこれらプログラムを実行して、後述する通信部 31、プリミティブステートマシン 32 及び実行制御部 33 の動作を行う。

図 26 では、プロセッサ 801 が通信部 31、プリミティブステートマシン 32 及び実行制御部 33 の機能を実現するプログラムを実行している状態を模式的に表している。

なお、前述したように、プリミティブステートマシン 32 と実行制御部 33 の機能を実

10

20

30

40

50

現するプログラムと、ローカルステートマシン 13 及び実行制御部 14 の機能を実現するプログラムは、制御プログラムに相当する。

【0055】

次に、図 9 を参照してコントローラ 30 の機能構成例を説明する。

【0056】

通信部 31 は、ゲートウェイ 40 と通信する。

具体的には、通信部 31 は、通信装置 804 を用いて、ゲートウェイ 40 に初期設定パケット 71 を送信する。

また、通信部 31 は、通信装置 804 を用いて、ゲートウェイ 40 から入力パケット 72 を受信する。

また、通信部 31 は、通信装置 804 を用いて、ゲートウェイ 40 に出力パケット 73 を送信する。

更に、通信部 31 は、通信装置 804 を用いて、ゲートウェイ 40 からローカル制御状況パケット 74 を受信する。

【0057】

プリミティブステートマシン 32 は、図 2 を用いて説明したプリミティブステートマシンである。

【0058】

実行制御部 33 は、ステートマシン（プリミティブステートマシン 32）の現在の状態の属性がリモート制御属性であれば、制御対象機器 20 への出力値を生成する出力値生成処理を制御対象機器 20 にとってのリモート環境にあるリモート機器（コントローラ 30）に実行させる。一方、ステートマシン（プリミティブステートマシン 32）の現在の状態の属性がローカル制御属性であれば、実行制御部 33 は、出力値生成処理を制御対象機器 20 にとってのローカル環境にあるローカル機器（入出力装置 10）に実行させる。

【0059】

実行制御部 33 は、初期設定パケット 71 を生成する。

具体的には、実行制御部 33 は、プリミティブステートマシン 32 に含まれる N 個の状態に対し、(N-L) 個のリモート制御属性を有する状態と、L 個のローカル制御属性を有する状態を決定する。そして、実行制御部 33 は、L 個のローカル制御属性に対応する演算手段を実現するローカルステートマシンプログラムを生成する。そして、実行制御部 33 は、生成したローカルステートマシンプログラムと状態属性テーブル 35 が含まれる初期設定パケット 71 を生成し、生成した初期設定パケット 71 を通信部 31 に出力する。

【0060】

また、実行制御部 33 は、通信部 31 から入力パケット 72 を取得する。

そして、実行制御部 33 は、状態属性テーブル 35 を参照して、プリミティブステートマシン 32 の現在の状態の属性がリモート制御属性であるかローカル制御属性であるかを判定する。プリミティブステートマシン 32 の現在の状態とは、実行制御部 33 が制御対象機器 20 からの入力値を通知されたとき（つまり、入力パケット 72 を取得したとき）のプリミティブステートマシン 32 の状態、又は、後述する制御周期 T2 の到来時のプリミティブステートマシン 32 の状態である。

プリミティブステートマシン 32 の現在の状態の属性がリモート制御属性であれば、実行制御部 33 は、プリミティブステートマシン 32 に出力値生成処理を実行させる。つまり、実行制御部 33 は、制御対象機器 20 からの入力値をプリミティブステートマシン 32 に通知し、プリミティブステートマシン 32 に入力値を用いた出力値生成処理を実行させる。また、実行制御部 33 は、プリミティブステートマシン 32 の現在の状態がリモート制御属性であれば、入力値に基づいてプリミティブステートマシン 32 に状態遷移先を決定させ、プリミティブステートマシン 32 の状態を状態遷移先に遷移させる。また、実行制御部 33 は、プリミティブステートマシン 32 に共有内部値の更新値を生成させる。そして、実行制御部 33 は、出力値、状態遷移先及び共有内部値の更新値を通知する出力パケット 73 を生成し、出力パケット 73 を通信部 31 に出力する。

このように、プリミティブステートマシン 32 の現在の状態の属性がリモート制御属性であるときには、実行制御部 33 は、ゲートウェイ 40 を介して入出力装置 10 に出力値、状態遷移先、共有内部値の更新値を通知する。

【0061】

一方、プリミティブステートマシン 32 の現在の状態の属性がローカル制御属性である場合は、実行制御部 33 は、通信部 31 からローカル制御状況パケット 74 を取得する。そして、実行制御部 33 は、プリミティブステートマシン 32 の状態を、ローカル制御状況パケット 74 で通知された状態遷移先に遷移させる。また、実行制御部 33 は、共有内部値を、ローカル制御状況パケット 74 で通知された共有内部値の更新値に更新する。

【0062】

実行制御部 33 は、リモート実行制御部に相当する。また、実行制御部 33 により行われる処理は、リモート実行制御処理に相当する。

また、実行制御部 33 と実行制御部 14 とにより行われる処理は、実行制御処理に相当する。

【0063】

内部値バッファ 34 は、共有内部値を含む内部値を保持するバッファである。なお、制御対象機器 20 の制御に内部値が不要な場合は、内部値バッファ 34 は省略してもよい。

【0064】

状態属性テーブル 35 は、図 7 に示した状態属性テーブルである。

【0065】

動作の説明

次に、本実施の形態に係るコントローラ 30 と入出力装置 10 の動作例を説明する。

コントローラ 30 と入出力装置 10 の動作は、初期化処理時の動作と、初期化処理後の動作に大別される。

まず、初期化処理時の動作を説明する。

【0066】

<<初期化処理時の動作>>

図 10 は、初期化処理を示す。

【0067】

まず、ステップ S11 において、実行制御部 33 が状態属性テーブル 35 を生成する。

具体的には、実行制御部 33 は、プリミティブステートマシン 32 の N 個の状態のそれぞれの属性を決定する。例えば、実行制御部 33 は、要求応答時間が短い順に規定数の状態の属性をローカル制御属性に設定する。また、実行制御部 33 は、残りの状態の属性をリモート制御属性に設定する。例えば、実行制御部 33 は、N 個の状態のうち、L 個の状態の属性をローカル制御属性に設定し、(N-L) 個の状態の属性をリモート制御属性に設定する。そして、実行制御部 33 は、各状態の属性を示す状態属性テーブル 35 を生成する。

【0068】

次に、ステップ S12 において、実行制御部 33 がローカルステートマシンプログラムを生成する。

例えば、実行制御部 33 は、ローカル制御属性が設定された L 個の状態に対応する L 個の演算手段が含まれるプログラムをローカルステートマシンプログラムとして生成する。

【0069】

次に、ステップ S13 において、実行制御部 33 は初期設定パケット 71 を生成し、生成した初期設定パケット 71 を通信部 31 から入出力装置 10 に送信する。

つまり、実行制御部 33 は、ステップ S11 で生成した状態属性テーブル 35 とステップ S12 で生成したローカルステートマシンプログラムが含まれるパケットを初期設定パケット 71 として生成する。そして、実行制御部 33 は、初期設定パケット 71 を通信部 31 に出力し、通信部 31 がゲートウェイ 40 に初期設定パケット 71 を送信する。ゲートウェイ 40 は、初期設定パケット 71 を入出力装置 10 に転送する。最終的に、入出力

10

20

30

40

50

装置 10 は、ゲートウェイ 40 から初期設定パケット 71 を受信する。

【0070】

次に、ステップ S14 において、実行制御部 14 が、初期設定パケット 71 に含まれる状態属性テーブル 35 を状態属性テーブル 16 として参照可能にする。更に、実行制御部 14 は、初期設定パケット 71 に含まれるローカルステートマシンプログラムをローカルステートマシン 13 に設定する。

つまり、第 2 の通信部 12 が、初期設定パケット 71 を受信し、初期設定パケット 71 を実行制御部 14 に出力する。実行制御部 14 は、初期設定パケット 71 から状態属性テーブル 35 を抽出し、抽出した状態属性テーブル 35 を主記憶装置 702 に実装して、状態属性テーブル 16 として参照可能にする。また、実行制御部 14 は、初期設定パケット 71 からローカルステートマシンプログラムを抽出し、抽出したローカルステートマシンプログラムを主記憶装置 702 に実装して、ローカルステートマシン 13 がローカルステートマシンプログラムを実行可能にする。

【0071】

<<初期化処理後の動作>>

次に、初期化処理後の動作を説明する。

図 11 は、入出力装置 10 による入力処理の例を示す。

図 11 を用いて、入力処理を説明する。

図 11 に示すフローは、規定の制御周期 T1 ごとに開始されるものとする。

【0072】

まず、ステップ S21 において、第 1 の通信部 11 が制御対象機器 20 から入力値信号 81 を受信する。

第 1 の通信部 11 は、受信した入力値信号 81 を実行制御部 14 に出力する。

【0073】

次に、ステップ S22 において、実行制御部 14 が入力値を用いて入力パケット 72 を生成する。

つまり、実行制御部 14 は、入力値信号 81 から入力値を抽出し、抽出した入力値を用いて入力パケット 72 を生成する。そして、実行制御部 14 は、入力パケット 72 を第 2 の通信部 12 に出力する。

なお、実行制御部 14 は、次の制御周期 T1 が到来して再度ステップ S22 を実施するまでの間、入力値を内部バッファである入力値バッファ（不図示）に保持しておく。

【0074】

次に、ステップ S23 において、第 2 の通信部 12 が入力パケット 72 をコントローラ 30 に送信する。

具体的には、第 2 の通信部 12 がゲートウェイ 40 に入力パケット 72 を送信する。ゲートウェイ 40 は、入力パケット 72 をコントローラ 30 に転送する。最終的に、コントローラ 30 は、ゲートウェイ 40 から入力パケット 72 を受信する。

【0075】

図 12 は、コントローラ 30 の動作例を示す。

図 12 のフローは、入力パケット 72 の受信時、又は規定の制御周期 T2 ($T2 \leq T1$) ごとに開始されるものとする。

【0076】

まず、ステップ S30 において、実行制御部 33 がプリミティブステートマシン 32 の現在の状態の属性がリモート制御属性であるか否かを判定する。

より具体的には、実行制御部 33 が状態属性テーブル 35 を参照してプリミティブステートマシン 32 の現在の状態の属性がリモート制御属性であるか否かを判定する。実行制御部 33 は、プリミティブステートマシン 32 の現在の状態を記録するための内部バッファである状態バッファ（不図示）を有する。実行制御部 33 は、プリミティブステートマシン 32 で状態遷移が発生する度に、状態遷移先の状態をプリミティブステートマシン 32 の現在の状態として状態バッファに記録する。実行制御部 33 は、ステップ S30 にお

10

20

30

40

50

いて、状態バッファで記録されている現在の状態の属性を状態属性テーブル 35 を参照して判定する。例えば、状態バッファで記憶されている状態が ST_1 であれば、実行制御部 33 は状態属性テーブル 35 よりプリミティブステートマシン 32 の現在の状態の属性はリモート制御属性であると判定することができる。

【0077】

プリミティブステートマシン 32 の現在の状態の属性がリモート制御属性であれば、処理がステップ S31 に進む。一方、プリミティブステートマシン 32 の現在の状態の属性がローカル制御属性であれば、処理がステップ S37 に進む。

【0078】

ステップ S31 では、実行制御部 33 は、入出力装置 10 からの入力パケット 72 を受信しているか否かを判定する。つまり、実行制御部 33 は、通信部 31 から入力パケット 72 を取得したか否かを判定する。

入出力装置 10 からの入力パケット 72 を受信している場合は、処理がステップ S32 に進む。一方、入出力装置 10 からの入力パケット 72 を受信していない場合は、処理が終了する。

【0079】

ステップ S32 では、実行制御部 33 は、制御対象機器 20 からの入力値と共有内部値をプリミティブステートマシン 32 に通知する。

つまり、実行制御部 33 は、入力パケット 72 に含まれる入力値と、内部値バッファ 34 に保持されている共有内部値をプリミティブステートマシン 32 に通知する。

