クロマひずみ自動検出装置

馬 明[†] 小川 吉彦[†]
松田 喜一^{††}, 正会員 柏倉 宏幸^{†††}

あらまし カラーテレビ信号伝送時に生じるクロマひずみを自動補正するには、ひずみの自動検出センサが必要である。この目的で、デジタル信号処理用プロセッサを使用した Y-C 分離デジタル式クロマひずみ自動検出システムの研究開発を行ったことを述べている。試作検出装置はひずみ量検出誤差が十分に小さく、また 1 フレーム内検出が充分可能なほど高速度であるという好結果が得られた。

1. ま え が き

カラーテレビ信号の伝送時に発生するクロマひずみ(輝度信号と色信号との相対振幅差および相対遅延時間差)を、変調正弦 2 乗パルスを用い Y-C 分離方式でアナログ的に測定する方式を筆者等は文献 1) で提案した。本検出方式は簡易な方法にもかかわらず十分な精度をもって計測できるが、アナログ的には自動計測が難しかった。しかし、伝送中で発生するクロマひずみの自動補正が当然ながら最終的な目的であることを考え、その後 Y-C 分離の基本は同じであるが、デジタル的な自動検出方式を研究した^{2)~4)}。この結果、自動検出方式がほぼ確立できたが、当時のマイクロコンピュータを使用してシステムを組んだのでは、検出時間が掛かり過ぎる問題点があった。

最近、高速デジタル信号処理(以後 DSP と略す)用のプロセッサが開発され、この使用により上記方式によるクロマひずみの自動検出が僅か 5 ms 程度で実行できるようになった⁵⁾⁶⁾。しかも、本方式のシステム構成は簡易であり、充分実用化の目安があるので、これにより自動補正への道が開けることになった。本論文では、この DSP 化デジタル自動検出システムの原理、構成および測定結果について報告する。

2. 検 出 原 理

カラーテレビ信号の伝送中におけるクロマひずみを検出するために、変調正弦 2 乗パルスを利用する。このパルスは、クロマひずみ測定用の信号として提案されて回線に入力されているもので、図 1 に示すように、幅 $12.5 T$ または $20 T$ ($T=0.5/f_c$, f_c =遮断周波数)の正弦 2 乗パルスを輝度信号成分とし、このパルスで色副搬送波を 100% 振幅変調したものを色信号成分として、この 2 つのパルスを重畳したものである。伝送路の周波数特性が平坦でなく、すなわちクロマひずみが生じる場合、図 1 の輝度信号成分と色信号成分間に相対振幅差および相対遅延時間差が生じ、変調正弦 2 乗パルスは例えば図 2 のようになり、包絡線の波形が変形する。変調正弦 2 乗パルスのスペクトルは図 3 のように、高周波成分と低周波成分の重なる部分がないので、LPF (Low Pass Filter) と BPF (Band Pass Filter) により、Y 信号(輝度信号)と C 信号(色

図 1 変調正弦 2 乗パルス
Modulated sine-squared pulse.

[†] 北海道大学 工学部

^{††} 富士通株式会社

^{†††} 北海道放送株式会社

“Automatic Detector of Chrominance Distortion” by Ma Ming, Yoshihiko Ogawa (Hokkaido University, Sapporo), Kiichi Matsuda (Fujitsu Co., Kawasaki) and Kouitsu Kashiwakura (Hokkaido Broadcasting Co., Sapporo).

図2 クロマひずみを受けた変調正弦2乗パルス
Modulated sine-squared pulse with chrominance distortion.

図3 変調12.5Tパルスのスペクトル
Frequency spectrum of modulated 12.5T pulse.

信号)を分離できる。Y、C信号のそれぞれの振幅特性と遅延時間特性を調べることによって、相対振幅と相対遅延時間特性すなわちカラーテレビ信号が受けたクロマひずみが測定できる。

初めに、相対遅延時間差の検出原理を述べる。実際に図2のようにひずんだ変調正弦2乗パルスでも、Y、C各信号成分の波形の軸対称性は十分に保存されている。この理由で、両信号の電力重心点の相対時間差が相対遅延時間差とほとんど一致することが確認され、前者を検出することにした⁵⁾。電力重心点を検出するため、まずY、C両信号の電力 P_y 、 P_c を計算する。

