

2-bit A/D変換器による新しいシステム雑音測定法の開発

鹿児島大学 理学部物理科学科 宇宙コース・面高研究室 中武明葵

Abstract

電波望遠鏡のシステム雑音(Tsys)の新しい測定法を提案する。Tsysとは、大気と装置に起因する雑音をすべてまとめて温度に換算したものである。従来のTsys測定はパワーメータで測ったアナログ信号の電力値を使って算出されているのに対し、この新しい測定法ではA/D変換器から得られるデジタル信号の分布(ビット分布)を使って算出する。ビット分布はA/D変換器への入力電力に応答するので、この分布から雑音を求めることができる。この測定法と従来の測定法での測定結果とを比較した結果、よい線形性が見られた。従って、この測定法は実用可能である。

I. Introduction

電波天文では、天体からの微弱な電波を受信するのに、大気や機器からの雑音を校正する必要がある。大気を含む信号経路で発生する雑音をシステム雑音(Tsys)という。

【従来のTsys測定法】 アナログ信号の電力をパワーメータで測り、その値を式(1.1)に代入することで求める。

$$T_{\text{sys}}^{\text{PM}} = \frac{P_{\text{sky}}}{P_{\text{hot}} - P_{\text{sky}}} T_{\text{hot}} \quad (1.1)$$

P_{sky} : 観測天体のない空を見た時の出力電力[W]
 P_{hot} : 吸収体を受信機に被せた時の出力電力[W]
 T_{hot} : 吸収体の温度[K]

しかし、この測定にはパワーメータが不可欠である。

【新提案】 A/D変換器で電圧の分散 σ^2 を算出し、Tsysを求める。

入力信号の電力 P はその時の電圧の分散 σ^2 に比例するので、次のような関係式が書ける。

$$P = L \langle V^2 \rangle = K \sigma^2 \quad L, K: \text{const} \quad (1.2)$$

したがって、Tsysは P_{sky} と P_{hot} の代わりに σ^2 から求めることができる。

$$T_{\text{sys}}^{\text{AD}} = \frac{P_{\text{sky}}}{P_{\text{hot}} - P_{\text{sky}}} T_{\text{hot}} = \frac{\sigma_{\text{sky}}^2}{\sigma_{\text{hot}}^2 - \sigma_{\text{sky}}^2} T_{\text{hot}} \quad (1.3)$$

このときの σ^2 をA/D変換器のbit分布から算出できれば、 $T_{\text{AD}}^{\text{sys}}$ が求まる。本研究はこの新しい測定の精度を試験する。

※ $T_{\text{AD}}^{\text{sys}}$: A/D変換器から求められたシステム雑音
 $T_{\text{PM}}^{\text{sys}}$: パワーメータから求められたシステム雑音

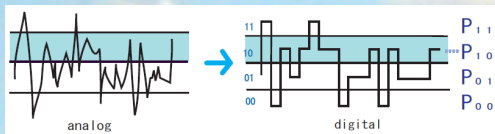
ADVANTAGE

- ◇ この測定法を使用すればパワーメータが不要となり、コストの削減になる。
- ◇ VLBI局には2-bit A/D変換器が大抵あるので、これを利用することのコストはゼロ!
- ◇ 部品点数を減らすことができ、故障トラブルも減少する。
- ◇ アナログ機器に比べて特性変動の影響が小さい。

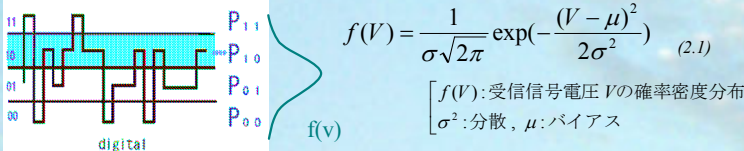
II. Method

A/D変換器で受信信号の電圧分布を測定する。

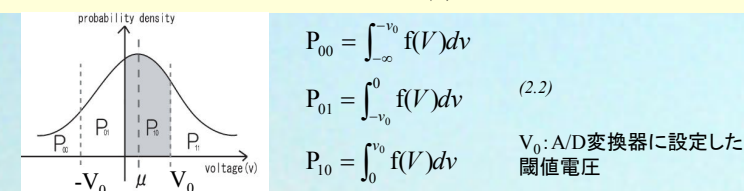
2-bit A/D変換器は入力のアナログ受信電圧を4階調(00 01 10 11)に量子化する。それぞれの値をとる確率を $P_{00} P_{01} P_{10} P_{11}$ とし、これをビット分布という。



受信信号が雑音の場合、電圧の分布はガウス分布としてモデル化される



この時、それぞれの階調でのビット分布は $f(V)$ の定積分に等しい



A/D変換器で測定したビット分布の値を、式(2.2)で非線形最小二乗フィッティングをして σ 、 μ を推定し、求めた σ から式(1.3)でTsysを推定する

III. Evaluation

A/D変換器のビット分布を読み込み、 σ を求めるプログラムを作成した。それを使った新しい測定法の有効性を確認するために以下の試験を行った。

i) 線形性

σ^2 とパワーメータの線形性を試験する。バイアスの有無で違いがあるが評価するため、バイアスの相対電圧 $\mu/V_0 = 0, 0.13$ の2つのケースを設定した。

