

## 研究課題別事後評価結果

1. 研究課題名： マイクロユビキタスノード用ディペンダブル OS

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

徳田英幸 (慶應義塾大学環境情報学部 教授)

3. 研究実施概要

本研究は情報家電機器等で利用されているミッドレンジのハードウェアプラットフォームだけではなく、さらに小型軽量で、エネルギー効率の良い電池駆動可能なマイクロレンジのハードウェアプラットフォーム(マイクロユビキタスノード) 上に、Linux OS をベースとしたディペンダビリティ機構を実現することを目標としている。研究開始当初は、(1) 複数種類のネットワークインタフェースを持つ次世代オープン端末のためのディペンダブル通信機能(研究課題 1)、ならびに (2) バッテリー電力の詳細なロギングと予約に基づくディペンダブル消費電力管理機能(研究課題 2)を研究課題として定めていたが、領域全体の方針を踏まえ、(3) D-Case およびディペンダビリティメトリクスを追加的に研究課題に定めて実施した。

ディペンダブル通信機構は、以下の 2 つの観点において組み込み機器の運用フェーズのディペンダビリティ支援に貢献する。まず、ネットワーク通信を行う組み込み機器が急速に増えている中で、本機構はトランスポート層での通信路の冗長化、および移動時の切断時間短縮により、ネットワークの可用性を向上させる。次に、アプリケーションごとに送信データの重要度を指定可能とすることにより、トランスポート層での無駄なオーバーヘッドを回避する。本機構では、トランスポート層プロトコル SCTP の改善を主なアプローチとしている。平成 20 年度までに、単一の無線ネットワークインタフェースを持つ組み込み機器が、互いに重なる無線 LAN 通信区間を横切るときに発生する通信切断時間を最小化する技術を開発し、その仕様を Internet Draft として公開し、平成 20 年度までに FreeBSD オペレーティングシステム上に実装した。平成 23 年度までに Linux ソースツリー内での実装を完了した。それらの実装は Linux、FreeBSD オペレーティングシステムに組み込まれ、実用化を完了した。

ディペンダブル消費電力管理機構は、以下の 2 つの観点において組み込み機器のディペンダビリティ支援に貢献する。まず本機構は、消費可能な有限の電力において、組み込み機器の所定時間の動作(可用性)を保証する。電池駆動機器においては、全電池容量に対して可用性保証の時間を指定できる。AC 駆動機器においては、所定の電力消費量に対して同様のことを行える。すなわち、電力消費の最適化が可能となる。また本機構は、組み込み機器の開発フェーズ、運用フェーズ、および保守・更新フェーズのディペンダビリティ支援を行うことを目的とする。開発フェーズにおいては、開発対象機器上で動作しうるプロセスのリストが判明しているとき、それらのプロセスを一定時間、一定負荷未満で動作させられる電力量を見積もるツールを検討する。運用フェーズにおいては、電源電力の監視とプロセスの選択的停止により、可用性支援を行う。保守・更新フェーズにおいては、開発時に見積もった挙動と、実際の挙動との差異をログから抽出するツールを検討する。同ツールを用いることにより、電源の劣化を検出し、ハードウェアフォルトを早期に発見可能となることが期待できる。これまで、動作中プロセスが各デバイス(CPU やネットワークインタフェース等)を使用した時間や回数をカウントし、その比率に応じて消費電力量を分割する方式で、プロセスごとの消費電力計測を実現した。現在のプロトタイプは、XScale プロセッサを搭載した Linux ボードに Texas Instruments 製電力供給 IC を接続したハードウェアに依存して動作している。平成 21 年 8 月までに、X86 プロセッサを搭載した PC 上で、ACPI を用いて消費電力を計測し、それをプロセスごとの消費電力に分割する方式を実現した。

あるシステムを D-Case で記述することにより、組み込み機器あるいはそれを含むシステムのディペンダビリティ達成状況を定量的に表したいと言う要求が生ずる。そのためのメトリクスを与えるために、本研究チームから研究員がコアチームに参加し、オープンシステムにおけるディペンダビリティの絶対評価をいかにして行うかの議論を行った。初期段階のディペンダビリティメトリクスとして重要性和カバレッジに関する指標を作成した。この研

究は現在も引き続き行われており、本チームの成果は平成 20 年度採択チームへと引き継がれている。

#### 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)

今後普及されるであろう超小型・軽量でエネルギー効率の良い電池駆動型ハードウェア(マイクロビキタスノード)に着目し、Linux OSをベースとしたディペンダビリティ機構を実現することを目標とし、ディペンダブル通信機能ならびにディペンダブル消費電力管理機能を開発した。ディペンダブル通信機能は具体的にはトランスポート層での通信路の冗長化、瞬時切断の回復、通信データの優先順位への対応を行い、トランスポート層プロトコル SCTP を改良し、その効果を実証した。その成果はまず初めに FreeBSD で公開され、その後 Linux ソースツリーに採用され、実用化を完了した。

ディペンダブル消費電力管理機構は、組込み機器の所定時間の動作を保証する仕組みである。X86 上に実装され、Android Market Place で公開され、実用化を完了した。

ディペンダビリティメトリクスに関する研究はコアチームと共同で行われ、オープンシステムにおけるディペンダビリティの絶対評価の困難さをいかにして解決するかの議論が行われ、初期段階としての成果を出して平成 20 年度採択チームへと引き継いだ。

ディペンダブル通信機能ならびにディペンダブル消費電力管理機構を搭載した遠隔監視ロボットシステムが D-Case 記述を用いて設計・実装され、D-Case による記述並びにモニターノード利用の効果について評価が行われた。

以上、予定された研究開発を着実に実施し、多数の原著論文、国際会議論文、招待講演などにより成果を公表するだけでなく、特許の出願、開発したソフトウェアの Linux ソースツリーへの採用や Android Market Place での公開など、実用化にも貢献し、高い研究成果を挙げた。

##### 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

研究成果を単なる学術発表にとどめることなく、Linux ソースツリーへの採用まで持って行ったことは研究テーマの現実性とその技術内容の高さ、更には成果の実用化への執念のたまものであり、社会的なインパクトが極めて高い。加えて、本領域の戦略目標である「ディペンダビリティ」と「実用性」に関して、独自の立場からしっかりとした成果を達成しており、高く評価できる。

##### 4-3. 総合的評価

今後急速に普及するであろうマイクロビキタスノードに着目し、Linux OS をベースとしたディペンダブル通信機能ならびにディペンダブル消費電力管理機能を開発し、その効果を実証し、Linux ソースツリーに採用され、あるいは Android Market Place で公開され、実用化した。以上、具体的な目標を持って着実に研究開発を行い、実用化まで持って行き、十分な成果を挙げたことは高く評価できる。