

Mission Critical システム向け 組み込み型リアルタイム Linux の開発

高い信頼性とリアルタイム性を持つ Linux の開発

1 . 背景

近年、組み込み機器の開発において、Linux の採用が進みつつあるが、プラント制御等の Mission Critical システム（万一故障した場合に重大な悪影響を及ぼすシステム）において利用するには、以下の3つの課題が存在する。

- ・ 制御演算が一定周期で確実に動作するリアルタイム性の不足
- ・ 数年に及ぶ連続稼働を実現するための信頼性の不足
- ・ トラブル時に原因究明するためのシステム状態記録解析機能の不足

本開発プロジェクトでは、組み込みプロセッサSH4を対象に、以上の3点の課題を解決する改良開発を行った。

2 . 目的

特にリアルタイム性に関しては、Linuxではファイル入出力・通信・メモリ解放により、定周期のタスク起動が妨害される問題がある。（cf . RT-Linuxはリアルタイム性にすぐれているが、通信処理を高い優先度で実行できない。）この対策として、LowLatencyパッチやPreemptionパッチが提案されているが性能が十分ではない。本開発ではこれらのパッチを元に、デバイスドライバ改良も実施し、高いリアルタイム性を実現する。

3 . 開発の内容

SH4-Linux カーネル 2.4.20 をベースとして、5種の評価ボード（Ethernet（Am79C973・SMC91111・i82559）とIDE）に対し以下を開発した。

3-1. リアルタイム性向上機能

3-1-1. 周期タスク起動精度向上機能

LowLatencyパッチとPreemptionパッチを出発点として、ファイル入出力・通信・メモリ解放等で妨害しながらタスク切替の様子を調査した結果、短い割込みが何度も入るためタスク切替が遅れると判明した。

対策として、割込み処理（ハード割込み+ソフト割込み）全体をソフト割込み化（TASKLET化）し、高い優先度のタスクが動作している場合はその割込み処理を保留して後回しとすることで解決した。この方法により、通信やファイル入出力の妨害があった場合でも、定周期で起動するタスクの起動精度を0.5ミリ秒以内のゆらぎに抑えることができた。

3-1-2. OS 起動周期設定機能

カーネル生成時にOS 起動周期（現状10ミリ秒固定）設定可能とし

た。その際、OS 起動周期毎にカウントアップする jiffies 変数を時間管理に参照するデバイスドライバを見直し、誤動作しないようにした。

3-1-3. 起動時間短縮機能

BusyBox と TinyLogin を採用すると共に各種の見直しを行って、カーネルロード完了～Login 表示まで 5 秒以内を達成した。

3-2. 信頼性向上機能

3-2-1. メモリリーク検出機能

プロセス（指定可能）毎のメモリリーク及び全体の空きメモリ量を監視する機能を新規開発した。

3-2-2. リング状ファイルアクセス機能

長期間運転による /var/log 下のログファイル肥大化を防ぐため、リング状ファイルとし、上限サイズを越えないファイルシステムを開発した。

3-2-3. 時刻カウンタオーバーフロー対応機能

jiffies 変数(3-1-2章参照)は497日でオーバーフローするので、これを時間管理に参照するデバイスドライバが、誤動作しないようにした。

3-2-4. 通信冗長化機能

二重化された Ethernet 通信において、1 本故障した際のシステム再起動時に、その故障デバイスの初期化をスキップして、残りの正常デバイスを、通常時と同じ IP アドレスで初期化するように改良した。

3-3. トラブル解析機能

3-3-1. イベントログ機能

Linux の各種イベント（タスク切替、シグナル、例外、ハード割込み、ソフト割込み、スピンロック、割込み禁止等）を、リングバッファ状メモリにログを採る機能を新規開発した。またタスク切替妨害要因の期間が閾値を越えた場合にログを停止するツールも開発した。

