EDTV 方式における高彩度画質の解像度低下 に対する補償方式

正会員 湯 山 一 郎[†], 正会員 栗 田 泰市郎[†]

あらまし 現行 NTSC 方式では、受像機の CRT のガンマ補正を送像側で行っているため、被写体の輝度情報の一部が輝度信号だけでなく色信号によっても伝送されている。この色信号に対し帯域制限がなされているため定輝度原理が満たされず、高彩度画像で輝度のディテール再生の低下を引き起こしている。

本論文では、このディテール低下に対し送像側で補償を行う方式を提案し、その特性を解析した。これらの方式を現行放送の画質改善方式(EDTV 方式)としてハードウェアにより実験し、本方式がスタジオ番組、スポーツ番組などではある程度の効果が期待できることを確認した。

1. ま え が き

現行のテレビ放送の画質を飛躍的に改善し、新たな映像サービスを提供する方式として、ハイビジョン放送が期待されている。一方、NTSC 方式は制定以来 30 年以上を経過し、情報化社会のなかで基幹的マスメディアの地位を確保しているが、テレビ受像機の大形化などの技術の進歩に伴ない、高画質化の要求が高まってきている。現行 NTSC 方式と両立性を保ちつつ、画質改善を図る EDTV 方式は現在、電気通信技術審議会および BTA (放送技術開発協議会) で方式の審議が行われている。ここで、本論文の EDTV としての位置づけを述べる。

筆者らは、EDTV を番組制作者から受信者までの一貫した放送システムとして捉える立場から、画質改善の各種の方式の検討を行ってきた。その結果、まず画質改善には、受像機側での動き適応 3 次元 YC 分離、3 次元順次走査変換方式¹⁾²⁾が最も寄与すること等が確認できた³⁾。

次に、NTSC 方式において、受像機に 3 次元 YC 分離と 3 次元順次走査変換が装備されている場合、静

止画では理論的には輝度信号鮮鋭度は、若干水平方向の帯域が垂直に比較して少ない⁴⁾とされているが、評価実験の結果⁵⁾では輝度信号のみ水平解像度を増強しても効果が少ない。また動画を含む一般の番組では、動き部分に対しては輝度高域成分の多重を停止することもあって、期待されるほどの効果が得られない。現行放送の改善方式に関する多くの研究が輝度の高域成分の伝送に集中しているが、真に画質を改善するためには、輝度信号の帯域拡大だけでは不充分であることが判明した。

さらに、NTSC 方式はモノクローム方式との両立性を保ち、同一伝送帯域に色情報を多重しようとしたため、色信号の伝送に関して幾つかの問題点がある。

その第一は、色信号を輝度信号の高域部に周波数多重して伝送しているため、色信号と輝度信号の混信(クロスカラー、クロスルミナンス)が生じることである。これに対しては、3 次元の YC 分離を行うことで、かなりの改善が期待できるが、画素ごとの動き適応処理を必要とし、それによる画質劣化が問題となる。基本的には、TCI (Time Complex Integration) よる分離伝送が望ましい。

第 2 には、NTSC の色度軸はミドルトンとホルムズの実験により、広帯域色度軸として I 軸を決め、それに直交する軸として Q 軸を定めた⁶⁾とされている。すなわち、 Q 軸は視覚上の真の狭帯域軸ではない。その後の実験⁶⁾によると視覚上の広帯域軸、狭帯域軸

[†] NHK 放送技術研究所

"Compensation Methods for Detail Reproduction of Highly Saturated Color Picture in EDTV System" by Ichiro Yuyama and Taiichiro Kurita (NHK Science and Technical Research Laboratories, Tokyo)

は I, Q 軸とは、ずれている。真の広帯域軸は $R-Y$ 軸に近い赤-シアン方向、狭帯域軸は $B-Y$ 軸に近い黄-青方向であること、さらに、色度の所要帯域（色にじみの検知限周波数）は、視距離 $4H$ に対して赤-シアン方向で約 1.8 MHz 、黄-青方向では約 1.2 MHz であることが明らかになった¹⁹⁾。また、 Q 信号の帯域は視覚実験で決められたものではなく、カラーサブキャリアの周波数と放送機の映像帯域の関係により定められている。したがって、特に Q の帯域は不足している。これに対しては、色信号高域成分のフィールド順次伝送⁷⁸⁾ないし、PAF (Phase Alternating Field) 伝送方式⁸⁹⁾により改善することが可能である。

