NTSC 方式と互換性のある信号多重方式 における現行受像機への妨害抑制方法

正会員 蓼 沼 眞[†], 正会員 鈴木 正 一[†]
矢 島 亮 一[†], 正会員 田 中 豊[†]

A Method of Reducing Disturbance in Existing Receivers Caused by Multiplexed Signals Compatible with the NTSC Standard

Makoto Tadenuma[†], Shoichi Suzuki[†], Ryoichi Yajima[†] and Yutaka Tanaka[†]

Abstract : In a television system in which detail information is multiplexed with a carrier and transmitted on a NTSC channel, the picture-quality on existing receivers is degraded by the disturbance caused by the multiplexed component.

A "shuffling" method by which the phase of the multiplexing carrier is shifted on a line and field basis is proposed to reduce the disturbance. The locations of the carriers with various shift patterns in three-dimensional frequency space and the characteristics of the human visual system are discussed.

Subjective assessment tests are carried out in order to select the best shift pattern. As a result, the method using the most suitably shuffled carrier reduces the disturbance to less than 50% for ordinary scenes and 38% for some particular scenes.

1. ま え が き

米国の FCC では、NTSC 方式との互換性あるいは設備の共用性を有する次世代テレビ (ATV: Advanced Television) について審議を行っているが、NHK はこれに対し、NTSC 信号互換の NTSC-Compatible MUSE-6、これに 1/2 チャンネル (3 MHz) の情報を付加した NTSC-Compatible MUSE-9、および信号の互換性はないものの 6 MHz 幅の 1

チャンネルで伝送可能な Narrow MUSE の 3 方式のシステムを開発し提案した¹⁾。

NTSC 方式との互換性を保ちつつ、信号多重により画面のワイド化および画像の高精細化を図る場合、その信号を現行受像機で受信して得られる画像 (両立性画像) には、多重付加した信号による画質妨害が必ず生じる。NTSC-Compatible MUSE-6 は、2 フレームオフセット (4 フレーム周期で一巡する) 変調を用いた信号多重方式であるが、輝度信号の水平高域

キーワード: 信号多重, 妨害抑制, シャフリング, 両立性向上
1989 年 11 月 16 日, 電子情報通信学会画像工学研究会 IE 89-58 にて発表
1989 年 11 月 6 日受付

[†] NHK 放送技術研究所 (〒157 東京都世田谷区砧 1-10-11, TEL (03) 415-5111)

[†] NHK Science and Technical Research Laboratories (1-10-11, Kinuta, Setagaya-ku, Tokyo 157, Japan)

成分を単純に変調多重するだけでは、この妨害による両立性画像の画質劣化が認められていた。

この妨害を抑制する手段として、我々は信号多重用変調キャリアに1走査線周期および1フィールド周期のシフト成分を付加する方法(シャフリング)を考案した。本論文では、このシフトパターンによる変調キャリアの3次元周波数領域での配置の違いについて考察する。さらにNTSC両立性画像での妨害の低減効果について主観評価実験を行い、その結果得られた最適なシャフリングとその効果について述べる。

2. 2 フレームオフセット変調多重方式

ATVの一方式として提案されているNTSC-Compatible MUSE-6では、輝度信号の3.9~7.7 MHzの水平高域成分を図1に示すように3.9~5.8 MHzと5.8~7.7 MHzの2つの帯域に分割し、それぞれ変調キャリア f_1, f_2 を用いて1.9~3.9 MHzの帯域へ周波数シフトして多重することにより、4.2 MHzの

図1 周波数シフトによる高域輝度の多重
Multiplexed high frequency signals of luminance by frequency shift.

