

静的優先度スケジューリングにおけるタスク分割によるジッタ削減の検討

鈴木隆元 田中清史
北陸先端科学技術大学院大学 先端科学技術研究科

1 はじめに

リアルタイムシステムの研究/開発において一般的となっている静的優先度リアルタイムスケジューリングでは、周期が短いタスクほど優先度が高い。一方で、長い周期のタスクの優先度は下がるため、タスク応答時間が長くなりジッタも増える [1]。筆者らは過去に、特定タスクの応答時間を短縮することを目的とした Execution Right Delegation (ERD) 法 [2] を提案した。ERD 法は、Rate Monotonic (RM) [3] 法をベースに、特定タスクの優先度を上げるための高優先度サーバを導入する手法である。本稿では、ERD 法が特定タスクのジッタ短縮に効果があることを示す。

2 ERD 法

ERD 法は特定の周期タスク τ_p を優先的に実行するための高優先度仮想サーバ VS を用い、 τ_p の応答時間を短縮する手法である。ERD 法において VS は RM に従ってスケジューラされ、VS に実行権が渡った場合、VS の代わりに特定の周期タスク τ_p が動作して良い。 τ_p の Job が既に終了している場合、VS の優先度は他の Job のタスク優先度と順に入れ替わる。優先度入れ替えのルールは Priority Exchange 法 [4] に従う。ERD 法のアルゴリズムの詳細は文 [2] を参照されたい。

例 2.1 (ERD 法): $\tau_1 = \{2, 6\}, \tau_2 = \{3, 9\}, \tau_3 = \{2, 12\}$ から成るタスクセット Γ を考える。(周期タスクを { 実行時間, 周期 } で表す。) Γ を RM 法でスケジューラした結果を図 1 に示す。

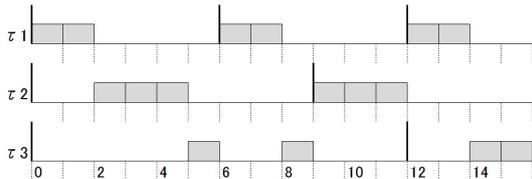


図 1. RM 法によるスケジューリング例

Γ に対し、 $\tau_p = \tau_3$ とする。ERD 法のアルゴリズムより、高優先度仮想サーバ VS を求めると、 $VS = \{2, 9\}$ となる。 Γ を ERD 法でスケジューラした結果を図 2 に示す。

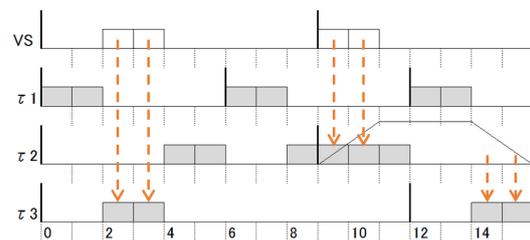


図 2. ERD 法によるスケジューリング例

時刻 2 において、VS が実行権を得る。ERD 法のアルゴリズムより、VS の代わりに τ_3 が動作して良い。よって τ_3 の最初の Job の相対スタート時間は 2、相対応答時間は 4 となる。時刻 9 において再度 VS が実行権を得るが、 τ_3 の最初の Job はその動作を終えているため Priority Exchange 法のルールに従い VS のキャパシティは τ_2 の優先度で蓄積される。時刻 14 に τ_2 の優先度で (蓄積された VS のキャパシティを使い) τ_3 のふたつ目の Job が実行される。 τ_3 のふたつ目の Job の相対スタート時間は 2、相対応答時間は 4 となる。これを Hyper Period である時刻 36 まで繰り返しても τ_3 の相対応答時間は毎回 4 となり、ジッタは 0 である。一方で RM の場合は最初の Job の相対応答時間が 9 であるのに対し、ふたつ目の Job の相対応答時間は 4 であり、ジッタは $9 - 4 = 5$ となる。

3 評価

シミュレーション評価により、提案手法を RM 法と、特定タスクに最適な相対デッドラインを設定する Deadline Monotonic (DM) 法 [5] と比較した。評価において、乱数によって生成したタスクから成る 10000 個のタスクセットを使用した。(周期を指数

分布乱数，実行時間を周期の50%の範囲の一様分布乱数で決定した。)各タスクセットのCPU使用率は80%から100%とし，ERD法，DM法，RM法でそれぞれのタスクセットについて，絶対終了ジッタを計測した。

評価は3つのグループに分けて行った。最初のグループはタスクセットのCPU使用率が80%から89%，次のグループは90%から95%，最後のグループは96%から99%である。図3にタスクセットのCPU使用率が80%から89%のグループ，図4に90%から95%のグループ，図5に96%から99%のグループに対する結果を示す。グラフの横軸はジッタ短縮に着目したタスクの優先度（値が小さいほど高優先度），縦軸は絶対終了ジッタ値を示す。

