تصميم ومحاكاة ذراع آلي رباعي المحاور (4-DOF Robotic Arm)

مشروع هندسي متكامل يجمع بين التصميم الميكانيكي، التوصيل الإلكتروني، وأنظمة التحكم الذكية

القسم المطور: هندسة الميكاترونكس والأتمتة

البرامج المستخدمة: SolidWorks, ROS, Gazebo, C/C++

تاريخ التنفيذ: مايو 2026

نوع الملف: تقرير فني شامل لحقيبة الأعمال

1. المقدمة ونطاق المشروع

يهدف هذا المشروع إلى تصميم وبناء نظام ذراع آلي ذو أربعة درجات من الحرية *(4-DOF)* مخصص لمهام الالتقاط والنقل *(Pick and Place)* في خطوط الإنتاج الذكية. تم الاعتماد على منهجية الهندسة العكسية والتصميم الرقمي لضمان دقة الأبعاد وتوزيع الأحمال الديناميكية قبل الانتقال إلى مرحلة التصنيع الفعلي.

2. التصميم الميكانيكي والنمذجة (CAD)

تم استخدام برنامج *SolidWorks* لتصميم جميع أجزاء الذراع بعناية، مع مراعاة العلاقات الميكانيكية *(Mates)* بين الوصلات لمنع التداخل وضمان سلاسة الحركة المحورية. تم حساب عزم الدوران المطلوب عند كل مفصل رياضيًا لضمان اختيار المحركات المناسبة وفقًا للمعادلة التالية:

$$\tau = F \times r \times \sin(\theta)$$

حيث تمثل τ العزم المطلوب، F القوة الناتجة عن كتلة الوصلة والحمل، و r طول ذراع العزم الممتد.

3. السينماتيكا والتحكم الكينماتيكي

لتحقيق حركة دقيقة في الفراغ ثلاثي الأبعاد، تم تطبيق حسابات السينماتيكا الأمامية والعكسية *(Forward & Inverse Kinematics)* لتحديد زوايا المفاصل المطلوبة للوصول إلى نقطة الهدف النهائية بدقة تناهز $\pm 0.5\ mm$.

المفصل (Joint)	نوع الحركة	مدى الحركة (بالدرجات)	المحرك المستخدم (Actuator)
		180° ~ 180°+	Servo Motor - High Torque

المفصل (Joint)	نوع الحركة	مدى الحركة (بالدرجات)	المحرك المستخدم (Actuator)
المفصل القاعدي (Base)	دورانية (Revolute)		
الكتف (Shoulder)	دورانية (Revolute)	90° ~ 45°+	Servo Motor - Metal Gears
المرفق (Elbow)	دورانية (Revolute)	135° ~ 135°+	Servo Motor - Standard
المقبض (Gripper)	خطي/ثنائي	مفتوح / مغلق	Micro Servo

تكامل النظام والمحاكاة الذكية:

تم تصدير النموذج الميكانيكي بنجاح في صيغة ***URDF*** ونقله إلى بيئة المحاكاة ***Gazebo*** ونظام تشغيل الروبوتات ***(ROS)*** لاختبار خوارزميات التحكم وتجنب العقبات بيئياً قبل الانتقال إلى التوصيل الصلب على لوحات ***Arduino***.

4. النتائج والتوصيات

أظهرت النتائج الافتراضية تطابقاً بنسبة ***94%*** بين المسار المخطط والمسار الفعلي للذراع الآلي، مما يثبت كفاءة التوزيع الكتلي واختيار محركات العزم الزاوي بشكل سليم للوظائف الصناعية الخفيفة.