COLLEGE SCIENCES
DOCTORAL DE L'INGENIERIE
PAYS DE LA LOIRE ET DES SYSTEMES

CENTRALE NANTES

Titre : Etude de l'équilibre postural des oiseaux

Mots clés : tenségrité, bassin d'attraction, stabilité posturale, dynamique passive, robotique bio-inspirée

Résumé : La stabilisation des robots bipèdes repose aujourd'hui largement sur le contrôle actif, à un coût énergétique important. Les oiseaux, à l'inverse, maintiennent une posture debout en permanence fléchie, y compris en dormant, grâce à un mécanisme de tenségrité passif. Cette thèse s'inscrit à l'interface de la biologie et de la robotique. D'une part, il s'agit de comprendre, à l'aide de modèles mathématiques, comment les oiseaux parviennent à dormir debout et quels caractères morphologiques sont responsables de cet équilibre. D'autre part, ce modèle biologique peut inspirer une robotique moins coûteuse en énergie, dans l'esprit de l'intelligence incarnée, où la stabilité provient de l'architecture du système plutôt que du contrôle actif. Cette thèse vise ainsi à étendre un modèle de tenségrité de la patte d'oiseau à quatre espèces, et à concevoir une méthodologie certifiée pour quantifier la robustesse de cet équilibre passif. Cette méthodologie est appliquée à des systèmes de complexité croissante, d'un modèle simplifié à une seule articulation jusqu'au modèle complet de la patte d'oiseau à quatre articulations. Un prototype physique du modèle du diamant mandarin permet de vérifier expérimentalement sa capacité à maintenir l'équilibre face à différentes perturbations. Les résultats obtenus confirment la stabilité et apportent ainsi une première validation expérimentale de cette approche pour la conception de robots frugaux et passivement stables.

Title: Study of Postural Balance of Birds

Keywords: tensegrity, basin of attraction, postural stability, passive dynamics, bio-inspired robotics

Abstract: The stabilization of bipedal robots currently relies largely on active control, at a significant energy cost. Birds, in contrast, maintain a permanently flexed standing posture, including during sleep, through a passive tensegrity mechanism. This thesis lies at the interface between biology and robotics. On the one hand, it aims to understand, using mathematical models, how birds are able to sleep while standing and which morphological characteristics are responsible for this balance. On the other hand, this biological model can inspire more energy-efficient robotics, in line with the concept of embodied intelligence, in which stability arises from the architecture of the system rather than from active control. This thesis therefore aims to extend a tensegrity model of the bird leg to four species and to develop a certified methodology to quantify the robustness of this passive balance beyond local stability. This methodology is applied to systems of increasing complexity, from a simplified single-joint model to the complete four-joint bird-leg model. A physical prototype of the zebra finch model is used to experimentally assess its ability to maintain balance under different perturbations. The results confirm the stability of the prototype and provide a first experimental validation of this approach for the design of energy-efficient, passively stable bipedal robots.