

التواصل بين الإنسان والآلة تقنيات قراءة الآلة للمخ البشر

د. عادل عوض

قسم الفلسفة/ كلية الآداب/ جامعة المنصورة

مدخل:

تتوالى تطبيقات الذكاء الاصطناعي في معظم مناحي الحياة، وتتسارع دون هوادة بدرجة مخيفة مما يؤثر على إنسانية الإنسان. ومن أخطر هذه التطبيقات تقنية التواصل بين البشر والأشياء خطورة تقنية التواصل بين المخ البشري والآلة. الكمبيوتر. وهذه الأخيرة محور إهتمامى فى البحث، وعليه أتساءل هل تستطيع الآلة أن تقرأ دماغ الإنسان أو عقل الإنسان؟ بمعنى أن واجهات الدماغ والآلة تمثل تقنيات مهمة للتواصل مع الجهاز العصبى. تمكن واجهة الدماغ البشري والآلة الشخص من التحكم فى جهاز خارجى باستخدام إشارات الدماغ، بمعنى أن واجهات الدماغ والآلة تسمح للأشخاص بالتحكم فى الآلات باستخدام أفكارهم، أو هى جهاز يتيح التحكم فى الإتصال المباشر بين الدماغ والجهاز.

فى الآونة الأخيرة، تطورت كثير من الواجهات بين الإنسان والآلة لمساعدة الأشخاص ذوى الإعاقة، حيث تولد هذه الواجهة أوامر لجهاز خارجى من نشاط دماغ الشخص، وتم استخدامها للتحكم فى الكراسى المتحركة والوصلات البيئية الحاسوبية والأجهزة الآلية والأطراف الصناعية، إنها تقنية قوية وحديثة جداً تستخدم لتحسين نوعية حياة البشر.

التعزيز البشري فى واجهة الدماغ والآلة - الإمكانيات والقيود ودمج الذكاء الاصطناعي

أظهرت بداية الثورة الصناعية فى أواخر القرن الثامن عشر حقيقة دوائر فى تاريخ البشر: مرحلة تفاعلات البشر/الآلات الفعالة والمتزايدة. فى العقود القادمة، كان هناك عديد من الاختراعات التى تلت ذلك، مما أدى إلى زيادة الشعور بالاهتمام والحاجة إلى الخيال. وجرى تناول عدة مجالات لتنمية القدرات البشرية. وهى '1' التكنولوجيا العصبية، و '2' المناطق المدارية الصغيرة، و '3' الهندسة الوراثية، و '4' الواجهات الدماغية الحاسوبية، ترتب عليها زيادة إمكانية التنفيذ فى الاقتصاد العالمى. تستخدم واجهة الدماغ والآلة (BMI) علم الأعصاب الحالى والخبرة الهندسية لتمكين التحكم التطوعي الموجه نحو التفكير فى الآلات الخارجية. تؤكد هذه

الدراسة على القدرة المتزايدة لتقنيات BMI لإدخالها في قطاعنا. تُظهر الدراسة أيضًا القيود اللازمة لدفع تقنية BMI ودمجها في الذكاء الاصطناعي⁽¹⁾.

يتيح اندماج القدرات التقنية إنشاء تصميمات «ذكية» لواجهة الدماغ والآلة (BMI) باستخدام التعلم الآلي والذكاء الاصطناعي (AI). الهدف من هذه الموجة التكنولوجية الحالية هو التفاعل بطرق تعزز تعلم العلاقات والتكيف مع الاحتياجات العملية الجديدة. يتضمن كل من سلوك الخلايا العصبية القائم على الاستعادة وآليات المؤشرات غير الجراحية مثل تخطيط كهربية الدماغ للأطراف الاصطناعية العصبية (EEGs)⁽²⁾.

وهناك حاجة ملحة في الأذرع الاصطناعية البديلة لموصلات ذات حزمة ترددات عالية تربط بين الأداة الاصطناعية والجهاز العصبي للشخص الذي يستخدمها. كما أجريت تجارب عديدة على الحيوانات لإيجاد وتطوير وسائل ربط دائمة بين الأجهزة الكهربائية والخلايا العصبية، ويبدو أن التجربة الواعدة في هذا المجال تكمن في زرع رقيقة سيليكون مثقبة في مكان مرور مجموعة الخلايا العصبية إلى الذراع المبتورة. تنمو الأعصاب من جديد عبر الثقوب، وتستطيع دارات السيليكون قياس النشاطات الكهربائية في الأعصاب وحققها بالإشارات الخاصة بها، كما تتصل رقيقة السيليكون لاسلكياً مع جهاز مراقبة خارجي مثبت على الجلد. هناك الكثير من القضايا البحثية الإشكالية التي ما زالت بحاجة إلى حلول: ما نوع المادة التي يجب استخدامها بحيث لا تؤذي الجسم من جهة، ولا يرفضها جهاز المناعة من جهة أخرى؟ كيف يتوجب علينا تفسير الإشارات التي تنقلها الأعصاب؟ ما هي الطريقة المثلى لتدريب دماغ الشخص على تفسير الإشارات الواردة من مراكز الإحساس بالشدة أو اللمس في الذراع الاصطناعية مثلاً⁽³⁾؟

هنا أيضاً يجري العمل على قدم وساق، كما تبرز توجهات طبية كثيرة تدفع نحو إنجازه، إضافة إلى وجود آلاف الأشخاص الذين سيشعرون بالامتنان حالما يصبح حقيقة واقعة. وقد لا تكون الحاجة ملحة وعاجلة لمن فقد إحدى ذراعيه، فبإمكانه تدبر تصريف أموره وإن لم يكن على الشكل الأمثل. أما المصابون بتلف في العمود الفقري، وخصوصاً في الفقرات العليا منه، فوضعهم أكثر خطورة وإلحاحاً، لأن عجزهم عن الحركة يرسم طبيعة حياتهم برمتها. بل أن بعض المصابين بتلف شديد فيه لا يمكنهم حتى التنفس بمفردهم، ولا التحكم بأي عضو من

⁽¹⁾Anirban Dutta Choudhury and Jitendra Vir Singh. "A Review of Innovation to Human Augmentation in Brain-Machine Interface – Potential, Limitation, and Incorporation of AI." In Brain-Computer Interface Using Deep Learning Applications, edited by M.G. Sumithra Rajesh Kumar Dhanaraj, Mariofanna Milanova, Balamurugan Balusamy, and Chandran Venkatesan, Chapter 9. Springer. 2021,p.101.

⁽²⁾Ibid.p.101.

⁽³⁾أرونى بروكسى: الجسد والآلة، تقريب معين محمد الإمام، مكتبة العبيكان، الرياض، 2004، ص337.

أعضاء جسدهم، فيما عدا العينين . فهم إذ ينظرون ولا يقدرّون حتى على الكلام، بحاجة ماسة وملحة لتقنيات جديدة تسمح لهم بوصل دماغهم مع إنسان آلي يساعدهم على الحركة والتحكم بأعضاء أجسادهم⁽⁴⁾. ثمة أشياء يمكن القيام بها دونما حاجة إلى عمليات توصيل عصبي مباشر. إحدى المرضى مثلاً، وإسمها هولي يانكو، قامت بتعديل نسخة من الكرسي المتحرك بنظام تحكم يديره إنسان آلي. في الأماكن المحصورة، يستطيع الكرسي السير في الممرات وعبور الأبواب بمفرده، وفي الهواء الطلق، يستطيع السير على الرصيف وتجنب السقوط عن السلم. وقد استخدمت هولي جهازاً طوره جيم غيبس في كلية بوسطن يتيح لمن يعاني من إعاقة شديدة فرصة إعطاء إشارات موجهة إلى كمبيوتر بمجرد تحريك عينيه. ويعمل قطبان كهربائيان صغيران ملتصقان بالصدغين والجبين على التقاط الإشارات الكهربائية التي يرسلها الدماغ إلى عضلات العينين، كما أن بمقدور الكمبيوتر استقرار آلية الحركة. وبما أن هولي ربطت كل هذا بنظام تحكم آلي، فما على المريض الجالس في كرسيه إلا النظر إلى صورة تضم لائحة من الأوامر تظهر على الشاشة الملحقة بذراعي الكرسي المتحرك، مثل ((تقدم إلى الأمام!))، ثم يقوم الإنسان الآلي كل ثانية بإجراء التعديلات الضرورية في السرعة والوجهة لإنجاح عملية سير الكرسي⁽⁵⁾. ورغم الفائدة التي تقدمها مثل هذه الأجهزة، إلا أن المرضى شديدي الإعاقة يطمحون إلى ما هو أفضل، وقد أجريت عدة تجارب على بعض هؤلاء في محاولة لربط أجهزتهم العصبية مباشرة بجهاز الكمبيوتر. أحد المرضى استطاع تحريك مؤشر ((فأرة)) الكمبيوتر على الشاشة بمجرد التفكير، وذلك بعد أن تم زرع أداة صغيرة في جهازه العصبي تخرج منها أسلاك متصلة ببطاقة واجهة بينية على الكمبيوتر. يتيح هذا الجهاز الصغير الملحق بجسم المريض قدرة لا حدود لها على التحكم بمختلف جوانب الحياة مقارنة مع وضعه السابق، إذ يمكنه طباعة وإرسال الرسائل إلى الآخرين، وقراءة رسائلهم متى شاء، والبحث على شبكة الانترنت، واضعاً تحت تصرفه مصادر المعلومات المتوفرة في العالم أجمع، فيظهر منها ما شاء أمام ناظره⁽⁶⁾.

يتم استغلال التقدم في قدرات الهندسة النانوية لـ BMI في أجهزة الكمبيوتر والأجهزة والخوارزميات التي تتعلم وتتطور نوعياً. أخيراً، فهي قادرة على فهم الاحتياجات البيئية والفسولوجية الخارجية والتكيف معها في الوقت الفعلي (القريب). أخيراً، الفكرة هي إنشاء تجربة بشرية لتطبيقات مثل الألعاب، مما يسمح للجهاز بالتكيف والتفاعل في ظروف سريرية مختلفة مع الأحداث المتغيرة. في هذا التعليق، تتم مناقشة القدرة والأسباب والحالة التكنولوجية للأدوات لإنتاجها. نناقش حالياً عديد من الموضوعات والصعوبات في التكنولوجيا. واجهات الدماغ والحاسوب هي أنظمة تهدف إلى الاتصال بالجهاز العصبي المركزي، بما في ذلك الدماغ والحبل الشوكي وشبكية

(4)المرجع نفسه: ص338.

(5)المرجع نفسه: ص339.

(6)المرجع نفسه: ص339.

العين العصبية الحسية، والتي يمكن استخدامها بالتبادل في هذا السياق. بالإضافة إلى إجراء التحكم العصبي مسبق البرمجة عبر جهاز كمبيوتر خارجي، أو لتحفيز الدماغ، يتم اكتساب نبضات الدماغ بشكل متكرر وتقييمها سريريًا لاستعادة نشاط الدماغ بعد التلف أو الانزعاج، وفقًا لغرض وهدف التكنولوجيا. أي طريقة، سواء كانت بيوكيميائية أم خلال توجيه المريض ورغبته، تستخدم رد الفعل لزيادة الأداء. بالإضافة إلى ذلك، هناك قائمة متزايدة من تقنيات واجهة الدماغ غير الغازية، والتي يتم تمويل معظمها من قبل الشركات الناشئة المبتكرة وليست مصممة للأغراض العلاجية. يتم تطبيق هذه الاستراتيجيات لتعزيز تجربة المستخدم والتحكم في واجهات الواقع المعزز الرياضي (AR) والواقع الافتراضي (VR). في حين أن هذا مطلب مهم، إلا أنه يختلف عن التكنولوجيا المستخدمة لعلاج واستعادة الوظائف الصحية للمرضى ونوعية حياتهم. ليس أقلها أنه يمكن أن يمهّد الطريق لدراسات ذات صلة علمية. على سبيل المثال، سيكون للتقدم في علم الفسيولوجيا العصبية والبيولوجيا الحاسوبية ومعالجة الإشارات والأبعاد الإحصائية والهندسية للأجهزة تأثير كبير على صناعات الألعاب والأجهزة الطبية والأطراف الاصطناعية العصبية. من المتوقع أن يصل سوق مشاركة آلات الدماغ إلى 1.46 مليار دولار بحلول عام 2020، مع معدل نمو سنوي مركب قدره 11.5 في المائة من المتوقع أن يصل إلى 1.72 مليار دولار بحلول عام 2022، مع تخصيص معدل نمو سنوي مركب إضافي بنسبة 11.5 في المائة بين عامي 2012 و 2022. بسبب التوسع المتوقع لجميع هذه التقنيات غير الغازية، تجاوزت صناعة الألعاب التطبيقات الطبية تقريبًا كشركة رائدة في السوق. على الرغم من أهميتها، تمثل هذه التنبؤات إلى حد كبير التفاعل بين وحدات التحكم العصبية والتجارب الحسية مع الروبوتات. يمثل BMI الذي يمكنه التعلم والتطور أحدث التطورات في ما هو ممكن خلال تكامل تقنية BMI، بما في ذلك تقنيات النانو والتعلم الاصطناعي والذكاء الاصطناعي. يمكن استخدام الذكاء الاصطناعي لإنشاء BMIs «الذكية» التي يمكنها التعلم والتكيف مع المتطلبات والاحتياجات الوظيفية المتطورة⁽⁷⁾.

واجهة الدماغ والآلة (الكمبيوتر):

في هذا التعريف، تعني كلمة «دماغ» الدماغ أو الجهاز العصبي لشكل حياة عضوي بدلاً من العقل. «الكمبيوتر» يعني أي جهاز معالجة أو حاسوبي، من الدوائر البسيطة إلى رقائق السيليكون (بما في ذلك التقنيات المستقبلية الافتراضية مثل الحوسبة الكمومية).

واجهة الدماغ والآلة (BMI)، تسمى أحياناً الواجهة العصبية المباشرة أو واجهة كمبيوتر الدماغ، هي مسار اتصال مباشر بين دماغ الإنسان أو الحيوان (أو زراعة خلايا الدماغ) وجهاز خارجي. في BCIs أحادية الاتجاه، تقبل أجهزة الكمبيوتر الأوامر من الدماغ أو ترسل إشارات إليه (على سبيل المثال، لاستعادة الرؤية) ولكن ليس كليهما.

⁽⁷⁾Anirban, D,C and Jitendra,v,s,p.101.

ستسمح BCIs ثنائية الاتجاه للأدمغة والأجهزة الخارجية بتبادل المعلومات في كلا الاتجاهين ولكن لم يتم زرعها بنجاح في الحيوانات أو الإنسان.

واجهة الدماغ والكمبيوتر (BCI) هي تعاون بين الدماغ والجهاز الذي يمكن الإشارات من الدماغ من توجيه بعض النشاط الخارجي، مثل التحكم⁽⁸⁾.

يعمل المخ خلال عمليات كهروكيميائية، ويحدث التفكير داخل القشرة المخية. إن تطوير البيولوجيا العصبية، واستخدام تكنولوجيا التصوير المسح بالرنين المغناطيسي الوظيفي، والتصوير المقطعي للانبعاثات الإيجابية، والتخطيط الكهربائي الكمي كل ذلك يعطينا مزيداً من المعلومات. أصبح من الممكن أن نرى تدفق الدم لأجزاء المخ المختلفة خلال ممارسة مختلف الأنشطة. بما يسمح لنا أن نبدأ في معرفة كيف يؤثر نشاط المخ على السلوك. ومع ذلك لا يمكننا أن ننظر إلى صور للمخ ونقول بدرجات متفاوتة من التأكد: إن كان هناك تفكير يحدث في الوعي أو في اللاوعي.

في أحد الاكتشافات الحديثة، وجد أن فقدان التركيز ربما يرتبط بتغيرات في نشاط المخ. في حالات معينة يمكن أن يتسبب فقدان التركيز في حوادث خطيرة بالفعل، لذلك إذا تمكنا نظرياً من التنبؤ متى سيحدث هذا، فسيمكنك أن تتخذ خطوات لمنع حدوث الحادث بالفعل. ليس هذا شبيه بحديثنا عن السفر عبر الزمن بالضبط، ولكنه يقترب من ذلك⁽⁹⁾.

مثل هذه الاكتشافات تجعل بعض الناس ينفعلون جداً لظنهم أن بإمكانهم أن يتنبأوا ويتحكموا في التفاصيل الدقيقة للسلوك الإنساني. لذلك يعتقدون (وربما لا يكونون مخطئين تماماً فيما ذهبوا إليه) أن هناك أموالاً طائلة يمكن كسبها قد يتعارض أو يتقاطع فيها علم الأعصاب مع علم المال والأعمال، على الرغم من أن التكنولوجيا في هذه المرحلة ليست وليدة اقتراحات عملية لشركات مثل Coca-cola أو IKEA. وكما أشار (ديفيد بروك) المتخصص المعروف في علم الأعصاب، أن الأمر مثل "الطيران فوق لوس أنجلوس ليلاً، والنظر لأضواء المنازل، ثم محاولة تخمين عما يتحدث فيه الأفراد على العشاء داخل هذه المنازل.

لذلك لا يتوفر لدينا حتى الآن أي فكرة تقريباً عن كيف يحدث الإبداع البشري، وما زال الطريق أمامنا طويلاً جداً كي نقدر على التنبؤ بالابتكار، أو تطوير مجموعة من القواعد التوالدية لحل المشكلات، أو إبداع الفكرة. العلم أيضاً ليس في جعبته شئ تقريباً ليتحدث عن خيالنا، وعندما يتحدث العلماء عن الوعي الإنساني، فبالكاد يمكنهم تعريفه، فما بالك بتفسيره.

⁽⁸⁾Brain Computer Interface. In [https:// www.studymode.com/ Brain – Computer- Interface-375090.html?fbclid=IWAR3nzAloiYvX0Iv2YMWPIBehOVNSOif35qsH4p5GuN490—d5TxB-7vu7qQ.4,27,2023](https://www.studymode.com/Brain-Computer-Interface-375090.html?fbclid=IWAR3nzAloiYvX0Iv2YMWPIBehOVNSOif35qsH4p5GuN490—d5TxB-7vu7qQ.4,27,2023).

⁽⁹⁾ريتشارد واطسون: عقول المستقبل، ترجمة عبد الحميد محمد، المركز القومي للترجمة، (2749)، القاهرة، 2016، ص75.

عند بعض الأفراد، هذا الأمر مهم جداً لأنهم يريدون صنع الآلات لتكون قادرة يوماً ما على خلق وابتكار الأفكار. ويحب آخرون أن يفهموا المزيد عن كيف يحدث التفكير الإبداعي الأصيل لأن هناك قيمة. بالعملية الصعبة. على الخلق والإبداع⁽¹⁰⁾.

يصف البحث النمذجة الرياضية للخلية العصبية وإمكانية تنفيذها التقني. على عكس الأجهزة التقنية الموجودة لتنفيذ الخلايا العصبية بناءً على العقد الكلاسيكية الموجهة إلى المعالجة الثنائية، يعتمد المسار المقترح على المعالجة المتوازية للبيانات العددية (المشابك العصبية) للحصول على النتيجة. يمكن أن يكون النهج المقترح لتنفيذ الخلايا العصبية بمثابة أساس أولي جديد لبناء أجهزة كمبيوتر قائمة على الخلايا العصبية مع سرعة معالجة أعلى للمعلومات البيولوجية وقابلية جيدة للبقاء. يوضح البحث منشئ الدائرة العصبية المتطور واستخدامه في بناء الدوائر العصبية للمخلوقات البيولوجية ومحاكاة عملها.

الخلايا العصبية الاصطناعية أو البرمجة المستخدمة في علوم الكمبيوتر تحاكي جزئياً الخلايا العصبية البيولوجية. تتلقى هذه الخلايا العصبية الاصطناعية عدد الإشارات مثل بيانات المدخلات وكل من هذه الإشارات هي في الواقع ناتج عن خلية عصبية أخرى. يتم ضرب كل مدخل بالوزن المناسب (محاكاة القوة المشبكية) ثم يمكننا جمع جميع القيم وتحديد مستوى تنشيط الخلايا العصبية. ستكون النتيجة النهائية لهذه العملية إما 0 أو 1⁽¹¹⁾. تمثل واجهات الدماغ والحاسوب تقنيات مصممة للتواصل مع الجهاز العصبي المركزي: الدماغ والحبل الشوكي وشبكية العين الحسية العصبية. سريريًا، اعتمادًا على تصميم ونية التكنولوجيا، يمكن أن يكون الهدف هو تسجيل وتفسير الإشارات العصبية من أجل تنفيذ أمر عصبي مقصود من خلال جهاز خارجي، أو لتحقيق التحفيز العصبي، غالبًا لاستعادة الوظيفة العصبية بعد المرض أو الصدمة، أو كليهما. تستخدم بعض الأجهزة التعليقات في محاولة لتحسين الأداء، سواء كان ذلك فسيولوجيًا أو عبر نوايا وتعليمات محددة للمريض. هناك أيضًا قائمة متزايدة من تقنيات واجهة أجهزة الدماغ غير الغازية غير المخصصة للاستخدام السريري، مدفوعة بشكل أساسي بشركات ناشئة مبتكرة. تهدف هذه التقنيات إلى زيادة تجربة المستخدم والتحكم في واجهة الألعاب وتطبيقات الواقع الافتراضي المعززة (AR). على الرغم من اختلافها الشديد بالطبع عن التقنيات التي تهدف إلى علاج واستعادة الوظائف السريرية ونوعية الحياة للمرضى، إلا أن هذا سوق لا ينبغي تجاهله. ليس أقلها لأنه يمكن أن يوفر موارد مستفيدة لصالح الأبحاث ذات الصلة سريريًا. على سبيل المثال، يمكن للتقدم في فهمنا للفيزيولوجيا

⁽¹⁰⁾المرجع نفسه: ص76.

⁽¹¹⁾Galiautdinov, R. and Mkrttchian, V., Brain Machine Interface for Avatar Control and Estimation for Educational Purposes Based on Neural AI Plugs: Theoretical and Methodological Aspects, in: Avatar-Based Control, Estimation, Communications, and Development of Neuron Multi-Functional Technology Platforms, pp. 294–316, IGI Global, 2020,p.281.

العصبية ذات الصلة، وعلم الأعصاب المعرفي، والجوانب الرياضية والهندسية لمعالجة الإشارات، والأجهزة، أن تؤثر بشكل كبير على كل من صناعة الألعاب وكذلك الأجهزة السريرية والأطراف الاصطناعية العصبية. من المتوقع أن يصل سوق واجهة آلة الدماغ إلى 1.46 مليار دولار بحلول عام 2020، بمعدل نمو سنوي مركب (CAGR) بنسبة 11.5٪ بين عامي 2014 و 2020 حسب أحد التقديرات، ومعدل نمو سنوي مماثل قدره 1.72 مليار دولار في عام 2022، مع معدل نمو سنوي مركب متوقع يبلغ 11.5٪ بين عامي 2012 و 2022 حسب تقدير آخر. سيرجع الكثير من هذا النمو المتوقع إلى التقنيات غير الغازية، مع صناعة الألعاب كمحرك للسوق تقريباً على قدم المساواة مع تطبيقات الرعاية الصحية⁽¹²⁾.

في السنوات الأخيرة، تم تطوير عديد من الواجهات بين الإنسان والآلة HMI's لمساعدة الأشخاص ذوي الإعاقة الحركية. واجهات الدماغ والآلة (BMIs) وواجهات التصوير الكهربائي (EOG) هي أمثلة معروفة جيداً لهذا النوع من الواجهات بين الإنسان والآلة. تسمح واجهة الدماغ والآلة (BMI) بتوليد أوامر التحكم لجهاز خارجي من نشاط دماغ الشخص. فعلى سبيل المثال، استُخدمت BMIs للتحكم في الكراسي المتحركة والوصلات البينية الحاسوبية والروبوتات أو الأجهزة الآلية والأطراف الاصطناعية، من بين وسائل أخرى. من ناحية أخرى، تستخدم واجهات EOG حركات العين لتوليد أوامر التحكم. تكتشف واجهات EOG حركات العين عن طريق قياس اختلاف الإمكانيات بين القرنية وشبكية العين. وقد استخدمت هذه التكنولوجيا للتحكم في نظم مختلفة، مثل الحاسوب، وألعاب الفيديو، والكرسي المتحرك، أو الروبوت⁽¹³⁾.

ليس العلماء وحدهم من يتطلع إلى آلة اتصال بالدماغ BMI، بل رجال الأعمال أيضاً. إنهم يرغبون في إدخال عديد من هذه الاختراعات المذهلة كجزء دائم في مخططاتهم. اخترقت الـ BMI سوق الشباب مسبقاً، على شكل ألعاب فيديو، وألعاب تستخدم حساسات الـ EEG، بحيث يمكنك التحكم في الأشياء بالعقل في الواقع الافتراضي والعالم الحقيقي أيضاً. في العام 2009، سوقت شركة نيوروسكاي Neurosky أول لعبة دعيت <<مايند فليكس>>، صممت خصيصاً لاستخدام حساسات EEG لتحريك كرة خلال متاهة. يزيد التركيز، خلال ارتداء جهاز EEG لمايند فليكس، سرعة مروحة داخل المتاهة، بحيث تحرك كرة صغيرة في مسالك المتاهة.

تزدهر أيضاً ألعاب الفيديو التي تستخدم التحكم بالعقل. يعمل 1700 مطور برمجيات لدى نيوروسكاي، وكثير منهم على جهاز رأس بموجات دماغ متحركة بتكلفة 129 مليون دولار. تستخدم ألعاب الفيديو هذه حساساً

⁽¹²⁾Silva, G.A.J.F., II, A new frontier: The convergence of nanotechnology, brain machine interfaces, and artificial intelligence. Front. Neurosci., 12, 843,2018,p.2

⁽¹³⁾Hortal, E., Iáñez, E., Úbeda, A., Perez-Vidal, C., Azorin, J.M.J.R., Systems, A., Combining a brain-machine interface and an electrooculography interface to perform pick and place tasks with a robotic arm. Rob. Auton. Syst., 72,181–188, 2015,p.181.

صغيراً من نوع EEG يلف حول جبينك، بحيث يسمح لك بالتجول في الواقع الافتراضي، حيث يجري التحكم في شكلك الافتراضي avater عقلياً. وبينما تحرك شكلك الافتراضي على شاشة الفيديو، يمكنك إطلاق النار وتجنب الأعداء والصعود إلى الأعلى وإحراز النقاط...إلخ، كما في لعبة فيديو عادية، عدا أن كل شيء يجري من دون اليدين⁽¹⁴⁾.

ستكون هناك بيئة كاملة من اللاعبين الجدد، وستكون نيوروسكاي في موقع جيد لتصبح مثل إنتل في هذه الصناعة الجديدة. كما يدعي ألفارو فيرنانديز من شركة أبحاث السوق (شارب برينز).

إضافة إلى إطلاق النار من أسلحة افتراضية، يمكن لخوذة الـ EEG أيضاً أن تكتشف متى يبدأ مستوى تركيزك في التراجع. تتلقى نيوروسكاي استفسارات من شركات تهتم بإصابات العمال الذين يفقدون التركيز وهم يعملون على الآلات خطرة، والذين ينامون وهم يقودون سياراتهم. يمكن لهذه التقنية أن تنقذ حياة العامل أو السائق بتنبهه إلى أنه يفقد التركيز. تطلق خوذة الـ EEG عندما ينام مرتديها. (أصبح غطاء الرأس هذا بالفعل موضحة في اليابان لمرتادي الحفلات. تبدو حساسات الـ EEG عندما تضعها على رأسك على شكل أذني قطة. عندما تركز اهتمامك ترتفع الأذنان فجأة، ثم تسترخيان عندما يتراجع هذا الاهتمام. يمكن للناس في الحفلات أن يعبروا عن اهتماماتهم الرومانسية بمجرد التفكير فيها فقط، بحيث تعرف إن كنت تثير اهتمام شخص ما أو لا).

ولعل الدكتور ميغيل نيكوليليس من جامعة ديوك تتابع حالياً أحدث التطبيقات لهذه التقنية. وصرح بأنه يعتقد أن باستطاعته نسخ عديد من الأجهزة التي لا نجدها إلا في قصص الخيال العلمي⁽¹⁵⁾.

يعد تطبيق HMIs مفيد للغاية للأشخاص ذوي الإعاقة الحركية. ومع ذلك، فإن التحكم في الأجهزة المعقدة يعني استخدام عدد كبير من أوامر التحكم. يمكن أن تكون الوسائط المتعددة خياراً مثيراً للاهتمام للتعامل مع هذه المشكلة. وتتألف الوسائط المتعددة من الجمع بين التكنولوجيات المختلفة لتحقيق تحسين في التحكم في النظم الخارجية عن طريق دمج نواتج التحكم في مختلف المؤسسات البشرية. تم تطبيق هذه الطريقة على نطاق واسع في أعمال HMI. كما تم تطبيق الجمع بين EOG و EMG في التحكم في الروبوت⁽¹⁶⁾.

تهدف أبحاث الدماغ البشري إلى تحقيق فهم شامل لهياكل ووظائف الدماغ البشري. يُحدث الذكاء الاصطناعي (AI) ثورة في أبحاث الدماغ البشرية الحديثة من خلال مجموعته الهائلة من التقنيات والاكتشافات المتراكمة أثناء معالجة القضايا المتعلقة بالدماغ البشري. في ذلك الوقت أثار عالم الرياضيات آلان تورينج السؤال «هل تستطيع الآلات التفكير؟»، كانت الأجهزة العصبية البيولوجية هي الأنظمة الوحيدة المعترف بها لإجراء

⁽¹⁴⁾ ميتشو كاكوا: مستقبل العقل، ترجمة سعد الدين خرفان، عالم المعرفة، الكويت، 2017، ص110.

