

令和 6 年 5 月 24 日現在

機関番号：32612

研究種目：研究活動スタート支援

研究期間：2022～2023

課題番号：22K21283

研究課題名（和文）多様な被遮蔽領域の効率的な計測および復元技術に関する研究

研究課題名（英文）Efficient measurement and reconstruction techniques for various occluded scenes

研究代表者

五十川 麻理子（Isogawa, Mariko）

慶應義塾大学・理工学部（矢上）・准教授

研究者番号：60963238

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 2,200,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、カメラやセンサから直接観測することができないNon-Line-of-Sight（NLOS）な被遮蔽領域における被遮蔽領域計測およびそのシーン復元手法に取り組んだ。具体的には、密にセンサを設置しなければ計測できなかった領域も、数ない個数のセンサで計測可能とする技術構築を目指し、「研究項目A：非整列かつ少ない計測点数に基づくシーン計測・復元手法の確立」および「研究項目B：非平面な中継壁にも適用可能なNLOSイメージング手法の確立」の2方向性から研究を進めた。その結果を、国内研究会3件（発表済2件、発表予定1件）で発表するとともに、難関国際会議や論文誌へ投稿した（査読中）。

研究成果の学術的意義や社会的意義

被遮蔽領域の計測や復元手法には、曲がり角越し状態推定等の自動運転車向けの危険予測への応用や、瓦礫の中から被遮蔽領域の状況を計測しそれを救護活動に活用すること、監視カメラの死角となってしまう領域においてもシーンの状況を把握可能とするセキュリティ用途で用いることなど、大きな社会的ニーズが期待できる。本研究では特に、従来よりも計測点が少ない場合においても良好に被遮蔽シーンを復元可能な円形計測に基づく手法や、非平面な中継壁にも活用可能な被遮蔽シーン復元手法の構築を目指した高速な画像修復技術の適用可能性を検討した。これらの成果により、被遮蔽シーン復元技術の実用可能性を向上させられたと考えている。

研究成果の概要（英文）：In this project, we tackled the measurement and scene reconstruction methods for occluded Non-Line-of-Sight (NLOS) scenes, which cannot be directly observed by cameras or sensors. Specifically, we aimed to develop technology that allows the measurement of areas which previously required densely placed sensors, using only a limited number of sensors. To this end, we tackled this project in two directions: "A: Scene measurement and reconstruction methods based on non-aligned and sparse measurement points" and "B: NLOS imaging applicable to non-planar relay walls." The results were presented at three domestic conferences (two presented, one scheduled for presentation) and submitted to the international conference and to a journal paper (under review).

研究分野：Computer vision

キーワード：Non-Line-of-Sight 被遮蔽領域 センシング シーン復元

1. 研究開始当初の背景

「遮蔽による影響を克服して、ありとあらゆる領域の情報を死角なく計測する」ことには、自動運転時の危険予測や、災害時のレスキュー活動、監視カメラなどのセキュリティ用途などに大きな社会的ニーズがある。応募者はこれまで、**Non-Line-of-Sight** イメージングと呼ばれる被遮蔽領域の復元に関する研究に従事し、遮蔽された空間にいる人やシーンの状態推定に関する研究に取り組んできた。これは、センサ位置から直接観測可能な位置（いわゆる見通し内位置）ではなく、壁で完全に遮蔽されたシーンの復元センサの見通し内位置にある壁にレーザー光を照射し、その光が壁から見通し外位置の人物に反射し、それがさらに壁からセンサへと戻る、という計 3 回の反射を経た光のみを計測して、その間接光計測情報のみから被遮蔽シーンの情報を復元する、という技術である。しかし、応募者の過去の取り組みや他の従来研究では、計測面が平面であることや、計測点が整列した格子状であること等の制約条件を満たす必要があり、実環境に数多く存在する凹凸のある環境や瓦礫の中などに適用することができない。そこで非平面な計測面や、整列した計測点が存在しない環境下での被遮蔽領域計測およびシーン復元手法に取り組む必要があると発想するに至った。

2. 研究の目的

Non-Line-of-Sight イメージングと呼ばれる被遮蔽領域の計測及び復元に関する技術に関して、非整列かつ少ない計測点数に基づくシーン計測・復元手法や、非平面な中継壁にも適用可能な **NLOS** イメージング手法を確立することにより、従来は密にセンサを設置しなければ計測できなかった領域も、少ない個数のセンサで計測することが可能となる技術の構築を目的とした。

3. 研究の方法

研究開始時点において、より少ない計測点に基づき、多様な外部環境下において **NLOS** イメージングを行う手法を確立するために、以下の二方面から検討を行う計画を立てた。

- 研究項目 A: 非整列かつ少ない計測点数に基づくシーン計測・復元手法の確立
- 研究項目 B: 非平面な中継壁にも適用可能な **NLOS** イメージング手法の確立