NTSC映像信号帯域で約2倍の0.0~7.7 MHzの信号を伝送することを可能にしている²⁾。ここで f_1, f_2 としては、図2に示すような輝度信号および色信号との周波数インタリーブ関係を実現するため、水平走査周波数(f_h)に対し整数倍となる周波数にさらに4フレームの基本周波数である7.5 Hzを加えた周波数、すなわち以下に示す周波数が選ばれている。

$$f_1 = 490 \times f_h + 7.5 \text{ Hz} = 7.7 \text{ MHz} + 7.5 \text{ Hz}$$

$$f_2 = 245 \times f_h + 7.5 \text{ Hz} = 3.9 \text{ MHz} + 7.5 \text{ Hz}$$

以上述べたエンコードにおける輝度信号の水平高域成分を多重するブロックの構成を図3に示す。

このように多重された信号は、ATV受像機ではエンコーダと同じ f_1, f_2 のキャリアによる周波数シフトとテンポラルフィルタにより分離・復調される³⁾。しかし現行のNTSC受像機では、これらは分離・除去されず、1.9~3.9 MHzの輝度信号か0.0~1.6 MHzの色信号として復調され、妨害となり画質劣化を引き起こす。

図2 多重信号の周波数インタリーブ
Frequency interleaving of multiplexed signals.

図3 ATVエンコーダにおける輝度高域信号多重部の構成
Block diagram of multiplexer for high frequency signals of luminance in ATV encoder.

1h	—1—4—3—2—1—	1h	—1—4—3—2—1—
264h	---1---4---3---2---1---	264h	---3---2---1---4---3---
2h	—1—4—3—2—1—	2h	—2—1—4—3—2—
265h	---1---4---3---2---1---	265h	---4---3---2---1---4---
3h	—1—4—3—2—1—	3h	—3—2—1—4—3—
266h	---1---4---3---2---1---	266h	---1---4---3---2---1---
4h	—1—4—3—2—1—	4h	—4—3—2—1—4—
267h	---1---4---3---2---1---	267h	---2---1---4---3---2---

(a) シャフリングなし

(b) シャフリングあり

図 4 キャリヤの位相構造
Phase structure of carrier.

3. 変調キャリヤのシャフリング

3.1 変調キャリヤの実空間での位相構造

上述した変調キャリヤ f_1, f_2 の画面上での位相構造を図 4(a) に示す。これは、同一フレーム内におけるキャリヤ位相がすべて揃っている最も単純な構造である。ここで図中に示した数字は、その番号のフレームにおけるキャリヤの 0° 点 (正弦波の 0°) を表しており、7.5 Hz のオフセットが正側に与えられているため 1 フレーム毎にこの点が 90° ずつ左 (時間的に先行する方向) へ移動し、4 フレーム後にもとの 1 周期前の 0° 点と一致している。これを 4 フレームシーケンスと呼ぶ。

このように変調キャリヤの位相がフレーム内で垂直方向に揃っていると、周波数シフトして多重付加された水平高域成分により、画像中の縦線が左右に揺らいで見え、また細かな織り目のある服地のように平面上に均一で細かいパターンがある場合には、そのパターンとは異なった細かい縞模様が生じ、それが一方向に流れるように見える。こうした妨害は目につきやすく、画質が劣化する。妨害を目立たなくするには、まず多重レベルを下げればよい。しかし妨害が目立たない程度にまで多重レベルを下げると、ATV 受像機で復調した際、伝送路のノイズによる水平高域の SN 比劣化が大きくなる。したがって、8 ビット精度の原画像の水平高域成分に対し検知限相当の 6 ビット精度を確保するには、伝送時の映像・同期比も考慮し、多重レベルを原信号のレベルの $1/3$ 以上にする必要がある。

そこで妨害を視覚的に低減する方法として、1.9 ~ 3.9 MHz の帯域での輝度信号および色信号との周波数インタリーブ関係を満たす 7.5 Hz のオフセット、すなわち 4 フレームシーケンスを変えることなく、変調キャリヤの位相パターンを乱す (シャフリングする) ことを考えた。そのためには、1 走査線ごと

表 1 キャリヤのシフトパターンにおける縮退
Degenerating shift-patterns of carrier.

