

書評

ハイブリッドシステムの制御

井村順一, 東 俊一, 増淵 泉 共著



コロナ社 (2014 年)
A5 判 238 ページ 定価 (本体 3,000 円 + 税)
ISBN : 978-4-339-03320-5

ハイブリッドシステムとは、事象駆動システム（たとえば、有限オートマトン、情報システムと捉えてもよい）と時間駆動システム（たとえば、微分方程式、物理システムと捉えてもよい）が混在した動的システムである。微分方程式があるルールに従って切り替わることをイメージするとわかりやすい。事象駆動システムと時間駆動システムはこれまで個別に研究されてきた。しかしながら、たとえば、ソフトウェアとハードウェアが組み合わさった組み込みシステムでは、事象駆動と時間駆動の両方を考えなければならない。ほかにも、情報システムと物理システムが混在したシステムは、鉄鋼や化学プラントなど多数存在することから、ハイブリッドシステムの理論の重要性はますます高まっている。

本書は、近年研究されてきたハイブリッドシステムの制御に関する基礎理論を体系的にわかりやすく説明している。まえがきでも述べられているが、ハイブリッドシステムに関する和書は本書が初めてである。以下に本書の概要を説明する。

第 1 章では、序論としてハイブリッドシステムの概要や例を説明している。

第 2 章では、ハイブリッドシステムの数理モデルについて説明している。一般的なモデルを説明したのち、解析や制御に頻繁に用いられているハイブリッドオートマトン、区分的アファインシステムモデル、線形相補性システムモデル、混合論理動的システムモデル、スイッチドシステムモデルについて、例を用いながら説明している。さらに、離散時間モデルやモデルの等価性についても説明している。

第 3 章では、解の振る舞いについて説明している。デッドロック、複数解、ゼノン解などの解の振る舞いの種類について、例を用いながら説明している。つぎに、解の定義として、フィリポフ解および拡張カラテオドリ解を説明している。また、ハイブリッドオートマトンにおける解の概念であるエグゼキューションについても説明している。

第 4 章では、安定性解析について説明している。ハイブリッドシステムでは、不安定な線形システムを切り替える

場合であっても、切り替えるタイミングによっては安定となる場合がある。逆に、安定な線形システムを切り替える場合であっても、不安定となる場合がある。まず、例を用いて、これらの興味深い事実を説明している。つぎに、リアプノフ関数を用いた安定性解析の結果を説明している。線形システムの安定性解析で用いられる 2 次形式リアプノフ関数だけでなく、区分的 2 次リアプノフ関数や区分的アファインリアプノフ関数についても説明している。また、2 乗和計画を用いた方法についても触れている。最後に、リー代数を用いたスイッチドシステムの安定性解析の結果を紹介している。

第 5 章では、スイッチドシステムの制御について説明している。まず、時間駆動スイッチングや状態駆動スイッチングによる安定化について説明している。つぎに、スイッチドシステムの特異なクラスである離散値入力システムの制御について説明している。離散値入力を用いる場合、連続値入力を量子化（離散化）しなければならない。制御性能を劣化させる量子化誤差を抑制する方法として、最近提案された動的量子化器の設計法について説明している。

第 6 章では、混合論理動的システムモデルを用いたハイブリッドシステムの制御について説明している。まず、論理条件の線形不等式表現について説明している。また、連続値変数を含む場合の論理条件の線形不等式表現についても説明している。つぎに、これらの結果を用いることで、区分的アファインシステムモデルや離散値入力/出力システムが混合論理動的システムモデルで記述できることを説明している。最後に、モデル予測制御とその解法について説明している。

最後の第 7 章では、応用について説明している。具体的には、DC/AC インバータの電力スイッチ制御、鉄鋼の圧延プロセスにおける鋼材装入スケジュールと加熱炉燃焼制御の同時最適化などについて説明している。

ハイブリッドシステムは用いる数理モデルにより解析や制御の手法が異なる。本書を通読することが難しい場合は、興味に応じて断片的に読んでも内容が理解できる。たとえば、混合論理動的システムモデルに興味をもった場合、第 1, 2, 6 章を読めばよい。第 1, 2 章のつぎに第 7 章を読み、興味をもった応用例に応じて、該当する章に戻ってもよい。

情報通信技術の発展に伴い、制御工学が扱うべき対象はますます拡大している。このような状況で、ハイブリッドシステムの基礎理論の習得は必要不可欠であると考えられる。研究者だけでなく、学生や企業の技術者など幅広い方々に、本書を一読されることをお勧めしたい。

(北陸先端科学技術大学院大学 小林 孝一)