

第 58 回シンポジウム レポート

「ロボットに使える先端制御～未来を予測してエレガントに～」

日 時：2010年7月21日（水）10：00～17：30

会 場：東京工業大学大岡山キャンパス西8号館E棟10階1001号室

参加者数：70名

オーガナイザー：伊達 央（防衛大学校）

概要

古典制御理論、現代制御理論はロボットを意のままに制御するための基礎となる理論ですが、現実のロボットには、アクチュエータや状態量が有限であるといった基礎理論だけでは直接的に扱えないような制約が存在します。今回のセミナーでは、現実のロボットに使える制御として、コンピュータを活用して拘束条件を直接的に加味した最適制御が行えるモデル予測制御をテーマとし、先駆的な研究をされてきた講師4名をお招きしてご講演頂きました。

モデル予測制御の基盤となっている状態空間法の復習から始まり、モデル予測制御の基本的な考え方、予見制御・モデル予測制御についての最新の話題、モデル予測制御に必要な状態量の推定法、自動車の自律化に向けた応用事例について、基礎・応用・実例までをご講演頂きました。最後に東京工業大学のロボット関係の3研究室の訪問見学を実施しました。

第 1 話 モデル予測制御

第1部 現代制御からモデル予測制御へ

第2部 モデル予測制御の考え方

慶應義塾大学の足立修一先生に、現代制御のおさらいからモデル予測制御の考え方までを2部に分けて丁寧にご講演頂きました。

まず、先進的な制御の一つである H_∞ ロバスト制御が古典制御の基本的枠組みに基づいているのに対して、モデル予測制御は状態空間法をベースとしている一連の流れをご解説頂きました。続いて、標準的な離散時間システムを例にとり、モデル予測制御の基本的な考え方を1ステップずつ追って行く形で丁寧にご解説頂きました。最後に制約条件を考慮に入れる方法についてご説明頂きました。



慶應義塾大学 足立先生

第 2 話 予見制御・モデル予測制御の新展開

首都大学東京の児島晃先生に、予見制御・モデル予測制御の最新の話題をご講演頂きました。

予見制御は、目標値の未来の情報を利用して制御特性を改善する方法で、例えば自動車がカメラを使用して得られる前方の軌道情報を活用することに相当します。今回は予見制御を H^∞ 制御の枠組みで設計する方法についてご解説頂きました。 H^∞ 制御の枠組みを直接適用することはできないため、予見制御における可解条件と制御器設計法についてご解説頂きました。続いて、入力が有界であるような制御システムに対して、予め入力を設計しておくオフライン設計法についてご解説頂きました。モデル予測制御は強力な設計法である反面、膨大な計算量が必要となる場合があるため、オフライン設計が可能になれば、コントローラの負荷軽減につながります。2次計画問題として扱えることを示された上で、2重積分器、圧延プロセスの張力制御を例にご解説頂きました。



首都大学東京 児島先生

第3話 ロボット制御におけるカルマンフィルタ～拡張カルマンフィルタを超えて～

東京工業大学の山北昌毅先生に、最新のカルマンフィルタについてご講演頂きました。モデル予測制御は状態空間法を基本とするため状態量の正確な把握が不可欠ですが、現実にはセンサによって直接観測できない場合が多く、カルマンフィルタ等の状態推定器が用いられてきました。



東京工業大学 山北先生

今回のご講演では、状態推定においてガウス分布の果たす役割と最小分散推定のメカニズムについて詳しくご解説して頂き、従来のカルマンフィルタ、拡張カルマンフィルタ、近年注目されている Unscented Kalman Filter、アンサンブルカルマンフィルタ、パーティクルフィルタのそれぞれの特徴についてご説明頂きました。また駆け足となりましたが、ロボット制御においてしばしば直面する、異なるサンプリング周期を持つセンサ入力の対処法についてもご解説頂きました。