ライン間シフト量	縮退するフィールド間シフト量
0°	0° と 90° 180° と 270°
90°	90° と 270°
180°	0° と 270° 90° と 180°
270°	0° と 180°

および 1 フィールドごとに変調キャリヤの位相をシフトすればよい。位相パターンを最も乱雑にするのには、各ライン間および各フィールド間のシフト量を全くランダムに設定すればよいが、これはエンコード・デコード間での対応づけが複雑になり、ハードウェア化する際の規模も増大する。

そこで、1 ラインごとおよび 1 フィールドごとのシフト量を一定にし、かつその値を 4 フレームシーケンスにおけるシフト量である 90° の整数倍として、画面上での変調キャリヤの位相が垂直方向にも移動していくようなシャフリングを考案した。この方法では、同一フィールド内で変調キャリヤの位相が 4 ラインごとに一致する。したがってシフト量を定めるための付加情報は、4 ライン周期を表す 2 bit と偶奇フィールドを表す 1 ビットの計 3 ビットで済み、ハードウェア化する際の負担はほとんど増大しない。また、このシフトパターンによる変調キャリヤの 3 次元周波数領域での配置は簡単なものとなり、輝度信号や色信号に対する妨害を把握することが容易になる。

フィールド間にシフトがなければ、4 ラインごとにキャリヤ位相が一致するので、第 1 フィールドの第 1 ラインと第 2 フィールドの第 265 ($=66 \times 4 + 1$) ラインとは同じキャリヤ位相となる。そこでフィールド間のシフト量を第 265 ラインのキャリヤ位相が第 1 ラインのキャリヤ位相から進んでいる (左へ移動している) 量で表し、同様にライン間のシフト量を第 2 ラインと第 1 ラインとの位相差で表す。シャフリングの例として、ライン間で 270° 、フィールド間で 90° のシフト量 (以降 $[270^\circ, 90^\circ]$ と表す) を与えたときの変調キャリヤの位相構造を図 4(b) に示す。

このようなライン間シフトとフィールド間シフトの組合せによるシャフリングは全部で 16 ($=4 \times 4$) 通り存在する。しかし、 $[0^\circ, 90^\circ]$ というパターンは、 $[0^\circ, 0^\circ]$ のパターンの第 1 フレームの第 2 フィールドを 4 フレームシーケンスの開始点として見たときのバ

キャリア配置	パターン番号	シフトパターン	時間軸成分とそのレベル			
	P ₁	[0, 0]	①	+ 7.5 Hz : 0.23 - 22.5 Hz : 0.10	③	- 7.5 Hz : 0.23 + 22.5 Hz : 0.10
			②	- 7.5 Hz : 0.10 + 22.5 Hz : 0.23	④	+ 7.5 Hz : 0.10 - 22.5 Hz : 0.23
	P ₂	[0, 180]	①	+ 7.5 Hz : 0.10 - 22.5 Hz : 0.23	③	- 7.5 Hz : 0.10 + 22.5 Hz : 0.23
			②	- 7.5 Hz : 0.23 + 22.5 Hz : 0.10	④	+ 7.5 Hz : 0.23 - 22.5 Hz : 0.10
	P ₃	[90, 0]	①	- 22.5 Hz : 0.25	③	+ 22.5 Hz : 0.25
			②	- 7.5 Hz : 0.25	④	+ 7.5 Hz : 0.25
	P ₄	[90, 90]	①	+ 7.5 Hz : 0.18 - 22.5 Hz : 0.18	③	- 7.5 Hz : 0.18 + 22.5 Hz : 0.18
			②	- 7.5 Hz : 0.18 + 22.5 Hz : 0.18	④	+ 7.5 Hz : 0.18 - 22.5 Hz : 0.18
	P ₅	[90, 180]	①	+ 7.5 Hz : 0.25	③	- 7.5 Hz : 0.25
			②	+ 22.5 Hz : 0.25	④	- 22.5 Hz : 0.25
	P ₆	[180, 0]	①	+ 7.5 Hz : 0.23 - 22.5 Hz : 0.10	③	- 7.5 Hz : 0.23 + 22.5 Hz : 0.10
			②	- 7.5 Hz : 0.10 + 22.5 Hz : 0.23	④	+ 7.5 Hz : 0.10 - 22.5 Hz : 0.23
	P ₇	[180, 180]	①	+ 7.5 Hz : 0.10 - 22.5 Hz : 0.23	③	- 7.5 Hz : 0.10 + 22.5 Hz : 0.23
			②	- 7.5 Hz : 0.23 + 22.5 Hz : 0.10	④	+ 7.5 Hz : 0.23 - 22.5 Hz : 0.10
	P ₈	[270, 270]	①	- 22.5 Hz : 0.25	③	+ 22.5 Hz : 0.25
			②	- 7.5 Hz : 0.25	④	+ 7.5 Hz : 0.25
	P ₉	[270, 0]	①	+ 7.5 Hz : 0.18 - 22.5 Hz : 0.18	③	- 7.5 Hz : 0.18 + 22.5 Hz : 0.18
			②	- 7.5 Hz : 0.18 + 22.5 Hz : 0.18	④	+ 7.5 Hz : 0.18 - 22.5 Hz : 0.18
	P ₁₀	[270, 90]	①	+ 7.5 Hz : 0.25	③	- 7.5 Hz : 0.25
			②	+ 22.5 Hz : 0.25	④	- 22.5 Hz : 0.25
横軸：水平周波数 (cycle/width) 縦軸：垂直周波数 (cycle/height)						

