

令和元年6月10日現在

機関番号：32660

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2016～2018

課題番号：16K00249

研究課題名(和文)異なる露光パラメータで撮像した信号からの高品質な画像再構成

研究課題名(英文) High-quality image reconstruction using image signals obtained by multiple exposure parameters

研究代表者

浜本 隆之 (HAMAMOTO, Takayuki)

東京理科大学・工学部電気工学科・教授

研究者番号：10297624

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,300,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、別々の露光パラメータを割り当てられた画素をイメージセンサ上に繰り返し配置させることで、異なる特性を持つ画像を一つのセンサで同時に撮像し、得られた画像信号に対し再構成処理を施すことで、高ダイナミックレンジと低ノイズによる高画質化を図る技術を検討した。さらに、このような柔軟な撮像を行うことのできるイメージセンサを試作し、FPGAと共に画像入力システムを構築した。一部の方式を本システムに実装し、リアルタイム動作検証を行った。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究は、目的に合わせて複数の露光パラメータで同時に撮像・処理するものである。イメージセンサからの出力情報量を増やすことなく、画像入力の性能を向上させられることがポイントである。また、後段で画像再構成が可能のため、出力画像の空間解像度や時間解像度は後から変更することができる。このような柔軟な撮像と信号処理の組み合わせは、現在検討が進んでいるイメージセンサLSIの3次元構造化とも親和性が高く、将来有望な技術の一つとして期待できる。

研究成果の概要(英文)：In this research, we investigated the methods to obtain high quality images such as high dynamic range (HDR) and low noise by using new image sensor and image reconstruction processing. We designed and implemented the CMOS image sensor which can control exposure time for each pixel and proposed the reconstruction methods of HDR image with less motion blur and noise. In addition, we composed an imaging system which consisted of an image sensor, an FPGA, and other devices. Finally we confirmed the effectiveness of our proposed method using the system.

研究分野：画像情報処理・情報センシング

キーワード：イメージセンサ 再構成処理 高ダイナミックレンジ

## 様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19、CK - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

(1) 近年、イメージセンサは多画素化が進み空間解像度が大きく向上している。その一方で、光学的な限界(光レンズの分解能)に変わりはないため、画素サイズが限界に近づいており、さらなる微細化は、いわばボケた画像をオーバーサンプルする状態になり、解像感の向上に寄与しなくなる。また、XY方向の2次元平面に回路を集積するだけでなく、Z方向に積層した3次元LSI構造が検討され、実際に2層構成のイメージセンサの市販化が始まっている。このような3次元LSI構造では、Z方向に信号を読み出し、ブロック単位や画素単位で並列画像処理を行うことで、より多くの演算を高速に行う回路の実装が可能となる。そのため、この特徴を生かした新しい撮像方式が期待されている。

(2) これまで、様々な機能を有するイメージセンサが提案されてきたが、市販のイメージセンサと同様に、一つのイメージセンサ内では同一の露光パラメータで撮像しているものが多かった。異なるパラメータとするには、個々の設定を変えた複眼のイメージセンサで同時に撮るか、単眼のイメージセンサでパラメータを変えながら続けて撮るようにしており、距離に応じた視差補償や時間遅れによる動き補償が必要であった。

(3) 一つのイメージセンサで異なる露光パラメータの情報を同時に取得する仕組みを検討し、そこで得られた画像信号に対し適切な再構成処理を施すことで、高品質な画像を合成するシステムの実現が期待されるが、そのような技術の検討は十分でなかった。

