

GNSSを用いた時刻同期機能を有するリアルタイム OS A Real-Time Operating System with GNSS-Based Tick Synchronization

松原彩音[†]
Ayane Matsubara

兪明連[†]
Myungryun Yoo

横山孝典[†]
Takanori Yokoyama

1. はじめに

近年、実世界のセンシングや制御を行うサイバーフィジカルシステムが注目されているが、その中でも特にハードリアルタイムシステム性が求められているのが組み込みシステムである。一般に、制御対象が存在するフィジカルな世界は単一の物理時間に従って動作するのに対し、コンピュータはそれぞれの仮想的な時間に従って動作しているのが普通である。しかし、複数の組み込み制御コンピュータから成る分散型の組み込み制御システムが複数の制御対象を正確に制御するには、同一の時刻に基づいて処理を実行することが必要になる。

これまでに、複数のコンピュータを同一時刻に基づいて処理をするため、有線 LAN である FlexRay を用いた時刻同期機能を有する分散リアルタイム OS が提案されている [1]。また、広域分散システム向けに GPS を使用した時刻同期機能を持つミドルウェアも提案されている [2] が、リアルタイムタスクスケジューリングに使うことはできない。

そこで我々は、無線 LAN 環境や広域分散環境において同一の時刻に基づいたスケジューリングを可能とするため、GPS 等の GNSS を用いて時刻同期を行うリアルタイム OS を提案する。

2. GNSS を用いた時刻同期の方法

複数の組み込みコンピュータが GNSS により同期した同一のシステム時刻を用いて、複数の制御対象を制御するシステムを図 1 に示す。各組み込みコンピュータは GNSS 衛星からの信号を受信し、リアルタイム OS (RTOS) のシステム時刻を UTC 時刻 (協定世界時) に同期させる。そして、そのシステム時刻に基づいてスケジューリングされたアプリケーションが各制御対象を制御する。

開発するリアルタイム OS は、OSEK OS 仕様に基づく TOPPERS/ATK1[3] に、GNSS モジュールの UTC 時刻同期クロック信号を用いた時刻同期機能を追加することで実現する。具体的には、図 2 のように、UTC 時刻に同期した 1 秒周期の PPS (Pulse Per Second) 信号と低ジッタのクロックである GCLK 信号を発する GNSS モジュールを使用し、それらのクロック信号を利用してティック幅補正とシステム時刻補正を行うことで、時刻同期を実現する。

OS のシステム時刻の更新は、ボード自身が発する 5MHz のクロック信号を入力とする、タイマ 0 のコンペアマッチによりティック毎 (1msec 周期) に発生する、ティック割込み処理によって実行される。このティック割込み処理に時刻同期機能を追加する。ティック幅の

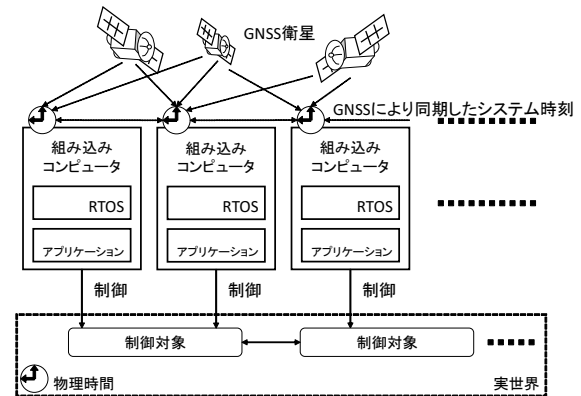


図 1: GNSS を用いた時刻同期

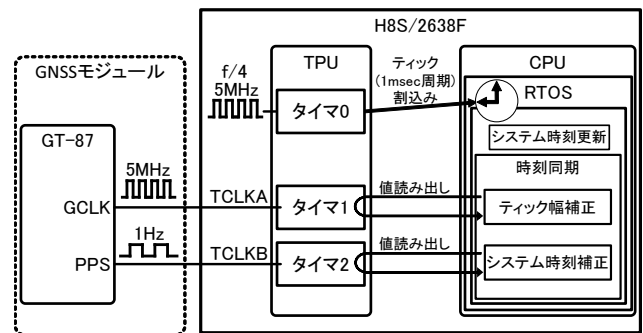


図 2: 時刻同期機構の概要

補正はティック割込み発生毎に、GNSS モジュールの GCLK 信号を入力としたタイマ 1 の値を参照してティック幅の補正を行う。図 3 のように、タイマ 1 前回の値と今回の値の差が許容範囲より短いならばティック幅 (割込み発生間隔) を長く、許容範囲より長いならばティック幅を短くすることで補正する。この補正は、ハードウェアタイマのコンペアマッチ値の設定を調整することで行う。

システム時刻の補正は 1sec 毎に、GNSS モジュールの PPS 信号を入力としたタイマ 2 の値を参照して行う。

図 4 のように、タイマ 2 の値が変化したときにシステム時刻のずれを判定し、進んでいる場合は割込み発生間隔を大きくし、遅れているときは割込み発生間隔を小さくして補正する。