【0080】

次に、ステップ S33 において、プリミティブステートマシン 32 が現在の状態に対応する演算手段を実行して、実行制御部 33 から通知された入力値と共有内部値を用いて、出力値、状態遷移先及び共有内部値の更新値を生成する。

また、プリミティブステートマシン 32 は、出力値、状態遷移先及び共有内部値の更新値を実行制御部 33 に通知する。

【0081】

次に、ステップ S34 において、プリミティブステートマシン 32 は、ステップ S33 で生成した状態遷移先に状態を遷移させる。

【0082】

次に、ステップ S35 において、実行制御部 33 が、内部値バッファ 34 を共有内部値の更新値を用いて更新し、また、出力値、状態遷移先及び共有内部値の更新値を通知する出力パケット 73 を生成する。

そして、実行制御部 33 は、出力パケット 73 を通信部 31 に出力する。

また、実行制御部 33 は、状態バッファの現在の状態を状態遷移先の状態に更新する。

【0083】

次に、ステップ S36 において、通信部 31 が入出力装置 10 に出力パケット 73 を送信する。

具体的には、通信部 31 がゲートウェイ 40 に出力パケット 73 を送信する。ゲートウェイ 40 は、出力パケット 73 を入出力装置 10 に転送する。最終的に、入出力装置 10 は、ゲートウェイ 40 から出力パケット 73 を受信する。

【0084】

このように、プリミティブステートマシン 32 の現在の状態の属性がリモート制御属性である場合は、実行制御部 33 は、入力値及び共有内部値をプリミティブステートマシン 32 に通知することで、プリミティブステートマシン 32 に、出力値、状態遷移先及び共有内部値の更新値を生成させ、また、プリミティブステートマシン 32 に状態を状態遷移先に遷移させる。更に、実行制御部 33 は、プリミティブステートマシン 32 により生成された出力値、状態遷移先及び共有内部値の更新値を通知する出力パケット 73 を入出力装置 10 に送信する。

【0085】

10

20

30

40

50

ステップ S 3 1 においてプリミティブステートマシン 3 2 の現在の状態の属性がローカル制御属性であると判定された場合は、ステップ S 3 7 において、実行制御部 3 3 は、ローカル制御状況パケット 7 4 を受信済みであるか否かを判定する。

つまり、実行制御部 3 3 は、通信部 3 1 からローカル制御状況パケット 7 4 を取得しているか否かを判定する。

ローカル制御状況パケット 7 4 を受信済みであれば、処理がステップ S 3 8 に進む。一方、ローカル制御状況パケット 7 4 を受信していない場合は、処理がステップ S 3 9 1 に進む。

ステップ S 3 9 1 では、実行制御部 3 3 は、リモート制御属性の状態からローカル制御属性の状態に遷移してから一度はローカル制御状況パケット 7 4 を受信しているか否かを判定する。ローカル制御状況パケット 7 4 を一度も受信していない場合には、処理がステップ S 3 9 2 に進む。一度でもローカル制御状況パケット 7 4 を受信している場合は、処理が終了する。

10

ステップ S 3 9 2 では、実行制御部 3 3 は、直前のリモート制御属性の状態で生成した出力パケット 7 3 を、入出力装置 1 0 に再度送信する。なお、当該出力パケット 7 3 は、本処理のためにバッファされているものとする。ステップ S 3 9 2 の後、処理が終了する。

【 0 0 8 6 】

ステップ S 3 8 では、実行制御部 3 3 は、ローカル制御状況パケット 7 4 に示される状態遷移先をプリミティブステートマシン 3 2 に通知する。

また、実行制御部 3 3 は、内部値バッファ 3 4 をローカル制御状況パケット 7 4 に示される共有内部値の更新値で更新する。

20

また、実行制御部 3 3 は、状態バッファの現在の状態を状態遷移先の状態に更新する。

【 0 0 8 7 】

次に、ステップ S 3 9 において、プリミティブステートマシン 3 2 が、実行制御部 3 3 から通知された状態遷移先に状態を遷移させる。

【 0 0 8 8 】

このように、プリミティブステートマシン 3 2 の現在の状態の属性がローカル制御属性である場合は、実行制御部 3 3 は、入出力装置 1 0 で決定された状態遷移先をプリミティブステートマシン 3 2 に通知することで、プリミティブステートマシン 3 2 に状態を入出力装置 1 0 で決定された状態遷移先に遷移させる。更に、実行制御部 3 3 は、入出力装置 1 0 で決定された共有内部値の更新値を用いて内部値バッファ 3 4 を更新する。

30

【 0 0 8 9 】

図 1 3 及び図 1 4 は、入出力装置 1 0 の動作例を示す。

図 1 3 及び図 1 4 のフローは、制御周期 T 1 ごとに開始されるものとする。

【 0 0 9 0 】

まず、ステップ S 4 1 において、実行制御部 1 4 がローカルステートマシン 1 3 の現在の状態の属性がリモート制御属性であるか否かを判定する。

より具体的には、実行制御部 1 4 が状態属性テーブル 1 6 を参照してローカルステートマシン 1 3 の現在の状態の属性がリモート制御属性であるか否かを判定する。実行制御部 1 4 は、ローカルステートマシン 1 3 の現在の状態を記録するための内部バッファである状態バッファ（不図示）を有する。実行制御部 1 4 は、ローカルステートマシン 1 3 で状態遷移が発生する度に、状態遷移先の状態をローカルステートマシン 1 3 の現在の状態として状態バッファに記録する。実行制御部 1 4 は、ステップ S 4 1 において、状態バッファで記録されている現在の状態の属性を状態属性テーブル 1 6 を参照して判定する。例えば、状態バッファで記憶されている状態が S T _ 1 であれば、実行制御部 1 4 は状態属性テーブル 1 6 よりローカルステートマシン 1 3 の現在の状態の属性はリモート制御属性であると判定することができる。

40

【 0 0 9 1 】

ローカルステートマシン 1 3 の現在の状態の属性がリモート制御属性であれば、処理がステップ S 4 2 に進む。一方、ローカルステートマシン 1 3 の現在の状態の属性がローカ

50

ル制御属性であれば、処理が図 1 4 のステップ S 4 7 に進む。

【0092】

ステップ S 4 2 では、実行制御部 1 4 は、コントローラ 3 0 からの出力パケット 7 3 を受信しているか否かを判定する。つまり、実行制御部 1 4 は、第 2 の通信部 1 2 から出力パケット 7 3 を取得したか否かを判定する。

コントローラ 3 0 からの出力パケット 7 3 を受信している場合は、処理がステップ S 4 3 に進む。一方、コントローラ 3 0 からの出力パケット 7 3 を受信していない場合は、処理がステップ S 4 5 に進む。

【0093】

ステップ S 4 3 では、実行制御部 1 4 は、出力値信号 8 2 2 を制御対象機器 2 0 に出力し、内部値バッファ 1 5 を更新し、状態遷移先をローカルステートマシン 1 3 に通知する。

つまり、実行制御部 1 4 は、出力パケット 7 3 に含まれる出力値を通知する出力値信号 8 2 2 を生成し、生成した出力値信号 8 2 2 を第 1 の通信部 1 1 に出力する。そして、第 1 の通信部 1 1 が出力値信号 8 2 2 を制御対象機器 2 0 に送信する。

また、実行制御部 1 4 は、出力パケット 7 3 に含まれる共有内部値の更新値を用いて内部値バッファ 1 5 を更新する。

更に、実行制御部 1 4 は、出力パケット 7 3 に含まれる状態遷移先をローカルステートマシン 1 3 に通知する。

【0094】

次に、ステップ S 4 4 において、ローカルステートマシン 1 3 が、実行制御部 1 4 から通知された状態遷移先に状態を遷移させる。

【0095】

また、ステップ S 4 5 では、実行制御部 1 4 は、出力パケット 7 3 を受信していない状態が T__e r r 秒継続しているか否かを判定する。

出力パケット 7 3 を受信していない状態が T__e r r 秒継続している場合は、処理がステップ S 4 6 に進む。一方、出力パケット 7 3 を受信していない状態が T__e r r 秒未満であれば、処理がステップ S 5 3 に進む。

ステップ S 5 3 では、実行制御部 3 3 は、ローカル制御属性の状態からリモート制御属性の状態に遷移してから一度は出力パケット 7 3 を受信しているか否かを判定する。出力パケット 7 3 を一度も受信していない場合には、処理がステップ S 5 4 に進む。一度でも出力パケット 7 3 を受信している場合は、処理が終了する。

ステップ S 5 4 では、実行制御部 3 3 は、直前のローカル制御属性の状態で生成したローカル制御状況パケット 7 4 を、コントローラ 3 0 に再度送信する。なお、当該ローカル制御状況パケット 7 4 は、本処理のためにバッファされているものとする。ステップ S 5 4 の後、処理が終了する。

【0096】

ステップ S 4 6 では、実行制御部 1 4 は、規定の通信エラー処理を行う。通信エラー処理は、例えば、非常停止等のフェールセーフ処理である。

【0097】

このように、ローカルステートマシン 1 3 の現在の状態の属性がリモート制御属性である場合は、実行制御部 1 4 は、コントローラ 3 0 で決定された状態遷移先をローカルステートマシン 1 3 に通知することで、ローカルステートマシン 1 3 に状態をコントローラ 3 0 で決定された状態遷移先に遷移させる。更に、実行制御部 1 4 は、コントローラ 3 0 で決定された共有内部値の更新値を用いて内部値バッファ 1 5 を更新する。

【0098】

ステップ S 4 1 においてローカルステートマシン 1 3 の現在の状態の属性がローカル制御属性であると判定された場合は、ステップ S 4 7 において、実行制御部 1 4 は、制御対象機器 2 0 からの入力値と共有内部値をローカルステートマシン 1 3 に通知する。

つまり、実行制御部 1 4 は、図 1 1 のステップ S 2 1 において制御対象機器 2 0 から受信した入力値信号 8 1 に含まれる入力値と、内部値バッファ 1 5 に保持されている共有内

10

20

30

40

50

部値をローカルステートマシン１３に通知する。入力値は入力値バッファ（不図示）に保存されている値である。

【００９９】

ステップＳ４８では、ローカルステートマシン１３が現在の状態に対応する演算手段を実行して、実行制御部１４から通知された入力値と共有内部値を用いて、出力値、状態遷移先及び共有内部値の更新値を生成する。

また、ローカルステートマシン１３は、出力値、状態遷移先及び共有内部値の更新値を実行制御部１４に通知する。

【０１００】

次に、ステップＳ４９において、ローカルステートマシン１３は、ステップＳ４８で生成した状態遷移先に状態を遷移させる。

10

【０１０１】

次に、ステップＳ５０において、実行制御部１４が、出力値信号８２１を制御対象機器２０に出力し、また、内部値バッファ１５を更新する。

つまり、実行制御部１４は、ステップＳ４８でローカルステートマシン１３により生成された出力値を通知する出力値信号８２１を生成し、生成した出力値信号８２１を第１の通信部１１に出力する。そして、第１の通信部１１が出力値信号８２１を制御対象機器２０に送信する。

また、実行制御部１４は、ステップＳ４８でローカルステートマシン１３により生成された共有内部値の更新値を用いて内部値バッファ１５を更新する。

20

また、実行制御部１４は、状態バッファの現在の状態を状態遷移先の状態に更新する。

【０１０２】

次に、ステップＳ５１において、実行制御部１４は、ローカル制御状況パケット７４を生成する。

つまり、ステップＳ４８でローカルステートマシン１３により生成された状態遷移先及び共有内部値の更新値を通知するパケットをローカル制御状況パケット７４として生成する。そして、ローカル制御状況パケット７４を第２の通信部１２に出力する。

【０１０３】

次に、ステップＳ５２において、第２の通信部１２がローカル制御状況パケット７４をコントローラ３０に送信する。

30

具体的には、第２の通信部１２がゲートウェイ４０にローカル制御状況パケット７４を送信する。ゲートウェイ４０は、ローカル制御状況パケット７４をコントローラ３０に転送する。最終的に、コントローラ３０は、ゲートウェイ４０からローカル制御状況パケット７４を受信する。

