

平成 29 年 6 月 12 日現在

機関番号：17102

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2013～2016

課題番号：25870513

研究課題名(和文)宇宙機軌道設計のための多体力学系の制御理論的解析

研究課題名(英文)Control Theoretical Approach to Trajectory Design in Multi-body Problem

研究代表者

坂東 麻衣 (Bando, Mai)

九州大学・工学研究院・准教授

研究者番号：40512041

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,600,000円

研究成果の概要(和文)：解析的な扱いが難しい多体力学系においては、制御理論を用いた軌道の解析を行った。非線形制御の手法を取り入れ、力学系の構造を利用しつつ、外乱抑制などの工学的な目的を達成する制御系を提案した。また、低推力連続加速により、目的地に到達することができる初期状態の集合であるAttractive Setの概念を最適制御をベースとして導入し、力学系の安定・不安定多様体と最適に制御された軌道の関係を明快に説明した。さらに、安定・不安定多様体を利用した平衡点間の遷移軌道を設計し燃料消費が大幅に減少することを確認することができた。

研究成果の概要(英文)：In the multi-body dynamics where analytical approach is difficult, we analyzed the trajectory using the control theory. We applied nonlinear control theory and proposed a control system that achieves engineering purpose such as disturbance suppression while utilizing the structure of dynamical system. The concept of attractive set, which is a set of initial states that can reach the desired state by low thrust continuous acceleration, is introduced on the basis of optimal control. It was clarified that the relationship between the optimally controlled trajectory with stable and unstable manifolds of dynamic system. In addition, we designed a transfer orbit between equilibrium points using stable and unstable manifolds and confirmed that fuel consumption is greatly reduced.

研究分野：航空宇宙工学

キーワード：三体問題 最適制御 不変多様体 低エネルギー軌道

1. 研究開始当初の背景

代表的な多体問題である円制限三体問題においては、ラグランジュ点とよばれる回転座標系における平衡点が存在する。このうち、直線解とよばれる平衡点は、ポテンシャル面の鞍点に位置しており、それらの鞍点近傍には、ハロー軌道とよばれる不安定周期軌道が存在することが知られている。さらに、ハロー軌道には安定多様体、不安定多様体と呼ばれる軌道群が存在するため、これらの軌道を利用することで燃料消費を必要とせず、ハロー軌道への投入および脱出が可能となる。近年ではNASA JPL (ジェット推進研究所) により 2001 年に打ち上げられたジェネシスミッションにおいて力学系理論に基づく軌道設計が用いられ、多体力学系の性質を積極的に利用することで効率的な宇宙機軌道が実現された。このように、力学系の性質を用いることで効率の良い惑星間移行軌道が設計可能であることが明らかになった。しかし、その設計手法は数値的、試行錯誤的なものであり、設計理論の確立には至っていない

2. 研究の目的

三体問題など多体系のダイナミクスにおける軌道移行問題を対象として、宇宙機のダイナミクスにおける鞍点構造を明らかにし、鞍点となる軌道を求める手法を確立する。次に、鞍点における構造を生かし、低推力宇宙機による摂動を考慮したロバストな軌道を求める手法を構築する。

3. 研究の方法

本研究では、
(i) 力学系の鞍点構造が制御理論にどのように解釈できるか
(ii) スラスタによる制御を付加した場合、力学系としてどのような意味を持たせることができるか
について考察する。
特に、力学系に内在するフィードバック構造に注目し、最適制御理論的な意味付けを行う。次に、得られた知見をもとに、多体系の力学系を利用した軌道設計論を提案する。さらに、不確定性を含むダイナミクスに対する軌道設計法を提案する。

4. 研究成果

解析的な扱いが難しい多体力学系において、制御理論を用いた軌道の解析を行った。非線形制御の手法を取り入れ、力学系の構造を利用しつつ、外乱抑制などの工学的な目的を達成する制御系を提案した。また、低推力連続加速により、目的地に到達することができる初期状態の集合である Attractive Set の概念を最適制御をベースとして導入し、力学系の安定・不安定多様体と最適に制御された軌道の関係を明快に説明した。さらに、安定・不安定多様体を利用した平衡点間の遷移軌道を設計し燃料消費が大幅に減少すること

