

Design of a Part of a Production Line for Sorting Products Packed in Metal Cans

Dr. Mohammad Khnissi*

(Received 6 / 9 / 2024. Accepted 16 / 10 / 2024)

□ ABSTRACT □

Sorting metal products in industrial production lines is a vital step that contributes to improving efficiency and quality. Sorting helps identify defective or non-conforming products, which reduces the percentage of defects in the final production and ensures that the materials used in manufacturing meet the required standards, enhancing the final product's quality. Sorting metal products increases the efficiency of the sorting process as sorting products helps reduce the waste of raw materials, which leads to better use of resources, reduces costs, and facilitates the recycling process of metals, which contributes to preserving the environment and reducing waste. Sorting metal products helps speed up sorting processes as the sorting process allows products packed in metal cans to be quickly identified, which speeds up the delivery process, increases customer satisfaction, facilitates inventory organization, and helps manage the supply chain more effectively. In this research, a part of a production line was designed and implemented that inspects the products passing through; it automatically sorts the products packed in metal cans and removes them from the production process while allowing the rest of the products to continue in the production process.

This is done by using position sensors to determine the location of the product in the production line in addition to an inductive sensor to check the element and actuators such as a stepper motor to move the production line and an audible alarm to identify defective parts if they are on the production line.

The project was implemented practically, and the accuracy and validity of all theoretical steps were confirmed by testing a group of products packed in several types of cans. Only the products packed in metal cans were sorted and removed from the production line, while the rest continued in the production process.

Keywords: Arduino DIE, SolidWorks, HC-SR04, Python, C.

Copyright



:Tishreen University journal-Syria, The authors retain the copyright under a CC BY-NC-SA 04

* Associate Professor, Mechatronics Department, Faculty of Mechanical and Electrical Engineering, Tishreen University, Latakia, Syria. Email: dr.mohamadkhnese@tishreen.edu.sy

تصميم جزء من خط انتاج لفرز المنتجات المعبأة في علب معدنية

د. محمد خنيسي*

(تاريخ الإيداع 6 / 9 / 2024. قُبِلَ للنشر في 16 / 10 / 2024)

□ ملخص □

فرز المنتجات المعدنية في خطوط الإنتاج الصناعية يمثل خطوة حيوية تساهم في تحسين الكفاءة والجودة. حيث يساهم الفرز في تحديد المنتجات المعيبة أو غير المطابقة للمواصفات، مما يقلل من نسبة العيوب في الإنتاج النهائي، كما يضمن أن المواد المستخدمة في التصنيع تتوافق مع المعايير المطلوبة، وهذا الأمر يعزز جودة المنتج النهائي. إن فرز المنتجات المعدنية يزيد من كفاءة عملية الفرز حيث يساعد فرز المنتجات على تقليل الفاقد من المواد الخام، مما يؤدي إلى تحسين استخدام الموارد وتقليل التكاليف، ويسهل عملية إعادة التدوير للمعادن، مما يساهم في الحفاظ على البيئة وتقليل النفايات. وتساعد عمليات فرز المنتجات المعدنية على تسريع عمليات الفرز حيث تسمح عملية الفرز بتحديد المنتجات المعبأة في علب معدنية بسرعة، مما يسرع من عملية التسليم ويزيد من رضا العملاء، كما يسهل تنظيم المخزون ويساعد في إدارة سلسلة الإمداد بشكل أكثر فعالية. تم في هذا البحث تصميم وتنفيذ جزء من خط انتاج يقوم بفحص المنتجات التي تمر من خلاله ويقوم بشكل ذاتي بفرز المنتجات المعبأة في علب معدنية وإخراجها خارج عملية الإنتاج بينما يسمح لبقية المنتجات بالاستمرار في عملية الإنتاج. يتم ذلك عبر استخدام حساسات موضع لتحديد مكان المنتج في خط الانتاج بالإضافة لحساس تحريضي لفحص العنصر بالإضافة الى مشغلات مثل محرك الخطوة لتحريك خط الإنتاج ومنبه صوتي لتميز القطع المعيبة في حال وجودها على خط الإنتاج. تم تنفيذ المشروع بشكل عملي وتم التأكد من صحة ودقة جميع الخطوات النظرية حيث تم اختباره على مجموعة من المنتجات المعبأة في عدة أنواع من العلب، وتم فرز المنتجات المعبأة في العلب المعدنية فقط حيث تم إخراجها خارج خط الإنتاج بينما استمر بقية المنتجات ضمن عملية الإنتاج.

الكلمات المفتاحية: بيئة الأردوينو، برنامج الـ SolidWorks، حساس المسافة، لغة البايثون، لغة الـ C.

حقوق النشر : مجلة جامعة تشرين- سورية، يحتفظ المؤلفون بحقوق النشر بموجب الترخيص



CC BY-NC-SA 04

* أستاذ مساعد - قسم الميكاترونك - كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية - جامعة تشرين - اللاذقية - سورية.

إيميل: dr.mohamadkhnese@tishreen.edu.sy

مقدمة:

لا شك أن التطور العلمي الكبير الذي وصلنا إليه في يومنا هذا ما هو إلا نتاج عملية تراكمية حصلت على فترات زمنية متتالية أعطت نتائج مبهرة على جميع الأصعدة التي تخدم البشرية، وأصبح لدينا قاعدة بيانات واسعة جداً لاستخدامها وتوظيفها فيما يخدم تطبيقاتنا المختلفة وفق ما نملكه من معدات وتجهيزات تساعدنا على ذلك بالإضافة الى قاعدة معرفية وعلمية وأفكار عملية تساهم في تطوير التطبيقات بشكل متسارع وأكثر فائدة، فمن هذا المنطلق أصبحت عمليات التحكم أكثر سلاسة وأكثر مرونة وسهولة في الاستخدام وخاصة بعد انتشار استخدام المتحكمات الدقيقة التي سهلت بشكل كبير عملية التحكم بالإضافة الى تطوير عدد كبير من التجهيزات التي يتم ربطها مع هذه المتحكمات لجعل عملية التحكم تقاد بدون وجود العنصر البشري بشكل مباشر.

مع تزايد استخدام طاقة البخار وزيادة استخدام الآلات لتحل محل استخدام الأشخاص، دفع الاستخدام المتكامل للتقنيات في خطوط الإنتاج نحو اندلاع الثورات الصناعية في أوروبا والولايات المتحدة. وبناءً عليه، من معالجة المواد الخام وصولاً إلى إنتاج البضائع المفيدة، كانت الخطوة التالية تتمثل في مفهوم خط التجميع، كما أدخله إيلي ويتني. وانتقل هذا إلى المرحلة التالية في شركة فورد للسيارات في عام 1913، حيث قدم هنري فورد ابتكار خط نقل السيارات قيد التجميع المستمر بدلاً من ورش عمل منفصلة. وبعدها انتشرت خطوط الإنتاج والفرز لتشمل تقريباً كل عمليات الإنتاج، مثل إنتاج السيارات وإنتاج الهواتف، وإنتاج التلغراف وإنتاج الحواسيب وغيرها، وهي تنتج بأعداد كبيرة جداً. كما نجد خطوط الإنتاج في صناعة الزجاج، والزجاجات والأكواب وغيرها، بالإضافة لخطوط إنتاج لتعبئة الزجاجات بالمشروبات، وتعبئة العلب بالمأكولات المطبوخة. وانطلاقاً من التطور التكنولوجي والتقني واعتماد التكنولوجيا والكاميرات في جميع مناحي الحياة ظهرت الحاجة الملحة لظهور التحكم المرئي بجميع أشكالها وتطويرها لتخدم الإنسان. لذلك تم اعتماد هذا المشروع الذي يهدف بشكل أساسي الى تطبيق فكرة معالجة لفرز المنتجات وفق خوارزمية سوف يتم شرحها بالتفصيل لاحقاً.

