色選択に柔軟性を持たせた限定色表示手法

鈴木 寿和[†], 大沢 裕^{††}
正会員 坂内 正夫^{††}

あらまし カラー画像を 256 色程度の限定された色種で表示する手法は、従来より各種報告されており、これらを用いることにより簡易な表示装置でも比較的自然なカラー画像を表示することができる。しかし、1 画像中で使用する色の種類を 16 色、8 色程度に下げた場合、画像中で重要な色が他の色と同じになったり、保存したいエッジ部分が消えてしまう等の問題がある。本論文で提案する方式は、限定色画像作成過程に会話的な要素を入れ、作成される画像を見ながらパラメータを変化させることにより、作成者の好みや意図に近い画像を得ることを目的にしたものである。ここで用いるパラメータ (D) は、代表色と原画像中の各画素値間の最大距離であり、 D を小さく設定すると、出現頻度は低くても特徴的な色が保存でき、逆に D を大きく設定すると、比較的面積の大きい部分の細かな色の変化に対して多くの色を割り当てることができる。また提案方式では、内部のデータ構造に多次元データ管理構造 BD 木を用いることにより、会話の際の処理時間を大幅に短縮している。

1. ま え が き

近年、メモリー価格の低下と共にカラー表示装置の高性能化が進み、1 画素当たり 24 ビット程度の色分解能を持つ表示装置も普及してきている。一方で、色分解能に対しては画素当たり 8 ビット程度にとどめ、メモリーを空間分解能を高めることに使った装置も多くみられる。この場合例えば、同時に (1 画面中で) 表示可能な色は 256 色でも、 2^{24} の中から任意にその 256 色を選択できるという形が取られている。また、マイコン等の簡易表示装置には、4096 色の中から 16 色を任意に選択して同時表示できるというものも多い。

これらはカラーlookupアップテーブル方式と呼ばれ、画像表示に対しては次の手順がとられる。

- (1) 表示画像データの中で発生頻度の高い色をlookupアップテーブル (LUT) に登録する。LUT

とは、色番号と、それに対応する RGB 成分の輝度値をペアにした表である。

- (2) 対象画像の各画素を LUT を参照しつつ色番号に置き換える。こうして作られる画像は、劣化を含むものの、原画像に比べてデータ圧縮されたものとなり、データ蓄積の際にも都合が良い。
- (3) 表示に際しては、ディスプレイ内部で (2) の逆の操作が行われ、画素値の色番号が LUT を参照することにより RGB 値に戻され、カラー画像として再現される。

ここで問題となるのは、(1) の処理であり、原画像からいかに適切な LUT を作成するかが表示される画像の品質に大きく影響する。LUT 作成のアルゴリズムは、従来よりポピュラリティアルゴリズム¹⁾ (PA 法)、メディアンカットアルゴリズム¹⁾ (MCA 法)、ベアノスキャン法²⁾、色空間分割法³⁾等、種々の方式が提案され実用に供されてきた。また、背景技術に関しては文献 4) に詳しい。

本論文では、カラー画像中から限定された色数を選択し、それを基に表示を行う操作をカラー画像の限定色表示手法と呼ぶことにする。

[†] NTT 交換システム研究所

^{††} 東京大学 生産技術研究所

"A Flexible Color Image Quantization Method Using a Controllable Selection Parameter" by Toshikazu Suzuki (NTT, Tokyo), Yutaka Ohsawa and Masao Sakauchi (Institute of Industrial Science, The University of Tokyo, Tokyo)

これらの方式は、同時表示可能な色の数(すなわち、LUTに登録可能な色の数)が256色程度以上であれば、特に厳密な議論をする場合以外は上記のいずれの方式を用いても大きな差はなく、比較的自然な画像を表示することができる。しかし、色の種類を16色や8色に減らした場合、これらの従来方式では自然な画像が得にくく、また、指定する色の数が一定なら入力に対し出力は一意に決定してしまうことから、人間の好みを入れる余地がない。本来、多彩な画像を16色や8色のみで表現しようとすることに無理があるともいえるが、限定画像の作成段階に人間の介入を許すことにより、厳しい色数の制限の基でも残したい色、強調したい色を考慮した画像を作成することが可能と思われる。