【０１０４】

このように、ローカルステートマシン１３の現在の状態の属性がローカル制御属性である場合は、実行制御部１４は、入力値及び共有内部値をローカルステートマシン１３に通知することで、ローカルステートマシン１３に、出力値、状態遷移先及び共有内部値の更新値を生成させ、また、ローカルステートマシン１３に状態を状態遷移先に遷移させる。更に、実行制御部１４は、ローカルステートマシン１３により生成された状態遷移先及び共有内部値の更新値を通知するローカル制御状況パケット７４をコントローラ３０に送信する。

40

【０１０５】

実施の形態の効果の説明

以上、本実施の形態によれば、リモート機器（コントローラ３０）とローカル機器（入出力装置１０）との間で、出力値生成処理を実行させる機器を状態遷移に応じて状態ごとに切り替えることができる。

つまり、本実施の形態によれば、ステートマシンで定義できる制御仕様に基づく制御システム６０において、各状態における処理を、要求される応答性を考慮してコントローラ３０又は入出力装置１０に分散させることができる。また、本実施の形態によれば、状態

50

ごとの出力値生成処理を、状態遷移の順序及び状態遷移の条件を考慮して制御することができる。

この結果、本実施の形態によれば、通信遅延及び／又はパケットロスが原因で発生する通信エラーによるフェールセーフ処理等のエラー処理の頻度を低減することができる。このため、制御システム60の可用性を向上させることができる。

【0106】

次に、本実施の形態により得られる効果の例を、図15を用いて説明する。なお、図15に示す「演算結果生成」には、出力値の生成、状態遷移先の生成、共有内部値の更新値の生成が含まれる。

【0107】

図15の(a)は、本実施の形態に係る制御方法を用いない場合の演算結果生成処理の実行例を示す。

図15の(a)の例では、全ての状態で演算結果生成処理をコントローラ30のプリミティブステートマシン32で行う必要がある。

このとき、入出力装置10の出力処理におけるタイムアウトの時間(図14のステップS45のT_{err}に相当)は、プリミティブステートマシン32で演算結果生成処理が行われる状態の要求応答時間の最小値を考慮して設定する必要がある。従って、図15の(a)の例では、入出力装置10の出力処理におけるタイムアウトの時間は、ST₂の要求応答時間である0.5秒を考慮して設定する必要がある。

【0108】

図15の(b)は、本実施の形態に係る制御方法を用いた場合の演算結果生成処理の実行例を示す。

図15の(b)の例では、ST₀、ST₁及びST₃の演算結果生成処理はコントローラ30のプリミティブステートマシン32で行われる。一方、要求応答時間が小さいST₂の演算結果生成処理は入出力装置10のローカルステートマシン13で行われる。

前述のように、入出力装置10の出力処理におけるタイムアウトの時間(図14のステップS45のT_{err}に相当)は、プリミティブステートマシン32で演算結果生成処理が行われる状態の要求応答時間の最小値を考慮して設定する必要がある。図15の(b)の例では、入出力装置10の出力処理におけるタイムアウトの時間は、ST₃の要求応答時間である4秒を考慮して設定すればよい。

このため、図15の(a)の例よりも図15の(b)の例の方がタイムアウトの時間を長く設定できる。従って、本実施の形態によれば、通信エラーによってフェールセーフ処理等のエラー処理が行われる頻度を低減することができる。この結果、制御システム60の可用性を向上させることができる。

【0109】

実施の形態2.

本実施の形態では、複数の入出力装置10が含まれる制御システム60を説明する。そして、本実施の形態では、ある入出力装置10のローカルステートマシン13が、他の入出力装置10が制御対象機器20から取得する入力値を用いて、当該制御対象機器20への出力値を生成する。

【0110】

本実施の形態では、主に実施の形態1との差異を説明する。

なお、以下で説明していない事項は、実施の形態1と同様である。

【0111】

構成の説明

図16は、本実施の形態に係る制御システム60の構成例を示す。

【0112】

図16では、入出力装置(A)10aと入出力装置(B)10bという2つの入出力装置10が存在する。そして、図16の構成では、入出力装置(A)10aから入出力装置

10

20

30

40

50

(B) 10bにローカル入力パケット75が送信される。ローカル入力パケット75は、入出力装置(A)10aが制御対象機器20から取得した入力値を入出力装置(B)10bに通知するためのパケットである。

本実施の形態では、入出力装置(B)10bに含まれるローカルステートマシン13が、ローカル入力パケット75で通知される制御対象機器20からの入力値を用いて、制御対象機器20への出力値の生成、状態遷移先の特定及び共有内部値の更新を行う。本実施の形態では、入出力装置(B)10bがローカル機器に相当する。

【0113】

入出力装置(A)10a及び入出力装置(B)10bの機能構成例は、図8に示す入出力装置10の機能構成例と同じである。また、入出力装置(A)10a及び入出力装置(B)10bのハードウェア構成例は、図25に示す入出力装置10のハードウェア構成例と同じである。

【0114】

動作の説明

<<初期化処理時の動作>>

初期化処理時の動作は、実施の形態1と同じである。このため、初期化処理時の動作の説明は省略する。

【0115】

<<初期化処理後の動作>>

図17は、入出力装置(A)10a及び入出力装置(B)10bによるローカル入力処理の例を示す。

入出力装置(A)10aは、実施の形態1に示した入力処理(図11)に加え、図17に示すローカル入力処理も行う。

図17に示すフローは、規定の制御周期T1ごとに開始されるものとする。

【0116】

まず、ステップS61において、入出力装置(A)10aの第1の通信部11が制御対象機器20から入力値信号81を受信する。

入出力装置(A)10aの第1の通信部11は、受信した入力値信号81を入出力装置(A)10aの実行制御部14に出力する。

【0117】

次に、ステップS62において、入出力装置(A)10aの実行制御部14が入力値を用いてローカル入力パケット75を生成する。

つまり、実行制御部14は、入力値信号81から入力値を抽出し、抽出した入力値を用いてローカル入力パケット75を生成する。そして、実行制御部14は、ローカル入力パケット75を第2の通信部12に出力する。ローカル入力パケット75は、例えば、ヘッダ、入力値及びフッタで構成される。

なお、入出力装置(A)10aの実行制御部14は、次の制御周期T1が到来して新たにステップS62を実施するまでの間、入力値を内部バッファである入力値バッファ(不図示)に保持しておく。

【0118】

次に、ステップS63において、入出力装置(A)10aの第2の通信部12がローカル入力パケット75を内部ネットワーク51に送信する。

なお、入出力装置(A)10aの第2の通信部12は、ローカル入力パケット75をユニキャスト、ブロードキャスト、マルチキャストのいずれで送信してもよい。

入出力装置(B)10bは、内部ネットワーク51からローカル入力パケット75を受信する。

【0119】

なお、上記では、図17のフローが制御周期T1ごとに開始される例を説明した。制御周期T1の到来の他に、図17のフローが以下のいずれかのタイミングで開始されてもよい。

10

20

30

40

50

1) コントローラ 30 のプリミティブステートマシン 32 の現在の状態及び入出力装置 (B) 10 b のローカルステートマシン 13 の現在の状態の属性がローカル制御属性であるとき

この例では、入出力装置 (A) 10 a の実行制御部 14 は、任意の手段により、コントローラ 30 のプリミティブステートマシン 32 又は入出力装置 (B) 10 b のローカルステートマシン 13 の現在の状態の属性を認識することができるものとする。そして、入出力装置 (A) 10 a の実行制御部 14 が、コントローラ 30 のプリミティブステートマシン 32 又は入出力装置 (B) 10 b のローカルステートマシン 13 の現在の状態の属性がローカル制御属性であることを認識した場合に、図 17 のフローが開始する。

2) 入出力装置 (A) 10 a が入出力装置 (B) 10 b からローカル入力パケット 75 の送信要求を受信したとき

この場合は、入出力装置 (B) 10 b の実行制御部 14 がローカル入力パケット 75 の送信要求を生成し、入出力装置 (B) 10 b の第 2 の通信部 12 が当該送信要求を入出力装置 (A) 10 a に送信する。そして、入出力装置 (A) 10 a の第 1 の通信部 11 が送信要求を受信し、第 1 の通信部 11 が送信要求を受信したことを実行制御部 14 が認識した場合に、図 17 のフローが開始される。

上記の 1) 及び 2) のタイミングで図 17 のフローが開始できるように、図 17 のフローにステップを追加してもよい。

【0120】

本実施の形態では、コントローラ 30 の動作例は実施の形態 1 (図 12) と同じである。このため、本実施の形態に係るコントローラ 30 の動作例は説明を省略する。

【0121】

図 18 及び図 19 は、入出力装置 (B) 10 b の動作例を示す。

【0122】

図 18 のステップ S71～ステップ S76、ステップ S86 及びステップ S87 は、図 13 のステップ S41～ステップ S46、ステップ S53 及びステップ S54 と同じである。このため、ステップ S71～ステップ S76、ステップ S86 及びステップ S87 の説明は省略する。

【0123】

図 19 では、ステップ S77 において、入出力装置 (B) 10 b の実行制御部 14 は、入出力装置 (A) 10 a からローカル入力パケット 75 を受信済みであるか否かを判定する。

入出力装置 (A) 10 a からローカル入力パケット 75 を受信済みである場合は、処理がステップ S78 に進む。一方、入出力装置 (A) 10 a からローカル入力パケット 75 を受信していない場合は、処理がステップ S84 に進む。

【0124】

ステップ S78 では、入出力装置 (B) 10 b の実行制御部 14 は、制御対象機器 20 からの入力値と共有内部値をローカルステートマシン 13 に通知する。

つまり、実行制御部 14 は、図 17 のステップ S61 において入出力装置 (A) 10 a から受信したローカル入力パケット 75 に含まれる入力値と、内部値バッファ 15 に保持されている共有内部値をローカルステートマシン 13 に通知する。

【0125】

ステップ S79～ステップ S83 は、図 14 のステップ S48～ステップ S52 と同じである。このため、ステップ S79～ステップ S83 の説明は省略する。

【0126】

ステップ S77 においてローカル入力パケット 75 を受信していないと判定された場合は、ステップ S84 において、入出力装置 (B) 10 b の実行制御部 14 は、ローカル入力パケット 75 を受信していない状態が T_err_loc 秒継続しているか否かを判定する。

ローカル入力パケット 75 を受信していない状態が T_err_loc 秒継続している

10

20

30

40

50

場合は、処理がステップ S 8 5 に進む。一方、ローカル入力パケット 7 5 を受信していない状態が T _ e r r _ l o c 秒未満であれば、処理が終了する。

【 0 1 2 7 】

ステップ S 8 5 では、入出力装置 (B) 1 0 b の実行制御部 1 4 は、規定の通信エラー処理を行う。通信エラー処理は、例えば、非常停止等のフェールセーフ処理である。

【 0 1 2 8 】

なお、実施の形態 1 で述べたように、内部ネットワーク 5 1 は、想定済みのトラフィックしか存在せず、通信の遅延及びジッタの最悪値の予測が容易な通信路である。そのため、図 1 9 において処理がステップ S 7 7 からステップ S 8 4 に進む可能性は非常に小さいことが想定される。

【 0 1 2 9 】

*** 実施の形態の効果の説明 ***

本実施の形態によれば、複数の入出力装置 1 0 が存在する場合でも、実施の形態 1 と同様の効果を得ることができる。つまり、ある入出力装置 1 0 のローカルステートマシン 1 3 が、他の入出力装置 1 0 が制御対象機器 2 0 から取得する入力値を用いて、当該制御対象機器 2 0 への出力値を生成する場合にも、実施の形態 1 と同様の効果を得ることができる。

【 0 1 3 0 】

実施の形態 3 .

