

Université Virtuelle de Tunis (UVT)

École Nationale Supérieure d'Ingénieurs de Tunis (ENSIT)

Rapport de Mini-Projet en
Électronique et Systèmes dynamiques

THÈME

RÉALISATION D'UN ROBOT SCARA POUR DÉTECTION, PRISE ET DÉPLACEMENT DES BOUTEILLES

Réalisé Par :

- ABIDI Ramzi
- ABIDI Youssef
- HANNACHI Imen
- JAOUADI Hassen

Encadré Par :

- Dr. Ing GHARBI Rached

Remerciements

Nos sincères remerciements vont au Professeur GHARBI Rached pour avoir accepté de nous donner l'opportunité à réaliser ce mini projet. Nous sommes sincèrement impressionné par ses connaissances et son humilité. Il faut avoir de la chance pour être un de ses étudiants. Nous voudrions aussi remercier monsieur DABBOUSSI Haythem, le directeur du centre *Maker skills*, pour les contributions précieuses à inclure et qui a généreusement passé un temps précieux en donnant les suggestions et les commentaires pour ce mini projet.

Nous voudrions remercier notre coordinateur du mastère IASRIA, Dr SEDDIK Hassen, pour ses efforts à essayer de fournir les matériels et les composants électroniques. Aussi bien, il faut ne pas oublier monsieur KHATERCHI Hechmi de l'Institut Supérieur de l'Education et de la Formation Continue pour son aide et son soutien.

Plus important encore, nous sommes reconnaissants pour l'amour et le soutien inconditionnel de nos familles. Nous n'avons pas de mots pour reconnaître les sacrifices qu'ils ont faits, merci à Dieu de nous avoir donné eux.

Abstract

In this report we were documenting the process of building a 4 degrees of freedom SCARA manipulator robot. We discussed the basics of computer vision and image processing, we were able to create a software that detects both the position and orientation of bottles, which allows the robot to pick and place them in a desired position.

Résumé

Le présent travail porte sur la réalisation d'un robot manipulateur de type SCARA à quatre degrés de liberté. L'objectif est de rendre le robot autonome à base de la vision par ordinateur afin qu'il puisse faire les tache de détecter, ramasser et placer. On a créé un logiciel de visualisation. On a abordé un peu de la théorie de vision par ordinateur, et finalement on a travaillé sur le problème du génération des trajectoires.

Mots Clés

Robot Manipulateur SCARA, Arduino, OpenCV, Vision par ordinateur, Traitement des images, SolidWorks.

Table des matières

Remerciements	2
Résumé.....	3
Table des matières.....	4
Introduction Générale.....	5
I- HISTORIQUE	6
1 - L'histoire de la robotique industrielle dans le monde	6
3 - Définition :	7
4 - Types de robots SCARA	8
5 - Les avantages d'un robot scara	9
II - Environnement de travail.....	10
1 - Logiciels utilisés	10
a - SOLIDWORKS	10
b - Ultimaker Cura.....	10
2 - Matériel utilisé	11
a - Creality Ender-3	11
b - Outillage.....	11
III – Réalisation	12
1 - Conception.....	12
2 – Impression 3D.....	12
3– Assemblage électronique.....	13
a - Schéma électronique.....	13
b – Compsant électronique.....	14
4 - Programmation de la carte Arduino.....	19
5 - Création de l'interface graphique de l'utilisateur	19
Conclusion.....	21
Annexe.....	22
Bibliographie.....	25

Introduction Générale

Ce rapport détaille le périple de conception et de réalisation d'un robot SCARA dédié à la détection, la prise et le déplacement des bouteilles. Pour comprendre pleinement cette aventure technologique, nous débuterons par un retour sur l'historique et les choix qui ont guidé notre sélection de ce type spécifique de robot.

****Historique et Choix du Robot : **** L'historique de la robotique trace une trajectoire jalonnée d'innovations. Dans cette première partie, nous explorerons l'évolution historique de la robotique et la manière dont ces antécédents ont influencé notre choix stratégique d'opter pour un robot SCARA. Les raisons derrière ce choix, en particulier ses avantages pour notre application de manipulation des bouteilles, seront mises en lumière.

****Environnement du Travail : **** La réussite d'un projet robotique dépend étroitement de sa capacité à s'adapter à l'environnement dans lequel il opère. Cette section se penchera sur les considérations liées à l'environnement du travail, mettant en évidence les facteurs qui ont façonné la conception du robot et sa capacité à interagir de manière efficace dans son contexte opérationnel.

****Réalisation : **** La partie consacrée à la réalisation plonge dans les détails pratiques du processus de conception et de mise en œuvre. Des aspects mécaniques à la programmation, en passant par la création de l'interface graphique utilisateur, cette section offre un aperçu complet des étapes cruciales qui ont conduit à la concrétisation de notre robot SCARA.

En conclusion, ce rapport se veut le récit détaillé d'une aventure technologique captivante, illustrant le cheminement depuis les choix conceptuels jusqu'à la réalisation concrète de notre robot intelligent. Chaque section offre un éclairage unique sur les défis et les succès rencontrés au cours de cette entreprise novatrice..

I- HISTORIQUE ET CHOIX DU ROBOT

1 - L'histoire de la robotique industrielle dans le monde :

C'est en 1959 que le premier robot industriel Unimate voit le jour aux États-Unis. Il est la création de deux américains, George Devol et Joseph Engelberger.

Celui-ci a initié la création et production des bras robotiques pour rendre possible l'automatisation des usines. De plus, le premier Unimate a attiré l'entreprise General Motors (GM) qui décidera d'installer le robot dans une chaîne de montage pour une usine de moulage sous pression aux États-Unis, puis, par la suite, de commander 66 exemplaires du robot Unimate.

C'est alors en 1968 que la société Unimation devient le leader (à l'échelle mondiale) du marché de la robotique industrielle.

L'entreprise se fait racheter par la société précurseur des robots humanoïdes, Westinghouse qui la revendra par la suite à Stäubli quelques années plus tard.

Les premiers robots à avoir été fabriqués ont été utilisés dans des endroits à risques voire dangereux en contact de substances nucléaires, de fortes chaleurs, d'éléments à forte corrosion, pour réaliser le travail à la place d'un humain, pour lui éviter le danger. Ils étaient également utilisés dans le secteur automobile pour leur précision.

