إطار عمل للاستفادة من الذكاء الاصطناعي في تحسين ممارسات التصميم الصناعي

A framework for leveraging artificial intelligence to improve industrial design practices

د/ مصطفى محمود شحاته محمود

مدرس بقسم التصميم الصناعي، كلية الفنون التطبيقية، جامعة حلوان، مصر، mostafamahmoudshehataa@gmail.com

ملخص البحث Abstract:

بالنظر في طبيعة العلاقة بين التكنولوجيا والتصميم، نجد أنه من الممكن القول بإن التكنولوجيات المستحدثة على إختلاف صورها يمكن أن تحدث واحدة أو أكثر من التأثيرات على عملية التصميم والتي تشمل : إحداث تغيير في طبيعة مدخلات التصميم، إحداث تغيير في طبيعة مخرجات التصميم، إحداث تغيير في ممارسات التصميم. و يعتبر الذكاء الاصطناعي أحد تلك التقنيات الواعدة والتي يمكنها إحداث التأثيرات الثلاث السابقة على مجالات التصميم المختلفة بشكل عام ومجال التصميم الصناعي بشكل خاص، وتتعدد الدراسات المرتبطة بكشف تلك التأثيرات في مجال التصميم الصناعي، فبعضها يركز على تأثير الذكاء الاصطناعي في تحسين مدخلات التصميم من خلال تعميق دراسة المستخدم المدعومة بتقنيات الذكاء الاصطناعي وتكنولوجيا البيانات الضخمة، وهناك دراسات تستهدف كشف تأثير الذكاء الاصطناعي على تطوير العملية الإبتكارية) أخرى تهدف للتعرف على تأثير الذكاء الاصطناعي على تحسين مخرجات العملية التصميمية نفسها. وعلى الرغم من تعدد الدراسات الداعمة للجوانب المختلفة من ممارسات التصميم إلى أنه لا توجد دراسة تقدم إطار شامل لتحقيق أقصى استفادة ممكنة في تحسين مجال التصميم الصناعي، ومن هنا تتضح مشكلة البحث الرئيسية والمتمثلة في عدم وجود اطار شامل يناقش كيفية الاستفادة من موضوعات وتقنيات الذكاء الاصطناعي في تحسين ممارسة التصميم الصناعي بشكل عام. ويتمثل هدف البحث في تحديد مواضع الإستفادة من تقنيات الذكاء الاصطناعي في تحسين وتطوير التصميم الصناعي، ومن ثم صياغتها في صورة إطار عمل قابل للتطوير ويُمكن المصمم الصناعي من الإستفادة من الذكاء الاصطناعي في تحسين ممارسات التصميم، ويتجلى فرض البحث في أنه إذا أمكن جمع وتحليل الدراسات المرتبطة بكيفية الإستفادة من الذكاء الاصطناعي في مجال التصميم الصناعي فمن الممكن استنباط إطار عام لكيفية الإستفادة من مجال الذكاء الاصطناعي في تحسين وتطوير التصميم الصناعي، ولتحقيق هذا الفرض فقد أنتهج البحث المنهج الإستقرائي. ولإعداد الإطار المطلوب فقد أستوجبت الدراسة استعراض مقدمة بسيطة عن مفهوم الذكاء الاصطناعي ونبذه عن تاريخه مع ذكر أهم ملامح التغيرات في تطور تلك التقنية واستعراض أهم الدوافع والمجالات المحركة لتطور مجال الذكاء الاصطناعي مع عرض أهم مجالات البحوث الخاصة به، ومن ثم عرض ومناقشة مجموعة من الدراسات المرتبطة بمجالي التصميم الصناعي والذكاء الاصطناعي وذلك تمهيداً للإستفادة منها في بناء إطار العمل المطلوب تحقيقه. وفي ضوء ما تم عرضه ومناقشته أمكن التوصل إلى وجهتي نظر يمكن تبني إحداهما كأساس أولي لتحقيق الإطار المطلوب، الأولى والزاعمة بإن تقنيات الذكاء الاصطناعي لن تؤثر على طرق ومنهجيات حل المشكلات المستخدمة في مجال التصميم، وأن التفكير التصميمي سيظل المنهج المعتمد لحل المشكلات في مجال التصميم الصناعي، وأن التغيير فقط سوف يقتصر على الأدوات المستخدمة في تحقيق ذلك. أما وجهة النظر الثانية فتزعم بإن التغيير الذي ستحدثه تقنيات الذكاء الاصطناعي على طرق ومنهجيات حل المشكلات التصميمية سوف يكون جذرياً إلى الدرجة التي ستتغير معها منهجية التصميم بشكل كلى، وأن التغيير لن يقتصر على أدوات وطرق حل المشكلات بل سوف يتطرق إلى المنهجية الكلية المستخدمة لتحقيق ذلك. وإعتمادا على وجهة النظرالأخيرة فقد أقترح البحث إطار عمل للإستفادة من الذكاء الاصطناعي في تحسين ممارسات التصميم الصناعي بشكل تام، ويتكون هذا الإطار المقترح من ثلاث مراحل رئيسية، يتكامل فيها دور الذكاء البشري المتمثل في المصمم مع دور الذكاء الاصطناعي المتمثل في تقنيات الحاسوب، وتشتمل تلك المراحل على المرحلة الأولى: وهي مرحلة البحث، والهدف منها هو بناء نموذج المستخدم-المنتج يطابق الخصائص والسمات الشخصية لكل مستخدم متوقع، ومن الممكن تكامل دور المصمم والذكاء الاصطناعي في تلك المرحلة علي النحو التالي: دور المصمم، تحديد الخصائص المطلوب قياسها من سمات المستخدم المؤثرة في شكل و وظيفة المنتج، وتحديد طرق قياس تلك الخصائص. المرحلة الثانية: وهي مرحلة التحقيق، والهدف منها هو بناء مخرج تصميمي يقابل نموذج المستخدم-المنتج، المرحلة الثالثة: وهي مرحلة المطابقة، والهدف منها هو تعظيم مقابلة المخرج التصميمى لنموذج المستخدم-المنتج، وفي هذا السياق فإن عمليات التكامل بين المصمم والذكاء الاصطناعي في تلك المرحلة

كلمات دالة Keywords:

التصميم الصناعي
Industrial design
الذكاء الاصطناعي
Artificial Intelligence (AI)
التعلم الآلي
machine learning
إطار عمل للتصميم
a framework for design

Paper received 10th August 2022, Accepted 15th October 2022, Published 1st of November 2022

المقدمة Introduction

بالنظر إلى ممارسات التصميم بإعتبارها نظاماً لمعالجة المشكلات المرتبطة بالمستخدم نجد أنها تضم ثلاث أنواع رئيسية من الأنشطة وهي: الأنشطة المرتبطة بمدخلات التصميم وتمثل المحفزات لبدء عملية التصميم والتي قد تكون فرصة للإستفادة من تقنية جديدة أو تلبية إحتياج معين لفئة من المستخدمين، والأنشطة المرتبطة بعمليات الإبتكار أو توليد الحلول، وأخيراً نجد الأنشطة المرتبطة بمخرجات التصميم والتي تشمل الصورة التي يوجد عليها الحل أو المقترح وأساليب اختباره وتطويره، وعند تطبيق الذكاء الاصطناعي في سياق التصميم بشكل كامل، فإنه قد يؤثر على الأنواع الثلاثة من أنشطة التصميم، (Guo, Eckert and Li, 2020) بل والأكثر من ذلك أنه قد يؤثر على منهجية تصميم المنتج فيتخطى بذلك الحد الفاصل بين كونه أداه مساعدة للتصميم إلى كونه مغيراً لمنهجية التصميم، فيقود بذلك عمليات التصميم إلى آفاق أرحب وأهداف

This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License

أسمى، ناقلاً هدف التصميم من التمحور حول المستخدم UCD إلى التمحور حول مستخدم محدد يفصل له الحل الأنسب له تفصيلاً يعكس تفضيلاته و إحتياجاته و رغباته وتطلعاته الشخصية كما لم يقابلها أي منتج من قبل.

أما عن الأفاق فإن آليات الذكاء الاصطناعي بتغذيتها المستمرة ببيانات تجربة كل مستخدم وتعديلها شبه الآني في خصائص المخرج التصميمي تعطي دفعه هائلة لطريقة معالجة المشكلات التصميمية، (Liao, Hansen and Chai, 2020) فتضع التركيز عن تصميم الحلول إلى التركيز على تصميم حلقات حل المشكلات، (Verganti, Vendraminelli, Iansiti, 2020) وعندها فقط ينتقل المصمم من دوره المحدد في عمليات تصميم الحلول وأستخدام الآله كأداة لتسريع تلك العملية إلى دور أرقي يتمثل في رسم خارطة الطريق لبناء نسخة مفصلة وأكثر مناسبة لكل مستخدم على حده وتدريب الآله على بناء تلك الحلول وعندها يتجسد التكامل بين الذكاء البشري والذكاء الاصطناعي مانحاً المصممين أمكانات هائلة لم يسبق في أي وقت مضى أن أتيحت نظائرها لهم.

2-1- موضوع البحث

مع استمرار تحول الاقتصاد من إقتصاد المنتج إلى إلى إقتصاد الخدمة وتغير اساليب الابتكار بسرعة و تزايد استخدام أجهزة الاستشعار والشبكات الرقمية والخوارزميات، فإن إرتباط المنتجات الحديثة بالمؤسسة التي أنشأتها يتزايد بشكل مطرد، مما يوفر تدفقًا مستمرًا للبيانات شارحاً المزيد والمزيد من تفصيل تجربة المستخدم UX، وبالإضافة إلى ذلك فإن البرمجيات المضمنة في تلك المنتجات نفسها تتيح تدفق المعلومات في الاتجاه الآخر، أي من الشركة إلى المستخدم مما يتيح حلًا مصمماً لشخص محدد، ويحسن التجربة باستمرار في الوقت الفعلي، وتميز هذه التفاعلات الفورية ثنائية الاتجاه نطاقًا متزايدًا من السلع والخدمات، وتتطور هذه الحلول المبتكرة في الوقت الفعلي عندما يواجهها المستخدم. (Gomes and Sandra, 2018)

والمثير للإهتمام هنا أن تلك التغيرات الجزرية المشار إليها لا تحتاج إلى فكرة متقدمة عن الذكاء الاصطناعي ، فلا يلزم أن يكون الذكاء الاصطناعي الداعم للمنتج محاكياً تماماً لأساليب التفكير والسلوك البشري أو ما يُعرَّف أحيانًا باسم "الذكاء الاصطناعي القوي Powerful AI " في مجال علوم الحاسوب، بل يكفي لتحقيق ذلك نسخة أبسط من أساليب تفكير البشر والمستخدمة في العمليات البسيطة والمعروفة في مجال الحاسوب باسم "الذكاء الاصطناعي الضعيف Weak AI".

فالذكاء الاصطناعي الضعيف يستطيع تحقيق العديد من المهام ويمثل بصورة رئيسية أحد أهم التقنيات التمكينية لتلك النوعية من المنتجات، فمهام مثل تحديد أولويات المحتوى على شبكة تواصل اجتماعي، أو تحليل أنماط وسلوك العملاء، أو فهم الآثار المترتبة على مقايضات التصميم، أو تخصيص المنتج، أو التعرف على الصور أو معالجة اللغة الطبيعية تحتاج لإدائها إلى نظام حاسوبي يعتمد على تقنيات الذكاء الاصطناعي الضعيف. (Iansiti and Lakhani, 2020).

إن الذكاء الاصطناعي غير الكامل والضعيف والمدعوم عادةً بالحقل المتفجر للتعلم الآلي Machine Learning، يكفي بالفعل لإحداث تغيير كبير في طبيعة وسلوك المنتجات عند تكراره على نطاق واسع، فالذكاء الاصطناعي يغير بشكل عميق السياق الذي يحدث فيه الابتكار ويؤثر أيضاً على كلاً من مدخلات و مخرجات التصميم ، والسبب وراء ذلك هو أن الذكاء الاصطناعي هو في جوهره تقنية لصنع القرار، (Reichstein Et Al, 2019) فهو يوفر فرصًا لأتمتة العديد من المهام المتعلقة بالتعلم وصنع القرار وابتكار الحلول و إختبارها.

فالذكاء الاصطناعي قد يغير بالتالي آليات اتخاذ القرارات في المجالات الإبداعية و الإبتكارية، وخاصة فيما يتعلق بأساليب إنشاء واختبار الحلول المقترحة، فممارسات صنع القرار في مجال الابتكار هي ما يشار إليها بالتصميم (Liedtka , 2014)، فالتصميم هو "ابتكار مسارات عمل تهدف إلى تغيير المواقف القائمة إلى مواقف مفضلة" (Simon, 1982).

