

これまでにないアプリケーションを実現する コンピューショナルカメラ

Computational Camera Allowing Creation of Unprecedented Applications

小笠原 隆行

■ OGASAHARA Takayuki

近年、2次元の画像情報に奥行きなどの付加情報を加えた光学ハードウェア技術と高度な画像処理技術を組み合わせたコンピューショナルカメラの開発が進められており、3D(3次元)カメラや、リフォーカスカメラ、ジェスチャ認識など様々なアプリケーションが実現できる。

東芝は、この技術の応用製品として、複数のカメラモジュールと当社独自の信号処理技術を組み合わせて、撮影後にユーザーが任意の被写体にピントを合わせることができるリフォーカスカメラの技術開発を行っている。このリフォーカスカメラは、画像認識アルゴリズムを組み合わせて3Dの画像検出や顔認識など、監視カメラやセキュリティ機器の分野への応用が期待されている。

Computational cameras have been attracting increasing research interest in recent years as a new camera technology that can offer various attractive applications such as three-dimensional (3D) image cameras, refocus cameras, face recognition cameras, and so on.

Toshiba has been developing a refocus camera incorporating multiple camera modules and proprietary image processing technologies that makes it possible to easily focus on an arbitrary position after taking a picture. This refocus camera can achieve 3D image detection and face recognition in the fields of surveillance cameras and security systems with the appropriate image recognition algorithms, and is also expected to be used in various unprecedented applications.

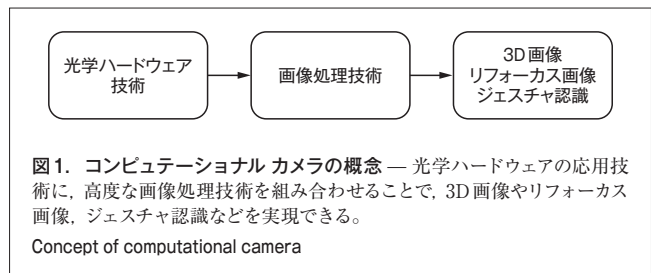
1 まえがき

デジタルカメラの新技术としてコンピューショナルカメラ^{(1),(2)}の開発が急速に進められている。2次元の画像情報に奥行きなどの付加情報を加えたカメラと高度な画像処理技術を組み合わせることにより、従来になく新しいアプリケーションが提案できる。例えば、撮影時の2次元画像情報と奥行き情報を組み合わせて画像処理することにより、3Dカメラや撮影後に任意の被写体にピントを合わせることができるリフォーカスカメラといったアプリケーションが提案されている。

東芝は、このような新技术に対応できるCMOS(相補型金属酸化膜半導体)カメラモジュールの開発に取り組んでいる。ここでは、その取組みの特徴と今後の展開について述べる。

2 コンピューショナルカメラとは

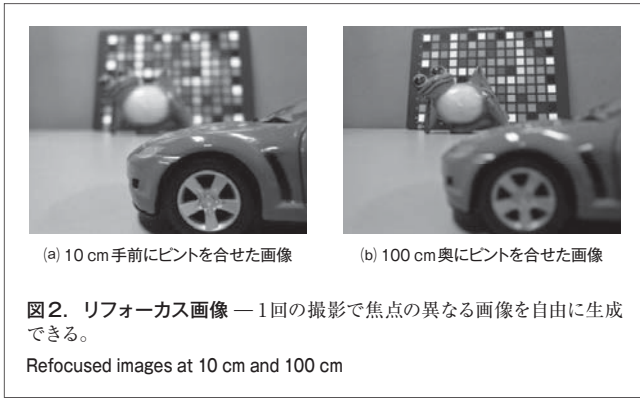
コンピューショナルカメラとは、図1に示すように、撮像素子を含んだ光学ハードウェア技術と画像処理技術を組み合わせることで、従来のカメラでは実現困難であった撮像手法やアプリケーションを実現する技術である。ここでいう光学ハードウェア技術とは、2次元の画像情報に加えて、奥行き情報など付加情報を抽出し取得する技術である。また、画像処理技術は画質向上に加えて、付加情報を利用して新たなアプリケーションを提供する技術である。アプリケーションの例として