Aujourd'hui, les robots industriels servent pour toutes sortes de tâches au sein d'une industrie. Ils peuvent être utilisés pour le maniement d'objets lourds ou encore pour l'assemblage (qui est connu pour être très précis).



Figure - Équipe de robots pick & place SCARA F4 pour l'emballage des biscuits

En 2021, on comptait le nombre de robots industriels opérationnels dans le monde, à 3 millions. En effet, l'Asie est le continent qui représente la plus grande part de marché des robots industriels dans le monde entier, avec la Chine qui a comptabilisé plus de 168 000 robots expédiés, le Japon qui comptait l'installation de plus de 38 000 robots et la Corée du Sud qui comptait quant à elle, plus de 30 000 robots installés.

En 2020, dans le secteur industriel, pour 10 000 employés présents dans les usines françaises, on comptait 194 robots installés, ce qui fait que la France se positionne à la 10ème place dans le classement des pays les plus automatisés du monde selon le rapport de la Fédération Internationale de la Robotique.

L'Allemagne se positionne en 3ème place, le Japon en 2ème puis la Corée du Sud en première place avec 932 robots pour 10 000 employés. En 2019, le secteur automobile est le secteur qui compte le plus de robots industriels représentant environ 40 % des installations.

2- Définition :

L'acronyme SCARA signifie Selective Compliance Assembly Robot Arm ou Bras de robot articulé à conformité sélective.

La principale caractéristique du robot SCARA est qu'il possède un **bras articulé à 2 bras**. Celui-ci imite à certains égards le bras humain bien qu'il fonctionne sur un seul plan, permettant au bras de s'étendre et de se replier dans des zones confinées, ce qui le rend approprié pour déplacer une pièce d'un endroit à un autre.

La sélection du type de robot à intégrer n'est pas toujours facile, mais grâce à une étude des besoins, nous recommandons la meilleure solution pour répondre aux exigences d'automatisation.

Ces derniers temps, il y a eu une augmentation de l'adoption des robots SCARA dans les industries de l'ingénierie de précision et de l'optique, des produits pharmaceutiques et cosmétiques. Mais ils sont également très utilisés dans les industries automobiles, l'agroalimentaire et bien d'autres.

3 - Types de robots SCARA:

Le robot SCARA est l'un des 4 grands types de robots :

Robots cartésiens

Robots à six axes

Robots SCARA

Robots Delta

4 - Les avantages d'un robot scara :

Le robot SCARA est le plus souvent utilisé pour les opérations de prélèvement et de mise en place où une vitesse élevée et une grande précision sont requises.

Généralement, un robot SCARA peut fonctionner à une **vitesse plus élevée**. En termes de répétabilité, les robots SCARA ont les meilleures performances par rapport aux autres robots.

De par sa conception, le robot SCARA convient aux applications avec un champ d'opération plus petit et où l'espace au sol est limité, la disposition compacte les rend également plus facilement réaffectés dans des applications temporaires ou distantes. Découvrez ses principaux avantages.

a - Fonctionnement très précis et rapide

Grâce à la structure simple offerte par les robots SCARA, ils sont souvent plus rapides et moins chers que les robots à six axes, ce qui en fait un choix idéal de « terrain médian » en termes de coût et de vitesse entre les Deltas et les bras articulés à six axes. Les SCARA offrent les performances de fonctionnement les plus élevées de leur catégorie et sont idéaux pour un fonctionnement de haute précision avec une répétabilité au millimètre près.

b - Le robot Scara s'intègre parfaitement à l'automatisation existante

Les robots SCARA ne sont pas encombrants et s'intègrent facilement aux applications robotiques existantes et à d'autres machines pour étendre les processus automatisés actuels. Les robots SCARA à 4 axes sont idéaux pour une variété d'applications, y compris les tâches de prélèvement et de mise en place, de tri, de distribution, d'inspection, d'assemblage et d'insertion.

La conception compacte, qui minimise l'espace de montage, et le rapport enveloppe de travail et surface de montage élevé offrent une conception simplifiée par rapport aux bras de robot à six axes. L'enveloppe de travail d'un robot Scara est de 360°, ce qui donne un environnement de travail de forme cylindrique.

De même, les robots SCARA offrent un fonctionnement rapide sans avoir besoin d'une structure aérienne comme les robots Delta, ce qui en fait une option intéressante pour les aménagements d'usine à haute densité et les déploiements rapides à la demande.

c - Installation rapide et efficace

Un seul câble est généralement tout ce qui est nécessaire pour connecter les modèles SCARA au contrôleur du robot. Il en résulte une configuration facile, ainsi qu'une réduction des dépenses de maintenance et d'inventaire des pièces de rechange. Une grande variété d'options de connectivité sont disponibles.

d - Le robot Scara et son empreinte au sol

La disponibilité de l'espace au sol est souvent une préoccupation pour les fabricants. Pour cette raison, les robots SCARA sont contrôlés par des contrôleurs compacts, mais robustes. Typiquement, ces contrôleurs ultra-compacts peuvent être installés en position verticale ou horizontale, optimisant ainsi un espace précieux au sol.

e - Plus de sécurité et un investissement minime

Comme on l'a vu ces deux dernières années avec la pandémie mondiale, les humains travaillant à proximité peuvent facilement propager la maladie. L'ajout de l'automatisation aux opérations actuelles réduit non seulement le risque de propagation de germes d'une personne à l'autre, mais peut également limiter l'exposition de la maladie aux produits et aux emballages.

Les robots SCARA hautement flexibles, précis et compacts peuvent aider les fabricants à atteindre des résultats de production, tout en exigeant un investissement en capital minimal, en créant un élan pour un éventail de tâches dans plusieurs industries, en stimulant la production et en accélérant le retour sur investissement dans un marché fluctuant.

II - ENVIRONNEMENT DE TRAVAIL

1 - Logiciels utilisés :

a - SOLIDWORKS

SOLIDWORKS est un logiciel de conception assistée par ordinateur (CAO) développé par Dassault Systèmes. Il est largement utilisé dans l'industrie pour la conception 3D de pièces, d'assemblages et de systèmes mécaniques.

SolidWorks offre une interface conviviale qui permet aux ingénieurs et aux concepteurs de créer des modèles 3D précis et détaillés de leurs produits.