ومما تقدم نجد أن من الصعب غض النظر عن حقيقة التأثير الحادث لا محالة من قبل تقنيات الذكاء الاصطناعي على مجال التصميم بشكل عام و التصميم الصناعي بشكل خاص، فتلك الحقيقة هي مقدمة ينبثق منها السؤال الأهم والذي تتمحور حوله دراستنا وهو كيف سيؤثر الذكاء الاصطناعي على التصميم الصناعي؟ أو إلى أي مدى يمكن أن يغير الذكاء الاصطناعي ممارسات التصميم الصناعي ؟

3-1- مشكلة البحث

تعدد الأبحاث المرتبطة بدراسة تطبيقات الذكاء الاصطناعي في التصميم الصناعي وكيفية الاستفادة من تلك التقنيات بشكل عام في تطوير ممارسات التصميم ، ولقد شملت تلك الدراسات العديد من جوانب الإستفادة من تلك التقنية في تحسين الأنشطة التصميمة المختلفة، فبعضها يركز على تحسين مدخلات العملية التصميمة من خلال تعميق دراسة المستخدم المدعومة بتقنيات الذكاء الاصطناعي و تكنولوجيا البيانات الضخمة (Guo, Eckert and Li, 2020)، وهناك أبحاث تركز على تطوير العملية الإبتكارية بالإستفادة من تقنيات الاصطناعي (Chen et al, 2019), (Khan et al, 2003) ، و أخرى تدعم ممارسات التصميم بتحسين مخرجات العملية التصميمية نفسها. (Sohn & Kwon, 2020)

وعلى الرغم ن تعدد الدراسات الداعمة للجوانب المختلفة من ممراسات التصميم إلى أنه لا توجد دراسة تقدم إطار شامل لتحقيق أقصى استفادة ممكنة في تحسين مجال التصميم الصناعي، (Verganti, Vendraminelli, Iansiti, 2020), (Guo, Eckert and Li, 2020), (Liao, Hansen and Chai, 2020) ومن هنا تتضح مشكلة البحث والمتمثلة في عدم وجود اطار شامل يناقش كيفية الاستفادة من موضوعات وتقنيات الذكاء الاصطناعي في تحسين ممارسة التصميم الصناعي بشكل عام.

4-1- هدف البحث

يهدف البحث إلى تحديد مواضع الإستفادة من تقنيات الذكاء الاصطناعي في تحسين وتطوير التصميم الصناعي، ومن ثم صياغتها في صورة إطار عمل قابل للتطوير و يمكن المصمم الصناعي من الإستفادة من تقنيات الذكاء الاصطناعي في تحسين ممارسات التصميم بأفضل صورة ممكنة.

5-1- فرض البحث

إذا أمكن جمع وتحليل الدراسات المرتبطة بكيفية الإستفادة من الذكاء الاصطناعي في مجال التصميم الصناعي فمن الممكن استنباط إطار عام لكيفية الإستفادة من مجال الذكاء الاصطناعي في تحسين وتطوير التصميم الصناعي.

6-1- منهجية البحث

ينتهج البحث المنهج الإستقرائي.

7-1- أهمية البحث

تنبع أهمية البحث من :

- ضرورة الإستفادة من التقنيات المستحدثة وأساليب التفكير المختلفة في تحسين مجال التصميم الصناعي.
- تشتمل تقنيات الذكاء الاصطناعي العديد من النماذج والموضوعات المختلفة ومن الضروري -لتعظيم الاستفادة منها- تحديد أي من تلك الموضوعات هو الأكثر ارتباطاً وتحسين لمجال التصميم الصناعي.

ثانياً : مدخل للذكاء الاصطناعي

في عام 1956 م في مؤتمر في جامعة دارتموث Dartmouth اقترح العلماء رسميًا مصطلح "الذكاء الاصطناعي "، ولقد كانت تلك الخطوة الأولى في مجال دراسة محاكاة الآلات للأنشطة الذكية للإنسان، وفي أوائل عام 2016 هزم AlphaGo بطل العالم في الشطرنج مما أثار الاهتمام العالمي بالذكاء الاصطناعي (AI)

(Xu, 2013)، ولقد بدأ العديد من العلماء الأبحاث ذات الصلة بالذكاء الاصطناعي منذ نهاية القرن العشرين (Xu, 1999)، ويشير مصطلح الذكاء الاصطناعي إلى استخدام أجهزة الحاسوب لمحاكاة السلوكيات الذكية للإنسان وتدريب الحواسيب على تعلم السلوكيات البشرية مثل التعلم والحكم واتخاذ القرار (Xu, Lu & Li, 2021) ، فالذكاء الاصطناعي هو مشروع معرفي يأخذ المعرفة كشيء، ويكتسب المعرفة ويحلل ويدرس طرق التعبير عن المعرفة، ويستخدم هذه الأساليب لتحقيق تأثير محاكاة الأنشطة الفكرية البشرية (Duan, Lian & Xu, 2012) فالذكاء الاصطناعي هو عبارة عن تجميع لعلوم الحاسوب والمنطق وعلم الأحياء وعلم النفس والفلسفة والعديد من التخصصات الأخرى، ولقد حقق نتائج ملحوظة في تطبيقات مثل التعرف على الكلام Speech Recognition ومعالجة الصور Image Processing ومعالجة اللغة الطبيعية Natural Language Processing وإثبات النظريات التلقائية والروبوتات الذكية Smart Robots (Kasture & Gadge, 2012).

إن الذكاء الاصطناعي يلعب دورًا لا غنى عنه في التنمية الاجتماعية، وفلقد حقق نتائج ثورية في تحسين كفاءة العمل، وخفض تكاليف العمالة، وتحسين هيكل الموارد البشرية، وخلق متطلبات عمل جديدة (Duan et AL, 2018)، وبهدف دراسة دور الذكاء الاصطناعي في تحسين وتطوير الجوانب المختلفة للتصميم الصناعي فمن الضروري أولاً مراجعة ما تم تقديمه خلال هذا الحقل المعرفي، وفي هذا الجزء من البحث نقدم نظرة عامة على نطاق الذكاء الاصطناعي بما يشمله من مراحل تطورية وتقنيات مختلفة وتطبيقات وغيرها من الجوانب، وذلك تمهيداً لتحقيق فهم شامل لهذا المجال التقني والتعرف عليه والإستفادة منه في تعزيز وتطوير وتحسين ممارسات التصميم الصناعي.

2-1- نبذة عن تاريخ وتطور الذكاء الإصناعي

شهد الذكاء الاصطناعي عملية تطوير طويلة مع تاريخ يمتد لأكثر من 70 عامًا، ومن الممكن تقسيم عملية تطويره إلى عدة مراحل: ففي عام 1943 م تم اقتراح نموذج الخلايا العصبية الاصطناعي ة ANN Model ، وهذا فتح عصر أبحاث الشبكات العصبية الاصطناعي ة (Kasture et al, 2012)،وفي عام 1956م عقد مؤتمر دارتموث Dartmouth وتم طرح مفهوم الذكاء الاصطناعي Artificial Intelligence ولقد كان هذا بمثابة ولادة الذكاء الاصطناعي .

وخلال هذه الفترة كان اتجاه أبحاث الذكاء الاصطناعي من قبل المجتمع الأكاديمي الدولي في ازدياد، حيث كان التبادل الأكاديمي متكررًا، وفي الستينيات من القرن الماضي سقطت الأنواع الرئيسية من التواصل والخضوع في حالة من الإهمال، وتعرضت التكنولوجيا الذكية لانكماش في التنمية، وبدأ البحث عن خوارزمية الانتشار العكسي في السبعينيات، وزادت تكلفة وقوة الحوسبة لأجهزة الحاسوب تدريجياً، مما جعل البحث عن الأنظمة الخبيرة وتطبيقها أمرًا صعبًا، فأصبح المضي قدمًا في أبحاث الذكاء الاصطناعي أمرًا صعبًا، لكن الذكاء الاصطناعي كان يحقق اختراقات تدريجية، وفي الثمانينيات تم الاعتراف على نطاق واسع بالشبكات العصبية ذات الانتشار العكسي، وتم تطوير أبحاث الخوارزمية القائمة على الشبكات العصبية الاصطناعي ة بسرعة، وتحسنت وظائف أجهزة الحاسوب بسرعة، وقلل تطور الإنترنت من تطور الذكاء الاصطناعي ، في العقد الأول من القرن الحادي والعشرين، أدى تطور الإنترنت عبر الهاتف المحمول إلى ظهور المزيد من سيناريوهات تطبيقات الذكاء الاصطناعي (Zhang & Chen, 2019)، وفي عام 2012 تم اقتراح مصطلح التعلم العميق Deep Learning ، وحقق الذكاء الاصطناعي تطورًا مذهلاً، حيث حققت خوارزمية التعلم العميق deep Learning اختراقات تكنولوجية في التعرف على الكلام والصور، ومن الممكن تلخيص أهم الأحداث في تاريخ تطور الذكاء الاصطناعي على النحو التالي:

فترة التأسيس: في صيف عام 1956م ، في مؤتمر أكاديمي عقد في جامعة دارتموث، ناقش العديد من العلماء المتميزين كيفية جعل الآلات تحاكي الذكاء،و اقترح مكارثي لأول مرة مصطلح الذكاء الاصطناعي .

العصر الذهبي الأول: منذ مؤتمر دارتموث أدى ظهور الأنظمة الخبيرة، مثل نظام قياس الطيف الكتلي الكيميائي Bender ، ونظام تشخيص ومعالجة الأمراض MTCIN ، ونظام فهم اللغة Hearsay-11 ، إلى وضع الأساس للتطبيق العملي للذكاء الاصطناعي في أيامه الأولى، وبدأت الأبحاث في مجال الذكاء الاصطناعي حيث أنشأت العديد من مختبرات الذكاء الاصطناعي في العديد من المراكز التقنية حول العالم والتي شملت: معهد ماساتشوستس للتكنولوجيا، وجامعة كارنيجي ميلون، وجامعة ستانفورد، وجامعات أخرى وتلقى تمويل البحث والتطوير من الوكالات الحكومية، و في أواخر السبعينيات اقترح Feigenbaum مفهوم هندسة المعرفة، وتطورت الأنظمة الخبيرة بسرعة، كما أنتجت تطبيقاتها فوائد ضخمة، ومع ذلك فقد ظهرت سلسلة من المشكلات تدريجياً مثل صعوبة الحصول على المعرفة من الأنظمة الخبيرة، ودخل الذكاء الاصطناعي إلى الإنحدار الأول.

الفترة الذهبية الثانية :أطلقت شبكة هوبفيلد العصبية وخوارزمية تدريب BT التي اقترحت في عام 1982 طفرة في تطوير الذكاء الاصطناعي ، وأدت إلى العديد من التطبيقات مثل ترجمة الكلام والتعرف على الكلام، ومع ذلك في أواخر 1990 م انتشرت الإعتقاد بإن أبحاث الذكاء الاصطناعي لا تزال بعيدًا عن الحياة الاجتماعية، ولذلك في حوالي عام 2000، دخل الذكاء الاصطناعي إلى الإنحدار مرة أخرى (Zhang & Lu, 2021).

الفترة الذهبية الثالثة: منذ عام 2006 إلى الآن هي فترة التطور السريع للذكاء الاصطناعي ، ويرجع التطور السريع بشكل أساسي إلى الشعبية الواسعة لوحدات معالجة الرسومات (GPU)، وإنتشار وحدات المعالجة المتوازية والتي كانت أسرع وأكثر قوة، والتوسع غير المحدود لسعة التخزين مما يسمح بالوصول على نطاق واسع من البيانات مثل الخرائط والصور والنصوص ومعلومات البيانات. (Zhang & Chen, 2019)

2-2- دوافع وتقنيات تمكين الذكاء الاصطناعي

يشتمل مجال بحوث تطوير الذكاء الاصطناعي على العديد من التقنيات و المحركات الدافعة لهذا المجال وفيما يلي يتم مناقشة تلك التقنيات بصورة مختصرة.