は、3Dカメラや、リフォーカスカメラ、ジェスチャ認識などが提案されている。

一例として、リフォーカスカメラについて述べる。ユーザーが撮影後に任意の被写体にピントを合わせることができるカメラで、2次元の画像情報と奥行き情報を利用して画像を処理することで実現している。リフォーカスカメラで撮影した画像を図2に示す。(a)はピントを10cm手前に合わせたときの画像で、背景を意図的にぼかしている。(b)はピントを100cm奥に合わせて、手前をぼかしている。一般のデジタルカメラでは、撮影するつどピントを合わせる必要があるが、リフォーカスカメラを使えば、1回の撮影で図2のような画像を自由に生成でき、ぼかし具合をユーザーの好みに応じて調整できる。

従来、ポートレートやマクロ撮影では、被写体にピントを合わせて背景をぼかす撮影手法が好まれ、F値の小さい明るいレンズを使用することが多かった。F値の小さいレンズは被写界深度が狭く、撮影時の僅かな手ぶれの影響でピントがぼけ



てしまうおそれがあり、撮影が難しかった。しかしリフォーカスカメラで撮影を行えば、撮影時のピント合わせに注意する必要はなく、F値の大きい被写界深度の深いレンズを使用するため、手ぶれによるピントのぼけを大幅に軽減できる。更に撮影後、ユーザーは任意の被写体に自由にピントを合わせることが可能になる。

3 多眼カメラモジュールと複眼カメラモジュール

奥行きなどの付加情報は光学ハードウェア技術を使って付加される。リフォーカスカメラのための奥行き情報は、人間の目のような2眼又は多視点光学系を構築することで作り出すことになる。ここでは、奥行き情報を取得するためのカメラモジュールとして多眼カメラモジュール (Image Array Sensor Camera) と複眼カメラモジュール (Compound Eye Sensor Camera) について述べる。

多眼カメラモジュールは、一般のカメラモジュールを二つ以上アレー状に配置することで構成される (図3(a))。奥行き情報は眼間距離 (カメラ間の距離) に依存しており、眼間距離を大きく取るほど奥行き情報は増大し、結果的にリフォーカス性能が向上する傾向にある。しかし画像処理量も同時に増大するため、後段のプロセッサの負荷増大や処理速度の低下などがトレードオフとして生じる。

複眼カメラモジュールは、単体のカメラモジュールを使い、センサとレンズ (IR (赤外線) カットフィルタを含む) の間に特殊なマイクロレンズアレー (MLA) を挟むことで実現している (図3(b))。レンズから入った光がこのMLAを通ることで、センサ上に複数の視差画像が生成される。これらの視差画像を信号処理してリフォーカス画像を生成する。複眼カメラの場合、リフォーカス性能はMLAの直径や画素数と、レンズの光学性能に大きく依存する。追加される部品はMLAだけであるため比較的 low costでの実現が期待できる一方で、複入力解像度に対して出力解像度が大幅に圧縮されてしまうというデメリットがある。

多眼カメラモジュールと複眼カメラモジュールの比較を表1

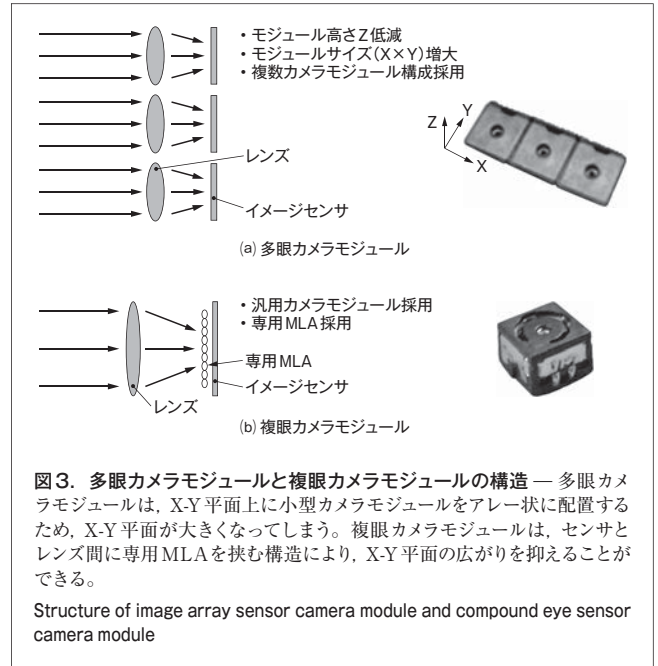


図3. 多眼カメラモジュールと複眼カメラモジュールの構造 — 多眼カメラモジュールは、X-Y平面上に小型カメラモジュールをアレー状に配置するため、X-Y平面が大きくなってしまいます。複眼カメラモジュールは、センサとレンズ間に専用MLAを挟む構造により、X-Y平面の広がりを抑えることができる。

