

コマンドを用いた衛星の不具合分析支援に関する研究

03-183005 西本 慎吾

2020 年 12 月 01 日

概要

近年、大学や高専などの教育機関や、民間企業による超小型衛星の開発、およびそれを利用した事業の展開が盛んになっている。一方で、超小型衛星の信頼性の低さが問題となっている。軌道上故障に関する調査の結果信頼性の低さの原因として、設計および製造過程における不良が多いことが分かっており、地上試験によって不具合の改修、対策を十分に行うことが重要である。しかし、衛星のような複雑なシステムでは、内部の機器間で異常状態が波及するため、不具合事象から故障箇所の特定を行うことは非常に多くの知識と経験を必要とする。そこで、本研究ではコンポーネント間の接続関係モデル、情報伝達の経路モデルを用いて衛星の故障候補の検証方法（確認事項、打つべきコマンド）を人間の判断を支援する指標と共に提示することで、不具合分析を支援する手法を提案する。本手法では、簡易的な衛星モデルに対して実践することでコマンドによる故障箇所の特定を効率的に行えること、設計の不備を発見することにつながることを確認した。

1 序論

1.1 研究背景

超小型衛星開発に大学などの教育機関が参加している中、信頼性の低さが問題となっている¹⁾。軌道上故障の調査の結果、衛星の故障原因の多くは設計・製造過程に起因するものであることが分かっており、それらの多くは地上試験によって確認することができるものであるという結果が出ている¹⁾。

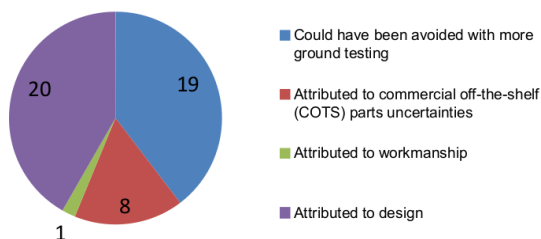


図 1 超小型衛星の故障原因に関する調査結果¹⁾

1.2 問題提起

以上より、地上試験での不具合分析が不十分になっていることが、超小型衛星の信頼性の低さの原因の一つである。地上試験での不具合分析を十分に行うためには以下の 2 点の作業に高い知識と経験が必要とされる。

- 故障候補の網羅的洗い出し

- 故障候補の切り分け作業

切り分け作業では、衛星の安全を確保しながら行う必要があり、不具合事象から衛星の状態を十分に想像できなければ安全な切り分け作業を行うことができない。これに対して、下表 1 に示すように、故障候補の洗い出しを網羅的に行う研究が盛んにおこなわれている。これまでの不具合分析を対象にした研究は故障候補の網羅的な洗い出しが主な目的であり、不具合分析の一つの大きな難点である検証過程に関して取り組んだものは少ない。

表 1 不具合分析手法の比較

手法	故障網羅性	手法の目的
GDE	低	故障仮説生成
GDE+ ²⁾	中	故障仮説生成
網状故障解析 ³⁾	中	異常モード洗い出し
故障オントロジー ⁴⁾	高	故障仮説生成
本手法	中	故障箇所特定

1.3 本研究の目的

以上より、次の機能を持った不具合事象から故障候補の切り分けまでの作業を支援する手法を提案する。

- 異常テレメトリから、故障候補を生成する
- 故障候補を確認するためのコマンドおよびテレメ

トリを探索する．

- 上の探索結果に関して優先度を人間に提示する．

したがって，上記の機能を達成するために以下の 3 点の構築を目的とする．

- 衛星内部機器の接続関係モデル及び情報伝達経路モデル
- 故障箇所の特定を行うために必要なコマンド及びテレメトリの探索
- 人間の判断を支援するコマンドの評価指標の提案

