

令和 6 年 6 月 24 日現在

機関番号：13501

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2021～2023

課題番号：21H00900

研究課題名（和文）重複肢体不自由者の3次元空間把握のための視線入力訓練法と移動支援ロボットでの実証

研究課題名（英文）Eye-gaze input training method for 3D spatial awareness for people with multiple physical disabilities and verification using a mobility support robot

研究代表者

小谷 信司 (Kotani, Shinji)

山梨大学・大学院総合研究部・教授

研究者番号：80242618

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 13,500,000円

研究成果の概要（和文）：我々は、屋内環境の2.5次元経路地図を作成し、視線入力インターフェースの電動車いすベースのシステムを拡張し、重複肢体不自由者の移動支援ロボットを研究開発した。3次元空間把握のための視線入力訓練は、小型ドローン、小型自立移動ロボット、LED点滅システム、風船探索課題である。過去10年に渡り、研究に協力いただいている支援学校の脳性マヒの重複肢体不自由児童生徒に協力を依頼し、3次元空間把握のための視線入力訓練法を確立し、訓練を行い、評価を行い、その有効性を確認した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

システムの研究開発にとどまらず実証試験を行い、最終ユーザーである重複肢体不自由者を最大限考慮したシステムを構築した。そのために、安全性を考慮した「絶対にぶつからない」機能と滑らかな走行制御を実現した。さらに、重複肢体不自由者の生活の質（Q.O.L.）の改善を「問い」として、快適な運転モードを解明した。健常者での移動の実現と重複肢体不自由者での移動の実現では、大きな差があり、後者は高い学術的意味を持ち世界的レベルでの大きな社会的インパクトがある。

研究成果の概要（英文）：We created a 2.5D route map for indoor environments, expanded an electric wheelchair-based system for gaze input interface, and researched and developed a mobility support robot for people with multiple physical disabilities. Gaze input training for understanding 3D space was conducted using a small drone, a small autonomous mobile robot, an LED flashing system, and a balloon search task. We asked for the cooperation of children and students with multiple physical disabilities and cerebral palsy at a support school who have been cooperating with our research for the past 10 years, established a gaze input training method for understanding 3D space, conducted training, evaluated it, and confirmed its effectiveness.

研究分野：福祉工学

キーワード：重複肢体不自由者 視線入力 3次元空間把握 移動支援ロボット 視線入力訓練法

様式 C-19、F-19-1 (共通)

1. 研究開始当初の背景

(1) 2010年度より視線検出に基づく肢体不自由者のコミュニケーション実現システムの研究開発(支援、共生、自立)を行っている。本研究は、両手両足が動かず、発話も不可能な障害者の視線を検出して日本語入力を実現するものである。提案した3つの日本語入力方法を実装して、実践研究として定期的な取り組みを行い、それらの評価、文章の入力・校正を実現した。

(2) 屋内環境、屋外環境の地図を作成しながら自己位置推定を行う移動ロボットの研究は、国内外で数多くある。それらの研究の目的は、アカデミックなもの、もしくは産業応用を目指したものであり、重複肢体不自由者の安全な移動を目的とする研究はほとんどない。

障害者支援の研究は数多く研究されているが、重複肢体不自由者のための研究は少なく、支援学校の全面的な協力を得て、30名以上の重複肢体不自由児童生徒を対象とした実証試験までを視野に入れた研究は日本のみならず、世界でも初の取り組みである。

2. 研究の目的

本研究の目的は3つある。

(1) 両手・両足・指が動かず、発話が不可能な重複肢体不自由者を対象として、2次元での視線入力方法の評価、3次元空間での視線追従方法の提案・評価方法の検討、実装を行う。

(2) 本人の視線を用いて速度をコントロール可能で、自由に経路を選択できる移動方法を実現し、屋内環境・屋外環境を問わずに安全に使用出来る「絶対にぶつからない」移動支援ロボットを研究開発して、実環境で実証試験を行う。

