

ロボットのアーム位置制御や反射神経をFPGAに実装

ハードウェアとソフトウェアを使い分けて処理の高速化を実現



システムの記事



ビギナーズ

前川裕明

ここではFPGAを利用してロボットのアーム位置制御や反射神経を実現した事例を解説する。ロボット・アームの軌道制御をCPUではなくFPGAで行った。そのためCPUは動作開始点と終了点のパラメータをロボットに与えるだけで滑らかな軌道を生成できる。さらにアームが何らかの要因によって意図しない力を受けた場合、瞬時的(約20ms)にアームを所定の位置に移動する、いわゆる手を引っ込める動作をFPGAに搭載した。

(編集部)

1. ロボットの概要と製作の動機

筆者の所属する東京農工大学 電気電子工学専攻 関根研究室には、パソコンをホスト・コンピュータとするロボット(写真1)があります。本ロボットは主に複数のサーボモータおよびセンサ、A-D変換器で構成されます。本ロ

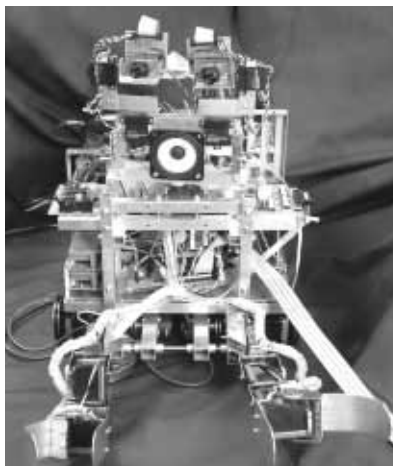


写真1
東京農工大学 関根研究室の研究開発用ロボット
本ロボットは主に複数のサーボモータおよびセンサ、A-D変換器で構成される。運動制御、画像認識、音声認識、音声合成などといった研究のための土台。

ボットには運動制御を行うためのシステムが搭載されていなかったため、一から作成する必要がありました。

本ロボットには運動制御のほかに画像認識、音声認識、音声合成などの機能を統合させる必要があります。そのためホスト・パソコンに負荷のかからない制御システムが必要となります。また、ホスト・パソコンはWindows 2000が搭載されているため、数 μ s単位の正確なタイミング制御が必要なサーボモータやA-D変換器の制御を行うことができません。そこで外部にハードウェア(FPGA)を実装し、FPGAをソフトウェアから制御することで、ソフトウェアへの負荷の軽減および高速なタイミング制御の問題点を解決することにしました。

そしてソフトウェアとハードウェアの協調動作を実現するために、本研究室で開発したFPGAを搭載したハードウェア・モジュール「hwModule」(写真2)を使って、ハードウェア/ソフトウェア複合体による制御システムを作成しました。

● 4個のFPGAで反射動作や軌道補間を実現

hwModuleはFPGA、SDRAM、PCIバス・コントローラによって構成されます。図1にhwModuleのブロック図を示します。hwModuleはボード制御のPCIバス・コントローラ用FPGAを1個、仮想回路用FPGAを3個搭載しています。さらに、処理データを格納するためのローカル・メモリ(以下、LM)を4個搭載しています。

各FPGAは二つのLMバスを持っています。また、隣り合うFPGA同士でLMを共有しているため、複数の仮想回

Keyword

サーボモータ、加速度センサ、多階層制御、反射動作、FPGA、位置制御、動作の補間、軌道の補間

路が動作する状況でもデータのコピーの必要がないという特徴があります。

また、この hwModule には外部接続のための GPIF (General Purpose Interface ; ボード外部への入出力コネクタ) が三つ設けられています。各 GPIF には 40 ビットの信号が接続可能です。

回路データおよびデータはホスト・パソコンから PCI バスを経由して hwModule 上の FPGA や LM に書き込みます。書き込んだ回路はデータを読み出し、処理を行い、必要に応じて LM へ書き込む、GPIF を通じて外部に信号を出力するといったことができます。

