Design Of A Transport Robot In An Industrial Environment

Dr. Mohammad Khnissi*

(Received 11 / 10 / 2024. Accepted 19 / 11 / 2024)

□ ABSTRACT □

Designing a transport robot in an industrial environment represents an important step towards achieving full automation in factories. By integrating modern technology into industrial processes, productivity can be improved, safety can be enhanced, and the burden on workers can be reduced. This work deals with the design of a transport robot dedicated to working in industrial environments, aiming to improve efficiency and reduce costs in transportation and storage operations. The main objective of designing the robot is to develop a system capable of moving independently and interacting with different elements in the industrial environment, such as machines, equipment, and employees. In this research, a model of a robot is presented that is controlled in two ways: the first is using image processing, where the path is drawn by the computer and an algorithm is applied to determine the path coordinates, then the path coordinates are sent to the robot, which walks along a specific path, sending a message informing the user in the event of an obstacle. The second method involves the robot searching for an object of a specific color that is determined by the user and gives an alarm signal in the event of the object's presence. In the first part of this work, the robot was designed and programmed using the computer, and in the second part of the work, the robot was designed in real form and its correct operation was verified. The robot was tested in different working conditions and its work was verified accurately as planned.

Keywords: Transport **r**obot, Arduino UNO, Encoder, Ultrasonic, L298N, Eagle.

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 روبوت نقل ضمن بيئة صناعية

د. محمد خنيسي*

(تاريخ الإيداع 11 / 10 / 2024. قُبِل للنشر في 19/ 11 / 2024)

□ ملخّص □

يمثل تصميم روبوت نقل ضمن بيئة صناعية خطوة هامة نحو تحقيق الأتمتة الكاملة في المصانع. من خلال دمج التكنولوجيا الحديثة في العمليات الصناعية، يمكن تحسين الإنتاجية وتعزيز السلامة وتقليل الأعباء على العمال. يتناول هذا العمل تصميم روبوت نقل مخصص للعمل ضمن بيئات صناعية، حيث يهدف إلى تحسين الكفاءة وتقليل التكاليف في عمليات النقل والتخزين. يتمثل الهدف الرئيسي من تصميم الروبوت في تطوير نظام قادر على التنقل بشكل مستقل، والتفاعل مع العناصر المختلفة في البيئة الصناعية، مثل الآلات، والمعدات، والموظفين.

تم في هذا البحث تقديم نموذج لروبوت يتم التحكم به بأسلوبين الاول باستخدام معالجة الصورة حيث يتم رسم المسار عن طريق الحاسب ويتم تطبيق خوارزمية لمعرفة احداثيات المسار ثم يتم ارسال احداثيات المسار إلى الروبوت الذي يسير وفق مسار محدد مع ارسال رسالة تخبر المستخدم في حال وجود حاجز، أما الأسلوب الثاني فيقوم الروبوت فيه بالبحث عن جسم ذو لون معين يتم تحديده من قبل المستخدم ويعطي إشارة انذار في حال وجود الجسم.

تم في الجزء الأول من هذا العمل تصميم الروبوت وبرمجته باستخدام الحاسب، وفي الجزء الثاني من العمل تم تصميم الروبوت بشكل حقيقي والتأكد من عمله بشكل صحيح. تم اختبار الروبوت في ظروف عمل مختلفة وتم التأكد من دقة عمله وفق ما هو مخطط له.

الكلمات المفتاحية: روبوت نقل، المتحكم الصغري، المشفر الضوئي، الحساس الفوق صوتي، دارة القيادة.

حقوق النشر : مجلة جامعة تشرين- سورية، يحتفظ المؤلفون بحقوق النشر بموجب الترخيص CC BY-NC-SA 04

* **أستاذ مساعد – قسم الميكاترونيك– كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية– جامعة تشرين – اللاذقية – سورية.**

ايميل: dr.mohamadkhnese@tishreen.edu.sy

مقدمة:

لقد توسع مجال تطبيقات معالجة الصور حتى شمل مختلف أنشطة الحياة، فأصبح يشمل (على سبيل الذكر لا الحصر) الطب والقضاء والإذاعة المرئية والاتصالات والتعليم وأبحاث الطاقة النووية، وأصبح الإلمام بمبادئ معالجة الصورة ليس أم اًر مرغوباً فحسب بل ضرورة في كثير من الحالات.

في الحقيقة يرجع الاهتمام بتقنيات معالجة الصور الرقمية إلى أوائل العشرينات عندما أرسلت الصور الرقمية لأنباء الأحداث العالمية لأول مرة بواسطة كابل يجرب بين نيويورك ولندن.

لكن تطبيقات مفاهيم معالجة الصور الرقمية لم تصبح واسعة الانتشار إلا في أوساط الستينات عندما بدأت حواسيب الجيل الثالث تقدم إمكانات السرعة والتخزين اللازمة للتنفيذ العملي لخوارزميات معالجة الصور.

منذ ذلك الوقت شهد هذا المجال نمواً نشطاً لأنه أصبح موضوع بحث ودراسة متصلين بعدة مجالات مثل الهندسة وعلوم الحاسب والمعلومات والإحصاء والفيزياء والكيمياء والبيولوجيا والطب. إن نتائج هذه الجهود أثبتت أهمية تقنيات معالجة الصور وسائل متنوعة يمتد مجالها من استعادة وتحسين الصور المرسلة من مجسات ومشعرات فضائية إلى معالجة بصمات الأصابع من أجل المعاملات التجارية. ونظرا لتعدد تطبيقات معالجة الصورة وتشعبها فقد كان لهندسة الميكاترونيك نصيب كبير في تطبيقات معالجة الصورة نظرا لكون علم الميكاترونيك هو العلم الذي جمع بين الهندسات الميكانيكية والكهربائية والبرمجية في عملية تصميم وتطوير الأنظمة التحكمية الذكية.

ومن بين تطبيقات الصورة المختلفة في مجال التحكم وقع اختيارنا على التحكم بحركة ربوت باستخدام معالجة الصورة كتطبيق تحكمي.

إن الطبيعة هي مصدر الهام البشر فقد تبنى الناس حلولا كثيرة لمشاكلهم من الطبيعة وهم مستمرون في ذلك. الروبوتات هي من بين أكبر التحديات التي تعرض لها الإنسان حيث يحاول أن يخلق صديقا له من اجل تلبية احتياجاته المختلفة.

تعود محاولات خلق رجال آليين وهياكل بشرية متحركة أو تماثيل بأعضاء متحركة إلى آلاف السنين عند الصينين والبابليين والفراعنة والإغريق، ودار الحديث بين أوساط الكيميائيين حول إمكانية "صنع" إنسان حي في القرون الوسطى.

تم تقديم كلمة روبوت لأول مّرة في مسرحية لكارل تشابيك عام 1920 وكان عنوان المسرحية وقتها عمال عالميون لروسوم "Rossum's Universal Robots" [4]–[1] وكلمة روبوت في اللغة التشيكية واللغات الصربية بشكل عام تعني العامل. ومنذ ذلك التاريخ بدأت هذه الكلمة تنتشر في الكتب وأفلام الخيال العلمي الأولى التي أعطت فكرة وتصور علمي عن هؤلاء الرجال الآليين الذين سيغزون العالم. وأعطت أفقا كبيرا ووعودا عظيمة الأعجوبة للآلي الذي سيتدخل في أمور كثيرة وأهمها الصناعة. وقد تم وضع الكثير من الدراسات والتوقعات عن هذا الإنسان الآلي التي فشلت فيما بعد.

ولكن بعد الكثير من وضع التصاميم الجيدة والانتباه الجاد إلى الكثير من التفصيلات والأمور الدقيقة، نجح المهندسون في تقديم أنظمة آلية متنوعة للكثير من الصناعات المتوقعة. واليوم، وبسبب التطور الهائل للحواسيب والذكاء الاصطناعي والتقنيات والهوس في تطوير البرامج الفضائية فنحن على حافة إنجاز كبير في مجال علوم تصميم الروبوتات.

حددت الهيئة الدولية للمعايير والأنظمة International Organization For Standardizations (ISO 8373) [5] التعريف الرسمي للروبوت على أنه ذراع مقاد آلياً، قابل للبرمجة، متعدد الوظائف، مبرمج للعمل في ثلاث محاور أو أكثر، ثابت في المكان أو متحرك، قابل للاستخدام لأغراض صناعية.

وعّرفه المعهد الأمريكي للروبوت (Robotics Institute Of America) [6] على أنه مشّغل ميكانيكي قابل للبرمجة، متعدد الوظائف والمهام مصمم لحمل ونقل القطع والمواد والمعدات والأجهزة وفق مسارات محددة ومبرمجة سلفاً لإنجاز وظائف متعددة.

