

「デジタルカメラ画像処理の進歩と進化」

京都産業大学 コンピュータ理工学部 蚊野浩

1. はじめに

デジタルカメラ向けの画像処理は、そのアイデアが考案された時には実現不可能なほどに計算コストが高いものであっても、本当に有効なものであれば、いずれ小型・ローコスト化され、機器に組み込まれる可能性が高い。実際その進歩は著しいが、レンズが生成する光像の忠実再現が基本であるという意味では、進歩したデジタルカメラも従来型カメラと同じである。

米国 Lytro 社が発表したライトフィールドカメラは独特な撮像系を有しており、最終画像は、取得した光線空間を後処理することで生成する。これは、撮影後に焦点位置や被写界深度を制御することが可能な技術であるが、撮像系が撮影空間の光線状態を取得するため、従来型カメラとは異なった、進化したカメラであると言われる。

本稿では、デジタルカメラの進歩に貢献した、コンピュータビジョンを駆使した画像処理技術、および、次世代カメラへの一つの進化であるライトフィールドカメラについて解説する。なお、本解説は文献 1)に基づいている。

2. コンピュータビジョンとデジタルカメラ画像処理

コンピュータビジョンは、カメラで撮影した画像・映像を処理することで、被写体の 3 次元形状をはじめとするさまざまな性質を分析・解析・認識する研究領域である。自律移動ロボットのための視覚機能を主たる目的として研究されてきたが、その技術がデジタルカメラに応用されている。その代表的な機能を説明する。

2. 1 顔検出

撮影される写真の 70%以上が人物を中心とする写真であるとされるように、顔と人物は重要な被写体である。情景に存在する顔を検出することで、顔領域に自動的にフォーカスや絞りを合わせる顔 AF や顔オートアイリスは、ほとんどのデジタルカメラに実装されている。このようなカメラ制御への利用にとどまらず、顔画像を積極的に加工する処理も実用化されている。代表的なものは、瞳補正、小顔化、美肌・美白処理などである。これらを可能にしたのは、認識に有効な顔特徴の発見と、それを最適に組み合わせることができる学習理論が、

実用レベルまで確立されたことである。

2. 2 移動被写体の追跡

ペットや子供、自動車などの移動被写体であって、しかもカメラからの距離が変化するものにピントを合わせることは至難の技である。これを自動化する第一歩は、映像中の動体を、画像処理によってリアルタイムで追跡することである。

カラー情報を用いたテンプレートマッチングは、画像処理による物体追跡の基本手法であるが、被写体の形状変化に弱い。これを改善するためには、形状変化に強い特徴を用いる必要がある。しばしば利用されるのは小領域のカラーヒストグラムである。例えば、カラーヒストグラムの **Mean Shift** による物体追跡は、形状変化に頑健で計算速度も速い。

改善された手法でも、被写体が前後に動き、見かけの大きさが変化する場合には、追跡性能が十分とは言えない。ほとんどの場面で頑健に動作する被写体追跡技術は、まだ開発されていないと思われるが、その候補となりうるのは、**SIFT** 特徴のように、見かけの大きさにも不変な特徴を利用するものである。

2. 3 超解像処理

画像の拡大処理はサンプリング定理に基づいて実行される。最近隣補間、バイリニア補間、バイキュービック補間、窓関数をかけた **sinc** 関数補間などがあり、結果画像に若干の違いはあるが、いずれも元画像に存在しない成分を発生させる意図はない (図 2.1 (1))。

単純な拡大とは異なる超解像処理は、元画像に存在しない高周波成分を生成することで、より詳細な画像表現を目指すものである。図 2.1 (2)に示す複数画像からの処理と、(3)に示す1枚の画像からの処理がある。複数画像からの処理は、サブピクセル精度で位置合わせした画像群に、画像復元処理を行うことで画素数を増やす処理である。複数の画像を、元シーンの高周波成分の折り返しが残るように撮影し、それらを位置合わせした後に、高周波成分を強調する。1枚の画像からの超解像処理は、サンプリング定理の枠組みを外した処理である。撮影された画像は顔画像である、などと仮定し、その仮定のもとで、結果画像を推定する。いずれの方式も実用化されているが、その効果が十分に検証されているとは言えない。