図 5 キャリアの 3 次元周波数領域での配置
Locations of carriers in 3-dimensional frequency.

ターンと一致し、いいかえれば単に 1/60 秒時間的に遅れたのに過ぎないので、これらは縮退していることになる。このような縮退は、表 1 に示すように全部で 6 組存在するため、独立なシャプリングの数は 10 (= 16-6) 種類となる。

3.2 変調キャリアの 3 次元周波数領域での配置

上述した 10 種類のシャプリングを施された変調キャリアについて、それぞれ 3 次元フーリエ変換を行い、その性質を解析する。この際、走査線構造にあわせて水平軸は右方向を正、垂直軸は下方向を正とする。変調キャリアには f_1, f_2 の 2 波があるが、ここでは低い周波数の f_2 (= 3.9 MHz + 7.5 Hz) を例にとる。 f_1 (= 7.7 MHz + 7.5 Hz) については、水平周波数軸の値を 2 倍に読みかえることで把握できる。

この結果得られたキャリア配置は、これを水平・垂

直周波数軸からなる 2 次元平面に投影してみると、図 5 に示すように、フィールド間シフト量に依存せず、ライン間シフト量のみで定まる 4 種類のパターンにまとめられる。フィールド間シフト量による違いは、それぞれのキャリア配置の時間軸(フレーム周波数)方向の位置の違いとして表れている。

色副搬送波は、図 6 に示したような配置であり、2 次元的には先の変調キャリアの位置と隣接している。そのため、テンポラルなフィルタを持たない通常の現行受像機では、多重成分が低域輝度信号としてだけではなく、色信号としても誤って復調されてしまうことが示唆される。例えば、現在の一般的な受像機では輝度と色の分離 (Y/C 分離) にライン楕型フィルタが用いられており、2.0~4.2 MHz の水平帯域において 525/8~525×3/8 cph (cycle per height) の垂直成分

図 6 色副搬送波の 3 次元周波数領域での配置
Location of color subcarrier in 3-dimensional frequency.

が色信号として復調され、それ以外が輝度信号として復調される。このような受信機に 5.8~7.7 MHz の水平高域成分が $[180^\circ, 0^\circ]$ のシフトパターンのキャリア (図 5 の P_6) で多重された信号が加わると、原信号の垂直成分が $0 \sim 525/8$ cph あるいは $525 \times 3/8 \sim 525/2$ cph であれば 0.0~1.6 MHz の色信号として復調され、 $525/8 \sim 525 \times 3/8$ cph であれば 1.9~3.9 MHz の輝度信号として復調され、それぞれ妨害成分となる。

3.3 変調キャリア配置による妨害の推論

輝度および色に対する妨害のいずれが視覚的に大きく感じられるかは、主観評価実験を行わないと判断できないが、色に対する妨害(クロスカラー)の量および妨害の垂直成分については、3 次元周波数領域でのキャリア配置から推論できる。