تطور الاهتمام بالأشخاص الآليين في القرن العشرين تطورا سريعاً وارتبط بالتطور السريع لتقنيات الهندسة الالكترونية. ظهرت في عام 1961 مصطلح الروبوت الصناعي Industrial Robot [7] الذي انتشر استعماله في صناعة السيارات. حيث ظهرت أول الروبوتات الصناعية المستعملة للمعالجات الصغرية Microprocessors [8] والتي تستطيع الرؤية في عام 1981–1980 في ماكينات اللحام القوسي، وفي اختيار الجودة.

في القرن الواحد والعشرين دخلت تقنية الروبوت مرحلة جديدة تميزت بصناعة الروبوت الذكي [9]. يعتبر التوجه في صناعة الروبوت في القرن الحالي هو تصغير حجم الروبوت وتصنيع أنظمة صناعية مؤتمتة بالكامل. يتم في الوقت الحالي استخدام الروبوتات الصناعية في الكثير من مجالات الصناعة ويوجد الكثير من الأبحاث الأكاديمية في هذا المجال بهدف تطوير هذه الروبوتات قدر المستطاع لأن ذلك يحسن من كفاءة الصناعة ويقلل من تكاليف الإنتاج [10], [11], [20]–[24], [12]–[19].

تم في هذه الدراسة الاعتماد على متحكم من نوع أردوينو أونو [26] ,[25] بالإضافة إلى لغة البرمجة Python [27] من أجل معالجة الصورة وإصدار الأوامر البرمجية.

أهمية البحث وأهدافه:

يهدف هذا البحث إلى تقديم نموذج لروبوت يتم التحكم به بأسلوبين الاول باستخدام معالجة الصورة حيث يتم رسم المسار عن طريق الحاسب ويتم تطبيق خوارزمية لمعرفة احداثيات المسار ثم يتم ارسال احداثيات المسار إلى الروبوت الذي يسير وفق مسار محدد مع ارسال رسالة تخبر المستخدم في حال وجود حاجز اما الأسلوب الثاني فيقوم الروبوت فيه بالبحث عن جسم ذو لون معين يتم تحديده من قبل المستخدم ويعطي إشارة انذار في حال وجود الجسم.

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 المشروع بشكل عملي وتم التأكد من عمل الروبوت بشكل صحيح.

طرائق البحث ومواده:

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

- منظومة التحكم وتتضمن الأجزاء التالية: المتحكم الصغري Arduino UNO، بطاريات لإمداد الدارة بالطاقة، مداخل ومخارج الأردوينو، المعالج الدقيق والذاكرة).
- منظومة التحسس وتتضمن الأجزاء التالية: المشفر الضوئي، حساس الـ Ultrasonic، الكاميرا الرقمية.
- منظومة القيادة والتي تتضمن بشكل أساسي دارة القيادة L298N.
- المحركات المستخدمة في الدارة.

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

- برنامج الـ Eagle.
- الدارة العملية.

1. نمذجة الروبوت

يجب أن تتم نمذجة الروبوت وفق الخطوات التالية:

النمذجة الهندسّية: تتعلق بفراغ عمل الروبوت الذي يشكله الروبوت وتتعلق بالشكل الهندسي للروبوت.

النمذجة الكينيماتيكيّة: تستخدم من أجل تحديد موقع وإزاحة وتوجه العنصر النهائي للروبوت (الجهاز الطرفي) كتابع للإحداثيّات المتشكلة ولسرعات وتسارع مفاصل الروبوت.

النمذجة الديناميكّية: يأخذ بعين الاعتبار العلاقة بين القوى والعزوم اللازمة لتحريك مفاصل الروبوت والإحداثيّات المتشكلة.

النتائج والمناقشة:

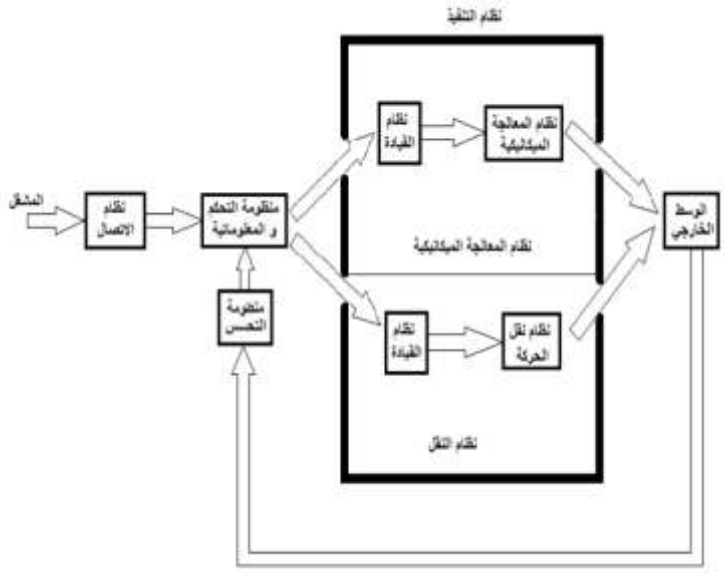
يتضمن هذا العمل قسمين أساسيين، القسم الأول هو القسم الإلكتروني للعمل والذي تم فيه تجهيز كل ما يخص هذا العمل من دارات وبرامج على الكمبيوتر، والقسم الثاني هو القسم العملي التصميمي والذي تم فيه نقل التصميم مع البرمجة إلى الواقع، وفيما يلي سنورد كل ما يخص هذين القسمين.

1.1. القسم الإلكتروني للمشروع

1.1.1. المخطط الصندوقي للروبوت

يبين الشكل 1 المخطط الصندوقي للروبوت. يتألف المخطط الصندوقي للروبوت بشكل أساسي من:

- ✓ المنظومة التنفيذية: servo system وتحتوي على منظومة التشغيل أو المعالجة الميكانيكية (منظومة واحدة أو عدة منظومات) Manipulator system ومنظومة الحركة أو النقل Transport system.
- ✓ منظومة المعلوماتية والتحكم Informatics and control system.
- ✓ منظومة التحسس: Sensors system التي تؤمن المعلومات عن الوسط الخارجي.
- ✓ منظومة الاتصال Interface مع المشغل (المخّدم Operator).



الشكل 1: المخطط الصندوقي للروبوت.

1.1.1. منظومة التحكم

لعبت المعالجات الصغرية والمتحكمات الصغرية دوراً كبيراً في تكنولوجيا وتطور الروبوتات المعاصر. سمحت المعالجات والمتحكمات الصغرية منذ عام 1975 بإمكانية قيادة وبرمجة روبوتات معقدة ومتعددة درجات الحرية. منظومة التحكم التي سيتم استخدامها في هذا العمل تتألف من الأجزاء التالية:

1.1.1.1. المتحكم الصغري Arduino UNO

هي عبارة عن لوحة تطوير الكترونية تتكون من دارة الكترونية مفتوحة المصدر مع متحكم دقيق على لوحة واحدة يتم برمجتها عن طريق الكمبيوتر وهي مصممة لجعل عملية استخدام الالكترونيات التفاعلية في مشاريع متعددة التخصصات أكثر سهولة، انظر الشكل 2، [28].

الشكل 2: أردوينو أونو.

ويستخدم الأردوينو بصورة أساسية في تصميم المشاريع الالكترونية التفاعلية أو المشاريع التي تستهدف بناء حساسات بيئية مختلفة مثل (درجات الحرارة – الرياح – الضغط.. الخ) ويمكن توصيل أردوينو ببرامج مختلفة على الحاسب الشخصي.

وتعتمد الأردوينو في برمجتها على لغة البرمجة مفتوحة المصدر وتتميز أنها تشبه لغة (C++ وتعتبر من أسهل لغات البرمجة المستخدمة في كتابة برامج المتحكمات الدقيقة.

للأردوينو العديد من الأشكال والحجوم المختلفة ونحن قد تم استخدام الـ Arduino Uno في هذا المشروع. وهي دارة الكترونية صغيرة تستخدم في برمجة متحكمة من شركة ATmega328 وتوفر هذه الدارة منافذ لتوصيل المكونات الالكترونية إلى المتحكمة مباشرة عن طريق (14 مدخل أو مخرج) من النوع الرقمي Digital In/Out من هذه الـ 14 يوجد 6 يمكن استخدامها كمخارج.

كما تحتوي الدارة على مهتز كريستال بتردد MHz16 بالإضافة إلى مدخل USB من أجل التواصل مع الحاسب وهنالك مدخل للطاقة منفصل، بالإضافة إلى ICSP header والذي يعتبر طريقة إضافية لبرمجة المتحكمة وهي لاتزال موصلة بالبورد (بخلاف الـ USB).

1.1.1.2. إمداد الدارة بالطاقة

يمكننا إمدادها بالطاقة إما من خلال منفذ الـ USB فقط أو عن طريق استخدام مصدر خارجي للكهرباء كمحول AC/DC ليمد الدارة بالجهد اللازم للعمل أو حتى عن طريق بطارية 9 فولط او 4 بطاريات 1.5 فولط حيث يتم توصيل طرفي البطارية إلى مدخل الأرضي GND والـ Vin في الدارة.

