



الإدارة الذاتية الديمقراطية

منسيّة جامعات شمال وشرق سوريا

جامعة روجافا

معهد العلوم التقنية

قسم المعهد العالي للميكاترونیك

مشروع اعد لنيل إجازة في معهد العلوم التقنية في قسم المعهد العالي  
للميكاترونیك

## Hybrid Hexapod Robot (Spider Robot)

دراسة خوارزميات المشي والطيران لروبوت سداسي الأرجل هجين

إعداد الطلاب:

عزام الخلف

ديار يوسف

لاوند حاج يوسف

إشراف:

المُهندس باسل جدعو

## صفحة المشرف

إننا نؤكّد على أن المشروع المحدد الذي يحمل اسم :  
Hybrid Hexapod Robot (Spider Robot )

الذي أعده الطالب : عزام الخلف - لوند حاج يوسف - ديار يوسف .

بإشراف المهندس : باسل جدعو .

جامعة روجافا - معهد العلوم التقنية - المعهد العالي للميكاترونique .

التاريخ : / /

اسم و توقيع المشرف

## إهداء

أهدي هذا البحث لكل طالب علم يسعى لكسب المعرفة و تزويد رصيده المعرفي العلمي و الثقافي .

إلى من ساعدتني في صلاتها و دعائهما ..... إلى من سهرت الليلالي تنير دربي  
إلى من تشاركتني أفراحي و أحزاني ..... إلى نبع العطف و الحنان إلى أجمل  
ابتسامة في حياتي، إلى أروع امرأة في الوجود .

إلى أمي الغالية .

إلى الذي لم يدخل عليَّ بأي شيء ..... إلى من معي لأجل راحتني و  
نجاهي إلى أعظم و أعز رجل في الكون .

إلى أبي الغالي .

إلى من شاركوني طفولتي و أحبواني بصدق و إخلاص و تعاونوا معي لإتمام دراستي هذه ....

إلى إخواني و أخواتي .

إلى من علمني أن الدنيا كفاح ..... و سلاحها العلم و المعرفة  
إلى من أخذ بيدي نحو آفاق العلم و المعرفة

إلى من كان له الفضل – بعد الله تعالى – في التفوق علمياً و عملياً في الحياة ..

إلى الدكتور كسرى حرسان .

إلى عروسة الوطن و شعلة المقاومة ..... إلى مهد الحضارة و نبع الأصالة

إلى مدينة الزيتون : عفرين .

## شكر و تقدير

بداية الشكر لله عز وجل الذي أعاننا و شد من عزمنا لإكمال هذا البحث، فهو الذي وهبنا الصبر و التحدي و المثابرة لجعل من هذا المشروع علمًا ينتفع به.

لا يسعنا بعد الانتهاء من إعداد هذا البحث إلا أن نتقدم بجزيل الشكر و عظيم الامتنان إلى الأستاذ الفاضل

الأستاذ باسل جدعو

الذي تفضل بالإشراف على هذا البحث ، حيث قدم لنا كل النصح و الإرشاد طيلة فترة الإعداد فله منا كل الشكر و التقدير .

كما لا يفوتنا أنت تقدم بجزيل الشكر و العرفان إلى كل من الأنسنة سهام محمد و الأستاذ عمر العمر و جميع الكادر التدريسي لهم منا كل الشكر و التقدير و الامتنان .

بالإضافة نتوجه بالشكر الكبير إلى كل جنود الخفاء الذين سخر لهم الله تعالى لمساعدتنا في إتمام هذه الدراسة و على وجه الخصوص الدكتور المهندس كسرى حرسان الذي مهما تحدثنا و مهما ذكرنا عبارات من أجل الشكر ، لن نوفي حقه ، كل الحب و التقدير و الاحترام .

## الملخص

يمكن أن يكون للروبوتات سدايسية الأرجل ، التي يشار إليها أيضاً بإسم سداسي الأرجل ، أنماط حركة معقدة للغاية وتتوفر وسائل للتحرك على التضاريس حيث قد تفشل الروبوتات ذات العجلات. توضح هذه الأطروحة نهج استخدام التصميم المستند إلى النموذج للتحكم في مثل هذا السداسي الأرجل. يشمل المشروع النطاق الكامل من اختيار الأجهزة ، وإنشاء نماذج / CAD ، Solidworks ، والتطوير في بيئة MATLAB / Simulink وإنشاء الكود. من خلال امتلاك نموذج كمبيوتر للروبوت ، يمكن تطوير أنماط الحركة في بيئة افتراضية قبل اختبارها عملياً على أرض الواقع.

يتم تنفيذ حركة الساق كخوارزميات لتحديد ترتيب حركة الساق ومسارات التأرجح وتعديل إرتفاع الجسم والتوازن. نتج عن المشروع إنشاء ناجح لمنصة سداسي الأرجل لتطوير الحركة من خلال التصميم المستند إلى النموذج . تشمل النتائج التنفيذ الناجح لحركة سداسي الأرجل وخوارزمية المشي حيث يكون لديها القدرة على المشي على سطح مستوٍ ، وتدوير وتغيير ارتفاع الجسم. يحتوي التنفيذ أيضاً على وضع موازنة ناجح - hexapod بينما يمكنه الحفاظ على مستوى الجسم الرئيسي أثناء تغيير زاوية الأرضية. يتضمن البحث بعض النتائج التجريبية المتعلقة بالتحكم في الساق وبعض عمليات المحاكاة الخاصة بالنماذج الديناميكي. سيكون هذا الروبوت بمثابة منصة يمكن من خلالها إضافة مستشعرات حسية إضافية أو برمجتها لأداء حركات معقدة بشكل متزايد.

عند تعديله يمكن استخدامه في مجال الدفاع ، وتكنولوجيا المناولة ، وأتمتة التصنيع وما إلى ذلك. تم تصميم الروبوت لاستخدامه في تطبيقات الطرق الوعرة والأماكن التي يصعب على الروبوتات ذات العجلات الوصول إليها .

## المحتويات

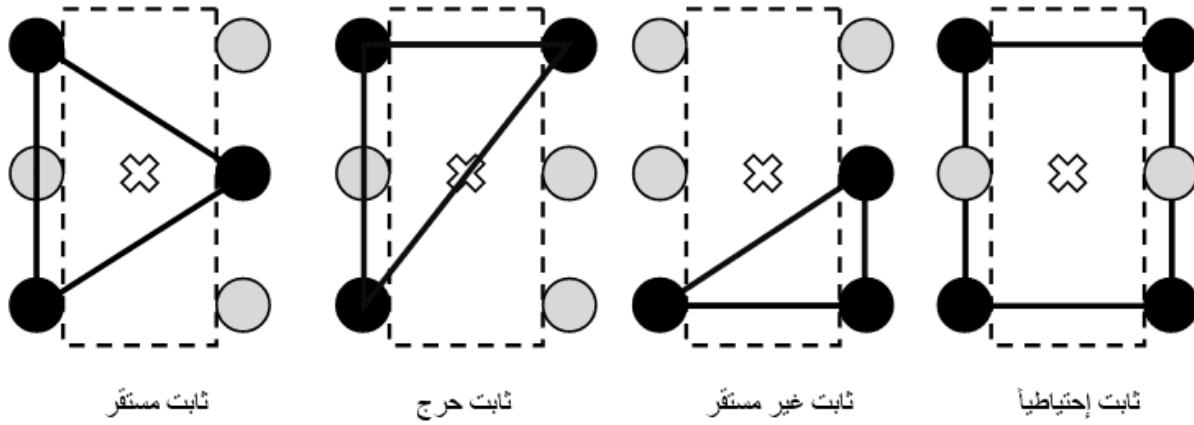
1	.....	1 - المقدمة: .....
1	.....	1.1 الخلفية: .....
2	.....	1.2 الأهداف: .....
3	.....	1.3 طريقة التصميم المستند على النموذج: .....
3	.....	1.4 مراجعة الأدبيات والنظريات: .....
4	.....	2 - النظريات .....
4	.....	2.1 النمذجة والتحقق: .....
4	.....	2.1.1 بيئة SolidWorks .....
4	.....	2.1.2 بيئة Matlab .....
5	.....	2.1.3 بيئة Simulink .....
6	.....	2.1.4 Robotics Toolbox - Peter Corke .....
6	.....	2.2 نظرية هيكل روبوت hexapod .....
8	.....	2.3 نظرية المشي: .....
9	.....	2.4 معادلات علم الحركة: .....
10	.....	2.4.1 إطارات الروبوت: .....
12	.....	2.4.2 المعادلات الحركية الأمامية : .....
14	.....	2.4.3 معادلات الحركة العكسية : .....
16	.....	2.4.4 قيود الساق: .....
18	.....	2.4.5 مسار الساق: .....
20	.....	2.5 نظرية الطيران: .....
23	.....	3 - التطبيقات العملية .....
23	.....	3.1 إختيار الأجهزة: .....
23	.....	3.1.1 النظام المدمج Embedded System .....
27	.....	3.1.2 Arduino .....

34 .....	Servo Motor 3.1.3
39 .....	: Servo Motor Driver 3.1.4
43 .....	: Brushless Motor 3.1.5
49 .....	3.1.6 متحكمات السرعة ESC
52 .....	:Bluetooth Communication Module 3.1.7
56 .....	3.1.8 مستشعر الجيروسكوب :Gyroscope Sensor
59 .....	3.2 التصميم وطباعة الهيكل:
61 .....	3.3 تجميع القطع:
63 .....	3.4 برمجة التطبيق و المتحكم :
63 .....	3.4.1 برمجة تطبيق Android
66 .....	3.4.2 الخوارزمية البرمجية :
69 .....	4 - المناقشة
69 .....	4.1 النتائج والإستنتاجات:
69 .....	4.2 التحسينات المستقبلية :
71 .....	5 - المراجع
73 .....	6 - جدول الأشكال

## ١ - المقدمة:

### ١.١ الخلفية:

تسمح سداسيات الأرجل الهجينية بالحركة على التضاريس التي يتعدى الوصول إليها و التي يصعب على الأنوع الأخرى من المركبات، لأنها لا تحتاج إلى سطح دعم مستمر. تُستخدم روبوتات سداسيات الأرجل الهجينية في البيئات الخارجية (غير المهيكلة) كما هو الحال في شركات التعدين وأنابيب الصرف الصحي والزراعة والغابات. من الممكن أيضًا استخدام الروبوتات المحمولة لتحفيز التدريس والتقويم في الميكاترونكس والذكاء الاصطناعي، يمكن استخدام سداسيات الأرجل الهجينية لاختبار النظريات البيولوجية حول حركة الحشرات والتحكم الحركي وعلم الأعصاب. لكن تعقيد تنسيق الساق والأجنحة والتحكم فيها أكثر تعقيداً بكثير من الروبوتات ذات العجلات، حتى مع تطوير أنظمة المشي و الطيران الأولى، حاول باحثون من مجال الروبوتات إنشاء روبوتات تحاكى الحركة المعقدة المشابهة للحيوانات. لا يزال بناء هيكل ميكانيكي يحاكي ساق حيوان وأجنحته قيد التقدم، يتمثل الجزء الأكثر تحدياً في كيفية التحكم فيه بحيث يتصرف كأنه حقيقي. زاد عدد تصميمات روبوت المشي و الطيران الميكانيكي مؤخرًا، حيث أصبحت الروبوتات السداسية للأرجل الهجينية مجموعة بحثية مهمة في جميع أنحاء العالم. القدرة على التعامل مع التضاريس غير المستوية والحواجز المرتفعة تجعل من سداسي الأرجل الهجين بنية مفيدة للغاية. من أهم ميزات الروبوت أن يتجول في بيئته بطريقة مستقرة وفعالة وطبيعية. إذا فحصنا الحالة الفنية الحالية، يمكننا أن نرى أن الروبوت يمكن أن يتمتع إما بالاستقرار والتنوع أو الكفاءة والطبيعة ولكن ليس كل الأربعة منهم على الإطلاق. تتمثل إحدى أكثر المشكلات المدرosaة بالنسبة للروبوتات متعددة الأرجل في تحليل الثبات أثناء رفع ووضع الساقين. يمكن تقسيم حركة الروبوتات ذات الأرجل إلى مستقرة ديناميكياً وثابتة. يعني الاستقرار الثابت أن الروبوت يكون مستقرًا طوال الوقت أثناء دورة مشيته أما الاستقرار الديناميكي أن الروبوت يكون مستقرًا فقط عندما يتحرك. بالنسبة للروبوتات ذات الأرجل، يتطلب الثبات الساكن أن يكون للروبوت ثلاثة أرجل على الأقل على الأرض في جميع الأوقات وأن يكون مركز كتلة الروبوت داخل مضلع الدعم، أي المضلعل المدبب الذي تشكله الأرجل الداعمة للروبوت الشكل (1).



الشكل 1 المضلع الداعم الذي تشكله الأرجل

## 1.2 الأهداف:

الهدف الرئيسي من الأطروحة هو برمجة روبوت آلی سداسي الأرجل هجين يمشي ويطير باستخدام التصميم المستند إلى النموذج. من المفترض أن يسلط هذا الضوء على نقاط القوة في العمل مع نموذج الكمبيوتر كمرحلة اختبار أولى. في صناعة اليوم يعتبر اختبار طرق التحكم على نموذج كمبيوتر للمصنوع قبل الاختبار في مصنع حقيقي أكثر كفاءة وفعالية من حيث التكلفة والوقت من خلال وجود جهاز كمبيوتر يقوم بتشغيل النموذج وسداسي الأرجل الهجين الحقيقي في المعرض، سنتتمكن من إظهار نموذج أعمالنا بطريقة مفيدة. لذلك فإن الجانب المرئي لنموذج الكمبيوتر له أهمية أيضاً.

تشمل أهداف المشروع :

1. القيام بمراجعة الأدبيات للروبوت Hybrid Hexapod، والذي يتضمن معرفة جميع النظريات والمتطلبات المسألة المتعلقة بحركة وديناميكية الروبوت.
2. تصميم نموذج الروبوت السداسي الأرجل الهجين على برنامج SolidWorks CAD
3. القيام بمسح للسوق يتضمن الاستعلام عن أجزاء الروبوت المتوفرة في السوق وخصائصها وتصميم الروبوت وفقاً لاحتياجات السوق وإتاحته للبيع في السوق.
4. تعديل التصميم (إذا اطلب الأمر أي تغييرات).
5. تحليل ومحاكاة التصميم.
6. تصنيع روبوت آلی سداسي الأرجل هجين.
7. التحكم في الروبوت: يتم استخدام التحكم الآلي (التحكم عن بعد).
8. اختبار الروبوت السداسي الأرجل الهجين.

و كتحدي علمي، كان الهدف النهائي هو جعل المنتج النهائي لسداسي الأرجل الهجين يتنقل في التضاريس غير المستوية وتجاوز العوائق. بمساعدة مقياس التسارع والجيروسكوب، يتم قياس حركة واتجاه الجسم الرئيسي. من هذا القياس قد توجد إمكانية تحديد الأشياء والجدران. باستخدام هذه المعلومات يمكن أن يتكيف نمط المشي والطيران مع البيئة.

### **3.1 طريقة التصميم المستند على النموذج:**

تقليدياً تطوير النظام يتكون من عدة خطوات. عادةً ما يقوم فريق من مهندسي النظام بتحديد وإنشاء مواصفات النظام. يتم تسليم هذه المستندات إلى مهندسي البرمجيات الذين يفسرونها وينفذون كود البرنامج باللغة المفضلة. الخطوة التالية هي اختبار التنفيذ على الأجهزة. عادةً ما يتم إدراك الكثير من الأخطاء لأول مرة في مرحلة الاختبار، ولكن يجب تصحيحها طوال الطريق في المرحلة الأولى. لن يدخل النظام حيز الإنتاج إلا بعد نجاح الاختبار.

يعد التصميم المستند إلى النموذج طريقة حديثة لتحسين هذا النهج. من أجل تقليل تكاليف التطوير والوقت، يمكن للشركات الحديثة استخدام برامج مثل Matlab لتصميم وبناء نماذج المصنع والتحكم في بيئه افتراضية. باستخدام التصميم المستند إلى النموذج يمكن للمطورين إنشاء أنظمة باستخدام النماذج الرياضية للأجزاء وتفاعلها مع البيئة هذا يمكن أن يزيل الكثير من الأخطاء من التفسير بين مصممي النظام ومصممي البرامج. كما أنه يفتح الكثير من الخيارات للمطور، حيث يتتيح الوصول إلى مصنع الاختبار الافتراضي اختبار الأفكار دون الالتزام بالأجهزة. الأنظمة التي تم تطويرها باستخدام التصميم المستند إلى النموذج تجعل من السهل أيضاً إعادة استخدام أنظمة العمل.

مizza أخرى للبرامج الحديثة للتصميم المستند إلى النموذج هي القدرة على إنشاء رمز تلقائياً من النموذج. بهذه الطريقة يمكن التخلص من أخطاء التعليمات البرمجية اليدوية وتمكين التصميم المستند إلى النموذج من خلال جميع الخطوات نحو النظام المستهدف يؤدي إنشاء الكود أيضاً إلى إغلاق الباب أمام التفسير البشري لمعلمات التصميم ويفتح العديد من الخيارات لتحسين الكود. هذه الطريقة لتقليل مقدار الخطوات اللازمة للإنتاج تؤدي إلى إدارة أفضل للمشروع وتجعل المنتجات تصل إلى السوق بشكل أسرع.

### **4.1 مراجعة الأدبيات والنظريات:**

يتضمن هذا القسم معرفة جميع النظريات والمتطلبات المسبقة فيما يتعلق بحركة وديناميكيات الروبوت، مثل دراسة علم الحركة للروبوت الذي يتكون من المصطلحات الحركية مثل الرابط والمفصل والمستجيب النهائي والقاعدة والزوج الحركي والسلسلة الحركية بالإضافة إلى العلوم المتعلقة بالطيران مثل التوازن، مقاومة الهواء و ديناميكية الهواء. كما تمت دراسة أنواع مختلفة من المفاصل الروبوطية مثل المفاصل الدورانية، والدوارة، والمعتمدة، والاتوائية، والمفاصل الخطية. تمت دراسة طريقة السرعة النسبية لتحليل سرعة الروبوت، ودراسة العوامل المختلفة المسؤولة عن اختيار المحركات. قبل البدء في المشروع، تمت دراسة العمل السابق المنجز على الروبوت وتم تسجيل الأعمال المهمة، مثل التحكم في الروبوت باستخدام واجهة التحكم المؤازر. تشمل الأعمال المهمة الأخرى التي تمت دراستها تصميم روبوت سداسي الأرجل مزوداً بمستشعر للتعامل مع الرياح، وتصميم روبوت سداسي الأرجل مزود بمحركات للطيران.

## 2 - النظريات

### 2.1 النمذجة والتحقق:

#### 2.1.1 بيئة SolidWorks:

هي واحدة من أكثر برامج CAD استخداماً في عمليات الرسم والتصميم في جميع أنحاء العالم، والذي يعتبره الكثيرون بمثابة المساعدة الهندسية الشاملة في الصناعة. باستخدام برنامج SolidWorks تستطيع إنشاء أي شكل يمكنك تخيله ، حيث يتركز على التصميم الهندسي عن طريق النمذجة الهندسية. في جوهرها، تعمل SolidWorks كبرنامج CAD حودي. هذا يعني أن كل ميزة في الجزء المصمم في البرنامج مبنية على معلمات السمة المرتبطة بها فعلياً . على سبيل المثال، إذا تم تغيير معلمات الميزة الأساسية ، فستتأثر أيضاً الميزات الثانوية المرفقة في الأسفل في الخط الزمني. بمجرد الانتهاء من جزء أو تجميع ، يمكن استخدام أداة الرسومات القوية. يؤدي هذا على الفور إلى إنشاء تمثيل دقيق ثالثي الأبعاد لجزء ما ويمكن المستخدم من سحب وإسقاط زوايا عرض مختلفة (مثل في 2D) لتشكيل تمثيل إملائي كامل. يمكن إضافة الأبعاد إلى الرسم بمجرد النقر على السطح أو الرأس والنقر لتحديد مكان عرض البعد. عملية التصميم ثنائية الأبعاد جيدة التصميم وبسيطة. يمكن وضع الرسم معًا في غضون ثوانٍ مع قيام البرنامج بمعظم العمل نيابةً عنك ، مما يجعل عملية التصميم ثلاثي الأبعاد أكثر كفاءة تماماً. تتضمن مجموعة وظائف الرسم ما يلي : الأشكال : الخطوط، الدوائر، المستويات، الأقواس، الحذف، النصوص، الفتحات، المضلعات وظائف الرسم: القطع، والإزاحة، والمرآة، والنطط الدائري والخطي، والتحرير، والنسخ، والقياس، والتتميد، والتدوير. على الرغم من وجود تعقيدات ، إلا أن إنشاء نماذج ثلاثة الأبعاد في برنامج CAD من المستوى الأساسي إلى المستوى المتوسط لم يكن أسهل من أي وقت مضى. فيما يلي بعض الأدوات المتاحة للمساعدة: البثق، التدوير ...

#### 2.1.2 بيئة Matlab:

مختبر المصفوفات هو برنامج رائد في التطبيقات الهندسية والرياضية من إنتاج شركة ماثوروركس؛ MATLAB يسمح بالتلعب حسابياً بالمصفوفات، بالرسم البياني للتتابع الرياضية، بتنفيذ الخوارزميات المختلفة، إنشاء واجهات المستخدم الرسومية، والتواصل مع البرامج المكتوبة بلغات أخرى، بما في ذلك C ، C++ ، جافا، وفورتران. يستخدم البرنامج مع العديد من التطبيقات والأدوات المساعدة الأخرى مثل(Simulink).

الإضافات التي تنتجه الشركة تنقسم قسمين إضافات خاصة بماتلاب وإضافات خاصة بسميلينك الإضافات الخاصة بـ MATLAB تسمى صناديق عده (Toolbox) هذه الصناديق تختلف عن بعضها البعض إذا لكل صندوق تخصص علمي تتحوي بداخلها تعلميات برمجية تؤدي إلى حل المسائل العلمية في التخصص الذي أنشئت من أجله الأداة مثل أداة معالجة الصور فهي تعالج تخصص تحليل الصور وكتابة خوارزميات لترتيب البكسلات وهكذا.

أما الإضافات الخاصة بسميلينك فهي تسمى كتل (block set) تقوم بتطبيق النظريات الفيزيائية أو الرياضية على نموذجك الذي أنشئته لتعطيك محاكاة لوضع نموذجك في حال تم خضوع نموذجك لهذه النظريات الفيزيائية أو الرياضية في الواقع الحقيقي لأخذ كنه كاملاً يوجد في برنامج سميولينك كته تحاكي الطائرات والسفن الفضائية وأنظمة الدفع تسمى (Aerospace Blockset) تستفيد الشركات المصنعة للطائرات من هذه الكتلة في إخضاع طائراتهم لعوامل جوية معينة كا الضغط الجوي وتأثيره على هيكل الطائرة بشكل افتراضي ورؤية نتائج أداء طائراتهم على الحاسب بمساعدة برنامج المحاكاة سميولينك وهذه الكتلة. يستخدم الأطباء والمهندسو الطبيون أيضاً هذا البرنامج في رسم الأحماض النوروية التي يكون لها أشكال معقدة ومتداخلة.

يسمح برنامج ماتلاب برسم أشكال ثلاثية الأبعاد بعد كتابة معادلاتها الرياضية في نافذة معينة. بعد رسم الأشكال يمكن تغيير لون وحجم الجسم المرسوم بواسطة شريط خاص للأدوات. عند رسم أشكال معقدة، يمكن جعل أجزاء معينة نصف شفافة حتى يستطيع المستخدم رؤية الأجزاء الأخرى التي تقع خلفها. يستخدم هذا البرنامج أيضاً في رسم الخطوط البيانية ثنائية الأبعاد وفي حل المعادلات الرياضية الصعبة.

### 2.1.3 بيئة Simulink:

هي بيئة برمجة رسومية قائمة على MATLAB لنمذجة ومحاكاة وتحليل الأنظمة الديناميكية متعددة المجالات. واجهته الأساسية هي أداة رسم تخطيطي للكتل ومجموعة قابلة للتخصيص من مكتبات الكتل. إنه يوفر تكاملاً محكماً مع بقية بيئة MATLAB. يستخدم على نطاق واسع في SIMULINK التحكم الآلي و معالجة الإشارات الرقمية لمحاكاة متعددة المجالات و التصميم القائم على النموذج. وهو برنامج يتم فيه إنشاء النماذج عن طريق توصيل كتل مختلفة في واجهة المستخدم الرسومية. يمكن تجميع الكتل في أنظمة فرعية مختلفة لإنشاء مستويات تجريد مختلفة للنموذج. للقدرة على إعادة استخدام الأنظمة الفرعية، ويمكن وضعها في المكتبات، من الممكن تحديث جميع الأنظمة الفرعية المرتبطة في مكان واحد عندما يتم إنشاء نموذج الكتلة، يمكن تشغيله في عدة أوضاع مختلفة. أوضاع المحاكاة شائعة الاستخدام هي الوضع العادي ، البرنامج في الحلقة (SIL)، المعالج في الحلقة (PIL) والوضع الخارجي. يستخدم الوضع العادي عند تشغيل المحاكاة على الكمبيوتر. عند استخدام إنشاء الكود، يمكن استخدام SIL و PIL لتقييم الكود الذي تم إنشاؤه من نموذج Simulink فيوضع SIL يتم إنشاء التعليمات البرمجية وتشغيلها على نفس الكمبيوتر المستخدم للمحاكاة في الوضع العادي. يختلف وضع PIL عن وضع SIL لأنه يتم إنشاء رمز للأجهزة الحقيقة، مثل نظام مضمون. يتم تنزيل الكود الذي تم إنشاؤه وتنفيذها على الجهاز المستهدف. يمكن استخدام أوضاع محاكاة SIL و PIL للنموذج بأكمله أو لبعض الأنظمة الفرعية فقط في النموذج. يمكن استخدام مجموعة من كتل SIL و PIL لمقارنة الأداء بين التعليمات البرمجية التي تعمل على الأجهزة المستهدفة. في الوضع الخارجي يتم إنشاء رمز للنموذج ونشره على الأجهزة المستهدفة. أثناء محاكاة بيانات إشارة الجهاز يمكن إرسالها إلى الكمبيوتر لمراقبة الإشارات المختلفة. عند استخدام إنشاء التعليمات البرمجية، يمكن أيضاً نشر التعليمات البرمجية

الخاصة بنموذج على الأجهزة كتطبيق مستقل. يمكن بدء تشغيل النموذج وإعادة تشغيله وإنهائه من سطر أوامر MATLAB .