このような観点から、本論文では、16色や8色程度の比較的少ない色数によるカラー画像の表示を目的に、システムとの会話により画像の特徴や作成者の好みにあった画像を作成することができる限定色化手法について述べる。以下、2章では提案方式の概要について述べ、3章では色選択を高速に実行するためのデータ構造に関して述べる。4章では会話処理の際に重要となる D パラメータの説明を行う。また、5章では本システムの性能を実験結果を基に評価する。

2. 限定色表示手法の概要

原画像はRGBの3原色、各色8ビットの階調(256階調)により表現されているものとしよう。図1に示すように、RGB各原色の輝度を座標軸とする3次元空間を定義すると、カラー画像中の各画素は、この空間中の一点に対応している。空間中で近い距離にある画素どうしは色が似ていることから、空間を適当に分割し、各分割された部分空間毎に代表色を定め、各部分空間中の画素をこの代表色に置き換えても、代表色の数を多めに定めてやれば、原画像に比べてあまり雰囲気の違いのない画像ができる。同一の部分空間中に存

図1 カラー画像のRGB空間
RGB space of color image.

在する画素に、同値の色番号を付与し、LUTでこの色番号と部分空間中の代表色のRGB値を対応させることにより、限定色画像ができあがる。

計算機でカラー画像を扱う際に、色空間の表現法としては、他にYIQ、 $L * u * v$ なども考えられるが、本論文では、通常広く用いられているRGB3原色による表現法を採用している。ただし、提案方式は特定の色空間表現法に固有な性質には依存しておらず、他の表現法をベースにすることも充分可能である。

従来手法のうちPA法は、RGB値でヒストグラムを作り、発生頻度の高い色から N 色選んで代表色とするものである。ヒストグラム作成の際、各原色を5ビット(下位3ビットを削除)程度で表現することにより、同一色の発生頻度を高めている。このアルゴリズムは簡単であり、高速であるが、使用頻度の低い色は、それが特徴的な色であっても代表色決定時に無視される。

MCA法は、図1の色空間中の画素の数が2等分される値をRGBの各軸で巡回的に求めつつ、階層的に領域2等分割を行うことにより、 N 個の部分空間に分割する方法である。やはり高速であるが、色分布の1つのクラスが複数の部分空間に分割されてしまったり、部分空間の形が細長い直方体となるなどして、各画素の代表色が必ずしも空間中で最も近い色にはならないという問題がある。これらのアルゴリズムはいずれも、比較的多くの代表色(256色以上)を決められる状況では、良好な結果が得られるが、色の種類を16色や8色程度としたとき、品質劣化が激しい。

本論文で提案する方式は、色選択に会話的要素を入れ、作成された限定色表示画像を見ながらパラメータを変化させ、強調したい色を際立たせるような処理を可能にするものである。処理の概要を以下に示す。

【代表色の決定法】

対象とする原画像がRGB各8ビットで表現されているものとする。限定色選択の第1ステップは、画像中に多く出現する色を調べることである。いま、各原色8ビットのデータのままでヒストグラムを作ろうとすると、その要素数は約1600万(2^{24})となり、ヒストグラム中の大部分のレコードは出現頻度が0となる。このようなヒストグラムからは、色の出現傾向もつかみにくいし、なによりヒストグラムのためのメモリー容量が膨大となる。そこでPA法と同様に、RGB空間を一辺が8(2^3)の長さの小立方体セル(以後、これを色データと呼ぶ)に分割し、セル単位での出現頻度のヒストグラムを作成する。

以後、色の種類(代表色の数) N 個の限定色画像を

図 2 D 近傍の重なり
Overlap between D -neighbour region.

