

V133a アナログデジタル変換器の非線形応答による入出力特性と量子化損失の周波数特性の評価

山崎康正, 井口聖 (自然科学研究機構国立天文台)

電波天文学において観測システムの感度や線形性を決める主要な要素の一つが、アナログデジタル変換器 (ADC) において生じる量子化損失である。ビット数が制限され、高精度が要求される電波天文観測システムでは、ADC における量子化損失がもたらす非線形効果を見逃すことが多く、量子化損失の低減が重要となる。本研究では、アナログ信号の電圧値が時間軸上で正規乱数として振る舞うとして、ADC の入出力特性を数値シミュレーションした。まず、ADC に入力する電圧値の周波数特性が矩形である場合の ADC の出力強度が理論式 (Iguchi et al. 2018, SPIE) と完全に一致することを確認した。その上で ADC への入力信号が観測帯域内にリップルを含むような周波数特性を持つ場合を考えるため、例としてナイキストレートの $1/4$ のカットオフ周波数を持つフィルターを使用し、6 ビットの ADC の出力強度をシミュレーションした。ADC の入力強度が最適であれば、通過帯域の強度から -30 dB の強度 (ノイズフロア) までフィルタ特性を維持するのに対して、ADC の入力強度が飽和に近づくにつれて、通過帯域とノイズフロアの強度比が上昇し、最終的には -10 dB となった (1 ビット相当)。これは、入力強度に応じて見かけ上のビット数が変化し、ノイズフロアとなる量子化損失が変化するからであると説明できる。そして、理論的に導かれる (オーバーサンプリングの効果も含めた) 量子化損失の値と、このシミュレーションで得られた量子化損失値の間には、数 % の範囲で矛盾がないことを確認した。さらに 1 ビットの量子化損失の補正を実施すると、ノイズフロアの強度が -20 dB に改善された。これにより、入力強度に応じた見かけ上のビット数を考慮した量子化損失を補正することで、線形性の周波数特性を大幅に改善できる可能性を示した。