#### **:Robotics Toolbox - Peter Corke 2.1.4**

يوفـر صندوق الأدوات هذا وظائف خاصة بالروبوتات إلى MATLAB ، مستغلـا القدرات الأصلية لـ MATLAB (الجـبر الخطـي ، قـابلـية النـقل ، الرـسومـات). يـستخدم Toolbox طـريقة عـامة جـداً لـ تمثـيل الحـركـية وـدينـاميـكيـات معـالـجـات الـارـتبـاط التـسلـسـلي كـكـائـنـات MATLAB® - يـمـكـن إـنشـاء كـكـائـنـات الروـبـوت مـن قـبـل المـسـتـخدـم لأـي معـالـج اـرـتبـاط تـسلـسـلي ويـتم توـفـير عـدـد مـن الـأـمـلـة لـروـبـوتـات مـعـرـوـفة جـيدـاً مـن Kinova وـRethink Universal Robotics وـStanford Puma 560 مـثـلـ. يـدعـم صـنـدوـق الأـدـوـات أـيـضاً روـبـوتـات المـتـنـقـلة بـوـظـائـف لـنمـاذـج حـركـة الروـبـوت (درـاجـة أحـادـية ، درـاجـة) ، خـوارـزمـيات تـخطـيط المـسـار (الـأـخـطـاء ، تحـويل المـسـافـة ، \* D ، PRM) ، التـخطـيط الـدـينـاميـكيـيـ الحـركـيـ (شـعـرـية ، RRT) ، التـرـجمـة (EKF) ، مرـشـحـ الجـسيـماتـ) ، الخـريـطةـ المـبـنىـ (EKF) وـالتـوـطـينـ المـتـزـامـنـ وـرسـمـ الخـرـائـطـ (EKF) ، وـنمـوذـجـ Simulink لـمرـكـبةـ غـيرـ شاملـةـ. يـتـضـمـن Toolbox أـيـضاً نـموـذـجـ مـفصـلاً لـروـبـوت طـائـرـ رـبـاعـيـ المـحـركـاتـ.

مزـايا Toolbox هيـ:

الـشـفـرةـ نـاضـجةـ وـتـوـفـرـ نـقـطـةـ مـقـارـنةـ مـقـارـنةـ لـلـتـطـيـبـيـاتـ الأـخـرـىـ لـنـفـسـ الـخـوارـزمـيـاتـ ؟

تـتـمـ كـاتـابـةـ الإـجـراءـاتـ بـشـكـلـ عامـ بـطـرـيقـةـ مـباـشـرـةـ تـسـمـحـ بـسـهـولـةـ الـفـهـمـ، رـبـماـ عـلـىـ حـاسـبـ الـكـفـاءـةـ الـحـاسـابـيـةـ. إـذـاـ كـنـتـ تـشـعـرـ بـقـوـةـ بـشـأنـ الـكـفـاءـةـ الـحـاسـابـيـةـ، فـيمـكـنـكـ دـائـئـماًـ إـعادـةـ كـاتـابـةـ الـوـظـيفـةـ لـتـكـونـ أـكـثـرـ كـفـاءـةـ، أـوـ تـجـمـيعـ مـلـفـ M باـسـتـخـدـامـ مـتـرـجـمـ MATLABـ، أـوـ إـنشـاءـ إـصـدارـ MEXـ. نـظـراًـ لـتـوـفـرـ شـفـرةـ الـمـصـدـرـ، فـهـنـاكـ فـائـدـةـ فـيـ الـفـهـمـ وـالـتـدـرـيسـ.

يعـودـ تـارـيخـ مـرـبـعـ الـأـدـوـاتـ هـذـاـ إـلـىـ عـامـ 1993ـ وـيـسـبـقـ بـشـكـلـ مـلـحوـظـ Robotics Systems MathWorks® Toolboxـ. الـأـوـلـ مـجـانـيـ وـمـفـتوـحـ وـغـيرـ مـدـعـومـ، بـيـنـماـ الـأـخـيـرـ مـنـتجـ تـجـارـيـ مـدـعـومـ بـالـكـاملـ.

#### **2.2 نـظـرـيـةـ هـيـكلـ روـبـوتـ :hexapod**

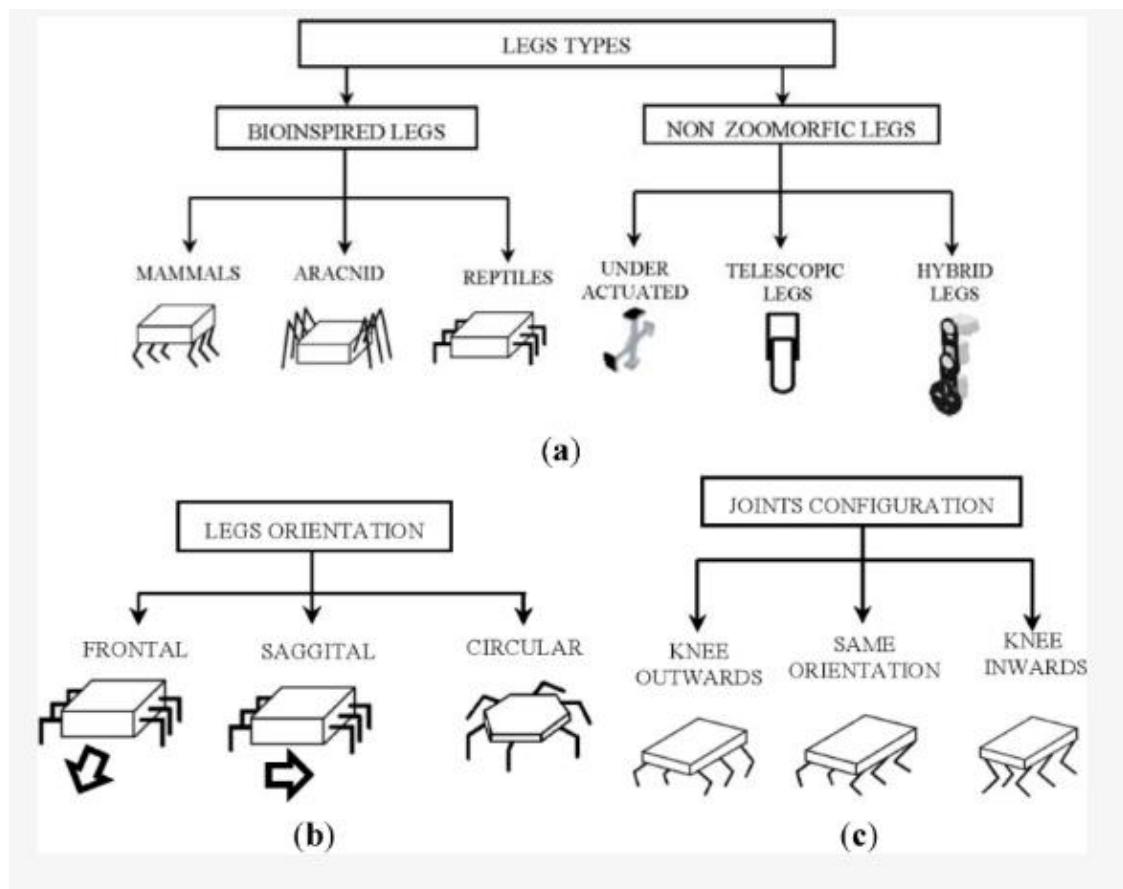
هـنـاكـ نـوعـانـ مـنـ الـهـنـدـسـةـ الـمـعـمـارـيـةـ الـأـسـاسـيـةـ لـروـبـوتـاتـ سـدـاسـيـ الأـرـجلـ: مستـطـيلـ وـسـدـاسـيـ. الـأـوـلـ لـهـ سـتـةـ أـرـجلـ مـوزـعـةـ بـشـكـلـ مـتـمـاثـلـ عـلـىـ جـانـبـينـ ، وـلـكـ جـانـبـ ثـلـاثـ أـرـجلـ. الـثـانـيـةـ لـهـ أـرـجلـ مـوزـعـةـ بـشـكـلـ محـوريـ حولـ الـجـسـمـ بـشـكـلـ سـدـاسـيـ أوـ دائـريـ تمـ فـحـصـ وـاخـتـبـارـ مشـيـةـ المشـيـةـ عـلـىـ نـطـاقـ وـاسـعـ وـقدـ يـكـونـ التـنـاظـرـ الثـانـيـ أـكـثـرـ مـلـاءـمـةـ مـنـ التـنـاظـرـ الشـعـاعـيـ لـلـتـحـركـ عـلـىـ طـولـ خطـ مـسـقـيـمـ بـتـنـطـلـبـ الـأـبـنـيـةـ الـمـسـطـيـلـةـ مشـيـةـ خـاصـةـ لـعـلـمـ الدـورـانـ ؛ بـشـكـلـ عـامـ ، يـحـتـاجـونـ إـلـىـ أـرـبعـ خطـوـاتـ مـنـ أـجـلـ تـحـقـيقـ إـجـراءـ تحـوـلـ

تـُظـهـرـ الـرـوـبـوتـاتـ السـدـاسـيـةـ أـداءـ أـفـضـلـ مـنـ الـرـوـبـوتـاتـ الـمـسـطـيـلـةـ لـبعـضـ الـجـوـانـبـ. كـمـثالـ، يـمـكـنـ أنـ يـكـونـ لـرـوـبـوتـاتـ السـدـاسـيـةـ أـنـوـاعـ عـدـيـدةـ مـنـ المشـيـةـ وـيـمـكـنـهاـ بـسـهـولـةـ تـغـيـيرـ الـاتـجـاهـ - فـيـ الـوـاقـعـ ، يـشـيرـ

التناظر الشعاعي الحقيقي إلى أن جميع الأرجل متساوية وأن الجسم ليس له "مقدمة" أو "خلفية" - وبالتالي لا يوجد اتجاه تفضيلي للحركة، أثبتت أن سداسي الأرجل السادس يمكنه التوجيه بسهولة في جميع الاتجاهات وأن لديهم هامش ثبات أطول . وجد أن الروبوتات السادسية تدور وتتحرك في جميع الاتجاهات في نفس الوقت، أفضل من المستطيلة.

أما بالنسبة للبنية الحركية للأرجل فهي تعتمد على العوامل المتعلقة بالتطبيق الذي يكون الروبوت السادسي للأرجل مطلوبًا فيه ، على سبيل المثال نموذج التضاريس، ومساحة العمل، والحمولة . هناك عدداً من أنواع الأرجل المختلفة المستخدمة حالياً لروبوتات المشي سداسي للأرجل. كل لها مزايا وعيوب . يوضح الشكل 5 (a) تفصيلاً تخطيطياً لأنواع أرجل سداسي للأرجل. يمكن أن الإختيار بين الأرجل المستوحة من الحياة بشكل أساسي من خلال مشية الحيوانات، مثل الزواحف أو الثدييات أو العنكبوت . الأول له أرجل وأجساد للتحرك فوق التضاريس الوعرة وغير المستوية، السمة الرئيسية لنوع الزواحف هي أن الأرجل توضع على طرفي الجسم البارز والركبتين على جانب القاعدة. تقع أجسام الثدييات فوق الأرجل، مما يوفر دعماً أقل للقاعدة، ويلزم استهلاك طاقة أقل لدعم الجسم، ولكنه يتطلب مزيداً من الثبات أكثر من الأنواع الأخرى من الحيوانات . في تكوين العنكبوت، تقع أطراف الأرجل على كلا الجانبين، وتلتقي الركبتين في الجزء العلوي من جسم العنكبوت .

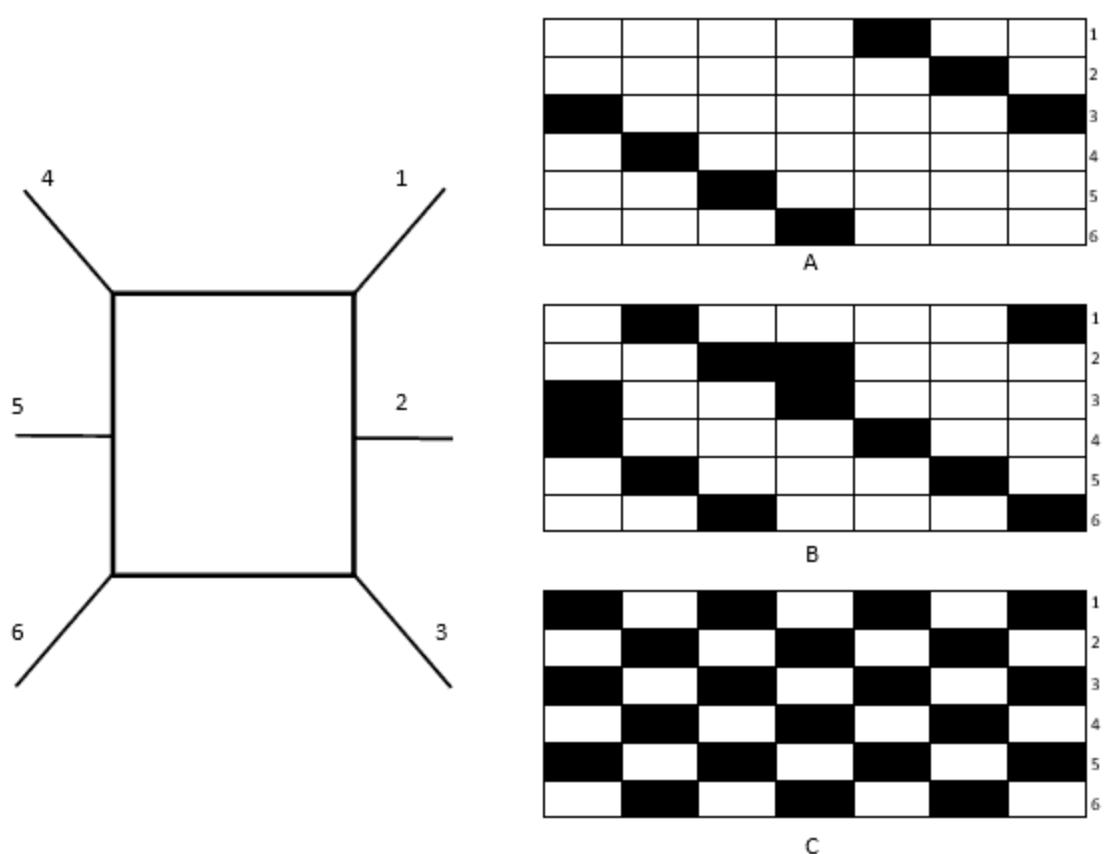
يمكن عمل اتجاه الساقين فيما يتعلق بجسم الروبوت السادسي للأرجل بثلاثة تكوينات (الشكل 5(b)) : أمامي أو سهمي أو دائري . في الاتجاه الأول ، تكون الاتجاهات متعايدة مع تقدم وضع الساقين ، على عكس السهمي، الذي يتحرك بالتوازي مع أرجل الروبوت ، بينما في الترتيب الدائري ، يتم وضع الأرجل بشكل شعاعي على جسم النظام مما يسمح للآلية التحرك في أي اتجاه . في تكوين الثدييات، تكون الأرجل أسفل الجسم ويمكن أن تتضمن الركبتين في أوضاع مختلفة اعتماداً على التطبيق الذي تتطلبه يمكن أن تكون الأرجل هجينة أو متداخلة أو ناقصة الحركة كما يوضح الشكل 5(c).



الشكل 2 نماذج تموير الأرجل في الروبوت

### 2.3 نظرية المشي:

من أجل أن يسير Hybrid Hexapod، تحتاج العديد من الخوارزميات إلى العمل معاً لتشكيل وحدة تحكم كاملة. المنتج النهائي في كل فاصل زمني هو نقطة ضبط الموضع لكل مؤازر. يجب اختيار أنماط المشي وحساب مسارات التأرجح وتحديث قيود موضع الساق. إعتماداً على السرعة، يتم اختيار مشيّات مختلفة بواسطة وحدة تحكم. لتنفيذ هذه المشيّة، سيكون لكل رجل مرحلة الوقوف ومرحلة التأرجح في حين أن مرحلة الوقوف هي عندما يكون للساق ملامسة أرضية في جميع الأوقات. أثناء مرحلة التأرجح، يجب حساب المسار بين وضعی الحال بشكل صحيح بواسطة وحدة التحكم. نظراً لحجم الأجهزة مثل طول الساق ومواضع المؤازرة وعرض الجسم، فإن بعض القيود ستقييد مواضع الساق المحتملة. ستؤثر أوضاع كل ساق أيضاً على الأرجل المتبقية على مساحة الموضع الممكنة. نظراً للتشابه بين الروبوت السادس الأرجل والحيوانات ذات الأرجل، يمكن الحصول على الكثير من الإلهام من حركة الحشرات والقياسات الحيوية. المشيّات لتحرّيك السادس الأرجل في أي اتجاه، يجب على الساقين دفعها بهذه الطريقة، مما يؤدي إلى ابتعاد الساقين عن جسم سادسي الأرجل. ولكن يستمر ذلك، يجب رفع الساقين وإعادتها إلى المنطقة المجاورة للجسم.



الشكل 3 أنماط مشيّات الروبوت

توفر المشية (A) أكبر قدر من الاستقرار بسبب وجود المزيد من الأرجل على الأرض ويمكن وصفه بأنه مشية انتشار من الخلف إلى الأمام، حيث يتحرك ساق واحدة في كل مرة. تحتوي كل ساق على دورة تأرجح منفصلة تضيف ما يصل إلى 6 دورات مختلفة حتى يعود سداسي الأرجل إلى حالة البداية. أما مشية التموج (B) نتيجة سرعة حركة أسرع. يتم التأرجح من الخلف إلى الأمام في وقت واحد على كل جانب بدورة توقف واحدة. تأرجح الأرجل القطرية في وقت واحد وتتأرجح الأرجل الوسطى أثناء توقف مؤقت للجانب الآخر. هذا يضيف ما يصل إلى أربع دورات مع إزاحة دورتين للجانبين عن بعضهما البعض. مشية ترايدود تسمح بالحركة الأسرع وتحتوي على دورتين فقط. تعمل الأرجل الأمامية والخلفية من الجانبين، والساقي الوسطى المقابلة معاً كحامل ثلاثي القوائم منفصلين.

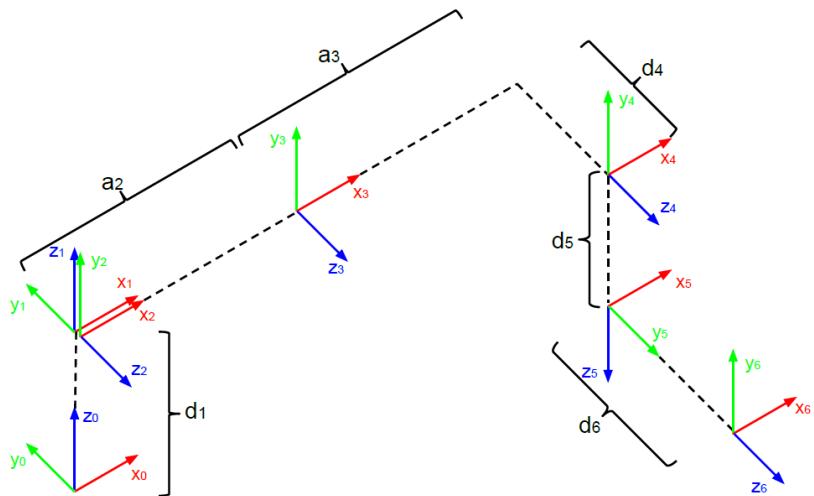
#### 2.4 معادلات علم الحركة:

يدرس علم الحركة حركة الأجسام دون النظر إلى القوى أو اللحظات التي تسبب الحركة. ويشير علم الحركة الروبوتي إلى الدراسة التحليلية لحركة ذراع الروبوت. وتعد صياغة النماذج الحركية

المناسبة لآلية الروبوت أمراً بالغ الأهمية لتحليل سلوك الأذرع الصناعية. هناك نوع أساسى من المساحات المختلفة المستخدمة في النمذجة الحركية للأذرع، وهو الفضاء الديكارتى. يمكن أن يتحول التحول بين نظامي إحداثيات ديكارتية إلى دوران و إنقال. هناك العديد من الطرق لتمثيل الدوران، بما في ذلك ما يلى: زوايا أويلر، نقل جيبس، معاملات كايلي كلاين، مصفوفات باولى المغزلي، المحور والزاوية، المصفوفات المتعامدة، ومصفوفات هامilton. من بين هذه التمثيلات، يتم استخدام التحويلات المتتجانسة القائمة على المصفوفات الحقيقة  $4 \times 4$  (المصفوفات المتعامدة) في الغالب في الروبوتات. أظهر Denavit & Hartenberg (1955) أن التحول العام بين مفصلين يتطلب أربعة معلمات. أصبحت هذه المعلمات المعروفة باسم parameters (DH) هي المعيار لوصف حركية الروبوت. يمكن أن يقدم الرباعي المزدوج الدوران والإنتقال في شكل مضغوط من ناقلات التحول، في وقت واحد. بينما يتم تمثيل اتجاه الجسم تسعه عناصر في تحويلات متتجانسة. إنه يوفر ميزة كبيرة من حيث المثانة الحسابية وفعالية التخزين للتعامل مع حركيات سلاسل الروبوت. يمكن تقسيم حركيات الروبوت إلى حركيات أمامية وحركية معكوسية. تعتبر مشكلة علم الحركة إلى الأمام مباشرة ولا يوجد تعقيد في اشتغال المعادلات. ومن ثم، هناك دائماً حل حركي أمامي للذراع. تعتبر علم الحركة المعكوس مشكلة أكثر صعوبة من علم الحركة إلى الأمام. حل مشكلة الحركة العكسية شامل حسابياً ويستغرق وقتاً طويلاً بشكل عام في التحكم في الوقت الفعلى في الدراج. يوجد طريقتان رئيسيتان لحل مشكلة الحركة العكسية هما الطرق التحليلية والطرق العددية. في النوع الأول ، يتم حل المتغيرات المشتركة بشكل تحليلي وفقاً لبيانات التكوين المحددة. في النوع الثاني من الحلول، يتم الحصول على المتغيرات المشتركة بناءً على التقنيات العددية. في الغالب يتم فحص الحل التحليلي للروبوت بدلاً من الحل العددي. هناك طريقتان في الطريقة التحليلية: الحلول الهندسية والجبرية. يتم تطبيق النهج الهندسى على هيكل الروبوت البسيطة، مثل ذراع مستو 2 DOF أو أقل ذراع مع محاور مفصلية متوازية. بالنسبة للروبوتات التي لديها المزيد من الروابط والتي تمتد أذرعهم إلى 3 أبعاد أو أكثر، تصبح الهندسة صعبة أكثر. في هذه الحالة، يكون النهج الجبرى أكثر فائدة لحل الحركة العكسية. توجد بعض الصعوبات لحل مشكلة الحركة العكسية وتوجد حلول متعددة وتقرارات. قد لا تتوافق الحلول الرياضية لمشكلة الحركة العكسية دائمًا مع الحلول الفيزيائية وتعتمد طريقة حلها على بنية الروبوت.

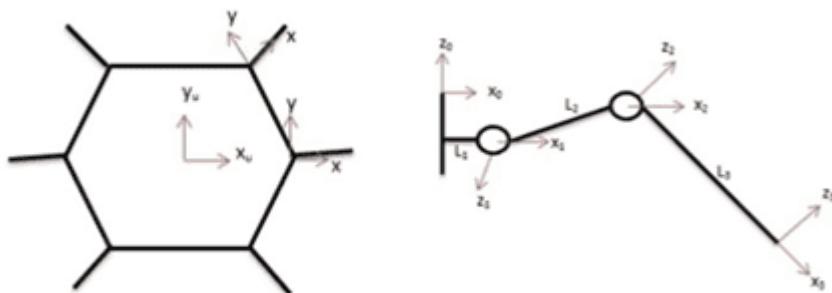
#### 2.4.1 إطارات الروبوت:

لا يمكن وصف حركة الجسم إلا بالنسبة إلى شيء آخر- أجسام أخرى، أو مراقبين، أو مجموعة من إحداثيات الزمكان. هذه تسمى الأطر المرجعية. إذا تم اختيار الإحداثيات بشكل سيء، فقد تكون قوانين الحركة أكثر تعقيداً من اللازم. يحدد الإطار المرجعي موضع الكائن فيما يتعلق بالروبوت الآلي (الموضع والاتجاه). يوصى بتدريب الأهداف فيما يتعلق بالمرجع الذي يمكنك تحديده باستخدام الروبوت الخاص بك. يسمح لك الإطار المرجعي بتعديل برامجك أو نقلها إلى موقع مختلفة دون الحاجة إلى إعادة تعلم جميع أهدافك.