第3は、受像機の CRT のガンマ特性の補正を送像側で行い、かつ伝送路で色信号帯域を制限しているため、色の濃い高彩度画像の輝度解像度が劣化している問題であり、NTSC の制定当初より指摘され、その改善法も提案されていた¹⁰⁾¹¹⁾。しかし、従来の受像側ではクロスカラー、クロスルミナンスのため、改善効果が十分に現れず、方式として採用されていなかった。受像機に3次元 YC 分離回路を装備し、クロスカラー、クロスルミナンス妨害を除去できるようになった結果、十分な改善効果を得ることができるようになった。特に現行放送サービスを維持しながら両立性を保って画質を改善する方式（日本では EDTV 方式と称している）のように、すでに放送局側、受像機側とも巨額の投資がなされている状態での画質改善を考えた場合、第3の問題の解決による改善は経費対効果の面からも重要である。本論文ではその補償方式を提案し、その特性について論じる。

2. 現象およびその補償に対する考え方

高彩度画像の輝度解像度が劣化する現象は、定性的には次のように説明できる。

撮像管の出力は、現在の撮像管の特性が線形であるので被写体の輝度情報を正確に伝えている。しかし、その出力はガンマ補正という非線形処理を受けた後、マトリックス回路により R, G, B から Y', I, Q へ変換されるため、被写体の輝度情報は伝送輝度信号 Y' だけでなく色信号 I, Q によっても伝送される。 Y' 、および I, Q 信号が被写体の輝度情報を伝える割合は、高彩度画像になるほど I, Q の受け持つ比率が大となり、例えば、赤単色の画像では Y' 信号の受け持つ割合が 30% であるのに対し色信号の受け持つ割合が 70% と、大部分の輝度情報が色信号で送られている。

しかし、この色信号は 0.5 ないし 1.5 MHz 以上の成分が帯域制限を受けているため、色信号で送られる

輝度情報のうち、色信号伝送周波数以上の輝度情報が失われ、大幅な解像度劣化を引き起こしている。

筆者らはすでに、この問題に対し受像機側でガンマ補正を行うことで、画質改善と色信号の帯域節減が図れることを示した¹²⁾。しかしながら、EDTV 方式としては、現行 NTSC 方式との両立性を保つ意味から送像側でガンマ補正を行う必要があり、送像側での前置補償が必要になる。

この現象に対する補償の方式としてすでに幾つかの提案がある^{13)~16)}。

ひとつの考え方は、受像機での信号処理特性を送像側でシミュレートし、再生される輝度情報を被写体の輝度情報と比較し、不足する輝度情報を従来の輝度信号に付加して伝送することによりディテール特性を改善しようとする考え方に基づく方式である^{13)~15)}。この考え方による補償方式では、回路構成がやや複雑になり、また、これらのうち割り算回路を必要とする方式では、この回路の不安定性に対する配慮が必要である。

また、文献 16) で提案されている方式（「高彩度部輝度高域補強方式」と略す）は、線形系で輝度信号 Y （被写体の輝度成分に相当する）を作り、その高域成分を従来の伝送輝度信号 Y' の高域成分と比較して不足する輝度情報を Y' に加えて伝送することで解像度劣化を補償しようとするものである。

今回提案した方式の考え方を説明する。

まず第1の方式「高域信号無彩色方式」は、従来の方式、後述する「高彩度部輝度高域付け替え方式」とも、輝度信号に着目して輝度信号より補正信号を作り補償を行う方式であるのに対し、輝度信号と色信号で伝送する輝度情報の割合を変えることで補償を行おうとするものである³⁾¹⁷⁾。

すなわち、輝度の解像度劣化が生じるのは高彩度画像だから、問題の色信号帯域以上の成分についてはモノクローム信号にすれば、このような問題は生じないとして、あらかじめ色信号帯域以上の不要な色信号成分を線形の領域で取除く方法である。この方式では、3章で解析するように高彩度部分での改善効果が大きく、また I, Q 信号の伝送帯域の違いに対応できる。

第2の方式「高彩度部輝度高域付け替え方式」は、従来の方式が受像機での処理特性を送像側でシミュレートすることにより系が複雑になることを改善し、高域信号の再生特性を 1 に近づけるため、線形系で輝度信号 Y （被写体の輝度信号に相当する）を作り、その高域部分を従来の伝送輝度信号 Y' の低域成分により制御して、従来の輝度信号の高域成分と付け替えること

で解像度劣化を補償しようとするものである。これと類似の考え方による補償方式としてすでに提案¹⁴⁾があるが、輝度再生特性は従来の NTSC 方式の特性を上回るものの、例えば、赤色の飽和度 100% の画像に対し 4 dB 以上被写体輝度より小さく改善効果が少ない。今回提案する「高彩度部輝度高域付け替え方式」は、原理的に被写体輝度を完全に再現することができる。