### 2. 研究の目的

本研究では、別々の露光パラメータが割り当てられた画素をイメージセンサ上に繰り返し配置させることで、異なる特性を持つ画像を一つのセンサで同時に撮像し、得られた画像信号に対し再構成処理を施すことで、高画質化を図る技術の検討を行う。特に、高ダイナミックレンジ化と低ノイズ化に注目し、その実現に相応しい露光パラメータの決定と画像の再構成処理について提案する。具体的には、露光時間長やその位相、フレームレートが異なって撮像された信号に対し、再構成処理手法を検討する。例えば、露光時間が長いと動きぼけが多くなるが信号量が増え雑音は減る、露光時間が短いと動きぼけが少なくクリアだが雑音が増える。よって、画素毎に異なる露光時間を割り当て、それぞれの優れた部分を採用すればよい。その際、可視光だけでなく、近赤外の不可視光も活用することで、一層の高画質化を実現する。

また、提案方式に用いる画像情報を取得するためのイメージセンサは市販されていないため、実現に必要な機能を有するイメージセンサを新たに設計・試作する。FPGAと共に画像入力システムを開発する。提案方式を実装しリアルタイム動作にて評価を行い、本提案方式の有効性を確認する。

### 3. 研究の方法

#### (1) 提案方式を実現するイメージセンサLSIの試作

単位ブロック内で露光パラメータ制御が可能な機能を有するイメージセンサについて、回路設計およびレイアウト設計を行い、実際にLSIを試作する。さらに本LSIを動作させるためのボードを設計、製造し、評価実験によりその撮像性能を明らかにする。

#### (2) 露光パラメータと再構成処理手法の検討

高ダイナミックレンジ化、低ノイズ化、動きぼけ削減等による高画質化、フリッカ抑制、等を目指し、それぞれに最適な露光パターンと再構成処理方式の検討をいくつか行う。例えば、2x2画素ブロックを単位とすれば、単位ブロックにおける1,2,3,4の画素位置の露光パラメータ(露光時間長、位相、フレームレート)を調整することになる。空間解像度や時間解像度を維持しながら、それぞれの目的に最適な露光パラメータや再構成処理を検討する。

さらに、低ノイズ化を図るために、可視(カラー)情報と不可視(近赤外)情報を同時に撮像し、再構成する手法について検討する。可視光が極めて暗い時でも、カラー情報には長露光画像の動きぼけ除去を行い、近赤外光源下での不可視情報には短時間露光画像の色再現を行い、それらを融合することを考える。

#### (3) 画像入力システムによるリアルタイム再構成

試作したイメージセンサとFPGAを用いて、画像入力システムを構築する。高ダイナミックレンジ化や低ノイズ化を図るために検討した方式の中で、露光パラメータによる撮像とその再構成処理が本システムに実装可能な方式を選択し、実際にリアルタイムで動作させる。評価実験により本方式の有効性と限界を明らかにする。

### 4. 研究成果

#### (1) 提案方式を実現するイメージセンサLSIの試作

試作したイメージセンサの全体構成

画素毎に露光制御可能なイメージセンサの概要を表1に、全体ブロック構成を図1に示す。本イメージセンサは、行および列方向に露光制御可能な画素回路、列バイアス回路、露光制御

機能を実現する列選択回路、サンプル&ホールド (S&H) 回路、水平シフトレジスタ、垂直シフトレジスタ、および4系統のアナログ出力バッファにより構成される。

行方向の画素選択と列方向の画素選択によって画素信号の読み出しを行う。画素信号の読み出し時に列選択を行うか否かを毎行に制御し、列選択を行わない画素では、行選択を行っても読み出しは行われない。画素信号出力時の行方向走査に同期して、列選択回路内に配置された列選択の有無を記憶するメモリの書き換えを行うことによって、毎行に選択する列を変更することができる。この機能を利用して、画素毎に露光時間の制御を行うことが可能である。

表 1 試作したイメージセンサの概要

設計プロセス	0.18 $\mu$ m 1P5M CMOS
ダイサイズ	4.8mm $\times$ 4.8mm
画素数	200 $\times$ 200
画素サイズ	17.42 $\mu$ m $\times$ 17.42 $\mu$ m
画素トランジスタ数	8Tr
電源電圧	-1V, 2.7V, 3.3V
フレームレート	480fps (Analog)

