

(19) 日本国特許庁(JP)

## (12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2011-79123  
(P2011-79123A)

(43) 公開日 平成23年4月21日(2011.4.21)

(51) Int.Cl.

B25J 13/00  
HO2P 5/46(2006.01)  
(2006.01)

F 1

B25J 13/00  
HO2P 5/46Z  
F

テーマコード(参考)

3C007  
5H572

審査請求 有 請求項の数 18 O L 外国語出願 (全 12 頁)

(21) 出願番号 特願2010-212360 (P2010-212360)  
 (22) 出願日 平成22年9月22日 (2010.9.22)  
 (31) 優先権主張番号 12/564,076  
 (32) 優先日 平成21年9月22日 (2009.9.22)  
 (33) 優先権主張国 米国(US)

(71) 出願人 505212049  
 ジーエム・グローバル・テクノロジー・オペレーションズ・インコーポレーテッド  
 アメリカ合衆国ミシガン州48265-3000, デトロイト, ルネッサンス・センター 300

最終頁に続く

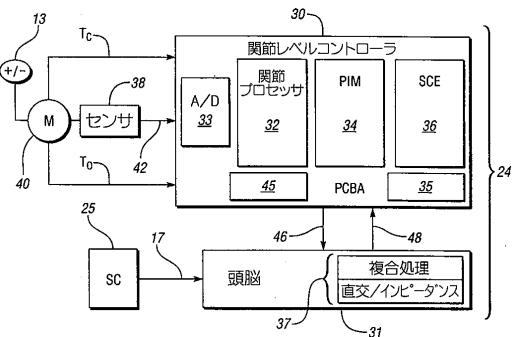
(54) 【発明の名称】ロボット関節のための統合高速トルク制御システム

(57) 【要約】 (修正有)

【課題】ロボットの関節の制御システムであって、高速トルクを達成し、かつノイズに強い制御システムを提供する。

【解決手段】並置関節プロセッサ及び高速通信バスを有する印刷回路基板アセンブリ(PCBA)30を含んでいる。PCBAは、また、パワーアンバータモジュール(PIM)34と、1つ以上のモータ位置センサからのセンサデータを処理するためのセンサ調整電子素子(SCE)36とを含んでいる。関節のモータのトルク制御は、高速トルクループとしてPCBAにより提供される。各関節プロセッサは、制御されるべきロボット関節内に組み込まれるか、又はそれに並置されている。関節プロセッサ、PIM、及び高速バスの並置により、制御システムの雑音イミュニティが増し、関節モータ40からのセンサデータの関節レベルの局所的処理により、各制御ノードに対する往復のバスケーブルを最短にすることができる。

【選択図】図2



## 【特許請求の範囲】

## 【請求項 1】

少なくとも 1 つのモータにより各々が駆動される複数の関節を有するロボットに使用される制御システムであって、

高レベル制御回路と、

関節プロセッサと、前記制御回路との調整されたデータ転送レートを提供する高速バスとを含む印刷回路基板アセンブリ (P C B A) と、  
を備え、

前記 P C B A は、高速フィードバックトルク制御ループを使用して少なくとも 1 つのモータのトルク出力を制御するように調整され、前記高レベル制御回路は、前記トルク出力の制御を行うことなく、ロボットの直交空間制御及びインピーダンスベースの制御の双方を提供することを特徴とする制御システム。

10

## 【請求項 2】

前記制御ループは、少なくとも概ね 10 K H z であることを特徴とする請求項 1 に記載の制御システム。

## 【請求項 3】

前記少なくとも 1 つの関節は、関節の位置及びトルクをアナログ信号として判定するよう構成された複数の位置センサを含み、前記 P C B A は、前記アナログ信号をデジタル信号に変換し、またそのデジタル信号を前記関節プロセッサに伝えるように調整された変換器チップを含んでいることを特徴とする請求項 1 に記載の制御システム。

20

## 【請求項 4】

前記 P C B A は、ロボット内に組み込まれ、その P C B A により制御されるべき関節に並置されていることを特徴とする請求項 1 に記載の制御システム。

## 【請求項 5】

前記関節プロセッサは、フィールドプログラマブルゲートアレイ (F P G A) を含んでいることを特徴とする請求項 1 に記載の制御システム。

## 【請求項 6】

前記 F P G A は、複数の処理チップを含んでおり、前記 P C B A は、概ね  $130 \text{ W/in}^2$  から概ね  $400 \text{ W/in}^2$  の定常状態出力密度を有していることを特徴とする請求項 5 に記載の制御システム。