تستطيع الدارة العمل على جهد يتراوح بين الـ 6 والـ 20 فولط لكن يجب الانتباه حيث أنه إذا قمنا بتأمين جهد أقل من 7 فولط فإن المخرج المتحكمة Pin 5v قد لا يستطيع تأمين جهد خرج يبلغ ال 5 فولط المطلوب وقد يؤدي إلى عدم

استقرار الدارة أما إذا قمنا بتزويد الدارة بجهد أعلى من 12 فولط فإنه قد يؤثر على عنصر تنظيم الجهد voltage regulator ويؤدي إلى ارتفاع درجة حرارته مما يؤدي إلى تلف البورد لذا فإن مجال الجهد الذي يفضل استخدامه هو من 7 إلى 12 فولط. الشكل 3 يوضح مصادر تغذية الأردوينو التي تم استخدامها في هذا المشروع.

الشكل 3: مصادر تغذية الأردوينو.

1.1.1.3. مداخل ومخارج الأردوينو

Vin: جهد الدخل عندما نستخدم مصدر طاقة خارجي يمكننا تأمين الجهد من خلال هذا المدخل إذا كنا نقوم بتأمين الطاقة للدارة من خلال مدخل المحول يمكننا الوصول له من خلال هذا المدخل أيضا.

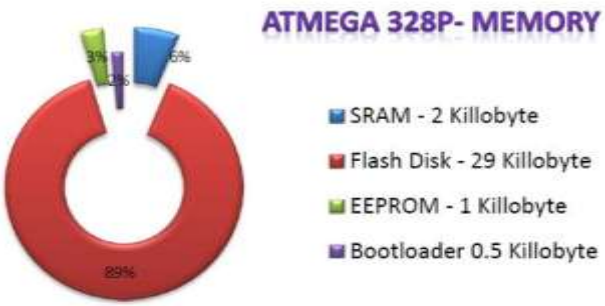
V5: جهد منتظم يستخدم لتأمين الطاقة للعناصر المستخدمة على الدارة وسوف نستخدمه لتوفير الطاقة للقطع الالكترونية التي سنضيفها، قد يأتي هذه الجهد من خلال Vin عبر منظم جهد داخلي، أو تأمينه من خلال منفذ الـ USB أو من خلال أي مصدر جهد منتظم بقيمة 5 فولط.

V3.3: مصدر للجهد بقيمة 3.3 فولط مؤمن من قبل منظم الجهد الداخلي للدارة و أقصى قيمة لسحب التيار من خلال هذا الخط هو 50 ميلي أمبير.

GND: هو الخط الأرضي.

1.1.1.4. المعالج الدقيق والذاكرة Microprocessor

المتحكمات الدقيقة أشبه بوحدة حاسب ألي صغيرة الحجم وتحوي المتحكمة الدقيقة ATMEGA328 على معالج بسرعة 16 ميغا هرتز وذاكرة كلية تساوي 32 كيلو بايت.



الشكل 4: مواصفات المتحكم المستخدم.

مواصفات المتحكم الذي تم استخدامه موضحة في الشكل 4 ويمكن تلخيصها كما يلي [29]:

Bootloader: السوفت وير المسؤول عن كيفية فهم الدارة للغة الـ ARDUIN C.

SRAM: تعتبر الذاكرة المستخدمة في تسجيل المتغيرات بصورة مؤقتة.

Flash Disk: مساحة تخزينية تستخدم في تخزين البرنامج الذي سنكتبه لتشغيل المتحكمة.

EEPROM: الذاكرة المسؤولة عن تسجيل بعض المتغيرات بصورة دائمة داخل المتحكمة وتبقى محتفظة بقيمتها حتى بعد فصل الكهرباء، أي أنها تشابه الى حد ما الـ Hard Disk الخاص بالحاسب المحمول.

1.1.2. منظومة التحسس

أصبحت الحساسات في وقتنا الحاضر ضرورة أساسية في التطبيقات الصناعية. ويتطلع الصناعيون اليوم باتجاه قطع مدمجة من تجهيزات الحاسب المتحكم بها. في الماضي، حيث كان العامل هو المصدر لكل المعلومات حول عملية المعالجة وكان على العامل أن يعرف فيما إذا كانت هناك قطع متوفرة، أو أي من القطع كانت جاهزة، وهل هي صالحة أم فاسدة، وهل الأدوات في حالة جيدة، وهل مكان التثبيت مفتوح أم مغلق، وهكذا ... وبالتالي فإنه كان يتوجب على العامل أن يتحسس المشكلات بنفسه في العملية الإنتاجية أما الآن تستخدم الحواسيب في العديد من المجالات الصناعية التي تستخدم نظام المتحكمات للتحكم بحركة وتتابع الآلات. حيث أن النظم المعتمدة على المتحكمات الصغرية أكثر سرعة ودقة في العمل وإنجاز المهام، وكذلك تقوم باكتشاف وتفحص عمليات المعالجة بنفسه.

إن الحساسات في الحقيقة، تنجز مهام بسيطة وبكفاءة عالية وبدقة أكبر مما يمكن أن يفعله الأشخاص، وإن الحساسات أكثر سرعة كما أن الأخطاء المرتكبة فيها تكون قليلة، ولقد عملت الدارسات من أجل تقييم كيفية تأثير الكائن الحي على تكرار وفحص المهام.

إن تعدد أنواع الحساسات وتعقيدات استخدامها في حل مشاكل التطبيقات ينمو يومياً، حيث دخلت حساسات جديدة لسد الاحتياجات، وهناك مجلات مكرسة لمواضيع الحساسات.

وفي المشروع لدينا "Encoder مشفر ضوئي" يربط مع محور المحرك لحساب عدد دورات المحرك من اجل التوضع الدقيق لموقع الروبوت.

1.1.2.1. المشفر الضوئي Encoder

هو جهاز يستخدم لقياس سرعة وعدد دورات المحركات الكهربائية حيث يربط مع محور المحرك الذي يجب انو تكون سرعته اقل او تساوي سرعة المشفر، الشكل 5، ويتألف من الأجزاء التالية:

1. عدسة ضوئية صغيرة
2. شريحة الكترونية تفيد في حساب عدد دوران المحرك.
3. المحور Shaft: هو الجزء الذي يتم توصيله بالمحرك.
4. قرص دائري من الزجاج مقسوم إلى مجموعة من الدوائر ذات مركز واحد ومقسمة صوليا بشكل هندسي.

وللمشفر نوعان:

- مشفر تزايدي.
- مشفر مطلق.

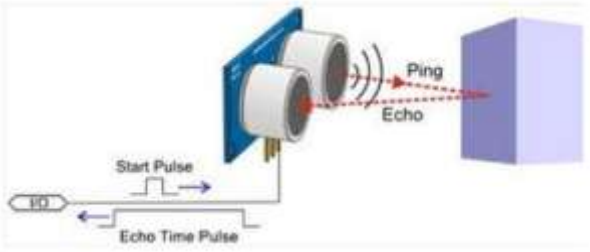
الشكل 5: المشفر الضوئي.

طريقة عمل المشفر

عندما يدور المحرك يدور معه المحور وبالتالي يدور القرص الزجاجي فتقوم العدسة بدورها ففي عدة اجزاء من الثانية تقوم بعد دورات المحرك وتقوم بنقل العدد إلى الدارة الإلكترونية التي تحويل هذه الإشارة إلى موجات مربعة مقسمة إلى أربع نبضات [30].

1.1.2.2. حساس الـ Ultrasonic

ترتكز ألية عمل هذا الحاس على إطلاق موجات عالية التردد والتي عند اصطدامها بجسم ما ترتد هذه الموجات على شكل صدى Echo، انظر الشكل 6. حساس الـ Ultrasonic المستخدم في هذا المشروع موضح في الشكل 7.



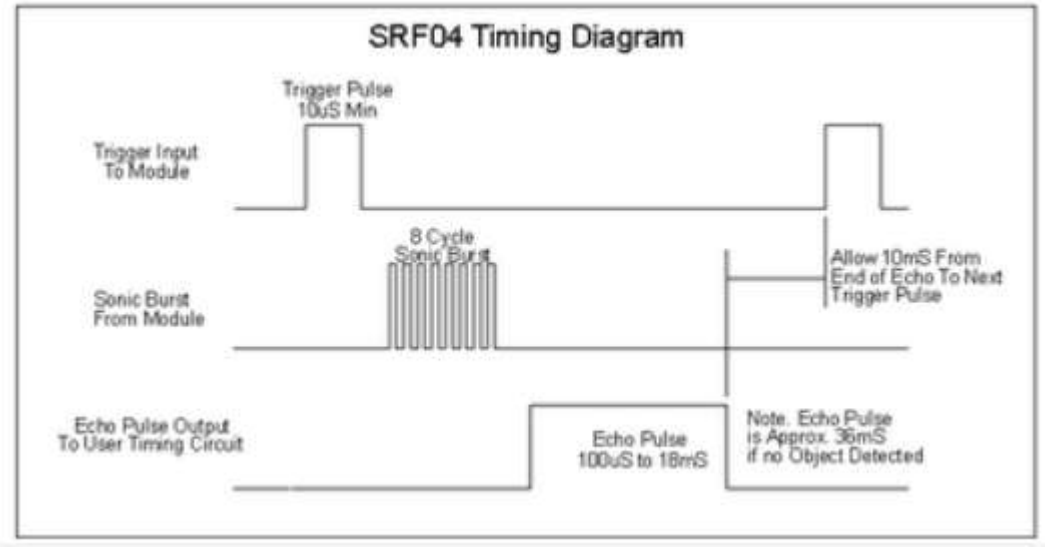
الشكل 6: مبدأ عمل الحساس.

