

USB + LSBデータのバンド幅合成

情報通信研究機構
鹿島宇宙技術センター

近藤哲朗

1 はじめに

バンド幅合成処理を行う KOMB ソフトウェア [近藤、国森, 1984] は開発の当初 (K3 時代) から LSB データの混在する場合でもバンド幅合成ができるように作られていた。しかしながら当初から測地実験は USB データのみで行われ LSB データが混在したときのプログラムの動作チェックは十分ではなかった。ところが最近の国際実験では X バンド 10ch の内、2ch が LSB データとなる観測が行われるようになってきたが、最近の KOMB ソフトウェアは USB と LSB が混在した場合の処理がサポートしておらず、実際の処理では LSB データを使用していなかった。この度、KOMB の改修を行い、USB と LSB データが混在した場合でも処理が可能となった。

2 バンド幅合成処理

測地 VLBI 観測の遅延決定精度は受信帯域の逆数に比例し、受信帯域が広くなればなるほど、遅延時間の決定精度が向上する。しかしながら、VLBI が実用化された当初はレコーダの記録帯域の制限からせいぜい 4MHz 程度の帯域の信号しか記録することができなかった。そこで、異なる RF 周波数毎にこうした狭帯域の信号を複数切り出して記録し、最終的に再び合成して、見かけ上広帯域信号を記録したのと同じような遅延時間決定精度を得る方法が開発された。これをバンド幅合成と呼ぶ。

狭帯域信号を切り出すには図 1 に示されるイメージ・リジェクション・ミキサ回路 (ビデオ信号変換器) が用いられ、USB および LSB 信号が独立に出力される。複数の狭帯域信号 (チャンネル信号) を合成するためには、ビデオ信号変換器によってそれぞれのチャンネルに独立に付加される位相を補正する必要があるが、その役割を果たすのがアンテナフロントエンド部から注入される位相校正 (PCAL) 信号 (通常 1MHz または 5MHz 間隔のコム信号) である。図 2 にバンド幅合成を模式的に示しているが、まず各チャンネル毎 (ここではすべて USB 信号としている) のクロススペクトル (帯域 $0 \sim B$) で遅延を求め (粗決定サーチ)、ベースバンド (各チャンネルで 0 に相当する周波数) での位相を求める。こうして得られたチャンネル毎の位相に PCAL 信号による位相補正を行い、RF 周波数軸上に位相をプロットし、その勾配として精密遅延を決定する (精決定サーチ)。

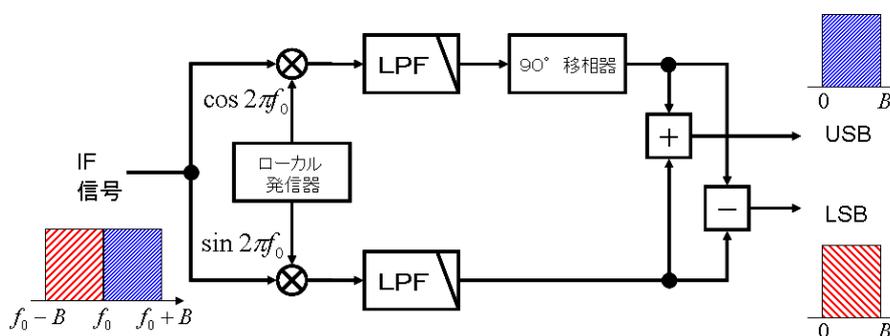


図 1. イメージ・リジェクション・ミキサ回路。

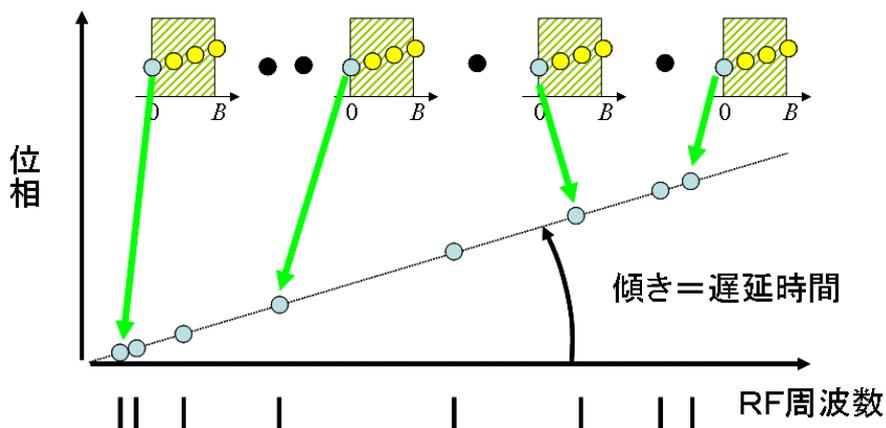


図 2. バンド幅合成の説明図。各チャンネル毎（ここではすべて USB 信号としている）のクロススペクトル（帯域 0~B）内で遅延を求め（粗決定サーチ）、ベースバンド（各チャンネルで 0 に相当する周波数）での位相を求める。こうして得られたチャンネル毎の位相に PCAL 信号による位相補正を行い、RF 周波数軸上に位相をプロットし、その勾配として精密遅延を決定する（精決定サーチ）。