⁽¹⁵⁾ المرجع نفسه: ص111.

⁽¹⁶⁾ Hortal, E and others, p.181.

الحسابات المعقدة. لذلك، من الشائع أن يستخدم علماء الذكاء الاصطناعي دوائر الدماغ كمصادر توجيه. توفر المجالات الفرعية المتعددة لأبحاث الدماغ البشري فرصاً كبيرة للتحقق من صحة طرق الذكاء الاصطناعي الحالية وتطوير أساليب جديدة، وبالتالي إثراء ذخيرة الذكاء الاصطناعي وتعزيز فعاليتها في أبحاث الدماغ البشري. أدى استخدام تقنيات الذكاء الاصطناعي في أبحاث الدماغ البشري إلى تطوير كل من أبحاث الذكاء الاصطناعي والدماغ البشري، وبالتالي جعل أبحاث الدماغ البشري بمساعدة الذكاء الاصطناعي مجالاً متعدد التخصصات سريع النمو⁽¹⁷⁾.

من ناحية أخرى، يمكن للتحليلات المنهجية حول الاتجاهات التنموية والارتباطات ومجموعات الموضوعات البارزة، بالإضافة إلى التفاعلات بين هذه الموضوعات أن تجيب صراحة على أسئلة أكثر وضوحاً مثل ما يحدث في مجال البحث وما سيحدث في المستقبل، وبالتالي المساعدة في تشكيل أولويات البحث. إن معرفة كيفية ظهور أولويات البحث تدريجياً أمر مهم عندما يتعلق الأمر بفهم الدور الذي يلعبه العلم في المجتمع. وبالإضافة إلى ذلك، فإن تحديد المواضيع الجوهرية، ونسبها واتجاهاتها، ومجالات البحث الناشئة حول تلك المواضيع، لا سيما بطريقة الرصد الطولي والمستدام، يمكن أن يستوعب بكفاءة جوهر مجال البحث، ويتتبع تطوراته الحالية والمستقبلية، ويعالج الشواغل بشأن (إعادة) توزيع الموارد بين مختلف التخصصات ومجالات البحث⁽¹⁸⁾.

يسمح هذا بالتفاعل مع اللاعبين البشريين و AR/VR، بالإضافة إلى تعزيز وإنشاء تطبيقات علاجية للمرضى الذين يعانون من أمراض مزمنة. لا يمكن المبالغة في هذه النقطة الأخيرة، حيث لا يتم تلبية الاحتياجات الطبية لمختلف الأمراض العصبية فحسب، بل من المهم أيضاً تخصيص BMI لاحتياجات المرضى. كما أنه سيساهم في تغيير التكنولوجيا لتطور مرض الناس بمرور الوقت. فكرة أن كلاهما له حجم واحد هي الخطأ الأساسي لأحدث BMI حالي والأطراف الاصطناعية العصبية. هذا يعني أنه يمكن علاج جميع المرضى بشكل صحيح باستخدام تقنية تعمل ضمن مجموعة معينة من الميزات. على الرغم من أننا لا نعرف نظاماً أو تقنية تعكس التضمين المطور لـ BMI للتعلم الآلي وتكنولوجيا النانو، فقد جادلنا بأن هذا الموضوع يستحق الاستكشاف بسبب إمكاناته وتأثيره. يتم توظيف كل شيء الآن في تصميم وتشغيل BMI والأطراف الاصطناعية العصبية بمفردها، والتعلم الآلي وتكنولوجيا النانو بسلسلة من الطرق التي تتناسب مع الرؤية التي قدمناها هنا⁽¹⁹⁾.

جدير بالذكر أن النانو تكنولوجيا ستحقق مدى واسعاً من النتائج لصناعة الأدوية واستخدام الحاسوب. كذلك الماكينات الذكية، تمثل التكنولوجيا ثورية محتملة أخرى. وتذكر أيضاً أن التحديثات المؤسسية مثل

⁽¹⁷⁾Chen, X., Chen, J., Cheng, G., Gong, T.J.P.O., Topics and trends in artificial intelligence assisted human brain research. PLoS ONE, 15, 4, e0231192, 2020. P.1.

⁽¹⁸⁾Ibid,p. 1.

⁽¹⁹⁾Anirban,D,C and Jitendra V,S,p.103.

مؤسسات التنبؤ يمكن أن تحسن من قدرة جماعات بشرية على التنبؤ بالتطورات المستقبلية؛ وغير ذلك من تطورات تكنولوجية أو مؤسسية ستؤدي إلى طرق جديدة يفيد بها البشر للتنظيم على نحو أكثر فاعلية. وكم هو عسير التنبؤ الآن بتأثيرات هذه التطورات التكنولوجية وغيرها على طبيعة حياة الإنسان؛ ولكن يبدو أن الرهان على أن تكون تأثيراتها آمنة⁽²⁰⁾.

يمثل المسار الثاني سيناريوهات توضح استمرار نمو القدرة التكنولوجية كثيراً؛ بحيث تتجاوز المستوى الراهن قبل أن تثبت تحت المستوى الذي قد يحدث عنده التبدل الأساسي للوضع الإنساني. ويتجنب المسار الافتراضي أننا بلغنا الآن استقرار دائماً بالنسبة لتطور التكنولوجيا؛ ومع ذلك فإنه يرى أن الاستقرار الدائم لن يصل إليه فجأة وبشكل يتجاوز كثيراً المستوى الراهن. ويتعين علينا أن نسأل عن السبب في ثبات التطور التكنولوجي في هذه المرحلة.

إن أحد الاحتمالات المتصورة ذهنياً أن التطور إلى ما بعد هذا المستوى مستحيل؛ بسبب القيد الذي تفرضه القوانين الطبيعية الأساسية. ولكن يبدو أن القوانين الفيزيائية للكون الذي نعيش فيه تسمح بأشكال من التنظيم التي يمكن وصفها بأنها وضع بعد إنساني. زد على هذا أنه لا يظهر هناك أي عقبة أساسية أمام تطور التكنولوجيات والذي يمكن من إقامة مثل هذه الأشكال من التنظيم⁽²¹⁾.

أصبح دور التعاون بين الإنسان والروبوت (HRT)، أو التفاعل بين البشر والروبوتات لإكمال المهام، مهماً بشكل متزايد في العصر الحديث. من الطب إلى التطبيقات العسكرية، أثبتت الروبوتات نفسها كأدوات قوية في إكمال الأهداف الموجهة للبشر. ونظراً لأهمية هذا الفريق، من المهم بالقدر نفسه وجود نظام لتطوير هذه الشراكات. لهذا الغرض، نقدم برنامجاً تعليمياً يعتمد على إطار اختبار فريق مشروع Aquaticus للروبوت البشري، حيث شعر المشاركون في التجارب السابقة بالإرهاق أثناء العمل مع زميل روبوت مستقل. لتحسين وتطوير هذه العلاقة بين المشارك والروبوت، قمنا بتطوير برنامج تعليمي للعلاج التعويضي بالهرمونات باستخدام محرك لعبة Unity. يتمحور سرير اختبار مشروع Aquaticus حول لعبة التقاط العلم التي يتم لعبها في القوارب على الماء، حيث يتم تجهيز كل فريق بقاربين يقودهما الإنسان واثنين من زملائه في فريق الروبوت المستقل. تم تصميم البرنامج التعليمي بناءً على تحليل الأدبيات السابقة ويتضمن ميزات موجودة في أنظمة تدريب ودروس أخرى فعالة. إن إنشاء هذا النظام التعليمي الآلي يبشر بالخير في تحسين فعالية العلاج التعويضي بالهرمونات في سياق مشروع

⁽²⁰⁾ نيل بوستروم: مستقبل الإنسانية، ضمن كتاب موجات جديدة في الفلسفة التكنولوجية، تحرير جان كيربرج أولسن، وآخرون، المركز القومي للترجمة، القاهرة، 2018، ص319.

⁽²¹⁾ المرجع نفسه: ص320.

Aquaticus. في المستقبل القريب، سيتم اختبار فعالية هذا النظام التعليمي مع الأشخاص لتقييم التحسينات في الوعي الظرفي والحمل المعرفي⁽²²⁾.

الواقع الافتراضي (VR) هو تقنية تغمّر المستخدم في بيئة اصطناعية ثلاثية الأبعاد (D3) عبر شاشات يمكن ارتداؤها على شكل سماعات رأس VR، بينما يستخدم الواقع المعزز المرتبط ارتباطاً وثيقاً (AR) عناصر من الواقع الافتراضي ويركبها على بيئة العالم الحقيقي في شكل فيديو مباشر معروض على شاشة جهاز إلكتروني. الواقع الافتراضي هو مفهوم تم تطويره على مدى السنوات الخمسين الماضية، في حين أن الواقع المعزز، هو مفهوم جديد نسبياً. يهدف كلاهما إلى توفير تجربة للمستخدمين تشغل حواسهم البصرية والسمعية من خلال خلق وهم للمناطق المحيطة. في السنوات الأخيرة، ومع تقدم التكنولوجيا، أصبح كل من نظامي الواقع الافتراضي والواقع المعزز أكثر قابلية للحمل وأكثر واقعية وأفضل للتنقل في الوقت الفعلي، مما يضيف عنصراً حسيّاً إلى نطاق الأحاسيس. بالإضافة إلى ذلك، أصبح الوصول إلى الأجهزة المثبتة على الرأس أكثر سهولة. تم بالفعل عرض أجهزة VR و AR المخصصة في السوق لعدة سنوات وهي تتحسن وتتطور باستمرار. يمكن للمستخدم التفاعل مع البيئة الافتراضية خلال الأجهزة المحمولة مثل أعواد التحكم أو لوحات المفاتيح ومؤخراً باستخدام تقنيات تتبع الجسم المتكاملة. يمكن أن تكون VR و AR متعددة الاستخدامات للغاية، باستخدام أنظمة وإعدادات مختلفة بالإضافة إلى محتوى مختلف يمكن أن يتراوح من غامر للغاية وديناميكي وتفاعلي إلى غير فوري وثابت. الغمر والحضور والتفاعل هي الخصائص الأساسية لـ VR و AR. ويعتمد الانغماس على التكنولوجيا المستخدمة ؛ يمكن أن يكون جهازاً مثبتاً على الرأس أو عرضاً مقعراً أو ثلاثي الأبعاد أو فيديو حيث يكون المستخدم هو بطل الرواية. يرتبط الوجود والتفاعل بالتصور الفردي للارتباط بالبيئة والقدرة على التصرف داخل البيئة وتلقي رد الفعل⁽²³⁾.

كيف يمكن لتجربة ما، سواء كانت مرتكزة على الشاشة أم غير ذلك، أن تترك حرقاً بصماتها على دماغ لدن؟ إذا أردنا، نحن علماء الأعصاب، أن نسهم بأي شيء مهم على الإطلاق في تقدير تأثيرات نمط الحياة الرقمية في عملياتنا الذهنية، فسيكون ذلك بالإشارة إلى الآليات العصبية المادية الفعلية قيد العمل: ينبغي أن نتمكن من إثبات وجود علاقة سببية بين التعرض لبعض البيئات والتجارب، ومن ثم للأفكار والسلوكيات الناجمة عنها. ومن خلال فهم أكبر قدر ممكن من المعلومات عن كيفية عمل الدماغ، سنتمكن من الحصول على صورة أكثر دقة بكثير عن كيف وإلى أي مدى يمكن لتقنيات الشاشة أن تكون محولة Transformational.

⁽²²⁾Jones, C., Novitzky, M., Korpela, C., AR/VR Tutorial System for Human- Robot Teaming, in: 2021 IEEE 11th Annual Computing and Communication Workshop and Conference (CCWC), pp. 0878–0882, IEEE, New York, USA, p.1.

⁽²³⁾Yeung, A.W.K. et al., Virtual and augmented reality applications in medicine: analysis of the scientific literature. 23, 2, e25499, 2021.p.1.

تمثل التحدي الأكبر لعلم الأعصاب دائماً في تحقيق قفزية فكرية بين ندفة من أنسجة الدماغ والفكر والعاطفة . فحتى الحلم، في كل من معني هذه الكلمة: الظاهرة الحرفية لذلك العالم الداخلي الغريب الذي يتكشف أثناء النوم، فضلاً عن الاستعارة المستخدمة في تخطيط نتائج رائعة لحياتنا. إنها رحلة سنحتاج إلى القيام بها في ثلاث خطوات: أولاً، التعرف على كيفية عمل الدماغ نفسه؛ ثانياً، اكتشاف الكيفية التي يتغير بها طوال الحياة؛ ثالثاً، النظر إلى الكيفية التي يمكن بها لهذه التغيرات في الدماغ أن ترقى إلى (العقل). ومع ذلك، فمن غير الواضح حتى من أين تبدأ⁽²⁴⁾.

"فكيف يعمل الدماغ بإذن؟" هذا السؤال الذي طرحته بإلحاح إحدى الفتيات ، التي ربما كان عمرها نحو أحد عشر عاماً. من المؤكد أنه لمجرد أن الوقت قد نفذ مني خلال حديثي الذي استمر ساعة واحدة إلى مجموعتها من تلاميذ المدارس، كنت قد أغفلت الإجابة عن هذا السؤال النهائي التافه. لقد نظرنا إلى الدماغ من جميع الزوايا خلال تفكيك نموذج من البلاستيك. وقد أخبرت جمهوري من الصغار عن الوقت الذي كنت فيه طالبة بدوري وحملت دماغاً بشرياً حقيقياً في يدي، ولأن أنسجة الدماغ لا تشبه مطلقاً ذلك النموذج البلاستيكي الصلب ذا اللون الوردي المشرق بل تتسم باللون الأبيض القشدي، إضافة إلى كونها رخوة وهشة، فقد فكرت . الكلام على لسان . ينج . فيما كان سيحدث لو علق بعض ذلك النسيج تحت ظفري. هل يمكن تفكيك ذكرى أو عاطفية بعينها بواسطة أحد الأظافر؟ هل يمكن لندفة من أنسجة الدماغ التي تتعلق بطريقة أو بأخرى بعادة معينة، مثل عض الأظافر، أن ينتهي بها الحال بالفعل إلى أن تسير على غير هدى تحت ظفر ما؟ كيف يمكن لتجربة أن تكون ذاتك، ورؤية العالم بطريقة لا يمكن لأحد مشاركتها بشكل مباشر، أن تتولد عن هذه الكتلة غير الجذابة وغير المتعاونة التي يمكنك الإمساك بها بيد واحدة⁽²⁵⁾؟

ليس هناك نموذج للدماغ، ولا حتى نظيره في واقع الحياة، يزودنا بأي نقطة انطلاق واضحة. ليست هناك أجزاء متحركة واضحة، كما هي الحال بالنسبة إلى القلب أو الرئتين، والتي تشير إلي ما يجري هناك. كل ما يمكنك القيام به خلال النظر إلى الدماغ هو إدراك الكيفية التي يعمل بها على المستوى الكلي. ستري أن هناك طبقات مغلفة حول الجزء العلوي من الحبل الشوكي وهو يتضخم مشكلاً الجزء الأساسي من الدماغ. ومن هناك أضاف التطور مزيداً من الحجيرات والبنى التي يسهل تمييزها . وهي مناطق الدماغ التي تتباين في الحجم والأهمية وفقاً للنوع الحي. غير أن الموضوع الرئيس يظل هو نفسه بالنسبة إلى جميع الثدييات، سواء كنت تنظر إلي دماغ جرد أو دماغ إنسان. وعلى سبيل المثال. فستري دائماً نمواً صغيراً يشبه القرنبيط، والذي ينتأ من الجزء الخلفي من الدماغ فوق الحبل الشوكي مباشرة. كما ستري دائماً نصفي كرة المخ اللذين يقابل كلاهما الآخر مثل قبضتين اثنتين، في

(24)سوزان جرينفلد: تفسير العقل، ترجمة إيهاب عبد الرحيم، عالم المعرفة، الكويت، 2017، ص65.

(25)المرجع نفسه: ص66.

حين أن غطاءها الخارجي، القشرة (من اللاتينية بمعنى اللحاء)، يلتف حولهما بالطريقة نفسها التي يلتف بها اللحاء حول الشجرة⁽²⁶⁾.

وقد اتسعت مساحة سطح القشرة المخية لدى البشر لدرجة أن استيعاب هذه الكميات الهائلة من الدماغ ضمن حدود الجمجمة سيكون مثل استيعاب صفحة من الورق في قبضة ضيقة: قد تضطر إلى تجعيد الورقة. بمعنى من المعاني، وما دمنا لا نوسع نطاق المقارنة كثيراً، فهذا هو ما فعله التطور: يتسم سطح الدماغ البشري بنفس تجعيد ثمرة الجوز، في حين تكون أدمغة الرئيسات الأخرى أقل تجعيلاً من ذلك. وتقل درجة التجعيد في أدمغة القطط والكلاب، بينما لا تحتوي القشرة المخية للقوارض على أي تجعيدات على الإطلاق. ربما كانت هذه الطبقة الخارجية الرقيقة هي الجزء الأكبر روعة وغموضاً من الدماغ. من حيث التطور نجد أنها الأحدث، وربما ليس من المستغرب أنها الأكثر وضوحاً في البشر، وهم النوع الذي يمتلك أعظم القدرات الفكرية. وبالتالي، ستظهر القشرة أكثر من أي منطقة أخرى من الدماغ ونحن نستكشف تأثير التقنيات الرقمية على التفكير⁽²⁷⁾.

تقنيات في علم الأعصاب لتسجيل نشاط الدماغ والتأثير عليه

في تطوير استراتيجيات جديدة لاكتساب الخلايا العصبية والتنشيط، تطورت العمليات المعرفية مثل الرؤية والتذكر والتركيز وإعداد وتنفيذ الإجراءات. التأثيرات على التحسن المعرفي، والتحكم العصبي القابل للتفسير، و/أو تحفيز مناطق مستهدفة معينة من الدماغ، ولكن أيضاً مجموعة من المتغيرات الأخرى ذات الصلة، ليست الشرط الوحيد. وهذا يشمل إلى أي مدى تحتاج التكنولوجيا إلى أجهزة في الجسم، بالإضافة إلى عوامل وظيفية أخرى مثل كيفية الامتثال والأجهزة المكلفة، والتي تؤثر على فائدتها في تعزيز الإدراك البشري في الحياة اليومية. سنحلل هذه الابتكارات في الأجزاء التالية بمزاياها وعيوبها⁽²⁸⁾.

تقنيات تسجيل نشاط الدماغ

يعد تخطيط مغناطيسية الدماغ (EEG) والتحليل الطيفي الوظيفي للأشعة تحت الحمراء القريبة من أكثر الطرق غير الجراحية استخداماً لتسجيل النشاط العصبي. يراقب EEG الأقطاب الكهربائية المثبتة على فروة الرأس. تتمثل إحدى الفوائد الرئيسية لـ EEG في أنه يتمتع بدقة زمنية عالية جداً، وهو ميسور التكلفة نسبياً ومحمول للاستخدام عندما يتعلق الأمر بالاستخدام في الهواء الطلق مقارنة بتقنيات التسجيل غير الجراحية الأخرى. يكتشف التصوير بالرنين المغناطيسي الوظيفي fMRI الاختلافات في إمدادات الدم (التفاعل الديناميكي الدموي) في الدماغ، ويراقب وظائف الدماغ. الدقة المكانية أفضل بكثير في مقارنة EEG، لكن الدقة الزمنية صغيرة.

⁽²⁶⁾المرجع نفسه: ص 67.

⁽²⁷⁾المرجع نفسه: ص 67.

⁽²⁸⁾Anirban, D,C and Jitendre V,S,p.103.

للأسف، يتطلب التصوير بالرنين المغناطيسي الوظيفي للحصول على الإشارة مرافق كبيرة ومكلفة. لهذه الأغراض، عادة ما يكون غير مناسب لتطبيقات التعزيز البشري على الرغم من قلة الجهد لاستخدامه للاتصال. يستخدم التحليل الطيفي للأشعة تحت الحمراء القريبة fNIRS، مثل الرنين المغناطيسي الوظيفي، الاستجابة الديناميكية الدموية لتقييم موقع ومدة نشاط الدماغ. مزاياها الرئيسية هي الحجم المضغوط، والتكلفة الأقل من الرنين المغناطيسي الوظيفي، والحساسية الأقل للضوضاء الكهربائية من EEG. عززت هذه التقنيات تقنية التحسين المعرفي، لا سيما عندما تقترن بتقنيات مثل تحفيز الدماغ، لتحسين ذاكرة العمل المكانية. ومع ذلك، فإن FNIRS لديها قرارات ضعيفة بشأن المكان والزمان. MEG، الذي يستخدم عادة لتقييم وظائف مناطق دماغية معينة، وتحديد المناطق المتأثرة بالتشريح وكذلك الاستخدامات التشخيصية الأخرى، هي تقنية أخرى غير جراحية. ومع ذلك، على غرار التصوير بالرنين المغناطيسي الوظيفي، فإن MEGs ضخمة وتحتاج إلى مختبر محمي مغناطيسيًا ومكلفة. لهذه الأغراض، فإن MEG غير قابلة للتطبيق من أجل التعزيز البشري، على الرغم من اقتراح بعض التطبيقات بناءً على ذلك⁽²⁹⁾.

تتمتع واجهات الدماغ والآلة (BMIs) بالقدرة على استعادة الاستقلال لدى الأشخاص ذوي الإعاقة، ومع ذلك فإن الحل الوسط بين عدم الغزو والأداء يحد من أهميتها. BMI عالي الأداء يتم التحكم فيه بواسطة وحدات حركية فردية مسجلة بشكل غير جراحي من العضلة ذات الرأسين.

تستخدم الأجهزة الغازية أقطابًا كهربائية مثبتة إما على الدماغ أو على سطح الدماغ. لذلك، عادة ما تكون التسجيلات ذات الاستبانة الزمنية والمكانية اللائقة أقل تأثرًا بالضوضاء والتشوهات التي تسببها الجمجمة وفروة الرأس. ومع ذلك، فإن زرع الأقطاب الكهربائية ينطوي على عملية دماغية لجعل هذه الإجراءات مكلفة وتقديم مشاكل أخلاقية في المستقبل. تسجيل النشاط الكهربائي للدماغ (ECoG) هي تقنية غازية مثل EEG حيث يتم إجراء اختبار القطب الكهربائي المنتج عصبيًا مباشرة على الدماغ، على عكس أقطاب EEG الكهربائية. غالبًا ما تكون شاشات ECoG مجرد منطقة صغيرة جدًا من الدماغ للنشاط العصبي. ومع ذلك، توجد تطبيقات تعتمد على ECoG للتنمية البشرية المعرفية. على سبيل المثال، يقوم جيرهارد Gerhardt وزملاؤه ببناء أقطاب كهربائية غازية بأساسات من السيراميك. نظرًا لتخطيطها المكثف، توفر الأقطاب الكهربائية تسجيلات متعددة عالية الكثافة وعالية الدقة في مناطق الدماغ العميقة والتحفيز الكهربائي. طرق التسجيل الغازية لها الجانب السلبي لاختراق أجزاء صغيرة فقط من الدماغ، لكن التطورات الحديثة سمحت لنا بالنظر إلى مناطق أوسع. نظرًا لمخاطر جراحة

⁽²⁹⁾Ibid.p.104.

الأعصاب والمشاكل الأخلاقية ذات الصلة، فقد تم إجراء معظم الأبحاث حول الرئيسيات غير البشرية من خلال استخدام الأقطاب الكهربائية الدقيقة. تم إجراء⁽³⁰⁾.

في الواقع، في بناء بالقرب من مختبر غالانت، يقرأ الدكتور برايان بارسلي وزملاؤه حرفياً الأفكار. على الأقل من حيث المبدأ. شرح لي أحد الباحثين المساعدين، وهي الدكتورة سارا شيبانكسي، كيف باستطاعتهم تمييز الكلمات داخل العقل. استخدم العلماء ما دُعي بتقنية ECOG، والتي هي تطوير كبير على الإشارات المكثفة التي تنتجها مسجلات الـ EEG هذه غير مسبوقة من حيث الدقة ووضوح الاستبانة، لأن الإشارات تسجل مباشرة من الدماغ، ولا تمر عبر الجمجمة. لكن من ناحية أخرى، على المرء أن يزيح جزءاً من الجمجمة لوضع الشبكة التي تحتوي على 64 قطباً في شبكة 8*8، مباشرة فوق الدماغ المفتوح.

لحسن الحظ، تمكنوا من الحصول على إذن لإجراء تجارب مسوحات ECOG على مرضى الصرع الذين كانوا يعانون نوبات موهنة. وضعت شبكة ECOG على أدمغة المرضى، بينما أجريت جراحة الدماغ المفتوح من قبل أطباء من جامعة كاليفورنيا. سان فرانسيسكو القريبة⁽³¹⁾.

مع سماع المرضى كلمات مختلفة، تسري إشارات من أدمغتهم خلال الأقطاب ثم تُسجل. في النهاية، يشكل قاموس، بمطابقة الكلمات مع الإشارات التي تصدر من الأقطاب في الدماغ. بعد ذلك، عندما تنطق كلمة ما، يستطيع المرء أن يرى النمط الكهربائي نفسه. هذا التطابق يعني أيضاً أنه لو فكر المرء في كلمة معينة، يستطيع الحاسوب أن يلتقط الإشارات المميزة ويحددها.

بهذه التقنية قد يكون من الممكن الحصول على محادثة تحدث بالتخاطر. وأيضاً قد يتمكن ضحايا السكتة الدماغية المشلولون تماماً من التكلم خلال مخلق صوتي يدرك أنماط الدماغ للكلمات المختلفة.

ليس من المستغرب أن يصبح حقل اتصال الدماغ بالآلة BMI حقلاً مرعوباً فيه، تحقق مجموعات بحثية في مختلف أنحاء البلد فيه اختراقات مهمة. جرى الحصول على نتائج مماثلة من قبل علماء في جامعة يوتاه في العام 2011. وضعوا شبكات تحتوي كل منها على 16 قطباً فوق القشرة الحركية الوجهية (وهي التي تتحكم في حركات الفم والشفيتين واللسان والوجه) ومنطقة فيرنيك Wernicks area التي تعالج المعلومات حول اللغة⁽³²⁾. طلب من الشخص بعد ذلك أن يتفوه بعشرة كلمات شائعة مثل <<نعم>> و<<لا>> و<<حارة>> و<<باردة>> و<<جائع>> و<<عطشان>> و<<مرحبا>> و<<وداعا>> و<<أكثر>> و<<أقل>>. باستخدام الحاسوب لتسجيل إشارات الدماغ عندما يجري التفوه بهذه الكلمات. استطاع العلماء خلق علاقة واحد لواحد تقريبية بين

⁽³⁰⁾Formento, E., Botros, P., Carmena, J.J.B., A non-invasive brain-machine interface via independent control of individual motor units.2021,p.1.

⁽³¹⁾مينتشو كاكو: مستقبل العقل، ص88.

⁽³²⁾المرجع نفسه: ص89.

الكلمات المنطوقة وإشارات الحاسوب من الدماغ. بعد ذلك، عندما نطق المريض كلمات معينة، استطاعوا تحديد كل كلمة بسهولة بدقة تتراوح من 76 في المائة إلى 90 في المائة. الخطوة التالية هي استخدام شبكات بـ 121 قطباً للحصول على استبانة Resolution أفضل.

في المستقبل، قد يبرهن هذا الإجراء على فائدته بالنسبة إلى الأفراد الذين يعانون السكتة الدماغية أو أمراضاً مقعدة مثل مرض لو جيريج Lou Gehrig والذين سيستطيعون التكلم باستخدام تقنية الدماغ . حاسوب⁽³³⁾.

تطبيقات تكنولوجيا علم الأعصاب لتعزيز الإنسان

يفحص هذا الجزء التطبيقات الرئيسة لتكنولوجيا علم الأعصاب التي تزيد من الإدراك البشري. تأتي عديد من التطبيقات ضمن مجالين عامين: علم العمل العصبي وواجهات الدماغ والحاسوب (BCIs). يدرس علم العمل العصبي ويستخدم هذه الخبرة لتطوير الهياكل التي تسمح للناس بأداء أكثر أماناً وكفاءة في الأنشطة اليومية وأماكن العمل. بدلاً من ذلك، ركزت BCIs تاريخياً مزيداً من الاهتمام على تقديم طرق لتعويض الأشخاص الذين يعانون من إعاقات حركية خطيرة عن نقص أو فقدان الحركة، على سبيل المثال تمكينهم من تشغيل الأجهزة مثل الكراسي المتحركة أو مؤشرات الشاشة أو الاتصال عندما تكون طريقة الاتصال الطبيعية قد فقدت بشدة. هناك ارتباط كبير بين BCIs والأنظمة المريحة العصبية كمفهوم واسع لزيادة الإدراك البشري بالنظر إلى أي زيادة على الوظيفة المتاحة حالياً للشخص. الفروق الرئيسة هي فئة المستخدم ومجالات البرنامج التي تهم هؤلاء المستخدمين. ومع ذلك، أصبحت هذه الفروق أقل وضوحاً: بيئة العمل العصبية للتعافي، على سبيل المثال، واستخدمت BCIs لتعزيز الأشخاص غير الأكفاء في صنع القرار⁽³⁴⁾.