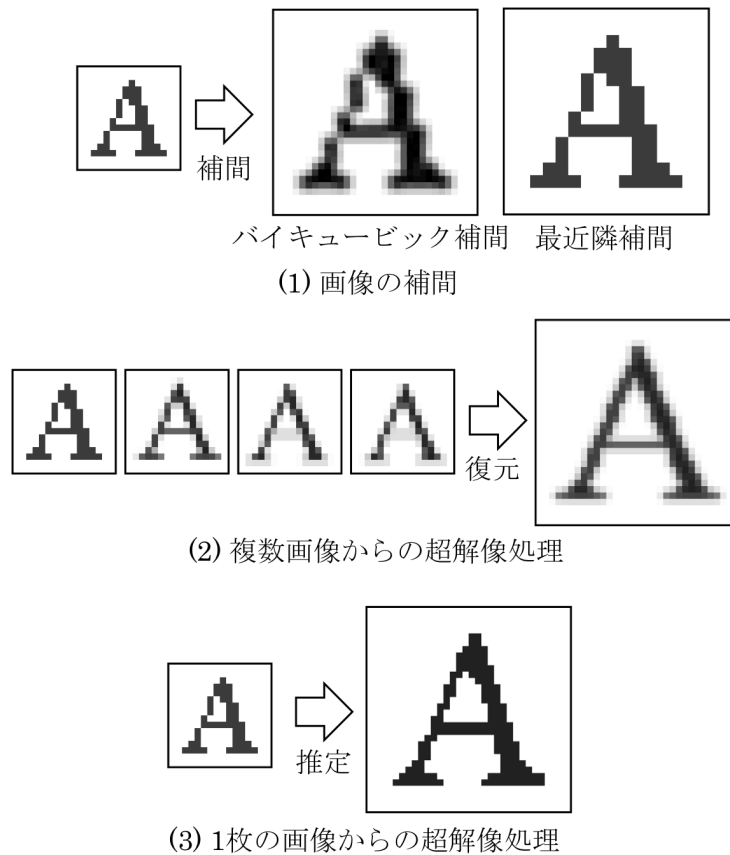


図 2.1 超解像処理と画像の補間

2. 4 電子式手ぶれ補正

光学的手ぶれ補正は、撮影時のカメラボディの動きに伴う光像の動きを物理的にキャンセルする手法である。これに対して、電子式はぶれて撮影された写真画像を後処理によって修正する技術である。代表的な電子式手ぶれ補正に、三つの方式がある。

第一の方式は加算合成式と呼ばれる。通常のシャッター速度の 4 倍程度の高速シャッターで複数画像を連射撮影し、それらを位置合わせ加算する。第二の方式は画像復元式と呼ばれる（図 2.2）。ジャイロセンサなどでカメラボディの動きを測定し、その情報からぶれ画像の点拡がり関数を推定、ぶれ画像を復元する。第三の方式は長短露光画像合成式と呼ばれる。通常シャッターと高速シャッターで 2 枚の画像を連射撮影する。そして、画像の平坦部は手ぶれ画像を、エッジ部分は短露光画像を用いるように適応的に画像を合成する。

