

現状のVERA 記録経路差による パワーメータ値とビット分布の線形性比較

足立 裕樹 /Yuuki Adachi

Mizusawa VLBI Observatory NAOJ



1. パワーメータ値とビット分布

1-1. 目的

VERA4 局においても近年の広帯域化に伴い複数 IF を同時サンプリングしバンド幅合成する用途が増えている。その際、各 IF へパワーメータを取り付けることは現実的には出来ないため IF ごとの Tsys は得られていない。サンプリングデータより妥当な Tsys を取得することが可能であれば、高価なパワーメータを各 IF に取り付けることなく IF ごとの Tsys を測定可能となる。本発表ではその前段階として VERA の各サンプラー (DFU 経由、ADS1K、ADS3K) で取得したサンプリングデータのビット分布から計算できるパワーと ADS1K 前段に取り付けられたパワーメータで測定されたパワーとで線形性の比較を行なっている。

1-2. 原論文

鹿児島大の PASJ 論文

Publications of the Astronomical Society of Japan, Volume 62, Issue 5, 25 October 2010, Pages 1361–1366, <https://doi.org/10.1093/pasj/62.5.1361>

1-3. Power Meter 値 (PM) とビット分布 (BitDist), Tsys の関係

文献 1 より、正規分布を仮定したビット分布の標準偏差 (σ) と Power の関係は下記となる。

$$PM \propto \sigma^2 \rightarrow PM(t) = k \cdot \sigma(t)^2$$

式 1: Power Meter 値とビット分布 (σ)

$$T_{sys} = \frac{1}{\frac{\langle PM(R_{on}) \rangle}{\langle PM(R_{off}) \rangle} - 1} \cdot \langle T_{ant} \rangle$$

式 2: Tsys と Power

$$\frac{\langle PM(R_{on}) \rangle}{\langle PM(R_{off}) \rangle} = \frac{k \cdot \sigma^2(R_{on})}{k \cdot \sigma^2(R_{off})}$$

式 3: Power 比と標準偏差

1-4. ビット分布とその標準偏差

ビット分布に正規分布を仮定した場合、ビット分布の部分積は正規分布 (Gaussian) の累積密度関数 (Cumulative Density Function, CDF) とみなせ、ビット分布の部分積を CDF で Fitting することで正規分布の標準偏差と平均を導出できる。この際、平均はオフセットを意味しオフセット推定も同時に行うことが可能である。また、この CDF は誤差関数 (erf)/ 相補誤差関数 (erfc) と下記の関係をもつ。

G : Gaussian

$$\Sigma \text{BitDist} = CDF(t) = \int_{-\infty}^t G(V, \sigma, \mu) dV$$
$$(\propto 1 - erf(V - \mu) = erfc(V - \mu))$$

式 4: ビット分布と正規分布の累積密度関数

1-5. Fitting 手法

私の場合、使用している CERN ROOT が正規分布の CDF をあらかじめ定義しており、また、任意関数への Fitting 機能を備えているためこちらを使用している。

- CERN ROOT の Math:gaussian_cdf_c を使用
- 2bit 分布による Fitting: 自由度 $2^2-1=3$
- CDF の自由度: 2 (σ : 標準偏差 / 広がり, μ : オフセット)
- 1 自由度余るため歪度として使用できる? (要検討)

2. 検討内容

2-1. 線型性

1 章の議論より、VERA 信号系概略図内のパワーメータ (PM) でモニタしている信号強度比と各サンプラーで得られるビット分布から求められる信号強度比には線形関係にあるはずであり、これがパワーメータ値から計算した Tsys とビット分布から計算した Tsys が一致する前提条件である。

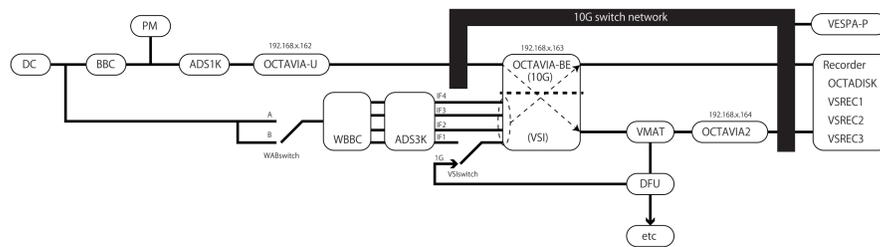


図 1: VERA 信号系概略図 (OCTAVIA 対向化)