الشكل 4 نموذج إطارات مرجعية

يتطلب تطوير نموذج الروبوت تحديد إطارات مرجعية لجميع الأجزاء المهمة. لذلك، يجب تحديد أنظمة الإحداثيات لجميع أجزاء الروبوت. يتم تطبيق إطارات مرجعية مختلفة للروبوت مثل الإطار العام وإطار جسم الروبوت وإطارات الساق. الإطار العام هو الإطار الذي يتم تعريف جميع الإطارات الأخرى بالنسبة إليه. إنه إطار مرجعي ثابت مع  $Z_{axis}$  عمودي. يتم توصيل إطار جسم الروبوت بمركز الجسم مع توجيه المحور  $Z$  لأعلى. إطارات الساق متصلة بأجزاء الأرجل. هم أربعة إطارات. الإطار صفر، عند النقطة التي تعلق فيها الساق بالجسم. الإطار الأول هو إطار  $coxa$ ، ويترافق مع الإطار صفر. يتطابق الإطاران الثاني والثالث مع روابط  $tibia$  و  $femur$  ، على التوالي. أخيراً، يكون الإطار الرابع في نقطة نهاية الساق وهو موازي للإطار الثالث.

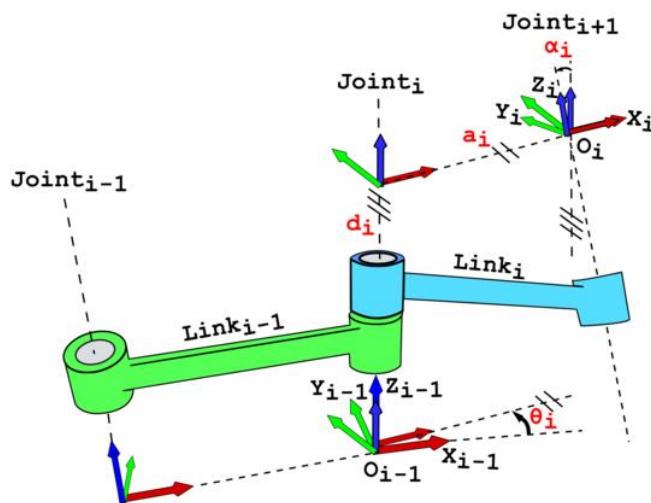


الشكل 5 الإطارات المرجعية للساق والجسم

#### 2.4.2 المعادلات الحركية الأمامية :

يشير علم الحركة إلى الأمام إلى استخدام المعادلات الحركية للروبوت لحساب موضع المستجيب النهائي من القيم المحددة لمعلمات المفصل تستخدم المعادلات الحركية للروبوت في الروبوتات وألعاب الكمبيوتر والرسوم المتحركة

من أجل الحصول على الحركة الأمامية لآلية الروبوت بطريقة منهجية ، يجب على المرء استخدام نموذج حركي مناسب. طريقة Denavit-Hartenberg التي تستخدم أربعة معلمات هي الطريقة الأكثر شيوعاً لوصف حركة الروبوت.



الشكل 6 رسم توضيحي لمعلمات DH parameter

- المسافة بين المحور x السابق والمحور x الحالي ، على طول المحور z السابق.

- الزاوية حول المحور z بين المحور x السابق والمحور x الحالي.

(أو r) - طول الخط الطبيعي المشترك ، وهو المسافة بين المحور z السابق والمحور z الحالي

- الزاوية حول الوضع الطبيعي المشترك بين المحور z السابق والمحور z الحالي.

ومن ثم يتم تعويض المعلمات في مصفوفة التحويل لكل إنتقال :

$${}^{n-1}T_n = \left[ \begin{array}{ccc|c} \cos \theta_n & -\sin \theta_n \cos \alpha_n & \sin \theta_n \sin \alpha_n & r_n \cos \theta_n \\ \sin \theta_n & \cos \theta_n \cos \alpha_n & -\cos \theta_n \sin \alpha_n & r_n \sin \theta_n \\ 0 & \sin \alpha_n & \cos \alpha_n & d_n \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{array} \right] = \left[ \begin{array}{c|c} R & T \\ \hline 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 1 & 1 \end{array} \right]$$

الشكل 7 مصفوفة التحويل الأساسية لكل إنتقال

ومن ثم ضرب مصفوفات التحويل بالترتيب للحصول على المصفوفة التي تعبّر عن الإنتقال من القاعدة إلى المستجيب النهائي

$${}_{\text{end\_effector}}^{\text{base}} \mathbf{T} = {}_1^0 \mathbf{T} {}_2^1 \mathbf{T} \dots {}_{n-1}^n \mathbf{T}$$

تعتمد مصفوفة التحويل بين إطارات الروبوت على مجموعة من المعادلات الحركية الأمامية التي تأتي من تحويل الإحداثيات من إطار ارتباط إلى إطار آخر .

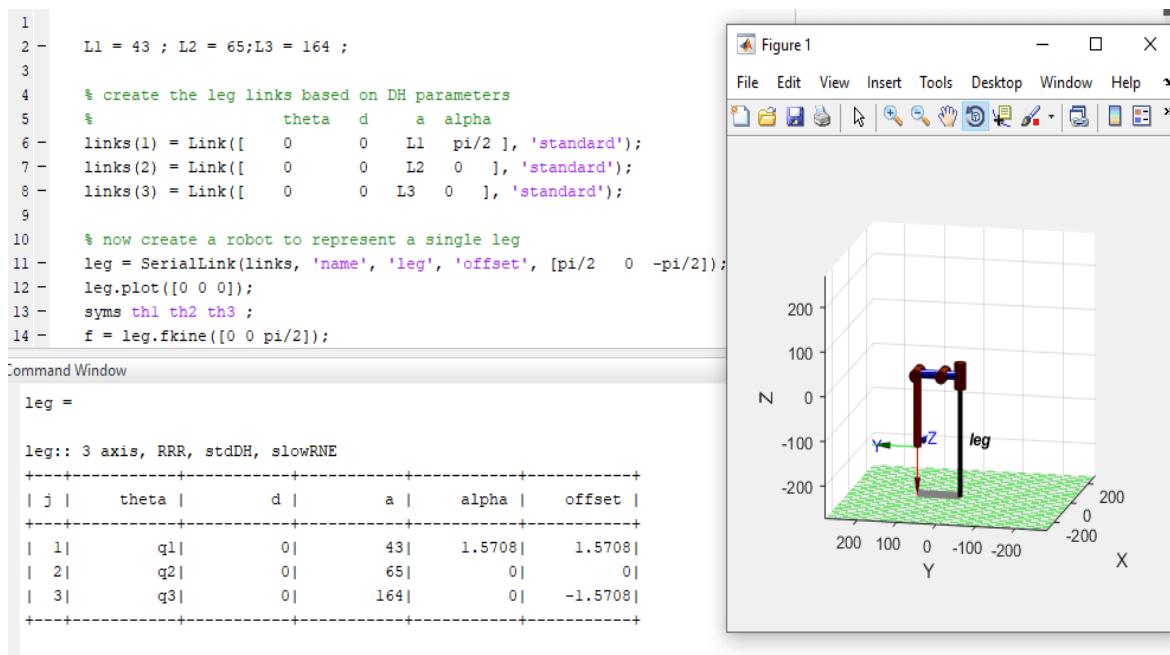
في هذه الحالة ، يمكن كتابة مصفوفة التحويل بين إطار ساق إلى الجسم على النحو التالي:

$$\mathbf{T}_l^{\text{body}} = \begin{bmatrix} c(\gamma_k) & -s(\gamma_k) & 0 & x \\ s(\gamma_k) & c(\gamma_k) & 0 & y \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

الشكل 8 مصفوفة التحويل بين إطار ساق إلى الجسم

حيث أن  $\gamma_k$  هي الزاوية البدائية التي تتخذها كل ساق بالنسبة للجسم .

وأخيراً يتم حساب مصفوفة التحويل بين النهاية المؤثرة للساق و إطار الساق حيث تم حسابها :Robotics Toolbox - Peter Corke



**الشكل 9 حساب مصفوفة التحويل بين النهاية المؤثرة للساقي و إطار الساق** **Robotics Toolbox - Peter Corke**

#### 2.4.3 معادلات الحركة العكسية :

في الروبوتات، تستفيد الحركة العكسية من المعادلات الحركية لتحديد المعلمات المشتركة التي توفر التكوين المطلوب (الموضع والدوران) لكل من المؤثرات النهائية للروبوت. يُعرف تحديد حركة الروبوت بحيث تنتقل مؤثراته النهائية من التكوين الأولي إلى التكوين المطلوب باسم تخطيط الحركة . تحول الحركة المعكوسنة خطة الحركة إلى مسارات مشغل مفصل للروبوت. حركة السلسلة الحركية للروبوت يتم تصميمها بواسطة المعادلات الحركية للسلسلة. تحدد هذه المعادلات تكوين السلسلة من حيث معلماتها المشتركة بستخدام الحركة إلى الأمام المعلمات المشتركة لحساب تكوين السلسلة، وتعكس الحركة العكسية هذا الحساب لتحديد المعلمات المشتركة التي تحقق التكوين المطلوب. تتكون المشكلة الحركية العكسية لأذرع الروبوت من حساب المسار الزمني للمتغيرات الحرة المشتركة، والتي تتوافق مع الدورة الزمنية المرغوبة لموضع / اتجاه اليد في الفضاء. تتضمن هذه المشكلة حل المعادلات المثلثية المعقدة ، علاوة على ذلك، بالنسبة لأذرع الروبوت المجمسة (التي لها ثلاثة درجات على الأقل من الحرية)، فإن المشكلة غير محددة بشكل كافٍ، وبالتالي تتطلب حل مهمة تحسين مرتبطة بها. النهج المقترن تكراري ، تحليلي جزئياً وعددي جزئياً. من النموذج الهندسي للذراع حيث ينشئ النموذج الهندسي رابطاً بين المتغير المشترك وموضع واتجاه الإطار النهائي. تتكون مشكلة الحركة العكسية من تكوين زوايا المفصل من موضع معين واتجاه إطار النهائي. حل هذه المشكلة مهم لتحويل الحركة المخصصة للإطار النهائي إلى حركات زاوية مشتركة تتوافق مع حركة الإطار النهائي المرغوبة. الهدف هو إيجاد المتغيرات الثلاثة المشتركة  $\theta_1$  و  $\theta_2$  و  $\theta_3$  المقابلة لموضع الإطار النهائي المطلوب. لا يعد توجيه الإطارات النهائية أمراً مهماً، حيث إن الاهتمام فقط في موضعه.

يتم تحديد الحركة العكسية لإيجاد زوايا الروابط الثلاثة، حيث يمكن وصف الساق من خلال روابطها ومفاصلها الدورانية. يتطلب حل الحركة العكسية القيد التالية:

- 1- حقيقة أن جميع مفاصل الروبوت تسمح بالدوران حول محور واحد.
- 2- تدور مفاصل عظم الفخذ والساقي على محور متوازي.
- 3- يمكن لكل مفصل تدوير ارتباطه.

بعد تحويل إحداثيات نقطة نهاية الساق إلى الإطار العام للساقي واحد كما هو موضح في الشكل (10) يمكن حسابها على النحو التالي:

$$\theta_1 = \tan^{-1} \frac{Y_4}{X_4}$$

للعنور على زوايا عظم الفخذ والساقي ، تم إنشاء المثلث ذي الرؤوس في أصول إطارات coxa و femur و tibia كما هو موضح في الشكل (10) يمكن أن تكون زوايا femur و tibia تحسب على النحو التالي:

$$L = \sqrt{Z_{(offset)}^2 + (L_1 - L_c)^2}$$

نحصل على زاوية عظم الفخذ فوق الأفق :  $q_1$  :

$$q_1 = \tan^{-1} \frac{Z_{offset}}{(L_1 - L_C)}$$

بعد ذلك، قم بتطبيق أدنى جيب التمام في المثلث ABC لإيجاد الزاوية  $q_2$  :

$$q_2 = \cos^{-1} \frac{\sqrt{L_F^2 + L^2 - L_T^2}}{2 \times L_F \times L}$$

لذلك، زاوية femur يمكن الحصول عليها من  $q_1$  و  $q_2$  :

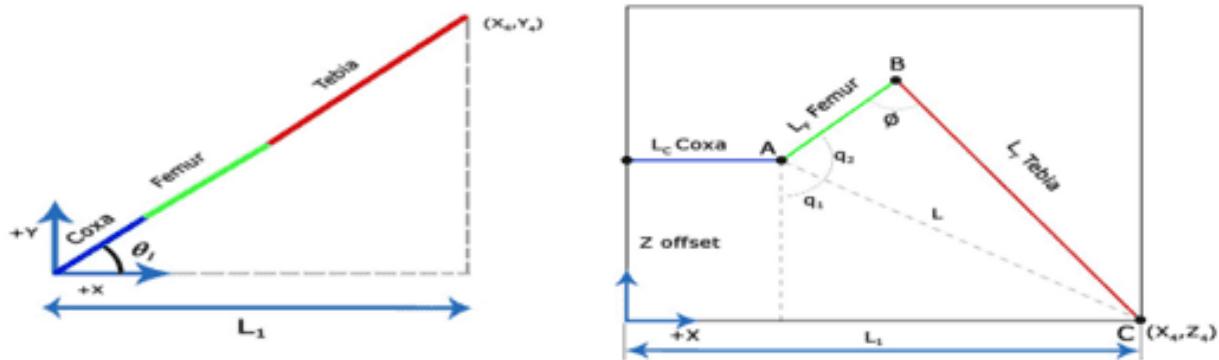
$$\theta_2 = q_1 + q_2$$

نحصل على زاوية tibia من  $\phi$  :

$$\phi = \cos^{-1} \frac{\sqrt{L_F^2 + L_T^2 - L^2}}{2 \times L_F \times L_T}$$

ثم زاوية tibia يمكن الحصول عليها على النحو التالي:

$$\theta_3 = \phi - 180$$



الشكل 10 المنظور الأمامي والرأسى لساق روبوت

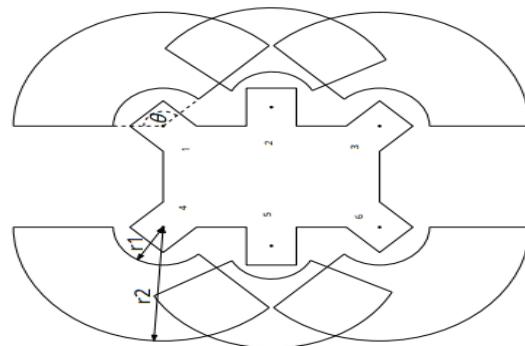
#### 2.4.4 قيود الساق:

هناك قيود تؤثر على سدادي الأرجل يجب أن يأخذها جهاز التحكم في الاعتبار. ستم الإشارة إلى القيود التي تتطبق مباشرة على الماكينات الفردية بسبب الأقواس المتتصاعدة على أنها قيود صارمة. تؤثر هذه القيود على النطاق الزاوي للوحدات الموزارة وهي ثابتة في جميع الحركات. يشار إلى الجزء الآخر من القيود التي يجب أخذها في الاعتبار باسم قيود الساق. سوف يحدون من المساحة التي تكون فيها الحركة العكسية قادرة على وضع الساقين. هذه الحدود هي مزيج من أوضاع الساق

المستحيلة جسدياً و المواقف التي يتذرع الوصول إليها رياضياً . سيكون المساهم الأخير أيضاً هو تأثير أوضاع الأرجل الأخرى.

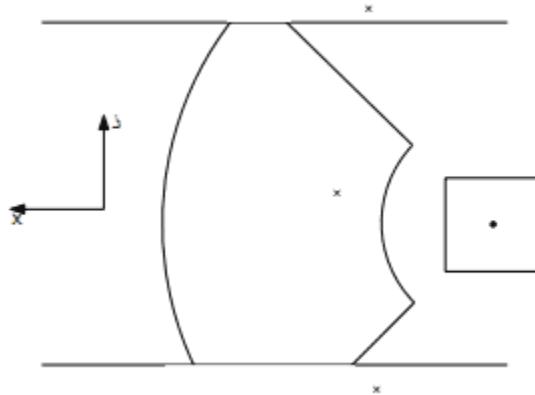
إذا قام جهاز التحكم، لسبب ما أثناء اختباره، بإرسال موضع إلى مؤازر لا يمكن الوصول إليه، فإنه سيصطدم بقوس التثبيت في محاولة للوصول إلى هذا الموضع. نظراً لأن بعض الماكينات لديها وحدة تحكم داخلية، فإنها تحتوي أيضاً على إجراءات أمان مضمونة. في حالة الاصطدام بشيء غير متحرك بعزم دوران كامل، ستدخل المؤازرة في حالة خطأ مما يجعلها غير متحركة من تقاء نفسها لحماية المحرك الكهربائي. ليس حتى يتم إعادة تشغيل المؤازرة، فإنها ستعود إلى الوظائف العادية. على الرغم من وجود روتين الأمان هناك للمساعدة في هذه المناسبات، فمن الأفضل عدم حدوثها. تتمثل الطريقة الفعالة لمنع الماكينات من محاولة الوصول إلى موقع مستحيلة في إدخالقيود على الإشارة المرجعية الخاصة بهم. لكن لا تؤثر هذه القيود على أي شيء آخر في وحدة التحكم، يتم تنفيذها في وقت متأخر قدر الإمكان في تسلسل وحدة التحكم.

حجم أجزاء coxa و tibia و femur ليست مرنة بالنسبة لسداسي الأرجل. وبسبب هذا ، لن تصل كل ساق إلى أطول من هذه الأجزاء مجتمعة. عمليا، سيؤدي هذا إلى إنشاء كرة بنصف قطر معين حول مركز دوران coxa هي مساحة يمكن الوصول إليها للساقي. خارج هذه المنطقة ، لن تكون الساق IK قادرة على ذلك. وبينما ينبع المعنى، توجد مواضع قريبة من مركز دوران coxa لا يمكن الوصول إليها بسبب الأطوال من أجزاء الساق. تمثل الإحداثيات الأسطوانية طريقة جيدة لتمثيل هذه الإحداثيات



الشكل 11 المجال الذي تغطيه كل ساق

كما هو موضح في الشكل (11)، تتدخل مناطق مواضع الساق المحتملة. سيقدم هذا مشكلة أخرى لأن الأرجل قد تصطدم ببعضها البعض. طريقة لقليل هذه المخاطر، تحتوي الأرجل على قيد إضافي يتوافق مع الإحداثي  $x$  للأرجل المجاورة ، انظر الشكل (12). نظراً لأن الساقين لها بعض الحجم، يتم تضخيم القيد قليلاً من موضع  $x$  الفعلي لتجنب المضاعفات . بسبب نظامي الإحداثيات المختلفين ، قد تحدث بعض المشاكل. ومع ذلك ، يتم حساب مواضع الساق في إحداثيات الجسم الديكارتية الرئيسية بواسطة وحدة التحكم ، لذلك سيتم حفظ القيود فقط في إحداثيات أسطوانية ، ولكن يتم ترجمتها عند استخدامها.

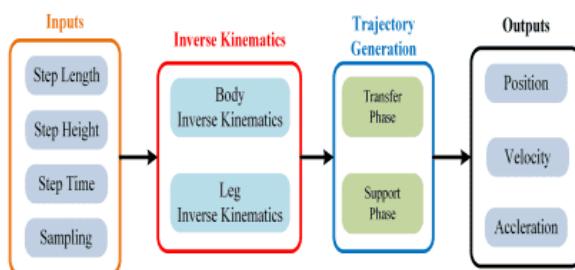


الشكل 12 مجال الساق المقيدة

#### 2.4.5 مسار الساق:

يعد تخطيط المسار قضية أساسية للتطبيقات الآلية والأتمتة بشكل عام. تعد القدرة على إنشاء مسارات بميزات معينة نقطة أساسية لضمان نتائج مهمة من حيث الجودة وسهولة أداء الحركة المطلوبة، خاصة عند سرعات التشغيل العالية اللازمة في العديد من التطبيقات. تم تناول المشكلة العامة لتخطيط المسار في الروبوت، مع نظرة عامة على أهم الطرق ، التي تم اقتراها في الأدبيات الروبوتية لإنشاء مسارات خالية من الاصطدامات. ثم تمت مناقشة مشكلة إيجاد المسار الأمثل لمسار معين ووصف حل.

بعد تطوير الحركية الأمامية والمعكosaة ، يمكن حساب مسار كل ساق. المسار يعني: التاريخ الزمني للموضع والسرعة والتسارع لكل مفصل. طول الخطوة، ارتفاع الخطوة، وقت الخطوة، والعينة، هي المدخلات التي تحدد عدد النقاط في المسار، من أجل إنشاء المسار لكل من طور التأرجح والوقف حيث يوضح الشكل (13) مسار عملية التوليد.



الشكل 13 مسار عملية التوليد لمسار الساق

أرجل سداسي للأرجل لها حالتان، حالة الوقف والتأرجح. الفرق بين هذه الدول هو ما إذا كان هناك اتصال أرضي أم لا. كما يوحي الاسم ، فإن حالة الوقف لها اتصال أرضي وتدفع الجسم الرئيسي بينما حالة التأرجح ليس لها اتصال بالأرض وتأرجح الأرجل إلى الموضع. تحتاج هذه الدول إلى مسارات لكيفية تحركها المفترض. أحد الخيارات لذلك هو إرسال مسارات إلى كل مؤازرة من وحدة

تحكم باستخدام خوارزمية حركية معكوسة، سيتم حساب مسارات المؤازرة بواسطة الخوارزمية، باستخدام مسار واحد لكل ساق. المسارات الوحيدة المطلوبة إذن هي المسار الوحيد لكل رجل يخبر IK بمكان وضع الساق يتم إنشاء مسارات الحامل بسهولة باستخدام السرعة المرغوبة. من أجل تحريك سداسي الأرجل، يجب أن تتحرك الأرجل في الاتجاه المعاكس المباشر لاتجاه السرعة المطلوب. أنا باستخدام هذه الحقيقة، يمكن للمرء حساب الموضع التالي  $P_i^{t+1}$  لكل ساق في مرحلة الوقوف باستخدام وضعها الحالي.

$$P_i^{t+1} = P_i^t - \frac{v}{f}$$

حيث  $t$  هو مؤشر الوقت المنفصل،  $x$  هو رقم الساق،  $P$  هو موقف للساق  $x$  في الوقت  $t$  في نظام إحداثيات الجسم الرئيسي،  $v$  السرعة و  $F$  تردد العينة الحالي لوحدة التحكم. التردد موجود لتلبي needs من أجل الحفاظ على السرعة المتحركة لسداسي الأرجل من التأثير بتغيرات التردد. أثناء مرحلة التأرجح، يحتاج جهاز التحكم إلى رفع الساق، وتحريكها في اتجاه حركة سداسي الأرجل ثم وضعها مرة أخرى.

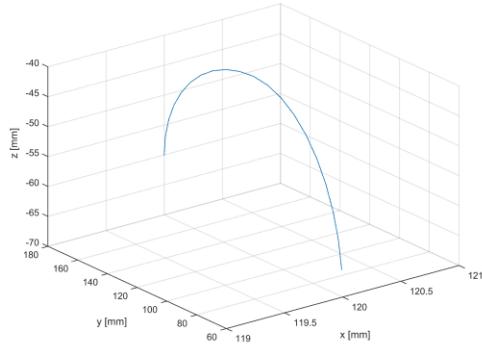
من الممكن عمل مسار على شكل قطع ناقص، باستخدام النصف العلوي فقط. تتمثل ميزة الحركة الدائرية عند إنشاء مسار رفع في أن الساق ستكون مرتفعة إلى حد ما قبل مزيد من الحركة في مستوى المشي. بهذه الطريقة سيكون من الأسهل تجنب الاصطدامات المحتملة للأجسام أثناء مرحلة التأرجح. استخدام معادلة القطع الناقص.

$$\left(\frac{x}{a}\right)^2 + \left(\frac{y}{b}\right)^2 = 1$$

ثابت a يحدد المسافة من مركز القطع الناقص إلى المقطع العرضي بين القطع الناقص والمحور x و b يحدد المسافة المقابلة على المحور y. يمكن للمرء الحصول على معادلات الإحداثيات المنفصلة التي يمكن استخدامها لتوليد القطع الناقص.

$$\begin{cases} x &= a \cdot \cos(\theta) \\ y &= b \cdot \sin(\theta) \end{cases}$$

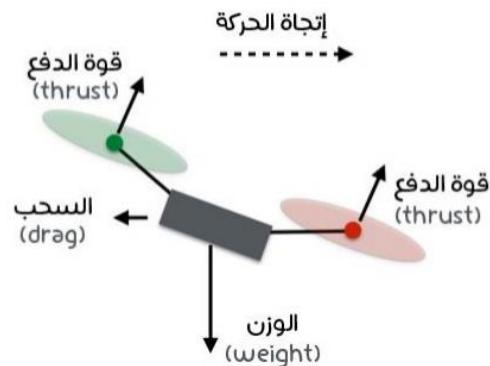
بستخدام  $\theta$  في الفاصل الزمني [0 درجة ، 180 درجة] سيولد النصف العلوي من القطع الناقص. من خلال ترجمة مسار القطع الناقص هذا إلى موضع الساق الحالي، فإن الثوابت  $a$  و  $b$  يمكن استخدامها لتشكيل الأرجوحة. الطول الأفقي للمسار سيكون ضعف حجمًا وأقصى ارتفاع للنرجل يساوي  $b$ .



الشكل 14 مسار الساق

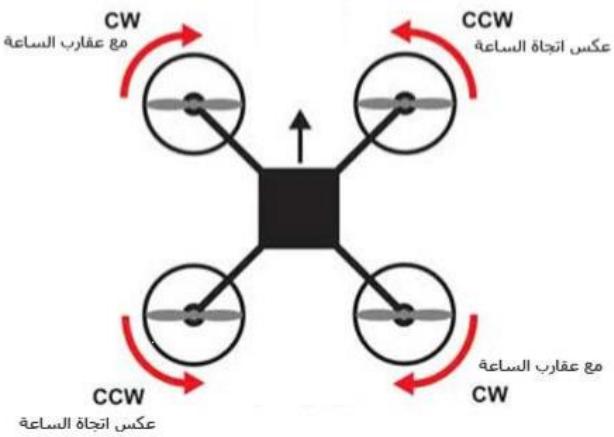
### 2.5 نظرية الطيران:

إن من الثوابت في قواعد الطيران وديناميكية الهواء، أن تكون قوة دفع المراوح الأربع تساوي ضعف وزن الطائرة حتى تتيح لها القوة لتحقق بوزنها الذي هو أثقل من الهواء وتكتسب ارتفاعاً معيناً كلما زادت سرعة المحركات. إذا يجب أن يؤثر على هيكل الطائرة قوة تعاكس قوة وزنها ويتم توليد قوة الرفع عن طريق المراوح كما هو موضح في الشكل(15).



