

令和 4 年 6 月 20 日現在

機関番号：82626

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2019～2021

課題番号：19H02391

研究課題名（和文）屋外環境における非接触安全センサの人検知性能評価技術

研究課題名（英文）Evaluation Technology for Human Detection Performance of Non-contact Safety Sensors in Outdoor Environments

研究代表者

角 保志（Sumi, Yasushi）

国立研究開発法人産業技術総合研究所・情報・人間工学領域・主任研究員

研究者番号：30357305

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 12,000,000円

研究成果の概要（和文）：低視程環境における新しいセンサ評価指標として、MOT (Minimum Object-detectable Transmittance)を提案した。成果をとりまとめた論文は、IEEE Sensors Journal 誌に採択され、オープンアクセスで公開された。センサ評価のための試験装置の改良を行った。模擬降雪の空間透過率を自動制御するシステム、落下する模擬雪片の軌跡を記録できるシステムを構築した。粒径0.5ミリ以下の霧雨を再現できるようにした。センサ評価ソフトウェアシステムを開発し、githubで公開した。ディープラーニングにより、降雪及び霧による視程の低下を推定するシステムを開発した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究は、降雨・降雪・霧などによる視程（見通しの悪さ）が非接触安全センサの検出性能に及ぼす影響を表す、新しい評価指標MOTを提案したものである。移動ロボットやドローン・自動運転車両等の実用化には、低視程環境下でも確実に動作する安全センサが必須になると予想されるので、今後、安全センサ製品の屋外における性能保証や試験方法、国際標準化が重要な意味を持つことになるだろう。

研究成果の概要（英文）：We proposed MOT (Minimum Object-detectable Transmittance) as a new sensor evaluation metric in low visibility environments. The paper summarizing the results was accepted in IEEE Sensors Journal and published with open access.

We improved the test apparatus for sensor evaluation. A system that automatically controls the spatial transmittance of simulated snowfall and a system that can record the trajectory of falling simulated snowflakes was constructed. A system to reproduce drizzle with a particle size of 0.5 mm or less was developed. A sensor evaluation software system was developed and published on github. A system was developed to estimate the visibility reduction caused by snowfall and fog using deep learning.

研究分野：ロボティクス

キーワード：機能安全 非接触安全センサ 低視程環境 ラボラトリテスト 評価指標 国際標準化

1. 研究開始当初の背景

AI技術の急速な発展により、自動車・農機の自動運転や生活支援移動ロボットの屋外運用が実用段階に入りつつある。これら屋外で運用される自律機械が一般に普及するための最大の問題は安全の確保である。人間と空間を共有する全ての自律機械は、リスクアセスメントに基づき、周囲の環境をセンシングし、接近する人や物体等を確実に検知して自身を安全に停止させるための非接触安全センサを備えなければならない。

特に屋外環境では、太陽光による光干渉と、降雨・降雪・霧などの悪天候時における視程の低下が、安全センサの検知性能を低下させる要因になり得る(図1)。このような屋外環境下でも確実に動作する安全センサが求められている。

ここで、センシング技術の進歩が重要であることは言うまでもない。しかし、それだけでは十分でないことに注意すべきである。加えて、安全センサ製品が、想定されるいかなる環境条件下でも規定の性能を発揮できることを保証するための、センサ評価技術が確立されなければならない。



図1 移動ロボットと環境条件[2]

2. 研究の目的

本研究は、屋外の低視程環境下における非接触安全センサの性能評価手法の確立を目的とする。研究代表者らは、複数の研究プロジェクトを通じ、様々な屋外環境条件が、非接触安全センサ性能に及ぼす影響とその評価の研究を行ってきた。このうち、太陽光による光干渉と、降雨・霧による空間の視程低下については、それぞれ実用に足る試験装置(環境シミュレータ装置)を開発した。降雪についても、ポリスチレン製の模擬雪片を利用した試験装置を開発し、自然降雪と同等の分光特性の再現に成功している。