إن عملية فرز المنتجات والمواد عن بعضها البعض كانت ولا زالت موضع اهتمام الكثير من الباحثين. لقد قدم العمل Dewi et al., 2020 [1] تطبيق روبوت لفرز الفاكهة بناءً على اللون والحجم في نظام التعبئة والتغليف. يتم إجراء الفرز من خلال معالجة الصور حيث يتم التعرف على اللون، ويكون القطر معروفاً في الصورة ذات التدرج الرمادي وتعيين التعبئة. الفاكهة التي تم فرزها هي الطماطم الحمراء والخضراء والعنب الأحمر والأخضر. أجريت التجارب لإظهار فعالية الطريقة المقترحة. تبين من خلال التجارب أن الوقت المطلوب للروبوت لإنجاز المهمة هو 11.91 ثانية للطماطم الحمراء، و 11.76 ثانية للطماطم الخضراء، و 12.56 ثانية للعنب الأحمر، و 12.92 ثانية للعنب الأخضر. يرجع فارق التوقيت إلى موضع الصناديق المخصصة للفاكهة المصنفة.

في نظام التعبئة والتغليف التقليدي، يؤثر انقطاع التيار الكهربائي والخطأ البشري على كفاءة فرز المنتجات وعدم تطابق العمليات وإهدار الوقت وهو أمر غير قابل للتفاوض لأي سلع استهلاكية سريعة الاستهلاك. قدم Tripathi et al., 2020 [2] حلاً هندسياً للتحديات المذكورة. وهي يقوم مستشعر الباركود بمساعدة خلية تحميل وجهاز اتخاذ القرار - Arduino Mega 2560 ووحدة تحكم منطقية قابلة للبرمجة (PLC) لتحديد وفرز المنتجات على طول ناقل قابل للسحب. كما قدم هذا العمل حل لعملية وضع اللصقات على العلب للتقليل من الاعتماد على اليد العاملة البشرية.

إن الفرز المسبق في للمنتجات الزراعية في الحقل يهدف إلى إزالة الفاكهة الرديئة التي لا تصلح للسوق الطازجة، حتى يتمكن المزارعون من التعامل مع المنتجات الزراعية الجيدة بشكل مختلف في التخزين والتعبئة بعد الحصاد لتحقيق

وفورات في التكلفة وزمن الفرز والتخزين. لتحقيق هذا الهدف، قام Zhang et al., 2021 [3] بتطوير نظام فرز وتصنيف التفاح في الحقل يعتمد على استخدام نظام Arduino، حيث يتم تحقيق تفرد الفاكهة وتناوبها ونقلها باستخدام ناقلات لولبية بسيطة ومضغوطة متغيرة الملعب، ويتم تصنيف الفاكهة (من حيث الحجم واللون) باستخدام نظام تصوير منخفض التكلفة، ويتم فرز الفاكهة باستخدام فارزات مجدافية. أجريت تجارب على أنواع مختلفة من التفاح لتقييم الأداء العام لنظام الفرز والتصنيف في الحقل من حيث إمكانية تكرار التصنيف (أي احتمالات كل تفاحة يتم تصنيفها إلى نفس درجة الجودة في جولات متعددة وممرات مختلفة)، والتلف بفعل الكدمات على التفاح، ودقة الفرز (الاتساق بين نتائج التصنيف المستندة إلى التصوير والوجهات). أظهرت النتائج أن معدلات تكرار التصنيف للنظام كانت أعلى من 90% و 81% للتصنيف داخل المسار وبين المسارات على التوالي. حقق النظام دقة فرز أعلى من 99% لمعدلات إنتاج النظام البالغة 7.5 و 9.0 و 10.5 فاكهة في الثانية، بينما تم تصنيف 100% من التفاح المصنف على أنه ممتاز للغاية ولم يتعرض 55% أو أكثر من التفاح لأضرار كدمات أثناء عملية التصنيف والفرز. نظام التصنيف والفرز الداخلي مضغوط وقوي في الأداء، ويمكنه تلبية احتياجات الفرز الداخلي التجارية.

تستخدم العديد من مراكز التوزيع أنظمة فرز باهظة الثمن تعتمد على الناقلات والتي تتطلب مبانٍ كبيرة لإيوائها. في المناطق ذات المساحة الضيقة، تقدم أنظمة الفرز الآلية نوعاً جديداً من الحلول لفرز الطرود حسب الوجهة. تتمتع هذه الأنظمة بمرونة عالية في سعة الإنتاج ويتم تقديمها الآن تدريجياً، وخاصة في شركات التوصيل السريع. قدم Zou et al., 2021 [4] نظام الفرز الآلي بتخطيطين والذي تم فيه استخدام نظام Arduino. التخطيط الأول له مستويان: الروبوتات تقود على المستوى العلوي وتفرز الطرود حسب الوجهة على ناقلات حلزونية متصلة بحاويات دوارة في المستوى السفلي. التخطيط الثاني له مستوى واحد مع نقاط إدخال وإخراج تقع على المحيط، متصلة بواسطة الروبوتات. لكل تخطيط، نأخذ في الاعتبار أقصر مسار. تم بناء شبكات صف مغلقة لتقدير الأداء، كما تم تصميم إجراء تكراري للتحقيق في ازدحام الروبوت في التخطيط ذي المستويين، واستخدام دالة تدفق المرور لتقدير ازدحام الروبوت في التخطيط ذي المستوى الواحد. تم فحص قواعد تخصيص الروبوتات لمحطة التحميل بشكل عشوائي وأقرب وأقصر قائمة انتظار. تم التحقق من صحة النماذج التحليلية من خلال كل من المحاكاة ومن خلال تجريب النظام المقترح. تظهر النتائج أن سعة إنتاج النظام تتأثر بشكل كبير بازدهام الروبوتات في التصميم أحادي الطبقة، ولكنها تتأثر قليلاً فقط في الأنظمة الأخرى. يتناسب التصميم المربع مع أقصر مسار ويتناسب التصميم المستطيل مع مسار التحويل. تظهر هذه الدراسة أن نظام الفرز الآلي يكون عادةً أقل تكلفة سنوية إجمالية من نظام الفرز التقليدي عبر الحزام عندما لا تكون سعة الإنتاج المطلوبة كبيرة جداً.

كما نلاحظ من خلال بعض الدراسات المرجعية فإن أتمتة عمليات الفرز تعتبر من الأمور الهامة جداً في الصناعة لما لها من تأثيرات كبيرة على كل من سرعة وكفاءة الإنتاج. وعليه تم في هذه الدراسة العمل على بناء نظام فرز بسيط يكون نقطة انطلاق لنظام فرز أكثر تطوراً وأكثر فائدة في الصناعة المحلية. تم في هذه الدراسة الاعتماد على متحكم من نوع اردوينو اونو [6], [5] بالإضافة إلى لغة البرمجة Python [7] من أجل معالجة الصورة وإصدار الأوامر البرمجية.

أهمية البحث وأهدافه:

يهدف المشروع إلى تحقيق عملية أتمتة وتحكم بسيطة وسهلة عن بعد للمنتجات وهذا قد يساعد على التحكم بما يلزم داخل نطاق المعمل بالإضافة إلى إمكانية صنع خطوط إنتاج مؤتمتة بشكل كامل.

أهم ما يميز هذا العمل هو رخص التجهيزات المستخدمة فيه مقارنة بالإمكانات المتاحة ويعد الجانب الاقتصادي مهم جدا عند دراسة وتصميم وتنفيذ أنظمة التحكم بالإضافة الى أن عمره التشغيلي طويل دون وجود تأخير كبير في الاستجابة.