これらの方式間の比較については 4 章で述べる。

3. 高彩度画像輝度高域補償方式および特性

3.1 「高域信号無彩色方式」

図 1 に、提案する「高域信号無彩色方式」の送像側ガンマ補正による高彩度画像の解像度補償回路を含めたカラーテレビの送受信系統の概念図を示す。

カラーテレビ系では、カメラの撮像管の R, G, B 3 原色出力に対する受像機の CRT の R, G, B 発光出力で系の特性を記述できる。また、伝送路で色信号が帯域制限を受けていることを考慮し、系統の各段階における信号を色信号帯域 f_c を境に 3 つの低減成分 (例えば x_{L1}) と 3 つの高域成分 (例えば x_{H1}) に分けて考える。図中の $\bar{x}$ 等は 3 成分 (カメラの撮像管の 3 原色出力 R, G, B や伝送路での輝度 Y と 2 つの色信号 I, Q 等) を持つベクトルを表し、また、ガンマ補正は $\bar{x}^r$ で次式のように表す。

$$\bar{x} = \begin{bmatrix} x_{L1} + x_{H3} \\ x_{L2} + x_{H3} \\ x_{L3} + x_{H3} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} \quad \bar{x}^r = \begin{bmatrix} x_1^r \\ x_2^r \\ x_3^r \end{bmatrix} \quad (1)$$

また、受像機側マトリックスの係数は、送像側のマトリックスの係数 $M = (m_{ij})$ に対し、完全に逆変換が成り立つとし $M^{-1} = (l_{ij})$ で示す。実際には受像機側での一種の「絵づくり」のため逆変換が成り立たない場合もある。また、視覚の 3 原色から輝度への重み付け係数と送像側マトリックスの第 1 行の係数は一致しているものとして扱う。

図 1 高彩度画像の解像度補償方式 (高域信号無彩色方式)

Compensation system 1 for detail reproduction of of highly saturated color pictures.

ところで、従来の送像側ガンマ補正の場合は図 1 において、付加補償回路がない場合に相当し、文献 12) で示されるように CRT の 3 原色発光出力 $\bar{x}_D$ は、

$$\bar{x}_D = (M^{-1}(F \cdot M \cdot \bar{x}^r))^r \quad (2)$$

となる。ただし、 F は伝送路の周波数特性、 $\gamma=1/I^r$ は CRT のガンマの値を示す。送像側ガンマ補正方式では色信号帯域以下の被写体輝度情報は正しく再生できる。被写体輝度の高域成分 Y_H に対する再生輝度の高域成分 Y_{DH} の比 (高域伝送特性) p は、

$$p = \frac{Y_{DH}}{Y_H} = \frac{\sum_{k=1}^3 m_{1k} x_{Lk}^{1-r} \sum_{i=1}^3 m_{1i} x_{Hi} x_{Li}^{r-1}}{\sum_{i=1}^3 m_{1i} x_{Hi}} \quad (3)$$

と表される。

この p の値は、カメラの出力信号が無彩色信号 ($x_{L1}=x_{L2}=x_{L3}$) のときであり、被写体輝度が完全に再生されることを示す。また最も小さくなるのは、青単色の画像 ($x_{L1}=x_{L2}=0, x_{L3}=B, x_{H1}=x_{H2}=0, x_{H3}=b$) で $p=m_{13}=0.11 \approx -20$ dB となる。 p の値は、 x_L, x_H の 6 つの変数により変化し、一般的には 1 にはならない。

同文献によれば、高彩度画像のように高域成分が 3 原色のうち 1 つの成分しかない場合や、3 原色の高域成分と低域成分の比率が、どの 3 原色でもほぼ等しい場合には p の値が 1 より小さくなり、ディテールの再現特性が低下することが示されている。

一方、3 原色の高域成分がほぼ等しい ($x_{H1}=x_{H2}=x_{H3}$) の場合には、低域成分にかかわらず p の値が必ず 1 より大きくなることが示されている。

本提案の「高域信号無彩色方式」はこの現象を利用したもので、高彩度画像のように高域成分が 3 原色単色の場合でも、補償回路により f_c 以上の 3 原色成分をあらかじめ等しくしてから従来のエンコーダに送ることにより、ディテールの劣化を生じないようにしたものである。

補償回路の線形輝度信号 Y および線形色信号 C_1, C_2 に対する周波数制限を伝送路周波数特性 F と同様にした場合、色信号帯域を f_c として、

$$F = \begin{cases} E & \dots\dots\dots f < f_c \text{ の信号に対し} \\ \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} & \dots\dots\dots f > f_c \text{ の信号に対し} \end{cases} \quad (4)$$

