

# 制御とスケジューリングの協調設計を支援するシミュレータの開発

学籍番号：90134702 潮 研究室 小田 哲也

## 1 はじめに

一般にデジタル制御システムは組込みリアルタイムシステムである．近年，制御アプリケーションと，そのスケジューリングの協調設計が注目されている [1]．

制御設計とスケジューリング設計の両者は互いに複雑に影響しあうため，協調設計を行うことは難しい．そこで本報告では，QoS 公平化適応制御機構を持つリアルタイム制御システムにおける協調設計を支援するシミュレータを開発する．

## 2 シミュレータの目的

本論文で開発するシミュレータは，[2] の QoS 適応制御システムに基づいて，倒立振子の制御タスクに対するリソーススケジューリングを行ったときのシステム全体の振る舞いをシミュレートする．システムの構成図を図 1 に示し，構成要素を以下に挙げる．

- $n$  個のプラント: ここでは倒立振子を例として取り上げる．
- $n$  個の制御タスク: 倒立振子を安定化させる制御入力計算のジョブを周期的にリリースする．
- 実行キュー: リリースされたジョブを管理する．
- スケジューラ: タスクスケジューリングを行う．
- モニタ: 各プラントの出力から制御品質である QoS レベルを求める．
- QoS 公平化制御器: プロセッサ利用率割当量のスケジューリングを行い，QoS を公平化する．
- プロセッサ: 排他的に利用されるべき能動的資源．

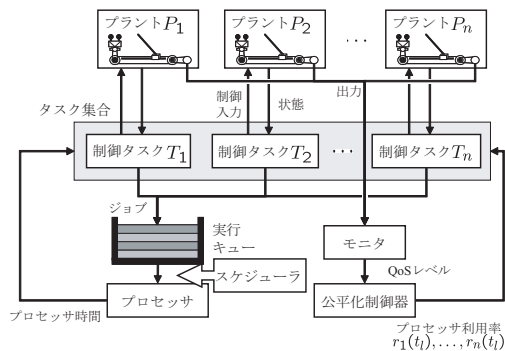


図 1 シミュレータの構成図

各制御タスク  $T_i$  はプラント  $P_i$  を安定化制御する． $T_i$  は制御入力計算のためのジョブをリリースする．リリースされたジョブは実行キューに加えられ，スケジューラによってプロセッサで実行されるまで待つ．各ジョブが制御入力を計算し，プラントに印加される．

各タスク  $T_i$  に割当てられるプロセッサ利用率  $r_i$  が高くなるほど，安定化制御のサンプリング周期が短くなるので，プラントの QoS レベル  $\phi_i$  が改善される．QoS 公平化制御器は時刻  $t_l$  に  $l$  回目の起動をして，モニタから得られた各プラントの QoS レベル  $\phi_i$  をもとにその平均  $\bar{Q}(t_l)$  を求め，次式

$$r_i(t_l) = r_i(t_{l-1}) + \alpha (\bar{Q}(t_{l-1}) - \phi_i(r_i(t_{l-1}))) \quad (1)$$

によりプロセッサ利用率  $r_i$  を動的に変更することで，各プラントの制御品質を公平化する．

本報告では，上で説明したシステムをオブジェクト指向言語 C++ によって実装した．構成要素を五つのクラス Plant, Task, Scheduler, FairCTS, Server として実装した．シミュレータは以下の結果を出力する．

- プロセッサ割当てのガントチャート
- 各タスクとタスク集合全体のプロセッサ利用率
- 各プラントの制御品質 QoS レベル
- プラントの状態変数と出力変数

プラント制御のゲインパラメータや，スケジューラのスケジューリング則などを変更したときの実験結果を提供することで，協調設計を支援することを目的とする．

## 3 実験結果

六本の倒立振子を安定化制御するシミュレータ実験を行ったときの，鉛直上向きからの角度変位  $\theta_i$  とプロセッサ利用率  $r_i$  の出力をそれぞれ図 2 と図 3 に示す．時刻  $t = 5000$  と  $t = 6000$  において二つの異なったタスクにインパルス状の外乱を加えている．角度変位  $\theta_i$  に応じてプロセッサ利用率  $r_i$  が動的に変化していることが確認できる．

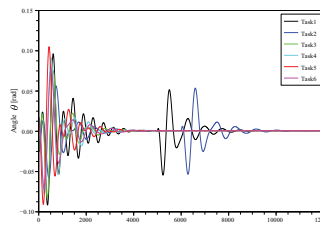


図 2 振子角度の変位

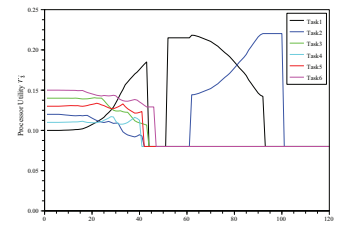


図 3 プロセッサ利用率

公平化制御を行う場合と行わない場合を比較するため，評価関数  $J = \int \sum_i \theta_i^2 dt$  の比を求めると，過渡状態  $0 < t < 5000$  では 1.6%，外乱を加えた  $5000 < t < 10000$  では 20.8% の改善が見られた．

## 4 おわりに

本論文では制御とスケジューリングの協調設計を支援するシミュレータを開発し，[2] のリアルタイム制御システムにおける QoS 公平化の評価を行った．今後の研究課題として，協調設計された組込み制御系のパフォーマンスを評価するツールとして機能を充実させていきたい．

## 参考文献

- [1] A. Cervin and J. Eker: “Control-scheduling codesign of real-time systems: The control server approach”, Journal of Embedded Computing, 1, 2, pp. 209–224 (2005).
- [2] 原田, 潮, 中本: “QoS レベル公平化に基づくリアルタイムシステムの QoS 適応制御”, 電子情報通信学会論文誌, J87-D-I, 3, pp. 364–371 (2004).