T2R2 東京科学大学 リサーチリポジトリ
Science Tokyo Research Repository

論文 / 著書情報
Article / Book Information

題目(和文)	柔軟構造を持つ宇宙機の実時間挙動推定手法の研究
Title(English)	Real-time Dynamics Estimation for the Flexible Spacecraft
著者(和文)	本田瑛彦
Author(English)	Akihiko Honda
出典(和文)	学位:博士(工学), 学位授与機関:東京工業大学, 報告番号:甲第10144号, 授与年月日:2016年3月26日, 学位の種別:課程博士, 審査員:小田 光茂,大熊 政明,鈴森 康一,松永 三郎,坂本 啓,野田 篤司
Citation(English)	Degree:Doctor (Engineering), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第10144号, Conferred date:2016/3/26, Degree Type:Course doctor, Examiner:,,,,,
学位種別(和文)	博士論文
Category(English)	Doctoral Thesis
種別(和文)	論文要旨
Type(English)	Summary

Powered by T2R2 (Science Tokyo Research Repository)

（博士課程）
Doctoral Program

論 文 要 旨

THESIS SUMMARY

専攻： Department of	機械宇宙システム　　専攻	申請学位（専攻分野）： Academic Degree Requested	博士 Doctor of　（　工学　）
学生氏名： Student's Name	本田 瑛彦	指導教員（主）： Academic Advisor(main)	小田 光茂
		指導教員（副）： Academic Advisor(sub)	野田　篤司

要旨（和文 2000 字程度）
Thesis Summary（approx.2000 Japanese Characters ）

本論文は、「柔軟構造を持つ宇宙機の実時間挙動推定手法の研究」と題し、以下の全 7 章で構成されている。

第一章「緒論（今後の宇宙機運用における宇宙機の実時間状態推定の必要性）」では、本研究の背景及び、目的を述べている。すなわち、今後の宇宙活動の拡大に伴い宇宙機（人工衛星、探査機等）の大型化、多機能化が進む一方で、打ち上げコストの抑制のために宇宙機の軽量化が進み、その結果、宇宙機の機体剛性が低下し、宇宙機の機体に振動が生じやすくなるとしている。また、その一方で、遠隔地で運用される宇宙機との通信では、通信帯域の制限や通信時間遅れが生じるため宇宙機の正確な動作状態の把握が困難になること、さらには、他天体への着陸や浮遊物体の捕獲等、的確なタイミングでの指令実行が必要となるミッションが増えることが、今後の宇宙機の遠隔運用における課題であるとしている。本論文ではこれらの課題の解決を目指し、柔軟構造を有する宇宙機の遠隔運用性を改善する方法について研究すると述べている。

第二章「柔軟構造宇宙機の動力学パラメータの実時間推定」では、柔軟構造を有する宇宙機の内部状態や動力学パラメータを実時間で推定し、宇宙機の制御や、浮遊物体の捕獲・衝突回避等に利用することを目指して、衛星の姿勢制御系の動的閉ループ試験で利用されている「オンライン・ダイナミクス・シミュレータ」に対象物の内部構造や動力学を実時間処理に適した形に簡略化する「モデルチューニング手法」、逆問題解析によって宇宙機の内部状態を推定し「仮想的なテレメトリデータの生成を行う手法」を組み合わせた実時間動力学推定システム「Real-time Operation based Dynamics Estimation (RODE) system)を構成することを提案している。

第三章「薄板連結構造物の振動推定（展開型太陽電池パドルのサーマルスナップ）」では、RODE の手法を人工衛星の太陽電池パドル（Solar Array Paddle、SAP）の振動推定に適用した事例を示している。すなわち、人工衛星の多くは展開型の SAP を有しており、衛星が日照状態と日陰状態を遷移する際、SAP への熱入力が急激に変化するために SAP や衛星本体にたわみや振動をもたらすとしている。本現象は「Thermal Snap」と呼ばれ、衛星による観測精度の劣化を引き起こすため問題視されているが、加速度計などを使用した従来の観測では振動現象を捉えることが出来なかったとしている。そのため、本研究では 2009 年に打ち上げられた JAXA の温室効果ガス観測技術衛星「GOSAT」の SAP に取り付けられた温度センサ（SAP の片翼あたり 2 ヶ所、両翼で 4 ヶ所）からの温度データを入力データとする RODE システムを構築し、本 RODE システムが生成する SAP 全体の温度分布の仮想テレメトリデータを用いた熱構造解析をすることによって Thermal Snap 現象を同定することが出来たとしている。

第四章「長大な宇宙用ロボットアームによる浮遊ターゲットの捕獲時の挙動推定」では宇宙ステーション搭載ロボットアーム（SSRMS）を用いて宇宙ステーション補給機（HTV）を捕獲する際の両者の接触状態及び、接触後の HTV の挙動推定に RODE 手法を応用した例を示している。すなわち SSRMS による HTV 捕獲の際、両者の接触状態が適切でないと HTV が突き飛ばされる可能性があるが、SSRMS にも HTV にも接触力計測用センサは搭載されておらず、宇宙飛行士の目測頼りであるとしている。そのため本研究では、SSRMS の関節データから接触力を仮想テレメトリデータとして推定し、同推定値を基に接触後の HTV の相対位置・速度をオンラインシミュレータで推定して HTV が ISS 等に衝突しないように監視するシステムを試作したとしている。そして、JAXA が開発した HTV シミュレータを用いた検証を行い、HTV シミュレータからのデータを入力として本 RODE システムが実時間で算出した挙動推定値と、HTV シミュレータが予測した HTV の挙動とが一致していることから本 RODE システムが有効に機能することを確認したと述べている。

