

論文の内容の要旨

論文題目 画素適応処理による立体映像表示・自由視点画像合成の
高画質化の研究

氏 名 浜田 宏一

本論文では、画像処理を対象として、画素適応処理による高画質化の提案を行う。半導体技術の進歩や実装方法の改善により、一画素ごとに処理とパラメータを変化させる画像処理である画素適応処理の研究が民生分野で活用されつつある。民生分野で画素適応処理による画像処理が幅広く活用されるための要素の一つである画質に着目し、その改善方法に関する提案を行う。本論文では、立体映像表示と自由視点画像合成を高画質化のターゲットとし、それぞれ、リアルタイムもしくは高速化実装を通して高画質化を実現するアルゴリズムを提案する。立体映像表示に関しては、プラズマディスプレイパネル（PDP）を用いた時分割2眼立体表示方法を提案し、そのハードウェア実装および画質改善方法に関して提案する。また、自由視点画像合成においては超解像技術を組み合わせた超解像自由視点画像合成の研究において、その高速化実装および画質改善方法に関して提案する。

画像処理技術の高画質化の検討を行う際には、その処理がリアルタイムもしくは、十分に高速に実行される事が望ましい。例えば、立体映像表示方式の検討においてはフリッカー（映像の時間方向の点滅）の見え具合も画質の要件となるため、その画質を評価するためにはリアルタイム実装が必須となる。また、リアルタイム実装が必須でない場合であっても、処理の高速実装が可能となると処理結果を見ながらのパラメータ調整が可能となるため、パラメータ調整自体が容易となるだけでなく、提案する画質改善手法が有効かどうかの確認が容易に行えるというメリットがある。そのため、本論文においては、PDPを用いた立体映像表示方式と超解像自由視点画像合成の高画質化検討を行うが、その検討に先立ち、それぞれリアルタイム実装方法の提案を行う。さらに、高画質化手法の検討で考案した方式は、それぞれの実装例だけでなく、幅広く他の実装においても適用可能であることを示す。

立体表示装置における高画質化信号処理手法の提案では、PDPと液晶シャッタメガネを用いる時分割立体映像表示を実現した。PDPを用いて時分割立体画像が表示可能なサブフィールド発光スキームを提案するとともに、階調信号処理に関して、立体表示に適した改善方法を提案した。提案した階調信号処理をハードウェア実装し、実際のパネルを用いて時分割立体画像が表示可能なことを確認した。従来のPDP信号処理に用いられていた擬似階調表現法である、誤差拡散法およびライン間ディザ法に加えて、フィールド間誤差拡散および新たに提案した左右逆スキャンによる誤差拡散手法を用いることにより、立体表示において少ない階調しか得られない場合でも、より自然な階調を表現できる方法を提案し、その効果を主観評価実験により確認した。提案した表示方式はCRT (Cathode Ray Tube, ブラウン管) でいえば120Hzの順次走査に相当し、CRTを用いた120Hzインタレース表示よりも画像の安定感が得られている。またPDPは、CRTやプロジェクタと異なり幾何ひずみが生じない点も、立体視における奥行き知覚にとって有利であり、PDP立体表示の特徴と考えられる。

次に、PDPを用いて時分割立体画像を表示する際に課題となっていたクロストーク妨害の低減に関して検討した。クロストーク妨害とは、左目用の画像が右目に漏れ込み(もしくは、右目用の画像が左目に漏れ込み)画質を劣化させる妨害である。本研究では、クロストーク妨害の原因を調べるとともに、蛍光体発光のシミュレーションにより、残光時定数とクロストーク量との関係を定量的に求めた。その結果、残光によるクロストーク妨害を無くすためには、残光時定数($1/e$)が1.0~1.5ms程度以下になればよい可能性を導いた。さらに、画素適応信号処理によりクロストークを低減させるクロストークキャンセラを提案し、現状の蛍光体でも絵柄によっては許容限以上の画質で表示可能なことを主観評価実験により確認した。提案したクロストークキャンセラは、左右の画像の映像信号どうしの減算によりクロストークを除去する。クロストーク除去量を一面素ごとに推定する画素適応処理を行うことにより、高画質化を実現している。本論文では、残光時定数とクロストーク量の定量的関係を明らかにしたことで、PDPを用いた立体表示装置の蛍光体に対する設計指標を導き出すことに成功した。

