

2A-5

超高性能ヒューマノイド・ロボット用アーキテクチャ WR-X の開発

齋藤 卓也[†] 村岡 洋一[‡]

早稲田大学大学院理工学研究科[†] 早稲田大学理工学術院[‡]

1 はじめに

WR-X Architecture (Waseda Robot-X (X は未知のもの))とは、安価に超高性能なヒューマノイド・ロボットの構築を可能にする、オープンなロボット用アーキテクチャである。

WR-X は、個人で入手可能な金額・部品で、ASIMOのような本格的なヒューマノイド・ロボットの構築を可能にする。

RC サーボ・ベースの通常のロボット用サーボから専用制御基板を取り除き、ポテンショ・メータとサーボ・モータのみを用い、それら制御の全てをWR-X から行うことにより、モータ PWM 周波数 500KHz、関節角度サンプリング 10KS/s、PID 制御 0.1ms 毎等といった、市販のヒューマノイド・ロボットの常識を遥かに覆す超高性能制御を実現する。

WR-X は本格的なリアルタイム画像入力にも対応している。30 万画素 CMOS イメージ・センサーからリアルタイムでの画像入力が可能であり、さらにカラー・ラベリングまでもハードウェアにより自動処理するため、CPU 負荷を大幅に減らし、高度な画像処理をリアルタイムで実現する。

WR-X の CPU は、組み込み用 CPU として最速クラスの SuperH/SH4 240MHz を搭載しているため、ROBO-ONE 用ロボットに通常搭載されている CPU である SuperH/SH2 と比較し、浮動小数点演算を多用する Inverse Kinematics 計算などでは数百倍もの処理能力を有している。

さらに、WR-X アーキテクチャは、GNU GPL General Public License に準拠しており、Open PINO Platform [1][2]同様、全てオープンにされる予定である。そのため、WR-X の回路図、Verilog プログラム、BIOS プログラム、EAGLE 基板設計図等、全ての情報をインターネット等から自由に入手・利用することが可能である。

もちろん、それら情報を元に、独自に機能を拡張し利用することも自由である。

2 WR-X の構成

WR-X は 10cm×10cm 角の基板によるモジュール単位で構成されている。WR-X Phase 1 は、以下のモジュールにより構成されている。

- ・ CPU モジュール
- ・ メモリ・モジュール
- ・ 8ch サーボ PWM 制御モジュール
- ・ RC サーボ・モジュール
- ・ 24ch A/D 変換モジュール
- ・ CMOS 画像入力モジュール

それぞれのモジュールは自由に組み合わせて接続することができる。これらモジュールはさらに開発され、順次新しいものが追加されてゆく。

2.1 WR-X CPU モジュール

CPU モジュールは、CPU 本体、割り込み制御等ロジック回路を搭載した CPLD、512KB の BIOS 用 Flash ROM、RS-232C レベル変換 IC 等で構成されている。プロトタイプの外観を図 1 に示す。

メイン RAM 以外に CPU モジュールとして必要な機能を有しており、PC のマザーボードとほぼ同じような構成になっている。

CPU には Renesas SuperH/SH4 SH7750R 240MHz を搭載している。外部割り込みは NMI 割り込み 1ch 及び通常割り込み 15ch を搭載している。シリアル通信機能として RS-232C を 2ch 搭載している。

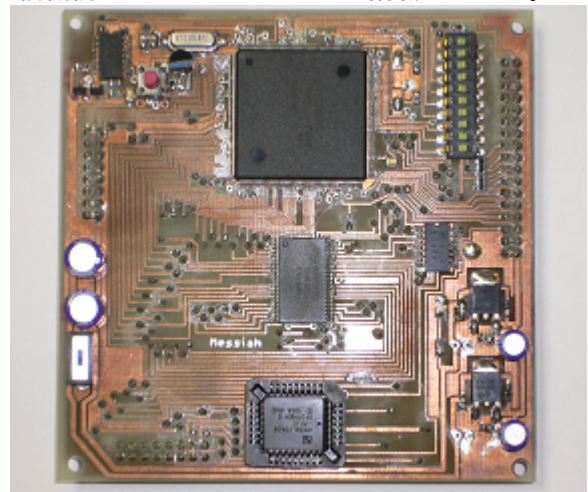


図 1 WR-X CPU モジュール Prototype

Development of the architecture WR-X for super high performance humanoid robot

[†]Graduate School of Science and Engineering, Waseda University

[‡]Science and Engineering, Waseda University

Contact email: saito@muraoka.info.waseda.ac.jp

2.2 WR-X メモリ・モジュール

CPU モジュールで使用するための RAM、ROM 等メモリ専用のモジュールである。RAM 容量や ROM 容量等を用途に応じて変更できるようにするために、CPU モジュールとは独立してある。

