

4 色モニタを用いた画像へのオーバーレイ情報の付与方法 Method of Mixing Overlay Information In Images on Four Color Displays

伊藤 浩[†]
Hiroshi Ito

1. はじめに

よく知られているように、人間の色の知覚は、光の中に含まれる赤、青、緑の 3 原色の混合比に基づいて行われ、光の正確なスペクトルの測定に基づいてはいない。このことは、同じように見える 2 つの色が全く異なるスペクトルを持ち得ることを示唆している。

本報告では、冗長な色表現能力を持つモニタを利用して、3 原色の混合比を変えることなしに、各画素が放つ光のスペクトルを、付加的な情報で変調する方法を提案する。付与された情報は、通常は見ることはできないが、検出器を備えた特殊な装置はこれを復号し、画像に重畳するなどして提示することができる。

画像に情報を付与する技術は、拡張現実 [1] や情報秘匿 [2] などが必要とされている。提案方法はこのような分野に用いることができる。

2. 方法

図 1 は、提案方法を用いた情報の伝達システムを示す。図において、ディスプレイ側では、信号 1 と信号 2 が重畳されて提示されている。人間の目と通常のカメらは、その中の信号 1 だけに反応する。しかし、特殊なカメラは信号 2 にも反応し、これを復号して、信号 1 に重ね合わせて提示することができる。信号 1 は誰もが観察できる一般的な情報、信号 2 は特定の受信者だけが享受する特殊な情報と解釈される。

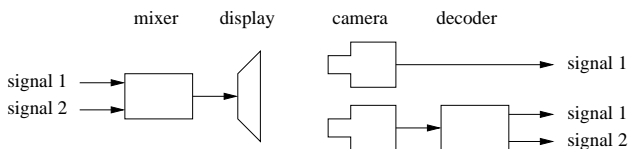


図 1: Use of the proposed method

信号 2 が通常の観察者から秘匿される理由は次の通りである。ディスプレイは波長の異なる 4 色の成分を表示できるとする。この成分を一般的に $C_i (i = 1, \dots, 4)$ で表記する。3 原色の刺激値は、この 4 色の線形結合により次式のように表されるとする。

$$\begin{pmatrix} R_s \\ G_s \\ B_s \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} & a_{14} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} & a_{24} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} & a_{34} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} C_1 \\ C_2 \\ C_3 \\ C_4 \end{pmatrix} \quad (1)$$

ただし、 a_{ij} は定数である。式 (1) を変形して次式を得る。

$$\begin{pmatrix} C_1 \\ C_2 \\ C_3 \end{pmatrix} = A^{-1} \begin{pmatrix} R_s \\ G_s \\ B_s \end{pmatrix} + \mathbf{a}C_4 \quad (2)$$

[†] 日本大学, Nihon University

ただし、

$$A = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} \end{pmatrix}, \mathbf{a} = \begin{pmatrix} a_{14} \\ a_{24} \\ a_{34} \end{pmatrix} \quad (3)$$

である。式 (2) において、与えられた刺激値に対して、 $C_1 \geq 0, C_2 \geq 0, C_3 \geq 0$ であれば、 C_4 は自由に設定してよい。したがって、 C_4 を別の情報で変調したり、または、直接その情報で書き換えたりすることが可能となる。

ここで、具体的に $(C_1, C_2, C_3, C_4) = (R, G, B, Y)$ の場合を考える。ただし、 Y は黄である。 Y を追加することによって、再現できる色空間を幾分拡大することができる。 Y は R と B の混合であるから、式 (3) において、 $A = I$ (単位行列)、 $\mathbf{a} = (0, 1, 1)^t$ であり、式 (2) は次式となる。

$$\begin{pmatrix} R \\ G \\ B \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} R_t - Y \\ G_t - Y \\ B_t \end{pmatrix}. \quad (4)$$

すなわち、 R と B を Y の分だけ減らせば、3 原色の混合比は変化しない。

上の関係は光の強度の空間で成立しなければならないが、モニタの入力信号と光の強度の関係は非線形である。ここで、式 (4) を直接制御可能な信号空間の関係に変換しておく。多くのモニタでは、入力信号 x と光の強度 X の関係は次式で与えられる。

$$X = kx^\gamma \quad (5)$$

ただし、 k と γ は定数である。これを式 (4) の各成分に代入し、 (r, g, b) について解けば、次式が得られる。

$$\begin{pmatrix} r \\ g \\ b \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} (r_t^\gamma - y^\gamma)^{1/\gamma} \\ (g_t^\gamma - y^\gamma)^{1/\gamma} \\ b_t \end{pmatrix} \quad (6)$$