30

## 【請求項 7】

トルク出力の制御を行うことなく、ロボットの直交空間制御及びインピーダンスベースの制御の双方を提供するように調整された制御回路を有するロボットにおけるモータ駆動関節のトルク出力を制御するための印刷回路基板アセンブリ (P C B A) であって、

関節プロセッサと、

前記 P C B A と高レベル制御回路との間の調整されたデータ転送レートを提供する高速バスと、  
を備え、

前記モータ駆動関節は、少なくとも 1 つの関節モータにより駆動され、前記 P C B A は、少なくとも概ね 10 K H z の制御ループにおいて、前記少なくとも 1 つの関節モータのフィードバックベースのトルク制御を提供するように調整されていることを特徴とする P C B A。

40

## 【請求項 8】

前記 P C B A は、概ね  $130 \text{ W/in}^2$  から概ね  $400 \text{ W/in}^2$  の定常状態出力密度を有していることを特徴とする請求項 7 に記載の P C B A。

## 【請求項 9】

D C リンク電圧を、前記少なくとも 1 つの関節モータが使用することができるよう励起波形に変換するためのパワーインバータモジュール (P I M) を更に備えることを特徴とする請求項 7 に記載の P C B A。

## 【請求項 10】

50

複数のモータ駆動関節の1つに対応するモータの位置を少なくとも記述する一組の信号を処理するように調整されたセンサ調整電子素子（SCE）を更に備えることを特徴とする請求項7に記載のP C B A。

【請求項11】

前記P C B Aは、複数のモータ駆動関節のうちの対応する1つに並置されていることを特徴とする請求項7に記載のP C B A。

【請求項12】

前記P C B Aは、少なくとも300MHzの処理速度を各々が有する複数の搭載プロセッサを伴うフィールドプログラマブルゲートアレイ（FPGA）を含んでいることを特徴とする請求項7に記載のP C B A。

10

【請求項13】

前記P C B Aは、浮動小数点仕様であり、前記P C B Aは、少なくとも512MBの不揮発性メモリと、少なくとも64MBの揮発性メモリも含んでいることを特徴とする請求項12に記載のP C B A。

【請求項14】

前記高速バスは、出力データストリームをシリアル化し、前記データストリームを、調整されたデータ転送レートで前記制御回路に送るように構成されたシリアルバスであることを特徴とする請求項7に記載のP C B A。

【請求項15】

複数の関節モータと、

20

前記複数の関節モータの少なくとも1つにより各々が駆動される複数のモータ駆動関節と、

制御システムと、

を備えたロボットであって、

前記制御システムは、

高レベル制御回路と、

プロセッサと、前記高レベル制御回路との間の調整されたデータ転送レートを提供する高速バスとを含む印刷回路基板アセンブリ（P C B A）と、

を備え、

前記P C B Aは、少なくとも概ね10KHzのフィードバック制御ループを使用して前記複数の関節モータのうちの対応する1つのトルク出力を制御するように調整され、前記高レベル制御回路は、前記トルク出力の制御を行うことなく、ロボットの直交空間制御及びインピーダンスベースの制御の双方を提供することを特徴とするロボット。

30

【請求項16】

前記モータの位置をアナログ信号として判定するように構成された位置センサを更に備え、前記P C B Aは、前記アナログ信号をデジタル信号に変換し、前記デジタル信号を前記関節プロセッサに送るように調整された変換器チップを含んでいることを特徴とする請求項14に記載のロボット。

【請求項17】

前記P C B Aは、そのP C B Aにより制御されるべき関節内に位置付けされていることを特徴とする請求項14に記載のロボット。

40

【請求項18】

前記プロセッサは、フィールドプログラマブルゲートアレイ（FPGA）を含んでいることを特徴とする請求項14に記載のロボット。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

[0001]連邦政府により後援された研究又は開発に関する陳述

本発明は、NASAスペースアクトアグリーメント（Space Act Agreement）第SAA-AT-07-003号に基づいて、政府の支援によりなされたものである。政府は、この発明に関し、