本実施の形態では、入出力装置 1 0 ではなく、ゲートウェイ 4 0 がローカル機器として機能する例を説明する。

実施の形態 1 及び実施の形態 2 では、入出力装置 1 0 がローカルステートマシン 1 3 と実行制御部 1 4 を有し、入出力装置 1 0 がローカル機器として機能している。しかし、従来機器との互換性又はコストの問題から、入出力装置 1 0 にローカルステートマシン 1 3 と実行制御部 1 4 を実装することが困難な事態も想定される。

本実施の形態では、このような事態に対処するために、ゲートウェイ 4 0 に、実施の形態 1 及び実施の形態 2 で説明したローカルステートマシン 1 3 と実行制御部 1 4 と同様の構成をゲートウェイ 4 0 に配置し、ゲートウェイ 4 0 をローカル機器として機能させる。

【 0 1 3 1 】

本実施の形態では、主に実施の形態 1 との差異を説明する。

なお、以下で説明していない事項は、実施の形態 1 と同様である。

【 0 1 3 2 】

*** 構成の説明 ***

図 2 0 は、本実施の形態に係る制御システム 6 0 の構成例を示す。

本実施の形態では、入出力装置 1 0 ではなく、ゲートウェイ 4 0 がローカル機器に相当する。

【 0 1 3 3 】

また、本実施の形態では、入出力装置 1 0 は、入力パケット 7 2 1 をゲートウェイ 4 0 に送信する。

ゲートウェイ 4 0 は、入力パケット 7 2 1 を受信し、入力パケット 7 2 2 とローカル制御状況パケット 7 4 1 をコントローラ 3 0 に送信する。

入力パケット 7 2 1 及び入力パケット 7 2 2 は、ヘッダに含まれるアドレス以外は図 1 に示す入力パケット 7 2 と同じである。入力パケット 7 2 では、宛先アドレスがコントローラ 3 0 のアドレスであり、送信元アドレスが入出力装置 1 0 のアドレスである。入力パケット 7 2 1 では、宛先アドレスがゲートウェイ 4 0 のアドレスであり、送信元アドレスが入出力装置 1 0 のアドレスである。入力パケット 7 2 2 では、宛先アドレスがコントローラ 3 0 のアドレスであり、送信元アドレスがゲートウェイ 4 0 のアドレスである。

また、ローカル制御状況パケット 7 4 1 は、ヘッダに含まれるアドレス以外は図 1 に示すローカル制御状況パケット 7 4 と同じである。ローカル制御状況パケット 7 4 では、宛先アドレスがコントローラ 3 0 のアドレスであり、送信元アドレスが入出力装置 1 0 のア

10

20

30

40

50

ドレスである。ローカル制御状況パケット 741 では、宛先アドレスがコントローラ 30 のアドレスであり、送信元アドレスがゲートウェイ 40 のアドレスである。

【0134】

また、本実施の形態では、コントローラ 30 は、初期設定パケット 711 と出力パケット 731 をゲートウェイ 40 に送信する。

ゲートウェイ 40 は、初期設定パケット 711 と出力パケット 731 を受信し、出力パケット 732 を入出力装置 10 に送信する。

初期設定パケット 711 は、ヘッダに含まれるアドレス以外は図 1 に示す初期設定パケット 71 と同じである。初期設定パケット 71 では、宛先アドレスが入出力装置 10 であり、送信元アドレスがコントローラ 30 である。初期設定パケット 711 では、宛先アドレスがゲートウェイ 40 であり、送信元アドレスがコントローラ 30 である。

10

出力パケット 731 及び出力パケット 732 は、ヘッダに含まれるアドレス以外は図 1 に示す出力パケット 73 と同じである。出力パケット 73 では、宛先アドレスが入出力装置 10 であり、送信元アドレスがコントローラ 30 である。出力パケット 731 では、宛先アドレスがゲートウェイ 40 であり、送信元アドレスがコントローラ 30 である。出力パケット 732 では、宛先アドレスが入出力装置 10 であり、送信元アドレスがゲートウェイ 40 である。

出力パケット 731 には、出力パケット 73 と同様に、出力値、状態遷移先及び共有内部値の更新値が含まれる。出力パケット 732 は、出力値のみが含まれ、状態遷移先及び共有内部値の更新値は含まれないようにしてもよい。これは、本実施の形態では、入出力装置 10 は、状態遷移先及び共有内部値の更新値は利用しないためである。

20

【0135】

図 20 に示す他の構成要素は、図 1 の対応する構成要素と同じである。

【0136】

本実施の形態に係る入出力装置 10 の機能構成例の図示は省略する。本実施の形態では、入出力装置 10 の機能構成例として、図 8 に示す構成から、ローカルステートマシン 13、実行制御部 14、内部値バッファ 15 及び状態属性テーブル 16 を除いた構成とすることが考えられる。

【0137】

コントローラ 30 の機能構成は、図 9 に示したものと同一である。このため、説明を省略する。

30

【0138】

図 21 は、本実施の形態に係るゲートウェイ 40 の機能構成例を示す。また、図 27 は、本実施の形態に係るゲートウェイ 40 のハードウェア構成例を示す。

【0139】

まず、図 27 を参照してゲートウェイ 40 のハードウェア構成例を説明する。

【0140】

本実施の形態に係るゲートウェイ 40 は、コンピュータである。

ゲートウェイ 40 は、ハードウェアとして、プロセッサ 901、主記憶装置 902、補助記憶装置 903 及び通信装置 904 を備える。

40

補助記憶装置 903 には、図 21 を参照して後述する第 1 の通信部 41、第 2 の通信部 42、ローカルステートマシン 43 及び実行制御部 44 の機能を実現するプログラムが記憶されている。

これらプログラムは、補助記憶装置 903 から主記憶装置 902 にロードされる。そして、プロセッサ 901 がこれらプログラムを実行して、後述する第 1 の通信部 41、第 2 の通信部 42、ローカルステートマシン 43 及び実行制御部 44 の動作を行う。

図 27 では、プロセッサ 901 が第 1 の通信部 41、第 2 の通信部 42、ローカルステートマシン 43 及び実行制御部 44 の機能を実現するプログラムを実行している状態を模式的に表している。

【0141】

50

次に、図 21 を参照してゲートウェイ 40 の機能構成例を説明する。

【0142】

第 1 の通信部 41 は、入出力装置 10 と通信する。

具体的には、第 1 の通信部 41 は、通信装置 904 を用いて、入出力装置 10 から入力パケット 721 を受信する。また、第 1 の通信部 41 は、通信装置 904 を用いて、入出力装置 10 に出力パケット 732 を送信する。

【0143】

第 2 の通信部 42 は、コントローラ 30 と通信する。

具体的には、第 2 の通信部 42 は、通信装置 904 を用いて、入力パケット 722 及びローカル制御状況パケット 741 をコントローラ 30 に送信する。また、第 2 の通信部 42 は、通信装置 904 を用いて、コントローラ 30 から初期設定パケット 711、出力パケット 731 を受信する。

【0144】

ローカルステートマシン 43 は、図 2 を用いて説明したローカルステートマシンである。

【0145】

実行制御部 44 は、ステートマシン（ローカルステートマシン 43）の現在の状態の属性がリモート制御属性であれば、制御対象機器 20 への出力値を生成する出力値生成処理を制御対象機器 20 にとってのリモート環境にあるリモート機器（コントローラ 30）に実行させる。一方、ステートマシン（ローカルステートマシン 43）の現在の状態の属性がローカル制御属性であれば、実行制御部 44 は、出力値生成処理を制御対象機器 20 にとってのローカル環境にあるローカル機器（ゲートウェイ 40）に実行させる。

実行制御部 44 は、ローカル実行制御部に相当する。

また、本実施の形態では、実行制御部 44 と、コントローラ 30 の実行制御部 33 とにより行われる処理が、実行制御処理に相当する。

【0146】

実行制御部 44 の動作は、基本的に、実施の形態 1 で説明した実行制御部 14 の動作と同じであるため、詳細な説明は省略する。

【0147】

内部値バッファ 45 は、共有内部値を含む内部値を保持するバッファである。なお、制御対象機器 20 の制御に内部値が不要な場合は、内部値バッファ 45 は省略してもよい。

【0148】

状態属性テーブル 46 は、図 7 に示す状態属性テーブルである。状態属性テーブル 46 は、状態属性テーブル 16 と同じである。

【0149】

動作の説明

<<初期化処理時の動作>>

本実施の形態では、コントローラ 30 とゲートウェイ 40 が図 10 に示す動作を行う。

ステップ S11 ～ステップ S13 は、コントローラ 30 の動作である。ステップ S11 ～ステップ S13 は、送受信されるパケット及びパケットの送信先が異なる以外は、実施の形態 1 で示したものと同じである。つまり、本実施の形態では、初期設定パケット 71 ではなく初期設定パケット 711 が、入出力装置 10 ではなくゲートウェイ 40 に送信される。

【0150】

ステップ S14 では、実行制御部 44 が、初期設定パケット 711 に含まれる状態属性テーブル 35 を状態属性テーブル 46 として参照可能にし、初期設定パケット 711 に含まれるローカルステートマシンプログラムをローカルステートマシン 43 に設定する。

つまり、第 2 の通信部 42 が、初期設定パケット 711 を受信し、初期設定パケット 711 を実行制御部 44 に出力する。実行制御部 44 は、初期設定パケット 711 から状態属性テーブル 35 を抽出し、抽出した状態属性テーブル 35 を主記憶装置 902 に実装して、状態属性テーブル 46 として参照可能にする。また、実行制御部 44 は、初期設定パ

10

20

30

40

50

ケット 7 1 1 からローカルステートマシンプログラムを抽出し、抽出したローカルステートマシンプログラムを主記憶装置 9 0 2 に実装して、ローカルステートマシン 4 3 がローカルステートマシンプログラムを実行可能にする。

【 0 1 5 1 】

<<初期化処理後の動作>>

次に、初期化処理後の動作を説明する。

図 2 2 は、ゲートウェイ 4 0 による入力処理の例を示す。

図 2 2 を用いて、入力処理を説明する。

図 2 2 に示すフローは、入力パケット 7 2 1 の受信ごとに開始されるものとする。

【 0 1 5 2 】

まず、ステップ S 9 1 において、実行制御部 4 4 がローカルステートマシン 4 3 の現在の状態の属性がリモート制御属性であるか否かを判定する。

より具体的には、実行制御部 4 4 が状態属性テーブル 4 6 を参照してローカルステートマシン 4 3 の現在の状態の属性がリモート制御属性であるか否かを判定する。実行制御部 4 4 は、ローカルステートマシン 4 3 の現在の状態を記録するための内部バッファである状態バッファ（不図示）を有する。実行制御部 4 4 は、ローカルステートマシン 4 3 で状態遷移が発生する度に、状態遷移先の状態をローカルステートマシン 4 3 の現在の状態として状態バッファに記録する。実行制御部 4 4 は、ステップ S 9 1 において、状態バッファで記録されている現在の状態の属性を状態属性テーブル 4 6 を参照して判定する。例えば、状態バッファで記憶されている状態が S T _ 1 であれば、実行制御部 4 4 は状態属性テーブル 4 6 よりローカルステートマシン 4 3 の現在の状態の属性はリモート制御属性であると判定することができる。

【 0 1 5 3 】

ローカルステートマシン 4 3 の現在の状態の属性がローカル制御属性であれば、処理がステップ S 9 2 に進む。一方、ローカルステートマシン 4 3 の現在の状態の属性がリモート制御属性であれば、処理がステップ S 9 3 に進む。

【 0 1 5 4 】

ステップ S 9 2 では、実行制御部 4 4 が入力値を内部バッファである入力値バッファに格納する。

つまり、実行制御部 1 4 は、第 1 の通信部 4 1 が入出力装置 1 0 から受信した入力パケット 7 2 1 から入力値を抽出し、抽出した入力値を入力値バッファに格納する。入力値バッファと状態バッファは、同じ内部バッファでもよいし、異なる内部バッファでもよい。

