

## 論文内容の要旨

論文題目 単板式撮像素子における圧縮読み出しからの復元に関する研究

氏名 椿(大田) 郁子

デジタルスチルカメラ (DSC) は高解像度化と同時に機能の多様化が進み、今日では、その機能の1つとして動画記録が一般的となっている。撮像素子が高解像度になるほど読み出しにかかる時間が長くなるため、動画記録の場合は間引き読み出しが行われる。しかし、単純な間引きは折返し歪を生じ、ジャギーなどの画像劣化の原因となる。

従来、DSC で記録される動画の画像サイズは、静止画と比べて非常に小さいものであった。次第に画素数やフレームレートが大きくなりつつあり、近年では VGA でビデオレートの動画記録が可能な高解像度の DSC も登場した。これらの DSC は、CCD 上において画素混合が行われている。画素混合とは、隣接する複数の画素値を CCD 上で加算することである。読み出す画素数を半分にすることで、読出し時間を半分にしている。また、単純な間引きと比べて、折返し歪を減少させる効果がある。ただし、単板式撮像素子ではカラーフィルタアレイが用いられるため、カラーフィルタ上で同色の画素同士を混合する。

間引きも画素混合も行わない通常読み出しの場合、CCD から読み出されたデータはデモザイキング処理が行われ、全ての画素に R、G、B の揃ったカラー画像が作成される。デモザイキングとは、カラーフィルタアレイによって欠落した色成分を補間する処理である。画素混合が行われる場合、CCD から読み出された画像はデモザイキング処理を経て、通常読み出し時よりも小さいサイ

ズで記録される。

デモザイキングに関しては、偽色の低減や鮮鋭度の向上を目的とした多くの研究が行われている。線形補間などの一般的な補間手法を基にし、エッジの保存や色相関の性質を考慮して改良された手法が多い。偽色とは、白黒の細線部などの周囲に赤や青などの色がにじんで見える現象であり、単板式撮像素子に固有の問題である。色相関とは、局所的な範囲では3色の色信号間に強い相関が存在する性質である。

本論文では、さらに高解像度の動画記録を目的とし、反復法を用いた画素混合の復元手法を提案する。画素混合は情報を捨てないため、単純な間引きと比べて良好に復元されると考えられる。しかし、これまでは、画素混合の復元について検討されていなかった。また、デモザイキングとの統合、偽色を抑制するための後処理についても併せて述べる。さらに、撮像素子側の処理として、劣化の少ない画素混合方式と、その CCD における実現方法を提案する。また、出力側の処理として、撮像画像を直接圧縮するための圧縮手法について論じる。

まず、画素混合の復元手法について述べる。画素混合の復元は、0次補間、線形補間などの一般的な補間手法によって行うことができる。しかし、失われた高周波成分が復元されないため、鮮鋭度が失われ、ジャギーなどの劣化が生じやすい。そこで、高周波成分を復元するため、超解像法のひとつである Landweber 反復法を適用する。画素混合は平滑化に相当するため、失われた高周波成分を復元する超解像的手法を適用することができる。Landweber 反復法は、 $g$  を入力する劣化画像、 $f$  を復元される出力画像とし、劣化作用素  $A$  とその共役作用素  $T$  を用いて次式で表される。

$$f_n = f_{n-1} - T(g - Af_{n-1})$$

画素混合の復元に適用するために、劣化モデル  $A$  として、画素混合と CCD に付けられている光学 LPF を併せて考慮する。 $g$ 、 $f$  はそれぞれ画素混合画像と復元画像を表すものとする。初期画像として、画素混合画像の線形補間を用いる。ただし、上式の計算は、R,G,B 画像について独立に行う。

画素混合の復元を行った場合、復元画像からのデモザイキングは、復元による誤差が拡大しやすい。そこで、復元とデモザイキング処理を統合し、同時に行う。上に示した反復法による復元は、劣化モデルを変更することで、画素混合画像からの復元とデモザイキングの同時処理に適用することができる。劣化作用素  $A$  を画素混合+カラーフィルタによるサブサンプリング+光学 LPF の操作とし、 $f$  をデモザイキング画像として適用する。

偽色を抑制するための後処理の必要性について以下に示す。反復法による復元は、各色画像ごとに独立して計算を行い、色相関を考慮していない。光学 LPF には、折り返し歪みの抑制と偽色の

低減の効果があるが、ベイア配列のカラーフィルタは再現可能な周波数帯域が R、B と G 画像で異なる。そのため、反復法によって復元される周波数帯域が異なり、偽色が再び生じると考えられる。そこで反復法で得られたデモザイキング画像に対して、色相関を用いた後処理を行う。

