完全両立性を有する EDTV 信号方式

—— その 1 動特性の理論検討 ——

正会員 平 野 裕 弘[†], 正会員 吹 抜 敬 彦[†]
吉 木 宏[†]

あらまし 筆者らの提案している完全両立性のある EDTV 方式では、輝度信号の高域成分を高精細信号として現行テレビ信号に多重する。これには 3 種類の手法があり、現行映像信号帯域幅でも最大 770 TV 本の水平解像度を実現する。今回、方式実現のための動特性に関して理論的検討を行った。この結果、“時間-垂直”周波数領域での帯域制限に伴う水平・垂直移動時の動解像度特性、ならびに輝度信号、色信号、高精細信号間の漏話発生が特定の移動速度に限定できることを明らかにした。そして、動き適応処理の有効性を示した。

1. ま え が き

現行テレビの高画質化、高精細化が国内外で注目を集めている。そして、現行の系との両立性を考慮した様々な伝送方式が提案された^{1)~5)}。しかし、既存受像機で受信するにはアダプタが必要¹⁾³⁾、あるいは、現行の伝送路では高精細な情報が失われる^{2)~5)}などの問題がある。

我々は、現行の伝送路（VTR などの記録系の場合を含む）のまま高精細画像の送受信ができ、かつ、既存受像機でもアダプタなしに受信できる EDTV (Extended Definition TV) 方式の提案を行った^{6)~8)}。本方式は、白黒テレビからカラーテレビに移行の際に考慮されたような伝送路、受像機の両者に対する両立性を持ち、高画質化、高精細化のスムーズな実現をねらうものである。

本論文では、動特性を中心に、EDTV 信号の構成や方式の理論的特性について検討する。

2. 提案方式の概要

以下の説明のため既提案方式の概要を述べる^{6)~8)}。

現行テレビ方式と完全に両立性を保持するため、映像信号帯域幅、色信号の重量、音声などの信号形態は現行規格のまま、EDTV 信号を構成する。このため、以下に示す信号処理を行う。

- (1) 帯域圧縮のため、現行テレビ信号スペクトルの隙間に高精細情報を多重する。
- (2) 水平、垂直、時間の 3 次元周波数信号処理により、現行テレビ方式固有の画質妨害を低減する。

図 1 に、現行 NTSC 信号を、水平、垂直、時間の 3 次元周波数、 μ , ν , f で示す⁹⁾。時間周波数 f 、垂直周波数 ν の領域 (“ f - ν ” 領域) では、色副搬送波 f_{sc} は、 $(15, -525/4)$, $(-15, 525/4)$ に位置し、この点の囲りに色信号 C のスペクトル (ただし $\mu > 2.1$ MHz) が存在する。

提案方式では、“ f - ν ” 領域において、輝度信号 Y、色信号 C を図 2(a) の実線に示すような領域内に帯域制限を行う。そして、同図の斜線の領域に高精細信号 Y_H をさらに多重する。このため、輝度信号を低域成分 Y_L (0~4.2 MHz)、高域成分 Y_H (4.2 MHz 以上) に分け、後者を周波数シフトして Y'_H とする。ただし、 $\mu < 2.1$ MHz に多重する場合には、 Y_L , Y'_H 信号間の漏話成分除去のため “ f - ν ” 領域での帯域制限による動特性の劣化、ならびに既存受像機への妨害について検討することを要する。

[†] 株式会社日立製作所 中央研究所

“Fully Compatible Extended Definition TV—Part 1 Theoretical Considerations on Dynamic Characteristics—” by Yasuhiro Hirano, Takahiko Fukinuki and Hiroshi Yoshigi (Central Research Laboratory, Hitachi, Ltd., Tokyo)

(a) フィールドと走査線

(b) 「垂直-時間」領域でみた副搬送波の位相

(c) 「時間-垂直」周波数表示
 f : 時間周波数, ν : 垂直周波数, μ : 水平周波数

図 1 NTSC 信号の空間周波数表示

NTSC color TV signals in a spatio-temporal frequency domain.

