

徳田 英幸

慶應義塾大学 環境情報学部 教授

## マイクロユビキタスノード用ディペンダブル OS

### 1. 研究実施の概要

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ために、以下の課題に取り組んだ。まずバッテリー電力の詳細なロギングと予約に基づく電力管理機能（研究課題 1）では、平成 20 年度は Linux カーネル 2.6.21 上で、プロセスごとの消費電力を計測する手法を実現した。来年度は、本手法を P-Component 化するとともに、それを応用して、未来の消費電力を予約する機構を検討する。次に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高信頼ネットワーク機能（研究課題 2）では、FreeBSD 上でのシームレスハンドオーバー機構の実装を終了し、Linux 上での実装に着手した。来年度は Linux 上での実装を終え、同機構を P-Component 化する。最後に、オペレーティングシステムが提供するディペンダビリティの量と質を評価できるメトリクスの構築（研究課題 3）では、初期的なメトリクスを定め、それに基づいて各種ディペンダビリティ機構の評価と OS 全体の評価を行える Web サービスを構築した。来年度は、同サービスを拡張し、OS コンフィグレーションごとのディペンダビリティ評価と、製品要求に対する OS コンフィグレーションの提案に関する検討を行う。

### 2. 研究実施内容（文中にある参照番号は 4.(1)に対応する）

以下に、平成 20 年度の研究実施内容を課題ごとに述べる。

#### 2-1. 高可用電力管理機構

高可用電力管理機構に関して、平成 20 年度は、1 台の組み込み機器内で各プロセスが消費している電力を推定する、電力使用量推定モジュールを構築した[2]。また、移動型ロボットにセンサハードウェアを組み込んだ Linux 端末を用いて、広範囲な空間センシングを行い、取得データを安全にデータベースに保存するためのアプリケーション開発を開始した[3][4]。高可用電力管理機構において、特定のプロセスに対して所定の電力を予約するためには、組み込み機器単位の粒度ではなく、プロセスごとおよびデバイスごとの粒度で電力の消費状況を把握する必要がある。同状況を把握することにより、予約対象ではないプロセスのうち、消費電力の大きなものを、利

ユーザーにとっての重要度を考慮して選択的に停止していくことによって、予約対象プロセスに対して割り当てる電力を確保可能となる。

そこで本モジュールでは、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。ただし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。

本モジュールについて、未来のバッテリー消費量の予測を行う実験を行った。同実験では、常に一定のバッテリー消費を行うアプリケーションとして、無線送信と円周率計算プログラムを1時間稼働させ、n 分後のバッテリー残量の予測を行い、実測値との誤差を計測した。実験では、n として1分、5分、10分、20分、および30分を用いた。図1に、予測値と実測値との差を示す。グラフの縦軸は差を、横軸には実験経過時間を示す。同図より、現在の実装では予測期間が大きくなるほど、実測値との差が大きくなることがわかった。一方、10分先のバッテリー残量までは、実測値との差が2%に収まっており、また30分先の予測を行った場合でも、その差が4%に収まっていることがわかった。これらより、次年度に予定しているバッテリー予約機構の基礎として、短期間の予約であれば十分に利用可能であることがわかった。今後は、より長期間の予測に関する実験を行っていく。

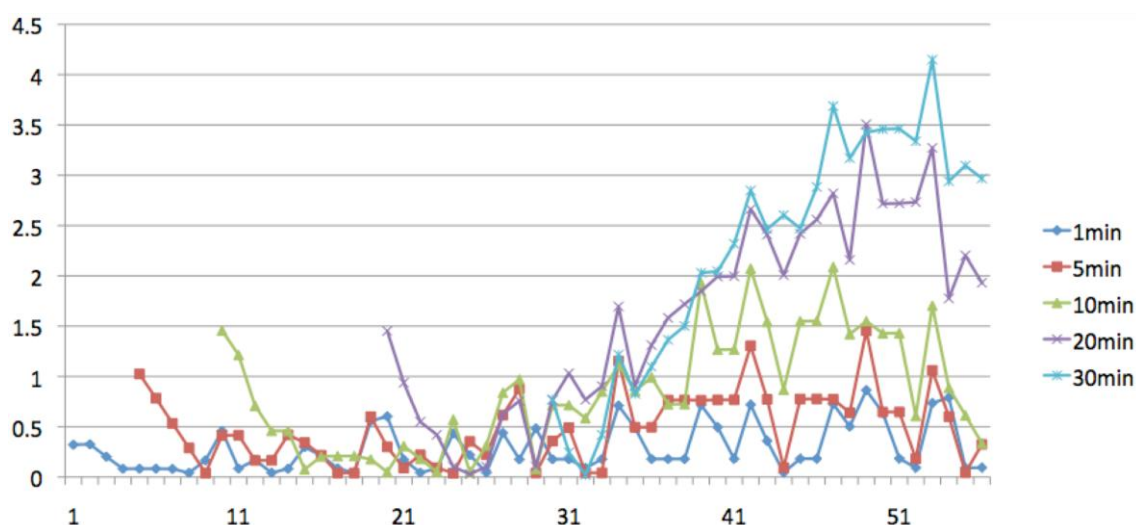
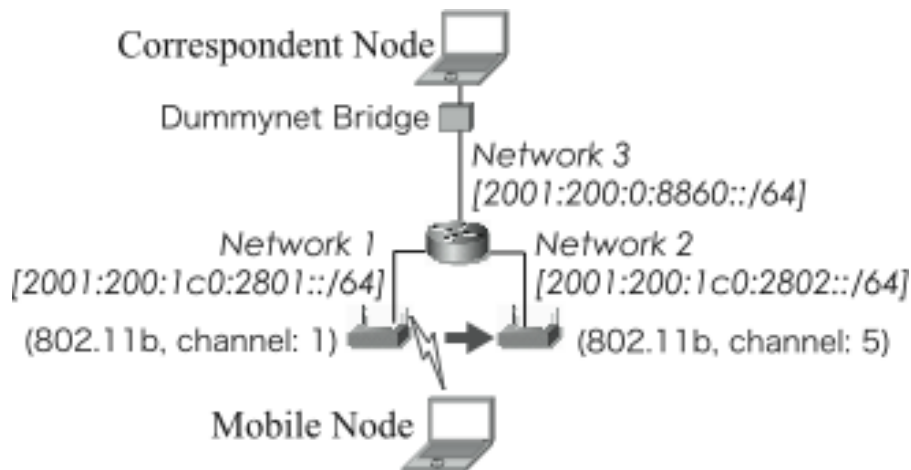