第4話 モデル予測制御による自動車の自律化研究へのアプローチ

日産自動車株式会社の西羅光先生に、自動車の自律化を事例としたモデル予測制御の活用方法についてご講演頂きました。

制約を直接的に加味した最適制御という側面から、モデル予測制御が自動車の様々な制御問題に適用できるという具体的事例をご紹介頂いた後、障害物回避支援制御を例に挙げ、人工ポテンシャル法をベースとした障害物回避問題へのモデル予測制御の実装のテクニックから、ドライバーを含めた協調制御など、関連する様々な問題に対する解決方法をご解説頂きました。



日産自動車 西羅先生

研究室見学

東京工業大学の山北研究室、三平研究室、広瀬・福島研究室を訪問し、各研究室で開発されているロボットご紹介頂きました。山北研究室ではアクロボット、バイクロボットの解説・実演、三平研究室では上下動を伴う振り上げ倒立振り子、劣駆動アームによる投球の解説・実演、広瀬・福島研究室では、これまで開発された多数のロボットの解説およびローラーウォーカー、全方向移動車両、昨年度シンポジウムで設計された蛇型ロボット等の解説・実演をして頂きました。

おわりに

本セミナーの企画は、数ある制御理論の中でロボットに役に立つ制御手法には何があるだろうか？というところからスタートし、現実的な問題に対応可能で設計が直感的なモデル予測制御をテーマとしました。

基礎から先端までの幅広い話題を、これまで先駆的に研究されてきた講師をお招きしてご講演頂きました。



ご参加頂いた皆様

モデル予測制御に特化したセミナーは、他学会も含めて例は少ないようで、先生方には大変詳細な、分量からして2日に分けても十分な資料をご用意頂きました。そのため、講演ではエッセンスに絞ってお話し頂く形となり、もう少し時間が取ればよかったという点が反省材料の一つではありますが、本セミナーがモデル予測制御を始めたい方にとっては習得の端緒として、また先端的なロボット制御を研究されている方にとっては研究方針決定の一助となれば幸いです。

最後に、ご講演いただいた講師の先生方、会場のご提供と研究室見学対応等様々なサポートを頂きました東京工業大学の皆様、企業・大学等より多数お集まり頂きました参加者の皆様方にご場をお借りして御礼申し上げます。

文責 伊達 央 (防衛大学校)



第 58 回シンポジウム

ロボットに使える先端制御 ～未来を予測してエレガントに～

日 時：2010年7月21日(水) 10:00～17:30

会 場：東京工業大学 大岡山キャンパス 西8号館E棟10階1001号室

アクセス：東急目黒線・東急大井町線「大岡山」下車徒歩1分

定 員：50名(定員になり次第締め切ります)

参加費：会員/協賛学会員8,400円、学生(一律)4,200円、会員外12,600円(税込)

口 上：モデル予測制御はコンピュータを活用して未来を予測することにより、時々刻々と変化する環境の中を移動する移動ロボットや、アクチュエータに制約があるマニピュレータ等、現実的なロボットに使える制御としての応用が進められています。本セミナーでは著名な講師をお招きし、モデル予測制御の基礎的な考え方から使い方までを分かりやすく解説して頂きます。また、実際にモデル予測制御を活用する際に必要となる状態推定の方法や、自動車への応用事例などの最先端の話題までお話いただく予定です。制御は一度勉強したけれども復習しておきたい方、予測制御を基礎から身に着けたい方、開発中のロボットに最新の制御方式の導入をご検討の方には絶好の機会です。最後に東工大のロボット研究室の見学を予定しておりますので、ふるってご参加ください。

オーガナイザー：伊達 央(防衛大)

Web サイト：「日本ロボット学会主催・共催行事 最新情報」よりご確認ください。

<http://www.rsj.or.jp/events>

講演内容：

＜開会挨拶・講師紹介＞ 10:00-10:05

第1話 モデル予測制御

10:05-12:00 慶應義塾大学 足立 修一

・第1部 10:05-11:00 現代制御からモデル予測制御へ

・第2部 11:05-12:00 モデル予測制御の考え方
モデル予測制御は時間領域における最適制御の一つの解法なので、いわゆる現代制御理論の後継であると考えられる。これは周波数特性を重視したロバスト制御が古典制御理論の後継であることと対照的である。そこで、第1部では状態空間に基づく現代制御理論を簡潔に紹介し、その問題点を明らかにする。