まず、4 フレーム (8 フィールド) シーケンスにおける各フィールドを、それぞれ独立した 1 枚の静止画として考え、視覚上のインタレースの効果や時間積分の効果を除く。こうした 1 フィールドの画像におけるクロスカラーの量は、図 5 に示した水平・垂直の 2 次元周波数平面に投影したキャリア配置から推論できる。すなわち、原画像において水平高域成分を持つ部分で、垂直周波数の低いもの (縦縞パターン) は、変調キャリアの垂直周波数の位置が色副搬送波の垂直周波数である $525/4$ cph に近いほどクロスカラーが多くなる。このときのクロスカラーの大小関係を図 5 のパターン番号について表すと、次のようになる。

$$(P_1, P_2) < (P_3, P_4, P_5, P_8, P_9, P_{10}) < (P_6, P_7)$$

これとは逆に輝度への妨害は、

$$(P_6, P_7) < (P_3, P_4, P_5, P_8, P_9, P_{10}) < (P_1, P_2)$$

なる関係がある。またこの輝度への妨害の垂直成分について考えると、 P_1, P_2 は 0 cph 近くに存在するのでほぼ縦縞状になり、 P_3, P_4, P_5 および P_8, P_9, P_{10} では、色への振り替わりがあるぶんレベルが約 $1/2$ に

減少した上で、 $525/8$ cph 近くに存在するので、斜め縞状になる。これらは、それぞれ $525/4$ cph 以上のキャリアによる妨害も存在するが、ここでは 1 フィールドずつの画像について考えているので、 $525/4$ cph で折り返し、上述した垂直成分の点と重なっている。

同様にクロスカラーの垂直成分は、 P_6, P_7 において低い周波数となり、 P_3, P_4, P_5 および P_8, P_9, P_{10} において高い周波数となる。

原画像において水平・垂直周波数とも高い部分 (ただしフィールド画像で考えるので垂直周波数が $525/4$ cph 近傍のもの) すなわち斜め縞のパターンについては、上述の色への妨害と輝度への妨害の関係がちょうど入れ替わることになる。

次に、時間軸成分による効果について考察する。上述のような各フィールドにおける画像上のクロスカラー分は、8 フィールド連続して観視した場合、たとえそれが静的に同じ妨害量であっても、その時間軸成分によって視覚的な妨害の程度は異なったものとなる。これは、人間の視覚特性が色に対し、空間解像度および時間解像度において輝度に対するよりも劣る ($1/2$ 以下になる) こと⁴⁾による。

このため、多重された信号によるクロスカラーの時間軸成分 (± 7.5 Hz および ± 22.5 Hz) と、これを 2 次元周波数上で近接する色副搬送波の時間軸成分 (± 15 Hz) との差が大きければ、視覚的に目立たなくなると推論できる。ただし、この時間軸成分の差は -30 Hz ~ $+30$ Hz までの範囲に限られ、この範囲外の値は -30 Hz あるいは $+30$ Hz で折り返した値で考えねばならない。つまり差の絶対値は、7.5 Hz あるいは 22.5 Hz しか存在しないので、差が 22.5 Hz となるものの方が 7.5 Hz となるものより妨害が少なく見えることになる。また図 5 での P_6 や P_7 のパターンのように、2 次元周波数の同一点で 22.5 Hz と 7.5 Hz の両方の成分をもつものは、色副搬送波との差が 7.5 Hz となる成分が小さいほど妨害が少なく見えると推定される。(推定 1)

次に妨害の輝度成分について考える。1.9~3.9 MHz の信号の画像を 4 H の視距離で観視した際、その空間周波数は $11 \sim 22$ cycle/deg となるが、人間の視覚特性では、こうした高い空間周波数域において、その時間的周期が短い (時間軸周波数が高い) ほど感度が低下する性質がある⁵⁾。このことから輝度への妨害は、その垂直周波数の低い成分における時間軸周波数が高いもの (± 22.5 Hz のもの) ほど少なく見えることになる。また、その時間軸成分において 22.5 Hz と 7.5 Hz とが混在する場合は、7.5 Hz の成分が小さ

いものほど妨害が少なく見えると推定される。(推定2)