1. منهجية البحث

المنهجية التي يقوم عليها هذا البحث هي رقمية (من خلال استخدام البرمجة ومجموعة من البرامج الأخرى) وتجريبية في بيئة حقيقية حيث تم تنفيذ أحد وظائف مراحل خطوط الانتاج من نقل وفرز وفحص للمنتج.

طرائق البحث ومواده:

تم تنفيذ البحث على مرحلتين أساسيتين، **المرحلة الأولى** تتضمن المرحلة البرمجية حيث تم فيها استخدام التالي:

- بيئة التطوير المتكاملة Arduino IDE [8]. تتوفر بيئة التطوير البرمجية Arduino IDE لجميع أنظمة التشغيل المختلفة Windows, Linux, MAC ويمكن تحميلها مجانا من الموقع الرسمي لمطوري أردوينو¹.
- لغة الـ C.
- لغة الـ Python.

المرحلة الثانية وتم فيها التنفيذ العملي للمشروع حيث تم فيها استخدام الطرق والمواد التالية:

- محرك خطوة.
- دائرة قيادة.
- محول DC V 12.
- حساس المسافة HC-SR04.
- حساس تقاربي تحريضي.
- ريليه.
- متحكم.

النتائج والمناقشة:

1.1 القسم البرمجي

1.1.1 Arduino IDE Software

يعتبر Arduino IDE أداة قوية ومرنة لتطوير البرمجيات الخاصة بالأنظمة المدمجة، مما يجعله خيارًا مثاليًا لتطبيقات فرز المنتجات في الصناعة. يمكن استخدامه لتطوير حلول مبتكرة تعتمد على مستشعرات وأجهزة تحكم آلي، مما يسهل عملية فرز المنتجات المعدنية أو غيرها. في حال استخدام هذه الأداة لفرز المنتجات لا بد من المرور بالخطوات التالية:

1. تحديد المشكلات:
 - ✓ تحديد المعايير: يجب تحديد المعايير المطلوبة للفرز، مثل الحجم، الوزن، أو الخصائص الكيميائية للمنتجات.
 - ✓ تحديد نوعية المنتجات: تحديد الأنواع المختلفة من المنتجات التي تحتاج إلى فرز.
2. تحديد المكونات اللازمة:

¹ <http://arduino.cc/en/Main/Software>

- ✓ لوحة Arduino: تستخدم كجهاز تحكم مركزي.
- ✓ مستشعرات: مثل مستشعرات الوزن، الأشعة تحت الحمراء، أو الكاميرات لتحديد الخصائص الفيزيائية للمنتجات.
- ✓ محركات: للتحكم في آليات الفرز (مثل الأذرع الآلية).
- ✓ شاشة عرض: لعرض المعلومات والبيانات الهامة.
- 3. تطوير البرنامج:
- ✓ برمجة Arduino IDE: باستخدام لغة البرمجة ++C/C، يمكن كتابة الكود الخاص بجمع البيانات من المستشعرات ومعالجتها.
- ✓ تنفيذ الخوارزميات: تطوير خوارزميات فرز تعتمد على المعايير المحددة مسبقاً. يمكن أن تشمل هذه الخوارزميات:
- ✓ تصنيف المنتجات بناءً على الوزن أو الحجم.
- ✓ استخدام تقنيات التعلم الآلي لتحسين دقة الفرز.
- 4. اختبار النظام:
- ✓ اختبار الأداء: تشغيل النظام تحت ظروف مختلفة للتحقق من فعاليته ودقته.
- ✓ تحليل النتائج: تقييم النتائج وتعديل البرمجيات أو الأجهزة حسب الحاجة لتحسين الأداء.
- 5. التكامل مع الأنظمة الأخرى:
- ✓ يمكن دمج نظام الفرز القائم على Arduino مع أنظمة إدارة المخزون أو أنظمة التحكم في الإنتاج لتعزيز الكفاءة.
- 6. الصيانة والتحديث:
- ✓ تحديث البرمجيات: إجراء تحديثات دورية على البرنامج لتحسين الأداء أو إضافة ميزات جديدة.
- ✓ صيانة الأجهزة: التأكد من أن جميع المكونات تعمل بشكل صحيح وصيانتها عند الحاجة.

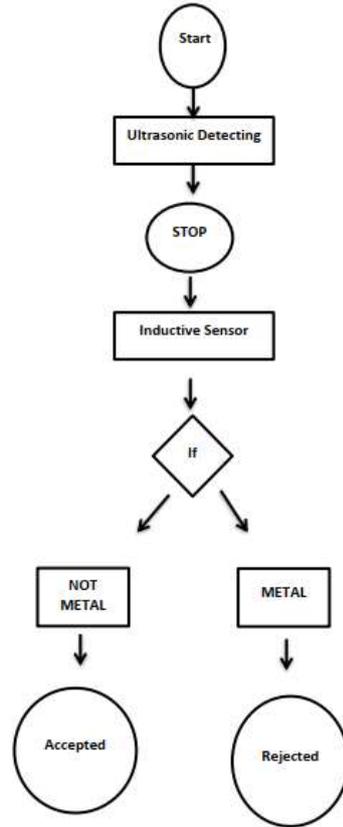
1.1.2. المخطط الصندوقي للمشروع

يبين الشكل 1 المخطط الصندوقي لآلية العمل، حيث يبدأ المنتج دورته من بداية خط الانتاج ليتم نقله عبر سيور متحركة بواسطة محرك خطوة والمقاد بدارة قيادة خاصة تأخذ أوامرها من الأردوينو هذه الخطوة مسؤولة عن نقل المنتج من بداية خط الانتاج وحتى منطقة فحص المنتج.

عند وصول المنتج إلى منطقة الفحص يستشعره حساس الأمواج فوق الصوتية حيث يوجد حساس أمواج فوق صوتية مثبت على خط الإنتاج بارتفاع معين لفحص وجود القطعة في مرحلة الاختبار لمعرفة نوع المادة المصنوعة منها.

يتم فحص نوع القطعة عبر حساس تحريضي مثبت في منطقة الفحص حيث يعمل هذا الحساس على اكتشاف مادة القطعة الموجودة على خط السير فإذا كانت هذه القطعة من المعدن فسيقتعل الحساس ويرسل إشارة الى المتحكم والذي بدوره سيقوم بتشغيل انذار متقطع معلنا أن القطعة مرفوضة وينتظر من المستخدم إخراجها بشكل يدوي من خط السير.

أما إذا كان المنتج ليس من المعدن فإن الحساس لن يتحسسها والمتحكم سيقوم بتفعيل إنذار صوتي يشير إلى أن القطعة مقبولة ومسموح لها بالعبور وبالتالي فإن القطعة ستنقل إلى نهاية خط الإنتاج.



الشكل 1: المخطط الصندوقي للمشروع.