を確認することができた。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計14件)

Hamidreza Nemati, Mai Bando and Shinji Hokamoto, ``Chattering Attenuation Sliding Mode Approach for Nonlinear Systems,`` Asian Journal of Control, Vol. 19, No. 5, pp. 1-13, September 2017. doi:10.1002/asjc.1477
Mai Bando and Daniel J. Scheeres, ``Attractive Sets to Unstable Orbits Using Optimal Feedback Control,`` Journal of Guidance, Control, and Dynamics, Vol. 39, No. 12, pp. 2725-2739, 2016.

doi:10.2514/1.G000524

Yuki Akiyama, Mai Bando, Hamidreza Nemati and Shinji Hokamoto, ``Trajectory Design Using the Center Manifold Theory in the Circular Restricted Three-Body Problem,`` Transactions of the Japan Society for Aeronautical and Space Sciences, Aerospace Technology Japan, pp. Pd_151-Pd_158, 2016.

doi:10.2322/tastj.14.Pd_151

Sho Hayashida, Mai Bando, and Shinji Hokamoto, ``Design of Earth-Moon Cyclers Using Primer Vector Theory,`` Transactions of the Japan Society for Aeronautical and Space Sciences, Aerospace Technology Japan, pp. Pd_159-Pd_165, 2016.

doi:10.2322/tastj.14.Pd_159

Yuki Akiyama, Mai Bando and Shinji Hokamoto, ``On the Possibility of Using Small Asteroids for Deflecting Near-Earth Asteroids,`` Advances in Space Research, Vol. 57, No. 8, pp.1820-1831, 2016.

doi:10.1016/j.asr.2015.08.016

伊達直輝, 坂東麻衣, 外本伸治, ``未知の低推力加速運動を行う人工衛星の軌道推定(第1報:平均軌道要素の推定),`` 日本機械学会論文集, Vol. 81No. 826 p. 14-00487, 2015.

doi:http://t.co/AUJ6UxEFLM

伊達直輝, 坂東麻衣, 外本伸治, ``未知の低推力加速運動を行う人工衛星の軌道推定(第2報:接触軌道要素の推定),`` 日本機械学会論文集, Vol. 81, No. 826 p. 14-00657, 2015.

doi:http://t.co/DIid2rhdIa

Mai Bando and Akira Ichikawa, ``Formation Flying Along Halo Orbit of Circular-Restricted Three-Body

Problem,' ' Journal of Guidance, Control, and Dynamics, Vol. 38, No. 1, pp. 123-129, 2015. doi:10.2514/1.G000463
坂東麻衣}, 外本伸治, ``円制限三体問題を題材とした航空宇宙工学分野における研究室インターシップ,' ' 工学教育, Vol. 62, No. 2, pp. 73-76, 2014.
Mai Bando and Akira Ichikawa, ``Optimal Selection of Impulse Times For Formation Flying,' ' Advances in the Astronautical Sciences, Vol.153 , pp.861 - 872, 2014
Mai Bando and Akira Ichikawa, ``Formation Flying Along an Elliptic Orbit by Pulse Control,' ' Advances in the Astronautical Sciences, Vol. 150, pp. 1433 - 1446, 2013.
Mai Bando and Akira Ichikawa, ``Formation Flying near the Libration Points by Impulse Control,' ' Advances in the Astronautical Sciences, Vol. 148, pp. 3045 - 3057, 2013.
Mai Bando and Akira Ichikawa, ``In-plane Motion Control of Hill-Clohessy-Wiltshire Equations by Single Thruster,' ' Journal of Guidance, Control, and Dynamics, Vol. 36, No. 5, pp. 1512-1522, 2013.
Mai Bando and Akira Ichikawa, ``Active Formation Flying Along an Eccentric Orbit,' ' AIAA Journal of Guidance, Control, and Dynamics, Vol. 36, No. 1, pp. 324-332, 2013.