である。ただし、 E は単位行列を示す。

$$M^{-1} \cdot F \cdot M = \begin{cases} E & \dots\dots\dots f < f_c \\ Q & \dots\dots\dots f > f_c \end{cases} \quad (5)$$

ただし、 $Q = (q_{ij}) = (l_{ij} \cdot m_{ij})$

と表せるから、この補償回路出力 ($\bar{x}'$) は、

$$\begin{aligned}\bar{x}' &= M^{-1} \cdot F \cdot M \cdot \bar{x} \\ &= E \cdot \bar{x}_L + Q \cdot \bar{x}_H \\ &= \bar{x}_L + Y_H\end{aligned}\quad (6)$$

と表される。

Y_H は被写体の輝度高域成分で、

$$Y_H = \sum_{i=1}^3 m_{Li} x_{Hi} \quad (7)$$

である。ガンマ補正回路出力 $\bar{x}^{\Gamma}$ は、 $x_{Li} \gg Y_H$ の条件下で、

$$\bar{x}^{\Gamma} = \bar{x}_L^{\Gamma} + \Gamma \bar{x}_L^{\Gamma-1} Y_H \quad (8)$$

であり、よって受像機の逆マトリックス出力 $\bar{x}_c$ は、

$$\bar{x}_c = E \cdot \bar{x}_L^{\Gamma} + Q \cdot \bar{x}_H^{\Gamma} = \bar{x}_L^{\Gamma} + y' \quad (9)$$

となる。ただし、

$$y' = Y_H \Gamma \sum_{k=1}^3 m_{Lk} x_{Lk}^{\Gamma-1} \quad (10)$$

である。したがって、受像機 CRT の RGB 発光出力 $\bar{x}_D$ および発光輝度 Y_D は $x_{Li} \gg y'$ の条件下で、

$$\bar{x}_D = \bar{x}_L + Y_H \bar{x}_L^{\Gamma-1} \sum_{k=1}^3 m_{Lk} x_{Lk}^{\Gamma-1} \quad (11)$$

$$Y_D = \sum_{k=1}^3 m_{Lk} x_{Lk} + Y_H p \quad (12)$$

$$\begin{aligned}p &= \sum_{k=1}^3 m_{Lk}^2 + m_{L1} m_{L2} (U+1/U) \\ &\quad + m_{L2} m_{L3} (V+1/V) + m_{L1} m_{L3} (W+1/W)\end{aligned}\quad (13)$$

ただし、 $U = X_{L2}/X_{L1}$, $V = X_{L3}/X_{L2}$, $W = X_{L3}/X_{L1}$ である。

Y_D の第 2 項は再生される輝度の高域成分を示しており、 $U+1/U > 2$ であるから、常に被写体輝度の高域成分 y より小さくなることはないことが示された。すなわち、この方式によれば、背景色にかかわらず、輝度高域成分の伝送特性が低下することはない。

図 2 輝度高域成分再生特性
Detail characteristics of systems.

以上の解析は、各 RGB 信号の高域成分が低域成分より充分小さいとして検討したものであるが、RGB 各単色の場合について同様の検討を行い、例えば、白色から赤単色に変化する場合について高域成分の伝送特性を図 2 に示す。なお当然のことであるが、この特性は図 1 の付加補償回路の線形色信号に対する LPF の減衰量を変化させることにより調整できる。すなわち、図 1 の回路で遅延線 DL の出力を選択すれば、従来の NTSC 方式の特性になる。図 2 に LPF の減衰量が 20 dB と 10 dB の場合の特性を示した。補償回路の線形色信号として I , Q を用いることができるのは当然であるが、色差信号 $R-Y$, $B-Y$ を用いればハードウェアの簡易化が図れる。

3.2 「高彩度部輝度高域付け替え方式」

まず、受像機の CRT のガンマ補正を送像側で行うテレビ系で、被写体の輝度ディテールを再生するために必要な伝送輝度信号の条件を考える。

図 3 で Y'' , I , Q は輝度伝送信号、伝送色信号であり、 I , Q は帯域制限されているため低域成分のみが存在する。 Y'' の低域成分を Y_L'' 、高域成分を h とする。この伝送輝度高域成分 h が、被写体の輝度高域成分 Y_H といかなる関係にあれば CRT の管面上の輝度高域成分 Y_{DH} が被写体輝度高域成分 Y_H と等しくなるかを考える。

従来の NTSC 方式でも、低域成分に関しては被写体の輝度レベルが再生されるので Y'' の低域成分に関しては、従来の輝度信号の低域成分を伝送すればよい。すなわち、

$$Y_L'' = Y_L' = \sum_{k=1}^3 m_{Lk} X_k^{\Gamma} \quad (14)$$

である。

受像機のマトリックス出力の RGB 出力 $\bar{x}_c$ は、

図 3 高彩度画像の解像度補償方式 (高彩度部輝度高域付け替え方式)

Compensation system 2 for detail reproduction of highly saturated color pictures.