後処理は、R,B 画像のそれぞれの画素において縦、横方向の相関値を求める。そして、相関の高い方向に関するハイパスフィルタを G 画像に施し、得られた値を R,B 画像に加える。これは、エッジの保存と色相関を考慮している。G 画像は後処理を行わず、反復法によるデモザイキング画像をそのまま用いる。

実験は、標準画像、サーキュラゾンプレート、DSC の RAW 出力画像を用いて行った。RAW 出力画像とは、デモザイキング前の画像を非圧縮で出力した画像である。画素混合、復元、デモザイキングは計算機上で行った。比較のために、0 次補間、線形補間を用いて混合前の画像を復元し、従来の手法によってデモザイキングを行った画像も作成した。また、原画像と比較したデモザイキング画像の平均 2 乗誤差を計算した。

実験の結果、0 次補間を用いた画像はジャギーが目立ち、線形補間を用いた画像は鮮鋭度が低くなった。反復法を用いた結果、ジャギーが目立たず鮮鋭な画像が得られ、後処理によって偽色が低減した。平均 2 乗誤差については、反復法を用いた手法は、補間手法を用いた場合よりも誤差が小さく、後処理によってさらに小さくなった。

次に、劣化の少ない画素混合方式について述べる。垂直画素混合は、3 色とも 2 行下の画素との混合である。これは G 画像において最近傍の同色画素との混合ではないため、劣化が余分に生じると考えられる。そこで、G 画像について斜め下の画素と混合する斜め画素混合を提案する。斜め画素混合を行った画像に対して復元を行うと、従来の垂直画素混合の場合よりも良好な結果が得られる。

CCD 上で斜め画素混合を行う手法として、インターライン型 CCD に対して、偶数行の画素は右側の垂直 CCD に読み出し、奇数行の画素は左側の垂直 CCD に読み出すように改良する。この改良により、G だけを転送する垂直 CCD と R,B を転送する垂直 CCD に分離される。そして、G の垂直 CCD 上で隣接するデータを混合し、R,B の垂直 CCD 上で 1 つおきのデータを混合すると、G の斜め画素混合と R,B の垂直画素混合を行うことができる。

さらに、CCD の駆動方法の改良も必要である。垂直 CCD において、4 行のうち 2 行の入れ替えを行い、R,B の垂直画素混合を行う。入れ替えは、垂直 CCD に読み出すタイミングをずらすことで行うことができる。垂直 CCD を制御する電極は、すべての列で共通であり、列ごとに異なる制

御を行うことができない。このため、G の列も同様に入れ替えを行う。

さらに、列ごとに異なる行同士で混合を行うために、最下行において G の垂直 CCD だけ 1 行分タイミングを遅らせる。そして、水平 CCD に転送するときに 2 行ずつ混合を行うと、G の列だけ 1 行上の行同士が混合され、列ごとに異なる行での混合を行うことができる。G の列だけ 1 行分タイミングを遅らせるためには、例えば G の垂直 CCD の最下行に 1 行追加する手法が考えられる。これらの改良により、G の斜め画素混合と R,B の垂直画素混合を同時に行うことができる。

次に、撮像画像を直接圧縮するための圧縮手法について述べる。従来の DSC においては、デモザイキング画像に JPEG 圧縮を施し、メディアに記録する。デモザイキングはデータ量を増やすため、JPEG 圧縮における処理量が大きくなる。また、JPEG 圧縮は通常 YUV 色空間で行い、色差成分 U、V に対して間引きを行っている。これは、デモザイキングによる補間後に間引くという点で、効率が良くないと考えられる。そこで、デモザイキング前に圧縮して記録し、解凍後にデモザイキングを行う方式を論じる。これは高速処理が可能になるという利点があるが、圧縮によって生じる劣化が、補間によって拡大するという欠点がある。そのため、適切な圧縮率を選択する必要がある。

デモザイキング前の画像は 1 画素につき 1 色しか持たないため、通常の画像圧縮手法をそのまま適用することができない。そこで、デモザイキング前の画像に対して、各色毎にグレー画像として JPEG 圧縮する手法と、近傍の RGB3 画素をまとめてカラー画像とし、残りの 1 画素 (G 画像) をグレー画像として JPEG 圧縮する手法を検討する。実験の結果、これらの手法は圧縮率を大きくするとデモザイキング画像の平均 2 乗誤差が大きくなるが、視覚的には劣化の目立ちにくい画像が得られることが分かった。

本論文では、画素混合画像に対する復元とデモザイキング手法を提案し、有効性を確認した。また、劣化の少ない画素混合方式と CCD における実現方法を示した。さらに、デモザイキング前に画像圧縮を行うことが高速処理のために有効であることを示した。これらによって、単板式撮像素子において撮像される動画の高解像度化が可能であることを示した。