1.1.3 الكود البرمجي

تم كتابة كودين برمجيين لعمل المشروع حيث يتم تبادل البيانات بين الأردوينو والبايثون عبر الكبل التسلسلي فكان لا بد لنا من كتابة كود للأردوينو وآخر للبايثون، وفيما يلي سيتم عرض الأكواد التي تمت كتابتها.

```

#include <Ultrasonic.h>
Ultrasonic ultrasonic(8, 9);
int distance;
const int stepPin = 3;
const int dirPin = 4;
const int can = 5;
  
```

تضمين مكتبة حساس الأمواج الصوتية
وتعريف مكان توصيل الحساسات ودارة القيادة

```

void setup() {
  pinMode(stepPin,OUTPUT);
  pinMode(dirPin,OUTPUT);
  pinMode(7,OUTPUT);
  pinMode(can,INPUT);
  Serial.begin(9600);
}
  
```

تعريف المداخل والمخارج وسرعة تبادل البيانات التسلسلية

```
void loop() {
  distance = ultrasonic.read();
  Serial.print("1: ");
  Serial.print(distance);
  Serial.println(" cm");
  if(distance>10){
    digitalWrite(dirPin,HIGH);
    // Enables the motor to move in a particular direction
    // Makes 200 pulses for making one full cycle rotation
```

قراءة قيم حساس الأمواج فوق الصوتية

```
for(int x = 0; x < 100; x++) {
  digitalWrite(stepPin,HIGH);
  delayMicroseconds(1000);
  digitalWrite(stepPin,LOW);
  delayMicroseconds(1000);
}}
```

إذا لم يكن هناك أي جسم أمام حساس الأمواج الصوتية فسيستمر خط السير بالحركة

```
else if (distance<10){
  delay(1000);
  int s=digitalRead(can);
```

```
if(s==LOW){
// Serial.println("..");
tone(7,10);
delay(1000);
for(int x = 0; x < 2600; x++) {
  digitalWrite(stepPin,HIGH);
  delayMicroseconds(250);
  digitalWrite(stepPin,LOW);
  delayMicroseconds(250);
}
}
```

إذا لم يكن هناك أي جسم أمام حساس الأمواج الصوتية فسيوقف خط السير عن الحركة وسيتم قراءة قيمة الحساس التحريضي فإذا كانت القراءة تشير إلى أن المنتج غير معدني فإن المتحكم سيصدر انذار صوتي مستمر لمدة ثانية وسيتم استكمال عمل خط السير لنقل القطعة لنهاية خط السير

```
else if(s==HIGH){for(int i=0;i<3;i++){
tone(7,1000);delay(200);noTone(7);
delay(200);//Serial.println(".");
s=digitalRead(s);}
noTone(7);
}}
```

وإذا كانت القراءة تشير إلى أن المنتج معدني فإن المتحكم سيصدر انذار صوتي متقطع وسيبقى خط السير متوقف إلى حين انتشال القطعة المرفوضة بشكل يدوي من المستخدم

بعد أن تم الانتهاء من كتابة الكود البرمجي وتفعيله على الدارة كان لا بد من تصميم الدارة الحقيقية التي سيتم اختبارها بشكل كامل والذي تم من خلال استخدام برنامج إيغل (بالإنجليزية: EAGLE) اختصار (بالإنجليزية: Easily

Applicable Graphical Layout Editor) هو برنامج حاسوب لتصميم اللوحات الإلكترونية المطبوعة عن طريق الحاسب. وبه خصائص الرسم التخطيطي والتوصيل الآلي والتصنيع بمساعدة الحاسوب. تم تطوير إيغل من شركة كادسوفت كمبيوتر التي استحوذت عليها شركة أوتودسك عام 2016.

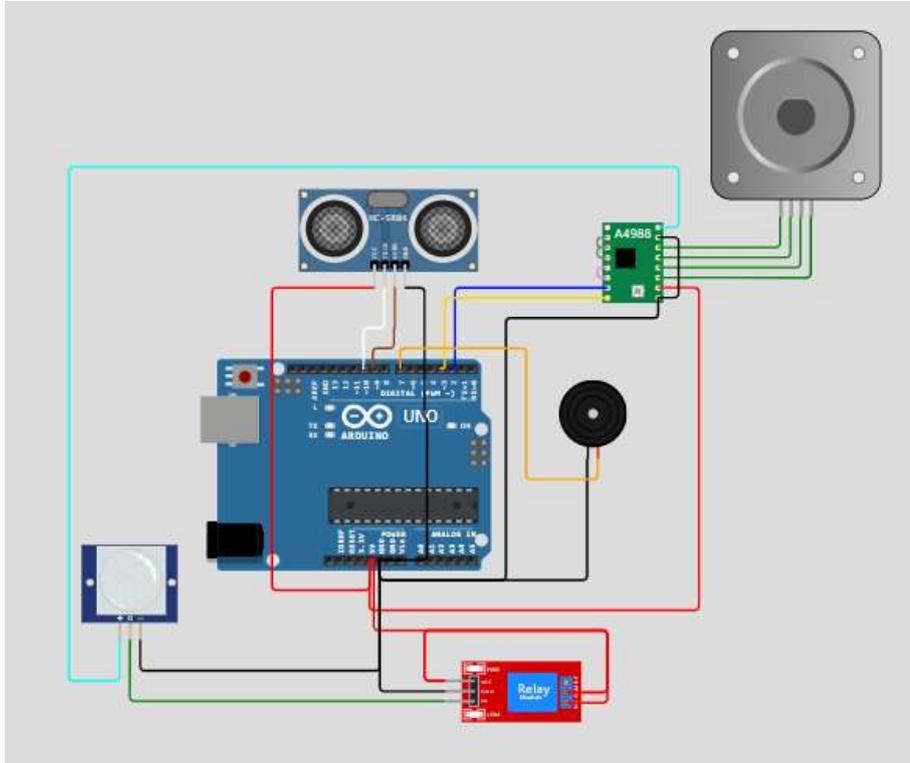
يحتوي برنامج EAGLE على محرر مخططات لتصميم مخططات الدوائر. يتم تخزين المخططات في ملفات ذات امتداد .SCH، ويتم تعريف الأجزاء في مكتبات الأجهزة ذات الامتداد .LBR. يمكن وضع الأجزاء على العديد من الأوراق وتوصيلها ببعضها البعض من خلال المنافذ.

يخزن محرر تخطيط PCB ملفات اللوحة ذات الامتداد .BRD. وهو يسمح بإضافة تعليقات خلفية إلى المخطط والتوجيه التلقائي لتوصيل المسارات تلقائياً استناداً إلى الاتصالات المحددة في المخطط.

يحفظ برنامج EAGLE ملفات تخطيط Gerber و PostScript بالإضافة إلى ملفات الحفر Excellon و Sieb & Meyer. هذه هي تنسيقات الملفات القياسية المقبولة من قبل شركات تصنيع PCB، ولكن نظراً لقاعدة مستخدمي EAGLE النموذجية من شركات التصميم الصغيرة والهواة، فإن العديد من مصنعي PCB وورش التجميع تقبل أيضاً ملفات لوحة EAGLE (ذات الامتداد .BRD) مباشرةً لتصدير ملفات الإنتاج المحسنة واختيار البيانات ووضعها بأنفسهم.

يمكن دمج أوامر متكررة متعددة في ملفات نصية (بامتداد الملف .SCR). من الممكن أيضاً استكشاف ملفات التصميم باستخدام لغة برمجة موجهة للكائنات خاصة بـ EAGLE (بامتداد الملف .ULP) [9]–[12].

الشكل 2 يوضح الدارة التي تم تصميمها حيث يوضح دائرة الـ Arduino والحساسات بالإضافة إلى المخارج الصوتية وكيفية توصيلها ببعضها البعض.



الشكل 2: مخطط الدارة التي تم تصميمها على برنامج الـ EAGLE.

فيما يلي سيتم التطرق إلى الأجزاء التفصيلية لهذه الدارة وكيفية توصيلها ببعضها البعض عن التنفيذ العملي.