図4 高彩度画像の解像度補償方式 (高彩度部輝度高域補強方式)

Compensation system 3 for detail reproduction of highly saturated color pictures.

$$\bar{x}_c = M^{-1} \begin{bmatrix} Y'' \\ I \\ Q \end{bmatrix} = M^{-1} \cdot M \cdot \bar{x}_L + \begin{bmatrix} h \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad (15)$$

となり, CRT の発光出力 $\bar{x}_D$ は, $h \ll X_k$ として,

$$\bar{x}_D = (\bar{x}_c)^T = \bar{x}_L + \gamma h \bar{x}_L^{1-\Gamma} \quad (16)$$

よって, 発光輝度 Y_D は,

$$Y_D = \sum_{k=1}^3 m_{ik} X_{Dk} = Y_L + Y_{DH} \quad (17)$$

となる. ただし, $Y_{DH} = \gamma h \sum_{k=1}^3 m_{ik} X_k^{1-\Gamma}$ である.

したがって, 発光輝度の高域成分が被写体輝度の高域成分に等しくなる条件は,

$$(Y_{DH} = \gamma h \sum_{k=1}^3 m_{ik} X_k^{1-\Gamma}) = (Y_H = \sum_{k=1}^3 m_{ik} x_k) \quad (18)$$

であり, 輝度伝送信号の高域成分 h として,

$$h = Y_H / \gamma \sum_{k=1}^3 m_{ik} X_k^{1-\Gamma} \quad (19)$$

とするならば, 発光輝度は被写体輝度に等しくなる. この条件に合致する方式の回路構成は若干複雑であり, 構成の簡易化として CRT のガンマを $\gamma=2$ と考えれば, $1-\Gamma=\Gamma$ であることから h は,

$$h = Y_H / \gamma \sum_{k=1}^3 m_{ik} X_k^{\Gamma} = Y_H / \gamma Y_L^{\Gamma} \quad (20)$$

とすればよく, 図3の構成が考えられる. この構成では CRT のガンマを $\gamma=2$ と考えた時のみ再生特性が1となる. 図2に $\gamma=2.2$ の場合の再生特性を示したが, 各彩度に対しほぼ1 dB 以内に納まっており, 実用上は図3の回路構成で充分なことがわかる.

なお, ハードウェアで同時に実験を行った「高彩度部輝度高域補強方式」については, 図4にその構成を示し, その特性を図2に示した.

4. 受像機側の問題点

4.1 色信号の復調と VSB 補償

本論文で論じている高彩度画像は従来の受像機では, クロスカラー, クロスルミナンスを生じ易い画像であり, 従来は, その部分のディテール補償を行ってもクロスカラー, クロスルミナンスの存在のため効果が少なかった. これが NTSC 制定時から提案されていた各種の補償方式が実施されなかった理由のひとつである. この補償効果を十分に現すには, 受像機側としてフレームメモリーを用いた3次元YC分離方式により輝度信号と色信号を完全に分離することが必要である.

また現行の NTSC 方式では, 色信号の伝送方式として 3.58 MHz のカラーサブキャリヤを I, Q 信号で直交2相変調しているが, 放送機の映像帯域が 4.2 MHz に制限されているため, I 信号の 0.5 MHz 以上の成分は 0.5 MHz 以下の成分に比較して 1/2 のレベルしか伝送されない. これに対し 0.5 MHz 以上の I 信号成分を送像側ないしは受像側のいずれかで補強し補償を行う必要がある. 送像側で補強を行う方式は, 伝送路のノイズによる影響を受けない点および受像機コストの面で有利であるが, BTA の調査では既存の一部の受像機でクロスカラー, クロスルミナンスの増加がみられた. それ故, 受像側で補償を行う必要がある. 従来の受像機の構成ではアナログ回路を用いており, I, Q 信号に対するフィルタの帯域差から生じる遅延量の差やコストの面から補強は行われていない. EDTV 受像機の場合, デジタル信号処理が導入されるので, 補償はフィルタの係数を変更するだけで実施できる. 伝送路のノイズに対する影響を検討した結果, ノイズの主観的な増加は I 信号の高域を 6 dB 補強した場合でも約 1.5 dB 程度に収まることがわかった.

