

## المُستخلص

يتم في هذا البحث التحقيق في كيفية السيطرة على مناوول ذي مفصل خامل والذي لا يحتوي على محرك أو موقف. حيث يحتوي المناوول على ثلاث درجات في حرية الحركة وتعمل في مستوى أفقي واحد ويكون فيه المفصل الثالث خامل. تحتوي مثل هذه الأنظمة الميكانيكية تحت الدفعية على عدد من المداخل تكون أقل من عدد درجات حرية الحركة فيها وتظهر هذه المنظومة في عدد من التطبيقات مثل: ربتات قيادة الفضاء وربتات أعماق البحار وربتات المتحركة وربتات ذات المفصل المرنة والتي تمشي وربتات الجمبازية. وقد تتضمن معادلات لاكرانج الديناميكية لهذه الأنظمة الخواص اللاخطية في المسار الأمامي وفقدان الطور الأصغر للديناميكية الصفرية وكذلك القيود اللاهولونومية وصفات أخرى تضع البحث في هذا الصنف من الأنظمة في مقدمة البحوث في مجال السيطرة اللاخطية.

لقد تم تبين إن القيود الديناميكية على الذراع الحر أنها من الدرجة اللاهولونومية الثانية. لذلك فإن الهدف الرئيسي من هذا البحث هو عرض طريقة لتخطيط المسار والسيطرة على ربتات تعمل في المستوي الأفقي ولها مفصل نهائي دوار و خامل وذلك باستعمال طريقة التحويل الخطي بواسطة الإرجاع الديناميكي (DFL). وكناتج مصاحب لهذه الطريقة هو أن يجعل التصميم يتم بطريقة مباشرة وباستقرارية آسية للمسيطران المتتبعان للمسار المولد. وقد تم بصورة مختصرة مناقشة احتمالية توسيع هذه العلاقة مع تقنية الاستواء التفاضلي.

لقد تم في هذا العمل تسجيل رسوم متحركة ثلاثية الأبعاد وبالزمن الحقيقي وكذلك المحاكاة بالزمن الحقيقي باستعمال الأدوات (Virtual Reality Toolbox™) و (Real-Time Workshop®) و (Time Windows Target™) الذي يعمل في بيئة (MATLAB®) لربوت ذي ثلاث مفصل دوار (3R) تحت الدفعية ويعمل في مستوى أفقي. إن السبب وراء الرسوم المتحركة ثلاثية الأبعاد وبالزمن الحقيقي والمحاكاة بالزمن الحقيقي هو لتوفير صور متحركة ذات طابع شبيه بالحقيقة و تتحرك بالزمن الحقيقي لتكون أدوات للباحثين لعرض مدى كفاءة المسيطرات في تتبع المسار المطلوب ومراقبة تصرف المناوول ذي الدرجات الثلاثة في حرية الحركة تحت الدفعية في الزمن الحقيقي.

## Abstract

Control of a manipulator with a passive joint which has neither an actuator nor a holding brake is investigated. The manipulator has three rotational degrees of freedom in a horizontal plane, with the third joint being passive. Such underactuated mechanical systems have fewer control inputs than degrees of freedom and arise in applications, such as space and undersea robots, mobile robots, flexible robots, walking, brachiating, and gymnastic robots. The Lagrangian dynamics of these systems may contain feedforward nonlinearities, non-minimum phase zero dynamics, nonholonomic constraints, and other properties that place this class of systems at the forefront of research in nonlinear control.

The dynamic constraint on the free link is shown to be second-order nonholonomic. The main objective of this work is to demonstrate trajectory planning and control of planar robots with a passive rotational last joint using the Dynamic Feedback Linearization (DFL) method. The byproduct of the method is the straightforward design of exponentially stable tracking controllers for the generated trajectories. Possible extensions of the approach and its relationships with the differential flatness technique are briefly discussed.

Real-Time 3D animation and Real-Time Simulation results using Virtual Reality Toolbox™, Real-Time Windows Target™, Real-Time Workshop®, and interfaced to Simulink® under the MATLAB® environment are reported for a 3R underactuated robot moving in a horizontal plane. The reason behind Real-time 3D animation and Real-Time simulation is to provide animated real-time tools in a realistic fashion to demonstrate the effectiveness of the controllers in tracking the desired trajectory and to provide a tool for researchers to test their proposed controllers and observe the behavior of the 3-DOF underactuated manipulator in real-time.