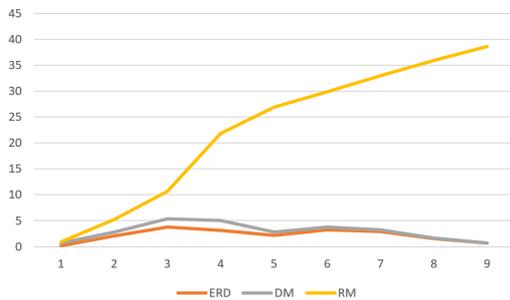


図3. 評価結果 (80%~89%)

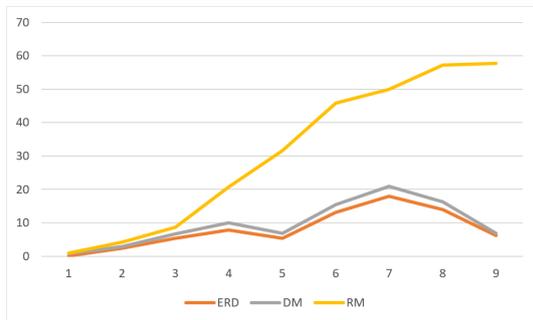


図4. 評価結果 (90%~95%)

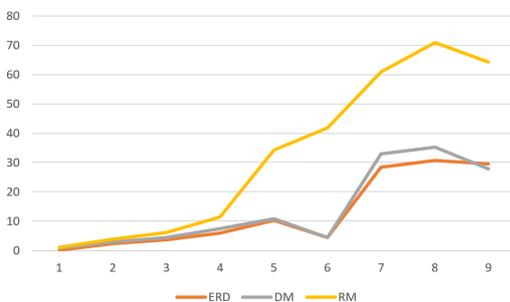


図5. 評価結果 (95%~99%)

評価の結果，ERD法はRM法，DM法に比べてジッタ短縮に効果があることが分かる。ERD法は τ_p の周期より短い周期で高優先度サーバを実行させるため， τ_p を分割して実行可能であり，DM法に比

べてジッタ短縮に効果のある場合が存在する。図6はERD法により τ_4 のジッタを短縮可能な例であるが，DM法では τ_4 のデッドライン（周期）を τ_3 と等しくするとデッドラインミスが発生する。すなわち， τ_4 の優先度を上げることが不可能であり，ジッタは短縮されない。

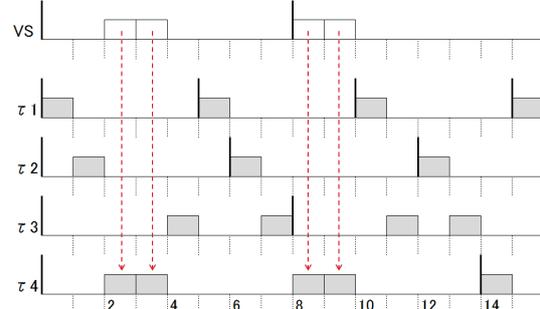


図6. ERD法によるジッタ削減例

4 おわりに

本研究ではERD法による特定タスクのジッタ短縮効果を評価した。RM法，DM法と比較し，ERD法によりジッタが短縮されることを確認した。

謝辞

本研究の一部はJSPS科研費JP 15K00073の助成を受けて行われた。

参考文献

- [1] G. C. Buttazzo. “Hard Real-Time Computing Systems: Predictable Scheduling Algorithms and Applications,” 3rd ed., Springer, 2011.
- [2] 鈴木隆元，田中清史 “仮想サーバによるタスクの応答時間短縮手法”，情報処理学会組込みシステムシンポジウム (ESS) 論文集，pp.37-46, 2016.
- [3] C. L. Liu and J. W. Layland, “Scheduling Algorithms for Multiprogramming in a Hard-Real-Time Environment,” *Journal of the ACM*, Vo.20, No.1, pp.40-61, 1973.
- [4] J. P. Lehoczky, L. Sha, and J. K. Strosnider, “Enhanced Aperiodic Responsiveness in Hard Real-Time Environments,” *Proc. of IEEE Real-Time Systems Symposium*, pp.261-270, 1987.
- [5] N. C. Audsley, A. Burns, M. F. Richardson, and A. J. Wellings, “Hard Real-Time Scheduling: The Deadline Monotonic Approach,” *Proc. of IEEE Workshop on Real-Time Operating Systems and Software*, pp.127-132, 1991.