(3) 実証試験終了後、視線入力訓練法はマニュアルとして作成する。本研究課題の意義、及び、成果を国内外に広く発信し、工学的技術で障害者の生活の質(Q.O.L.)の改善が可能であることを国内外に示す。

3. 研究の方法

本研究は、以下の3つの具体的な研究課題を有する。1) 2次元上での視線入力手法の確立と評価、2) 3次元空間での視線追従、3) 被験者の移動方法を字縷言するシステムの構築と実証試験である。

(1) 授業に視線入力装置を利用した場合、「授業観察シート」に必ず記録を残している。この記録をファイルに綴じ、児童生徒の視知覚認知のカルテとしての役割を持たせ、教諭間の情報共有を行っている。しかしながら、課題の達成の定量的評価を行うことが難しかった。そこで、視線移動の基本機能を評価するアプリケーションプログラムを作成し、定量的評価を実現する。評価項目は、(株)アフィンの「動体視力ソフト」を参考に、周辺視、跳躍視、瞬間視、追従視、比較視、先見視とする。レーダーチャートを利用して、各児童生徒の視線の機能別の能力を定量的に把握する。

(2) PC画面上での訓練、評価を行った児童生徒の2.5次元、3次元空間での視線追従の訓練を行う。2.5次元を移動する自律移動ロボットを利用して、左右方向、前後方向の把握の訓練を行う。さらに、ロボットの上部、下部の追従訓練を行う。3次元空間を飛行するドローンを利用して、設置の制約のない左右方向、前後方向、奥行き方向、上下方向の把握の訓練を行う。

(3) 被験者の移動方法として、複数の運転モードを提供する。それぞれの運転モードを評価して、重複肢体不自由者の生活の質(Q.O.L.)の改善を図る。

4. 研究成果

(1) 2次元視線入力訓練

健常者の視線訓練には、理学館の「しっかり見よう」を用いた。「しっかり見よう」には学習、運動、生活に必要な6つの視線トレーニングがある。すべてマウスによる操作で行う。重複肢体不自由者の訓練には、クレアクトの「Look to Learn」を用いた。操作には、視線入力装置PCEye Miniを使用した。PCEye Miniは、マウスの代わりに視線を用いてPCの操作を行うことができる装置である。

(2)-① 3次元視線移動評価

本研究で使用するTobii Pro Glasses 3(以下、Glasses 3)を図1に示す。本研究では「視る能力」として、追従視、探索視、跳躍視を評価するための3つの実験を行う。追従視は、正確に動体を目で追う力である。探索視は、周辺状況を素早く探索する力である。跳躍視は、素早く視点を切り替える力である。これら3つの能力を実験によって測り、繰り返し実施することで空間認識能力を向上させる。

追従視の実験では、水平面上を移動する小型移動ロボットRaspberry Pi Mouse(以下、ロボット)と、上下前後左右を移動するドローンTello EDU(以下、ドローン)を使用する。PCと遠隔接続し、プログラミングにより自律移動させる。追従視の実験の様子

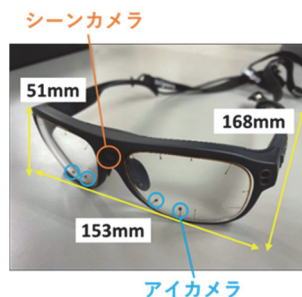


図1 Tobii Pro Glasses 3



図2 追従視の実験

を図2に示す。Glasses 3を装着した被験者が移動する対象物（ロボット・ドローン）を目で追う。
 探索視の実験では、風船を使用する。ヘリウムガス注入後の風船の実寸は横幅220mm、高さ270mmである。風船に釣り糸を結び、釣り糸の適切な位置にクリップをはさむ。クリップをはさむ位置を変えることで、風船の高さが調節可能である。探索視の実験の様子を図3に示す。Glasses 3を装着した被験者の前に風船を配置する。風船の配置完了後、被験者が視線による風船の探索を開始する。実験は風船の個数を変えて2回行う。1回目は風船1個、2回目は風船3個で、指定された色の風船を探索する。