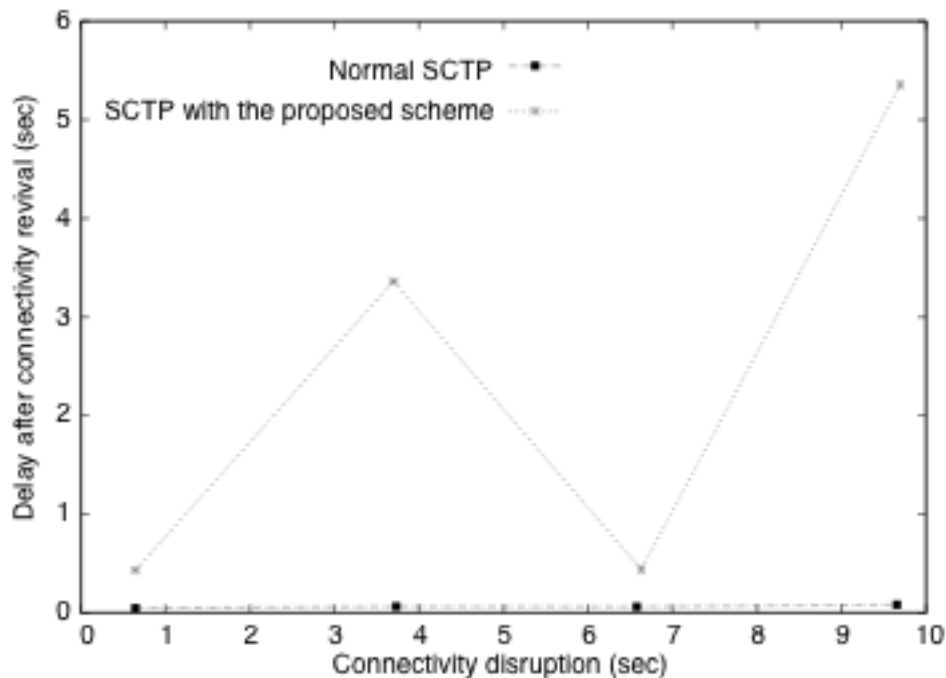
図1 バッテリー残量予測値と実測値との差(予測値に対する割合)

## 2-2. 高信頼ネットワーク機構

高信頼ネットワーク機構の実現に対し、平成20年度は異なるネットワークへの移動時におけるトランスポートプロトコルのパフォーマンス改善に取り組んだ[1]。本研究では次世代トランスポートプロトコルである Stream Control Transmission Protocol (SCTP) [RFC4960] および信頼性に柔軟性を持たせる拡張である Partial Reliable SCTP (PR-SCTP) [RFC3758] を対象に、端末が異なるネットワークに移動した際、コネクティビティ切断時に不必要な輻輳制御機構が働いて通信の再開が遅延する問題を解決した。本研究を評価するために FreeBSD 上に提案手法を実装し、無線 LAN を用いたテストベッドを用い、パフォーマンスの改善を計測した。以下にそのテストベッド環境を示す。



このテストベッドでは 3 つの IPv6 ネットワークを用意し、それぞれをモバイルノードの移動前ネットワーク、移動先ネットワーク、通信相手が接続しているネットワークとして利用した。モバイルノードが接続するリンクは移動前、移動後ともに 802.11b を使い、通信相手が接続するリンクは有線を利用した。また、dummynet を利用して実際の環境に近い遅延を発生させ (20 ms RTT、東京-大阪間程度)、実験のリアリティを向上させた。また、以下に実験結果として、ネットワーク移動時の物理的なコネクティビティ切断時間と実際の SCTP コネクションにおける通信切断時間の関係を示す。尚、実験結果は通常の SCTP コネクションにおける結果を示しているが、PR-SCTP においてもほぼ同様の結果が得られた。