$$P_y = \sum_n (Y_n)^2, \quad P_c = \sum_n (C_n)^2 \quad (1)$$

ここに Y_n 、 C_n はY、C両信号のサンプル点振幅である。次に両信号電力の1次モーメントを求める。

$$M_y = \sum_n n T (Y_n)^2, \quad M_c = \sum_n n T (C_n)^2 \quad (2)$$

ここに T はサンプリング周期である。これらより電力重心点 W_y 、 W_c は次式のように求まる。

$$W_y = M_y / P_y, \quad W_c = M_c / P_c \quad (3)$$

相対遅延時間差 ΔT は両信号の電力重心点差により求まる。すなわち、

$$\Delta T = W_y - W_c \quad (4)$$

次に、相対振幅ひずみの検出原理を述べる。本ひずみは、Y成分に対応する直流電力とC成分に対応する色副搬送周波数での電力の比で本来定義されているのであるが、Y、C両信号とも、図3に示すようにスペクトル幅が狭いので、両信号の電力比からこの相対振幅ひずみが計算できることは文献3)に述べてある。Y、C両信号の電力を P_y 、 P_c とすると、相対振幅ひずみ ΔA は次式で求まる。

$$\Delta A = 10 \log_{10} R_a \quad (\text{dB})$$

$$R_a = 2P_c / P_y \quad (5)$$

しかし、DSPで対数計算するのは困難なので、 R_a があまり大きくないことに着目し、上式の代りに対数を4点ラグランジュ補間で近似した次式を使用した。

$$\Delta A = 10(R_a - 1) \{ 1.6867(R_a - 1.6667)(R_a - 2) - 2.9949(R_a - 1.3333)(R_a - 2) + 1.3546(R_a - 1.3333)(R_a - 1.6667) \} \quad (6)$$

この計算誤差は1%以内である。

3. 自動検出システム構成

Y-C分離ディジタル方式クロマひずみ自動検出システムの構成を図4に示す。

変調正弦2乗パルスのスペクトルは図3のように0~4.5 MHzに分布するため、サンプリング周波数は9 MHz以上でなければならない。サンプリング周波数が高いほど検出精度、特に遅延時間差検出精度が上がるが、DSPの能力を考慮すれば上限がある。一方、各放送局にはフレームメモリーが用意されており、実際に際しては変調正弦2乗パルスの抽出にこれを利用すると都合が良いと思われるので、サンプリング周波数は副搬送波周波数の4倍の14.32 MHzに選んだ。

A/Dコンバータの量子化誤差は検出精度に直接影響する。しかし、検出装置の簡便さが望まれるので、8ビットのA/Dコンバータを使用した。この程度でも検出精度が目標値を充分満足することが確認された。

Y、C両信号に分離するディジタルフィルタには周

図4 Y-C分離式ディジタルクロマひずみ自動検出システム

Detection system of chrominance distortion by Y-C separation.

知のケーザー窓を使用した。図3に示すように両信号のスペクトルは充分離れているので、それほど高性能のフィルタである必要はないし、また検出の高速性も考慮し、簡易なフィルタを設計した。Y信号抽出のためのLPFの周波数特性を図5に示す。阻止域減衰量を55dB、過渡帯域は1.5MHzを中心に1MHzの幅に設計した。この結果の必要総サンプル数は47である⁷⁾。同様に、C信号抽出のためのBPFは図6となるように設計した。

Y, C両信号は、DSPにより(1)~(6)式の演算が実行される。その結果は数値で表示される。

次に、システムのソフト上の補助機能の説明をする。

(1) 自動レベルシフト機能

サンプリングした変調正弦2乗パルスのベースラインは、画像信号の影響で時間的に変動する。このレベル変動を補正しなければ、Y信号の電力は正確に計算できない。本検出システムでは、この自動レベルシフトプログラムが組み込まれている。すなわち、変調正弦2乗パルスの前後の無信号部に対応するベースラ

図5 LPFの周波数特性
Frequency characteristics of LPF.

図6 BPFの周波数特性
Frequency characteristics of BPF.

インレベルを20サンプル抽出し、その平均値を差し引いている。この機能により、信号のベアララインは常にゼロレベルに固定される。

(2) 検出モードの切り換え

変調正弦2乗パルスは毎フレームの1ラインのみに存在するが、本検出システムは毎フレームごとに連続検出できる。しかし、雑音等の影響を弱めるために平均モードで検出したい場合もある。このため、15フレームの検出値の平均値を取り出すように切り換えられる。また、後者のモードでは毎秒2回程度の表示の変化となり、数値が読みやすい。

(3) チャンネル選別機能

実際に運用の回線では、変調正弦2乗パルスが挿入されている走査線番号が放送局によって異なっているし、また走査線上の同期パルスからの距離も一定していない。本検出システムは、これに対応するためにチャンネル選別機能を持たせている。すなわち、チャンネル切替えのたびに、変調正弦2乗パルスが挿入されている走査線番号を探索するチェックプログラムを有しており、この確認後、検出処理ルーチンへ分岐して検出を実行する。