50

いくつかの権利を有する。

【0002】

[0002]本発明は、ロボットの制御に関し、特に、1つ以上のロボット関節の高速トルク制御を提供する電子制御システムに関する。

【背景技術】

【0003】

[0003]ロボットは、一連の硬質リンクを使用して物体を操作できる自動又は自律機器であり、そしてその硬質リンクは、咬合節、又はモータ駆動のロボット関節を介して相互接続されている。典型的なロボットにおける各関節は、少なくとも1つの独立制御変数で表現でき、それはまた自由度(DOF)とも称される。エンドエフェクタは、手でタスクを実行する、例えば作業工具又は物体を掴むために使用される特別なリンクである。故に、ロボットの正確な動作制御は、タスク仕様のレベル、すなわち、ロボットによる単独把持又は協働把持において保持される物体の振る舞いを制御する能力を記述する物体レベル制御、エンドエフェクタ制御、及び関節レベル制御、により組織化される。集約すれば、各種制御レベルは、協働し、要求されたロボット動作や器用な作業、及びタスク関連機能性を遂行する。

10

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

[0004]特にヒューマノイドロボットというのは、全身、胸部、及び/又は外肢に拘わらず、概ね人間の構造又は外見を有するロボットのことであり、そのヒューマノイドロボットの構造的複雑さというのは、主に、遂行されるべき作業タスクの質に依存する。人間の使用のために特別に作られた機器又はシステムによる直接的な相互作用が必要な場合には、ヒューマノイドロボットを使用することが好ましい。ヒューマノイドロボットに期待される作業タスクの広範性により、異なる制御モードが同時に必要となることもある。例えば、負荷トルク又は力、動き、及び各種把持タイプに対する制御と同様、上記の異なる空間内で、正確な制御が行われることも必要となる。

20

【課題を解決するための手段】

【0005】

[0005]しかして、ロボットに使用される電子制御システムが提供される。その制御システムは、ロボットと共に使用されるように提供される。制御システムは、1つ以上の電気モータと、必要に応じてギア減速アセンブリとを有するロボット関節のための高速トルク制御ループを確立する。本発明の範囲においては、制御システムは、ロボット関節に並置され、及び/又はロボット関節内に組み込まれる印刷回路基板アセンブリ(PCBA)の形態の専用プログラマブル論理デバイス又は関節プロセッサを含んでおり、特定のロボット関節を駆動する(複数の)モータ又は(複数の)アクチュエータのトルク出力を制御する。一実施形態においては、関節プロセッサは、全体のプログラミングフレキシビリティを最適化するために、1つ以上のフィールドプログラマブルゲートアレイ(FPGA)ベースのプロセッサ、例えば一実施形態においては300MHzプロセッサ、を含んでいるが、関節プロセッサは、それには限定されない。

30

【0006】

[0006]加えて、PCBAは、パワーインバータモジュール(PIM)、高速通信バス、及び局所的センサ調整電子素子(SCE)と共に、ロボット全体の正確な動き制御を遂行する各種制御アルゴリズムを処理して実行するための十分なメモリを有している。これらの素子の全ては、以下に記述するように、単一のPCBAに対して並置されている。PCBAは、高出力密度を有しており、それは一実施形態によれば、概ね130W/in<sup>2</sup>から概ね400W/in<sup>2</sup>である。従って、高速トルク制御ループが提供され、それは一実施形態によれば、概ね10KHzから概ね30KHzであり、もしくは、ロボット関節内に組み込まれたモータの正確なフィードバック制御を保証するに十分な値である。

40

【0007】

50

[0007]ロボット制御回路は、雑音イミュニティを増大させ、必要なコネクタ及びケーブルを最少にすると共に、必要なパッケージスペースの十分な削減を実現するために、単一のP C B A内に全てが集積されている。高速通信バスは、例えば概ね50MHzから概ね100MHzのビット転送レートを有し、十分待ち時間を減らすことができる、すなわち、特定の相手への情報又はデータのパケットの転送に関する遅延を少なくすることができるマルチドロップ高速通信バス機器として構成されており、それにより現状の、及び進展した制御戦略への将来の拡張を可能にしつつ、制御システムの最適なロバスト性を保証している。

#### 【0008】

[0008]モータトルク制御ループの周波数を最大にするために、いくつかの処理機能が、要求される関節協働制御から分離される。関節レベル制御は、制御されるべきロボット関節のところに、又はそれに近接してロボット内に組み込まれた関節プロセッサにより実行される。関節プロセッサは、より従来の方法で関節モータに供給される電圧源指令に対抗するようにモータ電流に指令する高速トルクフィードバックループを実現できる。モータトルク指令及び関節センサデータは、任意のロボット関節に並置された、又はその内部に組み込まれた専用関節プロセッサを使用して、関節レベルで、処理されてフィルタ処理される。