高彩度画像輝度高域補償方式としては, 上記のように受像機の再生特性が従来の受像機, EDTV 受像機さらに VSB 補正を行う受像機により異なるため, 各種受像機の普及状況にあわせて, 改善特性を変化させることが望ましい.

4.2 黒レベル浮き上がりの対策

筆者らは, すでに図5で示した赤地を背景に色信号帯域より細い黒の縦線が描かれているような被写体の場合には, 低域成分のレベルと高域成分のレベルがほぼ等しく, CRT のカットオフ特性のため, 黒レベルが浮き上がって画質劣化を生じることを指摘した¹²⁾. 本論文で提案したように, 送像側で高彩度画質のディ

図 5 高彩度画像と補償された輝度信号
Compensated luminance signal of black stripe in highly saturated color picture.

図 6 輝度信号黒レベル制限と黒浮き上がり
Flare-like reproduction of black stripe and black level clip for luminance signal.

図 7 黒浮き上がりの補償回路
Compensation method for flare-like reproduction of black stripe.

テール補償を行った場合、補償回路出力の輝度信号のレベルは図に示したようにペダスタルレベル以下となる。伝送路で輝度信号の黒レベルに対し制限がなされなければ受像機の再生輝度はペダスタルレベルとなり、黒の浮き上がりを生じない。実際には EDTV 方式では NTSC 方式と同様、負極性同期信号を用いているため、適当なレベルで制限を行う必要がある。図 6 は、この制限レベルと再生輝度の黒レベル浮き上がり量の関係の一例を示したものであり、高彩度画像輝度高域補償方式により NTSC 方式よりも黒レベル浮

き上がりが小さくなることわかる。受像機側でこの現象に対応する方法として、いくつかの手法が提案¹²⁾²⁰⁾されているが、図 7 はそのための受像側での処理方法の一例であり、受像機で輝度信号レベルが一定レベルより小さい場合には、色信号レベルにかかわらず RGB をすべてペダスタルレベルに固定することで黒浮き上がりを解決する。シミュレーション実験によりその効果を確認したが、伝送路ノイズの影響など動作の安定性などについては今後検討を行う予定である。

5. 各方式の特性比較

5.1 高域成分の再生特性とゲイン調整の可能性

実際の運用では、高彩度部分の補償量を“絵づくり”の観点から調整したいという要望がある。この場合、高彩度部分のゲイン調整結果が無彩色部分の変化にまで及ぶと画像全体の“絵づくり”が変わり、望ましくない。

「高域信号無彩色方式」は本論文で解析したように、高彩度部分での輝度高域成分の再生特性は常に 1 より大であることが証明されている。この方式では図 2 に示したように、線形色信号のローパスフィルタの減衰量を調整することで無彩色部分に影響を及ぼさずに再生特性を制御できる。

「高彩度部輝度高域付け替え方式」では、再生特性を実用上 1 とすることができる。この方式ではゲインを調整すると無彩色部分の特性も変化するため、特性を変化させるのは困難である。しかし、再生特性そのものが平坦であるので、実際にはゲイン調整の必要性が少なく、問題はないと考えられる。

「高彩度部輝度高域補強方式」では、無彩色部分に影響を及ぼさずにゲインの調整で再生特性を 1 に近づけることができる。実際にハードウェアによる実験では、ゲイン 1 では画質改善度が不足であり、ゲイン 4 ではノイズの増加がみられ、実用上はゲイン 2 が適当と考えられた。

5.2 I, Q 信号の帯域差への対応

現行の NTSC 方式では、送像側からは I, Q 信号をそれぞれ 0.5 MHz, 1.5 MHz の帯域で送出している。現行のほとんどの NTSC 受像機では、色信号の復調帯域を 0.5 MHz 以下の等帯域にとっており、 f_c として 0.5 MHz を用いればよい。しかし、EDTV 受像機では送られてきた信号を完全に復調して画質改善を行うため、I 信号に対しては 1.5 MHz, Q 信号に対しては 0.5 MHz の復調を行うことが期待されている。

「高域信号無彩色方式」では、補償回路の線形色信号の2つのローパスフィルタ特性をそれぞれ I 、 Q 信号の伝送特性に合わせることで、この帯域の違いを補償できる。また、EDTV 受像機が普及するまでは、2つのローパスフィルタの帯域を 0.5 MHz とし、EDTV 受像機が普及した段階で漸次 0.5 MHz、1.5 MHz の帯域に移行することも可能である。

「高彩度部輝度高域付け替え方式」や「高彩度部輝度高域補強方式」では、補強する輝度高域信号として、輝度信号の高域成分を1つのハイパスフィルタで取出すため、 I 、 Q の帯域の違いを補償できない。例えば、ハイパスフィルタの遮断帯域を 1.5 MHz とするならば、0.5 MHz から 1.5 MHz の領域は改善が不足する。ただし、この問題は将来色信号帯域を I 、 Q と同等帯域にする方式を採用した場合には解消される。

6. 実験結果および考察

高彩度部の輝度高域成分の補償方式として、補償量

写真 1 従来の方式による高彩度画像の再生
Picture obtained by NTSC system.

