

研究課題別事後評価結果

1. 研究課題名： ディペンダブルネットワークオンチッププラットフォームの構築

2. 研究代表者名及び主たる共同研究者名(研究機関名・職名は研究参加期間終了時点):

研究代表者

米田 友洋(国立情報学研究所 アーキテクチャ科学研究系 教授)

主たる共同研究者

今井 雅(弘前大学大学院 理工学研究科 准教授)

羽生貴弘(東北大学 電気通信研究所 教授)

齋藤 寛(会津大学 コンピュータ理工学部 准教授)

吉瀬謙二(東京工業大学 情報理工学研究科 准教授)

3. 研究実施概要 (研究代表者によるまとめ)

集積システムの微細化・大規模化が進むにつれ、さまざまなアプリケーション製品の高機能化が図られ、VLSI 内収容コア数は急速に増加することになり、その実現はますます難しくなる。本研究は、GALS-NoC(Globally Asynchronous Locally Synchronous-Network On Chip)というアプローチをベースとして、高ディペンダブル・高性能・高アダプタブルなプラットフォームを実現し、セーフティクリティカルな車載制御アプリケーションに適用して、その有効性を実証しようというものである。

これを実現するため、本研究では、次のように回路レベル、ルーティングレベル、CPU コアレベル、およびLSI チップレベルの各レベルにおいて、それぞれに適した高ディペンダビリティ実現手法を提案している。

- 回路レベル: オンチップネットワークを完全非同期式に実現した。これにより、各種環境変動や局所的な性能劣化に対しても高い耐性を得る。
- ルーティングレベル: 故障チップ、故障ルータ、故障リンクを迂回する、ディペンダブルルーティングアルゴリズムを開発した。
- CPU コアレベル: CPU コアレベルの故障に耐え、高信頼なアプリケーションタスク実行を実現するために、改良 Pair&Swap 方式を開発した。この方式では、通常は、各タスクを2つの CPU コアで二重実行し、その結果を比較することにより CPU コアの故障を検出する。不一致が生じた場合には、一時的に三重実行を行い、正しい結果を得るとともに、故障 CPU コアを同定し、二重実行のためのペアを変更する。その後は、通常の日重実行に戻る。なお、ソフトウェア等に基づく一時的故障については、三重実行時に不一致が生じないため、元のペアを使い続ける。
- LSI チップレベル: チップレベルの冗長性も容易に実現できるように、マルチチップ NoC を提案している。マルチチップ NoC では、チップ内のオンチップネットワークがシームレスにマルチチップネットワークに拡張され、故障チップを迂回するルーティングを用いることにより、LSI チップ故障に対する高い耐性を持つ。

また、自動車メーカー・自動車関連メーカーにてソフトウェア開発において多用される Simulink 記述を解析し、そこから自動生成された C コードによるタスクを、NoC 構成された複数のコアにメモリ制約や通信時間などを考慮した上で冗長に割り当てるためのソフトウェア開発支援ツールを開発した。これにより、ユーザは単一系の(冗長化を考慮していない)アプリケーションソフトウェアを開発するのみで、上記ハードウェアプラットフォーム上で、アプリケーションの高ディペンダブル実行を容易に行える。

さらに、提案手法を四輪独立制御に基づく統合車体制御という高度な実問題に適用し、HILS(Hardware In the Loop Simulation)システムにより詳細な実証を行うとともに、自動車関連メーカなどが提案プラットフォームを容易に評価できるような評価キットを開発し、上記アプリケーションをサンプルとして実行できる形で準備している。評価キットは、複数の NoC チップ、IO コアを実現する FPGA、HILS インターフェース、および簡易プラントモデルを含む。簡易プラントモデルは、ユーザが本格的な HILS システムを自前で用意することなくプラットフォームを評価できるように、精度は高くなくても、ECU 機能のテストができる程度の小規模なプラントシミュレータであり、FPGA 上のソフトプロセッサにより実現する。さらに、さまざまな構成を試してみたいユーザのために、NoC を実現できる程度の大規模 FPGA を実装し、NoC チップの代替えとして使用できるようにする。