الشكل 15 بنية عمل الدرون

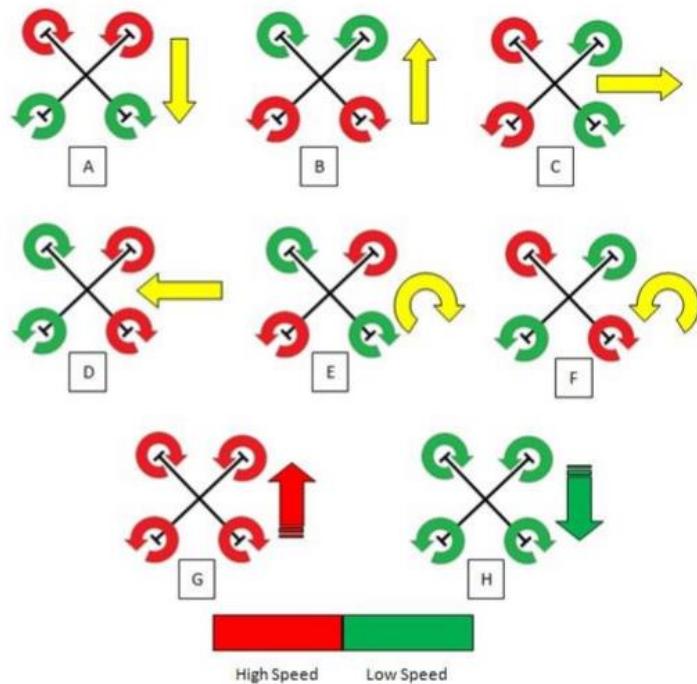
ولتشبيت طائرة الدرون في الهواء فإنه يجب دوران المراوح (المحركات) بالإتجاه الموضح في الشكل (16)، محركين في اتجاه عقارب الساعة، ومحركين عكس اتجاه عقارب الساعة.



الشكل 16 آلية دوران المرواح

دوران المرواح (propellers) في اتجاهين متعاكسين يخلق قوة الدفع (thrust force) تكون ضد قوة الجاذبية + وزن الطائرة (weight force) مما يساعد على التحليق.

الشكل (17) يوضح كيف تتحرك طائرة الدرون في اتجاهات مختلفة صعودا وهبوطا والميل في زاوية معينة.

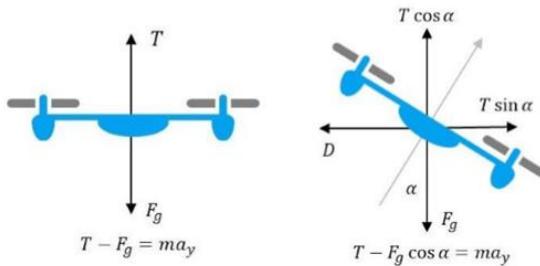


الشكل 17 تحرك طائرة الدرون في اتجاهات مختلفة

## نسبة الدفع إلى الوزن في طائرة الدرون :Drone Motor Thrust to Weight Ratio

نسبة الدفع إلى الوزن  $TWR = T/W$  ، هي السمة الديناميكية الرئيسية التي ستحدد إمكانية تحليق الطائرة العاملوية او الدرون في الهواء واما لا وللحافظة على رحلة ثابتة.

يجب ان تكون  $TWR$  مساوية لـ 1 في وضع الإستقرار ، ومع ذلك للإقلاع، ستحتاج إلى  $TWR > 1$  حتى يكون لديك تسارع للأعلى ، عند الطيران، تتسبب زاوية هجوم الطائرة بدون طيار (أي زاوية الميل "الإنحراف" في الشكل (18)) في أن يكون متوجهاً والإتجاه يحتوي على مكونات رأسية وأفقية. هذا يتطلب أن يكون على الأقل بالنسبة لزاوية الهجوم القصوى البالغة 40 درجة.



الشكل 18 نسبة الدفع إلى الوزن في الدرون

### 3 - التطبيقات العملية

#### 3.1 اختيار الأجهزة:

كان الجزء الأكثر تعقيداً من هذه الأطروحة هو تحديد الأجهزة التي نعمل معها. حيث محدودية الأجهزة المتوفرة. يوجد هذا القسم لتوضيح عملية اختيار الأجهزة والمعايير التي تم أخذها في الاعتبار. الأجزاء المختلفة من سداسي الأرجل التي سيتم اختيارها هي الهيكل، الماكينات، وحدة المعالجة ووحدة قياس التسارع (الجيروسكوب). تم تحليل هذه الأجزاء بشكل فردي وعرضها في الأقسام الفرعية القادمة. تمأخذ العديد من المعايير في الاعتبار عند تقييم الأجزاء ولكن يتم تقديم هنا فقط الأكثر صلة بالموضوع.

##### 3.1.1: Embedded System

النظام المدمج أو كما يسمى في بعض الأحيان "النظام المضمن" هو أي نظام حاسوبي صغير الحجم يقوم بمجموعة من الوظائف التي تخدم أداة أو منتج معين، غالباً لا تباع هذه الأنظمة المدمجة للناس مباشرة ولكنها تكون "مدمجة" مع منتج معين: فمثلاً عند شراء سيارة حديثة أو فرن ميكروويف أو غسالة كهربائية أو حتى مكيف هواء فإنك ستجد أن جميع هذه المنتجات أصبحت تحتوي على حواسيب صغيرة تقدم وظائف تحكم ذكية مما يجعل كل المنتجات السابقة تحتوي على نظم مدمجة.

تستخدم الأنظمة المدمجة في مجموعة واسعة جداً من التطبيقات، أشهرها:



الشكل 19 مجالات استخدام الأنظمة المدمجة

- التحكم الآلي مثل الأنظمة المدمجة الموجودة في المصانع، الطائرات، الصواريخ والأقمار الصناعية وأي آلة تعمل بصورة تلقائية (أوتوماتيكية) هذه الأنظمة جمیعها تضم لغرض واحد فقط وهو التحكم في منتج معین.
- المنتجات الخدمية مثل المنتجات التي عادة نشتريها لأنفسنا في المنزل أو المكتب مثل مكيف الهواء أو الميكروويف الذي يحتوي على نظام تحكم إلكتروني في الحرارة.
- المنتجات الترفيهية مثل منصات Xbox, Gameboy, الألعاب وكذلك المنتجات التي Wii

أصبحت تحمل وصف "ذكية" مثل الهواتف الذكية، الساعات الذكية وحتى أنظمة التلفاز الحديثة جميعها تعتبر أنظمة مدمجة.

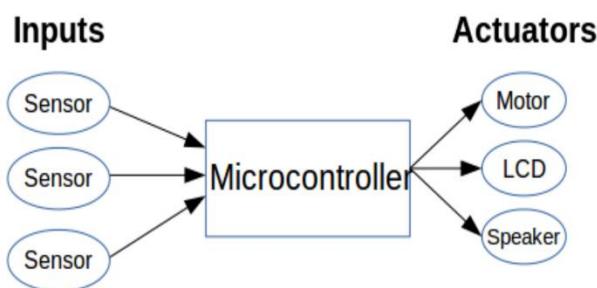
- أنظمة الاتصالات الحديثة والتي لها نصيب كبير من هذا المجال خاصة بعد ظهور تقنيات الاتصال اللاسلكي مثل Bluetooth وال Wifi حيث تحولت الأجيال القديمة من أنظمة الاتصالات التي كانت تعتمد على Analog Electronics إلى تقنيات المعالجة الرقمية المعتمدة على الأنظمة المدمجة فمثلاً جميع أجهزة الموجات Routers التي توفر لنا الإنترن트 ماهي إلا Embedded Linux System وكذلك أنظمة الراديو القابلة للبرمجة وشبكات المحمول هي أيضاً نوع من الأنظمة المدمجة عالية الأداء.

### مكونات النظام المدمج

عادة تكون النظم المدمجة من 3 مكونات رئيسية

- المتحكم الدقيق **MicroController** والذي يعتبر العقل المتحكم في النظام.
- أدوات الإدخال **Input devices** مثل الحساسات المختلفة، أزرار الضغط أو أي وسيلة إدخال معلومات للمتحكم.
- أدوات إخراج **Output devices** والتي تسمى في بعض الحالات Actuators، وتعتبر كل ما يتحكم به ال Microcontroller مثل المحركات Motors، الشاشات LCD سماعات صوتية ... الخ.

يتم اختصار أدوات الإدخال والإخراج بكلمة I/O وهي اختصار (Input/Output Devices)

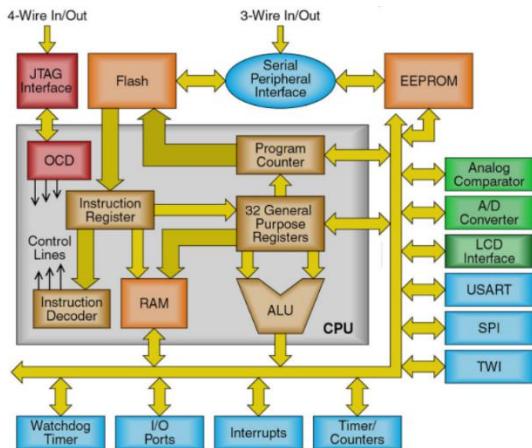


الشكل 20 الدخول والخرج للأنظمة المدمجة

### المتحكم الدقيق :MicroController

المتحكم الدقيق هو حاسوب متكامل على شريحة واحدة Computer On Chip يُستخدم في التحكم بمجموعة من الأجهزة الأخرى. ومثل جميع الحواسيب يحتوي التحكم الدقيق على نفس مكونات

الداخلية للحاسوب الآلي ولكن بقدرات مختلفة من حيث الكم والقوة. الصورة التالية تمثل التركيب الداخلي لل AVR.



الشكل 21 التركيب الداخلي لل AVR

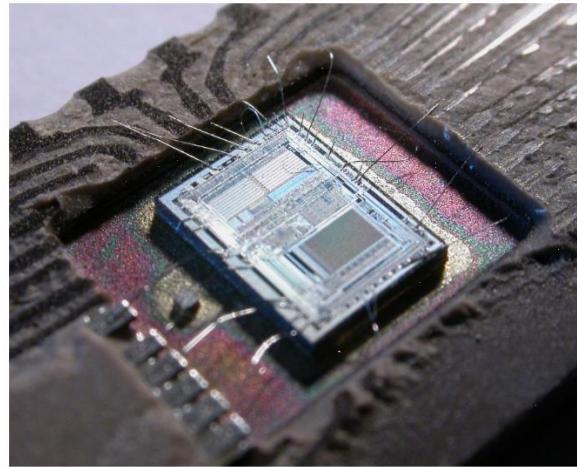
**المُعَالِج Micro-processor** قلب المتحكم الدقيق ويتكون من وحدة الحساب والمنطق ALU المسؤولة عن جميع العمليات الحسابية والمنطقية مع وحدات قراءة الأوامر من الذاكرة+مجموعة من المسجلات العامة والخاصة Register. يتم التحكم في سرعة المعالج من خلال دائرة المذبذب Oscillator حيث تساوي سرعة المعالج عدد النبضات الناتجة من دائرة المذبذب (التردد).

الذاكرة الثابتة وتنقسم إلى نوعين، الأول: يُستخدم في تخزين البرامج وتسمى بالفلاش Flash memory وهي تماثل Hard-disk في الحاسوب الشخصي. أما النوع الثاني فتسمى ال EEPROM وهي ذاكرة مخصصة لتخزين القيم الصغيرة والهامة مثل بعض الثوابت أو المتغيرات التي تؤثر في برنامج المتحكم ويجب أن تحفظ من الضياع.

الذاكرة المؤقتة SRAM وهي اختصار ل Static RAM، وهي تماثل الذاكرة العشوائية الموجودة في الحواسيب الشخصية التي نستخدمها.

**المسجلات Register** وهي أحد صور الذاكرة وتماثل الذاكرة المؤقتة من حيث التركيب وطريقة العمل ولكنها تستخدم في التحكم بجميع إعدادات ووظائف المتحكم الدقيق.

**الوحدات الطرفية (sets)** peripheral units وهي مجموعة من الوحدات التي تساعد المتحكم الدقيق في أداء وظيفته الأساسية (وهي التحكم بأجهزة أخرى) من أمثل هذه الوحدات. المنافذ العامة PORTS المحول التناطيри الرقمي ADC، المؤقتات Timers وحدات الاتصال ومعالجة البيانات التسلسليّة مثل USART,SPI,i2C AVR وبعض مُتحكمات قد تحتوي على أنظمة للتشفير مدمجة بداخلها.



الشكل 22 يوضح البنية الداخلية للأنظمة المدمجة

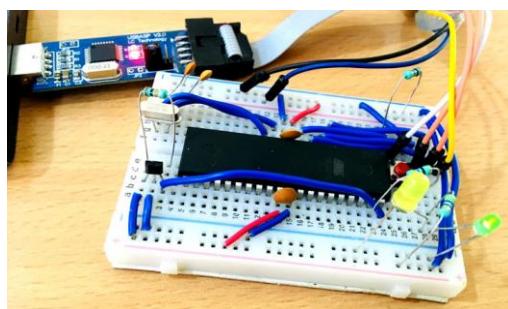
الفرق بين المتحكمات الدقيقة و لوحات الأردوينو و لوحات الراسبيري باي:



الشكل 23 بعض أنواع المتحكمات

جميع الألواح القابلة للبرمجة تصلح لإنجاز مشروع ال Hybrid Hexapod وتحتلت عن بعضها من ناحية التكلفة و طريقة البرمجة و معيارية العتاد الصلب (Hardware) لكل متحكم. فمثلاً في حال استعمال الراسبيري سيوفر إمكانيات عالية تقنياً وبالتالي تطوير الروبوت في مجالات الذكاء الصناعي لتطوير تطبيقات التعرف على الوجه ومعالجة الصور لكن سيكون ذلك على حساب التكلفة العالية للراسبيري باي في مناطقنا

أما في حال تم استعمال متحكمات ال AVR و PIC فسيطلب ذلك صعوبة في التعامل معها بسبب الدوائر الالكترونية التي يتطلبهـا هذا النوع من المـتحكمـات بعكس الـأردوينـو و ESP التي يكونـ فيهاـ المـتـحـكـمـ موـصـولـ بـلـوـحةـ مـجـهـزـةـ مـسـبـقاـ وـسـنـوـاجـهـ الصـعـوبـةـ أـيـضاـ فـيـ البرـمـجـةـ حـيـثـ تـحـاجـ هـذـهـ المـتـحـكـمـاتـ إـلـىـ مـبـرـمـجـةـ خـاصـةـ لـرـفـعـ الـكـوـدـ الـبـرـمـجـيـ عـلـىـ الشـرـيـحةـ يـوـضـعـ الشـكـلـ(24)ـ تـوـصـيـلـاتـ الـمـعـقـدـةـ لـدـارـةـ بـسـيـطـةـ لـلـتـحـكـمـ بـتـشـغـيلـ وـإـطـفـاءـ لـيدـ وـاسـتـعـالـ مـبـرـمـجـةـ مـنـفـصـلـةـ لـحـقـنـ الـكـوـدـ



الشكل 24 توصيات المـعـقـدـةـ لـدـارـةـ بـسـيـطـةـ لـلـتـحـكـمـ بـتـشـغـيلـ وـإـطـفـاءـ لـيدـ وـاسـتـعـالـ مـبـرـمـجـةـ مـنـفـصـلـةـ لـحـقـنـ الـكـوـدـ

أما في حال ما تم اختيار الأردوينـوـ والـذـيـ اـعـتمـدـنـاهـ لـاحـقاـ لـإنـجـازـ الـمـشـرـوـعـ فـسيـوـفـرـ لـنـاـ تـكـلـفـةـ مـنـخـضـةـ مـقـارـنـةـ مـعـ باـقـيـ المـتـحـكـمـاتـ بـالـإـضـافـةـ إـلـىـ أـنـ العـتـادـ الـصـلـبـ لـبعـضـ أـنـوـاعـ الـأـرـدـوـينـوـ مـنـاسـبـ نـسـبـاـ مـعـ الـمـشـرـوـعـ.

### 3.1.2 : Arduino

هو كـمـبـيـوتـرـ صـغـيرـ الحـجـمـ بـإـمـكـانـهـ التـفـاعـلـ وـالـتـحـكـمـ فـيـ الـوـسـطـ الـمـحـيـطـ بـهـ بـشـكـلـ أـفـضـلـ مـنـ الـكـمـبـيـوتـرـ المـكـتبـيـ أـمـاـ تقـنـيـاـ فـهـوـ منـصـةـ Platformـ بـرـمـجـةـ مـفـتوـحةـ الـمـصـدـرـ تـسـتـخـدـمـ لـغـةـ بـرـمـجـةـ مـفـتوـحةـ الـمـصـدـرـ تـدـعـىـ Arduino Cـ تـتـكـونـ مـنـ مـتـحـكـمـ الـكـتـرـوـنـيـ Micro-controllerـ وـبـيـنـةـ تـطـوـيرـ تـكـامـلـةـ لـكـاتـابـةـ الـبـرـمـجـيـاتـ IDEـ.

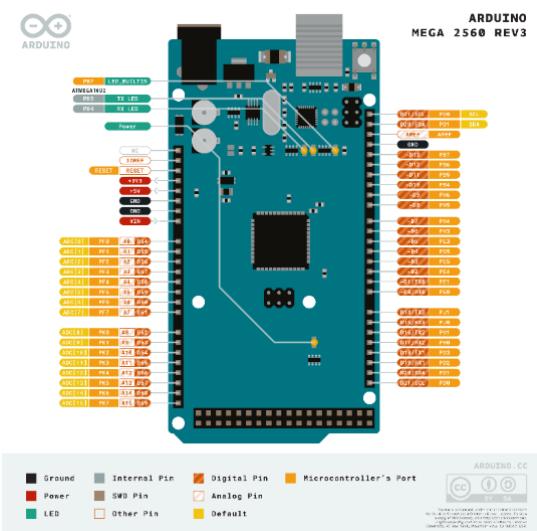


الشكل 25 لوحة الأردوينـوـ MEGA

## لوحة الأردوينو ميغا :Arduino MEGA

تعتبر الأردوينو ميغا Arduino MEGA أكثر اللوحات شهرة وإستخداماً بعد الأردوينو أونو ، وتعد الأنسب لبدء شرح الأردوينو. توجد لهذه اللوحة في الوقت الحاضر ثلاثة إصدارات معدلة: اللوحة الأولى هي اللوحة الأصلية R1، اللوحة الثانية تم فيها إدخال بعض التعديلات على اللوحة الأصلية R1، اللوحة الثانية تم فيها إدخال بعض التعديلات على اللوحة الأصلية وتعرف بـ R2، لاحقاً تم إجراء بعض التعديلات على اللوحة الثانية وتم الحصول على اللوحة المطورة الثالثة R3 . يبين الشكل (25) لوحة الأردوينو ميغا المطورة الثالثة التي تم في هذه الفقرة إيضاح بنيتها الالكترونية الداخلية بشكل مبسط بالإضافة إلى منافذها الخارجية.

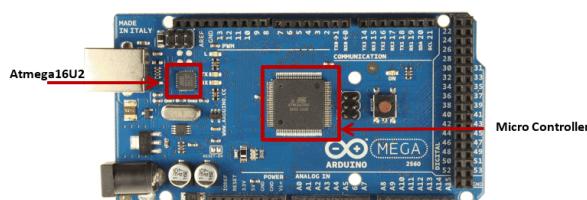
مكونات الأردوينو :



الشكل 26 مكونات الأردوينو MEGA

المتحكم الإلكتروني :Micro Controller

في قلب كل أردوينو توجد وحدة تحكم Micro Controller Unit (MCU) معظم لوحات Arduino Uno ، بما في ذلك Arduino Uno ، تستخدم متحكم AVR ATMega . هذا المتحكم الدقيق مسؤول عن الإحتفاظ بكافة التعليمات البرمجية وتنفيذ الأوامر.



الشكل 27 المتحكم الصغرى للأردوينو MEGA

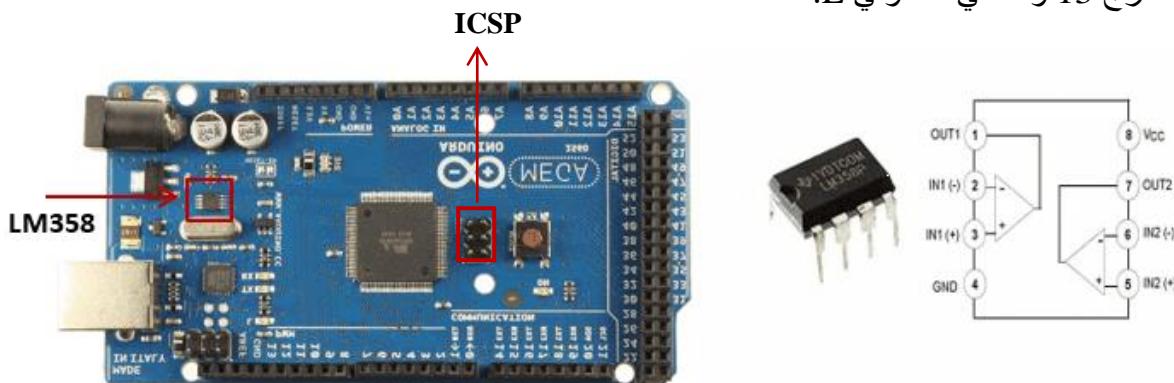
## المتحكم الصغير ATmega16U2 الثاني :

لا يمكن للمتحكم الرئيسي ATmega16U2 أن يتبادل البيانات مع الحاسب عبر منفذ USB، لذلك تم إضافة المتحكم ATmega16U2 إلى لوحة الأردوينو أونو، الذي يوجد ضمن بنائه الداخلية وحدة اتصال تسلسلي USB. يمكن اعتبار متحكم ATmega16U2 بمثابة مبدل USB إلى Serial(UART) والعكس.

ملاحظة: يتصل متحكم ATmega16U2 مع خط إعادة إقلاع المتحكم الرئيسي ATmega16U2 لأنه عندما يراد برمجة المتحكم الرئيسي لابد من إعادة تشغيله، وهذا ما يقوم به هذا المتحكم.

الدارة المتكاملة LM358

هذه الدارة عبارة عن مكبري عمليات. كما هو موضح في الشكل(28) يستخدم أحدهما كمقارنة جهدية لاختيار تغذية اللوحة من منفذ USB أو من منفذ Vin، ويستخدم الآخر كغاز buffer ما بين المخرج 13 والثنائي الضوئي L.



الشكل 28 المتحكم الصغير LM358 و منفذ ICSP

## منفذ برمجة تسلسلي (ICSP)

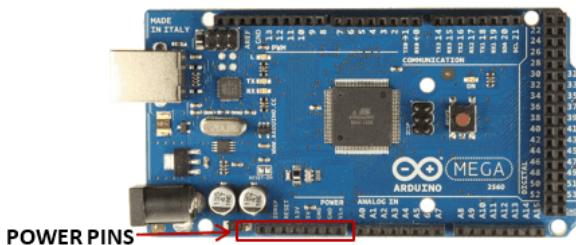
كما ذكرنا سابقاً أنه من الممكن برمجة المتحكم الرئيسي عن طريق منفذ USB. يوجد طريقة أخرى يتم فيها برمجته من خلال منفذ يعرف ب ICSP تتم برمجته

## منافذ الإدخال والإخراج :General I/O and ADCs

تحتوي لوحات الأردوينو على مجموعة من المنافذ كل منها يمكن أن يكون بمثابة خرج أو دخل. يمكن أن تعمل منفذ ADC أيضاً كمدخلات تماضية يمكنها قياس قيم الفولت بين 0 و 5 فولت. العديد من هذه الدبابيس تمتلك وظائف إضافية ، تشمل هذه الوظائف الخاصة واجهات اتصال مختلفة ، واجهات تسلسليّة ، ومخرجات معدلة بعرض النبض .

A. منافذ الاستطاعة: يوضح الشكل (29) عدد من منافذ الاستطاعة في لوحة الأردوينو ميغا

a. Vin: يمكن من خلاله تطبيق مصدر تغذية خارجي للوحة (بطارية مثلا) بدلاً من منفذ USB ومقبس الطاقة.



الشكل 29 منافذ الطاقة للأردوينو MEGA

b. GND: منفذان على التالى : أرضي لوحة الأردوينو. يمكن الاستفادة منها عند وصل اللوحة مع دارات أخرى

c. +5V: تعطي لوحة الأردوينو من خلال هذا المخرج جهداً مقداره 5V، وبالتالي الممكن استخدامه لتغذية الدارات الخارجية المرتبطة مع اللوحة.

d. 3.3V: تعطي لوحة الأردوينو أيضاً من خلال هذا المخرج جهداً مقداره 3.3V، وبالتالي الممكن استخدامه لتغذية الدارات الخارجية المرتبطة مع اللوحة. أقصى تيار يقدمه هذا المنفذ 50mA.

يوجد إلى الأيسر من منافذ الإستطاعة ثلاثة منافذ أخرى :

a. RESET: من خلال هذا المنفذ يتم إعادة تشغيل لوحة الأردوينو. وذلك من خلال تطبيق 0V (إشارة منخفضة) عليه. يمكن وصل مفتاح لحظي button، طرف منه يتصل مع هذا المنفذ، والطرف الآخر يتصل مع الأرضي، عند الضغط على هذا المفتاح يتم تطبيق إشارة 0V على هذا المنفذ، ويعاد تشغيل اللوحة. يعمل المفتاح في هذه الحالة بشكل مشابه لزر إعادة التشغيل الموجود على اللوحة. يمكن الاستفادة من هذا المنفذ عندما يتم وصل لوحة الأردوينو مع لوحة تعرف بالغطاء shield (لوحة خاصة يتم تركيبها فوق الأردوينو الأصلي لتوسيع عمله) مانعةً الوصول لزر إعادة التشغيل على لوحة الأردوينو، ليكون البديل لهذا المنفذ.