SCTP コネクションにおいて、通信切断後の遅延は以下の式 ( $N$  はコネクティビティ切断中に再送タイムアウトが起こる回数、 $RTO$  はバックオフ前の再送タイムアウトまでの時間)で表されるため、ほぼ理想的な結果が得られた。

$$ExtraDelay = \sum_{n=0}^{N-1} RTO \times 2^n - DisconnectedPeriod$$

現在本機構は Linux の SCTP スタックである lksctp 上に移植中である。lksctp は未だコネクションを動的なアドレスの変化に対して維持する機構が実装されていないため、その機構の部分から実装を行っている。また 71<sup>st</sup> IETF にて問題視された、同時に大量のコネクションが存在する場合に、それらがコネクティブティ切断後の通信再開時に、バースト的に slow-start が開始され他のトラフィックに急激に変化をもたらす問題を解決中である。平成 21 年度は lksctp への提案手法の移植の継続、およびバースト slow-start の問題の解決を行う予定である。

### 2-3. ディペンダビリティメトリクス

平成20年度より、任意の組み込み機器が提供するディペンダビリティの量と質を数的に評価できることを目的として、メトリクスの開発を行っている。これまでの検討結果により、質を表すために、複数の評価軸を組み合わせる必要があると考えている。たとえば以下は軸の例として挙げられる。

*-proof	energy	performance	threat	fault		
いわゆる ディペンダビリティ	availability	reliability	safety	integrity	maintainability	confidentiality
ディペンダビリティ 確保	fault prevention	fault removal	fault forecasting	fault tolerance		
PDCA	plan	do	check	act		
マルチレベル支援	level1	level2	single core	multi core	multi node	

これらのうち、たとえばPDCA軸と\*-proof軸を組み合わせた平面でディペンダビリティの質を議論することを想定する。その場合は、plan時のperformance保証を目的とした機能の数とそれ自体の性能や、do時のfaultからの回復を目的とした機能の数とその性能などを分析していくことになる。そこで上記の軸を用い、ディペンダブルOS全体をディペンダビリティ支援機能の集合と捉え、それらを実験できるWebサービスを構築した。以下に、同サービスを用いて導出できる評価結果の例を示す。



「なにが」に相当する。本質的に保証する必要があるディペンダビリティ性質のうち、どの性質が実際に保証されているのか、を示すメトリクスである。

- ・ OSが提供するディペンダビリティ機能の性能を評価するメトリクスの構築  
「どのように」に相当する。各ディペンダビリティ性質が、どのようなパフォーマンスで実際に保証されているのか、を示すメトリクスとそれを算出するベンチマークである。
- ・ OSが提供するディペンダビリティ機能の作用を評価するメトリクスの構築  
「いつ」に相当する。開発、流通、稼働、廃棄といった製品のライフサイクルのどのフェーズで(1)や(2)の事項が働くのか、を評価するメトリクスである。

### 3. 研究実施体制

#### (1)「徳田」グループ

① 研究分担グループ長: 徳田 英幸(慶應義塾大学、教授)

#### ② 研究項目

高可用電力管理機構、高信頼ネットワーク機構、ディペンダビリティメトリクス

### 4. 研究成果の発表等

#### (1) 論文発表 (原著論文)

- 1 Michio Honda, Jin Nakazawa, Yoshifumi Nishida, Masahiro Kozuka and Hideyuki Tokuda, "A Connectivity-Driven Retransmission Scheme Based On Transport Layer Readdressing", In Proceedings of the 28th International Conference on Distributed Computing Systems (ICDCS2008), pp.277-285, Beijing, China, June 2008.
- 2 Masato Mori, Junichi Yura, Jin Nakazawa, and Hideyuki Tokuda, "P-Survive: Process level energy reservation for networked sensing systems," In Proceedings of the 5th International Conference on Networked Sensing Systems (INSS2008), pp.242-245, Kanazawa, Japan, June 2008.
- 3 Hiroshi Sakakibara, Takuro Yonezawa, Jin Nakazawa and Hideyuki Tokuda, "Area-Based Activity Information Preservation Mechanism for Ubiquitous Sensor Environment," In Proceedings of the 5th International Conference on Networked Sensing Systems (INSS2008), Kanazawa, Japan, pp119-122, June 2008.
- 4 Soko Aoki, Jin Nakazawa, and Hideyuki Tokuda, "Spinning Sensors: A Middleware for Robotic Sensor Nodes with Spatiotemporal Models," In Proceedings of the IEEE International Conference on Embedded and Real-Time Computing Systems and Applications (RTCSA2008), pp89-98, Kaohsiung, Taiwan August 2008.

#### (2) 特許出願

平成 20 年度 国内特許出願件数 : 0 件 (CREST 研究期間累積件数 : 0 件)