الشكل 7: حساس الـ Ultrasonic المستخدم في المشروع.

يمكننا هذا الحساس من معرفة المسافة بشكل دقيق بينه وبين الأجسام التي امامه حيث يكفي أن نعرف سرعة هذه الموجات، وأن نعرف الفرق بين زمن الارسال وزمن الارتداد للصدى وبهذا يمكننا معرفة المسافة حسب قانون نيوتن والذي يقول إن المسافة = السرعة X الزمن.

ستجد تطبيقات هذه الطريقة في الخفاش، الغواصات، الرادارات ..... كما ممكن ان نبني من خلاله جهاز لقياس السرعة عن طريق ارسال اشارة اولى واستقبال صداها وحساب المسافة كما في ذكرنا سابقا ومن ثم تكرار العملية بعد زمن واستخدام معادلة السرعة لحساب السرعة، السرعة = (المسافة الأولية–المسافة النهائية) / الزمن.

ليبدأ الحساس العمل يتم قدحه بنبضة قدح ثم يقول المرسل في الحساس بإرسال 8 نبضات بتردد 40 KHz ثم ينتظر ان يصله صدى للنبضات التي ارسلها والتي يستقبلها مستقبل الحساس وفي حال وفي حال تجاوز زمن الانتظار 36 ms هذا يعني ان الاشارة لم تصطدم بجسم، مخطط عمل الحساس موضح في الشكل 8.



الشكل 8: مخطط عمل الحساس.

1.1.2.3. الكاميرا الرقمية

تحتوي الكاميرا على حساس CCD وفيما يلي سوف نتحدث عن هذا الحساس والية عمله:

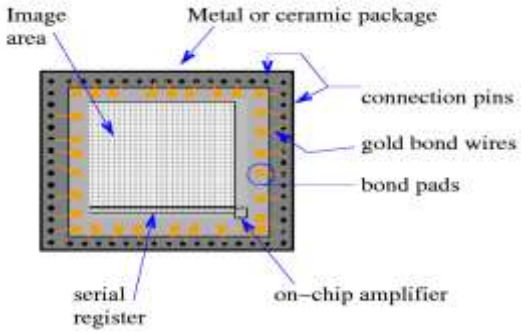
يتكون حساس CCD من مصفوفة من الثنائيات الضوئية والتي من الممكن أن تكون مربعات أو مستطيلات الشكل، تبلغ ابعاد عناصر المصفوفة من 1.7 وحتى 20 مايكرومتر. وكلما زادت مساحة البيكسل كلما زادت حساسيته للضوء، ولكن مساحات البيكسل الكبيرة تقلل من تباين الصورة (تقل وضوح الصورة إذا كان عدد البيكسل فيها قليل).

معظم الـ CCD لها بنية مكونة من (معدن–عازل–شبه موصل (يوجد على شبه الموصل المشوب طبقة عازلة وتغطيها طبقة من موصل كهربائي شفاف (لتشكل أقطاب). توجد بين البيكسل والبيكسل توصيلات لنقل الشحنات.

ينقل الضوء الساقط "عن طريق التأثير الكهروضوئي الداخلي" طاقته إلى الإلكترونات في شبه الموصل. وتنشأ تحت هذا التأثير إلكترونات حرة (سالبة) وفجوات موجبة الشحنة، وتبقى معزولة عن بعضها البعض تحت تأثير جهد كهربائي يمنعها من الاتحاد. ولكن لا تمر الشحنات إلى الخارج في الحال كما هو في ثنائي ضوئي وإنما تتجمع في خلية تخزين فيما يسمى بئر الجهد، والذي يعمل على تخزين الشحنات مثل عمل لمكثف. ويتناسب عدد الشحنات مع كمية الضوء الساقطة على السي سي دي عندما تبدأ قراءة المخزون، قبل أن يصلها جهد محو الثنائي الضوئي لمحوها [31].

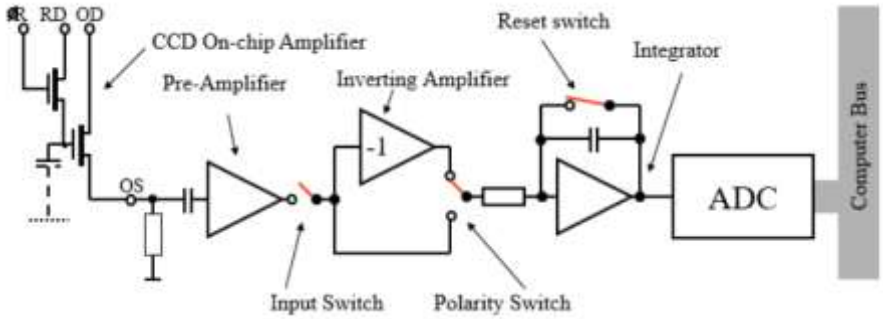
بعد تمام التصوير تنتقل الشحنات الواحدة تلو الأخرى كالسلسلة إلى مضخم إلكتروني يقوم بقراءتها. ونتيجة لذلك تتكون نبضات كهربية تتناسب في جهدها مع عدد الشحنات وبالتالي تتناسب مع كمية CCDالضوء التي سقطت على وحدات الـ نبضات جهد الخرج تكون متتالية. أي أن شحنة كل بكسل تخرج متتالية، بينما التقطت الصورة في نفس الوقت حيث سجلت جميع البكسلات الضوء الساقط عليها.

في كاميرا الفيديو تقوم البكسلات بتسجيل نصف الصور أي تسجيل الاسطر CCD في حالة كان الزوجية ثم الفردية. اما من اجل جميع التطبيقات الاخرى فتتبع طريقة المسح على التوالي طبقا لتتالي البكسلات الطبيعي. لنقل نبضات الجهد "الشحنات". البنية الداخلية لـ CCD المستخدم موضحة في الشكل 9.



الشكل 9: البنية الداخلية لـ CCD.

يحتاج حساس الـ CCD إلى مضخم عمليات لكي يعمل بشكل صحيح، طريقة توصيل الـ CCD مع مضخم العمليات موضحة في الشكل 10.



الشكل 10: توصيل الـ CCD مع مضخم العمليات.

1.1.3. منظومة القيادة

سوف نتحدث في هذه الفقرة عن دارة القيادة المستخدمة في المشروع والمحركات الكهربائية التي تم استخدامها:

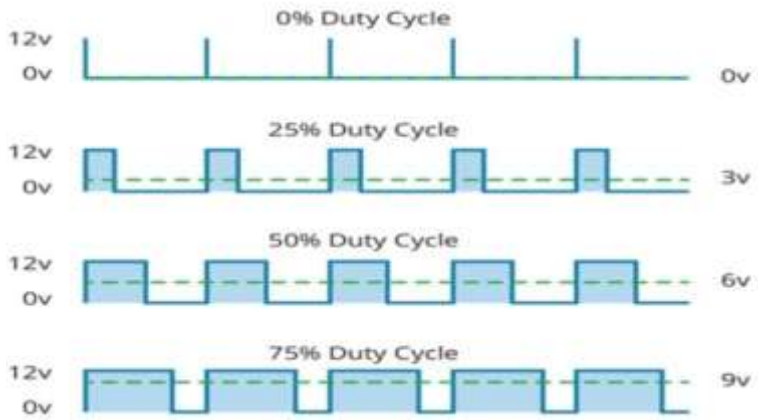
1.1.3.1. دارة القيادة L298N

للتحكم في محرك التيار المستمر لابد من التحكم في سرعته وفي اتجاه الدوران، يمكننا تحقيق ذلك من خلال الجمع بين الأسلوبين الآتيين:

1. تقنية الـ PMW للتحكم بالسرعة

تقنية الـ PWM هي تقنية يتم فيها ضبط متوسط جهد الدخل عن طريق ارسال سلسلة من النبضات ON-OFF.