作成する手順は以下のとおりである。また本アルゴリズムでは代表色と原画像中の個々の画素値との距離に関連したパラメータ D を用いるが、詳細は 4 章で説明する。

【step 1】 すべての色データを代表色候補とする。

【step 2】 ヒストグラムを調べ、代表色候補の中で最も使用頻度の高い色を代表色とする。その代表色の D 近傍（代表色から RGB 空間中で距離 D 以内の範囲）に属す、他のすべての色データを検索し、その代表色のクラスタに分類する。ただし、図 2 の点 P のように 2 つ以上の代表色の D 近傍に属す色データについては、最も近い代表色のクラスタに分類する。図 2 の例で点 P は代表色 A を中心とするクラスタに分類される。

【step 3】 クラスタリングされた色データ、すなわち代表色の D 近傍中のデータを、すべて代表色候補から除外する。この後、まだすべての代表色が決定しておらず、代表色候補が残っているなら、【step 2】にもどる。

距離 D が大きな値に設定されていれば、代表色候補の画素は次々に代表色の D 近傍内に包含され、最終的にはすでに決定した代表色の数 m があらかじめ定められた代表色の数 N に達しないうちに代表色候補がなくなることになる。このときは次の【step 4】を実行する。

【step 4】 【step 2】 の処理の際、2 つ以上の代表色の D 近傍に属していた画素（例えば、図 2 の斜線領域中の画素）すべてを、新たに代表色候補にして【step 2】にもどる。

これは、色分布の密度が高いところに多くの代表色を割り当てようとするものであり、また、このステップが実行されたとき、すべての画素値に対し、距離 D 以内に代表色が存在することになる。一方、距離 D が小さな値であれば、 N 個の代表色決定後も、どのクラスタにも属していない代表色候補が残ることになる。この場合、

【step 5】 距離の最も近い代表色を探し、残ってい

(a)

(b)

図 3 D 値とクラスタリングの関係
Effects of D -value to clustering.

る代表色候補を分類する。この結果、色空間はボロノイ分割⁵⁾されることになる。

図 3 は、以上で述べた処理と距離パラメータ D との関係的概念的に示したものである。図中で黒点は RGB 空間中での代表色候補に、円はある代表色を中心とする距離 D の範囲に対応している。代表色の数は 4 とし、また数字で示す順に代表色の出現頻度が高いものとする。図 3(a) は距離 D が大きく設定された場合を示している。まず 1 を代表色とし、それを中心とする円領域の色データをすべて 1 の色のクラスタに分類する【step 2】。この結果 2, 3 の色データはこのクラスタに分類されることになる【step 3】。次に 4 番目の点代表色に選ばれ、同様にして円領域中の色データが分類される。ここで、代表色の予定数に達する前に、すべての色データがクラスタリングされたことになるため、【step 4】が起動され、2 つのクラスタの重なり部分に存在する点が代表色候補に戻される。その結果、再び【step 2】以下が実行され、2 および 3 が新たに代表色として選ばれる。

図 3(b) は、逆に距離 D を小さく設定した場合である。この場合には、【step 4】が適用されることがなく 1, 4, 5, 6 の合計 4 つの代表色が決定する。その後【step 5】が起動され、残りの色データを最も近い代表色に分類する。結果的に図中の破線で区切られた領

域が同じ代表色を持つことになる。

このように、本方式では距離 D がパラメータとなり、これを大きく設定すれば [step 4] が起動され、出現頻度の高い部分に多数の代表色が割当てられた画像ができる。また、 D を小さく設定すれば大きく距離が離れている色に対して、その発生頻度が余り高くなっても独立した代表色を割当てることができる。本方式では、システムとの対話により D を変化させることにより、作成者の好みを限定色画像の品質に反映させることができる。

また、この処理の中では、3次元空間中で半径 D の球状の範囲と色データとの包含関係や、ある色データに最も近い色データの探査が多く用いられている。データ量（この場合は色データの数）が多いとき、これらの演算はコストが高いものとなるが、本方式では3次元空間中の色データの管理構造にBD木⁶⁾⁷⁾を採用し、その上で各種演算を行うことにより高速な応答が得られるよう工夫している。

代表色決定後、作成したクラスタに基づき、限定色画像を作成する。すなわち、同一クラスタに属す画素には同一の色番号を割当て、かつ、代表色毎に色番号とRGB値を対応づけた表を作成する。