[学会発表](計16件)

Yuki Akiyama, Mai Bando and Shinji Hokamoto, ``Periodic Orbits Design Based on the Center Manifold Theory in the Circular Restricted Three-Body Problem,' ' 67th International Astronautical Congress, Guadalajara, 2016. Sep 26 - 30
Mai Bando and Daniel J. Scheeres, ``Nonlinear Attractive Sets under Optimal Feedback Control in the Hill Three-Body Problem,' ' AIAA/AAS Astrodynamics Specialist Conference, SPACE Conferences and Exposition, (AIAA 2016-5436), Long Beach, 2016. Sep 13-16
Mai Bando and Daniel J. Scheeres, ``Attractive Set of Optimal Feedback Control for the Hill Three-Body Problem,' ' 26th AAS/AIAA Space Flight Mechanics Meeting, Napa, 2016. Feb 14-18
Yuki Akiyama, Mai Bando and Shinji Hokamoto, ``Station-Keeping and Formation Flying for Periodic Orbits

around Lagrangian Points by Fourier Series,' ' 25th International Symposium on Space Flight Dynamics (ISSFD), Munich, 2015. October 19 - 23
Hamidreza Nemati, Mai Bando and Shinji Hokamoto, ``Design of Sliding Mode Controllers for Formation Flygin along Unstable Periodic Orbits in CR3BP,' ' 66th International Astronautical Congress, Jerusalem, 2015. October 12 - 16
Mai Bando, Hamidreza Nemati and Shinji Hokamoto, ``Satellite Formation-Keeping about Libration Points in the Presence of System Uncertainties,' ' AAS/AIAA Astrodynamics Specialist Conference, Veil, 2015.
Yuki Akiyama, Mai Bando, Hamidreza Nemati and Shinji Hokamoto, ``Trajectory Design Using the Center Manifold Theory in the Circular Restricted Three-Body Problem,' ' 30th International Symposium on Space Technology and Science (ISTS), Japan, July 2015.
Sho Hayashida, Mai Bando, and Shinji Hokamoto, ``Design of Earth-Moon Cyclers Using Primer Vector Theory,' ' 30th International Symposium on Space Technology and Science (ISTS), Japan, July 2015.
Mai Bando, Naoki Date and Shinji Hokamoto , ``Estimation of Mean Orbital Elements with Unknown Low-Thrust Acceleration,' ' 65th International Astronautical Congress, Toronto, 2014.
Mai Bando and Akira Ichikawa, ``Optimal Selection of Impulse Times for Formation Flying Along an Elliptic Orbit,' ' SICE Annual Conference, Sapporo, 2014. Sep. 9-12.
Yuki Akiyama, Mai Bando and Shinji Hokamoto, ``On the Possibility of Using Small Asteroids for Deflecting Near-Earth Asteroids,' ' Stardust First Global Virtual Workshop, Glasgow, 2014.
Mai Bando and Akira Ichikawa, ``Optimal Selection of Impulse Times for Formation Flying,' ' 2nd IAA Conference on Dynamics and Control of space Systems, Roma, 2014.
Mai Bando, Yuki Akiyama and Shinji Hokamoto, ``Robust Deflection Strategies of Near Earth Asteroids under Uncertainties,' ' 24th AAS/AIAA Space Flight Mechanics Meeting, Santa

Fe, 2014.

Mai Bando and Akira Ichikawa,
``Formation Flying Along a Circular
Orbit by Pulse Control,`` SICE Annual
Conference, Nagoya, 2013.

Mai Bando and Akira Ichikawa,
``Formation Flying Along an Elliptic
Orbit by Pulse Control,`` AAS/AIAA
Astrodynamics Specialist Conference,
Hilton head, 2013.

Mai Bando and Akira Ichikawa,
``Formation Flying near the Libration
Points in the Elliptic Restricted
Three-Body Problem,`` 5th
International Conference on
Spacecraft Formation Flying Missions
and Technologies (SFFMT), Munich,
2013.

〔図書〕(計0件)

〔産業財産権〕

出願状況(計0件)

取得状況(計0件)

〔その他〕

ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

坂東 麻衣 (Mai Bando)
九州大学・工学研究院・准教授
研究者番号：40512041

(2) 研究分担者

()

研究者番号：

(3) 連携研究者

()

研究者番号：

(4) 研究協力者

()