

粒子群最適化に基づく複数車両の振動データを用いた 車両・橋梁・路面パラメータ同定

筑波大学大学院システム情報工学研究科 学生会員 ○村上 翔
筑波大学システム情報系 正会員 山本 亨輔

1. 研究背景

現在、我が国では橋梁・車両・舗装の面で様々な問題が発生している。この問題を解決するため、低コストに実施できる橋梁点検技術の開発が喫緊の課題である。Vehicle Bridge Interaction (VBI) モデルを用いて、得られた振動データから橋梁や車両の特性を同定する研究が盛んである^{[1][2]}。そこで本研究では、同定手法として、粒子群最適化に基づく複数車両の振動データを用いた車両・橋梁・路面パラメータ同定手法を提案し、検証する。

2. シミュレーションモデル概要

本研究では、車両は quarter-car モデルを採用し、橋梁は一次元有限要素の梁モデルとする。モデル図と各パラメータを図 1 に示す。

また、本実験で扱う車両と橋梁のパラメータ値を表 1、表 2、表 3 に示す。

表 1 車両 1 のパラメータ

m_{s1} [kg]	2.0×10^3
m_{u1} [kg]	2.0×10^2
c_{s1} [kg/s]	1.0×10^4
k_{s1} [N/m]	1.0×10^6
k_{u1} [N/m]	3.0×10^6

表 2 車両 2 のパラメータ

m_{s2} [kg]	1.0×10^4
m_{u2} [kg]	2.0×10^2
c_{s2} [kg/s]	1.0×10^4
k_{s2} [N/m]	1.0×10^6
k_{u2} [N/m]	3.0×10^6

表 3 橋梁パラメータ

EI [Nm ³]	1.56×10^{10}
ρA [kg/m]	3.0×10^3

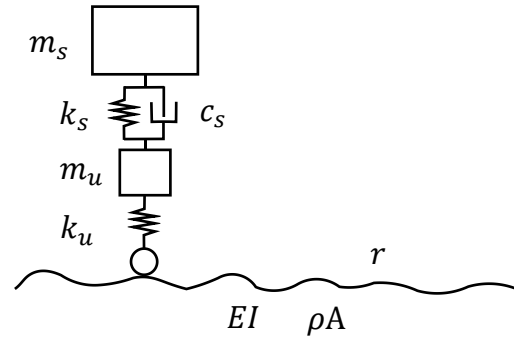


図 1 モデルとパラメータ

3. パラメータ同定手法

数値実験により、異なる 2 台の車両を別々に、同一の橋梁に走らせる。その際に、各車両のバネ下から加速度振動データを得る。各加速度振動データと推定したパラメータから解析的に路面凹凸を算出する。同一の橋梁を走行しているので、与えたパラメータが正解値ならば、算出した 2 つの路面凹凸は一致する。したがって、算出する路面凹凸が一致するようにパラメータを最適化することで、パラメータの正解値を同定することができる。同定フローの概略図を図 2 に示す。

パラメータ最適化手法として、粒子群最適化 (Particle Swarm Optimization; PSO)^[3]を用いる。各粒子は速度と位置を持っており、それぞれの更新は以下の式で行われる。

$$v_{ij}^{t+1} = w v_{ij}^t + c_1 r_1 (pb_{ij}^t - x_{ij}^t) + c_2 r_2 (gb_j^t - x_{ij}^t) \quad (1)$$

$$x_{ij}^{t+1} = x_{ij}^t + v_{ij}^{t+1} \quad (2)$$

ここで、 w は慣性速度定数、 c_1, c_2 は加速度係数、 r_1, r_2 は $[0,1]$ の一様乱数である。また、 pb は自身の探索過程における最良の位置ベクトル、 gb は粒子群の探索過程における最良の位置ベクトルである。この時に最終的な gb を最適解の近似解とみなす。

キーワード 車両振動, 粒子群最適化, 車両-橋梁相互作用

連絡先 〒305-8577 茨城県つくば市天王台 1-1-1

粒子群内での*i*番目の粒子を $x^{(i)}$ とすると、

$$x^{(i)} = \begin{matrix} \{m_{s1}, m_{u1}, c_{s1}, k_{s1}, k_{u1}, \\ m_{s2}, m_{u2}, c_{s2}, k_{s2}, k_{u2}, EI, \rho A\} \end{matrix} \quad (3)$$