3. データ構造

処理速度の向上のため、提案方式では、原画像の色分布をBD木というデータ構造で管理している。BD木とは、空間を階層的に分割することにより、多次元

空間中に分布するデータを管理するためのデータ構造の一種であり、特に動的性能、メモリー効率に優れた性質を持っている。空間分割の基本はRGBの各軸で交替に領域を2等分割していき、最終的に1つの分割された小領域中に存在するデータの数に適当な値以下（本方式ではただ1個）になるまで分割するものである。また、この分割過程を2分木で管理している。ただし、BD木では空間分割過程で単純に領域を2等分割するのではなく、分布の偏りがあるデータ（本論文で対象とするデータには、通常大きな偏りがある）に対してもメモリー効率、時間効率良く管理・検索を行うことができる。

図4はBD木の概要を示している。図は2次元で示されているが、実際にはRGBを各軸とする3次元空間である。(a)がBD木であり、(b)が対応する空間分割の例である。BD木の根ノードは、(b)の全空間に対応し、葉ノードは細分された各領域に対応している。(a)の葉ノード、すなわち(b)の各領域は、一辺 2^8 画素の立方体セルa~hのうち1個を含んでいる。また立方体セルは、その中心座標により空間にマッピングされている。BD木では、立方体セルの空間中の分布にのみ依存して、領域分割の形は一意に決定するが、この分割の詳細については文献7)を参照されたい。(a)の木構造中の中間ノードは、分割の調程を示すものであり、ノードiは、a, b領域を合わせた領域、すなわち(b)で左下の1/4の領域に対応し、ノードjはa~dを合わせた領域、すなわち、左半分の領域に対応している。

BD木の中間ノードには外接立方体情報がおかれ、検索の際に対象範囲を決める役割をする。外接立方体とは、各ノードより下位に存在する全データの存在範囲を示す情報であり、例えば、ノードiには破線で示しているように、a, bを包含する最もタイトな領域が置かれる。例えば、範囲検索では、指定された範囲とBD木の各ノードに置かれた外接立方体との重なりを比較し、重なりのあるノードのみ下位にたどっていくことにより、不要な検索を省くことができる。

セルをBD木で管理しておくことにより、ある色セルから一定距離 D 以内にある他の色セルの検索（範囲検索）や、ある色セルに最も近い位置にある他の色セルの検索（最近点検索）等を効率良く実行することができる。

4. D 近傍の決定法

2章で述べたように、代表色からの距離 D は画像の質に大きな影響を与える。 D を大きくすると誤差

図4 BD木
BD tree.

の大きな画素は増えるが、使用頻度の高い色に多くの代表色が割当てられ、なだらかに色が変化する部分を段階的に表現できるが、反面、擬似輪郭を生じ易くなる。また、 D を小さくすると SN 比は低下するが、誤差の大きな画素がなくなる。したがって、発生頻度は低い、非常に特徴的な色を保存したい場合には有効である。提案方式は、会話により結果を確認しつつ D の値を変化させることにより、作成される画像の画質が制御できることを特徴にしているが、 D の値についてシステム側からの提案があると都合が良い。場合によっては、全く自動的にほどほどの画質を得たいという要求も当然考えられる。また会話の際には、この提案の値を初期値にして、以後 D を会話的に変化させ、好みに合う画質に変えていく際にも都合が良い。

距離 D の決定法として、次のような近似値を用いて良好な結果を得ている。まず、一辺 R の立方体を考え、この立方体の集合で原画像に出現するすべての色を RGB 空間中で包含するような体積 V の領域を考える。この関係を 2 次元的に描くと図 5 のようになる。ハッチング部が体積 V の領域に対応する。

図 5 色空間の制限
Restriction of color space.

図 6 立方最密充填
An arrangement of representative colors.