写真 2 提案方式による高彩度画像の再生
Picture obtained by EDTV system with compensation system 1.

の最も多い「高域信号無彩色方式」および最も少ない「高彩度部輝度高域補強方式」をハードウェア化し、改善効果を調べた結果、

- (1) 図 2 に示したように、高彩度画像での輝度解像度特性が従来方式に比べて改善され、3 次元 YC 分離方式を装備する EDTV 受像機²¹⁾では、両方式ともスタジオ番組やスポーツ中継の画像など、色の濃い部分について改善効果が得られる(写真 1、写真 2)。現行 NTSC 受像機に対しては、受像機によっては若干クロスカラーの増大がみられる機種もあったが、鮮鋭度の向上が認められた。
- (2) 補償方式は画像の中の高彩度部分についてのみ処理を行うため、他の部分のノイズ増加を招くことが少ない、また、改善部分についても従来は色信号によって伝送されていた輝度情報を Y 信号により伝送するので、本質的にノイズの増加を生じない。
- (3) 本方式で改善される部分は他のアパーチャ補正、イメージエンハンサや輝度解像度向上方式では改善が困難な部分であり、相互に補完的な関係にある。また他の、輝度および色信号帯域拡大方式¹⁸⁾⁸⁾を用いる場合でも、本方式と複合して処理を行った方が改善効果が大きいの

ことが観察の結果確かめられた。

7. む す び

現行 NTSC 方式の画質改善を図る EDTV 方式として、送像側ガンマ補正による高彩度画像の輝度解像度低下に対する補償方式について検討した。

EDTV としては、送像側が充分高画質なカメラを用い、受像機側で 3 次元 YC 分離、3 次元順走査変換方式により送られてきた信号を完全に復調すること、すなわち NTSC の規格を完全に使い切ることが重要である。

今回、報告した方式は、送像側での改善手法のひとつであり、スタジオ番組などにおいて画像の高彩度部分で画質改善のある程度の効果が期待できる。

最後に、この研究と発表の機会を与えていただいた前 NHK 放送技術研究所長 大川理事、NHK 放送技術研究所 杉本所長、沢辺研究主幹、元木視覚情報研究部長、適切な助言をいただいた日下主任研究員、西澤テレビ方式部長に感謝の意を表す。

(1989 年 1 月 20 日受付、1989 年 3 月 20 日再受付)

〔参 考 文 献〕

- 1) 西沢：“二つのビームを同時走査する高精細表示方式”，NHK 技研月報，**14**，5 (Mar., 1971)
- 2) 西沢，田中：“フレームメモリーを用いたインターレース走査画像の順次走査画像への変換”，信学技報，IE 82-6，pp. 39-46 (Apr., 1982)
- 3) 湯山，西澤：“EDTV 方式の一考察”，昭 62 信学総全大 1170，5-66 (1987)
- 4) S. C. Hsu：“The Kell Factor: Past and Present”，SMPTE J., pp. 206-214 (Feb., 1986)
- 5) 若林，河合：“カラーテレビにおけるコンポーネント信号帯域幅と画質との関係に関する検討”，NHK 技術研究，**36**，2，pp. 82-91 (1984)
- 6) 坂田，磯野：“視覚の色度空間周波数特性(1)”，テレビ学会視覚情報研資，31-1 (Sep., 1979)
- 7) 栗田ほか：“EDTV における色信号帯域拡大の特性”，テレビ全大，13-6 (1987)
- 8) 栗田，湯山：“NTSC 色信号の帯域拡大方式”，テレビ学会画像通信システム研資，**12**，10，pp. 7-12，ICS' 88-25 (Feb., 1988)
- 9) 藤尾：“現行テレビ系の問題点と高品位テレビ方式(II)—信号方式とその伝送—”，信学技報，IE 76-78 (Feb., 1977)
- 10) W. F. Bailey：“The Constant Luminance Principle in NTSC Color Television”，Proc., IRE，**42**，1，pp. 60-66 (Jan., 1954)
- 11) 藤尾：“現行テレビ系の問題点と高品位テレビ方式”，信学技報，IE 76-9 (Mar., 1976)
- 12) 湯山，矢野：“高品位テレビにおける受像側ガンマ補正方式の一考察”，信学論，**J69-A**，3，pp. 391-399 (Mar., 1986)
- 13) J. R. Chatten：“Transition Effects in Compatible Color Television”，Proc. IRE., **42**，221 (1954)
- 14) 杉森ほか：“EDTV に関する実験報告，その 1”，テレビ学会研資，**12**，10，pp. 19-24，TEBS 113-4 (Oct., 1986)
- 15) 守田，高橋：“高彩度画像の解像度補償方式”，ITEJ，**11**，15，pp. 31-36，TEBS '87-20 (Sep., 1987)
- 16) 藤尾：“ディテール補正方式”，特公昭 63-24596
- 17) 湯山ほか：“EDTV における高彩度画像ディテール補正の特性”，テレビ全大，13-5 (1987)
- 18) 本田ほか：“EDTV における輝度信号帯域拡大の特性”，テレビ全大，13-7 (1987)
- 19) 磯野，坂田，日下：“カラー画像における色にじみの見え方”，NHK 技研月報，**21**，11 (Nov., 1978)
- 20) 吉木，重佐，吹抜：“受像側における高彩度画像の画質改善”，テレビ全大，13-2 (1987)
- 21) 電気通信技術審議会 EDTV 委員会資料 35-36，“EDTV 方式検討報告書”(1989)