(4) ASCIIコード転換機能

本検出システムでは表示のための専用インタフェースを使わず、DSPの内部処理で検出結果をASCIIコードに直接変換して表示装置に接続した。

最後に、図7に示したシステムハードウェア構成の説明をする。DSPはMB8764を使用し、周辺回路はA/D変換、同期クロック、ライン高速メモリー、入出力インタフェース、表示装置および制御回路からなる。これらを以下に簡単に説明する。

(1) A/D変換回路

入力信号としてはビデオ信号を直接使用している。A/D変換回路は信号増幅回路、同期信号分離回路、A/Dコンバータからなっている。変調正弦2乗パルスの位置を正しく検出してA/D変換する必要上、14.32MHzのクロックは入力信号の同期パルスに同期させている。A/D変換出力は複合同期パルスと8ビットパラレルディジタルビデオ信号である。

(2) クロック回路

図7 Y-C分離式自動検出システムのハードウェア構成
Hardware of detection system.

A/D 変換用のクロック回路のほかに、偶奇フィールド選別用回路、水平垂直同期分離回路、変調正弦 2 乗パルス存在走査線の同期パルス抽出回路から構成されている。また、同期パルス抽出回路の出力をトリガに使用して普通のオシロスコープで回路の変調正弦 2 乗パルスを観測することもできる。

(3) ラインメモリーと入力インタフェース

DSP は A/D 変換速度に追従できないので、1k バイトのラインメモリーを用意し、一度 A/D 変換出力をこれに記憶させる。この後、入力インタフェースを介して DSP に入力する。

検出出力は、数値表示装置、振幅ひずみ検出量保持レジスタ、遅延時間ひずみ検出保持レジスタの 3 装置に入力でき、命令により選択される。本システムは自動補正システムに拡張できるように、両ひずみ量保持レジスタは 2 段縦続となっている。DSP からの検出出力は初段レジスタに入力され、次のフレーム周期パルスが到来する時に次段レジスタに内容が移り、その後、自動補正システムに渡るようにする。

(4) 制御回路

電源オンまたはスタートパルスによりシステムは一度リセットされ、その後ラインメモリーが DSP から切り離されて A/D 変換出力バスにつながる。この時 DSP は待機状態になる。所定ラインの同期パルスが到来すると、“0”番地からのアドレスと A/D 変換出力データがラインメモリーに入力される。書き込み終了後、メモリー出力を DSP に入力して、検出処理を実行させる。検出結果出力後、全システムをリセットし、次の検出処理に備える。以上の制御を実行する。

(5) DSP

DSP は本システムの核心となる VLSI で、MB 8764 を使用した。これは、16 ビットのプロセッシングを行い、1 命令実行時間も 100 ns まで可能である。ただし、本検出システムでは使用周辺回路の都合上、125 ns で動作させた。また、DSP 内部に 256 ワードのランダムアクセスメモリーも用意されている。

4. シミュレーションと結果

設計した Y-C 分離デジタル式クロマひずみ自動検出システムの仕様は、最大検出量および最大検出誤差が、振幅ひずみでは ± 5 dB および 0.5 dB、遅延時

図 8 ひずみ検出シミュレーション構成図
Simulation block diagram of detection of distortion.

図 9 検出誤差分布例
Example of distribution of detection error.

図 10 振幅ひずみ検出のシミュレーション実験 (遅延時間ひずみが 300 ns/4 MHz の場合)
Simulation experiments of detection of amplitude distortion.
(delay-time distortion : 300 ns/4 MHz)

間ひずみでは ± 200 ns および 30 ns である。試作に入る前に計算機シミュレーションを行い、仕様を充分満足することが確認された。また、雑音を図 8 の構成でシミュレートした。すなわち、所定の SN 比になるようにガウス雑音をひずみ入力信号に混入して、ひずみ検出を行った。SN 比が 30 dB の場合の検出誤差例を図 9 に示す。これは無ひずみ入力に対し、検出回数 100 回での検出誤差の相対頻度を示している。このような実験を、種々のひずみ入力についても行った結果、 30 dB 以上の SN 比に対し、ほぼ完全に仕様を満足することを確かめた。

次に、試作した装置の機能をチェックするために、図 7 の A/D 変換出力データの代りにあらかじめ適当にひずませた変調正弦 2 乗パルスの数値データを、同

図のメモリーに入力して検出実験を行った。検出値と入力ひずみの値との差が検出誤差であるが、指定の最大検出量内では、検出誤差が振幅ひずみでは 0.15 dB 以下、遅延時間ひずみでは 15 ns であることが確認された。この結果は、計算機シミュレーション結果とほぼ一致する。振幅および遅延時間ひずみ検出実験結果の例を図 10、図 11 に示す、横軸が数値データのひずみ量であり、縦軸がシステムの検出量である。

