

تصميم وتنفيذ يد روبوتية بواسطة طابعة ثلاثية الأبعاد

م. زين الدين محمود احمد *

(تاريخ الإيداع ٢٠٢٤/٣/١٤ . قُبل للنشر في ٢٠٢٤/٦/١٠)

□ ملخص □

تم العمل في هذا البحث، على أحد تطبيقات الأنظمة الروبوتية المختصة في المجال الطبي، قمنا بتصميم وتنفيذ روبوت على شكل يد متحكم بها لاسلكياً، مهمتها تقليد حركات قفاز يرتديه المستخدم، أي تقليد إيماءات اليد البشرية الطبيعية و التي تعتبر كقاعدة معلومات لليد الروبوتية المنفذة، والتحقق من مدى قدرة وكفاءة اليد الروبوتية للاستجابة لهذه الإشارات الواردة، يتكون قفاز التحكم من متحكم Arduino nano وخمس حساسات مرونة لتحسس حركة الأصابع ومصدر طاقة خارجي 9V لتغذية الدارة ووحدة قياس الحركة والتسارع (Inertial Measurement Unit - IMU) و التي تكشف دوران المعصم حيث يستخدم القفاز مقياس التسارع لتحسس حركة المعصم بالإضافة إلى دارة (مرسل-مستقبل) nRF24L01 تقوم بنقل إشارات الحساسات إلى اليد الروبوتية المطبوعة، أما اليد الروبوتية فهي مكونة من أجزاء تم صنعها بواسطة طابعة ثلاثية الأبعاد من مكتبة مفتوحة المصدر 3D CAD Model Library _ GrabCAD، وستة محركات سيرفو ذات استطاعة منخفضة تتغذى من بطاريتين، حيث كان لكل من الأصبع والمعصم محرك سيرفو خاص به، وقد أظهرت اليد الروبوتية قدرة جيدة على تقليد حركات قفاز التحكم بدون تأخير ملحوظ. تم تصميم وتجميع القطع من مواد متوفرة محلياً مثل بلاستيك نوع (Acrylonitrile Butadiene Styrene) وتصنيع الدارات من عناصر متوفرة في السوق المحلية. أشارت النتائج إلى الدقة الكبيرة بين القفاز واليد الروبوتية هذه اليد يمكن أن يكون حلاً مبتكراً للأشخاص الذين يعانون من عجز في الحركة، مثل الأشخاص الذين يعانون من شلل علوي أو الذين لا يستطيعون حمل الأشياء بشكل جيد. بالإضافة إلى ذلك، يمكن استخدامه من قبل جميع الأفراد، حيث لا يتطلب قياساً محدداً.

الكلمات المفتاحية: GrabCAD 3D CAD Model Library ، nRF24L01،MPU6050، يد روبوتية، طابعة ثلاثية الأبعاد.

* ماجستير في هندسة الأتمتة الصناعية - كلية الهندسة التقنية - جامعة طرطوس.

Design and implementation of a robotic hand by a 3D printer

Eng. Zain Al-dein Mahmoud Ahmad*

(Received 14/3/2024 . Accepted 6/10/2024)

□ ABSTRACT □

In this research, we worked on one of the applications of robotic systems specialized in the medical field. We designed and implemented a robot in the form of a wirelessly controlled hand, whose task is to imitate the movements of a glove worn by the user, that is, to imitate the gestures of the natural human hand, which is considered an information base for the implementing robotic hand. To verify the ability and efficiency of the robotic hand to respond to these incoming signals, the control glove consists of an Arduino nano microcontroller, five flexibility sensors to sense the movement of the fingers, an external 9V power source to feed the circuit, and an Inertial Measurement Unit (IMU) that detects the rotation of the wrist. The glove uses an accelerometer to sense the movement of the wrist in addition to a transmitter-receiver circuit. nRF24L01 transmits sensor signals to the printed robotic hand. The robotic hand is made up of parts manufactured using a 3D printer from the open source 3D CAD Model Library _ GrabCAD, and six low-power servo motors powered by a small battery. Each of the finger and wrist had its own servo motor. The robotic hand demonstrated the good ability to imitating glove movements without noticeable delay. The parts were designed and assembled from locally available materials, such as Acrylonitrile Butadiene Styrene plastic, and the circuits were manufactured from elements available in the local market.

The results indicated great accuracy between the glove and the robotic hand. This arm could be an innovative solution for people who suffer from movement deficits, such as people who suffer from upper paralysis or who cannot hold objects. In addition, it can be used by all individuals, as it does not require specific measurement.

KEY WORD: robot hand, control glove, 3D CAD Model Library - GrabCAD, nRF24L01, MPU6050.

*Master in Industrial Automation Engineering - Faculty of Technical Engineering - Tartous University.

1. المقدمة introduction:

الروبوتات الطبية هي أكثر من مجرد آلات [1]، إنها تمثل تقاطعاً بين التكنولوجيا المتطورة والخبرة الطبية، وتهدف لتحسين حالة المرضى وتبسيط عمليات الرعاية الصحية، وقد أصبحت أكثر تشابهاً بالإنسان بفضل التقدم في مجال الإلكترونيات الذي أنتج حساسات ومحركات ذات تصاميم معقدة ودقيقة، يمكن تحقيق هذا التحكم بالروبوتات عن طريق الأسلاك أو الطريقة اللاسلكية إضافة إلى طريقة التحكم بالإيماءات فيإيماءات اليد البشرية الطبيعية تشكل وسيلة تفاعلية مهمة و التي يمكن للأيدي الروبوتية الاستفادة منها كقاعدة معلومات، حيث تعرف اليد الروبوتية على أنها يد قادرة على أداء عملية محاكاة لحركات اليد البشرية والتي تتطلب الدقة والبراعة، إذ يعتبر الإمساك الثابت والتحريك الدقيق باستخدام اليد الروبوتية متعددة الأصابع أمراً بالغ الأهمية [٢] ومن جهة أخرى يعد إنشاء روبوت متعدد الأصابع يشبه الإنسان وقادر على الإمساك بالأشياء بدقة وبشكل ثابت هو تحدي هام إضافة إلى تكلفة اليد الروبوتية فالتحدي هو تقليل التكلفة مع الحفاظ على دقة النتائج.

