جامعة دمشق
كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية
قسم الهندسة الطبية

التحكم بحركة رسغ وأصابع الطرف الصناعي العلوي عن طريق إشارة العضلات الكهربائية

Control Of Upper Prosthesis' Fingers and Wrist Movements through Myoelectric Signal

إعداد: م. نسرين الماضي
بإشراف: أ.د. م محمد فراس الحناوي

الملخص

تتوفر اليوم أطراف صناعية متطورة تساعد على استعادة بعض وظائف اليد المفقودة، إلا أن مشكلة هذه الأطراف هي ارتفاع تكلفتها وصعوبة الحصول عليها ومحدوديتها، فمعظم التصاميم المتوفرة لا تحوي على مفصل رسغ. يهدف هذا البحث إلى تصميم نظام تحكم بطرف صناعي علوي مكوّن من 5 أصابع ومفصل رسغ اعتماداً على إشارة العضلات الكهربائية وباستخدام أقل عدد ممكن من أقطاب الاقتباس لتخفيض تكلفة النظام. يؤدي 10 قبضات مختلفة تم اختيارها بحسب أكثر القبضات شيوعاً لليد.

اسُتخدم في البحث قاعدتي بيانات من NinaPro وهما DB2 مسجلة من قبل أصحّاء وDB3 مسجلة من قبل مبتورين وقورنت النتائج بينهما. اخُتيرت القبضات الـ10 من قاعدة البيانات واسُتخلصت السمات من الإشارات لتكون مُدخلاً لخوارزميات التعلم الآلي وهي KNN وSVM والغابة العشوائية واُختزل عدد أقطاب الاقتباس والسمات بخوارزمية ReliefF. اخُتبر نظام التحكم في الدراسة على طرف صناعي بتصميم InMoov مفتوح المصدر وصُنع بتقنية الطباعة ثلاثية الأبعاد.

توصّل البحث إلى نظام التحكم بدقة 92% بتدريب مصنف الغابة العشوائية على عينات قاعدة البيانات DB3، وخُفّض عدد أقطاب الاقتباس من 12 قطب إلى 4 فقط.

القسم العملي

سجلت قاعدتي البيانات باستخدام 12 قطب اقتباس. تحوي DB3 على إشارات لـ11 شخص مبتورين عبر الساعد وتحوي DB2 على إشارات لـ40 شخص أصحاء. تشمل على 50 حركة مختلفة وكل واحدة منها مكررة 6 مرات.[1]

اختيرت 10 قبضات من قاعدة البيانات بناء على القبضات الأكثر شيوعاً واستخداماً في الحياة اليومية.[2]

لأن الإشارات في قاعدة البيانات معالجة، أُجريت مرحلة استخلاص السمات مباشرة واسُتخدمت سمات في المجال الزمني وهي: MAV، SSC، ZC، RMS، WL، IAV، إضافة إلى سمات في المجال الزمني الترددي باستخدام تحويل المويجات المتقطع الهامش (mDWT). وبعدها طُبقت خوارزمية ReliefF لتحديد السمات الأكثر تمييزاً بين القبضات ولتحديد مواقع الأقطاب التي تعطي أكثر الإشارات تمييزاً بين القبضات. وتبين أن أقل السمات أهمية هي MAV وmDWT وأهم الأقطاب هي 4، ثلاث منها متوضعة حول الذراع تحت المرفق وواحد على العضلة ثنائية الرؤوس.

دُربت ثلاث أنواع من المصنفات وهي مصنف KNN بعدد k=1 ومصنف SVM باختبار عدة أنواع لتابع النواة ومصنف الغابة العشوائية بعدد أشجار من 50 إلى 200.

كما أُجريت عمليات التدريب قبل وبعد استبعاد السمات والأقطاب الأقل أهمية لمقارنة النتائج.

القسم العملي

بعد التوصل لنظام التحكم النهائي بدأت مرحلة طباعة الطرف واختباره، اخُتير تصميم InMoov وهو تصميم لذراع صناعية بـ6 درجات من الحرية. يتكون التصميم من يد بخمس أصابع ومفصل رسغ متحرك في محور واحد قادر على أداء حركات الكب والاستلقاء.[3]

طُبعت أجزاء الطرف في مخبر الطباعة ثلاثية الأبعاد في جامعة دمشق، اسُتخدم برنامج Cura من أجل تهيئة قطع التصميم للطباعة وتصدير الملفات بصيغة gocde. اسُتخدمت 6 محركات سيرفو من نوع MG995 والتحكم بالمحركات كان عن طريق دارة Arduino Nano.