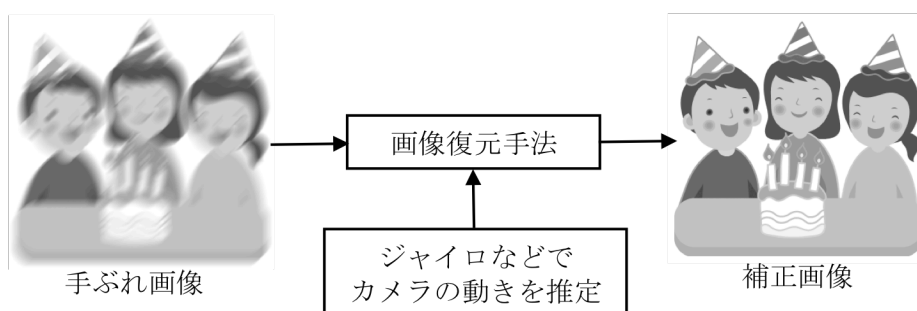


図 2.2 画像復元式の電子式手ぶれ補正

これらの方式は、単独で用いても効果があるが、光学式手ぶれ補正と組み合わせることでさらに効果をあげることができる。この方式をハイブリッド手ぶれ補正と呼ぶ。

3. ライトフィールドカメラ

ライトフィールド（光線空間）について、簡単に説明する。図 3.1 に示すように、ピンホールカメラで撮影した画像において、個々の画素は対応する被写体から発する一本の光線に対応する。もしも、ピンホールカメラを 3 次元空間に、十分密に配置するならば、それらの画像群によって空間の光線状態を記録することができる。このような光線状態によって記述される 3 次元空間をライトフィールドと呼ぶ。

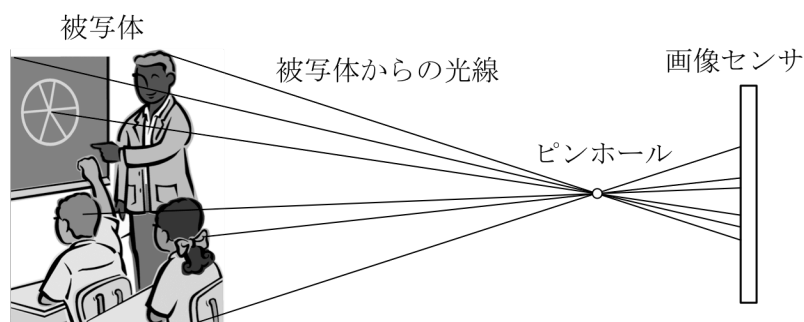


図 3.1 ピンホールカメラによる光線の記録

3. 1 ライトフィールドカメラの原理

通常のカメラは、図 3.2 に示すように、被写体表面から発する光線の中でレンズに到達したものを集光し、画像センサ上に光像を作る。被写体からさまざまな方向に発した光線は、画像センサ上で積算されるため、元の光線を分離する

ことは不可能である。

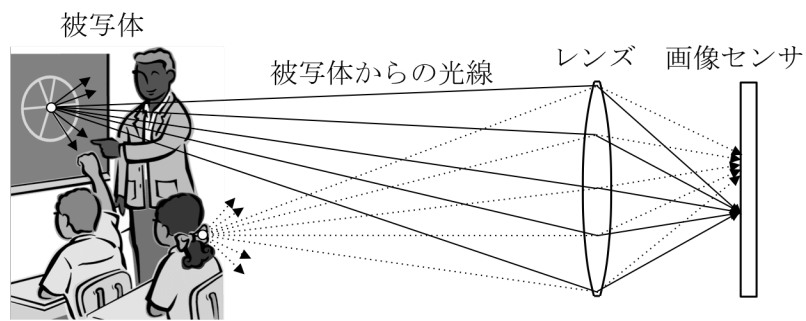


図 3.2 通常のカメラによる光線の結像

レンズに到達する光線を分離して記録することは、図 3.3 に示すように、元のカメラのレンズ位置に、多数の小口径カメラ（あるいは、ピンホールカメラ）を配置して画像取得することで実現できる。各画像の各画素は、そのカメラ位置を通過する一本の光線と対応する。