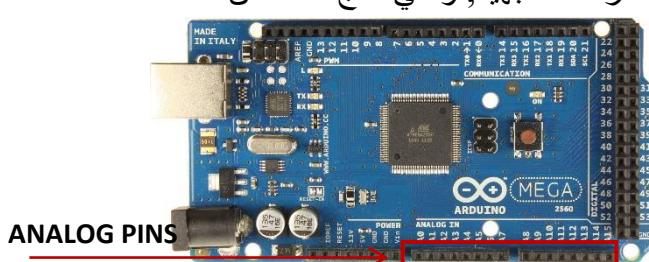
b. IOREF: يقدم هذا المنفذ الجهد المرجعي الذي يعمل فيه المتحكم الصغرى. يستخدم هذا المنفذ من قبل ألواح الأغطية shield لاختيار مصدر الطاقة المناسب أو تمكين محول جهد على المخارج للعمل مع 5V أو 3.3V.

c. منفذ غير مستخدم حاليا: ومن الممكن أن يستخدم لاحقاً للتطوير.

B. منفذ دخل تشابهية: تسمح هذه المنفذ بإدخال إشارات تشابهية، والتي تنتج عادة عن الحساسات التشابهية. يتم تحويل الإشارة التشابهية إلى

إشارة رقمية باستخدام مبدل ADC في متحكم Atmega328. دقة تمييز المبدل 10bit، والجهد المرجعي افتراضياً 5V ويمكن تغييره عن طريق المنفذ AREF.

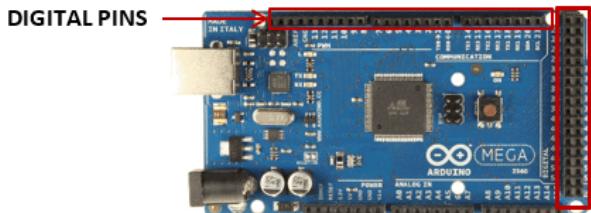
عدد هذه المنافذ التشابهية 16 هي



الشكل 30 منافذ الدخل التشابهية

A0,A1,A2,...,A15 كما هو موضح في الشكل (30).

C. منافذ دخل وخرج رقمية: يوضح الشكل (31) منافذ الدخل والخرج الرقمية مرتبة من اليمين إلى اليسار بالأرقام من 0 وحتى 53. والتي لها عدة وظائف كما يلي:



الشكل 31 منافذ الدخل والخرج الرقمية

يمكن لهذه الأرجل كلها أن تعمل كمخارج رقمية (أي تخرج إشارة 0V أو إشارة 5V ) تبعاً للسيفورة البرمجية. أو أن تعمل كمدخل رقمية (أي إدخال إشارة 0V أو إشارة 5V). وبالتالي يتم على هذه التوافد وصل عناصر ودارت الكترونية أخرى مثل الثنائيات الضوئية، شاشة الإلزام LCD التي تستقبل بثبات رقمية، أو لوحة مفاتيح، أو محرك وغير ذلك كما سرى. لكل رجل مقاومة سحب داخلية internal pull-up (غير مفعولة افتراضياً).

16 منفذ PWM: يمكن لكل منها أن تولد إشارة تعديل عرض النسبة Pulse Width Modulation(PWM). يرمز إليها في اللوحة على شكل ~. إشارة PWM هي إشارة مربعة دورية يتم التحكم بعرض النسبة المرتفعة (1 منطقي).

#### تعديل عرض النسبة:

من المعروف أن الدبابيس الرقمية تخرج إشارة 0V أو 5V, في هذه الحالة لن نستطيع التحكم بسرعة محرك أو إضاءة مصباح إلا إذا استخدمت دبابيس المحول من رقمي إلى تمثيلي (DAC) أو شريحة DAC خارجية. لكن باستخدام خدعة تسمى تعديل عرض النسبة (PWM) يمكنك الاقتراب جداً من إنشاء قيم إخراج تماضية.

إخراج إشارة PWM يكون من خلال الأمر Analog Write( ). يقبل هذا الأمر بارامترین (رقم المنفذ، قيمة الاشارة). يمكن كتابة القيم من 0 إلى 255

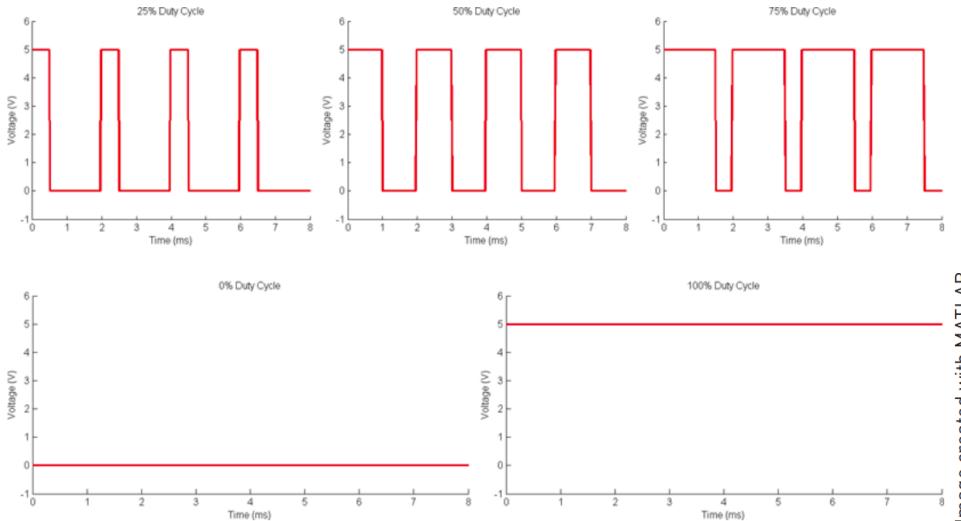


Image created with MATLAB.

**Figure 2-4:** PWM signals with varying duty cycles

### الشكل 32 إشارات PWM

المنفذان 0,1 يعملان كواجهة اتصال للبروتوكول التسلسلي UART

المنفذ 1 للإرسال، والمنفذ 0 للإستقبال. يتصل هذان المنفذان في نفس الوقت مع منافذ متواقة للمتحكم Atmega16U2 بحيث يمكن إرسال البيانات التسلسليّة إلى الحاسب عبر منفذ USB.

منفذ GND: أرضي لوحدة الأردوينو.

منفذ AREF: الجهد المرجعي للمداخل التشابهية.

المنفذان الآخرين SDA,SCL : يعملان كواجهة اتصال للبروتوكول التسلسلي I2C.

### D. منظم جهد 5V، ومنظم جهد 3.3V

تعمل لوحة الأردوينو أونو بجهد +5V، لذلك تحتاج إلى منظم جهد +5V عندما يتم تغذيتها كهربائياً من منبع خارجي. منظم جهد +5V المستخدم هو 1117ST50T3G. تيار الخرج الأعظمي لهذا المنظم يزيد عن 1 Amp. توفر اللوحة أيضاً جهاً مقداره +3.3V يمكن أن يستخدم مع دارات أخرى. منظم جهد +3.3V المستخدم هو LP2985-33BVR. LP2985-33BVR تيار الخرج الأعظمي لهذا المنظم يصل إلى 150mA. يوضح الشكل (33) منظمي الجهد 1117ST50T3G و LP2985-33BVR.

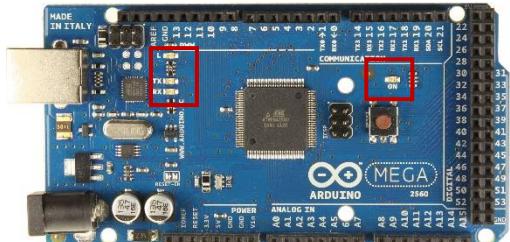


**شكل 33** منظم الجهد للأردوينو MEGA

### E. مجموعة من الثنائيات الضوئية :

تحتوي لوحة الأردوينو أونو على أربعة ثنائيات ضوئية كما هو موضح في الشكل (34).

- ثنائي صوئي ON: يشير إلى أن تم تطبيق جهد كهربائي 5V على اللوحة وهي جاهزة للعمل. لون هذا الثنائي أخضر.



الشكل 34 مجمعة الذانيات الضوئية للأردوينو MEGA

- ثنائي صوئي L: هذا الثنائي متصل مع المخرج الرقمي 13. يضيء عند تطبيق 5V على هذا المخرج. لون هذا الثنائي أصفر.

- ثنائيان صوئيان RX,TX : يومض هذان الثنائيان عندما تنتقل البيانات ما بين متحكم ATmega16U2 ومنفذ USB إلى الحاسب فقط. لون هذين الثنائيين أصفر.

#### USB. منفذ F

يوضح الشكل (35) منفذ USB للوحة الأردوينو أونو. لهذا المنفذ عدة استخدامات:



الشكل 35 منفذ USB ومدخل الطاقة للأردوينو MEGA

- برمجة اللوحة عن طريق الحاسب.
- تبادل البيانات ما بين لوحة الأردوينو (المتحكم ATmega328) ومنفذ USB للحاسب.
- تغذية اللوحة بجهد 5V عند وصل هذا المنفذ مع الحاسب.

جانب هذا المنفذ يوجد فيوز Fuse لحماية منفذ USB للحاسب من القصر والتيار الزائد على الرغم من أن معظم الحواسيب لها دارة حماية داخلية.. يقطع الفيوز الاتصال بشكل آلي عندما يزيد التيار عن 500mA.

#### G. مقبس الطاقة:

يمكن تأمين مصدر طاقة بديل لمنفذ USB عن طريق وصل محول AC-to-DC إلى مقبس الطاقة power jack الموضح في الشكل (35). قطر المقبس 2.1mm، وفي مركزه يطبق الطرف الموجب للمحول. مجال جهد المحول الموصى به يمتد من 7V وحتى 12V .

#### H. زر إعادة التشغيل:

زر إعادة إقلاع لوحة الأردوينو أونو لبدء تنفيذ الأوامر من البداية من جديد.

## أنواع الأردوينو:

يوجد العديد من انواع الأردوينو تؤدي نفس الوظيفة لكنها تختلف بالشكل الهندسي و المكونات:



الشكل 36 أنواع الأردوينو

## بيئة التطوير المتكاملة للأردوينو **Arduino integrated development environment (IDE)**

هو البرنامج الذي من خلاله يتم كتابة الكود البرمجي للوحة الأردوينو بلغة C, وتحميله إليها. تتسم بيئة التطوير بالبساطة وسهولة التعامل، وتحتوي على كل ما يحتاجه المبرمج لكتابة الشيفرة، وتعمل على أنظمة التشغيل المختلفة: Windows, MacOS, Linux.

تعرف البرامج المكتوبة باستخدام بيئة التطوير Arduino IDE بالسケتش sketch، ويتم تخزينها في الحاسب بملف يأخذ التوسيع .ino.

### **: Servo Motor 3.1.3**

هو عبارة عن محرك تيار مستمر DC MOTOR ، مجهز بدائرة الكترونية للتحكم بدقة في زاوية دورانه و وضع عمود المحرك من خلال نظام تحكم بحافة تعذية عكسية مغلقة، و مجهز بصندوق تروس GEAR. BOX يوضح الشكل (37) نماذج مختلفة لمحركات السيرفو.



الشكل 37 أنواع من السيرفو

يستخدم محرك السيرفو في التطبيقات التي تحتاج التحكم بالموضع كالروبوتات وأجنحة الطائرات والعديد من التطبيقات التي تحتاج لحركة دقيقة وبطيئة وعزم قوي.

#### أنواع محركات السيرفو:

A. STANDARD SERVO MOTOR: وفيه يكون المحرك قادر على الدوران من 0 إلى 180 درجة في الإتجاهين مع عقارب الساعة و عكس عقارب الساعة.

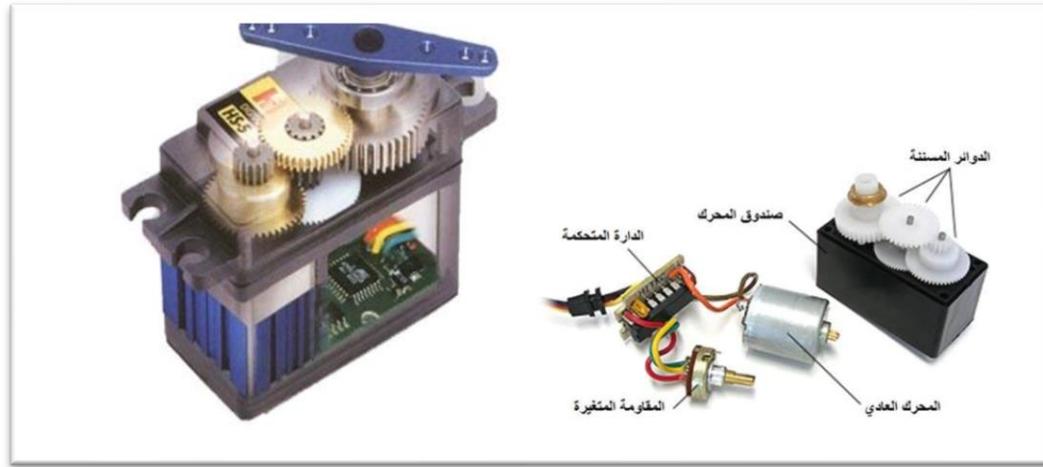
B. CONTINOUS SERVO MOTOR: وفيه يكون المحرك قادر على الدوران من 0 إلى 360 درجة في الإتجاهين مع عقارب الساعة و عكس عقارب الساعة.

#### مكونات محرك السيرفو:

A. محرك مستمر DC motor

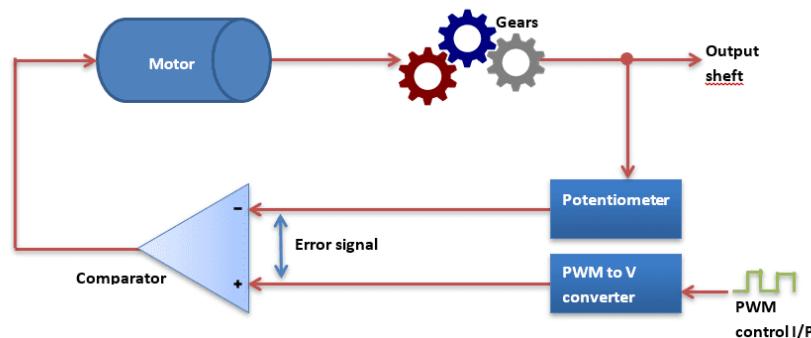
B. مقبض الخرج output shaft (ذراع محرك السيرفو)

C. سلسلة من التروس gears التي تصل محرك ال DC بمقبض الخرج. الهدف منها تقليل سرعة محرك DC لتصبح مناسبة أكثر.



الشكل 38 البنية الداخلية للسيervo

- D. نظام تحكم الكتروني بمكان القبض ذو تغدية عكسية مغلقة ويكون مما يلي:
- مقاومة متغيرة potentiometer: تتصل مع مقبض الخرج أو في مكان ما من سلسلة التروس، تقدم جهداً متناسباً مع مكان المقبض.
  - مبدل نبضات تعديل عرض النبضة PWM إلى جهد
  - مقارن comparator: يعمل على مقارنة الجهد الناتج عن المقاومة المتغيرة مع الجهد الناتج عن المبدل.

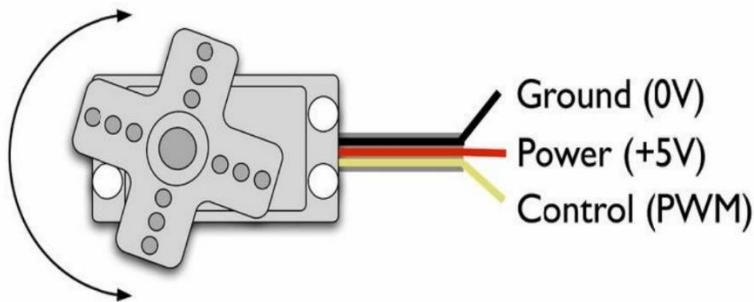


الشكل 39 مخطط عمل السيervo

E. الأسلام:

لحرك السيervo ثلاثة أسلاك: اثنان لتزويديه بالطاقة (Ground, Vcc) والسلك الثالث يتم من خلاله تطبيق إشارة التحكم بنبضات (PWM)

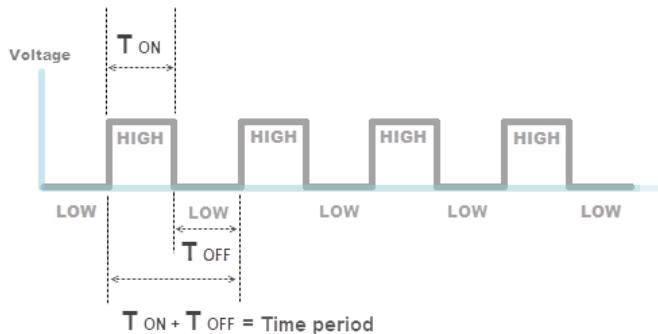
ملاحظة: في غالب الأحيان يكون لون سلك ground أسود أوبني Vcc، أحمر ولون سلك الأرضي ground ، أما لون سلك اشارة التحكم أصفر أو أبيض أو برتقالي .



الشكل 40 أسلاك محرك السيرفو

: إشارة ال PWM

PWM اختصاراً لـ (Pulse Width Modulation) وهي تقنية يتم استخدامها للتحكم في نسب الطاقة الكهربائية التي يُمد بها الأجهزة. وهي عبارة عن إشارة رقمية مكونة من نبضات معدلة تمكنك من الحصول على مقدار متوسط من الطاقة الكهربائية بين التشغيل الكامل والإيقاف التام.



الشكل 41 إشارات ال PWM للسيرفو

تستخدم تقنية تعديل عرض النبضة للتحكم في زاوية محرك سيرفو متصل بجسم ميكانيكي. تكون قيم التردد/الزمن الدوري محددة للتحكم في محرك سيرفو معين. بالنسبة لمحرك السيرفو النموذجي يتوقع أن يتم تحديثه كل 20ms باستخدام نبضة تتراوح بين 1ms و 2ms، أو بطريقة أخرى بقيمة دورة عمل تتراوح بين 5% إلى 10% مع موجة ذات تردد 50Hz. باستخدام نبضة 1.5ms يكون محرك السيرفو في موضعه الطبيعي عند 90 درجة، وباستخدام نبضة 1ms تكون وضعية محرك السيرفو عند زاوية 0، أما باستخدام نبضة 2ms يكون محرك السيرفو عند 180 درجة. ويمكنك الحصول على مدى كامل من الحركة عن طريق تحديد المOTOR بقيم بين القيم السابقة.

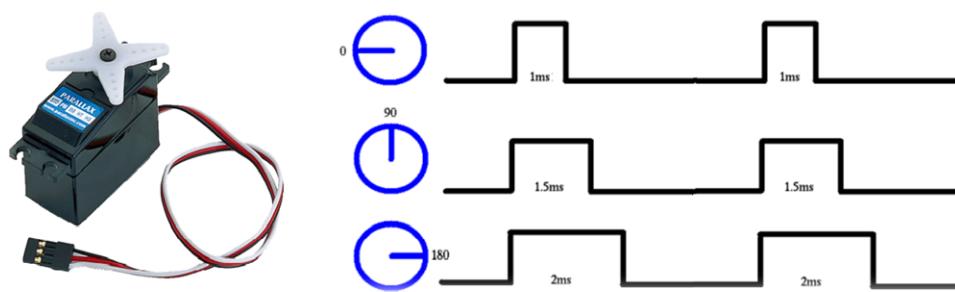
**يُعمل مُحرك السيرفو كالتالي:**

1. يطبق على المُحرك إشارة تحكم على شكل إشارة تعديل عرض النبضة pulse width modulation (PWM) والتي ترددتها 50Hz (أي تكرر الإشارة كل 20 ms). عرض هذه النبضات هو الذي سيتحكم بزاوية الدوران كما سنرى.
  2. يتم تحويل هذه النبضات إلى جهد مكافئ عن طريق مبدل PWM كلما كان عرض هذه النبضات أكبر كلما كان الجهد الناتج أكبر.
  3. تقدم المقاومة المتغيرة جهداً يتناسب مع مكان مقبض الخرج.
  4. يعمل المقارن على مقارنة الجهد الناتج عن المبدل والجهد الناتج عن المقاومة المتغيرة. الاختلاف ما بين الإشارتين يعرف بإشارة الخطأ error signal، والتي يتم تضخيمها، وتستخدم لقيادة المُحرك المستمر DC.
  5. يتحرك مُحرك DC، ومقبض الخرج، وبالتالي الجهد الناتج عن المقاومة المتغيرة بحيث تؤدي العملية إلى إنفاص أو حذف إشارة الخطأ.
  6. عندما يتم حذف إشارة الخطأ يكون مقبض الخرج قد وصل إلى المكان أو الزاوية المطلوبة، ويتوقف مُحرك DC تبعاً لذلك.
  7. عند تغيير عرض نبضات PWM، سيتغير الجهد الناتج عن مبدل PWM، وتنتهي إشارة خطأ، ليتحرك المُحرك ومقبض الخرج إلى زاوية أخرى مطلوبة، ويتوقف عندها.
- يبين الشكل (42) العناصر الداخلية لمُحرك السيرفو.



**الشكل 42 العناصر الداخلية لمُحرك السيرفو**

معظم محركات السيرفو تدور ضمن  $180^{\circ}$  وبعض منها ضمن  $360^{\circ}$ . يتم التحكم بالزاوية الدقيقة من خلال عرض نبضات PWM ذات التردد 50Hz كما تم ذكره. تعتمد العلاقة ما بين عرض النبضة والزاوية على الشركات المصنعة للمحركات ولكن المبدأ الأساسي هو نفسه في كل مُحرك يوضح الشكل (43): العناصر مثلاً على العلاقة ما بين عرض النبضات وزاوية الدوران:



الشكل 43 التحكم بزاوية دوران السيرفو من خلال التحكم بعرض نبضات إشارة PWM

من أجل عرض نبضة مقداره 1ms تكون زاوية المحرك  $0^{\circ}$ .

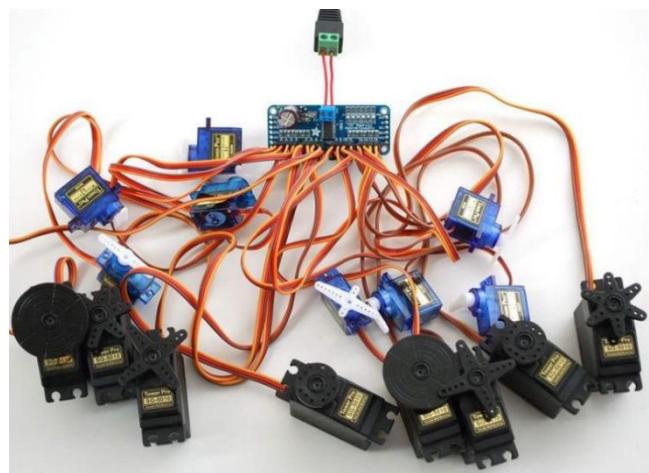
من أجل عرض نبضة مقداره 1.5ms تكون زاوية المحرك  $90^{\circ}$ .

من أجل عرض نبضة مقداره 2ms تكون زاوية المحرك  $180^{\circ}$ .

يتحرك محرك السيرفو ما بين 0 و  $180^{\circ}$  درجة، ولا يتحرك في دوران مستمر كما في محرك DC التقليدي.

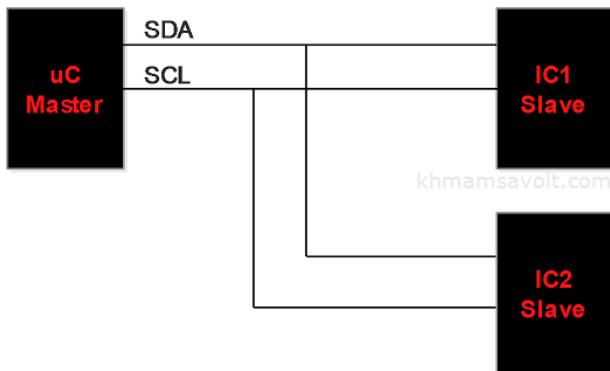
#### **: Servo Motor Driver 3.1.4**

يقوم Servo Driver بقيادة ما يصل إلى 16 محرك عبر خدمة I2C مع المتحكمات الدقيقة مثل Raspberry Pi أو Arduino. عادة ما تحتوي هذه المتحكمات الدقيقة على عدد محدود من دبابيس PWM للتحكم في محركات السيرفو لذلك تتم الإستعانة بهذه القطعة الإلكترونية. الشكل(44) ربط 16 محرك سيرفو باستخدام قطعة Servo Driver



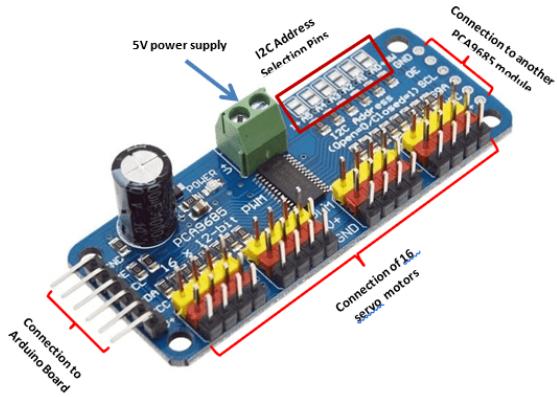
الشكل 44 16 محرك سيرفو باستخدام قطعة Servo Driver

بروتوكول I2C هي اختصار لـ (inter-integrated circuit). هو عبارة عن بروتوكول إتصال تسلسلي (serial communication) يعمل بين جهازين أو مجموعة من الأجهزة لنقل البيانات فيما بينهم. في الغالب تكون الأجهزة موجودة بنفس الدائرة. يعمل البروتوكول بطريقة الـ half-duplex (سيكون أحد الأجهزة في حالة إرسال بينما يكون الآخر في حالة الاستقبال ولا يمكنهما الإرسال في نفس الوقت). الجهازان اللذان يتصلان بهذا البروتوكول يسميان بالـ Master والـ Slave. يتكون البروتوكول من سلكين، الأول يستخدم لنقل البيانات ويسمى بالـ SCL أو Serial Clock Line، أما السلك الثاني يسمى بالـ SDA أو Serial Data Line. مسؤول عن نقل إشارة الـ clock من الـ Master إلى الـ Slave. الجهاز الـ Master يقوم ببدء الإتصال وتوليد الـ clock وإرسال الأوامر إلى الجهاز الـ Slave، كما يقوم بإنهاء الإتصال. بصورة أكثر تعقيداً من الممكن أن يتم التواصل بين أكثر من Master و Slave. في أكثر الحالات يكون الجهاز الـ Master هو عبارة عن مايكروكونترولر بينما يكون الـ Slave يكون أي جهاز طرفي آخر مثل EEPROM أو RTC.



