

論文 / 著書情報  
Article / Book Information

題目(和文)	マルチエージェントシステムのための光無線通信
Title(English)	Visible Light Communication for Autonomous Multiagent Systems
著者(和文)	中川遥之
Author(English)	Haruyuki Nakagawa
出典(和文)	学位:博士(工学), 学位授与機関:東京科学大学, 報告番号:甲第367号, 授与年月日:2025年3月26日, 学位の種別:課程博士, 審査員:下坂 正倫,DEFAGO XAVIER,村田 剛志,鄭 顕志,金崎 朝子
Citation(English)	Degree:Doctor (Engineering), Conferring organization: Institute of Science Tokyo, Report number:甲第367号, Conferred date:2025/3/26, Degree Type:Course doctor, Examiner:,,,,,
学位種別(和文)	博士論文
Category(English)	Doctoral Thesis
種別(和文)	審査の要旨
Type(English)	Exam Summary

## 論文審査の要旨及び審査員

報告番号	甲第	号	学位申請者氏名	中川 遥之	
論文審査 審査員		氏名	職名	氏名	職名
	主査	下坂 正倫	准教授	金崎 朝子	准教授
	審査員	村田 剛志	教授		
		DÉFAGO Xavier	教授		
	鄭 顕志	准教授			

### 論文審査の要旨 (2000 字程度)

この論文は、“Visible Light Communication for Autonomous Multiagent Systems” と題し、英文 5 章から成っている。

第 1 章では、研究の背景と動機について述べられている。近年、深層学習の進歩により、ロボットの行動はますます洗練されてきている。また、小型の移動ロボットを搭載したローバー、ドローン、無人航空機 (UAV) など、高速で移動するロボットも数多く開発されている。動的エージェントが情報を共有するマルチエージェント協調システムでは、通信方法、位置追跡、情報取得、他のエージェントの視覚認識など、さまざまな課題がある。本章では、これらの課題に対処するための可視光通信の特性と潜在的な応用分野についてまとめられている。可視光通信は、LED やレーザーなどの発光デバイスから変調された光を送信し、それをフォトダイオードやカメラで受信する。従来、可視光通信をマルチエージェントシステムに適用することは十分に検討されてこなかった。本論文は、マルチエージェントシステムが直面する課題として、1) 電波通信が使用できない環境、2) 視野角が限定される環境、3) 個体の視覚認識が困難な環境、4) ロバストな自己位置推定が困難な環境を挙げ、可視光通信によるそれらの解決方法を提案している。

第 2 章は、可視光通信による情報共有に基づくマルチエージェントシステムの協調アルゴリズムを提案している。可視光通信における課題の 1 つは、受信機が送信機を視覚的に検出する必要があることである。本章は、マルチエージェント強化学習の入力として可視光通信により得られる他エージェントの視覚情報を用いる学習アルゴリズムを提案し、複数のマルチエージェント協調タスクにおいて、視野角が限定される環境であっても、電波通信に匹敵する性能が示されている。

第 3 章は、可視光通信の受信デバイスとしてイベントカメラを使用するシステムを提案し、これを用いたエージェントの個体識別手法を提案している。量産機等の同一の外観を有するエージェントによる協調タスクにおいて、個体識別は重要な課題である。提案システムはイベントカメラを用いて高周波な LED マーカーの点滅を捉えることで、エージェントの個体識別情報を受信する。本章では、ArUco マーカーなどの RGB カメラを使用する既存の視覚識別手法と比較し、距離や遮蔽率や移動によるブラーなどの観点で、本手法が優れた個体識別性能を発揮することが実証されている。

第4章は、LED マーカーを搭載した複数の動的エージェントが相対的な自己位置推定を行うことで、協調タスクを遂行する手法を提案している。複数台のドローン等の動的エージェントによる環境の三次元復元等のタスクにおいては、動的かつ多様な照明環境下における高速かつ高精度な自己位置推定が課題となる。特に、遮蔽を伴う室内環境においては、GPS やモーションキャプチャシステムによる自己位置推定が困難であるという問題がある。提案手法は第3章で提案されたイベントカメラベースの可視光通信システムを活用し、グローバルマーカーおよび他エージェントと自己の相対位置情報を共有することで、個体の位置情報損失に対して頑健なマルチエージェントシステムを提案している。実験では、1 台のエージェントがグローバルマーカーを見失った場合でも、他のエージェント間で協調してそのマーカーの位置を補完することで、位置情報を損失しにくいシステムの実現性が確認された。

第5章の結論では、本論文で得られた3つの知見について述べられている。第一に、情報共有のための可視光通信は、送信機が見えていないと受信ができないという課題があるが、マルチエージェントの視覚共有と予測を行うことで性能の低下を抑えることが可能である。第二に、外観が同じ大量生産品の移動体に対して、イベントカメラを用いた可視光通信を用いることで、ロバストな情報共有・個体識別が実現可能である。第三に、イベントカメラを用いた可視光通信システムは、マルチエージェント化することでマーカーベースの自己位置推定の頑健性を高めることが可能である。また、本章では現状のマルチエージェントシステムにおける可視光通信の限界が論じられ、将来課題と応用について述べられている。

以上を要するに、本論文は、マルチエージェントシステムに対する可視光通信の応用における本質的な課題に取り組み、确实かつ有用な解を示しており、工学上の貢献は極めて大きい。したがって、本論文は博士（工学）の学位論文として十分な価値があると認められる。

注意：「論文審査の要旨及び審査員」は、東工大リサーチリポジトリ(T2R2)にてインターネット公表されますので、公表可能な範囲の内容で作成してください。