

## 遺伝的アルゴリズムを用いたオンボード軌道決定の実証に向けた地上試験

九州工業大学 工学部 宇宙システム工学科 久保 翔太  
指導教員 趙 孟佑 教授

### 要旨

近年、超小型衛星の深宇宙探査が活発化している。九州工業大学でも月探査衛星「HORYU-6」の開発を計画している。その軌道決定システムとして「OPERA(Onboard Processing of Earth-origin one-way Radio ranging signal)」を搭載する予定である。現在の軌道決定には衛星からの微弱な電波を受け取るための大型のアンテナが必要であり、このアンテナを備えた施設は非常に少ない。「OPERA」は大学設置可能な数 m 級のアンテナを用いた新たな軌道決定手法の実現を目指しており、「OPERA」の技術が実現できれば、宇宙開発の幅が広がる。そこで、「HORYU-6」に「OPERA」の搭載の先駆けとしての技術実証実験衛星「LEOPARD」の開発を現在進めている。「LEOPARD」で「OPERA」の技術を実現することで「HORYU-6」における軌道決定システムの開発にも期待できる。

本研究は先行研究「遺伝的アルゴリズムを用いたオンボード軌道決定に向けたシミュレーション」の結果や研究手法を参考に、「LEOPARD」での運用環境、「OPERA」のシステムを想定し、考慮すべき点を踏まえながら、遺伝的アルゴリズムを用いたオンボード軌道決定の検証を行い、正常に軌道決定ができるか、目標とする精度達成することができるのかなど「LEOPARD」での軌道決定の可能性を探ることを目的としている。設定する値や遺伝的操作のパラメータを変化させたときの結果の精度や違い、OPERA EM(Engineering Model)内での動作などを検証する。

### Ground test for demonstration of onboard orbit determination using genetic algorithm

Kyushu Institute of Technology Shota Kubo  
Supervisor: Mengu Cho

### Abstract

In recent years, deep space exploration by microsatellites has become active. Following this path, Kyushu Institute of Technology is also planning to develop a lunar exploration satellite, called HORYU-6. This satellite will be equipped with OPERA (Onboard Processing of Earth-origin one-way radio ranging signal) as an orbit determination system. As of today, current orbit determination must face up to a large antenna requirement to receive weak radio waves from satellites, and the limitation on the facilities available, since there are very few installations equipped with a such antenna. "OPERA" aims to perform orbit determination by a new orbit determination method in a combination with using a few-meter-class antenna that can be installed at a university. In order to test the performance of "OPERA" it will be installed in the demonstration test satellite "LEOPARD", so it is expected, that performance results can provide technical feedback before its implementation as an orbit determination system in the "HORYU-6" satellite.

This research refers to the results and methods used in the previous work titled: "Simulation for on-board trajectory determination using genetic algorithm". During this work, operational environment conditions of "LEOPARD" with the "OPERA" system were simulated to verify the onboard orbit determination using the genetic algorithm. The work's purpose is to explore the possibility of "LEOPARD" orbit determination, such as orbit determination can be performed properly, and target accuracy can be achieved as well. Will be considered the accuracy and difference of the results when the set values and the parameters of genetic manipulation are changed. Then, this will be verified with the operation in the OPERA EM (Engineering Model).

# 目次

第一章 序論 .....	4
1.1 研究背景 .....	4
1.2 研究目的 .....	5
第二章 軌道決定法 .....	6
2.1 従来の軌道決定法 .....	6
2.2 本研究における軌道決定法 .....	7
第三章 遺伝的アルゴリズム(Genetic Algorithm) .....	9
3.1 遺伝的アルゴリズムについて .....	9
3.1.1 概要 .....	9
3.1.2 GA の手順 .....	10
3.2 遺伝的操作 .....	10
3.2.1 選択 .....	10
3.2.2 交叉 .....	11
3.2.3 突然変異 .....	12
3.3 GA の利点・欠点 .....	12
3.3.1 利点 .....	12
3.3.2 欠点 .....	13
3.3.2.1 初期収束 .....	13
3.3.2.2 ヒッチハイキング問題 .....	13
第四章 解析方法 .....	14
4.1 先行研究 .....	14
4.1.1 概要 .....	14
4.1.2 結果 .....	14
4.2 地球周回軌道のプログラム .....	16
4.2.1 GA プログラムについて .....	16
4.2.2 地上局の位置 .....	18
4.2.3 座標系 .....	18
4.2.4 入力データの生成 .....	18
4.2.4.1 対象衛星の初期位置 .....	19
4.2.4.2 入力データの生成 .....	20
4.2.5 平均位置誤差の導入 .....	21
4.3 衛星に働く摂動の考慮 .....	21
4.4 使用装置・機器 .....	22
4.4.1 Raspberry Pi 4 Model B .....	22
4.4.2 OPERA EM .....	24
4.5 解析方法 .....	26
4.5.1 個体数と世代数の最適値の調査 .....	26
4.5.2 選択率と突然変異率別の初期位置誤差・初期速度誤差の調査 .....	27
4.5.3 個体数と探索範囲による平均位置誤差の調査 .....	27
4.5.4 入力データの解像度別位置誤差の調査 .....	27
4.5.5 時間経過に伴う位置誤差の調査 .....	27
4.5.6 入力データの計測間隔による位置誤差の変化 .....	27
4.5.7 Raspberry Pi 単体での動作試験 .....	27
4.5.7.1 入力データ .....	27
4.5.7.2 RPi 4B と Tera Term の UART 通信 .....	28
4.5.8 OPERA EM を用いた動作試験 .....	32
第五章 解析結果 .....	34
5.1 LEOPARD における個体数と世代数の最適値の調査 .....	34

5.2 選択率と突然変異率別の位置誤差・速度誤差の調査 .....	35
5.3 個体数と探索範囲による位置誤差の調査 .....	40
5.4 入力データの解像度別の位置誤差の調査 .....	44
5.5 時間経過による位置誤差の調査 .....	45
5.6 入力データの計測間隔による位置誤差の調査 .....	46
5.7 RPi 4B 単体の動作試験 .....	50
5.8 OPERA EM での動作試験 .....	51
第六章 結論 .....	54
第七章 今後の課題 .....	55
付録 .....	58
・ FORTRAN ソースコード .....	58
・ 地球の重力ポテンシャルの導出 .....	105

全文をご希望の方は [cho.mengu801@mail.kyutech.jp](mailto:cho.mengu801@mail.kyutech.jp) までご連絡ください。