このように、本研究チームは、セーフティクリティカルな車載制御アプリケーションを高ディペンダブル・高性能・高アダプタブルに実行するためのプラットフォームを開発するという一貫した目標に向かって研究を進めてきた。これは本チームを構成する各研究グループが開発した要素技術、例えば、NII・弘前大グループによる完全非同期式オンチップネットワーク技術、弘前大・東工大グループによる冗長コア上での高信頼タスク実行技術、会津大グループによる故障を考慮した多重タスク割り当て・スケジューリング技術、東北大グループによる高速かつ高信頼電流モードチップ間通信技術などを統合し、ハードウェアとソフトウェアからなる一つのプラットフォームという形にまとめ上げることにより成し得たものである。

4. 事後評価結果（以下研究総括によるまとめ）

4-1. 研究の達成状況及び得られた研究成果（論文・口頭発表等の外部発表、特許の取得状況等を含む） （課題、目標の設定）

同種、または異種の複数のプロセッサ・コアを集積した VLSI において、オンチップネットワークを活用して異種多様なタスクを協調的に処理できるプラットフォームを開発する、という本チームの課題設定は技術発展の重要なトレンドであり、適切なものである。

車載応用に事例を求め、開発した技術を車載制御系システムにおいて実証する、という目標設定も適切である。オンチップネットワークを非同期式によって実現することや、複数チップ間をもシームレスにつなぐことのできるネットワークを提案している。

（成果状況）

成果項目は研究代表者により3項に記述されているが、以下少々コメントする。

自動車用マイコン、NoC をチップ実装し、HILS シミュレータにより統合車体制御に適用して見せた。このデモにより、自動車メーカ、車載半導体メーカの関心が得られ、具体的な成果達成に向けて大きく前進した。しかしながら、ここで提示した完全非同期式のオンチップネットワークの技術が従来方式に比較して定量的にどれほど優位であるかなどを潜在ユーザに明示し納得を得て、実システムに採用される見通しを得るといった段階にまでは至っておらず、今一步の努力が必要である。手掛けてきた「評価キット」を、設計情報やツールを含めて使いやすくして提供し、外部ユーザの力を得ながら技術優位性を実証できるとよい。

当初本研究チームは、産業界との結びつきが強くなく、ディペンダビリティの実問題の把握や、定量的目標の設定等に弱さがあった。そこで研究開始後まもなく、車載応用を実証例として定め、カーメーカ、カー関連メーカとの対話を開始した。ECU や車載ネットワークを具体的に考慮する中から、「統合 ECU」といった新規な着想を得て行く態度を取ってきた。こうした努力は大いに多とするものである。今後とも産業界との関係は常時維持し、何回か Iteration を繰り返して、直近の問題解決法の提案、中・長期の研究展望をともに磨き上げると技術が本物になり、またさらなる基礎研究テーマの発掘にもつながって行くであろう。今後の継続的な努力に期待する。

途中から東工大グループが加わったことが刺激となり、マルチコア環境をネットワークで結ぶことによりディペンダブルな計算環境を構成するという視点からの着想が豊富になった。本方面の発展にも期待している。

4-2. 研究成果の科学技術や社会へのインパクト、戦略目標への貢献

本マルチコア・オンチップネットワーク構成ディペンダビリティへの効果・汎用性はいまだ明確に示されたとは言えない。そこが実証されれば、本研究の戦略目標、社会・経済・科学技術への貢献が明白になる。

カーメーカや半導体メーカとの接触を深め、ユーザの評価、意見を得て、次の段階に向かってすすめるやり方を取り始めている。これを習慣化し PDCA サイクルを繰り返すことによって、出口戦略を成功させてほしい。

4-3. 総合的評価

オンチップネットワークを異種マルチコア環境の中で活用して、システムの性能やディペンダビリティを向上する、という課題に取り組んだ。車載 ECU(電子制御ユニット)を例にとり、ハードウェア・イン・ザ・ループを用いて四輪駆動制御の動作を示した。オンチップネットワークを活用した、タスク処理の多重化、故障時の構成切り替えなどディペンダビリティの強化に有用なマルチコアアーキテクチャの進化提案の中から、車載だけでなく、制御全般、さらにはスーパーコンピュータにも適用可能な構想を生みつつある。今車載その他の制御ユーザ向けに開発してきた評価キットの完成、配布に期待している。

出口企業との交流を確認する会合を持ち、研究のスピードを上げ、残された研究期間をフルに活用して、研究の優位性を高めていただきたい。