

平成 22 年 3 月 31 日現在

研究種目：若手研究(B)
 研究期間：2008～2009
 課題番号：20700154
 研究課題名（和文） 多機能・高品質コンピュータシヨナルイメージングのための信号変換理論の構築と検証
 研究課題名（英文） Signal transformation theory and its evaluation for multi-function and high-quality computational imaging

研究代表者
 久保田 彰 (KUBOTA AKIRA)
 中央大学・理工学部・助教
 研究者番号：70398949

研究成果の概要（和文）：視点位置，焦点合わせの異なる画像群から，それぞれのパラメータを変更した画像を生成するためのアルゴリズムを開発し，シミュレーションにより効果を確認した．アルゴリズムでは，シーンを多数枚の平面の集合であるとして，平面ごとに取得画像と生成画像との関係を線形モデルで記述した．複数の線形モデルを解く際に，シーンがどの平面に属しているかという情報を削除することができるため，信号処理による信号変換が可能であることがわかった．

研究成果の概要（英文）：This project developed a new image synthesis method that can reproduce visual effects using images that were captured under different capturing conditions. Simulation results showed the effectiveness of the developed method.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2008 年度	900,000	270,000	1,170,000
2009 年度	2,100,000	630,000	2,730,000
年度			
年度			
年度			
総計	3,000,000	900,000	3,900,000

研究分野：情報学

科研費の分科・細目：画像情報処理

キーワード：イメージベースドレンダリング，作用素論

1. 研究開始当初の背景

最近では，多視点画像から任意視点画像を生成するための手法の研究例が多い．この手法は，(1) 密な光線（＝多視点画像）を記録し，それを再サンプリングする手法，(2) 多

視点画像からコンピュータ・ビジョンの手法を用いてシーンの形状を推定し，その形状に多視点画像のテクスチャをマッピングする手法，の二つがあり，大多数を占める（ほとんど100%に近い）．

(1) の手法は，サンプリング定理に基づい

ている。すなわち、所望の画像がエイリアシングなしに再構成できるように予め密な光線を記録する方法である。レンズアレイを用いたり、開口の異なる画像列を利用する例がある。なお、密な光線を加算平均すれば、当然のことながら、焦点効果を付与することが簡単にできる。

(2)の手法は、シーンを復元する問題であるが、それを解決するのは一般的に難しく、誤差を伴って復元された形状からは、本研究の目的に合う高品質な画像生成は難しい。他にも、多視点画像からの高解像度画像の生成、多焦点画像からの鮮鋭画像の生成など、個々のパラメータに特化した処理は多い。しかしながら、複数のパラメータを統一的に扱った信号処理によるアプローチ-シーンの形状推定に依存せず、かつ、サンプリング定理の枠を超えた変換理論を議論した研究例がほとんどない。

2. 研究の目的

本研究の目的は、撮像パラメータの異なる画像群を効率よく取得し、その画像群から、対象シーンの解析を経由することなく、多様かつ高品質な画像を直接変換するための理論を構築することである。

撮像パラメータには、視点、焦点、開口形状、解像度の4つを想定している。高品質化のねらいは、高解像度化、鮮鋭化(被写界深度の拡大)、色再現性の向上、雑音抑制にある。多様化(多機能化)のねらいは、任意の視点、焦点、開口形状での新しい映像効果の付与にある。

単一のカメラでは、物理的に様々な制約を受ける。例えば、解像度を高くするために画素長を小さくすると、被写界深度が浅くなるため、シーン全体に焦点を合わせることができなくなる。さらに、開口率も下がるため、雑音も多く発生する。また、視点位置や焦点合わせ、開口形状による映像効果は撮影後の画像上で自由に変更することはできない。

本研究では、撮像パラメータを最適に変えた画像群を処理することによって、撮像系の物理的な制約を超えて、高品質な画像を生成し、さらに、自由に映像効果を与える(多機能化)ための理論を構築する。単版カラーアレイの低解像カメラであっても、その焦点合わせや視点位置を変えて取得した多数枚の画像を取得できれば、本研究の手法によって、例えば、(1)高解像かつ色再現性のよい画像を鮮鋭に生成する；(2)異なる2視点からの画像(ステレオ画像)を仮想的に生成してユーザに3次元効果を与える；(3)任意の距離に焦点を合わせた画像を生成する；といったことが可能となる。