Le logiciel propose une gamme complète d'outils de modélisation, d'analyse de contraintes, de simulation de mouvements, ainsi que des fonctionnalités pour la création de dessins techniques et de documents d'ingénierie. SolidWorks est fréquemment utilisé dans des domaines tels que l'ingénierie mécanique, la conception de produits, l'aérospatiale, l'automobile, et d'autres secteurs de l'industrie manufacturière.



b - Ultimaker Cura

Ultimaker Cura (ou plus simplement Cura) est un logiciel libre de découpe (slicer en anglais) pour impression 3D fourni par la société Ultimaker. Il a été créé par David Braam qui a ensuite été employé par Ultimaker, une société de fabrication d'imprimantes 3D, pour maintenir le logiciel.



2 - Matériel utilisé :

a - Creality Ender-3 :

La Creality Ender-3 est une imprimante 3D, plus précisément une imprimante 3D de bureau open source, fabriquée par la société chinoise Creality. Elle est connue pour sa popularité en raison de son rapport qualité-prix attractif et de sa facilité d'utilisation. Elle offre une précision d'impression exceptionnelle qui fait un choix idéal pour les débutants et les amateurs.



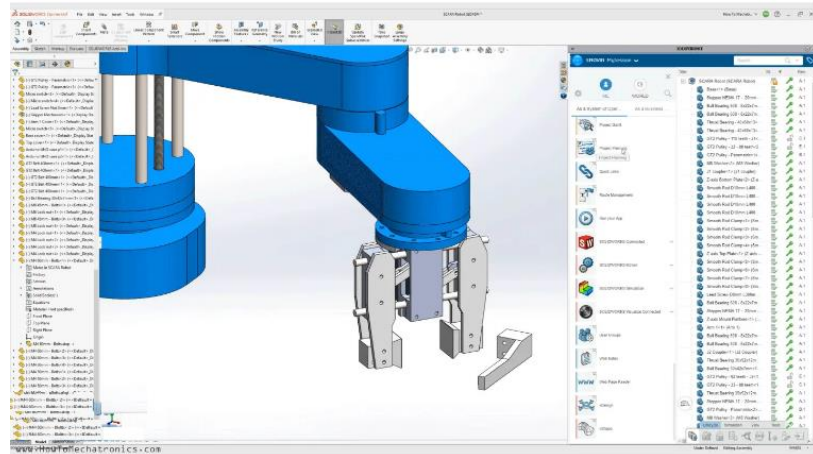
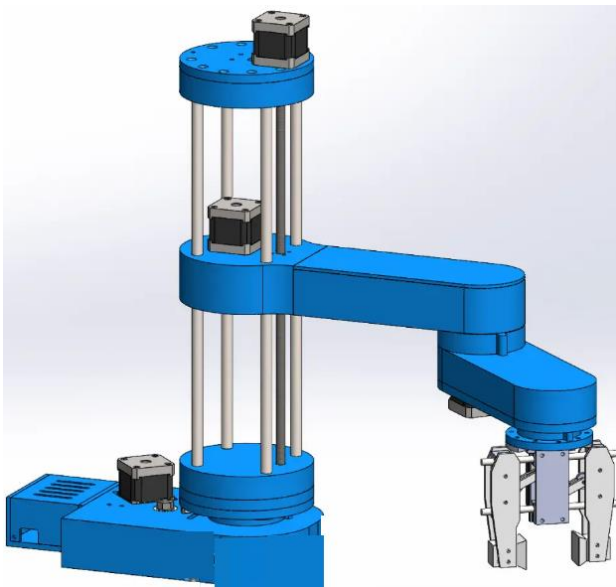
b- Outillage :

La réalisation du projet de robot SCARA a nécessité l'utilisation d'un ensemble diversifié d'outils et de matériel pour garantir une construction précise et efficace. Parmi les outils essentiels figuraient des pinces de différentes tailles pour la manipulation délicate des composants électroniques, des tournevis variés adaptés à différentes tâches d'assemblage, des clés et des dispositifs de serrage pour assurer la stabilité des éléments mécaniques, ainsi que des instruments de mesure de précision pour vérifier et ajuster les dimensions critiques. L'utilisation judicieuse de ce matériel a non seulement facilité le processus d'assemblage, mais a également contribué à maintenir des normes élevées de qualité et de précision tout au long du développement du robot.

III – Réalisation :

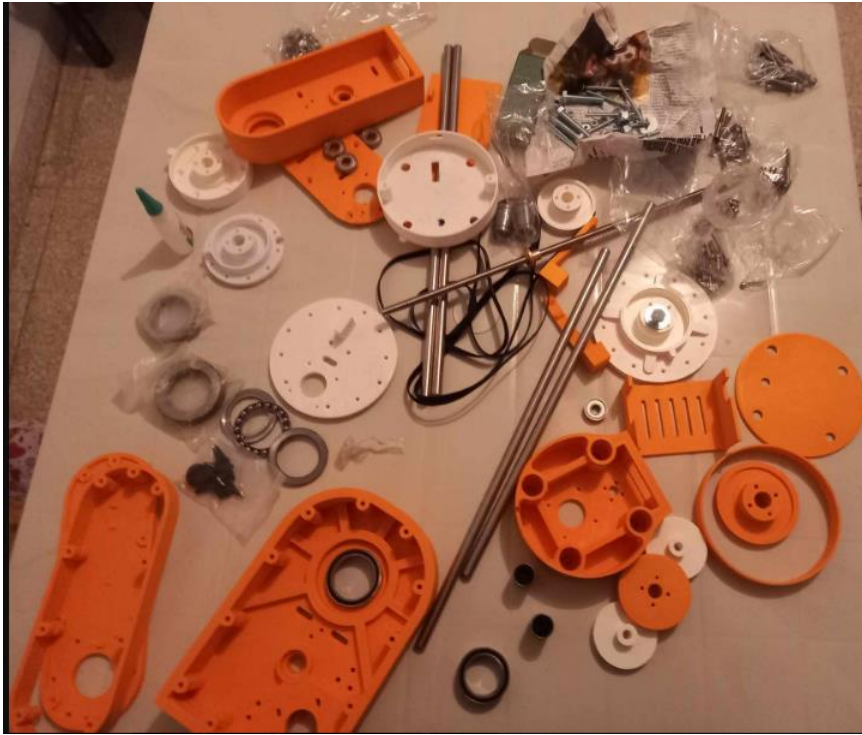
1 – Conception :

La conception du robot SCARA repose sur l'expertise avancée du logiciel SolidWorks qui nous a offert une plateforme robuste qui facilite la modélisation précise et détaillée de chaque composant du robot, permettant ainsi une visualisation virtuelle complète de l'ensemble du système. De plus, SolidWorks favorise la collaboration au sein de l'équipe de projet en permettant un partage efficace des modèles et des données. Grâce à son interface conviviale, notre équipe peut itérer rapidement sur les conceptions, améliorant ainsi l'efficacité du processus de développement du robot SCARA. En intégrant SolidWorks dans notre méthodologie de conception, nous nous assurons d'une approche rigoureuse et sophistiquée, conduisant à un robot SCARA performant et conforme à nos exigences spécifiques.



