The University of Osaka
Institutional Knowledge Archive

Title	圧縮センシングによる動画像の高速撮像に関する研究
Author(s)	吉田, 道隆
Citation	大阪大学, 2023, 博士論文
Version Type	VoR
URL	https://doi.org/10.18910/92002
rights	
Note	

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

https://ir.library.osaka-u.ac.jp/

The University of Osaka

様式3

論 文 内 容 の 要 旨

氏 名 （ 吉田 道隆 ）	
論文題名	圧縮センシングによる動画像の高速撮像に関する研究

論文内容の要旨

光線には空間や時間，色など様々な情報が含まれるため，カメラを用いることで実世界の様々な情報を取得することができる．しかし，通常のイメージセンサは画素が2次元に配置されており，すべての情報を取得することは困難である．そこで，従来はカメラの性能を向上させるか，画像取得後の処理によって補完または推定している．しかし，近年ではセンサの性能は物理的な限界に近付きつつあり，また，画像処理においても近年では大量の画像を用意できるようになったためこれ以上統計処理により取り出せる情報量を劇的に増やすことは難しい．しかし，撮影後に画像処理を施すことを前提とするなら従来のように撮像画像の画質や情報量を最適化するのではなく，後処理後の画像の画質や精度を最適化することを考える．この考え方をコンピュテーショナルフォトグラフィといい，近年注目を集めている．

従来のデバイス開発は人間に近い観測を目指し，従来の画像処理では入力は人間が目で見ているような画像であることを前提としている．しかし，そもそも撮影後に画像処理を行う前提なら撮影画像はシーンを均一に撮影する必要はなく，復元に必要な情報を含んでいればよい．そこで，センサ上で必要な情報を圧縮して取得し，撮影後に再構成することで効率のよい情報の取得が行える．この考え方を圧縮センシングと呼び，本研究では従来のカメラシステムの一部を自由に制御可能なものへ変更することで，実用性と汎用性を持たせながら2次元のイメージセンサで取得できる情報の拡張に取り組む．

通常のイメージセンサは画素が2次元に配置されており，読み出し回路の帯域が制限されているため，動画を撮影する際には空間解像度とフレームレートの間にはトレードオフの関係がある．そのため，高空間解像度で高フレームレートな動画はハイスピードカメラで撮影されが，このような特殊なセンサは非常に高価であり，回路が複雑になることからフォトトランジスタの面積が減少するため感度が悪くなる問題もある．また，通常の撮影画像からフレーム間を補完して高フレームレートな動画を生成する手法が提案されているが，近年では性能が頭打ちになってきている．そこで，本研究では高空間解像度で高フレームレートな動画像を取得する手法として圧縮センシングを用いる．圧縮センシングを用いた動画像撮像は，画素ごとに露光タイミングをずらした画像を撮影することで，より密な時間の情報をスパースに単一画像に畳み込む．この符号化露光画像から再構成処理により，撮像センサの時空間サンプリングを超えた画像を再構成する．

しかしながら，このような画素ごとに露光を制御できる市販センサは存在しない．そこで，本研究では準画素毎露光制御を実現するCMOSイメージセンサを用い，符号化露光の自由度を向上させる露光制御信号と読み出しによる歪みを抑えた圧縮センシングによる動画像の高速撮像手法を提案した．また，露光タイミングをずらすことによる符号化露光は時空間情報の畳み込み，撮影画像からの動画の再構成は逆畳み込みと表現できるため，符号化露光と再構成をどちらもニューラルネットワークで表現することで同時最適化することができる．しかし，提案するセンサに限らず，符号化露光可能なイメージセンサには露光制御に制約があることが多い．そこで，本研究では制約のある符号化露光と動画像再構成の同時最適化手法を提案する．

様式７

論文審査の結果の要旨及び担当者

氏　名　（　吉田　道隆　）			
論文審査担当者		（職）	氏　名
	主 査	教授	長原　一
	副 査	教授	八木　康史
	副 査	准教授	中島　悠太
	副 査	准教授	中村　友哉

論文審査の結果の要旨

本論文では，画像センサの露光パターンを制御することにより，画像センサの時間・空間分解能を超える動画の撮影と復元手法についての研究を行っている．

第１章では，研究背景として画像センサのハードウェア的なサンプリング原理の説明とその分解能の制約についての問題提起が行われている．従来画像センサの隣接画素が同期して露光するグローバルシャッタを用いているのに対して，隣接画素の露光を符号化してスパースなサンプリングを行い，圧縮センシング原理に基づいて復元を行うことで，センサの分解能を超える動画の撮影や復元が可能となる圧縮ビデオセンシングが紹介されている．この圧縮ビデオセンシングにおいて，従来はあまり議論されてこなかった，実現可能な符号化露光の方法やその符号化パターンの最適化が必要であるとの本研究の重要性を述べている．

第２章では，本研究の関連研究として，符号化露光が可能な画像センサの紹介やその原理や制限について述べられている．これらのハードウェアの制限のため，符号化露光のパターンは圧縮センシング理論で述べられているランダム符号は採用できないことが多いことから，これら制限に基づいて最適化が必要であることを説明した．また，符号化露光によってスパースサンプリングされた入力画像から，ソフトウェアにより高解像度で高フレームレートの動画を復元する手法についての関連手法が紹介され，それらの原理や特徴について述べられている．さらには，動画の復元アルゴリムは符号化パターンに依存し，また逆に復元アルゴリズムにより最適な符号化露光パターンは依存することから，本研究が提案するセンサの符号化パターンと復元アルゴリズム両方を同時最適化することが必要であるという本研究の動機について説明している．

第３章では，本研究で用いた符号化露光センサ(Hamamatsu Photonics, S13102)の露光制御の制限について説明し，このセンサの露光制御信号の制御を工夫することで，符号化露光のランダム性を向上させる方法について提案を行った．実際にこの露光制御方法を用いることで，符号化露光パターンの制御自由度を向上させ，復元した動画像の画質が向上することを実験により示した．

第４章では，センサの露光パターンと復元アルゴリズムには双方に依存関係があることから，これらを同時最適化する手法を提案した．３種類の異なるアーキティクチャにより異なる露光制御の制限がある符号化露光センサを対象として，これらセンサの制約に基づいた露光パターンによる撮像モデルをシミュレーションできるエンコーダモデルとニューラルネットによる復元のためのデコーダモデルを組み合わせたエンコーダ-デコーダモデルをEnd-to-end学習により最適化を行う．この学習による最適化の結果，それぞれのセンサの制約化において最適な露光パターンの導出とそのパターンで得られる符号化画像から動画像を復元する最適なデコーダを同時に得ることを実現した．実際に手動設計による露光パターンの符号化撮像に対して，提案する同時最適化手法が復元した動画像の画質を向上することを実験的に示した．

第５章では，本研究を総括し，今後の展開について述べている．

以上により，本論文は博士(工学)の博士論文としての価値があるものと認める，