تعتبر اليد البشرية الجزء الأكثر تطوراً في الطرف العلوي [3]، والتي تمثل إنجازاً هندسياً متطوراً حيث تتكون اليد من عظام محددة يتصل بها عدد من العضلات والهيكل العنقي والأوعية الدموية وبشكل تشريحي تتكون من:

١. العظام:

○ الكاربوس (Carpus): مجموعة من ثمانية عظام صغيرة بين الرسغ وبداية الأصابع.

○ المفصل الشعاعي الرسغي (RC) (Radiocarpal): يربط اليد بالرسغ.

٢. الأصابع:

○ تتكون كل إصبع، باستثناء الإبهام، من :

▪ عظمة (Metacarpal).

▪ ثلاث سلاميات: العظم السلامي الأول First phalangeal (FP)، والثاني Second phalangeal (SP)، والثالث Third phalangeal (TP).

▪ أربعة مفاصل: المفصل بين السلاميات البعيدة Distal interphalangeal (DIP)

المفصل بين السلاميات القريب Proximal interphalangeal (PIP)، المفصل السنعي Metacarpophalangeal

(MP)، المفصل الرسغي السنعي Carpometacarpal (CM) والمفصل بين الرسغية Intercarpal (IC).

▪ يحتوي الإبهام فقط على عظام السلاميات الثلاثة والأولى، وبالتالي لا يوجد سوى مفصلين بين العظام،

وهما المفصل بين السلاميات Metacarpophalangeal (MP) والمفصل بين السلاميات البعيدة Distal

interphalangeal (DIP). هذه الهياكل تعمل معاً لتمكين اليد من الحركة والمهارات المعقدة التي تميزه [4].

تعمل هذه الهياكل معاً لتمكين اليد من الحركة وامتلاك المهارات المعقدة التي تميزها.

٢. الدراسات المرجعية:

قام عدة باحثون [5] بتصميم نظام قفاز آلي مخصص لتطبيقات الأشخاص ذوي الإعاقة في الحركة، يتم تركيبه على قاعدة متحركة تساعد المستخدم في الوصول إلى الأشياء التي ليست في متناول ذراعه حيث يقوم الذراع الآلي بتكرار حركات مفصل المعصم والكوع والكتف للشخص استجابةً للحركات التي ينتجها قفاز لاسلكي لأداء عمليات الالتقاط والإمساك والتحريك، حيث أنتجت حساسات المرونة إشارات تتناسب كمية واتجاه حركة يد

المستخدم للقيام بفعل ما من خلال محركات التيار المستمر ذات العزم العالي والمتحكم بها باستخدام شريحة أردوينو. يهدف هذا النظام إلى تسهيل حياة الأشخاص ذوي الاحتياجات الخاصة من خلال توفير وسيلة للوصول إلى الأشياء خارج متناول أذرعهم. تم إجراء العديد من الأبحاث حول اليد الروبوتية التي يتم التحكم فيها لاسلكيًا، وقد درس أحد هذه الأبحاث [6] تصميم وتنفيذ يد روبوتية بخمسة أصابع يمكن تحريكها بزاوية ١٥ درجة، وهي قادرة على تطبيق قوى مستقلة عند الإمساك بالأشياء. وتم اختبار قدرات الاتصال اللاسلكي ليد الروبوت للتحكم في حركاتها ومحاكاة حركات القفاز الذي يتحكم فيه المستخدم. وأظهرت النتائج فعالية اليد الروبوتية في محاكاة حركة يد المشغل وقدرتها على الإمساك. ونشر بحث آخر [7] دراسة في عام ٢٠٢٠ بعنوان "نظام حركة اليد الروبوتية المطبوع ثلاثي الأبعاد الذي يتم التحكم فيه لاسلكيًا مع حساسات المرونة. في هذه الدراسة، تم اقتراح نظام يمكن أن يساعد الأشخاص على العمل والتشغيل دون استخدام الأيدي بشكل مباشر أو الاتصال باليد. يتكون هذا النظام من قفاز مزود بحساسات مرونة وساعد آلي مطبوع ثلاثي الأبعاد. يعمل الساعد المطبوع ثلاثي الأبعاد في نفس الوقت بعد حركة القفاز. يتكون الساعد المطبوع ثلاثي الأبعاد من ٤٦ جزءًا فرديًا تمت طباعتها باستخدام حمض اللاكتيك الأبيض القابل لتحلل (PLA- poly lactic acid). تم تنفيذ حركة الأصابع في ذراع الروبوتات باستخدام المحركات. وبعد اختبار النظام بعناية، اتبعت الذراع الآلية الإجراء بشكل صحيح مع تأخير زمني بحد أقصى قدره ٠,١٣٣ ملي ثانية طوال الوقت. يمكن أن يكون هذا النظام مفيدًا حقًا للمستخدمين الذين يعملون في ظروف خطيرة أو بيئة خطيرة أو يحتاجون إلى التشغيل عن بعد لأسباب تتعلق بالسلامة. ويعرض بحث [8] تصميم وتطوير نموذج يد صناعية ثلاثي الأبعاد مزود بحساسات مرونة من أجل توليد نسخة طبق الأصل لليد البشرية لشخص ليس لديه يد. بالإضافة إلى ذلك، يعرض هذا العمل أيضًا التحكم اللاسلكي (الاختيار والمكان) لليد الصناعية من خلال الترددات الراديوية. إن استخدام حساسات مرونة منخفضة التكلفة لتحديد موضع الأصابع وإضافة التحكم في قبضة اليد في اليد الاصطناعية، يجعل التصميم بأكمله فعالاً من حيث التكلفة. وخلص البحث إلى أن إدراج الحساسات المرنة مفيد للغاية من الناحية الاقتصادية لأنه يوفر حلاً منخفض التكلفة مقارنة بتقنيات الأطراف الاصطناعية المكلفة الحالية. بحث لاحق [9]، حول استخدام إيماءات اليد البشرية للتحكم في اليد الروبوتية من خلال القفاز، حيث تم استخدام حساسات السرعة والتسارع وحساسات الانحناء والتحكم فيها من خلال متحكمات Atmega32. ويشرح عمل تقنية التحسس عن طريق لفئة اليد باستخدام مقياس التسارع وحساسات للانحناء والاتصال بالأصابع، يتم استخدامها لقيادة الروبوت ذي العجلتين في الوضع اللاسلكي باستخدام الترددات الراديوية. ويمكن استخدامه للكشف عن القنابل وتفكيكها وعمليات الإنقاذ إذا تم تركيب ذراع روبوت عليها، ويمكن التحكم بها باستخدام القفاز.