Structure of image array sensor camera module and compound eye sensor camera module

表1. 多眼カメラモジュールと複眼カメラモジュールの比較

Comparison of image array sensor camera, compound eye sensor camera, and conventional camera

タイプ	多眼カメラ	複眼カメラ	従来カメラ
構造	5 Mピクセルモジュール × 2	13 Mピクセルセンサ + MLA	13 Mピクセルセンサ
高さ (画素サイズ)	5 mm以下 (1.4 μm)	6 mm (1.12 μm)	オートフォーカス 6 mm (1.12 μm)
解像度	13 Mピクセル	3 Mピクセル以下	13 Mピクセル
キーテクノロジー	低解像度画像から高解像度画像を得るための超解像技術	画像合成技術	

課題: 1. マクロ撮影時の視差補正 2. 低照度時のノイズ
3. 後段プロセッサでのアルゴリズム実装 4. コストアップ

に示す。多眼カメラモジュールは複数の通常小型カメラモジュールで構成されるため、同じ解像度のカメラよりも高さの低いモジュールを作ることが可能になる。一方、横方向に小型カメラモジュールを複数個並べるため、図3に示すようにX-Y平面が大きくなってしまいます。複眼カメラの外形はモジュール高さやサイズが汎用のカメラモジュールと同等であり、内部構造もMLAをセンサとレンズの間に挟んでいるだけなので、既存の携帯カメラに実装することが容易である。一方、解像度が通常に比べて数分の1に落ちてしまうというデメリットがあるため、これを補うために超解像アルゴリズムなど更なる高度な画像処理の導入が必要になる。

4 東芝のコンピューテーショナル カメラへの取組み

当社は、CMOSイメージセンサからカメラモジュールまで入力機器である光学系ハードウェアの開発と、超解像技術など

の映像処理エンジンLSIの開発を手がけており、これらの技術を活用して多眼カメラモジュールを使ったコンピューショナルカメラの開発を行っている。

開発中の多眼カメラモジュールを使ったコンピューショナルカメラは、4台の5 Mピクセルカメラモジュールで構成される(図4)。当社独自の画像処理技術により、手前15 cmから3 mの範囲でリフォーカスカメラとして使用できる。眼間距離や使用するカメラモジュールの台数を変更することも可能で、リフォーカスカメラとして要求される性能に応じて最適な構成に変更できる。

画像処理は複雑で計算量が多いため、ソフトウェア処理によりリフォーカス画像を生成すると、処理時間が13 Mピクセルで1分程度掛かってしまうが、今回開発したFPGA(Field Programmable Gate Array)を用いたハードウェア処理では、リアルタイムでの処理が可能になっている。

4台のうち2台を使用した多眼カメラモジュールの例を図5に示す。多眼カメラモジュール内の二つのセンサで同時に取得された奥行き情報を含む2眼の画像に対して、コンパニオンチップで次の処理を行う。

- (1) 1枚の高解像度画像を生成する超解像処理
- (2) 奥行き情報生成処理

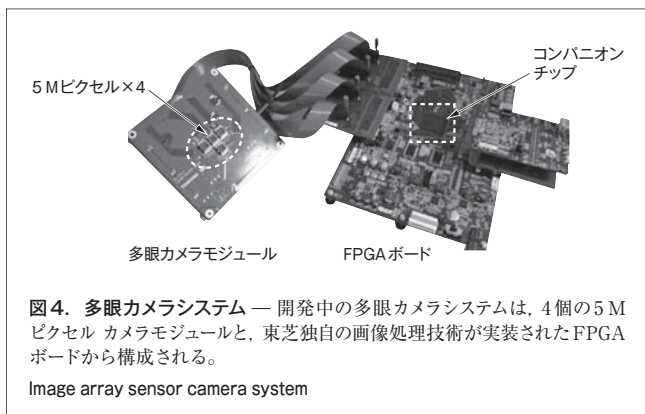


図4. 多眼カメラシステム — 開発中の多眼カメラシステムは、4個の5 Mピクセルカメラモジュールと、東芝独自の画像処理技術が実装されたFPGAボードから構成される。