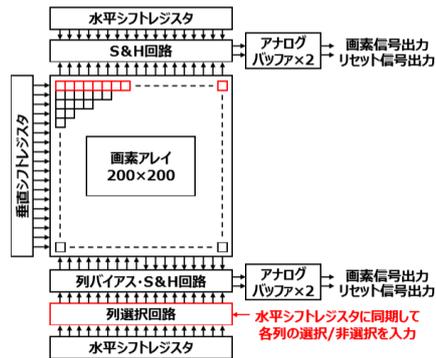


図 1 試作したイメージセンサの全体構成

### 画素回路

図 2 に、試作イメージセンサの画素回路とタイミングチャートを示す。画素内には横型オーバーフロー蓄積容量 (LOFIC) および LOFIC サンプリグスイッチ S が設けられ、高感度信号と高飽和信号を同時に取得することによる高ダイナミックレンジ (HDR) 撮像を行うことができる。さらに、リセットトランジスタ R、LOFIC サンプリグスイッチ S、および転送ゲート T に対して、垂直に列選択トランジスタ CS1 ~ CS3 が挿入されている。これらを列並列画素選択回路によって制御することで特定の画素のみを読み出すことができるため、画素毎に露光時間や時間解像度を調整可能である。読み出された画素信号およびリセット信号は、列並列 S&H 回路で保持され、水平シフトレジスタとアナログ出力バッファによってチップ外部にアナログ出力される。チップ外部の差動入力型 A/D 変換器を用いて、リセット信号と画素信号の差分を取ることによって相関二重サンプリングを行い、画素信号に含まれる固定パターンノイズとリセットノイズを除去することができる。

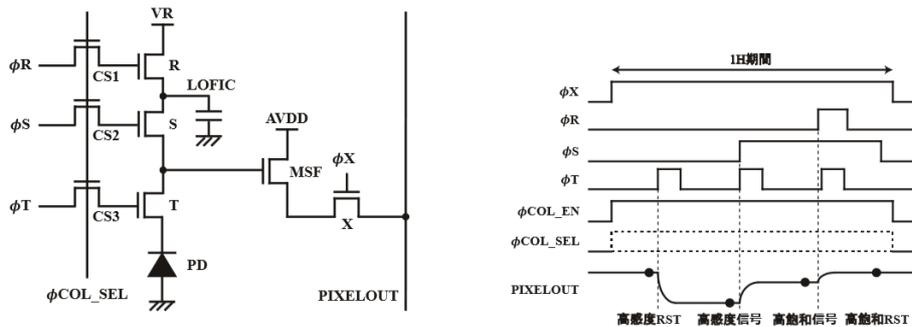


図 2 画素回路とタイミングチャート

### 撮像実験

試作イメージセンサの評価ボードの全体像を図 3 に示す。評価ボードは、チップソケットを介して接続された試作イメージセンサ、アナログフロントエンド回路 (Analog Devices 社製 AD9979 $\times$ 2 台, AD9280 $\times$ 4 台)、電源回路 (Linear Technology 社製スイッチングレギュレータ LT3582, LDO (Low Dropout) リニアレギュレータ LT1764 シリーズ)、バイアス電圧生成回路 (10k



図 3 試作イメージセンサの評価ボード



図 4 試作イメージセンサによる撮像例

半固定抵抗器を用いた分圧回路と出力バッファとして用いるボルテージフォロア回路)、FPGA(Xilinx社製 Artix-7(XC7A200T-1FBG676C)を搭載したFPGAボードであるHumandata社製 XCM-208-200T)、DVI出力回路(Texas Instruments社製DVIトランスミッタTFP410と汎用のDVI端子)により構成されている。

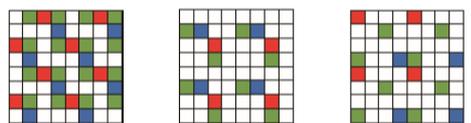
試作イメージセンサにより実際に取得した画像の一例を図4に示す。これは、評価ボード上に実装されたアナログフロントエンドであるAD9979により、リセット信号と画素信号の差分をA/D変換した結果である。この出力画像より、試作イメージセンサにより正常に画像を取得可能なことが確認できる。