#### 【0009】

[0009]一実施形態において、関節プロセッサは、各DOFに専用である。すなわち、2つのDOFを有している関節は、一対の関節プロセッサを有している。他の実施形態においては、複数のDOFは、単一のP C B Aにより制御されており、それにより必要な回路のいくつかは複製されている。上記のように、P I Mは、またP C B A上において、関節プロセッサに対して並置されている。その結果、モータセンサデータの局所的又は関節レベルの処理が、P C B A上で提供され、それにより各制御ノードに対する往復のバスケーブルの量を最少にすることができ、データ化けを起こすような電磁気的障害を減らす。

#### 【0010】

[0010]特に、制御システムは、少なくとも1つの専用モータ又は他のアクチュエータにより各々が駆動される複数のモータ駆動関節を有している。制御システムは、各種関節の動きを協働させるための高レベル制御回路又は頭脳と、上記の複数の組込みP C B Aを含んでいる。関節コントローラとして実現されるP C B Aは、1つ以上の関節プロセッサと、頭脳とのデータ転送の調整された速度を提供する高速バスとを備えている。P C B Aは、高速フィードバックトルク制御ループを使用して関節モータのトルク出力を制御するが、その制御ループは、特定に実施形態によれば、少なくとも概ね10KHzである。高レベル制御回路は、関節モータのトルク出力の制御を行うことなく、直交制御又は直交空間における制御と、ヒューマノイドロボットのインピーダンスベースの制御の双方を提供する。

#### 【0011】

[0011]ロボットのモータ駆動関節のトルク出力を制御するために、P C B Aの形態の関節コントローラが提供される。ロボットは、ロボット設計に適したヒューマノイドロボット又は他のロボットとして構成されており、モータのトルク出力を制御することなく、ロボットの直交制御及びインピーダンスベースの制御の双方を提供する高レベル制御回路を含んでいる。P C B Aは、関節プロセッサと、高レベル制御回路とのデータ転送の調整された速度を提供する高速シリアルバスとを備えている。P C B Aは、少なくとも概ね10KHzの制御ループにおける関節モータのフィードバックベースのトルク制御を提供する。

#### 【0012】

[0012]ロボットは、少なくとも1つの対応する関節モータにより各々が駆動される複数のロボット関節と、上述のように高レベル制御回路及びP C B Aを有する制御システムを備えている。P C B Aは、プロセッサ及び高速バスを備えており、また、P I Mと、各種モータセンサからのアナログ信号を処理するためのセンサ調整電子素子(S C E)とを備

10

20

30

40

50

えている。高速バスは、P C B A と高レベル制御回路との間のデータ転送の調整された速度を提供している。P C B A は、少なくとも概ね 1 0 K H z のフィードバック制御ループを使用して関節モータのトルク出力を制御するように調整されおり、一方、高レベル制御回路は、トルク出力の制御を行うことなく、ロボットの直交制御及びインピーダンスベースの制御の双方を提供している。

【 0 0 1 3 】

[0013]本発明の上記特徴及び利点並びに他の特徴及び利点は、添付図面との関連で考慮すると、発明を実行するベストモードの以下の詳細記述から容易に明らかとなる。

【 図面の簡単な説明 】

【 0 0 1 4 】

【 図 1 】[0014]図 1 は、ロボットの概略図である。

【 図 2 】[0015]図 2 は、図 1 に示されたロボットに使用できる電子制御システムの概略図である。

【 発明を実施するための形態 】

【 0 0 1 5 】

[0016]これから参照する図面においては、複数の図を通して、同様の参照番号は、同一の又は類似の構成を意味している。図 1 は、多重の自由度 ( D O F ) をもって 1 つ以上のタスクを遂行するように調整された器用なロボット 1 0 を示している。一実施形態によれば、ロボット 1 0 は、限定するわけではないが、肩関節 ( 矢印 A ) 、肘関節 ( 矢印 B ) 、手首関節 ( 矢印 C ) 、首関節 ( 矢印 D ) 、及びウエスト関節 ( 矢印 E ) 、そして更に各ロボット指 1 9 の指骨の間に位置する各種指関節 ( 矢印 F ) のような、複数の独立に、かつ相互依存的に可動できるロボット関節を有するように示されているヒューマノイドロボットとして構成されている。

