

飛行運動モデルを活用した誘導制御技術の研究



航空本部 飛行技術研究センター
○塚本太郎、元田敏和、濱田吉郎

宇宙輸送ミッション本部
石本真二、南吉紀

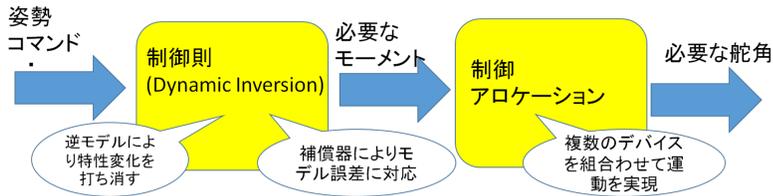
効率的で信頼性の高い飛行制御系の設計を目指して

- (1) 搭載飛行運動モデルを活用して種々の条件に柔軟に対応できる制御アルゴリズム
- (2) 不確実性を含む飛行運動モデルを用いた制御系の評価・最適化技術を研究しています

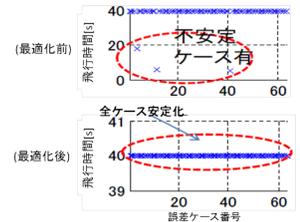
搭載モデルを活用した制御①

広い飛行条件への対応～逆ダイナミクス空間の飛行制御
搭載モデルの利用により、広い飛行領域/異なる制御デバイスの組合せに対応する。

- 逆ダイナミクス制御(Dynamic Inversion)
 - 搭載した数学モデルを利用して、飛行条件による特性の変化を打ち消し、高速/高空から低速/低空まで幅広い範囲をカバーする飛行制御を設計する。
 - 一方で、モデル誤差に対するロバスト性に課題があり、補償器の付加、誤差を陽に考慮した最適化によりこれを改善することを検討している。
- 制御アロケーション
 - 数理計画法(線形計画法)を適用して姿勢制御で生成した角加速度コマンド(～モーメントコマンド)を実現する操舵量を計算する。
 - 特徴・RCS(ガスジェット)、空力舵面等を組合わせ統合的に扱える。
 - 舵角リミッタ、レートリミッタを考慮した制御が可能。
 - 計算量の上限が決まっており、比較的計算負荷が軽い。



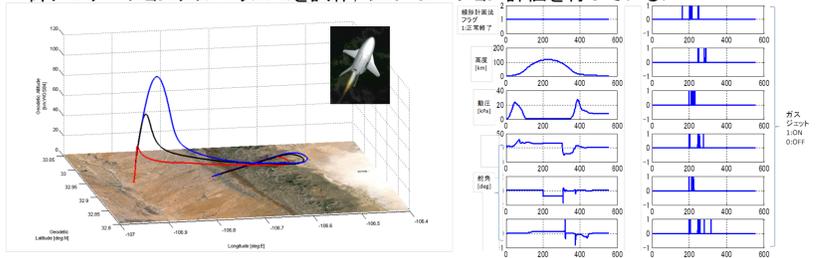
- モデル誤差に対するロバスト性改善
モデル誤差による性能の劣化に対して
 - 補償器(外乱オブザーバ)の付加
 - 誤差を考慮したパラメータ調整により改善を図ることができる。



右は小型の無人機を用いた飛行実験(SSRV)で安定性の改善を図った例

- 有翼ロケット機への適用(シミュレーション検討)

高度100km程度のサブオービタル飛行を行う有翼ロケット機を対象に搭載モデルを活用した誘導制御の試作検討を実施している。ガスジェットと空力舵面を併用するための制御アロケーションアルゴリズムを試作、シミュレーション評価を行っている。

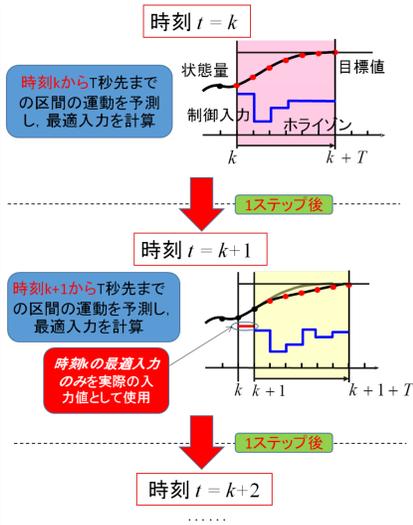


種々の誤差ケースに対し一定時間(40秒)のシミュレーションを行い制御パラメータを調整した例

搭載モデルを活用した制御②

予測運動モデルによる性能/運用性向上 ～モデル予測制御～

- モデル予測制御(MPC)の基本的な考え方
 - 搭載運動モデルを用いて、現在から有限な時間区間(ホライゾン)の運動を予測し、評価関数を最適化する制御入力を求める。最適化により得られた入力の最初の値を現在の入力値として使用し、これを毎回繰り返すことにより連続的に最適な制御を行うことができる。
 - 常に現時点での最適化を行うことで、変化に対する運用性向上、性能向上が期待できる
- MPCのメリット
 - 予測で使用するモデルに事前情報を組み込むため、風や前方軌道などの情報の取り込みが容易。
 - 制約条件を陽に考慮することが可能であり、限界近くでの制御を積極的に行なうことができる。
- C/GMRES法に基づく非線形MPC(Ohtsuka, 2004)
 - 非線形な制御対象に適用可能
 - 効率の良いアルゴリズムであるため、実時間での最適化が可能



