

航空宇宙用 GPS ソフトウェアの RTOS・ハードウェア及び開発環境の検討

松原 裕人[†] 大谷 真[†]

湘南工科大学大学院工学研究科電気情報工学専攻[†]

1. はじめに

現在日本には気象観測用ロケット等の使える GPS がない。また、衛星用 GPS は高性能ではあるが一回の打ち上げで壊れるロケットに搭載するには高価である。この現状を解決するためオープンソースソフトウェアを利用した GPS 受信機の研究・開発を行っている。航空宇宙用 GPS 受信機の様な長期において人の手を離れる自律型組み込みシステムでは高い信頼性を保つために、自己調整・診断機能や縮退運転・フォールトトレランス設計が重要視される。本論文では自律型組み込みシステムである GPS 受信機に現開発段階で要求されてる信頼性・機能・性能を分析すると共に、要求事項に応えられる RTOS・ハードウェアの検討・選択結果及びソフトウェアの開発環境の検討状況について報告する。

2. 航空宇宙用 GPS ソフトウェア開発のねらい

現在の日本には気象観測用、民間用のロケットに搭載するためのロケット特有のダイナミクスに対応した GPS 受信機はない。また、打ち上げ毎にロケットと共に GPS が失われるという難点もあり、高性能な衛星用 GPS では高価で使えない。そのため、今回の我々のプロジェクトでは昨今性能の向上が著しい民生部品 (CPU, メモリ, RF, A/D コンバータ等) とオープンソースソフトウェアの利用により安価かつ高性能な GPS 受信機と GPS ソフトウェアの開発を目指す。

新規開発する GPS ソフトウェアの母体には既に作成されているオープンソース GPS ソフトウェアを使用する。また、航空宇宙用 GPS では高速度、高加速度、ジャーク、アンテナパターンの変動に対応できる必要がある。この航空宇宙用としての GPS アルゴリズムの改良及び新規開発は現在進行中である。そこで我々は母体のオープンソース GPS ソフトウェアの RTOS への移植、RTOS の機能を利用した GPS ソフトウェアの改良、宇宙用の新たな GPS アルゴリズムの実装と最終的な実機への移植を担当する。

Study of real-time OS, hardware and develop environment for aerospace GPS software.

Hiroto Matsubara[†], Makoto Oya[†]

Special Study of Electrical and Information Engineering,
Shonan Institute of Technology[†]

完成した航空宇宙用 GPS ソフトウェアを搭載するハードウェアについても現在並行開発中である。そこで我々はまず最初に OS の選択、開発環境の構築を行った。以降では、まず現段階で RTOS に要求される機能・性能と RTOS を選択結果を述べ、次にそれに伴ったハードウェアの選択、最後に開発環境の検討状況を報告する。

3. GPS ソフトウェアの RTOS の検討・選択

3.1. RTOS に対する要求事項

RTOS を選択するに際しては以下のような条件が挙げられた。

(1) オープンソース

オープンソースソフトウェアを利用することは GPS ソフトウェア開発の要点なので、オープンソースであることを重視した。

(2) ハードリアルタイム性

1ms 毎に発生する割り込み 3 回を必ず 1ms 以内に処理しなければならない (平均 $333 \mu s / interrupt$) ため、ハードリアルタイム性と高い応答性が必要である。

(3) 省電力機能

ロケット、衛星等では使用できる電力は非常に限られているため、CPU を使用していないときには休止状態になるような機能や電力を下げて低速で動く様な省電力機能が必要である。

(4) 絶対優先度スケジューリング

母体とするオープンソース GPS ソフトウェアが絶対優先度スケジューリングを用いており、移植作業の効率を上げるために同様のスケジューリング方式を取る OS を重視した。

(5) プリエンプティブマルチタスク

上記と同様の理由によりプリエンプティブマルチタスクが求められる。この条件は表 1 の RTOS の全てが満たしていた為表 1 からは省いている。

(6) 必要最小限の機能

GPS 受信機としての機能のみが求められており、ハードウェアリソースが少ないと予想される。よって、上記の条件を満たすもので仮想メモリやファイルシステムを持たない必要最小限の機能の OS を選択した。