【 0 0 1 6 】

[0017]ロボット 1 0 は、頭 1 2 、胴 1 4 、ウエスト 1 5 、腕 1 6 、手 1 8 、指 1 9 、及び親指 2 1 を含んでおり、上記各種関節はそれらの内部又はそれらの間に配設されている。ロボット 1 0 は、その特定の応用又は意図的な使用に応じて、脚、トレッド ( 踏面 ) 、又は他の可動もしくは固定ベースのような、タスクに適した固定部又はベース ( 図示せず ) を有している。電源 1 3 は、ロボット 1 0 に一体的に搭載されることができ、例えば、充電可能バッテリパックが胴 1 4 の背面に取り付けられたり、背負われたりし、また他の適したエネルギー供給源であってもよく、それにより各種関節が動かせるように、それらに十分な電気的エネルギーが供給される。

【 0 0 1 7 】

[0018]各ロボット関節は、1 以上の D O F を有している。例えば、肩関節 ( 矢印 A ) 及び肘関節 ( 矢印 B ) のようないくつかの関節は、あおり及び回転というような少なくとも 2 つの D O F を有している。同様に、首関節 ( 矢印 D ) は、少なくとも 3 つの D O F を有しており、一方、ウエスト及び手首 ( それぞれ矢印 E 及び C ) は、1 以上の D O F を有している。タスクの複雑さに応じて、ロボット 1 0 は、4 0 を超える D O F をもってして動作する。簡略化のため図 1 には示されていないが、各ロボット関節は、例えば、関節モータ、リニアーアクチュエータ、ロータリーアクチュエータ等の 1 つ以上のアクチュエータを含んでおり、それらにより駆動される。

【 0 0 1 8 】

[0019]分配制御システム ( C ) 2 4 は、片手又は両手 1 8 の指 1 9 及び親指 2 1 により掴まれる物体 2 0 の正確かつ全体的な動き及び操作に対する制御のような、ロボット 1 0 による正確な動き制御を提供する。制御システム 2 4 は、他の関節と隔絶して各関節を制御でき、また、複雑な作業タスクを遂行するにあたり、複数の関節の動作を協働させることができる。

【 0 0 1 9 】

[0020]制御システム 2 4 は、多重デジタルコンピュータ又はデータ処理機器を含んでおり、その各々は、1 つ以上のマイクロプロセッサ又は中央処理ユニット ( C P U ) 、リ-

10

20

30

40

50

ドオンリーメモリ (ROM)、ランダムアクセスメモリ (RAM)、電気的書換え可能プログラマブルリードオンリーメモリ (EEPROM)、高速クロック、アナログ/デジタル (A/D) 回路、デジタル/アナログ (D/A) 回路、及び、必要な入出力回路及び機器を有しており、また、信号調整及びバッファー電子素子を有している。制御システム 24 内にあるか、またはそれにより容易にアクセス可能な個々の制御アルゴリズムは、ROM に格納されており、1 以上の異なる制御レベルで自動的に実行され、それによりそれぞれの制御機能性が提供される。

## 【0020】

[0021] 図 1 をもう少し参照し、制御システム 24 は、ロボット 10 に対して、ユーザーが直観的プログラミングや動作的アクセスできるようなユーザーインターフェース 22 を含んでいる。例えば、ユーザーインターフェース 22 は、ロボット 10 に対する制限された制御ではあるが、機能的オプションの直観的又はメニュー駆動型の一連オプションをオペレータに提供するグラフィカルユーザーインターフェース (GUI) を含んでいる。ユーザーインターフェース 22 は、また、ロボットの核となる制御コードを変更する権限を有する技術者、プログラマー、又は他の制限的個人による、ロボット 10 へのプログラムによるアクセスを提供する専用インターフェースを含んでいる。