الشكل 45 مخطط بروتوكول الـ I2C

مع متحكمات الأردوينو و الراسبيري باي و...الخ



**الشكل 46 Adafruit PCA9685 16-Channel Servo Driver**

#### منافذ الإستطاعة : POWER PINS

**VCC**: منفذ الأرضي 0V

**VCC**: منفذ الطاقة، يجب أن يكون 5-3V فولت كحد أقصى

**V+**: هذا هو دبوس الطاقة الاختياري الذي سيوفر الطاقة الموزعة إلى السيرفوهات. إذا كنت لا تستخدم السيرفوهات ، فيمكنك تركها غير متصلة. يجب عليك توفير 5-6 VDC في حال استخدام السيرفوهات.

#### منافذ التحكم : CONTROL PINS

**SDA - I2C data pin** : (خط الساعة التسلسلي) يتصل هذا المنفذ بخط بيانات I2C الخاص بالميكروكونترولر. يستخدم خط SDA لنقل البيانات يمكن استخدام 3V أو 5V منطقي ، ولديه سحب ضعيف إلى VCC

**SCL - I2C clock pin** : (خط البيانات التسلسلي) يستخدم خط SCL لمزامنة إرسال البيانات واستقبالها.

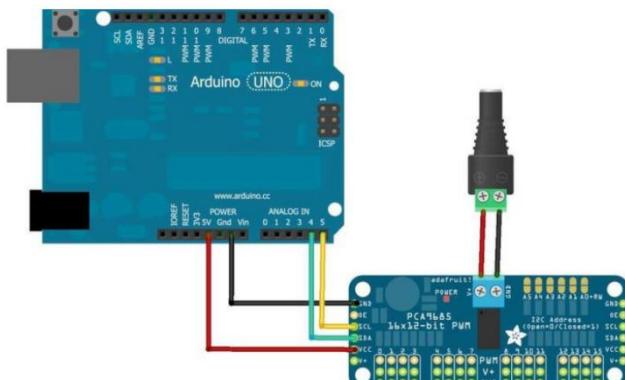
**OE - Output enable** : يتحكم هذا المنفذ بكل المخرجات معاً أي عندما يطبق عليه 0V يتم تمكين جميع منافذ الخرج. أما عندما يطبق عليه 5V ، يتم تعطيل جميع منافذ الخرج.

**منافذ الخرج OUTPUT PINS** : يوجد 16 منفذ خرج. يحتوي كل صف من منافذ الخرج على 3 منافذ: +V ، GND و مخرج PWM. كل منفذ PWM يعمل بشكل مستقل تماماً ولكن يجب أن يكون لديهم جميعاً نفس تردد PWM.

**ملاحظة:** تعمل مصابيح LED ، بتردد 1.0 KHz ولكن السيرفوهات تحتاج إلى 60 Hz 60 Hz لذلك لا يمكنك استخدام نصف المنافذ للمصابيح LED 1.0 KHz والنصف الآخر عند .60 Hz

أقصى تيار لكل منفذ هو 25 mA

يوجد مقاومات 220 ohm على التسلسل مع جميع منافذ PWM و منطق الإخراج هو مثل VCC ،  
لذا ضع ذلك في الاعتبار عند استخدام مصابيح LED.



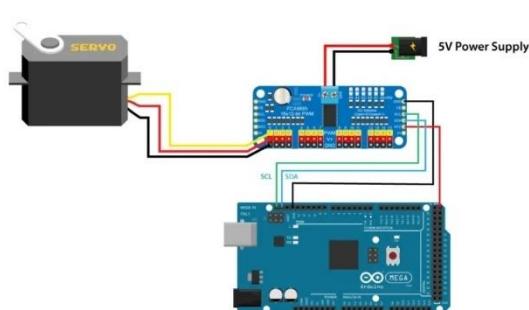
الشكل 47 توصيل السيرفو دريفر مع الأردوينو اونو

## Connecting to the Arduino :

الإصدار القديم :Classic Arduino

- +5v -> VCC •
- GND -> GND •
- Analog 4 -> SDA •
- Analog 5 -> SCL •

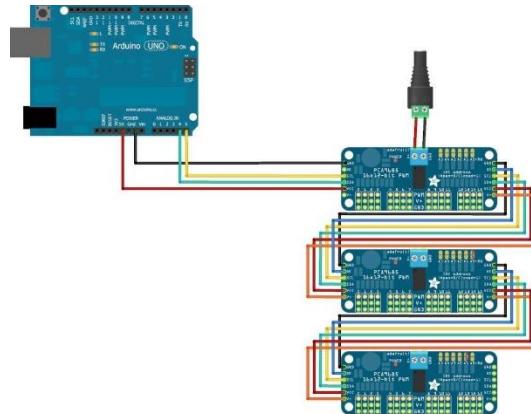
## الإصدارات الحديثة :Arduino R3 (Uno, Mega & Leonardo)



الشكل 48 توصيل السيرفو دريفر مع الأردوينو ميغا

- +5v -> VCC •
- GND -> GND •
- SDA -> SDA •
- SCL -> SCL •

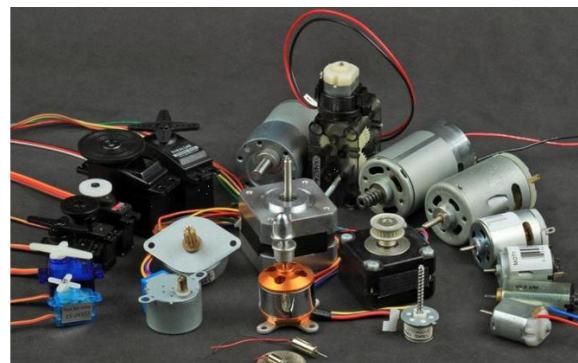
يمكن ربط العديد من دوائر التحكم بالسيرفو هات (تصل حتى 62 ) للتحكم في المزيد من السيرفو هات. مع وجود رؤوس على طرفي اللوحة، تكون الأسلاك بسيطة مثل توصيل كابل متوازي ذي 6 سnoon من لوحة إلى أخرى.



الشكل 49 ربط عدة قطع من السيرفو درايفر

### 3.1.5 محركات Brushless Motor :

المحرك: قطعة كهروميكانيكية أو ميكانيكية متحركة مفعمة في النشاط فهو عنصر هام في الحركة والجزء المسؤول عن دفع الطائرة للأمام، وفي أي لحظة وفي أي مكان لا بد أن تجد بقربك نوعاً أو اثنين من أنواع المحركات على الأقل. بدءاً من محرك الإهتزاز الموجود في هاتفك النقال إلى المراوح ومشغلات أقراص CD الموجودة في الكمبيوتر والسيارات. تمثل المحركات فرصة لأجهزتنا للتفاعل معنا ومع البيئة. ويختلف تصميم المحركات وطريقة عملها من محرك إلى آخر نظراً لوجود عدد لا حصر له من التطبيقات التي تستخدم المحركات.



الشكل 50 أنواع المحركات

وتنقسم المحرك كاك بشكل عام إلى نوعين:

A. المحرك الميكانيكي.

B. المحرك الكهربائي: يتكون المحرك الكهربائي أساساً من مغناطيس ثابت وموصل متحرك يسمى محور الدوران. وتشكل خطوط القوى بين أقطاب المغناطيس وعندما يمر تيار كهربائي خلال الموصل يصبح الموصل مغناطيساً آخر. ويتنافر المجالان المغناطيسيان ويعودي هذا التنازع إلى دوران محور الدوارن.

يعتمد تشغيل المحرك الكهربائي على ثلاثة مبادئ رئيسية:

a. يولد تيار كهربائي مجالاً مغناطيسياً في العضو الثابت.

b. يولد تيار كهربائي آخر مجالاً مغناطيسياً في ملفات العضو الدوار. يصل التيار الكهربائي الثاني إلى ملفات العضو الدوار عن طريق مبادل كهربائي ذو تقسيمات توزع التيار المستمر.

c. يجاذب المجالان المغناطيسيان أو يتنازعان فتحدث حركة العضو الدوار.

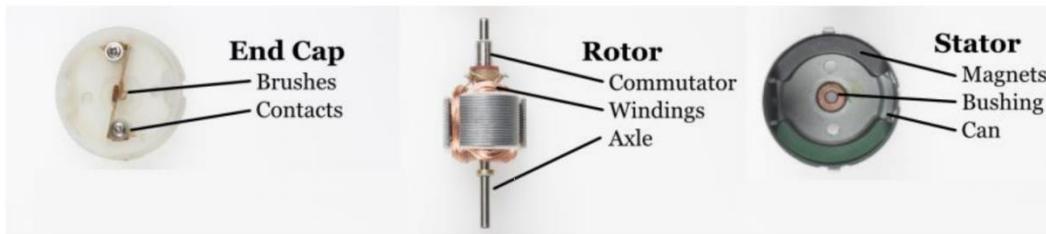
## 1. محركات التيار المستمر ذات الفرش (DC Brush Motors)



الشكل 51 محرك DC Brush Motor

محركات التيار المستمر ذات الفرش هي أحد أكثر أنواع المحركات بساطة وسهولة في الاستخدام. هذه المحركات واسعة الإنتشار ويمكنك رؤيتها في أي مكان. فهي تستخدم في الأجهزة المنزلية والألعاب والسيارات الصغيرة. بسبب كون هذه المحركات سهلة التركيب والتحكم فهي تمثل الحل الأمثل وأسهل للمحترفين والهواة على حد سواء.

## تركيب المحرك ذو الفرش:



الشكل 52 البنية الداخلية لمحرك DC Brush Motor

الفرش (Brushes): تقوم بنقل الطاقة من نقاط الاتصال إلى الجزء الدوار من خلال المبدل.

نقاط الاتصال (Contacts): تقوم بنقل الطاقة من مصدر الطاقة إلى الفرش

المبدل (Commutator): يقوم بنقل الطاقة إلى مجموعة اللفات التي يجب أن يصل إليها التيار أثناء دوران الجزء الدوار.

اللفات (Windings): تقوم بتحويل الكهرباء إلى مجال مغناطيسي يعمل على تحريك المحور.

المحور (Axe): يقوم بنقل الطاقة الميكانيكية من المحرك إلى التطبيق الخاص بالمستخدم.

المغناطيسات (Magnets): تقوم بتوفير المجال المغناطيسي الذي تتجاذب أو تتنافر معه اللفات. بطانة معدنية (Bushing) تقليل الاحتكاك الحادث للمحور.

علبة (Can) تمثل غطاء ميكانيكي للmotor بأكمله.

الجزء الساكن (Stator): جزء ثابت لا يتحرك، ويشمل العلبة والمغناطيسات والبطانة المعدنية.

الجزء الدوار (Rotor): الجزء الذي يقوم بالدوران، ويشمل المحور واللفات والمبدل

### نظريّة العمل:

عندما يتم توصيل الطاقة إلى اللفات فإنها تتجاذب مع المغناطيسات الموضوعة على جوانب المحرك. وهذا يؤدي إلى دوران المحرك إلى أن تتصل الفرش مع مجموعة أخرى من نقاط الاتصال الخاصة بالمبدل مما يؤدي إلى توصيل الطاقة إلى مجموعة جديدة من اللفات، وبالتالي تبدأ العملية مرة أخرى. ولعكس اتجاه دوران المحرك كل ما عليك هو عكس قطبية التيار الموصى إلى نقاط الاتصال الخاصة بالمحرك. يتم إنتاج شرارات (Sparks) داخل المحركات ذات الفرش أثناء انتقال الفرشة من نقطة اتصال إلى نقطة اتصال أخرى. ويتم توصيل كل سلك من أسلاك الملف (coil) إلى أقرب نقطتي اتصال على المبدل. دائمًا يتم استخدام عدد لفات فردي لمنع المحرك من

الدخول في الوضعية المستقرة (steady state). وفي المحركات الكبيرة يتم استخدام عدد أكبر من اللفات للقضاء على ما يعرف بالـ "cogging", مما يجعل التحكم في المحرك سلساً عندما يكون عدد الدورات في الدقيقة (RPM) منخفضاً. يمكن ملاحظة ظاهرة الـ cogging بسهولة عن طريق تدوير محور وعندما تشعر بما يشبه المطبات (bumps) في حركة المحرك عندما تكون المغناطيسات في أقرب مكان من الجزء الساكن. من الممكن القضاء على الـ Cogging باستخدام بعض الحيل في التصميم، ولكن الوسيلة الأكثر شيوعاً هي التخلص من الجزء الساكن بأكمله، وهذه المحركات يطلق عليها ironless motors أو coreless motors.

**المميزات:**

- a. سهولة الاستخدام
- b. عزم دوران ممتاز عندما يكون عدد الدورات في الدقيقة منخفضاً.
- c. رخص الثمن والإنتاج بكميات كبيرة.

**العيوب:**

- a. إمكانية تلف الفرش مع مرور الزمن.
- b. الشارات الناتجة من الفرش ممكّن أن تسبّب ضوضاء كهرومغناطيسية (electromagnetic noise).
- c. عادة تكون سرعته محدودة بسبب ارتفاع درجة حرارة الفرش.

بعض استخدامات وأنواع هذا المحرك المستخدم في طائرات التحكم عن بعد:

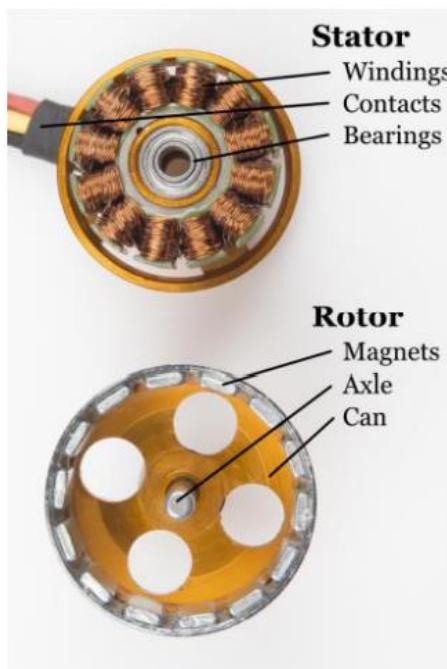
1. ذيل طائرة الهيليوكوبتر
2. بناء طائرات رباعية صغيرة (ذات امكانيات قليلة)
3. محرك اساسي لطائرة الهيليوكوبتر

2. المحركات الخالية من الفرش (Brushless DC Motor)



**الشكل 53 مركب Brushless DC Motor**

بدأت المحركات الخالية من الفرش في غزو أسواق الهواة سواء في صناعة المركبات الأرضية أو المركبات التي تطير. لقد كان التحكم في هذه المحركات يمثل عقبة كبيرة إلى أن أصبحت المتحكمات الدقيقة (microcontrollers) رخيصة وقوية بالشكل الكافي ل القيام بذلك المهمة. وما زال هناك عمل جري حالياً لتطوير متحكمات أسرع وأكثر كفاءة لتحرير القدرات المذهلة لدى تلك المحركات. فبدون فرش معرضة للنافع تستطيع تلك المحركات توفير المزيد من القوة بينما تعمل في صمت وسكون. ومعظم الأجهزة الكهربائية والمركبات الراقية تتحوال حالياً إلى استخدام أنظمة المحركات الخالية من الفرش. ومن الأمثلة الجديرة بالذكر على ذلك سيارة تسلا طراز إس (Tesla S Model).



**الشكل 54 البنية الداخلية لمحرك Brushless DC Motor**

#### تركيب المحركات الخالية من الفرش:

اللفات (Windings): تقوم بتحويل الكهرباء إلى مجال مغناطيسي يعمل على تحريك الجزء الدوار.

نقاط الاتصال (Contacts): تقوم بنقل الطاقة من مصدر الطاقة إلى اللفات.

المحام (Bearings): تقوم بتقليل الاحتكاك الحادث للمotor.

المغناطيسات (Magnets): تقوم بتوفير المجال المغناطيسي الذي تجاذب أو تتنافر معه اللفات.

المحور (Axe): يقوم بنقل الطاقة الميكانيكية من المحرك إلى التطبيق الخاص بالمستخدم.

في هذه المحركات يكون الجزء الثابت هو الذي يحتوي على الملف والجزء المتحرك هو الذي يحتوي على المغناطيسات الدائمة (عكس المحركات ذات الفرش).

## **نظريّة العمل:**

آلية عمل المحركات الخالية من الفرش بسيطة للغاية. الجزء الوحيد المتحرك هو الجزء الدوار (rotor) والذي يتضمن المغناطيسات. أما الجزء الأصعب فهو كيفية تنظيم تسلسل توصيل الطاقة إلى اللفات. يتم التحكم في قطبية كل لفة عن طريق التحكم في اتجاه سريان التيار. وتوضح لنا الصورة المتحركة نمطاً بسيطاً يمكن أن تتبعه أجهزة التحكم. فالتيار المتردد (Alternating Current) يقوم بتغيير القطبية مانحاً كل لفة تأثيراً "دفع / جذب". والجزء المهم هنا هو جعل هذا النمط متزامناً مع سرعة دوران الجزء الدوار.

هناك طريقتين يستخدمان على نطاق واسع للقيام بذلك الأمر: الأولى هي التي يتم استخدامها في معظم متحكمات الهواة والتي تقوم بقياس القوة الدافعة الكهربائية العكسية (back EMI) في اللفة الغير مزودة بالطاقة. هذه الطريقة فعالة للغاية في السرعات العالية، لكن عند دوران المحرك بسرعة قليلة أصبح الجهد الناتج أصعب في القياس وبالتالي تحدث الكثير من الأخطاء.

النوع الثاني هو متحكمات الهواة الأحدث والعديد من المتحكمات المستخدمة في الصناعة والتي تعتمد على مستشعرات تأثير هول (Hall effect sensors) لتحديد مواضع المغناطيسات مباشرةً.

## **المميزات:**

- a. ذات قوة تحمل عالية.
- b. ذات سرعة عالية.
- c. عالية الكفاءة.
- d. تنتج بكميات كبيرة ويسهل العثور عليها.

## **العيوب:**

- a. يصعب التحكم بها بدون وجود متحكمات خاصة.
- b. تتطلب أحمال تبدأ بشكل منخفض.
- c. في العادة تتطلب صندوق تروس (Gear Box) خاص لإدارة الحركة للتحكم في السرعة والعزم.

## **معايير المحرك :Motor Standards**

إن اختيار محرك Brushless له العديد من المعايير التي ينبغي علينا الإطلاع عليها وذلك لتحديد سرعة الطائرة وزن الطائرة، عموماً يوجد أكثر من طريقة لاختيار المحرك، يوجد معايير وضعتها الشركات لتقدير الحمولة المتوقعة لوزن الطائرة، وأيضاً يمكننا الإطلاع على معلومات المحرك فإن الشركات المصنعة تضع لنا كم يمكن لهذا المحرك أن يرفع أجمالي الوزن، ويجب اخذ عامل أمان

لوزن الطائرة وذلك لنتمكن من الطيران بطريقة سريعة وقوية، مثل لو كان محرك الطائرة يستطيع رفع وزن Kg 2، نحن نصمم وزن الطائرة بحيث يكون Kg 1 حتى تكون الطائرة في أفضل حال وقوية في العزم وسرعة في التحليق.

#### ▪ ثابت الجهد Voltage Constant

$K_V$  هو "ثابت الجهد". هذا هو عدد دورات المحرك في الدقيقة. في الواقع، عملياً أنه أقل لأن المحرك ليست كفالتها بنسبة 100%.

على سبيل المثال، إذا قمت بتطبيق 12 فولت على محرك  $K_V = 200$ ، فسيتم تشغيله  $(12 \times 200) = 2400$  دورة في الدقيقة.

#### ▪ ثابت عزم الدوران Torque Constant

$K_t$  هو "ثابت عزم الدوران". لجميع المحركات،  $K_t = 1355 / K_V$  يعني ذلك أن المحرك يدور بسرعة أكبر لجهد معين ( $K_V$ ) الانخفاض في العزم هو  $K_t$ .

#### ▪ الطاقة Power

يمكن قياس الطاقة Power بالواط. لاحظ أن 1 حصان = 746 واط. ويمكن حساب قيمة الطاقة بواسطة المعادلة التالية:

$$\text{Watts} = \text{Volts} * \text{Amps}$$

### 3.1.6 متحكمات السرعة : ESC

المتحكمات: بعض المتحكمات صنع خصيصاً للتحكم في المحركات والبعض الآخر صنع للتحكم في كل مكونات الطائرة الداخلية فيكون مسؤولاً عن الإرسال والإستقبال والتحكم في المحركات وغيرها.

متحكم السرعة الإلكتروني (ESC):

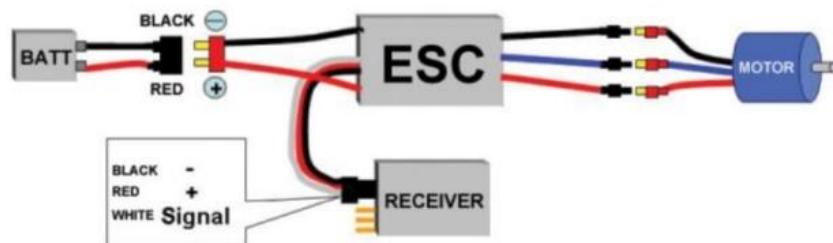
يشير مصطلح ESC إلى "التحكم الإلكتروني في السرعة"، وهو عبارة عن دائرة إلكترونية تستخدم لتغيير سرعة المحرك الكهربائي ومساره وأيضاً كأداء فرامل ديناميكي.



الشكل 55 متحكم السرعة ESC

يتم استخدامها بشكل متكرر في النماذج التي يتم التحكم فيها بالراديو والتي تعمل بالطاقة الكهربائية، مع التغيير الأكثر إستخداماً في المحركات التي لا تحتوي على فرش، والتي توفر بشكل أساسى مصدرأً للطاقة منخفض الجهد من ثلاثة أطوار phase-3.

الصورة أدناه تبين ربط المحرك والمستقبل والبطارية بطريقة منفصلة عن اي متحكم خارجي



الشكل 56 مخطط عمل متحكم السرعة ESC

إن أداة التحكم في السرعة (ESC) تتحكم في سرعة دوران محرك الطائرة. إنها الرابط الأساسي بين جهاز الإستقبال اللاسلكي للطائرة ومحطة الطاقة (LIPPO). سوف يحتوي المتحكم الإلكتروني في السرعة على 3 مجموعات من الأسلامك:

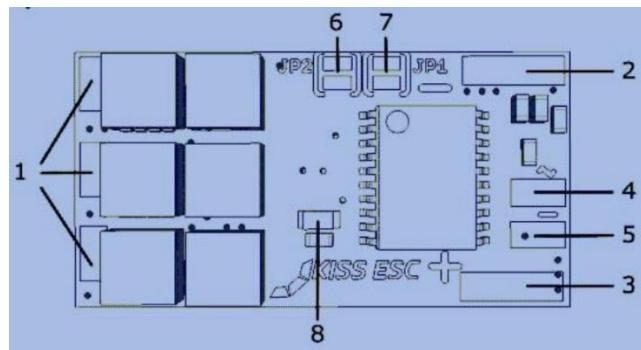
1. - سيتم توصيل سلك واحد بالبطارية الرئيسية للطائرة.
2. سوف يحتوي السلك الثاني على سلك مؤازر نموذجي يتم توصيله بقناة دوامة الوقود في جهاز الإستقبال.
3. وأخير، يتم استخدام السلك الثالث لتشغيل المحرك.

