低速走査方式テレビジョンの一考察

松下電器産業 中央研究所 中 野
竹 田
安 松 谷

稔
實
昇

動きの遅い物体とか書面の映像をテレビ伝送する場合には帯域幅をいちじるしく狭くできる。特に、横書き文書は縦方向に人間の空白があり、絵素数は横方向ほど多くを必要としない。この点に着目して、縦方向に線走査し狭帯域化を試みた（帯域幅 200 kc、長残光性受像管使用）。また、1 画面走査 20 秒、帯域幅 3 kc でもビジコンが使用できることを示した。

写真 1 駒取撮影装置をもった試作低速走査テレビ

1. ま え が き

テレビジョンの発達につれて産業用、教育用、医学用などの分野にいわゆる工業用テレビジョンの応用がひろげてきた。しかし、一般には放送用標準方式テレビジョンとほとんど同じ方式のため、映像信号の伝送帯域幅は約 4 Mc 程度の広帯域伝送路を必要としている。

ゆっくり動く物体とか、静止せる像すなわち文書画などはそれほど広い伝送帯域は必要でなく、特に 1 枚の画像を 10~30 秒かけて低速走査されたテレビジョン方式では、電話線路やパトロールカーなどに使用されている超短波移動用 FM 無線機を使用して、音声と同程度の帯域幅（約 3 kc）で伝送することも可能となる。しかし 1 画面の伝送時間が長いので、映像を表示するには高価な蓄積管を必要とする。また、伝送路に UHF 帯電波を使用し、帯域幅はファクシミリと同程度の 100~200 kc を利用する方式も考えられる。この場合には、安価

な長残光性受像管が使用できるため、装置全体が安価に製作できる利点がある。筆者らは長残光性受像管を使用した後者の装置を試作したので報告する。装置一式を写真 1 に、その受像例を写真 2 に示す。本試作機では横書き文書の伝送を主として考えたため、伝送路の位相ひずみによるスメヤとかリンギングで横書き文字が隣接間で汚染されないように、走査線は縦方向に選びかつ受像側にクリスプニング回路を使用して、縦方向での白黒過渡部分の立上りを改善することにより実効的な解像度の向上をはかった。そのほか、動く物体像を駒取り撮像し、電話線路を使用して伝送する場合にも普通のビジコンが使用できることをターゲットの表面電位の放電特性から検討したので、合わせて報告する^{1),2),3)}。

写真 2 (a) 受像画面の例

写真 2 (b) 英文横書き文書の受像例
(オーバーシュートが下方に現われているため、かえって文字の判読がしやすくなっている)

"A Study on the Slow Scanning Television System" by Minoru Nakano, Minoru Takeda and Noboru Yasumatsuya (Matsushita Electric Industries, Central Research Laboratory, Osaka)

2. 理 論

2.1 走査時間と伝送帯域幅

標準方式テレビジョンでは、毎秒のフレーム数は 30 枚であり、したがって、1 画面の走査時間は 1/30 秒、映像信号の伝送帯域幅は約 4 Mc が必要である。しかしゆっくり移動する被写体とか静止物体、文書画などは毎秒のフレーム数を少なくできるので、伝送帯域幅も狭くなる。特に横書き文書は横方向に文字が並ぶのに対し、縦方向には行と行との間に空白があるなど、縦方向の絵素数は横方向ほど多くはない。また、伝送路の途中で位相ひずみが発生した場合、映像信号に生ずるスマヤとかリリングなどは走査線方向に生ずるから、同一走査線上の隣接絵素に悪影響を及ぼし、はなはだしく解像度を劣化する。以上の点を考慮するとき、走査方向は標準方式と異なって、画面の縦方向に線走査することにした。

なお、低速走査の場合、特に受像側で長残光性受像管を使用するときには発光色は残光色よりも高輝度のため、走査線が縦方向のため輝線も縦棒となり、これが左から右にゆっくり動く。したがって、眼の運動も左から右に動くために疲労が少なく見やすい利点もある。