بالإضافة إلى ذلك، مع تطوير تقنيات BCI بشكل أكبر، فإن أجهزة تهجنة BCI وأنظمة التحكم في المؤشرات، والتي لا تزال قابلة للاستخدام للأشخاص الذين يعانون من تحديات خطيرة، ربما تكون «تنافسية» مع المنتجات المستخدمة حالياً من قبل العملاء. بالإضافة إلى ذلك، فإن التحكم العشوائي (أي ليس ناتجاً عن BCI على وجه التحديد) وسلوك اختلافات BCI الجديدة، مثل BCIs السلبية، يملأ الآن الفجوة بين بيئة العمل العصبية و BCIs. لهذه الأسباب، لن نحاول التمييز بين بيئة العمل العصبية والتطبيقات المتعلقة بـ BCI ولن نستبعد التطبيقات بناءً على حجم قاعدة المستخدم والبنية. بدلاً من ذلك، سنركز على الوظائف المعرفية التي يريد كل تطبيق تعزيزها⁽³⁵⁾.

الحاجة إلى BMI

(33) المرجع نفسه: ص 89.

(34) Anirban, D ,C and Jitendra, V,S, p.106.

(35) Ibid. p.106.

تعد واجهة التكنولوجيا القائمة على الدماغ موضوعًا متناميًا، وقد ركزت عديد من الشركات على الابتكار وتسهيل الأعمال اليومية. أحد المخاوف التي تظهر هو سبب الحاجة إلى أنظمة BMI؟ BMI تقنية متقنة، لكنها بالتأكيد تؤدي إلى وجود أسهل. وفيما يلي أسباب التركيز على هذه التكنولوجيا:

1. قد يكون التحكم في الجهاز أبسط من خلال أفكارنا
2. يستغرق اختيار المهمة بعض الوقت، في حين أنه من الأسهل تشغيل جهاز باستخدام الأفكار أو موجات الدماغ لدينا من الناحية الفنية
3. إعادة إنشاء خطوط اتصال الدماغ ومساعدة الأطراف الاصطناعية المتعلقة بالدماغ⁽³⁶⁾.

تمثل الأطراف الاصطناعية العصبية البصرية نهجًا لتوليد الإدراك البصري من خلال التحفيز المباشر للمسار البصري. عندما يتم إسقاط الضوء على شبكية العين، يتم تحويل المعلومات البصرية إلى نشاط الارتفاع العصبي عبر الخلايا المستقبلية للضوء، ويتم نقلها عبر الخلايا العقدية الشبكية إلى النواة الوراثية الجانبية للمهاد، ويتم نقلها إلى القشرة البصرية الأولية عبر المشابك العصبية. المبدأ الأساسي للأطراف الاصطناعية البصرية هو أن أي جزء من المسار البصري يمكن أن يتفاعل مع طرف اصطناعي يلتقط صورة المجال البصري عبر الكاميرا، ويرسمها بشكل صحيح في إشارات زمنية ومكانية محددة، ويحفز المسار البصري وفقًا لذلك. يحفز التحفيز في أبسط أشكاله إدراك بقعة من الضوء تسمى الفوسفين ويمكن استخدامه كلبنة لبناء تمثيل للمشهد البصري الذي ينقل معلومات مفيدة للتواصل والتنقل. يعتمد موقع التحفيز على أمراض العى ويتم اختياره بطريقة تتجاوز الجزء الضار من المسار البصري. تشمل مناهج الطرف الاصطناعي البصري الحالي تحفيز الشبكية والعصب البصري والنواة الوراثية الجانبية للمهاد والإشعاعات البصرية والقشرة البصرية. لا يزال عدد الأشخاص المؤهلين لأنواع مختلفة من الأطراف الاصطناعية غير واضح ويتطلب مزيدًا من التوصيف، ولكن بالنظر إلى الأطراف الاصطناعية الشبكية ودون الشبكية التي تقدم مدخلات حسية في أجزاء سابقة من المسارات البصرية بدلاً من التحفيز القشري، فمن المحتمل أن نفترض أن المزيد من المرضى سيستفيدون من تطوير استراتيجيات تتجاوز تمامًا المسار البصري المبكر⁽³⁷⁾.

حاجة أفراد BCI لإعادة إنشاء التحكم في المحرك والاتصال به

قد تسبب المجموعة الهائلة من الاضطرابات العصبية مثل الخلايا العصبية للمحرك وإصابات العظام الخلفية شللاً حركيًا شديدًا في العضلات، مما يقصر المرضى على الأجهزة الاصطناعية التي تتحكم فيها بعض

⁽³⁶⁾Ibid. p.106.

⁽³⁷⁾Niketeghad, S. and Pouratian, N.J.N., Brain machine interfaces for vision restoration: The current state of cortical visual prosthetics. 16, 1, 134–143, 2019,p.143.

العضلات، وبالتالي يشار إليها باسم «القفل». تتضرر القناة الطبيعية من الدماغ إلى الطرف، ويستخدم BCI لإعادة الاتصال بالتناوب. يمكن حتى استخدام أنظمة BCI من قبل شخص سليم لتشغيل التطبيقات في مجموعة من أنشطة المستخدم عبر إشارة الدماغ⁽³⁸⁾.

واجهة الدماغ والكمبيوتر الأبحاث غير الغازية في مركز وادزورث

استكشفت دراسة مركز Wadsworth طرقاً عديدة يستخدمها BMI للتحكم في مؤشر الكمبيوتر لتحليل مزاياه وإزعاجاته، بما في ذلك الإيقاع الحسي المباشر، والذي يمكن تكيفه مع الإمكانيات الناتجة عن التصوير الحركي والانحدار الخطي من خلال استخدام اختيار خصائص مجال التردد. كان الخيار الآخر هو المؤشر P300، الذي يركز على العلامة ويوفر مصفوفة يمكن فيها إنتاج محفزات ذات فترات متفاوتة. يتم استخدام طريقة الانحدار الخطي للسماح لتلك الإشارات، مثل مدخل التحكم، بتحريك المؤشر. وكشفت الدراسة أن BMI منهجية مطبقة وموجهة بالكامل إلى المستخدمين؛ تنظم خصائص EEG السرعة والدقة ومعدل البت وفائدة نظام BMI. الإيقاعات الحركية لأجهزة الاستشعار هي طريقة تستخدم نتائج فائقة في أنشطة إدارة التحكم في الشاشة، ولكن تم إقراض نظام P300-BMI من SMR-BMI⁽³⁹⁾.

يواجه العلماء في الدماغ والكمبيوتر في برلين إيقاعات حسية حركية نشطة، مثل تحريك اليد اليمنى أو اليسرى واستخدام النظام لتحديد حالات دماغ المستخدم. عند اختبارهم لنماذجهم المدربة، وصلوا إلى معدل نقل بيانات يزيد عن 35 بت في الدقيقة، وكان إجمالي المخرجات الإملائية 4.5 حرف في الدقيقة (بما في ذلك تصحيح الخطأ، وفحص التعليقات للمستخدمين غير المتدربين)⁽⁴⁰⁾.

تاريخ BMI

يرتبط تاريخ BMIs مباشرة بالسعي لإنشاء طرق كهربائية فسيولوجية جديدة لتسجيل النشاط الكهربائي خارج الخلية لمجموعات عصبية ضخمة باستخدام أقطاب متعددة. في الخمسينيات من القرن الماضي، كان جون كينغهام ليلي رائداً في تصميم BMI الحالي، وكان آنذاك باحثاً رئيساً في المعاهد الصحية الوطنية. تمكن ليلي من زرع 25-610 قطباً كهربائية على سطح القشرة الصنوبرية أو على سطحها في قروود الرئيسوس البالغة. إلى جانب التقاط إمكانات المجال (25 قناة في كل مرة)، استخدم ليلي أيضاً التيار الإلكتروني عبر هذه الأقطاب الكهربائية لاستنباط الحركة، حيث أظهرت الحيوانات مجموعة من الكفاءات والحالات (حركات الذراع والنوم وما إلى ذلك). ويلاحظ أن هناك عديد من المواقع القشرية، بما في ذلك M1 و S1، التي يمكنها استدعاء

⁽³⁸⁾Anirban, D,C and Jitendre, V,S.p.107.

⁽³⁹⁾Ibid.p.107.

⁽⁴⁰⁾Ibid.p.107.

استجابات المحرك. قرر ليلي أن التمييز بين المناطق القشرية لم يكن مميزاً، ومن المفترض أن يكون وحيداً حركياً أو حسياً. بدلاً من ذلك، قدم عرضاً لتحديد هذه الأقسام على أنها محركات استشعار. المرحلة المتوسطة التالية في تطوير فكرة BMI هي ظهور «الاستجابة البيولوجية لتخطيط كهربية الدماغ» أو «ردود الفعل العصبية»، التي تحظى بشعبية خاصة في عديد من البيئات التجريبية في الستينيات والسبعينيات⁽⁴¹⁾.

أشارت الدراسات إلى المشاركين حول نشاط دماغهم مثل التعليقات السمعية أو البصرية من بيانات EEG التي ساعدت في التنظيم الذاتي. في مرضى الحيوانات والبشر، قام ديفيد نوليس وجو كاميا بتسجيل وتحويل مخططات كهربية الدماغ إلى صوت. ساعدت هذه الأنواع من الارتجاع العصبي أولئك الذين سيطروا على أنشطة EEG الخاصة بهم. قام موريس ستيرمان بتحويل وإنجاز تقليل النوبات باستخدام هذا النوع من تدريب EEGs لمرضى الصرع في الضوء واللون. في عام 1963، قدم جراي والتر أول تجربة قدم فيها البشر نبضات دماغية لجهاز خارجي في مناقشات مع جمعية أوسلر في جامعة أكسفورد. قد لا تكون نسخة دينيت صحيحة تماماً أو يمكن التحقق منها، لأن والتر لم ينشر الخطاب بنفسه. ومع ذلك، تُظهر الأدبيات المنشورة أن والتر وزملائه زرعوا واستخدموا أقطاباً كهربائية متعددة (تصل إلى 1000) في القشرة في الغرسات العصبية لعدة أشهر لقياس إمكانات المجال القشري. في الاختبارات التي أوردتها دينيت، سجل والتر إمكانات الاستعداد للقشرة الحركية قبل الحركات. كان الضغط على الزر تلقائياً. قادت إمكانية الاستعداد للحركة حوالي نصف ثانية وكانت قوية بما يكفي لتحديد معدات التسجيل من والتر. ثم تمكن والتر من إنشاء اتصال مباشر بين القشرة الحركية لكل مريض وجهاز العرض. تم فصل المفتاح كهربائياً عن جهاز العرض وتم إرسال الشرائح بواسطة قدرات الاستعداد القشري الحركي في هذا الموقف التجريبي الذي نسميه الآن التحكم في الدماغ. تفاجأ المرضى أنه حتى قبل بدء الحركة جسدياً، كان رد فعل جهاز العرض على نيتهم⁽⁴²⁾.

بدأ والتر حوالي عام 1943، بمساعدة زوجته فيفيان، بصنع نماذج صغيرة من الروبوتات. واستخدم الزوجان الحاكمت الكهرومغناطيسية والأنابيب المفرغة كعناصر تبديل، إضافة إلى تروس التعشيق من العدادات القديمة، ومحركات كهربائية بسيطة كمشغلات ميكانيكية. كان والتر مهتماً بصنع مخلوقات آلية لا تظهر سلوكاً تلقائياً وعفويّاً فقط، بل استقلالاً ذاتياً وآلياً أيضاً. وبحلول عام 1948، نجح الاثنان في بناء أول سلسلة من الآلات التي أطلق والتر عليها اسماً بيولوجياً ساخراً هو << ماشينا سبيكيولاتريكس >> Machina Speculatrix (الآلات المفكرة)، وعرضها أمام مراسلي صحيفة (ديلي اكسبرس) في كانون الأول/ديسمبر 1949. في عامي 1950 و1951، نشر والتر مقالين قصيرين حول هذه الآلات في مجلة (سينتيفيك أمريكان) Scientific American، كان الأول

⁽⁴¹⁾Ibid.p.108.

⁽⁴²⁾Ibid.p.109.

بعنوان(محاكاة للحياة). وبدأ واضحاً من كتاباته الأخرى أنه يجد البهجة والسرور في الطريقة التي تتحرك وتستجيب بها الآلة للعالم الخارجي على شاكلة الحيوانات. ومثل فوكانسون وغيره ممن سبقوه، أثارت والتر فكرة صنع نسخة ميكانيكية عن الحيوان⁽⁴³⁾.

كانت الروبوتات التي صنعها والتر بحجم علبة متوسطة الحجم وبدأت كأنها حلزونات عملاقة: صدفة بلاستيكية مدورة لها رأس صغير بارز عند المقدمة. ودعيت هذه الآلات دوماً بـ (السلحفاة). في إحدى صفحات المسودة التي كتبها، يستشهد والتر بقول لويس كارول في (مغامرات أليس في بلاد العجائب): قالت موك السلحفاة غاضبة: (دعونا السلحفاة لأنه علمنا. أنت بليد حقاً!).

دعي الجيل الأول من السلحفاة التي صنعها والتر باسم (الآلات المفكرة)، لأنها أظهرت على ما يبدو (سلوكا استكشافيا ومتفكرا يميز معظم الحيوانات)، وكان لها أنبوبان مفرغان، وجهازان للإحساس (ضوء ومصد)، بالإضافة إلى المشغلين أو المحركين الميكانيكيين المعياريين.

أبسط أشكال السلوك الذي أظهرته السلحفاة هو انجذابها للضوء. فمحرك التوجيه يوقف عملية المسح كلما وجد ضوءاً معتدلاً أمام جهاز الإحساس مباشرة، وبذلك تبدأ الآلة بالتوجه نحو مصدر الضوء. ولربما تنحرف عرضاً حين يحرفها الدولابان الخلفيان عن اتجاهها، لكنها تبدأ آنئذ عملية المسح مجدداً، وسرعان ما تلتقط الضوء مرة أخرى، وتبدأ بالتقدم نحوه تدريجياً.

للسلحفاة أيضاً سلوك أساسي آخر. فحين يشغل المصد الحساس، يتم كبح المؤثرات الحساسة للضوء لفترة من الزمن وتزويد كلاً المحركين. بقوة ذبذبات كاملة، الأمر الذي يدفع السلحفاة إلى التحرك في (سلسلة متوالية من الحركات نحو الأمام، والخلف، والجانب إلى أن يوقف التداخل أو يطوق)⁽⁴⁴⁾.

يعمل كثير من الباحثين على تحسين أداء القوقعة الاصطناعية هذه، عن طريق زيادة عدد قنوات التردد المستخدمة، وتطوير درجة الحساسية في عملية تحليل إشارات الأصوات التي يتم تلقيها، والبحث عن طرق أفضل لزراعة قطبي الدائرة الكهربائية في أذن المريض. تأتي هذه التحسينات جميعاً استجابة لكل المتطلبات الطبيعية لسوق العمل الطبي، فهناك عديد ممن فقدوا القدرة على السمع نتيجة الإصابة بعلة ناجمة عن التعرض لمستويات مرتفعة من الضجيج، أو نتيجة العدوى، أو بسبب التدهور الطبيعي لصحة آذانهم. ولا يختلف استنباط التكنولوجيا الضرورية وتعميمها على البشر في هذا المجال عن أي نوع من أنواع الطب العلاجي، ولا يبدو أن هناك

⁽⁴³⁾بروني بروكس: ص 36.

⁽⁴⁴⁾المرجع نفسه: ص 37.

كثير من الحجج القادرة على الادعاء بأن استخدام التكنولوجيا بهذه الطريقة، ولهذه الأغراض، أمر سيئ أو يفقد المبرر الأخلاقي، ولذلك نتوقع له أن يستمر ويتطور باطراد⁽⁴⁵⁾.

في حين تجري تحسينات مستمرة على عمليات زرع قوقعة الأذن، يسير العمل قدماً في عديد من دول العالم للقيام بأول عملية زرع لشبكية العين في أشخاص كانوا مبصرين فيما مضى ثم أصيبوا بتلف في الشبكية. وغالباً ما يتم اختبار مرضى مصابين بتدهور الأداء الوظيفي لعضلة العين، وهو مرض مستفحل يصيب منطقة الحفيرة في الشبكية، ويجرد المريض تدريجياً من القدرة على رؤية التفاصيل الدقيقة، ويفقده في هذه الحالة إمكانية القراءة والتعرف على الوجوه، بحيث لا يستطيع في النهاية سوى تلقي إشارات وإيماءات مختلطة عبر الرؤية المحيطية. تصنع الشبكية المزروعة من السيليكون، وهي أشبه ما تكون بنقاط الصورة المصفوفة داخل كاميرا فيديو أو كاميرا رقمية، والهدف منها تجميع الضوء في النقاط الإلكترونية للصورة، ومن ثم إرسال المعلومات إلى الخلايا العصبية المناسبة في العصب البصري، الذي يتلقى هذه المعلومات عادة من الشبكية مباشرة فيما لو بقيت بحالة سليمة⁽⁴⁶⁾.

إن اختبارات والتر قد يُنظر إليها على أنها أول عرض لفكرة بناء محتملة لـ BMI ، إلا أنه لم ينشر أو يفسر هذه النتائج في سياق BMI ، على الرغم من أنه بحث عن روبوتات الدماغ الاصطناعية في حياته المهنية السابقة في الخمسينيات من القرن الماضي. في أواخر الستينيات، بدأ الباحثون في مختبر التحكم العصبي للمعاهد الوطنية للصحة في تجربة خيار استخدام تسجيل الخلايا العصبية القشرية للتحكم في المشغلات الاصطناعية. كما هدفوا إلى استخدام الروابط المباشرة بين الأدمغة والمعدات الخارجية لإعادة السمع إلى الشخص الباقي على قيد الحياة، والشخص المصاب بشلل نصفي، والشخص الأعشى. أجريت الدراسة في جامعات وكليات طبية محددة، بالتعاون مع مقاولين فرعيين. «سنركز على إنشاء مفاهيم وطرق لتشغيل الأجهزة الخارجية مثل الأجهزة التنبؤية ومعدات الاتصالات ومشغلي الاتصالات وربما حتى أجهزة كمبيوتر معلومات الجهاز العصبي». قال كارل فرانك، رئيس مختبر المعاهد الوطنية للصحة. وضع فريق المعاهد الوطنية للصحة في البداية في القشرة الحركية الأولية خمسة أقطاب كهربائية دقيقة (M1) تحتوي على إشارات ثم رأى جهد العمل الناتج عن الخلايا العصبية⁽⁴⁷⁾.

نظراً لأن هذه النبضات العصبية تُرجمت في النهاية إلى حركة جهاز خارجي، فحص الباحثون ما إذا كان النشاط المسجل للمجموعات العصبية الصغيرة قد يتوقع حركات المعصم في هذه العملية. كخوارزمية تنبؤ، استخدموا انحدار خطي متعدد. بعد 10 سنوات من التحقيق، أظهر في الوقت الفعلي حركة المؤشر على شاشة

⁽⁴⁵⁾المرجع نفسه: ص334.

⁽⁴⁶⁾المرجع نفسه: ص335.

⁽⁴⁷⁾Anirban, D, C and Jitendra, V, S, p.109.

LED بواسطة قرد ريسوس باستخدام نشاطه العصبي كمصدر حركي مباشر بحجم 12 قطبًا كهربائيًا دقيقًا مزروغًا في M1 بسرعة 37 ميلًا في الساعة. في نهاية الستينيات، عندما استخدموا النشاط الكهربائي للخلايا العصبية الفردية كارتداد عصبي في القرد M1، شارك إبيرهارد فيتز وزميله الباحثون. باستخدام هذا النظام، تعلمت القروء كيفية التحكم في نشاط الخلايا العصبية. عادة، تم اختبار خلية عصبية واحدة في نفس الوقت. ردود الفعل من الجمهور (انقر لكل نقطة) أو ردود الفعل البصرية (المنقولة إلى معدل النشاط العصبي). تعلمت القروء التحكم في نشاط كل خلية عصبية M1 عن طيب خاطر لتحقيق مستوى إطلاق معين مطلوب للحصول على مكافأة. استخدم بريندلي Brindley وكراجز Craggs تسجيلات فوق الجافية لإمكانات المجال القشري في نطاق التردد من 80 إلى 250 هرتز لدى الأطفال لبحث إمكانيات تطوير علاج عصبي للمحرك يكشف عن العمل الفريد لتوليد الذراع والساق. استخدم كراجز أيضًا قروء البابون متوسطة الصدر مع تحويلات كاملة للعمود الفقري كنموذج للشلل النصفي البشري وأوامر مسجلة من صور القدم القشرية المباشرة المنفصلة عن منطقة تصوير الحبل الشوكي. بحثت هذه المختبرات أيضًا في استخراج و/أو إنشاء الارتجاع العصبي من الإشارات الحركية للدماغ، وهي منطقة ركزت على توفير المعلومات للدماغ، سواء على الجهاز العصبي المحيطي أم المركزي، عن طريق التحفيز الكهربائي. أدى هذا الاكتشاف إلى محاولات مبكرة لإنشاء BMI الحسي لاستعادة التصورات الطبيعية لأولئك الذين يعانون من مشاكل عصبية أنتجت عجزًا حسيًا كبيرًا. أخيرًا، أسفر هذا البحث الرائد عن أبرز النتائج على غرسات القوقعة⁽⁴⁸⁾.

انظر في عاقبة ازدرع قوقعة الأذن المتواضع. الازدراعات القوقعية، والتي تستخدم بالفعل على نطاق واسع، تحاكي إلكترونيًا العصب السمعي. تتيح هذه الأجهزة للكثير من البشر الصم بصورة بالغة السماع من جديد. ومع ذلك، فإنها محدودة في الوقت الحالي لأنها تتطلب وجود عصب سمعي سليم وغير متجدد. عالج فريق أبحاث في باسادينا يقوده دوجلاس مككريري Douglas McCreery من معاهد أبحاث هانتيجتون الطبية هذه المشكلة بإنشاء نوع جديد من الازدرع يتخطى العصب السمعي ويتصل مباشرة بجذع المخ. وتم، في الواقع، استخدام أنواع أكثر سبقاً من هذه الأجهزة أحياناً، لكن الأداء كان غير مثير لأن هذه الموجة الأولى من مزدراعات جذع المخ كانت تستخدم فقط مجموعة من الاتصالات السطحية. إلكترونيات مسطحة توضع على سطح جذع المخ بالقرب من النوى القوقعية الجوفية. ومع ذلك، يتم تسوية التمييز السمعي للترددات بواسطة طبقات مرتبة من النسيج العصبي داخل النوى. للانتفاع من معلومات التردد (لتمييز تردد الأمواج الصوتية) تحتاج إلى تغذية معلومات بصورة تفاضلية في الطبقات المختلفة لهذه البنية العصبية، حيث محاكات الطبقات الأعمق ينتج عنها الإدراك السمعي

⁽⁴⁸⁾Ibid.p.110.

لترددات أعلى.. إلخ. بذلك يصل الازدراع الذى كان مككريرى رائدة إلى ما هو أعمق من تلك النماذج الأقدم ذات الاتصال السطحي، لينتهى إلى ستة إلكترونيات بالغة الصغر من الإيريديوم يخترق كل منها جذع المخ عند عمق مختلف. تتألف المنظومة الكاملة من معالج كلام خارجي مع مستقبل مزروع أسفل فروة الرأس، متصل بالأسلاك مباشرة بستة أعماق مختلفة في النوى القوقعية الجوفية. وتم بالفعل تجهيز قطة في معهد هانتينجتون، تبعاً لعالم الأعصاب والكاتب العلمى سيمون ليفاي، بالمنظومة الجديدة وانضمت بذلك إلى روز في "قاعة الكيانات السبرانية الشهيرة"⁽⁴⁹⁾.

مع ذلك، لن تكتمل القائمة دون بروفيسور معين خارج على الجماعة. خطوتنا التالية بذلك هي قسم السبرانية في جامعة ريدنج، في إنجلترا. من المدهش إلى حد ما أن نجد، في أيامنا هذه، قسم للسبرانية على أى حال. كانت قد اختفت في الغالب في بداية الستينيات، لكى يحل محلها أقسام علم الحاسب، وعلم الإدراك، والذكاء الاصطناعي، لكن المفاجأة الحقيقة أن نجد، في قسم السبرانية هذا، بروفيسيراً مصمماً على تحويل نفسه إلى كيان سبرانى جيد من الموضحة القديمة من اللحم والأسلاك. اسم البروفيسور هو كيفين وارويك Kevin Warwick، وبكلماته الخاصة:

ولدت إنساناً. لكن هذا كان صدفة قدرية. حالة ليست سوى المكان. وأعتقد أنه من المهم أن لدينا القدرة على التغير⁽⁵⁰⁾.

ترجع بداية تحول وارويك الشخصى إلى 1998، مع ازدراع رقيقة سيليكون بسيطة بالفعل، مغطاة بأنبوب زجاجي، تحت المعصم وعلى قمة عضلة في ذراعه اليسرى. يرسل هذا الازدراع اشارات راديو، عبر هوائى موضوع بحسن تدبير حول القسم، إلى حاسب مركزي يستجيب بفتح أبواب عندما يقترب، بتشغيل وغلق دوائر كهربائية.. إلخ. كان هذا، بالطبع، مادة بسيطة تماماً وكان يمكن إنجازها بشكل أكثر سهولة بكثير باستخدام جهاز بسيط (علامة ذكية أو بطاقة) مثبت بحزامه أو مثبت بدبوس في طية صدر سترته. الهدف من التجربة. مع ذلك، كان اختبار القدرة على إرسال واستقبال إشارات عبر مثل هذا الازدراع. عمل بشكل جيد، وقال وارويك حتى في هذه الحالة البسيطة إنه أصبح يشعر بسرعة "مثل المزدرع في جسده"، أن يشعر، حقاً، بأن جسمه البيولوجي كان جانباً واحداً من منظومة تشغيل أكبر، وأكثر قوة وأنسجماً. وقال إنه كان من الصعب التخلص من الازدراع عندما جاء وقت إزالته⁽⁵¹⁾.

(49) المرجع نفسه: ص 271.

(50) المرجع نفسه: ص 272.

(51) المرجع نفسه: ص 272.

في الوقت نفسه، أحرز بعض التقدم في إنشاء طرف اصطناعي بصري قشري تقوده مجموعتنا بريندلي ودوبيل. استخدم هؤلاء الباحثون التيار الكهربائي في شبكات الأقطاب السطحية للقشرة البصرية للمكفوفين. باستخدام هذا الجهاز، قد يشعر المكفوفون ببقع الضوء والفوسفينات ويميزون الأشياء البصرية الأساسية متعددة الوظائف. بدأ باخ واي ريتا وزملاؤه في تطوير أنظمة استبدال بصري عمياء في الستينيات، بناءً على التحفيز اللمسي للجلد على ظهر المريض. كان هذا النهج يسمى استبدال رؤية عرض الصورة باللمس. تتكون المعدات المستخدمة من 400 محفز سولينيود، والتي تم ترتيبها في نطاق 20×20 . تم استخدام التحفيز اللمسي لإعادة إنشاء الصور المرئية التي تم الحصول عليها بواسطة كاميرا فيديو، باستخدام حاسة اللمس، على سطح ظهر المريض. بعد التدريب لمدة 10 ساعات، تعلم المرضى المكفوفون تمييز العناصر ووضعها في الفضاء ومناطق الجذب، مثل إطار مدخل الغرفة⁽⁵²⁾.

أصبح تخطيط كهربية الدماغ (EEG) أداة تصوير دماغية قياسية بسبب جدواها لتسجيل نشاط الدماغ. عادة، تم تحليل EEG عن طريق قياس التذبذبات العصبية وتأهيلها. بشكل عام، يمكن تعريف «التذبذبات العصبية» على أنها أنماط مكانية وزمنية وطيفية مرتبطة بعمليات إدراكية وحركية وعاطفية معينة. قامت مجموعة كبيرة ومتنامية من الأدبيات بالتحقيق في التذبذبات العصبية كميزة EEG في جميع الاتجاهات: من وجهات النظر العصبية إلى التكنولوجيا. فيما يتعلق بعلم الأعصاب، فإن البحث في استجابة الدماغ له تاريخ طويل. تمت دراسة استجابات الدماغ تقليدياً على أساس التجارب المتعلقة بالحدث، حيث تم تحليل الاستجابات المقفلة زمنياً والمقفلة تدريجياً (أي الإمكانات المتعلقة بالحدث) جنباً إلى جنب مع الاستجابات المقفلة زمنياً ولكن ليست ضرورية (أي التزامن المرتبط بالحدث) بشكل أساسي. في حالة التكنولوجيا، أخذ البحث في الواجهات العصبية دوراً رائداً. الواجهة العصبية هي نظام يسمح بإعادة دمج الحلقة الحسية الحركية، والوصول مباشرة إلى معلومات الدماغ. هناك ثلاثة أنواع رئيسية من الواجهات العصبية: (1) الواجهات الحسية، التي تنشط النظام الحسي بشكل مصطنع؛ (2) الوصلات البينية المعرفية، التي تحاول إعادة إنشاء اتصال الشبكات العصبية؛ (3) الواجهات الحركية، التي تترجم التذبذبات العصبية إلى أوامر تحكم لجهاز ذي أهمية. على وجه الخصوص، تُعرف الواجهات الحركية باسم واجهات الدماغ والآلة (BMI)⁽⁵³⁾.

BMI هي تقنية قيد التطوير تعدل إدراك المستخدمين من أجل فك شفرة نواياهم عن تذبذباتهم العصبية، وبالتالي إحداث نوع من التنشيط. يمكن التلاعب بالإدراك البشري بنشاط من خلال المهام العقلية، أو بشكل

⁽⁵²⁾Anirban , D , C and Jitendra, V, S, p.110.

⁽⁵³⁾Alonso-Valerdi, L. M., & González-Garrido, A. A.. Characterizing Motor System to Improve Training Protocols Used in Brain-Machine Interfaces Based on Motor Imagery. InTech. doi: 10.5772/intechopen.72667, 2018,p.58.