المكونات المستخدمة في ESC تشمل أساساً ما يلي:

Solder pads for the 3-BLDC motor phases	منصات لحام لمراحل المحرك BLDC-3
Negative (-) LIPO connections	مدخل LIPO السلبي
Positive (+) LIPO Connection	مدخل LIPO الإيجابي
Servo signal or input of the PWM signal	مدخل التحكم في الدواسة (السرعة)
GND reference of PWM Signal	PWM لإشارة GND
Solder jumper, for altering the direction of Rotation (CW/CCW)	وصلة لحام، لتغيير نوع إشارة دخل PWM
State LED	ضوء التشغيل

الشكل 57 جدول مكونات متحكم السرعة ESC

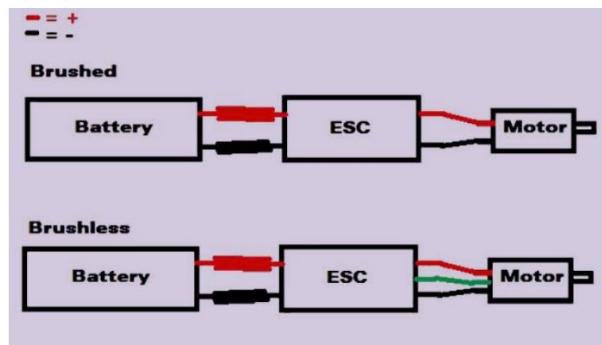
ويمكننا رؤية المكونات اعلاه في المخطط التوضيحي التالي :



الشكل 58 البنية الداخلية لمتحكم السرعة ESC

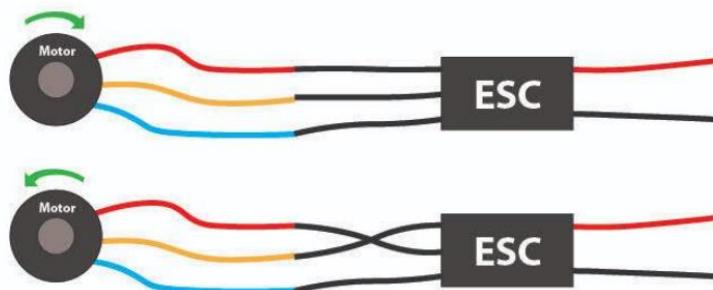
أنواع متحكم السرعة الإلكتروني:

يوجد نوعان من متحكمات السرعة الإلكترونية إستناداً إلى المتطلبات المحددة:



الشكل 59 أنواع متحكم السرعة ESC

تمثل الوظيفة الأساسية لـ ESC في تغيير مقدار الطاقة إلى المحرك الكهربائي من بطارية الطائرة إستناداً إلى موقع عصا التحكم في الخانق ولكن عكسك للأقطاب يغير اتجاه المحرك انظر الشكل التالي:



الشكل 60 آلية ربط متحكم السرعة ESC

### :Bluetooth Communication Module 3.1.7

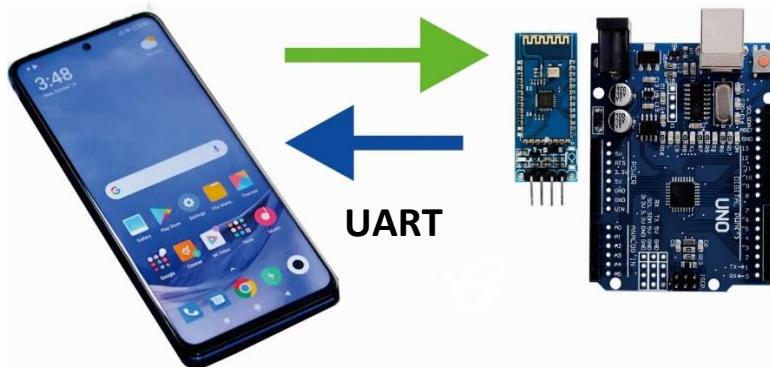
تقنية Bluetooth: هي تقنية اتصال لاسلكية تم اختيارها للسماح بتبادل البيانات ما بين الأجهزة على مسافات قصيرة، وبدون وجود خط نظر line of sight فيما بينها (أي حتى مع وجود حواجز). مع استهلاك استطاعة منخفض. يستخدم البلوتوث أمواجاً راديوية ذات موجة قصيرة في الحزمة ISM من 2.485GHz إلى 2.4GHz. يتبع البلوتوث لشبكات المنطقة الشخصية Personal Area Networks (PAN) فئات تتبعاً لاستطاعة الإرسال وما يقابلها من مدى اتصال. معظم الأجهزة الخلوية تتبع للفئة 2.



عموماً يتغير مدى الاتصال الفعال تبعاً لظروف الانتشار وبنية الهوائيات وحالة البطارية. وحساسية المستقبل وغير ذلك.

### وحدة اتصال البلوتوث : HC-05

يمكن للمتحكمات الصغيرة ولوحات الأردوينو أن تتبادل البيانات مع الأجهزة التي تعمل بتقنية البلوتوث من خلال استخدام وحدات modules تعرف بوحدات بلوتوث التي تأخذ شكل منفذ تسلسلي Serial Port Profile(SPP). توفر هذه الوحدات اتصالاً تسلسلياً وفق بروتوكول UART من جهة، واتصالاً مع شبكة البلوتوث من جهة أخرى كما هو موضح في الشكل (61).

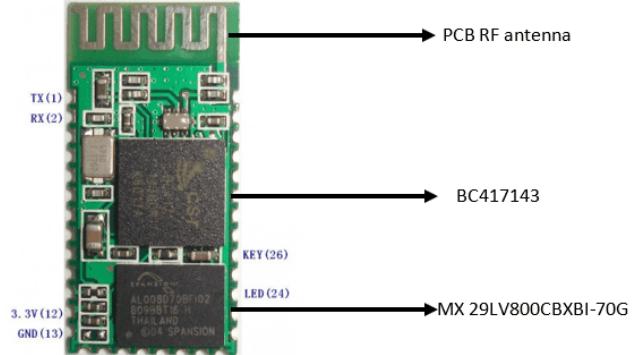


الشكل 61 استخدام وحدة بلوتوث SSP لربط لوحة الأردوينو مع شبكة بلوتوث

يوجد عدة نماذج لوحدات SSP تبعاً للبرنامج الدائم firmware الذي تبرمج به :

- وحدة HC-05 ووحدة HC-03: يمكن لكل من هاتين الوحدتين أن تعملا Master Mode و Slave Mode ، حيث يسمح البرنامج الدائم firmware من التبديل بينهما في أي وقت. ووحدة HC-03 منتج صناعي، ووحدة HC-05 منتج تجاري.

وحدة HC-06 ووحدة HC-04: هاتين الوحدتين تعملان إما في وضعية Master Mode أو Slave Mode حسب ضبط المصنع، ولا يمكن التبديل بينهما. وحدة HC-04 منتج صناعي، ووحدة HC-06 منتج تجاري. تتشابه الوحدتان HC-06 و HC-05 من حيث البنية الإلكترونية ولكن تختلفان من حيث البرنامج الدائم firmware كما ذكرنا. تتضمن هذه الوحدة شريحة البلوتوث BC417143 التي تعمل وفق الإصدار 2 ونظام EDR بسرعة نقل 3Mbit/s، وهذه الشريحة تحديداً هي التي توفر اتصالاً وفق بروتوكول UART من جهة ومع شبكة البلوتوث اللاسلكية من جهة أخرى. يوجد أيضاً ذاكرة خارجية MX 29LV800CBXBI-70G من نوع flash وهوائي مدمج على اللوحة PCB RF antenna، مع إمكانية وصل هوائي خارجي.



الشكل 62 الدارة الأساسية للبلوتوث بدون موديول

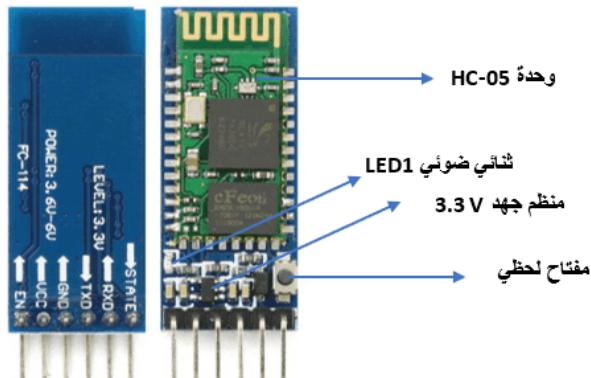
يمكن إجمال خواص الوحدتين HC-05 و HC-06 بما يلي:

- تعمل وفق تقنية البلوتوث الإصدار 2.EDR + 2.
- إمكانية تبادل المعطيات مع الوحدات الأخرى (كالمتحكمات الصغيرة) وفق بروتوكول .UART
- إمكانية إرسال العزمى 4 dBm.
- الحساسية النموذجية -.80 dBm.
- تصل التغطية إلى 10m.
- جهد التغذية 3V.
- يمكن ضبط باراترات الوحدة وأوامر التحكم من خلال أوامر AT.
- معدل النقل التسلسلي الأعظمى 1382400 bps
- توفر 7 منافذ دخل وخرج.
- توفر مؤشرات حالة وجود أو عدم وجود اتصال.
- تتصل بشكل آلي مع جهاز آخر مع بداية التشغيل بشكل افتراضي.

### لوحة HC-05 FC-114

بسبب صعوبة التعامل مع منافذ وحدتي HC-05 و HC-06 بالإضافة إلى أنها تعمل بجهد تغذية 3.3V مما يستدعي استخدام منظم جهد، فقد تم تركيبها ولحمها على لوحة وإضافة عناصر الكترونية إليها كما هو موضح في الشكل (63). تتضمن اللوحة منظم جهد 3.3V، مما يساعد على تطبيق

جهد 5V الذي تعمل به المتحكمات الصغرية ومعظم لوحت الأردوينو. كذلك تم إضافة ثنائي صوئي موصول مع الرجل PIN31 التي ذكرنا وظيفتها سابقاً في الدالة على نمط العمل. يوجد في لوحة HC-05 أيضاً مفتاح لحظي button تم وصله مع الرجل PIN34 التي من خلالها يتم تحديد نمط العمل. عند الضغط على المفتاح تتصل الرجل PIN34 مع التغذية 3.3V وبنهاية الدخول في نمط العمل. من دون الضغط على المفتاح يطبق على الرجل 0V وبالتالي الدخول في نمط الاتصال أوامر AT.



الشكل 63 مكونات Bluetooth Module

أرجل الخرج للوحدة هي :

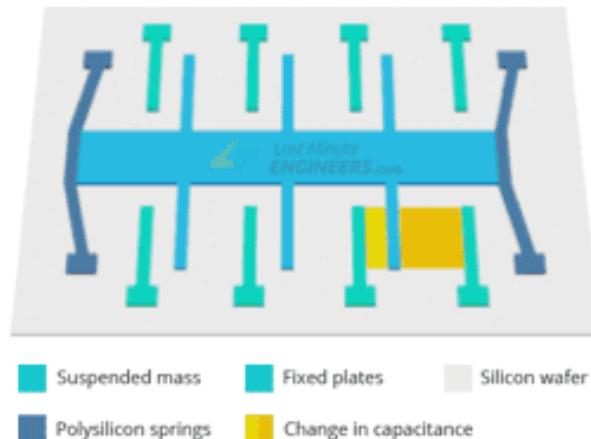
- STATE: مؤشر حالة الاتصال. تعطي هذه الرجل إشارة ذات مستوى منخفض في حالة عدم وجود اتصال ما بين الوحدة مع وحدة بلوتوث أخرى، وإشارة ذات مستوى مرتفع في حالة وجود اتصال.
- RXD: رجل استقبال الإشارة التسلسليّة وفق بروتوكول UART، يمكن وصلها مع رجل إرسال المتحكم الصغرى.
- TXD: رجل إرسال الإشارة التسلسليّة وفق بروتوكول UART، يمكن وصلها مع رجل استقبال المتحكم الصغرى.
- GND: أرضي.
- VCC: يطبق جهد تغذية +5V
- EN: هذه الرجل متصلة مع رجل CE لمنظم الجهد. عند تطبيق مستوى منخفض لا يعمل المنظم، وبالتالي لا يتم تطبيق جهد تغذية على وحدة HC-05. مع تطبيق مستوى مرتفع أو عدم تطبيق أية إشارة يعمل المنظم. أي أن هذه الرجل تعمل كرجل تفعيل للوحدة.

### 3.1.8 مستشعر الجيروسكوب :Gyroscope Sensor

في السنوات الأخيرة، نجح بعض المهندسين البارزين في صنع جيروسكوبات ميكانيكية. مهدت جيروسكوبات MEMS (النظام الكهروميكانيكي الدقيق) الطريق لمجموعة جديدة تماماً من التطبيقات المبتكرة مثل التعرف على الإيماءات، والألعاب المحسنة، والواقع المعزز، وال نقاط الصور البانورامية، والتنقل في السيارة، ومراقبة اللياقة البدنية وغيرها الكثير.

#### آلية عمل مقياس التسارع :MEMS

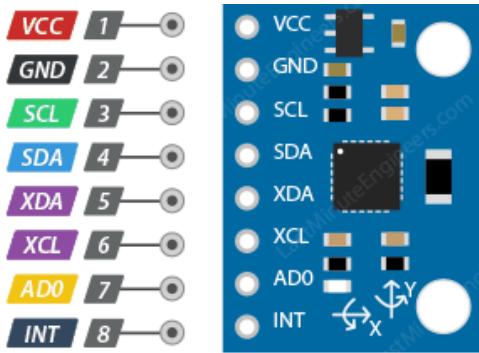
يتكون مقياس التسارع MEMS (الأنظمة الكهروميكانيكية الدقيقة) من هيكل ميكانيكي دقيق مبني فوق رقاقة سيليكون. يتم تعليق هذا الهيكل بواسطة نواصن البولي سيليكون. يسمح للهيكل بالانحراف في الوقت الذي يتم فيه تطبيق التسارع على محور معين.



الشكل 64 آلية عمل مقياس التسارع MEMS

بسبب الانحراف، يتم تغيير المسافة بين الألواح الثابتة والألواح المرتبطة بالهيكل المعلق. هذا التغيير في المسافة يتتناسب طردياً مع العجلة على هذا المحور. يعالج المستشعر هذا التغيير في المسافة ويحوله إلى جهد خرج تنازلي.

لا شك أن الجيروسكوب ومقياس التسارع رائعان بطريقتهما الخاصة. ولكن عندما نجمعهما، يمكننا الحصول على معلومات دقيقة للغاية حول اتجاه الجسم. ويتم الجمع بين هذين التقنيتين في موديل MPU6050. يحتوي MPU6050 على جيروسكوب ومقياس تسارع، يمكننا باستخدامه قياس الدوران على طول المحاور الثلاثة، والتسارع الثابت بسبب الجاذبية، بالإضافة إلى الحركة أو الصدمة أو التسارع الديناميكي بسبب الاهتزاز.



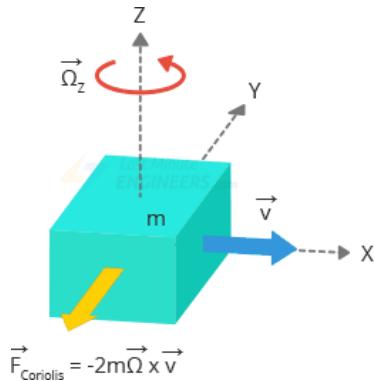
الشكل 65 منافذ الجيروسكوب MEMS

### آلية عمل الجيروسكوب:

بينما تقيس مقاييس التسارع التسارع الخطى، تقيس جيروسكوبات MEMS الدوران الزاوي. للقيام بذلك، يقومون بقياس القوة الناتجة عن ما يعرف بتأثير كوريوليس.

### تأثير كوريوليس:

يخبرنا تأثير كوريوليس أنه عندما تتحرك كتلة ( $m$ ) في اتجاه معين بسرعة ( $v$ ) ويتم تطبيق معدل زاوي خارجي ( $\Omega$ ) (السهم الأحمر)، يولـد تأثير كوريوليس قوة (سهم أصفر) تسبب إزاحة عمودية للكتلة. ترتبط قيمة هذا الإزاحة ارتباطاً مباشرـاً بالمعدل الزاوي المطبق.



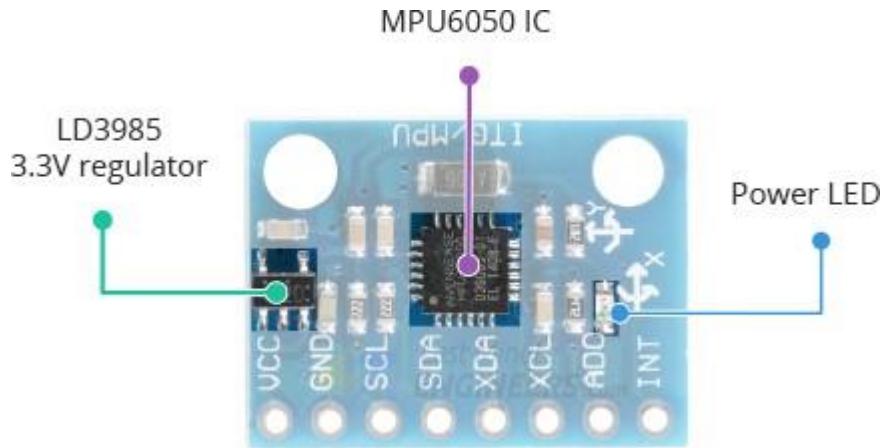
الشكل 66 تأثير كوريوليس

يحتوى MPU6050 IMU على مقاييس تسارع ثلاثي المحاور وجيروسكوب ثلاثي المحاور مدمج في شريحة واحدة.

يقيس الجيروسكوب سرعة الدوران أو معدل تغير الوضع الزاوي بمروـر الوقت، على طول المحور X و Y و Z. يستخدم تقنية MEMS وتأثير Coriolis للقياس. تكون مخرجات الجيروسكوب بالدرجات في الثانية، لذا من أجل الحصول على الموضع الزاوي، نحتاج فقط إلى تكامل السرعة الزاوية.

من ناحية أخرى، يقيـس مقاييس التسارع MPU6050 على طول المحاور الثلاثة وباستخدام بعض رياضيات حساب المثلثات يمكنـنا حساب الزاوية التي يتم فيها وضع المستشعر. لذلك، إذا قـمنا بدمج

أو دمج بيانات مقياس التسارع والجیروسکوب، فيمكننا الحصول على معلومات دقيقة للغاية حول اتجاه المستشعر.

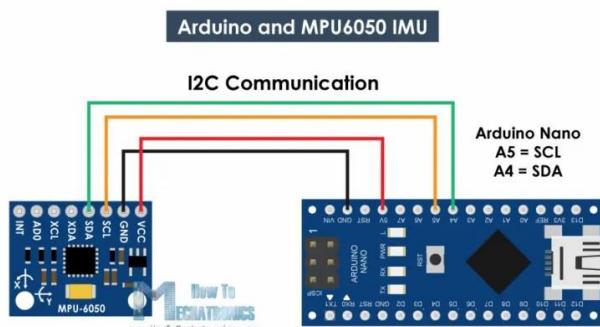


## الشكل ٦٧ مكونات وحدة MPU6050

تأتي الوحدة مع منظم LD3985 3.3V مدمج، لذا يمكنك استخدامه مع متحكم منطق 5V مثل Arduino.

يسهلك **MPU6050** أقل من 3.6 مللي أمبير أثناء القياسات و 5 $\mu$ A فقط أثناء الخمول. يسمح هذا الاستهلاك المنخفض للطاقة بالتنفيذ في الأجهزة التي تعمل بالبطاريات.

بالإضافة إلى ذلك ، تحتوي الوحدة على مصباح LED للطاقة يضيء عند تشغيل الوحدة.

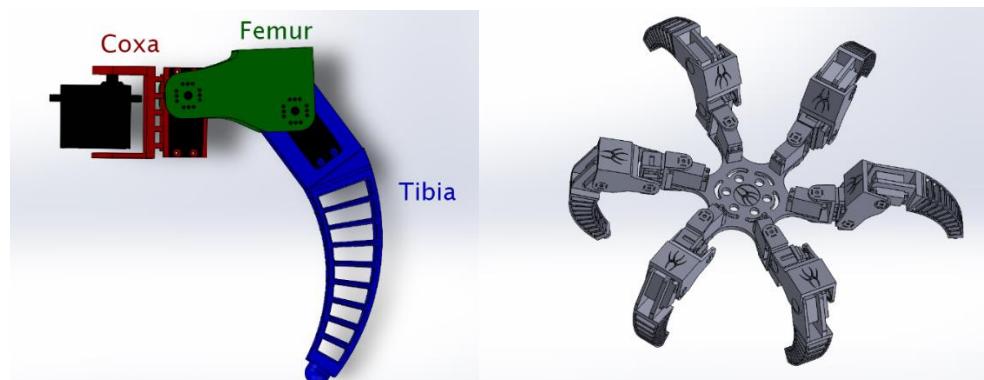


الشكل 68 ربط وحدة MPU6050 مع الأردوينو

### 3.2 التصميم وطباعة الهيكل:

كما هو مذكور في القسم، فإن الروبوتات سداسية الأرجل تشبه الحشرات ذات ستة أرجل موزعة بشكل متماز على جانبيين، ولكل جانب ثلاثة أرجل كما هو موضح في الشكل(69). تتكون كل ساق من ثلاثة حلقات coxa و femur و tibia، هذا التصميم المتماز سريع ومرن في الاتجاه الأمامي ولكنه أقل مرونة في تحريك الجوانب والدوران. من الواضح أن سداسي الأرجل يحتوي على ثمانية عشر مفصلاً، ثلاثة لكل ساق.

بعد الدراسة النظرية لحركات الروبوت الهجين من ناحية المشي والطيران وبناء نموذج متكامل حسابياً، تم إنشاء التصميم على برنامج Solidworks، مع الأخذ بعين الاعتبار أحجام ومساحات الألكترونيات الدالة في بناءه من خلال الإطلاع على المقاييس الخاصة لكل قطعة من قبل الشركات المصنعة. وتمت عملية الطباعة على الطابعة ثلاثية الأبعاد بعد إدراج التصاميم في برنامج Creality لضبط خصائص الطباعة ومعالجتها حسب المتطلبات.



الشكل 69 تصميم هيكل الروبوت والذراع

كما واجهتنا العديد من العوائق و الصعوبات في كل من مرحلة التصميم والطباعة. ففي مرحلة التصميم واجهتنا مشكلة تنسيق أبعاد الروبوت بحيث يكون مناسب للمشي والطيران. أما في مرحلة الطباعة فكانت هنالك العديد من المشاكل منها:

1. عدم دقة الطابعة: وبالتالي عدم تحمل الأذرع المطبوعة للأحمال والأوزان وقابليتها للكسر بمجرد حمل صغير عليها، فعند مرحلة تجميع الهيكل تعرضت العديد من القطع للكسر ومنها للتشقق.



الشكل 70 مشاكل الطابعة

2. عدم توفر المواد الأولية: صغر احجام البكرات التي تحوي على مادة الطابعة أدى إلى الإستعانة ببكرات أخرى لها خصائص مختلفة عن الأخرى.



الشكل 71 طلاء قطع الروبوت

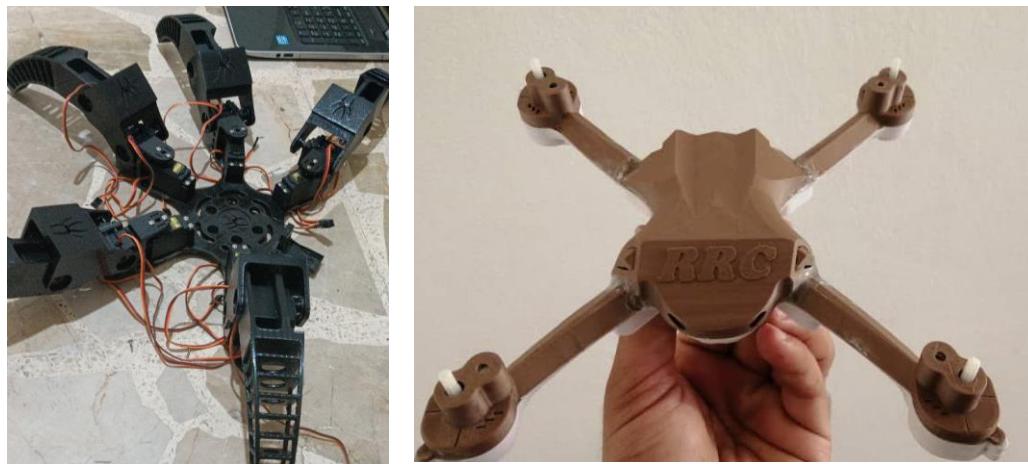
3. انقطاع التيار الكهربائي: العديد من القطع في أثناء الطباعة قطعت عليها التيار الكهربائي ما أدى إلى إعادة عملية الطباعة من جديد.



الشكل 72 عمل الطابعة

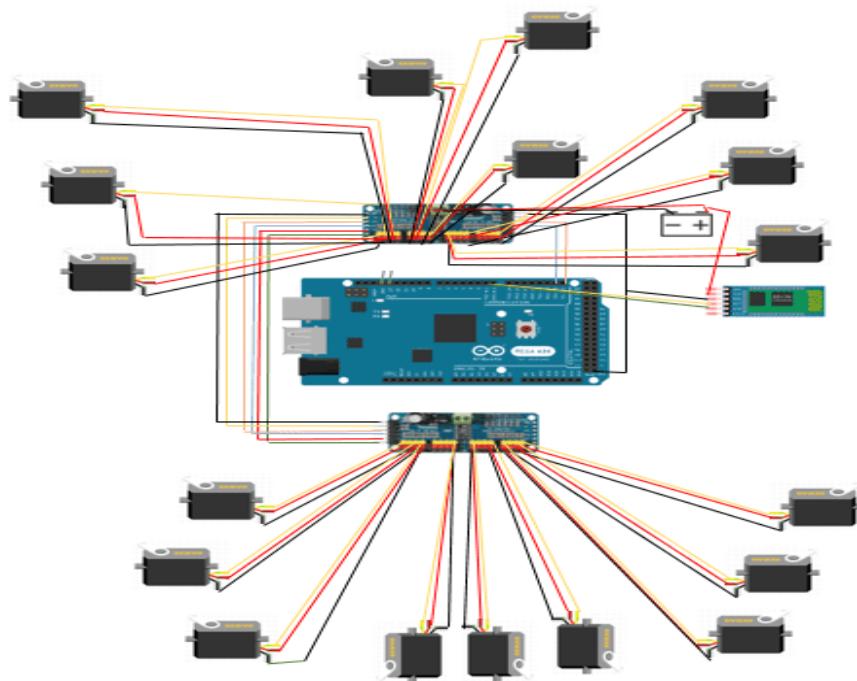
**3.3 تجميع القطع:**  
عملية التجميع تمت على مرحلتين:

1. تجميع هيكل الروبوت: حيث بعد الطباعة وتنظيف القطع من الزوائد، وطلائها تم تجميع الأرجل الـ 16، المكونة من ثلاثة قطع منفصلة لكل رجل مع الهيكل الأساسي والقبة.