3-3-2. 通信ログ機能

Ethernet 通信のパケットのログをリングバッファ状のメモリに採る機能を新規開発した。

3-3-3. 異常時メモリダンプ機能

あらかじめ予備カーネルをメモリ上にロードしておき、異常発生時に、レジスタ値をメモリに保存後、予備カーネルへジャンプし、これを立ち上げて、元のカーネルの全メモリイメージを圧縮ファイルとして保存する機能を新規開発した。

3-3-4. オンラインデバッグモニタ機能

プログラム実行中に、カーネルを含むメモリの表示・変更、逆アセンブル表示、レジスタ表示・変更を行なうツールを新規開発した。

4. 従来の技術との相違

リアルタイム性改良効果は次のとおり。（評価ボード QT-PIDS の場合）

表 1 . タイマー割込み～アプリ起動までの最大所要時間（μ秒）

	現行カーネル	LowLatency + Preemption パッチ	改良カーネル
ファイル入出力	4 1 9 9 4	4 1 1	1 5 0
PC から ftp put	4 2 1 2 9	1 5 1 4	1 7 3
PC から ftp get	9 0 9 4	6 4 3 2	1 6 8
アプリ起動 & 終了	2 2 3 5	5 3 2	1 4 7
メモリ確保 & 解放	1 4 4 0	1 4 1 8	1 4 2

