

(様式 5)


指導教員
承認印



平成30年 6月 12日
Year Month Day

学位（博士）論文要旨

(Doctoral thesis abstract)

論文提出者 (Ph. D. candidate)	工学府博士後期課程 機械システム工学 専攻 (major) 平成28年度入学(Admission year) 学籍番号16833012 氏名 横山 篤 (student ID No.) (Name) 
主指導教員氏名 (Name of supervisor)	ボンサトーン・ラクシンチャラーンサク准教授
論文題目 (Title)	仮想斥力場に基づく予防安全の統合制御に関する研究 システム

論文要旨（2000字程度）

近年は自動車の交通事故発生件数および死者数はともに減少傾向にあるものの、依然として死亡事故件数は多く、社会全体での交通事故低減への取り組みが必要である。これまで、衝突安全技術や車両運動安定化制御技術の普及が、死亡事故および事故発生件数の減少に大きく貢献してきた。昨今においては、交通事故低減効果の期待から、通常走行領域や衝突回避領域に関する運転支援システムの研究や開発が盛んに行われ、市販車両への搭載も順次行われている。しかし、現在普及している運転支援システムは複数のシステムが混在しており、今後はさらにシステムは多様化・煩雑化することが予想される。そこで本研究では、通常走行領域から限界走行領域まで2次元的にシームレスな統合運転支援システムの実現を目指す。本論文では、その中でも衝突回避領域における統合制御手法を提案する。

本論文では、衝突回避統合制御コンセプトとして「仮想斥力場法」を提案する。仮想斥力場法は、車両が発生し得る力の限界を考慮した大きさ一定の制御力を車両に付与するが、このときの制御力は回避対象と垂直の向き（斥力方向）に働くという衝突回避制御コンセプトである。仮想斥力場法は力学法則に基づき理解が容易かつ、一貫した制御理論により減速と旋回のシームレスに統合した衝突回避制御を可能とする。また、減速と旋回を統合することにより、減速や旋回のみで衝突回避制御を行う場合よりも衝突回避距離短縮できるという特徴を有する。さらに、加速度緩和部の導入や、複数障害物を同時に考慮できることなどの拡張性に優れる。

まず、力学法則に基づいた制御設計が可能という特徴を利用し、車両を質点であると仮定した際の仮想斥力場による回避での回避距離および制御開始位置算出式を導出する。また、実車両への仮想斥力場法の搭載を見据え、仮想斥力に緩和区間を設けたときの制御開

始位置も力学法則に基づき導出する。ただし、本論文で想定した衝突回避制御場面は、直線壁およびカーブ壁に対する衝突回避である。ここで、仮想斥力場による衝突回避と横力のみおよび前後力のみによる衝突回避方式の質点モデル解析も行う。つぎに、衝突回避シミュレーションを行うため、衝突回避車両運動制御系を構築する。その後、構築した制御系を用い、導出された制御開始位置を制御開始のトリガーとした衝突回避シミュレーションを行い、他の回避方式と比較することで仮想斥力場法の有効性の検証を行う。

より複雑な障害物回避シーンとして、ある障害物を回避した直後、別の障害物を回避すべきケースも想定する。最初の障害物を回避できても、次の障害物を回避できない恐れもあるため、予め2つ目の障害物を考慮した軌道計画を行う。このような複合障害物の検討例として、直線と円弧の斥力場を接続した場合、左右両側に斥力場を想定する場合について回避距離および制御開始位置算出式を導出する。ここでも、横力のみおよび前後力のみによる衝突回避方式の質点モデル解析を行い、衝突回避距離の優位性に関して仮想斥力場法との比較を試みる。さらに、特性の異なるアクチュエータを衝突回避制御システムに適用する場合、回避特性の差異について基礎分析を行う。

質点モデルと車両運動モデルを併用した解析によって得られた知見を次に示す。(1) 仮想斥力場法は、横力のみおよび前後力のみでの衝突回避方式と比較し、直線や一定曲率カーブ状の障害物に対して最も高い回避性能を示す。(2) 車両運動モデルと加速度フィードバック制御で構成するシミュレーションを通じて、複雑な車両ダイナミクス特性や制御アクチュエータ制約、モデル誤差を有する状況においても、質点モデルで導出した所望の回避性能が得られる。(3) 制御対象が直線から円弧に変化する場合や、左右の直線の障害物を回避する場合においても、仮想斥力場法に基づく回避軌道および制御開始位置を導出できる。(4) アクチュエータに応じた回避特性の基礎分析を行った結果、前輪操舵制御が車両安定性に関して優位性があり、ダイレクトヨーモーメント制御がスムーズな過渡特性に優位性を有する。これらの知見により、物理的根拠が明快で、かつ高い回避性能を有する障害物回避手法として、仮想斥力場法による2次元的回避制御の有効性を示すことができた。

今後の課題としては、基礎理論を実用性のある制御に近づけることが課題であり、走行条件、車両、アクチュエータ、コントローラをより実際の環境に近づけることが必要である。具体的には、(1) 複合障害物に対するフィードバック制御、(2) 左右制御力配分の導入、(3) より複雑な障害物に対する適用(任意曲線、動的障害物)、(4) 実車による効果検証などが挙げられる。

(英訳) ※和文要旨の場合(400 words)

Recently in Japan, the number of traffic fatalities and number of traffic accidents in automobiles are decreasing, however, the number of fatal accidents remains high and society-wide efforts to reduce traffic accidents in society are necessary. Until now, the spread of passive safety technology and vehicle motion stabilization control technology have greatly contributed to the reduction of traffic fatalities and traffic accidents. In recent years, from the expectation of the effect of reducing traffic accidents, the research and development of the driver assistance systems concerning the normal driving and the collision avoidance has been increasing, and installation of those systems in commercial vehicles is also carried out sequentially. However, the driver assistance systems installed in a commercial vehicle currently is just a gathering of multiple systems, and it is expected that the system will become further diversified and complicated hereafter, and there are problems such as interference between systems and discontinuous control intervention due to taking over between systems. Therefore, this research aims to realize a seamless integrated driver assistance system two-dimensionally from the normal driving to the critical driving. Among them, it is proposed an integrated control method in the collision avoidance in this paper.

This paper proposes the Virtual Repulsive Force Field (VRFF) method as an integrated collision avoidance control concept. The VRFF gives the vehicle a constant control force that takes into consideration the limit of the force that the vehicle can generate, and the control force acts in a direction perpendicular to the avoidance object (repulsive force direction). In addition, the VRFF method is comprehensible control theory based on the particle dynamics law, and enables seamless collision avoidance control with integrated deceleration and turning.

Firstly, the algebraic formulae of collision avoidance control against straight roadway, curved roadway, and multiple obstacles are derived by using particle mass model. In single straight and curved condition, the virtual repulsive force field is divided into two types of sections, which consists of constant jerk section and constant acceleration section. The feedforward and feedback controllers based on a two-wheel vehicle dynamics model are also designed to verify the effectiveness and feasibility of the proposed control method. Secondly, the simulation with particle mass model shows that the path geometry, the activation point and the vehicle dynamics value can be calculated when the control acceleration input, the initial velocity, approach angle, and the lateral offset are given. Consequently, the calculation result reveals that avoidance performance of the proposed method is superior to the lateral force avoidance or the longitudinal force avoidance. By comparing the control activation distance between the complex vehicle dynamics model and the particle model, the feasibility of controller implementation for actual vehicle is verified.