

「情報社会を支える新しい高性能情報処理技術」

平成15年度採択研究代表者

松井 俊浩

(産業技術総合研究所デジタルヒューマン研究センター センター長代理)

「ヒューマノイドのための実時間分散情報処理」

1. 研究実施の概要：

本プロジェクトは、ヒューマノイドロボットの性能および信頼性の向上のため、従来少数のプロセッサによる集中制御を行っていたのを、30以上のプロセッサによる分散制御を実現することを目的とする。それによって、処理能力のスケラブルな拡張が可能になり、並列処理活用することで低消費電力で従来以上の処理性能が得られる。プロセッサをセンサやアクチュエータの近くに配置することで、信号線の延長を大幅に削減し、高い信頼性が得られる。一方、従来モノリシックなプロセスで制御可能であったものを分散化させるため、通信およびマルチプロセス(スレッド)を実時間化し、優先度や資源割り当て等を行う基盤ソフトウェアが必要になる。

従って、本研究は、次の三つから構成される。①**RMTPの設計・開発**：実時間性にすぐれたマルチスレッド向きアーキテクチャ、低クロックでも性能を発揮するための並列性、実時間通信チャンネルを備えたプロセッサを作成する、②**実時間基盤ソフトウェア**：Linux-2.6を拡張して優先度に基づく実時間スケジューリングを可能にし、プログラムの実行時間を静的に予測する技術の研究。③**ロボット実証**：認識、対話、歩行、経路計画などの機能をモジュールに構成することで分散化し、並列処理を活用して性能向上を図る。

2. 研究実施の内容

① RMTPの設計・開発

ヒューマノイドの各関節に配置する μ RMTPをプロセッサモジュールのサイズが45x65mmに収まるように、I/O機能の仕様を決定した。プロセッサの内部でアナログ信号を扱うこと、すなわち高分解能、ハイスピードのADコンバータ、DAコンバータをプロセッサチップに混載することは困難なため、入出力はPWMによるオールデジタルインタフェースとした。

2004年秋までにチップの製造を委託する予定であったが、次に述べる問題が発覚したため、テープアウトは2005年5月まで延期した。

② 実時間基盤ソフト

Linux-2.6のカーネルのソースから、不要な機能を削除し、RMTP用Linuxの原型を作成

した。RMTPのインストラクションレベルシミュレータ(ソフトウェア)を製作し、その上でLinuxが立ち上がることを確認した。その後、RMTPのクロックレベルシミュレータ(論理シミュレータ)による検証を行ったところ、Cコンパイラおよびチップの論理設計にバグがあることが判明した。これらは、通常のCプログラムでは起こりえないコード列であるが、Linuxカーネルのようなasm文を多く含むプログラムで例外的に発生する。クロックレベルのシミュレーションは、500Hz程度と動作が非常に遅いため、バグフィックスに長時間を要した。

プロセッサのベクトルユニットのシミュレーションを行えるような、インストラクションレベルシミュレータの改造を行った。

実時間スケジューリング法を設計するために、既存の実時間LinuxであるART-Linuxの講習会を開催した。割り込みの応答期の影響を受けずにプロセス(スレッド)の起動時刻を正確に制御できるよう、高分解能のタイマーからの確定的な割り込みだけで全体をスケジューリングする方法を検討した。

プログラムの実行時間を静的に予測するツール実現に向けて、Gnu Cコンパイラの間コード(RTLコード)からメモリアクセス、制御フローを読み取るプログラムを作成した。データおよび命令がキャッシュに載るような簡単なプログラムでは、実行時間を正確に見積もれることを確認した。

③ ロボット実証

ロボットソフトウェアを動作計画、動作実行(サーボ、安定制御)、視覚、聴覚(対話)などに分割し、各々のモジュールをさらに子細に検討することで、並列性能、通信量、反応制約時間などを見積もった。サーボについては、特に回転角と電流フィードバックだけでACモータのトルクを制御する方法を設計した。視覚については、距離画像の計算の負荷が大きいため、ベクトル計算によって効率を上げる方法を検討した。聴覚について、Julius等の音声認識ソフトウェアを並列化する方法、モータ等が発生する雑音をキャンセルする方法の検討を開始した。

3. 研究実施体制

RMT-LSIグループ

- ① 研究分担グループ長：山崎 信行 (慶應義塾大学大学院理工学研究科、助教授)
- ② 研究項目：実時間通信・処理・制御用システムオンチップの研究開発

基盤ソフトウェアグループ

- ① 研究分担グループ長：石川 裕 (東京大学大学院情報理工学系研究科、助教授)
- ② 研究項目：実時間オペレーティングシステムと開発環境の開発

ロボット実証グループ

- ① 研究分担グループ長：比留川博久 (独立行政法人産業技術総合研究所知能システム研究部門、グループリーダー)
- ② 研究項目：ヒューマノイドロボットの分散制御系の研究

4. 主な研究成果の発表

(1) 論文発表

- 薄井弘之、内山真郷、伊藤務、山崎信行、『Responsive Multithreaded Processorの命令供給機構』 情報処理学会論文誌、Vol. 45, No. SIG 11(HPS 7)、 pp. 105-118、2004.