2 – Impression 3D

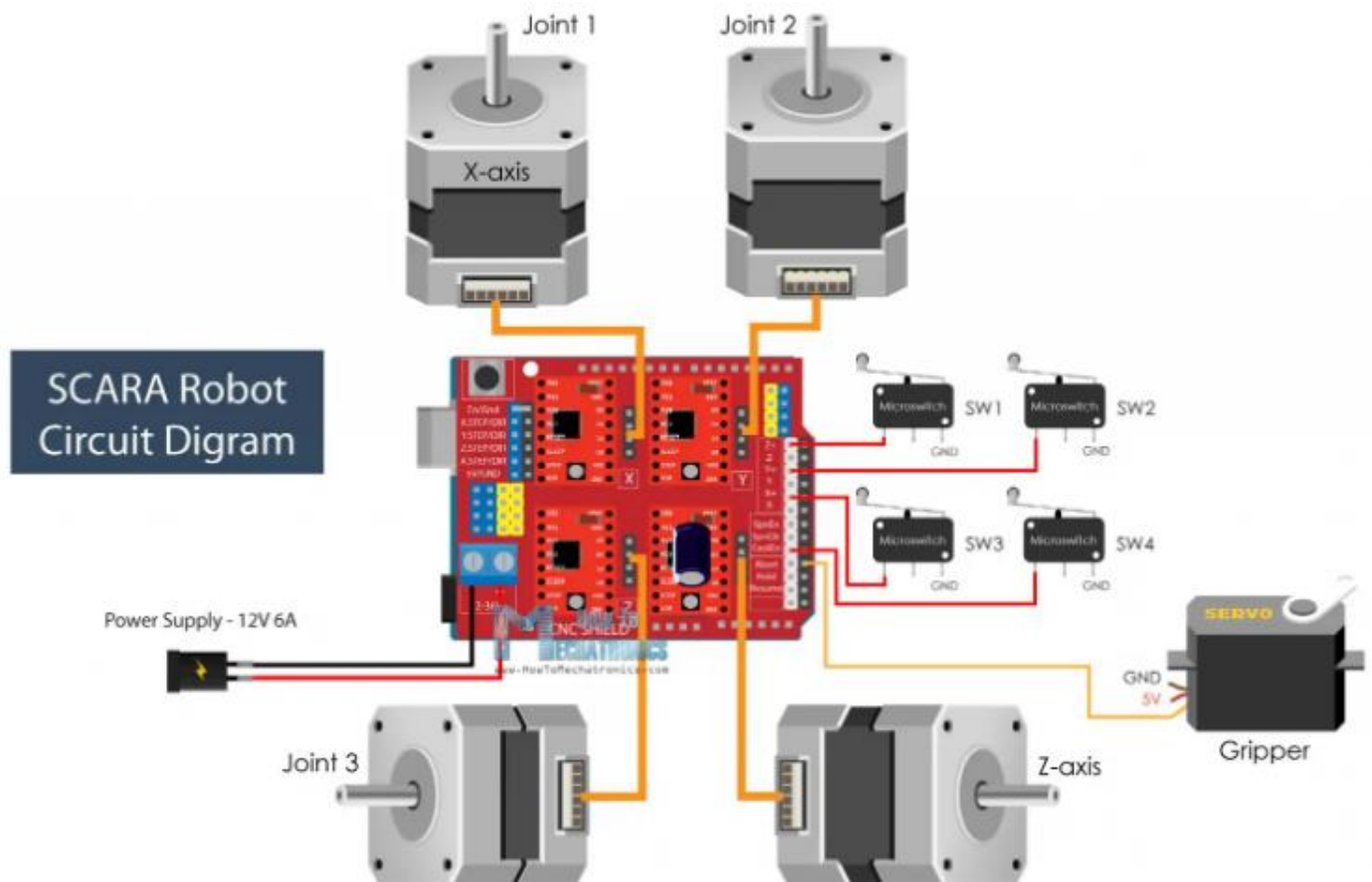
L'impression 3D, également connue sous le nom de fabrication additive, joue un rôle crucial dans le développement de notre projet de robot SCARA. Cette technologie novatrice nous offre la possibilité de concevoir et de produire des pièces complexes avec une précision exceptionnelle, ce qui est essentiel pour garantir la performance optimale de notre robot. Grâce à l'impression 3D, nous pouvons créer des composants sur mesure, légères et résistantes, contribuant ainsi à la conception globale du robot SCARA. Cette approche de fabrication nous permet d'explorer des designs innovants et d'optimiser l'efficacité de notre système, en réduisant également les coûts de production. En intégrant l'impression 3D dans notre processus de développement, nous ouvrons la porte à des possibilités infinies pour améliorer la fonctionnalité, la robustesse et la polyvalence de notre robot SCARA, propulsant ainsi notre projet vers l'excellence technologique.



3– Assemblage électronique

a - Schéma électronique

La réalisation du projet implique la création détaillée d'un schéma électronique exhaustif. Ce schéma électrique constitue une représentation visuelle essentielle de la disposition et de l'interconnexion de tous les composants électroniques du robot. À travers ce diagramme, nous avons pu définir clairement les circuits électriques, les capteurs, les actionneurs, et les autres modules nécessaires au bon fonctionnement du robot. La conception minutieuse de ce diagramme a permis d'assurer une intégration fluide des composants électroniques, garantissant la stabilité et l'efficacité globale du système. En fournissant une référence visuelle complète, le diagramme électronique joue un rôle central dans la planification, la mise en œuvre et la maintenance du système électronique du robot SCARA.



b – Composant électronique

- Servomoteur MG996R 180°



Ce servo numérique est le plus haut de la gamme de taille standard TowerPro, il est équipé de pignons métaux et de 2 roulements lui assurant une précision et une longévité sans égale. Le couple est exceptionnel (jusqu'à 10kg/cm) il est conseillé pour les avions voltige et petit-gros, hélico classe 50, ainsi que les grands planeurs sans oublier la direction des voitures RC.