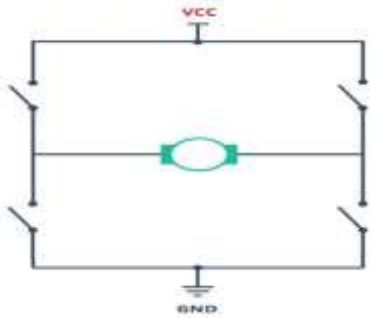
متوسط الجهد يتناسب مع دورة العمل (Duty cycle) كلما زادت دورة التشغيل ازداد عرض النبضة وبالتالي يزداد متوسط الجهد المطبق على المحرك فتزداد السرعة، انخفاض دورة التشغيل يعني انخفاض متوسط الجهد وبالتالي انخفاض السرعة، انظر الشكل 11.



الشكل 11: طريقة عمل تقنية الـ PMW.

2. دارة الـ H-Bridge للتحكم باتجاه الدوران

يمكن التحكم في اتجاه دوران المحرك عن طريق تغيير قطبية جهد الإدخال ومن الأساليب المتبعة لذلك هو استخدام H-Bridge. تحتوي دارة H-Bridge على أربعة مفاتيح الكترونية (ترانزستورات) حيث يكون المحرك في المنتصف ويشبه ترتيب الحرف H، الشكل 12، إغلاق مفتاحين معينين في نفس الوقت يعكس قطبية جهد الدخل المطبق على المحرك وهذا يسبب التغير في اتجاه الدوران للمحرك.



الشكل 12: دارة الـ H-Bridge للتحكم باتجاه الدوران.

الجدول 1: قيم التحكم.

Spinning Direction	Input2	Input1
Motor OFF	Low(0)	Low(0)
Forward	Low(0)	High(1)
Backward	High(1)	Low(0)
Motor OFF	High(1)	High(1)

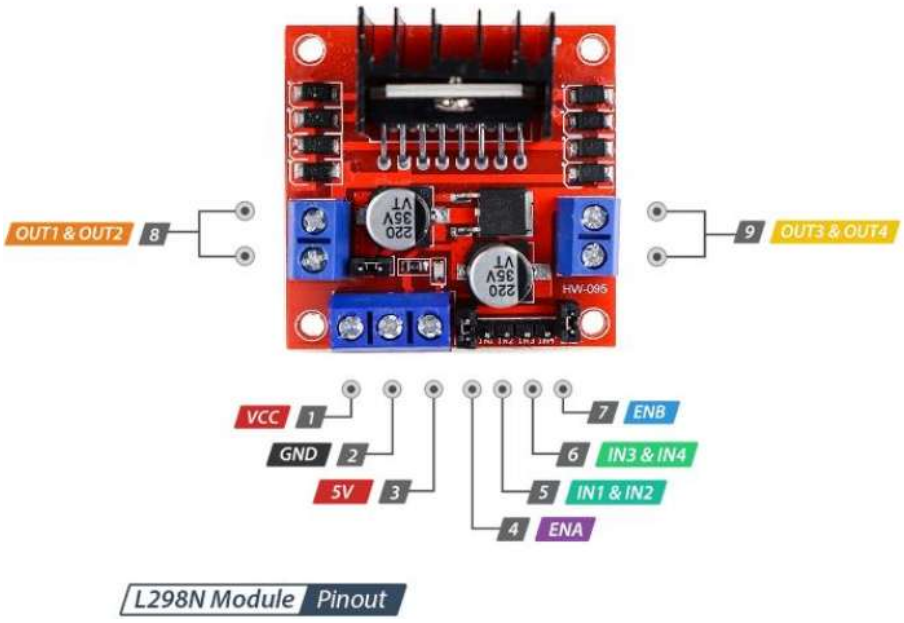
إن دارة القيادة L298N تمكننا من الجمع بين الاسلوبين السابقين لتنظيم سرعة واتجاه دوران المحرك إذ تحتوي على H-Bridge ثنائي القناة مما يمكننا من قيادة زوج من المحركات. لكل قناة من قنوات دارة القيادة يوجد نوعين من الأرجل التي تسمح لنا بالتحكم بالسرعة واتجاه الدوران في الوقت نفسه.

أرجل التحكم في الاتجاه هي IN1,IN2 للتحكم في اتجاه دوران المحرك، A و IN3,IN4 للتحكم في اتجاه دوران المحرك B. الجدول 1 يوضح كيف يتم ذلك.

كما يتم استخدام الرجل ENA للتحكم في سرعة المحرك A، والرجل ENB للتحكم في سرعة المحرك B.

إن توصيل هذه الأطراف بقيمة HIGH سيجعل المحرك يدور وتوصيلها بقيمة LOW سيجعله يتوقف، لكن باستخدام تقنية تعديل عرض النبضة PWM يمكننا التحكم بقيمة الجهد التي ستطبق على المحرك بالتالي اتحكم بسرعته. للتحكم بسرعة المحركات برمجياً نقوم بتوصيل هذه الأرجل إلى أرجل الPWM في الأردوينو.

إن انخفاض الجهد الداخلي في ترانزستورات التبديل في دارة H-Bridge يسبب انخفاضاً في الجهد وقدره 2V لذلك عند توصيل المحركات بجهد 12V مثلاً لن يصل إليها سوى 10V. الشكل 13 يوضح أطراف الـ L298N Motor Driver Module المستخدمة.



الشكل 13: الدارة L298N مع الأطراف.

تتألف الدارة الموضحة في الشكل 13 من الأجزاء التالية:

- VCC: رجل إمدادات الطاقة للمحرك، يمكن أن يكون من 5V إلى 35V.
- GND: الأرضي المشترك.
- 5V: يوفر الطاقة لدارات التبديل و الدارات المنطقية داخل L298N IC.
- ENA: يتم استخدامها للتحكم بسرعة المحرك A.
- ENB: يتم استخدامها للتحكم بسرعة المحركB .
- IN1-IN2: يتم استخدامها للتحكم في اتجاه دوران المحرك A.
- IN3-IN4: يتم استخدامها للتحكم في اتجاه دوران المحركB .

- OUT1-OUT2: يتم توصيلها بالمحرك A.
- OUT3-OUT4: يتم توصيلها بالمحرك B.

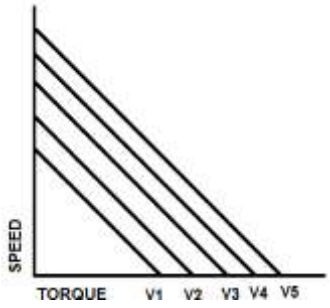
1.1.4. المحركات المستخدمة في الدارة

تتشكل الساحة المغناطيسية في الآلة من مغناطيس دائم، وبالتالي فإن أهم ميزات هذا المحرك أنه لا يحتاج إلى تهييج خارجي، لذا فهو أصغر وزناً وحجماً وأقل ثمناً من محركات التيار المستمر الأخرى نتيجة عدم وجود ملفات تهييج. وتتميز هذه المحركات بكفاءتها العالية، وبعزوم إقلاع كبيرة، وبمميزات ميكانيكية وكهروميكانيكية (مميزة سرعة – عزم) خطية.

أدى التطور في صناعة المغانط الدائمة إلى إيجاد مغانط قوية مما سمح بتصميم محركات تيار مستمر أصغر حجماً وأخّ ف وزناً من المحركات التقليدية التي كانت تستعمل مغانط دائمة مصنوعة من الألمنيوم – نيكل – كوبالت. كما سمحت الدرات التكاملية والمعالجات والمتحكمات الصغرية بزيادة وثوقيه عمل هذه الآلات وتخفيض تكلفتها وسمح ذلك أيضاً بتغليفها جميعاً مع المحرك ضمن غلاف حافظ واحد صغير الحجم وخفيف الوزن.

لكن لهذا المحرك مجموعة من السلبيات أهمها: فقدان المغناطيسية بسبب التيارات المعاكسة في المحرك أو بسبب التسخين الزائد للمحرك. كما أن للمغناطيس الدائم قدرة محدودة على تأمين كثافة عالية للفيض المغناطيسي تحت القطب، ونظرا لظهور مواد مغناطيسية جديدة أصبح بالإمكان تخطي هذه السلبية. يشبه هذا المحرك في بنيته محرك التيار المستمر التقليدي، فهو يتغذى بالطاقة الكهربائية عبر الفحمات والمجمع. يتألف الثابت من أقطاب مغناطيسية بارزة مشكلة من مادة مغناطيسية ثابتة مهمتها توليد الساحة المغناطيسية الرئيسة في الآلة.

يبين الشكل 14 المميزات الميكانيكية لمحرك تيار مستمر بمغناطيس دائم وهي مميزات خطية تعتبر المميزات الخطية لهذا المحرك مثالية في دارات التحكم المغلقة وفي مختلف التطبيقات المتغيرة السرعة المستندة على محركات السيرفو بالتيار المستمر. وتوّ ضح هذه المميزات أن كلاً من السرعة والعزم تتغيران بشكل خطي مع تغير الجهد.