最後に、放送局内で実際の回線を使って検出実験を行った。装置で発生する雑音の除去が多少不充分であったため雑音が回線に入り込み、毎フレームの検出結果が、振幅ひずみで 0.3 dB、遅延時間ひずみで 15 ns 程度変動したが、 15 回平均の結果は僅かにしか変動しなかった。写真 1、写真 2 はこの実験に使われた変

図 11 遅延時間ひずみ検出のシミュレーション実験
(振幅ひずみが 3 dB/4 MHz のとき)

Simulation experiments of distortion of delay-time distortion.
(amplitude distortion : 3 dB/4 MHz)

写真 1 変調正弦 2 乗パルス
(ひずみ量 : 0 dB/4 MHz, 0 ns/4 MHz,
検出ひずみ量 : 0 dB/4 MHz, 0 ns/4 MHz)
Modulated sine-squared wave.
(distortions : 0 dB/4 MHz, 0 ns/4 MHz,
detective distortion : 0 dB/4 MHz, 0 ns/4 MHz)

写真 2 変調正弦 2 乗パルス
(ひずみ量 : 5 dB/4 MHz, 0 ns/4 MHz,
検出ひずみ量 : 4.7 dB/4 MHz, 0 ns/4 MHz)
Modulated sine-squared wave.
(distortions : 4 dB/4 MHz, 0 ns/4 MHz,
detective distortions : 4.7 dB/4 MHz, 0 ns/4 MHz)

調正弦2乗パルスの波形例であり、ひずみ検出量が説明に記してある。

5. む す び

カラーテレビ信号のクロマひずみを検出する目的で、変調正弦2乗パルスをデジタル信号化した後、Y、C両信号に分離し、両信号電力比より相対振幅ひずみを求め、両信号電力重心時間差より相対遅延時間ひずみを求める方式を述べた。このデジタル式自動検出方法は、従来提案されているノモグラフ法⁸⁾やアナログ方式Y-C分離方式に比べ、以下の大きな特徴を有する。

- (1) 無調整でひずみ量を高精度で検出できる。
- (2) 検出時間が短く、1フレーム内で十分に検出できる。
- (3) 自動検出結果が数値で出力されるので、クロマひずみの自動補正センサとして好適である。
- (4) 検出システムが簡易であり、実用化に適している。

本検出装置を設計するに際し決定した最大検出量および最大誤差に関する仕様は、放送局関係者と十分に協議したものであるが、設計試作装置は仕様の性能を十分に上回るものであった。なお、クロマひずみに関しては、ひずみ量の変動が時間的に激しい場合と緩慢

な場合とが考えられる。前者の場合には1フレーム内検出量で、後者の場合には適当なフレーム数の平均値検出量で自動補正を行うのが適当と考えられるが、本検出装置はどちらの場合にも適用できるようになっている。

今後の残された課題は、試作したクロマひずみ自動検出装置を利用してクロマひずみ自動補正システムの構成に関する研究を行うことである。

(昭和60年10月14日受付、昭和60年12月23日再受付)

〔参 考 文 献〕

- 1) 柏倉, 小川: “変調正弦2乗パルスによるクロマひずみの測定に関する一考察” テレビ誌, **32**, 12, pp. 34-40 (Dec., 1978)
- 2) 佐藤, 小川, 黒部, 柏倉: “クロマ歪の自動補正に関するシミュレーション”, テレビ大全, 6-1, pp. 149-150 (1979)
- 3) 小川, 佐藤, 柏倉, 黒部: “クロマひずみの自動検出”, テレビ学技報, IT 45-14, pp. 79-84 (Nov., 1980)
- 4) 小川, 小川: “NTSC方式テレビ信号伝送におけるクロマひずみの自動検出”, 信学通信大全, 279, pp. 2-15 (1982)
- 5) 馬明, 小川: “クロマひずみの自動検出システムの構成概要”, 信学大全, 2710, p. 7-109 (1985)
- 6) 馬明, 小川, 柏倉: “クロマひずみのデジタル自動検出システム”, テレビ大全, 12-3, pp. 339-340 (1985)
- 7) R. W. Hamming 著 宮川, 今井訳: “デジタル・フィルタ”, 科学技術出版社, 9.4 節
- 8) H. Schmidt: “The Measurement of Linear Chroma Distortion in NTSC TV Facilities”, IEEE Trans., **BC-18**, 3, pp. 77-80 (Sep., 1972)