

令和 2 年 6 月 8 日現在

機関番号：23201

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2017～2019

課題番号：17K17997

研究課題名(和文) 自動走行車両システムの作動状態を人に伝えるためのロボットアクション

研究課題名(英文) Robot Action for Communicating with Autonomous Vehicle Systems' Operational Condition to Human

研究代表者

増田 寛之(Masuta, Hiroyuki)

富山県立大学・工学部・准教授

研究者番号：50586336

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,800,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、コミュニケーションロボットを車載インタフェースとし、適切なタイミングで効果的なアクションをすることにより、車両システムの作動状態を人が常時直感的に推測できる事を目指した。その実現のために、周囲から接近する物体に対して人が危険と感じる指標を危険感として構築した。さらに、危険感の指標を用いて適切なタイミングでロボットアクションを実現するために、学習に基づく状態推定システムを開発した。ロボットアクションの有無によって、搭乗者が車両システムの作動状態を直感的に推測できることを示した。一方、実走行環境においては視覚以外の情報も用いてアクションタイミングを決定する必要がある事を明らかにした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究では、特にノンバーバルコミュニケーションを積極的に活用することで、人と協調して車両の安全な運行に関与することを目指している。本研究成果では、ロボットアクションのみにより、走行中の自動走行車両の制御意図を直感的に推測できることを示した。これは、物理的な身体を持つロボットにのみ可能なコミュニケーションであり、ロボットコミュニケーションにおいて学術的意義のある成果であると考えられる。また、ロボットアクションの解釈は人に委ねており、常時動作しても煩わしさを感じにくいという特徴を示した。複雑な自動運転システムの動作状態を直感的に伝える方法として利用できる可能性を示した。

研究成果の概要(英文)：This research develops a robot interaction that humans estimate the operation condition of the autonomous vehicle system intuitively and continuously. We use a communication robot as an in-vehicle interface for taking effective actions at appropriate timing. For realizing, we propose a sense of danger degree that a human feels danger for approaching objects. Furthermore, a state estimation system based on learning is developed for taking robot action at an appropriate timing according to the sense of danger. Through experiments, we showed that a passenger estimates an operation condition of the vehicle control system intuitively by the robot action. On the other hand, we showed that the information other than the vision is required to decide appropriate action timing in the real environment.

研究分野：ロボティクス

キーワード：ロボット ロボットインタラクション 天球カメラ 自動走行

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

近年、交通事故の削減および次世代のモビリティ社会実現を目指して自動車の運転操作の自動化が進められている。一方、運転操作の自動化レベルが高度になることで、人が複雑な車両システムの作動状態を常に認識する事は困難となり、過信が生まれ、システムに依存することが問題となっている。

車両の作動状態を伝達するために、モニタによる表示や音声によるアラートなどが用いられるが、事前知識を要せず直感的に表示や音声の意味を理解し、システムの作動状態を認識することは容易ではない。そこで、車両システムの作動状態を伝えるインタフェースとして、コミュニケーションロボットを用いることを提案する。

図1に示すように、物体の接近に対して人が感じる危険感の指標にもとづき、人の注意を前方の環境へ促すために、ロボットがアクションをする。これにより、人はロボットが注意を向けた先を車両システムは認識していると推測すると同時に、車両システムの制御意図を推測できる。本提案は、作動状態の解釈を人に委ねることで、危険が差し迫った状況だけでなく、通常走行時でも常時車両システムの作動状態を伝達可能である。