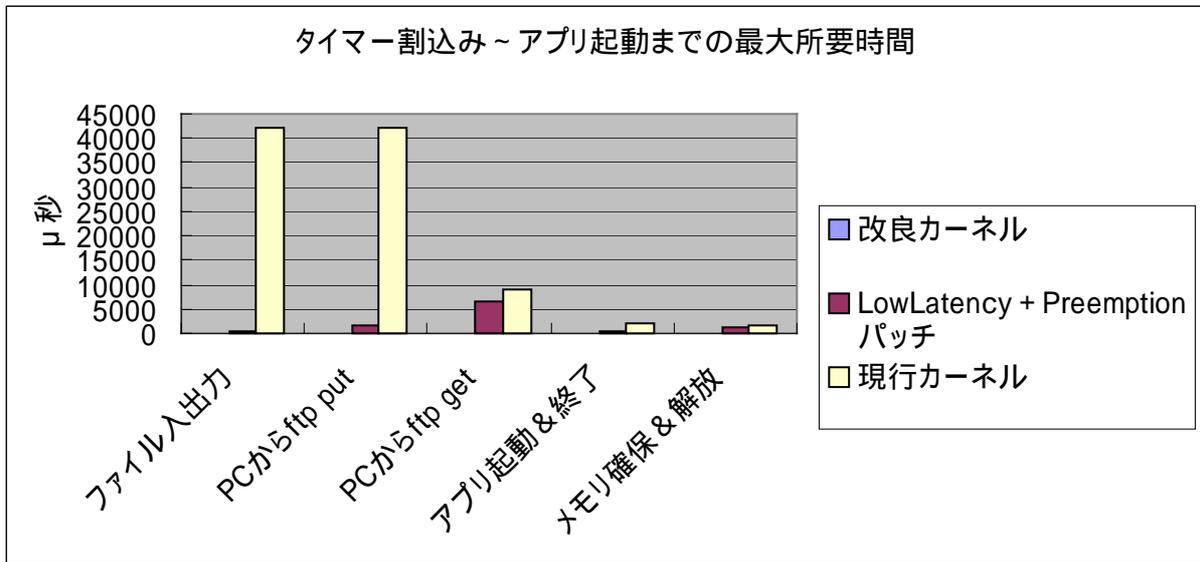


図 1 . 3 つの場合の最大所要時間の比較

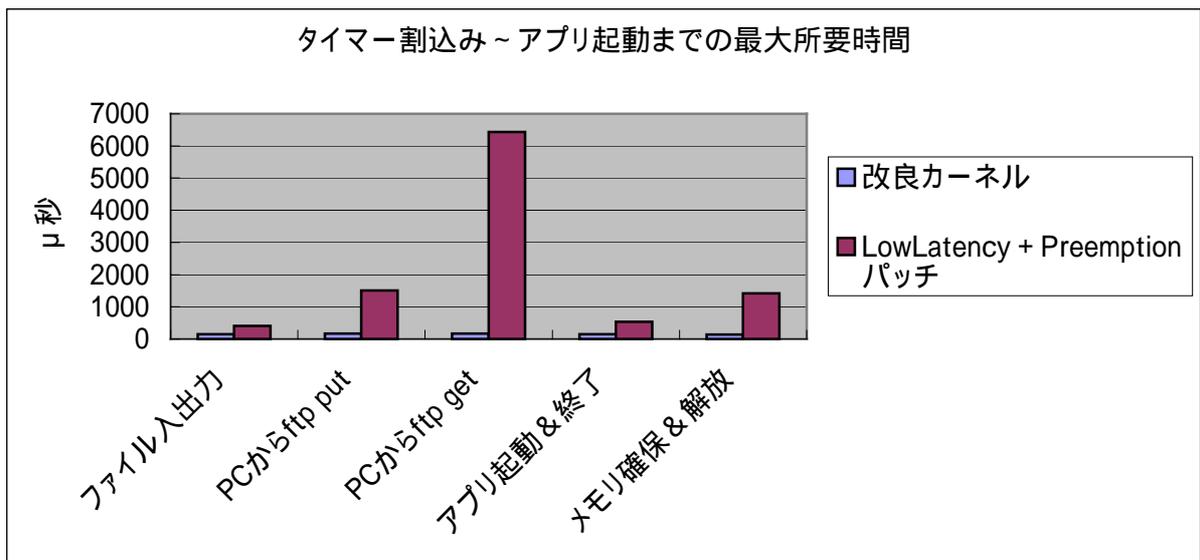


図 2 . 2 つの場合の最大所要時間の比較

5 . 期待される効果

最大の成果であるリアルタイム性（3-1-1章の周期タスク起動精度向上機能）に関しては、他のCPUや他のデバイスドライバもほぼ同一のソフトウェア構造であるため、同様な手法を適用することで劇的にリアルタイム性を改善できる見込みがある。

6 . 普及の見通し

三菱重工業(株)は制御装置に、(株)アイ・ティー・オーは画像データロガーや研究・教育用評価ボード SH-2004 に、(株)エー・アンド・デイは計測装置に搭載し販売する予定である。

各改良部分をパッチ形式に分割し、これらがまとまった段階で SH-Linux カーネルメンテナ小島氏（共同開発者の一人）より開発コミュニティにフィードバックさせる。このフィードバックがカーネル全体に反映されれば、開発成果は Linux コミュニティ全体に普及させることができる。

またプロジェクト開始当初から SourceForge.jp を利用してオープンソース開発を進め、事業終了後もメンテナンスを継続する予定である。これらの機能は SH-Linux に限定されるものではなく、開発者・利用者の多い x86系の Linux においても有用であり、広報活動を通じて普及を図る。

7 . 開発者名

曾我正信 （三菱重工業(株) 長崎研究所 制御システム研究室）
中出 実 （三菱重工業(株) 長崎研究所 制御システム研究室）
山中禎詠 （三菱重工業(株) 長崎研究所 制御システム研究室）
阿部昌裕 （(株)エー・アンド・デイ 設計開発本部）
斎藤真輝 （(株)エー・アンド・デイ 設計開発本部）
片桐 敦 （(株)エー・アンド・デイ 設計開発本部）
杉岡利信 （(株)アイ・ティー・オー）
小島一元 （フリープログラマー）
比屋根一雄 （(株)三菱総研 情報環境研究本部 情報技術研究部）
飯尾 淳 （(株)三菱総研 情報環境研究本部 情報技術研究部）
谷田部智之 （(株)三菱総研 情報環境研究本部 情報技術研究部）

問い合わせ先（ r2linux-info@lists.sourceforge.jp ）

（参考）開発プロジェクトURL

<http://r2linux.sourceforge.jp/>

<https://sourceforge.jp/projects/r2linux/>