さらに人間の視覚特性では、水平・垂直とも高い空間周波数領域において感度が低下する性質がある⁹⁾。このことから、輝度に対する妨害については、図5での P_3 や P_8 のように垂直周波数成分が低いもの(525/8 cph)と高いもの(525×3/8 cph)とでその時間軸成分において±7.5 Hzと±22.5 Hzの対をなす場合、低い時間軸成分の垂直周波数が高いものの方が妨害が少なく見えると推定される。(推定3)

以上の推論を、水平・垂直とも低域成分に比べ高域成分が少なくなるような通常の画像に対して当てはめると、図5の各パターンにおける視覚的な妨害の量は、次のような大小関係があるものと推定される。

$$\begin{cases} P_1 > P_2 & (\text{推定 2}) \\ P_5 > P_4 > P_3 & (\text{推定 1}) \\ P_6 > P_7 & (\text{推定 1}) \\ P_8 > P_3 & (\text{推定 3}) \\ P_5 > P_{10} & (\text{推定 3}) \end{cases} \quad (1)$$

ここでの大小関係は、大きい方が妨害の多いことを示しており、画質の良好さを示すときには、不等号の向きが逆になる。上記以外の関係については、色の妨害と輝度との間の主観的な知覚量の対比に依存するので、主観評価実験を行わないと論じられない。

4. 主観評価実験

4.1 シャフリングパターンによる妨害の差異

シャフリングパターンの違いと視覚上の妨害との対応関係を調べるため、主観評価実験を行った。

対象とした画像は、『バラを持つセーターを着た若い女性』であり、全体的には平坦な画像であるが、高周波成分も局在し、多重した信号による妨害が目立ちやすいものである。この画像に対し、図3のエンコー

ダおよび、3.2で述べたライン楕型フィルタによるY/C分離回路を有するデコードを、コンピュータによる画像シミュレータで構成し、これによる演算で出力のNTSC両立性画像を作成した。この際の演算精度は、入出力および各ブロック間のデータを8ビットとし、エンコーダ・デコーダ間では輝度レベルの0~100%を8ビットのうちの140ステップ(60~200)に割当て、また各ブロック内での計算には32ビットを用いることで、総合的に7ビット精度を確保した。

観視条件は表2に示すもので、画像技術者7名により、図5における $P_1 \sim P_{10}$ の10種類のパターン間で、次に示す7段階

- +3: 非常に良い
- +2: 良い
- +1: やや良い
- 0: 同じ
- 1: やや悪い
- 2: 悪い
- 3: 非常に悪い

にカテゴリ付した1対比較法を用いて実験した。このとき評価の基準として、輝度や色の帯域制限による解像度の低さ(画像のキレの悪さやナマリ)は評価の対象外とし、純粋に輝度および色に対する妨害の量のみにについて比較することを教示した。

実験の結果を図7に示す。この結果と3.3において推定した(1)式とを比較すると、完全に適合していることがわかる。したがって、前章で述べた推論は正しかったことが確認された。

P_9 と P_{10} 、 P_{10} と P_8 、および P_8 と P_4 の間には、1%危険率での有意差が認められなかったが、それ以外については十分に評価の差が現れている。この結果から、シャフリングを施さない P_1 と比べると、 P_5 を除いたすべてのシャフリングパターンにおいて妨害抑制効果が認められる。 P_5 に関しては、クロスカラーおよび斜め方向の縞模様の流れがともに強く感じられる

表2 妨害量比較評価用観視条件
Viewing condition for assessment on difference of interferences.

項 目	設 定 条 件
視距離	4 H
モニタサイズ	20 インチ
ピーク輝度	100 cd/m ²
ビームカットオフ輝度	1 cd/m ²
白/黒コントラスト比	70 : 1
観視環境	準暗黒
同時評定者数	1 名

図7 シャフリングパターンの違いに対する画質評価結果
Result of assessment on quality of pictures with different patterns of "shuffling".

ことが、評価を悪くした要因であった。

以上から、シャフリングは多重信号の妨害を抑制する手段として有効であることが確かめられた。そして最も有効なシャフリングパターンは、 P_3 すなわちライン間シフトが 90° 、フィールド間シフトが 0° のもの

図 8 最適なシャフリングを施されたキャリアの位相構造
Phase structure of the most suitably shuffled carrier.