2-2-1- البيانات الكبيرة Big Data

تعد البيانات الضخمة شرطًا أساسيًا للذكاء الاصطناعي ، وهي عامل أساسي يعزز الذكاء الاصطناعي لتحسين معدل التعرف والدقة، ومع التطور والتطبيق الواسع لإنترنت الأشياء، ازداد حجم البيانات المتولدة أضعافا مضاعفة، مع زيادة كبيرة في معدل النمو السنوي، بالإضافة إلى زيادة العدد، تم أيضًا توسيع أبعاد البيانات (Zhang, 2020) ، إن هذه الكميات الكبيرة من البيانات عالية الأبعاد تجعل البيانات أكثر شمولاً وكافية لتحسين تطوير الذكاء الاصطناعي (Chen & Lin, 2014).

2-2-2- الخوارزميات

لخص الباحثون القوانين والأساليب المستخدمة في التعرف على الأنماط التقليدية، ومع ذلك فإن طريقة التجريد هذه لها قيود كبيرة ودقة منخفضة، (Li, 2002) ولقد استلهم الباحثون أفكارهم من الأطفال، فلا أحد يعلم الأطفال كيفية التعرف على الأشياء، لكنهم يتعلمون، (Li, 2000) وبناءً عليه اقترح العلماء طريقة التعلم الآلي التي تلخص القوانين وطرق تحديد الأشياء (Yang et Al, 2001).

2-2-3-التعلم الالي

الفكرة الأساسية للتعلم الآلي هي استخدام خوارزمية يُحسن أدائها من خلال التعلم من البيانات (Schliferstein, 1981) ، وأهم أربعة

This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License

أنواع من المشكلات التي يجب حلها عن طريق التعلم الآلي هي: التنبؤ والتجميع والتصنيف وتقليل الأبعاد (Erhan et Al, 2001)، وبالنظر إلى تصنيف طرق التعلم، يمكن تقسيم التعلم الآلي إلى أربع فئات هي: التعلم تحت الإشراف Supervising Learning ، والتعلم غير الخاضع للإشراف Supervising Learning ، والتعلم شبه الخاضع للإشراف Semi-supervising Learning ، والتعلم المعزز Augmented Learning (Bose, 2017).

2-2-4- معالجة اللغة الطبيعية (NLP)

تشير معالجة اللغة الطبيعية (NLP) إلى قدرة الحواسيب الآلية على التعرف على لغة النص البشرية وفهمها، وهي لغة متعددة التخصصات الموضوع بين علوم الحاسوب واللغويات البشرية، ويتمثل الاختلاف الأكبر في اللغة الطبيعية في أن التفكير البشري يعتمد على اللغة، لذا فإن معالجة اللغة الطبيعية تمثل أيضًا هدفًا من أهداف الذكاء الاصطناعي ، وتنقسم معالجة اللغة الطبيعية إلى سبعة اتجاهات على النحو التالي: التحليل النحوي والدلالي، واستخراج المعلومات، والتنقيب عن النصوص، واسترجاع المعلومات، والترجمة الآلية، ونظم الإجابة على الأسئلة، ونظم الحوار (Zhang et Al, 2019).

2-2-5- الأجهزة المادية

في التعلم الآلي، تُستخدم بعض نماذج الشبكات العصبية "العميقة" لحل المشكلات المعقدة، فالتعلم الآلي هو وسيلة لإدراك الذكاء الاصطناعي ، والتعلم العميق هو نوع من التعلم الآلي (Reddy et Al, 2022)، والنظام الأساسي للأجهزة الذي يدير التعلم العميق هو عبارة عن وحدة معالجة الرسومات (GPU) التي تنتجها NVIDIA ، حيث تمثل GPU نموذج حوسبة جديد يستخدم معالجات متوازية بشكل كبير لتسريع التطبيقات ذات الوظائف المتوازية، ففي الماضي كانت وحدة المعالجة المركزية تستغرق شهرًا للحصول على نتائج التدريب، أما الآن فيمكن لوحدة معالجة الرسومات الحصول على نتائج في يوم واحد، وتعمل وظائف الحوسبة المتوازية القوية لوحدة معالجة الرسومات على تخفيف فترة التدريب لخوارزميات التعلم العميق، وبالتالي إطلاق إمكانات الذكاء الاصطناعي (Brynjolfsson & Mcafee , 2017)

2-2-6- الرؤية الحاسوبية

إن الهدف من رؤية الحاسوب هو تمكين أجهزة الحاسوب من التعرف على العالم وفهمه من خلال الرؤية، كما يفعل البشر، ويستخدم بشكل أساسي الخوارزميات لتحديد الصور وتحليلها، وأكثر رؤى الحاسوب استخدامًا هي التعرف على الوجه والتعرف على الصور (Le et Al, 2019)، ومنذ عام 2015 تم استخدام طرق معالجة الصور المعتمدة على خوارزميات التعلم العميق للتصنيف على نطاق واسع، وبمجرد تصميم المدخلات والمخرجات للنموذج يمكنه أن يتعلم تلقائيًا، يعمل استخدام التعلم العميق على تبسيط عملية تصنيف الصور الأكثر استهلاكا للوقت والشاقة ويحسن كلاً من تأثير وكفاءة تصنيف الصور.

2-3- مجالات البحث في الذكاء الاصطناعي

تتعدد مجالات البحوث الداعمة لمجال الذكاء الاصطناعي وفيما يلي يتم عرض تلك المجالات بصورة مبسطة.

2-3-1- الأنظمة الخبيرة

النظام الخبير هو نظام معرفة يعتمد على المعرفة الحالية للخبراء البشريين، ولقد كانت الأنظمة الخبيرة هي أول بحث تطبيقي في مجال الذكاء الاصطناعي ، حيث استخدمت على نطاق واسع في التشخيص الطبي، و في المسح الجيولوجي، وفي صناعة البتروكيماويات، وتشير النظم الخبيرة عادة إلى أنظمة المعرفة المختلفة (Miotto et Al, 2017)، والنظام الخبير هو عبارة عن برنامج حاسوبي ذكي يستخدم المعرفة المهنية المقدمة من قبل الخبراء البشريين لمحاكاة عملية تفكيرهم واستخدامها لحل المشكلات المعقدة التي لا يستطيع حلها سوى خبراء المجال، ويتضمن النظام الخبير على قدر كبير من المعلومات وعملية التفكير في مجال معين، بما في ذلك قدر كبير من المعرفة والخبرة المهنية، ويمكنه تخزينه واستنتاجه والحكم عليه في نفس الوقت (Tokui et Al, 2015) ، فجوهر النظام الخبير يتمثل في قاعدة المعرفة والمحرك المنطقي (Cai et Al, 2018)، وتعتمد طريقة تطبيق النظام الخبير على العمليات التالية: تخزين المعرفة والخبرة والمعلومات البحثية للخبراء في مجال معين في قاعدة البيانات وقاعدة المعرفة، ثم الاتصال بهم من قبل المترجم الفوري ومحرك الاستدلال وتقديمها للخبراء كما هو مطلوب، أما عملية الإستخدام فتتم من خلال واجهة تفاعل بين الإنسان والحاسوب (Zappone et Al, 2019).

2-3-2- التعلم الالي

لكي يمتلك الحاسوب المعرفة يجب التعبير عنها كمدخلات بطريقة مقبولة له، أو تحسين الحاسوب بآليات اكتساب المعرفة وتلخيصها بشكل مستمر وتحسينها عمليًا (Young et Al, 2017)، وتسمى هذه الطريقة بالتعلم الآلي (Liu et Al, 2020)، وتهدف أبحاث التعلم الآلي بشكل أساسي إلى: دراسة آلية التعلم البشري وعملية التفكير في الدماغ البشري ، دراسة آليات التعلم لدى الناس، دراسة طرق التعلم الآلي وإنشاء نظام تعليمي لمهام محددة (Liu et Al, 2014)، وتعتمد بحوث التعلم الآلي على مجموعة متنوعة من التخصصات والتي تشمل المعلوماتية وعلوم الدماغ وعلم النفس العصبي والمنطق والرياضيات المبهمة (Hu et Al, 2021)، ويأتي مفهوم التعلم العميق من الشبكات العصبية الاصطناعي ة، حيث تتضمن خوارزميات التعلم العميق الشائعة مثل: آلة بولتزمان المقيدة (RBN)، وشبكة المعتقدات العميقة (DBN)، والشبكة العصبية التلافيفية (CNN)، والتشفير التلقائي المكدس (Litjens Et Al, 2017).

2-3-3- الروبوتات

الروبوت هو آلة يمكنها محاكاة السلوك البشري، ولقد شهد البحث في مجال الروبوتات ثلاثة أجيال من التطوير (Liu et Al, 2018)، ويتم التحكم في الجيل الأول من الروبوتات من خلال برنامج يتم كتابته بواسطة المصمم، ثم يتم تخزينه في الروبوت الذي يعمل تحت سيطرة البرنامج، (Yang Et Al, 2017) وقبل أن يقوم الروبوت بأداء مهمة لأول مرة يقوم الفني بتوجيه الروبوت لإجراء العملية، ويقوم الروبوت بتنفيذ العملية بأكملها خطوة بخطوة (Lu et Al, 2018)، ويتم تمثيل كل عملية مسجلة بالفعل كتعليمات. (Li & Li, 2002)

أما الجيل الثاني فيمثل الروبوتات التكيفية Adapted Robots (Zhang Et Al, 2019)، وهذا النوع من الروبوتات مجهز بأجهزة استشعار حسية مقابلة (مثل الرؤية ، أجهزة الاستشعار التي تعمل باللمس)، والتي يمكنها الحصول على معلومات بسيطة (مثل معلومات حول بيئة العمل والأشياء التشغيلية)، تتم معالجة الروبوت بواسطة جهاز حاسوب للتحكم في أنشطة التشغيل.

أما الجيل الثالث فيتمثل في الروبوتات الذكية Smart Robots (Shone Et Al, 2018)، ويتمتع الروبوت الذكي بذكاء شبيه بالذكاء البشري ومجهز بمستشعرات عالية الحساسية (Sodhro Et Al, 2019)، وقدرته الإستشعارية تتجاوز قدرة البشر (Cappelli Et Al, 2018)، فيستطيع الروبوت تحليل المعلومات التي يراها، كما يستطيع التحكم في سلوكه، والاستجابة للتغيرات في البيئة المحيطة، ويستطيع إكمال المهام المعقدة .(Sünderhauf Et Al, 2018)

2-3-4- الأنظمة الذكية لدعم القرار

ينتمي نظام دعم القرار إلى فئة علوم الإدارة وله علاقة وثيقة للغاية بـ "ذكاء المعرفة"، وفي الثمانينيات حققت النظم الخبيرة المستخدمة لدعم القرار ناجحًا في العديد من المجالات، (Abduljabbar Et Al, 2019) ولقد ساهم الذكاء الاصطناعي بشكل عام وخاصة تطبيق تكنولوجيا معالجة المعلومات والمعرفة في دعم وبناء أنظمة دعم القرار، (Morocho Et Al, 2018) وهو ما أدي إلى توسيع

نطاق تطبيق أنظمة دعم القرار وتحسين قدرة النظام على حل المشكلات، وهو ما سمي بالنظام الذكي لدعم القرار. (Reichstein (Et Al, 2019

2-3-5- التعرف على الأنماط

التعرف على الأنماط هو دراسة كيفية صنع آلات ذات قدرات إدراكية (Tan Et Al, 2010)، فهو يدرس بشكل أساسي التعرف على الأنماط المرئية والسمعية، أي تحديد الأشياء والتضاريس والصور والخطوط وما إلى ذلك، وله مجموعة واسعة من الاستخدامات في الحياة اليومية، (Yang Et Al, 2019) وفي السنوات الأخيرة تطور مستوى تطبيق النماذج الرياضية الغامضة ونماذج الشبكات العصبية الاصطناعي ة بسرعة، ليحل تدريجياً محل كل من النماذج الإحصائية التقليدية وطرق التعرف على الأنماط الهيكلية. (Chen Et Al, 2020)

ثالثاً : الذكاء الاصطناعي كتقنية داعمة لمجال التصميم الصناعي (مراجعة أدبية)

سبق أن أشرنا -في مقدمة البحث- إلى تعدد الدراسات التي ناقشت كيفية الإستفادة من تقنيات الذكاء الاصطناعي في دعم الجوانب المختلفة لممارسات التصميم الصناعي، فبعضها يعمل على تعزيز مدخلات التصميم وبعضها يعمل على دعم عملية الإبتكار وتوليد الأفكار وآخرى تناقش دعم مخرجات التصميم، كما تبين من مشكلة البحث الإفتقار إلى وجود إطار عمل شامل يدعم الجوانب المختلفة للتصميم من خلال تقنيات الذكاء الاصطناعي .