2-2. 線形性阻害要因

- ホワイトノイズの付加
- 正規分布 (ランダムウォーク過程) からのずれ

2-3. 考慮した解析時の線形性阻害要因

パワーメータとサンプラーからの信号では時定数、平均化数、ログの同時性が異なるため解析には注意を要する。特に信号変化がある時間帯では前述の理由により両者は一致しない。そのため、解析時に下記の影響を受けるため該当時間を除外して比較する工夫が必要である。

- ノイズソース (NSC) の影響
- アンテナ駆動 (視野変動)

2-4. 解析方法概略

- 使用データ
相関処理前のヘッダ無し VDFIF データ = 水沢相関局相関処理データ
- ビット分布計算

- ビット分布計算
• 上記データより 1,000,000 点 (2Gbps/1.024MHz \approx 1us) を 1 秒間隔で切り出して生成
- 1 秒間隔のビット分布をそれぞれ 1-5 の手法にて Fitting し σ / μ を導出

- 下記ログを使用

vfs-daylog (山下氏による計算機ログ実装)

flag (アンテナ追尾状態ログ)

抽出時間の決定

下記時間をログより抽出

- R on/off
- NSC on/off

- on track or not

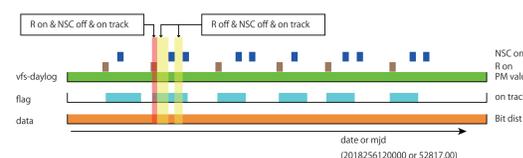


図 2: データ取得方法概略図

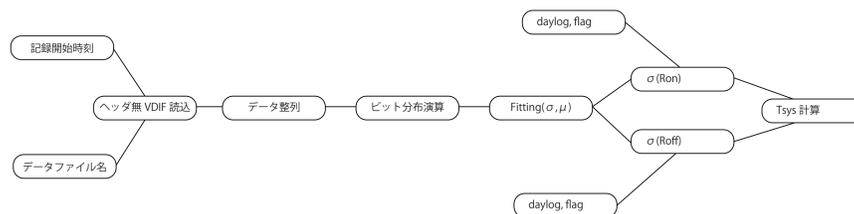


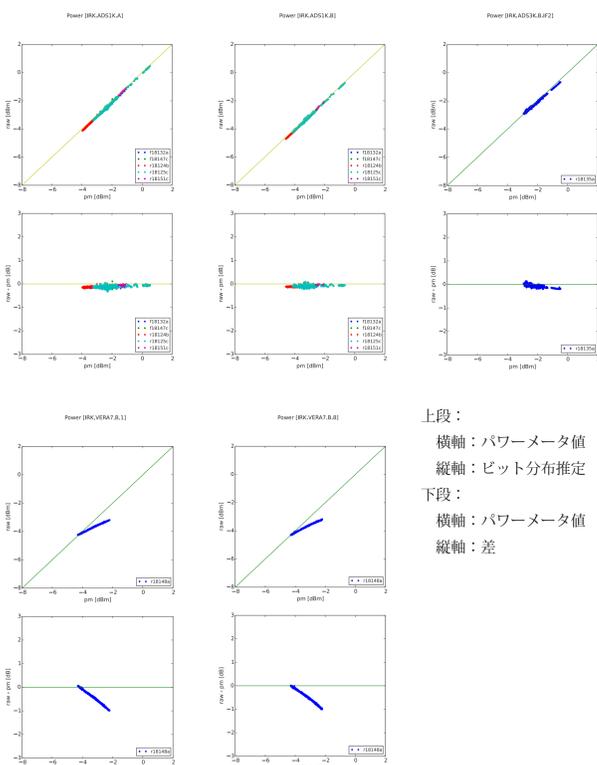
図 3: 処理フロー概略図

3. 結果

線形性

3-1. 線型性

信号強度 (dBm) で比較できるように、ビット分布から計算した信号強度は観測開始時の適当なパワーメータ値 (dBm) で規格化してある。オフセットがのっているものはその際の規格化がまだ不適切であるためである。DFU とオフセットを除けば線形性は得られていると言える。DFU については再量子化影響?