【 0 1 5 5 】

ステップ S 9 3 では、実行制御部 4 4 は、入力パケット 7 2 2 をコントローラ 3 0 に送信する。

つまり、実行制御部 4 4 は、入力パケット 7 2 1 に含まれている入力値を通知する入力パケット 7 2 2 を生成し、生成した入力パケット 7 2 2 を第 2 の通信部 4 2 に出力する。そして、第 2 の通信部 4 2 がコントローラ 3 0 に入力パケット 7 2 2 を送信する。コントローラ 3 0 は、入力パケット 7 2 2 を受信する。

【 0 1 5 6 】

本実施の形態では、コントローラ 3 0 の動作例は実施の形態 1（図 1 2）と同じである。このため、本実施の形態に係るコントローラ 3 0 の動作例は説明を省略する。

【 0 1 5 7 】

図 2 3 は、本実施の形態に係るゲートウェイ 4 0 の動作例を示す。

図 2 3 のフローは、制御周期 T 1 ごとまたは出力パケット 7 3 1 受信時に開始されるものとする。

【 0 1 5 8 】

まず、ステップ S 1 0 1 において、実行制御部 4 4 がローカルステートマシン 4 3 の現在の状態の属性がリモート制御属性であるか否かを判定する。

より具体的には、実行制御部 4 4 が状態属性テーブル 4 6 を参照してローカルステート

10

20

30

40

50

マシン４３の現在の状態の属性がリモート制御属性であるか否かを判定する。実行制御部４４は、ローカルステートマシン４３の現在の状態を記録するための内部バッファである状態バッファ（不図示）を有する。実行制御部４４は、ローカルステートマシン４３で状態遷移が発生する度に、状態遷移先の状態をローカルステートマシン４３の現在の状態として状態バッファに記録する。実行制御部４４は、ステップＳ１０１において、状態バッファで記録されている現在の状態の属性を状態属性テーブル４６を参照して判定する。例えば、状態バッファで記憶されている状態がＳＴ＿１であれば、実行制御部４４は状態属性テーブル４６よりローカルステートマシン４３の現在の状態の属性はリモート制御属性であると判定することができる。

【０１５９】

ローカルステートマシン４３の現在の状態の属性がリモート制御属性であれば、処理がステップＳ１１３に進む。一方、ローカルステートマシン４３の現在の状態の属性がローカル制御属性であれば、処理がステップＳ１０５に進む。

【０１６０】

ステップＳ１１３では、実行制御部４４は、出力パケット７３１を受信済みであるか否かを判定する。出力パケット７３１を受信済みであれば、処理がステップＳ１０２に進む。一方、出力パケット７３１を受信していなければ、処理がステップＳ１１４に進む。

【０１６１】

ステップＳ１０２では、実行制御部４４は、状態遷移先をローカルステートマシン４３に通知し、内部値バッファ４５を更新する。

つまり、実行制御部４４は、出力パケット７３１に含まれる状態遷移先をローカルステートマシン４３に通知する。

更に、実行制御部４４は、出力パケット７３１に含まれる共有内部値の更新値を用いて内部値バッファ４５を更新する。

【０１６２】

次に、ステップＳ１０３において、ローカルステートマシン４３が、実行制御部４４から通知された状態遷移先に状態を遷移させる。

【０１６３】

次に、ステップＳ１０４において、実行制御部４４は、第１の通信部４１を介して、出力パケット７３２を入出力装置１０に送信する。

つまり、実行制御部４４は、出力パケット７３１に含まれる出力値を通知する出力パケット７３２を生成する。そして、実行制御部４４は、生成した出力パケット７３２を第１の通信部４１に出力する。第１の通信部４１は、出力パケット７３２を入出力装置１０に送信する。なお、前述したように、出力パケット７３２には、状態遷移先及び共有内部値の更新値は含まなくてもよい。

【０１６４】

このように、ローカルステートマシン４３の現在の状態の属性がリモート制御属性である場合は、実行制御部４４は、コントローラ３０で決定された状態遷移先をローカルステートマシン４３に通知することで、ローカルステートマシン４３に状態を入出力装置１０で決定された状態遷移先に遷移させる。更に、実行制御部４４は、コントローラ３０で決定された共有内部値の更新値を用いて内部値バッファ１５を更新する。また、実行制御部４４は、コントローラ３０で決定された出力値を制御対象機器２０に通知する。

【０１６５】

ステップＳ１０１においてローカルステートマシン４３の現在の状態の属性がローカル制御属性であると判定された場合は、ステップＳ１０５において、実行制御部４４は、制御対象機器２０からの入力値と共有内部値をローカルステートマシン４３に通知する。

つまり、実行制御部４４は、第１の通信部４１が入出力装置１０から受信した入力パケット７２１に含まれる入力値と、内部値バッファ４５に保持されている共有内部値をローカルステートマシン４３に通知する。

【０１６６】

10

20

30

40

50

ステップ S 1 0 6 では、ローカルステートマシン 4 3 が現在の状態に対応する演算手段を実行して、実行制御部 4 4 から通知された入力値と共有内部値を用いて、出力値、状態遷移先及び共有内部値の更新値を生成する。

また、ローカルステートマシン 4 3 は、出力値、状態遷移先及び共有内部値の更新値を実行制御部 4 4 に通知する。

【 0 1 6 7 】

次に、ステップ S 1 0 7 において、ローカルステートマシン 4 3 は、ステップ S 1 0 6 で生成した状態遷移先に状態を遷移させる。

【 0 1 6 8 】

次に、ステップ S 1 0 8 において、実行制御部 4 4 が、内部値バッファ 4 5 を更新する。

つまり、実行制御部 4 4 は、ステップ S 1 0 6 でローカルステートマシン 4 3 により生成された共有内部値の更新値を用いて内部値バッファ 1 5 を更新する。

また、実行制御部 4 4 は、状態バッファの現在の状態を状態遷移先の状態に更新する。

【 0 1 6 9 】

次に、ステップ S 1 0 9 において、実行制御部 4 4 は、出力パケット 7 3 2 を生成する。

つまり、実行制御部 4 4 は、ステップ S 1 0 6 でローカルステートマシン 4 3 により生成された出力値を通知する出力パケット 7 3 2 を生成する。なお、前述したように、出力パケット 7 3 2 には、状態遷移先及び共有内部値の更新値は含まれなくてもよい。

そして、実行制御部 4 4 は、出力パケット 7 3 2 を第 1 の通信部 4 1 に出力する。

【 0 1 7 0 】

次に、ステップ S 1 1 0 において、第 1 の通信部 4 1 が、出力パケット 7 3 2 を入出力装置 1 0 に送信する。

【 0 1 7 1 】

次に、ステップ S 1 1 1 において、実行制御部 4 4 は、ローカル制御状況パケット 7 4 1 を生成する。

つまり、ステップ S 1 0 6 でローカルステートマシン 4 3 により生成された状態遷移先及び共有内部値の更新値を通知するパケットをローカル制御状況パケット 7 4 1 として生成する。そして、ローカル制御状況パケット 7 4 1 を第 2 の通信部 4 2 に出力する。

【 0 1 7 2 】

次に、ステップ S 1 1 2 において、第 2 の通信部 4 2 がローカル制御状況パケット 7 4 1 をコントローラ 3 0 に送信する。

【 0 1 7 3 】

ステップ S 1 1 3 において出力パケット 7 3 1 が受信されていないと判定された場合は、ステップ S 1 1 4 において、実行制御部 4 4 は、ローカル制御属性の状態からリモート制御属性の状態に遷移してから一度は出力パケット 7 3 1 を受信しているか否かを判定する。出力パケット 7 3 1 を一度も受信していない場合には、処理がステップ S 1 1 5 に進む。一度でも出力パケット 7 3 1 を受信している場合は、処理が終了する。

ステップ S 1 1 5 では、実行制御部 4 4 は、直前のローカル制御属性の状態で生成したローカル制御状況パケット 7 4 1 を、コントローラ 3 0 に再度送信する。なお、当該ローカル制御状況パケット 7 4 1 は、本処理のためにバッファされているものとする。ステップ S 1 1 5 の後、処理が終了する。

【 0 1 7 4 】

このように、ローカルステートマシン 4 3 の現在の状態の属性がローカル制御属性である場合は、実行制御部 4 4 は、入力値をローカルステートマシン 4 3 に通知することで、ローカルステートマシン 4 3 に、出力値、状態遷移先及び共有内部値の更新値を生成させ、また、ローカルステートマシン 4 3 に状態を状態遷移先に遷移させる。更に、実行制御部 4 4 は、ローカルステートマシン 4 3 により生成された状態遷移先及び共有内部値の更新値を通知するローカル制御状況パケット 7 4 1 をコントローラ 3 0 に送信する。また、実行制御部 4 4 は、ローカルステートマシン 4 3 により生成された出力値を通知する出力パケット 7 3 2 を入出力装置 1 0 に送信する。

10

20

30

40

50

【0175】

実施の形態の効果の説明

本実施の形態では、ゲートウェイ40がローカルステートマシン43と実行制御部44を有し、ローカル機器として機能する。このため、本実施の形態によれば、入出力装置10にローカルステートマシン13と実行制御部14を実装しなくても、実施の形態1と同様の効果を得ることができる。

【0176】

実施の形態4.

実施の形態1～3では、実行制御部33がローカル制御属性を設定する状態の数は固定数(L個)である。本実施の形態では、実行制御部33が、ローカル制御属性を設定する状態の数を通信品質に基づいて動的に決定する例を説明する。

【0177】

本実施の形態では、主に実施の形態1との差異を説明する。

なお、以下で説明していない事項は、実施の形態1と同様である。

【0178】

構成の説明

本実施の形態では、制御システム60の構成は図1に示す通りである。

また、入出力装置10の機能構成は図8に示す通りであり、入出力装置10のハードウェア構成も図25に示す通りである。

また、コントローラ30の機能構成は図9に示す通りであり、コントローラ30のハードウェア構成も図26に示す通りである。

なお、本実施の形態では、実行制御部33は、コントローラ30が入出力装置10と通信する際に用いられる通信回線の通信品質に基づいてローカル制御属性を設定する状態の数を決定する。より具体的には、本実施の形態では、実行制御部33は、複数の状態のうち、要求応答時間が満たせないと予測される状態の属性をローカル制御属性に設定する。そして、実行制御部33は、複数の状態のうちの残りの状態の属性をリモート制御属性に設定する。

動作の説明

<<初期化処理時の動作>>

図24は、本実施の形態に係る初期化処理を示す。

【0179】

ステップS121において、実行制御部33は、ゲートウェイ40との間のRTT(Round Trip Time)を測定し、RTTの分布を生成する。

つまり、実行制御部33は、入出力装置10と通信する際に用いられる通信回線である外部ネットワーク52の通信品質であるRTTを測定する。そして、実行制御部33は、測定したRTTの分布を生成する。なお、ステップS121で測定したRTTの測定情報に加え、ステップS121実行前に測定したRTT情報が利用できる場合には、これも含めてRTTの分布を生成しても良い。

【0180】

次に、ステップS122において、実行制御部33は、ステップS121で生成したRTTの分布に基づき状態属性テーブル35を生成する。

具体的には、実行制御部33は、ステップS121で生成したRTTの分布に基づき、プリミティブステートマシン32に含まれる状態ごとに、要求応答時間を満たす確率ppを算出する。そして、実行制御部33は、確率ppが要求確率P未満である状態をローカル制御属性に設定する。また、実行制御部33は、確率ppが要求確率P以上である状態をリモート制御属性に設定する。要求確率Pは、確率ppに要求される最小値である。実行制御部33は、確率ppが要求確率P以上であれば、要求応答時間を満たせると予測する。つまり、実行制御部33は、要求応答時間が満たせないと予測される状態の属性をローカル制御属性に設定し、要求応答時間が満たせると予測される状態の属性をリモート制御属性に設定する。

