

CUSTOM: UNE LIBRAIRIE POUR L'ANALYSE BIOMÉCANIQUE DU GESTE SPORTIF

Auteur: Charles Pontonnier¹ charles.pontonnier@ens-rennes.fr
Co-auteurs: Pauline Morin, Théo Rouvier, Louise Demestre, Erwan Delhayé, Claire Livet
Pierre Puchaud, Antoine Muller, Diane Haering, Caroline Martin, Anthony Sorel
Nicolas Bideau, Guillaume Nicolas, Georges Dumont

¹ Univ Rennes, CNRS, Inria, IRISA - UMR 6074, F-35000 Rennes, France

Conférence Sciences²⁰²⁴: saison 2021

<https://sciences2024.polytechnique.fr>

May 28, 2021

Mots clés: Musculo-squelettique, Dynamique, Cinématique, Forces

1 Introduction

L'étude de l'activité sportive est au coeur des problématiques levées par le projet Sciences²⁰²⁴, en particulier l'analyse biomécanique du geste et l'interaction du sportif avec son environnement ou son matériel. Ces études ont pour vocation d'aider les athlètes et leurs entraîneurs à mieux cibler les objectifs d'entraînement et mieux exploiter leur matériel à des fins de prévention des blessures et d'amélioration de la performance. L'analyse biomécanique nécessite de mesurer le mouvement et les actions s'appliquant sur le sujet, pour pouvoir comprendre comment il mobilise ses muscles et sollicite ses articulations pour réaliser une performance donnée. Il existe des solutions développées de manière académique (OpenSim, [3]) ou industrielle (AnyBody [2]) permettant de réaliser l'analyse musculo-squelettique du geste sur la base de modèles personnalisés du sujet étudié. Dans ce résumé, nous présentons la solution développée depuis 2016 au sein de l'équipe de recherche MimeTiC¹ et disponible en Open Source sur GitHub² : CusToM (Customizable Toolbox for Musculoskeletal analysis, [7]), développée sous Matlab (The MathWorks, Etats-Unis).

Nous commencerons par présenter les fonctionnalités actuellement déployées dans la librairie, puis nous illustrerons son usage par des exemples d'analyse du geste sportif passés ou en cours avec l'aide de ces méthodes.

2 Fonctionnalités

CusToM permet la mise en oeuvre d'un pipeline classique d'analyse musculo-squelettique par dynamique inverse (Figure 1). Sur la base de données de mouvement (fichiers C3D) capturées à l'aide d'un système opto-électronique³ ou d'un système basé sur des

centrales inertielles⁴, et d'une mesure des forces extérieures s'appliquant sur le sujet (données généralement recueillies à l'aide de plateformes de force pour les efforts au sol), trois étapes majeures sont réalisées: la cinématique inverse (obtention des angles articulaires), la dynamique inverse (obtention des couples articulaires) et l'estimation des efforts musculaires. Ces étapes se font sur la base de modèles musculo-squelettiques paramétrables. Ces paramètres sont de nature géométrique (longueurs segmentaires, orientations articulaires, chemins musculaires...), inertielle (masse, centre de masse, inerties) ou physiologique (force isométrique maximale, longueur musculaire au repos...). Des méthodes de mise à l'échelle sont disponibles pour personnaliser les modèles aux sujets étudiés [9]. CusToM permet également de se passer d'une mesure des actions extérieures en estimant ces actions sur la base des mesures de mouvement. La méthode a été largement validée [6, 8] et fait toujours l'objet de recherches pour en améliorer les performances. Cette méthode est particulièrement intéressante pour l'analyse du geste sportif, puisqu'elle libère l'espace de mesure (sinon cantonné aux surfaces des plateformes de force).

L'un des éléments remarquables de la librairie est son accessibilité. La sélection des modèles, des méthodes et des rendus d'animation à appliquer sur les données expérimentales se fait par l'intermédiaire d'interfaces graphiques simples. Des tutoriels accessibles sur le dépôt permettent à des novices de prendre en main la librairie en quelques heures. Nous avons également choisi de laisser une grande liberté aux utilisateurs experts pour leur permettre de développer leurs propres méthodes et modèles. En effet, nous considérons que cette librairie est amenée à grandir avec ses utilisateurs selon la philosophie du logiciel libre.

¹<https://team.inria.fr/mimetic/>

²<https://github.com/anmuller/CusToM>

³par exemple Qualisys, Vicon, ou Optitrack

⁴par exemple XSENS

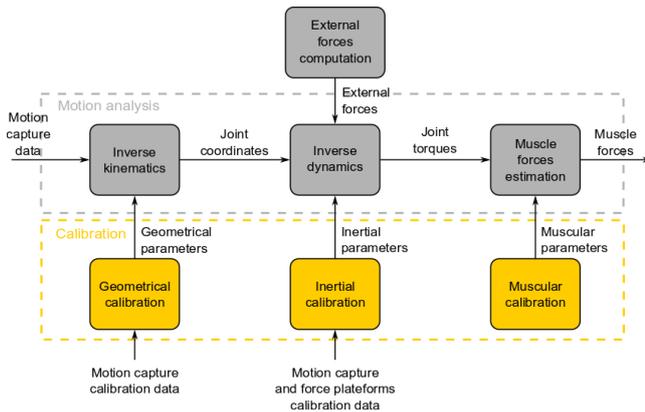


Figure 1: Pipeline d'analyse du mouvement de CusToM, issu de [7]. En gris, les étapes d'analyse musculo-squelettique, en jaune, les étapes de calibration des modèles afférents.