で表される。ここで、車両の全長は既知としている。

x_i から車両の前輪と後輪の路面プロファイル r_{1i} , r_{2i} を算出する。本研究の最適化問題の目的関数 $F(x_i)$ は次式のように定める。

$$F(x_i) = \sum (r_{1i} - r_{2i})^2 \quad (4)$$

この目的関数が最小となる値を探索する。

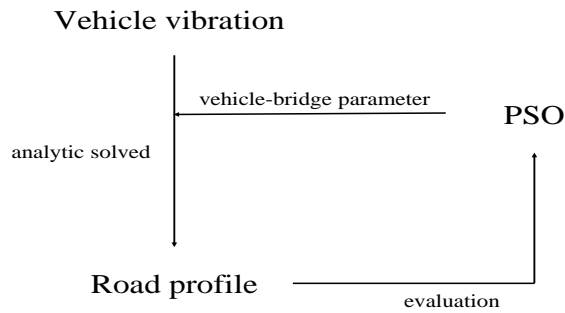


図2 パラメータ同定フロー

4. 提案手法の適用検証とまとめ

粒子群最適化による同定プロセスを以下に従って、行う。

- Step1. 規定した空間に式(3)で表される粒子をN個発生させる。
- Step2. 粒子ごとに路面凹凸を算出し、式(4)によって目的関数の値を得る。
- Step3. 式(1), 式(2)に従って各粒子の位置、速度の更新を行う。
- Step4. 指定した試行回数 Step2 に戻り、同じ工程を繰り返す。

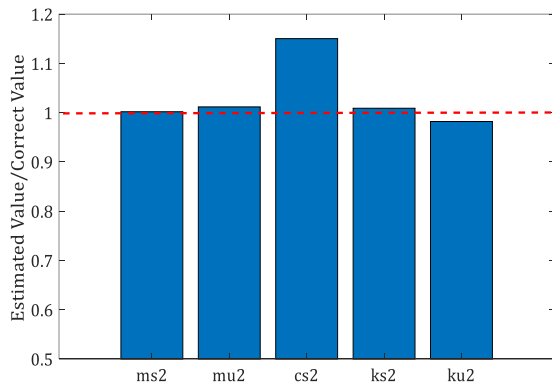


図3 車両2の推定結果

車両1と橋梁のパラメータが既知であるとして車両2のパラメータ推定を行った。車両2については上下限が正解値の100[%]~180[%]の一様分布とした。推定結果を図3に示す。

図3より、車両2のパラメータを高精度に推定できていることが分かる。これは車両1と橋梁のパラメータを正解値で固定したことにより局所解を避けることができたことが考えられる。

次に、橋梁の剛性を低下させていったときの推定剛性を図4に示す。全パラメータについて、上下限が正解値の90[%]~110[%]とした一様分布とした。橋梁の剛性の低下に対して、推定パラメータが低下している傾向が見て取れる。このように、他のパラメータに対して正確な事前情報があり、適切な一様分布を設けることができれば、橋梁の剛性低下を検知できることがわかる。

以上より、いくつかのパラメータを事前に把握することができれば、パラメータを精度よく推定できることが分かった。また、事前の分布を適切に設定することができれば、橋梁の剛性低下を検知できることが分かった。

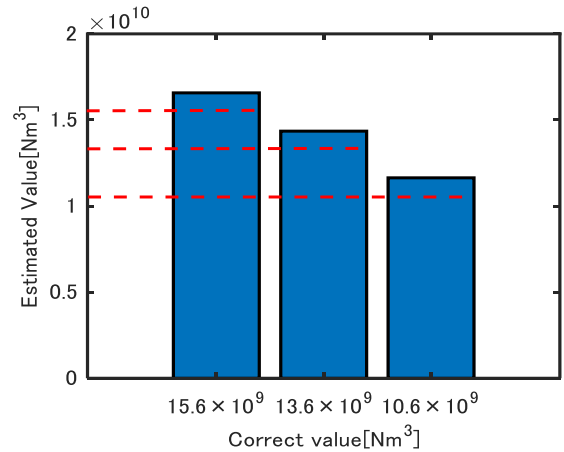


図4 EI低下時の推定結果

参考文献

- [1] L.Deng, C.S.Cai, "Identification of parameters of vehicles moving on bridges," *Engineering Structures* 31(2009), pp.2474-2485
- [2] Haoqi Wang, Tomonori Nagayama, Boyu Zhao, Di Su, "Identification of moving parameters using bridge responses and estimated bridge pavement roughness," *Engineering Structures* 153(2017), pp.57-70
- [3] J.Kennedy, R.C.Eberhart, "Particle swarm optimization," *in Proc. of IEEE Int. Conf. on Neural Networks*, pp.1942-1948, 1995