يتحرك الطرف بناء على خرج المصنّف، فبعد اقتباس إشارات العضلات تُجرى المعالجة الأولية وتُستخلص السمات وبعدها تدخل السمات للمصنف لاختيار نوع أو صنف الإشارة بناء على بيانات التدريب.

القسم النظري

تزايدت أعداد مؤخراً، ووضحت دراسة إحصائية أُجريت في أحد مراكز المشافي السورية المعنية بالأطراف الصناعية شملت الأعوام من 2017 حتى 2021 أنّ أعداد المراجعين من مبتوري الأطراف العلوية في تزايد مستمر.[4] والعلاج الوحيد لهذه الحالات هو الحصول على طرف صناعي، وهذا الطرف قد يكون تجميلياً أو ميكانيكياً أو إلكترونياً ولكن مكلف جداً. وبحسب دراسة إحصائية أُجريت في مخبر الأطراف الصناعية في جامعة دمشق وجدنا أن رضا المبتورين عن الأطراف الميكانيكية قليل ونسبة التخلي عنها عالية.[5]

يهدف البحث إلى تصميم نظام تحكم بحركة طرف صناعي علوي إلكتروني بطريقة التعرف على الأنماط اعتماداً على تقنيات التعلم الآلي وباستخدام إشارات العضلات الكهربائية السطحية. واختبار أداء هذا النظام عن طريق تصنيع طرف صناعي بالطباعة ثلاثية الأبعاد مؤلف من يد ذات 5 أصابع ومفصل رسغ، بالإضافة إلى دراسة تأثير تخفيض عدد أقطاب اقتباس إشارة العضلات والسمات المستخلصة على دقة النظام، وذلك للتوصل إلى أقل عدد لازم من الأقطاب والسمات للحفاظ على دقة نظام التحكم ما يساعد تخفيف تعقيد تصميم الطرف وكذلك في تخفيض كلفة تطوير الأطراف الصناعية مستقبلاً حسابياً ومادياً.

النتائج والمناقشة

أظهر البحث أن السمات المستخلصة في المجال الزمني أسهل في الحساب وأكثر كفاءة في التمييز بين القبضات في قاعدة البيانات، وأن 4 أقطاب اقتباس لإشارة العضلات كافية للتمييز بين 10 قبضات بدقة 92% باستخدام مصنف الغابة العشوائية في DB3 وبدقة 97.8% في DB2. وبالتالي لا يُفضل بناء أنظمة تحكم بالأطراف الصناعية باستخدام إشارات العضلات المقتبسة من أصحاء فهي تختلف من حيث الشدة والخصائص عن تلك المقتبسة من المبتورين

عدد الأقطاب	السمات المستخلصة	الدقة%	
		DB3	DB2
كافة الأقطاب (12)	كافة السمات (120)	97.6	99.8
أهم 4 أقطاب	كافة السمات (40)	91	94.4
أهم 4 أقطاب	بعد حذف سمات mDWT وMAV (20)	92	97.8

على الرغم من تدريب نظام التحكم للتعرف على 10 حركات مختلفة إلا أنّ تصميم الطرف حال دون إمكانية أداء هذه الحركات جميعها بدقة فقد وُجد أن عدة حركات تشابهت في الأداء بسبب محدودية درجات الحرية في تصاميم الأطراف الصناعية، فحتى الآن لا يوجد تصميم يستطيع مشابهة اليد الطبيعية في طريقة التحريك، وخصوصاً أن مفصل الرسغ والإبهام في التصميم كانا بدرجة واحدة من الحرية.

المراجع

1. Atzori M., Gijsberts A., Castellini C., Caputo B., Hager A., Elsig S., et al. (2014). “Electromyography data for non-invasive naturally-controlled robotic hand prostheses”. Scientific Data.
2. Cipriani C., Controzzi M., Carrozza M., (2010). “Objectives, criteria and methods for the design of the SmartHand transradial prosthesis”. Robotica; 28(6):919–27.
3. Langevin G., “Hand and Forarm”. Inmoov. Available: https://inmoov.fr/hand-and-forarm/
4. Hussain R., & Saad K., (2022) “Maintenance Cost of upper limb prostheses in the center of rehabilitation and prosthetics in Damascus during 2018-2021”. Damascus University Journal for Engineering Sciences. Vol 38 No. 2.
5. Almadi N., Hussain R., Abu Hayleh H., Almasri M., Alhinnawi F., (2022), “3D Printed Upper Limb Prosthetics: Ambition & Reality”. Damascus University Journal for Engineering Sciences. Vol 38 No. 2.