研究項目 A については、周辺環境の三次元計測結果に基づいて中継壁として適切な領域の重み付きマップを作成し、そのマップを計測点の最適配置およびシーン再構成時に重みとして活用する手法に関する検討を行った。しかし、検討途中において、計測点の数を削減する目的においては、図 1 (c) に示すように円形上に計測点を配置することが比較的効果的であることが経験的に分かった。これは、従来研究の多くが採用している格子状の二次元スキャン(図 1 (a), (b))ではなく、一次元の円周上のみをスキャンする方法である。しかしながら、この計測方法は、「円形にしか計測をしないために、得られる計測情報に空間的な偏りがあり、その結果復元したシーンの画質が非常に限定される」、という課題を有している。そのため、上記背景で述べたような用途への実応用を目指すには、より高画質な復元結果が求められる。そこで、当初の研究手法を一部変更し、計測データに対して補間処理を行うことで、スパースなデータしか計測できない状況下であっても高品質に被遮蔽領域を復元可能な手法の実現に取り組んだ。主な技術ポイントは以下の 2 点である。

(i) 画像超解像技術の活用: 復元結果の画質が限定されるという課題解決のために、データの解像度を向上させる手法である超解像手法を導入した。その際、復元後のシーン画像に対して超解像技術を施すのではなく、計測データに対して超解像を行う方が効果的なのではないか、という仮定に基づき、レーザー反射光の計測値に対して超解像処理を行った。

(ii) 物理シミュレーションにより生成した合成データの活用: 上述した超解像技術は、一般的に RGB 画像を入出力として想定したものである。そのため、本研究で用いるレーザー反射光の計測値に特化した機械学習モデルを構築する目的で、光の伝搬を物理シミュレーションすることで得られた合成データを生成、活用した。

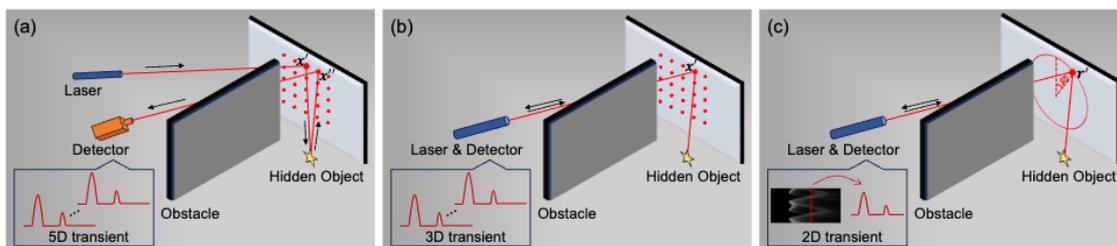


図 1. NLOS イメージングにおける二次元スキャン (a, b) および円形スキャン(c)

研究項目 B については、項目 A と共通の方法で得た周辺環境の三次元計測結果に基づいて計測情報の時空間校正を行い、その結果をシーン復元に用いるという手法の検討を行うことで非平面な中継壁にも適用可能な NLOS イメージング手法を構築する計画を立てていた。しかし、項目 A の研究方法を一部変更したことに伴い、項目 B については、円形スキャンにより得られる計測情報に空間的な偏りがあり、その結果復元したシーンの画質が非常に限定されるという課題を解決する目的で、画像映像修復手法を活用することで、計測点位置を含む環境の三次元情報に依存せずに画像処理的に被遮蔽シーンを復元可能な手法の構築を目指すこととした。主な技術ポイントは、既存手法はモデルパラメータが多く、計算コストが高いという課題を有するため、生成モデルを構成するネットワークの改善により一定の修復品質を保ちつつも軽量の修復を実現する点である。

4. 研究成果

研究項目 A : 超解像を活用した円形スキャンに基づく NLOS イメージング手法に関する検討
 円形に配置された計測点に基づく計測情報には空間的な偏りがあり、その結果復元した NLOS イメージング結果の画質が限定的であるという課題を解決するために、深層機械学習ベースの超解像度処理を導入することで、計測時間を短縮しつつも再構成結果の品質を向上させる手法の構築に取り組んだ。その際、再構成された NLOS イメージング結果に対して超解像度処理を行うのではなく、円形スキャンに基づく計測情報を二次元画像に展開した Transient sinogram [1] に対して超解像処理を行うことで、最終的な修復結果の品質が向上するという知見を得た。提案フレームワークの概要を図 2 に示す。