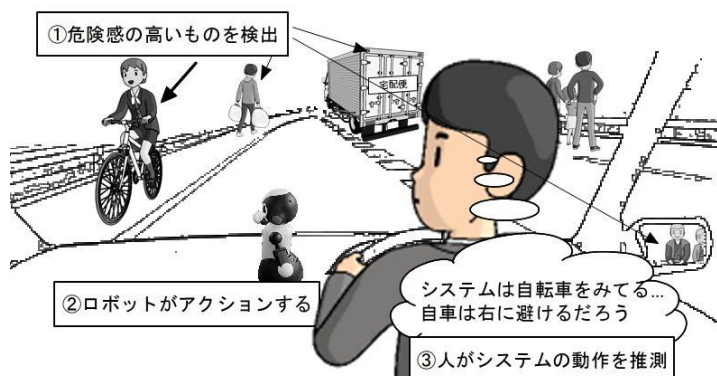


図1 ロボットインタラクションによる動作状態の共有

車両システムが注意を払っている対象やエリアに、ロボットが注意

を払うアクションを取って人の注意を促すことで、人が車両システムの作動状態と制御意図を直感的に推測できると考える。すなわち、ロボットが、適切なタイミングで効果的なアクションをする事ができれば、人が車両システムの作動状態を直感的に推測可能となる。また、ノンバーバルコミュニケーションを積極的に活用することで、人の注意を強制的に促すことがないため、常時伝達における煩わしさ軽減も期待できる。人と車両システム間の認識の相違をロボットが補うことで、人と機械が協調して安全・安心な車両の運行に繋がるのが期待できる。

2. 研究の目的

本提案は人が車両システムの作動状態を直感的に理解できるようなロボットアクションのあり方を明確にすることを目的とする。目的の達成に向けて、高齢者送迎の事例に則した条件下で人が感じる感覚量の指標の確立、車載条件下でのロボットアクションのあり方に向けた基盤となる研究を行う。研究期間内に、以下の開発および検証を行う。

- (1) 全天球カメラを用いて、全方位での投影物体の拡大率から接近する物体に対するTTC(Time To Collision)を求める事で人が感じる危険感を表す指標を構築する。
- (2) 危険感の指標値にもとづいて、人の注意を促すためのロボットのアクションを開発し、人の注意を促す効果についてロボットのモーションとタイミングを関連づけて体系化する。
- (3) 人がロボットのアクションに対して、車両システムの作動状態をどのように推測したかデータを収集し、適切な作動状態の推測を促すためのロボットアクションについて明らかにする。

3. 研究の方法

本研究計画では、人が車両システムの作動状態を直感的に推測できるようなロボットのアクションを開発し、効果的なコミュニケーションのあり方について明らかにする。研究を進めるに当たり、以下の研究項目を行った。

- (1) 全周囲の自車に接近する物体に対して、人の感じる危険感を表す指標で表現する
- (2) 危険感の指標に基づいた衝突回避制御を実装する
- (3) 危険感の指標に基づいた注意を促すロボットアクションの開発
- (4) 車両システムの作動状態認識における検証

4. 研究成果

- (1) 全周囲の自車に接近する物体に対して、人の感じる危険感を表す指標で表現する

人の感じる危険感のモデル化にあたり、生態心理学において、物体の接近を知覚する上で網膜に映った光の拡大率が危険と感じる感覚量に繋がることが指摘されている。この知見に基づいて考案された KdB[1]と呼ばれる接近離間指標を拡張し、周囲から接近する物体に対して接近離間指標を構築した。

具体的には、網膜上に映る光の変化を計算するために、全天球カメラを用いて画像中の物体の面積変化と物体の移動ベクトルを検出した。図2に示すように、周辺から接近する物体は、網膜上を拡大しながら移動している。そこで、全天球カメラで射影された接近物体の面積の時間変化率から KdB を求めた。しかし、物体が衝突しないコースで接近する場合、人の感じる危険感が高くないにもかかわらず、KdB は大きな値を出力することが問題としてあげられる。本研究で

は、接近度合を表す KdB を自車への接近ベクトルとみなし、自車への移動方向を表すベクトルとの合成ベクトルを用いて、周辺から接近する物体に対する危険感指標を SoA(Sensation of Approaching)として定義した。実車を用いた実験を通して、自車を横切る軌道を通る物体等に対して危険感が上昇することなく、人の認識する感覚と一致する変化をすることを示した。

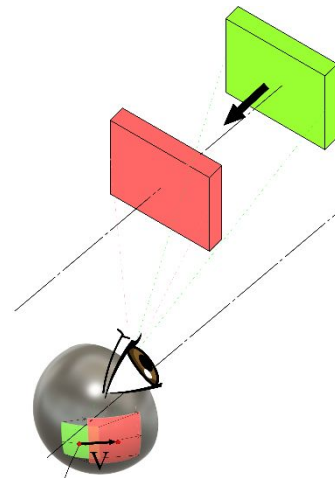


図 2 網膜上に映る光の変化

(2)危険感の指標に基づいた衝突回避制御を実装する

自動走行により、障害物回避を実現するためのシステム開発を実施した。ハードウェアとしては、ステアリング周りのガタが大きかったため追加加工を施し操舵の安定性を向上させた。さらに、補機バッテリーの容量が小さく、長時間の開発・実験に耐えられなかったためリチウムイオン2次電池に換装した。ソフトウェアとしては、自動走行を実現するために、指定速度を維持する速度制御モジュール、再現性の高い操舵を実現する操舵制御モジュールを実装し、自動で障害物回避可能なシステムを構築した。