テレビジョン方式のように、走査線を使用して伝送できる 1 画面あたりの全絵素数 N は次式で示される。

$$N = 2K_0 K_f K_l \cdot f_{\max} \cdot T_f \quad (1)$$

$$= 1.08 f_{\max} \cdot T_f \quad (1')$$

ただし K_0 : 走査線による解像係数 (0.7)

K_f : フレーム走査有効率 (0.94)

K_l : 線走査有効率 (0.83)

$f_{\max}$: 最大信号周波数

T_f : フレーム走査時間

各定数の () 内の数値は一例を示し、(1') はこの数値を使用した場合で、図 1 に T_f をパラメータとしたときの $f_{\max}$ と N との関係を計算により求めた。これより、伝送できる全絵素数は走査線の方には無関係で、フレーム走査時間と伝送回路の伝送帯域幅にのみ関係することがわかる。しかし、伝送画面の走査線の方向の選び方によって、横方向および縦方向の解像度は異なってくる。すなわち、線走査が縦の場合の横および縦方向解像度をそれぞれ r_w , r_h とすれば、次式で示される。

$$r_w = K_0 K_f (h/w) n \quad (2)$$

$$= 0.49n \quad (2')$$

$$r_h = 2K_l f_{\max} \cdot T_f / n \quad (3)$$

$$= 1.66 f_{\max} \cdot T_f / n \quad (3')$$

ただし n : 走査線

(h/w) : 画面の縦横比 = (3/4)

(1), (2), (3) 式より次式が成り立つ。

図 1 1 画面中の全絵素数と最大信号周波数との関係

$$N = (w/h) r_w \cdot r_h \quad (4)$$

したがって、横方向解像度 r_w は (2) 式より走査線数にのみ関係し、縦方向解像度は走査線数、フレーム走査時間のほか伝送回路の帯域幅に関係することがわかる。

図 2 に r_w を、図 3 に r_h を示す。ただし、 r_h はフレーム走査時間が 0.5 秒の場合、走査線数をパラメータとしたときの伝送帯域幅との関係が示されている。(最大信号周波数のレスポンスが 3 dB 低下するときの周波数をもって伝送帯域幅といわれている。)

2.2 実験のための走査規準

筆者らの実験した低速走査方式の実例を説明する。まず、伝送画面の解像度は標準方式テレビを家庭用受像機で受像した画像と同程度のものとした。すなわち、一般家庭用受像機では水平、垂直解像度はそれぞれ 300 本および 330 本程度と考えられるので、(4) 式から求められる全絵素数は約 13 万個である。筆者らは約 11 万個程度を目標とし、かつ横方向の解像度を縦方向より高くとり、それぞれ次の値とした。

$$\left. \begin{aligned} r_w &= 340 \text{ 本} \\ r_h &= 240 \text{ 本} \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

$$(4) \text{ 式より } N = \frac{4}{3} \times 340 \times 240 \div 110,000$$

ここで横方向解像度を高くしたのは、横書き文書の伝送を考慮したためである。縦方向については、後述するように受信側でクリスプニング回路を設けることによって、実効的な解像度の向上をはかる程度で十分である。

伝送回路の帯域幅が 3 kc 程度のときには、受像側には高価な蓄積管を必要とするが、200 kc 程度の映像帯域幅があれば安価な長残光性受像管が使用できる。P 17 けい光体の残光時間は約 0.5 秒 (10% に低下) であるから、1 フレーム時間もその程度を選ぶこととした。

(2), (3), (5) 式より次のような走査規準が求められる。

図2 横方向解像度と走査線数

走査線数 $n=700$ 本
 フレーム走査時間 $T_f=0.5$ 秒
 最高信号周波数 $f_{\max}=200$ kc
 線走査を縦方向に選ぶ
 画面の縦横比 $h/w=3/4$
 インターレース なし
 線方向周波数 $f_l=1,400$ c/s
 フレーム周波数 $f_f=2$ c/s

(6)