وبإجراء بحث بسيط على محرك جوجل الباحث العملي، تبين وجود عدد من الدراسات المناقشة لتأثير الذكاء الاصطناعي على مجال التصميم الصناعي، وبالتركيز على الدراسات الإكثر إرتباطاً بممارسات التصميم أمكن حصر مجموعة الدراسات التالي مناقشتها، والتي يمكن الإستفادة منها في بناء إطار العمل المستهدف من البحث.

3-1- إطار عمل من الذكاء الاصطناعي يدعم التصميم المعزز

يعد التصميم باستخدام أدوات ذكية موضوعًا مثيرًا للاهتمام وصعبًا في التفاعل بين الإنسان والحاسوب، وتهدف تلك الدراسة إلى استكشاف إمكانيات الذكاء الاصطناعي (AI) في دعم مرحلة وضع أفكار التصميم، وتقدم إطارًا لأدوات الذكاء الاصطناعي المستخدمة لتحقيق ذلك، ولقد تضمن هذا الإطار ثلاثة جوانب مهمة لزيادة الفعالية وتوفير تجربة ممتعة في المراحل الأولى من عملية التصميم، وتشمل تلك الجوانب: محفزات التصميم وسيناريوهات التصميم وتوجيه إجراءات التصميم.

ولقد تم بناء إطار العمل إعتماداً على دراسة تجريبية لـ 26 مصممًا (من 30 تم تعيينهم) لاكتشاف الأنماط والخصائص المعرفية في مرحلة وضع أفكار التصميم، ومن ثم تم مناقشة الرؤى المختلفة لأهداف التصميم للمصممين، وأنماط التفكير في التصميم بالإضافة إلى طرق التعامل مع تثبيت التصميم، كما توصلت الدراسة إلى أنه لا يمكن ممارسة التصميم باستخدام الذكاء الاصطناعي بشكل جيد أعتماداً على نموذج التصميم التقليدي، وتقترح الدراسة منظور جديد لمبادئ التصميم التي يجب مراعاتها في دعم التصميم المعزز بالذكاء الاصطناعي ، حيث توفر هذه المبادئ فهمًا شاملاً لتطوير مناهج التصميم باستخدام أساليب الحوسبة المعتمدة على الذكاء الاصطناعي ، وتشمل تلك المبادئ: البدء من نقطة الصفر نظراً لتنوع أنماط التفكير لدي المصممين، المعرفة كمحرك للعملية الإبداعية نظراً لان مخرجات نماذج الذكاء الاصطناعي تأخذ شكلاً جديدًا من أشكال المعرفة التصميمية، التحليل والتكامل وهو يرتبط بالتفكير المتباين المتقارب.

كما توضح الدراسة أهم التحديات التي تواجه دمج الذكاء الاصطناعي مع أدوات ومناهج التصميم، حيث شملت تلك التحديات: تقبل أدوات الذكاء الاصطناعي المرئي من قبل المصممين وقابليتهم لتعلمها وذكل لإن مثل تلك الأدوات تمثل صندوق أسود غير معلوم ما بداخله بالنسبة للمصمم، قابلية الذكاء الاصطناعي للتشغيل البيني ونسبة الموثوقية في نتائجه وذلك نظراً للتباين الكبير في مشكلات التصميم وهو ما يمثل تحدياً لنماذج الذكاء الاصطناعي ، قدرة الذكاء الاصطناعي على التكيف مع الخلفيات والمواقف والتوقعات المتنوعة في التصميم فطبيعة إدراك الإنسان للمعلومات تعتمد على إدراك الأنماط أما بالنسبة للذكاء الاصطناعي فإنها تعتمد على قواعد البيانات، كذلك فإن معرفة الإنسان وتعلمه للإشياء يتم بشكل كلي فهو يدرك النقص والتحريف في الأشياء ويمكنه معالجة تلك التغيرات أما بالنسبة للآلات فإن مواجه نقص البيانات أو تحريفها تؤدي إلى فشل عمليات المعالجة. (Liao, Hansen and Chai, 2020).

2-3- تطبيق تكنولوجيا البيانات الضخمة والذكاء الاصطناعي في التصميم الصناعي

إن القدرة على البحث والتطوير للمنتج هي القدرة التنافسية الأساسية للمؤسسات الصناعية، ومع ذلك فإن عملية تطوير المنتج معقدة للغاية، نظرًا لعدم وجود تصميم شامل مستوفي جوانب التطوير المختلفة، ومن الصعب تنفيذ أعمال البحث والتطوير الخاصة بالمنتج مع المهنيين التقنيين أو الإداريين، كما يصعب أيضًا إجراء اتصال جيد بين المنتجات والسوق، وخاصة السوق التنبؤية، مما يؤدي غالبًا إلى أوجه قصور كبيرة في بعض الروابط في تطوير "توليد الإنتاج، وتوليد التنمية ، وتوليد ما قبل البحث"، ومن هنا تنبع أهمية التصميم الصناعي بشكل خاص والتي توفر حلولاً لهذه المشكلة، فهو يتضمن المنهجيات والطرق والأساليب الإحترافية اللازمة لتصميم وتطوير المنتجات ،فالقدرة الابتكارية للتصميم الصناعي يمكن أن تعوض بشكل فعال خطأ تطوير المؤسسات الصناعية، وتعزز تحسين قوة البحث والتطوير للمؤسسات في المجتمع الصناعي.

ولقد دخلت تكنولوجيات الذكاء الاصطناعي والبيانات الضخمة حقبة جديدة من التطور السريع، حيث يتم استخدامها لمساعدة التصميم الصناعي من جانبين هما : (1) تحسين جودة المنتج (2) تطوير المنتج، فهي تساعد العلماء في التعامل مع البيانات ذات الصلة بالتصميم الصناعي والتي تشمل: بيانات تقييم المستخدم، وبيانات استخدام المستخدم، وبيانات طلب المستخدم، وبيانات إنتاج المنتج، وبيانات دورة الحياة الكاملة، واستخدام طريقة البرمجة اللغوية العصبية استنادًا إلى البيانات الضخمة، والتعلم الآلي البسيط، و تقنيات تحليل المشاعر ، وخوارزميات الارتباط والتصنيف، والشبكة العصبية الاصطناعي ة، والخوارزمية الجينية ومستعمرة النحل الاصطناعي ة، وذلك لتحديد المنتجات والميزات الأكثر تنافسية ، وتحديد معايير التصميم المحسنة ودعم قرارات التشغيل، وتصميم أداء المنتج الأمثل، ولقد أنشأ بعض العلماء نماذج تعتمد على الشبكة العصبية الاصطناعي ة والخوارزمية الجينية وخوارزمية مستعمرة النحل الاصطناعي ة للحصول على معلمات التحسين، مما يقلل بشكل فعال من استهلاك الطاقة.

وتقدم هذه الدراسة تعريفًا بتطبيقات الذكاء الاصطناعي وتكنولوجيا البيانات الضخمة في مجال التصميم الصناعي، كما تطرح مخططاً تصميماً لدمج تقنيات الذكاء الاصطناعي وتكنولوجيا البيانات الضخمة مع برنامج التصميم، ولقد تضمن هذا المخطط أربعة خطوات متتابعة على النحو التالي "الطلب - ابتكار التصميم الصناعي - التسويق - الطلب".

وتستهدف الدراسة من خلال هذا المخطط معالجة المشكلات التي لا تزال تواجهها المؤسسات الصناعية والتي تشمل: دورة البحث والتطوير في ابتكار التصميم الصناعي، وتأخر تصميم المنتجات ونقص الابتكار المستدام، كما يهدف هذا النموذج إلى المساعدة بشكل غير مباشر في التنبؤ بالقرارات المتعلقة بالتصميم الصناعي، وتعزيز القدرة الابتكارية للتصميم الصناعي بشكل فعال، ومساعدة المؤسسات الصناعية في جانب البحث والتطوير لتوفير التكاليف، وتقصير دورة البحث والتطوير لمنتج جديد، وتحسين معدل نجاح قائمة المنتجات، وخلق فوائد عملية أخرى، كما يوفر أيضًا حلًا أفضل للمشكلات الرئيسية لعزل البيانات وانخفاض دقة القرار التي

This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License

تواجهها المؤسسات الصناعية.
وعلى الرغم من أن هذا البحث قد حقق بعض النتائج الإيجابية، إلا أنه لا تزال هناك بعض المشكلات بدون حل مثل تلك المرتبطة بجزر البيانات ، وأخرى متعلقة بانخفاض دقة القرار، وفي هذه الورقة تُستخدم البيانات الصناعية الضخمة لبناء نماذج للتنبؤ بذكاء بطلب السوق الدقيق، وتحسين جدوى مشاريع البحث والتطوير للمؤسسات الصناعية، وتقديم اقتراحات بناءة للتصميم الصناعي جنبًا إلى جنب مع البيانات ذات الصلة في الاختبارات المختلفة التي أجريت في كل مرحلة من مراحل البحث والتطوير، والمساعدة في اتخاذ القرار خلال فترة حضانة المشاريع، ومساعدة المؤسسات الصناعية على تسريع عمليات البحث والتطوير. (Guo, Eckert and Li, 2020)

3-3- هل سينجو الرسم في ظل استخدام أدوات الذكاء الاصطناعي ؟

إن التقنيات الجديدة تقدم للمصمم طرقًا جديدة ، مما يسمح له بتوفير الوقت وتسهيل العديد من مهام التصميم اليومية، حتى تصبح لا غنى عنها في العديد من مراحل العمل، ومع ذلك فهي لا تحل محل الرسم اليدوي ، الذي يستمر في اتخاذ أشكال مختلفة خلال الفترات التاريخية المختلفة، في تكيف زمني ثابت، ونظرًا لأن المصمم يجب أن يتصور ويطور حلولًا لمشاكل محددة قد تكون ذات طبيعة مختلفة، فإن الرسومات اليدوية تقدم نفسها كدعم عملي لبناء تصورات التصميم وحل المشكلات والتحليلات النقدية في العديد من مراحل عملية التصميم، وأحد الأسئلة الرئيسية التي تطرحها تلك الدراسة هو ما إذا كان الاستخدام الواسع للتكنولوجيات الجديدة في الوقت الحاضر لا يبطل الدور المهم الذي يلعبه الرسم اليدوي كأداة تحفيزية عند رسم الأفكار الأولى.
وللتحقق الحاسم من الفرضيات، فإن تركيز هذا البحث انصب على تحليل أهمية استخدام الرسومات اليدوية في الوقت الحاضر في عملية التصميم في ظل الأهمية المتزايدة والتواجد المتزايد لتقنيات الذكاء الاصطناعي ، ومن خلال دراسة العديد من التصريحات من مؤلفين مختلفين ، تظهر الدراسة أهمية الرسوم اليدوية في عملية التصميم كما توضح الإحتمالية المرتفعة لاستمرار تلك الأهمية مستقبلاً، و اعتماداً على النهج النظري، توضح الدراسة أهمية تعليم الرسم اليدوي في تشكيل المصممين المستقبليين، على الرغم من التغييرات النموذجية التي تظهر مع الوقت.
كما ناقشت الدراسة أيضًا أهمية الرسم كمحفز للعقل أثناء مرحلة العملية الإبداعية، وذلك باستخدام منهجية تجريبية، في محاولة لمقارنة نشاط الدماغ وتحليله، واستنادًا إلى منهجية استقصائية مع اسلوبين مختلفتين، الأول استعلام يستند إلى استبيان مطبق على طلاب البكالوريوس ، والثاني مجموعة من المقابلات شبه المنظمة المطبقة على المصممين،وذلك للتحقق من ديمومة وأهمية الرسم في أعمال التصميم اليومية، وعلى الرغم من الاستخدام المستمر والتقدم في التقنيات الجديدة، كما قدمت الدراسة بعض الخطوط الاسترشادية التي يمكن أن تساعد في تحديد التعديلات المستقبلية على طرق التدريس الرسم اليدوي خلال دورات التصميم. (Moreira da Silva, 2018)