10

20

30

40

50

【0181】

ステップS123～ステップS125は、図10に示したステップS12～ステップS14と同じであるため、説明を省略する。

【0182】

なお、ここでは、外部ネットワーク52の通信品質の指標としてRTTの分布を用いたが、通信品質の指標として他の指標を用いてもよい。

【0183】

初期化処理後の動作は、実施の形態1と同じであるため、説明を省略する。

【0184】

実施の形態の効果の説明

本実施の形態では、要求応答時間が満たせないと予測される状態をローカル制御属性に設定する。このため、本実施の形態によれば、ローカル制御属性を設定する状態の数を通信品質に基づいて決定しつつ、実施の形態1と同様の効果を得ることができる。

【0185】

以上、実施の形態1～4を説明したが、これらの実施の形態のうち、2つ以上を組み合わせさせて実施しても構わない。

あるいは、これらの実施の形態のうち、1つを部分的に実施しても構わない。

あるいは、これらの実施の形態のうち、2つ以上を部分的に組み合わせさせて実施しても構わない。

また、これらの実施の形態に記載された構成及び手順を必要に応じて変更してもよい。

【0186】

ハードウェア構成の補足説明

最後に、入出力装置10、コントローラ30及びゲートウェイ40のハードウェア構成の補足説明を行う。

【0187】

プロセッサ701、プロセッサ801及びプロセッサ901は、それぞれ、プロセッシングを行うIC(Integrated Circuit)である。

プロセッサ701、プロセッサ801及びプロセッサ901は、それぞれ、CPU(Central Processing Unit)、DSP(Digital Signal Processor)等である。

主記憶装置702、主記憶装置802及び主記憶装置902は、それぞれ、RAM(Random Access Memory)である。

補助記憶装置703、補助記憶装置803及び補助記憶装置903は、それぞれ、ROM(Read Only Memory)、フラッシュメモリ、HDD(Hard Disk Drive)等である。

通信装置704、通信装置804及び通信装置904は、それぞれ、データの通信処理を実行する電子回路である。

通信装置704、通信装置804及び通信装置904は、それぞれ、例えば、通信チップ又はNIC(Network Interface Card)である。

【0188】

また、補助記憶装置703には、OS(Operating System)が記憶されている。

そして、OSの少なくとも一部がプロセッサ701により実行される。

プロセッサ701はOSの少なくとも一部を実行しながら、第1の通信部11、第2の通信部12、ローカルステートマシン13及び実行制御部14の機能を実現するプログラムを実行する。

プロセッサ701がOSを実行することで、タスク管理、メモリ管理、ファイル管理、通信制御等が行われる。

【0189】

また、補助記憶装置803にも、OSが記憶されている。

10

20

30

40

50

そして、OSの少なくとも一部がプロセッサ801により実行される。

プロセッサ801はOSの少なくとも一部を実行しながら、通信部31、プリミティブステートマシン32及び実行制御部33の機能を実現するプログラムを実行する。

プロセッサ801がOSを実行することで、タスク管理、メモリ管理、ファイル管理、通信制御等が行われる。

【0190】

また、補助記憶装置903にも、OSが記憶されている。

そして、OSの少なくとも一部がプロセッサ901により実行される。

プロセッサ901はOSの少なくとも一部を実行しながら、第1の通信部41、第2の通信部42、ローカルステートマシン43及び実行制御部44の機能を実現するプログラム

10

を実行する。プロセッサ901がOSを実行することで、タスク管理、メモリ管理、ファイル管理、通信制御等が行われる。

【0191】

また、第1の通信部11、第2の通信部12、ローカルステートマシン13及び実行制御部14の処理の結果を示す情報、データ、信号値及び変数値の少なくともいずれかが、主記憶装置702、補助記憶装置703、プロセッサ701内のレジスタ及びキャッシュメモリの少なくともいずれかに記憶される。

また、第1の通信部11、第2の通信部12、ローカルステートマシン13及び実行制御部14の機能を実現するプログラムは、磁気ディスク、フレキシブルディスク、光ディスク、コンパクトディスク、ブルーレイ（登録商標）ディスク、DVD等の可搬記録媒体に格納されていてもよい。そして、第1の通信部11、第2の通信部12、ローカルステートマシン13及び実行制御部14の機能を実現するプログラムが格納された可搬記録媒体を流通させてもよい。

20

【0192】

また、第1の通信部11、第2の通信部12及び実行制御部14の「部」を、「回路」又は「工程」又は「手順」又は「処理」又は「サーキットリー」に読み替えてもよい。

また、入出力装置10は、処理回路により実現されてもよい。処理回路は、例えば、ロジックIC (Integrated Circuit)、GA (Gate Array)、ASIC (Application Specific Integrated Circuit)、FPGA (Field-Programmable Gate Array) である。

30

この場合は、第1の通信部11、第2の通信部12、ローカルステートマシン13及び実行制御部14は、それぞれ処理回路の一部として実現される。

【0193】

また、通信部31、プリミティブステートマシン32及び実行制御部33の処理の結果を示す情報、データ、信号値及び変数値の少なくともいずれかが、主記憶装置802、補助記憶装置803、プロセッサ801内のレジスタ及びキャッシュメモリの少なくともいずれかに記憶される。

また、通信部31、プリミティブステートマシン32及び実行制御部33の機能を実現するプログラムは、磁気ディスク、フレキシブルディスク、光ディスク、コンパクトディスク、ブルーレイ（登録商標）ディスク、DVD等の可搬記録媒体に格納されていてもよい。そして、通信部31、プリミティブステートマシン32及び実行制御部33の機能を実現するプログラムが格納された可搬記録媒体を流通させてもよい。

40

【0194】

また、通信部31及び実行制御部33の「部」を、「回路」又は「工程」又は「手順」又は「処理」又は「サーキットリー」に読み替えてもよい。

また、コントローラ30は、処理回路により実現されてもよい。処理回路は、前述のように、例えば、ロジックIC、GA、ASIC、FPGAである。

この場合は、通信部31、プリミティブステートマシン32、実行制御部33及び内部

50

値バッファ 34 は、それぞれ処理回路の一部として実現される。

【0195】

また、第1の通信部41、第2の通信部42、ローカルステートマシン43及び実行制御部44の処理の結果を示す情報、データ、信号値及び変数値の少なくともいずれかが、主記憶装置902、補助記憶装置903、プロセッサ901内のレジスタ及びキャッシュメモリの少なくともいずれかに記憶される。

また、第1の通信部41、第2の通信部42、ローカルステートマシン43及び実行制御部44の機能を実現するプログラムは、磁気ディスク、フレキシブルディスク、光ディスク、コンパクトディスク、ブルーレイ（登録商標）ディスク、DVD等の可搬記録媒体に格納されていてもよい。そして、第1の通信部41、第2の通信部42、ローカルステートマシン43及び実行制御部44の機能を実現するプログラムが格納された可搬記録媒体を流通させてもよい。

【0196】

また、第1の通信部41、第2の通信部42及び実行制御部44の「部」を、「回路」又は「工程」又は「手順」又は「処理」又は「サードパーティー」に読み替えてもよい。

また、ゲートウェイ40は、処理回路により実現されてもよい。処理回路は、前述のように、例えば、ロジックIC、GA、ASIC、FPGAである。

この場合は、第1の通信部41、第2の通信部42、ローカルステートマシン43及び実行制御部44は、それぞれ処理回路の一部として実現される。

【0197】

なお、本明細書では、プロセッサと処理回路との上位概念を、「プロセッシングサードパーティー」という。

つまり、プロセッサと処理回路とは、それぞれ「プロセッシングサードパーティー」の具体例である。

【符号の説明】

【0198】

10 入出力装置、10a 入出力装置(A)、10b 入出力装置(B)、11 第1の通信部、12 第2の通信部、13 ローカルステートマシン、14 実行制御部、15 内部値バッファ、16 状態属性テーブル、20 制御対象機器、30 コントローラ、31 通信部、32 プリミティブステートマシン、33 実行制御部、34 内部値バッファ、35 状態属性テーブル、40 ゲートウェイ、41 第1の通信部、42 第2の通信部、43 ローカルステートマシン、44 実行制御部、45 内部値バッファ、46 状態属性テーブル、51 内部ネットワーク、52 外部ネットワーク、60 制御システム、71 初期設定パケット、72 入力パケット、73 出力パケット、74 ローカル制御状況パケット、75 ローカル入力パケット、81 入力値信号、82 出力値信号、701 プロセッサ、702 主記憶装置、703 補助記憶装置、704 通信装置、711 初期設定パケット、721 入力パケット、722 入力パケット、731 出力パケット、732 出力パケット、741 ローカル制御状況パケット、801 プロセッサ、802 主記憶装置、803 補助記憶装置、804 通信装置、821 出力値信号、822 出力値信号、901 プロセッサ、902 主記憶装置、903 補助記憶装置、904 通信装置。