2.3 WR-X 8ch サーボ PWM 制御モジュール

8ch までサーボ・モーターを PWM 制御するモジュールである。モータ PWM 周波数は 500KHz 程度まで可能である。PWM による H-Bridge 制御の種類も、

- ・ High-side On/Off 制御
- ・ Low-side On/Off 制御
- ・ High-side On/Break 制御
- ・ Low-side On/Break 制御
- ・ Linear 制御

の 5 種類を自由に設定可能である。

PWM 制御出力は MOS FET による H-Bridge 回路により行われ、各制御においてハイサイド FET とローサイド FET の同時 ON による貫通電流発生を抑制するため、自由にデッドタイムを設定可能である。

2.4 WR-X RC サーボ・モジュール

WR-X では、市販のロボット用サーボ・モジュールを改造して、超高性能なサーボ制御を実現している。

WR-X Phase 1 では、ロボット用サーボとして最も多く使用されており、また、サーボ用ブラケット等も豊富に用意されている、KONDO KRS-2350 シリーズ用のサーボ・モジュールを用意している。

KRS-2350 等のサーボをそのまま制御すると、制御周期 50Hz 程度の PWM 制御をすることになり、サーボ内部の解析によると、サーボ・モータ制御 PWM 周波数は 280Hz 前後である。これではサーボ制御の性能が低いため、WR-X では専用のコントロール基板を用意している。

KONDO KRS-2350 サーボ内のコントロール基板を「WR-X RC サーボ・モジュール」と交換することにより、「WR-X 8ch サーボ PWM 制御モジュール」及び「WR-X 24ch A/D 変換モジュール」と接続することができるようになる。

この基板には、ポテンショ・メータのインピーダンス変換用 OP アンプとモータ出力を外部に引き出すための端子等により構成されている。

これにより、市販の安価なロボット用サーボでありながら、500KHz の PWM 周波数、10KS/s の A/D 変換、0.1ms 毎の PID 制御といった超高性能のサーボ制御が可能になる。

2.5 WR-X 24ch A/D 変換モジュール

24ch の A/D 変換を最速で 10KS/s で行うことが可能な A/D 変換モジュールである。

8ch A/D 変換 LSI を 3 つ搭載し、そのコントローラとして 10 万ゲートの FPGA が構成されている。

各チャンネルの入力にはアンチ・エイリアシング・フィルターが搭載されている。

2.6 WR-X CMOS 画像入力モジュール

Omni Vision 社製の CMOS カラー・イメージ・センサー OV7620 を直接制御する I²C 等のインターフェース回路を搭載した FPGA で構成されている。

このインターフェース回路では、キャプチャした画像データは、WR-X 画像入力モジュール内に搭載されている 512KB の高速 SRAM バッファに保存される。

インターフェース回路により、バッファから画像データを CPU に取り込むが、その際に Raw RGB データの他、FPGA ロジックにより、ハードウェアで YCrCb 形式データ、4 色カラーラベリング・データにハードウェアで変換されて読み出されるため、画像データ処理の CPU 負荷を大幅に減らすことが可能となっている。

3 おわりに

WR-X は現在、最初の開発目標としている Phase 1 の最終開発段階にある。

WR-X Phase 1 では、個人で作製することができる最高性能・機能のロボット・アーキテクチャの提供を目標に設計されている。そのため、使用されている部品は全て一般に入手可能であり、その気になれば誰にでも製作可能である。

WR-X はハードウェア、ソフトウェアを含め、Open PINO Platform [1][2] 同様に、GNU GPL General Public License に準拠して以下の URL にて公開予定であり、誰でも自由に利用することができる。

WR-X Web

<http://www.muraoka.info.waseda.ac.jp/~saito/>

参考文献

[1] Yamasaki F., Miyashita T., Matsui T., Kitano H., PINO the Humanoid : A basic architecture, Proc. of The Fourth International Workshop on RoboCup, August 31, 2000, Melbourne, Australia

[2] Yamasaki F., Miyashita T., Matsui T., Kitano H., PINO the Humanoid that walk, Proc. of The First IEEE-RAS International conference on Humanoid Robots, September 7-8, 2000, The Massachusetts Institute of Technology, USA