تفاعلي خلال تطبيق التحفيز الخارجي (البصري أو السمعي أو الحسي الجسدي). عادة ما يتم فك تشفير نوايا المستخدمين عن طريق تقليل ضوضاء إشارة EEG، واستخراج الميزات الفسيولوجية العصبية المرتبطة بالمهمة العقلية أو المحفز الخارجي قيد الاستخدام، وتكييف نموذج رياضي باستخدام هذه الميزات. بمجرد معايرة النموذج، يحاول BMI التنبؤ بنوايا المستخدمين من أجل تحقيق التنشيط بطرق مختلفة، بما في ذلك إعادة التأهيل العصبي، والاتصال، والأطراف الاصطناعية العصبية، والبيئات الدوموتيكية، أو ردود الفعل العصبية. باختصار، BMI هو تفعيل التطورات البحثية في علم الأعصاب⁽⁵⁴⁾.

تفسير BMI لتكامل التعلم الآلي

واجهات الدماغ والآلة (BMIs)، لبناء روابط بينية ثنائية الاتجاه في الوقت الفعلي بين الأدمغة الحية والمشغلات الاصطناعية بالترتيب، ودمج المنهجيات والأفكار والمفاهيم الناشئة عن الفيزيولوجيا العصبية والمعلوماتية والتكنولوجيا. في حين أن بعض المقترحات النظرية والتجارب المفاهيمية مع الارتباط المباشر للأدمغة بالآلات نشأت من أوائل الستينيات، بدأ بحث BMI فقط في نهاية التسعينيات عندما كانت تقنيات الفيزيولوجيا العصبية الجديدة لمراقبة نشاط الدماغ على نطاق واسع مرتبطة ارتباطاً وثيقاً بهذه المفاهيم⁽⁵⁵⁾.

يتمثل هدفها الأساسي في (1) اكتشاف واستخدام مبادئ التشغيل والصفات المرنة للدوائر الديناميكية الموزعة في الدماغ و (2) إنشاء علاجات مبتكرة لاستعادة الحركة والأحاسيس للأشخاص المتضررين بشكل خطير. نشأت مجموعة واسعة من تطبيقات BMI في العقد الماضي، مما أدى إلى توسيع نطاق هذه الأهداف الأساسية بشكل كبير. كشفت أبحاث BMI أن الروبوتات والمشغلات الافتراضية تمارس التحكم في الدماغ على الحركات التي تؤديها أنشطة الأطراف العلوية والسفلية. تتضمن BMIs أيضاً طرقاً لإعادة المدخلات الحسية من محركات الدماغ الخارجية. أدت أبحاث BMI إلى عديد من النتائج الفسيولوجية العصبية، بما في ذلك الأدلة على جدوى دمج الأدوات الاصطناعية من خلال الاستخدام المستمر لنظام دماغ القرد. ساعد العمل على BMIs في اكتشاف تقنيات جديدة لإعادة تدريب أطباء الأعصاب. أدى هذا الجهد إلى التعافي العصبي الجزئي من الاستخدام المستمر طويل الأمد ل BMIs في الأفراد الذين يعانون من إصابة في النخاع الشوكي. تُستخدم المعرفة التي يقدمها القياس عن بُعد للمدخلات والأجهزة لاستدعاء هذه الخوارزمية. قد يوفر هذا بيانات عن الحالة الحالية أو البيانات الخارجية عن إعدادات إخراج النظام المحسوبة بواسطة أجهزة استشعار BMIs. استجابةً للمحفزات، على سبيل المثال، المقاييس الفسيولوجية للخوارزميات الأخرى خارج نظام التعلم الآلي BMI، مثل الاستجابات للمسية أو البصرية الحاسوبية أو المعلومات الداخلية للتحفيز الحالي أو الأنظمة الضوئية لتتبع الأجهزة. في المعلومات الداخلية

⁽⁵⁴⁾Ibid,p.58.

⁽⁵⁵⁾Anirban,D,C and Jitendra,V,S,p.111.

للخوارزميات، يعرضون باستمرار متغيرات مثل طول النبض وسعته، ومعدلات التحفيز، واستخدام الطاقة في النظام، وكثافة التحفيز أو التسجيل، والخصائص الكهربائية (المقاومة، والمعوقات) للأنسجة العصبية، والكميات المستمرة أو شبه الدائمة من العوامل الكيميائية الحيوية مثل النقل العصبي. لا أحد منهم يستبعد بعضه البعض بالطبع. وينبغي تقديم معظم أنواع المعلومات وتدقيقها بالإضافة إلى قرارات أخذ العينات، ولكن من المرجح أن تختلف. بحيث ينتج BMI النتائج المثلى، والتي تتغير ديناميكياً كمتطلبات من سياقات خارجية، يمكن لخوارزميات التعلم الآلي التعرف على الأنماط والظواهر الدقيقة وغير المنتشرة (مثل العلاجية أو التشغيلية). وهذا يشمل البنى والخوارزميات غير المتصلة بالإنترنت، وتنفيذها، والاختبار في بنية BMI. يجب أن تكون خوارزميات مساحات المعلومات غير المناسبة قادرة على تمييز الأنماط في البيانات عبر الإنترنت. ستقرر الخوارزميات المذكورة أدناه ما إذا كانت هذه البيانات ستستخدم بشكل منفصل. هذه الخطوة ليست جزءاً من مخطط واجهة الدماغ ويمكن إنجازها باستخدام خوارزميات السحابة إذا كان عرض النطاق الترددي ضرورياً. ومع ذلك، فإن خوارزميات التعلم الآلي التي تصنف التصميمات داخل البيانات ستستخدم بلا شك في الوقت الفعلي لردع اللوحة. سيتم القضاء على أوقات نقل البيانات والقدرة غير الكافية. بسبب القيود المادية، قد تكون هناك حاجة أيضاً إلى بيانات أقل على الجهاز مما يمكن الحفاظ عليه فعلياً⁽⁵⁶⁾.

التعلم الإلكتروني يعد أداة جديدة نسبياً تتمتع بإمكانية تحسين معدلات المشاركة والتحصيل في التعليم بشكل جذري. وتشمل الفوائد القدرة على تكييف التعلم وفقاً لاحتياجات الفرد، والمرونة للسماح للفرد بالتعلم وفق الوتيرة والوقت المناسبين له، ومن مكان مادي يناسبه بالشكل الأمثل. ومن خلال التعلم الإلكتروني تصبح لدينا الفرصة التي تتيح للجميع الحصول على التدريب والتعليم المناسب والرفيع المستوى.

توفر التكنولوجيا الرقمية كما يوضح هذا الاقتباس وسيلة جاهزة لتصوير التعليم المعاصر على أنه شكل من أشكال التعلم الأقل سوءاً من السابق. ومن خلال التكنولوجيا الرقمية يُزعم أن المتعلمين يتمتعون بمستويات متزايدة من الوصول إلى مجموعة متنوعة من فرص التعلم، فضلاً عن حرية تحديد الخيارات التعليمية التي تناسب احتياجاتهم. وعبر التحالف مع مفاهيم (موت المسافة) Death of Distance و(انضغاط الزمان والمكان) Time-Space Compression التي يُنظر إليها على أنها تميز الحداثة المتأخرة، تُقدم التكنولوجيا الرقمية على أنها هي التي حررت التعلم من عديد من (الاحتكاكات) المثبطة للفضاء والمكان. لذلك يُعتبر أن التكنولوجيا تسمح

⁽⁵⁶⁾Ibid,p.112.

بحدوث التعلم في الأوقات والأماكن التي تناسب المتعلم الفرد على أفضل وجه، من دون أن يثقل كاهله أي من التزامات الأسرة أو المنزل أو العمل⁽⁵⁷⁾.

وبالمثل، يُنظر إلى التكنولوجيات الرقمية، من حيث تحديد الوتيرة، على أنها تمنح الأفراد حرية القرار في (تسريع) و (إبطاء) تعلمهم وفق ما تقتضيه احتياجاتهم. وإجمالاً، فإنه يُعتقد أن التكنولوجيات الرقمية أدت إلى التخفيف المطلوب بشدة للقيود على عملية التعلم.

إن ما يكمن وراء هذه الحماسة هو تصور أن التكنولوجيات الرقمية تتيح للمتعليم الفرد زيادة معدل الوصول إلى فرص (التعلم غير الرسمي) Learning informal. ويوصف مفهوم التعلم غير الرسمي بدقة أكثر أنه التعلم الذي يحدث خارج إطار نظام التعليم الرسمي، بما في ذلك نطاق التعلم (غير المقصود في كثير من الأحيان) الذي تحفزه المصالح العامة والذي (يُكسب ولا يُدرس). يُنظر إلى التكنولوجيات الرقمية على أنها تساعد بنحو خاص، على التعلم غير الرسمي بالنظر إلى عام الترابط المفعم بالإمكانات>> والذي يرتبط عادة بالعصر الرقمي. وهنا يُمكن النظر إلى الروابط المعززة بين الأشخاص والأماكن. والمنتجات، والخدمات على أنها سهلت أشكالاً جديدة من التكتاف المجتمعي Communitarianis، ومن ثم فرصاً جديدة لتبادل الخبرات والمعرفة والحكمة الشعبية بنحو غير رسمي. وفي حين سهلت أجهزة الحاسبات الآلية المتصلة بشبكة الإنترنت منذ فترة طويلة>> التعلم العرضي>> Learning incidental والتعليم الذاتي، فإن الاتجاه نحو إنشاء المعرفة وتبادلها بنحو غير رسمي عبر التكنولوجيات الرقمية يزداد أخيراً من خلال الاستخدام المتزايد لما يطلق عليه <<البرمجيات الاجتماعية>> Social Software؛ إذ يتواصل المستخدمون ويتعاونون بعضهم مع بعض عبر تشكيلة من التفاعلات الجماعية. وأحد المبادئ الأساسية لما يُسمى بمرحلة الجيل الثاني من شبكة الإنترنت يتمثل في إنتاج واستهلاك المحتوى الذي يحمل طابع القراءة والكتابة ويتميز بتعدد الأطراف. في ظل هذه الشروط المعاد تحديدها لم تعد المعرفة مملوكة للأوصياء الرسميين، ولكن يمكن للجميع إنشاؤها والوصول إليها⁽⁵⁸⁾.

لاتخاذ قرار مستقل للآلة، لا يمكن تسجيل البيانات إلا لفترة محدودة، عادةً كنافذة متحركة تتوافق مع قوة المعالجة للخوارزمية. قد يكون هذا مفيداً أو ضرورياً أيضاً، ومع ذلك، قد لا يكون نظام BMI ضرورياً للتحليل خارج الإنترنت لتخزين بيانات أو أنواع معينة من البيانات. على سبيل المثال، لفهم سبب اتخاذ الآلات للقرارات والنتائج الصحية لتلك القرارات. تكمل هذه الخطوة عملية الإغلاق: يتم تزويد الخوارزميات بالمعرفة والتعلم، والتعرف على الأنماط، والقرارات التنفيذية المستقلة التي بدورها تغير أداء واجهة الدماغ والحاسوب ديناميكياً

⁽⁵⁷⁾نيل سيلوين: إعادة النظر في التعليم في العصر الرقمي، ضمن كتاب علم الاجتماع الرقمي، عالم المعرفة، الكويت، 2021، ص246.

⁽⁵⁸⁾المرجع نفسه: ص 247-248.

وكيفية تواصلها مع العالم الخارجي. في الأطراف الاصطناعية العصبية، BMI غير الجراحي هو موصل لنظام AR أو VR. أدركت العديد من المجموعات البحثية الوعد في وقت مبكر وتقوم بالتحقيق في كيفية تأثير التدريب على الكمبيوتر على التحفيز العصبي والجمع بينه وبين التعليقات. ابتكر جيربي والمتعاونون تقنية منهجية للتعرف على الإشارات ذات الصلة بالحركة باستخدام التعلم العشوائي، وتحديدًا لتطبيقات BMI. وعلى وجه الخصوص، لا يحتاج مصنف التدريب في BMI إلى برمجة مسبقة بمعلومات شاملة. تم استكشاف طرق مختلفة للمعالجة المسبقة وبنى الشبكات العصبية في تحليل حديث لمهام تصنيف EEG. ومن المثير للاهتمام أن تحليل البيانات بالاقتران مع مرحلة ما قبل المعالجة لدراسة خصائص حفظ الطاقة الطيفية لنظام الأقطاب الكهربائية قد اعتبر مناسبًا في بنية شبكات سهلة بشكل معقول. وقد تمكنوا من المشاركة في تكييف التدريب على البيانات خلال نهجهم لتحقيق التصنيف عبر الإنترنت. بحث آخر له منهجية متصلة. قد تكون قدرة الكمبيوتر على تعلم التعديل في الوقت الفعلي تقريبًا نتيجة المدخلات الفسيولوجية وغيرها من مدخلات الأجهزة الداخلية مثل ردود فعل خوارزميات المعالجة الداخلية الأخرى إحدى المزايا الرئيسية لـ BMI. تحتوي معظم BMIs على جهاز فك تشفير يفك شفرة الإشارات العصبية ويجعلها منطقية للإخراج القابل للتنفيذ. يتطلب هذا عادةً تدريبًا مكثفًا تحت الإشراف لتحسين تمثيل الإشارات العصبية التي يتم التقاطها حتى يتمكن جهاز فك التشفير من مساواة الإشارات المكتشفة بشكل صحيح مع المخرجات والأوامر المتوقعة. يتضمن هذا عادةً فنيًا أو طبيبًا يتلقى أيضًا ملاحظات المريض. ونادرا ما يجري التدريب والتعديلات في نهاية المطاف يوميا وتتطلب وقتا. بالإضافة إلى ذلك، تقتصر الإشارات العصبية التي تخطط المخرجات على بيانات التدريب التي يتعرض لها النظام أثناء التدريب⁽⁵⁹⁾. وهذا يقلل بشكل كبير من قدرة BMI على الاستجابة في الواقع لظروف معينة متغيرة. سيتم بعد ذلك تقليل تعدد استخداماتهم بشكل كبير للمرضى عند حدوث مضاعفات. استند العمل المبكر إلى إدخال إشارات استشعار خارجية لحساب خطأ بين إخراج الجهاز والهدف المقصود المتحكم فيه. تم استخدام العلامات البصرية والسمعية. على الرغم من أن هذه الأساليب مقيدة بشكل صارم لأنها تنطوي على ردود فعل مستمرة لهدف مرجعي تعسفي لتغيير رسم الخرائط إلى مخرجات BMI. في الآونة الأخيرة، تم حل بعض هذه المضايقات خلال تعديل مقاييس المخرجات لمناهج التعلم غير المراقبة مثل الأساليب الرياضية البافارية وتحسين التعلم التي لم تتم الإشارة إليها خارجيًا. لكن في معظم الحالات، تتطلب فترات طويلة من التحضير. يمكن لأحدث الدراسات على وجه التحديد فحص وتكييف الإشارات العصبية الداخلية في حلقات ردود الفعل المغلقة المتكررة باستخدام BMI كمصدر

⁽⁵⁹⁾Anirban,D,C and Jitendra,V,S,p.113.

للتدريب. يقوم شافارياجا Chavariagga وزملاؤه، على سبيل المثال، باستكشاف تقنية تسمى تعلم تقوية الفعل النقدي والتي لا تتطلب إشارة خطأ خاضعة للإشراف⁽⁶⁰⁾.

بشكل عام، لا يزال التعلم الآلي قيد الدراسة في مجال BMI والأطراف الاصطناعية العصبية على وجه الخصوص. يتمثل أحد التحديات في عدم وجود الحل الصحيح للقيود التي وضعها BMI خلال النهج الحديثة الرئيسة، مثل التعلم العميق، والتي حققت نجاحًا كبيرًا في التطبيقات الأخرى. بانوتشيو وآخرون Panuccio (2018)) نشر أيضًا تقريرًا ممتازًا في مقال حديث يحدد الحالة الحالية وتحديات الهندسة العصبية، بهدف استعادة الوظيفة العصبية، بما في ذلك مجموعة من المعايير ذات الصلة الموضحة في هذا التقرير، والتي ستحتاج إلى معالجة الخوارزميات الجديدة و التعلم الآلي. يعد احتمال إنشاء BMIs التي يمكن أن تتفاعل مع ظروف المكان والزمان اللازمة لتحقيق نتائج واقعية عاملاً مهماً، لأن تقنيات التعلم الآلي هذه تجعل الأساليب الأخرى مستحيلة. القوة المثلى للمحفزات المطلوبة للاستجابة للأهداف في الخلايا العصبية هي عامل معقد للتحفيز العصبي وقد لا تكون أعلى كثافة تحفيز ممكنة للنظام. يمكن الاستجابة لكثافة المحفزات بطريقة معقدة، والتي تعتمد أيضًا على علم وظائف الأعضاء وعلم الأمراض الأساسي⁽⁶¹⁾.

بالإضافة إلى ذلك، يمكن أن تختلف الكثافة المثلى للمحفزات من شخص لآخر وتحت مرض شائع، ومع الانتقال في علم وظائف الأعضاء وتكييف الجسم مع الظروف المعدلة، يمكن أن يتغير المرض بشكل كبير في مريض معين. قد يكون هذا بسبب العمر أو العوامل الخارجية مثل استجابة المريض للأدوية الأخرى والنظام الغذائي والاضطرابات النفسية. عامل آخر يجب تذكره هو الأجهزة والخوارزميات الأخرى التي تستخدم المعرفة العصبية المعروفة أو المحسوبة للتواصل مع الدماغ، الذي له متطلبات قياس مختلفة. يعتمد ذلك على المشكلة الخارجية وكيفية استخدام البيانات العصبية. ويمثل التقرير القدرات التقنية والقيود المفروضة على البيانات الخارجية التي تتطلب تكنولوجيا. يمكن أن تؤدي العينة إلى تجربة AR/VR خادعة أو خاطئة أو لا يستطيع المريض دون إعاقة التواصل بدقة أو في الوقت المناسب. النتائج متاحة أيضًا. سيستغرق أخذ العينات الزائدة وقتًا وموارد للحساب. قد تتأثر الدقة المحددة تجريبيًا لنموذج الكمبيوتر لكيفية تقييم النظرية وفهمها بمشاكل قياس البيانات في إعداد الاختبار. قد يكون للعلاج أو الخيارات العلاجية الأخرى تأثير سريري. يأخذ التغيير في بارامترات قياس الوقت والمكان التي يحتاجها BMI الخارجي القضايا الظرفية، والتي لا يمكن بعد النظر فيها بشكل كبير من خلال الحالة الحالية لمبادئ الصناعة. يتيح لك دمج التدريب على الكمبيوتر والذكاء الاصطناعي مع BMI

⁽⁶⁰⁾Ibid.p.113.

⁽⁶¹⁾Ibid.p.114.

للتكنولوجيا النانوية النظر في الأسئلة الصعبة بيئياً وتطويرها والاستجابة لها مثل معايير التوسع المعقدة لمواجهة هذه التحديات من الناحية الفنية⁽⁶²⁾.

يتم قياس النشاط خارج الخلية لعدة مئات من الخلايا العصبية في عديد من المناطق القشرية التي تتضمن التحكم الحركي في الذراع والتحرك باستخدام التسجيلات داخل الجمجمة. مجموعة من أجهزة فك التشفير التي تسحب معلومات النظام من إشارة الدماغ تعالج الفعل المشترك لمجموعات الخلايا العصبية القشرية في الوقت الفعلي. تستخدم مخرجات فك التشفير للتحكم في حركات الذراع الروبوت التي تمكن المرضى من القيام بحركات الذراع.

تجمع واجهات الدماغ والآلة (BMIs) بين الطرق والمناهج والمفاهيم المشتقة من الفيزيولوجيا العصبية وعلوم الكمبيوتر والهندسة في محاولة لإنشاء روابط ثنائية الاتجاه في الوقت الفعلي بين الأدمغة الحية والمشغلات الاصطناعية. على الرغم من أن المقترحات النظرية وبعض الأدلة على التجارب المفاهيمية على الربط المباشر بين الأدمغة والآلات تعود إلى أوائل الستينيات، إلا أن أبحاث BMI انطلقت بشكل جدي فقط في نهاية التسعينيات، عندما أصبح هذا النهج مرتبطاً ارتباطاً وثيقاً بالطرق الفسيولوجية العصبية الجديدة لأخذ عينات على نطاق واسع نشاط الدماغ. الأهداف الكلاسيكية لـ (BMI هي 1) الكشف عن واستخدام مبادئ التشغيل والخصائص البلاستيكية للدوائر الموزعة والديناميكية للدماغ و 2) لإنشاء علاجات جديدة لاستعادة الحركة والأحاسيس للمرضى ذوي الإعاقة الشديدة. على مدى العقد الماضي، ظهرت مجموعة واسعة من تطبيقات BMMI، مما أدى إلى توسيع نطاق هذه الأهداف الأصلية بشكل كبير. أظهرت دراسات BMI التحكم العصبي في حركات المشغلات الروبوتية والافتراضية التي تؤدي إلى وظائف الطرف العلوي والسفلي. بالإضافة إلى ذلك، دمجت BMIs أيضاً طرقاً لتقديم ردود الفعل الحسية، المتولدة من المشغلات الخارجية، إلى الدماغ. كانت أبحاث BMI في طليعة عديد من الاكتشافات الفسيولوجية العصبية، بما في ذلك إثبات أنه خلال الاستخدام المستمر، يمكن استيعاب الأدوات الاصطناعية بواسطة مخطط جسم دماغ الرئيسات. كما أدى العمل على BMIs إلى إدخال استراتيجيات جديدة لإعادة التأهيل العصبي. نتيجة لهذه الجهود، تم تورط استخدام BMI المستمر على المدى الطويل مؤخراً مع تحفيز الشفاء العصبي الجزئي في مرضى إصابات الحبل الشوكي⁽⁶³⁾.

تشمل مراحل واجهة نظام الدماغ والحاسوب ما يلي:

(1) قياس الدماغ/ BMI

⁽⁶²⁾Ibid.p.114.

⁽⁶³⁾Lebedev MA, Nicolelis MA. Brain-Machine Interfaces: From Basic Science to Neuroprostheses and Neurorehabilitation. Physiol Rev. 2017 Apr;97(2):767-837. doi: 10.1152/physrev.00027.2016. PMID: 28275048, p.767.

(2) المعالجة المسبقة

(3) استخراج الميزات

(4) التعلم الآلي للتنفيذ والتصنيف

(5) ترجمة التحكم في الإشارات⁽⁶⁴⁾

إن إدارة الألم البشري في حاجة ماسة إلى الابتكار، نظراً لحجم المشكلة السريرية والمجتمعية والنجاح المحدود للعلاجات الدوائية التقليدية. لا تقدم التطورات في تحليل التعلم الآلي لاستجابات الدماغ («فك تشفير الدماغ») رؤى جديدة حول التمثيل العصبي لمعلومات الألم فحسب، بل إنها تفتح إمكانيات استخدام هذه المعلومات لتقنيات طبية حيوية جديدة. على وجه الخصوص، يمكن من حيث المبدأ استخدام فك تشفير استجابات الألم الحادة في الوقت الفعلي كمؤشر حيوي بالوكالة لضبط التدخل العلاجي - مثل التحفيز العميق للدماغ أو التعديل العصبي للعمود الفقري. خلال إنشاء نظام الحلقة المغلقة، يسمح هذا بالتتابع المستمر والتلقائي للتدخل وتعديله «عبر الإنترنت» لتجنب المعالجة المفرطة أو الناقصة. ومع ذلك، من المحتمل أن يكون التحكم في الحلقة المغلقة أكثر قيمة عندما يكون للتدخل نفسه معايير متعددة، وبموجب التكوين الأمثل ووضع هذه المعلومات غير معروف. يمكن بعد ذلك استخدام المؤشر الحيوي لتوجيه الخوارزميات للبحث عنها وتحسينها تلقائياً - ما يسمى بالتحكم التكيفي. بهذه الطريقة، يمكن أن يوفر الجمع بين فك تشفير الدماغ وخوارزميات التحكم التكيفية نهجاً جديداً قوياً لعلاجات الدماغ⁽⁶⁵⁾.

أظهرت الأبحاث الأخيرة حول وظيفة الدماغ البشري أن لهذا الأخير قدرات التأقلم والمرونة وفق الظروف واللحظة والتجارب المعيشة من طرف كل منا. كما قال عالم النفس المعرفي استانسلاس ديهان، إن لدى ملامح عمليات الدماغ، بعيداً عن تشكيل حدود جامدة، طفرة من المرونة. وبإمكان وظائفها أن تقوم بالتغيير، وخصوصاً حينما تستطيع الثقافات أن تلعب مع التعرض المبكر لدماغ الطفل للأشياء الثقافية. إن الاتصالات المشبكية Les Connexions Synaptiques والدوائر العصبية Les Circuits Neuronaux، بحكم انتشار الوسائل الحديثة في مجال الاتصالات، ستكون في كامل إعادة تشكيلها. وتكون مناطق الدماغ النشطة خلال عملية القراءة على الويب مختلفة عن تلك التي تكون نشيطة خلال القراءة من الكتاب الورقي. في هذه الحالة الأخيرة، فإن مناطق الدماغ المرتبطة باللغة والذاكرة والتحليل البصري هي التي تكون مطلوبة، في حين أنه في الحالة الأولى، حالة القراءة من الشاشة، تكون المناطق المرتبطة بأخذ القرار وإعطاء الحلول للمسائل متحركة بشكل كبير⁽⁶⁶⁾.

⁽⁶⁴⁾Anirban,D,C and Jitendra,V,S, p.115.

⁽⁶⁵⁾Zhang, S. et al., Pain control by co-adaptive learning in a brain-machine interface. Curr. Biol., 30, 20, 3935–3944, 2020.p.3937.

⁽⁶⁶⁾ريمى ريفيل: الثورة الرقمية، ثورة ثقافية، ترجمة سعيد بلمبخوت، عالم المعرفة، الكويت، 2018، ص126.

ووفق بعض المختصين سيكون الدماغ تحت تأثير الرقمي في حالة تحول، دون شك، بالطريقة نفسها التي تغير فيها خلال العصور القديمة مع اختراع الحروف الأبجدية. سنكون في مرحلة تحول من <<الدماغ التفاعلي>> نحو <<دماغ رقمي>> باستطاعته أن يتكيف تدريجياً مع الوضع الجديد بفعل مرونته. ومع ذلك فإن كلا من المعارف الإجرائية المكتسبة، والتعود بدرجات متفاوتة مع روابط النصوص التشعبية، والقدرات التي يطلق عليها <<ما وراء المعرفة>> (الوعي لدى الشخص لفهمه)، ستظل أصولاً في اكتساب الدراية والمعارف⁽⁶⁷⁾.

يلاحظ ذلك كلما طُرح السؤال التالي: <<هل الإنترنت طريقتنا في اكتساب المعرفة والفكر؟>> قد يصعب الرد على هذه التساؤل، لأنه يفرض بالضبط توافقاً حول ماهية الفكر. أما بخصوص هذه النقطة فإن كل الفلاسفة وعلماء النفس وبقية العلماء يعطون دائماً أجوبة مختلفة، وفي الواقع فإن طبيعة الفكر نفسها اليوم هي التي تتغير، لأن قواعد المنطق التي تهيكل منطقاً ما لا تتغير، مثلها مثل طرق المعرفة والتفكير والعمل.

لا ننسى هنا ما قاله بالمناسبة فيليب ميريوييه من أن المعرفة لا تتوقف على موقف عفوي والتي تتحدد في العلاقة بمعرفة ما سيقوم به عبر وسائل الإعلام أحد الخبراء، مدرساً أو مرشداً. ولا ننسى أبداً أن (الاكتشافات غير المتوقعة نفسها، في الارتداد غير المحتمل، لا يمكن استيعابها إلا في ضوء ما يتقنه المرء بالفعل وفي إطار رسمي يتيح اكتسابها. فالإنترنت لا تسمح بالتعلم، بل تتيح << معرفة أن...>>...{تخيل الإنترنت يفتح الباب أمام المعرفة، فذلك يعني جهل ما هي المعرفة}>> .

والمشكلة الأكثر تعقيداً التي نواجهها هي ذلك التصور الواضح للتغيرات التي ستقع على المدى الطويل، في حين أننا مازلنا في بدايات الظاهرة، وأننا نفتقر إلى منظور من أجل تقدير كل التغيرات الجارية⁽⁶⁸⁾.

تفترض الأساليب التقليدية لفك التشفير تمثيلات ثابتة ومستقرة للحالة التي تم فك تشفيرها في الدماغ. ومع ذلك، فإن هذا يتجاهل إمكانية حدوث تغييرات تكيفية في دماغ المستخدم، بما في ذلك العمليات المعرفية مثل محاولة التلاعب المتعمد بنشاط الدماغ لغرض ما. هذه مشكلة عامة تؤثر على عديد من التطبيقات القائمة على فك تشفير الدماغ، ويتم التعرف على القابلية المحتملة للمؤشرات الحيوية القائمة على فك تشفير الألم. إنه يؤدي إلى مسألة ما إذا كان بإمكان الشخص التأثير بشكل نشط على قابلية فك تشفير المعلومات في دماغه أو التحكم فيها وإلى أي مدى. على سبيل المثال، قد يرغب المستخدم في تعزيز وضوح تمثيل الألم في دماغه لتسهيل قيام نظام علاجي مفترض بفك شفرة آلامه والتدخل نيابة عنه بشكل مناسب⁽⁶⁹⁾.

⁽⁶⁷⁾المرجع نفسه: ص 127.

⁽⁶⁸⁾المرجع نفسه: ص 127.

⁽⁶⁹⁾Zhang,S,p.3973.