(a) fields and scanning lines, (b) phases of a color subcarrier in a temporal-vertical domain, (c) frequency spectrum in a temporal-vertical frequency domain.

$0 < \mu < 2.1 \text{ MHz}$

$2.1 \text{ MHz} < \mu < 4.2 \text{ MHz}$

(a) 「時間-垂直」周波数表示

(b) 搬送波 μ_0 , μ_0' の位相

図 2 提案方式の空間周波数表示

Proposed EDTV signals in a spatio-temporal frequency domain.

(a) frequency spectrum in a temporal-vertical frequency domain, (b) phases of subcarrier μ_0 and μ_0' in a temporal-vertical domain.

表 1 高精細情報の多重法

Multiplexed methods of high resolution information components.

方式名称	周波数シフト	帯域(MHz)	解像度(TV本)
(現行 NTSC)		4.2	330
フィールド間転置 (F 方式)	F1	6.0	470
	F2	7.8 (7.0)*	610 (560)*
色差信号への積み上げ (H 方式)		6.2	490
F, H 方式の組合せ		9.8	770

* 別論文試作機における設定パラメータ¹⁴⁾

なお、第1, 第3象限に Y_H を多重するには、同図(b)の点線で示すようなフィールド毎に位相が下降する搬送波 μ_0 を、第2, 第4象限に多重するには f_{sc} と同様、実線で示すような上昇する搬送波 μ'_0 を使用する。

多重には、以下の3種類の方法があり、特性などはまとめて表1に示す。

- (i) フィールド間転置(F方式): 第1, 第3象限に多重する。再生時にはフィールド間の演算による色信号との分離を行う。
- (ii) 色差信号への積上げ(H方式): 色信号と同じく、第2, 第4象限に多重する。再生時に必ずしもフィールド間の演算を要しない。
- (iii) F, H方式の組合せ: 上記方式の併用。

3. 3次元帯域制限に伴う解像度特性

“ f - ν ”領域の帯域制限により、インタレース妨害漏話などの画質妨害などが低減できる。反面、動解像度特性は制約も受ける。前述のように $\mu < 2.1$ MHzに多重するとき大きな影響を受ける。以下、これらについて考察する。

3.1 水平・垂直移動時の信号スペクトル¹⁰⁾¹¹⁾

静止画像では、信号スペクトルは、 $f=0$ の平面に存在している。

一方、水平移動時には、図3(a)に示すように ν 軸

図3 水平・垂直移動時の信号スペクトル
Three-dimensional representation of frequency spectrum for horizontal and vertical motions.
(a) horizontal motion, (b) vertical motion.

を中心として角度 θ_H だけ傾けた平面に存在する。また、垂直移動時には、同図(b)に示すように μ 軸を中心として角度 θ_V だけ傾けた平面に存在する。 $\tan \theta_H$, $\tan \theta_V$ は移動速度に比例する。

“ f - ν ”領域で同図に示すような帯域制限を行うと、再生可能な領域は図中の斜線の部分になる。

すなわち、動解像度特性は、“ f - ν ”領域における帯域制限の形態によって規定される。

3.2 水平移動時の特性

提案方式では、Y, C信号に対して図2(a)の実線で、 Y_H 信号に対して図2(a)の破線に示す帯域制限を行う。以下、動解像度特性の解析を行う。ここでは、1ラインの画素数を910に設定し、水平移動速度 v_h を、1/60秒間の移動画素数で表示する。