第2部では、簡単な一次遅れ系の制御対象を例にとって、モデル予測制御の基本的なアイデアを丁寧に説明する。特に、一致点、内部モデル、後退ホライズン方策、制約条件への対処などについて詳しく説明する。さらに、モデル予測制御の定式化と一般的な解法について説明する。モデル予測制御はモデルベース制御方式であり、制御対象のモデリングの重要性についても解説したい。

<休憩(昼)>

12:00-13:00

第2話 予見制御・モデル予測制御の新展開

13:00-14:00 首都大学東京 児島 晃

予見制御・モデル予測制御は、目標値の予見情報と対象の制約を適切に考慮できる制御法として知られ、現在までにメカトロニクス系への応用を意図した多くの成果が整備されてきた。本講義では、これらの制御法の中から1) H_∞ 予見制御法、2) モデル予測制御則のオフライン設計法を題材に選び、設計法とその特徴を明らかにする。

(概要)

1) H_∞ 予見制御法: H_∞ 制御法はロバスト性を調節する制御法のひとつであり、予見情報を用いることにより、ピークルの滑らかな軌道追従、マニピュレータの高速制御など、さらに良好な性能を達成することが可能になる。本解説では H_∞ 予見制御則の設計法と特徴を述べ、設計例を紹介する。

2) モデル予測制御則のオフライン設計法: モデル予測制御法は、制御系の制約を陽に考慮できる有力な制御法であり、同時に計算負荷の高いアルゴリズムを実装しなければならない課題を有している。本解説では、マルチパラメトリックプログラミングを用いたオフライン設計法について述べ、モデル予測制御則を等価な非線形ゲインにより実装する手法を解説する。

第3話 ロボット制御におけるカルマンフィルタ
～拡張カルマンフィルタを超えて～

14:10-15:10 東京工業大学 山北 昌毅

状態空間法を基本としたモデル予測制御には、現在の状態量を正確に把握することが重要となる。特に、単なる安定化や目標値追従だけではなく、入力の飽和や状態の拘束を考慮したモデル予測制御では特に状態を正確に知ることが重要となる。しかし、センサによって全ての状態量を計測することは実用上難しい場合が多く、その場合にはなんらかの手法によって状態量を推定する必要がある。本講義では、確率システムの状態推定の立場から、状態推定の基礎から最近の話題までを網羅的に解説する。具体的には、離散時間のカルマンフィルタの基礎から、パーティクルフィルター、UKFやEnKFの基本的な考え方を説明した後、状態拘束を持つ非線形システムの状態推定への応用、サンプリング周期が大幅に異なるセンサ情報の取り扱いなどを、ロボットシステムの状態推定やSLAMへの応用例を用いて解説する。

第4話 モデル予測制御による自動車の自律化研究へのアプローチ

15:20-16:20 日産自動車株式会社 西羅 光

近年の自動車には自動化の進んだ走行制御システムや外界認識センサの搭載が進んでおり、外部の状況を認識して状況に適した行動を取れる高度な自律性を備えた移動ロボットさながらのクルマの実現に向けた研究が活発に行われている。熟練ドライバーが効果的に未来を予測しながら巧みな運転をしているように、自動車の自律化を進める上でも予測情報の活用は性能向上に不可欠な課題であり、系統的に予測情報を組み込めるモデル予測制御は様々な自動車応用が試みられている。本講演では、自動車の障害物回避問題を取り上げて具体的なモデル予測制御の適用事例を紹介する。移動ロボット研究でもしばしば用いられる人工ポテンシャルフィールド法とモデル予測制御を組み合わせることで予測を活かした適切な回避経路が生成される例を通して、簡潔な制御仕様記述を基に高品質の制御目標値を算出できるモデル予測制御のメリットを解説する。

<閉会挨拶>

16:20-16:25

<移動・見学会>

16:30-17:30

東京工業大学機械制御システム専攻 山北研究室
機械宇宙システム専攻 広瀬研究室