そこで本研究では、降雪のミクロな物理特性(例えば、雪片の構造やサイズ、落下速度)がセンサ性能に及ぼす影響について分析し、樹脂素材等を使った模擬雪片によって、自然降雪の特性を再現できるかどうか実証するとともに、実用に耐える降雪環境試験装置の完成を目指す。

また、降雪・降雨・霧等による視程低下に共通に適用できるセンサ評価指標と、異なるセンサ製品を共通の指標のもとで評価するためのアルゴリズムについても検討する。これまでに開発してきた試験装置を改良し、非接触安全センサの性能評価指標を確立することを最終的な目標とする。

3. 研究の方法

(1) 降雪試験装置の開発

降雪の物理特性、特に雪片サイズと落下(移動)速度が、主要な非接触安全センサに及ぼす影響を明らかにし、センサ性能試験において、模擬雪片で再現すべき要件を特定する。まず、気象学分野の文献を調査し、自然降雪の物理特性に関する知見を蓄積・分析する。また、高フレームレートのカメラを利用して落下する雪片のサイズ・数・運動を計測・分析するためのシステムを構築する。そして、分析で得られた降雪の物理特性を再現するための新しい模擬雪片の試作を行う。降雪量によらず常に均一な降雪分布を保つ技術を確認し、試験装置を完成させる。

(2) センサ評価指標の確立

降雪に限らず、雨、霧など、空間の視程低下に共通に適用できるセンサ性能評価指標を提案する。提案した指標にもとづくセンサ性能評価を実現するために、これまでに開発した試験装置を改良する。さらに、異なる非接触安全センサ製品を共通の基準・手続きで評価するためのアルゴリズムを開発し、ソフトウェアモジュールとして実装する。以上を用いることにより、低視程空間における非接触安全センサの人検知性能評価方法を策定する。また、本研究のさらなる展開に向けて、機械学習を利用したセンサ性能評価及び評価装置の開発に関する研究を実施する。

4. 研究成果

(1) 降雪の分析

自然降雪の物理特性に関する知見を蓄積・分析するため、気象学分野の文献を調査し、雪片落下に関する分析・観測方法についての知見を得た。また、実際の自然降雪と模擬雪片の物理特性を比較するため、落下する模擬雪片のサイズ・数・運動を高速カメラによって記録・計測できる、雪片落下記録システムを構築した。

(2) 降雪環境試験装置の改良

これまでに開発した模擬降雪装置による降雪量を自動制御し、試験空間の透過率をオペレー

タが指定する値に設定できるシステムを開発した。試験空間の降雪分布を常に均一にできるノズル配置について分析を行い、実際の試験で必要となる降雪量と、ノズル配置を特定した。

なお、当初予定していた模擬雪片による降雪の物理特性の再現と実証については、実験室および工作室での長時間の作業・試行錯誤が必要のため、コロナ禍における出勤自粛の状況では実施困難と判断し、本研究期間内での実施を断念した。代わって、センサ評価指標の開発を当初予定よりも前倒して実施するとともに、本研究課題のさらなる展開のため、センサ評価のためのディープラーニング技術の応用についての研究開発を行った。

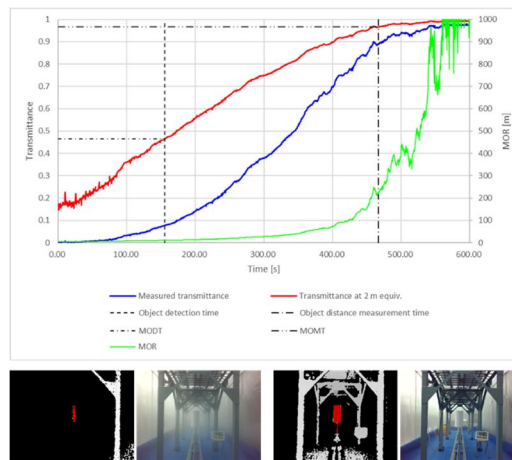


図2 MOTによる霧空間でのセンサ性能評価の例[2]