図3 縦方向解像度と伝送可能な最大信号周波数

生部からのパルス信号による Tr_1 のスイッチング回路で放電させることによって行なう。偏向振幅の変化は R を変えることによって行なう。

$$V = \frac{1}{C} \int_0^T I_c dt \doteq \frac{1}{C} I_c T \quad (7)$$

偏向周波数は 1400 c/s および 2 c/s であるため、偏向コイルはライン走査用 60 mH、フレーム走査用 120 mH のものを使用した。偏向回路の出力段は差動形回路を使用して偏向電流をコイルへ供給した。カメラ部はトランジスタ 39 石、ダイオード 21 石で消費電力 20 VA である。

3.2 駒取撮像用シャッター機構

移動物体を撮像しようとするときに生じる像のひずみを防止する一方法として、ビジコン前面に図6に示す構成による回転円板を使用したシャッター機構を付加する。この方式の動作はフレーム走査の帰線期間中のみビジコン面に露光し、その蓄積電荷像をフレーム走査時に取り出して駒取撮像を行なう方式である。

商用電源を用いた同期モーターの回転を減速ギアにより 2 回転/秒で円板を回転させる。この回転円板にフレーム周波同期パルスを同期させるために、撮像用露光窓の開放よりも時間的に少し早く信号を得るフレーム同期用トリガーパルス発生窓を設け、これから得られる光信号を光電変換（フォトトランジスタを使用）および波形整形を行ない、フレームパルス発生回路をトリガーする。この方式により簡易に駒取撮像を行ない、移動物体の撮像を鮮明に行ないうる。

映像増幅回路の周波数特性は、200 kc で -3 dB とする。低速走査テレビでは後に詳述するように、ビジコンからの信号出力電流は標準方式に比して少ないため、映像増幅初段のトランジスタの雑音については特に考慮する必要がある。初段に使用するトランジスタは、2SA242 のうち、特に雑音の少ないものを選別した。ビジコンおよび増幅器の SN 比は、約 40 dB（ビジコン信号電流 $0.04 \mu A$ ）である。

偏向用のこぎり波発生は、図5に示す回路で行なう。すなわち、 Tr_2 のコレクタ電流の定電流特性を利用し、この電流 I_c によるコンデンサー C の端子電圧 V の変化、およびこのコンデンサーの蓄積電荷を、同期信号発

図4 カメラ部ブロック図

図5 のこぎり波発生回路図

図 6 駒取影像用シャッター機構

図 7 ビジコン蓄積時間測定ブロック図

3.3 低速走査によるビジコン映像特性

駒取撮像するとき、被写体の光像は走査の帰線期間のみビジコンターゲット面に照射され、電子ビームの走査時にはまったくしゃ光されているので、1画面の走査の始めと終わりとは信号電荷の放電によってターゲット表面電位は、しゃ光時に光導電体のもつ時定数($\tau_1' = R_d C_1$)で徐々に変化し、したがって、コントラストと解像度が劣化する。図7にその測定回路のブロック線図を示す。被写体として、白灰黒3段階のテストパターンを撮像する。ビジコンカメラの光入射側に写真機用シャッターを配し、シャッターレリーズをロータリマグネットで動作せしめる。シャッターは、0.1秒間露光するようにS.R.C.(シャッター遠隔操作器の略、詳細は付録参照)をトリガーする。S.R.C.はスイッチ S_1 を閉じた後に印加されたパルスで幅 T_2 秒の方形波をただ一つだけ作るようになされた回路で、露光後 T_2 秒間しゃ光したのち、ビーム走査を行なって得た信号波形の中から、ラインセレクトにより取り出した波形をメモスコープ上で測定する。ここで T_2 は超低周波数発振器の周波数を可変してつくる。

図 8 (a) の測定結果から 白部と灰色部との電圧差はフ

フレーム走査時間 T_2 が長くなるにつれて小さくなる。すなわち、コントラスト比が低下する。走査時間が約 20 秒のときにはコントラスト比は約 30% に低下するが、シェーディング補正回路、自動利得制御回路を使用することにより十分補正できる。フレーム走査 20 秒、帯域幅 3 kc の伝送路では解像度は約 300 本程度が得られるので、普通のビジコン 7038 が十分に実用できることがわかる。