ここで考える代表色の配置は、図 5 で示すハッチング領域に N 個の代表色を、各々の代表色間の距離ができるだけ離れる形で置く方法である。この中から 1 つの立方体領域を取出し、その立方体への配置を考えると、与えられた条件を満足する配置法として、図 6 に示すような立方最密充填の形が考えられる。これは、立方体の各頂点と 6 面の中心に代表色を配置するものである。このように代表色を配置したとき、立方体の頂点に置かれた代表色は、接する立方体 8 個と共有されるため、1 つの立方体には $1/8$ 個、また面上に置かれた代表色は $1/2$ 個分、各々含まれているとみなせる。これにより、代表色の数 N と、立方体集合全体の体積 V との間には次式が成り立つ。

$$V = N(2^{1/2}D)^3/4 \quad (1)$$

ここで、体積 V の近似として、1 個以上の画素が含まれるセルの集合の体積を用いることにする。1 個のセルの体積は 2^9 であり、対象となるセルの個数を m とすると、

$$V = m \cdot 2^9 \quad (2)$$

となる。(1)、(2)式より、図 6 に示された D の距離は、

$$D = (2^{11}m/N)^{1/3}/2^{1/2} \quad (3)$$

となる。以上の計算には多くの近似が入っているが、この結果得られた D で充分 S/N の良い画質が得られ、自動処理の際や、会話処理の際の初期値として満足できる値であることを実験により確認している。

5. 実験結果と評価

提案方式と PA 法、MCA 法をミニコン（データゼネラル MV/4000）上に C 言語でインプリメントし、標準画像データベース SIDBA 中の画像を用いて主観

図 7 提案方式の構成
Construction of proposed system.

(a)

(c)

(b)

(d)

写真 1 限定色画像の比較 (SIDBA HOME)
Comparison among result images.

(a)

(b)

写真 2 限定色画像比較 (SIDBA GIRL)
Another example of result images.

写真 3 D 値の変化と画質 ($D=74$)

Effect for quality of picture according to change of D value.

表 1 16 色限定色画像の SN 比
SN ratio of 16-color images.

画 像	HOME	MANDRILL	DESK
提案方式	29.6	24.5	28.6
PA法	26.2	23.4	26.7
MCA法	27.3	24.0	28.0

評価と数種類のパラメータの測定を行った。提案方式は図 7 のように構成されており、 D の初期値には (3) 式の結果を用いている。まずその D 値で限定色画像を作成し、結果が表示される。その結果を評価し、満足のいくものであれば終了する。不満がある場合、システムの問い合わせに対し別の D 値を入力し、その D 値により新たな限定画像が作成表示される、という過程を繰り返す。

写真 1 は、SIDBA 中の HOME を用いた 16 色限定色表示の例であり、(a) 提案方式、(b) PA 法、(c) MCA 法である。また、(d) は提案方式による 8 色限定色表示の例を示している。ここで、提案方式の D 値としては、4 章で述べた算出法による値をそのまま用いている。

表 1 は 16 色限定色画像の SN 比を示している。ここで用いた SN 比は、RGB 空間中での距離によるものであり、次式のように定義している。

$$S/N = 10 \log (3M^2 IJ / \sum \sum \Delta E_{ij}^2) \quad (4)$$

ここで、 I, J は画像の縦・横方向の画素数、 M は RGB 各原色での階調数、 ΔE_{ij}^2 は 1 画素当たりの原画像と限定色画像間の 2 乗誤差であり、画素 (i, j) について原画像上の各原色の値を R_{ij}, G_{ij}, B_{ij} 、限定色画像の値を r_{ij}, g_{ij}, b_{ij} としたとき、

$$\Delta E_{ij}^2 = (R_{ij} - r_{ij})^2 + (G_{ij} - g_{ij})^2 + (B_{ij} - b_{ij})^2 \quad (5)$$

である。(4) 式の分子の係数 $3M^2$ は、 ΔE_{ij} のとり得る範囲である (色空間の原点から RGB がすべて M の点までの距離は $3^{1/2}M$ のため)。

画像中の特徴的な色は、画像中に出現する頻度が少なくても保存されることが望ましい。特徴的な色があせて見えるとき、主観的な評価値は低くなる。図 8 は、この傾向を知るためのもので、横軸に誤差の大きさ、縦軸に出現頻度を取り、写真 1 の例画像の誤差分布をプロットしたものである。ここに見られるように、MCA、PA 法共に、比較的誤差の大きな部分まで高い分布を示しているが、提案方式では ΔE の高い部分での減衰が大きくなっている。したがって、提案方式では、大きく離れた色が保存され易い傾向があ

図 8 誤差分布
Error distribution.