Image array sensor camera system

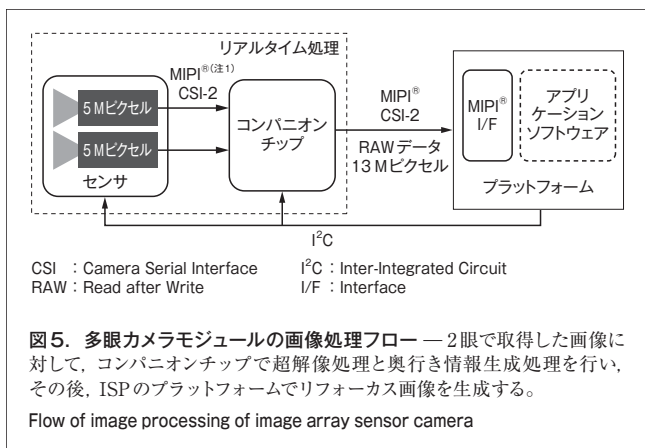


図5. 多眼カメラモジュールの画像処理フロー — 2眼で取得した画像に対して、コンパニオンチップで超解像処理と奥行き情報生成処理を行い、その後、ISPのプラットフォームでリフォーカス画像を生成する。

Flow of image processing of image array sensor camera

(注1) MIPIは、MIPI Alliance Groupの商標。

表2. 多眼カメラモジュールの仕様

Specifications of image array sensor camera

タイプ		多眼カメラシステム
センサ		5 Mピクセル×2
解像度	静止画モード	13 Mピクセル, 30フレーム/s
	動画モード	1080p, 60フレーム/s
モジュールサイズ	幅×高さ×厚さ	15.0×7.5×4.4 mm (光学フォーマット1/4型)
アプリケーション	リフォーカス範囲	15 cm～3 m
	超解像	5 Mピクセル×2を13 Mピクセルに変換

その後、ISP (Image Signal Processor) のプラットフォームで、(1)と(2)の画像情報を利用して、リフォーカス画像を作り出す。

多眼カメラモジュールの仕様を表2に示す。等価な解像度を持つ表1の13 Mピクセルカメラモジュールと比べて、光学フォーマットが小さくモジュール高さが低い5 Mピクセルカメラモジュールで光学系を実現しており、スマートフォンなどへ搭載する機器の薄型化にも対応できる。光学フォーマットが1/3.2型の場合、画素ピッチが1.12 μm の13 Mピクセルカメラモジュールの高さが6 mm前後であるのに対して、この多眼カメラモジュールだと、画素ピッチが一回り大きい1.4 μm を選んでも、5 mm以下のモジュール高さが可能になる。

当社は、携帯カメラモジュール向けにFPGAによる試作及び性能評価中であるが、2013年秋の商品化を目指して、2台の5 Mピクセルカメラモジュールと、当社独自の画像処理技術により高画質化と高速化を両立させたコンパニオンチップから成る多眼カメラモジュールの開発を進めている。

5 あとがき

多眼カメラモジュールと高度な画像認識アルゴリズムを組み合わせたコンピューショナルカメラは、従来のカメラの枠にとどまらず、画像検出や顔認識などのアプリケーションなどで監視カメラやセキュリティ機器の分野への応用が期待される。また、高精度な3Dジェスチャ認識など多くのアプリケーション技術の可能性を持っており、今後開発に注力していく。

文献

- (1) 坂東洋介. コンピュータグラフィックスの新展開 — コンピューショナルフォトグラフィ. 情報処理. 53, 6, 2012, p.568-573.
- (2) 坂東洋介. コンピューショナルフォトグラフィの活用で多機能化に向かう次世代カメラ. EDN Japan. 11, 2010, p.39-47.



小笠原 隆行 OGASAHARA Takayuki

セミコンダクター & ストレージ社 アナログ・イメージングIC事業部 イメージセンサー技術部主務。イメージセンサの画像設計及び画質評価に従事。
Analog & Imaging IC Div.