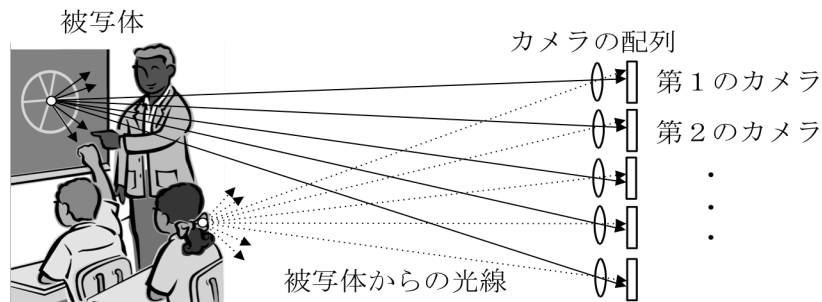


図 3.3 ピンホールカメラの配列による光線空間の取得

3. 2 ライトフィールドカメラの画像処理

取得した光線空間から最終画像を生成する処理は、図 3.4 に示す仮想カメラの特性に基づいて撮影現象をコンピュータシミュレーションすることである。仮想カメラの特性とは、レンズの口径・焦点距離、画像センサの面積・画素数、レンズと画像センサの距離、などである。

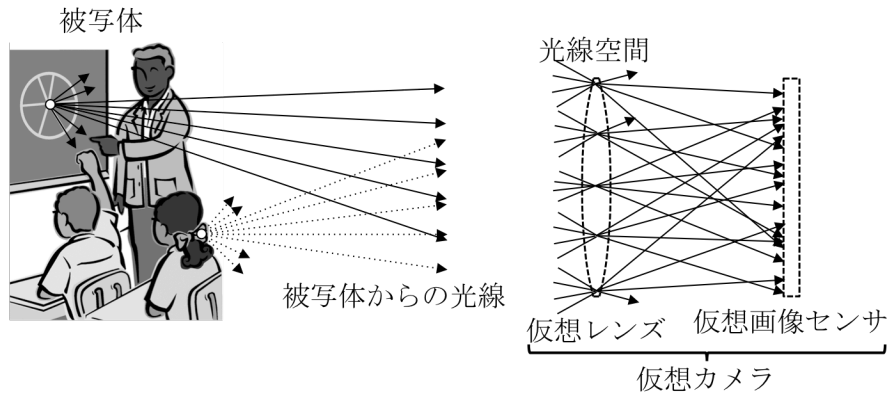


図 3.4 光線から最終画像を得るための仮想カメラの設計

光線空間を表現する生データは、多数の画像からなる画像群であるから、撮影現象のシミュレーションも一種の画像処理である。その一例を図 3.5 に示す。ここでは、 3×3 に配置した 9 台のカメラで、斜めに置いた「OplusE」の文字列を撮影する。9 枚の画像はカメラ位置と被写体までの距離に応じて、文字の位置が少しずつ異なる。これらの画像をカメラ位置に応じて適量シフトして加算平均する。シフト量を調整することで画像群が重なる位置が変化し、結果的に、フォーカス位置が異なった画像を計算することができる。なお、実用的なライトフィールドカメラは 10×10 以上の画像群が必要であると思われる。