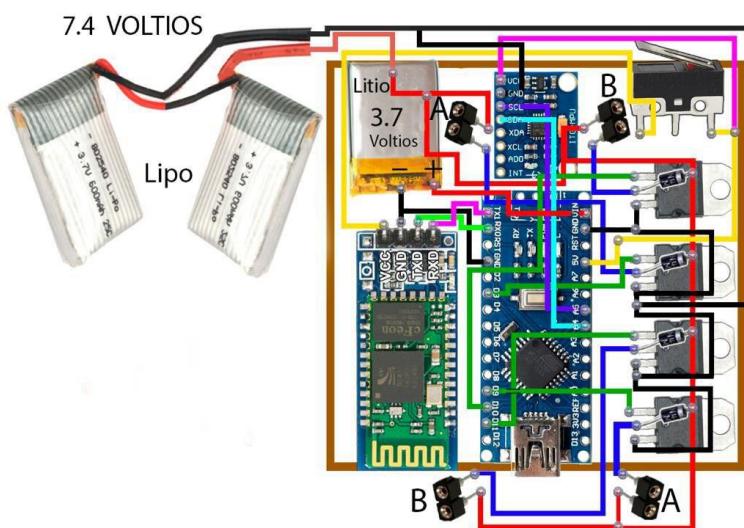


الشكل 73 مرحلة التجميع

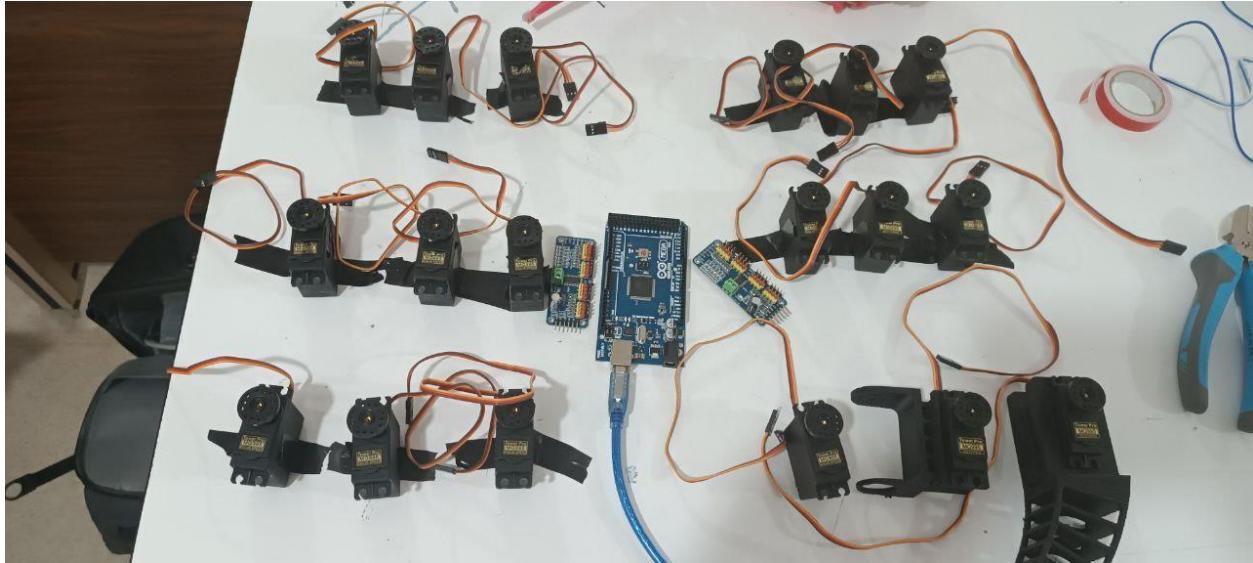
2. تجميع الألكترونيات: وفيه تم ربط مجموعة الألكترونيات المتمثلة بعصب الروبوت، ومعايرتها من خلال البرمجة بحيث التوافق بينهم.



الشكل 74 مخطط الدارة الإلكترونية لروبوت Hexapod



الشكل 75 مخطط الدارة الإلكترونية لروبوت Drone



الشكل 76 الإختبار العملي للدارة الإلكترونية لروبوت Hexapod

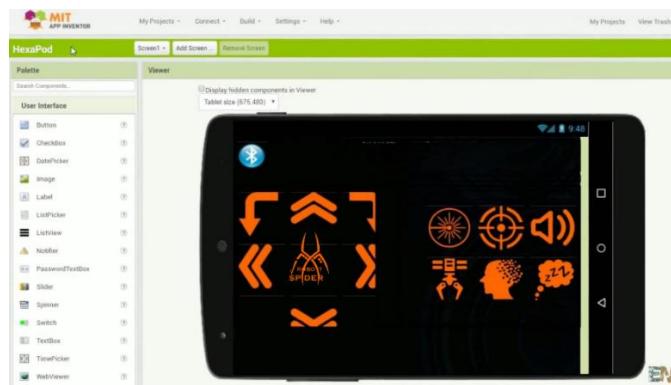
### 3.4 برمجة التطبيق و المتحكم :

#### 3.4.1 برمجة تطبيق : Android



App Inventor هي أداة سحب وإفلات مرئية لبناء تطبيقات الأجهزة المحمولة على Android. يتم تصميم واجهة المستخدم (المظهر المرئي) للتطبيقات باستخدام أداة إنشاء واجهة المستخدم الرسومية (GUI) المستندة إلى الويب ، ثم تحدد سلوك التطبيق من خلال تجميع "الكتل" معًا كما لو كنت تعمل على لغز.

يسمح App Inventor بإنشاء تطبيقات للهواتف الذكية بسرعة وسهولة. ليس من الضروري أن يكون لديك خبرة سابقة في البرمجة لاستخدامها. فمع App Inventor، يمكنك استخدام مصمم الشاشة لإنشاء شاشة تطبيق بشكل مرئي، كما هو موضح في الشكل (77).



الشكل 77 مصمم الشاشة في App Inventor

ثم تستخدم محّرراً خاصاً يُعرف باسم محّرر الكتل لإنشاء الإجراءات التي ينفذها التطبيق. من مميزات استخدام هذا التطبيق أنه ليس عليك معرفة لغة مثل Java لبرمجة التطبيق. يوضح الشكل (78) مثل على محّرر الكتل.

باستخدام App Inventor ، يمكنك استخدام جهاز كمبيوتر قياسي، مثل جهاز كمبيوتر يعمل بنظام Windows أو ملف نظام Linux أو Mac ، لإنشاء تطبيق. يمكنك توصيل هاتف ذكي يعمل بنظام Android أو الكمبيوتر اللوحي إلى الكمبيوتر إما لاسلكياً أو باستخدام كبل USB. أثناء تطوير التطبيق



الشكل 78 محّرر الكتل في App Inventor

إذا لم يكن لديك جهاز الكمبيوتر الخاص بك ، التطبيق يوفر محاكي Android يعمل على جهاز الكمبيوتر الخاص بك. المحاكي ، الموضح في الشكل (79)، عبارة عن هاتف يعمل بنظام Android. أثناء استخدامك للتطبيق مخترع لتطوير تطبيق ، يظهر التطبيق وي العمل على شاشة المحاكي. أنت يمكن أن تتفاعل مع المحاكي بالعديد من نفس الطرق التي تتفاعل بها مع ملف الهاتف الذكي الفعلي.



**الشكل 79 المحاكي في App Inventor**

على الرغم من أن المحاكي محدود (على سبيل المثال، لا يحتوي على جهاز استشعار GPS للإبلاغ عن موقعه، ولا يمكنه إجراء مكالمات هاتفية)، فإنه يوفر العديد من الميزات الأساسية للهاتف الذكي الفعلي.

على الرغم من أنك ستحتاج إلى تثبيت برنامج على جهاز الكمبيوتر الخاص بك لتشغيل Android المحاكي ، يعمل App Inventor في السحابة. هذا يعني ببساطة أنه يعمل كخادم بعيد تقوم بالوصول إليه عبر الإنترنت.

### **البرمجة مع App Inventor**

إحدى الطرق التي تجعل App Inventor من خلالها البرمجة سهلة التعلم هي التخلص من العديد من الأخطاء التي يرتكبها عادة الطلاب المبتدئين. باستخدام لغة Java أو C++، كثيراً ما يرتكب المبتدئين أخطاء في الكتابة، علامات ترقيم مفقودة وأخطاء أخرى من هذا القبيل. تُعرف هذه الأنواع من الأخطاء بأخطاء بناء الجملة. إذا كان البرنامج يحتوي حتى على واحد خطأ في بناء الجملة، لا يمكن ترجمته إلى برنامج قابل للتنفيذ. نتيجة لذلك، الطلاب والمبرمجون المحترفون على حد سواء يقضون الكثير من الوقت في تعقب الأخطاء النحوية وإصلاحهم. في App Inventor ، لا تحدث أخطاء في بناء الجملة أبداً ، لأنك أنت لا تكتب بيانات البرمجة

**أنواع التطبيقات التي يمكنك إنشاؤها :**

يمكنك إنشاء العديد من أنواع التطبيقات المختلفة باستخدام App Inventor، منها

1. الألعاب

2. برامج تعليمية

3. التطبيقات تحديد الموقع

4. تطبيقات عالية التقنية

5. تطبيقات الرسائل القصيرة

6. التطبيقات التي تحكم في الروبوتات

7. تطبيقات معقدة

8. التطبيقات التي تدعم الويب

### **:App Inventor بيئة**

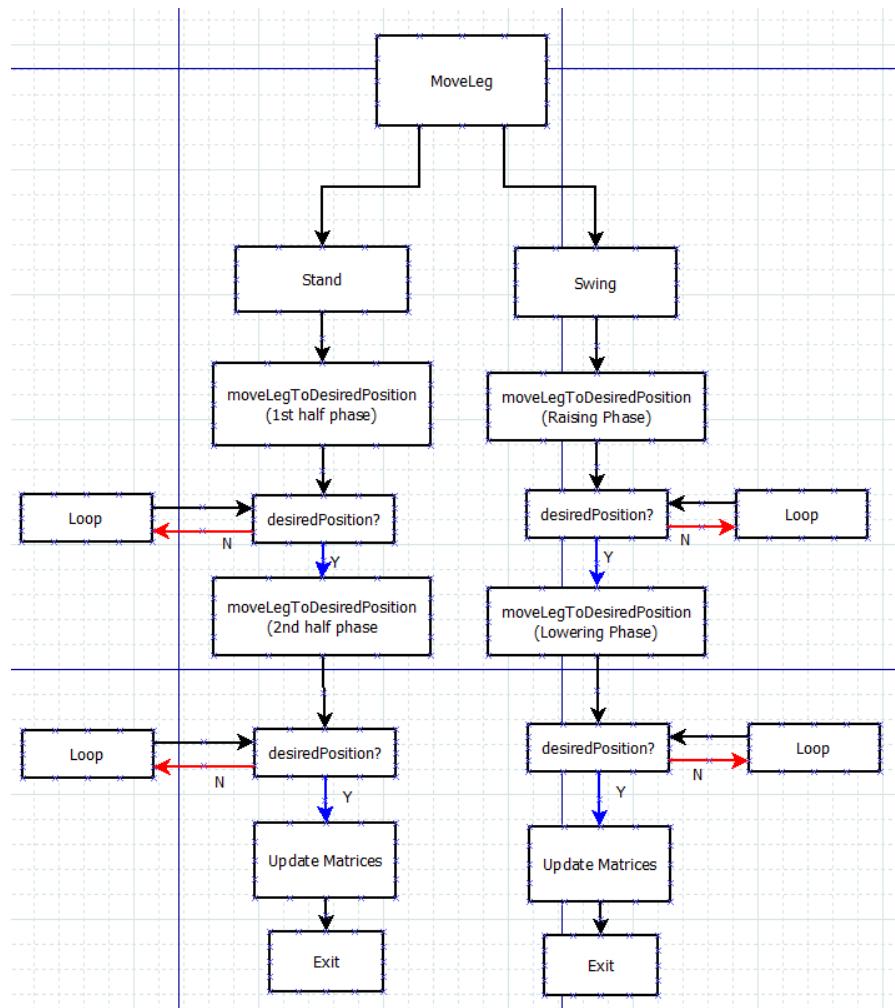
ت تكون بيئة برمجة App Inventor من ثلاثة أجزاء رئيسية :

- يعمل مصمم المكونات ، لتحديد مكونات التطبيق الخاص بك وتحديد ملفات الخصائص.
- يتم تشغيل "محرر القوالب" في نافذة منفصلة عن "مصمم المكونات". يمكن استخدام محرر الكتل لإنشاء ملفات سلوكيات المكونات.
- يسمح لك محакي Android بتشغيل واختبار تطبيقك أثناء تطويره. بحيث إذا لم يتتوفر هاتف Android في متناول اليد، يمكنك اختبار التطبيقات التي تتشكلها باستخدام المحاكى.

### **3.4.2 الخوارزمية البرمجية :**

1- خوارزمية المشي :

بالنسبة للرمز، يمكن استخدام مؤشر الترابط لتشغيل الحسابات والأوامر بشكل متزامن لأزواج من الساقين. سيكون من الأفضل إذا كان من الممكن التحكم في كل ساق بمسلك واحد ، ولكن نظراً للأجهزة ، لا يمكنني استخدام سوى مسلك لكل زوج. في المستقبل ، عندما يتم تطبيق النظرية الديناميكية للتحكم في عزم الدوران. سأحتاج إلى أداة مسلك أفضل.



الشكل ٨٠ المخطط البرمجي لحركة أرجل الروبوت



الشكل 81 الشكل النهائي للروبوت

## 4 - المناقشة

### 4.1 النتائج والإستنتاجات:

طرق مشروع السنة النهائية للعديد من مفاهيم الهندسة. البعض منهم التصميم، الحركية، علم المواد، CAD، التصنيع. بدأ المشروع بمراجعة الأدبيات التي كانت أهم خطوة في تصميم الروبوت.

أعطت مراجعة الأدب الأفكار المفاهيمية التي يمكن استخدامها لتصميم الروبوت. تمت دراسة الأوراق البحثية والمواقع والكتب المختلفة قبل تصميمها (مذكورة في قسم المراجع). تم التصميم على منصة SolidWorks بعد التصميم ، تم إجراء تحليل السرعة الأساسية. أدى ذلك إلى إجراء مسح للسوق، والذي أحدث العديد من التغييرات في تصميم الروبوت. كان لا بد من إعادة تصميمه بالكامل. بعد هذه العمليات، تم التصنيع والطباعة على 3D printer . وقد تم شرحه في فصل التصميم والطباعة من هذه الأطروحة. بعد التصنيع ، تم بناء آلية التحكم. تم اختبار الروبوت لحركته مقارنة بالحسابات النظرية. ومن ثم تم بناء الروبوت وإكماله بشكل لا يأس به مع إمكانية التحسين المستقبلية. نحن نتطلع إلى العمل على احتمالات أخرى للتحسين وكذلك تحسين مهاراتنا ومعرفتنا الميكانيكية.

بشكل عام ، تسلط هذه الرسالة الضوء على المراحل الرئيسية في عملية تطوير نظام التحكم باستخدام التصميم المستند إلى النموذج. بسبب النطاق الواسع لهذا العمل ، كانت المعرفة من العديد من التخصصات الهندسية والعلمية المختلفة مطلوبة. نتج عن ذلك استخدام الهندسة الكهربائية والتحكم والرياضيات والفيزياء والبرمجة. كان الدرس المستفاد من هذا المشروع هو أنه من المهم في CAD أن يكون لديك فهم واسع للنظام الذي سيتم تصميمه.

كان التعامل مع التضاريس باستخدام سداسي الأرجل مهمة صعبة ويمكن اعتباره في حد ذاته موضوع أطروحة. تطلب التعقيد الهائل لإنشاء الحركة الديناميكية وقتاً أطول بكثير مما كان متاحاً أثناء هذا العمل. ولكن على الرغم من بذل معظم الجهد لإنشاء نظام أساسي للتصميم المستند إلى النموذج ، فقد تم إنشاء نمط سير عملي. هذا يثبت أن التصميم المستند إلى النموذج وإنشاء الكود يعمل مع نظام دقيق مثل سداسي الأرجل 18 درجة من الحرية.

### 4.2 التحسينات المستقبلية :

يمكن تحسين الكثير من الأشياء باستخدام سداسي الأرجل وتنفيذ وحدة التحكم. سيغطي هذا القسم بعض الأفكار التي لم يتم تنفيذها بسبب ضيق الوقت .

مع مزيد من الوقت ، سيتم تطوير وحدة التحكم بمزيد من الوظائف. سيتم تطوير تنفيذ الموازنة بشكل أكبر للجمع بين المشي والموازنة في وقت واحد بحساب الزاوية الحالية للأرضية يمكن تحقيق

ذلك على الأرجح. تنفيذ وظيفة يمكن أن تحدد ما إذا كانت الساق موضوعة على الأرض أو لن تساعد في تطوير التعامل مع التضاريس. من خلال إضافة حساسات ضغط في نهاية الساق ، سيسمح تحديد جهة الاتصال الأرضية بإنهاء مرحلة التأرجح عندما تتلامس الساق المتأرجحة مع التضاريس.

لا تزال خوارزمية المشي الحالية تحتوي على الكثير من الأخطاء. من خلال إنشاء خوارزمية أكثر تقدماً تتضمن تأثيرات قيود الساق والتوازن واستهلاك الطاقة والجانب المرئي ، فإن الحركة الناتجة ستكون أكثر موثوقية. يمكن أن يكون الخيار عبارة عن وظيفة ترجيح تأخذ في الاعتبار تكلفة القوة والتوازن عند اتخاذ قرار برفع الساق إلى مرحلة التأرجح.

تم رفض خيار استخدام الكاميرا للملاحة بالكامل في هذا العمل بسبب ضيق الوقت ومعرفتنا المحدودة بتحليل الصور.

تبعد حالة الحالية للسداسي الأرجل وكأنها حل مؤقت للأسلاك على السطح العلوي. يمكن رسم الأسلاك بطريقة أكثر تنظيماً، كما أن إنشاء غلاف للجسم سيحسن كثيراً على الجانب المرئي لسداسي الأرجل. هذا من شأنه أيضاً حماية الإلكترونيات المفتوحة من التلف.

## 5 - المراجع

### المراجع العربية:

- د.م.حسام الوفائي , الأردوينو من البداية وحتى الأحتراف
- م. محمود مسلماني , الأردوينو كما لم تعرفه من قبل
- عبد الله علي عبدالله , دليل محاكاة الأردوينو
- جون بايختال , دليل بناء طائرات بدون طيار
- فوزي الأزرق , طائرات التحكم عن بعد
- عبد الله علي عبد الله , Simply AVR
- م.سامي قرامي , برمجة الاردوينو

### المراجع الأجنبية:

- Massimo Banzi , Make: Getting Started with Arduino
- Jeremy blum , Exploring Arduino
- Neil Cameron , Arduino Applied
- Tony Gaddis and Rebecca Halsey , Starting Out with App Inventor for Android
- David Wolber, Hal Abelson, Ellen Spertus and Liz Loone , App Inventor Create Your Own Android Apps
- Tao Liu, Zhipeng Zhang, Yiqun Liu\* and Xuanxia Fan , Motion Simulation of Bionic Hexapod Robot Based on ADAMS/MATLAB Co-simulation
- Sameh I. Beaber, Abdelrahman S. Zaghloul, Mohamed A. Kame and Wessam M. Hussein , DYNAMIC MODELING AND CONTROL OF THE HEXAPOD ROBOT USING MATLAB SIMMECHANICS

- Mănoiu Olaru Sorin and Mircea Nițulescu , Hexapod Robot Leg Dynamic Simulation and Experimental Control using Matlab
- Dan Thilderkvist and Sebastian Svensson , Motion Control of Hexapod Robot Using Model-Based Design
- Peter I. Corke , Robotics Toolbox for Matlab
- Mrs. Anagha V. Choudhari, Mrs. Nivedita A. Pande and Mrs. Jyotsna Gawai , The Hexapod Walking Robot

## 6 - جدول الأشكال

الشكل 1	المضلع الداعم الذي تشكله الأرجل .....	2
الشكل 2	نماذج تموضع الأرجل في الروبوت.....	8
الشكل 3	أنماط مشيّات الروبوت.....	9
الشكل 4	نموذج إطارات مرجعية .....	11
الشكل 5	الإطارات المرجعية للساقد والجسم .....	11
الشكل 6	رسم توضيحي لمعلمات DH parameter .....	12
الشكل 7	مصفوفة التحويل الأساسية لكل إنتقال .....	12
الشكل 8	مصفوفة التحويل بين إطار ساق إلى الجسم.....	13
الشكل 9	حساب مصفوفة التحويل بين النهاية المؤثرة للساقد و إطار الساق Robotics Toolbox .....	14
	:- Peter Corke	
الشكل 10	المنظور الأمامي والرأسي لساقد روبوت .....	16
الشكل 11	المجال الذي تغطيه كل ساق .....	17
الشكل 12	مجال الساق المقيدة .....	18
الشكل 13	مسار عملية التوليد لمسار الساق .....	18
الشكل 14	مسار الساق .....	20
الشكل 15	بنية عمل الدرون .....	20
الشكل 16	آلية دوران المراوح .....	21
الشكل 17	تحرك طائرة الدرون في اتجاهات مختلفة .....	21
الشكل 18	نسبة الدفع إلى الوزن في الدرون .....	22
الشكل 19	مجالات استخدام الأنظمة المدمجة .....	23
الشكل 20	الدخل والخرج لأنظمة المدمجة .....	24
الشكل 21	التركيب الداخلي لل AVR .....	25
الشكل 22	يوضح البنية الداخلية لأنظمة المدمجة .....	26
الشكل 23	بعض أنواع المتحكمات .....	26
الشكل 24	توصيات المعقّدة لدارة بسيطة للتحكم بتشغيل و إطفاء ليد و استعمال مبرمجة منفصلة لحقن الكود.....	27
الشكل 25	لوحة الأردوينو MEGA .....	27
الشكل 26	مكونات الأردوينو MEGA .....	28
الشكل 27	المتحكم الصغرى للأردوينو MEGA .....	28
الشكل 28	المتحكم الصغرى LM358 و منفذ ICSP .....	29
الشكل 29	منفذ الطاقة للأردوينو MEGA .....	30
الشكل 30	منفذ الدخل التشابهية .....	30
الشكل 31	منفذ الدخل والخرج الرقمية .....	31
الشكل 32	إشارات PWM .....	32
الشكل 33	منظم الجهد للأردوينو MEGA .....	32
الشكل 34	مجمعة الذئانيات الصوئية للأردوينو MEGA .....	33

الشكل 35	منفذ USB ومدخل الطاقة للأردوينو MEGA	33
الشكل 36	أنواع الأردوينو	34
الشكل 37	أنواع من السيرفو	35
الشكل 38	البنية الداخلية للسيرفو	36
الشكل 39	مخطط عمل السيرفو	36
الشكل 40	أسلاك محرك السيرفو	37
الشكل 41	إشارات ال PWM للسيرفو	37
الشكل 42	العناصر الداخلية لمحرك السيرفو	38
الشكل 43	التحكم بزاوية دوران السيرفو من خلال التحكم بعرض نبضات إشارة PWM	39
الشكل 44	محرك سيرفو باستخدام قطعة Servo Driver	39
الشكل 45	مخطط بروتوكول ال I2C	40
الشكل 46	Adafruit PCA9685 16-Channel Servo Driver	41
الشكل 47	توصيل السيرفو دريفر مع الأردوينو أونو	42
الشكل 48	توصيل السيرفو دريفر مع الأردوينو ميجا	42
الشكل 49	ربط عدة قطع من السيرفو دريفر	43
الشكل 50	أنواع المحركات	43
الشكل 51	محرك DC Brush Motor	44
الشكل 52	البنية الداخلية لمحرك DC Brush Motor	45
الشكل 53	محرك Brushless DC Motor	47
الشكل 54	البنية الداخلية لمحرك Brushless DC Motor	47
الشكل 55	متحكم السرعة ESC	50
الشكل 56	مخطط عمل متحكم السرعة ESC	50
الشكل 57	جدول مكونات متحكم السرعة ESC	51
الشكل 58	البنية الداخلية لمتحكم السرعة ESC	51
الشكل 59	أنواع متحكم السرعة ESC	52
الشكل 60	آلية ربط متحكم السرعة ESC	52
الشكل 61	استخدام وحدة بلوتوث SSP لربط لوحة الأردوينو مع شبكة بلوتوث	53
الشكل 62	الدارة الأساسية للبلوتوث بدون موديول	54
الشكل 63	مكونات Bluetooth Module	55
الشكل 64	آلية عمل مقياس التسارع MEMS	56
الشكل 65	منافذ الجيروسكوب MEMS	57
الشكل 66	تأثير كوريوليس	57
الشكل 67	مكونات وحدة MPU6050	58
الشكل 68	ربط وحدة MPU6050 مع الأردوينو	58
الشكل 69	تصيم هيكل الروبوت والذراع	59
الشكل 70	مشاكل الطباعة	60
الشكل 71	طلاء قطع الروبوت	60

الشكل 72	عمل الطابعة.....	61
الشكل 73	مرحلة التجميع.....	61
الشكل 74	مخطط الدارة الإلكترونية لروبوت Hexapod	62
الشكل 75	مخطط الدارة الإلكترونية لروبوت Drone	62
الشكل 76	الاختبار العملي للدارة الإلكترونية لروبوت Hexapod	63
الشكل 77	مصمم الشاشة في App Inventor	64
الشكل 78	محرر الكتل في App Inventor	64
الشكل 79	المحاكي في App Inventor	65
الشكل 80	المخطط البرمجي لحركة أرجل الروبوت.....	67
الشكل 81	الشكل النهائي للروبوت.....	68