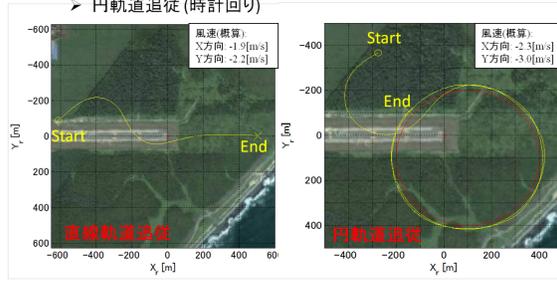
モデル予測制御による飛行試験結果

- SSRV(小規模飛行実験機)の横方向誘導則に、C/GMRES法に基づく非線形MPCを適用。(バンク角コマンドを出力とする)
- 定常風の影響を抑えるため、定常風推定機構(拡張カルマンフィルタ)を併用。
- 二種類の飛行実験を実施:
 - 直線軌道追従(滑走路座標X軸追従)
 - 円軌道追従(時計回り)



SSRV仕様:

- Length: 2.6m
- Span: 4.2m
- Weight: 33kg
- FCS: Micro-GAIA (GPS: Androsentral Avionics)
- CPU: Intel Celeron (400MHz)
- Memory: 512MB

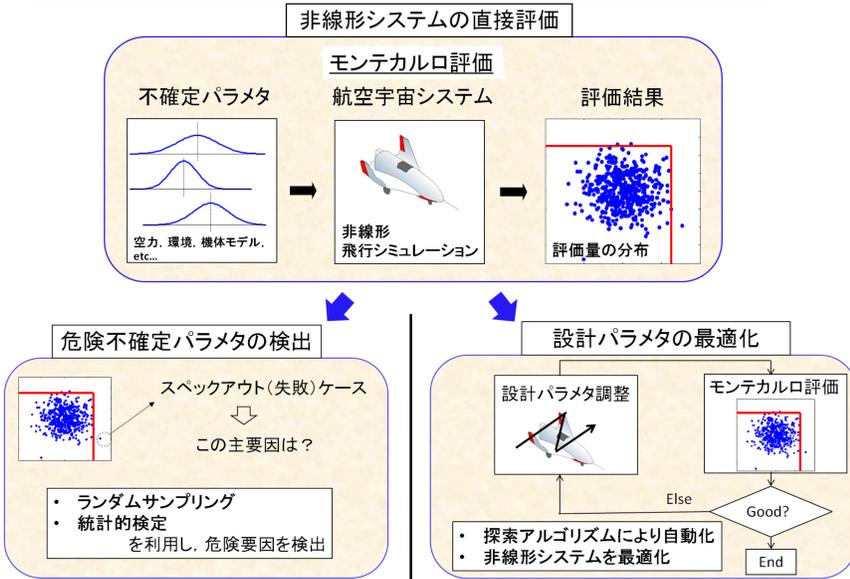


- ✓ 直線軌道追従では誤差2m以下
- ✓ 円軌道追従では誤差15m程度(これらの値は評価関数の与え方に依存する)
- ✓ 目標から大きく離れた初期状態からも追従可能
- ✓ 最大バンク角での軌道追従
- ✓ 定常風の影響軽微(定常風推定を行わない場合は、左記の結果より流されることを別試験で確認)

C/GMRES法に基づく非線形MPCの有効性を飛行試験で確認

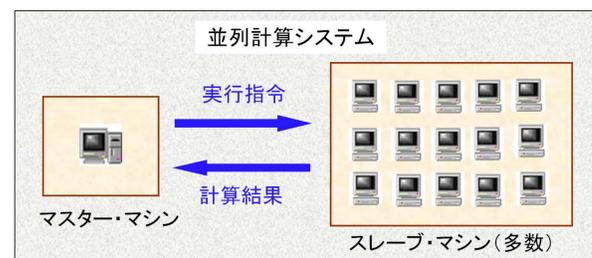
不確実性を含む運動モデルを用いた評価・最適化

「不確実性を含むシステム評価」と「設計パラメータの最適化」



自動並列計算システムの構築

[モンテカルロ評価は計算負荷が高いため、並列計算が効果的]



今後

- 危険パラメータ検出
 - 設計パラメータ最適化
- の機能も順次構築していく予定

ユーザが持つ単独シミュレーション用プログラムを接続。(Linux上でコンパイルし、実行ファイルとして接続)

システムのソフトウェアにより、並列計算を自動的に実行。

- ユーザ
 - シミュレーションプログラム(1回実行用)
 - 不確定パラメータ・データ