- Type: TowerPro MG996
- Dimensions: 40.7 x 19.7 x 42.9 mm
- Poids: 55g
- Pignons tout métal
- Double roulement
- Moteur coreless
- Vitesse: 0.20 sec/60° sous 4.8V
- Couple: 10Kg/cm sous 6.0V
- Tension: 4.8V – 6V

- Moteur pas à pas NEMA 17



Moteur pas à pas NEMA 17 . Les moteurs pas à pas se déplacent en étapes répétées avec précision, ce sont donc les moteurs de choix pour les machines nécessitant un contrôle de position précis. Le moteur pas à pas Nema17 de 1,6 kg cm peut fournir 1,6 kg-cm de couple à un courant de 0,31 A par phase.

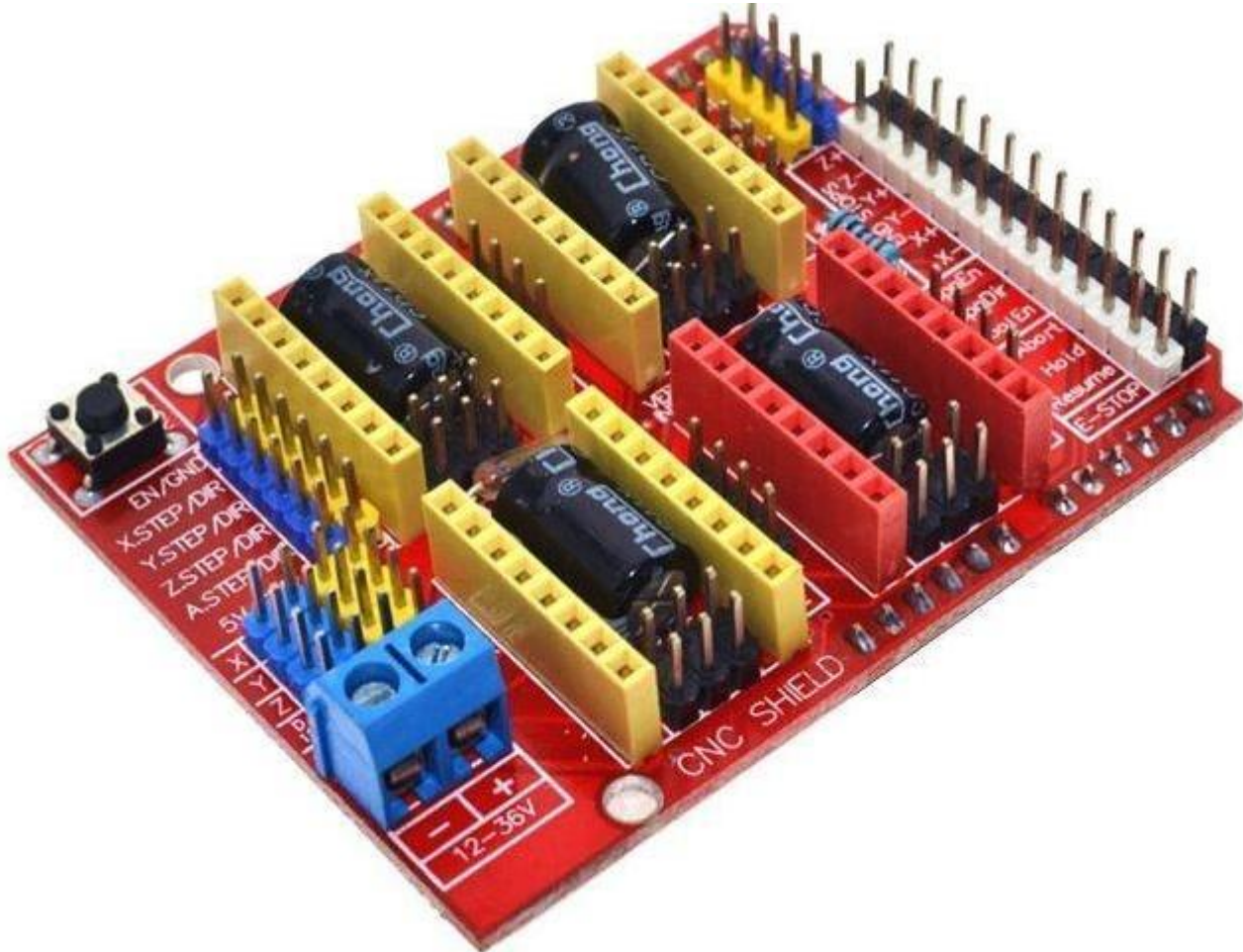
La position du moteur peut être commandée pour se déplacer ou se maintenir à une position à l'aide de pilotes de moteur pas à pas . Le moteur pas à pas Nema17 1,6 kg cm offre une excellente réponse aux impulsions de démarrage, d'arrêt et d'inversion du pilote de moteur pas à pas .

Ils sont très utiles dans les diverses applications en particulier qui exigent une faible vitesse avec une grande précision. De nombreuses machines telles que les imprimantes 3D , les machines CNC, les plates-formes de caméras, les traceurs XYZ, etc.

Il s'agit d'un moteur à courant continu sans balais , la durée de vie de ce moteur dépend donc de la durée de vie des roulements . Le contrôle de position est réalisé par un simple mécanisme de contrôle en boucle ouverte qui ne nécessite pas de circuits de contrôle électroniques complexes.

L'arbre du moteur a été usiné pour une bonne adhérence avec une poulie, un engrenage d'entraînement etc. et surtout éviter le calage ou le glissement.

- CNC Shield V3.0 Expansion Board



CNC Shield V3.0 peut être utilisé comme carte d'extension de lecteur pour machine de gravure, imprimante 3D et autres périphériques. Il y a 4 emplacements dans la carte pour les modules d'entraînement de moteur pas à pas, peut piloter 4 moteurs pas à pas, et chaque moteur pas à pas nécessite seulement deux ports IO, c'est-à-dire que 6 ports IO peuvent très bien gérer trois moteurs pas à pas, c'est très pratique à utiliser. Après avoir inséré Arduino CNC Shield V3.0 dans Arduino UNO et installé le micrologiciel GRBL, vous pourrez bricoler rapidement une machine de gravure CNC.