3-4- الابتكار والتصميم في عصر الذكاء الاصطناعي

في قلب أي عملية ابتكار تكمن ممارسة أساسية: وهي الطريقة التي يبتكر بها الأشخاص الأفكار ويحلون المشاكل/ إن جانب "اتخاذ القرار" من الابتكار هو ما يشير إليه العلماء والممارسون باسم "التصميم"، ولقد اتخذ البشر حتى الآن القرارات في عمليات الابتكار، لكن ماذا يحدث عندما يمكن الآلات أن تتخذ القرارات نيابة عن البشر؟
إن الذكاء الاصطناعي (AI) وغيره من المعارف المتقدمة يجلب البيانات والخوارزميات إلى صميم عمليات الابتكار،و السؤال الأهم هو :ما هي انعكاسات هذا الانتشار للذكاء الاصطناعي على مفهوم التصميم والابتكار؟ هل الذكاء الاصطناعي مجرد تقنية رقمية أخرى، لن تتساءل بشكل كبير عن مفهوم التصميم؟ أم أنها ستخلق تحولات في التصميم لا تستطيع الأطر النظرية الحالية استيعابها؟ تقترح هذه الدراسة إطارًا لمفهوم التصميم والابتكار في عصر الذكاء الاصطناعي .
وتناقش الآثار المترتبة على نظرية التصميم والابتكارعلى وجه التحديد، وفي ضوء التزايد المطرد لدور نماذج الذكاء الاصطناعي في طرح الحلول الإبداعية التي تعالج العديد من مشكلات التصميم، فإن التصميم البشري يصبح بشكل متزايد نشاطًا من أنشطة صناعة الحواس، أي فهم المشكلات التي يجب أو يمكن معالجتها، ويستدعي هذا التحول في التركيز إلى إيجاد نظريات جديدة لجعل التصميم أقرب إلى القيادة.
وتقدم الدراسة رؤية مستمدة من حالتين في طليعة تطبيقات الذكاء الاصطناعي ، وهما Netflix و Airbnb (يكملهما تحليلات Microsoft و Tesla) ، وهما حالتان موضحتان بهما، والتي تشير إلى اتجاهين لتطور التصميم والابتكار في الشركات، الاتجاه الأول حيث يمكّن الذكاء الاصطناعي أي منظمة من التغلب على العديد من القيود السابقة لعمليات التصميم التي تتطلب كثافة بشرية، من خلال تحسين قابلية العملية للتوسع، وتوسيع نطاقها عبر الحدود التقليدية، وتعزيز قدرتها على التعلم والتكيف بسرعة، أما الاتجاه الثاني فهو أثناء إزالة هذه القيود، يبدو أيضًا أن الذكاء الاصطناعي يسن بعمق العديد من مبادئ التصميم الشائعة، وبالتالي يعزز الذكاء الاصطناعي مبادئ التفكير التصميمي، أي: التركيز على الناس، والإختلافات بينهم والتكرار، ففي الواقع، يمكّن الذكاء الاصطناعي من إنشاء حلول تتمحور حول المستخدم بدرجة أكبر من النهج القائم على الإنسان، إلى مستوى أقصى من التفصيل ، حتي يمكن القول بإنه يجعل مصمم لكل شخص على حدة، ولذا فمن المحتمل أن تكون أكثر إبداعًا، حيث يتم تحديثها باستمرار من خلال تعلم التكرارات عبر دورة حياة المنتج بأكملها.
ولقد حظي اعتماد الذكاء الاصطناعي (AI) باهتمام كبير عبر كل بيئة صناعية تقريبًا، من تقديم الرعاية الصحية إلى تصنيع السيارات بالاقتران مع انتشار أجهزة الاستشعار الرقمية والشبكات والأتمتة القائمة على البرامج، ويعمل الذكاء الاصطناعي على تغيير شكل إقتصاديات العالم وتشكيل عصر التصنيع الجديد، ويُعرَّف "عصر الذكاء الاصطناعي " بظهور نوع جديد من الشركات،و التي تستند إلى نموذج التشغيل الرقمي، والذي يركز على الذكاء الاصطناعي بشكل متزايد، حيث تقوم الشركات برقمنة عدد متزايد من العمليات التجارية الهامة، وإزالة العمالة البشرية والإدارة من تنفيذ العديد من أنشطة التشغيل الهامة، فعلى سبيل المثال، لا يوجد عامل يحدد السعر على أحد منتجات أمازون أو يؤهل شركة للحصول على قرض في Ant Financial ، فبينما يطور البشر الخوارزميات ويكتبون أكواد البرنامج فإن الإنشاء الفعلي للحل في الوقت الفعلي يتم آليًا ويتم تمكينه بالكامل بواسطة التكنولوجيا الرقمية.
ويناقش هذا البحث تداعيات الذكاء الاصطناعي على إدارة التصميم والابتكار من خلال استكشاف استراتيجيات المنظمات الرائدة مثل Netflix و Airbnb ، حيث يتناول التحليل ثلاث مجموعات من الأسئلة، على النحو التالي: أسئلة حول الذكاء الاصطناعي وممارسة التصميم، أسئلة حول الذكاء الاصطناعي ومبادئ التصميم، أسئلة حول الذكاء الاصطناعي ونظرية التصميم والابتكار.
ولقد جائت الدراسة على النحو التالي، تقديم مبادئ التصميم مع التركيز بشكل خاص على التطورات الأخيرة في التفكير التصميمي Design Thinking ، تقديم إطارًا يمكّن من خلاله مقارنة ممارسة التصميم التقليدية المعتمد على كثافة العمالة البشرية مع ممارسة التصميم في عصر الذكاء الاصطناعي ، ومن ثم تم مناقشة هذا الإطار مع حالات Netflix و Airbnb، وبدعم من المعلومات الإضافية من التجارب في Tesla و Microsoft وذلك لتحليل مدى تأثر مبادئ وممارسات التصميم بالذكاء الاصطناعي .

وبتحليل الآثار المترتبة على نظريات التصميم والابتكار والعلماء توصلت الدراسة إلى ما يلي: بإزالة القيود النموذجية (في الحجم والنطاق والتعلم) للتصميم المعتمد على كثافة العمالة البشرية، يمكن للذكاء الاصطناعي تقديم أداء أفضل من حيث التركيز على العملاء والإبداع ومعدل الابتكار، وللاستفادة من هذه الإمكانات، يحتاج المديرون إلى إعادة التفكير بشكل أساسي في الطريقة التي تبتكر بها مؤسساتهم، وتختلف ممارسات التصميم -في عصر الذكاء الاصطناعي - تمامًا عن عمليات الابتكار التي تتطلب كثافة بشرية في العديد من المنظمات اليوم، فعلى سبيل المثال في المؤسسات التي تعمل بالذكاء الاصطناعي ، لا يتمثل دور البشر في تطوير الحلول الكاملة (التي تتطور في الوقت الفعلي بواسطة الذكاء الاصطناعي) ، ولكن فهم مشكلات الابتكار ذات المغزى، وتأطير جهود الابتكار، وإعداد البرامج والبيانات، فهي تشمل جميع المجهودات الخاصة بالبنية التحتية وحلقات حل المشكلات التي ستحلها.

وعلى الرغم من ذلك يرى الباحثون أن عملية التحول في عمليات الابتكار لا تزال في بدايتها، والتي يصعب تحديد مداها بالكامل، فهناك العديد من الأسئلة الأساسية لا تزال مفتوحة، ونظرًا لأن المديرين والمؤسسات الرائدة الأخرى ستستكشف اعتماد الذكاء الاصطناعي في الابتكار، فستجد هذه الأسئلة إجابات جديدة وأكثر عمقًا، و بالنسبة للباحثين فإن الآثار من حيث الابتكار ونظرية التصميم كبيرة أيضًا، فستنشأ أسئلة نظرية جديدة وهناك حاجة إلى أطر جديدة. (Verganti, Vendraminelli, Iansiti, 2020)

3-5- نهج قائم على البيانات يعتمد على الذكاء الاصطناعي لتصميم الأفكار

يعد التفكير هو مصدر الابتكار والإبداع ، ويستخدم بشكل شائع في المرحلة المبكرة من عمليات التصميم، حيث يعتمد إنشاء التصورات الأولية للتصميم على استكشاف مساحات جديدة لحل مشكلة تصميم معينة، ويميل توليد الأفكار إلى شمول جميع عناصر دورة الفكر، من الصياغة الإبداعية إلى الظهور المبتكر للأفكار، كما يتضمن توليد عدد من الأفكار المتنوعة والمبتكرة و ذات القيمة الفعلية، فتوليد الأفكار يمثل قضية حاسمة لكل من علماء التصميم والممارسين، وعلى مدى السنوات فلقد تم تطوير واستخدام العديد من منهجيات التفكير المحفزة لتوليد الأفكار.

تقدم هذه الدراسة مقترحاً لنهجًا متكاملًا قائمًا على البيانات يعتمد على الذكاء الاصطناعي لتوليد أفكار التصميم، ليس فقط بطريقة دلالية ولكن أيضًا بطريقة مرئية على التوالي وبناءً على نظرية الإبداع الحسابي، ولقد تمت مناقشة نموذجين مختلفين في النهج المقترح، وتم تنفيذهما للتحقق في دراسة حالة التصميم، ومن الممكن تلخيص المساهمات الرئيسية لهذه الدراسة على النحو التالي:

- اقتراح نهج متكامل ، يجمع بين تقنيات الذكاء الاصطناعي والبيانات الضخمة لتصميم الأفكار، ويهدف هذا النهج إلى تحسين كفأة عمليات التفكير في التصميم.
- نموذج شبكة التفكير الدلالي ويتكون من خوارزميات " stepforward " و "path-track" والذي تم اقتراحه وتنفيذه لاستقطاب التصورات بعيدة الإرتباط والتي يتم تجسيدها بعد ذلك في صورة رسم بياني للشبكة الدلالية كمحفزات إبداعية.
- اقتراح نموذج لتوليد صور مركبة جديدة كمحفزات للتفكير، ويستخدم هذا النموذج أحدث شبكات التقابل التوليدية لتعلم الصور التي تقدم مفهومين متميزين، وإخراج الميزات المكتسبة في شكل الصورة.
- تم إجراء دراسة حالة لتوضيح النهج المقترح، مع تقييم كيف يمكن للمنهج المطور المساعدة في توليد الأفكار وكيفية أدائه.

و وفقًا لنتائج دراسة الحالة التي تم إجرائها، فإن شبكة الأفكار الدلالية قادرة على توفير مجموعة متنوعة من الارتباطات عبر المجالات وتقدم عملية التفكير للأمام بسرعة وسهولة باستخدام خوارزميات "stepforward" و "path-track"،أما في نموذج تجميع المفاهيم المرئية ، فقد أنتجت الخوارزمية القائمة على شبكات التقابل المولدة مجموعة متنوعة من الصور التي تجمع عنصرين متقابلين للتفكير في مهمة التصميم، ولقد أظهر النهج المقترح مقدرة على إنتاج محفزات دلالية وبصرية للتفكير، وتحسين كمية الأفكار المتولدة وتنوعها وجّدتها.

ونظرًا لأن النهج المقترح يركز على استرجاع المفاهيم ذات الصلة وتجميع المفاهيم المرئية، فإن التحليل القائم على الوظيفة مفقود خلال عملية التفكير بأكملها، أي أن نتائج الدراسة تمثل بصورة أساسية محفزات لإبداع مخرجات شكلية سواء بطريقة بصرية أو دلالية، وهو ما يجع النهج المقترح غير كافي لمعالجة المشكلات الهندسية المعقدة للتصميم و المترتبطة بالعديد من الوظائف، ومن المتوقع معالجة هذه المشكلة من خلال إدخال نموذج تحليل وظيفي منهجي، حيث يمكن استرجاع المفاهيم بناءً على كل من الوظيفة ودرجة الارتباط ، ويتم تجميعها بناءً على خصائص المكونات الوظيفية والميزات الجمالية.

لكن مثل هذا التركيب المرئي لمفاهيم متعددة قد يكون صعبًا لأنه يتطلب مولدًا أكثر قوة في النموذج المقترح، وعلى الرغم من أن النهج المستند إلى البيانات المستند إلى الذكاء الاصطناعي قد تم استخدامه لتصميم الأفكار في دراسة حالة، فمن المحتمل أن يتم استخدامه لأغراض عامة أخرى تتطلب أنشطة توليد الأفكار، مثل الإعلان والابتكار التجاري للاستراتيجية، كما يمكن أن تكون مجموعات البيانات لشبكة التفكير الدلالي إما كبيرة وعامة أو صغيرة ولكنها محددة، والحد الأدنى من المتطلبات هو أن البيانات التي تم جمعها يجب أن يتم تغطيتها عبر مجالات متعددة بحيث يمكن التقاط الارتباطات الثنائية، ومن الجدير الإشارة إلى عدم وجود قيود محددة عند تطبيق نموذج مجموعة المفاهيم المرئية باستثناء مشكلة عدم الترابط، حيث يمكن استخدامه لإنشاء صور مباشرة بمجرد تدريبه جيدًا على مجموعات بيانات محددة اعتمادًا على المهمة.