このセンサの MOT_2 は0.46である。すなわち、2m離れた物体を、透過率46%の霧空間で検出できる。従来使われてきたMOR(緑線)は観測値が指数関数的に変化するため、センサ性能の評価には必ずしも適さない。

(3) センサ性能評価指標の提案

低視程環境における新しいセンサ評価指標として、MOTを提案した。MOT (Minimum Object-detectable Transmittance)は、センサ製品の低視程環境における物体検出性能を、規定の物体を、指定する距離で検出できる最も低い空間透過率として表したものである。例えば、距離2m・空間透過率46%の霧空間で試験片を検出できるセンサ性能は、 MOT_2 : 0.46と表すことができる。MOTに基づくセンサ評価のため、霧環境試験装置を改良して実験を実施し、従来、センサの指標として使われてきた、気象分野のMOR (Meteorological Optical Range) よりも有効であることを実証した(図2)。本研究成果は、国内学会で口頭発表[1]するとともに、IEEE Sensors Journal 誌 (IF: 3.301) に採択され、2021年9月にオープンアクセスで公開された[2]。

(4) MOTに基づくセンサ性能評価手法の策定

MOTに基づく評価技術を実証するため、これまでに開発してきた試験装置を改良し、大雨、霧雨、霧の環境条件を実験室レベルの小空間で再現できるようにした。特に、降雨環境試験装置を改良し、粒径0.5ミリ以下の霧雨を再現できるようにした。さらに、ROS (Robot Operating System) を利用したセンサ評価ソフトウェアシステムを開発した。様々な異なるセンサ製品のインタフェース・データ構造を標準化し、市販されている主たる14種類の距離画像センサに対して、MOTに基づく評価指標・手順を用いた一律のセンサ性能評価を実現した。同ソフトウェアのドキュメントを整備し、MITライセンスのオープンソースとしてgithubで公開した。これらの試験装置と評価ソフトウェアを用いて、それぞれの低視程空間におけるMOTに基づくセンサ試験方法を開発した。

(5) ディープラーニングによるセンサ性能評価の検討

降雪による視程の低下を推定するためのディープラーニング技術の研究を実施した。これまでの研究で蓄積している大量の降雪及び模擬降雪画像を学習させることで、降雪による視程の低下をロバストに推定する技術を開発した。さらに、霧による視程の低下を学習するMLP、CNNを活用したディープラーニング技術の開発研究を実施した。実験で収集された霧環境における画像データを視程によって区分・学習し、霧による視程の低下をロバストに計測する視程計測技術を開発した。

[1] 角, 金: “低視程空間における非接触安全センサの人検出性能評価指標,” 計測自動制御学会SI部門講演会, 2020

[2] Y. Sumi, B. K. Kim, M. Kodama, “Evaluation of Detection Performance for Safety-Related Sensors in Low-Visibility Environments,” IEEE Sensors Journal, vol. 21, no. 17, 2021, doi:10.1109/JSEN.2021.3089207

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 1件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Sumi Yasushi, Kim Bong Keun, Kodama Masato	4. 巻 21
2. 論文標題 Evaluation of Detection Performance for Safety-Related Sensors in Low-Visibility Environments	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 IEEE Sensors Journal	6. 最初と最後の頁 18855 ~ 18863
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1109/JSEN.2021.3089207	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

〔学会発表〕 計1件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 角保志、金奉根
2. 発表標題 低視程空間における非接触安全センサの人検出性能評価指標
3. 学会等名 第21回システムインテグレーション部門講演会（SI2020）
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

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
研究分担者	金 奉根 (Kim BongKeun) (10415672)	国立研究開発法人産業技術総合研究所・情報・人間工学領域・主任研究員 (82626)	

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
---------	---------