TV 信号による時刻および周波数の精密同期

郵政省電波研究所 佐分利義和
安田 嘉之
小林 三郎

時刻および周波数の精密供給または同期に TV 信号を利用する方法（仲介法と直接法）と、仲介法による実験（5回）とその結果につき述べた。送信アンテナからそれぞれ5ないし 30 km 離れた2地点で同時受信した特定の同期パルスとセシウム時計の秒パルスとの時間間隔を測定し、これらの測定値を相互に比較して2台の時計の時刻差を 0.2 μ s の精度で比較することができた。また、利用方式の改善につき若干の提案を行なった。

1. ま え が き

周波数および時刻標準の精密供給または同期の従来の方法としては、オメガ、ロランC、衛星などの利用、原子時計運搬などがあるが、テレビはその高い普及度、また広帯域かつ高安定度の伝送系など種々の利点から、その利用は精密同期の有力な手段として最近注目を集めつつある。利用方法は仲介¹⁾²⁾、直接³⁾の2方法に大別できるが、以下これらの方法の概略と当研究所における仲介法による実験方法と結果につき述べる。

2. TV 信号の利用方法

図1は仲介法の系統図である。特定の TV 同期パルスを選択して2カ所の時計で同時測定を行ない、時計1および2の秒のパルスとそれらの直後に来る受信同期パルスまでの時間間隔をそれぞれ R_1 および R_2 、送信アンテナから受像機1および2までの伝搬時間を τ_1 および τ_2 （地理座標から計算）、受像機1および2における同期パルスの遅延時間をおおの d_1 および d_2 とすれば、時計1および2の時刻差 ΔT は、

$$\Delta T = (R_1 - R_2) - (\tau_1 - \tau_2) - (d_1 - d_2) \quad (1)$$

で求めることができ、同時測定により送信同期パルスの位相変動の影響は相殺される。また、中継区間で結ばれた異なる送信アンテナからの同期パルスを受信する場合も同様の原理で扱うことができる。

次に、直接法では利用者は単独で時刻および周波数の

図1 仲介法

情報を得ることができる。米国国立標準局（NBS）による方法では、セシウム標準器から得た 2 MHz を標準周波数として垂直帰線期間の特定の水平走査線、たとえばライン17に挿入して送出する（毎秒60本中58本を使う）。また、時刻の情報を送るために図2右下すみに示された方法で 2 MHz をコード化してセシウム時計による“時分秒コード”と“マイクロ秒コード”を作り、これらを図2のように残りの毎秒2本のライン17のb区間にそれぞれ挿入する。“マイクロ秒コード”は秒パルスとその直後に来るライン17中のコードの開始点との時間間隔（この値は同期信号の変動に応じて変動するが、常に標準の 1 μ s で量子化されている）をコード化したものである。受信側では上記の 2 MHz により VCXO（電圧制御水晶発振器）をロックし、“時分秒”および“マイクロ秒コード”により送出秒パルスに対応するパルスを得る。さらに、この秒パルスと受信側の時計との時刻差を 1 ns または 100 ns の精度で測定し、また、ブラウン管上に表示もできる。

以上、いずれの方法においても受信者の位置、したがって伝搬遅延時間を正確に知ることが必要であり、またその変動も同期精度に影響する。図3はワシントン、ボルダー（コロラド州）間を結ぶ異なる中継経路の伝搬時間差の実測値で、これらの変動は VHF およびマイクロ波の伝搬異常、中継器遅延時間の変動、経路変更などによる。また、セシウム標準器による色副搬送波（3.58 MHz）をニューヨーク、デンバー（コロラド州）間約 6,400 km を伝送し、30分間の位相測定を行ない、ランダムな変動

“Precision Synchronization of Time and Frequency by Television Signals” by Yoshikazu Saburi, Yoshiyuki Yasuda and Saburō Kobayashi (Radio Research Laboratories, Ministry of Posts and Telecommunications, Tokyo)

図 2 直接法におけるコードと挿入方法³⁾

図 3 TV 中継回線における伝搬遅延時間の変動³⁾

5~10 ns を観測した (30 分平均周波数変動率 $4\sim 8\times 10^{-12}$ に相当)。

3. 仲介法による実験

わが国のカラー標準方式では、フィールド周波数および周期をそれぞれ f_f および T_f とすれば、

$$1/f_f = T_f = 16.68333 \dots \text{ (ms)} \quad (2)$$

であるから、

$$1/(f_f/60) = 60 T_f = 1,001 \text{ (ms)} \quad (3)$$

となり、秒パルスとその直後に来る垂直同期パルスとの時間間隔は毎秒ちょうど 1ms ずつ増加して 17 秒目ごとに新しい端数から始まる。i 番目および j 番目の秒パルスに対応する上記時間間隔の測定値をそれぞれ $R(i)$ および $R(j)$ とし、 $[x]$ を x を越えない最大の整数とすれば、

$$R(j) = R(i) + j - i$$

$$- \left[\frac{R(i) + j - i}{T_f} \right] \cdot T_f \text{ (ms)} \quad (4)$$

送受 3 者における発振器の周波数が正確で、かつ安定であれば、受信点における測定時刻差の許容値が大きくとれる。たとえば、原子時計相互の比較では、同期パルスの周波数偏差が 1×10^{-7} の場合、測定時刻のずれ 1 秒につき 0.1 μ s の誤差を生ずる。もし周波数 $f_f/60$, すなわち、周期 1,001 ms のパルスが TV 信号中に挿入されていると、秒パルスとは 1ms 以下の端数に変化を生ぜず、さらに、この周波数偏差が 1×10^{-11}