(Chen et al, 2019)

3-6- نظريات وعوامل قبول التكنولوجيا التي تؤثر على المنتجات الذكية القائمة على الذكاء الاصطناعي

إن النمو السريع لتقنية الذكاء الاصطناعي (AI) هو ما دفع إلى تطوير منتجات ذكية قائمة على الذكاء الاصطناعي ، و وفقًا لذلك فلقد تم استخدام العديد من نظريات قبول التكنولوجيا لشرح مدى قبول هذه المنتجات، وتحدد هذه الدراسة المقارنة النماذج التي تشرح بشكل أفضل قبول المستهلك للمنتجات الذكية القائمة على الذكاء الاصطناعي والعوامل التي لها التأثير الأكبر من حيث نية الشراء، و تقدم الدراسة تقييماً لفائدة كلاً من: نموذج قبول التكنولوجيا (TAM) ، ونظرية السلوك المخطط (TPB) ، والنظرية الموحدة لقبول واستخدام التكنولوجيا (UTAUT) ، ونموذج التبني القائم على القيمة (VAM) ، وذلك باستخدام البيانات التي تم جمعها من عينة استقصائية من 378 متطوعاً ، وذلك لنمذجة قبول المستخدم من حيث النية السلوكية لاستخدام المنتجات الذكية القائمة على الذكاء الاصطناعي .

كما ناقش البحث اساليب التحليل المستخدمة لمقارنة كل عامل مدرج في هذه النماذج من حيث التأثير على نية الشراء ولقد تضمنت اساليب التحليل اختبار T^2 واختبار التحلل لفحص ذكاء الأعمال للمستخدمين، ولقد أظهرت الدراسة أن أداء VAM هو الأفضل في نمذجة قبول المستخدم، من بين العوامل المختلفة، ولقد وجد أن المتعة هي التي تؤثر على نية المستخدم في الشراء أكثر من غيرها، تليها المعايير الذاتية، وتؤكد نتائج هذه الدراسة أن قبول المنتجات المبتكرة للغاية ذات القيمة العملية الدنيا، مثل المنتجات الذكية القائمة على الذكاء الاصطناعي ، يتأثر بالاهتمام بالتكنولوجيا أكثر من الجوانب النفعية.

وتشير الدراسة إلى أن تطور المنتجات الذكية القائمة على الذكاء الاصطناعي سيتم من خلال العديد من الطرق الأكثر تنوعًا، كما سيتم تقييمها من قبل المستهلكين بشكل تكراري دوري مع تطور تقنية الذكاء الاصطناعي ، ومع ذلك ، فإن تطوير هذه التقنية

This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License

وتطبيقها في مختلف المجالات لا يكفي لضمان استخدام المستهلك واكتشاف الفوائد المحتملة التي توفرها، ولذلك فإن المعرفة المتقدمة بعوامل النجاح المتعلقة بالمنتجات الذكية القائمة على الذكاء الاصطناعي ضرورية من مرحلة التخطيط، فبسبب قدرة تقنية الذكاء الاصطناعي على تغيير المجتمع، سيكون للمنتجات الذكية القائمة على الذكاء الاصطناعي تأثير كبير على الحياة. (Sohn & Kwon, 2020)

3-7- التركيب التلقائي للتصميم باستخدام تقنيات الذكاء الاصطناعي

على الرغم من أن أجهزة الحاسوب أصبحت تلعب دورًا أساسيًا في التصميم ، إلا أن دورها كان في المقام الأول في تقديم المساعدة للمصممين في المهام التي تكون مملة ومتكررة بطبيعتها، والسبب هو أن التصميم يعتبر نشاطًا ذكيًا، حيث يتم من خلاله العثور على تصورات جديدة لإنتاج حلول إبداعية، ويعد تركيب التصميم مشكلة معقدة للأسباب التالية: سوء التنظيم، عدم وضوح الهدف، نقص المعلومات وعدم اليقين والغموض وتعدد المعايير وتعدد الحلول المحتملة، ولقد تم تعريف بعض الأنظمة الذكية لتحقيق تعلم تصورات التصميم، والتصميم الأمثل، حيث تعتمد هذه الأساليب على تقنيات التعلم الآلي التقليدية (مثل ID3) ، والأنظمة القائمة على المعرفة، وعمليات صنع القرار، وهي تؤدي إلى منهجيات قوية ومرنة للتصميم.

وفي المقابل فإن هناك حدان مهمان لهذه التقنيات وهما: (1) صعوبة العثور على مجموعة باريتو المثلى (تلك الحلول التي لا يمكن تحسين معيار معين دون التسبب في انخفاض في معيار واحد آخر على الأقل) (2) تحتاج الأنظمة القائمة على المعرفة إلى تحديد عدد محدود من متغيرات التصميم بالإضافة إلى مجموعة منفصلة من القيم، وهذا هو العيب الرئيسي لنظام يهدف لتصميم عملية إبداعية، ومن ناحية أخرى تكتسب بعض تقنيات التعلم الآلي شعبية في التطبيقات المعقدة للأنظمة الذكية، وتشمل تلك الأنظمة: الخوارزميات الجينية، والشبكات العصبية، ففي حين أن الأولى هي تقنية تحسين قوية، فإن الأخيرة تعتبر نظامًا جيدًا لتقريب الوظائف العامة، ولقد تم دمج كلاهما في هذا العمل لإنتاج أداة تنفذ أداة CAD فعالة، ولقد تم اختبار الأداة المقترحة في تصميم سماعة للهاتف، وعلى الرغم من أن الهدف من هذا التطبيق يعتمد على الإشارات الجمالية الإستخدامية، فإن الخوارزمية قد أقتربت بنجاح إلى تحقيق حلول جيدة.

إن العمل المقدم يطبق منهجية لعمليات التصميم التجميعي، فعمومية التقنيات المستخدمة تجعلها مناسبة للاستخدام في مجموعة واسعة من تطبيقات التصميم الصناعي: بدأ من تلك التي تعتمد على مواصفات رقمية محددة جيدًا إلى المعايير الذاتية للتصميم الجمالي الإستخدامي، وعلى الرغم من ذلك فلا يمكن اعتبار تنفيذ هذا النموذج أداة تصميم تلقائية في الممارسة العملية، لأنه في حين أن بعض المشكلات تمثل حلولًا قليلة ومحددة جيدًا، فإن البعض الآخر يقدم مساحات بحث معقدة للغاية ، وستحتاج الوظيفة الاستخدامية التي تقود البحث إلى تفاعل كبير مع المصمم لاكتشاف الطريق في مساحة الأداء، وبمعنى أكثر عمومية، يمكن اعتبار هذه الأداة كنظام عصف ذهني يساعد المصمم في مرحلة التصميم الأولية.

إن فوائد نظام العصف الذهني التلقائي الذي يعمل في الوقت الفعلي ذات أهمية كبيرة وذلك للأسباب الاقتصادية التالية : (1) تعد جلسات العصف الذهني نشاطًا مكلفًا للشركات، و وجود أداة تعمل كنظام عصف ذهني سوف يساعد بشكل كبير ذلك لأن وقت التصميم الإجمالي سينخفض بشكل كبير (2) تنوع النتائج، حيث يستفيد إبداع التصاميم من حداثة وتنوع النتائج التي يقترحها النظام، فهناك العديد من خطوط التطبيق المختلفة لمثل هذا النموذج. (Khan et al, 2003)

رابعاً : إطار عمل للإستفادة من الذكاء الاصطناعي في دعم التصميم الصناعي

مما تقدم يمكن القول أنه بشكل عام لبناء الإطار المستهدف من البحث فإن هناك وجهتين نظر يمكن تبني إحداهما كأساس أولي لتحقيق الإطار المطلوب، وهما على النحو التالي:

الأولى والقائلة بإن تقنيات الذكاء الاصطناعي لن تؤثر على طرق ومنهجيات حل المشكلات المستخدمة في مجال التصميم، وأن التفكير التصميمي سيظل المنهج المعتمد لحل المشكلات في مجال التصميم الصناعي، وأن ما سوف يتغير هو فقط الأدوات المستخدمة في تحقيق ذلك، و أن أدوات التصميم الحالية سوف تتبدل بأخرى مدعومة بخوارزميات ونماذج الذكاء الاصطناعي . (Liao, (Moreira da Silva, 2018) ، Hansen and Chai, 2020)

أما وجهة الثانية فتخبرنا بإن التغيير الذي ستحدثه تقنيات الذكاء الاصطناعي على طرق ومنهجيات حل المشكلات التصميمية سوف يكون جذرياً إلى الدرجة التي ستتغير معها منهجية التصميم بشكل كلي، وأن التغيير لن يقتصر على أدوات وطرق حل المشكلات بل سوف يتطرق إلى المنهجية الكلية المستخدمة لتحقيق ذلك. (Verganti, Vendraminelli, Iansiti, 2020), (Chen et al, 2019)

ولتحقيق إطار عمل للإستفادة من الذكاء الاصطناعي في دعم ممارسات التصميم الصناعي بشكل تام، فإن البحث سوف يتبني وجهة النظر الثانية، فهي الأقرب للتحقق، حيث يرى البحث أن تقنيات الذكاء الاصطناعي ليست كغيرها من التقنيات التي شهدها التصميم الصناعي، وأن تأثيرها على ممارسات التصميم سوف يؤدي إلى تغيرات جزرية في شكل وجوهر تلك الممارسات.

ويتكون إطار العمل المقترح من ثلاث مراحل رئيسية، يتكامل فيها دور الذكاء البشري المتمثل في المصمم مع دور الذكاء الاصطناعي المتمثل في تقنيات الحاسوب، وذلك لدمج أفضل خصائص بينهما وتحقيق أفضل صورة ممكنة من ممارسات التصميم، وتشتمل تلك المراحل على:

- المرحلة الأولى: وهي مرحلة البحث، والهدف منها هو بناء نموذج المستخدم-المنتج User-Product Model يطابق الخصائص والسمات الشخصية لكل مستخدم متوقع، وهو ما يعني تحديد جميع الخصائص المطلوب تحقيقها ونسب ودرجات تحققها في كل منتج ليعكس احتياجات ومتطلبات مستخدمه المتوقع، فالتصميم إعتماداً على تقنيات الذكاء الاصطناعي لن يخضع لمبدأ التوحيد القياسي حيث سيتم استبدله بمبدأ الطابع الشخصي للمنتج، وهو ما يجعل المنتج بمثابة ثوب أو رداء مفصل خصيصاً لمستخدم معين لا ليطابق فقط بنيته الجسدية بل ليعكس سماته الشخصية ويقابل إحتياجاته ورغباته الداخلي، وهنا يجب الإشارة إلى أن تصميم المنتج من هذا المنطلق سوف يجعل من الصعب على أي مستخدم آخر استخدام نفس المنتج وذلك لوجود العديد من أوجه التباين وعدم المقابله في خصائص المنتج مع سمات المستخدم الشخصية أو العامة، ويتطلب تحقيق تلك المرحلة المرور بالعديد من الخطوات المرحلية والتي يتطلب تحقيقها النظر في الطرق والأدوات المستخدمة لذلك، والتي لا يتسع المجال لمناقشتها في هذا البحث، لكن بشكل عام وكما اشرنا فإن تحقيق أي مرحلة من تلك المراحل يعتمد على تكامل أدوار كلاً من المصمم وتقنيات الذكاء الاصطناعي ، ومن الممكن تكامل الدورين في تلك المرحلة علي النحو التالي:
  - دور المصمم، حيث يقوم بتحديد الخصائص المطلوب قياسها من سمات شخصية المستخدم والمؤثرة في شكل و وظيفة المنتج، وتحديد طرق قياس تلك الخصائص.
  - دور تقنيات الذكاء الاصطناعي ، وهو الإستفادة من تقنيات البيانات الضخمة وانترنت الأشياء و المستشعرات المختلفة المحيطة بالمستخدم والمدمجة مع العديد من الأجهزة المحيطة لقياس الخصائص المطلوبة لبناء نموذج المستخدم-المنتج.