1.1. القسم العملي التجريبي

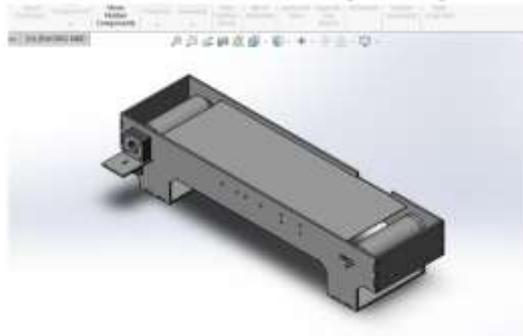
1.1.1. الأدوات والتجهيزات اللازمة لتنفيذ المشروع عملياً

قبل البدء بتوضيح الأدوات التي نحتاجها من أجل التنفيذ العملي للمشروع يجب التنويه إلى أن الجزء الميكانيكي للمشروع تم تصميمه في البداية باستخدام برنامج الـ Solidworks [13]، والذي يعتبر من أهم وأقوى برامج التصميم عالمياً في الوقت الحالي ويتم الاستعانة به لتصميم الكثير من المعدات الميكانيكية وحسابها إنشائياً باستخدام طريقة العناصر المنتهية (FEM, Finite Element Method) [14]. الشكل 3 يعرض السير الميكانيكي المصمم باستخدام برنامج الـ Solidworks.

1.1.1.1. محرك الخطوة

إن عملية تحريك السير تتم باستخدام محرك خاص يسمى بمحرك الخطوة، يستخدم هذا المحرك في عملية نقل المنتج والتي بدورها تعد المسؤولة عن تحريك المنتج عبر خط السير إلى الحساسات والكاميرا لفحص المنتج ثم نقلها إلى نهاية الخط في حال كانت القطعة مرغوبة أو إلى مكان تجميع القطع المرفوضة. الشكل 4 يعرض البنية الداخلية لمحرك الخطوة. يعتبر هذا المحرك نوع فريد من محركات التيار المستمر التي لا تحوي فحمت حيث إن موضع المحور الخاص به يمكن أن يضبط ويحدد دون الحاجة للتغذية العكسية لتحديد ذلك.

آلية العمل الأساسية ترتكز بشكل رئيس على الحقول المغناطيسية. حيث أن المحرك يتكون من جزئين أساسيين هما الجزء الثابت والجزء المتحرك. عند تغذية أحد الملفات يتولد حقل في الجزء الثابت والذي بدوره يؤثر على الجزء المتحرك. وعند تفعيل الملفات بالتسلسل، الواحد تلو الآخر يمكننا تحقيق حركة مستمرة للقلب الدائر كما يمكن أيضاً إيقافه في أي موضع نريده، لذلك نطلق عليها اسم محرك الخطوة.



الشكل 3: تصميم السير الميكانيكي باستخدام برنامج الـ Solidworks.



الشكل 4: البنية الداخلية لمحرك الخطوة.

عند زيادة عدد الأقطاب المغناطيسية في الجزء الدائر يمكننا زيادة عدد مواضع إيقاف المحرك وهذا بدوره يساعد على زيادة دقة الحركة للمحرك. المحرك المستخدم هنا يسمى NEMA17، انظر الشكل 6، لديه 50 نقطة توقف (خطوة)

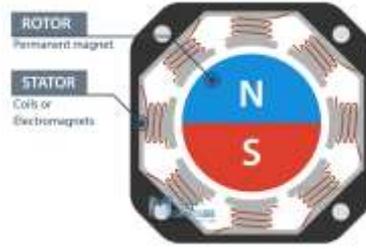
على الجزء الدوار. ومن ناحية أخرى فان الجزء الثابت يمكن أن يكون له عدد كبير من الملفات وفي حالتنا هنا فإن الملفات تكون بطورين وتوفر أربع مجالات مغناطيسية في كل نبضة تحكم. الشكل 7 يوضح الجزء الدوار والجزء الثابت في محرك الخطوة.



الشكل 5: أقطاب المحرك الكهربائي المستخدم.



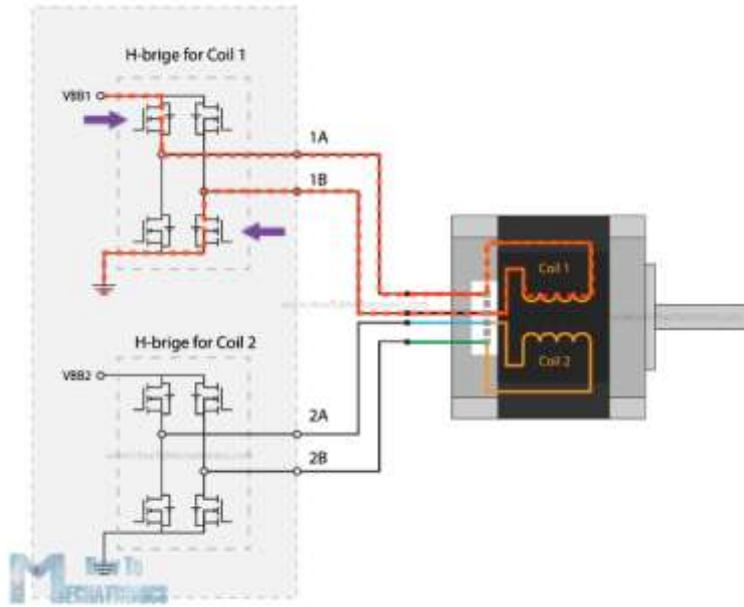
الشكل 6: الشكل الحقيقي للمحرك NEMA17 المستخدم.



الشكل 7: الجزء الثابت والجزء الدوار.

بالتالي فان 50 خطوة الخاصة بالجزء الدوار تضرب ب 4 مجالات مغناطيسية في ظل نبضة مشكلة 200 خطوة لإنجاز دورة كاملة للمحرك حيث ان دقة المحرك تصبح 1.8 درجة في كل خطوة. كما ذُكر سابقاً إن الجزء الثابت له طورين بالتالي كل طور له سلكين وبالمجمل نرى ان المحرك يتألف من 4 أسلاك (سلكين لكل طور) يمكننا ذلك من التحكم باتجاه الحركة أيضا عبر تغيير قطبية الجهود المطبقة على الملفات. الشيء الذي يجب أن نذكره أيضا هو أنه يمكننا توفير خصائص أداء مختلفة، مثل زيادة عزم الدوران أو المزيد من السرعة، اعتماداً على كيفية توصيل هذه الأسلاك بأطراف التحكم الأربعة.

ومع ذلك، مع هذا الشرح المختصر، نفهم الآن أنه لقيادة محرك خطوة، لا يمكننا توصيل الطاقة بشكل مباشر معه فقط لأنه لن يحدث شيء. بدلاً من ذلك، علينا تنشيط المرحلتين الحركيتين في كلا الاتجاهين، وتنشيط أو إرسال النبضات إليهم بترتيب معين، في تسلسل مناسب، لهذا السبب نحتاج إلى دارات قيادة للتحكم في المحركات. هناك العديد من أنواع وأحجام دارات القيادة، والتي تتوافق مع العديد من أنواع وأحجام محركات الخطوة. ومع ذلك، فإن مبدأ العمل الأساسي لهم جميعاً هو أن لديهم جسرين H يسمحان بتنشيط مراحل المحرك في كلا الاتجاهين. الشكل 8 يوضح كيفية توصيل المحرك بدارة القيادة.



الشكل 8: كيفية توصيل المحرك بدارة القيادة.

1.1.1.2. دارة القيادة

تم استخدام شريحة A4988 والتي تدعم خاصية الميكروستيب، وهذه الدارة تمكنا من قيادة والتحكم بمحرك خطوة ثنائي القطبية وتكمن ميزتها الاساسية بأننا نستطيع التحكم بالمحرك عبر قطبين تحكم فقط من المتحكم، واحد منهم يحدد جهة الدوران والاخر يتحكم بعدد الخطوات.



الشكل 9: دارة القيادة من النوع A4988 المستخدمة في المشروع.