以下の場合には 15 分の測定時刻のずれでも誤差は 0.01 μ s 以下になり、利用上非常に好都合となる。

写真 1 は実験装置である。また図 4 はその系統図で、

写真 1 TV 時刻同期実験装置

図 4 同期パルス測定系統図

(a) 水晶発振器

(b) ルビジウム標準器 (NHK ch 1 札幌プレオリンピック中継, 46.2.9)

写真 2 セシウム時計を基準にした TV 同期パルスの動き

表 1 TV 信号仲介によるセシウム時計の精密時刻同期実験結果

	東京タワー 芝	電 波 研 小金井	計 量 研 板橋	時計検査協会 外神田	電 波 研 国分寺	電 波 研 検見川分室
地 理 座 標 (E)	139°44'55"	139°31'13"	139°43'08"	139°46'28"	139°29'28"	140°04'39"
(N)	35°39'20"	35°42'10"	35°45'02"	35°41'52"	35°42'16"	35°38'35"
東京タワーからの距離 (km)	0	21.31	10.89	5.24	23.92	29.78
東京タワーからの伝搬時間 (μs)	0	71.10	36.29	17.46	79.82	99.37
直接比較による値 (μs)	—	基 準	5.0±0.1	3.5±0.1	0.6±0.1	12.1±0.1
TV 仲介による値 (μs)	—	基 準	5.15	3.58	0.46	12.13

(注) 1. 地理座標は東京タワーを除き 2 万 5 千分の 1 地図より求めた。
2. TV 仲介による値は 60 個の平均値を採用した。

最初のフィールドの垂直帰線期間中の 10 番目の水平同期パルスを抜き出し (したがって、この周波数は $f_f/2$ であり、(4) 式では T_f の代わりに $2T_f$ を用いる)、時計の秒パルスとの時間間隔を測定する。写真 2 (a) および (b) はこの測定結果を D-A 変換し 100 μs 以下の値だけを記録したもので、記録の不連続は 34 秒目ごとに 33.333... μs の端数に加わるためである。これらの結果から同期パルスの周波数偏差を求めると、(a) では 3.2×10^{-7} 、(b) では 1×10^{-9} 以下となり、後者はルビジウム原子周波数標準器を用いた NHK の札幌プレオリンピック中継時の測定結果で、東京までの中継回線による変動も含まれているわけである。

表 1 は昨年 12 月より本年 3 月まで 5 回にわたって実施したセシウム原子時計相互の時刻同期実験の結果である。TV 信号仲介による値と原子時計運搬による直接比較値との差は最大 0.2 μs であるが、この原因として距離算出のための地理座標の精度、受信機の微同調操作によるものが、いずれも 0.1 μs 程度考えられる。また、1 秒ごとにとった 60 個の測定値はほとんど p-p 0.2 μs の範囲に入っていた (カウンターの分解能 0.1 μs)。なお、以上の VHF の他に UHF でも測定を行ない、前者の場合とほとんど同様の結果を得た。

4. む す び

以上、TV 信号による周波数と時刻標準の精密供給の方法と測定結果について述べた。近距離における仲介法により高精度 (0.2 μs) の時刻同期を比較的容易に行なうことがわかったが、今後の問題として中継番組利用による時刻同期可能範囲の拡大、また、方式改善案として同期信号周波数の安定化、フィールド周波数の 1/60 の周波数のタイミング用パルスの重量などがさしあたり有効ではないかと思われる。

終りに本実験にご協力下さった計量研究所 古賀室長、時計検査協会の方々、当研究所 宮島、小林常人、高比良各室長、原田主任研究官、実験を担当された佐藤、太田、岡沢各技官に深謝します。

(昭和 46 年 5 月 10 日受付)

〔参 考 文 献〕

1) J. Tolman, V. Ptáček, and R. Stecher: Microsecond Clock Comparison by Means of TV synchronizing Pulses, IEEE Trans, **IM-16**, 3, Sep. (1967) 247-254
2) P. Parcelier: Time Synchronization by Television, IEEE Trans, **IM-19**, 4, Nov. (1970) 233-238
3) D.D. Davis, J.L. Jespersen, and G. Kamas: The Use of Television Signals for Time and Frequency Dissemination, Proc IEEE, **58**, 6 (1970) 931-933