وتمت مقارنة البحث الحالي ببحث آخر [10] أجراه الباحثون عام ٢٠٢٢، وتبين أوجه التشابه والاختلاف

في الجدول (١).

Table 1 compare with another research

	This research	[10]
Sensors	Flex – MPU6050	Flex – Accelerator sensor- Ultrasonic
Wireless connection	Radio waves (nRF24L01)	ZigBEE
Controllers	Arduino nano	Arduino UNO
Type of motors	SERVO	SERVO
Results	The angles of each finger were tested	The angles and output voltage of the Flex sensor were tested

٣. مشكلة البحث:

تتمثل مشكلة البحث في كيفية تحقيق تصميم ميكانيكي ليد روبوتية قادرة على محاكاة اليد البشرية بشكل دقيق، ومدى إمكانية التحكم بها لاسلكياً. حيث تعتبر الأطراف الصناعية ذات تكلفة عالية وهذا يعتبر عائق كبير للعديد من الأشخاص.

٤. هدف البحث:

الهدف الأساسي هو تنفيذ تصميم مبسط وأولي ليد روبوتية طبية مُتحكم بها من خلال قفاز مزود بمجموعة من الحساسات وذلك بالاعتماد على مواد وعناصر إلكترونية متوفرة محلياً، وهذه اليد لها تصميم مشابه قدر الإمكان لليد البشرية، واستخدام الاتصال اللاسلكي لسهولة التحكم باليد.

٥. أهمية البحث:

تم عرض في هذا المقال نموذجاً أولياً ليد روبوتية مُتحكم بها باستخدام قفاز يحوي مجموعة من الحساسات والذي يمكن استخدامه في الدراسات والتطبيقات الطبية التي تستخدم على المرضى الذين لديهم إعاقة حركية للوصول إلى أشياء بعيدة عنه، حيث تعتبر حساسات المرونة مهمة من ناحية الحصول على حركة الأصابع بشكل دقيق نسبياً و بتكلفة بسيطة، والمتحكمات المستخدمة تعتبر مناسبة من حيث تنفيذ عملية التحكم و صغر الحجم. تم استخدام محركات سيرفو تعتبر دقيقة أثناء حركتها وتتميز بعزم كبير.

٦. مواد وطرق البحث:

٦. ١ وحدة الإرسال والاستقبال nRF24L01 Transceiver and Adapter Module :

الوحدة اللاسلكية nRF24L01 هي وحدة نقل لاسلكية تعمل في نطاق 2.4 جيجاهرتز باستخدام بروتوكول SPI يتم استخدامها عادة لإرسال واستقبال البيانات على تردد التشغيل من 2.4 إلى ٢,٥ جيجاهرتز. تُستخدم وحدة nRF24L01 عادة للاتصال اللاسلكي مع لوحات Arduino وهي خيار شائع للعديد من التطبيقات بسبب مرونتها وتكلفتها المنخفضة، بما في ذلك أنظمة التحكم عن بعد وشبكات التحسس وغيرها [11].

تتميز وحدة nRF24L01 باتصال عالي التشغيل مع استهلاك طاقة منخفض [12] وهي متوافقة مع

المتحكمات المنخفضة التكلفة بسبب استخدامها لتقنية Enhanced ShockBurst من Nordic Semiconductor. حيث يعمل المرسل من خلال واجهة التسلسل الزمني الطرفي (SPI) إذ يجب توصيل الأقطاب SCK (Serial Clock) و MOSI (Master Out Slave In) و MISO (Master In Slave Out) بالأقطاب المقابلة على الأردوينو ومن أجل التواصل مع المرسل، تم تضمين واجهة SPI ومكتبة RF24 في برنامج الأردوينو.

٢.٦ حساس المرونة Flex Sensor:

حساس المرونة موضح في الشكل (١) (Flex Sensor) وهو عبارة عن مقاومة متغيرة، حيث يتحدد مقدار الميل في الحساس بناءً على المقاومة حيث يتم تسجيل التغيرات في المقاومة بشكل رقمي ويتم تحويل البيانات في هذه الحالة إلى درجات الدوران لمحركات السيرفو [13]. بالنسبة لحساس المرونة بطول ٥٦ مم، تتراوح مقاومة الانحناء من ٤٥ كيلو أوم إلى ١٢٥ كيلو أوم، اعتماداً على نصف قطر الانحناء، والمقاومة المستوية تبلغ ٢٥ كيلو أوم ويُستخدم حساس الميل لتسجيل درجة انحناء كل إصبع من قفاز التحكم.



