

研究課題別事後評価結果

1. 研究課題名：超低消費電力化データ駆動ネットワークシステム
2. 研究代表者名及び主たる研究参加者名(研究機関名・職名は研究参加期間終了時点):

研究代表者

西川 博昭(筑波大学大学院システム情報工学研究科 教授)

主たる共同研究者

岩田 誠(高知工科大学情報学群 教授)

石井 啓之(東海大学専門職大学院組込み技術研究科 教授)

3. 研究実施概要

本研究は、本来的に通信処理向きの受動的なデータ駆動原理を、ネットワーク方式、プラットフォームアーキテクチャ、VLSI 実現法に至るまで徹底して適用し、実行時オーバヘッドを極小化して、ネットワークシステムの消費電力を従来に比べて、数百分の1とする超低消費電力化を目的としている。本研究では特に、災害発生など緊急時に本質的な情報疎通を維持できる通信環境の必要性を考慮し、具体的アプリケーションとして取り上げている。

緊急時には、いわゆるインフラストラクチャが十分に機能しない環境ならびに異常トラフィックへの対応が大前提となる。したがって、東海大学グループでは、アドホックネットワークを前提に、この上のトラフィックの抑制によって、低消費電力化をめざすアドホックネットワーク方式を研究した。

このアドホックネットワークのプラットフォームには、放送型情報転送、情報発見、認証やマルチホップ型中継処理に共通する UDP/IP プロトコルの超低消費電力化実現が要求される。したがって筑波大学グループは、UDP/IP 処理に最適化した二重化環状パイプラインによるデータ駆動チップマルチプロセッサコア ULP-CUE (Ultra-Low-Power CUE) アーキテクチャを提案するとともに、これを 4 コア集積した ULP-DDCMP (Ultra-Low-Power Data-Driven Chip MultiProcessor) を VLSI 試作し、これを搭載したボードを ULP-DDNS ノードとして開発した。また、通信処理時はもちろん、いわゆる待機時の省電力化も重要な課題となることは論を俟たない。したがって ULP-DDCMP は、真に情報処理中の部分に電力消費が極限される自己同期型パイプライン STP (Self-Timed Pipeline) を採用している。VLSI 実現上の省電力化には、動的電圧制御やパワーゲーティングが既に常套的手段として導入されている。高知工科大学グループは、実行時の処理負荷が事前に予測できない通信処理の特性を考慮して、パイプライン段水準の細粒度パワーゲーティングという STP の消費電力最適化手法を研究し、そのためのパワースイッチ用セルを組み込んだ ULP-STP (Ultra-Low-Power STP) 用テストチップを VLSI 試作するとともに、ULP-DDCMP の消費電流観測に基づく実行時電圧制御を研究した。

アドホックネットワーク方式の検討では、放送型情報転送、情報発見、認証の 3 機能についてトラフィック抑制手法を提案し、その有効性をネットワークシミュレーションにより明らかにした。さらに、緊急時における各機能の利用頻度を想定した総合的なトラフィック抑制効果を検証した。その結果、放送型情報転送方式が支配的であることが判明し、これをネットワーク方式における主要機能と位置づけ、より詳細な条件について、従来の単純フラッディングと、提案方式である負荷感応型フラッディングを取り上げ、ネットワークシミュレータを用いて定量評価を進めた。

同時に、ネットワーク方式とプラットフォームとの相乗効果を含めた低消費電力化効果を検証するために、アドホックネットワーク上の各ノードにおける UDP/IP 処理への入力パケットとその時刻を抽出し、さらに、これらを対象にして動作するプラットフォームの消費電力を求めるシミュレータを構築して、ULP-DDNS を統合的に評価した。このプラットフォームシミュレータでは、自己同期型パイプラインの段単位で消費電力を求める。このために必要となる、パイプライン段毎のタクト、スイッチング電力ならびにリーク電力は、ULP-CUE の論理ゲートレベルシミュレーションならびにパイプライン段単位の回路シミュレーションより求め、

さらに、ULP-DDCMP の実測結果を用いて補正した。これらの補正值を設定したプラットフォームをシミュレーションした結果を ULP-DDCMP の実測結果と比較して、プラットフォームシミュレータの誤差が 10%程度に収まることを確認した。

総合評価の結果、ULP-DDNS は、組込み用途プロセッサ Atom を用いた従来システムに比べて 200 分の 1 程度の省電力化効果が確認されたとしている。Atom が当初想定したネットワークプロセッサ XScale の後継であることを考慮すれば、当初目標とした数百分の 1 程度の超低消費電力化がほぼ達成されたと考えている。

4. 事後評価結果

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)

処理の必要なデータが到着すると稼働状態に遷移し、必要な処理を終えると休止状態へ遷移するデータ駆動原理と自己同期型回路方式が、長い待機時間と可変の処理時間を特徴とする通信処理システムの低消費電力化に有効であるとの着想から、災害発生などの緊急時通信システムを主たる応用分野と定めて、アドホックネットワークリング、マルチプロセッサアーキテクチャ、自己同期型パイプライン回路の 3 階層でシミュレーションと VLSI チップ試作によってその省電力効果を検証することを目的としたもので、限定された応用分野ではあるが、データ駆動原理と自己同期回路方式が低消費電力化に一定の効果があることを示したことは評価できる。

しかしながら、1/200 の低消費電力化を達成しているとしているがそれはシミュレーションによる結果であり、その根拠は明確ではない。せっかくチップを作っているのにその試作チップで効果を示していないのは残念である。また、低消費電力化を追求するにもかかわらず Voltage Scaling、Power Gating は部分的にしかチップに実装していないなど、試作 VLSI チップを含む全体システムの完成度は必ずしも高いとは言えず、報告されているシミュレーション結果は緊急時の無線アドホックネットワークにおける放送型情報転送に限定した評価に留まっているなど、当初に掲げた技術的目標が十分に達成されたとは必ずしも言えない。

成果の外部発表状況は、必ずしも活発であったとは言えないが、論文発表に関しては概ね妥当であると認められる。しかしながら、実用レベルでの重要技術の開発を目指す研究としては、特許等の申請が多いとは言えず、産業界と連携した知財の確保の努力が十分であったとは言いがたい。

今後の展開については、データ駆動の効果が顕著な応用分野を見つければ可能性はあるが、現状でこの技術の社会的なニーズを考えるとやや不透明であると言わざるを得ない。

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

データ駆動原理と自己同期回路方式が災害発生などの緊急時通信などの応用分野での省電力化に一定の効果があることは示されたと評価できるが、一般のネットワーク制御において電力や性能の観点で他の方式に比べて大きな優位性を持つことを実証できたとは言いがたい。また、報告書には、成果発表に対する産業界あるいは自治体から大きな反応があったとの記載はほとんどなく、戦略目標への貢献あるいは社会的インパクトが大きかったとは言えない。アドホックネットワークによる災害時の通信確保は防災の観点から重要課題の一つであり、今後の展開を期待したい。

4-3. 総合的評価

データ駆動原理と自己同期回路方式が災害発生などの緊急時通信などの応用分野において低消費電力化に一定の効果があることは示されたと評価できるが、当初に目指した数値目標が達成されたとする根拠が必ずしも明確ではなく、目標が十分に達成されたとは必ずしも言えない。アドホックネットワークによる災害時の通信確保は防災の重要課題であり、今後の展開を期待したい。

記入のポイント