

Titre : Conception d'une interface robotique adaptative pour l'assistance du membre supérieur: Application aux patients atteints de la dystrophie musculaire de Duchenne

Mots clés : Exosquelette membre supérieur, Robotique d'assistance, Maladie neuromusculaires, Électromyographie (EMG), Commande en admittance, Compensation de la gravitation

Résumé : Cette thèse s'intéresse à l'assistance du membre supérieur chez les personnes atteintes de maladies neuromusculaires, en particulier la dystrophie musculaire de Duchenne (DMD). Dans ce type de pathologie, la faiblesse musculaire progressive rend les activités de la vie quotidienne de plus en plus difficiles. L'objectif de ce travail est de proposer une solution d'assistance continue, sûre et adaptative, qui aide le mouvement tout en laissant à l'utilisateur un contrôle volontaire. Pour répondre à cet objectif, ce travail propose une approche globale combinant de la conception mécanique, des capteurs adaptés et de la commande. Un premier apport de ce travail concerne la conception et la réalisation d'un exosquelette semi-passif du membre supérieur. Le système comprend une articulation de coude motorisée, tandis que l'épaule et le poignet sont passifs. Ce choix permet de limiter la complexité du système tout en conservant une bonne liberté de mouvement. Le dispositif est également de taille réglable, ce qui le rend adapté à différents utilisateurs, y compris des enfants, et compatible avec des activités réalisées en position assise. Un deuxième apport porte sur le développement d'une architecture de commande basée sur une loi d'admittance positionnelle. Les forces mesurées au niveau du poignet sont utilisées pour générer un mouvement du

coude fluide et réactif. La compensation de la gravité est intégrée à l'aide d'un modèle, en exprimant l'assistance sous forme d'une masse équivalente. Cette approche permet de séparer clairement la commande bas niveau de la logique d'assistance, ce qui améliore la stabilité et la compréhension du système. Enfin, une méthode d'assistance adaptative basée sur l'EMG est proposée pour estimer la charge portée et ajuster l'assistance. L'électromyographie de surface (EMG) permet de mesurer l'activité des muscles. Les signaux sont traités à l'aide de caractéristiques simples et combinés pour obtenir des indicateurs d'activation. Un modèle flou personnalisé est utilisé pour estimer la charge, tandis que d'autres signaux permettent de détecter le relâchement. Cette approche reste simple à mettre en œuvre et adaptée à une utilisation en temps réel. Le système est évalué expérimentalement avec des participants sains lors de tâches fonctionnelles. Les résultats montrent qu'il est possible de fournir une assistance adaptative et de réduire l'effort musculaire. Dans l'ensemble, ce travail propose une approche cohérente pour l'assistance du membre supérieur, en combinant simplicité, interprétabilité et adaptation à l'utilisateur. Il constitue une base pour de futurs travaux vers des systèmes en boucle fermée ainsi que pour des validations cliniques.

Title: Design of an Adaptive Assistive Robotic Interface for the Upper Limb: Application to Subjects with Duchenne Muscular Dystrophy

Keywords: Upper-limb exoskeleton, Assistive robotics, Neuromuscular disease, Electromyography (EMG), Admittance control, Gravity compensation

Abstract: This thesis addresses the problem of upper-limb assistance for individuals with neuromuscular disorders, with a particular focus on Duchenne muscular dystrophy (DMD), where progressive muscle weakness limits the ability to perform activities of daily living. The objective is to develop an assistive solution that provides continuous, safe, and adaptive support while preserving voluntary motion, rather than targeting rehabilitation. To achieve this, the work proposes an integrated approach combining mechanical design, sensing, and control. First, a semi-passive upper-limb exoskeleton is designed and realized. The system features a single actuated elbow joint, while the shoulder and wrist remain passive. This architecture reduces mechanical complexity and alignment constraints, while allowing the device to be adjusted to different body sizes, including children, making it suitable for pediatric users with neuromuscular conditions and compatible with seated daily-life tasks. Second, a physically interpretable control architecture is developed based on position-based admittance control. Interaction forces measured at the wrist are used to generate compliant elbow motion, ensuring stable and responsive human-robot interaction. Gravity compensation is incorporated through a model-based formulation, where assistance is expressed as an equivalent mass rather than direct

torque commands. This structure separates low-level actuation from high-level assistive logic, improving robustness and transparency. Third, an EMG-based adaptive assistance strategy is introduced to estimate the carried load and modulate assistance. Surface electromyography (EMG) is a sensing technique that measures the electrical activity produced by muscles during contraction. In this work, EMG signals are processed using time-domain features and combined into composite activation measures. A personalized fuzzy inference model maps muscle activity to an estimated load, while additional signals are used to detect release events. This approach enables lightweight user-specific adaptation without relying on complex learning models. The proposed system is tested experimentally with healthy participants performing functional tasks. Results demonstrate the feasibility of combining force sensing and EMG to provide adaptive assistance and show a measurable reduction in muscular effort during assisted movements. Overall, this thesis provides a coherent and modular framework for adaptive upper-limb assistance, offering a balance between mechanical simplicity, control interpretability, and user-specific adaptability. It establishes a solid foundation for future developments toward fully closed-loop assistive systems and clinical evaluation.