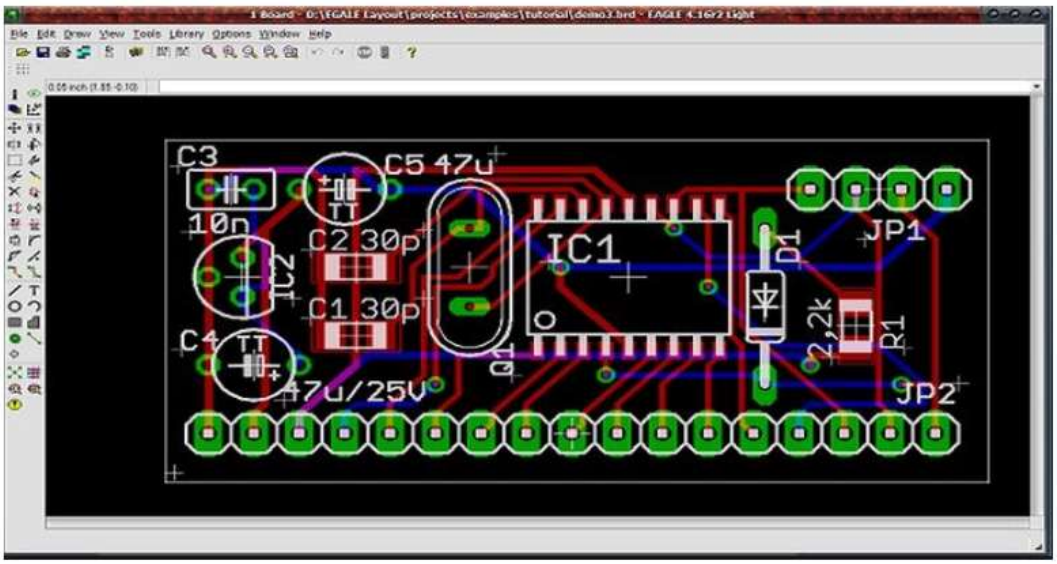
الشكل 14: مميزة محركات التيار المستمر بمغناطيس دائم.

1.2. القسم العملي للمشروع

1.2.1. الدراسة التصميمة لدارة المشروع

1.2.1.1. برنامج الـ Eagle

يبين الشكل 15 الواجهة العامة لبرنامج الـ Eagle (Easily Applicable Graphical Layout Editor) الذي تم استخدامه لتصميم الدارة العملية للمشروع، وهو برنامج حاسوبي لتصميم اللوحات الإلكترونية المطبوعة عن طريق الحاسب، وبه خصائص الرسم التخطيطي والتوصيل الآلي والتصنيع بمساعدة الحاسوب، تم تطوير إيغل من شركة كاد سوفت كمبيوتر التي استحوذت عليها شركة أوتودسك عام.



الشكل 15: واجهة البرنامج

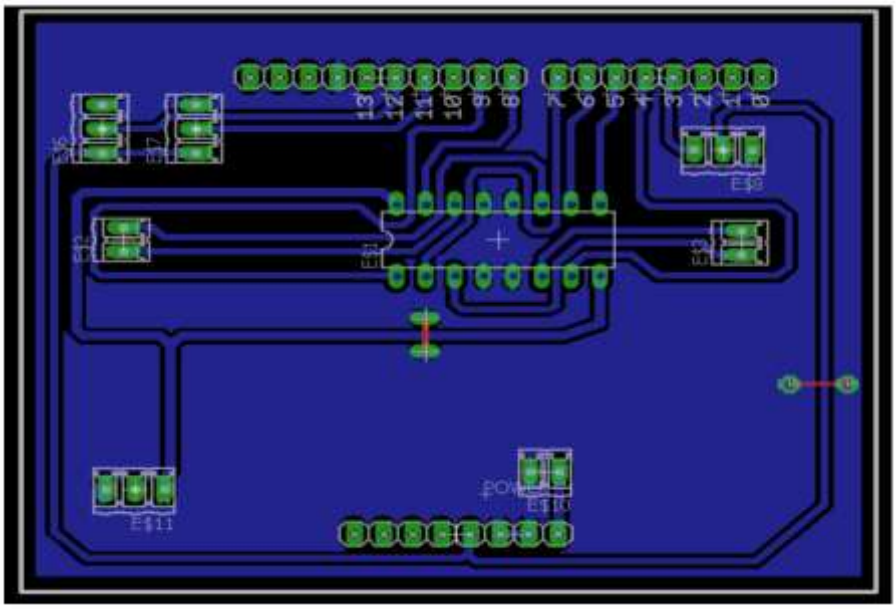
يتيح البرنامج إمكانية رسم دارات مطبوعة pcb متعددة الطبقات وكما ويحتوي على مكتبات ضخمة تحتوي جميع package العناصر الإلكترونية ويتميز البرنامج بقدرته على تدقيق التصميم الالكتروني ومراعاة شروط الاحتقان الالكتروني في الاسلاك النحاسية.

1.2.1.2. مخطط الدارة العملية

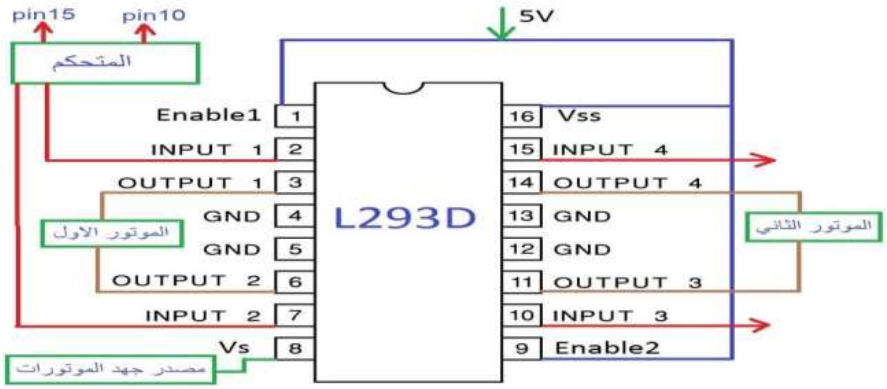
يبين الشكل 16 المخطط العام لدارة المشروع التي تم تصميمها باستخدام برنامج الـ Eagle. في الجزء الأيسر من الأسفل يوجد مدخل تغذية المحركات بـ 8 فولط اما القسم الأيسر من الأعلى فيوجد فيه مدخل المشفران الضوئيان في منتصف الدارة يوجد المتكاملة I293d مع مرابط المحركات. يبين الشكل 17 طريقة توصيل المتكاملة مع المحركات وأرجل الأردوينو.

<u>الطرف 1</u>: هو طرف التفعيل لقناتي التحكم في الموتور الاول (الأطراف 2 و7) فعندما يكون جهد هذا الطرف 5 فولط او 1 منطقي فعندها يمكننا التحكم في اتجاه دوران الموتور الاول (الموصول بالطرفين 3 و6) وذلك عن طريق إعطاء اشارة تحكم عالية 1منطقي (5 فولط) لأحدي قناتي التحكم واشارة تحكم منخفضة 0 منطقي (0 فولط) للقناة الأخرى واشارة التحكم هذه هي الاشارة التي يعطيها المتحكم للدرايف.

وفي حالة كان جهد الطرف رقم 1 منخفض (0 فولط) فانه سوف يتم تعطيل طرفي التحكم في الموتور الاول مما يعني انه مهما كانت اشارة التحكم في طرفي التحكم 3 و7 فانه لن يكون هنالك استجابة (يتوقف الموتور تماماً). اذاً يمكننا القول انه في حالة أردنا التحكم في الموتور الاول فانه يتوجب علينا اعطاء جهد قدره 5 فولط على الطرف رقم 1 لتفعيل قناتي التحكم ثم بعد ذلك نعطي قناتي التحكم الاشارة المناسبة للتحكم في اتجاه الدوران. العلاقة بين اشارة التفعيل واشارة التحكم واتجاه الدوران يبينها موضحة في الجدول 2. X تعني انه مهما كانت اشارة الدخل على هذا الطرف فإن النتيجة ستكون كما هو موضح في الجدول 2.



الشكل 16: الدارة العملية للمشروع.



الشكل 17: طريقة توصيل أرجل المتحكم مع المتكاملة.

الجدول 2: العلاقة بين إشارة التفعيل وإشارة التحكم واتجاه الدوران بينهما.

pin 1	pin 2	pin 7	اتجاه الدوران
1	1	0	مع عقارب الساعة
1	0	1	عكس عقارب الساعة
0	X	X	توقف
0	X	X	توقف

وفي حالة كانت اشارة التفعيل على الطرف رقم 1 مرتفعة (1) يعني (5 فولط) وكان الدخل على الطرفين 2 و5 (7فولت) أو (0 فولط) اي عند تسليط نفس الاشارة على الطرفين سواء كانت منخفضه او مرتفعة فان الخرج يكون توقف الموتور الاول ايضاً، وهذا الجدول ينطبق كذلك على الاطراف 9 و10 و15 للتحكم في الموتور الثاني. اذاً يمكننا الاستفادة من هذا الطرف في حالة أردنا ايقاف الموتر الاول وذلك عن طريق تسليط اشارة منخفضة (5 فولط) على هذ الطرف دون الرجوع الى أطراف التحكم. وكذلك يمكننا الاستفادة من هذا الطرف للتحكم في سرعة دوران الموتور الاول وذلك عن طريق تسليط اشارة PWM علي هذ الطرف.