هذه الدارة تدعم خمس حالات دقة مختلفة للتحكم:

1. خطوة كاملة.
2. $\frac{1}{2}$ خطوة.
3. $\frac{4}{1}$ خطوة
4. $\frac{8}{1}$ خطوة.
5. $\frac{16}{1}$ من الخطوة.

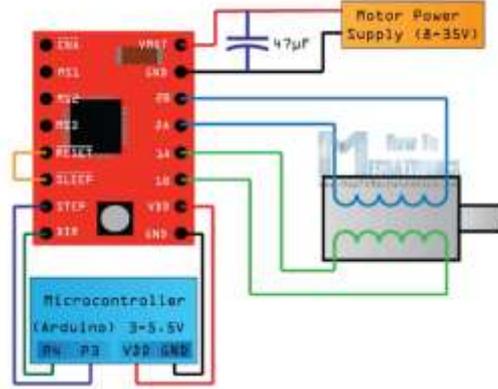
لها مقاومة متغيرة لتعديل التيار الخاص بالخرج ولحمايتها من التيارات الزائدة.

جهد التشغيل المنطقي بين 3 الى 5.5 فولط والتيار حوالي 2 امبير حوالي 1 امبير لكل طور كما يمكن اضافة مبرد خارجي لها. الجدول 1 يعرض خصائص هذه الدارة.

الجدول 1: خصائص دائرة القيادة [15].

| | |
|-------------------------------|-------|
| Minimum Logic Voltage: | 3V |
| Maximum Logic Voltage: | 5.5 V |
| Continuous current per phase: | 1 A |
| Maximum current per phase: | 2 A |
| Minimum Operating Voltage: | 8 V |
| Maximum Operating Voltage: | 35 V |

بالنسبة لأرجل الخرج الخاصة بهذه الدارة، نبدأ بالأرجل الاثنتان الأولى والثانية الزاوية العليا اليمينية وهما خاصتان بالتغذية، VDD و GND يجب توصيلهم بمنبع جهد خارجي بين 3 و 5.5 فولط. البنات الأربعة التالية يتم وصل المحرك بهم. البنات A1 و B1 يتم وصلهم على أطراف الملف الأول والبنات A2 و B2 يتم وصلهم على الملف الثاني.



الشكل 10: كيفية توصيل المحرك مع دائرة القيادة والمتحكم.

الجدول 2: كيفية التحكم بدقة دائرة القيادة.

| MS1 | MS2 | MS3 | Resolution |
|------|------|------|----------------|
| LOW | LOW | LOW | Full Step |
| HIGH | LOW | LOW | Half Step |
| LOW | HIGH | LOW | Quarter Step |
| HIGH | HIGH | LOW | Eighth step |
| HIGH | HIGH | HIGH | Sixteenth Step |

من أجل تغذية الملف نصل التغذية إلى البنات الاثنتان الباقية وهما الارجل VMOT و GND يتم وصلهم بمنبع تغذية بين 8 و 35 فولط. الأرجل الاثنتان الباقية للتحكم بالاتجاه وعدد الخطوات ويجب وصلهم الى منافذ الديجتال في الأردوينو. مع الرجل STEP نتحكم بالميكروستيب الخاص بالمحرك وكل نبضة ترسل إليه يتحرك المحرك خطوة واحدة وهذا ما يبسط عملية التحكم بالمحرك. هناك أرجل أخرى تسمى SLEEP ووضعها في حالة LOW سيدخل البورد في حالة ثبات عندما يكون المحرك في حالة عدم العمل. رجل ال RESET يتفعل على الحالة LOW وعند تفعيله لا يتحرك

المحرك أبدأ وسيتم تجاهل النبضات الواردة من المنفذ الخاص بالخطوة. يتم وصله مع الرجل SLEEP لعدم الحاجة للتحكم به. الجدول 2 يوضح كيفية التحكم بدقة دائرة القيادة.

الأرجل الثلاثة التالية MS1,MS2,MS3 خاصين باختيار أحد انماط التحكم تبعاً للجدول السابق، هذه البنات لديها مقاومات شد الى الأرضي بشكل داخلي. الرجل الاخيرة هي رجل خاصة بالتفعيل او عدم تفعيل الدارة ويتم تفعيل الدارة بجعلها في حالة LOW.

1.1.1.3 محرك DC 12 فولط

هو جهاز يحول طاقة التيار المتردد (التيار المتناوب) من مقبس الحائط إلى تيار مستمر (تيار مستمر) يمكن استخدامه لتشغيل الأجهزة الإلكترونية التي تتطلب 12 فولط من طاقة التيار المستمر. تُستخدم هذه المحولات بشكل شائع لتشغيل الأجهزة مثل أجهزة التوجيه وأجهزة المودم وغيرها من الأجهزة الإلكترونية الصغيرة. عادةً ما تحتوي على موصل أسطواني أو منفذ USB للاتصال بالجهاز وتأتي بأحجام وأشكال مختلفة اعتماداً على التطبيق المحدد. سيتم استخدامه في هذا العمل لتغذية الحمل وهو مروحة صغيرة تعبر عن الحمل المراد التحكم به من قبلنا. حيث أننا لا نحتاج لأكثر من 2 امبير و 12 فولط لتشغيل هذا الحمل عند السرعة الاسمية. الشكل 11 يعرض المحول الذي تم استخدامه.



الشكل 11: المحول (منبع الجهد) المستخدم.

1.1.1.4 حساس المسافة HC-SR04

يعد HC-SR04 جهازاً ميسور التكلفة وسهل الاستخدام لقياس المسافة ويتراوح مداها من 2 سم إلى 400 سم. يتكون المستشعر من محولات طاقة فوق صوتية. أحدها هو جهاز الإرسال الذي ينتج نبضات فوق صوتية والآخر هو جهاز استقبال يستمع إلى الموجات المنعكسة. إنه في الأساس سونار يستخدم في الغواصات لاكتشاف الأجسام تحت الماء. الشكل 12 والجدول 3 يعرضان شكل ومواصفات الحساس المستخدم.



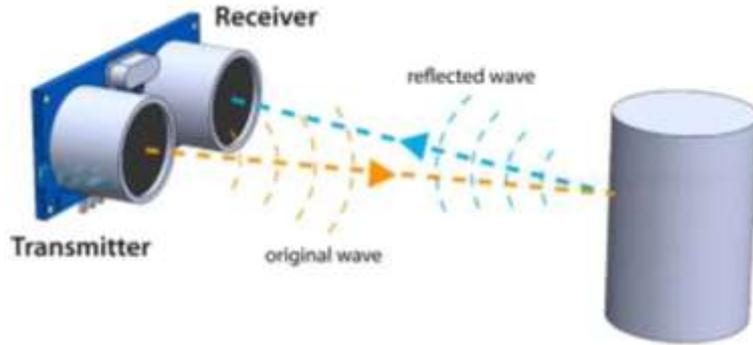
الشكل 12: الحساس HC-SR04 المستخدم [16].

يحتوي الحساس على 4 دبائيس كما هو موضح في الشكل 12. يتم وصل VCC و GND إلى دبائيس V5 و GND على Arduino، ويذهب Trig و Echo إلى أي دبوس Arduino رقمي. باستخدام دبوس Trig، نرسل الموجات فوق الصوتية من جهاز الإرسال، وباستخدام دبوس Echo، نستمتع إلى الإشارة المنعكسة.