من المحتمل أن يكون هذا ضاراً - معظم الاستراتيجيات المعرفية لجعل الألم أكثر وضوحاً لفك شفرته من نشاط الدماغ ستشمل الانتباه إليه. يعزز الاهتمام معالجة المعلومات بعدة طرق، بما في ذلك زيادة التعلم نحو المعلومات الخارجية غير المؤكدة، مما يسمح بالتنبؤ بالأحداث المستقبلية (مثل الألم) بشكل أكثر دقة في المستقبل. إحدى الطرق الرئيسية التي يُعتقد أنه يتم من خلالها تحسين التعلم هي إشراك نظام تعديل الألم الداخلي عن طريق تعديل المسارات الهابطة التي تتحكم في المدخلات التكيفية الواردة في النخاع الشوكي. على سبيل المثال، يزيد تسهيل الألم من بروزته وبالتالي يعزز القيم المكتسبة والاستجابات المرتبطة به. لهذا السبب، من المتوقع في النهاية أن يغير الاهتمام تمثيل الدماغ للألم، وبالتالي سيؤثر على دقة أي علامة حيوية مدربة مسبقاً على فك التشفير. بعبارة أخرى، قد تؤدي العملية المعرفية لمحاولة تعزيز المؤشر الحيوي للألم في الدماغ إلى تعطيله بشكل متناقض. يوضح هذا نقطة عامة مهمة تنشأ عند تنفيذ واجهات الدماغ والآلة التكيفية: هل تحفز تغييرات تكيفية مشتركة متوازنة في الدماغ؟⁽⁷⁰⁾

ما وراء المنهجيات الحالية: دعم BMI لتعلم الآلات النانوية

يدعي أنصار تكنولوجيا الأجهزة النانوية أنها قد تعطينا أيضاً نوعاً من الخلود، فهم يعتقدون بتجميد جسم الإنسان بعد الموت، ومن ثم استخدام أجهزة إنسان آلي جزيئية تلف الخلية المحتتم، الذي يحدث عندما تحطم البلورات الجليدية جدار الخلية (وبالفعل فإن كثير من المروجين لها وقعوا مسبقاً على وثائق لتجميد أجسامهم بعد الموت).

لأن هذه الآلات تعيد نسخ نفسها، فإن كلفتها معدومة تقريباً، ويمكن للمرء أن يتصور حرقاً آلاف التطبيقات المذهلة لجيوش من أجهزة الإنسان الآلي الجزيئية، التي يمكنها أن تتكاثر وأن تتحكم في الذرات من حولها، لقد ترددت أصداً صرخة إنذار تكنولوجيا الأجهزة النانوية في وادي السيليكون، الذي اعتاد أن يفكر عقوداً للأمام في مجال الإلكترونيات الدقيقة. ولم تغب التطبيقات العسكرية لمثل هذه التكنولوجيا القوية عن بال البتناجون، ولقد قال الأدميرال ديفيد جيرمايا، نائب الرئيس السابق لهيئة أركان الحرب (إن للتطبيقات العسكرية للصناعة الجزيئية إمكانات أكبر من الأسلحة النووية في تغيير توازن القوى جذرياً)، ويمكن التهام قوة معادية في ساعات قليلة بقطعان غير مرئية تقريباً لتريليونات من أجهزة الإنسان الآلي، التي تنسخ نفسها وتتكاثر بهذه الطريقة⁽⁷¹⁾.

على الرغم من كل إمكانات التكنولوجيا النانوية، فإنه يجب تلطيف حماس العلماء بالقيود العملية، التي تفرضها الهندسة والفيزياء، ويبقى السؤال فيما إذا كانت التكنولوجيا النانو ممكنة. لقد اقترحت التكنولوجيا

⁽⁷⁰⁾Ibid,p.3973.

⁽⁷¹⁾ميتشو كاكو: ص344.

النانونية. لأول مرة. من قبل ريتشارد فينمان الحاصل على جائزة نوبل، الذي لا يكل من الحديث عنها في مقال حول الموضوع بعنوان (هناك مجال كبير عند القاع)، ويبدأ فينمان بسؤال نفسه (إلى أي حد من الصغر يمكنك أن تصنع آلة متسقة مع قوانين الفيزياء؟ ولعظم دهشته، فإنه لم يجد في قوانين ميكانيكا الكم شيئاً يمنع من صنع الآت بحجم الجزيئات)، وقد كتب فينمان يقول (إن مبادئ الفيزياء . كما أراها . لا تتناقض مع احتمال التحكم في الأشياء ذرة فذرة. إنها ليست محاولة لاختراق أي قوانين، إنها شيء يمكن مبدئياً أن يعمل، ولكنها لم تجرب تطبيقاً، لأننا كبيرون جداً، ويمكن مساعدة مشكلات الفيزياء والكيمياء وعلم الأحياء بشكل كبير، إذا طورنا في النهاية قدرتنا على رؤية ماذا نفعل، وأن نعمل أشياء على المستوى الذري، وهو تطور أعتقد أنه لا مناص منه)، وقد تحدى مجتمع الفيزياء بتقديم جائزة مقدارها ألف دولار لأول شخص يقوم بتطبيق تكنولوجيا النانو أو عرضها⁽⁷²⁾.

زادت الدراسة حول تقنية النانو المصممة للتواصل والتفاعل مع الدماغ والجهاز العصبي المركزي بشكل عام في السنوات القليلة الماضية. في الآونة الأخيرة، تمت محاولة كبيرة لتسجيل وتحفيز كثافات عالية في الدماغ باستخدام التكنولوجيا العصبية النانوية. كان لمبادرة الدماغ ومشروع الدماغ البشري تأثير كبير على جهود العلوم الفيدرالية في كل من الولايات المتحدة والاتحاد الأوروبي. نحن لسنا هنا لدراسة هذه الأدبيات المستفيضة، بل لتوجيه القارئ إلى المراجع والمنشورات بشكل عام. لم يتم الجمع بين التعلم الآلي و BMI النانوي والأطراف الاصطناعية العصبية. أصبح التعلم الآلي مهماً بشكل خاص في مجالات أخرى من العلوم الجزيئية وتكنولوجيا النانو. على سبيل المثال، نشر ألبريشت Albrecht وآخرون برنامجاً تعليمياً حول استخدام أعمال الشبكة شبه الشفافة لتحليل أو استخلاص البيانات الجزيئية من دراسات تسلسل الحمض النووي التي أظهرت في السنوات السابقة كيفية تحسين التوصيل البيني الحراري Si-Si و Si-Ge باستخدام نسخة ذرية من الآلية. في مكتبة تضم أكثر من 60.000 مرشح، تمكن نهجهم من تحديد الهياكل المثلى. أيضاً، تمكنت التقنيات الحالية من إنشاء إطار بحث واسع تم بناؤه وتحسينه خلال التعلم العميق على شبكة عصبية عميقة منحرفة مضغوطة D3 في دراسة حديثة رائعة أخرى (D2NN). كان تصنيفهم وعمليات التصوير الأخرى ممكناً دون استخدام أي طاقة في هياكلهم بخلاف ضوء المدخلات. القدرة على التدريب الحاسوبي (أي تحديد النموذج وتفسيره) هي قدرة BMI والأطراف الاصطناعية العصبية على استشارة وتحسين إخراج الجهاز وكفاءة التشغيل من خلال استخدام بيانات فيزيائية وكيميائية مفصلة للغاية من أجهزة الاستشعار⁽⁷³⁾.

مع ذلك، كما قيل سابقاً، من الأهمية إدراك أن أحدث خوارزميات الكمبيوتر والذكاء الاصطناعي غير كافية لهذه المتطلبات. يمكن لعديد من الأشخاص الذين يمكنهم اكتشاف واستخدام أجهزة BMI النانوية عن عمد إنشاء

(72) المرجع نفسه: ص 345.

(73) Anirban,D,C and Jitendra,V,S,p.116.

خوارزميات التعلم الآلي. طرق التعلم الآلي الحالية، وخاصة الشبكات العصبية الاصطناعية العميقة (ANNs)، فعالة للغاية. ربما يكون الأمر الأكثر إثارة للقلق هو أن هذه الأنواع من التخفيض الرياضي هي المبادئ التأسيسية التي تؤدي إلى أداء ANN الحالي. ومع ذلك، لا تزال هناك قيود نظرية وعملية، تماما كما هو الحال في كل إطار آخر. ونتيجة لذلك، يجب أن تكون البيانات التي تعمل على أساسها قادرة على تلبية هذه القيود. تعتمد الخوارزميات الحالية، على وجه الخصوص، على مجموعات البيانات الكبيرة - بالتأكيد للتعلم بشكل صحيح (شكل من أشكال تحيز النموذج). البيانات الموجودة فقط هي التي ستحتوي على ارتباطات واتجاهات (تحيز النموذج مرة أخرى). هناك دائما خطر أن يتم تعميم مجموعة تدريب صغيرة (نموذج مفرط). في هذه الظروف، تظهر قوة كاملة تقريبا وإمكانية التكيف بما يتجاوز مجموعات التدريب الخاصة بهم. لا يمكن معرفة المزيد من المعلومات الجديدة (تشبع النموذج). وهذه الأسباب هي سبب عدم توفر هذه الأساليب (مشكلة انحدار البيانات). أخيرا، يأخذون موارد حاسوبية ضخمة وبندا من الإنفاق الهائل على الطاقة لتصنيف أنماط التعلم بشكل صحيح. هذه الأساليب مقيدة بعدد من المشاكل الرئيسية الكامنة في هندسة التعلم الرياضي. ومع ذلك، حتى مع هذا العيب والضجة الكاملة المحيطة بالآلات والذكاء الاصطناعي في الوقت الحالي، من الصعب عدم الإعجاب بإنجازات هذه الأساليب. إذا كانت البيانات والموارد كافية للوفاء بمهمة الخوارزميات، فستكون هذه الإجراءات فعالة بشكل ملحوظ، مع الجهود المبذولة لاستبدال الأساليب الجديدة التي من المحتمل أن تكون غير قابلة للتطبيق (وحتى غير ضرورية) في المستقبل القريب على الأقل. التعلم الآلي مناسب للتطور الحالي لـ BMI من بعض النواحي. قد يمتلك BMI عددا كبيرا من البيانات والإشارات الفسيولوجية، ومعلومات الاسترخاء، والكثافات الوظيفية التي يتم فهمها جيدا بما يكفي لتحديد الظروف التشغيلية المتطرفة، على الأقل. وبالتالي، يمكن للآلة الحالية تعلم الخوارزميات بشكل صحيح لصنع القرار لضبط BMI مع أهدافها، بناءً على النطاقات الفسيولوجية المجربة والعملية للنشاط. في الواقع، في واجهة الدماغ والحاسوب أحادية الجنس، يمكن تصميم درجة التحكم في التخليق على المادة أو الجهاز ودقة استرخاء المكان والزمان وكثافة التسجيل. سيوفر BMI النانوي المخرج وكثير من الخبرة، جنبا إلى جنب مع مستوى هندسة التحكم الوظيفي النانوي، وهو مناسب بشكل خاص لاستخدام أحدث أشكال التعلم الآلي والذكاء الاصطناعي لـ BMI الذكي والمضمن. ولكن من المهم أن نسأل، ما إذا كانت BMIs يمكن أن توفر قدرًا معينًا من الوظائف والدمج في بني الآلات والذكاء الاصطناعي المبرمجة للتعلم بشكل مختلف عن الخوارزميات الحالية⁽⁷⁴⁾. الآلات التي تمثل الخصائص البيولوجية العصبية معقدة رياضيا وتجريديا. على وجه التحديد، فإن الإحصاءات التجريبية (أي المستندة إلى البيانات) تؤدي بشكل أفضل إلى المشكلات التي لا يؤدي فيها التشويه

⁽⁷⁴⁾Ibid.p.117.

والتشتت والتشبع إلى كبح التعلم (أو لا يمكنه ذلك). ومع ذلك، خارج هذه الحدود، فإن دماغ الثدييات مفهوم بشكل ممتاز. إن قدرة الدماغ على التكيف والاستقرار بما يتجاوز النتيجة وقدرته الفيزيائية والحوسبة التي لا تصدق أمر بالغ الأهمية بشكل خاص. تتجاوز هذه الخصائص مستويات التدريب الحالية على الكمبيوتر ولكنها قد تكون حاسمة لتطور BMI في الدماغ. يختلف الدماغ البشري اختلافًا كبيرًا عن كيفية ظهور الشبكات الاصطناعية العصبية الحديثة، والتعلم العميق، وطرق «قراءة» الخوارزمية من الأنماط. يتم قراءة الدماغ معظم الوقت من خلال القياس. إنه يتكيف بقوة مع الظروف والبيئات المختلفة التي لم يكن بإمكانه مواجهتها بدرجة لا تصدق من اللدونة. إن استقرار الدماغ والقدرة على التكيف وقوة الحوسبة أعلى من أي كمبيوتر موجود. مثال متطرف على القوة غير العادية للدماغ البشري وقدرته على التكيف هو مرض عصبي التهابي مزمن نادر للأطفال، يُعرف باسم التهاب الدماغ لدى راسموسن، والذي يصيب عادة نصف واحد من الكرة المخية، والذي يسبب عادة نوبات صرعية تسبب فقدان التنسيق العضلي وفقدان الكلام وضعف النصف الجسدي والتهاب الدماغ، والخلل الإدراكي، وهي شائعة جدًا. وتكون معظم الحالات غير قابلة للعلاج الطبي. يعد جراحة استئصال نصف الكرة الدماغية هو العلاج الأول والوحيد الفعال للصرع. يتم فصل جزء أو كامل نصف الكرة المخية عن نصف الكرة غير المقصود عن طريق الجراحة. الجسم الثفني هو «خيط الشريط» الذي يقسم طرفي الدماغ. ومع ذلك، فإن أدمغة المرضى الآخرين ستتولى أدوار الأنسجة الدماغية التي يتم استئصالها بدرجات مختلفة. في بعض الحالات، سيعمل المرضى بشكل طبيعي تقريبًا نفسيًا وإدراكيًا، مع مراعاة حجم إزالة الدماغ. (يمكنك أيضًا مقارنة ما سيحدث عند إلغاء تثبيت أي ترانزستورات أو دوائر على جهاز). مع وجود حوالي 20 واط من الكهرباء، يمكن للدماغ أن يفعل أي شيء من أجل كفاءة الحوسبة وكفاءة الطاقة - غير كافٍ لتشغيل مصباح كهربائي خافت- ويبلغ حجم «الدماغ الرطب» حوالي 3 أرطال، أي ما يعادل زجاجة صودا 2 لتر. أخيرًا، على الرغم من توفر الخصائص الحسابية وقدرة التعلم، فهذا يعني أنه ليس علينا عكس هندسة الدماغ إلى النقطة التي نقوم فيها بنمذجة أو محاكاة جزء من كيفية تنفيذ علم الأحياء لخوارزميات الدماغ الداخلية. يتمثل أحد الحلول في تجريد المعرفة البيولوجية وتوثيق الخوارزميات الرئيسية، وهي التشريع الكامن وراء خاصية أو مخطط BMI. والنتيجة هي أن النماذج الرياضية منفصلة عن التفاصيل الحيوية الأساسية، لكنها تلتقط ميزات واقعية لتقليد خوارزمي. بالضرورة، من الضروري أن يكون الأمر أكثر علمًا من الفن إذا تم اتباع هذه الخطوط المجردة⁽⁷⁵⁾.

التحديات والقضايا المفتوحة

⁽⁷⁵⁾Ibid.p.118.

في هذا الجزء، سنعرض بإيجاز بعض المشاكل والتحديات في تنفيذ الرؤية المذكورة أعلاه. نحن لا نفصل هذا النص، ولكن دع الأطراف تتشاور وتناقشه أكثر. أولاً، ركزت غالبية المحاولات الأخيرة في تطوير التقنيات العصبية لتتبع الكثافة العالية على ميكانيكا وكيمياء وهندسة تكنولوجيا النانو الرئيسة. يمكن فهم ذلك لأن التكنولوجيا الأساسية المطلوبة للسماح بالتنشيط أو التسجيل في واجهة الدماغ الفعلية يجب أن تصل أولاً. ويجب أن تسبق البيانات والمعارف التي توفرها هذه التكنولوجيات جميع أساليب أو تكنولوجيات تغييرها أو استخدامها. لضمان التسجيل أو الاسترخاء الموثوق، فوق الواجهة الحقيقية، يعد الاستقرار الميكانيكي والتشغيلي ومثانة النظام على المدى الطويل أمراً بالغ الأهمية. على سبيل المثال، مع تحول الأقطاب الكهربائية، أو وجود دقيق تفاعلي مبالغ فيه، فإنها ستؤثر بشكل خطير على كفاءة ودقة الآلات، مما يجعل أي خوارزميات للتعليم الآلي تراقب أو تتكيف بلا معنى. تمثل هذه المشاكل الأساسية في الهندسة التي جذبت كثير من العمل. وعلى الرغم من تحقيق كثير، لا تزال مجالات الدراسة النشطة للغاية متاحة⁽⁷⁶⁾.

بالإضافة إلى هذه المشاكل المألوفة المتعلقة بتصنيع ووظائف منتجات BMI، هناك مشاكل أقل تركيزاً وشفافية نسبياً. وتكتسي الأسئلة المتعلقة بكيفية عرض واستخدام البيانات المستمدة من هذه الآلات، والتي تهم أي نقاش بشأن إدماج التثقيف الآلي في النظام ككل، أهمية خاصة. يمكن أن تكون كثافة التسجيل أو التعزيز عالية جداً على مقياس نانوي لدرجة أن معضلة القياس عن بُعد حول كيفية اكتشاف كل هذه الإشارات تمثل مشكلة. بعبارة أخرى، كيف يمكنك مراقبة مكان نشأة الإشارات وأين (عندما يتم عمل السجلات) (في حالة التحفيز). الطريقة المجهرية القياسية للشخص «القارئ» مستحيلة مادياً للتسجيلات عالية الكثافة، على سبيل المثال، عدة آلاف من الإشارات. تم تصميم عديد من التقنيات النانوية إلى كثافات جذرية مثل الأدوات النانوية المستقلة، والتي يمكن استخدامها بعد ذلك بكميات كبيرة. ولكن، بينما يمكن لكل نظام تتبع الإشارات المحلية حقاً، كيف يمكن للمعلومات التي تم جمعها عالمياً عبر مجتمع أجهزة الاستشعار بأكمله، وكيف تكون هذه البيانات ذات مغزى؟ هذه القضية حاسمة في حالة التطبيقات التي تتطلب تفاصيل «قشرية» مكانية. ليس لدينا رد نهائي حتى الآن، لكن لا يمكننا المبالغة في تقدير تأثير القضية. مهما كانت الإجابات، هناك حاجة شبه مؤكدة إلى مزيج من تكنولوجيا النانو والخوارزميات وطرق تحليل البيانات. كيف يمكنك التركيز بشكل انتقائي على الأقطاب الكهربائية النانوية وفقاً للبروتوكولات المبرمجة المحددة، في التركيبات المكانية والزمنية المنظمة، لإنشاء نماذج التحفيز الأكثر فعالية من الناحية السريرية، أي التشغيل والإيقاف. من المحتمل أن يتراوح هذا من مريض إلى آخر ويتطور في نفس المريض بمرور الوقت. كما نوقش أعلاه. يمكن أن تكون عمليات التعلم والتكيف المستخدمة في

⁽⁷⁶⁾Ibid.p.119.

BMI والأطراف الاصطناعية العصبية في قلب عملية التعلم للتعامل مع بعض التحسينات. ينبغي أن تتوافق بنية نظم BMI مع تركيب ودمج الآلات، المصممة للعمل ضمن الإطار العام من منظور المواد والهندسة⁽⁷⁷⁾.

الجوانب الحاسمة الأخرى هي موضوعات أوسع تتجاوز مجرد تكامل هندسة BMI النانوي والمحدد والمهم مع الذكاء الاصطناعي. على سبيل المثال، الفيزيولوجيا العصبية والشفرة العصبية والغرض من الإشارات العصبية ليست مفهومة جيداً في معالجة المعلومات. هذا يجعل من الصعب أو المستحيل إنشاء خوارزميات تعليمية عملية لـ BMI. هذا يجعل الأمر صعباً. بينما تم إتقان تقنيات التحفيز العصبي أو تسجيل الواجهة ولا يزال من الممكن تطوير التعلم الفعال للآلات لمراقبة ردود الفعل ذات الحلقة المغلقة، فإن ما سنقوم بتحسينه ليس واضحاً. نحن ببساطة لا نفهم مدى جودة عمل الدماغ. إنه الدماغ الذي يتكيف مع التكنولوجيا المصممة وليس عكس التكنولوجيا الحديثة للأطراف الاصطناعية العصبية. تُظهر الموضوعات المفتوحة الأخرى تحديات ابتكار مفتوحة تتجاوز علم الأعصاب. كيف يمكن توسيع التعلم الآلي وأداء الذكاء الاصطناعي ليشمل الجهاز نفسه من حيث عوامل الشكل المحدودة وقدرة الحوسبة المحلية؟ إذا كان الوصول إلى خدمات الحوسبة الحيوية في السحابة مطلوباً، فيجب ضمان الوصول إلى عرض النطاق الترددي المناسب، خاصة في الظروف الحساسة سريرياً⁽⁷⁸⁾.

استخدم العلماء في جامعة نورث ويسترن شريحة بمائة قطب، وضعت فوق دماغ القرد مباشرة. سجلت الإشارات من الدماغ بعناية مع التقاط القرد لكرة ورفعها ثم إطلاقها في أنبوب. وبما أن كل مهمة تتعلق بإطلاق محدد للعصبونات، أمكن للعلماء تدريباً فكرياً شفرة هذه الإشارات.

عندما أراد القرد تحريك ذراعه، عولجت الإشارات بواسطة حاسوب باستخدام هذه الشفرة، وبدلاً من إرسال رسائل إلى ذراع ميكانيكية، أرسلت الإشارات مباشرة إلى أعصاب ذراع القرد الحقيقية. يقول الدكتور لي ميلر: >>نتنصت على الإشارات الكهربائية الطبيعية من الدماغ التي تخبر الذراع واليد كيف تتحرك، وترسل هذه الإشارات مباشرة إلى العضلات <<.

بالتجربة والخطأ، تعلم القرد تنسيق العضلات في ذراعه. يضيف الدكتور ميلر: "هناك عملية لتعلم التحريك تشبه كثيراً عملية تعلم استخدام حاسوب أو مشيرة الحاسوب أو مضرب تنس مختلف جديد"⁽⁷⁹⁾. (من الجدير بالملاحظة أن القرد استطاع إتقان حركات كثيرة جداً لذراعه، علماً أن هناك مائة قطب فقط على شريحة دماغه. يشر الدكتور ميلر إلى أن ملايين العصبونات تتعلق بعملية التحكم في الذراع. السبب في أن مائة قطب يمكنها إعطاء تقريظ معقول لمخرج ملايين العصبونات هو أن الشريحة تتصل بالعصبونات الخارجية.

⁽⁷⁷⁾Ibid.p.119.

⁽⁷⁸⁾Ibid.p.120.

⁽⁷⁹⁾سوزان جرينفلد: تفسير العقل، ص108.

بعد أن تتم المعالجة المعقدة من قبل الدماغ. وبإتمام عملية التحليل المعقدة. فإن الأقطاب المائة مسؤولة ببساطة عن تغذية تلك المعلومات إلى الذراع).

هذا الجهاز واحد من أجهزة عدة تصمم في جامعة نورث ويسترن ستسمح للمرضى يتجاوز عطب نخاعهم الشوكي. تستخدم جراحة عصبية أخرى حركة الكتفين للتحكم في الذراع. فرفع الكتف يسبب إغلاق اليد، كما أن خفضه يسبب فتحها. ويستطيع المريض أيضاً أن يحني أصابعه حول جسم مثل كأس، أو التحكم في مفتاح يمسك بين الإبهام والسبابة.

يستنتج الدكتور ميلر: (ربما ستستخدم هذه الصلة من الدماغ إلى العضلات يوماً ما لمساعدة مرضى، شلوا بسبب عطب في النخاع الشوكي، على القيام بأنشطة الحياة اليومية وتحقيق قدر أكبر من الاستقلالية)⁽⁸⁰⁾. يأتي معظم التمويل لهذه التطويرات المهمة من مشروع لمؤسسة دارياً يدعى (تطوير الأطراف الصناعية). وهو مجهود بـ 150 مليون دولار يدعم هذه الجهود منذ العام 2006. أحد الدافعين لتطوير الأطراف الصناعية هو الجنرال الأمريكي المتقاعد جيفوري لينج، وهو عالم أعصاب ذهب في مهمات عدة إلى العراق وأفغانستان. صدم بالمذابح البشرية التي شاهدها في ساحات المعارك بسبب القنابل على جوانب الطرقات. في الحروب السابقة، كان عديد من أفراد الخدمة الشجعان هؤلاء يموتون في موقع الانفجار. أما اليوم، وبسبب المروحيات وإمكانات الإخلاء الطبي، يبقى عديد منهم على قيد الحياة، لكنهم يظلون يعانون بسبب إصابات بدنية خطيرة. فقد أكثر من 1300 فرد في الخدمة أطرافاً لهم بعد عودتهم من الشرق الأوسط.

سأل الدكتور لينج نفسه عما إذا كانت هناك طريقة علمية لتعويض⁽⁸¹⁾، هذه الأطراف المفقودة. بدعم مالي من البنتاغون. طلب من معاونيه أن يأتوه بحلول فعالة خلال خمس سنوات. عندما عرض هذا الطلب قوبل بالاستغراب. يتذكر (لقد ظنوا أننا مجانين. لكن بالجنون تتم الأمور).

بحماس الدكتور لينج غير المحدود، أنجز فريقه المعجزات في المختبر. على سبيل المثال، مولت (الأطراف الصناعية المتطورة) العلماء في مختبر جونز هوبكنز للفيزياء التطبيقية، والذي أنجز أكثر الأذرع الميكانيكية تطوراً في العالم، والتي يمكنها تقليد الحركات الدقيقة للأصابع واليد والذراع كلها تقريباً في الأبعاد الثلاثية. إنها بحجم اليد الحقيقية ولها القوة والنشاط ذاته كاليد الحقيقية. وعلى الرغم من أنها مصنوعة من الفولاذ، فإنك لو غطيها ببلاستيك بلون الجلد فلن تُميز تقريباً عن اليد الحقيقية⁽⁸²⁾.

(80) المرجع نفسه: ص 109.

(81) المرجع نفسه: ص 109.

(82) المرجع نفسه: ص 109.

ألصقت هذه الذراع بجان شيرمان، وهي امرأة مشلولة الأطراف عانت مرضاً جينياً عطل الصلة بين دماغها وجسمها، تاركاً إياها مشلولة بالكامل من الرقبة إلى الأسفل. في جامعة بيتربيرج، وضعت أقطاب مباشرة فوق سطح دماغها، ووصلت بعد ذلك بحاسوب ثم بذراع ميكانيكية. بعد خمسة أشهر من عملية لصق الذراع، ظهرت في البرنامج التلفزيوني 60 دقيقة. وأمام جمهور واسع، استخدمت بمرح ذراعها الجديدة لتلوح للمضيف وتحييه وتهنئته مرحبة. قامت بكلمة لتظهر مدى تطور وتعقيد هذه الذراع. يقول الدكتور لينج: (في تصويري، سنستطيع تطوير هذا ليشمل أنواعاً مختلفة من المرضى، مرضى السكتات الدماغية والشلل الدماغي وكبار السن).

يمكن لتعلم الآلة ML تقديم خوارزميات فعالة تدعم الممارسين في عملهم اليومي، مع وظائف تمتد من المراقبة السريرية من خلال الجرعات الدقيقة القائمة على النموذج. في حين أن معظمهم سيقدمون فقط توصيات ليتم مراجعتها والنظر فيها من قبل الأطباء، فإن البعض الآخر مصمم للعمل بشكل مستقل وتحقيق دقة أعلى من الأطباء أنفسهم. على الرغم من تزايد عدد التقنيات الواعدة القائمة على AI/ML، تم تنفيذ القليل منها على نطاق واسع عند نقطة الرعاية. وتظل الحاجة إلى التحقق الخارجي وتبادل البيانات والخصوصية واللوجستيات التنفيذية هي العقبات الرئيسية. تعتمد المتطلبات التنظيمية على مستوى المخاطر المرتبطة باستخدام الجهاز في الممارسة الطبية، ويتم حالياً تطوير الممارسة التنظيمية للأجهزة الطبية القائمة على ML. نتوقع ارتفاعاً في استخدام الحلول القائمة على ML في سوق الرعاية الصحية، بما في ذلك قطاع الجرعات الدقيقة، حيث ستصبح ML جزءاً من الجرعات الدقيقة المصممة⁽⁸³⁾.

واجهة الدماغ والآلة

واجهة الدماغ والآلة (BMI) هي جهاز يتيح التحكم في مسار الاتصال المباشر بين الدماغ والجهاز. بدأ الباحثون أبحاثهم حول BCI في 1970 في جامعة كاليفورنيا، لوس أنجلوس (UCLA) بموجب منحة من مؤسسة العلوم الوطنية، تليها عقد من DARPA.

كما تمثل الأوراق المنشورة بعد البحث أول ظهور لتعبير واجهة الدماغ والآلة في الأدبيات العلمية. ويطلق عليه أيضاً ما يلي:

واجهة التحكم العصبي (NCI)

واجهة العقل والآلة (MMI)

واجهة عصبية مباشرة (DNI)

⁽⁸³⁾Angehrn, Z. et al., Artificial intelligence and machine learning applied at the point of care. Front. Pharmacol., 11, 10–15, 2020.p.9.

