

Institut Image – Le2i UMR 6306

Sujet de thèse

Approche topologique de la métrologie du mouvement pour des applications en réalité virtuelle

1 - Contexte

Dans les situations de handicap moteur, une meilleure connaissance de la fonction motrice est susceptible de permettre d'établir des thérapies adaptées à chaque lésion (par maladie ou vieillissement) importante qui peut endommager la fonction motrice au niveau de la programmation corticale, la régulation sensori-motrice et le mouvement des articulations des membres. Ces thérapies peuvent s'appuyer sur des méthodes d'apprentissage moteur par observation/imitation via des technologies de réalité virtuelle.

Dans cette perspective, la problématique scientifique du projet est la classification et l'extraction d'invariants moteurs à partir de données cinématiques enregistrées par motion capture. Elle s'inscrit dans un projet de recherche global qui focalise sur le développement de méthodes complémentaires innovantes pour la classification et l'extraction d'invariants moteurs (musculaires et cinématiques) qui combine la méthode des réseaux de neurones, la méthode des noyaux et une méthode topologique basée sur le concept d'homologie persistante. Le verrou scientifique à lever concerne la métrologie du mouvement: on se propose d'en établir une signature topologique.

2 - Partenariat

Le projet regroupe 2 partenaires, l'équipe chalonaise « Immersion virtuelle » du Le2i (UMR CNRS 6306) et l'U1093 INSERM Cognition-Action et Plasticité sensorimotrice qui est une unité mixte de l'Université de Bourgogne associé au Réseau Fédératif de Recherche sur le Handicap national (RFRH) qui regroupe 4 services hospitalo-universitaires (Gériatrie, Médecine Physique, Rhumatologie et Orthopédie).

3 - Objectifs

On s'attachera principalement à établir une signature topologique de données cinématiques obtenues par la « motion capture » qui, couplée aux technologies de Réalité Virtuelle, permet de donner une représentation de l'utilisateur dans l'environnement virtuel permettant son interaction avec son avatar. Un des objectifs est la discrimination et la reconnaissance de tâches motrices par comparaison de la signature du mouvement du sujet avec celle d'un mouvement de référence. Une des applications dans le domaine de la santé est l'apprentissage moteur par observation puis imitation. Une seconde application est relative à l'optimisation de l'interactivité en immersion virtuelle en anticipant le mouvement du sujet afin de réduire le temps de reconnaissance d'un pattern geste et limiter le délai séparant l'exécution du geste de sa reconstruction virtuelle. On tentera ensuite d'étendre les résultats obtenus à l'étude des effets de l'émotion sur la cinématique des actions. De tels résultats sont susceptibles d'être implémentés dans plusieurs contextes comme dans celui de la conception de robots bipèdes afin d'améliorer leur fonctionnalité en condition écologique, en particulier pour l'assistance aux personnes âgées.

4 - Méthode

L'approche retenue dans ce projet de thèse s'appuie principalement sur une méthode topologique d'analyse de données, et plus précisément, sur le concept de persistance homologique qui est susceptible de permettre de caractériser des tâches motrices en établissant leur signature topologique et de les comparer. La persistance homologique est un outil qui a été développé à partir de 2000 (Edelbrunner et al), afin de capturer les caractéristiques topologiques significatives de données multidimensionnelles représentant un nuage de points dans un espace métrique donné. Nous envisageons de coupler cette méthode à des méthodes géométriques non linéaires de réduction dimensionnelle (Isomap, MDS, LLE,...) et d'analyse statistique classique (ANOVA,...) car cette approche a donné des résultats intéressants depuis quelques années dans l'étude statistique non linéaire de données (J.Gamble, G. Heo 2010 et 2012, K. Brown, K.P. Knudson, 2009).