GNSS モジュールは、十分な数の GNSS 衛星からの信号を受信できる場合のみ PPS 信号を出力する。このため、GNSS モジュールから PPS 信号が出ていることを確認してから OS をスタートさせる。OS の動作中も、PPS 信号が確認できた場合のみティック幅の補正やシ

[†]東京都市大学

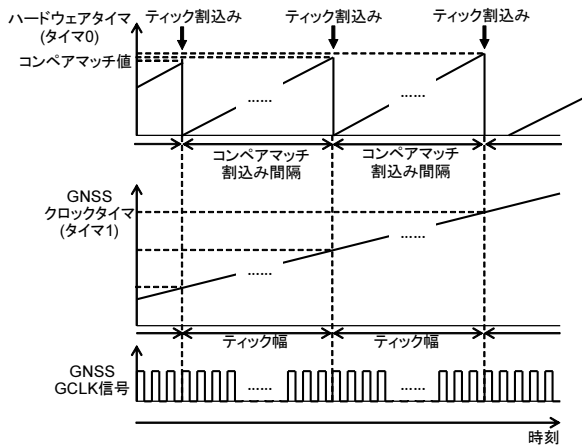


図 3: ティック幅の補正

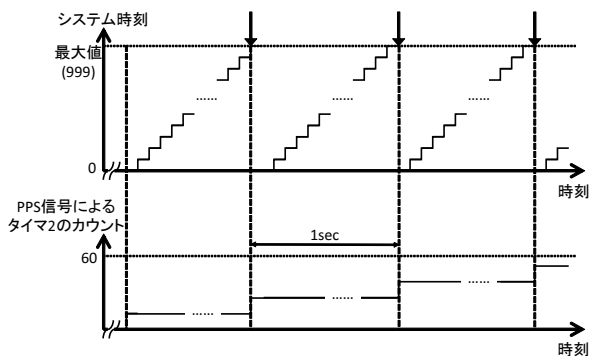


図 4: システム時刻の補正

システム時刻の補正を行う。PPS 信号が確認できなかった場合は補正処理は行わず、PPS 信号の出力確認後に補正処理を再開する。

3. 実装及び評価

表 1 に実装に用いた評価ボードの仕様を示す。ルネサステクノロジ社製 H8S ファミリーマイコン H8S/2638 を搭載した、北斗電子社製の評価ボード HSB8S2638ST を用いる。GNSS モジュールには古野電気社製 GT-87 を用いる。

図 2 に示すように、システム時刻更新処理やアラーム処理を行う TOPPERS/ATK1 のシステムタイマ (タイマ 0) 割り込み処理 (ティック割り込み処理) に、時刻同期機能を追加実装する。システム時刻の最大値は TOPPERS/ATK1 のデフォルト値である 999 としている。GCLK クロック出力信号は 4KHz~40MHz の間で調整可能であるが、ボード自身が発するハードウェアタイマと同じ 5MHz に設定する。システムタイマのコンペア値の調整幅は、最大で $1\mu\text{sec}$ とした。

実装した時刻同期機構のオーバーヘッドを評価するため、システムタイマ割り込み処理の実行時間を計測する。5MHz のハードウェアタイマを用いて実行時間を

表 1: 実装環境

評価ボード	北斗電子社製 HSB8S2638ST
CPU	H8S/2638F
内蔵メモリ	256KB(ROM) 16KB(RAM)
動作クロック	20MHz
ハードウェアタイマ	5MHz

表 2: システムタイマ割り込み処理の実行時間

追加前	追加後
15.9	19.7

[μsec]

100 回計測し、その平均値を計測結果とした。アラーム機能による周期タスクの起動を行わない場合 $m p$ それぞれの実行時間を表 2 に示す。時刻同期機構を追加することで処理時間は約 $4\mu\text{sec}$ 、24%増大した。一方、アラーム機能により周期タスクを起動した場合の実行時間の増加量は $32.5\mu\text{sec}$ であり、これと比較すると、時刻同期処理の追加による増大は十分小さく、オーバーヘッドは事実上問題ない値であると考えている。

4. おわりに

GNSS を用いた時刻同期機能を持つリアルタイム OS を提案し実装した。今後は、PPS 信号による割り込み処理を利用して、より高精度な時刻同期を実現する予定である。

謝辞

本研究で使用した TOPPERS/ATK1 の開発者に感謝する。本研究の一部は JSPS 科研費 15K00084 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] K. H. Kim, Stephen F. Jenks, The TMO Scheme for Wide-Area Distributed Real-Time Computing and Distributed Time-Triggered Simulation, ipdps, pp.305, 2007 IEEE International Parallel and Distributed Processing Symposium, 2007
- [3] TOPPERS プロジェクト: TOPPERS/ATK1, <https://www.toppers.jp/atk1.html>