10

20

30

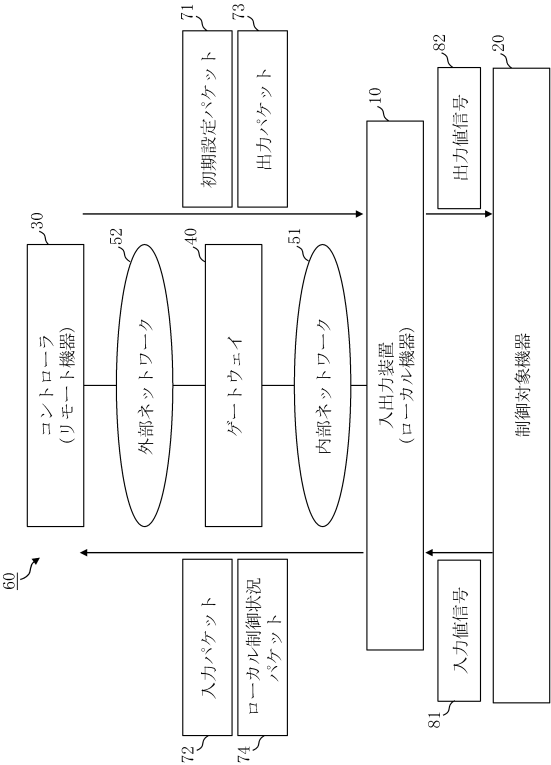
40

50

【図面】

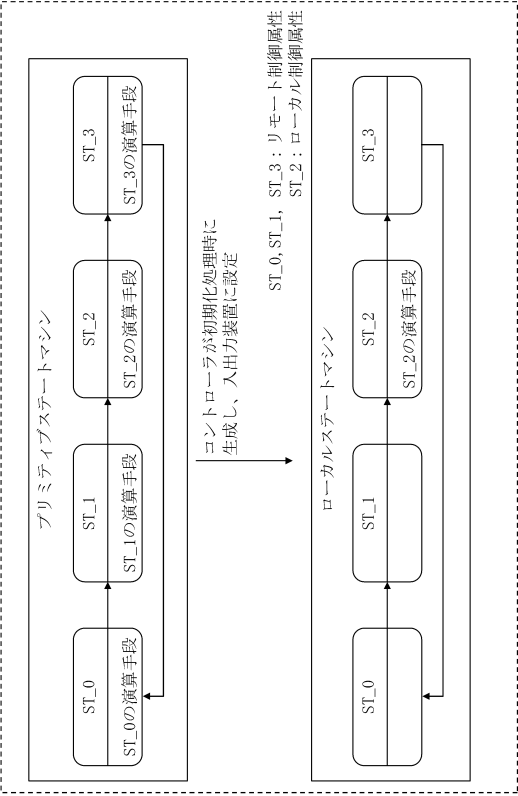
【図 1】

図 1



【図 2】

図 2



【図 3】

図 3

71

ヘッダ	状態属性テーブル	ローカルステート マシンプログラム	フッタ
-----	----------	----------------------	-----

【図 4】

図 4

ヘッダ		
入力値		フッタ

10

20

30

40

50

【図 5】

図 5

73				
ヘッダ	出力値	状態遷移先	共有内部値	フッタ

【図 6】

図 6

74			
ヘッダ	状態遷移先	共有内部値	フッタ

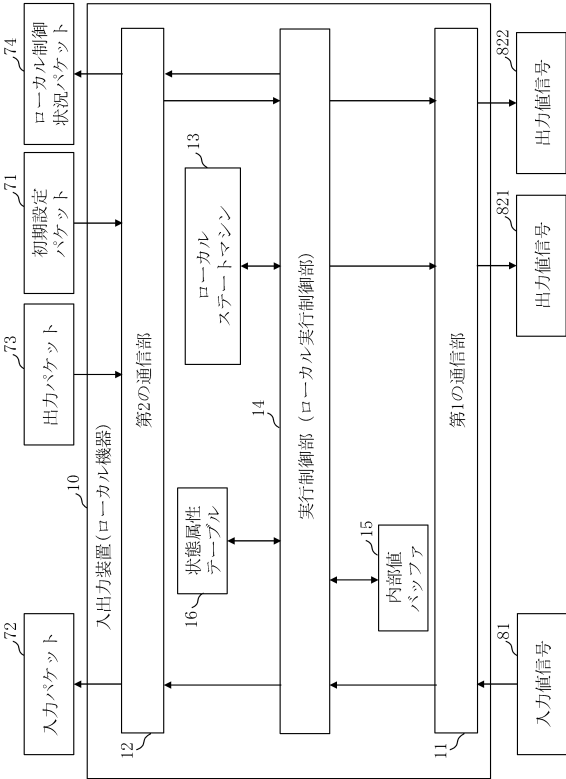
【図 7】

図 7

16, 35	
状態	属性
ST_0	リモート制御属性
ST_1	リモート制御属性
ST_2	ローカル制御属性
ST_3	リモート制御属性

【図 8】

図 8



10

20

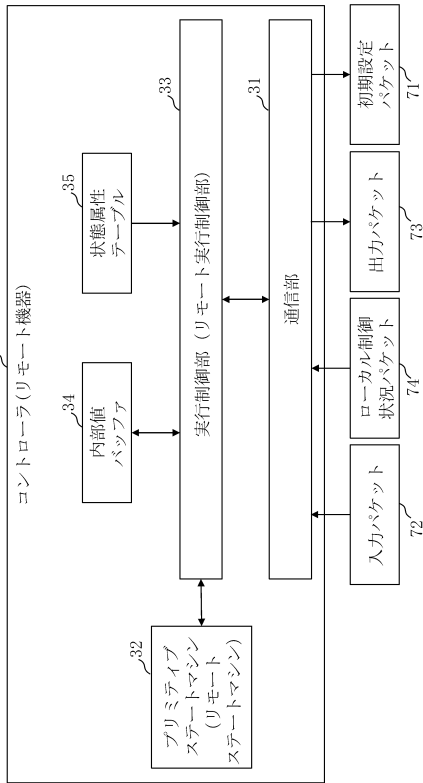
30

40

50

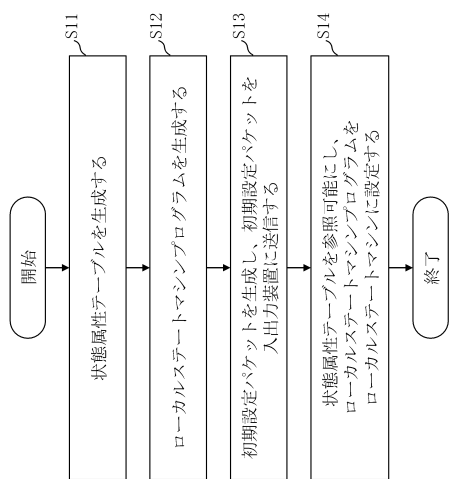
【図 9】

図 9



【図 10】

図 10

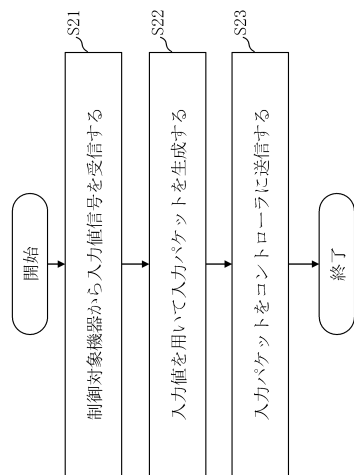


10

20

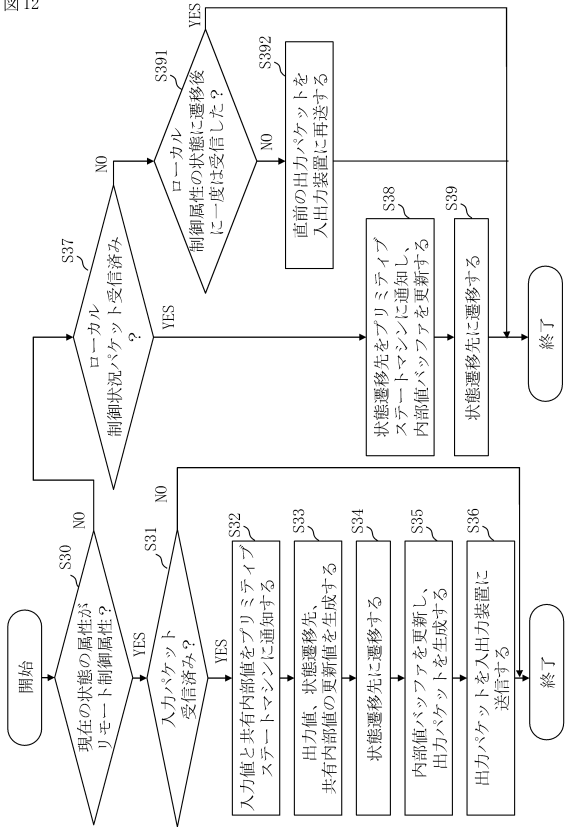
【図 11】

図 11



【図 12】

図 12



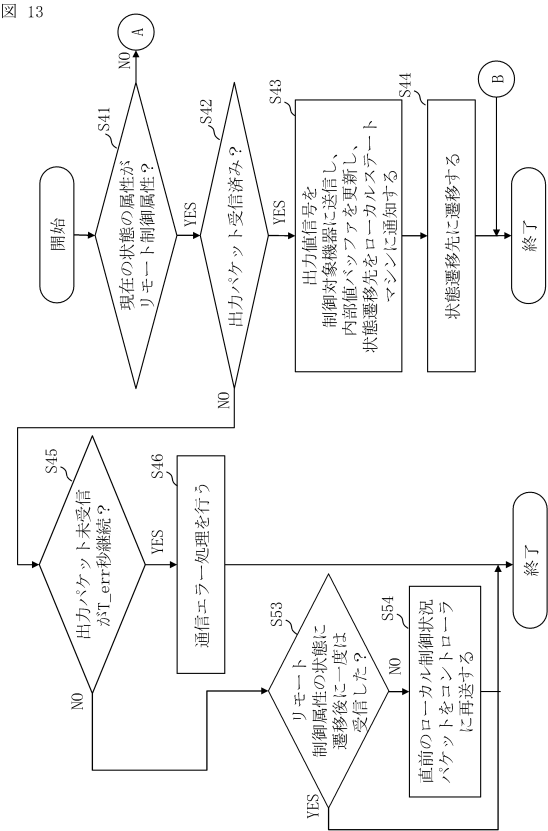
30

40

50

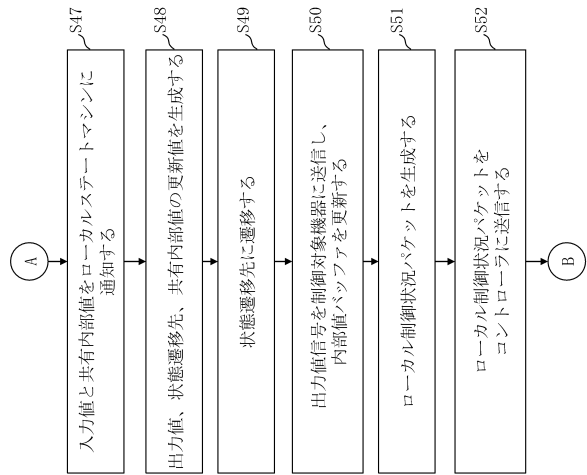
【図 13】

図 13



【図 14】

図 14