5 - Références bibliographiques

- [1] Bishop, C. M., Neural Networks for Pattern Recognition. Oxford, UK: Clarendon Press, 1995
- [2] Brown K., Knudson K.P., Non linear statistics of human speech, International Journal OF Bifurcation and Chaos, vol. 19, N°7, 2307-2319, 2009
- [3] Chazal F., de Silva V., Oudot S., Persistence Stability for Geometric complexes, arXiv:1207.3885, 2012
- [4] Cheung V., Piron L., Agostini M., Silvoni S., Turolla A., Bizzi E., Stability of muscle synergies for voluntary actions after cortical stroke in humans, Proc Natl Acad Sci 160(46): 19563–19568, 2009
- [5] Chiovetto E., Berret B., Delis I., Panzeri S., Pozzo T., Investigating reduction of dimensionality during single-joint elbow movements : a case study on muscle synergies. Frontier in Comput Neurosc (sous presse), 2013
- [6] Chung M., Bubenik P., Kim P., Persistence diagrams of cortical surface data, in: LNCS: Proceedings of IPMI, vol. 5636, pp. 386-397, 2009
- [7] Cohen-Steiner D., Edelsbrunner H., Harer J., Stability of persistence diagrams. Discrete and Computational Geometry; 37:103–120, 2007
- [8] D'Avella A., Saltiel P., Bizzi E., Combinations of muscle synergies in the construction of a natural motor behavior. Nat Neurosci, 6:300-308, 2003
- [9] Davis R. B., Ounpuu S. et DeLuca P. A., Gait Data : Reporting, Archiving and Sharing Three dimensional Analysis of Human Locomotion. P.
- [10] Allard, Cappozzo, A., Lundberg, A. and Vaughan, C.L.: 190-209, 1997
- [11] Delis I., Berret B., Pozzo T., Panzeri S., Quantitative evaluation of muscle synergy models : a single-trial task-decoding approach. Frontier in Comput Neurosc (sous presse), 2013
- [12] DeLuca P. A., Davis R. B., 3rd, Ounpuu S., Rose S, Sirkin R., Alterations in surgical decision making in patients with cerebral palsy based on threedimensional gait analysis Journal of Pediatric Orthopedics, Vol. 17, n°5, pp. 608-614, 1997
- [13] Edelsbrunner H., Harer J., Persistent homology_a survey, Contemp. Math. 453 257-282, 2008
- [14] Edelsbrunner H., Letscher D., Zomorodian A., Topological persistence and simplification, Discrete Comput. Geom. 28 (4) 511-533, 2002
- [15] Faisal A., Selen L., Wolpert DM., Noise in the nervous system. Nat Rev Neurosci 9: 292–303, 2008
- [16] Gamble J., Heo G., Exploring uses of persistent homology for statistical analysis of landmark-based shape data, J. of Multivariate Analysis 101, 2184-2199, 2010
- [17] Giseon Heo , Jennifer Gamble & Peter T. Kim (2012): Topological Analysis of Variance and the Maxillary Complex, Journal of the American Statistical Association, 107:498, 477-492
- [18] Ghrist R., Barcodes: the persistent topology of data, Bull. Amer. Math. Soc. 45 (161-75.), 2007
- [19] Hertz J., Krogh A. & Palmer R.G., Introduction to the theory of Neural Computation. Redwood City, CA: Addison-Wesley, 1991
- [20] Kay R. M., Dennis S., Rethlefsen S., Reynolds R. A., Skaggs D. L. et Tolo V. T., The effect of preoperative gait analysis on orthopaedic decision making Clinical Orthopaedics and Related Research, n°372, pp. 217-222, 2000
- [21] Koerts J., Leenders K.L., Brouwer W.H., Cognitive dysfunction in non-demented Parkinson's disease patients: controlled and automatic behavior. Cortex. 45(8):922–9, 2009
- [22] Kohonen T., Self-organized formation of topologically correct feature maps. Biological Cybernetics, 43:59-69, 1982

6 - Profil du candidat

Formation Universitaire (dans le domaine de l'informatique graphique ou mathématiques appliquées) ou Ingénieur (généraliste) avec un Master2 recherche.

Domaines de compétences recherchées :

- Mathématiques appliquées
- simulation numérique
- réalité virtuelle/augmentée

Autonomie, capacité de rédaction (anglais et français), rigueur scientifique.

7 - Contacts

Christophe Guillet (Christophe.guillet@ensam.eu)

Thierry Pozzo (thierry.pozzo@u-bourgogne.fr)

Frédéric Merienne (frederic.merienne@ensam.eu)

Institut Image (www.institutimage.fr)

2 rue Thomas Dumorey, 71100 Chalon-sur-Saône