●複雑なハードウェアの処理をカプセル化した hwObject

図2に hwObject モデルの概要を示します。hwObject とは、複雑なハードウェアの処理をカプセル化したものであり、hwModule 上の FPGA に実装される hwNet によって目的の処理を行うオブジェクトです。

hwObject におけるホスト上のメンバ関数は、対象の仮想回路とホストとの結合を解決して動作させるための手続きだけとなっています。従来の C++ 言語による記述を用いることで、ソフトウェア上から容易にハードウェアが扱えるようになります。そして hwNet には、ビット処理、信号処理など回路が得意とする機能を割り当てます。

●四つの階層を持つ制御システム

多階層制御回路は、ソフトウェア・レベル、hwModule レベル、末しょう FPGA レベル、回路レベルの四つの階層に分かれています(図3)。これは人間の脳、小脳運動野、せき髄といった階層的な運動制御構造を模擬したものであり、階層ごとに役割を分担しています。

●ソフトウェア・レベル

ソフトウェア・レベルは複雑な分岐処理を含むロボット

全体の動作計画などを行い、人間が動作命令を入力するための GUI を持ったアプリケーションです。

●hwModule レベル

hwModule レベルは、サーボモータを制御するための PWM パルスと、動作軌道の生成を行います。また、末しょう FPGA レベルからシリアル通信によって送られてくるセンサ・データを受け取り、ソフトウェア・レベルへ渡すために LM へと書き込む処理も同時に行います。

●末しょう FPGA レベル

末しょう FPGA レベルは、hwModule レベルから入力される PWM パルス信号を回路レベルへと出力するとともに、センサへの入力情報から人間の反射動作のような高速な応答制御を行います。さらに、回路レベルに実装される A-D 変換器の信号制御を行います。

●回路レベル

回路レベルの構成は、バス・トランシーバ、フォトカプラ、A-D 変換器などによって構成されており、末しょう FPGA レベルから入力される信号の整形と分割、センサ出

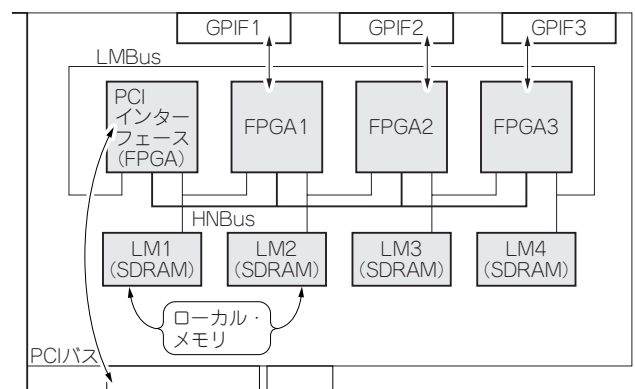


図1 ハードウェア・モジュール：hwModule のブロック図
各FPGAにローカル・メモリを持つ。

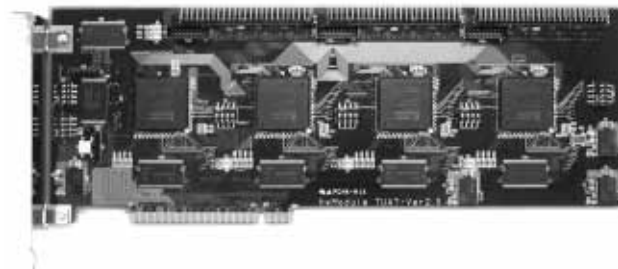


写真2 FPGA4個を搭載したハードウェア・モジュールの外観
FPGA、SDRAM、PCIバス・コントローラにより構成される。

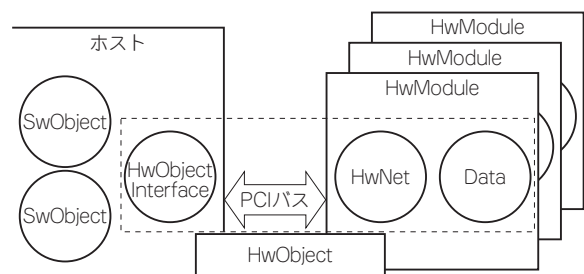


図2 hwObject の概念図

hwObject とは複雑なハードウェアの処理をカプセル化したものであり、hwModule 上の FPGA に実装される hwNet によって目的の処理を行うオブジェクト。