さらに、このような画像生成の目的に応じ

て必要となる撮像パラメータおよびそのサンプル密度を決定することで、効率のよい画像取得の理論も構築する。これは、画像取得装置を作製する際に有効な指針となる。

3. 研究の方法

(1)数学的モデルの導入：4つの撮像条件で変化するのは、シーンから到来する光線である。視点と解像度の変化により、光線のサンプル位置が変化し(ダウンサンプリングと空間シフト)、焦点と開口形状の変化により、光線の混合の仕方(低域通過フィルタ)が変化する。したがって、撮像条件の変化により、光線に対して一種の作用素が施されると解釈できる。

そこで、まず、所望の視点から見たとき、シーンがN枚の異なる奥行平面からなっているものと仮定する。つぎに、n番目の奥行を基準として、撮像画像群の対応光線を算出し、それらを混合することによって、その視点の画像(g_n とする)を合成する。このとき、この合成画像を、N個の奥行から到来する未知の光線群 $\hat{A}_n(n=1, \dots, N)$ に作用素 $h_{ij}(i; j=1, \dots, N)$ が施されたモデルとして記述する。

$$g_n = h_{n1}\hat{A}_1 + h_{n2}\hat{A}_2 + \dots + h_{nN}\hat{A}_N; n = 1, \dots, N$$

(1) このモデルは、焦点と視点の撮像条件の場合において、これまでも用いてきた。例えば、焦点の撮像条件だけを考えれば、奥行nに焦点が合っている場合、作用素 h_{nn} は恒等変換、その他の奥行への作用素は低域通過フィルタとして記述できる。今回は、すべての撮像条件を考慮した作用素のモデルを導入する。作用素は、撮像条件だけに依存し、空間シフト、ダウンサンプリングおよび低域通過フィルタの組合せとして記述できる。

一方、所望の映像効果 k_n を各奥行に施した画像 f は、次のようにモデル化できる。

$$f = k_1\hat{A}_1 + k_2\hat{A}_2 + \dots + k_N\hat{A}_N \quad (2)$$

したがって、問題は、 g_1, \dots, g_N から f を構築するための理論を導くことである。未知な光線群 \hat{A}_n が媒介変数のように両者を結び付けている。

(2)数学的モデルの解法：

上で定義された問題を解くために、線形代数におけるスペクトル分解を利用することを考える。式(1)は、 \hat{A}_n に関する連立方程式の形式となっているため、作用素を係数と見なした係数行列の対角化を試みる。ここで、作用素は、仮定の奥行配置を適切に設定すれば、奥行方向に対称な性質(すなわち $h_{ij}=h_{ji}$)を有する。これを利用すれば、係数行列の対角化が保証される。これによって、固有関数および固有値(実数)が求められる。

固有値の大きさによって、 \hat{A}_n の解きやすさが決まる。固有値が零の場合、その固有空間では、 \hat{A}_n を一意に求めることができないが、最終的に求めたいものは式(2) で表される f であるから、 f がその固有空間に属さなければ、 \hat{A}_n が不定であっても f が一意に決定されるはずである。このことは、シーンの情報が不定であっても、撮像条件から決まる固有空間の構成によっては、所望の画像が決定できることを意味している。

以上のような理論展開を、奥行き方向に連続な光線の関数 \hat{A} について一般的に行う。これには、関数空間上の作用素論を適用する。固有値の大きさとその固有空間に f が属するかどうかという観点から、変換理論の一意性と安定性を明らかにする。

4. 研究成果

(1) ステレオ画像から中間視点画像を生成する問題では、ステレオ画像から対応点を推定し、対応点の画素値を混合する方法が主に検討されてきた。本研究では、左右で焦点合わせが異なるステレオ画像を取得すれば、対応点を推定する必要はなく、視点間画像の生成が可能となる手法を提案した。ただし、二層の奥行きからなるシーンを対象とし、左視点では前景に焦点を合わせた画像、右視点では背景に焦点を合わせた画像を取得する。提案手法では、各取得画像を空間不変フィルタに通した画像を加算することによって中間視点画像を生成する。フィルタは、前景と背景の視差量とぼけ量だけで決定され、画素ごとの奥行情報を必要としない。合成画像と実写画像を用いた実験により、提案手法の有効性を示した。