الشكل (١) Flex Sensor

لقراءة البيانات من حساس المرونة (Flex Sensor)، يتم تنفيذ مقسم الجهد (Voltage Divider) حتى يكون التحويل من التناظري إلى الرقمي ممكناً على الأردوينو نانو. يعطي مقسم الجهد جهداً متغيراً إلى الأردوينو يتغير بنسبة متناسبة مع المقاومة المتغيرة في حساس الميل، وفقاً للمعادلة (١).

$$v_{out} = v_{in} \frac{R_2}{R_1 + R_2} \quad (1)$$

3.6 MPU6050 6-DoF Accelerometer and Gyroscope

وحدة قياس الحركة [14] (IMU) تحتوي على ست درجات حرية وتتضمن مقياس تسارع ثلاثي المحاور وجيروسكوب ثلاثي المحاور حيث يعتبر MPU6050 دقيقاً نسبياً، حيث يحتوي على تحويل تناظري ١٦ بت، مما يسمح بالنقاط البيانات بشكل متزامن من المحاور x و y و z . تتيح وحدة الجيروسكوب والمقياس التسارع إمكانية تعديل النطاق من قبل المستخدم. يمكن تعيين مجال الجيروسكوب على النحو التالي: $\pm 250^\circ/s$ ، $\pm 500^\circ/s$ ، $\pm 1000^\circ/s$ ، $\pm 2000^\circ/s$. أما مجال مقياس التسارع، فيمكن تعيينه على النحو التالي: $\pm 2g$ ، $\pm 4g$ ، $\pm 8g$ ، $\pm 16g$. وحدة قياس الحركة MPU6050 (IMU) المثبتة على القفاز، تُستخدم لقياس توجيه المعصم حيث يمكن حساب زاوية دوران المعصم، ϕ :

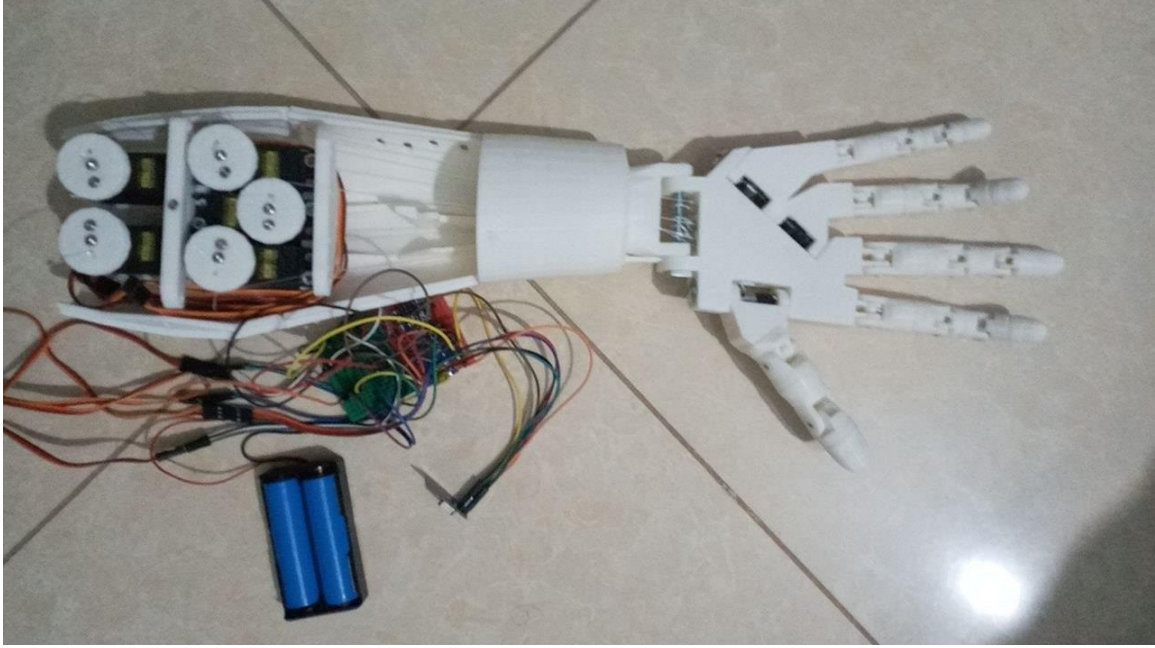
$$\phi = \text{Arctang}\left(\frac{A_y}{A_x^2 + A_y^2}\right)$$

حيث تمثل المتغيرات A_x ، A_y ، A_z التسارع في المحاور x ، y ، z .

6.4 التطبيق العملي:

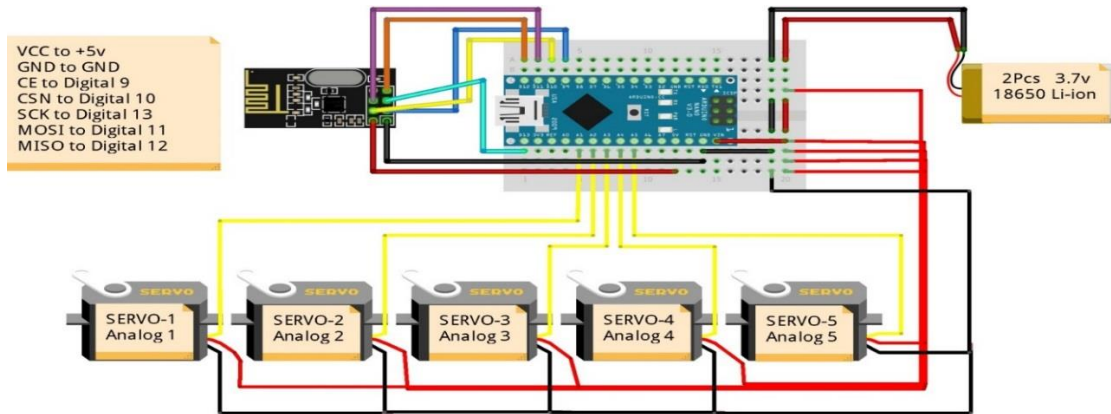
6.4.1 تصميم وتنفيذ اليد الروبوتية (التصميم الميكانيكي & التصميم الإلكتروني):

تم في هذا البحث الاعتماد على تصميم ليد روبوتية (كما في الشكل (2)) من مكتبة مفتوحة المصدر 3D CAD Model Library _ GrabCAD حيث تم تحميل ملفات التصميم بصيغة STL و إجراء طباعة ثلاثية الأبعاد محلياً للأجزاء واستخدام بلاستيك من (Acrylonitrile Butadiene Styrene).



