

GNSS を用いた協定世界時同期機能を有するリアルタイム OS

小日向 大祐[†] 飯田 友樹[†] 兪 明連[†] 横山 孝典[‡]東京都市大学[‡]

1. はじめに

サイバーフィジカルシステム (CPS) は実世界と直接相互作用するため、実時間に基づいた処理が要求される。組込み制御システムなどのハードリアルタイムな CPS では、制御処理における遅延やジッタは制御性能の低下につながる。複数の関連のある制御対象に対して、高精度な制御を行うには、複数のコンピュータのシステム時刻を高精度で同期させることが望ましい。

そこで、時刻同期機能をもつ基本ソフトウェアがこれまでにいくつか提案されている。知場らは時間駆動ネットワーク FlexRay を用いて、複数のコンピュータで同一時刻に基づいて処理を実行できる分散リアルタイム OS を提案した^[1]。しかし、無線ネットワークや広域ネットワークにより接続された疎結合な CPS には適用できない。Kim らは、広域分散処理システムを対象として TMOSM (Time-triggered Message-triggered Object Support Middleware) と呼ばれるミドルウェアを開発し、GPS (Global Positioning System) を用いた時刻同期モジュールを提案した^[2]。TMOSM は GPS が提供する協定世界時 (Coordinated Universal Time) とシステム時刻を同期させ、オブジェクトの起動や通信を可能としている。しかし、TMOSM は OS 上で動作するミドルウェアであるため、リアルタイムタスクのスケジューリングに直接利用することができない。

我々は、GNSS (Global Navigation Satellite System) モジュールが出力する 1 秒周期の PPS (Pulse Per Second) 信号を利用して、無線ネットワークや広域分散環境でも同一時刻に基づくタスクスケジューリングが可能なリアルタイム OS を提案した^[3]。しかし、協定世界時に基づいてタスク管理を行う機能は提供していない。

そこで本論文では、協定世界時と同期したタスク管理が可能なリアルタイム OS を提案する。また、GNSS からの信号が途切れ、復帰時にシステム時刻のずれが生じた場合にシステムの動作に影響を与えないよう、徐々に補正する機能も実装する。

2. リアルタイム OS

2.1 協定世界時同期機能

リアルタイム OS の構成を図 1 に示す。GNSS モジュールから発せられる PPS 信号を用いて、システム時刻の単位であるティック周期、位相の補正を行うことで時刻同期を行っている。また、システム時刻をカウントするシステム時刻カウンタに加えて、協定世界時をカウントする協定世界時カウンタを追加する。GNSS モジュールからシリアル通信で得た文字列で表現された時刻情報を解析して協定世界時カウンタの値を更新することで同期を行っている。

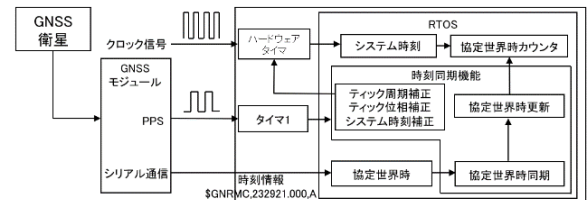


図 1 リアルタイム OS の構成

割り込み処理の構成を図 2 に示す。システム時刻を表すカウンタの更新は、ティックと呼ばれるリアルタイム OS における時間の単位 (本研究では 1ms) ごとに発生する割り込みによって行う。ティック周期、位相、時刻のチェックは 1 秒周期の PPS 割り込みで行う。

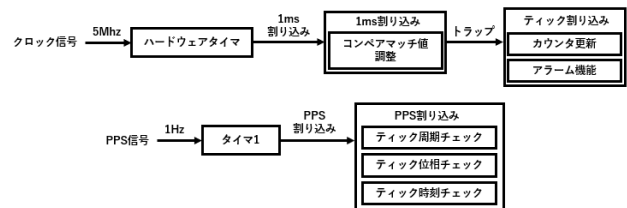


図 2 割り込み処理の構成

2.2 協定世界時再同期機能

GNSS 衛星からの電波を受信できず、GNSS モジュールからの出力が停止すると時刻同期処理も停止するため、復帰時に協定世界時とシステム内の時刻が異なることがある。その場合に、受信した時刻情報に一度に更新するのではなく、実際の時刻とシステム内の時刻との差を計算し、ティックの割り込み周期の上限を $\pm 1\%$ 範囲で調整して、徐々に正確な時刻に一致させる。こと