第五章「可変構造型探査ロボットによる柔軟地盤走行時の挙動推定」では、月・惑星探査ロボットに RODE 手法を適用した例について示している。すなわち、月・惑星探ロボットは様々な地形・地質に対応できる必要があり、そのためには自身の構造を地形等に合わせて変化させるのが有効であると考えられており、本研究では、JAXA と東工大が共同で開発している可変構造型探査ロボットの試作機（健気）の走行状態を推定するシステムとして、変形機構部の関節センサなどからすべり沈下量の分布を仮想テレメトリとして生成し、移動機構の挙動を推定するシステムを構築し組み込んだ結果、屋外での走行実験において走行不能状態になる前に同現象を察知し回避できたと述べている。

第六章「推定システムを利用した宇宙機の制御」では、宇宙ロボットの遠隔運用に「モデル予測制御法（MPC)」が有効であるものの、制御対象が柔軟構造の場合には MPC の適用が難しいことが知られていることから MPC に実時間動力学予測システム(RODE)を組み込み、RODE-MPC システムとして運用することで通信時間遅れや柔軟特性による影響があっても遠隔地の宇宙ロボットの遠隔運用が可能なことを示している。

第七章「結論」では、本研究で得られた成果を総括すると共に今後の課題について述べている。

以上を要するに、本論文は、軌道上や月・惑星上の宇宙機を遠隔運用する際に、通信時間遅れ、通信容量の制約、宇宙機の柔軟構造特性等により正確な遠隔運用が困難になっている現状に対して、遠隔地にある宇宙機の動力学的状態を時間遅れ無く推定し、操作者に伝えるシステムが実現可能であることを示し、宇宙機の遠隔運用の困難さを改善する可能性を示しており、工学・工業上、貢献するところが大きい。よって、本論文は博士（工学）の学位論文として十分な価値があると認められる。

(2506 字)

備考：論文要旨は、和文 2000 字と英文 300 語を 1 部ずつ提出するか、もしくは英文 800 語を 1 部提出してください。
Note：Thesis Summary should be submitted in either a copy of 2000 Japanese Characters and 300 Words (English) or 1copy of 800 Words (English).

注意：論文要旨は、東工大リサーチリポジトリ(T2R2)にてインターネット公表されますので、公表可能な範囲の内容で作成してください。
Attention: Thesis Summary will be published on Tokyo Tech Research Repository Website (T2R2).

（博士課程）
Doctoral Program

論 文 要 旨

THESIS SUMMARY

専攻： Department of	Mechanical and Aerospace Engineering	専攻	申請学位（専攻分野）： Academic Degree Requested	博士 Doctor of	（ Engineering ）
学生氏名： Student's Name	HONDA Akihiko		指導教員（主）： Academic Advisor(main)	ODA Mitsushige	
			指導教員（副）： Academic Advisor(sub)	NODA Atsushi	

要旨（英文 300 語程度）
Thesis Summary（approx.300 English Words ）

Spacecraft of recent years tend to use light weight and fordable/deployable structures to realize large structure in the limitation of launch capacity. The trend leads to complexity of spacecraft's dynamic behavior and affect to reliability and performance because available telemetry which is needed to operate also has a limitation in most cases. It is necessary to improve a method of real-time condition evaluation to develop the advance spacecraft.

This thesis aims to propose a method to estimate dynamic behavior of flexible spacecraft based on limited telemetry data generated by operating spacecraft in real time.

Here author propose a dynamics estimation method named "Real-time Operation-based Dynamics Estimation (RODE)". The method mainly consists of online dynamics simulator, generator of a virtual telemetry and model tuning method. These methods are capable of estimating dynamic behaviors of flexible spacecraft more accurately in real-time compared with conventional estimation methods.

To evaluate practicality of the proposed methods, three cases of spacecraft (thermal snap occurred on an earth observation satellite's solar array paddle, contact dynamics between ISS's robotic arm and ISS supplier, running of transformable robotic explorer on a loose surface) are picked and examined with new remote operating system using a RODE method. By means of ground experiment facility, operation data and engineering test model, verification experiments were conducted to evaluate whether real-time property and estimation accuracy reach an enough level to use in real space mission. Then, feasibility of the proposed operation systems are confirmed its usefulness.

Additionally, RODE method is applied to the Model Predictive Control method which is capable of controlling large-delayed system and has a problem in applying to flexible spacecraft. With RODE-MPC system, vibration suppression control to solar array paddle and running control to transformable robotic explorer are realized in condition of virtual communication time-delay.

These results prove a proposed method's capability to estimate a flexible spacecraft's dynamics behavior in real-time.

(310 words)

備考 ： 論文要旨は、和文 2000 字と英文 300 語を 1 部ずつ提出するか、もしくは英文 800 語を 1 部提出してください。
Note : Thesis Summary should be submitted in either a copy of 2000 Japanese Characters and 300 Words (English) or 1copy of 800 Words (English).

注意：論文要旨は、東工大リサーチリポジトリ（T2R2）にてインターネット公表されますので、公表可能な範囲の内容で作成してください。
Attention: Thesis Summary will be published on Tokyo Tech Research Repository Website (T2R2).