3 USB+LSB の結合

測地 VLBI 観測では従来 USB 観測のみで行われてきたが、最近は LSB のチャンネルが混在した観測も行われるようになった。ただし、その場合でもある RF 周波数に対して LSB チャンネルしか存在しないということではなく、ペアとなる USB チャンネルも観測されている。このような場合、まず最初に図 3 に示されるように USB 相関データと LSB 相関データの結合を行う。その後、ベースバンドでの位相を求めバンド幅合成を行う（図 4）。その際の PCAL 信号は USB 側の PCAL 信号位相を使用する。

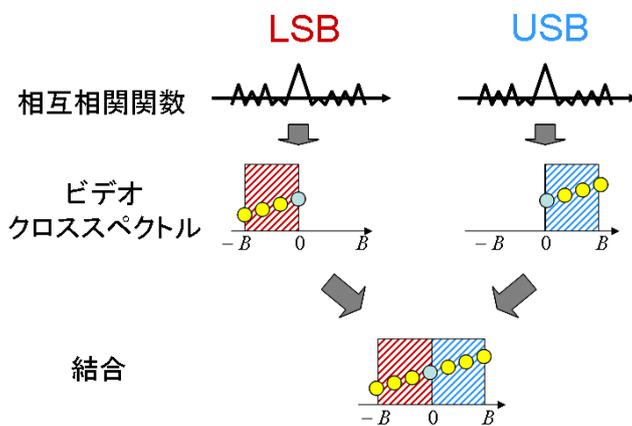


図 3. USB 相関データと LSB 相関データの結合。

USB データと LSB データの接続は、クロススペクトルにおいてベースバンドでの位相が連続となるように接続するが、単にクロススペクトルデータをサイドバンドに従って USB を正の周波数帯、LSB を負の周波数帯に配置しただけでは通常は位相は連続とはならない（図 5）。

そこで、以下に示す 2 つの方法で USB と LSB のクロススペクトルを結合し、バンド幅合成処理結果がどうかを比較した。

- (1) ベースバンドで位相を連続させる
- (2) それぞれの帯域内の平均位相を一致させる

位相校正に使用する PCAL 信号は USB データに注入されている信号を使用するため、位相接続のための位相補

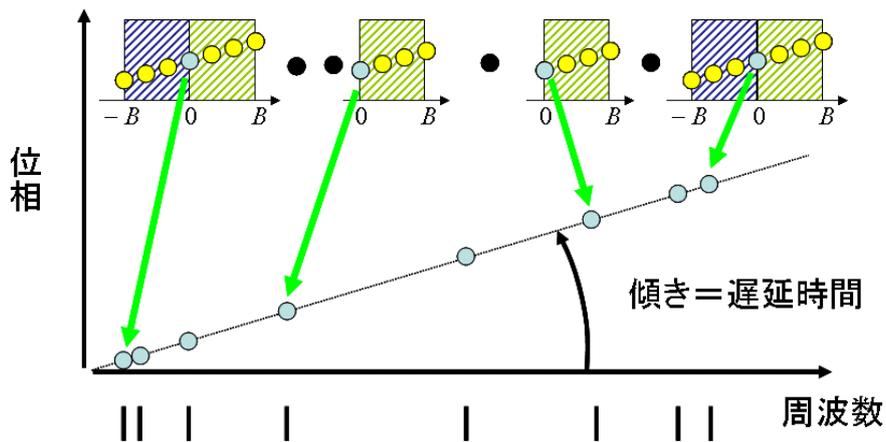


図 4. USB+LSB データのバンド幅合成。図は RF 周波数帯域の両端のチャンネルが LSB データを伴っている場合を示している。

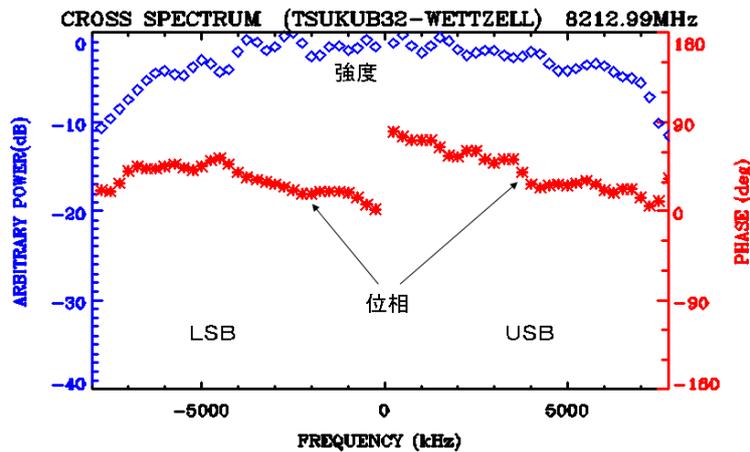


図 5. USB+LSB データのビデオクロススペクトルの結合。USB および LSB データのクロススペクトルをそれぞれの周波数帯域に合わせて USB を正の周波数帯、LSB を負の周波数帯に配置しただけのスペクトル。ベースバンド（周波数 0）において位相が不連続である。