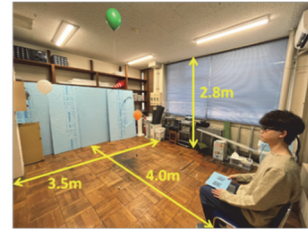


図3 探索視の実験

跳躍視は、階段状に配置した縦横3×3の9個の赤色LEDをランダムに点灯させて実験を行う。LEDのランダム点灯制御には、Raspberry Piを用いる。跳躍視の実験の様子を図4に示す。LED装置を設置し、Glasses 3を装着した被験者が1.5m離れた場所に座る。LED装置はランダムにLED1個が、1.5秒間ずつ10回点灯する。被験者は視線を瞬時に切り替えながら、点灯したLEDを注視する。

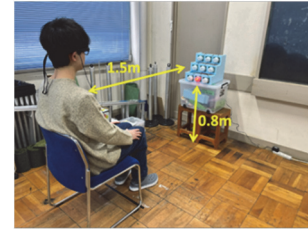


図4 跳躍視の実験

(2)-② 評価方法

追従視の実験は、対象物と注視点の距離を評価する。はじめに、対象物をOpenCVのトラッキングと色情報を用いて検出し、外接円を取得する。次に、図5に示す外接円（半径r）と注視点の距離xを算出し、式(1)をもとに0~100点として点数化する。ただし、距離xは整数とする。x=0または注視点が外接円内に存在する場合は点数を100点、距離xが半径rの3倍以上の場合は0点とする。1フレームごとに点数を算出し、それらの平均値を最終的な点数とする。

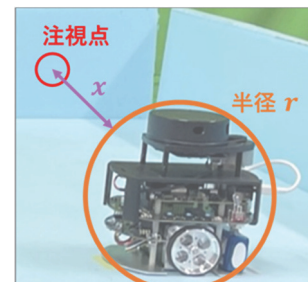


図5 ロボットと注視点の距離 x

$$y = -\frac{100}{\log(3r)} \log(x) + 100 \quad (1)$$

探索視の実験は、被験者が風船を注視するまでの時間を評価する。風船の検出はOpenCVのトラッキングを用いる。実験開始から10秒以内に、風船の領域内に注視点が入った場合、注視するまでの時間を図6左のグラフに従って50~100点の範囲で点数化する。10秒以内に2フレーム連続で注視点が入らなかった場合、図6右のグラフに従って0~50点の範囲で点数化する。グラフ内のdminは風船と注視点の最小距離、tはdminのときの時間（単位：秒）を表す。ただし、dminが200pixel以上のとき、またはtが10秒以上のときは点数を0点とする。

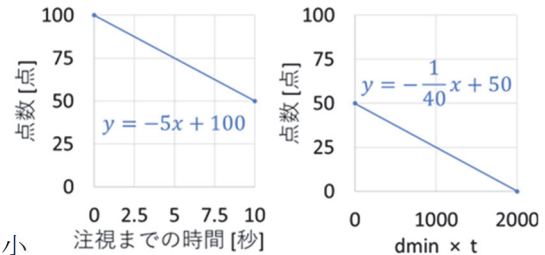


図6 注視までの時間と点数の関係

跳躍視の実験は、注視点と点灯LEDの距離を評価する。点灯LEDはOpenCVのトラッキングによる検出範囲限定後、色情報を用いて検出する。図7に示す注視点と点灯LEDの距離dから、式(2)をもとに点数yを算出する。距離が200pixel以上のときは点数を0点とする。1フレームごとに点数を算出し、すべてのフレームにおける平均値を最終的な点数とする。

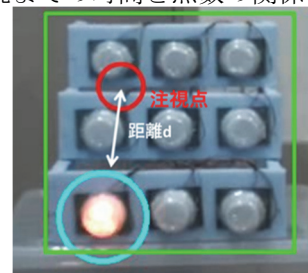


図7 点灯LEDと注視点の距離 d

$$y = -\frac{1}{2}d + 100 \quad (2)$$

(2)-③ 実験結果

重複肢体不自由者1人と健常者8人の計9人を対象として追従視の評価実験を行った。各被験者のロボットとドローンの実験回数を図8に示す。S01は訓練有りの重複肢体不自由者、S10~S14は訓練有りの健常者、S20~S22は訓練無しの健常者である。重複肢体不自由者は18か月間、健常者は7か月間、実験を実施した。重複肢体不自由者S01と健常者S11の点数の変化を考察する。重複肢体不自由者は健常者と比較して点数が低い。このことから重複肢体不自由者は移動する対象物を目で追うことができていないことがわかる。