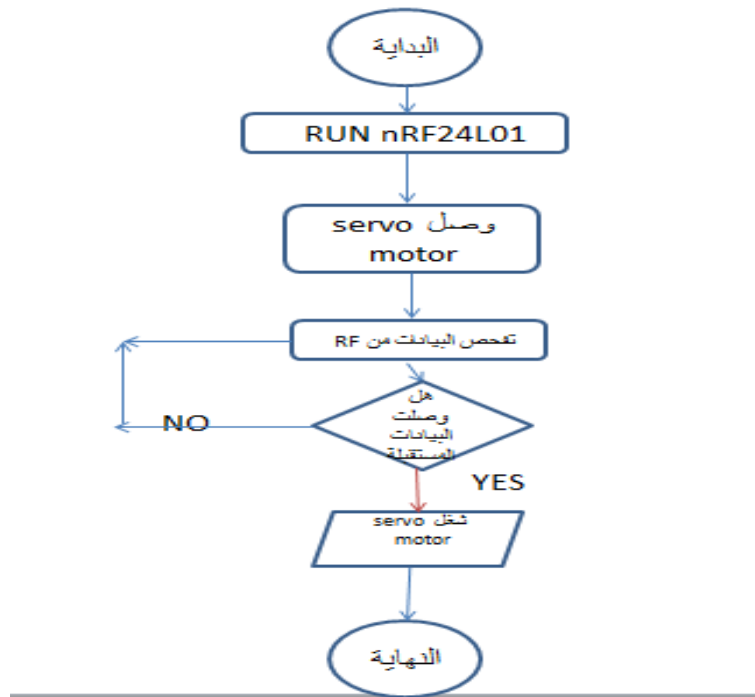
الشكل (2) اليد الروبوتية المصممة.

عند تجميع الأصابع، تأكدنا من توجيه الأجزاء بشكل صحيح قبل اللصق، وضبط جميع محركات السيرفو عند ١٠ أو ١٧٠ درجة قبل توصيل المسننات بمحركات السيرفو حيث أنه عند تركيب المسننات يجب أن نبقى الأصابع في الوضع المغلق أو المفتوح (وفقاً لزاويا السيرفو الخاصة باليد الروبوتية) أي قمنا بتهيئة الوضع الابتدائي للأصابع، استخدمت أنواع خاصة من الأسلاك للوصل بين المسننات والأصابع، تمت تغذية محركات السيرفو بواسطة بطاريتين موصولتين على التسلسل بجهد ٧,٥ فولت تقريباً وهذا كافي لتغذية المحركات لأن استطاعتها صغيرة جداً.



الشكل (3) الدارة الإلكترونية لليد الروبوتية.

- تم برمجة محركات السيرفو الظاهرة في الشكل (٣) المتصلة باليد بواسطة استدعاء مكتبة Servo أما بالنسبة لوحدة الإرسال والاستقبال، تم أيضًا استدعاء مكتبة RF24، مما سمح بتعيين عنوان كل من وحدات الإرسال والاستقبال (وحدتي nRF24L01)، كما تم معايرة محركات السيرفو باستخدام كود برمجي حيث تم تعيين موضع كل محرك سيرفو ضمن شروط أولية، وضبط محركات السيرفو على ٩٠ درجة باستخدام التابع write() لتمرير خيوط التوصيل ومن ثم تم تدوير محركات السيرفو إلى ٠ درجة، وهي الحالة الممتدة تمامًا للأصابع.
- تم شد إحدى خيوط الاتصال للحفاظ على التوتر في جميع أنحاء الذراع ومن ثم تم تدوير محركات السيرفو إلى ١٨٠ درجة، وهو الحالة المثبتة تمامًا، وتم شد الخيط الثاني إلى البكرة.
- لم يتم رسم محرك السيرفو الخاص بالمعصم ضمن الشكل (٣) على اعتبار له نفس التوصيل الكهربائي ولكن موضع مختلف عن باقي المحركات.



الشكل (٤) المخطط التدفقي لآلية عمل اليد الروبوتية.