一方、LiDAR を搭載できていないため、前方障害物のセンシングが不安定であり再現性の高い障害物回避制御を実現できなかった。そこで、図3に示すように安全に効率よく実験をするためにシミュレーションとリアルタイムに連動して仮想障害物への接近を入力とし、実車の速度・操舵を自動制御するシステムの構築を行った。基本的に、接近する障害物や歩行者をシミュレーション内で再現・計測し、実環境では衝突しても安全な模型等に置き換えることで安定した計測環境と実験時の安全性の両立を実現している。これにより、シミュレーションでは得る事が難しい、実車に搭乗している際に感じるリアルな接近に伴う危険感の評価を実施する。

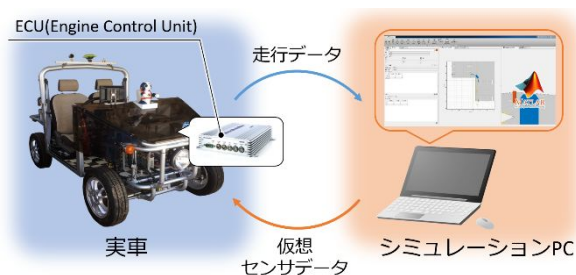


図 3 実車とシミュレーションの連動システム

(3)危険感の指標に基づいた注意を促すロボットアクションの開発

人に注意を促すためのロボットのモーション開発として、人型ロボット Sota を試験車に搭載し、危険感指標に基づいて危険を促すモーションを開発した。図3の実車で示すように、ロボットは自動走行車の運転手をイメージして車両の前方中央に設置し、前方を向けて各種モーションを実行する。搭乗者は、ロボットの背面から見るようになるため、動作としては首の動き、身体の向き、手の動きの組み合わせでモーションを構成した。ロボットの動作確認を兼ねて、回避する際の認識物体を指さす動作、近づいてくる物体を見つめる動作、回避の際の移動方向を知らせる動作をイメージしたモーションを開発した。ロボット動作の予備実験より、特に首の動きは搭乗者の着座位置から変化を認識しにくく、注意を促す上ではあまり適さないことが明らかとなった。また、認識物体を指さす動作などをした場合も、正確に物体方向を指さすよりも、指している方向が分かりやすいようオーバーアクション気味の動作が必要であることが分かった。

一方、ロボットの動作に対して共通の認識を得るためには、モーションを介するタイミングが重要であることが知られている。そこで、人の注意を促すアクションタイミングを推定するために、車両の計測情報からスパイキングニューラルネットワークを用いて、ロボットがアクションすべきコンテンツの選択とタイミングの推定を行った。スパイキングニューラルネットワークを用いることで、接近してくる物体に対して人が接近していることを認識しやすいタイミングを推定した。

さらに、自動走行モードを用いて異なる速度・回避タイミングで障害物回避実験を行い、人が危険と感じやすい状況に関して基礎調査を行った。基本的に、従来から知られているとおりに衝突までの残り時間に比例する形で危険感が上昇することが分かった。一方、進行方向が障害物から離れるように向きを変えた時点で障害物に対する危険という感覚はほとんどなくなる一方、車両の安定性や速度感に関する危険を感じる事が示唆された。

(4)車両システムの作動状態認識における検証

自動走行する車両が障害物を回避する際、ロボットのアクションの有無によって車両システム作動状態の推測に影響を与えるか調査を行った。本検証では、シミュレーションに実走行データを反映したシステムを用い、シミュレーション上での走行動画と実ロボットを連動させて調査を実施した。図4に示すように、ロボットのモーションを伴いながら走行することにより、被験者はロボットが指している物体を直感的に車両の認識している物体として推測し、現在の制御状態への意味づけを搭乗者が自発的に行うことが分かった。また、ロボットのアクションを様々なタイミングで変化させても、人の推測結果にほとんど影響がなかった。

