

超小型衛星におけるビット反転の対策

長崎県立長崎西高等学校 物理部

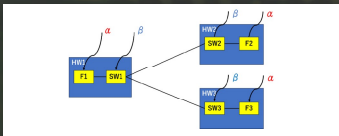
堀江 浩喜（2年）

濱口 晃実（1年）

1. 概要

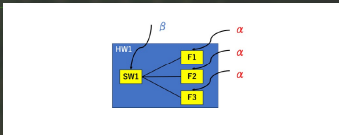
放射線の影響により軌道上で発生するビット反転を監視し修正する仕組みを作成する。既存のミッション回路にマイコンを1つ加えるだけで実装可能な「ハイブリッド型 TMR」であれば、リソースが限られる超小型衛星においても、多数決方式や相互監視方式によりファイルエラーやソフトウェアエラーへの対策が可能となる。これらの対策により、将来的には超小型衛星の誤作動やエラーを起こす可能性を低くすることが目的である。

2.1 超小型衛星には「ハイブリッド型 TMR」が適している



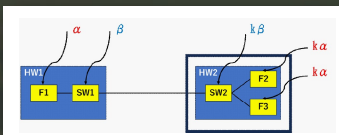
■ハード型 TMR

ハードウェア 1～3（HW1, HW2, HW3）の中にソフトウェア 1～3（SW1, SW2, SW3）があり、ファイル 1～3（F1, F2, F3）をそれぞれ操作できる。



■ソフト型 TMR

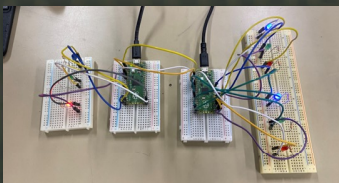
ハードウェア 1（HW1）の中にソフトウェア 1（SW1）があり、ファイル 1（F1）、ファイル 2（F2）、ファイル 3（F3）を操作できる。



■ハイブリッド型 TMR

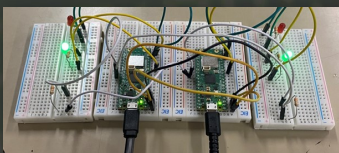
ハードウェア 1（HW1）の中にソフトウェア 1（SW1）とファイル 1（F1）が格納されており、ハードウェア 2（HW2）の中には、ソフトウェア 2（SW2）があり、ファイル 2（F2）とファイル 3（F3）を操作できる。HW2 をシールドする。

2.2 TMR によるファイルエラーの修正手順



Raspberry Pi Pico 2 台を HW1 と HW2 として、TMR を行う仕組みを作成した。HW1、HW2 間のデータ通信には UART を使用した。また、F1、F2、F3 の状態にはそれぞれに青、緑、赤の 3 色の LED を割り当て、ファイルの状態を視覚化した。正常であれば青、1 が足されるエラーが発生した場合は緑、2 が足されるエラーの場合は赤が点灯する。これによって TMR が行われる一連の様子を視覚化できるようになった。F2、F3 のエラーについても同様の処理が成されたことから、1 つのファイルに発生したエラーは確実に修正することができた。

2.3 相互監視によるソフトウェアエラーの修正手順



システムが予期しない動作をするので速やかにソフトウェアを修正しなければならない。そのためには、マイコンを電源リセットして、プログラムを再びメモリに読み直すことで対処できる。そこで、2 台のマイコンが相互監視して、相手の異常を検知したときに相手を電源リセットする仕組みを作成した。この仕組みでは 2 つのマイコンが互いにハートビート（正常に動作していることを示す信号）を送りあい、ハートビートが送られてこなかったら相手のマイコンで SEU によるソフトウェアエラーが発生したと判断し、相手のマイコンをリセットする。

3. 得られる成果

- ・マイコンを 2 つ用いた TMR と相互監視が可能であることが確認できた。超小型人工衛星の重量が大きく増加することなく放射線対策ができる。
- ・単体の SEU であれば、エラーの発生がファイルでもソフトウェア自体でも対応可能である。
- ・マイコンを既存の回路に 1 つ後付けすることで SEU 対策が可能となる。

4. 独創性や社会的な効果

- ・マイコンを使用することで、コストを抑えつつビット反転による衛星の誤作動や故障のリスクを減らすことができる。
- ・ハイブリッド型という超小型衛星に最適な新たな TMR の手法を用いることで SEU による故障の可能性を最大限小さくすることができる。
- ・元のミッション回路に対する変更は、マイコン 1 つを後付けするだけなので、人工衛星の重量も大きく増加せず、ミッションを邪魔することなく放射線対策を行うことができる。