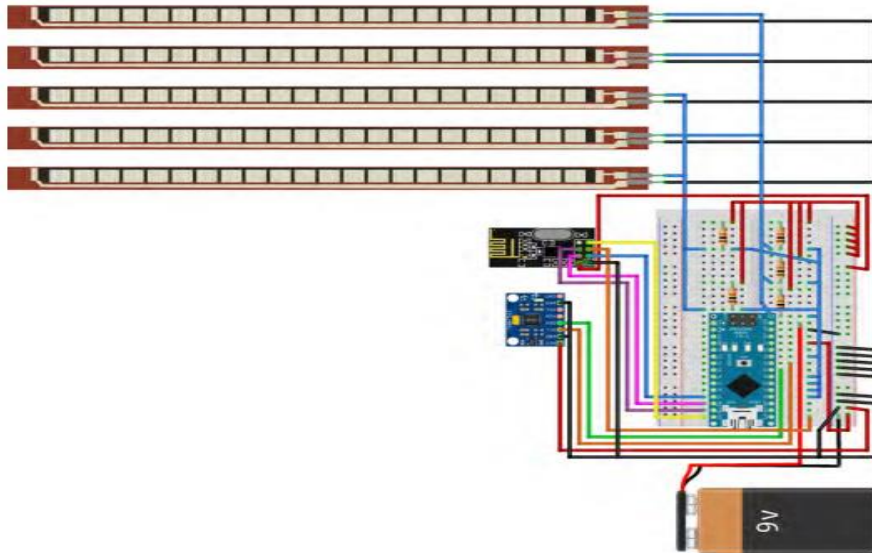
كما نلاحظ في الشكل (٤) المخطط التدفقي لعمل اليد الروبوتية حيث في البداية تقوم وحدة التحكم والارسال بالتحقق من وجود معلومات مرسله إليها ومن ثم تقوم بإرسالها للتحكم، الذي بدوره يعطي أمر التشغيل لمحركات السيرفو حسب البيانات المرسله من الحساسات المثبتة على القفاز ومن ثم تكرار العملية.

٢.٤.٦ تصميم قفاز التحكم:

يستخدم القفاز للتحكم باليد الروبوتية الموضح في الشكل (٥) حيث يحتوي على خمسة حساسات مرونة. تم التحكم في كل إصبع في اليد الروبوتية بواسطة حساس مرونة واحد حيث قمنا بتثبيته على القفاز ثم توصيلها بلوحة أردوينو نانو، من خلال ربط المقاومة المتغيرة لحساس المرونة بزاوية دوران محركات السيرفو برمجياً كما في الشكل (٦)، تم تحقيق التمديد والانحناء لليد بعد عدة تجارب من خلال البرمجة والتجريب.



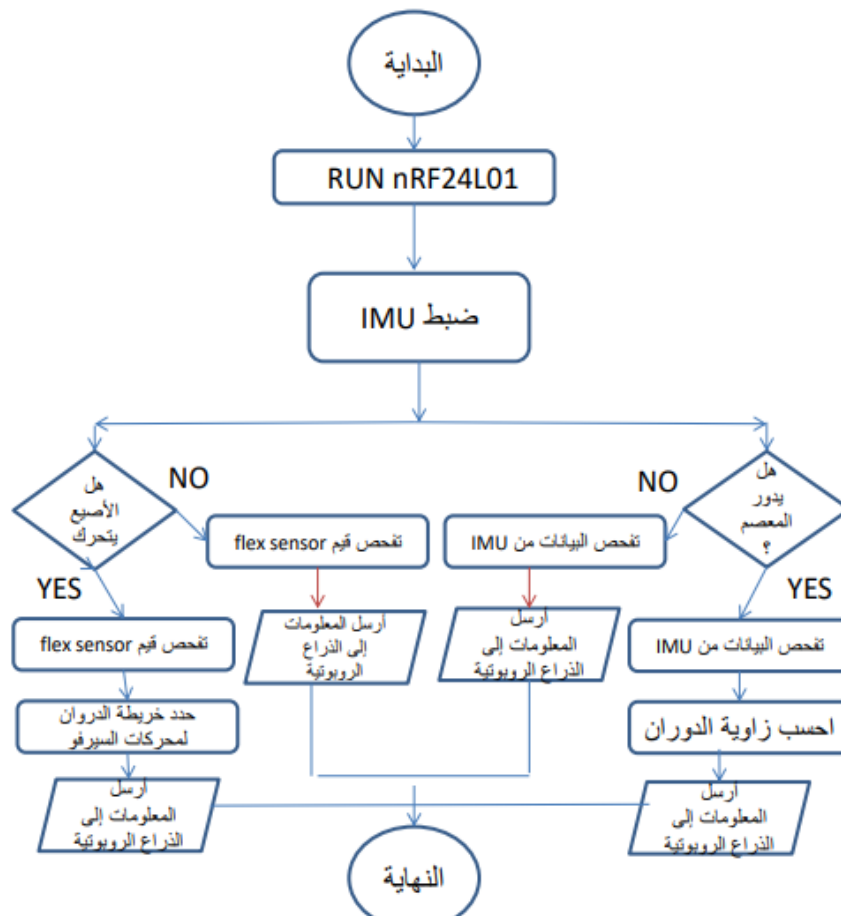
الشكل (٥) تصميم قفاز التحكم.



الشكل (٦) الدارة الإلكترونية الخاصة بقفاز التحكم.

الأردوينو يحتوي على منظم جهد على الدخل لذلك يمكن تغذيته بجهد من ٥ فولط وحتى ١٢ فولط. يوجد مخطط تدفقي كما في الشكل (٧) يدعم الشكل (٦) للتوضيح.

أولا تم معايرة حساسات المرونة باستخدام تعليمة `analogRead()`، حيث تم ملاحظة القيم عندما يكون في حالة الراحة وعندما يكون مثنياً تماماً، تم استخدام القيم ومعايرتها باستخدام التعليمة `map()` لتصبح بين نطاق من ٠ إلى ١٨٠ درجة، وتهيئة وحدة (IMU-MPU6050) وضبطها لأنها تحتاج تهيئة برمجية في البداية قبل البدء باستخدامها لحساب توجيه المعصم، حيث تم اختيار $\pm 2g$ لوحدة القياس، كما تم حساب زاوية دوران المعصم وتم تجميعها مع بيانات حساس المرونة في حزمة رسالة، ومن ثم تم نقل الحزمة من خلال العنوان المعين لوحدة الاستقبال في الذراع المطبوعة، يظهر الشكل (٧) المخطط الصندوقي لخوارزمية العمل للدارة الإلكترونية للقفاز.