## 【0021】

[0022] 図 2 を参照すると、関節用モータ (M) 40 又は他の関節レベルアクチュエータの正確なトルク制御のための制御システム 24 は、複数の関節レベルコントローラを含んでおり、その各々は、プリント回路基板アセンブリ (PCBA) 30 の形態をしている。簡略化のため、図 2 では、PCBA 30 は一つだけ描かれている。しかしながら、上記のように、図 1 のロボット 10 は、複数の PCBA を有しており、各 PCBA は、特定の構成に応じて、1 以上の DOF の制御に対して専用となっている。例えば、肩回転関節のように 1 つのモータ又はアクチュエータを利用するものもあれば、1 DOF に対してリンクされた複数のモータを使用するものもあり、また手首関節は、2 DOF に 2 つのモータを当て、一方、指 19 又は親指 21 の腱駆動関節のように、1 DOF に対して 2 以上のモータ又はアクチュエータが必要となるものもある。フレキシブルな腱は、押すことができないので、腱駆動関節は、引っ張って開いたり閉じたりしなければならず、従って、複数の関節モータを使用することとなる。

## 【0022】

[0023] 制御システム 24 は、制御回路 31 を含んでおり、それは図 1 に示したロボット 10 又は別個の機器内に物理的に埋め込まれる。回路 31 は、図 2 においては、各 PCBA 30 の機能と比較してその機能が異なるという意味で、“頭脳”とラベル付けされている。本発明の範囲においては、制御回路 31 は、最上位コントローラ又はシステム指令部 (SC) 25 からのタスクベースの制御入力信号 (矢印 17) を受け取る。その制御入力信号 (矢印 17) に応答して、頭脳又は制御回路 31 は、どの関節又はそれらの組み合わせが起動して要求されたアクション又はタスクを実行するかを決定する。制御回路 31 は、例えば、直交制御、関節及びエフェクタレベルインピーダンスベースの制御等の各種アルゴリズムを使用して、タスクを実行するよう要求された関節の動きを調整する。実際のセンサ処理、調整処理、フィルタ処理、及びトルク決定は、複数の PCBA 30 を使用して関節レベルで局所的に行われ、算出された値は、関節信号の組 (矢印 46) として制御回路 31 に送られる。

## 【0023】

[0024] 当業者であれば理解できるように、PCBA は、限定はされないが以下に詳細に挙げるような各種チップ並びに他の電子転送及び処理コンポーネントを固定して相互に接続する概ね硬質多層回路基板である。適切な回路基板製造技法は、この技術分野では知られており、各信号層の間の要求される電力供給及び接地の面の間隔空け及び相互接続と同様、熱層の使用についても十分に考察している。かかる技法は、図 2 に示すように、単一の PCBA 上に多数の処理素子を統合するときに、特に重要となってくる。

## 【0024】

10

20

30

40

50

[0025]本発明のP C B A 3 0は、制御回路3 1と高速シリアル通信が行えるように配置される。P C B A 3 0は、特に任意の関節モータ4 0のトルク出力の局所的フィードバック制御により、図1のロボット1 0の対応する関節又は近くに位置する関節に対する低レベルの動き制御を提供する。その名前が暗示するように、関節モータ4 0は、各ロボット関節（例えば、図1の矢印A - F）内に位置付けされ、P C B A 3 0により起動され、それにより必要なモータトルクを生成し、結果的に、対応するロボット関節が動く。一実施形態によれば、P C B A 3 0に電力を供給する電源1 3は、9 6 V / 4 0 Aの直流(D C)機器であるが、本発明の意図した範囲を逸脱することなく、他の電源も使用できる。

【0 0 2 5】

[0026]頭脳又は制御回路3 1は、C P U 3 7を使用して要求された高レベルの制御、すなわち、複雑なデータ処理機能性、直交座標位置付け、及び/又は図1のロボット1 0のインピーダンスベースの動き制御を提供する。P C B A 3 0の構成及び位置付け、並びに高レベル制御回路3 1とのシリアルデータ通信により、任意のロボット関節内で要求されるギア減速アセンブリに加えて、関節モータ4 0に対する相対的に高速の正確なトルク制御を提供する。

【0 0 2 6】

[0027]P C B A 3 0上では、関節プロセッサ3 2は、パワーインバータモジュール(P I M)3 4と、メモリ4 5と、センサ調整電子素子(S C E)3 6と、強化された雑音イミュニティ(余裕)と共に、強化された電子素子パッケージ効率を提供するための高速シリアル通信バス3 5と共に並置されている。例えば、関節プロセッサ3 2、P I M3 4、及びS C E3 6は、一実施形態においては、概ね1 5平方インチ以下の表面積を有する単一P C B A上に、並置され、又は搭載されている。P I M3 4は、D Cリンク電圧を、制御されるべき特定の関節モータのための適用励磁波形に変換するように調整されている。他の実施形態においては、関節プロセッサ3 2は、ロボット1 0の各関節内に、又はそれに近接して置かれている任意のモータ4 0のトルク出力(矢印T<sub>o</sub>)を制御するように調整されている。P C B A 3 0は、高出力密度及び高処理出力を有している。一実施形態においては、P C B A 3 0の定常状態出力密度は、概ね1 3 0 W / i n<sup>2</sup>であり、概ね4 0 0 W / i n<sup>2</sup>のピークを有している。

