

論文の内容の要旨

| | |
|-----------|---------------------------------------------|
| 論文題目 | UNIXへ実時間性と柔軟性を付加した 組込み機器向け基盤ソフトウェアに関する研究 |
| 学位 申請者 | 佐藤 喬 |

本研究は、組込み機器向けの基盤ソフトウェアとしてのUNIXを論じ、UNIXが持つ欠点である「実時間性の不足」と「用途に特化する柔軟性の不足」の解決に繋がるunitronシステムとkexecシステムを提案した。これらのシステムは、LKM (Loadable Kernel Module) として実装され、既存UNIXカーネルのソースコードを変更する事なく、その機能を実現している。

現在、組込みシステムは、情報家電やロボット、携帯電話、自動車など様々な機器で利用されており、世界中で広く使われている。組込み機器に搭載された組込みシステムは、デスクトップPC (Personal Computer) のような汎用の計算機システムと同じように、CPUとメモリ、I/O (Input/Output) 装置のハードウェア群とそれらを統括する基盤ソフトウェアから構成される。ただし、組込みシステムは、その用途が限定されているため、用途に必要なハードウェア資源と基盤ソフトウェアだけから構成される。そのため、既存の組込み機器は、性能の低いCPUと少量のメモリ上で動作するように単純な機能のOS (Operating System) のみの構成になっている。更に低価格化のためにハードウェア資源が制限されるような用途の組込みシステムでは、OSを使用せずに対象となる用途専用のソフトウェアのみで構成される事もある。

他方で組込み機器の高機能化が進み、汎用OSであるUNIX を組込み機器向けの基盤ソフトウェアとして利用する事例が増えてきた。UNIXを利用する利点は、既に動作している豊富なソフトウェア資産を流用して、開発コストを削減できる事である。例えば、UNIXを使った情報家電のTVは、画面上のメニューを既存のGUI (Graphical User Interface) ライブラリを基に構築する事ができる。また、インターネットから番組情報を取得するような処理も、UNIXの持つドライバ、ネットワークスタック、アプリケーションといった豊富なソフトウェア資産を利用して実現可能である。

一方、組込みOSは、UNIXに比べソフトウェア資産の蓄積が少ない。そのため、ソフトウェアをゼロから開発するか、商用のソフトウェアを別途購入する必要がある、開発にコストがかかってしまう。UNIXは、豊富なソフトウェア資産を持ち、多くのUNIX実装はロイヤリティフリーかつオープンソースである。UNIXを組込み機器向けの基盤ソフトウェアとして利用すれば、これらの豊富なソフトウェア資産を利用、改良する事で、既存の組込みOSが抱えていた開発コストの増加を抑えられる。

このように、UNIXは豊富なソフトウェア資産を提供する事で、組込み機器向けの基盤システムとして開発上の利点をもっている。しかし、UNIXは汎用計算機向けとして発展してきたため、組込み機器を制御する上で「実時間性の不足」と「用途に特化する柔軟性の不足」という欠点がある。そこで、本研究ではこれらの欠点を解決するため、実時間性を提供するunitronシステムと、用途に特化する柔軟性を提供するkexecシステムを提案した。

unitronシステムは、組込み用OSの μ ITRONをUNIXカーネル内部に取り込み実時間性を提供する。実時間性が必要な処理は μ ITRONのタスクとして記述し、実時間性が不要な処理はUNIXのプロセスとして記述する方法を採用した。これは、組込みシステムの開発の現場で、実時間処理の記述に μ ITRONが実績を持っているため、蓄えられたソフトウェア資産や知見を活用する狙いがある。

kexecシステムは、UNIXアプリケーションを一般的な組込みOSのタスクと同様にカーネルモードで動作させる。これにより、開発者は、アプリケーションレベルでハードウェア状態の参照や、カーネル内資源の直接操作ができ、組込みシステムの用途に応じてソフトウェアを特化できる。その際、組込みOSのタスクプログラミングとは違い、既存のアプリケーションやユーザライブラリなどのソフトウェアの大部分を流用できるため、開発のコストを抑える事ができる。

unitronシステムとkexecシステムにより、豊富なソフトウェア資産を持つというUNIXの利点を生かしつつ、UNIXをより組込み機器向けの基盤ソフトウェアとして活用できるようになる。

論文審査の結果の要旨

学位申請者氏名 佐藤 喬

審査委員主査 多田 好克

委員 大森 匡

委員 末廣 尚士

委員 田野 俊一

委員 古賀 久志

委員 小宮 常康

第1章では、本研究の背景として汎用OS (Operating System) であるUNIXと組込み機器向け基盤ソフトウェアの関係について述べた。組込み機器は、その用途に応じて限定的な機能を提供するが、その用途の拡大と計算機の高機能化により、基盤ソフトウェアとして汎用OSであるUNIXを使用する事例が増加した。これは既存の組込みOSでは用途の拡大に対応できるソフトウェア資産が不足しており、豊富なソフトウェア資産を有するUNIXを使用する利点が増大したためである。しかし、汎用OSであるUNIXが持つ「実時間性の不足」と「用途に特化する柔軟性の不足」という問題が存在する事を挙げた。

第2章では、UNIXの持つ2つの問題点を解決するためのシステムとしてunitronシステムとkexecシステムを提案しその概要を述べた。unitronシステムは、実時間処理OSである μ ITRONをUNIXのカーネルモジュール化し、その機能をUNIXに取り入れる事により実時間性をUNIXへ付加する。また、kexecシステムは、アプリケーションをカーネルモードで動作させる機構である。アプリケーションを一般的な組込みOSのタスクと同じカーネルモードで動作させる事で、用途に特化する柔軟性の不足を補った。

第3章では、unitronシステムの設計と実装、評価について述べた。組込み分野で利用実績のあるOS実装を活用するため、UNIXはNetBSDを μ ITRONはTOPPERSをベースに開発をした。TOPPERSの実時間性を確保するための方法や、ポータビリティを高めるためのライブラリ化の方法、両OSのコンテキストを切り替え方法、割り込みの配送方法について実際のコードを交えながら論じている。評価では、実時間性に着目し、タスクの周期性を測定した。負荷の低い状態ではTOPPERS単体に近い実時間性を得る事ができ、負荷が高い場合にも実時間性が確保できた。また、既存のNetBSDとTOPPERSのコードを極力利用する事で、新規に記述したunitronシステムのコード量は数千行に抑えられている事が述べられている。

第4章では、kexecシステムの設計と実装、評価について述べた。kexecシステムはアプリケーションをカーネルモードで実行する枠組みを提供している。一般的な組込みOSのタスクと同じカーネルモードで動作する事で、システムコールの関数呼び出し化やカーネル内資源の直接操作ができる。kexecシステムの適用例として、UNIXのアプリケーションであるlsコマンドとcpコマンドをカーネルモードで実行し評価を行った。lsコマンドはシステムコールの関数呼び出し化の適用例として、cpコマンドはカーネル内資源の直接操作の適用例として評価した。その結果lsコマンドは約5%、cpコマンドは約26%の処理時間の削減と、処理内容へ特化できた事が確認された。

第5章では、第3章と第4章の知見をまとめ、unitronシステムとkexecシステムの利用法を述べている。そして、UNIXの持つ豊富なソフトウェア資産を生かしながら、既存の組込みOSが持つ「実時間性」と「用途に特化する柔軟性」を取り入れる両システムが今後組込み機器向けの基盤システムとして適用できる領域について考察を行っている。

以上のような内容に鑑み、本論文は博士（工学）の学位請求論文として十分な価値を有すると判定した。