3 Exemples d'usage dans le domaine sportif

Les premières applications sportives concernent une analyse du lancer en football américain, dans laquelle nous avons exploité la librairie pour analyser la synergie articulaire et musculaire des lanceurs pour en déduire une représentation compacte de leur stratégie motrice [1]. Plus récemment, deux études autour de l'impact de la posture en coup droit sur le risque de blessure ont été réalisées à l'aide de CusToM (extraction de données cinématiques et dynamiques au niveau du genou) [5].

De nombreux projets en cours basent également leurs résultats sur la librairie, comme nos travaux de caractérisation de l'interaction tremplin-plongeur en plongeon olympique [4] ou encore les travaux en cours autour du projet de recherche NePTUNE, dans lequel nous exploitons un modèle biomécanique du nageur développé sous CusToM. Un projet étudiant Sciences²⁰²⁴ à l'ENS Rennes réalise enfin une analyse cinématique et dynamique du lancer de disque chez un espoir français à l'aide de la librairie.

4 Conclusion

La librairie CusToM est opérationnelle et disponible en Open Source. Son positionnement au coeur de nombreux projets dans le contexte sportif, mais aussi dans le contexte de la santé (ergonomie, handicap) garantit sa pérennité et son développement dans les années à venir. De nombreux développements complémentaires sont en cours, qui devraient permettre à terme à la librairie de complexifier les problèmes musculo-squelettiques traités (dépendances cinématiques, problèmes contraints, calibration), d'augmenter la bibliothèque des modèles disponibles, d'améliorer les méthodes estimant les actions extérieures et de les généraliser à de nombreuses pratiques sportives. Nous espérons voir le nombre d'utilisateurs et de contributeurs croître dans les années à venir pour faire de cet outil une contribution simple et efficace à pour l'analyse du geste sportif en conditions écologiques.

References

- [1] Ana Lucia Cruz Ruiz, Charles Pontonnier, and Georges Dumont. Low-dimensional motor control representations in throwing motions. *Applied bionics and biomechanics*, 2017.
- [2] Michael Damsgaard, John Rasmussen, Søren Tørholm Christensen, Egidijus Surma, and Mark De Zee. Analysis of musculoskeletal systems in the anybody modeling system. *Simulation Modelling Practice and Theory*, 14(8):1100–1111, 2006.
- [3] Scott L Delp, Frank C Anderson, Allison S Arnold, Peter Loan, Ayman Habib, Chand T John, Eran Guendelman, and Darryl G Thelen. Opensim: open-source software to create and analyze dynamic simulations of movement. *IEEE transactions on biomedical engineering*, 54(11):1940–1950, 2007.
- [4] Louise Demestre, Yohann Audoux, Stéphane Grange, Nicolas Bideau, Guillaume Nicolas, Charles Pontonnier, and Georges Dumont. Using motion-based estimated action of the diver to characterize diving board dynamics: a pilot study. *Submitted*, page 2, 2021.
- [5] Caroline Martin, Anthony Sorel, Pierre Touzard, Benoit Bideau, Ronan Gaborit, Hugo DeGroot, and Richard Kulpa. Influence of the forehand stance on knee biomechanics: Implications for potential injury risks in tennis players. *Journal of sports sciences*, pages 1–9, 2020.
- [6] Antoine Muller, Charles Pontonnier, and Georges Dumont. Motion-based prediction of hands and feet contact efforts during asymmetric handling tasks. *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, 67(2):344–352, 2019.
- [7] Antoine Muller, Charles Pontonnier, Pierre Puchaud, and Georges Dumont. Custom: a matlab toolbox for musculoskeletal simulation. *Journal of Open Source Software*, 4(33):1–3, 2019.
- [8] Charles Pontonnier, Claire Livet, Antoine Muller, Anthony Sorel, Georges Dumont, and Nicolas Bideau. Ground reaction forces and moments prediction of challenging motions: fencing lunges. *Computer Methods in Biomechanics and Biomedical Engineering*, 22(sup1):S523–S525, 2019.
- [9] Pierre Puchaud, Christophe Sauret, Antoine Muller, Nicolas Bideau, Georges Dumont, Hélène Pillet, and Charles Pontonnier. Accuracy and kinematics consistency of marker-based scaling approaches on a lower limb model: a comparative study with imagery data. *Computer methods in biomechanics and biomedical engineering*, 23(3):114–125, 2020.