واجهة الدماغ والحاسوب (BCI)

عمل واجهة الدماغ والآلة (BMI) -

مع نمو تأثير أجهزة الكمبيوتر الحديثة جنباً إلى جنب مع فهمنا للدماغ البشري، فإننا نقرب أكثر من تحويل بعض الخيال العلمي المذهل إلى حقيقة. على سبيل المثال، تخيل فقط إرسال إشارات مباشرة إلى دماغ شخص ما تسمح له برؤية أو سماع أو الشعور بمدخلات حسية محددة، وكم سيكون ذلك مذهلاً. هذا يعني أن لديك القدرة على التلاعب بالآلة أو الكمبيوتر بعقلك بمجرد إعطاء مدخلات حسية⁽⁸⁴⁾.

إن عدد الخلايا العصبية في النخاع الشوكي للجسم كبير جداً بحيث إن من المستحيل على المدى المنظور وصل ولو جزء قليل منها إلى أقطاب. وسيكون هناك مثل محاولة الوصل في شبكة وخطوط الهاتف التي تصل مدينة نيويورك بباقي العالم من دون دليل أو كتيب تشغيل. إن توصيل الدماغ معقد ومرهق جداً بحيث إن الوصل الإلكتروني مع كمبيوتر أو شبكة عصبية دائمة، هو أمر مستحيل الآن على ما يبدو.

وفي الوقت الحالي فإن فهمنا للمخ لا يزال بدائياً. فنحن لا نعرف إلا الملامح العريضة لكيفية اتصال أعضاء الجسم بمناطق المخ (يتم ذلك بتحليل أشخاص أصيبوا بعطل دماغي أو باستخدام الفحص بالأشعة المقطعية). ولا يعرف العلماء إلا على المستوى الهيكلي ما هي أجزاء المخ التي تتعلق بوظائف عامة. وعلى المستوى الخلوي لا يمتلك العلماء أي فهم أيا كان لكيفية ربط الأعصاب. ويشبه ذلك أن يسعى إنسان لفهم دولة صناعية حديثة بفنونها وآدابها وتجاريتها وسياستها في حين لا تتوافر لديه سوى خريطة لنظام الطرق السريعة بين ولاياتها⁽⁸⁵⁾.

ومن الممكن أن نصل إلى القرن الثاني والعشرين قبل أن يبدأ العلماء بفهم كيفية توصيل أعصاب المخ، ناهيك عن القدرة على تعديلها. ولقد أجري رالف ميركل من مركز بالو ألتو التابع لشركة زيروكس بعض الحسابات الأولية للزمن والمال اللازمين لمعرفة كيفية توصيل أعصاب الدماغ، عصباً فعصباً. وهو يعتقد أنه من الضروري أولاً تقطيع المخ البشري إلى ملايين الشرائح الرقيقة ثم تحليل وفحص كل واحدة منها بواسطة المجهر الإلكتروني. وباستخدام برامج كمبيوترية للتعرف على الصور في المستقبل، يمكن للكمبيوتر أن يسمح هذه الصور لإعطاء مخطط ثلاثي الأبعاد للدماغ مظهراً كيفية وصل كل خلية عصبية مع الأعصاب الأخرى كلها. وبما أن هناك 200 بليون خلية عصبية تقريباً، ويتصل كل منها بـ 10 آلاف خلية عصبية أخرى، فإن هذا سيكون إنجازاً جباراً⁽⁸⁶⁾.

من ناحية أخرى قد يتطلب الأمر مشروع جينوم بشري آخر ليحدد بدقة كيفية التوصل داخل المخ. لقد قدر ميركل أن التكلفة باستخدام التكنولوجيا الحالية ستكون مبلغاً ضخماً يقدر 340 بليون دولار، ولكن وفق

⁽⁸⁴⁾Brain Machine Interface (BMI),in (BMI),in <https://www.geeksforgeeks.org/brain-machine-interface-bmi/?fbclid>. 4,27,2023.

⁽⁸⁵⁾ميتشيو كاكو: رؤى مستقبلية، ص153.

⁽⁸⁶⁾المرجع نفسه: ص154.

قانون مور فمن المحتمل أن تنخفض الأسعار خلال السنوات القادمة. وقد قدر أنه بحدود عام 2010 فإن التكنولوجيا ستكون في النهاية رخيصة بما يكفي للبدء في هذه المهمة الضخمة. وستستغرق المعرفة الحقيقية للخلايا العصبية في الدماغ 3 سنوات، بعد ذلك، وبكلفة 120 مليون دولار.

ولكن حتى بعد الحصول على خريطة مفصلة لتوصيلات المخ، يظل على المرء أن يقرر كيف تتحرك الإشارات داخله وكيف ترتبط الأعضاء المختلفة معه.

ومع ذلك، فإن هذا لم يمنع بعض الأشخاص من إجراء بعض التخمينات حول الربط بين المخ والآلة، وهو أمر ينتهي حقاً إلى المستقبل البعيد⁽⁸⁷⁾.

يمكن أن يكون تطوير واجهة الدماغ والآلة (BCI) أهم اختراق تكنولوجي منذ عقود ليس فقط لراحة الأشخاص ذوي الإعاقة. تمتلئ أدمغتنا بالخلايا العصبية والخلايا العصبية الفردية المتصلة ببعضها البعض خلال التشعبات والمحاور. في كل مرة نفكر ونتحرك ونشعر ونتذكر شيئاً ما، تكون خلايانا العصبية في العمل. بحث واجهة الدماغ والآلة هو مجال عالي الوعي العام. تشير مقاطع الفيديو على يوتيوب، بالإضافة إلى الأخبار المبلغ عنها في وسائل الإعلام، إلى الفضول الشديد والاهتمام بمجال نأمل أن يؤدي يوماً ما قريباً إلى تحسين حياة عديد من الأشخاص ذوي الإعاقة المصابين بعدد من الأمراض المختلفة بشكل كبير⁽⁸⁸⁾.

كيف تقيس نشاط الدماغ؟

هناك عديد من الطرق لقياس واجهة الدماغ والآلة والتي تم ذكر أبرزها أدناه –

تخطيط كهربية الدماغ (EEG): واحدة من أكبر الصعوبات التي يواجهها الباحثون في واجهة الدماغ والحاسوب في السيناريو الحالي هي الميكانيكا المعقدة للواجهة نفسها. مجموعة من الأقطاب الكهربائية وهي جهاز يعرف باسم تخطيط كهربية الدماغ⁽⁸⁹⁾.

تعطينا تقنية MRI صوراً رائعة لشيء اعتقد المرء فيما مضى أن من المستحيل التقاطه: العمليات الداخلية للدماغ وهو يختبر الأحاسيس والعواطف. وبمراقبة رقص الأضواء التي تلمع في آلة الرنين المغناطيسي MRI، يمكن للمرء أن يتقضى الأفكار وهي تتحرك ضمن الدماغ. إن هذا يشبه القدرة على رؤية محتوى الساعة وهي تتحرك⁽⁹⁰⁾. تعمل آلات التصوير بالرنين المغناطيسي MRI على الشكل التالي: يستلقي المرضى ويدخلون ضمن أسطوانة تحتوي على ملفين كبيرين يولدان حقلاً مغناطيسياً. عندما يشغل الحقل المغناطيسي، تتصرف نوى الذرات ضمن جسمك كالإبر المغناطيسية: تصطف أفقياً على طول مسار الحقل. ثم تولد نبضة صغيرة من الطاقة الراديوية،

⁽⁸⁷⁾المرجع نفسه: ص154.

⁽⁸⁸⁾Brain Machine Interface

⁽⁸⁹⁾Ibid

⁽⁹⁰⁾ميتشيو كاكو: مستقبل العقل، ص36.

والتي تجعل بعض النوى في جسمنا تنقلب رأساً على عقب. وعندما تعود هذه النوى بعد ذلك إلى وضعها الطبيعي، تصدر نبضة ثانوية من الطاقة الراديوية التي تحلل بألة الـ MRI. وتحليل هذا (الرنين) الضيئل، يمكن للمرء أن يعيد تركيب موقع هذه الذرات وطبيعتها. وكالخلافاً الذي يستخدم الصدى لتحديد موقع الأجسام في طريقه، فإن الرنين المتولد بألة MRI يسمح للعلماء بأن يعيدوا تشكيل صورة رائعة لداخل الدماغ. تعيد الحواسيب تشكيل موقع الذرات، معطية إياناً أشكالاً جميلة بالأبعاد الثلاثية⁽⁹¹⁾.

عندما أدخلت الـ MRI لأول مرة، كان بإمكانها إظهار البنية الثابتة للدماغ ومناطقه المختلفة. لكن في منتصف التسعينيات، اخترع نمط جديد من آلات MRI، دعيت أجهزة تصوير بالرنين المغناطيسي الوظيفي أو fMRI والتي استشعرت وجود الأكسجين في الدم في الدماغ (للأنواع المختلفة من آلات MRI يضع العلماء أحياناً حرفاً صغيراً أمام كلمة MRI، لكننا سنستخدم المصطلح MRI للإشارة إلى آلات MRI المختلفة جميعاً). لا يمكن لمسوحات MRI أن تكتشف مباشرة تدفق الكهرباء في العصبونات، لكن بما أن الأكسجين ضروري لتزويد الطاقة بالأعصاب، يمكن للدم الحاوي على الأكسجين أن يتقى بصورة غير مباشرة تدفق الطاقة الكهربائية في الأعصاب، ويظهر كيف تتفاعل المناطق المختلفة من الدماغ بعضها مع بعض⁽⁹²⁾.

يختلف مسح EEG عن مسح بواسطة MRI بطرق مهمة عدة. مسح الـ MRI كما رأينا، يطلق نبضات راديوية إلى الدماغ ثم يحلل (الصدى) المرتد. وهذا يعني أن باستطاعتك تغيير نبضة الراديو لاختيار ذرات مختلفة للتحليل، مما يجعله خصباً جداً. لكن آلة EEG محايدة تماماً، أي أنها تحلل الإشارات الكهربائية الضئيلة التي يصدرها الدماغ عادة. يتفوق الـ EEG في تسجيل الإشارات الكهربائية العريضة التي تمر عبر الدماغ بأكمله، مما يسمح للعلماء بأن يقيسوا النشاط الكلي للدماغ وهو ينام ويركز ويسترخي ويحلم.. إلخ. تهتز حالات مختلفة من الوعي بترددات مختلفة. على سبيل المثال، يتعلق النوم العميق بموجات دلتا التي تهتز عند 0.1 إلى 4 دولارات بالثانية. الحالات العقلية النشطة، مثل حل المسائل، تتعلق بموجات بيتا، والتي تهتز من 12 إلى 30 دورة بالثانية. تسمح هذه الاهتزازات لأنحاء مختلفة من الدماغ بأن تشارك بمعلومات وأن يتواصل بعضها مع بعض حتى لو كانت على أطراف متقابلة من الدماغ. وبينما لا يمكن أخذ مسوحات MRI التي تقيس تدفق الدم سوى عدة مرات فقط في الثانية، فإن مسوحات EEG تقيس النشاط الكهربائي مباشرة⁽⁹³⁾.

لكن الميزة الأكبر لمسوحات EEG هي سهولتها وكلفتها. حتى طلاب المدارس الثانوية أجروا تجارب في غرف معيشتهم على مجسات EEG موضوعه فوق رؤوسهم.

(91) المرجع نفسه: ص 37.

(92) المرجع نفسه: ص 37.

(93) المرجع نفسه: ص 41.

مع ذلك، فإن المشكلة الرئيسية بالنسبة إلى جهاز ال EEG والتي أعاقت تطويره عقوداً هي سوء دقة الاستبانة المكانية. فال EEG يلتقط إشارات كهربائية انتشرت مسبقاً بعد مرورها خلال الدماغ، مما يجعل من الصعب اكتشاف نشاط غير عادي عند نشوئه في أعماق الدماغ. وبالنظر إلى محصلة إشارات EEG المختلطة، فمن المستحيل تقريباً تحديد الجزء الذي أنتجها في الدماغ. إضافة إلى ذلك، فالحركات الخفيفة مثل تحريك أصبع، يمكنها أن تشوه الإشارة، وتجعلها أحياناً بلا فائدة⁽⁹⁴⁾.

EEG (Electroencephalograph) متصلة بفروة الرأس هي الطريقة الأسهل والاجتياحية. يتم استخدامه لقراءة إشارات الدماغ. ومع ذلك، فإن جزءاً كبيراً من الإشارة المنبعثة من دماغنا يتشوه لأن الجمجمة تحجب الإشارات الكهربائية. بغض النظر عن الموقع الذي تضع فيه الأقطاب الكهربائية، فإن الآلية الأساسية هي نفسها أي أن الأقطاب تقيس الفروق الدقيقة في الجهد بين الخلايا العصبية ثم يتم تضخيم الإشارة وتصفيها.

صورة الرنين المغناطيسي (MRI): جهاز التصوير بالرنين المغناطيسي هو جهاز معقد وضخم. على الرغم من أن الصور التي أنتجها التصوير بالرنين المغناطيسي عالية الدقة، لا يمكننا استخدامها كجزء من دائم أو شبه دائم. استخدم الباحثون هذا للحصول على معيار لنشاط دماغي معين أو لتصوير المكان الذي يجب أن توضع فيه الأقطاب الكهربائية في الدماغ لقياس وظيفة معينة.

الكرسي المتحرك الذي يتحكم فيه الدماغ: تحرك مع دماغك - يمكن تطوير هذا المشروع للأشخاص المعاقين جسدياً في حركتهم، كل ما يحتاجه النظام هو تركيز المستخدم. يُسمح للمستخدمين بالتنقل في بيئة داخلية مألوفة في غضون وقت معقول بمساعدة الكرسي المتحرك.

الذراع الروبوتية التي يتم التحكم فيها من الدماغ: يمكن لمستشعر الموجة الدماغية التقاط إشارات دماغك كلما أغمضت عينيك، وعندما تركز وتتأمل ويمكن استخدامها في تطبيقات مختلفة. الذراع الروبوتية التي يتم التحكم فيها في الدماغ هي واحدة من تطبيقاتها. يتم نقل الذراع الروبوتية باستخدام مستشعر EEG بناءً على معلومة تم جمعها بواسطته.

لوحة مفاتيح الدماغ (يمكنك الكتابة باستخدام غمضة عينك): يحاول عديد من الأشخاص المشلولين التواصل مع المناطق المحيطة ولكنهم لا يستطيعون ذلك. يمكنهم فعل ذلك باستخدام لوحة مفاتيح الدماغ والتواصل مع محيطهم. يقرأ مستشعر EEG غمضة العين وبالتالي، يتم عرض النص على مربع النص⁽⁹⁵⁾.

⁽⁹⁴⁾المرجع نفسه: ص 41.

⁽⁹⁵⁾Brain Machine Interface

المروحية التي يتحكم فيها الدماغ: نعم، يمكنك قيادة مروحيتك بموجات الدماغ الخاصة بك. يمكن للطائرة الهليكوبتر أن تطير وفقًا لمستوى تركيزك، والتأمل، لذلك عندما تركز، فإنها تطير لأعلى وعندما تسترخي ستعود، أليس مثيراً للاهتمام.

مصادقة كلمة المرور باستخدام الموجات الدماغية (الأمان): نظرًا لأننا نعرف أن إشارات الدماغ ونمط كل إنسان فريد ومختلف، وبالتالي يمكننا استخدام EEG في تحديد المقياس الحيوي. يمكن استخدام هذا من مناطق عالية الأمان إلى منزلنا ويمكننا المصادقة باستخدام موجات دماغي فقط⁽⁹⁶⁾.

واجهات الدماغ والحاسوب في إعادة التأهيل العصبي

يمكن لعديد من الاضطرابات العصبية بما في ذلك مرض العصبون الحركي وإصابة الحبل الشوكي والشلل الدماغي والضمور العضلي والتصلب المتعدد والسكتة الدماغية أن تضعف المسارات العصبية للتحكم في العضلات أو تضعف العضلات نفسها. يمكن أن يؤدي المرض الحاد إلى فقدان جميع وظائف العضلات، بما في ذلك التواصل، مما يترك المرضى سليمين إدراكيًا ولكنهم «محبوسون» تمامًا في أجسامهم. أدت التطورات الطبية الحديثة إلى زيادة طول العمر حتى في المصابين بمرض خطير أو تدريجي، لكن التعافي مستحيل حاليًا.

تعتمد إدارة هؤلاء المرضى على إعادة التأهيل، والتي تهدف إلى مساعدة المرضى على تعويض الإعاقات الجسدية والمعرفية واستعادة المهارات وإعادة المشاركة في المجتمع. وبالتالي فإن إعادة التأهيل العصبي يمكن أن يقلل من الإعاقة ويعزز الاستقلال ويزيد من نوعية الحياة (QOL) للأفراد المتضررين وأسرهم ومقدمي الرعاية لهم. ومع ذلك، يحتاج المرضى إلى بعض الحركة الطوعية للتدخلات للعمل وبالنسبة لأولئك الذين ليس لديهم، فإن التكنولوجيات المساعدة وطرق إعادة التأهيل الحالية غير كافية، مما يؤدي إلى أعباء شخصية واجتماعية واقتصادية طويلة وعميقة للإعاقة. لذلك، فإن تطوير البدائل أمر ضروري⁽⁹⁷⁾.

ولدت التطورات الأخيرة في تحليل إشارات الدماغ وتكنولوجيا الكمبيوتر اهتمامًا كبيرًا بطريقة تحويلية محتملة لاستعادة الوظيفة في المرضى الذين يعانون من إعاقات حركية شديدة. تسمح واجهات الدماغ والحاسوب (BCIs - تسمى أيضًا واجهات الدماغ والآلة) للمستخدمين بالاتصال أو التحكم في الأجهزة الخارجية باستخدام إشارات الدماغ بدلاً من المسارات التقليدية للأعصاب والعضلات المحيطية. بالإضافة إلى ذلك، توفر BCIs إمكانية مثيرة لاستعادة الوظيفة الحركية عن طريق تحفيز «مرونة الدماغ المعتمدة على النشاط». يناقش هذا المقال مبادئ تقنية BCI وتطبيقاتها لإعادة التأهيل العصبي والقيود الحالية والآفاق المستقبلية⁽⁹⁸⁾.

⁽⁹⁶⁾Ibid

⁽⁹⁷⁾Iqbal, K.. Brain-Computer Interfaces in neurological rehabilitation.2014.p.3.

⁽⁹⁸⁾Ibid

يمكن لعديد من الاضطرابات المختلفة أن تعطل القنوات العصبية العضلية التي يتواصل الدماغ من خلالها مع بيئته الخارجية ويتحكم فيها. التصلب الجانبي الضموري (ALS)، ضربة جذع الدماغ، إصابة الدماغ أو النخاع الشوكي، الشلل الدماغي، الضمور العضلي، التصلب المتعدد، وعديد من الأمراض الأخرى تضعف المسارات العصبية التي تتحكم في العضلات أو تضعف العضلات نفسها. وهي تؤثر على ما يقرب من مليوني شخص في الولايات المتحدة وحدها، وأكثر من ذلك بكثير في جميع أنحاء العالم. قد يفقد الأشخاص الأكثر تضرراً كل التحكم الطوعي في العضلات، بما في ذلك حركات العين والتنفس، وقد يكونون محبوسين تمامًا في أجسامهم، غير قادرين على التواصل بأي شكل من الأشكال. يمكن لتكنولوجيا دعم الحياة الحديثة أن تسمح لمعظم الأفراد، حتى أولئك المحبوسين، بالعيش حياة طويلة، بحيث تكون الأعباء الشخصية والاجتماعية والاقتصادية لإعاقتهم طويلة وشديدة⁽⁹⁹⁾.

في حالة عدم وجود طرق لإصلاح الضرر الناجم عن هذه الاضطرابات، هناك 3 خيارات لاستعادة الوظيفة. الأول هو زيادة قدرات المسارات المتبقية. العضلات التي تظل تحت السيطرة الطوعية يمكن أن تحل محل العضلات المشلولة. غالبًا ما يستخدم الأشخاص المشلولون إلى حد كبير بسبب آفات جذع الدماغ الضخمة حركات العين للإجابة على الأسئلة أو إعطاء أوامر بسيطة أو حتى تشغيل برنامج معالجة الكلمات ؛ ويمكن للمرضى المصابين بعسر الفك الحاد استخدام حركات اليد لإنتاج الكلام الاصطناعي. الخيار الثاني هو استعادة الوظيفة عن طريق الالتفاف حول الفواصل في المسارات العصبية التي تتحكم في العضلات⁽¹⁰⁰⁾.

تعريف BCIS؟

تدرك BCIs نية المستخدم خلال تحليل نشاط الدماغ، والذي يتم ترجمته بعد ذلك إلى أوامر تحقق رغبة المستخدم، مما يعني أنه يمكن تحقيق التواصل والتحكم في العالم الخارجي على الرغم من ضعف النظام العصبي العضلي.

تشمل الإشارات التي يمكن استخدامها لمراقبة نشاط الدماغ الفيزيولوجيا الكهربائية أو المغناطيسية أو الأيضية.

منذ وصف مخطط كهربية الدماغ (EEG) لأول مرة من قبل بيرجر في عام 1929 تساءل العلماء عما إذا كان يمكن استخدامه علاجيًا وكذلك للتشخيص والتحقيق. يمكن تسجيل الإشارات الفسيولوجية الكهربائية باستخدام أقطاب كهربائية غير جراحية فوق فروة الرأس (EEG)، أو بشكل أكثر غزوًا، من الأقطاب الكهربائية

⁽⁹⁹⁾Wolpaw, J.R., et al., Brain-computer interfaces for communication and control. Clinical Neurophysiology, 2002. 113(6): p. 767-791.p.768.

⁽¹⁰⁰⁾Ibid,p.768.

الموضوعة جراحياً على السطح القشري (Electrocorticographic (ECoG))، أو المزروعة (داخل الجسم) التي تسجل المجال المحلي⁽¹⁰¹⁾.

EEG هو أسلوب التسجيل الأبسط والأكثر أماناً ؛ غير أن نطاقها محدود من حيث التردد، وقوة الإشارة، واستبانة المساحة، وهي أكثر عرضة للتداخل، مثلاً من الإشارات الكهرومغناطيسية من عضلات الوجه. توفر كل من ECoG والتسجيلات داخل القشرة الأفضلية بيانات أكثر حساسية، ناتجة عن قربها الأكبر من الخلايا العصبية ؛ غير أن البعض يجادل بأن هذا ليس ذا أهمية. بالإضافة إلى ذلك، كلاهما يحتاج إلى جراحة مع ما يصاحب ذلك من مخاطر تلف الأنسجة والعدوى، وتحتاج سلامتهما واستقرارهما على المدى الطويل إلى توضيح. لهذا السبب، تم اختبار ECoG بشكل أساسي في مرضى الصرع قبل الجراحة ويتم اختبار BCIs داخل القشرة في الغالب على الرئيسيات⁽¹⁰²⁾.

لا يزال الشلل، وهو أحد أكثر النتائج شيوعاً وإضعافاً للأضرار الجسيمة التي لحقت بالجهاز العصبي المركزي، يلقي بظلال طويلة من اليأس على ملايين الأرواح في جميع أنحاء العالم. على الرغم من الخطوات الكبيرة التي قطعتها الأبحاث الأساسية والسريية، إلا أن هناك قليل من الخيارات العلاجية (إن وجدت) المتاحة في الوقت الحالي لاستعادة التحكم الحركي الطوعي في الأطراف لدى المرضى الذين يعانون من آفات مؤلمة أو تنكسية واسعة النطاق في النظام الحركي⁽¹⁰³⁾.

انتشار الشلل الشديد في الجسم مرتفع، خاصة بين الشباب. على سبيل المثال، من بين الأسباب الرئيسة للشلل الدائم، تمثل إصابات الحبل الشوكي الرضحية - الناتجة عن حوادث المرور أو أعمال العنف أو السقوط - ما يقرب من 11000 حالة جديدة كل عام في الولايات المتحدة وحدها. إجمالاً، يعيش أكثر من 200000 مريض في الولايات المتحدة مع العواقب الحركية للإصابات المماثلة. حوالي نصف هؤلاء المرضى مصابون بشلل رباعي، مما يعني أنه بسبب إصابة الحبل الشوكي العنقي، لا يمكنهم تحريك أي من أطرافهم أو أي عضلات أخرى تحت الرقبة. يعتمد الشلل الرباعي على المساعدة المستمرة لإنجاز أبسط الأعمال الحركية. في حين أن معظمنا يجعل قدرتنا على التنفس والأكل والشرب أمراً مفروغاً منه، فإن المريض المصاب بالشلل الرباعي لا يمكنه عادة القيام بأي منها دون مساعدة آلة (مثل جهاز التنفس الصناعي) أو مقدم الرعاية. لهذا السبب، يمكن أن يكون لاستعادة أصغر المهارات الحركية لدى هؤلاء المرضى تأثير عميق على نوعية حياتهم⁽¹⁰⁴⁾.

⁽¹⁰¹⁾ Iqbal, K, p.34.

⁽¹⁰²⁾ Ibid. p. 4.

⁽¹⁰³⁾ Nicolelis, M.A.L., Brain-machine interfaces to restore motor function and probe neural circuits. Nat Rev Neurosci, 2003. 4(5): p. 417-422.p.417.

⁽¹⁰⁴⁾ Ibid.p. 417.

يقيس تخطيط الدماغ المغناطيسي غير الجراحي (EMG) المجالات المغناطيسية الدقيقة الناتجة عن نشاط الدماغ ؛ والتصوير المقطعي بالانبعاثات البوزيترونية (PET)، والتصوير بالرنين المغناطيسي الوظيفي (fMRI) والتحليل الطيفي للأشعة تحت الحمراء القريبة (NIRS) يقيسان أكسجة الدم وتدفعه، والذي يرتبط بالنشاط العصبي. ومع ذلك، في حين أن MEG و fMRI و NIRS تظهر فعاليتها، فإن حجمها وتعقيدها وتكلفتها تعني أن استخدامها يقتصر على البحث.

كل طريقة من طرق BCI لها مزايا ونقاط ضعف. ومع ذلك، في الوقت الحالي، تقدم الطرق الفسيولوجية الكهربائية فقط BCIs العملية المحتملة نظراً لثوابتها الزمنية القصيرة نسبياً والمعدات البسيطة وغير المكلفة. وبالتالي، فإن هذه الحواجز هي في أكثر حالات التطور تقدماً وأكثرها دراسة في البشر ؛ ولذلك فإن ما تبقى من هذا الجزء يركز عليها⁽¹⁰⁵⁾.

في الآونة الأخيرة، فتح تطوير الأجهزة الإلكترونية القادرة على المساعدة في احتياجات الاتصال والتحكم (مثل التحكم البيئي أو التكنولوجيا المساعدة) طرقاً جديدة للمرضى المتضررين من اضطرابات الحركة الشديدة. يتضمن هذا التطور تقدماً مثيراً للإعجاب في مجال الروبوتات. في الواقع، لقد تحول شكل الروبوتات بشكل ملحوظ: من المتلاعب الصناعي ثابت القاعدة، تطور إلى مجموعة متنوعة من الهياكل الميكانيكية. غالباً ما تكون هذه الهياكل قادرة على الحركة باستخدام عجلات أو أرجل. كنتيجة مباشرة، زاد مجال تطبيق الروبوتات بشكل كبير، بما في ذلك مساعدة المرضى في المستشفيات والأشخاص ذوي الإعاقة، والمراقبة التلقائية، واستكشاف الفضاء وعديد من الأشياء الأخرى. في حالة الأجهزة المساعدة الروبوتية للإعاقة الحركية الشديدة، لا تزال تعاني من قيود بسبب ضرورة القدرة الحركية المتبقية (على سبيل المثال، حركات الأطراف والرأس و/أو العين والكلام و/أو النطق). يمكن في الواقع منع المرضى الذين يعانون من حالات مرضية شديدة (أي أولئك الذين ليس لديهم أي سيطرة على العضلات المتبقية) من استخدام هذه الأنظمة. تقنية واجهة الدماغ والحاسوب (BCI) «تمنح مستخدميها قنوات الاتصال والتحكم التي لا تعتمد على قنوات الإنتاج الطبيعية للدماغ للأعصاب والعضلات المحيطية»، ويمكن أن تسمح للأفراد المشلولين تماماً بالتواصل مع البيئة المحيطة. يكتشف BCI أنماط التنشيط في الدماغ التي تتوافق مع نية الشخص. عندما يقوم المستخدم بتعديل طوعي لهذه الأنماط، يكون نظام BCI قادراً على اكتشافه وترجمته إلى إجراء يعكس نية المستخدم. أظهرت عديد من الدراسات التي أجريت على الحيوانات وبعض البشر إمكانية استخدام نشاط الدماغ الكهربائي المسجل داخل الدماغ للتحكم مباشرة في حركة الروبوتات أو الأجهزة الاصطناعية في الوقت الفعلي باستخدام الأقطاب الكهربائية الدقيقة المزروعة داخل

5. Iqbalk.p⁽¹⁰⁵⁾

الدماغ. تعتمد أنظمة BCI الأخرى على نشاط الدماغ المسجل بشكل غير جراحي من سطح فروة الرأس باستخدام تخطيط كهربية الدماغ (EEG). يمكن تشغيل BCIs المستندة إلى EEG عن طريق تعديلات النشاط الإيقاعي EEG الموجودة فوق فروة الرأس التي تحدثها مهام التصوير الحركي ؛ ويمكن استخدام هذه التعديلات للتحكم في المؤشر الموجود على شاشة حاسوب أو جهاز اصطناعي للحركات اليدوية المحدودة. وبالتالي، أصبح من المتصور توسيع نطاق الاتصال بين الأشخاص ذوي الإعاقة والبيئة الخارجية من مجرد تفاعل رمزي (مثل التهجئة الأبجدية) للمساعدة في التنقل. يتألف تطبيق رائد لـ BCI من التحكم في روبوت صغير متنقل عبر غرف منزل نموذجي. يمكن طرح التعرف على النشاط العقلي لتوجيه الأجهزة (الروبوتات المحمولة) أو للتفاعل بشكل طبيعي مع الأجهزة الشائعة داخل الكلمة الخارجية (الهاتف والتبديل وما إلى ذلك). هذا التطبيق المحتمل لتقنية BCI لم تتم دراسته بعد⁽¹⁰⁶⁾.

