歩行空間内における二輪倒立振子型電動車両の操作特性に関する研究

Study on Driving Characteristics of Two-Wheel Inverted Pendulum Electric Vehicle in Pedestrian Walking Space

○学 小黒 宏史 (農工大) 正 ポンサトーン・ラクシンチャレンサク (農工大)

Hiroshi OGURO, Tokyo Univ. of Agri. and Tech., 50007255022@st.tuat.ac.jp
Pongsathorn RAKSINCHAROENSAK, Tokyo Univ. of Agri. and Tech., pong@cc.tuat.ac.jp

This paper describes the driving characteristics of a two-wheel inverted pendulum electric vehicle in pedestrian walking space. First, driving data which are synchronized with surroundings data when driving in pedestrian walking space are collected by LIDAR and GPS/IMU, and the classification between moving objects and static objects by considering ego-vehicle velocity is conducted. Next, the driving characteristics in pedestrian walking space is analyzed in the case of normal driving and emergency obstacle avoidance. In addition, the driving characteristics in emergency avoidance situation is divided into the case of braking and the case of steering. Finally, the braking and steering avoidance characteristics in personal mobility driving are investigated by driving experiments of subject riders.

Key Words: Inverted Pendulum Electric Vehicle, Environment Perception, Driving Characteristics

1. 緒言

近年, SEGWAY など新しいパーソナルモビリティとして, 二輪倒立振子型電動車両が開発されており, それらが歩行空間内を走行することが提案されている。しかし歩行空間は自動車が行く道路などと比べて運動の自由度や乱雑さが大きく, 接触やそれに伴う転倒などの可能性が大きい。二輪倒立振子型電動車両は低速領域における直立安定性が高く, 小回りが利くなど利便性が大きい, 歩行空間内においては歩行者よりも俊敏性が低く危険な存在であるため, 適切な運用のための安全性の確立が求められている⁽¹⁾。二輪倒立振子型電動車両の走行時の安全性を考えるためには, 移動体と搭乗者, 走行環境の三つの要素を考える必要がある。そこで, 本研究では SEGWAY を用い, 歩行空間内における操作特性の解析を目的とする。

本稿では, 歩行空間内における通常走行時の操作特性および緊急時における操作特性を複数に被験者により実験的に調査したので報告する。

2. 歩行空間内の環境認識システム

歩行空間内の周辺環境情報と車両情報を取得するため LIDAR と GPS/IMU を同期して走行データを取得する。取得した走行データからオドメトリの手法を用い, 周辺環境の距離データを静止座標系に変換し, 隣り合うスキャンラインのデータの静止座標値の距離が 1m 以内の場合, そのデータ点の集合体を物体として検出し, また SEGWAY までの距離が最小のデータ点を物体の静止座標値とする。1 サンプルタイム前に検出した物体との距離が 1m 以内の場合, 同一の物体として認識し, その移動量を微分し, 移動物体の速度を算出する。算出した速度が 2m/s 以下の場合, 検出した物体を歩行者として認識する。

3. 歩行空間内の通常走行特性の調査

歩行空間内の通常走行時の操作特性を調査するため, SEGWAY の運転を十分に練習した成人男性 5 人(A, B, C, D, E)に対し, 歩行空間内の走行実験を行った。また, 1 人 10 回歩行空間内を通常走行し, LIDAR より周辺物体までの距離データ, GPS/IMU より車両速度とヨーレイトを取得した。サンプリングタイムは 250ms である。

走行データの一例を図 1 に示す。車両前方 60 度の範囲内の距離データから歩行者を識別し, SEGWAY から歩行者までの距離が 5m 以内の場合の車両速度を抽出する。10 回分の走行データから抽出した車両速度を用いてヒストグラムを作成し,

その一例を図 2 に示す。また作成したヒストグラムより中央値を算出し, 図 3 に被験者別示す。

図 3 から歩行者までの距離が 5m 以内の場合, 10km/h から 15km/h の間の速度で走行していることがわかる。

Fig. 1 Experiment results of driving in pedestrian walking space

Fig. 2 Histogram of vehicle velocity in pedestrian walking space (Subject A)

Fig. 3 Median of velocity in pedestrian walking space of each subject

4. 制動回避特性の調査

緊急時の操作特性のうち、急制動による衝突回避特性である制動回避特性を調査するため、通常走行特性の調査と同じ被験者に対し、図 4 に示すような実験を行った。物体までの初期位置 D_0 から加速し、巡航速度 V_{seg} で走行し、物体に限界まで近づき衝突しないように急停止する。また巡航速度 V_{seg} は 5km/h、10km/h、15km/h、20km/h と変化させ、各速度 5 回ずつ走行した。LIDAR から前方の物体までの距離 D_{ped} を取得し、式(1)を用いて衝突余裕時間 T_{tc} を算出する。

$$T_{tc} = \frac{D_{ped}}{V_{seg}} \quad (3)$$

図 5 に 20km/h で走行した実験結果を示す。急制動を開始した時点の衝突余裕時間 T_{tc_brake} を抽出する。

5. 操舵回避特性の調査

緊急時の操作特性のうち、急制動による衝突回避特性である制動回避特性を調査するため、通常走行特性の調査と同じ被験者に対し、図 6 に示すような実験を行った。物体までの初期位置 D_0 から加速し、巡航速度 V_{seg} で走行し、物体に限界まで近づき衝突しないように急操舵する。また巡航速度 V_{seg} は 10km/h、15km/h、20km/h と変化させ、各速度 5 回ずつ走行した。LIDAR から前方の物体までの距離 D_{ped} を取得し、式(1)を用いて衝突余裕時間 T_{tc} を算出する。

図 7 に 20km/h で走行した実験結果を示す。急操舵を開始した時点の衝突余裕時間 T_{tc_steer} を抽出する。図 8 に制動回避実験より抽出した衝突余裕時間 T_{tc_brake} と操舵回避実験より抽出した衝突余裕時間 T_{tc_steer} の平均と標準偏差を示す。

図 8 は衝突余裕時間を基に抽出した特性であるため、制動・操舵それぞれの衝突危険度の指標として考えられる。また、すべての被験者の緊急時の操作特性に関して、操舵回避特性 T_{tc_steer} に比べ、制動回避特性 T_{tc_brake} の方が小さいことが確認できる。

6. 結言

本研究では、二輪倒立振り子型電動車両の歩行空間内走行の安全性の確立のため、SEGWAY を使い、操縦者の歩行空間内における通常走行特性と緊急時における操作特性を、複数の被験者により実験的に調査した。通常走行特性では、歩行者までの接近距離と走行速度を解析し、緊急時における操作特性では、制動回避および操舵回避のそれぞれの場合において搭乗者個人の回避タイミングを解析した。今後は、歩行空間内における歩行者等との親和性評価、危険度評価・衝突回避システムの設計に役立つ基礎的なデータを本研究で示したといえる。

文 献

- [1] 伊藤太久磨, 小竹元基, 鎌田実: 歩行空間における低速移動体操作時のドライバ視覚認知特性の把握, ヒューマンインタフェースシンポジウム 2009, 一般発表, 3131

Fig. 4 Experimental overview of collision avoidance by braking

Fig. 5 Experimental results of emergency avoidance by braking (Subject A)

Fig. 6 Experimental overview of steering evasive maneuver

Fig. 7 Experimental results of steering evasive maneuver (Subject A)

Fig. 8 Time-to-collision of each subject when starting collision avoidance by braking and steering (Braking n=20, Steering n=15)