表 1. RTOS の比較表

| 名称 | T-Kernel | μ T-Kernel | TOPPERS | Wind River Linux | uLinux | VxWorks | eCos | Symbian OS |
|-------------|----------|----------------|----------------|------------------|--------|---------|------|------------|
| 系統 | T-Kernel | | μ ITRON4.0 | Linux | | VxWorks | eCos | Symbian OS |
| オープンソース | ○ | ○ | ○ | △ | ○ | × | ○ | × |
| ハードリアルタイム性 | ○ | ○ | ○ | △(一部対応) | | ○ | ○ | ○ |
| メモリ使用量 | 小 | 小 | 小 | 中 | | 小 | 小 | 小 |
| 優先度スケジューリング | ○ | ○ | ○ | × | × | ○ | ○ | ○ |
| 仮想メモリ | 対応 | 非対応 | 非対応 | 対応 | | 対応 | 非対応 | 対応 |
| 省電力機能(※1) | 有 | | 無 | - | - | - | - | - |

※1 省電力機能については最終候補のみ調べたため、未調査は“-”としている

3.2. RTOS の選定

表 1 に RTOS の選定時に作成した比較表の一部分を示す。3.1 の条件と表 1、また JAXA の衛星等にも採用されていると言う実績を考慮して μ T-Kernel を RTOS の第一次候補として選定した。

後述する 4.1 及び 4.2 の検討結果によりシステム母体と新開発環境の差異は表 2 のようになった。GPS アルゴリズム/ハードウェアが航空宇宙用となり、唯一の割込み処理の期限が 3 分の 1 に削減されるが CPU のクロックが約 2.5 倍になっていることや μ T-Kernel の最大割込み禁止時間約 6 μ s から割込み信号を逃すことはないと思われる。測位等の処理時間についても前システムの CPU 利用率が 20% と低いことから次の割込み処理には間に合うと推察できる。

しかし、RTOS の導入による増加も予測されるため、新開発環境に GPS ソフトウェアを移植した後に正確な処理時間の計測とタスクの優先度、デバイスドライバの更なる検討を行う必要がある。

表 2. 元のシステムと開発環境の比較

| | 元のシステム | 新開発環境 |
|-----------|----------------|----------------|
| OS | 無 | μ T-Kernel |
| CPU | ARM7TDMI 20MHz | ARM7TDMI 50MHz |
| 割込み処理期限 | 1000 μ s | 333 μ s |
| 最大割込み禁止時間 | - | 6 μ s |
| CPU 使用率 | 20% | - |

4. 開発環境の検討

4.1. 開発プラットフォーム

今回選定した μ T-Kernel ではハードウェア仕様が決まっており、 μ T-Engine として規定されている。ハードウェア開発者とソフトウェア開発者が互いにこの仕様に従って開発を分離することによって並行開発が可能になるとともに、実機とソフトウェアのテスト環境の差による問題に関わらずに済むようになる。今回のプロジェクトではハードウェアとソフトウェアは並行開発されるため T-Engine を採用することを決定した。

4.2. プロセッサの選択

プロセッサの候補としてはソフトウェアに変更のいらぬ ARM と宇宙用の製品がある SuperH が候補となった。では前述の通り ARM プロセッサで長いスリープ時間を持つ事からまず ARM を使用した性能・消費電力の評価を行ってから SuperH の検討を行う事とした。

4.3. デバッグ環境の検討

組込みソフトウェアのデバッグの方法にはクロスデバッガを使用したソフトウェアによるデバッグと InCircuit-Emulator (ICE) を使ったデバッグがある。今回の GPS ソフトウェアではロケット等のミッションクリティカルなケースで用いられることからテストにおいて非常に高いコードカバレッジが求められるため、コードカバレッジの計測・解析を行うことの出来る ICE を導入した開発環境を採用する事にした。

5. まとめ

本論文では GPS ソフトウェアの RTOS への移植を行うのに不可欠である RTOS の決定、開発プラットフォーム・プロセッサの選択、開発環境の検討を行った。リアルタイム性能については今後 RTOS の機能のよる例外処理の追加やモジュールの独立性の向上によるオーバーヘッドの増加も考慮し、プロセッサも合わせて検討していく必要がある。本論文の結果は航空宇宙用 GPS ソフトウェア開発の前段階であり GPS ソフトウェアのシステムとしての信頼性・安定性の向上、航空宇宙用の GPS アルゴリズムの効率的な実装等が今後の課題である。

参考文献

- (1) T-Engine フォーラム, 坂村健, 『T-Kernel 標準ハンドブック改定新版』 パーソナルメディア, 2005
- (2) 福田英徳, 『C/C++による組み込みソフトウェア開発技法』 ソフトバンククリエイティブ, 2007
- (3) Qing Li, Caroline Yao, 『リアルタイム組込み OS 基礎講座』 翔泳社, 2005