

V40b

64 素子電波干渉計における光ファイバー伝送の位相検証

後藤 健太郎 (早大理工)

実験天体物理学研究室では 8×8 台のパラボラアンテナを等間隔に配列した干渉計を用いて天体から発生される電波を観測している。現在は同軸ケーブルによりパラボラアンテナから FFT プロセッサまで導いているが、気温の変化などにより位相変動を引き起こし観測データの方向精度に影響を与えている。

今回この問題を解決すべく、アンテナ直下に AD 変換装置を設置し、ベースバンド・デジタル信号を光ファイバーで伝送する方式に変えている。只今建設中であり、16 系統の伝送系ができあがっている。そして、伝送系の設置を進めていく段階で検証しておくべき問題が見つかった。それはシステムクロックの位相のずれについてである。

光ファイバーで情報を伝送するとき、全ての情報はこのシステムクロック 20MHz に同期させて伝送される。1 本の光ファイバーが制御データを乗せて観測室を出て屋上へ上がり、いくつかの装置を経て分配され、64 本になって観測データを乗せ再び観測室に帰ってくる。その間に光ファイバーにより送られてくるシステムクロックが全て同位相で戻ってこないことが予想される。システムクロックが全て同位相で戻ってこないということは、アンテナで受信した観測データが位相の揺らぎを持つことになる。

そこでシステムクロックの位相のずれを 16 系統について各装置で測定した。以下にアンテナ 8 素子 1 次元電波干渉計について定量的な計算を行い、位相の揺らぎを求めてみた。

まず、電波の位相は $\phi_{RF} = \mathbf{k} \cdot \mathbf{r} - \omega_{RF}t$ である。 \mathbf{k} は波数ベクトル、 ω_{RF} は観測周波数 $2\pi \cdot 10.65GHz$ である。アンテナ間の距離を d 、 θ を電波の到来方向とすると $\mathbf{k} \cdot \mathbf{r} = \frac{2\pi}{\lambda}d \sin\theta$ となる。ここで、 ϕ_{RF} に \mathbf{k} 、 \mathbf{r} 、 ω_{RF} が与えられたときの位相は t で決まり、位相の原点として $\mathbf{k} \cdot \mathbf{r} = 0$ とする。そして、ある時間 t で電波を受信したときのシステムクロックによる位相の誤差を $\Delta\phi_{RF}$ 、システムクロックの位相のずれを Δt とすると $\Delta\phi_{RF} = -\omega_{RF}\Delta t$ となる。

当研究室の観測システムではアンテナで受信したデータを FFT プロセッサに伝送するときに周波数変換を 2 回行い、観測周波数 $\omega_{RF} = 2\pi \cdot 10.65GHz$ を $\omega_{BF} = 2\pi \cdot 20MHz$ のベースバンドに変換し伝送している。よって、位相の誤差は $\Delta\phi_{BF} = -\omega_{BF}\Delta t$ とできる。

$\omega_{BF} = 2\pi \cdot 10MHz$ とし、測定結果の $\Delta t = 2.4ns$ を使って位相の誤差を計算すると、 $\phi_{BF} = 0.075rad = 4.31deg$ となる。同軸ケーブルで伝送したときの位相誤差は約 20deg なので光ファイバー伝送に変えることにより、位相誤差をかなり抑えることができる。