この設定条件により、水平周波数 $\mu_1 = 3.58$ MHzの点*では、水平移動速度 v_h に対し、時間周波数 f_h が、

$$f_h = (f_m/2)v_h \quad \text{ただし } f_m = 30 \text{ Hz} \quad (1)$$

で与えられる。したがって、水平移動速度 v_h に対し水平周波数 μ の成分は次式の時間周波数成分を持つ。

$$f = (f_m/2)v_h(\mu/\mu_1) \quad (2)$$

さて、輝度信号低域成分 Y_L に対しては、 $\nu \geq 0$, $f \geq 0$ の場合には、次式で示す平面で帯域制限を行う。

$$\nu/\nu_1 + f/f_m = 1 \quad \text{ただし } \nu_1 = 525/2 \text{ 本} \quad (3)$$

(2), (3)式より次式を得る。

$$\nu = \nu_1 \{1 - (v_h/2)(\mu/\mu_1)\} \quad (4)$$

(4)式は、“ μ - ν ”領域における Y_L の動解像度特性を与える。

一方、色信号C, 高精細信号 Y_H に対する帯域制限は、ベースバンド領域の色差信号I, Qおよび輝度信号高域成分 Y_H に対し、それぞれ時間軸 ± 15 Hz, 垂直軸 $\pm 525/4$ 本の点で囲まれる領域で帯域制限することと同じである。これらの信号に対しては、 $\nu \geq 0$, $f \geq 0$ の場合には、帯域制限の平面は次式で与えられる。

$$(2\nu/\nu_1) + (2f/f_m) = 1 \quad (5)$$

(2), (5)式より次式を得る。

$$\nu = (\nu_1/2) \{1 - v_h(\mu/\mu_1)\} \quad (6)$$

(6)式は、“ μ - ν ”領域におけるI(帯域1.5 MHz), Q(帯域0.5 MHz), Y_H の動解像度特性を与える。図4(a)に(4), (6)式で計算した水平移動速度 v_h に対する動解像度特性を示す。

3.3 垂直移動時の特性

* 絵柄で例えれば、白と黒の画素が2画素周期で交互に発生する縦縞パターンに相当。

図 4 水平・垂直移動時の解像度特性
Dynamic resolution characteristics for horizontal and vertical motions.
(a) horizontal motion, (b) vertical motion.

ラインの総数を 525 本に設定し, 垂直移動速度 v_v を 1/60 秒間の移動ライン数で表示すると, 垂直周波数 ν_1 における時間周波数 f_v は,

$$f_v = f_m v_v \quad (7)$$

で与えられる. このため, 垂直移動速度 v_v に対し, 垂直周波数 ν の成分は, 次式の時間周波数成分を持つ.

$$f = f_m v_v (\nu / \nu_1) \quad (8)$$

(3), (8) 式より, 輝度信号低域成分 Y_L の動解像度特性は, 次式で与えられる.

$$\nu = \nu_1 / (1 + v_v) \quad (9)$$

一方, I, Q, Y_H の動解像度特性は (5), (8) 式より,

$$\nu = (\nu_1 / 2) / (1 + v_v) \quad (10)$$

で与えられる. 図 4 (b) に, 垂直移動速度 v_v に対する動解像度特性を示す.

4. Y_L , C, Y_H 信号間の漏話

“ f - ν ” 領域で帯域制限を行ったとき Y_L , C, Y_H 信号間で発生する漏話について検討する.

4.1 Y_L , C 信号間の漏話

“ f - ν ” 領域, “ μ - ν ” 領域において, 水平移動時の Y_L 信号, C 信号の存在領域を図 5 に示す. Y_L 信号の特性は (2), (4) 式, C 信号の特性は (2), (6) 式で求めた結果を, 図中の f_{sc} の点を原点として表示することで得られる.

図 5 水平移動時の Y_L , C 信号の存在領域と漏話
Three-dimensional frequency spectrum and cross-talk between Y_L and C components for horizontal motion.
(a) $v_h = 0.5$ pels, (b) $v_h = 1.0$ pels, (c) $v_h = 2.0$ pels.

移動速度 v_h が 0.5 画素の動きでは, Y_L , C 信号は, “ f - ν ” 領域で互いに分離している. また, 2 画素の動きでは, “ μ - ν ” 領域で互いに分離している. したがって, これらの動きに対しては, 原理的には Y_L , C 信号間で漏話は発生しない.

一方, 1 画素の動きでは, “ f - ν ”, “ μ - ν ” 領域のいずれでも Y_L , C は重複し, 斜線の部分で漏話の発生する可能性がある. すなわち, 提案方式では, “ f - ν ” 領域の帯域制限により, 漏話の発生を水平移動時には 0.5~2 画素の動きに限定できる.