الطرف 2: هذا الطرف هو طرف اشارة التحكم الاولي للتحكم في الموتور الاول ويتم توصيله مع المتحكم، ونسلط عليه اشارة مرتفعة (5 فولط) إذا أردنا ان يكون اتجاه دوران الموتور الاول مع عقارب الساعة مع مراعات ان تكون اشارة التحكم الأخرى (الطرف 7) منخفضة (0 فولط).

الطرف 3: هذا الطرف هو الخرج الاول للتحكم في الموتور الاول ويتم توصيله مع أحد طرفي الموتور الأول.

الطرف 4: هذا الطرف يتم توصيله مع ارضي الدائرة.

الطرف 5: هذا الطرف كذلك يتم توصيله مع ارضي الدائرة.

الطرف 6: هذا الطرف هو الخرج الثاني للتحكم في الموتور الاول ويتم توصيله مع الطرف الثاني للموتور الأول.

الطرف 7: هذا الطرف هو طرف اشارة التحكم الثانية للتحكم في الموتور الاول ويتم توصيله مع المتحكم
ونسلط عليه اشارة مرتفع (5 فولط) في حالة أردنا ان يكون اتجاه دوران الموتور الاول عكس عقارب الساعة مع مراعات ان تكون اشارة التحكم الأخرى (الطرف 2) منخفضة (0 فولط).

الطرف 8: هذا الطرف هو طرف جهد تشغيل الموتورات حيث نقوم بتوصيله مع الطرف الموجب للمصدر الذي نريده ان يغذي الموتورات. فمثلاً إذا كانت الموتورات تعمل على جهد قدره 12 فولط فإننا سوف نأتي بمصدر جهد 12 فولط وسوف نقوم بتوصيل الطرف الموجب لهذا المصدر مع هذا الطرف رقم 8. وأقصى جهد يمكن تسليطه على هذا الطرف هو 36 فولط.

الطرف 9: هذ الطرف هو طرف التفعيل لقناتي التحكم في الموتور الثاني (الأطراف 10 و15) وينطبق عليه كل ما قلناه عن الطرف رقم 1 فالطرف رقم 1 كان يقوم بتفعيل الطرفين 2 و7 للتحكم في الطرفين 3 و6، أما هذا الطرف فيقوم بتفعيل الطرفين 10 و15 للتحكم في الطرفين 11 و14 (طرفي الموتور الثاني).

الطرف 10: هذا الطرف هو طرف اشارة التحكم الاولي للتحكم في الموتور الثاني ويتم توصيله مع المتحكم وينطبق عليه ما ينطبق على الطرف رقم 2.

الطرف 11: هذه الطرف هو الخرج الاول للتحكم في الموتور الثاني ويتم توصيله مع أحد طرفي الموتور الثاني.

الطرف 12: هذا الطرف يتم توصيله مع ارضي الدائرة.

الطرف 13: هذا الطرف كذلك يتم توصيله مع ارضي الدائرة.

الطرف 14: هذا الطرف هو الخرج الثاني للتحكم في الموتور الثاني ويتم توصيله مع الطرف الثاني للموتور الثاني.

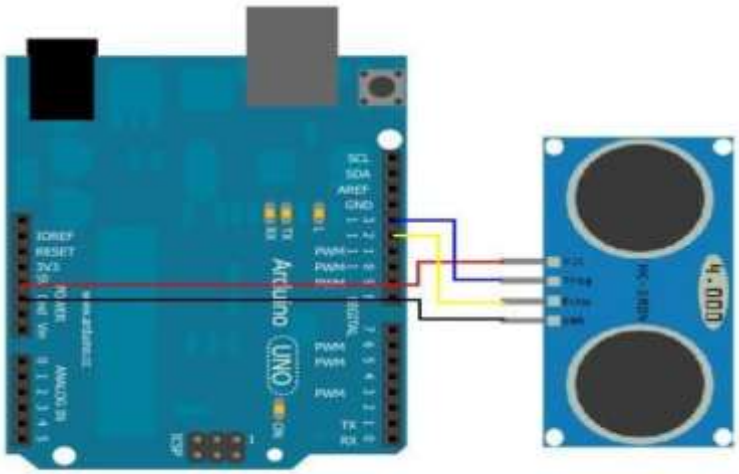
الطرف 15: هذا الطرف هو طرف اشارة التحكم الثانية للتحكم في الموتور الثاني ويتم توصيله مع المتحكم وينطبق عليه ما ينطبق على الطرف رقم 7.

الطرف 16: هذا الطرف هو طرف جهد التشغيل الداخلي للدرايف ويتم توصيله مع مصدر جهد 5 فولط.

لقد تم تنفيذ الدارة وكان عمل الروبوت جيد جدا تبعا للأوامر التي تم إعطاؤه إياها.

1.2.1.3. توصيل حساس الـ Ultrasonic مع الأردوينو

يوضح الشكل 18 طريقة توصيل الأردوينو مع حساس المسافة Ultrasonic حيث يتم توصيل المخرجين vcc, gnd مع التغذية والارضي اما المخرجين trig, echo فيتم توصيلهما مع الارجل الرقيمة للمتحكم.



الشكل 18: كيفية توصيل حساس الـ Ultrasonic مع الأردوينو.

الشكل 19 يوضح الروبوت الذي تم تصميمه. تم استخدام الروبوت لنقل عدد كبير من العينات وفق مسارات محددة والنتيجة كانت جيدة جدا. التزم الروبوت بالمسارات المحددة له بشكل دقيق جداً، كما تم استخدام الروبوت لجلب منتجات بألوان محددة مسبقا والنتيجة أيضا كانت جيدة ولم يكن هناك أخطاء إلا في الحالات التي كانت فيها الألوان متقاربة، بمعنى الحساس الذي تم استخدامه في الروبوت يقوم بالتمييز بين الألوان الأساسية فقط، فإذا كان لون المنتج ليس من الألوان الأساسية وكان يحوي على درجات تلوين مختلفة من عدة ألوان فكان الروبوت يخطئ في اختيار المنتج، إلا أن هذه المشكلة يمكن حلها من خلال تركيب حساس أكثر دقة في اختيار الألوان ولكن الأمر سيكون ذو تكلفة اقتصادية أكبر.

الشكل 19: الشكل النهائي للروبوت.

تواجه الباحثين عدة تحديات عند تصميم روبوتات النقل ضمن بيئات صناعية، ومن أبرز هذه التحديات:

1- التعقيد البيئي: تختلف البيئات الصناعية بشكل كبير من حيث التصميم، والتخزين، والتوزيع. يتطلب ذلك من الروبوتات القدرة على التكيف مع تغييرات في المسارات، والعقبات المتحركة، والتضاريس المختلفة.

2- التفاعل مع البشر: يجب أن تكون الروبوتات قادرة على العمل جنبًا إلى جنب مع العمال البشر. يتطلب ذلك تصميم آليات أمان فعالة لضمان عدم تعرض الأشخاص للخطر أثناء التشغيل.

3- التوجيه والملاحة: يتطلب التنقل في بيئات صناعية معقدة تقنيات متقدمة في التوجيه والملاحة. يجب أن تكون الروبوتات قادرة على تحديد موقعها بدقة وتجنب العقبات في الوقت الحقيقي.

4- التحكم في الحمولة: يجب أن تكون الروبوتات قادرة على حمل أوزان ثقيلة دون التأثير على استقرارها أو أدائها. يتطلب ذلك تصميمًا ميكانيكيًا متينًا ونظام دفع فعال.

5- البرمجيات والذكاء الاصطناعي: تطوير خوارزميات فعالة للذكاء الاصطناعي والتعلم الآلي لتعليم الروبوت كيفية اتخاذ قرارات في الوقت الحقيقي بناءً على البيانات التي تجمعها الحساسات.

6- التكامل مع الأنظمة الحالية: يجب أن تتوافق الروبوتات مع الأنظمة والعمليات الحالية في المصنع، مما قد يتطلب تعديلات على البنية التحتية أو البرمجيات.

7- الصيانة والدعم الفني: تحتاج الروبوتات إلى صيانة دورية لضمان عملها بكفاءة. يجب أن تكون هناك خطط واضحة لدعمها وصيانتها.

8- الاعتمادية والثبات: يجب أن تكون الروبوتات موثوقة وقادرة على العمل لفترات طويلة دون انقطاع، مما يتطلب اختبارات دقيقة لضمان الجودة والأداء.

9- الامتثال للمعايير: يجب أن تتوافق الروبوتات مع المعايير الصناعية والقوانين المحلية والدولية المتعلقة بالسلامة والأمان.

