色情報相関を用いたデジタル電子カメラの画素補間方式

The Interpolation Method by Using Color Correlation for Digital Camera

学生会員 朝 康博[†], 学生会員 白 雲峰[†], 正会員 佐藤和弘[†]Yasuhiro Asa[†], Yunfeng Bai[†] and Kazuhiro Sato[†]

あらまし 隣接画素ブロックのパターン情報を基とした単板式デジタル電子カメラへの画素補間方式を提案する。画像信号における R, G, B のパターンの高相関性と、角度空間展開による正確なパターン識別を利用して実現する。本論文では、シミュレーション実験によりその有効性を示す。

キーワード: 単板式デジタル電子カメラ, 角度座標空間

1. ま え が き

半導体撮像素子を用いたホーム用テレビカメラは、この十数年で急速に普及し、今やパソコンを基本に構成したマルチメディア機器の画像入力装置としても欠かせない存在になっている。また近年、デジタル電子カメラにも注目が集まり大形商品に成長しつつある。このような需要の高まりに伴い、感度や解像度といった撮像素子自体の性能も急速に進歩した。

しかし、デジタル電子カメラは、フィルムカメラの存在を無視できず、なお一層の高解像度化を押し進める必要がある。また、このようなホーム用製品は低コスト化が普及の大きな条件であり、1枚の撮像素子でカラー画像を得る単板式にならざるをえない。そこで、信号処理手順による単板式デジタル電子カメラの高解像度化について検討した。単板式デジタル電子カメラの色フィルタは、G（緑）フィルタを市松状に配置したベイヤ配列にほぼ固まってきており、この原色フィルタを前提に信号処理方式を検討した。周知のように解像度を決める輝度信号成分は G 信号によって大きく左右されることから、R および B フィルタが占める部分の G 信号を正確に予測できれば、カメラの解像度を大幅に上げることができる。

今回提案する画素補間方式は、周知の G 信号を用いた予測演算方式とは異なり、同一領域内の R と B のパターン情報を用いて G 信号を予測するもので、特に彩

度が低い部分では精度の良い予測が可能となる。

本方式の特徴であるパターン情報は、 n 画素単位に分割した隣接画素ブロックを用いて導出する。各画素ブロック情報は n 次元空間上の 1 本のベクトルで表示することができ、このベクトル成分はベクトルの大きさ（各画素値の平均電力）と、ベクトルと各空間軸（ n 次元）とのなす角度で表現できる。この角度成分を角度座標空間（角度空間）に表示することで、各対象画素ブロックのパターン状態（平坦、傾斜、エッジ部などの急峻性）を精密に表現できることがわかった^{?)?)}。以下、この予測関数を用いた画素補間方法について述べ、シミュレーション実験によってその有効性を示す。

2. 画像信号の角度空間展開によるパターン識別

画像信号を n 画素単位の隣接画素ブロックに分割し、各ブロック中の画素値 $x_i (i = 1, 2, \dots, n)$ から成る 1 本のベクトルを (??) 式により平均電力値 D （各画素値の 2 乗和平方根）と角度情報 α_i とで表す。

$$\begin{cases} D = \sqrt{\sum_{i=1}^n x_i^2} & (i = 1, 2, \dots, n) \\ \alpha_i = \arccos(x_i/D) & (i = 1, 2, \dots, n-1) \end{cases} \quad (1)$$

角度座標空間（角度空間）上における画像信号は、隣接画素間の高い相関性から、ブロックサイズにより規定される一点 (C_A) に集中し、冗長度が削減される。すなわち、 n 画素から成るベクトルにおいて、 $x_1 = x_2 = \dots = x_n$ という軸は角度空間上のある 1 点に相当する。したがって、この C_A のみを成分とする n 次元ベクトル $\vec{C_A}$ ($\vec{C_A} = \{C_A, C_A, \dots, C_A\}$) は、対象ブロックが平坦であることを示している。また (??) 式から明らかなように、角度情報は対象ブロックの平均電力値と各画素値の比を表している。したがって、各ブロックにおい

1999 年 10 月 29 日受付, 1999 年 11 月 25 日再受付, 1999 年 12 月 3 日最終受付

[†] 東京都立科学技術大学 工学部 電子システム工学科
(〒 191-0065 日野市旭が丘 6-6, TEL 042-585-8600)

[†] Faculty of Engineering, Tokyo Metropolitan Institute of Technology
(6-6 Asahigaoka, Hino-shi, Tokyo 191-0065, Japan)

図 1 角度空間とブロックパターンの対応

The correspondence of the block pattern to the angle space.

て導出される角度と C_A との差から、対象ブロックの急峻性（平坦部、傾斜部、エッジ部）を識別できる。つまり、 C_A から離れるほどより急峻性が高いことになる。このように、角度情報は対象ブロックの急峻度を表している。ここで強調すべきは、角度情報が対象ブロックの平均電力値と各画素値の比であることから、ブロックの急峻性を平均電力値に無関係に識別できることである。図 1 は角度空間（ n 次元角度空間を 2 次元に投影したもの）とブロックの急峻性との対応関係を示したものである。

3. 角度情報による R, G, B 信号の解析

人間の視覚感度特性から、低い彩度の領域における G と R、または G と B には高い相関があることが知られている。したがって、角度情報がブロックパターンを精密に表現できることから、角度情報も同様に高い相関があるはずである。図 2 は画像信号中の任意位置での R, G, B それぞれの角度情報を比較したものである。角度の導出には隣接する 4 画素を用いた。図 2 から、角度情報においても高い相関があることがわかる。

4. 角度情報を用いた画素補間方式について

前章から、G の角度情報と B, R の角度情報とは高い相関があることを確認した。したがって、ベイヤ配列による入力画像信号を想定した場合の R, B 信号位置の G 信号補間は、(2) 式のように市松状の G 信号から予測される平均電力値 D'_R , D'_B と R, あるいは B の角度情報によって可能となる。ここで、 j はベイヤ配列における R の位置、 G'_{R_j} は j における補間 G 信号、 l は同じく B の位置、 G'_{B_l} は l における補間 G 信号を示している。

図 2 任意の画素位置における角度情報の比較

Angle information calculated from R, G, and B respectively, in the optimal pixel position.