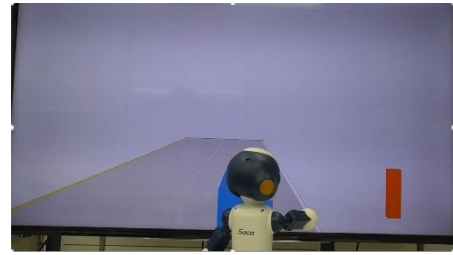


図4 走行中のロボットアクション

次に実環境における実験として、パイロンを用いてコースを作成し障害物回避実験を行った。スパイキングニューラルネットワークを用いたロボットのアクションタイミングを決定する手法と連動し、ロボットのモーション制御を実施した。しかし、ロボットのモーション実行コマンドの送信からモーションが完了するまでにわずかな遅れがあり、車両システムの走行制御とロボットのモーションが一致しないケースが発生した。このため、走行中に車両システムの認識状態を推測することができず、走行中における制御状態を推測することができなかった。シミュレーションでロボットモーションを実施した際は、特に行動の遅さに関する意見はなかったことから、実環境特有の認識の感覚的違いであると考えている。シミュレーションでは、視覚に基づいた評価しかしていない事が大きな違いである。特に実環境において被験者は、視覚以外の情報を得ることにより車両の運動の変化をいち早く感じ取っているため、ロボットモーションをより遅いと感じたと推測される。今後、車体の挙動の変化なども考慮した危険感指標を構築する必要があると考える。

<参考文献>

[1] 伊佐治, 津留, 和田, 土居, 金子, 前後方向の接近に伴う危険状態評価に関する研究(第1報) : ドライバ操作量に基づく接近離間状態評価指標の提案, 自動車技術会論文集 38(2), 2007, 25-30.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計2件（うち査読付論文 2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 Masuta Hiroyuki, Nagai Yusuke, Kumano Yuta, Motoyoshi Tatsuo, Sawai Kei, Tamamoto Takumi, Koyanagi Ken'ichi, Oshima Toru	4. 巻 なし
2. 論文標題 Explanation of the Sense of Visual Perception in Cornering Based on Gaze Position and Optical Flows	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 International Journal of Intelligent Transportation Systems Research	6. 最初と最後の頁 なし
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1007/s13177-019-00218-w	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 MASUTA Hiroyuki, NAGAI Yusuke, MOTOYOSHI Tatsuo, SAWAI Kei, KOYANAGI Ken'ichi, TAMAMOTO Takumi, OSHIMA Toru	4. 巻 54
2. 論文標題 Explanation of Vehicle Cornering by Optical Flow on Spherical Image Considering with Gaze Direction	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Transactions of the Society of Instrument and Control Engineers	6. 最初と最後の頁 650～658
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.9746/sicetr.54.650	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18件（うち招待講演 1件／うち国際学会 7件）