図 8 (b) はまず最初にビームを流し、ターゲット面上の信号電荷を完全になくし零電位としてのち T_2 秒間ビームおよび光をしゃ断し、そののちにビーム走査により得た暗電流値を縦軸に示した。これにより暗電流はフレーム走査時間が長くなれば増加することがわかり、図 8 (a) (b) より低速走査で利用できるビジコンのフレーム時間の限界が求められる。実験では約 20 秒程度が限界と思われる。

次に、図 9(a) のビジコン等価

回路から x/x_0 を求める. ここで R_1, C_1 は一つの絵素の, R_0, C_0 は絵素間のそれぞれ漏洩抵抗と静電容量を

図 8 低速走査によるビジコン 7038 の映像特性

図 11 フレーム偏向回路 (1)

図12 フレーム偏向回路 (2)とラスタのひずみ

受像管 7ABP 7A (偏向角度は約 50°) を使用して実験したときには、このひし形ひずみはほとんど見られなかったが、現在使用している 90° 偏向の受像管では顕著に現われた。

ライン偏向コイルは 27 mH 、 $60\ \Omega$ で、所要電流は 580 mA p-p である。一般に製作されている偏向コイルの R/L は $1,000\sim 2,000\ \Omega/\text{H}$ 、したがって、時定数は $1\sim 0.5\text{ ms}$ となる。一方、本機のライン周期は $720\ \mu\text{s}$ で、偏向コイルの時定数に比べて無視できないため、偏向回路にスイッチング方式は利用できず、A級またはB級動作によらねばならない。A級動作回路を2組用いて偏向コイルを2分割してそれぞれを駆動する場合、出力回路の消費電力は約 13 W で、効率は非常に悪くなる。それで帰線期間に生じるパルス電圧が無視できないため、多少困難さはあるがB級 P-P 回路を使用したほうがよい。

受像管に必要な高圧は別に設けた DC コンバータより

供給し、発振周波数はトランスに標準方式テレビのフライバックトランスを用いたため約 15 kc である。高圧回路にリップルが存在すると偏向感度に変化し、その結果ラスタが波を打つ。その波の数はライン周波数とコンバータ周波数の比で決まり、本機の場合、1本の走査線上に約 10 個の波を生じ画像を損ねる。これをなくすため、高圧回路には特にフィルターを挿入した。

低圧電源で特に注意すべきことは、電源トランスと偏向コイル間の電磁シールドである。フレーム偏向コイルにハムが混入すると、走査速度がハムで変調されラスタに濃淡を生じる。その濃淡の数は電源周波数とフレーム周波数の比で決まり、フレーム周波数が電源周波数より低い低速走査テレビでは、画像をいちじるしく損ねる。本機の電源トランスの磁気シールドは 0.5 mm 銅板のショートリングと、 0.5 mm 珪素鋼板のシールドケース 2 重とを使用した。電源トランスは、漏洩磁束に対して特に考慮したものでなく、偏向コイルと電源トランスの最小距離は約 5 cm である。

使用トランジスタ数は 49 石、ダイオード数は 15 石で、全消費電力は AC 100 V 55 W である。

4.2 長残光性受像管

最初、レーダ用受像管 7ABP 7A を使用したが、現在は松下電子工業で特に試作した受像管を使用している。形状は AW 21-82 と同じで、けい光体に長残光性のものを使用した。

これは P_7 けい光体の内面に UV けい光体が塗布されていて、一次電子ビームによりまず UV けい光体が刺激されて発光 (紫外線) し、その紫外線が P_7 けい光体を刺激して長残光性をうるようになっている。図 13 にその残光特性を示す。500 ms における残光は初期値の約 5% まで低下するが、実用上十分な映像が得られた。