る。写真 2 は、SIDBA の GIRL での実験結果であるが、(b) の PA 法では女性の持つ花があせた色になっている。

提案方式では、距離パラメータ D と画質の間に大きな関連性がある。 D は、2 章に示したアルゴリズムで、[step 4] が起動される前の色割当の数 m に大きく影響する。この m と SN 比の関係をテレビジョン学会標準画像と SIDBA 画像 10 種を用いて調べると、画像の種類にあまり依存せず SN 比が最大となる m の値が存在している。この値は限定色数が 256 色、64 色、16 色のとき、それぞれ 220 色、50 色、11 色程度であった。したがって、[step 4] が起動される直前の m の値がこの値近くになるように距離パラメータ D の値を設定することにより、SN 比の良い限定色画像が作られることになる。最後に、写真 3 は、SIDBA-HOME を例に、 D の値を 74 に変えたときの配色の変化を示している。写真 1 (a) ($D=52$) との比較から、 D の値を変えることにより、空や壁、芝生などの雰囲気を変えられることがわかる。

また HOME、MANDRILL、DESK を各々 256 色、64 色、16 色で処理したときの所要時間の平均は提案方式が 81 秒、PA 方が 60 秒、MCA 法が 83 秒であった。また、提案方式で 1 回の会話 (D を与えたとき画像が表示されるまでの応答時間) は 10 秒であった。

6. む す び

本論文では、色選択に柔軟性を持たせた限定色表示手法を提案し、その評価を行った。提案方式の特徴は、限定色の数が少ない場合にパラメータの制御により、特徴的な部分を強調した限定色画像を作成できることにあり、8 色程度以上の任意の色数の限定色画像に適用することができる。また、内部のデータ構造に BD 木を用いることにより、会話時の処理速度を向上

させ、対話性の良いシステムとなっている。さらに、8色程度の色数の限定色画像を作成する際には、色が徐々に変化する部分などで擬似輪郭が目立つようになるが、本論文で述べた色選択法と誤差拡散法⁸⁾を併用することにより、これを緩和できることも確認している。

データ構造や、アルゴリズムの改良による処理速度の一層の向上や、画像伝送、蓄積の際のデータ圧縮率向上のために重要となる、同一色で塗られた独立領域の数を少なく抑えた状況での限定色表示アルゴリズムの開発などが今後の課題である。

(1988年4月20日受付, 1988年10月4日再受付)

[参 考 文 献]

- 1) P. Heckbert: "Color Image Quantization for Frame Buffer Display", Computer Graphics, **16**, 3 (1982)
- 2) K. J. Stevens, A. F. Lehar, F. H. Preston: "Manipulation and Presentation of Multidimensional Image Data Using the Peano Scan", IEEE Trans., PAMI-5, 5 (1983)
- 3) 新井, 安居院, 中嶋: "色空間線形分割法による限定色表示", 信学論, **J70-D**, 2, pp. 346-351 (Feb., 1987)
- 4) 田島: "カラー画像表示アルゴリズム", 情報処理, **27**, 1, pp. 11-20 (Jan., 1986)
- 5) 伊理正夫編: "地理的情報の処理に関する基本アルゴリズム", 日本オペレーションズ・リサーチ学会, 報文シリーズ

T-83-1, pp. 98-134 (1983)

- 6) 大沢, 坂内: "良好な動特性を持つ多次元点データ管理構造の一提案", 信学論, **J66-D**, 10, pp. 1193-1200 (1983)
- 7) 坂内, 大沢: "画像データベース", 昭晃堂, pp. 75-83 (1987)
- 8) 戸沢: "高品質を保ちつつ画像の色素数を減らす方法について", 信学技報, IE 85-108 (1985)