تتطلب هذه التحديات تعاونًا متعدد التخصصات بين المهندسين، والمصممين، وعلماء البيانات، وغيرهم من المتخصصين لضمان نجاح تصميم وتنفيذ روبوتات النقل في البيئات الصناعية.

الاستنتاجات والتوصيات:

الاستنتاجات

- التكلفة الاقتصادية لمثل هذا العمل تعتبر مقبولة جداً مقارنة بالهدف التي تحققه، وبالأخص كون الهدف الأساسي من الروبوت هو النقل وفق مسارات محددة مسبقا وتحديد منتجات ذات ألوان محددة من أجل نقلها.
- إن دارات الأردوينو تعتبر عالية الجودة وقليلة الثمن والتي تحقق نتائج جيدة جدا في مجال المتحكمات.

التوصيات

- استخدام مثل هذا النوع من الدارات والبرمجيات في السوق المحلية لتحقيق مثل هذه الأهداف بسبب توفرها ورخص ثمنا وتحقيقها للكثير من المتطلبات الصناعية.

التوصيات للأعمال المستقبلية

- توسيع المشروع بحيث يكون الروبوت قادر على تنفيذ مهام صناعية أكثر شمولية وأكثر دقة تساعد في توفير الوقت والجهد والتكلفة.

References:

[1]K. Čapek and I. Kallinikov, "Rossum's Universal Robots," *Fr. Borovy Prague, Czechoslov.*, 1940, [Online]. Available: https://www.playsfortheatre.com/assets/files/Rossums-UniversalRobots.pdf.

[2]K. Reilly, "From automata to automation: The birth of the robot in rur (rossum's universal robots)," *Autom. Mimesis Stage Theatr. Hist.*, pp. 148–176, 2011, [Online]. Available: https://link.springer.com/chapter/10.1057/9780230347540_6.

[3]T. Froese, "What is 'the Secret of Life'? The Mind-Body Problem in Čapek's Rossum's Universal Robots (RUR)," *MIT Press*, 2022, [Online]. Available: https://philpapers.org/rec/FROWIT-4.

[4]M. Hoffmann and C. Brom, "Agents vs. Rossum's robots: towards intelligent living machines," in *Proceedings of 1st Czech-Argentine Biennale Workshop "e-Golems", Prague*, 2005, pp. 87–96, [Online]. Available: https://artemis.ms.mff.cuni.cz/main/papers/Capek-2005.pdf.

[5]ISO, "ISO 8373:2012(en), Robots and robotic devices — Vocabulary," 2012. https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:8373:ed-2:v1:en (accessed Oct. 01, 2024).

[6]"Robotics Institute Carnegie Mellon University : Robotics Education and Research Leader," *Robotics Institute*. https://www.ri.cmu.edu/ (accessed Oct. 01, 2024).

[7]J. Wallén, "The history of the industrial robot," *Linköping Univ. Electron. Press*, 2008, [Online]. Available: https://urn.kb.se/resolve?urn=urn%3Anbn%3Ase%3Aliu%3Adiva-56167.

[8]H. D. Toong, "Microprocessors," *Sci. Am.*, vol. 237, no. 3, pp. 146–161, 1977, [Online]. Available: https://www.jstor.org/stable/24920325.

[9]J. Arents and M. Greitans, "Smart Industrial Robot Control Trends, Challenges and Opportunities within Manufacturing," *Appl. Sci. 2022, Vol. 12, Page 937*, vol. 12, no. 2, p. 937, Jan. 2022, doi: 10.3390/APP12020937.

[10]Z. Li, S. Li, X. Luo, Z. Li, S. Li, and X. Luo, "An Overview of Calibration Technology of Industrial Robots," *IEEE/CAA J. Autom. Sin. 2021, Vol. 8, Issue 1, Pages 23-36*, vol. 8, no. 1, pp. 23–36, Jan. 2021, doi: 10.1109/JAS.2020.1003381.

[11]A. Dzedzickis, J. Subačiūtė-Žemaitienė, E. Šutinys, U. Samukaitė-Bubnienė, and V. Bučinskas, "Advanced Applications of Industrial Robotics: New Trends and Possibilities," *Appl. Sci. 2022, Vol. 12, Page 135*, vol. 12, no. 1, p. 135, Dec. 2021, doi: 10.3390/APP12010135.

[12]C. C. Lee, S. Qin, and Y. Li, "Does industrial robot application promote green technology innovation in the manufacturing industry?," *Technol. Forecast. Soc. Change*, vol. 183, p. 121893, Oct. 2022, doi: 10.1016/J.TECHFORE.2022.121893.

[13]B. LI, W. TIAN, C. ZHANG, F. HUA, G. CUI, and Y. LI, "Positioning error compensation of an industrial robot using neural networks and experimental study," *Chinese J. Aeronaut.*, vol. 35, no. 2, pp. 346–360, Feb. 2022, doi: 10.1016/J.CJA.2021.03.027.

[14]R. Gihleb, O. Giuntella, L. Stella, and T. Wang, "Industrial robots, Workers' safety, and health," *Labour Econ.*, vol. 78, p. 102205, Oct. 2022, doi: 10.1016/J.LABECO.2022.102205.

[15]C. Su, B. Li, W. Zhang, W. Tian, and W. Liao, "An analysis and reliability-based optimization design method of trajectory accuracy for industrial robots considering parametric uncertainties," *Reliab. Eng. Syst. Saf.*, vol. 254, p. 110626, Feb. 2025, doi: 10.1016/J.RESS.2024.110626.

[16]S. Itadera and Y. Domae, "Motion priority optimization framework towards automated and teleoperated robot cooperation in industrial recovery scenarios," *Rob. Auton. Syst.*, p. 104833, Oct. 2024, doi: 10.1016/J.ROBOT.2024.104833.
[17]G. Pu, Y. Xie, L. Wu, and K. Wang, "Industrial robots and corporate risk-taking value," *Financ. Res. Lett.*, vol. 70, p. 106252, Dec. 2024, doi: 10.1016/J.FRL.2024.106252.
[18]Q. Cao, A. Xu, J. Wang, and W. Yu, "Influence of financial inclusion and industrial robots on the efficiency of China's OFDI: A heterogeneous spatial stochastic frontier analysis," *Econ. Anal. Policy*, vol. 84, pp. 996–1009, Dec. 2024, doi: 10.1016/J.EAP.2024.10.020.
[19]G. Long, D. Duan, H. Wang, and S. Chen, "The impact of industrial robots on low-carbon green performance: Evidence from the belt and road initiative countries," *Technol. Soc.*, vol. 79, p. 102712, Dec. 2024, doi: 10.1016/J.TECHSOC.2024.102712.
[20]J. Du, J. He, J. Yang, and X. Chen, "How industrial robots affect labor income share in task model: Evidence from Chinese A-share listed companies," *Technol. Forecast. Soc. Change*, vol. 208, p. 123655, Nov. 2024, doi: 10.1016/J.TECHFORE.2024.123655.
[21]B. Yang *et al.*, "Multidomain neural process model based on source attention for industrial robot anomaly detection," *Adv. Eng. Informatics*, vol. 62, p. 102910, Oct. 2024, doi: 10.1016/J.AEI.2024.102910.
[22]J. Zhang, L. Zou, X. Zhang, Z. Wang, and W. Wang, "An error compensation method for on-machine measuring blade with industrial robot," *Measurement*, vol. 242, p. 116039, Jan. 2025, doi: 10.1016/J.MEASUREMENT.2024.116039.
[23]W. Luo, L. Tang, Y. Yang, and X. Zou, "Robots as guardians: Industrial automation and workplace safety in China," *J. Dev. Econ.*, vol. 172, p. 103381, Jan. 2025, doi: 10.1016/J.JDEVECO.2024.103381.
[24]D. Guo *et al.*, "Data-driven Fault Identification Method of RV Reducer Used in Industrial Robot," *Heliyon*, p. e40115, Nov. 2024, doi: 10.1016/J.HELIYON.2024.E40115.
[25]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.
[26]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.
[27]W. McKinney, "Python for Data Analysis," *O'Reilly Media, Inc.*, 2017, [Online]. Available: http://oreilly.com/catalog/errata.csp?isbn=9781491957660.
[28]S. Monk and M. McCabe, "Programming Arduino: getting started with sketches," vol. 176, 2016, [Online]. Available: https://agsci.colostate.edu/wp-content/uploads/sites/95/2020/03/Programming-Arduino.pdf.
[29]S. L. Frost, "Introduction to Arduino," 2018, [Online]. Available: https://www.osti.gov/servlets/purl/1479887.
[30]M. Geddes, "Arduino Project handbook: 25 practical projects to get you started," 2016, [Online]. Available: https://ss-valpovo.hr/wp-content/uploads/2020/01/arduinoprojecthandbook.pdf.
[31]"Expert Product Reviews, Guides & Latest Trends - ElectronicsHub," *ElectronicsHub*. https://www.electronicshub.org/ (accessed Oct. 04, 2024).