

Identification de paramètres pour la modélisation non linéaire de données expérimentales à l'aide d' "essais particuliers".

Encadrant : Rodolphe Charrier, Nathalie Corson, Cyrille Bertelle

1 Introduction

Ce stage s'inscrit dans le domaine du "soft computing", c'est-à-dire d'un ensemble de techniques algorithmiques permettant d'approcher rapidement les solutions d'un problème d'optimisation "difficile", en particulier les algorithmes de l'Intelligence en essaim qui se sont illustrés dans ce domaine ces dernières années. Plus précisément le stage aborde l'optimisation liée à l'identification des paramètres d'un modèle mathématique susceptible de générer des données les plus proches possibles d'un jeu de données expérimentales issues du monde sportif. La régression linéaire est une technique d'identification de paramètres courante pour les modèles linéaires, en revanche les approches permettant d'utiliser des modèles non linéaires sont en général plus délicats à mettre en œuvre. C'est cette seconde catégorie de modèles que nous voulons aborder dans ce stage en utilisant l'optimisation par essais particuliers et ses variantes.

2 Description du sujet

On s'intéresse dans ce stage à la modélisation de données issues de mesures d'angles des mouvements des bras et des jambes de sportifs en natation. L'objectif de ces mesures est de caractériser les nageurs débutants des nageurs experts et de spécifier leur courbe d'apprentissage dans un espace de paramètres. Le nombre de données disponibles est important et couvre l'ensemble des cas de figure. Les données sont normalisées et prêtes à être modélisées. Le modèle mathématique que l'on prend comme référence et que l'on cherche à identifier à ces données est un oscillateur non linéaire hybride de Rayleigh-Van der Pol dont voici l'équation différentielle :

$$\frac{d^2y(t)}{dt^2} = \left(1 - a y^2(t) - b \left(\frac{dy(t)}{dt} \right)^2 \right) \frac{dy(t)}{dt} - c y(t) \quad (1)$$

Cette équation conduit à des solutions périodiques qui sont les cycles limites du système dynamique correspondant. On obtient donc un oscillateur particulier qui sert de base à l'analyse expérimentale. L'identification paramétrique consiste ici à trouver l'ensemble des triplets de paramètres $x = (a, b, c)$ qui minimisent l'écart quadratique entre les données expérimentales d'une part et les valeurs générées par l'équation (1) d'autre part (technique des moindres carrés).

Il s'agit donc de minimiser la fonction objectif suivante :

$$f(x) = \frac{1}{S} \sum_{i=1}^S (y_e(i) - y(x, i))^2$$

où S est le nombre d'échantillons de mesures expérimentales y_e , et x désigne les paramètres à fixer dans l'équation (1) (3 au minimum, mais on peut en considérer davantage) pour minimiser f .

Pour atteindre cet objectif, de nombreuses approches sont proposées dans la littérature (cf. biblio), certaines visant une résolution exacte de l'optimisation, d'autres visant à approcher au plus près des données expérimentales dans des temps les plus courts possibles. Dans cette dernière catégorie on trouve notamment les approches par

essais particuliers qui consistent à générer des points aléatoirement dans l'espace des paramètres (les particules), d'en vérifier la qualité de réponse en terme d'écart aux données expérimentales (évaluation de la fonction objectif), puis d'en coupler les positions avec les meilleures particules (intelligence en essaim), jusqu'à atteindre les meilleures solutions. Des variantes de cet algorithme existent, en particulier celles intégrant une recherche locale "chaotique" qui permet d'accélérer la convergence vers les meilleures solutions. C'est dans cette dernière voie que nous souhaitons orienter l'étude, en comparant les résultats obtenus avec des approches plus standards.

Mots-clés : identification paramétrique, oscillateur de Van der Pol, oscillateur de Rayleigh, optimisation par essaim particulaire chaotique.

3 Travail attendu

- Une étude bibliographique sur la base de références fournie (et à étoffer...).
- Développement d'un script Matlab/Octave qui réalise l'algorithme d'optimisation par essaim particulaire (y compris en version chaotique).
- Parallélisation du script pour les processeurs multicoeurs et/ou multi-processeurs.
- Simulations, analyse des résultats et comparaison avec d'autres approches.

4 Informations complémentaires

Lieu du stage : LITIS - Université du Havre

5 Bibliographie

Références

- [1] P.J Beek, C.E Peper, and A Daffertshofer. Modeling Rhythmic Interlimb Coordination : Beyond the Haken–Kelso–Bunz Model. *Brain and Cognition*, 48(1) :149–165, 2002.
- [2] Yahya Kemal Karabulut. MODÉLISATION ET SIMULATION D'OSCILLATEURS COUPLÉS, APPLICATION AU VIVANT. Master's thesis, 2011.
- [3] Bo Liu, Ling Wang, Yi-Hui Jin, Fang Tang, and De-Xian Huang. Improved particle swarm optimization combined with chaos. *Chaos, Solitons & Fractals*, 25(5) :1261–1271, September 2005.
- [4] Lennart Ljung. Perspectives on system identification. *Annual Reviews in Control*, 34(1) :1–12, 2010.
- [5] Déborah Nourrit, Didier Delignières, Nicolas Caillou, Thibault Deschamps, and Brice Lauriot. On Discontinuities in Motor Learning : A Longitudinal Study of Complex Skill Acquisition on a Ski-Simulator. *Journal of Motor Behavior*, 35 :151–170, 2003.
- [6] Giuseppe Quaranta, Giorgio Monti, and Giuseppe Carlo Marano. Parameters identification of Van der Pol–Duffing oscillators via particle swarm optimization and differential evolution. *Mechanical Systems and Signal Processing*, 24 :2076–2095, 2010.