

研究課題別事後評価結果

1. 研究課題名： 超高性能並列分散アーキテクチャに関する研究

2. 研究代表者 山崎 信行 (慶應義塾大学、 専任講師)

3. 研究内容及び成果

本研究では、非常に高性能かつ高機能の通信及び演算の両方を実現する並列分散アーキテクチャを設計し、それらを融合する。具体的には、1チップ当たり10[GFlops]以上の演算性能を引き出すことを狙った超高性能プロセッサアーキテクチャの研究開発を行った。

本プロセッサの基本アーキテクチャであるRMT (Responsive Multithreaded) アーキテクチャは、リアルタイム処理をハードウェアレベルで支援するものであり、優先度付の複数スレッドをその優先度に従って並列実行(8way)する優先度付SMT (Simultaneous Multithreading)に、高機能ベクトル演算機構を有したものである。オンチップ上には、8組の完全なコンテキスト (PC, Register files, Status, etc.) を有し、それら8組のスレッドに関してはコンテキストスイッチなしに優先度に応じてRMT実行を行うことで、リアルタイム実行を可能にした。さらに32スレッドを格納可能なコンテキストキャッシュが非常に広いバンド幅でプロセッサコアと接続されている。オンチップ上には合計40スレッド格納可能であるが、コンテキストキャッシュ内のスレッドとコンテキスト中のスレッドは4クロックでスワップ (コンテキストスイッチ) が可能である。さらに、柔軟な複合演算 (ユーザが複数のベクトル演算を1命令として定義) をサポートした高性能ベクトル演算器(Integer, FP)を実現した。

同時に10[Gbps/node]以上の通信性能を引き出す超高速リアルタイムネットワークアーキテクチャ(Responsive Link)の研究開発を行った。Responsive Linkは、柔軟なリアルタイム通信を実現するために、ソフトリアルタイム通信 (データリンク) とハードリアルタイム通信 (イベントリンク) の分離、パケットに優先度を付加しノード毎に高優先度パケットが低優先度パケットの追い越し、パケットの優先度が異なると優先度毎に別経路を設定して専用回線や迂回路を実現可能、ノード毎に優先度を付け替えることができ分散管理型でパケットの加減速を制御可能、ハードウェアによるエラー訂正、通信速度を動的に変更可能、トポロジーフリー、Hot-Plug&Play等の様々な機能を実現した。

そして、上記の機能に加え、周辺I/O(DDR SDRAM I/F, PCI-X, USB2.0, IEEE1394, etc.)を設計し、それら全てを1チップに集積した1,000万ゲート規模のシステムLSI(RMT

Processor)を設計した。RMT Processorは、ハードウェアレベルでリアルタイム処理・通信を μ 秒オーダーでサポート可能にした。

4. 事後評価結果

4-1. 外部発表(論文、口頭発表等)、特許、研究を通じての新たな知見の取得等の研究成果の状況

本研究の主要部のRMTアーキテクチャは、さきがけ成果を基に応用分野を広げるべく、スレッドレベルの並列性を実現するハードウェア設計をきちんと行い、オンチップで40スレッド以内のスレッドコンテキストを格納可能で、4クロックサイクルという非常に短いコンテキストスイッチを実現し、浮動小数点演算を含めて高機能・高性能化を果たしている。アーキテクチャのシミュレーションによる評価もかなり詳細であり技術力の高さが認められる成果となっている。

Responsive Linkでは、パケットの追い越し技術を用いて、柔軟なリアルタイム通信を実現し、標準化にもっていったことは評価できる。但し、当初構想にあった10Gbps以上の通信性能を持つネットワーク設計の評価、レイアウト設計の性能に与える影響など、今後の課題として残されている。

全体的に、リアルタイム処理に特化したプロセッサ設計としては高く評価できるが、結果は予測範囲を越えていない。こういう研究の宿命ではあるが、設計目的と実証内容には大きな差を感じる。類似技術との比較という意味では、企業は詳細を提示しないので判断は難しいが、チップ実現の詳細を示しているという意味で水準は高いといえる。

4-2. 成果の戦略目標・科学技術への貢献

高性能のスーパーコンピュータをロボットやエンタティメントなどの我々の日常生活に直接関係するシステムに持ち込むことを可能にする技術であること、また、設計の詳細を展開しているので、チップ化・システム化が進めばインパクトは大きい。ロボット間リアルタイム通信の標準としてロボット業界で採用の動きがあるとのことは期待できる。

ただし、このような大規模なLSI設計のプロジェクトは個人研究ではむづかしい。チップ化には相当の投資が必要であり、企業と組んだ実用化プロジェクトに展開できることが望まれる。また、この種のプロセッサ研究開発においてよくあることであるが、チップ化しても研究者の自己満足に終わる公算も大きい。そうならないために、「何故企業がチップ化しないか」という視点から、システム全体を考慮したより基本的な考察が必要となる。ロボット応用は、それでリアルタイム処理専用プロセッサの

必要性を理解してもらうのは無理かもしれない。ハードリアルタイムなら、通信専用プロセッサのほうが性能は格段に厳しく、かつ、需要は大きい。アプリケーションの狙いは安易にならないように十分な考察が必要であろう。

4-3. その他の特記事項（受賞歴など）

以下2件の受賞を受けている。

1. 山崎 信行, 日本機械学会 ロボティクス・メカトロニクス部門 ベストプレゼンテーション賞, 2001年6月
2. 山崎 信行, 日本ロボット学会論文賞, 2002年10月

本課題は、平成15年度からはじまったJSTCREST「情報社会を支える新しい高性能情報処理技術」の「ヒューマノイドのための実時間分散情報処理」の中において、RMTをさらに発展させ、ヒューマノイドロボット体内の分散リアルタイム制御を実現するアーキテクチャ及びシステムLSIの研究開発として進めていくことになっている。