自由視点画像合成における高画質化手法の提案では、自由視点画像合成と超解像技術を組み合わせた超解像自由視点画像合成手法の高画質化に取り組んだ。まず、超解像自由視点画像合成の演算高速化に向けて、超解像再構成演算の実装上の提案と、アルゴリズム面での提案を行い、全体のアルゴリズムをグラフィックプロセッシングユニット(GPU)上に実装した。実装上の提案では、超解像再構成演算の並列化において課題となっていた疎行列演算を、密行列演算へと変換可能であることを示し、並列化による高速演算を可能とした。アルゴリズム面での提案では、超解像再構成演算時の初期画像の提案と新しい合成手法の提案を行い、繰返し演算回数を削減させた。超解像再構成演算の初期画像として、混色による合成画像に高域強調を施した画像を用いることで、同じ画質を得るための繰返し演算回数を低減できることを示した。また、従来から超解像に

用いられてきた滑らかさの拘束を正則化項として再構成演算を行い、その結果をデプスの信頼度に応じた重み付け処理により混色合成の結果と統合する新しい手法を提案した。これにより、デプスの信頼度を直接正則化に用いた従来の手法と比較して、再構成演算の繰り返し回数を大幅に削減しつつ、従来手法と同等の画質が得られるようになった。超解像自由視点画像合成の高速化実装が可能となったことで、出力結果を見ながらのパラメータ調整が可能となり、画質改善に貢献した。

超解像自由視点画像合成の高画質化の研究では、画素適応重み付けによる超解像処理の提案を行った。オクルージョン等によって生じる画素間の位置合わせ誤差の影響に対処するため、入力画素一画素ごとに重み係数を乗じる超解像手法を提案した。一般的に、位置合わせ誤差は、超解像演算結果を大きく劣化させるため、位置合わせ誤差にロバストに対応するロバスト超解像処理が提案されている。従来のロバスト超解像処理においても、画素選択の目的で、入力画素一画素ごとに重み係数を乗じる手法が提案されているが、その重み係数は、例えばスレッショルディング等の何らかの関数を用いて超解像再構成演算の前に決定されていた。これに対し、提案する手法は、重み係数に対する正則化項をコスト関数に導入することにより、再構成演算におけるコスト関数の最適化と同時に重み係数も最適化するという新しい方式であり、ロバスト超解像処理として、超解像処理一般に広く活用可能なものである。重み係数の決定方法を、コスト関数の最小化の枠組みに取り込んだことで、重みの設定に関する知識がなくとも、適切に重みを設定可能とした。本論文では、その重み決定方法を超解像自由視点画像合成へ適用し、従来のロバスト超解像方法よりも、画質が改善されることを確認した。位置合わせ誤差という、実運用上の課題に対処できる手法を提案できたことは、画素適応処理の民生分野での活用が大きく貢献できたと考えられる。

PDPを用いた立体表示方式の研究は、その後、メーカーとの共同研究へと発展し、立体表示が可能なPDPテレビとして製品化された。画素適応処理による高画質化の研究が民生品へと適用された例である。PDPを用いた2眼立体表示方式は、立体表示方式としては、原始的なものであり、民生分野においても、さらに高い臨場感を得られる多眼表示方式等の活用が期待される。多視点画像を自由に生成できる自由視点画像合成技術は、多眼表示方式の入力画像生成にも活用可能であり、本研究は、高臨場感表示方式に向けた高画質化方式の研究としても位置づけられる。画像処理研究としては当然のごとく行われている画素適応処理であるが、その技術を民生品にて活用しようとする、リアルタイム処理化や高速処理化が必要となり、本研究で示したようにアルゴリズム面でも処理を見直す必要が生じる。日々目覚しい進歩を遂げている画素適応処理による高度な画像処理技術が、実装技術の進歩と半導体技術の進歩により、民生分野においても広く活用され、発展していることが期待される。