A Real-time OS with a GNSS-based

UTC synchronization mechanism

[†]Daisuke Obinata, Myungryun Yoo, Takanori Yokoyama,[‡]Tokyo City University

で、システムの動作に影響を与えないようにしている。

2.3 アラーム機能の拡張

協定世界時に基づいたタスク制御やイベント制御を実現するため、協定世界時を用いたアラーム機能を追加する。追加するシステムコールを表1に示す。GetUtcAlarmは指定アラームの起動までの時間を取得する。GetUtcCounterは現在の協定世界時カウンタの値を取得する。SetUtcAbsAlarmは指定した協定世界時に起動するように設定する。CancelUtcAlarmは、指定した協定世界時アラームの起動をキャンセルする。

表1 追加システムコール

API	協定世界時アラーム機能
GetUtcAlarm	指定したアラームまでの時間を取得
GetUtcCounter	現在の協定世界時カウンタの値を取得
SetUtcAbsAlarm	指定したアラームの起動時刻を設定
CancelUtcAlarm	指定した協定世界時アラームを取り消す

3. 評価

3.1 時刻同期機能の実行時間

リアルタイム OS の 1ms 割り込みの実行時間と PPS 割り込みの実行時間を計測した結果を表2に示す。

表2 割り込み処理の実行時間

割り込み処理	実行時の状態	実行時間 [μ s]
1ms 割り込み	アラームなし	12.2
	アラームあり	16.3
	タスク起動あり	52.9
PPS 割り込み	システム時刻 0	19.1
	システム時刻 0 以外	52.7
	協定世界時再同期	962.1

1ms 割り込みおよびシステム時刻が 0 及び 0 以外の PPS 割り込みの値は実用上問題ない範囲と考える。しかしながら、協定世界時再同期時の PPS 割り込みには 960 μ s 程かかるため、改善が求められる。

3.2 追加したシステムコールの実行時間

オリジナルの TOPPERS/ATK1 が有しているシステムコールと本研究で開発したリアルタイム OS が有しているシステムコールの実行時間を計測した結果を表3に示す。

表3 システムコールの実行時間

API	アラームキューの状態	実行時間 [μ s]
SetAbsAlarm (オリジナル)	空の場合	20.2
	先頭に追加する場合	21.6
	間に追加する場合	25.8
SetUtcAbsAlarm (追加)	空の場合	15.7
	先頭に追加する場合	22.7
	間に追加する場合	32.3
CancelAlarm (オリジナル)	先頭をキャンセルする場合	8.5
	間をキャンセルする場合	8.5
	最後尾をキャンセルする場合	8.0
CancelUtcAlarm (追加)	先頭をキャンセルする場合	8.1
	間をキャンセルする場合	8.3
	最後尾をキャンセルする場合	8.0

オリジナルの SetAbsAlarm と追加した SetUtcAlarm の実行時間は、アラームキューが空の場合や先頭に追加する場合はあまり差がない。SetUtcAbsAlarm においてアラームキュー間に追加する場合は、キューに多くのアラームがセットされていると実行時間の値が大きくなり、改善の余地がある。CancelAlarm と CancelUtcAlarm では後者の方が実行時間が短いため問題ないといえる。

4. おわりに

本論文では、GNSS を用いた協定世界時同期機能を有するリアルタイム OS を設定した。今後の課題として、再同期処理を PPS 割り込みではなくバックグラウンドで行うことで、PPS 割り込み実行時間を削減することが挙げられる。

謝辞

本研究は JSPS 科研費 JP18K11225、JP21K1815 の助成を受けたものである。

参考文献

- [1] 知場貴洋, 齊藤政典, 伊丹悠一, 兪 明連, 横山孝典 : 位置透過性のあるシステムコールを有する組み込み制御システム向け分散リアルタイム OS, 情報処理学会論文誌, vol. 53, No. 12, pp. 2702-2714 (2012).
- [2] Kim, K.H. and Jenks, S.F.: The TMO Scheme for Wide Area Distributed Real-Time Computing and Distributed Time-Triggered Simulation, Proc. IEEE International Parallel and Distributed Processing Symposium, pp. 1-6 (2007).
- [3] Kazuya Harayama., Takanori Yokoyama., Myungryun Yoo. : GNSS-Based System Time Synchronization Mechanism for Cyber-Physical Systems, International Journal of Electrical and Electronic Engineering & Telecommunications Vol.9, No.2, pp.94-99 (2020)