受像管の発光色 (青白色) と残光色 (緑色) との相異

図 13 受像管残光特性

を利用して、受像管面上に V-Y 47 フィルターに近いフィルターを取り付け、映像を見る場合じゃまになる発光色の減衰をはかった。

4.3 クリस्पニング回路

狭帯域伝送において、帯域幅が限定されることによる白黒の過渡部特性の劣化を補償するために、受像機側にクリस्पニング回路を付加して特性の改善を行なった。

しゃ断周波数 f_0 の理想低域濾波器を通過したステップレスポンス Y_1 、クリस्पニング回路により得ようとする補償用波形 Y_2 およびそれらを加算することにより生じる補償された出力波形 Y_3 は次式で示される⁵⁾。

$$Y_1 = 0.5 + \frac{1}{\pi} S_i(\theta) \quad (\theta = 2\pi f_0 t) \quad (13)$$

$$Y_2 = \frac{1}{\pi} \{S_i(2\theta + 1.8) - S_i(\theta)\} \quad (14)$$

$$Y_3 = Y_1 + Y_2 \\ = 0.5 + \frac{1}{\pi} S_i(2\theta + 1.8) \quad (15)$$

図 14(a) に Y_1 、 Y_2 、および Y_3 の理論波形を示す。 Y_2 に相当する波形を受像機側で入力信号から再生し、これを原波形に加算すれば (15) 式に示すように伝送帯域幅が 2 倍の伝送路を通過した信号と等価な立上がり、立下がり特性を得ることができる。

実用回路の主要部の構成を図 14(b) に示す。

実験結果は、写真 3 に示すごとくである。ここで A は受信部入力信号波形 (パルス幅 $8\mu\text{s}$ 、くり返し $40\mu\text{s}$ のパルス信号をしゃ断周波数 120kc の狭帯域伝送路に通し

て得た信号波形) であり、B はクリस्पニング補償を行なった波形であり、C は両者の波形の時間軸を変更して撮影したもので、右側が入力信号、左側が補償された信号 (真中はマーカー信号) である。

5. む す び

工業用テレビの無線伝送の要望が多くなると考えられながら、現用されている装置の周波数帯域幅が広いいため、UHF 帯を使用しても多くのチャンネルがとれず、テレビジョンの狭帯域化が要望されている。筆者らは長残光性受像管を使用した安価な装置の一実験例を示したが、解像度が 200 本程度でよい場合には、 100kc 以下の帯域幅で十分な画像が長残光性受像管に映し出されることも実験した (画像走査時間 0.5 秒)。しかし、特に照合のための文書画のような静止像を伝送する場合、また、事故現場の瞬間像を伝送する場合、普通のビジコン管と受像側には蓄積管または走査変換管を使用すれば、伝送時間 $10\sim 20$ 秒で音声周波数帯域で十分であり、電話線とか VHF-FM 移動無線機を用いて音声と同じに画像信号が伝送可能である。このような電子式ファクシミリ装置では、現用されているファクシミリのような複雑な機構部分も、事故現場を撮影するポラロイドカメラも必要とせず、新聞放送にも実用される日が近いと思われる。さらに、カラー画像伝送にも可能な蓄積管が開発されればさらに急速に発展するであろうと思われる。

終わりに、本研究の機会を与えられた当研究所の安岡真衛部長に感謝します。

〈付録〉 シャッター遠隔操作器 (S.R.C.)

低速走査方式テレビジョンにおいて、残光性受像管面上の映像を写真撮影する場合、1 フレーム期間写真機のシャッターを開く方法が考えられる。この場合、シャッターの開閉は帰線期間内に行なわないと、露光が不均一となり、黒線あるいは輝線が現われる。この装置はそれ

(a) クリस्पニング波形

(b) クリस्पニング回路

図 14 クリस्पニング回路

A: 原波形, B: クリस्पニング出力波形, C: 右側 原波形 左側 クリस्पニング出力波形, 中はマーカー

写真 3 クリस्पニング回路波形例

を避けるため、写真機の開閉をフレームパルスに同期して行なうためのものである。

回路の構成を図 15 に示す。同期分離回路でフレーム同期信号が分離され、次の遅延回路で $465\mu\text{s}$ 遅らし、見かけ上 $35\mu\text{s}$ 進んだパルスを得る。これは、写真機のシャッターを駆動するロータリーマグネットに電流を流してから、実際に開くまでの時間的遅れを補償して、シャッターの開閉が帰線期間内に収まるようにするためである。