يتم تثبيت الأنسجة العصبية بقوة داخل الطرف لأنها تنمو من كلا الطرفين وتنضم إلى الخلايا العصبية المجاورة. وقد وفر هذا تسجيلات ثابتة طويلة المدى في الفئران والقرود لمدة تصل إلى 16 شهراً وفي الإنسان يستمر لمدة 16 شهراً. يظهر التحليل النسيجي في الفئران والقرود الخلايا العصبية العادية دون الخلايا العصبية ولكن مع وفرة من المحاور النخاعية. يتم تسجيل نفس إمكانات الفعل على مدى فترات زمنية طويلة ويتم وصف الارتباطات السلوكية. في الآونة الأخيرة، تم زرع هذا النوع نفسه من الأقطاب في بعض المرضى. كانت المريضة الأولى مريضة بمرض التصلب الجانبي الضموري توفيت بعد 76 يوماً من الزرع بسبب مرضها الأساسي. أظهرت أنه يمكن تسجيل إشارات مستقرة ويمكنها تشغيلها وإيقافها. تظهر النتائج في المريض الثاني قدرة هذا القطب على توفير إشارات مستقرة طويلة المدى يمكن فصلها عن النشاط متعدد الوحدات. يمكن للمريض التحكم في هذه الإشارات إلى حد ما وهو قادر على استخدامها لقيادة مؤشر عبر شاشة الكمبيوتر. يتناسب معدل حركة المؤشر مع معدل إطلاق النار. لقد قدم منحنيات تعليمية يتحسن من خلالها أدائه مع التنفيذ المتكرر لنفس المهمة⁽¹⁰⁷⁾.

كيف تعمل BCIs؟

كان تعديل جسم الإنسان أو تعزيز قدراتنا المعرفية باستخدام التكنولوجيا بمثابة حلم طويل الأمد لكثير من الناس. يحاول قدر متزايد من الأبحاث ربط الدماغ ابشري بالآلات التي تسمح للبشر بالتحكم في بيئتهم خلال أفكارهم.

⁽¹⁰⁶⁾Cincotti, F., et al., Non-invasive brain-computer interface system: Towards its application as assistive technology. Brain Research Bulletin, 2008. 75(6): p. 796-803.p.797.

⁽¹⁰⁷⁾Kennedy, P.R., et al., Direct control of a computer from the human central nervous system. IEEE transactions on rehabilitation engineering : a publication of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society, 2000. 8(2): p. 198-202.p.199.

بدأت الأبحاث حول BCIs في السبعينيات، ولكن لم تظهر أول عمليات زرع تجريبية في البشر حتى منتصف التسعينيات. بعد سنوات من التجارب على الحيوانات، توجد الآن غرسات عمل مبكرة على البشر، مصممة لاستعادة السمع والبصر والحركة التالفة. الخيط المشترك في جميع أنحاء البحث هو اللدونة القشرية الرائعة للدماغ، والتي غالباً ما تتكيف مع BCIs، وتعالج الأطراف الاصطناعية التي تتحكم فيها الغرسات كأطراف طبيعية. مع التطورات الحديثة في التكنولوجيا والمعرفة، يمكن للباحثين الرائدین الآن محاولة إنتاج BCIs التي تزيد من الوظائف البشرية بدلاً من مجرد استعادتها، في السابق فقط مجال الخيال العلمي⁽¹⁰⁸⁾.

يتم الحصول على الإشارات الكهربائية للدماغ بواسطة الأقطاب الكهربائية، وتضخيمها ورقمنتها. تتم معالجة الإشارة عن طريق استخراج الإشارات بدقة التي تعكس نية الشخص وإزالة الأشياء المربكة، على سبيل المثال نشاط EMG.

عادة ما تستخرج الأنظمة الحالية واحدة من:

1. الإمكانيات القشرية البطيئة (SCPs) - يتغير الجهد أكثر من 0.5 - 0.10. تمثل التحولات السالبة التنشيط القشري (على سبيل المثال الحركة) بينما تمثل التحولات الموجبة تنشيطاً منخفضاً.
2. الإيقاعات الحسية (SMRs) - تم تسجيلها فوق القشرة الحسية الحركية عند 8-12 هرتز (إيقاع mu) و 18-26 هرتز (إيقاع بيتا)، تحدث التغيرات مع التحفيز الحسي الحركي أو الصور الحركية.
3. P300 Potentials - ذروة كبيرة في EEG عند زمن انتقال 300 مللي ثانية بعد التحفيز البصري أو السمعي ذي الأهمية الخاصة⁽¹⁰⁹⁾.

تتم معالجة الإشارة بشكل أكبر عن طريق «ترجمة» ميزات الإشارة المستخرجة إلى أوامر باستخدام خوارزمية. بشكل حاسم، يجب أن تكون خوارزميات الترجمة ديناميكية وقابلة للتكيف مع التغيرات المستمرة لكل من ميزات الإشارة وأداء المستخدم بسبب التعب وما إلى ذلك.

يمكن استخدام الأوامر التي تم إنشاؤها لتشغيل جهاز خارجي، على سبيل المثال مؤشر الكمبيوتر. يجب أن تتيح أنظمة BCI التفاعل في الوقت الفعلي بين المستخدم والعالم الخارجي، للسماح للمستخدم بتلقي التعليقات على المخرج، مما قد يؤثر على المخرجات اللاحقة. على سبيل المثال، «إذا استخدم الشخص BCI للتحكم في الذراع العصبية، فإن وضع الذراع بعد كل حركة سيؤثر على نية الشخص للحركة التالية ويؤثر على إشارات الدماغ التي تشفر تلك النية».

⁽¹⁰⁸⁾Brain Computer Interface.

⁽¹⁰⁹⁾Iqbal,K,p.6.

هناك طريقتان لاستخدام BCIs لتسهيل إعادة التأهيل. أولاً، يمكن أن تحل BCIs محل الوظيفة العصبية العضلية المفقودة. الاستخدام الثاني أكثر تعقيداً ولم يبدأ استكشافه إلا مؤخراً. قد تستعيد BCIs الوظيفة الحركية عن طريق تحفيز مرونة الدماغ المعتمدة على النشاط لاستعادة وظائف الدماغ الأكثر طبيعية⁽¹¹⁰⁾. «الاتصال للأشخاص» المحبوسين «ربما يمثل المنطقة الأكثر إلحاحاً في حاجة إلى التدخل» وتسهم القدرة على الاتصال الأساسي بشكل كبير في نوعية الحياة للمرضى المصابين بالشلل الشديد.

أكدت الدراسات التي أجريت على الأشخاص المصابين بالتصلب الجانبي الضموري (ALS) والأمراض العصبية الأخرى ذات الدرجات المختلفة من الضعف الحركي أن SMR و SCP BCIs يمكن أن توفر قدرة اتصال أساسية خلال التحكم في أنظمة التهجنة بمساعدة الكمبيوتر، واختيار الأيقونات وإجراء معالجة الكلمات الأساسية. ومع ذلك، فإن الاتصال بطيء للغاية (1-3 رسائل/دقيقة)، وعرضة للخطأ ومطلوب تدريب كبير للمستخدم (أحياناً أشهر). ومع ذلك، فهو إنجاز ضخم أدى إلى تحسين نوعية الحياة للمرضى، ويجادل البعض بأن السرعة غير مهمة في «المرضى المشلولين الذين لديهم منظور حياة مختلف وحاجة ملحة للتواصل»⁽¹¹¹⁾.

بدلاً من ذلك، ثبت أن إملاءات P300 القائمة على التحفيز البصري (مثل شبكات الأرقام أو الأحرف أو الرموز التي تومض بترتيب عشوائي، مع تركيز المستخدم على العنصر s/s الذي يرغب في اختياره) فعالة، بمعدل اتصال مقبول. الأهم من ذلك، أنها تتطلب الحد الأدنى من التدريب لأن استجابة P300 تحدث بشكل طبيعي. بالإضافة إلى ذلك، يتم تطوير أنظمة سمعية للمرضى الذين يعانون من ضعف في الأنظمة البصرية.

كما كانت مركبات BCI الغازية تحت القشرية وداخل القشرة القشرية فعالة. ومع ذلك، فإن الوفاة والمضاعفات الطبية أوقفت الاتصال في بعض الدراسات. أظهرت دراسات أخرى أجريت على مرضى الصرع قبل الجراحة إمكانية عندما حاول المرضى التهجنة أو أدوا مهام التصوير. ومع ذلك، في حين أن BCIs الغازية تمنح دقة وسرعة أكبر، إلا أنها أقل قبولاً للمرضى الذين يفضلون الأجهزة غير الغازية على الرغم من بطئها ومعدل الخطأ. علاوة على ذلك، فإن دراسات BCI الغازية أصغر من أن تحكم على الفعالية طويلة المدى. لذلك، فإن BCIs هي وستظل الطريقة المفضلة للتواصل في المرضى المشلولين والمحبوسين. من المشجع أن بعض الأفراد يستخدمون بالفعل BCIs المستندة إلى EEG يومياً، بما في ذلك عالم مصاب بمرض التصلب الجانبي الضموري يستخدمه لإدارة برنامج البحث⁽¹¹²⁾.

⁽¹¹⁰⁾Ibid.p.6.

⁽¹¹¹⁾Ibid.p.6.

⁽¹¹²⁾Ibid.p.7.

استعادة التحكم في المحرك هو تطبيق رئيس آخر. تم اختبار كل من SMR و P300 BCIs على الأشخاص المصابين بالشلل الشديد. سمح BCI SMR للمريض الرباعي بإمساك يده المشلولة وفتحها وإغلاقها عن طريق تنشيط تقويم العظام. كان الطرح العصبي اليدوي المزروع جنبًا إلى جنب مع نظام قائم على الصور الحركية فعالاً في مريض مشلول جزئياً.

يمكن أن تكون BCIs الغازية ناجحة أيضاً، كما يتضح من العديد من الدراسات التي أجريت على القروء السليمة والتي أدت إلى أداء حركاتها الماهرة. والأهم من ذلك أن الإنسان المشلول جزئياً كان قادراً على فتح وإغلاق اليد الاصطناعية، واستخدام طرف آلي بسيط متعدد المجاميع لإمساك ونقل الأشياء عن طريق الأقطاب الكهربائية داخل القشرة. تركز العديد من الجهود على زيادة تطوير كل من BCIs القائمة على تخطيط الدماغ الغازي وغير الغازي لتشغيل الأطراف الروبوتية أو العصبية⁽¹¹³⁾.

يمكن للتحكم البيئي القائم على BCI (مثل منظم الحرارة والأضواء والتلفزيون وما إلى ذلك) أن يحسن إلى حد كبير نوعية حياة الأشخاص ذوي الإعاقة الشديدة الذين غالباً ما يكونون في منازلهم.

قامت دراسة أجراها Cincotti وآخرون بدمج تقنية BCI القائمة على EEG في نظام محلي للتحكم في البيئة، مما يسمح للمرضى (الذين يعانون من الضمور العضلي) بتشغيل الأضواء عن بعد، والترفيه المنزلي، وفتح الباب الأمامي، والسرير الآلي والهاتف، وكذلك مراقبة محيطهم باستخدام الكاميرات اللاسلكية. تم اختبارها في بيئة منزلية محاكاة، ووجدوا أنها زادت من شعور المرضى بالاستقلالية وتخفيف عبء الرعاية. ويجري تطوير نظم أخرى⁽¹¹⁴⁾.

استعادة الحركة المستقلة هي قضية رئيسية أخرى. تم تطوير الكراسي المتحركة الكهربائية التي يتحكم فيها EEG بنجاح، إما للسماح للمستخدم بإرسال أوامر اتجاه أو اختيار وجهة من قائمة. في حين أن الأخير أقل تطلباً على المستخدم، فإن التحكم في الكراسي المتحركة يقتصر على الواجهات المحددة مسبقاً. وهناك حاجة إلى مزيد من العمل للتحقق من انطباق الكراسي المتحركة التي يقودها BCI، والتي «بسبب اعتبارات السلامة، يجب أن تكون هناك متطلبات أكثر صرامة للدقة من العديد من التطبيقات الأخرى»⁽¹¹⁵⁾.

تُظهر قاعدة بيانات الأدلة القوية أن مرونة الدماغ المعتمدة على النشاط (ADBP) تؤدي إلى التعلم الحركي المستمر واكتساب المهارات، ليس فقط في الجهاز العصبي المركزي السليم (CNS)، ولكن أيضاً بعد الصدمة أو المرض، على سبيل المثال السكتة الدماغية. يمكن أن تحدث اللدونة على مستويات التشابك العصبي. تعمل

⁽¹¹³⁾Ibid.p.7.

⁽¹¹⁴⁾Ibid.p.8.

⁽¹¹⁵⁾Ibid.p.8.

بروتوكولات إعادة التأهيل الحالية على أساس أن ممارسة الحركة المتكررة ستعيد الوظيفة الحركية عبر ADBP. بشكل حاسم، يمكن أن يؤدي ADBP إما إلى استعادة الوظيفة الطبيعية أو، إذا تم إجراء حركات غير طبيعية متكررة، يؤدي إلى تفاقم أو حتى إنشاء وظيفة غير طبيعية. لذلك، يجب أن تكون إعادة التأهيل موجهة بعناية. في الآونة الأخيرة، كان هناك اهتمام متزايد باستخدام BCIs لتعزيز إعادة التأهيل. هناك نوعان ممكنان من استراتيجيات التعلم الحركي القائمة على BCI⁽¹¹⁶⁾.

تهدف الإستراتيجية الأولى إلى تدريب المرضى على إنتاج المزيد من نشاط الدماغ الطبيعي للتحكم في الوظائف الحركية، خلال استخدام BCI لتقديم ملاحظات EEG حول الحالة الحالية لنشاط الدماغ، مما يمكن المرضى من التحكم في أنماط نشاط دماغية محددة وانخفاض النشاط غير الطبيعي. بدأت الأبحاث المتوازية لأول مرة منذ عدة عقود حول تدريب المرضى المصابين بالصرع على التحكم في ميزات تخطيط كهربية الدماغ كوسيلة لتقليل تكرار النوبات (من بين حالات أخرى)، أكدت عديد من الدراسات أن التدريب يمكن أن يغير سمات تخطيط كهربية الدماغ أو ECoG أو نشاط خلية عصبية واحدة. على سبيل المثال، تظهر الدراسات التي أجريت على مرضى السكتة الدماغية أنهم يستطيعون السيطرة على خصائص مخطط كهربية الدماغ ؛ تحسن إعادة التأهيل الحسي الحركي القائم على BCI الوظيفة الحركية بعد إصابة CNS ؛ وتغيرت ميزات EEG بالتوازي مع تحسين الوظيفة الحركية بعد إعادة التأهيل العصبي القائم على EEG. ومع ذلك، لا يزال من غير المؤكد «ما إذا كان تدريب المريض على إنتاج ميزات إشارات دماغية أكثر طبيعية سيحسن الوظيفة الحركية التي تتضمن نفس المناطق التي تنتج تلك الإشارات»⁽¹¹⁷⁾.

تستخدم الاستراتيجية الثانية إشارات الدماغ لتنشيط الأجهزة المساعدة، على أساس أن «مرونة CNS الناتجة عن المدخلات الحسية الناتجة أثناء الوظيفة الحركية المحسنة التي يوفرها الجهاز ستؤدي إلى تحسين التحكم في المحرك». ويدعم ذلك دراسات توضح ملاحظة وممارسة حركات طبيعية قدر الإمكان قد تساعد على تحسين الوظيفة الحركية وتوجيه ADBP الوليدة.

يمكن استخدام إشارات الدماغ لتنشيط الجهاز الذي ينشط التحفيز الكهربائي الوظيفي (FES) أو الروبوتات المساعدة. الدراسات مشجعة، مما يدل على أن كل من BCIs مع FES أو الروبوتات المساعدة قد تساعد على إعادة تعلم الحركة في المرضى الذين يعانون من إعاقات من السكتة الدماغية. ومع ذلك، لم يتحسن جميع المرضى ولكنهم لم يستعيدوا بالضرورة التحكم الحركي الطبيعي. على الرغم من ذلك، يمكن أن تكون هذه الطريقة ناجحة في بعض المرضى، لا سيما أولئك الذين يعانون من عجز متوسط الشدة بعد السكتة الدماغية.

⁽¹¹⁶⁾Ibid.p.8.

⁽¹¹⁷⁾Ibid.p.9.

قد يوفر العلاج القائم على BCI مساعدة مفيدة لإعادة التأهيل العصبي القياسي وقد يخفف التكلفة عن طريق تقليل الحاجة إلى الإشراف المستمر من قبل معالجي إعادة التأهيل. ومع ذلك، لا يزال يتعين حل عديد من الأسئلة، بما في ذلك مدى اكتشاف المرضى لإشارات الدماغ التي يمكن أن تدعم أياً من الاستراتيجيتين ؛ وما هي أكثر سمات إشارات الدماغ ملائمة وكيف يمكن استخدامها على نحو أكثر فعالية ؛ وكيفية توفير التدريب والتوجيه للمرضى لتحقيق أقصى قدر من الأداء⁽¹¹⁸⁾.

تعقيب

عموماً، كما تمت مناقشته، يمكن استخدام تقنية BCI عديد من الوظائف وبالتالي يمكنها تحسين نوعية الحياة بشكل كبير لدى الأشخاص الذين يعانون من أمراض عصبية مدمرة مثل ALS. في حين أن بعض BCIs القائمة على EEG للاتصال البسيط والتحكم البيئي عملية حالياً ويتم استخدامها بالفعل من قبل عدد قليل من المرضى يومياً، لا تزال هناك مشكلات يجب معالجتها من أجل نقل BCIs بالكامل من المختبرات إلى المنازل والعيادات.

الاستخدام الفعال لـ BCI هو مهارة يجب اكتسابها والحفاظ عليها. تتطلب BCIs تركيزاً شديداً يمكن أن يؤدي إلى التعب السريع والأداء غير المتسق. ويتطلب هذا التباين، وبسبب التشتيت، وتطور المرض وما إلى ذلك، استمرار التكيف المتبادل بين المستخدم والنظام. إدارة هذا التكيف «أحد أصعب وأهم التحديات» التي تواجه BCIs ؛ ويمكن تقليل ذلك عن طريق تطوير «خوارزميات للتكيف الذكي» والتعلم⁽¹¹⁹⁾.

تتطلب جميع المؤسسات التجارية الدولية الحالية بذل جهود كبيرة لإنشاء ومعايرة وتشغيل جنباً إلى جنب مع الدعم التقني المستمر والمكلف من الخبراء ؛ لذلك، يجب أن تتحسن في سهولة وملاءمة الاستخدام اليومي وكذلك الصيانة طويلة الأجل. بالإضافة إلى ذلك، يجب أن تتحسن BCIs في مجالات متنوعة مثل السرعة والدقة والاتساق والسلامة والموثوقية والتطبيق العملي والتكوين لتحقيق إمكاناتها.

يمكن أن تكون العوامل التحفيزية، مثل القبول وما إذا كان الاستخدام يحسن نوعية الحياة للمستخدم حاسمة. يمكن أن تؤثر التغييرات في البيئة المادية أو الاجتماعية للفرد وتفاعلاته بشكل كبير على مدى استخدام BCI ومن المهم تخصيص BCIs لتناسب احتياجات المستخدم الفردي. الأهم من ذلك، «لتجنب التوقعات غير الواقعية وخيبة الأمل، يجب توعية المستخدمين [المحتملين] وعائلاتهم بالقدرات المتواضعة لتكنولوجيا BCI الحالية» خلال التواصل الجيد.

⁽¹¹⁸⁾Ibid.p.10.

⁽¹¹⁹⁾Ibid.p.10.

كيف نعرف كيف يعمل الدماغ؟ لا يستطيع الأطباء فتح هذا الدماغ مثل وعاء الحلوى وإغلاق الغطاء بعد ذلك... في الواقع، تم تشكيل أسلاك كهربائية في أدمغة الإنسان بشكل آمن لسنوات عديدة. يمكن لهذه الأجهزة، التي يطلق عليها واجهات الدماغ والآلات، أن تساعد الأطباء والعلماء في تسجيل الإشارات الكهربائية من الدماغ، لإخبارهم كيف يتفاعل الدماغ مع العالم. يستخدم الباحثون هذه التقنية لتحسين نوعية حياة المرضى المشلولين وبناء أنماط اللعب التي يتحكم فيها الدماغ. على الرغم من قوتها، إلا أن واجهات الدماغ والآلة لا تزال تواجه تحديات في الوجه. هل يبدو هذا وكأنه حقل قد ترغب في متابعته ؟ استمر في القراءة لمعرفة المزيد!⁽¹²⁰⁾

هل يمكن لآلة ان «تقرأ عقلك»؟

الخلايا العصبية هي خلايا خاصة في الجسم تحمل رسائل بين الجسم والدماغ. على سبيل المثال، عندما تحرك ساقك، قم بتحريك الرسالة من دماغك إلى ساقك. دون الخلايا العصبية، لن تتمكن من تذوق أو لمس أو سماع أو شم أو تفكير أو تحريك أطرافك. تتواصل الخلايا العصبية فقط عندما تكون متصلة. ومع ذلك، قد تنقطع الخلايا العصبية بسبب الإصابة أو المرض. تخيل أنك استيقظت ذات يوم ولم تستطع تحريك ساقيك أو ذراعيك! حتى لو كان لا يزال بإمكانك التفكير في تحريكها، فلن يكون التحرك اختراعًا إذا لم تكن خلاياك العصبية تتواصل. لن تكون قادرًا على استخدام كرسي متحرك إذا لم تكن ذراعيك تعمل. ولكن ما إذا كانت هناك طريقة لاستخدام أفكارك للسيطرة على كرسي متحرك ؟ أشياء جيدة! واجهة الدماغ والآلة (BMI) هي جهاز يمكنه «قراءة» جهاز " BRAIN-MACHININTERFACE واجهة الدماغ والآلة ، الذي يربط الدماغ و " الكمبيوتر الكهربائي " نشاط في الدماغ. يمكن لـ BMIs اكتشاف الإشارات في الدماغ، وبما أنه يتصل بجهاز كمبيوتر وجهاز آخر مثل الكرسي الكهربائي، فيمكنه تنفيذ الإجراءات التي يريد المستخدم القيام بها. مع مساعدة BMI، يمكن للأشخاص المصابين بالشلل أو بتر الأطراف أداء مهام يومية واستعادة بعض استقلالهم⁽¹²¹⁾.

كيف يعرف BMI الاتجاه الذي تريد تحريك كرسيك الكهربائي نحوه؟ يفكر عقلك في «المضي قدمًا»، ولكن كيف يقرأ BMI عقلك؟ تتحدث الخلايا العصبية في دماغك إلى شخص آخر عندما تفكر في تحريك الكرسي المتحرك للأمام، فإن الخطوة الأولى هي تسجيل إشارات الدماغ هذه. يمكننا تسجيل إشارات الدماغ باستخدام الأقطاب الكهربائية، وهي أجهزة تجمع الإشارات الكهربائية. على سبيل المثال، يرتدي الشخص الموجود في غطاء مطبوعًا خاصًا يحتوي على قطب كهربائي يُعرف باسم غطاء تخطيط كهربية الدماغ. يتم وضع نوع آخر من الأقطاب الكهربائية، يسمى شبكة تخطيط القشريات الكهربائية ، مباشرة على سطح الدماغ. يجب على الجراح إزالة

⁽¹²⁰⁾Lu, Hung-Yun & Jeanpierre, Grace & Mitchell, Jaz & Santacruz, Samantha. (2022). "Mind-Reading" Machines. Frontiers for Young Minds. 10. 10.3389/frym.2022.771696.p.1.

⁽¹²¹⁾Ibid.p.1.

الجمجمة لوضع شبكة ، لكنها لا تخترق الدماغ - فهي تجلس فقط على السطح. في المقابل، توجد أقطاب كهربائية داخل القشرة (تعني داخل الدماغ)، والتي تبدو وكأنها إبر صغيرة جدًا، في أعماق أنسجة المخ، أيضًا من خلال الجراحة. إنهم يقومون بنشاط عصبي مفصل للغاية⁽¹²²⁾.

التقدم الحديث في تحليل إشارات الدماغ وتدريب المرضى على التحكم في هذه الإشارات، بالإضافة إلى تحسين قدرات الحوسبة، جعل من الممكن للأشخاص المعاقين حركيًا استخدام إشارات أدمغتهم للتواصل والتحكم في الأشياء في محيطهم، وبالتالي تجاوز جهازهم العصبي العضلي المعوق. يمكن استخدام تقنيات واجهة الدماغ الحاسوبية BCI غير الغازية والمستندة على القطب الكهربائي (EEG) للتحكم في مؤشر الكمبيوتر أو جهاز تصحيح العظام ، لمعالجة الكلمات والوصول إلى الإنترنت ولأغراض أخرى مثل التحكم في البيئة أو الترفيه. يمكن لتقنية BCI بإعادة تأسيس بعض الاستقلالية أن تحسن بشكل كبير حياة الأشخاص المصابين بأمراض عصبية مدمرة مثل التصلب الجانبي الضموري المتقدم. قد تعيد تقنية BCI أيضًا التحكم الحركي الفعال للأشخاص بعد السكتة الدماغية أو أي اضطرابات دماغية أخرى من خلال المساعدة في توجيه مرونة الدماغ المعتمدة على النشاط عن طريق استخدام إشارات الدماغ EEG للإشارة إلى المريض بالحالة الحالية لنشاط الدماغ وتمكين المستخدم من ذلك. بدلاً من ذلك، باستخدام إشارات الدماغ لتكملة ضعف التحكم في العضلات، قد تزيد BCIs من فعالية بروتوكول إعادة التأهيل وبالتالي تحسين التحكم في العضلات للمريض⁽¹²³⁾.

بعد تسجيل إشارات الدماغ باستخدام الأقطاب الكهربائية، يشير BMIs إلى تعليمات للكرسي المتحرك. يتعلم الكمبيوتر شكل إشارات الدماغ المتعلقة بالاتجاهات المختلفة، نوعًا ما يحتمل الحصول على لغة جديدة. ومع ذلك، يستغرق الأمر وقتًا لتعلم هذه اللغة الجديدة، لذلك يجب على الكمبيوتر دراسة إشارات الدماغ لتصحيح الترجمات. بعد تعلم كيفية ترجمة الإشارة، يمكن لـ "BMI" تحديد الاتجاه الذي يريد المستخدم تحريكه. الكراسي الكهربائية ليست الأجهزة الوحيدة التي يمكن التحكم فيها باستخدام "BMIs". BMI يمكنها التحكم في مؤشر الفأرة على شاشة الكمبيوتر، ويمكنها إغلاق يد الذراع الآلية⁽¹²⁴⁾.

يحرص الأطباء والعلماء على الموافقة على الأدوية والأجهزة الطبية للاستخدام البشري - هكذا يمكن للمرضى التأكد من أن الحبوب التي يتناولونها آمنة وفعالة. إنه الشيء نفسه بالنسبة لـ BMI، خاصة الليثوز التي تتطلب عمليات جراحية لزرع الأقطاب الكهربائية. يقوم العلماء بإجراء اختبارات رشيقة قبل استخدام BMI على المرضى، بحيث تكون السلامة هي أعلى عقلية. قبل استخدام BMI على البشر، يستخدمه العلماء على الحيوانات

⁽¹²²⁾Ibid.p.2.

⁽¹²³⁾Daly, J. J., and Wolpaw, J. R. 2008. Brain-computer interfaces in neurological rehabilitation. Lancet Neurol. 7:1032-43. doi: 10.1016/S1474-4422(08)70223-p.1.

⁽¹²⁴⁾Lu,Hung and athers.p.2.

مثل الفئران أو الفئران أو القروء. إذا اجتاز BMI هذه الاختبارات، فسيتم إجراء اختبار مهم بعد ذلك، يسمى التجربة السريرية. تسمح التجارب السريرية للعلماء بفهم ما إذا كانت BMI آمنة للاستخدام البشري وما إذا كانت الأجهزة تعمل على النحو المصمم. على سبيل المثال، العالم ما إذا كان BMI يمكنه تسجيل إشارات دماغ المستخدم بدقة. يستخدم العلماء أيضاً التجارب السريرية لاكتشاف الآثار الجانبية المحتملة - العينة المسبقة، للتأكد من أن الإلكترونيات لا تسبب أي مجمعات كهربائية للدماغ. يجب أيضاً مراقبة المرضى للتأكد من ظهور الحشرات بعد الجراحة. إذا اكتشف العلماء مشاكل أثناء التجربة السريرية، فإنهم يصلحونها للتأكد من أن BMI آمن ومفيد⁽¹²⁵⁾.