ゆやま いちろう

湯山 一郎 昭和 45 年，東京大学工学部電気工学科卒業。同年，NHK に入局。50 年より，同放送技術研究所にて高品位テレビのシステム設計，伝送方式，信号処理，視覚心理の研究に従事。現在，EDTV の開発，立体テレビ等新画像システムの研究に従事。正会員。

くりやま たいしろう

栗田泰市郎 昭和 55 年，慶応義塾大学大学院修士課程修了。同年，NHK に入局。59 年より，同放送技術研究所テレビ方式研究部にて，テレビジョン画像処理技術の研究に従事。正会員。

Some Considerations about the Optimal Color Presentation of the VDT

by Takeshi Nishimura and Kazunari Morimoto

Changes of impressions and degree of fatigue and performance were investigated to determine the optimal color presentation of the VDT. In these experiments green and white letters in the negative presentation mode and four kinds of white background colors in the positive presentation mode were used. These colors were evaluated by five male observers. They engaged in VDT work an hour a day for six weeks. CFF was measured before and after the work, and questionnaire surveys of impressions for the presented colors were also carried out. The following results were obtained. Although the preference impression grew worse after the work with both presentation modes, the degree of preference before the work with negative modes was higher and more stable than with positive modes. However, the degree of fatigue after the work with the positive modes was less than that of the negative modes. Performances in the positive modes were slightly higher than in the negative modes.

J. Inst. TV Engrs. of Japan, Vol. 43, No. 7 (1989) 707~713

Basic Study on Objective Evaluation of Psychological Effect Induced by a Wide Screen Display

by Mitsuho Yamada and Tadahiko Fukuda

To obtain basic data about the psychological effect of a wide-display, a head and eye-movement analyzer was developed and Eye-Head coordination during saccadic tracking of movements was analyzed. The experiments were done in two ways, using boards with large and small viewing angles as targets. With a large viewing angle, when the target was moved consistently, the angular head displacement increased by more than five degrees, and 65% more than ten degrees. On the other hand, when the target was moved at random, it increased to sixty degrees and reached 65%. With a small viewing angle, when the target moved consistently, the proportion of angular head displacement increased with the movement of the angle of the target. But when the target was moved at random, it showed a minimum value. This suggests that there is a difference in the viewing attitude for large and small viewing angles.

J. Inst. TV. Engrs. of Japan, Vol. 43, No. 7 (1989) 714~722

"Compensation Methods for Detail Reproduction of Highly Saturated Color Picture in EDTV Systems"

by Ichiro Yuyama and Taiichiro Kurita

In conventional television systems, such as NTSC, gamma correction takes place at the transmitter, with the result that some of the luminance of a subject is conveyed by the chrominance channels as well as by the luminance channel. The band-limitation of the chrominance channels affects reproduction of detail and saturated color pictures less detailed. In this paper, pre-compensation methods are proposed and their characteristics are analyzed. These methods have been tested by hardware, showing some amount of improvement for indoor programs or athletic programs. These methods have been proposed by the BTA (Broadcasting Technology Association) and by the Telecommunications Technology Council as the technologies of EDTV systems of Japan.

J. Inst. TV. Engrs. of Japan, Vol. 43, No. 7 (1989) 723~730