ロータリーマグネットの駆動回路は、希望する 1 フレーム期間中ロータリーマグネットに電流を流す回路である。この回路を図 16 に示す。 Tr_1Tr_2 および Tr_3Tr_4 はおのおの双安定マルチを構成し、リセット状態では $\text{S}_2\text{S}_2'$ は開放で双安定マルチは動作しない。この状態は Tr_3 は OFF、したがって Tr_5 は ON で、そのコレクターに入っているリレーには電流が流れており、 S_3 は閉じている。 Tr_3Tr_4 の双安定マルチへのトリガーパルスは C_dR_d の微分回路、ダイオード D_1 によって、 Tr_1 のコレクターが ON から OFF へ変化したときのみ与えられるようになっている。 $\text{S}_2\text{S}_2'$ をリセット側よりスタート側に倒すと、まず Tr_1Tr_2 の双安定マルチが同期パルスで反転し、次のパルスで再反転する。この再反転のとき、 Tr_3Tr_4 の双安定マルチが反転して Tr_3 が ON となり、 Tr_5 が OFF となって S_3 が開き、以後 Tr_1Tr_2 の双安定マルチは動作しなくなる。これで 1 動作が終わり、 $\text{S}_2\text{S}_2'$ を元のリセット側へ倒すと回路は再び最初

図 15 シャッター遠隔操作器のブロック図

図 16 ロータリーマグネット駆動回路状態にもどる。

状態にもどる。ロータリーマグネットと写真機のシャッターの間はケーブルリレーによって連結している。使用したロータリーマグネットは日本ロータリーマグネット・カンパニー製で、普通のソレノイドに比べてトルクの立上がり特性がよく、このような使用に適している。次にロータリーマグネットの定格を示す。

品名: RM 48 R 35 A 24

消費電力: 24 V DC 17~23 W

回転角: 35°

トルク: 起動 $0.7\text{ kg}\cdot\text{cm}$ ~ 最大 $5\text{ kg}\cdot\text{cm}$

写真撮影に使用したカメラはキャノンフレックス R 2000 である。

(昭和 39 年 2 月 13 日受付)

〔参考文献〕

- 1) 中野, 竹田, 安松谷: 低速走査方式テレビジョンの一考察, 電気関係学会 (関西支部) 連大予, No. 18-2 (昭 37)
- 2) 中野, 竹田, 安松谷: 低速走査方式テレビのクリスプニング補償, 電気四学会連大予, No. 1864 (昭 38)
- 3) 中野, 竹田, 安松谷: 低速走査テレビにおける Vidicon 映像特性, 電通学会全国大会, No. 581 (昭 38)
- 4) 西田亮三: ビジコンの動作と設計, テレビ誌, 2 (1962), 82-90
- 5) Goldmark and Hollywood: A New Technique for Improving the Sharpness of Television Pictures, Proc. IRE, Oct. (1951) 1314~1322

筆者紹介

なかの みつる

中野 稔 昭和 26 年, 東京工業大学電気工学科卒業, 同年松下電器産業株式会社に入社通信機工場にて FM 超短波無線機の研究に従事, 昭和 31 年, 同社中央研究所に移りカラーテレビ送受信方式に関する研究を担当, 現在に至る。正会員。

たけだ みつる

竹田 實 昭和 35 年, 静岡大学工学部電子工学科卒業, 同年, 松下電器産業株式会社に入社し, 中央研究所電気部勤務。カラーテレビジョン受信方式, ビデオ信号伝送方式の研究に従事。正会員。

やすまつ のぼる

安松谷 昇 昭和 35 年, 大阪府立今宮工業高等学校電気科卒業, 同年松下電器産業株式会社に入社し, 中央研究所電気部勤務。工業用テレビカメラ, ビデオ伝送方式の開発研究に従事。