Caractéristiques

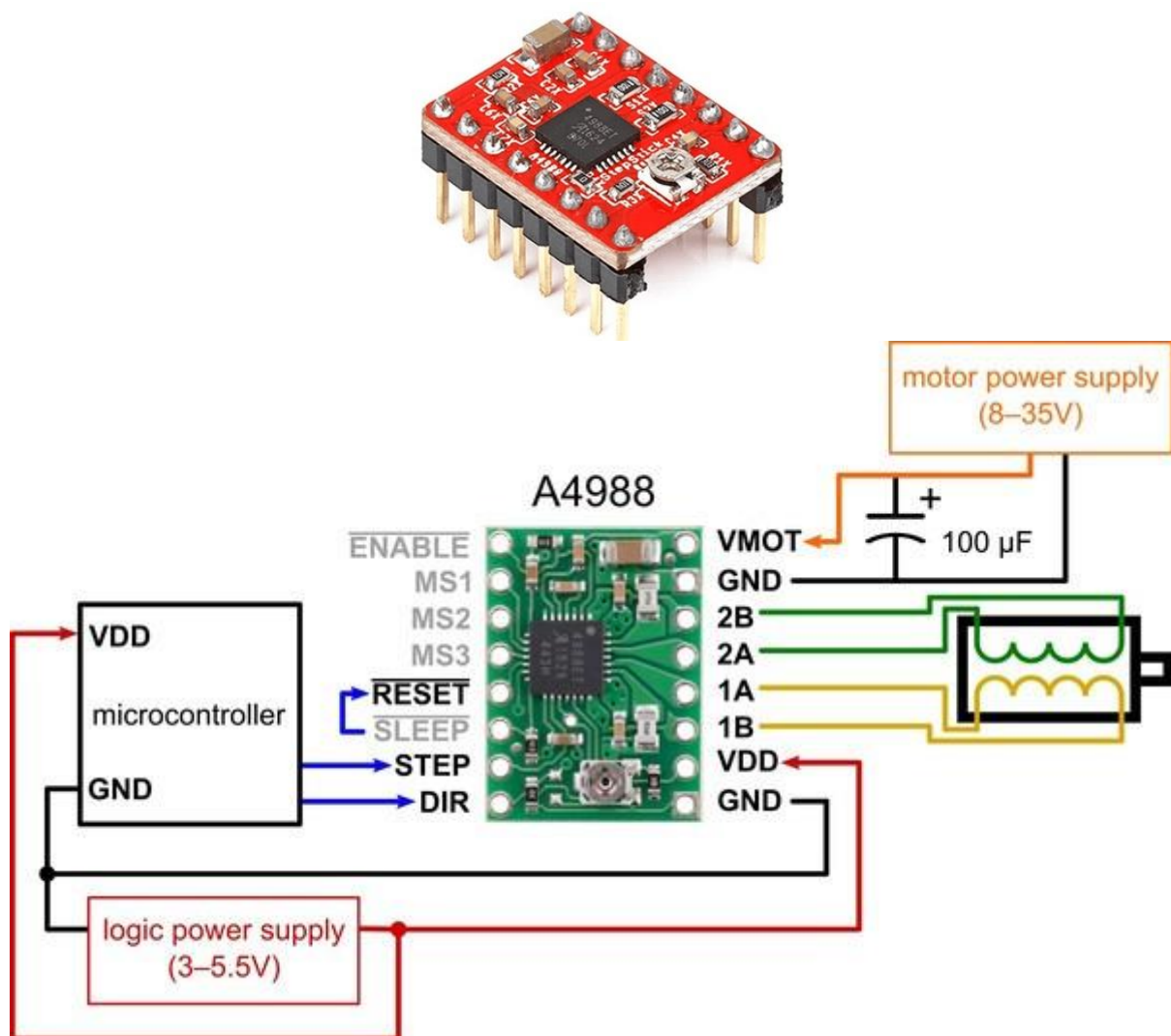
Tension moteur: 8 V à 35 V

Tension des circuits logiques: 3 V à 5,5 V

Courant: 2 A (MAX) Résolutions en cinq étapes: complète, 1/2, 1/4, 1/8 et 1/16

Protection: sous-tension, surintensité et surchauffe

- Module Driver moteur A4988



Module Driver moteur A4988 est un pilote de moteur pas à pas complet avec convertisseur intégré, facile à utiliser. Il fonctionne de 8 V à 35 V et peut fournir jusqu'à environ 1 A par phase sans dissipateur thermique ni flux d'air forcé (il est calibré pour 2 A par bobine avec un refroidissement supplémentaire suffisant).

Le pilote de moteur pas à pas du pilote A4988 comprend un régulateur de courant à temps d'arrêt fixe, le régulateur peut être en mode de décroissance lente ou mixte. Le convertisseur est la clé de la mise en œuvre facile de l' A4988 .

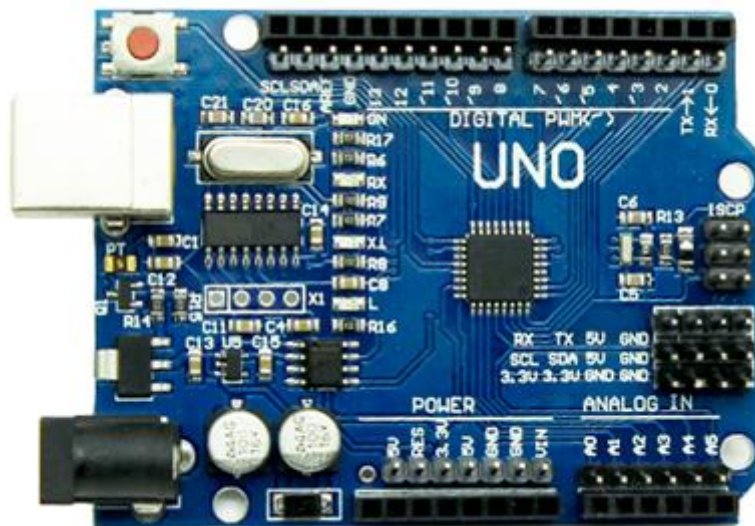
Il n'y a pas de tables de séquence de phases, de programmation d'interface de contrôle haute fréquence, etc. L'application de l' interface A4988 est très appropriée pour un microprocesseur

complexe n'est pas disponible ou en surcharge. Dans l'opération pas à pas, la commande de hachage de l' A4988 sélectionne automatiquement le mode de décroissance actuel (lent ou mixte). Le schéma de contrôle du courant de décroissance du mélange peut réduire le bruit audible du moteur, augmenter la précision des pas et réduire la consommation d'énergie.