- المرحلة الثانية: وهي مرحلة التحقيق، والهدف منها هو بناء مخرج تصميمي يقابل نموذج المستخدم-المنتج والمعد في المرحلة السابقة، وتمثل مخرجات تلك المرحلة أعظم مقابلة يمكن تحقيقها بين المستخدم والمنتج، فهي تعد بمنتج مستقل لكل مستخدم على حده، فعلى سبيل المثال لو أن مؤسسة تستهدف جمهور مستهلكين يتضمن مليون مستخدم لمنتج معين فإن تلك المرحلة تعد بمليون نسخة مختلفة من هذا المنتج، بحيث تقابل كل نسخة من المنتج إحتياجات ورغبات وتطلعات كل مستخدم كما لم يقابلها أي منتج سابق من قبل، ويتطلب تحقيق تلك المرحلة العديد من المراحل الجزئية، كما يتطلب الإستعانة بالعديد من طرق و أدوات التصميم المختلفة، أما عن تكامل الأدوار بين المصمم والذكاء الاصطناعي في تلك المرحلة فمن المتوقع أن يتم ذلك على النحو التالي:
  - دور المصمم، ويتمثل فيما يلي:
    - تصميم إجراءات تصميم المنتج، أي تصميم الطريقة أو سلسلة الخطوات التي سيتم بها بناء (شكل و وظيفة) المنتج من قبل نماذج الذكاء الاصطناعي .
    - تدريب نماذج الذكاء الاصطناعي على حل مشكلات التصميم في ضوء المدخلات المتوفرة من المرحلة السابقة.
    - توجيه مخرجات نماذج الذكاء الاصطناعي لرفع معدلات مطابقتها لنموذج المستخدم-المنتج.
    - إستلهام التصميم اعتماداً على نماذج الذكاء الاصطناعي وإعادة توجيهها.
  - دور الذكاء الاصطناعي ، ويتمثل فيما يلي:
    - توفير مصادر لاستلهام التصميم في ضوء المعلومات المتوفرة عن نموذج المستخدم-المنتج.
    - توفير بدائل تصميم تحقق الجوانب الشكلية والوظيفية للمنتج وتقابل نموذج المستخدم-المنتج.
- المرحلة الثالثة: وهي مرحلة المطابقة، والهدف منها هو تعظيم مقابلة المخرج التصميمي لنموذج المستخدم-المنتج، فمن المؤكد أن المرحلة السابقة سوف تنتهي بالوصول إلى نسخة منتج تطابق إحتياجات العميل بشكل كبير، لكن من غير المؤكد أن قابلية تلك النسخة للتطوير والارتقاء بتطلعات المستخدم سوف تنتهي عند تلك المرحلة، ولذا نجد أن الهدف من المرحلة الثالثة هو تعظيم نسخة المنتج التي تستهدف مستخدم معين وذلك لتحقيق أقصى تقابل بين المخرج التصميمي ونموذج المستخدم-المنتج، وفي هذا السياق فإن عمليات التكامل بين المصمم والذكاء الاصطناعي في تلك المرحلة سوف تتم على النحو التالي:
  - دور المصمم، إعادة توجيه عمليات التصميم طبقاً لنتائج القياس المستمر لتفضيلات المستخدم وتطلعاته المقترحه نحو النسخ الأكثر تطوراً من المنتج.
  - دور الذكاء الاصطناعي ، هو الإختبار والقياس المستمر وحصر مقترحات وتصورات التطوير للنسخ الأحدث من المنتج وذلك إعتماد على التقنيات الداعمة لأليات الذكاء الاصطناعي مثل تقنيات البيانات الضخمة وتقنيات الإستشعار والذكاء المحيطي.

والجدول (1) يلخص إطار العمل السابق مع توضيح أهم تقنيات الذكاء الاصطناعي التي يمكن الإستفادة منها في كل مرحلة من مراحل الإطار.

جدول (1) إطار عمل كلي للإستفادة من تقنيات الذكاء الاصطناعي في دعم التصميم الصناعي.

المرحلة	هدف المرحلة	دور المصمم	دور الذكاء الاصطناعي	تكنولوجيا الذكاء الاصطناعي المناسبة
المرحلة الأولى: مرحلة البحث	بناء نموذج المستخدم-المنتج User-Product Model	تحديد سمات المستخدم المطلوب قياسها والمؤثرة في شكل و وظيفة المنتج	اعتماداً على بيانات المستخدم يتم بناء نموذج المستخدم-المنتج.	التعلم الآلي، أنظمة دعم القرار ، التعرف على الأنماط .
المرحلة الثانية: مرحلة التحقيق	بناء مخرج تصميمي يقابل نموذج المستخدم-المنتج	تخطيط إجراءات تصميم المنتج. تدريب وتوجيه نماذج الذكاء الاصطناعي . لرفع معدلات مطابقتها لنموذج المستخدم-المنتج. إستلهام التصميم اعتماداً على نماذج الذكاء الاصطناعي .	توفير مصادر لاستلهام التصميم. توفير بدائل تصميم تحقق الجوانب الشكلية والوظيفية للمنتج.	الأنظمة الخبيرة، التعلم الآلي، أنظمة دعم القرار ، التعرف على الأنماط ، معالجة اللغات الطبيعية ، الرؤية الحاسوبية.
المرحلة الثالثة: مرحلة المطابقة	تعظيم مقابلة المخرج التصميمي لنموذج المستخدم-المنتج	توجيه عمليات التصميم طبقاً لنتائج القياس المستمر.	الإختبار والقياس المستمر وحصر مقترحات وتصورات التطوير للنسخ الأحدث من المنتج.	الأنظمة الخبيرة، التعلم الآلي، أنظمة دعم القرار ، التعرف على الأنماط .

النتائج Results

توصل البحث إلى النتائج التالية:

- شهد الذكاء الاصطناعي عملية تطوير طويلة مع تاريخ يمتد لأكثر من 70 عامًا ولقد مر خلال تلك العملية بأربعة مراحل على النحو التالي: فترة التأسيس في عام 1956 م ، والعصر الذهبي الأول والممتد من منتصف خمسينات القرن العشرين وحتي منتصف سبعينات القرن العشرين ، الفترة الذهبية الثانية والممتدة من 1982 حتي أواخر عام 1990م، و الفترة الذهبية الثالثة والتي بدأت مع بداية الألفية الثالثة والمستمرة إلى الآن.
- يعتمد تطور البحوث في مجال الذكاء الاصطناعي على العديد من التقنيات والمحركات الدافعة له، والتي تتضمن الموضوعات التالية: البيانات الكبيرة Big Data ، الخوارزميات algorithms ، التعلم الآلي Machine Learning ، معالجة اللغات الطبيعية Natural Language Processing والأجهزة المادية Hardware ، الرؤية الحاسوبية Computer Vision .
- تتعد مجالات البحوث المرتبطة بتطبيقات الذكاء الاصطناعي لتشمل التطبيقات التالية: الأنظمة الخبيرة Expert Systems ، التعلم الآلي Machine Learning ، الروبوتات robots ، أنظمة دعم القرار Smart decision-Support System ، التعرف على الأنماط .
- تنقسم وجهات النظر حول البحوث التي تناقش كيفية الإستفادة من تقنيات الذكاء الاصطناعي في دعم التصميم الصناعي إلى وجهتي نظر رئيسيتين هما: الذكاء الاصطناعي تقنية أخرى يمكن الإستفادة منها في دعم أدوات التصميم لدى المصمم الصناعي لكنها لن تؤدي إلى تغيير جزري في المنهجيات المستخدمة في معالجة مشكلات التصميم، أما الأخرى فتجادل بإن تلك التقنيات ستؤدي لا محالة إلى تغيير

This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License

جزري في اساليب ومنهجيات التصميم المستخدمة في معالجة المشكلات، وهو ما يدعو إلى إعادة النظر حول دور الذكاء البشري المتمثل في عمل المصمم والذكاء الاصطناعي والمتمثل في فعل الحاسوب، وكيفية تكامل أدوارهما ضمن منهجيات التصميم المستخدمة لتحقيق إطار عمل شامل يمكن المصمم الصناعي من الاستفادة من تقنيات الذكاء الاصطناعي في دعم ممارسات التصميم.

- في ضوء وجهة النظر المتبناه، بشأن تأثير تقنيات الذكاء الاصطناعي على تغيير منهجيات التصميم بشكل جزري قد توصل البحث إلى وضع إطار عمل للإستفادة من تقنيات الذكاء الاصطناعي في دعم ممارسات التصميم، ويتضمن هذا الإطار ثلاث مراحل يتكامل فيها دور المصمم والذكاء الاصطناعي على النحو التالي:
  - المرحلة الأولى: مرحلة البحث وهدفها هو بناء نموذج المستخدم-المنتج ، والذي يعكس السمات الخاصة بكل مستخدم بشكل مستقل وهو يمثل النواة الأولى لبدء إجراءات التصميم في المرحلة التالية، وعن دور المصمم في تلك المرحلة فيتمثل في إعداد قائمة الخصائص المطلوب قياسها والتي ستؤثر على النسخة النهائية من المنتج، وعن دور الذكاء الاصطناعي فيتمثل في إعداد النموذج إعتماد على تلك الخصائص، وذلك إعتماداً على تقنيات: التعلم الآلي، أنظمة دعم القرار ، التعرف على الأنماط .
  - المرحلة الثانية: مرحلة التحقيق وهدفها بناء مخرج تصميمي يقابل نموذج المستخدم-المنتج، حيث يقوم المصمم بتصميم إجراءات تحقيق المنتج من قبل نماذج الذكاء الاصطناعي وتدريب تلك النماذج والإشراف عليها وتوجيه مخرجات التصميم لتحقيق أعلى مقابلة ممكنة، وعن دور الذكاء الاصطناعي فيتمثل في توفير مصدر لإستلهام التصميم وبناء بدائل تصميم إعتمادا على نموذج المستخدم المنتج، وذلك بالإعتماداً على تقنيات: الأنظمة الخبيرة، التعلم الآلي، أنظمة دعم القرار ، التعرف على الأنماط ، معالجة اللغات الطبيعية ، الرؤية الحاسوبية.
  - المرحلة الثالثة: مرحلة المطابقة وهدفها تعظيم مطابقة المخرج التصميمي لنموذج المستخدم المنتج من خلال التقييم المستمر باستخدام القياس المستمر عن طريق نماذج الذكاء الاصطناعي والتوجيه المستمر من قبل المصمم لتلك العملية، وذلك بالإعتماداً على تقنيات: الأنظمة الخبيرة، التعلم الآلي، أنظمة دعم القرار ، التعرف على الأنماط.
  - ثبوت صحة فرض البحث، فقد أمكن بناء إطار عمل عام للإستفادة من تقنيات الذكاء الاصطناعي في دعم ممارسات التصميم الصناعي.

التوصيات Recommendation

من نتائج البحث أمكن التوصل إلى مجموعة من التوصيات التي نوردها فيما يلي:

- ضرورة إعداد المزيد من البحوث حول كيفية الإستفادة من تقنيات الذكاء الاصطناعي في دعم تعليم وممارسة التصميم الصناعي.
- ضرورة إعادة النظر في دور المصمم الصناعي في عمليات التصميم في ضوء تقنيات الذكاء الاصطناعي والبيانات الضخمة وإنترنت الأشياء.
- ضرورة دعم مناهج التصميم بالمعارف اللازمة لتمكين طلاب التصميم من اتقان أدوات الذكاء الاصطناعي وذلك نظراً للأهمية المتزايدة له في مجال التصميم.
- ضرورة الإستفادة من تلك التقنيات المستحدثة في دعم تعليم التصميم.

