
Evaluation des couples d'interaction : quel filtre utiliser pour la dynamique inverse ?

Léo Bellanger* , Nasser Rezzoug , and Marien Couvertier¹

¹Institut Pprime (PPRIME) – Université de Poitiers, ENSMA, Centre National de la Recherche Scientifique : UPR3346 – Institut P' Recherche et Ingénierie en Matériaux, Mécanique et Energétique SP2MI Téléport 2 Boulevard Pierre et Marie Curie BP 3017986962 FUTUROSCOPE CEDEX, France

Résumé

Introduction

D'un point de vue biomécanique, le mouvement est produit par la capacité de l'humain à générer des accélérations segmentaires et à la coordination de ces dernières. Au-delà des couples activement générés par les muscles, ces accélérations sont également produites par des effets dynamiques passifs non dus à l'actionnement musculaire, mais à l'architecture du système multi-segmentaire (effets gyroscopiques, centrifuges, inertiels).

Ces effets, appelés couples d'interaction, sont modulés par l'expertise gestuelle (Furuya & Kinoshita, 2008) ou la pathologie (Bastian, 2002). Nous posons l'hypothèse que " la gestion des couples d'interaction est un marqueur de l'expertise ".

Afin d'isoler ces contributions, il est nécessaire de calculer la dynamique inverse et donc de dériver deux fois les quantités cinématiques, magnifiant les bruits de mesure. De ce fait, il est indispensable d'appliquer des méthodes de filtrage adéquates. Ainsi, l'objectif méthodologique de cette étude est d'évaluer la meilleure méthode de filtrage pour isoler les couples d'interaction.

Méthode

La cinématique et les efforts au sol d'un sujet sain ont été mesurés de manière synchronisée à l'aide d'un système optoélectronique (62 marqueurs, 16 caméras Qualisys, 200Hz) et d'une plateforme de force 6 composantes (Sensix, 1000Hz). Le sujet a effectué des mouvements fonctionnels de chacun de ses segments et 5 squats complets sur une jambe.

Les centres articulaires ont été déterminés par méthodes fonctionnelles (Ehrig et al., 2006, 2007) puis la dynamique inverse a été évaluée grâce à un algorithme de calcul formel (Ricoboni et al., 2022).

Les positions des marqueurs ont été filtrées à l'aide un filtre passe-bas de Butterworth (ordre 4, fréquence de coupure 6 Hz) et d'autre part avec la méthode SSA (Alonso et al., 2005) basée sur une décomposition en valeurs singulières. Pour ces deux méthodes, les moments des actions résultants du sujet sur la plateforme ont été calculés par dynamique inverse à

*Intervenant

partir d'un modèle du corps complet à 14 segments.

La RMSE entre les valeurs obtenues par dynamique inverse et les mesures de la plateforme a été calculée à partir des données brutes, et des données traitées avec chacun des deux filtres.

Résultats

La RMSE des données brutes est de 46,4Nm ; 77,3Nm ; 10,8Nm respectivement autour des axes antéropostérieur, médio-latéral et vertical. La RMSE avec le filtre SSA est inférieure à celle avec le filtre de Butterworth (B) : 12,3Nm SSA vs 18,9Nm B ; 21,0Nm SSA vs 28,6Nm B ; 2,9Nm SSA vs 4,6 Nm B.

Discussion

Les méthodes de filtrage ont permis d'améliorer largement le calcul du moment résultant sur la plateforme. La méthode SSA a une RMSE réduite comparée aux résultats du filtre Butterworth. Ce résultat est encourageant, car le filtre de Butterworth est le plus utilisé dans le domaine.

Conclusions / Perspectives

Cette étude préliminaire montre que le filtre SSA donne des valeurs de moments résultants plus proches de la valeur de référence que pour le filtre de Butterworth. Il faudra étendre cette analyse à plusieurs sujets et à plusieurs mouvements en faisant varier les paramètres des filtres. D'autre part, nous allons investiguer la modification des paramètres inertiels pour réduire la RMSE.

Références

- Alonso, F. J., Castillo, J. M. D., & Pintado, P. (2005). Application of singular spectrum analysis to the smoothing of raw kinematic signals. *Journal of Biomechanics*, 38(5), 1085-1092.
- Bastian, A. J. (2002). Cerebellar Limb Ataxia: Abnormal Control of Self-Generated and External Forces. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 978(1), 16-27.
- Ehrig, R. M., Taylor, W. R., Duda, G. N., & Heller, M. O. (2006). A survey of formal methods for determining the centre of rotation of ball joints. *Journal of Biomechanics*, 39(15), 2798-2809.
- Ehrig, R. M., Taylor, W. R., Duda, G. N., & Heller, M. O. (2007). A survey of formal methods for determining functional joint axes. *Journal of Biomechanics*, 40(10), 2150-2157.
- Furuya, S., & Kinoshita, H. (2008). Expertise-dependent modulation of muscular and non-muscular torques in multi-joint arm movements during piano keystroke. *Neuroscience*, 156(2), 390-402.
- Riccoboni, J.-B., Monnet, T., & Eon, A. (2022, décembre 16). *Modélisation dynamique d'arborescence-Application à la robotique et à l'étude du mouvement humain*.