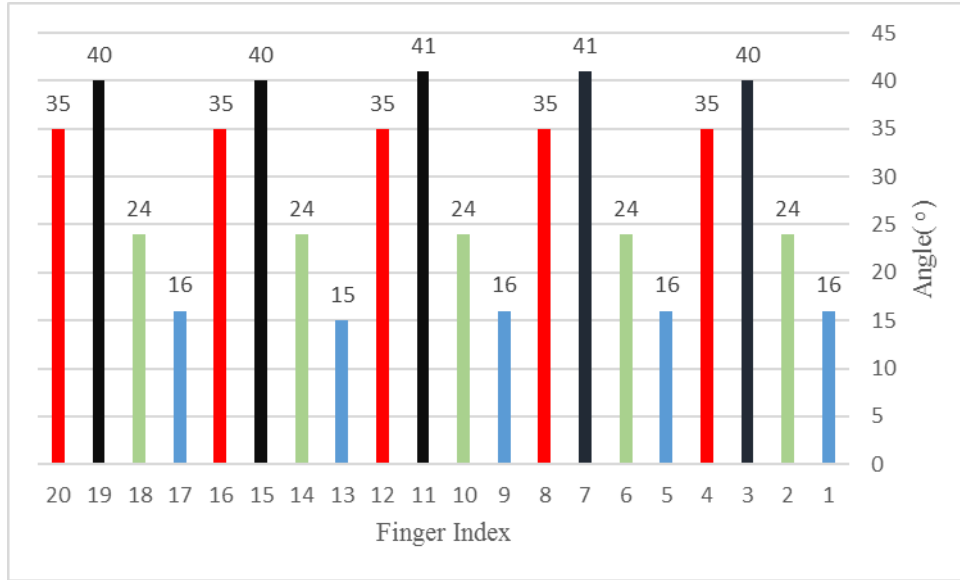


الشكل (٧) المخطط التدفقي لعمل قفاز التحكم.

٧. النتائج والمناقشة:

٧.١ اختبارات تهيئة الإصبع:

وبما أن مادة القفاز كانت قاسية كما هو موضح في الشكل ٥، كان خرج كل حساس لم يكن صفر. عند استخدام القفاز، كانت القيمة الأولية لكل حساس مختلفة. تم إجراء اختبار عن طريق وضع اليد القفازية بلطف على سطح أفقي وكانت الزوايا كما هي موضحة في الشكل ٨ حيث كانت البيانات لأربع تجارب أي تمت إعادة التجربة نفسها خلال دقيقتين وكان الاختلاف فقط في المجموعة الرابعة اختلف بدرجة واحدة فقط، من البداية الإبهام وهو الإصبع الأول كان الانحناء صفر. كان الشريط الأزرق من السبابة الإصبع الثاني، بين ١٦ درجة و ١٥ درجة. يمثل الشريط الأخضر الإصبع الأوسط، الإصبع الثالث، ٢٤ درجة. يمثل الشريط الأسود كان من البنصر، الإصبع الرابع، ٤٠ درجة والشريط الأحمر من الإصبع الخامس، ٣٥ درجة. كانت هناك بيانات لخمس مجموعات في حوالي دقيقة واحدة في هذا الرسم البياني وكان هناك اختلاف زاوية في الإصبع الثاني، الشريط الأزرق، وكانت زاوية الإصبع ١٥ درجة وليس ١٦ درجة في المجموعة الرابعة.



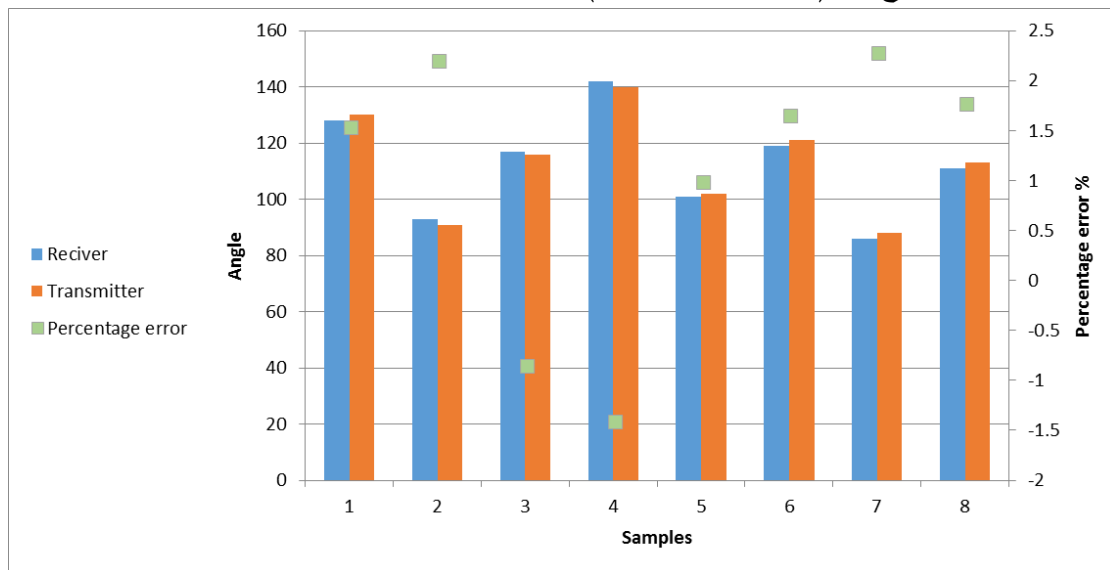
الشكل (٨) نطاق استجابة إشارات حساسات المرونة على القفاز

٢.٧ الاختبار الديناميكي:

تم جمع ثمانين عينات كما هو مبين في الشكل (٩). و مراقبة البيانات بين جهاز الإرسال من القفاز وجهاز الاستقبال من الذراع المطبوعة ثلاثية الأبعاد. يقوم المستخدم الذي يرتدي القفاز بشي أصابعه بشكل عشوائي. الشريط البرتقالي من القفاز والشريط الأزرق من الذراع المطبوع. النقطة الخضراء هي النسبة المئوية للأخطاء بين المرسل والمستقبل. كان فرق الزاوية $\pm 2^\circ$ تم العثور على اختلاف أكبر في الزاوية منه في الاختبارات الساكنة أي من الاختبار تهيئة الأصابع الذي تم اجراءه أولاً. وبالتالي نسبة معدل الخطأ

$$E = \frac{\theta - \varphi}{\theta} * 100\% \quad (3)$$

حيث θ هي الزاوية من جهاز الإرسال و φ هي الزاوية من جهاز الاستقبال. E كانت نسبة الخطأ المئوية. وتظهر النتيجة أن E تتراوح بين $(-1,42\% \sim 2,27\%)$.



