

審査の結果の要旨

氏名 趙博宇

交通荷重の影響を直接受ける舗装路面は損傷が生じやすく、車両走行性の低下や周辺の居住環境の劣化につながるだけでなく、交通事故の原因にもなる。そのため、路面状態を定期的かつ即時的に把握し、維持管理することは非常に重要な課題である。しかし、路面評価には極めて高価な路面性状測定車が利用されるため、調査対象は通常一部の高規格道路で、実施頻度も限定的である。

Dynamic Response Intelligent Monitoring System (DRIMS)は、一般車両の鉛直加速度応答を利用して乗り心地指標である国際ラフネス指数 (IRI) を簡易に推定する装置として開発された。しかし、従来の DRIMS は、複雑な挙動を示す実車両を1輪のクォーターカーに単純化してモデル化するため、ピッチングやローリングといった回転運動やセンサ設置位置の違いを考慮できない。正確な路面評価が難しい。ピッチング運動を表現できるハーフカーの利用が提案されたものの、車両パラメータのロバストな同定が困難であり、計測ノイズやモデル化誤差の軽微なシミュレーションでのみ路面縦断形状推定が可能であった。近年では簡易な携帯情報端末を利用して車両応答を計測し路面評価をする試みが多く報告されているものの、車両モデルを過度に簡易化している、車両毎の動特性の違いを考慮できない、といった理由から路面評価の精度や信頼性が低く、実務への適用においては大きな課題となっていた。

そこで本研究は、車両剛体運動モデルとしてハーフカーを採用してそのパラメータをロバストに同定する手法の開発、複数観測量を利用して車両応答逆解析により路面縦断形状をロバストに推定する手法の開発、さらにハーフカー・フルカーモデルの組み合わせによる縦断形状評価の高精度化を目的としている。

まず、既知形状のハンプを計測車両が通過する際の応答を利用して、ハーフカーモデルを同定する方法を提案している。計測車両応答と、ハーフカーモデルのシミュレーション応答が互いに類似するようにパラメータを同定するものである。時間領域の Unscented Kalman Filter を利用する従来のパラメータ同定法では車両位置、つまりハンプ通過時間の正確な見積もりが必要となりロバストな推定が困難であった。本提案では、車両の加速度・角速度応答のパワー

スペクトルを目的関数とする最適化問題を遺伝的アルゴリズムにより解くことで、車両位置の正確な推定を不要とし、ロバストな車両パラメータ同定を実現している。本パラメータ同定により IRI 推定精度が向上することも示している。

次に、計測ノイズやモデル化誤差が無視できない場合においても路面縦断形状を推定する方法を、可観測性を満足する Kalman Filter の設計と平滑化により実現している。車両ボディ上の加速度および角速度の計測では可観測性を満たさない事を示した上で、計測物理量の数値積分により得られる変位および角度を擬似的な観測量として加えることで可観測な問題とすることを提案している。Kalman Filter の状態変数の一部として、前後輪位置における縦断形状が求められる。さらに、RTS 平滑化を採用することで推定精度の向上を図っている。低周波数成分を低減するフィルタおよび進行方向加速度を考慮に入れた車両モデルを採用することで、走行速度急変部においても路面縦断形状評価の精度が大きく低下しない仕組みを実現している。計測ノイズやモデル化誤差を考慮した数値シミュレーションおよび実道路における計測を通じて提案手法がロバストに路面縦断形状を推定できることを示している。

最後に、車両ボディのローリング運動も考慮できるフルカーモデルを採用し、左右轍の違いを表現できる高精度な路面評価手法を提案している。フルカーモデルの同定においては片輪がハンプを通過する際の鉛直加速度、ピッチング角速度、ローリング角速度応答のパワースペクトルを目的関数とした最適化問題を遺伝的アルゴリズムにより解いている。車両ボディ上の計測とその数値積分の利用では可観測性を満たさない事を示した上で、ハーフカーモデルとフルカーモデルの組み合わせを提案している。ハーフカーモデルにより、片側轍の路面縦断形状を推定した上で、これをフルカーモデルの4つの車輪位置における縦断形状の1つとして採用することで、未知量を4変数から3変数に減じ、可観測な問題とする。数値シミュレーションおよび実道路における計測を通じて、提案手法が路面縦断形状推定を高精度化できることを示している。

本論文は、ハーフカー・フルカーモデルのロバストなパラメータ同定と、可観測性を満たすカルマンフィルタの設計により、車両応答に基づいて簡易にかつ高精度に路面縦断形状を推定する手法を提案した。車両応答データを収集することは容易になってきたがその解析により路面を正確に評価することは困難で大きな課題であった。可観測性の検討など制御理論に基づいた解析方法の提案や、目的に照らして過度な単純化や複雑化を避けた車両モデルの採用、周波数領域と時間領域の解析手法の特徴を踏まえたアルゴリズムの提案により、実用上の課題を解決するものであり、本論文の学術上、工学上の貢献は大きい。よって本論文は博士（工学）の学位請求論文として合格と認められる。