2 モデルベース不具合分析手法の仕様

2.1 不具合分析アルゴリズム

人と対話的に故障箇所を絞り込んでいく手法になっているため，人による不具合分析の流れを下図 2 に示す．

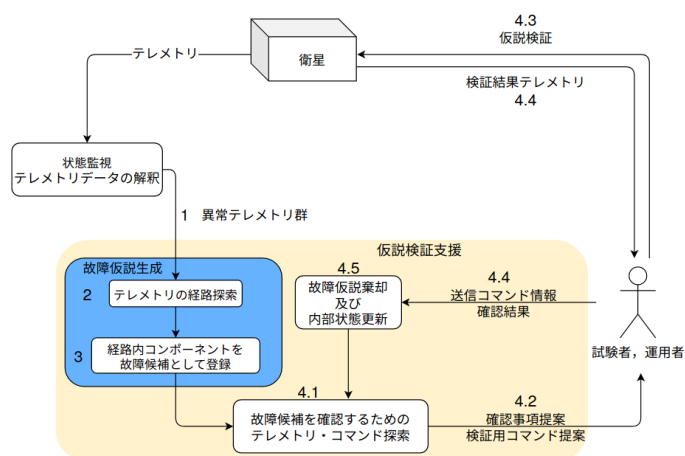


図 2 本手法による不具合分析の流れ

2.2 モデル

本手法で使用するモデルをいかに示す．

コンポーネント間接続関係モデル．情報伝達経路モデル
ルコマンドおよびテレメトリの機能モデル

2.3 評価指標の提案

探索を行った結果を提示し，人間が選択する際に必要となる指標を以下の 2 点に分けて示す．

- 衛星の生存性への副作用
- 故障候補切り分け能力の大きさ

2.3.1 衛星の生存への副作用

まず，生存への副作用を示す指標として，以下の 3 点を与える．

- コマンドを打つ前の電力状態と，コマンドを打つことによって発生する電力消費量
- 姿勢変化を起こすか否か
- コマンド送信によって変化するテレメトリの数

2.3.2 故障候補切り分け能力

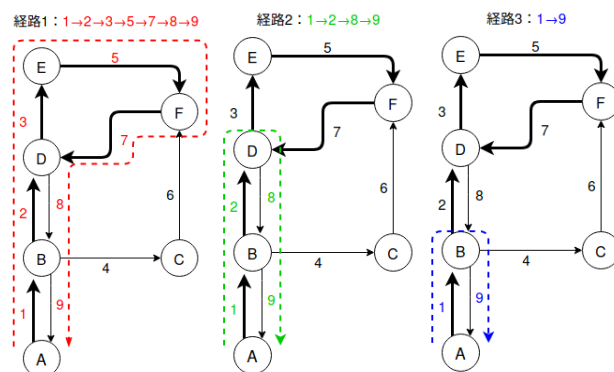


図 3 故障候補とそれを確認するための情報伝達経路の例

故障候補を確認するためには経路内に存在する他のリンクが正常である必要がある．その制約によって，確認するための確率を求めることが可能である．

対象のコマンドから分析をスタートした時に，最終的に故障箇所の特定を行うまでの総コマンド数の期待値が求められる．各リンクに対して正常確率を用いることで，テレメトリが正常になるかどうかの確率を計算し，それらの結果に基づく次のコマンドの探索に移る．

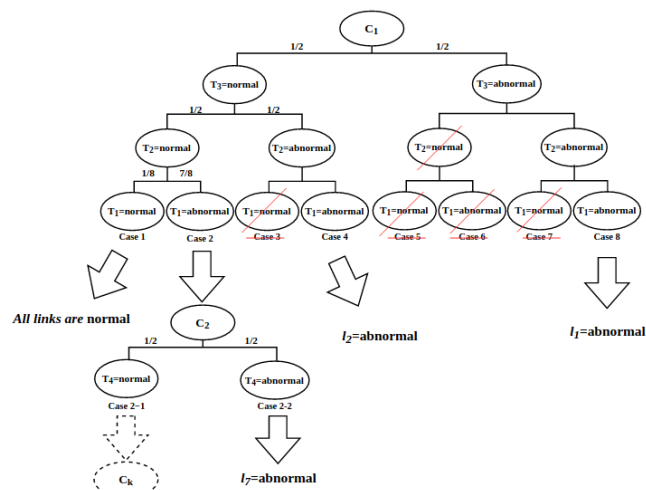


図 4 検証プロセスの全体像

これを用いることで、故障箇所特定までにかかるコマンドの総数の期待値が算出可能である。

地上試験と軌道上運用における使い分け

3 提案手法による実践と評価

3.1 対象問題設定と実践結果

実践例での対象故障：複数の事例を確認して、どうだったかという結果も欲しい

実践例として上手く特定ができるものと、できないものを示す。

- ヒータの接触不良に関して
- コンポーネントの故障などに関して (そもそものテレメトリが発行されていない場合など)

3.2

4 結論

4.1 本研究で得られた知見

本手法を用いて最終的な故障箇所の特定を行うのは難しい。どちらかというの不具合分析過程を体系化して、それを用いたコマンドの選択をすることによって故障箇所の推論に必要な情報を集めるような働きをしていると言える。

テレメトリを発行している機器の故障の場合は、そのコンポーネントからの情報ラインに冗長系がなければかなり多くの故障候補が残ってしまう。

4.2 今後の展望

故障候補の網羅的な生成を実現するために、先行研究で取り組まれているオントロジーを作り、...

ある程度の事前定義情報からモデル化を自動化することを目標にする。

参考文献

- 1) Catherine C Venturini. Improving Mission Success of CubeSats. Technical report, 2017.
- 2) Peter Struss and Oskar Dressier. "Physical Negation" - Integrating Fault Models into the General Diagnostic Engine. Vol. 89, pp. 1318-1323, 1989.
- 3) Kota Yamaguchi and Hori Koichi. Fault Network Analysis of Artificial Satellite Using Ontology. pp. 1-4, 2014.
- 4) 来村徳信, 西原稔人, 植田正彦, 池田満, 小堀聡, 角所収, 溝口理一郎. 故障オントロジーの考察に基づく故障診断方式：網羅的故障仮説生成. PhD thesis, sep 1999.