يقوم مبدأ عمل هذا الحساس على الأمواج فوق الصوتية، حيث تصدر الموجات فوق الصوتية عند 40.000 هرتز والتي تنتقل عبر الهواء وإذا كان هناك شيء أو عائق في مساره، فسوف يرتد مرة أخرى إلى الحساس. بالنظر إلى وقت السفر وسرعة الصوت، يمكنه حساب المسافة، انظر الشكل 13. من أجل إنشاء الموجات فوق الصوتية، نحتاج إلى ضبط Trig pin على High State لمدة 10 μs . سيؤدي ذلك إلى إرسال الموجات فوق الصوتية من 8 دورات والذي ينتقل بسرعة الصوت. تنتقل دبابيس Echo على الفور إلى الوضع HIGH بعد إرسال الموجات فوق الصوتية ذي الدورة الثمانية، ويبدأ في الاستماع أو الانتظار حتى تنعكس تلك الموجة من جسم ما. إذا لم يكن هناك جسم أو نبضة منعكسة، فستنتهي مهلة دبوس Echo بعد 38 مللي ثانية ويعود إلى الحالة المنخفضة. إذا تلقينا نبضاً منعكساً، فسوف ينخفض دبوس Echo في وقت أقل من 38 مللي ثانية. وفقاً لمقدار الوقت الذي كان فيه دبوس Echo مرتفعاً، يمكننا تحديد المسافة التي قطعتها الموجة الصوتية، وبالتالي المسافة من المستشعر إلى الجسم. لهذا الغرض، لحساب المسافة يتم ضرب السرعة بالزمن، يمكن معرفة القيم الحقيقية لكل من السرعة والزمن. حيث أن الزمن هو مقدار الوقت الذي كان فيه دبوس Echo مرتفعاً، والسرعة هي سرعة الصوت وهي 340 متر/الثانية هناك خطوة إضافية يجب القيام بها، وهي قسمة النتيجة النهائية على 2. وهذا لأنه يتم قياس المدة التي تحتاجها الموجة الصوتية للانتقال إلى الجسم ومن ثم الارتداد والعودة إلى الحساس.

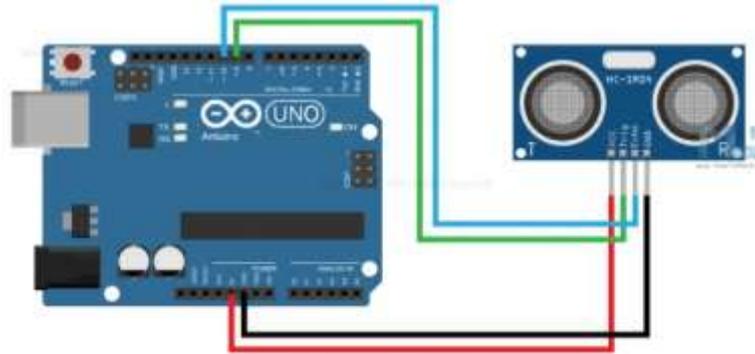
الجدول 3: خصائص الحساس المستخدم [16].

| | |
|---------------------|-----------------|
| Operating Voltage | 5V DC |
| Operating Current | 15mA |
| Operating Frequency | 40KHz |
| Min Range | 2cm / 1 inch |
| Max Range | 400cm / 13 feet |
| Accuracy | 3mm |
| Measuring Angle | <15° |
| Dimension | 45 x 20 x 15mm |



الشكل 13: مبدأ عمل الحساس [17].

توصيل الحساس بدارة الأردوينو موضح في الشكل 14، حيث يتم توصيل دبابيس الأرض و VCC للوحدة بالأرض ودبابيس 5 فولت على لوحة Arduino على التوالي ودبابيس المثلث والصدى بأي دبوس إدخال / إخراج رقمي على لوحة Arduino.



الشكل 14: كيفية توصيل الحساس HC-SR04 مع دارة الـ Arduino.

1.1.1.5 الحساس التقاربي التحريضي

الحساس (المستشعر) التحريضي هو نوع من أجهزة الاستشعار القريبة التي تكتشف وجود أو عدم وجود الأجسام المعدنية بدون تلامس مباشر. يعمل الحساس عن طريق توليد حقل كهرومغناطيسي وقياس التغيرات في هذا الحقل التي تسببها وجود جسم معدني. الشكل 15 يعرض الحساس التقاربي الذي تم استخدامه.



الشكل 15: الحساس التحريضي التقاربي الذي تم استخدامه.

1.1.1.6 الريليه

المُرْجِل هو مفتاح يعمل بالكهرباء يمكن تشغيله أو إيقاف تشغيله، والسماح للتيار بالمرور أم لا، ويمكن التحكم فيه بجهد منخفض، مثل 5V التي توفرها دبابيس Arduino. يعد التحكم في وحدة الترحيل باستخدام Arduino أمرًا بسيطًا مثل التحكم في أي إخراج آخر. تحتوي وحدة الترحيل هذه على قناتين (تلك المكعبات الزرقاء). هناك نماذج أخرى ذات قناة واحدة وأربع وثمانية قنوات. يجب أن يتم تشغيل هذه الوحدة بجهد 5 فولت، وهو مناسب للاستخدام مع الأردوينو. الشكل 16 يعرض المُرْجِل (الريليه) الذي تم استخدامه.

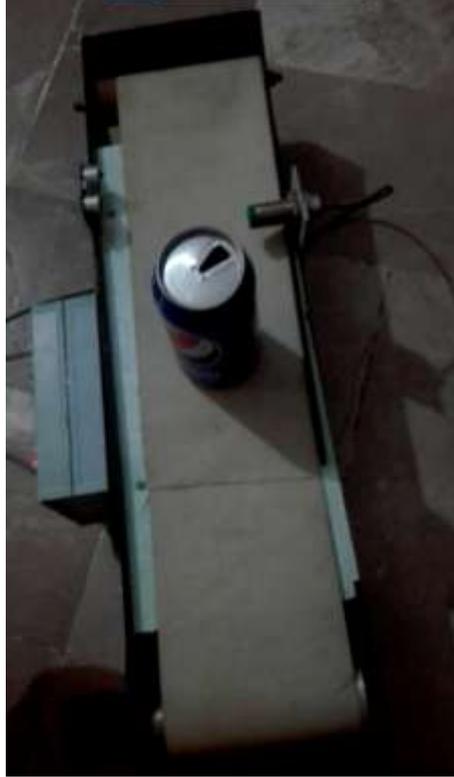


الشكل 16: الريليه المستخدم.

بعد الانتهاء من توصيل وتجميع القطع الخاصة بالمشروع تم تطبيقه بشكل عملي والنتيجة كانت كما هو موضح في الشكل 17، وتم تجريبه بنجاح كبير مع كل من المعلبات المعدنية والمعلبات الغير معدنية. تم إجراء التجربة على أكثر من 50 عينة مختلفة، تضمنت العينات 30 عينة عبارة عن علب معدنية بمقاسات مختلفة و20 عينة بلاستيكية و10 عينات من الكرتون. استطاع النظام فرز العلب المعدنية بدقة 100% والسبب الأساسي في هذا الأمر هو دقة الحساس التحريضي التقاربي الموضح في الشكل 15 في اكتشاف الأجسام المعدنية.

العينات التي تم تجريبها ذات أبعاد وأشكال مختلفة وهي وفق التالي:

- ✓ بالنسبة للشكل: تم اختبار ثلاثة أنواع من الأشكال، الاسطوانية المقطع، المستطيلة المقطع ومربعة المقطع.
- ✓ بالنسبة للأبعاد:
- الارتفاع يتراوح بين الـ 5-20 سم.
- العرض بين الـ 5-10 سم.
- الطول بين الـ 5-15 سم.
- بالنسبة للأشكال ذات المقطع الدائري: قطر المقطع كان بين الـ 5-10 سم.



الشكل 17: الشكل الحقيقي للسير أثناء عملية التشغيل.