Fournir un circuit de commande de redressement synchrone interne, afin d'améliorer la consommation d'énergie de la modulation de largeur d'impulsion (PWM) pendant le fonctionnement.

La protection du circuit interne comprend un arrêt thermique avec hystérésis, un verrouillage de sous-tension (UVLO) et une protection contre les courants croisés. Pas besoin d'un séquençage spécial de mise sous tension. A4988 utilise un boîtier QFN à montage en surface (ES), la taille est de 5 mm x 5 mm, la hauteur totale nominale du boîtier est de 0,90 mm, avec un tampon thermique exposé pour améliorer la fonction de dissipation thermique.

- Carte Arduino UNO R3 SMD CH340



La carte de développement Uno R3 CH340G ATmega328p est la version économique du populaire Uno R3 Arduino. Il est assemblé avec la puce de conversion USB vers série CH340, au lieu d'utiliser une puce Atmega16U2.

Nous avons utilisé beaucoup de ces cartes Arduino bon marché avec des puces CH340 et nous les avons trouvées parfaitement fonctionnelles. La puce CH340 n'est utilisée que pendant la programmation et lors de l'utilisation de la sortie série du port USB. En fonctionnement normal, cette carte est identique à la version plus chère sans puce CH340.

Principaux changements par rapport à l'ancienne version :

1. Deux rangées de trous pour les broches (Mâle et Femelle). Il peut donc être connecté avec des cavaliers femelles normaux.
2. 3 rangées supplémentaires de trous pour le câblage.

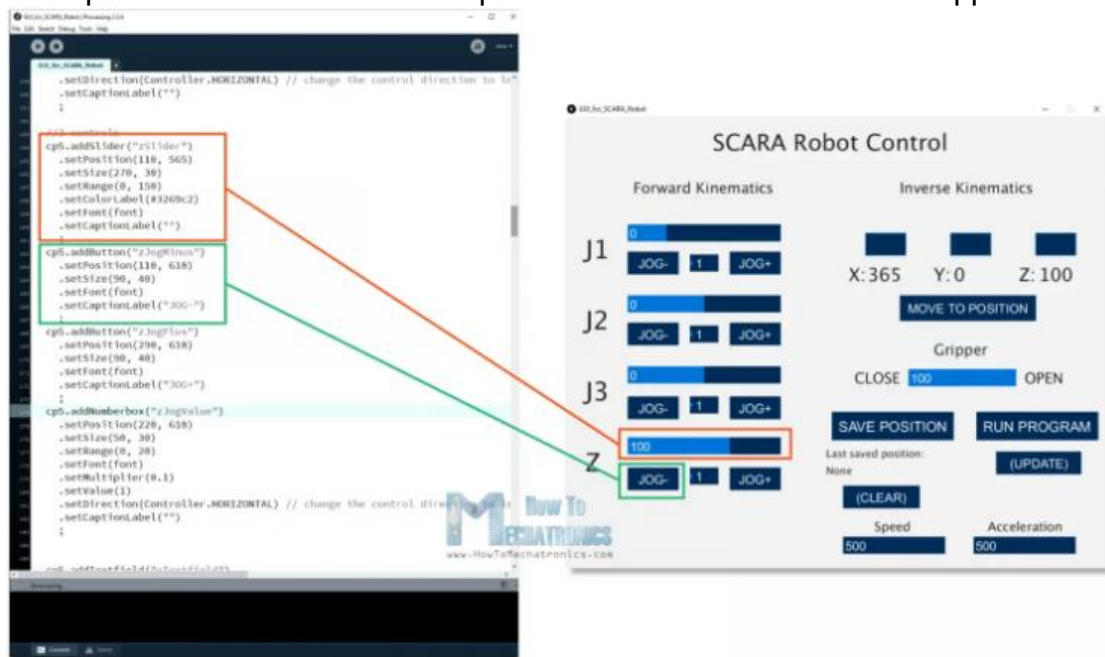
3. Modifications du package DIP de l'ATMEGA328P en package plat.
4. CH340G remplace ATmega16U2

4 - Programmation de la carte Arduino

La programmation de la carte Arduino a été une étape cruciale dans le développement du projet, permettant le contrôle précis des mouvements et des actions du système. En utilisant le langage de programmation Arduino, nous avons élaboré un code source complet, configurant les capteurs, définissant les séquences de mouvements et assurant la gestion des interactions avec l'environnement. La carte Arduino, en tant que cerveau électronique central, a facilité une communication fluide entre les composants électroniques. Ce processus de programmation a été fondamental pour permettre au système d'exécuter des tâches autonomes et de répondre de manière précise aux commandes externes. Pour une référence détaillée, le code de programmation complet peut être consulté dans l'annexe du rapport, offrant une vision approfondie de la mise en œuvre du contrôle du système. Cette phase a grandement contribué à assurer la fonctionnalité complète du projet, démontrant ainsi une compétence clé acquise au cours de notre expérience.

5 - Création de l'interface graphique de l'utilisateur (graphical user interface, GUI)

La mise en place de l'interface graphique utilisateur a joué un rôle central dans notre projet en facilitant la manipulation à distance du robot. Grâce à cette interface que nous avons élaborée, les utilisateurs peuvent surveiller en temps réel les opérations du robot et interagir avec lui de manière intuitive. Les commandes à distance, intégrées de manière réfléchie dans l'interface, offrent une flexibilité totale pour diriger le robot dans différentes directions et accomplir diverses tâches de manipulation des bouteilles. La représentation visuelle des actions du robot sur l'interface permet aux opérateurs de prendre des décisions éclairées, garantissant un contrôle précis même à distance. Cette fonctionnalité renforce la polyvalence du robot dans des environnements variés, permettant une manipulation précise et sécurisée des bouteilles sans nécessiter une proximité physique constante. L'interface graphique devient ainsi un outil indispensable pour maximiser l'efficacité opérationnelle du robot dans des applications diverses.



