

## 審査の結果の要旨

氏名 戴毛兵

車載コンピュータ、ロボット制御などの組み込みシステムは社会基盤として重要性を増している。複雑化する組み込みシステム系では、厳密な時間制約が課せられるハードリアルタイムタスク、緩やかな時間制約で良いソフトリアルタイムタスク、時間制約を持たない通常タスクが混在する。リアルタイムタスクが時間制約を満たせなくなるのは、複数タスクの共有資源排他制御機構およびタスク実行優先順位機構によりそのタスクが実行できなくなるからである。複数タスクの共有資源を管理するための排他制御機構およびタスク実行順序機構には、1)ハードウェア割り込みの禁止、2)資源ロック、3)タスク実行優先順位、の3機構がある。本論文では、これら3機構において、ハードリアルタイムタスクが最小限の待ち時間で実行を開始あるいは再開できるようにするために、3つの手法、Delayed Interrupt Processing (DIP)、Delayed Long Lock Section (DLLS)、Dynamic Priority Space (DPS)を提案、実装し、評価している。本論文は7章から構成されている。

第1章では、提案手法の概要を述べた後、本論文の動機および背景について述べている。第2章で、本論文で提案される3手法を使うことによる新しいリアルタイムオペレーティングシステム像について述べた後、続く章では各手法について提案、実装、評価、関連研究との比較を通じた新規性の言及、を行っている。

第3章ではDIP (Delayed Interrupt Processing)手法を提案している。DIPはリアルタイムタスクが実行を開始しなければいけない時刻に最小限の遅延で実行が開始できるようにする手法である。従来、割り込み禁止区間中にリアルタイムタスクの実行が開始されなければいけない時、タイマー割り込み処理も割り込み禁止区間終了後に処理されるため、割り込み禁止区間中に実行開始しなければいけないリアルタイムタスクがあっても実行が遅延していた。DIPにより、割り込み禁止区間であっても周辺デバイスからの割り込みは禁止されない。割り込み発生時、タイマー割り込み処理以外の割り込みハンドラの実行は、割り込み禁止区間の後に回される。これは、割り込み禁止区間は共有資源へのアクセスが制限されなければならないことによる。タイマー割り込み処理は遅延なく実行される。これにより、共有資源を利用しないリアルタイムタスクの実行を遅延なく開始させることが可能となる。Linuxカーネルに本手法を適用し実験によってその有用性を検証している。

第4章ではDLLS(Delayed Long Lock Section)を提案している。DLLSは、共有資源を排他制御するタスクに対して、排他制御のための資源ロックを遅延させる手法である。通常タスクが共有資源をロックし続けていると、リアルタイムタスクがその共有資源を利用しようとすると待たされる。リアルタイムタスク実行期間中に共有資源が他のタスクで利用されていないことを保証するためには、リアルタイムタスク実行開始時に使用する資源が排他制御されていないことを保証する必要がある。このためには、通常タスクが資源をロックし排他制御されている期間内にリアルタイムタスクの実行が開始しないことを保証すればよい。しかし、リアルタイムタスクは必ずしも実行開始時間を厳密に守らなくても時間制約(ここでは終了時刻の制約)を満たす場合がある。そこで、DLLSではリアルタイムタスクの実行開始時刻の最大遅延許容値MTV(Maximum Tolerable Value)を導入している。これにより、通常タスクが資源をロックする時、通常タスクが資源をロックし続ける時刻が、リアルタイムタスクの実行開始時刻から最大許容値MTV(Maximum Tolerable Value)より大きい場合に、通常タスクの資源ロックは待たされる。本方式により、リアルタイムシステムに要求される実時間制約環境によって動的にMTVを設定することができ、リアルタイムタスクの時間制約を保証することができる。Linuxカーネルに本手法を適用し実験によってその有用性を検証している。

第5章ではDPS(Dynamic Priority Space )を提案している。DPSでは、従来の独立したハードウェア優先度空間とソフトウェア優先度空間が統合され、動的な優先度空間を提供する手法である。本手法により、リアルタイムタスクはハードウェアの割り込み優先度よりも高い優先度を得ることが出来る。これにより、リアルタイムタスクの実行は優先度の低い割り込みハンドラの実行に阻害されなくなる。Linuxカーネルに本手法を適用し実験によってその有用性を検証している。

第6章では、提案3手法全体を統合したリアルタイムオペレーティングシステムの全体像を示している。そして、第7章で本論文の結論を述べている。

本論文では、リアルタイムタスクの時間制約を満たせなくさせる要因を分析し、1)ハードウェア割り込みの禁止、2)資源ロック、3)タスク実行優先順位、の3つの問題点をそれぞれ解決し、システム全体としてまとめあげている。個々の問題点解決手法は既存解決手法の改良ではあるが、これら3つの手法をLinuxリアルタイムオペレーティングシステムに統合し、その有効性を実験で検証していることは、リアルタイムオペレーティングシステム研究領域に大きな貢献をしていると言える。

よって本論文は博士（情報理工学）の学位請求論文として合格と認められる。