## (2)露光パラメータと再構成処理手法の検討

露光パラメータと再構成処理の組み合わせに関していくつかの組み合わせを検討したので、その概要について報告する。なお、それぞれについてはシミュレーションにより、従来撮像方式と比較を行い、提案手法の有効性を確認している。

### 方式A

主に高ダイナミックレンジ(DR)画像の合成のための手法を検討した。初期状態では短露光に図5(b)、中露光に図5(a)、長露光に図5(c)の露光パターンを割り当てる。撮像結果を用いて局所領域毎に動き検出と白飛び・黒潰れ検出を行うことによって、被写体の動きや明るさに応じて、局所領域における短露光画素、中露光画素、長露光画素の割合を調整する。さらに、図6により高DR画像の再構成処理を行う。



(a) パターン1 (b) パターン2 (c) パターン3  
図5 方式Aの露光パターン

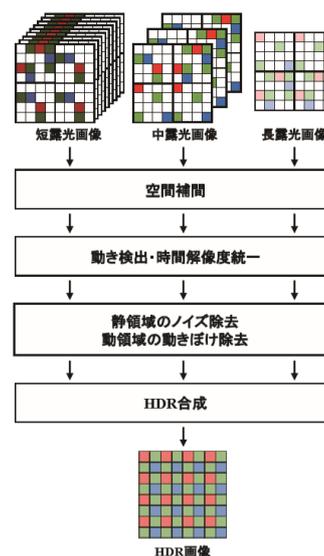


図6 方式Aの再構成処理

### 方式B

被写体の明るさと動きに適応する撮像方式を検討した。図7に示す13種類の中から最適な露光パターンを決定する。複数フレームの画像を用いて低照度領域、高照度領域、動領域の構造情報を取得できるように、ブロック内の各画素に複数の露光時間を割り当てる。この際に、割り当てる露光時間の種類が必要最小限になるように露光パターンを決定することで、取得画像の空間解像度の低下を抑制する。シーンに最適な露光パターンは、シーンの明るさへの適応、被写体の動きへの適応、無効画素の抑制の3段階を経て決定される。

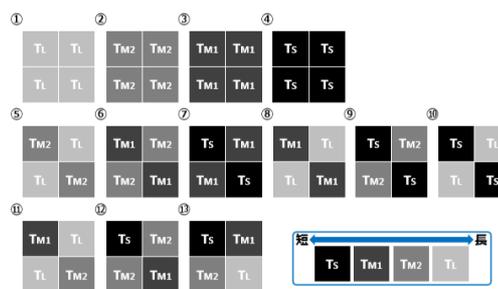


図7 方式Bの露光パターン

### 方式C

車載カメラでは、LEDを用いた信号等でフリッカが生じることが知られている。そこで多重露光時間撮像を用いて、動きぼけおよびフリッカによる明るさの揺らぎを抑制した高DR画像の再構成方式を検討した。動領域およびフリッカ領域の検出には、それぞれフレーム間差分およびブロックマッチングによる動きベクトルを用いる。動領域は、短露光時間の画像を活用することで、動きぼけを抑制する。フリッカ領域は、長露光時間の画像を活用することで、短露光時間の画像におけるフレーム間のフリッカによる明るさの揺らぎを抑制する。



(a)カラー画像 (b)NIR画像 (c)従来手法1 (d)従来手法2 (e)提案手法  
図8 近赤外情報を用いた低ノイズ・超解像度化の結果

### 近赤外情報を用いた低ノイズ化

低照度環境下においては粒状の雑音が増え画質が大きく劣化する。そこで、カラー画像と近赤外 (NIR) 画像を同時に取得する。この際、NIR フラッシュを用いることで、低ノイズの NIR 画像の取得を行い、この NIR 画像をガイド として用いることで鮮明なカラー画像の再構成を実現する。さらに、撮影された複数枚の RGB/NIR raw 画像群を用いて、空間解像度の向上を図る。すなわち、再構成処理では、ノイズ除去・動きボケ除去・超解像を同時に実現する。