表 3 総合的な画質評価用観視条件
Viewing condition for assessment on total picture qualities.

項 目	設 定 条 件
視距離	4 H
モニタサイズ	29 インチ
ピーク輝度	100 cd/m ²
ビームカットオフ輝度	1.5 cd/m ²
白/黒コントラスト比	50 : 1
モニタ背面	1 m 後方にカーテン (反射率 30% の中性灰色) 輝度 15 cd/m ²
室内照明	白熱灯 6 基, 間接 (総計 380 W)
観視空間	幅 4 m, 奥行 5 m, 高さ 3 m
同時評定者数	3 名
水平観視角度	21° 以内 (左右評定者)

であることがわかった。 P_3 の変調キャリアの画面上での位相構造を図 4 と同様な表現で、図 8 に示す。

4.2 シャフリングによる妨害抑制効果

前節で得られた最適なシャフリングを適用することで、総合的な画質評価をしたとき、どの程度妨害が抑制されるかを調べるため、再び主観評価実験を行った。

今回の実験では、妨害の多少を評定するのではなく、総合的な画質評価を目的としているので、表 3 に示す標準観視条件を設定した。

評価の対象は、RGB 3 成分を 4.2 MHz に帯域制限したコンポーネント画像(RGB)、信号多重のない NTSC 画像(NTSC)、シャフリングを用いない多重信号に対する NTSC 両立性画像(ATV 0)、および P_3 のシャフリングを適用した多重信号に対する NTSC 両立性画像(ATV 1)とした。

用いた画像は 2 種類で、先の実験と同じ『バラを持つセーターを着た若い女性』(『女性』と略す)および、画面全体に水平・垂直・斜めの各高域成分が散在した『食卓上の静物』(『静物』と略す)である。

評定者は画像技術者 12 名であり、評価の基準として各種の妨害だけではなく、輝度や色の解像度の良し悪しまで含めた総合的な画質で判断することを教示し、各対象間について画質の差を、4.1 と同じ 7 段階で評価する 1 対比較法を用いて実験した。

実験の結果を図 9(a)(b)に示す。まず(a)の『女性』に対する結果をみると、RGB と NTSC との間の評価の差(心理尺度で 0.93)に対し、シャフリングのない ATV 0 ではこの 2 倍以上の差(2.01)で NTSC より評価が悪くなっている。一方、最適なシャフリングを施した ATV 1 では、NTSC から 0.92 しか評価が落ちていない。すなわちシャフリングによる妨害抑圧率は、心理尺度上で 46%(=0.92/2.01)であることがわかる。

図 9 総合的な画質の評価結果
Result of assessment on total picture quality.

(b)の『静物』に対する結果では、全面に高周波分が散在している画像であるため、RGBに対するNTSCの評価の低下が1.16と(a)に比べ大きくなっている。そのためかえて多重信号による妨害が単独では目立たなくなり、NTSCに対するATV 0の評価の低下は1.56と小さくなっている。ATV 1ではこの影響がますます顕著となり、NTSCからの評価の低下は0.59でしかない。すなわちシャフリングによる妨害抑圧率は、38% ($=0.59/1.56$)にも達している。

以上、いずれの絵柄に対してもシャフリングによる妨害抑制効果は顕著であり、シャフリングが非常に有効な手段であることが実証された。

5. む す び

ATVの1方式であるNTSC-Compatible MUSE-6において、多重付加した信号によって引き起こされるNTSC両立性画像上の妨害について検討した。妨害を視覚的に低減する手段として、多重用変調キャリアのシャフリング、すなわちライン間およびフィールド間で位相シフトする方法を考案し、このキャリアの3次元周波数配置について考察した。この考察で、シャフリングパターンの違いにより視覚的な妨害の量に差が生じることが推定された。これを検証するため、全シャフリングパターンについて主観評価実験を行い、その結果、最適なシャフリングパターンが求まった。さらにこれを用いた効果を調べたところ、心理尺度上での妨害抑圧度はシャフリングのないものに対し50%以下となり、絵柄によっては38%にも達することが判明し、シャフリングが非常に有効な手段であることが実証された。