図 3 ベイヤ配列
Bayer arrangement.

$$\begin{cases} G'_{R_j} = D'_R \cdot \cos \alpha_{R_j} \\ G'_{B_l} = D'_B \cdot \cos \alpha_{B_l} \end{cases} \quad (2)$$

このように G 信号を補間することで、パターン情報を保持したまま、すなわち高解像度な補間画像を得ることができる。

本方式における具体的な画素補間手順について説明する。まず、ベイヤ配列の色フィルタにより得られた入力画像信号を 4×4 画素単位の隣接画素ブロックに分割する。図 3 のような各ブロックに対して (3) 式により、画素ブロック中の 4 つの R 信号 (R_2 , R_4 , R_{10} , R_{12}) から角度情報 (α_{R_2} , α_{R_4} , $\alpha_{R_{10}}$, $\alpha_{R_{12}}$) を導出する。

$$\begin{cases} \hat{R} = \sqrt{R_2^2 + R_4^2 + R_{10}^2 + R_{12}^2} \\ \alpha_{R_i} = \arccos(R_i / \hat{R}) \end{cases} \quad (3)$$

(ここで $i = 2, 4, 10, 12$)

同様に (4) 式によって、画素ブロック中の 4 つの B 信号 (B_5 , B_7 , B_{13} , B_{15}) から角度情報 (α_{B_5} , α_{B_7} , $\alpha_{B_{13}}$, $\alpha_{B_{15}}$) を導出する。

$$\begin{cases} \hat{B} = \sqrt{B_5^2 + B_7^2 + B_{13}^2 + B_{15}^2} \\ \alpha_{B_i} = \arccos(B_i / \hat{B}) \end{cases} \quad (4)$$

(ここで $i = 5, 7, 13, 15$)

次に、(5) 式により予測平均電力値 D'_R , D'_B を導出する。

図 4 相加平均による補間画像 (G)
Interpolative image by additivity average.

図 5 本方式による補間画像
Interpolative image by proposal method.

$$\begin{cases} D'_R = \sqrt{G_3^2 + G_6^2 + G_8^2 + G_{11}^2} \\ D'_B = \sqrt{G_6^2 + G_9^2 + G_{11}^2 + G_{14}^2} \end{cases} \quad (5)$$

求めた角度情報 ($\alpha_{R2}, \alpha_{R4}, \alpha_{R10}, \alpha_{R12}, \alpha_{B5}, \alpha_{B7}, \alpha_{B13}, \alpha_{B15}$) と D'_R, D'_B を用いて (2) 式から補間 G 信号 G'_{Rj} ($j = 2, 4, 10, 12$), G'_{Bl} ($l = 5, 7, 13, 15$) を導出する。

5. シミュレーション実験

図 4 に一般的な補間手段である水平方向の相加平均による補間画像, 図 5 に本方式による補間画像を示す。相加平均による補間画像はオリジナル画像に対して水平方向にローパスを施したことになるので画像がぼけてしまう。特にエッジ部では画質劣化が目立っている。一方, 本方式による補間画像は角度情報によりパターン状態を保持していることから, 画質劣化がほとんどない高解像度な画像が得られた。オリジナル画像と比較した SNR は, 相加平均による補間画像では 28.4dB, 本方式による補間画像では 32.0dB となり, 約 4dB 向上した。

6. む す び

本論文では, 角度情報が画素ブロックパターンを精密に表現できる特徴を利用した画素補間方式を提案し, シミュレーション実験によりその有効性を確認した。本方式では, D'_R, D'_B をいかに上手く予測できるかで画質が左右される。また, 図 2 から R と B においても相関性が強いことがうかがえることから, R, B 信号の補正に対しても有効であると考えられる。今後, これらについてさらに検討していく予定である。

〔文 献〕

- 1) 朝, 佐藤, 謝: “角度変換ベクトル量子化の SNR についての検討”, 1998 年映像学年次大, 21-9 (1998)
- 2) 朝, 佐藤: “単板カラー CCD の色フィルタレイを考慮した角度変換ベクトル量子化によるカラー画像形成の検討”, 平 10 信学情報・システムソサイエティ全大, D-11-54 (1998)
- 3) 朝, 佐藤: “角度空間ベクトル量子化の性能とその画像処理応用”, 平 11 信学情報・システムソサイエティ全大, D-11-26 (1999)

朝 康博 1998 年, 東京都立科学技術大学工学部電子システム工学科卒業。現在, 同大学大学院工学研究科修士課程電子情報システム工学専攻在籍中。画像圧縮の研究に従事。学生会員。

白 雲峰 1996 年, 瀋陽工業大学電子工程系応用電子技術専攻卒業。同年, キヤノン珠海有限公司入社。現在, 東京都立科学技術大学大学院工学研究科修士課程電子情報システム工学専攻在籍中。画像圧縮の研究に従事。学生会員。

佐藤 和弘 1964 年, 早稲田大学第一理工学部卒業。日本コロムビア (株) から, 1972 年, (株) 日立製作所中央研究所に転じ, 日立マイコンシステムを経て, 1995 年より東京都立科学技術大学電子システム工学科教授。撮像方式, 固体撮像素子, 画像圧縮の研究に従事。工学博士。正会員。