シミュレーションによる評価実験結果の一例を図 8 に示す。

### (3)画像入力システムによるリアルタイム再構成

#### 露光パターン

FPGA を用いてリアルタイムで再構成処理する方式では、以前に試作した、単位ブロックで露光制御可能なイメージセンサを  $2 \times 2$  画素ブロック単位で制御することにより、露光時間の異なる 4 種類の画像を同時に取得する。短露光時間を  $T_S (=1/60$  秒)、中露光時間を  $T_{M1}, T_{M2} (=1/30$  秒、 $1/15$  秒)、長露光時間を  $T_L (=1/7.5$  秒)とし、それぞれで撮像した画像を  $y_S, y_{M1}, y_{M2}, y_L$  と表記する。

#### 再構成処理方式

##### ・動領域検出

取得した  $y_{M1}, y_{M2}, y_L$  それぞれの動領域を検出する。動領域の検出対象である画像を 1 枚撮像している間に、それよりも 1 つ短い露光時間では 2 枚の画像を撮像している。この 2 枚の画像における、連続するフレーム間の差分結果を閾値処理することにより、フレーム間での変化の有無を示す 2 値画像を取得する。そして、変化のある画素を動領域、そうでない画素を静領域と判断する。このようにして、 $y_{M1}, y_{M2}, y_L$  それぞれを動領域と静領域に分別する。しかし、フレーム間差分では動被写体だけでなくランダムノイズも検出するため、ランダムノイズ低減処理を行う。

ランダムノイズは疎に存在すると仮定する。まず、取得した 2 値画像内の局所領域 ( $4 \times 4$ ) において、動領域であると判断した画素を計数する。この計数結果が閾値 6 以上の場合のみ、それらの画素を動領域とみなす。

##### ・動きぼけの低減

$y_{M1}, y_{M2}, y_L$  の動領域を、動きぼけの生じていない最大の露光時間の画像で置換することにより、動きぼけを低減する。一方、静領域は露光時間の短い画像で置換しないため、S/N の低下を抑制できる。最後に、置換した動領域をそれぞれの露光時間に見合った輝度に補正することで、動きぼけを低減した画像群を取得する。

##### ・高ダイナミックレンジ合成

取得した 4 種類の露光時間の画像群を、フレーム毎に加算平均することで高 DR 合成を行う。また、提案する多重露光時間撮像方式では、取得する画像の空間解像度がそれぞれ  $1/4$  に低下するため、再構成処理の最後に Bilinear 補間処理を行い、空間解像度を復元する。

### リアルタイム評価実験

FPGA にイメージセンサの制御および動きぼけを低減した高 DR 画像を再構成する機能を実装し、出力画像の高 DR 化および動きぼけ低減が行われているかを検証した。出力結果を図 9、図 10 に示す。図 9 (a)、(b)では、画像右上部の「CCD」、「イメージ」等の文字が確認できずに黒潰れしている。また、図 9 (c)、(d)では、画像左部の電球に記載されている文字の一部、もしくは全てが白飛びしている。しかし、再構成画像である図 9 (e)では、黒潰れおよび白飛びを低減できており、DR が向上していることが確認できた。また図 10 (b)-(d)ではメトロノーム上の「浜」の文字に動きぼけが生じているが、再構成画像である図 10 (e)では、動きぼけが低減できていることが確認できた。以上より、提案方式の有効性を確認することができた。



(a) 1/60 秒

(b) 1/30 秒

(c) 1/15 秒



(d) 1/7.5 秒

(e) 再構成結果

図 9 実機検証出力画像 (DR)