من خلال ما سبق ومن خلال التجارب التي تم إجراؤها يمكن القول إن استخدام برنامج Arduino IDE في عمليات فرز المنتجات يوفر فرصاً كبيرة للابتكار، لكنه يأتي مع مجموعة من التحديات التي يجب على المستخدمين التعامل معها لضمان نجاح الأنظمة المدمجة. فيما يلي أبرز التحديات:

- ✓ تعقيد البرمجة: يحتاج المستخدمون إلى معرفة جيدة بلغة البرمجة ++C/C لفهم كيفية كتابة الكود بشكل فعال. يمكن أن يكون هذا تحديًا للمبتدئين أو غير المتخصصين.
- ✓ التحكم في الأجهزة: يتطلب التحكم في المحركات والمستشعرات دقة عالية، وأي خطأ في البرمجة أو الاتصال يمكن أن يؤدي إلى أخطاء في الفرز، مما يؤثر على كفاءة العملية.
- ✓ التكامل مع الأنظمة الأخرى: قد تكون هناك صعوبات في دمج نظام Arduino مع أنظمة إدارة المخزون أو أنظمة الإنتاج الأخرى، مما يتطلب مزيدًا من البرمجة والتخصيص.
- ✓ الاستجابة للبيانات: معالجة البيانات من المستشعرات في الوقت الفعلي قد تكون تحديًا، خاصةً عند التعامل مع كميات كبيرة من البيانات أو الحاجة إلى اتخاذ قرارات سريعة.
- ✓ التكرار والتعديل: قد يتطلب تحسين النظام أو تعديله إجراء تغييرات متكررة على الكود، مما يمكن أن يكون مرهقًا ويستغرق وقتًا طويلاً.
- ✓ الموثوقية والأمان: ضمان موثوقية النظام يعد أمرًا حيويًا، حيث أن أي عطل أو خطأ يمكن أن يؤدي إلى خسائر مالية أو تلف المنتجات. بالإضافة إلى ذلك، يجب مراعاة جوانب الأمان لحماية النظام من الهجمات المحتملة.
- ✓ تدريب المستخدمين: يتطلب استخدام Arduino IDE تدريبًا مستمرًا للمستخدمين لضمان فهمهم الكامل للبرنامج والمكونات المستخدمة.

الاستنتاجات والتوصيات:

الاستنتاجات

- التكلفة الاقتصادية لمثل هذا العمل تعتبر مقبولة جدًا مقارنة بالهدف التي تحققه. حيث أن سعر مكونات هذا العمل لم تتجاوز الـ 600 ألف ليرة سورية، وعلى اعتبار أن النموذج الذي تم بناؤه يعتبر صغير نسبيًا فإن بناء النموذج المناسب للصناعة المحلية سيحتاج إلى تكلفة أكبر من هذه التكلفة بشكل كبير. إلا أن وجود مثل هذا الجهاز سيقبل من تكاليف اليد العاملة بنسبة تتراوح بين الـ 3-7% خلال العام وبالأخص إذا ما تم إضافة مهام جديدة للروبوت بحيث يكون قادر على فرز المنتجات بحسب شكلها وحجمها.
- إن دارات الأردوينو تعتبر عالية الجودة وقليلة الثمن والتي تحقق نتائج جيدة جدا في مجال المتحكمات.

التوصيات

- يجب استخدام مثل هذا النوع من الدارات والبرمجيات لتحقيق مثل هذه الأهداف بسبب توفرها ورخص ثمنها وتحقيقها للكثير من المتطلبات الصناعية.

التوصيات للأعمال المستقبلية

- توسيع المشروع ليكون قادر على فرز المنتجات تبعا لأحجامها وأشكالها.
- دمج نظام الـ Arduino مع أنظمة إدارة المخزون مما يسرع من عمليات الفرز والتخزين في آن واحد.

References:

- [1] T. Dewi, P. Risma, and Y. Oktarina, "Fruit sorting robot based on color and size for an agricultural product packaging system," *Bull. Electr. Eng. Informatics*, vol. 9, no. 4, pp. 1438–1445, Aug. 2020, doi: 10.11591/EEI.V9I4.2353.
- [2] S. Tripathi, S. Shukla, S. Attrey, A. Agrawal, and V. S. Bhadoria, "Smart Industrial Packaging and Sorting System," pp. 245–254, 2020, doi: 10.1007/978-981-15-3647-2_18.
- [3] Z. Zhang, Y. Lu, and R. Lu, "Development and evaluation of an apple infield grading and sorting system," *Postharvest Biol. Technol.*, vol. 180, p. 111588, Oct. 2021, doi: 10.1016/J.POSTHARVBIO.2021.111588.
- [4] B. Zou, R. de Koster, Y. Gong, X. Xu, and G. Shen, "Robotic Sorting Systems: Performance Estimation and Operating Policies Analysis," <https://doi.org/10.1287/trsc.2021.1053>, vol. 55, no. 6, pp. 1430–1455, Aug. 2021, doi: 10.1287/TRSC.2021.1053.
- [5] A. M. Chaudry, "Using Arduino Uno Microcontroller to Create Interest in Physics," *Phys. Teach.*, vol. 58, no. 6, pp. 418–421, Sep. 2020, doi: 10.1119/10.0001841.
- [6] E. K. Kurelovic, "Learning through Arduino Projects: Does Gender Matter?," *Int. Soc. Technol. Educ. Sci.*, pp. 36–43, 2022, Accessed: 28-Aug-2024. [Online]. Available: <https://www.pwc.co.uk/who-we-are/women-in-technology/time-to-close-the-gender-gap.html>.
- [7] W. McKinney, "Python for Data Analysis," *O'Reilly Media, Inc.*, 2017, [Online]. Available: <http://oreilly.com/catalog/errata.csp?isbn=9781491957660>.
- [8] A. IDE, "Software | Arduino," 2024. <https://www.arduino.cc/en/software> (accessed Aug. 30, 2024).
- [9] M. Duncan, "Getting started guide Eagle v6 : learning to fly with Eagle," p. 206, 2013.
- [10] M. Scarpino, "Designing circuit boards with EAGLE : make high-quality PCBs at low cost," 2014.
- [11] S. Monk, "Make your own PCBs with EAGLE : from schematic designs to finished boards," 2014.
- [12] M. Kuther, "PCB-Design: Wie wichtig sind Communities für PCB-Entwickler?," *Elektron. Prax.*, Nov. 2013, Accessed: 30-Aug-2024. [Online]. Available: <https://www.elektronikpraxis.vogel.de/distribution/articles/426094/>.
- [13] SOLIDWORKS, "SOLIDWORKS | 3D CAD Design Software & PDM Systems." <https://www.solidworks.com/> (accessed Aug. 30, 2024).
- [14] J. E. Akin, "Finite Element Analysis Concepts via SolidWorks," 2009.
- [15] Howtomechatronics, "How To Control Stepper Motor with A4988 Driver and Arduino." <https://howtomechatronics.com/tutorials/arduino/how-to-control-stepper-motor-with-a4988-driver-and-arduino/> (accessed Aug. 30, 2024).
- [16] Cursos.mcielectronics, "¿Cómo funciona el sensor ultrasónico HC-SR04 y cómo se conecta con Arduino? - MCI Educación." <https://cursos.mcielectronics.cl/2022/12/06/como-funciona-el-sensor-ultrasonico-hc-sr04-y-como-se-conecta-con-arduino/> (accessed Aug. 30, 2024).
- [17] "AN AFFORDABLE SMART PRODUCT FOR PERFORMING ALL THE DAILY TASKS BLIND PEOPLE NEED," *J. Southwest Jiaotong Univ.*, vol. 58, no. 4, 2023, doi: 10.35741/ISSN.0258-2724.58.4.10.