この事柄は, 送信側の Y_L , C 信号の多重, あるいは受信側の Y_L , C 信号の分離のための信号処理として, 動き適応処理の有効性を示唆している.

送信側の Y_L , C 信号の多重においては, 水平移動速度 v_h が 0.5~2 画素の動きの場合に, μ , ν , f の時空間フィルタにより, Y_L 信号のうちの同図 (b) の斜線で示した漏話成分を除去すればよい.

受信側では, 速度 v_h に応じて次の領域でほぼ理想的に Y_L , C 信号の分離ができる.

$v_h \leq 0.5$ 画素: “ f - ν ” 領域.

$0.5 < v_h < 2$ 画素: “ f - ν ” ならびに “ μ - ν ” 領域.

図 6 水平移動時の Y_L , Y_H' 信号の存在領域と漏話 (F2 方式)

Three-dimensional frequency spectrum and cross-talk between Y_L and Y_H' components for horizontal motion.

(a) $v_h = 0.25$ pels, (b) $v_h = 0.5$ pels.

$v_h \geq 2$ 画素: “ μ - ν ” 領域.

垂直移動時における漏話の発生に関しても、同様な解析により、移動速度 v_v が 0.5~2 ラインの動きに限定できる。

なお、具体的方法については別論文に述べる¹⁴⁾。

4.2 Y_L , Y_H' 信号間の漏話

表 1 の F2 方式により高精細信号 Y_H' を多重した場合、水平移動時の Y_L , Y_H' 信号の “ f - ν ”, “ μ - ν ” 領域における存在領域を図 6 に示す。

高精細信号 Y_H' の特性は (2), (6) 式の結果を “ f - ν ” 領域では (15, 525/4) の点を原点, “ μ - ν ” 領域では $\mu = 0.6$ MHz の点を Y_H' 信号の 4.2 MHz に対応させることで表示できる。

移動速度 v_h が 0.25 画素の動きでは, “ f - ν ” 領域で互いに分離しているため, 漏話は発生しない。一方, 0.5 画素の動きでは, いずれの領域でも重複し, 漏話の発生の可能性がある。

高精細信号 Y_H' に対応する輝度信号高域成分 Y_H は, 撮像管の蓄積効果により動画時には少なくなることが予想される。このため, 漏話成分が発生する 0.5 画素の動きでは, Y_L 信号から Y_H' 信号への漏話成分の除去を行うよりは, 高精細信号 Y_H' の多重をやめることが考えられる。この具体的な信号処理に関しても別論文に示す¹⁴⁾。

5. 折返しひずみのない走査変換

走査による折返しひずみを除くには, 次の方法がよ

(b) 折返し成分の有無による時空間フィルタの適応制御

図 7 折返し雑音のない走査変換 (送像側)

Aliasing-free scanning process.

(a) block diagram, (b) adaptive spatio-temporal filtering process.

く知られている。撮像側では図 7(a) に示すように, 走査線数 525 本, 60 フレーム, 順次走査の信号成分のうち, インタレース走査で折返しひずみとなる成分を時空間フィルタによって除去する。そして, 走査線を間引き, インタレース走査にする。

折返しひずみをなくすには, 同図の網目をかけた四角形の領域が時空間フィルタの特性となる。これを厳密に実現するには多数のフレームメモリが必要なため, 実際には数個で構成することが多い¹²⁾¹³⁾。

図 7(b) は 2 個を用いた構成例で, この伝達関数 $F(f, \nu, \mu)$ は次式で示される¹²⁾。

$$F(f, \nu, \mu) = \cos^2(2\pi\nu/\nu_1) \cos^2(\pi\nu/\nu_1) \cdot \cos^2(\pi\nu/2\nu_1) + \{1 - \cos^2(2\pi\nu/\nu_1) \cdot \cos^2(\pi\nu/\nu_1)\} \cos^2(\pi f/2f_m) \quad (11)$$

この時空間フィルタでは, 垂直周波数 ν が $0.8\nu_1$ 以上の領域で振幅特性が低下する。

一方, 静止画像では, 順次走査からインタレース走査への走査変換において, 折返しひずみとなる成分はないため, 特に時空間フィルタによるひずみ成分の除去は不要である。したがって, 上記の折返しひずみと