المراجع References

1. Abduljabbar, Rusul & Dia, Hussein & Liyanage, Sohani & Bagloee, Saeed. (2019). Applications of Artificial Intelligence in Transport: An Overview. Sustainability. 11. 189. 10.3390/su11010189.
2. Bose, Bimal. (2017). Artificial Intelligence Techniques in Smart Grid and Renewable Energy Systems—Some Example Applications. Proceedings of the IEEE. 105. 2262-2273. 10.1109/JPROC.2017.2756596.
3. E. Brynjolfsson, A. Mcafee. (2017). The business of artificial intelligence, Harv. Bus. Rev.11–3 .
4. Cai, Hongming & Xu, Lida & Xu, Boyi & Zhang, Pengzhu & Guo, Jingzhi & Zhang, Yuran. (2018). A service governance mechanism based on process mining for cloud-based applications. Enterprise Information Systems. 12. 1-18. 10.1080/17517575.2018.1442933.
5. Caramelo Gomes, Cristina & Preto, Sandra. (2018). Artificial Intelligence and Interaction Design for a Positive Emotional User Experience. 10.1007/978-3-319-73888-8_11.
6. Cappelli, Peter & Tambe, Prasanna & Yakubovich, Valery. (2018). Artificial Intelligence in Human Resources Management: Challenges and a Path Forward. SSRN Electronic Journal. 10.2139/ssrn.3263878.
7. Chen, Hong & Li, Ling & Chen, Yong. (2020). Explore success factors that impact artificial intelligence adoption on telecom industry in China. Journal of Management Analytics. 8. 1-33. 10.1080/23270012.2020.1852895.
8. Chen, Liuqing & Wang, Panny & Dong, Hao & Shi, Feng & Han, Ji & Guo, Yike & Childs, Peter & Xiao, Jun & Wu, Chao. (2019). An artificial intelligence-based data-driven approach for design ideation. Journal of Visual Communication and Image Representation. 61. 10.1016/j.jvcir.2019.02.009.
9. Chen, Xue-Wen & Lin, Xiaotong. (2014). Big Data Deep Learning: Challenges and Perspectives. Access, IEEE. 2. 514-525. 10.1109/ACCESS.2014.2325029.
10. Duan, Lian & Xu, Li. (2012). Business Intelligence for Enterprise Systems: A Survey. Industrial Informatics, IEEE Transactions on. 8. 679-687. 10.1109/TII.2012.2188804..
11. Duan, Na & Liu, Lizheng & Yu, Xianjia & L., Qingqing & Yeh, Shih-Ching. (2018). Classification of multichannel surface-electromyography signals based on convolutional neural networks. Journal of

for production rescheduling. Expert Systems. 16. 273 - 279. 10.1111/1468-0394.00119.
24. Li, Hongxing & Li, L.X. (2002). Representing diverse mathematical problems using neural networks in hybrid intelligent systems. Expert Systems. 16. 262 - 272. 10.1111/1468-0394.00118.
25. Liedtka, Jeanne. (2014). Perspective: Linking Design Thinking with Innovation Outcomes through Cognitive Bias Reduction. Journal of Product Innovation Management. 32. 10.1111/jpim.12163.
26. Liu, Li & Ouyang, Wanli & Wang, Xiaogang & Fieguth, Paul & Chen, Jie & Liu, Xinwang & Pietikäinen, Matti. (2020). Deep Learning for Generic Object Detection: A Survey. International Journal of Computer Vision. 128. 10.1007/s11263-019-01247-4.
27. Liu, Jiaying & Kong, Xiangjie & Xia, Feng & Bai, Xiaomei & Wang, Lei & Qing, Qing & Lee, Ivan. (2018). Artificial Intelligence in the 21st Century. IEEE Access. PP. 1-1. 10.1109/ACCESS.2018.2819688.
28. G. Litjens, T. Kooi, B.E. Bejnordi, A.A.A. Setio, F. Ciompi, M. Ghafoorian, J.A. Van Der Laak, B. Van Ginneken, C.I S´anchez, (2017). A survey on deep learning in medical image analysis, Med. Image Anal. 42,p 60–88
29. Liu, Ziwei & Luo, Ping & Wang, Xiaogang & Tang, Xiaoou. (2014). Deep Learning Face Attributes in the Wild. 10.1109/ICCV.2015.425.
30. Lu, Lifei & Xu, Lida & Xu, Boyi & Li, Guoqiang & Cai, Hongming. (2018). Fog Computing Approach for Music Cognition System Based on Machine Learning Algorithm. IEEE Transactions on Computational Social Systems. PP. 1-10. 10.1109/TCSS.2018.2871694.
31. Miotto, Riccardo & Wang, Fei & Wang, Shuang & Jiang, Xiaoqian. (2017). Deep learning for healthcare: review, opportunities and challenges. Briefings in bioinformatics. 19. 10.1093/bib/bbx044.
32. Moreira da Silva, A. (2018). Will Sketching Survive with the Use of Artificial Intelligence Tools?. In: Karwowski, W., Ahram, T. (eds) Intelligent Human Systems Integration. IHSI 2018. Advances in Intelligent Systems and Computing, vol 722. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-73888-8_48.
33. Morocho-Cayamcela, Manuel Eugenio & Lim, Wansu. (2018). Artificial Intelligence in 5G Technology: A Survey. 860-865. 10.1109/ICTC.2018.8539642.
34. Reddy, Mr & Naik, N. & Prashanth, A. & Kumar, B.. (2022). An Efficient Spam Industrial Information Integration. 15. 10.1016/j.jii.2018.09.001.
12. Erhan, Dumitru & Courville, Aaron & Bengio, Y. & Vincent, Pascal. (2010). Why Does Unsupervised Pre-training Help Deep Learning?. Journal of Machine Learning Research - Proceedings Track. 9. 201-208.
13. Hu, Shisheng & Liang, Ying-Chang & Xiong, Zehui & Niyato, Dusit. (2021).Blockchain and Artificial Intelligence for Dynamic Resource Sharing in 6G and Beyond. IEEE Wireless Communications. PP. 1-7. 10.1109/MWC.001.2000409.
14. Guo, Taiyuan & Eckert, Roland & Li, Mei. (2020). Application of Big Data and Artificial Intelligence Technology in Industrial Design. International Journal of Advanced Trends in Computer Science and Engineering. Vol 5. 10-14.
15. Iansiti, M., and K. Lakhani. 2020a. Competing in the age of artificial intelligence. Cambridge, MA: Harvard Business Press.
16. Kasture, Pranjali & Gadge, Jayant. (2012). Cluster based Outlier Detection. International Journal of Computer Applications. 58. 10.5120/9317-3549.
17. Khan, Abid & Sheikh, Shakil & Chaudhry, Imran Ali & Hussain, Tanweer. (2003). Artificial Intelligence Techniques in Engineering Design Synthesis. Engineering Horizons. 7 - 12.
18. Lakhani, Karim & Iansiti, Marco. (2020). Competing in the Age of AI: Strategy and Leadership When Algorithms and Networks Run the World.
19. Le, Tan & Hu, Rose & Hanzo, L.. (2019). Twin-Timescale Artificial Intelligence Aided Mobility-Aware Edge Caching and Computing in Vehicular Networks. IEEE Transactions on Vehicular Technology. PP. 10.1109/TVT.2019.2893898.
20. Liao, Jing & Hansen, Preben & Chai, Chunlei. (2020). A framework of artificial intelligence augmented design support. Human-Computer Interaction. 35. 1-34. 10.1080/07370024.2020.1733576.
21. Liedtka, J. 2015. Perspective: Linking design thinking with innovation outcomes through cognitive bias reduction. Journal of Product Innovation Management 32 (6): 925–38.
22. Li, Lynn. (2000). Knowledge-based problem solving: an approach to health assessment. : Expert Systems with Applications 16(1) (1999) 33–42. Expert Systems with Applications. 18. 153.
23. Li, Lynn. (2002). Proposing an architectural framework of hybrid knowledge-based system

This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License

operation platform. Enterprise IS. 4. 283-309. 10.1080/17517575.2010.504888.
45. Verganti, Roberto & Vendraminelli, Luca & Iansiti, Marco. (2020). Innovation and Design in the Age of Artificial Intelligence. Journal of Product Innovation Management. 37. 10.1111/jpim.12523.
46. Xu, Li. (1999).Preface, Expert Syst. Appl. 16 (1) 1–2
47. Xu, Li. (2013). Introduction: Systems Science in Industrial Sectors. Systems Research and Behavioral Science. 30. 10.1002/sres.2186.
48. Xu, Li & Lu, Yang & Li, Ling. (2021). Embedding Blockchain Technology Into IoT for Security: A Survey. IEEE Internet of Things Journal. PP. 1-1. 10.1109/JIOT.2021.3060508.
49. Yang, Baoan & Li, Ling & Ji, Hai & Xu, Jing. (2001). An early warning system for loan risk assessment using artificial neural networks. Knowl.-Based Syst.. 14. 303-306. 10.1016/S0950-7051(01)00110-1.
50. Yang, Geng & Xie, Li & Mäntysalo, Matti & Zhou, Xiaolin & Pang, Zhibo & Xu, Li & Kao-Walter, Sharon & Chen, Qiang & Zheng, Li-Rong. (2014). A Health-IoT Platform Based on the Integration of Intelligent Packaging, Unobtrusive Bio-Sensor and Intelligent Medicine Box. IEEE Transactions on Industrial Informatics. 10. 1-1. 10.1109/TII.2014.2307795.
51. Yang, Honghong & Wen, Jinming & Wu, Xiao-Jun & He, Li & Mumtaz, Shahid. (2019). An Efficient Edge Artificial Intelligence MultiPedestrian Tracking Method With Rank Constraint. IEEE Transactions on Industrial Informatics. PP. 1-1. 10.1109/TII.2019.2897128.
52. Young, Tom & Hazarika, Devamanyu & Poria, Soujanya & Cambria, Erik. (2017). Recent Trends in Deep Learning Based Natural Language Processing.
53. A. Zappone, M. Di Renzo, M. Debbah, (2019) Wireless networks design in the era of deep learning: model-based, AI-based, or both? IEEE Trans. Commun. 67 (10)7331–7376
54. Zhang, Caiming & Chen, Yong. (2019). A Review of Research Relevant to the Emerging Industry Trends: Industry 4.0, IoT, Block Chain, and Business Analytics. Journal of Industrial Integration and Management. 05. 10.1142/S2424862219500192.
55. Zhang, Caiming & Xu, Xiaojun & Chen, Hong. (2019). Theoretical foundations and applications of cyber-physical systems: a literature review. Library Hi Tech. ahead-of-print. 10.1108/LHT-11-2017-0230.
56. Zhang, Caiming. (2020). Research on the Detection Technique for IoT Devices Using Machine Learning. International Journal for Research in Applied Science and Engineering Technology. 10. 1001-1005. 10.22214/ijraset.2022.42311.
35. Reichstein, Markus & Camps-Valls, Gustau & Stevens, Bjorn & Jung, Martin & Denzler, Joachim & Carvalhais, Nuno & Prabhat, Mr. (2019). Deep learning and process understanding for data-driven Earth system science. Nature. 566. 195. 10.1038/s41586-019-0912-1.
36. Schliferstein, A.. (1981). Principles of artificial intelligence. Proceedings of the IEEE. 69. 1171- 1172. 10.1109/PROC.1981.12145.
37. Shone, Nathan & Tran Nguyen, Ngoc & Vu Dinh, Phai & Shi, Qi. (2018). A Deep Learning Approach to Network Intrusion Detection. IEEE Transactions on Emerging Topics in Computational Intelligence. 2. 41-50. 10.1109/TETCI.2017.2772792.
38. Simon, H. A. 1982. The sciences of the artificial. Cambridge, MA: The MIT Press.
39. Simon, H. (1982) Models of Bounded Rationality: Behavioral Economics and Business Organization. Vol. 2, MIT Press, Cambridge, MA.
40. Sohn, Kwonsang & Kwon, Ohbyung. (2020). Technology Acceptance Theories and Factors Influencing Artificial Intelligence-based Intelligent Products. Telematics and Informatics. 101324.
41. Sodhro, Ali & Pirbhulal, Sandeep & Albuquerque, V.H.C.. (2019). Artificial Intelligence-Driven Mechanism for Edge Computing-Based Industrial Applications. IEEE Transactions on Industrial Informatics. PP. 1-1. 10.1109/TII.2019.2902878.
42. Sünderhauf, Niko & Brock, Oliver & Scheirer, Walter & Hadsell, Raia & Fox, Dieter & Leitner, Juxi & Upcroft, Ben & Abbeel, Pieter & Burgard, Wolfram & Milford, Michael & Corke, Peter. (2018). The Limits and Potentials of Deep Learning for Robotics. The International Journal of Robotics Research. 37. 10.1177/0278364918770733.
43. S. Tokui, K. Oono, S. Hido, J. Clayton, (2015). Chainer: a next-generation open source framework for deep learning, Proceedings of workshop on machine learning systems (LearningSys) in the twenty-ninth annual conference on neural information processing systems (NIPS) 5 ,1–6.
44. Tan, Wenan & Xu, Yicheng & Xu, Wei & Xu, Lida & Zhao, Xianhua & Wang, li & Fu, Liuliu. (2010). A methodology toward manufacturing grid-based virtual enterprise

Xiaohui & Zhang, Pengzhu. (2019). Domain ontology development of knowledge base in cardiovascular personalized health management. Journal of Management Analytics. 6. 420-455. 10.1080/23270012.2019.1694454.

59. Zeng, Li & Li, Ling & Duan, Lian. (2012). Business intelligence in enterprise computing environment. Information Technology and Management. 13. 10.1007/s10799-012-0123-z

Economical Influence of the Difference of Regional Logistics Developing Level in China. Journal of Industrial Integration and Management. 05. 10.1142/S2424862220500049.

57. Zhang, Caiming & Lu, Yang. (2021). Study on Artificial Intelligence: The State of the Art and Future Prospects. Journal of Industrial Information Integration. 23. 100224. 10.1016/j.jii.2021.100224.

58. Zhang, Weiqiang & Xiang, Yidan & Liu,

This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License