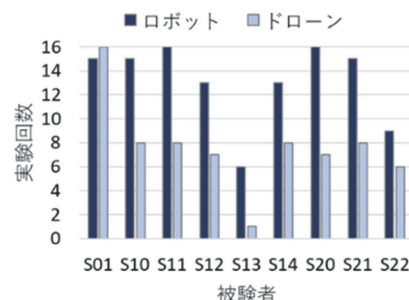


図8 各被験者の実験回数

実験日と点数の相関係数を向上度として評価する。重複肢体不自由者の相関係数は、ロボットの実験が0.19、ドローンの

実験が 0.03 であった。ロボットの実験において、有意水準 5% で t 検定を行った結果、訓練有りと訓練無しとのデータ間に有意差はみられなかった。

重複肢体不自由者 1 人と健常者 9 人の計 10 人を対象として、探索視と跳躍視の評価実験を行った。重複肢体不自由者 S01 は追従視の実験と同じ被験者で、4 ヶ月間、7 回の実験を行った。健常者は追従視と異なる被験者 9 人を S11～S19 とし、1 回実験を行った。

探索視の実験において、重複肢体不自由者は健常者の 1/2 の点数であった。跳躍視の実験においては 1/20 の点数であった。健常者について、探索視の実験よりも跳躍視の実験のほうが、点数が低くばらつきがみられた。

重複肢体不自由者の点数の変化は、探索視の実験について、風船 1 個の実験は平均値 52.0 点、相関係数 -0.30、風船 3 個の実験は平均値 32.0 点、相関係数 -0.59 であった。跳躍視の実験について、平均値は 14.8 点、相関係数は 0.33 であった。平均値で比較すると、探索視の実験よりも跳躍視の実験のほうが、点数が低いことがわかった。

探索視の実験における風船の個数と点数の関係は、健常者、重複肢体不自由者ともに、風船 1 個よりも風船 3 個のほうが、平均値が低くばらつきが大きいことがわかる。ただし、健常者、重複肢体不自由者ともに有意差はみられなかった。重複肢体不自由者は、X 軸方向の分散よりも Y 軸方向の方向のばらつきが大きい。

(3)-① 視線入力式移動支援ロボット

視線入力式移動支援ロボットのシステム構成を図 9 に、外観を図 10 に示す。移動支援ロボットの操作と制御にはそれぞれノート PC1、2 を用いる。ノート PC1 には視線入力用 GUI (Graphical User Interface) を表示し、それを視線入力装置で操作する。GUI の操作内容に応じてノート PC2 に走行指令を送り、ノート PC2 は走行指令に基づいて移動支援ロボットの走行制御を行う。移動支援ロボットにはセンサとしてカメラと 3D-LiDAR (Light Detection And Ranging) を搭載する。カメラは移動支援ロボット周囲の環境を重複肢体不自由者が視覚的に把握するために前後に設置する。取得した映像を GUI の背景に表示する。3D-LiDAR は物体までの距離を計測するセンサであり、計測した距離データを用いて、衝突防止動作の実装を行った。