上段:

横軸: パワーメータ値

縦軸: ビット分布推定

下段:

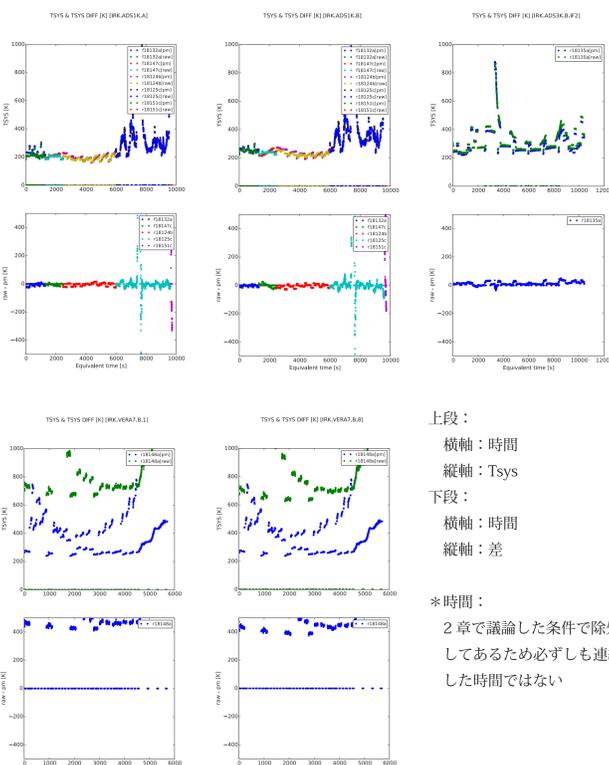
横軸: パワーメータ値

縦軸: 差

TSYS

3-2. Tsys

前記条件で信号強度 (dBm) に急峻な変化を及ぼす時間については除外してグラフ化している。しかし、十分に除外し切れているとは言えず、特に Tsys 変化が激しい時間ではパワーメータ値より計算した Tsys との乖離が見られる。Tsys の変動が落ち着くに従い差も減少することから両者の応答性の差であると推定できる。左記線形性の範囲内でパワーメータから求めた Tsys とビット分布から求めた Tsys は一致すると言える。



上段:

横軸: 時間

縦軸: Tsys

下段:

横軸: 時間

縦軸: 差

*時間:

2 章で議論した条件で除外してあるため必ずしも連続した時間ではない

傾向

3-3. 傾向

局ごとに傾向をまとめると、VERA4 局は今夏のメンテナンス前までで下記の状態である。

ビット分布

MODE	線型性
VERA1	0.57
VERA7	0.57
ADS1K	1
ADS3K A	17
ADS3K B	0.8~0.9?

線型性

MODE	線型性
VERA1	0.57
VERA7	0.57
ADS1K	1
ADS3K A	17
ADS3K B	0.9?

失敗箇所

3-4. 失敗箇所

- LEVEL(2 ビット内のビット並び) を間違える
00->11, 10 <-> 01 が入れ替わっても結果はほとんど変わらないのでわかりにくい
- SHUFFLE(32 ビット内のビット並び) を間違える
ADS1K/3K では時間順序が入り替わるだけなのでわかりにくい
DFU の場合は ch が変わるため分かりやすいが基準がわからない
- 1Gbps データと 2Gbps データの Gbps 解釈で混乱
1Gbps データ: A/B 合わせて 1Gbps
2Gbps データ: A or B どちらか単体で 2Gbps
- パワーが σ に比例なのか、 σ^2 に比例なのか間違える
パワーだから σ^2
- ビット分布を正規分布と誤認
ビット分布自体の意味は正規分布に従う信号が入力した際のある特定領域にいる確率
よって、CDF/erf あたりが正しい
- ビット演算を Python で書いたため時間がかかりすぎた
C で SSE を使って実装し Python から呼ぶようにした
__builtin_popcount 有効
- 全データ領域へアクセスしたい訳ではない
numpy.memmap を継承して自前のデータアクセスライブラリとした