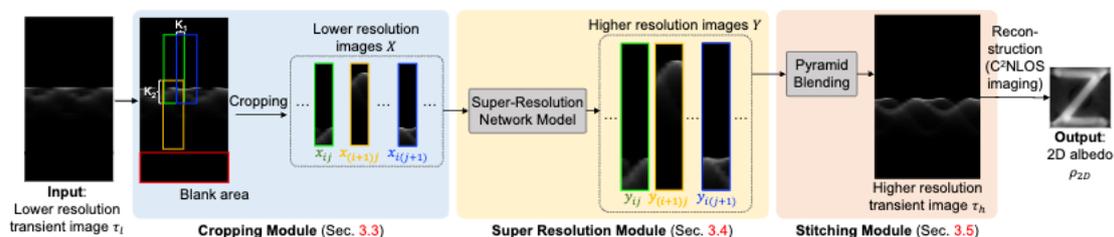


図 2. 超解像を活用した円形スキャンに基づく NLOS イメージングフレームワーク

提案フレームワークは、Transient sinogram を効率的に処理する目的で、Cropping module および Stitching module を有する。これらは、sin 波の集合体である Transient sinogram が空間的な連続性を保ちやすいように一部を重複させつつ小領域単位で切り出し、その小領域毎に超解像を施したのちに合成するためのモジュールである。

なお、超解像手法としては複数の手法を提案フレームワークに導入し、そのいずれにおいても、NLOS イメージング結果に対して超解像度処理を行うのではなく、提案フレームワークを用いた方が良好な修復結果が得られることを確認した。その結果を図 3 に示す。

[1] Isogawa et al., “Efficient Non-Line-of-Sight Imaging from Transient Sinograms”, In ECCV2020.

研究項目 B : 軽量の画像映像修復手法に関する検討

軽量の動画修復モデルの既存手法として知られる E2FGVI [2] をベースラインとして、画像フレームおよびその修復領域を示すマスク画像フレームを入力として、修復後の画像フレームを出力する手法の検討を行った。なお、本検討は RGB 動画像を入力として行ったが、NLOS イメージングに本検討結果を適用する際には、NLOS イメージング後の 2D 輝度動画像に対して修復処理を行うことを想定している。

提案手法は、Flow Completion module, Feature Propagation module, Content Hallucination module から構成した。Flow Completion module では、入力である画像フレームの動き情報を含むオプティカルフローを推定する。Feature Propagation module では、Flow Completion module を通して推定されたオプティカルフローを手掛かりに、時系列的な隣接フレーム同士で、抽出された特徴量を伝播させる。Content Hallucination module では、Encoder から抽出された隣接フレームではない特徴量と Feature Propagation module から抽出された隣接フレームの特徴量両方を用いて、修復を行うための Decoder への入力となる特徴量を算出する。提案手法では、軽量のモデルを構築する目的で、Encoder を構成する畳み込みニューラルネットワークの層数を減らし、かつ Decoder 部分にスキップ接続を導入した。これにより、従来手法と比較して計算コストを軽減させつつも修復精度の高い動画修復手法を構築した。

[2] Li et al., “Towards An End-to-End Framework for Flow-Guided Video Inpainting”, In CVPR2022.

	Ground Truth	C ² NLOS	Backbone: ESRGAN		Backbone: SwinIR		Backbone: HAT	
			C ² NLOS w/SR	Ours	C ² NLOS w/SR	Ours	C ² NLOS w/SR	Ours
Z								
	PSNR:	9.585	8.865	10.119	9.041	10.195	9.075	10.179
	SSIM:	0.096	0.042	0.130	0.076	0.130	0.080	0.131
Usaf								
	PSNR:	10.882	9.394	12.496	9.449	12.670	9.432	12.620
	SSIM:	0.050	0.031	0.067	0.041	0.073	0.043	0.074
Occluded								
	PSNR:	12.437	11.318	13.069	11.586	13.089	11.563	13.210
	SSIM:	0.101	0.040	0.123	0.082	0.130	0.091	0.128
T								
	PSNR:	11.907	10.686	12.798	10.869	12.803	10.831	12.975
	SSIM:	0.063	0.029	0.063	0.047	0.069	0.052	0.075

図3. 提案手法およびベースライン手法によるNLOSイメージング結果. 超解像を活用しない手法(C²NLOS)や, 再構成されたNLOSイメージング結果に対して超解像度処理を行うベースライン手法(C²NLOS w/SR)と比較して, Transient sinogramに対して超解像を行う提案手法(Ours)が, 導入する超解像手法(Backbone)によらず良好な結果を出力したことを示す.

これらの研究成果は, 既に発表済み, もしくは発表が決定している3件の成果の他, 難関国際会議(1件)および論文誌(1件)に投稿中である.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計3件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 Yang Dixin, Mariko Isogawa
2. 発表標題 Efficient Circular and Confocal Non-line-of-sight Imaging with transient sinogram Super Resolution
3. 学会等名 第27回画像の認識・理解シンポジウム
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 尾上雄紀, 五十川麻理子
2. 発表標題 スキップ接続を活用した軽量かつ高精度なビデオインペインティング手法
3. 学会等名 第26回画像の認識・理解シンポジウム
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 菅野真央, 五十川麻理子
2. 発表標題 Vision Transformerを用いたNL0S Imaging
3. 学会等名 AICカンファレンス2023
4. 発表年 2023年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

上記成果の他、難関国際会議（1件）および論文誌（1件）に投稿中である。

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
--	---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------