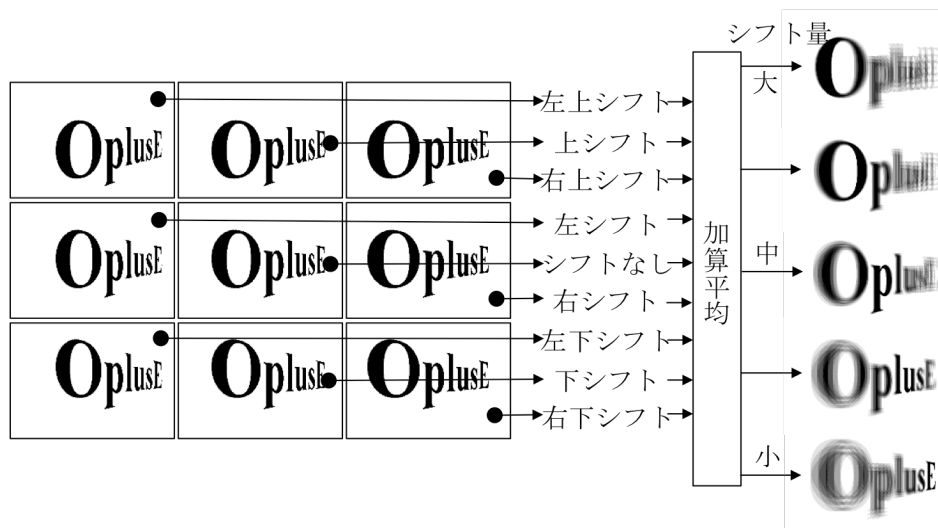


図 3.5 ライトフィールドカメラにおける画像処理の一例

3. 3 マイクロレンズ方式のライトフィールドカメラ

図 3.3 に示した構成のライトフィールドカメラは、原理を理解するには好都合

であるが、実用的なカメラとして実現することは困難である。そこで、図 3.6 右に示す、撮像素子の直前にマイクロレンズを配置する構成が考案された。マイクロレンズは、画像センサの 10×10 画素程度をカバーする大きさで、画像センサ表面の 0.5mm 程度前に配置される。例えば、画像センサの画素数が $3,000 \times 4,000$ 画素（1,200 万画素）で、一つのマイクロレンズが 10×10 画素をカバーすれば、マイクロレンズの数は 300×400 個になる。このように設計することで、図 3.3 の構成に換算した時に、 300×400 画素の画像を取得する小さなカメラを、対物レンズの口径上に 10×10 個配置するのと等価なライトフィールドカメラを得る。しかも、対物レンズから撮像素子までの光路内に追加の撮像部を収めることが可能になる。

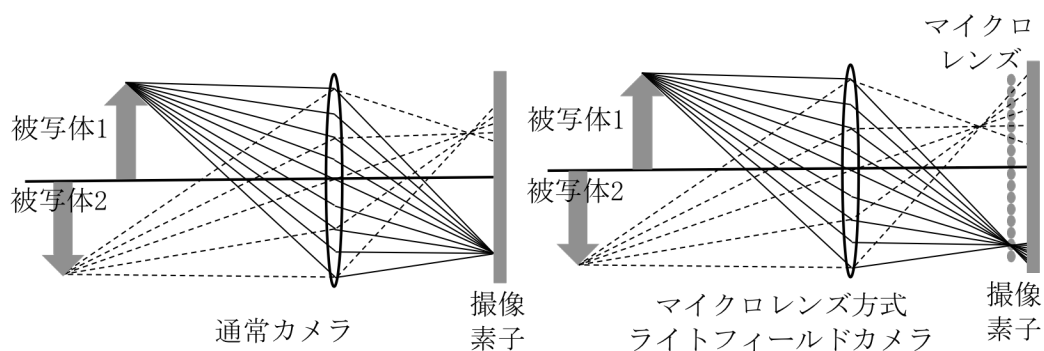


図 3.6 マイクロレンズ方式ライトフィールドカメラと通常のカメラの比較

図 3.6 左が示すように、通常のカメラは、被写体までの距離によって合焦や非合焦が生じる。一方、ライトフィールドカメラは、合焦／非合焦によらず、被写体からの光線を直接、撮像素子に記録する。そして、3.2 節で述べたような画像処理によって最終合成を生成する。

4. まとめ

デジタルカメラにおける最近の画像処理技術の進歩と、次世代のデジタルカメラを予測させる進化について解説した。これまでにデジタル技術は、フィルムカメラやテレビカメラなどのアナログカメラからデジタルカメラへの進化と、それに続くデジタルカメラの進歩に大きな貢献を果たしてきた。それにとどまらず、カメラ技術のさらなる進歩と進化を牽引していくであろう。

参考文献

1) 蚊野浩 監修：“デジカメの画像処理,” 第1版, オーム社, 2011