IV - Conclusion :

En conclusion, la réalisation du robot SCARA pour la détection, la prise et le déplacement des bouteilles représente une étape significative dans l'intégration des technologies de robotique au service de tâches spécifiques. Ce projet a nécessité une approche multidisciplinaire, combinant des compétences en conception mécanique, électronique et programmation. Le robot SCARA démontre efficacement sa capacité à effectuer des opérations complexes de manipulation des bouteilles de manière précise et rapide. Les différentes phases du projet, de la conception initiale à la programmation de la carte Arduino, ont été autant de défis relevés avec succès par notre équipe. En fournissant une solution automatisée pour la détection, la prise et le déplacement des bouteilles, ce robot SCARA ouvre la voie à des applications potentielles dans divers domaines industriels, témoignant de l'impact positif de l'innovation technologique. Ce rapport témoigne de notre engagement envers l'avancement de la robotique appliquée et met en évidence les compétences et les connaissances acquises au cours de ce projet passionnant.

Programmation du robot SCARA

Code Arduino

```
// FORWARD KINEMATICS
void forwardKinematics() {
  float theta1F = theta1 * PI / 180; // degrees to radians
  float theta2F = theta2 * PI / 180;
  xP = round(L1 * cos(theta1F) + L2 * cos(theta1F + theta2F));
  yP = round(L1 * sin(theta1F) + L2 * sin(theta1F + theta2F));
}

/ INVERSE KINEMATICS
void inverseKinematics(float x, float y) {
  theta2 = acos((sq(x) + sq(y) - sq(L1) - sq(L2)) / (2 * L1 * L2));
  if (x < 0 & y < 0) {
    theta2 = (-1) * theta2;
  }

  theta1 = atan(x / y) - atan((L2 * sin(theta2)) / (L1 + L2 * cos(theta2)));

  theta2 = (-1) * theta2 * 180 / PI;
  theta1 = theta1 * 180 / PI;

  // Angles adjustment depending in which quadrant the final tool coordinate x,y is
  if (x >= 0 & y >= 0) { // 1st quadrant
    theta1 = 90 - theta1;
  }
  if (x < 0 & y > 0) { // 2nd quadrant
    theta1 = 90 - theta1;
  }
  if (x < 0 & y < 0) { // 3d quadrant
    theta1 = 270 - theta1;
    phi = 270 - theta1 - theta2;
    phi = (-1) * phi;
  }
  if (x > 0 & y < 0) { // 4th quadrant
    theta1 = -90 - theta1;
  }
  if (x < 0 & y == 0) {
    theta1 = 270 + theta1;
  }

  // Calculate "phi" angle so gripper is parallel to the X axis
  phi = 90 + theta1 + theta2;
  phi = (-1) * phi;
}
```

```

// Angle adjustment depending in which quadrant the final tool coordinate x,y is
if (x < 0 & y < 0) {    // 3d quadrant
  phi = 270 - theta1 - theta2;
}
if (abs(phi) > 165) {
  phi = 180 + phi;
}

theta1=round(theta1);
theta2=round(theta2);
phi=round(phi);

cp5.getController("j1Slider").setValue(theta1);
cp5.getController("j2Slider").setValue(theta2);
cp5.getController("j3Slider").setValue(phi);
cp5.getController("zSlider").setValue(zP);
}

if (gripperValuePrevious != gripperValue) {
  if (activeIK == false) {    // Check whether the inverseKinematics mode is active, Executre Forward
kinematics only if inverseKinematics mode is off or false
    gripperAdd = round(cp5.getController("gripperValue").getValue());
    gripperValue=gripperAdd+50;
    updateData();
    println(data);
    myPort.write(data);
  }
}

public void updateData() {
  data = str(saveStatus)
  +"," +str(runStatus)
  +"," +str(round(cp5.getController("j1Slider").getValue()))
  +"," +str(round(cp5.getController("j2Slider").getValue()))
  +"," +str(round(cp5.getController("j3Slider").getValue()))
  +"," +str(round(cp5.getController("zSlider").getValue()))
  +"," +str(gripperValue)
  +"," +str(speedSlider)
  +"," +str(accelerationSlider);
}

if (Serial.available()) {
  content = Serial.readString(); // Read the incomding data from Processing

```

```

// Extract the data from the string and put into separate integer variables (data[] array)
for (int i = 0; i < 10; i++) {
    int index = content.indexOf(","); // locate the first ","
    data[i] = atol(content.substring(0, index).c_str()); //Extract the number from start to the ","
    content = content.substring(index + 1); //Remove the number from the string
}
/*
data[0] - SAVE button status
data[1] - RUN button status
data[2] - Joint 1 angle
data[3] - Joint 2 angle
data[4] - Joint 3 angle
data[5] - Z position
data[6] - Gripper value
data[7] - Speed value
data[8] - Acceleration value
*/

// If SAVE button is pressed, store the data into the appropriate arrays
if (data[0] == 1) {
    theta1Array[positionsCounter] = data[2] * theta1AngleToSteps; //store the values in steps = angles *
    angleToSteps variable
    theta2Array[positionsCounter] = data[3] * theta2AngleToSteps;
    phiArray[positionsCounter] = data[4] * phiAngleToSteps;
    zArray[positionsCounter] = data[5] * zDistanceToSteps;
    gripperArray[positionsCounter] = data[6];
    positionsCounter++;
}

stepper1.moveTo(stepper1Position);
stepper2.moveTo(stepper2Position);
stepper3.moveTo(stepper3Position);
stepper4.moveTo(stepper4Position);

while (stepper1.currentPosition() != stepper1Position || stepper2.currentPosition() != stepper2Position ||
stepper3.currentPosition() != stepper3Position || stepper4.currentPosition() != stepper4Position) {
    stepper1.run();
    stepper2.run();
    stepper3.run();
    stepper4.run();
}

```

Bibliographie

- Ferial BELCADHI, 17/04/2015, L'Expo Permanente, usinenouvelle.com
- Hubert Process & Robotique, 29/12/2023, www.hubertprocess.com
- BKTRONIC Robotic & Engineering, 03/01/2024, www.bktronic.fr
- Intelligence artificielle Robot pick & place, 05/01/2024, eduscol.education.fr
- UltiMaker Cura, 20/01/2024, ultimaker.com
- Imprimante-3d-creality-ender-3-v2, 20/12/2024, smart-cube.biz
- Servo Moteur Pro MG996R , 22/12/2024, tuni-smart-innovation.com
- Module Driver moteur A4988, 22/12/2024, didactico.tn
- Arduino UNO R3 SMD22/12/2024, cothings.net
- SCARA Robot | How To Build Your Own Arduino Based Robot, 01/11/2023, howtomechatronics.com
- SCARA ROBOT ARM, 05/11/2023, cults3d.com