

4ZB-6

ロボット用マルチプロセッサシステムのための 情報共有アーキテクチャ

清水 健二 中野 鐵兵 藤江 真也 松坂 要佐 小林 哲則
早稲田大学 理工学部

1 はじめに

多機能ロボットは様々な技術を集約した複合システムである。よってその実現には、開発を独立して進められる各機能のモジュール化と、それらを統合した時のリアルタイム性を保証する情報共有の枠組みが必要である。

我々は今までにロボットのリアルタイム性を失わないダイナミックなタスク切り替えを実現するアーキテクチャを提案してきた [1]。そこでは、各タスクを専用のプロセッサで処理し、それらを独自のバスに接続することで情報の共有を行うマルチプロセッサアーキテクチャの有効性を確認できた。

本研究では、従来のアーキテクチャの特長を踏まえながら、モジュール間における公開情報の共有状態の動的な変更によりシステムの拡張性とバスの通信効率を向上させるバスアーキテクチャを提案する。実装例としてバス接続された分散制御モジュールをヒューマノイドロボット “ROBISUKE” に実装した。

2 マルチプロセッサでのロボット開発

ロボット開発を行う上で、拡張性の面からマルチプロセッサ構成でシステムを構築する事が望まれる。

提案するアーキテクチャは、制御に限らずロボットの様々なタスクの実現を可能にするために、各モジュールが自由にシステム全体から必要な情報にアクセスできる情報共有の枠組みに特徴を有している。その際、情報の統合機関として各モジュール上にデータの内容が同期した分散共有メモリを用いることで、様々な情報の組み合わせによるタスクを実現できる点でこれまでの研究 [2][3] とは異なる。

一般的に、プロセッサ間で多くのデータが授受される場合、バスやネットワークを介した共有メモリ型マルチプロセッサシステムが用いられる。そこで、全てのモジュールに対して非同期にデータを送信できるバス通信は、柔軟な情報共有を必要とするロボット開発に適していると考ええる。また、バスに接続するCPUごとに分散共有メモリを与えることで、安定したデータアクセスが可能である。

さらに、公開可能な情報を全て共有するのではなく、公開要求を受けた情報のみを共有することで、バスやメモリ空間の効率的な利用を実現する。公開要求の送受信や対象となる情報の共有メモリ上でのアドレスの通知は、各モジュールの起動時に行う。こうすることで、新たに追加するモジュールを開発する際に共有メ

モリのメモリマップを意識する必要がなくなる。今回、以上の点を考慮したシステムバスによるアーキテクチャを実装した。

図1に開発したシステム構成を示す。開発したシステムは、ロボットの全自由度を制御する3枚のモータコントローラボードと、ロボット内部と外部サーバの情報を統合する情報統合・バスブリッジボードから構成されている。各ボードはシステムバスによって接続されている。

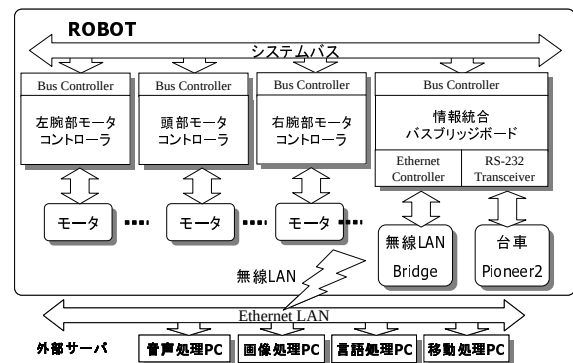


図 1: システム構成

3 システムバス

図2にシステムバスの構成図を示す。開発したシステムバスはクロック同期式バスで、各ボード上のBCU(Bus Controller Unit)は、Bus Controller, 送受信FIFO, DPRAM(Dual Port RAM), SPRAM(Single Port RAM)から構成される。

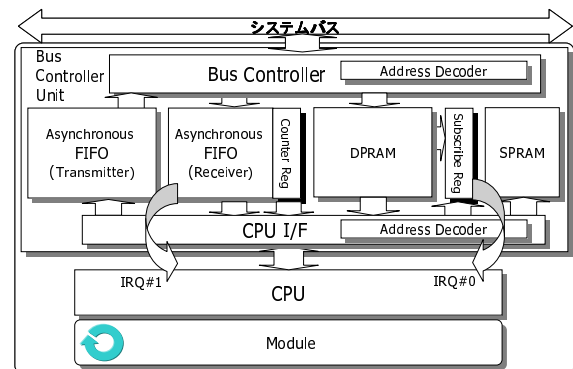


図 2: システムバス構成

3.1 コンフィグレーション

各モジュールで生成された情報が、公開するべき情報か、他に利用するモジュールがないローカルな情報かをそれぞれのモジュールが起動時に決定する手段としてコンフィグレーションを行う。

図3にコンフィグレーションにおける動作を示す。

The data shared architecture for multiprocessor system of humanoid robot.
Kenji Shimizu, Teppei Nakano, Shinya Fujie, Yosuke Matsusaka, Tetsunori Kobayashi
Sch. of Sci. and Eng., Waseda Univ.