なる成分がある場合だけ、時空間フィルタによりひずみ成分を除去する適応処理が有効である。

この適応処理により、例えば静止画像では時空間フィルタの特性に起因した垂直解像度の低下などの影響がなくなり、解像度が向上できる。

6. む す び

現行テレビ方式との両立性を保持する EDTV 方式に関し、動特性の理論検討を行った。

まず、“時間-垂直”周波数領域の帯域制限に伴う水平・垂直移動時の動解像度特性について解析した。つぎに、輝度信号、色信号、高精細信号間の漏話の発生は、特定の移動速度に限定できることを見出し、動き適応処理の有効性を示した。さらに、折返しひずみのない走査変換においても、適応処理の有効性を示した。

以上の検討により、方式実現のための動きを考慮した信号処理の方法が明らかになった。

なお、ハードウェア試作による方式評価に関しては、別論文に詳しく述べる¹⁴⁾。

終りに、本研究を進めるに当り、御世話になった東京放送 伊藤豊、谷田志律雄、清水孝雄、フジテレビ 関祥行の各氏、御鞭撻頂いた当所 武田所長、御討論頂いた当研究室 阿知葉征彦、石倉和夫の両氏に対し深謝します。

(昭和60年3月1日受付、昭和60年6月25日最終受付)

〔参 考 文 献〕

- 1) K. Lucas, M. D. Windram: "Direct Television Broadcast by Satellite, Desirability of a New Transmission Standard", IBA E & D Report, **116**, 81 (Sept., 1981)
- 2) R. N. Jackson, S. L. Tan: "System Concept in High Fidelity Television", IEE Conference Publication, 220, pp. 135-139 (1982)
- 3) R. H. McMann, A. A. Goldberg, et al: "A Two Channel Compatible HDTV Broadcast System", IEEE Broadcast Symposium (Sept., 1983)
- 4) C. P. Sandbank, M. E. B. Moffat: "High-Definition Television and Compatibility with Existing Standard", in Tomorrow's Television SMPTE, New York (1982)
- 5) T. S. Rzeszewski: "A Compatible High-Definition Television System", Bell Syst. Tech. J., **62**, 7, pp. 2091-2111 (Sept., 1983)
- 6) 吹抜, 平野: "完全交信性を有する高精細 TV 方式の提案", 信学技報, CS 83-61 (July., 1983)
- 7) T. Fukinuki, Y. Hirano: "Extended Definition TV Fully Compatible with Existing Standards", IEEE Trans., **COM-32**, 8, pp. 948-953 (Aug., 1984)
- 8) T. Fukinuki, Y. Hirano, H. Yoshigi: "Experiments on Proposed Extended-Definition TV with Full NTSC Compatibility", SMPTE J., **93**, 10, pp. 923-929 (Oct., 1984)
- 9) E. Dubois, M. S. Sabri, J. Y. Ouellet: "Three-Dimensional Spectrum and Processing of Digital NTSC Signals", SMPTE J., **91**, 10, pp. 372-378 (Oct., 1982)
- 10) 吹抜, 平野: "ゾーンプレートによる3次元周波数特性の直視", 第15回画像工学コンファレンス, **12**, 2 (1984)
- 11) J. O. Drewery: "The Filtering of Luminance and Chrominance Signals to Avoid Cross-colour in a PAL Colour System", BBC Eng., pp. 8-39 (Sept., 1976)
- 12) 平野, 吹抜, 吉木: "完全交信性を有する高精細 TV 方式の3次元信号処理", 昭59信学大全, S 14-11, 12 (1984)
- 13) G. J. Tonge: "Three-Dimensional Filter for Television Sampling", IBA E & D Report, **117**, 82 (1982)
- 14) 平野, 吹抜, 吉木: "完全両立性を有する EDTV 信号方式—その2 動き適応特性を有する原理モデルの試作—", テレビ誌, **39**, 10 (Oct., 1985)