本論文では、NTSC方式互換の信号多重方式のうち1方式に限定して検討を行ったが、ここで述べた考察の方法、すなわち多重用の変調キャリアの3次元周波数配置と視覚の時空間特性との関係から視覚的な妨害量を推定する方法は、他の方式に対しても適用できる。したがって、他の方式において同様な変調キャリアのシャフリングを導入する際には、膨大な比較評価試験を行わずに、限定されたシャフリングパターンの中から最も効果的なものを選定することが可能である。

最後に、本研究の機会を与えられた当研究所の大川前所長(現理事)、杉本所長、石田次長および元木視覚情報研究部長に感謝する。また、直接ご指導くださった西澤テレビ方式研究部長、榎並主任研究員、そして貴重な助言をいただいた湯山主任研究員、および協力いただいた関係諸氏に深謝する。

【参 考 文 献】

- 1) T. Nishizawa, et al.: "HDTV and ADTV Transmission Systems —MUSE Family—", NAB Convention (1988)
- 2) 奥田, 田中, 奥井, 和泉: "ADTV システムの開発(1)", テレビ学技報, **13**, 41, BCS 89-1, pp. 1-6 (Oct., 1989)
- 3) 矢島, 金次, 鈴木, 加藤: "2 フレームオフセット変調多重技術を用いた帯域圧縮方法の検討", テレビ学技報, **13**, 41, BCS 89-3, pp. 13-18 (Oct., 1989)
- 4) 坂田: "視覚の色度の時空間周波数特性(色差弁別しきい)", 信学論誌, **J63-A**, pp. 855-861 (1980)
- 5) 坂田: "視覚の時空間周波数特性と時空間過渡応答", テレビ全大, 1-1, pp. 1-2 (1978)
- 6) A. Watanabe, et al.: "Spatial Sine-wave Responses of the Human Visual System", Vision Res., **8**, pp. 1243-1263 (1968)

たけぬま まこと 昭和57年、東京大学工学部電子工学科卒業。同年、NHKに入局。釧路放送局技術部を経て、61年より、同放送技術研究所に勤務。現在、同所視覚情報研究部において、立体テレビ放送の基礎研究および同システム化の研究に従事。正会員。

やじま りょういち 昭和58年、東京大学大学院電気工学専攻修士課程修了。同年、NHKに入局。甲府放送局技術部を経て、現在、同放送技術研究所に勤務。デジタル映像信号処理、次世代テレビの研究に従事。

すずき しょういち 昭和57年、電気通信大学応用電子工学科卒業。同年、NHKに入局。函館放送局技術部を経て、現在、同放送技術研究所に勤務。デジタル映像信号処理、ハイビジョンシステム・応用の研究に従事。正会員。

たなか ゆかた 昭和49年、東京大学工学部電子工学科卒業。同年、NHKに入局。福井放送局を経て、53年より、同放送技術研究所に勤務し、デジタルテレビ、ハイビジョンのデジタル信号処理、伝送方式の研究に従事。正会員。

NTSC 方式と互換性のある信号多重方式における 現行受像機への妨害抑制方法

蓼沼 眞，鈴木正一，矢島亮一，田中 豊

NTSC 方式信号との互換性を保ちつつ，画像の高精細度情報などの付加信号を多重する場合，現行受像機で復調した画像には，その多重信号による画質妨害が必ず生じる．本論文では，この妨害を視覚的に低減するために，多重用変調キャリアの位相をライン間およびフィールド間でシフトする方法（シャフリング）を提案する．まず，位相をシフトしたキャリアの 3 次元周波数配置について考察し，視覚の時空間特性との関係から多重信号が与える輝度および色に対する視覚的な妨害の量を推定する．そして主観評価実験を行ってこれを検証し，最適なシャフリングのパタンを選定する．最後に総合的な画質評価を行い，心理尺度上での妨害量が，この最適なシャフリングによって 50 % 以下に抑圧され，絵柄によっては 38 % 以下にもなることを示し，その有効性を実証する．

テレビジョン学会誌 Vol. 44, No. 3, pp. 321~328 (1990)