(2) 多視点画像を用いて自由焦点画像を生成するデジタル・リフォーカス法として合成開口法がある。合成開口法は、多視点画像をシフトさせた後、重み平均することによって容易に自由焦点画像を生成することができるが、多視点画像の視点間隔が大きくなると焦点ぼけ領域にゴースト劣化が生じる。本研究では、視点間隔が要求される間隔よりも大きい場合であっても、シーンに依存した処理を行うことなく、ゴースト劣化を抑制した自由焦点画像を生成する手法を提案した。提案手法では、合成開口法を用いて合焦距離の異なる自由焦点画像を連続的に生成し、得られた三次元画像に対して空間不変フィルタを施すことによってゴースト劣化を修復する。合成画像および実写画像を用いた実験の結果、隠れの少ないシーンに対しては、要求される間隔の 10 倍程度までの条件において提案手法が有効であることが示された。

(3) 従来の超解像の手法において、写真や文書の高解像度化が確認されている。しかし対象としている写真や文書などは、平面的な物体で奥行き固定のものである。これまでの研究に於いては、奥行き変化のあるシーンに対しても、これは構造推定などを行って局所的な処理を行えば高解像度画像は再構成可能であるとしており、奥行きを考慮した手法は検討されていなかった。しかし、構造推定は複雑な処理であり、奥行きの推定を誤れば、途端に画質は劣化してしまう。本研究では、画素ごとの煩雑な処理や、奥行き推定を必要としない高解像度画像を再構成する手法を開発した。シミュレーション結果により、入力画像の枚数を増やすと、解像度の向上が認められた。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[学会発表] (計 9 件)

- ① 藺邊彩範, 久保田彰, 実シーンを 2 層化した多視点からの超解像, 画像電子学会第 250 回研究会, 2010 年 3 月, 熊本
- ② 池藤広司, 久保田彰, 確率奥行きマップを用いた多視点画像からの自由焦点画像の生成, 画像電子学会第 250 回研究会, 2010 年 3 月, 熊本
- ③ 浅野哲也, 久保田彰, 羽鳥好律, 焦点と視点の異なる画像からの中間画像の反復再構成, 信学技報 (画像工学研究会), 2010 年 3 月, 宮城
- ④ Akira Kubota, Tomohito Hamanaka, Yoshinori Hatori, View interpolation using defocused stereo images: A space-invariant filtering approach, International Conference on Image Processing 2009 (ICIP2009), 2009 Nov., Egypt
- ⑤ 浅野哲也, 久保田彰, 羽鳥好律, 焦点ぼけを利用した 3 視点からの中間視点画像生成, 映像メディア処理シンポジウム, 2009 年 10 月, 宮城
- ⑥ 鈴木啓太, 佐藤大樹, 保坂忠明, 久保田彰, 大井隆太郎, 児玉和也, 浜本隆之, 再構成フィルタによる多層奥行きシーンでのリアルタイム任意視点画像合成, 映像情報メディア学会年次大会, 2009 年 8 月, 東京

- ⑦ 久保田彰, 児玉和也, 羽鳥好律, 三次元フィルタリングに基づく多視点画像からの任意焦点画像の生成, 信学技報 (画像工学研究会), 2009年7月, 島根
- ⑧ Ami Yokoyama, Akira Kubota, Yoshinori Hatori, Reconstructing a Super-Resolution Image for Depth-Varying Scenes, International Workshop on Advanced Image Technology 2009 (IWAIT2009), 2009 Jan., Korea
- ⑨ 横山あみ, 久保田彰, 羽鳥好律, 奥行き変化のあるシーンに対する高精細画像の反復再構成, 信学技報 (画像工学研究会), 2008年10月, 山形

6. 研究組織

(1) 研究代表者

久保田 彰 (KUBOTA AKIRA)
中央大学・理工学部・助教
研究者番号 : 70398949

(2) 研究分担者

(3) 連携研究者