【0 0 2 7】

[0028]関節プロセッサ3 2は、フィールドプログラマブルゲートアレイ(F P G A)の形態の集積回路を有している。一実施形態においては、F P G Aは、一対のパワーP C(PowerPC)又は他の適当な処理モジュール、例えば、3 0 0 M H z以上の処理速度、浮動小数点演算処理、少なくとも5 1 2 M Bの不揮発性メモリ、及び少なくとも6 4 M Bの揮発性メモリ、を含んでいる。プロセッサモジュールは、当業者には理解できる言葉であるが、ハードコア又はソフトコアのいずれであってもよい。

【0 0 2 8】

[0029]また、当業者に理解できるように、F P G Aは、機能がプログラム可能である“セル”又は“論理ブロック”と呼ばれる汎用論理回路の二次元アレイを含む集積回路である。F P G Aは、構築可能な論理ブロック(C L B)、入力/出力(I / O)ブロック、プログラマブル相互接続素子等を含んでいる。C L Bは、特別な組み合わせ又はシーケンシャル回路として振る舞うようにプログラムされる。各C L Bは、構築可能論理素子のブロックと、対応するプログラマブルルーティングリソースを含んでいる。

【0 0 2 9】

[0030]頭脳/高レベル制御回路3 1は、高速バス3 5を介してP C B A 3 0と通信できる状態となっている。任意の関節モータ4 0の正確な関節レベル制御、すなわち、P C B A 3 0による特定関節のD O Fのトルク出力(矢印T<sub>o</sub>)の制御、は、概ね1 0 K H zから概ね3 0 K H z以上の比較的高いフィードバックループレートで、指定されたD O Fに対して、各P C B A上で局所的に行われ、従って、頭脳/回路3 1による実行のための高レベル直交空間、並びにインピーダンスベースの関節調整及び制御が保持される。制御回路3 1からP C B A 3 0の各々へのデータ出力(矢印4 8)は、モータトルク制御機能性

10

20

30

40

50

を過度に損なうことなく、概ね 400 Hz 以下の低いレートで維持される。つまり、頭脳 / 回路 31 上の処理パワーは、局所的な関節制御を、図 1 に示したロボット 10 の腕 16 又は腕 14 に組み込まれた個々の P C B A 30 のような組み込み関節レベルプロセッサに任せることにより、自由に使えるようになる。

#### 【 0 0 3 0 】

[0031] レゾルバ、角度センサ等のセンサ 38 は、電気的に関節モータ 40 に接続され、一連の弾性アクチュエータにおけるモータの回転部の角度位置及び / 又はあるのであればね部の撓みを計測し、そのセンサデータ ( 矢印 42 ) を、同様に関節レベルコントローラ又は P C B A 30 上に搭載されたアナログ / デジタル ( A / D ) 変換器 33 にアナログ形式で送る。モータ 40 のトルク出力 ( 矢印 T<sub>o</sub> ) は、関節プロセッサ 32 による処理のためのフィードバックとして P C B A 30 に渡される。トルク指令 ( 矢印 T<sub>c</sub> ) は、上記のような一実施形態によれば、P C B A 30 により、概ね 10 KHz から概ね 30 KHz までの十分な高速レートを有する制御ループで、モータ 40 に送られる。

10

#### 【 0 0 3 1 】

[0032] 当業者であれば認識できるように、従来のロボット制御システムは、中央のプロセッサを使用し、全直交制御、位置制御、及びロボットセンサ処理のための多軸処理制御を行う。中央のプロセッサは、モータの蓄積された相対シャフト位置を表す、FPGA コミュータからの情報パケットを受け取る。この情報をを利用して、中央のプロセッサは、通常、多くの異なる軸の各々のための位置制御ルーチンを実行し、直交計算を行い、必要とされる他のセンサデータを処理する。この構成により、例えば概ね 400 Hz の比較的低いモータ制御ループレートとなる。