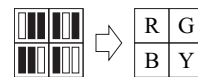


図 2: Emulation of four color display

3. 実験

通常 RGB モニタで 4 色モニタを模擬し、基礎的な実験を行った。図 2 に示すように、RGB モニタの 4 画素を 1 グループとし、それぞれ、一部のセルだけを光らせて、 R, G, B, Y に対応させる。 Y のセルは、 R と G のセルを同じ明るさで光らせる。この模擬方法は使わ



図 3: Magnified part of an image with embedded overlay information on emulated four color display



図 4: Y component of the same part (contrast enhanced).

ないセルが生じるので全体に画像の明るさが低下する。また、4画素を1画素にまとめているので、解像度が低下する。

図 3 は、Y チャンネルに付加情報を埋め込んだ画像である。ガンマの値は $\gamma = 2.2$ とした。この画像は、本来カラー画像であるが、印刷のためにグレースケールに変換してある。また、印刷プロセスで発生する干渉をなくすため、画像の一部を拡大して表示してある。図は、印刷の特性を経たものであるから、モニタ上に表示された画像と見え方を同じにすることは不可能であるが、モニタの画面上では、付加情報を識別することは困難であった。図 4 は、図 3 の画像の Y 以外の画素を黒にして表示したものである。埋め込んだ画像が現れている。ただし、見やすさのため、Y のコントラストは幾分調節した。図 5 は、Y に埋め込まれた画像を後処理して復元したものである。

実験により、以下のことを確認した。Y の振幅が小さく、非線形補償が適度に行われていれば、付加した情報を視認することは困難である。また、最適な γ の値は、

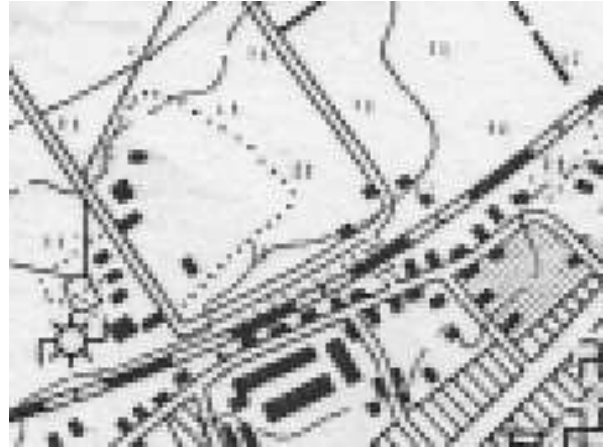


図 5: Post-processed overlay information

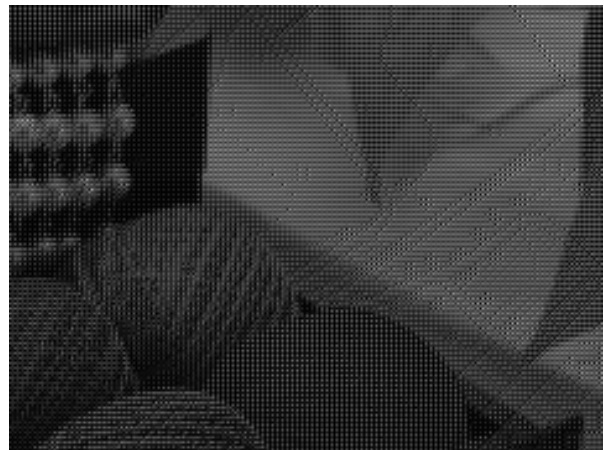


図 6: Overlay embedded image with no nonlinear compensation

モニタに依存する場合がある。図 6 は、Y の振幅を大きくし、 $\gamma = 1$ とした場合の画像である。オーバーレイ情報が十分隠されていない状態になっている。

4. まとめ

冗長な色表現能力を持つモニタ上に表示された画像の中にオーバーレイ情報を付与する方法を与えた。モニタの非線形性を適度に補償すれば、付加情報を見えにくくできることを確認した。

今後の課題として、エミュレーションでない真の4色モニタの製作とそれを用いた試験、付加情報の復号方法の検討などが挙げられる。

参考文献

- [1] R. T. Azuma, "A Survey of Augmented Reality," Presence: Teleoperators and Virtual Environments, 6(4), pp. 355-385, 1997.
- [2] S. Katzenbeisser and F. Petitcolas Ed., Information Hiding - techniques for steganography and digital watermarking, Artech House, MA, 2000.