すずき としかず
鈴木 寿和 昭和62年, 東京大学工学部電気工学科大学院修士課程修了。在学中, 多次元データ構造を応用した画像処理の研究に従事。同年, NTT 通信網第一研究所に入所。以来, 高速パケット交換方式の研究に従事。現在, NTT 交換システム研究所に勤務。

おおさわ ゆたか
大沢 裕 昭和53年, 信州大学工学部電子工学科大学院修士課程修了。現在, 東京大学生産技術研究所助手。主として, 画像処理, 画像データベース, 図面処理, データ構造の研究に従事。工学博士。

さかうち まさお
坂内 正夫 昭和50年, 東京大学工学部電気工学科大学院博士課程修了。同年, 同大学専任講師, 51年, 横浜国立大学助教授, 53年, 東京大学生産技術研究所助教授, 63年, 教授となり, 現在に至る。画像処理, 画像データベース, 図形情報応用システムなどの研究に従事。工学博士。正会員。

Analysis of Hue Jitter by Quadrature Modulation of Picture Carrier

*by Tsutomu Noda, Takatoshi Shirosugi,
Akihide Okuda and Isao Nakagawa*

A new TV system which transmits signals multiplexed by the quadrature modulation of a picture carrier is under development. Since hue jitter is caused by the quadrature modulation, there is the previously reported problem of compatibility with NTSC. In this paper, an analysis of the production mechanism of the hue jitter is presented. Hue jitter becomes more pronounced as the ratio of multiplexed signal level to picture carrier level modulated by luminance signal gets higher and as the frequency of the multiplexed signal gets lower. Hue jitter is reduced by narrowing the band width of the carrier reduction circuit in a TV set using synchronous detection. Based on this analysis, hue jitter reduction methods decreasing the multiplexed signal level and decreasing the lower frequency area of a multiplexed signal are proposed.

J. Inst. TV Engrs. of Japan, Vol. 43, No. 3 (1989) 261~267

**A Flexible Color Image Quantization Method
Using a Controllable Selection Parameter**

by Toshikazu Suzuki, Yutaka Ohsawa and Masao Sakauchi

A new high speed and flexible interactive color image quantization method is proposed in this paper. Methods have been developed for color image quantization into over 256 levels. These methods, however, can not provide effective color quantization into the much smaller numbers (i. e., 8 or 16) of levels, nor flexible color selection reflecting a designer's feelings. The proposed method is intended to overcome these two problems using one selection parameter (D). This parameter D represents a maximum distance between representative and candidate color points in the R G B space. With smaller D-value, impressive color even in a smaller area can be preserved. With larger D-value, subtle color change can be expressed. An efficient multi-dimensional data structure, BD-tree, is introduced to realize high-speed and flexible quantization. Experiments with many standard color images reveal the flexibility and superiority of the proposed method.

J. Inst. TV Engrs. of Japan, Vol. 43, No. 3 (1989) 268~275

**Fusional Characteristics of Binocular Parallax as a Function
of Viewing Angle and Viewing Distance of Stereoscopic Picture**

by Shojiro Nagata

The visual space range of the image in a stereoscopic picture is important in evaluating a 3D image system. The visual space range is determined by both the system condition and fusional limits of the binocular parallax. First, this paper derives the relationship between the fusional limits of the binocular parallax and the depth of the reproduced image. Second, the limits are measured using a stereo-HDTV with two 40-inch CRTs and a one OHP-type stereoscopic picture with newly developed STEPOgraphy. Fusional limits are not affected by viewing distances greater than 1.5m in these results. Limits increase at a rate of about 10 arc minutes per arc degree of the stereoscopic picture viewing angle for uncrossed binocular parallax, and at a rate of about 5 arc minutes for crossed binocular parallax. At nearer distances, the effect with the viewing angle of the stereoscopic picture decreases. The viewing angle of the picture and the viewing distance satisfied with fusional limits are considered.

J. Inst. TV Engrs. of Japan, Vol. 43, No. 3 (1989) 276~281