مع ذلك، فإن التجارب السريرية ليست مثالية - قد تكون هناك تأثيرات طويلة المدى تستغرق سنوات لاكتشافها. بالإضافة إلى ذلك، يمكن للإلكترونيات التي تشكل BMI أن تنهار ببطء بمرور الوقت، وأحياناً تستغرق سنوات حتى يلاحظ الأطباء التغييرات. يمكنك أن تؤكد أن أي BMI متاح للشراء أو الاستخدام قد خضع لعدد كبير من اختبارات السلامة الشاملة. يجب أن نتذكر أيضاً أن BMI "" خيار - للمستخدمين الكلمة الأخيرة فيما إذا كانوا يريدون استخدام الجهاز. من المهم أيضاً ملاحظة أن المستخدم يمكنه التحكم في BMI - BMI لا يتحكم فيه! لا يمكن لـ BMI أن يسرق أفكار الشخص، أو يجعله أكثر ذكاءً، أو يجعله يفعل شيئاً لا يريد القيام به. BMI يفعل فقط ما يطلب منهم الناس القيام به⁽¹²⁶⁾.

يبني العلماء BMI لتحسين حياة الناس. BMI لديها تطبيقات تتراوح من الرعاية الصحية إلى الترفيه. تقوم "BMIs" بإلغاء التحكم في الكراسي المتحركة، والاستيلاء على الأشياء، وحتى التواصل مع الأشخاص الآخرين. يعمل الباحثون على الجمع بين ألعاب الكمبيوتر و BMI، حتى يتمكن الأشخاص من التحكم في إجراءات اللعبة بأدمغتهم فقط. ابتكر بعض الباحثين لعبة حركة الكرة الافتراضية التي لا تتطلب تفاعلاً جسدياً مع الكمبيوتر - يتم التحكم في تحرك الكرة بواسطة BMI فقط. هذا يعني أنه يمكننا التحكم في الدماغ بدلاً من عصا التحكم أو لوحة المفاتيح. يتطلع الباحثون إلى مستقبل لن تكون فيه أيدينا أو أقدامنا جاهزة للقيادة. تعمل نيسان على نظام قيادة يستخدم BMIs لتوجيه السيارة. هناك حاجة إلى المزيد من العمل لأن القيادة معقدة للغاية، ويريد العلماء التأكد من أن BMIs يمكن أن تقود بأمان قدر الإمكان⁽¹²⁷⁾.

بعض التحديات في هذا المجال ؟

⁽¹²⁵⁾Ibid.p.3.

⁽¹²⁶⁾Ibid.p.4.

⁽¹²⁷⁾Ibid.p.4.

BMI هو مجال جديد ولا يزال هناك عديد من التحديات. أولاً، العمل الإضافي، ستضيع إشارة الدماغ ببطء لأن الأنسجة النديبة تدور حول القطب الكهربائي. أيضاً، تعمل بعض BMIs على البطاريات، وعندما تموت البطاريات، يجب على الأطباء استبدالها. هذا مرضى غير مريحين - تخيل لو كان عليك إجراء عمليات جراحية كل عدة سنوات!

يمكن للمرضى أيضاً الإصابة بالعدوى أثناء العمليات الجراحية. لحل هذه المشكلة، يقوم العلماء ببناء BMIs التي تحتوي على شحن لاسلكي. تحتوي بعض الهواتف المحمولة أيضاً على هذه الميزة الجديدة! تحديات كبيرة أخرى لدينا مزاجية مختلفة كل يوم وحتى كل لحظة، ومن الصعب على BMI معرفة ما نفكر فيه في ظل جميع أنواع الظروف. التحدي الآخر هو تقليل الاهتمام الذي ينفقه المستخدمون على استخدام BMI. على سبيل المثال، قد تقرأ هذا الجسيم وتشرب كوباً من الشوكولاتة الساخنة في الوقت نفسه. أنت تحمل الكوب بسهولة وبالكاد تفكر فيه. ومع ذلك، فإن هذا يمثل تحدياً لشخص يمتلك ذراعاً آلية، والذي يجب أن يركز بشدة لالتقاط الخزانة التي تسكب المشروب. لحسن الحظ، عندما يصبح المستخدمون أكثر دراية بـ BMIs الخاصة بهم، يمكنهم إيلاء اهتمام أقل⁽¹²⁸⁾.

تعد تقنية واجهة الاتصال بين الدماغ والحاسوب (BCI) أداة اتصال قوية بين المستخدمين والأنظمة. لا يتطلب أي أجهزة خارجية أو تدخل عضلي لإصدار الأوامر وإكمال التفاعل. قام مجتمع البحث في البداية بتطوير BCIs مع وضع التطبيقات الطبية الحيوية في الاعتبار، مما أدى إلى توليد الأجهزة المساعدة. لقد سهلت استعادة القدرة على الحركة للمستخدمين الذين يواجهون صعوبات مادية أو المحبوسين واستبدال الوظائف الحركية المفقودة. شجع المستقبل الواعد المتوقع لـ BCI مجتمع البحث على دراسة مشاركة BCI في حياة البشر غير المشلولين من خلال التطبيقات الطبية⁽¹²⁹⁾.

تم تطوير أنظمة تحديد مستوى الوعي المختلفة جنباً إلى جنب مع الدراسات المتعلقة بالدماغ. تم تنوير تأثيرات اليقظة للتدخين والكحول على موجات الدماغ. تكمن أهمية مثل هذه الدراسات للوقاية الطبية في احتمال فقدان الوظيفة وانخفاض مستوى اليقظة الناتج عن التدخين أو شرب الكحول. تعتبر حوادث المرور السبب الرئيس للوفاة أو بعض الإصابات الخطيرة كما زُعم. كان تحليل أسبابها للوقاية لاحقاً مصدر قلق للبحوث في مختلف المجالات. وهكذا تمت دراسة مستوى التركيز لأولئك الذين يعانون من دوار

⁽¹²⁸⁾Ibid.p.4.

⁽¹²⁹⁾Abdulkader, Sarah & Atia, Ayman & Mostafa, Mostafa-Sami. (2015). Brain computer interfacing: Applications and challenges. Egyptian Informatics Journal. 16. 213-230. 10.1016/j.eij.2015.06.002.p.214.

الحركة، وخاصة السائقين. عادة ما يحدث دوار الحركة، الذي يحدث نتيجة لإرسال معلومات حسية متضاربة متولدة من الجسم والأذن الداخلية والعين إلى الدماغ، على وسائط النقل المتحركة⁽¹³⁰⁾.

يمكن أن يتسبب في حوادث المرور لأنه ينخفض في قدرة الشخص على الحفاظ على ضبط النفس. يمكن أن يسهم التنبؤ بدوار الحركة في نظام مراقبة حالة السائق واليقظة باستخدام مجموعة من مؤشرات الطاقة EEG. تم فحص إشارات تخطيط الدماغ المصاحبة لها من مناطق دماغية خمس مختلفة. تم قياس مستوى السمع البشري، كجزء من عملية جمع المعلومات الحسية، خلال نظام محتمل قائم على BCI. في دراسة أخرى، تم تصميم منصة مرض الحركة القائمة على الواقع الافتراضي بنظام تخطيط كهربية الدماغ من 32 قناة وعصا تحكم تستخدم للإبلاغ عن مستوى مرض الحركة (MSL) في التجارب في الوقت الفعلي. تم توسيع مراقبة مستوى الوعي عبر موجات الدماغ لتشمل ليس فقط السائقين ولكن أيضاً المرضى الذين بقوا بمفردهم⁽¹³¹⁾.

واجهة الدماغ والآلة (BMI) هي مسار اتصال مباشر بين الدماغ والآلات السلوكية. يأخذ نظام BMI نشاطاً فسيولوجياً عصبياً معقداً كإشارة إدخال ثم يعالج هذه الإشارة للقيام بأفعال بواسطة جهاز خارجي. أحدث ثورة في الصحة وصناعة إعادة التأهيل والعلاج الطبي للأشخاص ذوي القدرات غير القادرة. هناك ثلاثة أنواع من تقنيات BMI مثل BMI غير الغازي والجزئي والغازي. يضع BMI غير الغازي مجموعة من الأقطاب الكهربائية على سطح فروة الرأس والأنشطة المقاسة من مجموعة ضخمة من الأقطاب الكهربائية. يتم وضع أسلاك BMI الغازي جزئياً داخل الدماغ وفوق المادة الرمادية منه. في BMI الغازي، يتم وضع خلايا عصبية واحدة أو قليلة داخل المادة الرمادية للدماغ لتوليد إشارة إدخال أفضل. BMI الغازي متطور وحساس. لا يمكن لـ BMI غير الغازي أن يولد إشارة مدخلات أفضل كـ BMI الغازي، ولكنه أقل تعقيداً ويسهل التلاعب به. يتم تطوير تطبيقات BMI على نطاق واسع في المجالات الطبية والتعليمية والتنظيم الذاتي والألعاب والترفيه. يمكن التحكم في عامل آلي مثل الروبوت الذي يتم التحكم فيه عن طريق التفكير واليد الآلية والإشادة به من خلال فكرة الإنسان. يمكن تحريك الكرسي المتحرك الذي يتم التحكم فيه عن طريق فكرة المستخدم. أحدثت تقنيات BMI أيضاً ثورة في صناعة الألعاب وتجعل الألعاب أكثر متعة وحيوية⁽¹³²⁾.

إذا كنت ترغب في الغوص بشكل أعمق في عالم BMI، يمكنك النجوم الآن! هناك عديد من الموارد المجانية المخصصة لأطفال التعليم حول الدماغ. ستساعدك قراءة المجلات العلمية، مثل Frontiers for Young Minds، على إطلاعك على الاكتشافات العلمية الجديدة في هذا المجال. مقالات رائعة في موقع الويب هذا عن الدماغ،

⁽¹³⁰⁾Ibid.p.215.

⁽¹³¹⁾Ibid.p.215.

⁽¹³²⁾Miah, Md & Hassan, Al & Mamun, Khondaker & Farid, Dewan.. Brain-Machine Interface for Developing Virtual-Ball Movement Controlling Game. 10.1007/978-981-13-7564-4_51.2020.p.607.

مفصولة بمستوى الدرجة لتعظيم فهمك. سيساعدك التعرف على معالجة الإشارات البرمجية أيضًا على فهم مؤشرات كتلة الجسم وما تعنيه الإشارات الدماغية. عندما تصل إلى المدرسة الثانوية، خذ دروسًا في علم الأحياء، وعلم التشريح، وعلم وظائف الأعضاء، وعلوم الكمبيوتر.

باختصار، BMIs هي تقنية قوية وجديدة للغاية. يمكنهم تحسين نوعية حياة الناس. على الرغم من وجود عديد من التحديات في هذا المجال، يبذل الباحثون قصارى جهدهم للتأكد من أن مؤشرات كتلة الجسم آمنة للاستخدام البشري. هذا الحقل ينمو! إذا كنت مهتمًا، يمكنك استخدام الاقتراحات أعلاه للانضمام إلى مجال BMI⁽¹³³⁾.

التقدم الحاصل في الواجهات الإلكترونية والإلكترونية الضوئية وواجهات الموائع الدقيقة مع النظم الحيوية الحية بمثابة أسس لأجهزة متعددة الاستخدامات قادرة على استجواب وتعديل سلوك الأجهزة العصبية المركزية والمحيطية. بالإضافة إلى استخدامها في الأبحاث الأساسية، يتم أيضًا تطوير واجهات الأنسجة العصبية كعلاجات للاضطرابات والأمراض العصبية. كما هو الحال مع غرسات القوقعة وأجهزة تنظيم ضربات القلب، فإن الأجهزة الأكثر تقدمًا للاستخدام البشري تستغل وحدات إلكترونية صلبة وكبيرة نسبيًا متصلة كهربائيًا بأقطاب معدنية كواجهات لمجموعات الخلايا العصبية. يمكن لهذه الأنظمة وغيرها، مثل تلك الخاصة بتحفيز الدماغ العميق، مراقبة وتخفيف الاضطرابات والأمراض العصبية المتنوعة - على وجه الخصوص، الاكتئاب والصرع والألم المزمن والصمم ومرض باركنسون. يمكن لطرائق تشغيلها المحدودة وعدم تطابقها الميكانيكي مع الأنسجة العصبية اللينة أن تعيق الوظائف طويلة المدى وتحد من قابلية التطبيق التشريحي⁽¹³⁴⁾.

أدى التقدم الأخير في الواجهات العصبية القابلة للزرع إلى توسيع تصميمات وقدرات الأنظمة المصغرة الحالية بشكل نوعي لدعم توصيل المحفزات البصرية والكيميائية والكهربائية المبرمجة من قبل المستخدم في الوقت الفعلي. تحتوي بعض الأجهزة على تنسيقات تتطلب فقط إجراءات زرع طفيفة التوغل وتوفر استقرارًا تشغيليًا على مدى فترات زمنية طويلة.

تعتمد التكنولوجيات شائعة الاستخدام لمثل هذه التطبيقات على مصادر الطاقة الكهروكيميائية (مثل البطاريات والمكثفات الفائقة) أو على نظم كبيرة وضخمة مماثلة لحصاد الطاقة ويرجع ذلك جزئيًا إلى النضج التكنولوجي والتوافر واسع النطاق للمعدات المرتبطة بها. وعادة ما تستخدم لوحات الدوائر المطبوعة الصلبة التقليدية كمواقع لتكوين المكونات الإلكترونية بمقياس سنتيمتر لنقل البيانات اللاسلكية، وللتسجيل

⁽¹³³⁾Lu,Hung and others.p.5.

⁽¹³⁴⁾Won SM, Cai L, Gutruf P, Rogers JA. Wireless and battery-free technologies for neuroengineering. Nat Biomed Eng. 2021 Mar 8;10.1038/s41551-021-00683-3. doi: 10.1038/s41551-021-00683-3. Epub ahead of print. PMID: 33686282; PMCID: PMC8423863.p.1.

الفيولوجي وللتحكم في التحفيز. ومع ذلك، يمكن للأجهزة التي تستخدم هذه التصميمات أن تسبب تهيجًا والتهابات للحركة وتقلل من حرية الحركة. يمثل حجم ووزن هذه الأنظمة ميزات محدودة رئيسية. تؤثر عوامل الشكل الكبيرة أيضًا على التفسير الدقيق للبيانات التجريبية وغالبًا ما تمنع الدراسات السلوكية في البيئات الطبيعية. بدلاً من ذلك، تتيح الأنظمة اللاسلكية وخفيفة الوزن بالكامل الخالية من البطاريات وتتبنى أبعادًا بمقياس ملليمتر، للزرع الكامل وطويل الأمد، إجراء دراسات سلوكية مستمرة دون الحاجة إلى تفاعلات بشرية يمكن أن تغير السلوكيات الطبيعية⁽¹³⁵⁾.

التكنولوجيا

على أية حال، تمكن واجهة الدماغ والحاسوب (BCI) الشخص من التحكم في جهاز خارجي باستخدام إشارات الدماغ. يمكن لـ BCIs مساعدة الأشخاص ذوي الإعاقة وتحسين قدرات الدفاع، من بين استخدامات أخرى. على سبيل المثال، يطور الباحثون BCIs التي تسمح للأشخاص المصابين بالشلل بتهجئة الكلمات على شاشة الكمبيوتر أو استعادة السيطرة على أطرافهم. بالإضافة إلى ذلك، يقوم الباحثون بتطوير أطراف آلية يتم التحكم فيها بواسطة BCI والتي يمكن أن توفر للمستخدمين حاسة لمس. يمكن أن تزيد BCIs أيضًا من القدرات البشرية خلال السماح للأشخاص بالتحكم في الآلات المحوسبة باستخدام أفكارهم⁽¹³⁶⁾.

كيف تعمل؟ غالبًا ما يخضع مستخدمو BCI الجدد لعملية تدريب متكررة. يتعلم المستخدم إنتاج إشارات سيتعرف عليها BCI، ويترجم BCI الإشارات لتشغيل جهاز باستخدام التعلم الآلي.

بشكل عام، تتصل BCIs بالدماغ بطريقتين: خلال الأجهزة المزروعة أو القابلة للارتداء. غالبًا ما يتم ربط BCIs المزروعة جراحيًا مباشرة بأنسجة المخ. قد تكون أكثر ملاءمة للمستخدمين الذين يعانون من اضطرابات عصبية عضلية حادة أو إصابات جسمية. على سبيل المثال، يمكن للشخص المصاب بالشلل استخدام BCI المزروع المرتبط بخلايا عصبية معينة لاستعادة التحكم الدقيق في أحد الأطراف. يقيس BCIs المزروع الإشارات مباشرة من الدماغ، مما يقلل من التداخل من الأنسجة الأخرى. ومع ذلك، فإنها تشكل مخاطر جراحية، مثل العدوى والرفض⁽¹³⁷⁾.

تسمح واجهات الدماغ والكمبيوتر للأشخاص بالتحكم في الآلات باستخدام أفكارهم. يمكن أن تساعد هذه الواجهات الأشخاص ذوي الإعاقة وكذلك تعزيز التفاعلات بين الإنسان والحاسوب. على سبيل المثال، قد يدير

⁽¹³⁵⁾Ibid.p.1.

⁽¹³⁶⁾Brain- Computer interfaces in: GAO, Science, technology Assessment and Analytics, September 2022.

⁽¹³⁷⁾Ibid

المقاتلون طائرة بدون طيار في ساحة المعركة. ومع ذلك، تظل التكنولوجيا تجريبية إلى حد كبير، وتثير تساؤلات حول الأمن والأخلاق والإنصاف.

تقلل بعض BCI المزروعة من المخاطر عن طريق وضع أقطاب كهربائية على سطح الدماغ، وهي طريقة تسمى الاختزال الكهربائي للفص القشري (Electrocorticography ECoG).

غالبًا ما تتطلب BCI القابلة للارتداء غطاء يحتوي على موصلات تقيس نشاط الدماغ الذي يمكن اكتشافه على فروة الرأس. قد يكون BCI القابل للارتداء مناسبًا لأغراض مثل الواقع المعزز والافتراضي أو الألعاب أو التحكم في الروبوت الصناعي. تستخدم معظم BCI القابلة للارتداء تخطيط كهربية الدماغ (EEG) لقياس النشاط الكهربائي للدماغ. طريقة ناشئة - التحليل الطيفي الوظيفي للأشعة تحت الحمراء القريبة (fNIRS) - يضيء ضوء الأشعة تحت الحمراء القريبة من الجمجمة لقياس تدفق الدم، مما قد يشير إلى معلومات مثل نوايا المستخدم⁽¹³⁸⁾. لتعزيز التنقل، يقوم الباحثون بتطوير BCI التي تستخدم طرقًا محمولة للحصول على البيانات - على سبيل المثال، EEG اللاسلكي. تسمح هذه الأساليب للمستخدمين بتشغيل هاتف ذكي أو جهاز آخر أثناء التنقل بحرية.

ما مدى نضجها ؟ معظم BCI تجريبية. اختبر الباحثون لأول مرة BCI القابل للارتداء في أوائل السبعينيات وزرعوا BCI في إنسان لأول مرة في أواخر التسعينيات. زادت أبحاث BCI بشكل كبير في القرن الحادي والعشرين مما أدى إلى نشر آلاف الأوراق البحثية. وفقًا لإحدى شركات BCI الرائدة، قام أقل من 40 شخصًا في جميع أنحاء العالم بزرع BCI، وكلها تجريبية. تتمثل إحدى العقبات الرئيسية أمام تطوير BCI في أن كل شخص يولد إشارات دماغية فريدة. وصعوبة قياس تلك الإشارات⁽¹³⁹⁾.

تاريخيًا، ركزت أبحاث BCI على التطبيقات الطبية الحيوية، مثل مساعدة الأشخاص المعاقين بسبب السكتة الدماغية أو الإصابة الجسدية أو الاضطراب العصبي. في أبريل 2021، أصبح الجهاز الذي يستخدم سماعة رأس EEG لاسلكية لمساعدة مرضى السكتة الدماغية على استعادة ذراعهم والتحكم في اليد أول BCI يمكن ارتداؤه لإعادة التأهيل لتلقي إذن السوق من إدارة الغذاء والدواء. يوجد حاليًا عدد من BCI الأخرى القابلة للارتداء والمزروعة للاستخدامات الطبية في التجارب السريرية.

يقوم الباحثون أيضًا بتطوير تطبيقات للاستخدام العسكري وللأنظمة التي يعد تشغيلها السليم أمرًا بالغ الأهمية للسلامة. على سبيل المثال، استخدم الباحثون في الإدارة الوطنية للملاحة الجوية والفضاء BCI للمساعدة في اكتشاف متى يكون الطيارون ومراقبو الحركة الجوية أكثر عرضة لارتكاب الأخطاء. مولت وزارة

⁽¹³⁸⁾Ibid

⁽¹³⁹⁾Ibid

الدفاع الأبحاث حول BCIs للتحكم دون استخدام اليدين في الطائرات بدون طيار. وقد نظرت إدارة الطيران الفيدرالية في كيفية التصديق طبيًا على الطيارين الذين قد يستخدمون يومًا ما BCI للسيطرة على الطائرات. من خلال ما تم عرضه تبين أنه يجب الاعتراف بالمشاكل الأخلاقية التي يطرحها تنفيذ هذه الابتكارات وتطبيقها والنظر فيها. الآثار الأخلاقية للتكنولوجيات العصبية والذكاء الاصطناعي من تلقاء نفسها مهمة. وتناول تعليق حديث واحد على الأقل في وقت واحد القضايا الأخلاقية في الطب النفسي والتكنولوجيا العصبية والذكاء الاصطناعي. حدد المؤلفون أربعة مفاهيم يجب اتباعها واحترامها من قبل تلك التقنيات: إخفاء الهوية، وتحديد الهوية، والوكالة، والإنصاف. يجب أن يكون هناك حوار مستمر ومتغير يتبع التغيير التكنولوجي. التهديدات المحتملة التي يجب تجاهلها أو تأجيلها عالية للغاية. يوفر تكامل شبكة الدماغ وواجهات برمجة الدماغ للتعليم الآلي والذكاء الاصطناعي إمكانية حدوث تطورات تقنية عصبية مهمة. توفر BMIs التي يمكنها التعلم والاستجابة للضغوط البيئية والظرفية للمطالب الخارجية فرصًا هائلة لتغيير رعاية المرضى ونوعية حياتهم بشكل كبير. كما أنها توفر إمكانيات للقاءات غير الغازية بين الإنسان والآلة والتعاون الذي لا يوجد إلا في مجال الخيال العلمي⁽¹⁴⁰⁾. قد نتخيل عصر الرحلات البشرية المخصصة، مما يؤثر على التطبيقات السريرية وغير السريرية. أما بالنسبة لكل التقدم الذي يتغير في الاضطراب والنموذج، فهناك، بطبيعة الحال، عديد من المشاكل التكنولوجية التي يجب معالجتها، وعديد منها ليس واضحًا وهي قضايا أخلاقية خطيرة يجب النظر فيها والتعامل معها. ومع ذلك، لا يمكن تجنب الفرص، وكيف نتعاون، ونستخدم التكنولوجيا والآلات، والتأثير المتطور على نوعية حياة ورفاهية المرضى الأكثر فائدة. جادلنا بأن استخدام الخوارزميات العصبية الحديثة وبنى الآلات الحديثة يجب أن يؤخذ في الاعتبار عند نمذجة عمليات العلوم المعرفية وعلوم الأعصاب في التعلم الآلي وفي خوارزميات الذكاء الاصطناعي اللازمة للوصول إلى واجهة آلات الدماغ «الذكية» المصممة من النانو. لهذا السبب، لم نناقش الحاجة إلى الذكاء الاصطناعي العام (AGI) وليست واضحة بأي حال من الأحوال. من المرجح أن يكون استخدام الخوارزميات المتطورة تطبيقات متقدمة مثل BMI التكيفي الذي بناءً على أدلة تجريبية على النماذج والفرضيات الرياضية الحالية. ومع ذلك، فإن هذه الخوارزميات المستقلة ليست AGI من السياق (على الرغم من أنها يمكن أن تساهم فيه). يمكن إجراء تحليلات جوهرية وتحليل الأنماط والتعليم وصنع القرار في هذه الخوارزميات، ولكن فقط في سياق وتجسيد التكنولوجيا العصبية. ولا ينبغي الخلط بين مفهوم الآلة الواعية ذاتيًا أو الحاسوب الواعي والاعتبارات التقنية اللازمة حاليًا، أي الموضوع. هذا تمييز أساسي، حيث تختلف الأسئلة التنظيمية والمناقشات المستمرة حول AGI اختلافًا كبيرًا عن الاهتمامات المجتمعية والأخلاقية للتكنولوجيا العصبية⁽¹⁴¹⁾.

⁽¹⁴⁰⁾Anirban,D,C and Jitendra,V,S.p.120.

⁽¹⁴¹⁾Ibid.p.121.

لاتزال دراسة واستخدام BCIs في إعادة التأهيل العصبي في مراحلها الأولى مع عديد من التحديات. يعتمد النشر الناجح في الطب السريري والمنزل أولاً على مزيد من البحث والتحقق السريري، وثانياً، "التعاون متعدد التخصصات بين علماء الأعصاب والمهندسين ومبرمجي الكمبيوتر وعلماء النفس وأخصائيي إعادة التأهيل. ومع ذلك، فإن BCIs تمثل تقنية إعادة تأهيل مثيرة وواعدة، وهي تقنية تحقق تقدماً كبيراً⁽¹⁴²⁾.

في استخدام واجهة الكمبيوتر والدماغ (BCI)، تم اختيار إشارة الدماغ من بين مجموعة من المهام الحركية والخيالية، والتي بموجبها أنتجت المهمة أكثر إشارة دماغية «قابلة للاستخدام» أو «أفضل»، بغض النظر عما إذا كانت المهمة لها أي تأثير على المهمة الحركية المادية التي في متناول اليد. هذه الطريقة لاختيار أفضل إشارة دماغية كافية عندما يهتم المرء فقط بتشغيل جهاز بيئي أو اتصال. ومع ذلك، عندما يحاول المرء إعادة تدريب إشارة الدماغ لمزيد من القيادة الطبيعية للوظيفة الحركية الطبيعية، فإن النشاط المعرفي الذي يولد إشارة الدماغ يجب أن يتطابق بشكل مثالي مع الوظيفة الحركية التي يتم إعادة تدريبها. هناك ندرة في المعلومات التي تشير إلى أن المهمة الحركية المفروضة أو محاولة المهمة الحركية يمكن أن تولد إشارة دماغية قابلة للاستخدام لاستخدام BCI بعد السكتة الدماغية⁽¹⁴³⁾.

بعض المخاوف؟ لاحظ بعض الباحثين الآثار القانونية والأمنية المحتملة لـ BCIs. على سبيل المثال، تعد الهجمات الإلكترونية مصدر قلق لأن المتسللين يمكنهم استخدام البرامج الضارة لاعتراض بيانات إشارات الدماغ المخزنة على الهاتف الذكي. تقوم وزارة التجارة حالياً بمراجعة ما إذا كان تصدير BCIs يمكن أن يثير مخاوف تتعلق بالأمن القومي. على سبيل المثال، يمكن للخصوم الأجانب الحصول على ميزة عسكرية أو استخباراتية. يمكن أن يؤثر قرارها على كيفية استخدام التكنولوجيا ومشاركتها في الخارج.

كما فكر الباحثون في الآثار المجتمعية والأخلاقية. تتراوح التكاليف المبلغ عنها لـ BCIs القابلة للارتداء من مئات إلى آلاف الدولارات، مما قد يؤدي إلى عدم المساواة في الوصول. بالإضافة إلى ذلك، يتطلب تعلم استخدام بعض أنواع BCIs التدريب، مما قد يثقل كاهل المستخدمين. اقترح الباحثون أيضاً أن ترجمة إشارات الدماغ إلى الكلام بواسطة BCI يمكن أن تسبب ضرراً إذا لم تكن دقيقة. على سبيل المثال، قد تشير الترجمة غير الدقيقة إلى موافقة قانونية أو طبية لم يكن الشخص ينوي تقديمها⁽¹⁴⁴⁾.

⁽¹⁴²⁾Ibid.p.121.

⁽¹⁴³⁾Daly, Janis & Cheng, Roger & Hrovat, Kenneth & Rogers, Jean & Litinas, Krisanne & Dohring, Mark. (2008). Development and Testing of Non-Invasive BCI + FES/Robot System For Use in Motor Re-Learning After Stroke. 13th Annual Conference of the International Functional Electrical Stimulation Society.p.1.

⁽¹⁴⁴⁾Ibid

الفرص

- مساعدة الأشخاص ذوي الإعاقة. يمكن للأشخاص المشلولين بسبب الإصابات الجسدية أو الاضطرابات العصبية استخدام BCIs للتواصل واستعادة السيطرة على أطرافهم.
- زيادة القدرات البشرية والتفاعلات بين البشر والحاسوب. يمكن لـ BCIs تسريع وتبسيط التفاعلات بين البشر والآلات في مجالات مثل الدفاع والفضاء. أيضًا، اقترح بعض الباحثين أن الروبوتات التي يتحكم فيها BCI يمكن أن تساعد الناس في البيئات الخطرة، مثل مناجم الفحم.
- تسهيل أبحاث الدماغ. يمكن للعلماء استخدام BCIs لتحسين فهم الدماغ. استخدم بعض الباحثين BCI لاكتشاف مشاعر المرضى في حالة إنباتية أو الحد الأدنى من الوعي⁽¹⁴⁵⁾.

التحديات

- التحديات التقنية وتحديات المستخدمين. يولد كل شخص إشارات دماغية فريدة يصعب قياسها بوضوح. أيضًا، قد يتطلب تعلم استخدام BCI تدريبًا كبيرًا.
- الإطار الأخلاقي. قد تثير BCIs أسئلة حول ما يشكل الموافقة والمزايا غير العادلة المحتملة التي تمنحها بعض التحسينات البشرية.
- الأمن والخصوصية يمكن أن تكون BCIs عرضة للهجمات الإلكترونية التي تكشف بيانات الدماغ أو تتداخل مع وظيفة الجهاز⁽¹⁴⁶⁾.

⁽¹⁴⁵⁾Ibid

⁽¹⁴⁶⁾Ibid