20

#### 【 0 0 3 2 】

[0033] 故に、関節モータ 40 の制御のための制御ループレベルを部分的に最大化するために、本制御システム 24 は、高レベル及び低レベルの制御機能性を分離し、高速シリアルバス 35 を利用して、データ転送の高速化を図れるようにしている。各ロボット関節における低レベル制御は、モータ 40 への通信指令にのみに対立するものとしてのモータトルクループから成る。トルク指令は、関節レベルにおいて関節プロセッサ 32 により処理されるが、その関節プロセッサは、各関節に並置されている。

30

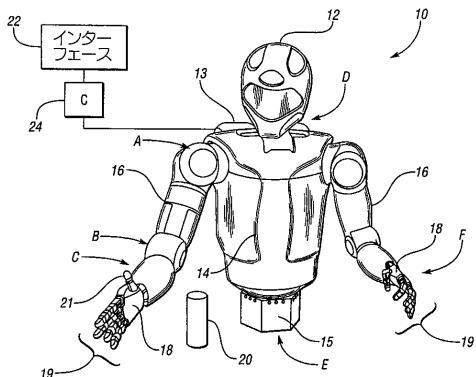
#### 【 0 0 3 3 】

[0034] 加えて、PIM 34 は、P C B A 30 上でプロセッサ 32 に並置し、それによりシステム全体構造の雑音イミュニティが増す。センサデータは、高レベル制御回路 31 により全体的にというわけではなく、P C B A 30 上で局所的に処理され、その結果、各制御ノードへの往復のケーブルを最短にできる。故に、より多くのデータが、頭脳 / 制御回路 31 及びそれぞれのノードとの間で転送でき、高速シリアルプロトコルが実現化できる。

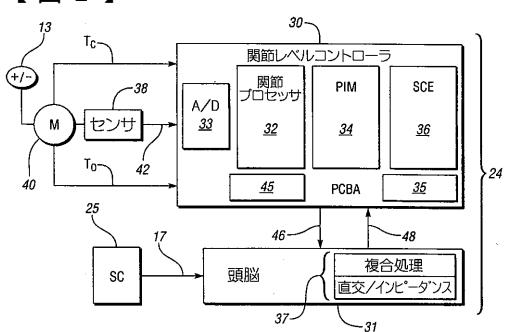
#### 【 0 0 3 4 】

[0035] 本発明を実行するためのベストモードが詳細に記述されてきたが、この発明に関係する技術に精通した者であれば、付随の特許請求の範囲内の発明を実施化するための各種の他の設計及び実施形態を認識できるであろう。

【図1】



【 図 2 】



## フロントページの続き

(71)出願人 510149563

ザ・ユナイテッド・ステイツ・オブ・アメリカ・アズ・リプレゼンテッド・バイ・ジ・アドミニス  
トレーター・オブ・ザ・ナショナル・エアロノーティクス・アンド・スペース・アドミニストレー  
ション  
アメリカ合衆国ワシントン, ディストリクト・オブ・コロンビア 20546, サウスウエスト,  
イースト・ストリート 300

(74)代理人 100140109

弁理士 小野 新次郎

(74)代理人 100089705

弁理士 社本 一夫

(74)代理人 100075270

弁理士 小林 泰

(74)代理人 100080137

弁理士 千葉 昭男

(74)代理人 100096013

弁理士 富田 博行

(74)代理人 100106208

弁理士 宮前 徹

(72)発明者 ドナルド・アール・デーヴィス

アメリカ合衆国ミシガン州48116, ブライトン, キニヨン・ドライブ 6081

(72)発明者 ニコラウス・エイ・ラドフォード

アメリカ合衆国テキサス州77573, リーグ・シティ, エイヴリー・ホロー・コート 4502

(72)発明者 フランク・ノーブル・パーメンター

アメリカ合衆国テキサス州77598, ウェブスター, サラー・ディール 501, ナンバー 3  
34

(72)発明者 マイケル・シー・ヴァルヴォ

アメリカ合衆国テキサス州77573, リーグ・シティ, ギャロウェイ・レイン 6194

F ターム(参考) 3C007 CS08 HS27 JS05 JS06 KS21 KX15 LU07 LV21 WA03

5H572 AA14 BB07 DD01 EE03 JJ03 JJ16 LL29 LL31

【外國語明細書】

2011079123000001.pdf