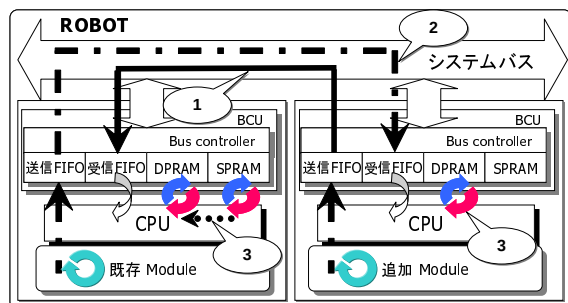


図 3: コンフィグレーションにおける動作

- (1) 特定の機能を持つモジュールが追加されると自らが必要とする情報のタグを送信用の FIFO に格納する。バスの解放時にバスに接続された全てのモジュールにタグが送信され、受信用の FIFO に格納される。この時、CPU に割り込み信号が送られ CPU は受信したタグの内容が自らが提供できる情報であるか比較する。
- (2) 提供できる情報である場合は、共有メモリとして機能する DPRAM の未使用領域におけるアドレス値を返す。
- (3) 情報の公開要求を受けたモジュールは、公開要求のあったデータの格納領域をローカルメモリとして機能する SPRAM から共有メモリ空間に変更することでデータを公開している。

以上により、他のモジュールを意識することなく自由なモジュールの追加が可能となる。また、情報の公開要求があるデータのみをバスに流すことでバスの効率的な利用を可能にする。

3.2 情報共有

それぞれのモジュールで生成された情報を、全てのモジュールから参照可能にするため、DPRAM による共有メモリを用いた情報公開機能を実現する。

CPU がデータを公開する際、送信用の FIFO にデータを書き込み、バスが解放されるとバスに接続されている全ての DPRAM に同時にデータが書き込まれる。このようにデータの同期をとることによって最新のデータ管理・更新を実現する。

3.3 イベント通知

データの変化により実行される例外処理などは、データを常に監視するため CPU 効率が低下する。そこで、データの更新を自動的に検出する Bus Controller を実装することでイベント通知機能を実現した。

あらかじめ注目するデータをバスサイクルにおけるアイドル時に DPRAM からレジスタに格納し、新たに書き込まれるデータとの比較を行う。これによりデータが更新されたことを CPU に自動的に割り込みを行う機能をハードウェアによって実現している。

4 実装

4.1 1 チップモータコントローラ

移動ロボットが持つスペース的な制約から、モータ制御モジュールはモータ制御部と他の CPU との通信部を 1 つにまとめ 1 チップ化することが望まれる。また、ロボット全体の自由度を制御するには数多くの I/O 数と各モータに合う精度での制御が必要となる。

これらを考慮して開発したモータコントローラボードのシステム図を図 4 に示す。CPU として Xilinx 社製ソフトプロセッサコア MicroBlaze を採用した。プロセッサコアを含め全てのモータ制御部や通信部のロジックをシステムゲート数が 400k の FPGA に実現した。1 つのボードで、最大 12 個の DC モータを制御可能である。PWM 周波数は 19.5[KHz] で動作している。DC モータ制御の PWM 周期において十分な分解能を実現し、回路規模の省スペース化をはかった。

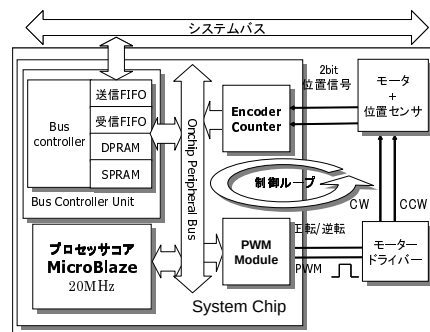


図 4: モータコントローラボード

4.2 情報統合・バスブリッジ

ロボット内部と外部サーバの情報統合機関として、情報統合・バスブリッジボードを開発した。CPU として Renesas Technology 社製マイクロコンピュータ SuperH-3 7709s を採用した。

ロボットの台車である Active Media 社製 Pioneer2 の制御値やソナー情報は RS-232 Transceiver から得ることができる。また、ロボット内部と外部 PC 上で実行されているモジュールとのシームレスな情報共有を Ethernet Controller を介して実現している。

これらの情報を統合して移動処理や特定の表情を生成するタスクがオンボード上で実行されている。

5 まとめ

ヒューマノイドロボットのプラットフォームとなるシステムアーキテクチャについて検討した。本システムは、マルチプロセッサ構成で実現されるヒューマノイドロボットにおいて、分散共有メモリを用いたバスアーキテクチャを採用することで各機能モジュール間の情報統合を実現したことに特徴を有している。今回、制御モジュール用のプロセッサとその周辺機能を FPGA 上に実現し、システムの小型化を行うと共に、公開情報における共有状態の動的な変更によりシステムの拡張性と通信効率を向上させた。

謝辞

本研究は、株式会社日立製作所・中央研究所・SH フォーラムの一環として行われた。

参考文献

- [1] 於久 他, “マルチモーダルロボット用マルチプロセッサアーキテクチャ,” 情処学研報, ARC-150, pp.47-52, 2002.
- [2] 福島 他, “知能ロボット用シリアル・バス型制御システムの研究,” 第 7 回ロボティクス・シンポジウム, pp.155-160, 2002.
- [3] 清水 他, “小型・多関節ヒューマノイドにおける全身運動制御用インテリジェントネットワークデバイスの開発,” 第 19 回ロボット学会学術講演会, pp.791-792, 2001.
- [4] 兵頭 他, “小型ヒューマノイドのための制御モジュールの開発,” ロボティクス・メカトロニクス講演会'02, 2002.