- ・傾きが $1 \pm 0.5\%$ 以内の精度か
- ・10dB以上のダイナミックレンジがあるか

この2点に注目する。その結果を図 i に示す。

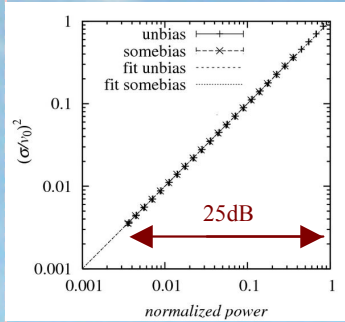


図 i) 規格化した $(\sigma/V_0)^2$ と信号の電力との関係。

- unbias: $\mu/V_0 = 0$, somebias: $\mu/V_0 = 0.13$ の時の測定
- 各々フィッティングした直線は
- fit unbias: $\text{power} = (1 \pm 0.0038)(\sigma/V_0)^2$
- fit somebias: $\text{power} = (1 \pm 0.0007)(\sigma/V_0)^2$

ii) 測定精度

実際に $T_{\text{AD}}^{\text{sys}}$ を求め、 $T_{\text{PM}}^{\text{sys}}$ と比較する。望遠鏡の仰角を変化させ測定した。Tsysの誤差2%以内を目標とする。結果を図 ii に示す。

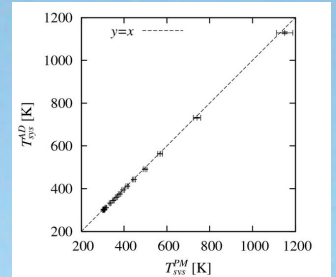


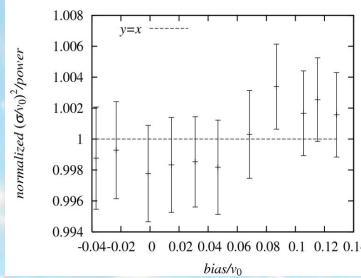
図 ii)

T_{sys} の誤差 $[(T_{\text{AD}}^{\text{sys}} - T_{\text{PM}}^{\text{sys}})/T_{\text{PM}}^{\text{sys}}]$ は1.9%以内に入った。

iii) バイアスに対する耐久性

σ^2 の値がバイアス電圧をかけても問題なく測定できるか試験する。A/D変換器でバイアス電圧のみを変動させた。powerはバイアスに影響されないで、 σ の値も一定になると予測した。よって規格化した $(\sigma/V_0)^2/\text{power}$ の値が $1 \pm 0.5\%$ 以内を評価基準とする。

図 iii) 規格化した $(\sigma/V_0)^2/\text{power}$ の値を示す。その誤差は0.4%以内となった。



IV. Discussion

i) σ^2 による線形性のダイナミックレンジ

パワーメータによる電力と σ^2 の線形性試験では、25dBのダイナミックレンジが得られた。フィッティングした結果、傾きは1でその誤差は約0.4%以下。(図 i 参照) 共に設定基準値をクリアし、線形性は十分にあると考えられる。

ii) $T_{\text{AD}}^{\text{sys}}$ の測定精度

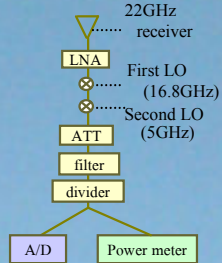
$T_{\text{AD}}^{\text{sys}}$ は従来のパワーメータによる $T_{\text{PM}}^{\text{sys}}$ とよく一致する。(図 ii 参照) 測定誤差は目標基準の2%に近い最大1.9%となったが、その誤差はパワーメータに由来する $T_{\text{PM}}^{\text{sys}}$ の精度内に収まる。[点線($T_{\text{AD}}^{\text{sys}} = T_{\text{PM}}^{\text{sys}}$)がエラーバー内に収まっていることからわかる] よって実用可能な精度を持っていると評価した。さらに精度を上げた測定をするには、閾値電圧での境界問題や比較するパワーメータの精度などを考慮する必要がある。

iii) バイアス変動に対する安定性

規格化した $(\sigma/V_0)^2/\text{power}$ の値が $1 \pm 0.4\%$ となったので、 σ^2 の値はバイアスに影響されず安定であるといえる。(図 iii 参照) よってこの測定は、広範囲のバイアスにも十分対応できることが分かった。

V. Conclusion

2-bit A/D変換器を使ったこの新しい測定法は、十分実用可能な精度を持っているといえる。



使用した望遠鏡: 6m錦江湾電波望遠鏡
サンプル数: 512M サンプル(1秒積分)
A/D変換器: ADS-1000
パワーメータ: HP 437B