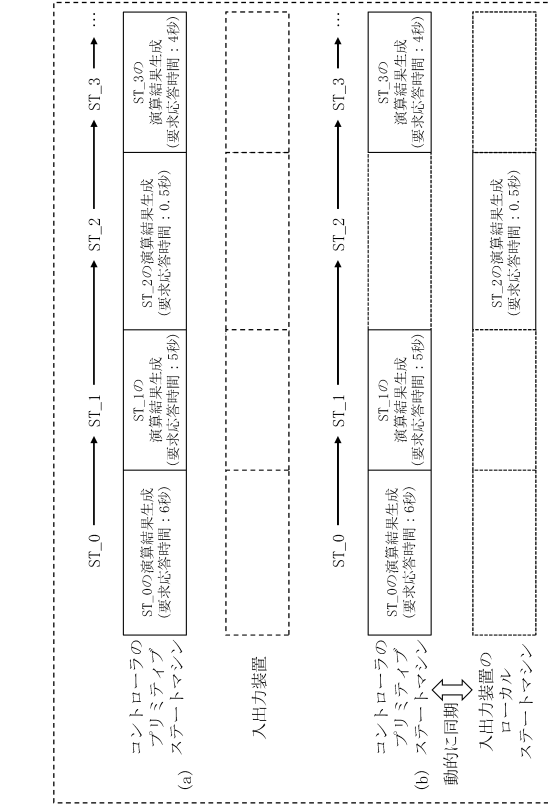


10

20

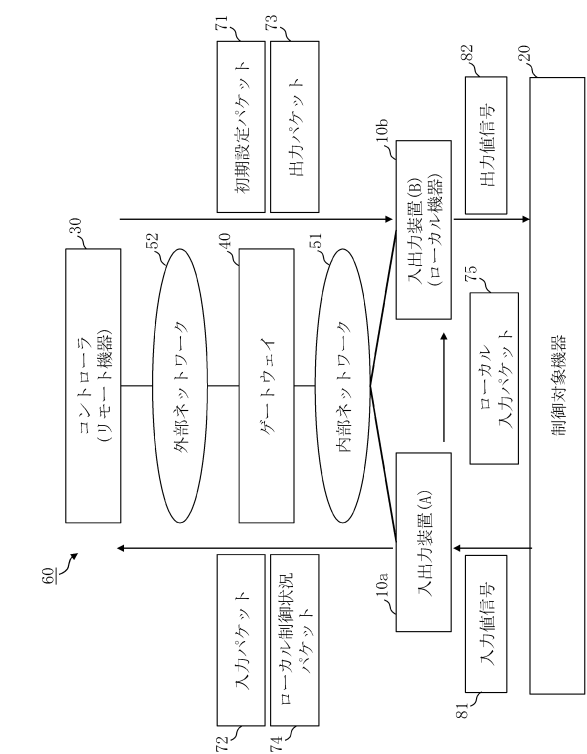
【図 15】

図 15



【図 16】

図 16



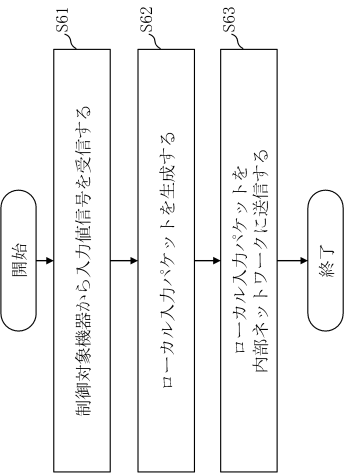
30

40

50

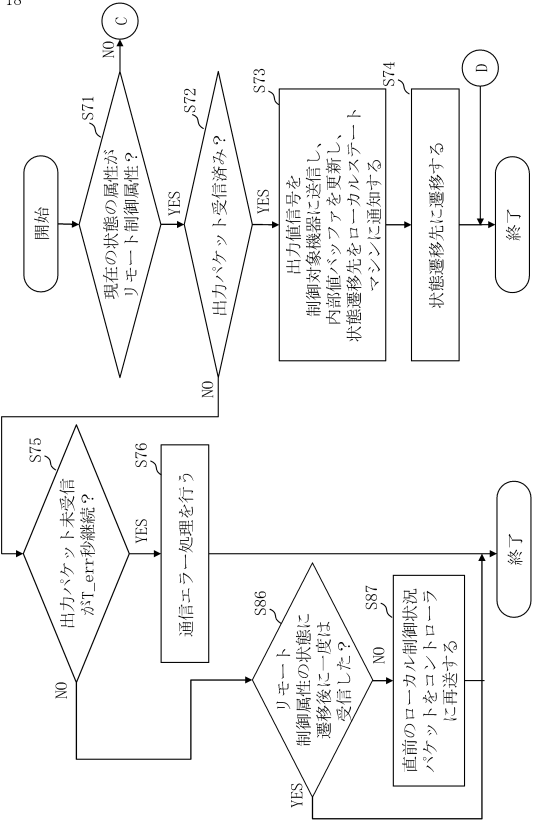
【図 17】

図 17



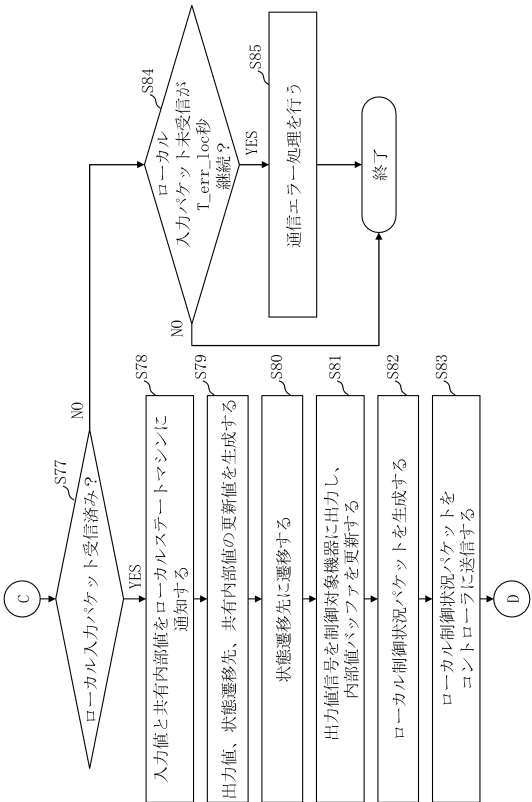
【図 18】

図 18



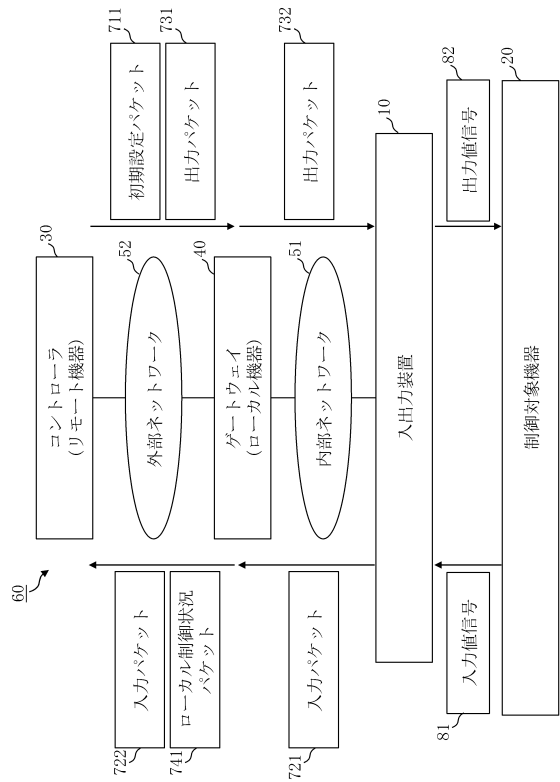
【図 19】

図 19



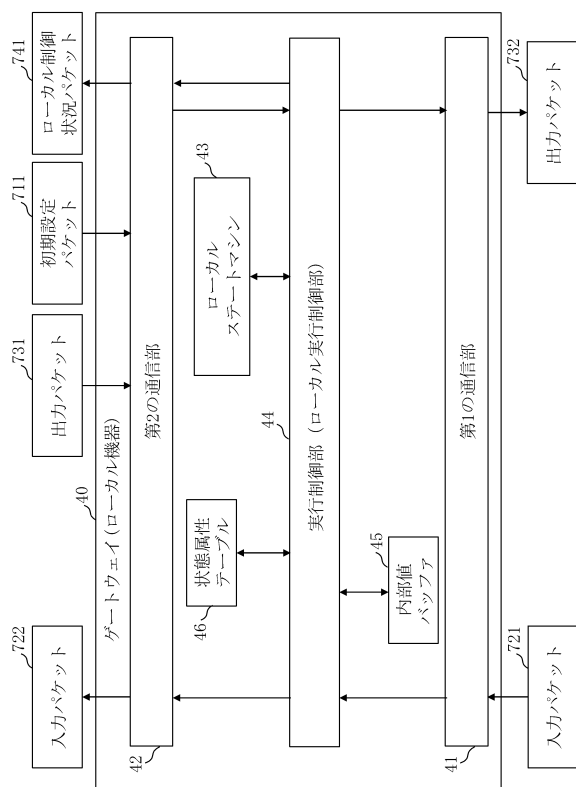
【図 20】

図 20



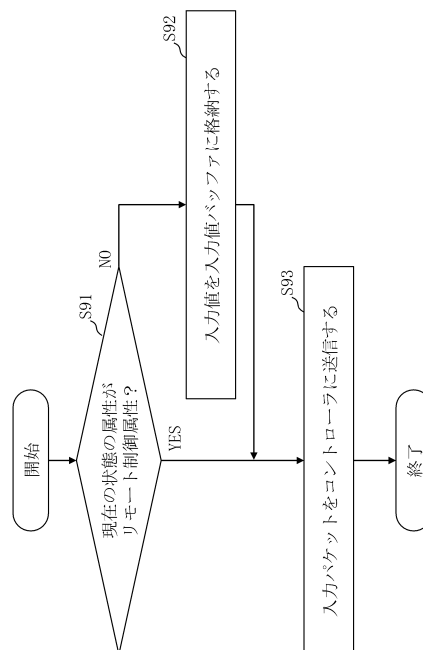
【図 2 1】

图 21



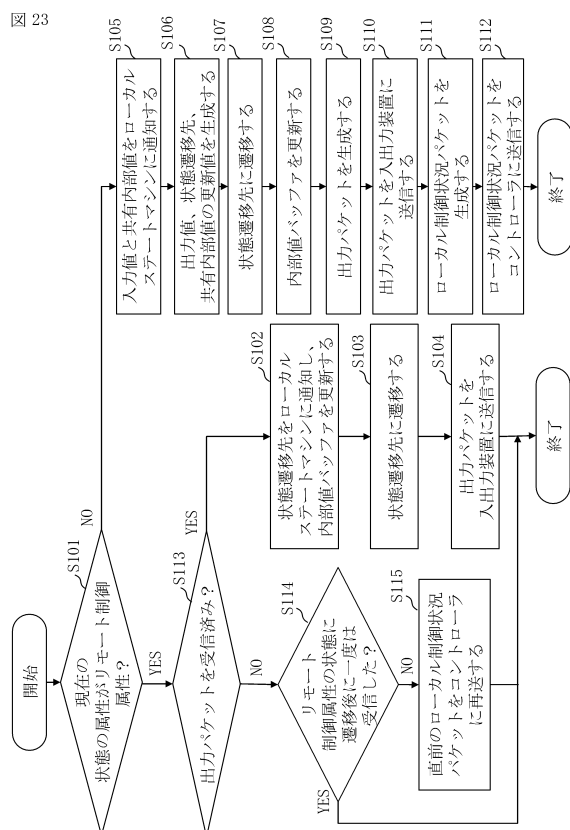
【図 22】

图 22



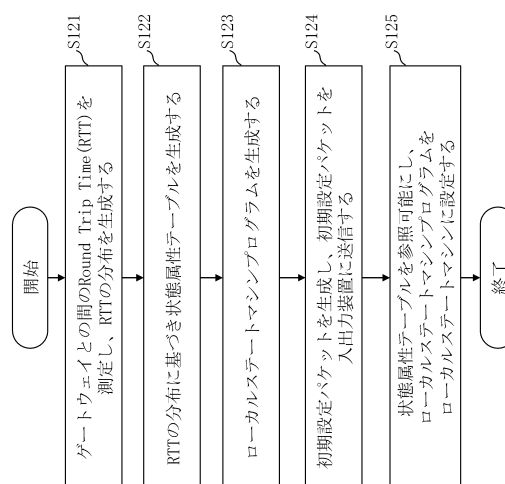
【図 23】

图 23



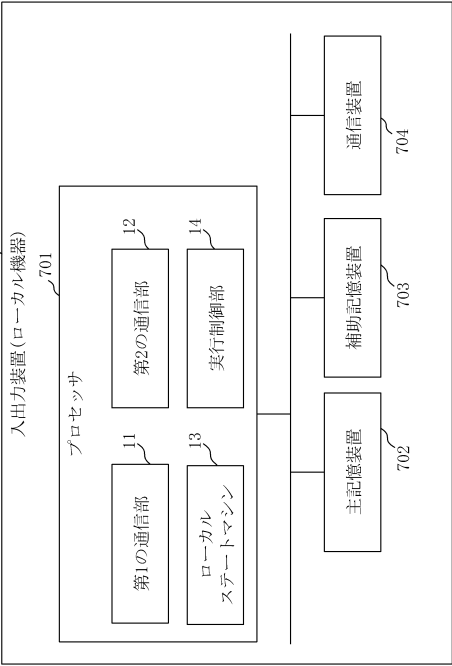
【図 24】

图 24



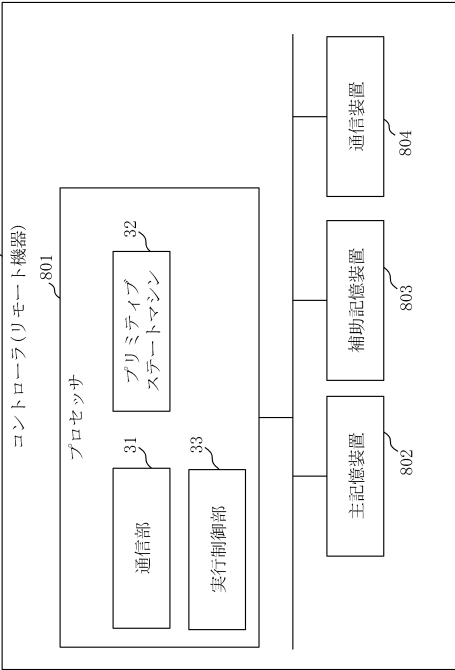
【図 2 5】

図 25



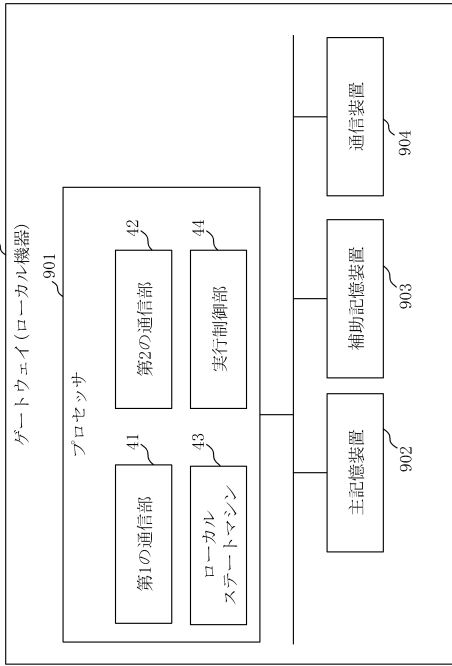
【図 2 6】

図 26



【図 2 7】

図 27



10

20

30

40

50

フロントページの続き

(56)参考文献 特開 2 0 0 9 - 2 2 4 8 5 2 (J P , A)
(58)調査した分野 (Int.Cl., D B 名)
H 0 4 L 6 7 / 0 0