正は LSB 側データに対して行った。また、予め粗決定サーチを実施し、帯域内の位相勾配を無くしてから (1) または (2) を適用した。図 6 にそれぞれの方法で結合したクロススペクトルを示す。

4 バンド幅合成結果の評価

バンド幅合成に際して USB と LSB データを結合したチャンネルは重みを倍にしてバンド幅合成処理を行なった。バンド幅合成結果の評価にはバンド幅合成ソフトウェア KOMB が出力する「品質コード」を用いた。品質コードは、バンド幅合成後の位相のばらつきに注目し、チャンネル間のばらつきおよび時間方向へのばらつきを、相関強度から計算される理論値と比較することにより数値化した指標であり、観測されたばらつきが理論値と整合性があれば最高点「9」が与えられ、理論値からのずれ具合に応じて減点される。表 1 に 28 観測について評価した結果を示す。表中 USB のみというのは LSB データを使用しなかった場合を示す。表に示される結果より USB と LSB の結合はベースバンドで位相を連続させるよりも、帯域内の平均位相を一致させる方が良い結果が得られることが分かった。ビデオ帯域端では位相特性が劣化することから考えても妥当な結果と言える。

USB のみ処理をした場合が、最も品質コード 9 の数が多いが、これは USB と LSB の結合を行って

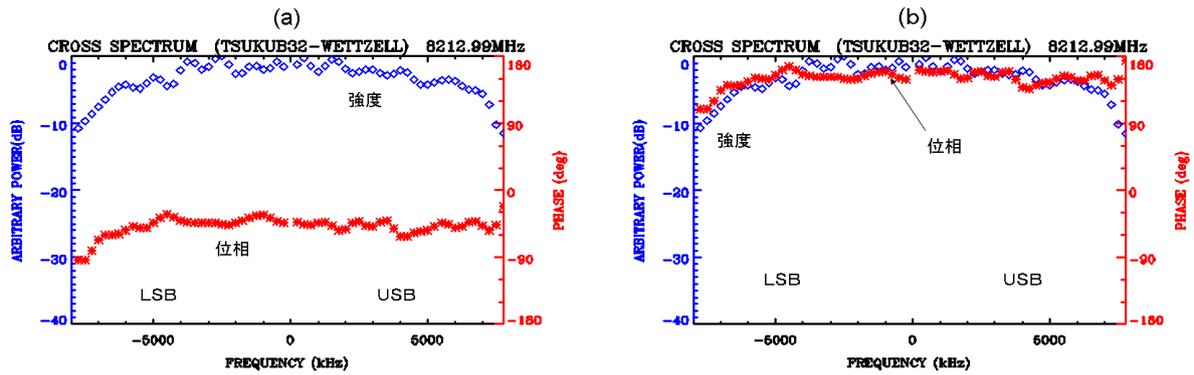


図 6. USB+LSB データのビデオスペクトルの結合。(a) ベースバンドで連続となるよう接続、(b) それぞれの帯域内の平均位相を一致させる。

表 1. KOMB 品質コードによるバンド幅合成結果の評価

KOMB 品質コード	USB のみ	DSB	
		ベースバンド 接続	平均値 接続
9	26	3	24
8	2	10	4
7	0	14	0
6	0	1	0

いるチャンネルが受信帯域の両端となっており、帯域端での位相特性の劣化の影響を受けているためと思われる。

5 おわりに

バンド幅合成ソフト (KOMB) を改修し、LSB データの混在した観測データもバンド幅合成が行えるようにした。USB と LSB の結合法として (1) ベースバンドで位相を連続させる方法と (2) それぞれの帯域内の平均位相を一致させる方法の比較を行った結果 (2) のそれぞれの帯域内の平均位相を一致させる方法が良好な結果を得た。しかしながら KOMB 品質コードを指標とする限りにおいては LSB データを使用しない場合が最も良い結果となる。これは今回評価したデータは USB と LSB の結合を行っているチャンネル (つまり他のチャンネルに比べて倍の重み付けがなされるチャンネル) が受信帯域の両端となっており、帯域端での位相特性の劣化の影響をより強く受けているためと思われる。

KOMB 改修後の動作チェック用途に国土地理院がウェッツェル (ドイツ) と定期的に観測しているデータを使用させていただきました。ここに感謝します。

参考文献

近藤、国森, バンド幅合成ソフトウェア (KOMB), 電波研究所季報, Vol.30, 特 1, pp.199-216, 1984.