



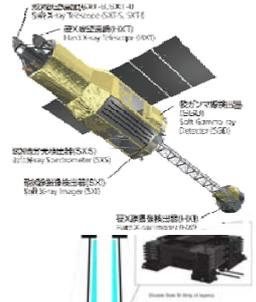
ASTRO-H衛星搭載BGOアクティブシールドの信号処理におけるデジタルフィルタの改良

後藤国広, 松岡正之, 徳田伸矢, 高橋弘充, 大野雅功, 深沢泰司(広島大学), 湯浅孝行, 佐藤悟朗, 渡辺伸, 国分紀秀, 高橋忠幸(ISAS/JAXA), 鳥井俊輔, 中澤知洋(東京大学), 齋藤龍彦, 中森健之, 片岡淳(早稲田大学), 田島宏康(名古屋大学), 他HXI/SGDチーム

イントロダクション

X線天文衛星ASTRO-H

- 2015年打ち上げ予定
- 高エネルギー天体現象の解明
- 4種類の検出器
- 広域、高感度でのX線・ガンマ線観測
- 硬X線、軟ガンマ線で初の撮像



主要センサー部

BGOシンチレータ

軟ガンマ線検出器SGD 硬X線撮像検出器HXI

性能	SGD	HXI
エネルギー領域	10-600 keV	5-80 keV
エネルギー分解能	< 2keV (FWHM) @60keV	< 2keV (FWHM) @60keV
有効面積	>20cm ² @100keV	>300cm ² @30keV

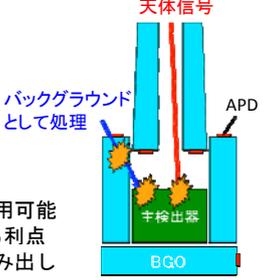
HXI/SGDでは

バックグラウンドを徹底的に除去し
現在より1桁の感度向上を目指す

その手段の1つが

BGOアクティブシールド

- 主検出器を宇宙線からシールド
- 反同時計数をとってバックグラウンド除去
- 明るい天体現象に対しては検出器として使用可能
- BGOは阻止能が高く、低温で光量が増加する利点
- APD (アバランシェフォトダイオード) で読み出し

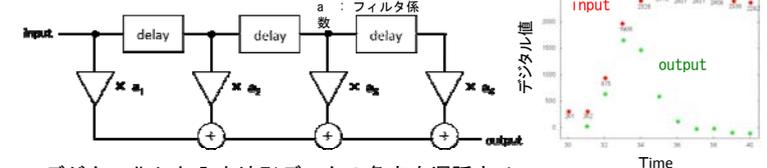


アクティブシールドの信号を用いて効率的にバックグラウンドを除去するためには、出来るだけノイズを除去してスレッシュホールドを下げる必要がある。

通常はアナログシェーピングアンプ回路によりノイズ除去
→しかし、回路面積大、上空でのパラメータ変更が困難

HXI/SGD のアクティブシールドでは**デジタルフィルタ**を採用

デジタルフィルタ



デジタル化した入力波形データの各点を遅延させ、それぞれのデータに係数をかけて再び足し合わせる。遅延の段数、係数の組み合わせにより様々な周波数特性をもつフィルタを実現可能

適切なデジタルフィルタを設定すると・・・



十分なリソース (サンプリングレート、遅延段数、係数精度 .. etc) があれば理想的なフィルタを設計できるが。

目的

BGOアクティブシールドのデジタルフィルタ設計には、衛星搭載に関わる**厳しいリソース制限**が課せられる。

- | | | |
|---------------|-----|-------------------------------|
| 1. 宇宙用認定電子部品 | } → | サンプリングレート |
| 2. 低消費電力 | | 1 MHzのADC (ADC128S102QML) を使用 |
| 3. FPGAの容量 | | 遅延段数: 17 |
| 4. 処理にかけられる時間 | | 係数範囲: -255 ~ +255 (整数) |

本研究の目的

限られた条件の下で、BGOアクティブシールドに使用するデジタルフィルタを最適化し、低エネルギーの信号まで検出可能にする

デジタルフィルタ係数の最適化

まず、1cm³ BGO+APDで読み出した信号をアナログシェイパーに通した場合の周波数特性を調べ、デジタルフィルタで再現するところを出発点とする。

波形比較

シェイパーを通じた波形	アナログシェイパーの周波数特性	
通していない波形	シェイパーが通している周波数帯域	0-200 kHzの周波数帯が有効

① 0-200 kHzのBPFで通過域の中心、幅を変えてパラメータサーチ

バンドパスフィルタ (BPF) のフィルタ係数算出方法

$$(\text{係数}) = \frac{1}{n\pi} \left\{ \sin\left(\frac{2n\pi\omega_c t}{\omega_s}\right) - \sin\left(\frac{2n\pi\omega_{cl}}{\omega_s}\right) \right\} \cdot w_n$$

データ	スレッシュホールド (keV)
フィルタなし	81.7
デジタルフィルタ	60.2

※:スレッシュホールド=3x(テストパルスFWHM)

パラメータサーチによって性能の良いフィルタ係数が得られることを確認
しかし、波形形状を重視しないため、デッドタイムが大きい問題が発生。

② 波形整形を重視したパラメータ調整

波形立ち上がりの遅れ → 係数全体を前段の遅延へずらす
テールを引く → 係数後半に負の値を配置

フィルタ係数比較

データ	スレッシュホールド (keV)
フィルタなし	81.7
デジタルフィルタ (波形重視)	54.2

波形整形によってデジタルフィルタの性能が向上することを確認し、①、②からフィルタ係数の概形を決定する手順を確立。

③ フィルタ係数概形の条件でパラメータサーチ

フィルタ係数

データ	スレッシュホールド (keV)
フィルタなし	81.7
最適化フィル	46.5

低ノイズかつ低デッドタイムを実現するデジタルフィルタパラメータの決定手順を確立することに成功

検出器の長期運用とフィルタ係数

検出器の長期運用

- 上空で放射線を浴びる
- 光センサのAPDが損傷
- ノイズの周波数特性が変化

取得信号の波形比較

取得波形の周波数特性

初期の最適フィルタ
スレッシュホールド: 46.5 keV

初期と同じフィルタ
スレッシュホールド: 109.1 keV

改めて最適化したフィルタ
スレッシュホールド: 103.8 keV

APD損傷
ノイズ増加
パラメータ変更でフィルタ効果回復

通常のAPD
放射線損傷を受けたAPD
放射線量 (∞時間)

上空でノイズ特性が変化した場合もデジタルフィルタの再最適化が出来る可能性がある。

まとめと今後

衛星搭載検出器HXI/SGDのシールド検出器で使用するデジタルフィルタの最適化を行った。

- 膨大なパラメータの中から最適なフィルタ係数の概形を決定
- 低ノイズかつ低デッドタイムを実現する最適なパラメータを決定
- 今後は、実際に衛星に搭載する機器に適用した試験を行う