1. 発表者名 Hiroyuki Masuta, Yusuke Nagai, Yuta Kumano, Tatsuo Motoyoshi, Kei Sawai, Takumi Tamamoto, Ken'ichi Koyanagi, Toru Oshima,
2. 発表標題 Detection of Divergence Point of the Optical Flow Vectors Considering to Gaze Point While Vehicle Cornering
3. 学会等名 International Conference on Intelligent Robotics and Applications (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Hiroyuki Masuta, Hiroki Kanamori, Kei Sawai, Tatsuo Motoyoshi, Takumi Tamamoto, Ken'ichi Koyanagi, Toru Oshima
2. 発表標題 A Study of Sense of Approaching Index based on Considering Direction of Approaching Objects
3. 学会等名 International Symposium on Micro-NanoMechatronics and Human Science (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 中根和城, 増田 寛之, 本吉 達郎, 澤井 圭
2. 発表標題 危険な状況における自動運転車の走行実験を行うための実環境にシミュレーションを組み込んだシステムの開発
3. 学会等名 第35回ファジィシステムシンポジウム
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 熊野雄太, 増田 寛之, 本吉 達郎, 澤井 圭, 高木昇
2. 発表標題 自動運転時における周辺物体の接近感覚指標の検討
3. 学会等名 第 29 回インテリジェント・システム・シンポジウム
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 中根和城, 増田 寛之, 本吉 達郎, 澤井 圭, 高木昇
2. 発表標題 自動運転システムの動作情報を共有するための車載ロボットモーションの開発
3. 学会等名 第 29 回インテリジェント・システム・シンポジウム
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 中根和城, 増田寛之, 本吉達郎, 澤井圭, 高木昇
2. 発表標題 車載ロボットインタラクションのための自己推進粒子を用いた車両走行状況の認識
3. 学会等名 第6回人間共生システムデザインコンテスト (HSS-DC)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yusuke Nagai, Hiroyuki Masuta, Tatsuo Motoyoshi, Kei Sawai, Takumi Tamamoto, Ken'ichi Koyanagi, Toru Oshima
2. 発表標題 A study of Optical Flow in Peripheral Vision Area while Vehicle Cornering
3. 学会等名 2018 Joint 10th International Conference on Soft Computing and Intelligent Systems and 19th International Symposium on Advanced Intelligent Systems (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Hiroyuki Masuta, Yusuke Nagai, Tatsuo Motoyoshi, Kei Sawai, Takumi Tamamoto, Ken'ichi Koyanagi, Toru Oshima
2. 発表標題 Spherical Optical Flow in Automatically Controlled Vehicle While Cornering
3. 学会等名 Proceedings of the 2018 IEEE Symposium Series on Computational Intelligence (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Hiroyuki Masuta, Yoshikazu Okajima, Kei Sawai, Tatsuo Motoyoshi, Takumi Tamamoto, Ken'ichi Koyanagi, Toru Oshima
2. 発表標題 Visual Perception of Approaching Object using Spherical Camera
3. 学会等名 2018 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 増田寛之
2. 発表標題 自動車と人を繋ぐロボットシステム
3. 学会等名 電子情報通信学会技術研究報告 (招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 中根和城, 増田 寛之, 澤井 圭, 本吉 達郎, 小柳 健一, 玉本拓巳, 大島 徹
2. 発表標題 自動運転技術を実環境で評価するための実車とシミュレーションを連動したシステム開発
3. 学会等名 日本知能情報ファジィ学会 合同シンポジウム2018
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 熊野雄太, 増田 寛之, 澤井 圭, 本吉 達郎, 小柳 健一, 玉本拓巳, 大島 徹
2. 発表標題 自動運転による障害物回避時における危険感指標の検討
3. 学会等名 日本知能情報ファジィ学会 合同シンポジウム2018 講演論文集
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 永井祐輔, 増田 寛之, 本吉 達郎, 澤井 圭, 玉本拓巳, 小柳 健一, 大島 徹
2. 発表標題 視点の移動を考慮した車両旋回時の景色の流れに関する考察
3. 学会等名 第 28 回インテリジェント・システム・シンポジウム
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Yusuke Nagai, Hiroyuki Masuta, Kei Sawai, Tatsuo Motoyoshi, Ken'ichi Koyanagi, Toru Oshima
2. 発表標題 Spherical Optical Flow based on Cornering Motion Representation for Vehicle Control
3. 学会等名 2017 IEEE Symposium Series on Computational Intelligence (SSCI) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Hiroyuki Masuta, Yoshikazu Okajima, Tatsuo Motoyoshi, Kei Sawai, Ken'ichi Koyanagi, Toru Oshima
2. 発表標題 Explanation of Approaching Object Based on a Senses-Visual using Spherical Image
3. 学会等名 The 18th International Symposium on Advanced Intelligent Systems (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 岡島 恵一, 増田 寛之, 本吉 達郎, 澤井 圭, 小柳 健一, 大島 徹
2. 発表標題 車載ロボットによるインタラクションのための周囲物体の危険感表現
3. 学会等名 第 33 回ファジィシステムシンポジウム
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 永井祐輔, 増田 寛之, 澤井 圭, 本吉 達郎, 小柳 健一, 大島 徹
2. 発表標題 天球カメラを用いた車両旋回時の視点とオプティカルフローの考察
3. 学会等名 第 27 回インテリジェント・システム・シンポジウム
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 永井祐輔, 増田 寛之, 本吉 達郎, 澤井 圭, 小柳 健一, 大島 徹
2. 発表標題 球面画像のオプティカルフローを用いた旋回運動表現および車両制御への応用に関する検討
3. 学会等名 第 33 回ファジィシステムシンポジウム
4. 発表年 2017年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

知的ロボット統合システム研究室
<https://lab.toricle.com/>

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