الشكل (٩) الاختبار الديناميكي

الخاتمة:

- إمكانية تقليد حركات اليد في قفاز التحكم من خلال الاتصال اللاسلكي.
- تقليد الحركات من قفاز التحكم حقق استجابة جيدة وتعتبر دقيقة نسبياً.
- إمكانية تعديل حساسات الانحناء في قفاز التحكم حتى تتناسب القفاز بإحكام، والسماح بتحقيق نطاق الزاوية الكامل المحدد لمحركات السيرفو.
- القفاز ليس مثاليًا بسبب الحجم الثابت وتأثير ملاءمة القفاز عند ارتدائه أثناء انحناء حساسات المرونة.
- نطاق الحركة في اليد الروبوتية محدودًا أكثر من بنية اليد البشرية وذلك بسبب أن الهيكل الميكانيكي لليد الروبوتية هو نموذج مبسط لليد البشرية.
- نوصي باستخدام الإشارات الكهربائية للدماغ للتحكم بالذراع الطبية من خلال حساسات خاصة.

المراجع:

- [1] C. J. Payne and G.-Z. Yang, "Hand-Held Medical Robots," *Ann Biomed Eng*, vol. 42, no. 8, pp. 1594–1605, Aug. 2014, doi: 10.1007/s10439-014-1042-4.
- [2] R. A. Beasley, "Medical robots: current systems and research directions," *Journal of Robotics*, vol. 2012, 2012, Accessed: Mar. 07, 2024. [Online]. Available: <https://www.hindawi.com/journals/jr/2012/401613/abs/>
- [3] R. J. Schwarz and C. Taylor, "The anatomy and mechanics of the human hand," *Artificial limbs*, vol. 2, no. 2, pp. 22–35, 1955.
- [4] B. Clarke, "Normal bone anatomy and physiology," *Clinical journal of the American Society of Nephrology*, vol. 3, no. Supplement_3, pp. S131–S139, 2008.
- [5] R. Marimuthu, S. Ramkumar, H. Infanta, A. Meenal, and Preethi, "Design of Robotic Hand-Glove for Assisting Mobility Impaired," in *Proceedings of First International Conference on Information and Communication Technology for Intelligent Systems: Volume 2*, vol. 51, S. C. Satapathy and S. Das, Eds., in Smart Innovation, Systems and Technologies, vol. 51, Cham: Springer International Publishing, 2016, pp. 595–605. doi: 10.1007/978-3-319-30927-9_59.
- [6] A. Mishra, S. Malhotra, and U. Pradesh, "Design of hand glove for wireless gesture control of robot," *Int. J. Pure Appl. Math*, vol. 114, no. 8, pp. 69–79, 2017.
- [7] F. Salman, Y. Cui, Z. Imran, F. Liu, L. Wang, and W. Wu, "A Wireless-controlled 3D printed Robotic Hand Motion System with Flex Force Sensors," *Sensors and Actuators A: Physical*, vol. 309, p. 112004, 2020.
- [8] S. A. A. Hiader, A. Nasir, M. Ameen, A. Raza, A. Waleed, and Z. Ali, "Design and Development of Low Cost, Wireless Controlled, 3D Prosthetic Hand using Flex Sensors," in *2021 International Conference on Innovative Computing (ICIC)*, Nov. 2021, pp. 1–6. doi: 10.1109/ICIC53490.2021.9692998.
- [9] K. Benamer, M. Elmabrouk, and A. Hwas, "Animatronic Robotic Hand Controlled by Glove Using Bluetooth," *International Conference on Mechanical and Industrial Engineering (ICMIE2022)*, 2022. Accessed: Mar. 07, 2024. [Online]. Available: <http://icmie2022.ly/docs/proceedings/ICMIE-2022-35.pdf>
- [10] S. Malathy, M. Jaipriya, M. Thenmozhi, and M. Priyanka, "WIRELESS CONTROLLED HAND GESTURE BASED BORE WELL VICTIMS RESCUE ROBOT WITH VIDEO STREAMING," *NeuroQuantology*, vol. 20, no. 8, p. 5990, 2022.
- [11] "GitHub - maniacbug/RF24: Arduino driver for nRF24L01." Accessed: Mar. 07, 2024. [Online]. Available: <https://github.com/maniacbug/RF24>
- [12] M. Mahbub, "Design and Implementation of Multipurpose Radio Controller Unit Using nRF24L01 Wireless Transceiver Module and Arduino as MCU," *International Journal of Digital Information and Wireless Communications*, vol. 9, no. 2, pp. 61–72, 2019.
- [13] A. Nag, S. C. Mukhopadhyay, and J. Kosel, "Wearable flexible sensors: A review," *IEEE Sensors Journal*, vol. 17, no. 13, pp. 3949–3960, 2017.
- [14] "MPU6050 6-DoF Accelerometer and Gyro," *Adafruit Learning System*. Accessed: Mar. 07, 2024. [Online]. Available: <https://learn.adafruit.com/mpu6050-6-dof-accelerometer-and-gyro/overview>