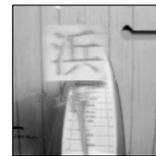
(a) 1/60 秒

(b) 1/30 秒

(c) 1/15 秒



(d) 1/7.5 秒



(e) 再構成結果

図 10 実機検証出力画像 (動きぼけ)

## 5. 主な発表論文等

### 〔雑誌論文〕(計9件)

鹿倉未咲, 島本正仁, 浜本隆之, 多重露光時間撮像を用いた動きぼけとフリッカを抑制した高 DR 画像の取得, 映像情報メディア学会技術報告, 査読無, Vol. 43, 2019, 5pages

本田崇幸, 杉村大輔, 浜本隆之, 近赤外フラッシュを伴う RGB/NIR 単板撮像による低照度カラー画像の超解像, 電子情報通信学会技術研究報告, 査読無, Vol.118, No. 329, 2018, 99-102

Takayuki Honda, Daisuke Sugimura, Takayuki Hamamoto, Low-light Color Image Super-resolution using RGB/NIR Sensor, Proc. of IEEE International Conference on Image Processing (ICIP), 査読有, 2018, 56-60

Masahito Shimamoto, Takayuki Hamamoto, Real-time HDR imaging without visible motion blur using multiple-exposure-time image sensor, Proc. of International Workshop on Image Media Quality and its Applications (IMQA), 査読有, OS2-3, 2018, 4pages

島本正仁, 浜本隆之, 多重露光時間撮像を利用した動きぼけを低減した高 DR 画像の再構成, 映像情報メディア学会技術報告, 査読無, Vol. 42, No. 19, 2018, 17-20

古坂拓朗, 浜本隆之, 画素単位で露光制御可能な列並列読み出しイメージセンサと HDR 画像の再構成, 電子情報通信学会技術研究報告, 査読無, Vol.117, No.277, 2017, 53-56

古坂拓朗, 浜本隆之, 動きぼけとノイズを低減した HDR 画像生成のための多重時間解像度撮像・処理方式, 映像情報メディア学会技術報告, 査読無, vol.41, no.19, 2017, 5-8

荒谷智広, 浜本隆之, 被写体の明るさと動きに基づくブロック単位露光制御によるシーン理解に適した画像の取得, 映像情報メディア学会技術報告, 査読無, vol.41, no.19, 2017, 13-16

古坂拓朗, 小林 嵩, 浜本隆之, 単位ブロック内で露光制御可能なイメージセンサを用いた明るさ適応撮像方式, 映像情報メディア学会技術報告, 査読無, vol.40, no.15, 2016, 21-24

### 〔学会発表〕(計5件)

本田崇幸, 低照度カラー画像の画質改善のための NIR フラッシュ制御を伴う RGB-NIR 単板撮像, 映像メディア処理シンポジウム, 2017年11月20日, 修善寺

本田崇幸, NIR フラッシュ点灯制御を伴う RGB-NIR 単板撮像による低照度カラー画像の画質改善, 2017 映像情報メディア学会年次大会, 2017年9月1日, 東京理科大学

荒谷智広, ブロック単位で露光パターン制御可能なイメージセンサを用いた明るさ・動き適応撮像方式, 2017 電子情報通信学会総合大会, 2017年3月24日, 名城大学

Takuro Kosaka, Multiple temporal resolution imaging and processing for obtaining HDR image with low motion blur and noise, 3rd International Workshop on Image Sensors and Imaging Systems, 2016年11月10日, 東京工業大学

古坂拓朗, 単位ブロック内で露光制御可能なイメージセンサを用いた明るさ適応撮像方式, 2016 映像情報メディア学会年次大会, 2016年9月1日, 三重大学

## 6. 研究組織

### (1)研究分担者

研究分担者氏名: 杉村 大輔

ローマ字氏名: (SUGIMURA, Daisuke)

所属研究機関名: 津田塾大学

部局名: 学芸学部

職名: 准教授

研究者番号(8桁): 10712052