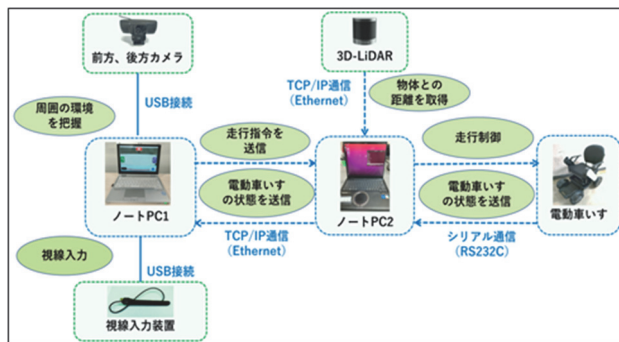


図 9 視線入力式移動支援ロボットのシステム構成

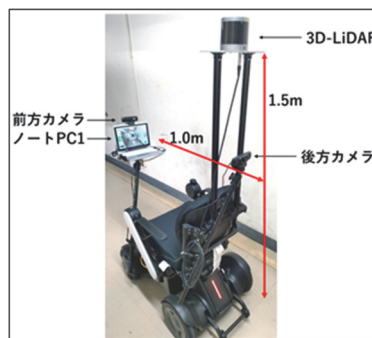


図 10 移動支援ロボットの外観

移動支援ロボットは WHILL 社の研究開発モデルである電動車いす WHILL Model CR を用いる。電動車いすの制御は ROS2 を用いて行う。本システムでは電動車いすの直進速度を 0.28[m/s]、旋回速度を 0.49[rad/s] に設定する。これらの速度はジョイスティック操作での最低速度を基準とする。カメラは CMS-V43BK を使用する。人の視野は水平に約 200° である。それに対し、本研究で使用するカメラの水平画角は 143° である。よって、人の視野の 7 割をカバーできる。3D-LiDAR は RS-Helios5515 を使用する ROS2 と互換性があり、取得した距離データは ROS2 内のメッセージとして処理する。視線入力装置は PCEye Mini を使用する。

(3)-② 視線入力用 GUI

視線入力で移動支援ロボットを操作するために専用の GUI を開発する。この GUI は画面上に配置したシンボルを 0.2 秒間注視することで移動支援ロボットを操作でき、前進、後退、旋回、停止の各操作が可能である。

GUI 画面の状態遷移図を図 11 に示す。画面の状態は、大きくメニュー画面、停止画面、走行中画面と遷移する。各画面の最背面にはカメラ映像を表示する。移動支援ロボット前方に移動する場合は前方カメラ映像、後方に移動する際は後方カメラ映像を表示する。前方、後方カメラ映像は停止画面で切り替えられる。



図 11 GUI 画面の状態遷移図

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計4件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 1件）

1. 発表者名 河野万理子、渡辺寛望、小谷信司
2. 発表標題 重複肢体不自由者のための3次元空間における視線入力評価
3. 学会等名 第27回知能メカトロニクスワークショップ
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 中嶋祐斗、小谷信司、渡辺 寛望
2. 発表標題 重複肢体不自由者を対象とした視線入力式電動車いすの研究開発
3. 学会等名 ビジョン技術の実利用ワークショップ ViEW2023
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 河野 万里子、小谷 信司、渡辺 寛望
2. 発表標題 重複肢体不自由者を対象とした3次元視線移動能力の評価
3. 学会等名 ビジョン技術の実利用ワークショップ ViEW2023
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Hiromi Watanabe , Mariko Kono , Shinji Kotani
2. 発表標題 Evaluation of gaze input in 3D space for a person with multiple physical disabilities using a robot and drones
3. 学会等名 Proc. of IEEE COMPSAC2024 (国際学会)
4. 発表年 2024年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

小谷・渡辺研究室Webページ 研究内容
https://www.ccn.yamanashi.ac.jp/~kotani/kw_lab2021/concept.html

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	渡辺 喜道 (Watanabe Yoshimichi) (00210964)	山梨大学・大学院総合研究部・教授 (13501)	
研究分担者	渡辺 寛望 (Watanabe Hiromi) (30516943)	山梨大学・大学院総合研究部・准教授 (13501)	
研究分担者	石田 和義 (Ishida Kazuyoshi) (70324176)	山梨大学・大学院総合研究部・准教授 (13501)	
研究分担者	中込 広幸 (Nakagomi Hiroyuki) (80786707)	国立研究開発法人森林研究・整備機構・森林総合研究所・任期付研究員 (82105)	

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