إرجونوميكس الروبوت: إعطاء الكائنات السلوكية حضوراً ديناميكياً

Robot Ergonomics: Giving the Behavioral Objects a dynamic presence

مينا إسحق توفيلس داود

مدرس بقسم التصميم الصناعى ، كلية الفنون التطبيقية ، جامعة دمياط، eshaqmina@gmail.com

ملخص البحث Abstract:

ينشغل المصمم دائماً بكيفية تواجد الأنظمة الروبوتية وتفاعلاتها المباشرة مع العنصر البشرى، ومدى إرتباط منتجات الروبوت بحضورهم الديناميكى داخل العالم الحقيقى؛ أدت الحاجة إلى إعادة النظر دائماً فى علوم الإرجونوميكس بشكل دائم طبقاً لحداثة أى من المنتجات التى صُممت من أجل التفاعلات البشرية، وخاصة التى تحتوى منها على تفاعلات فيزيائية لتعمل على معقولية التفاعل بشكل عفوى، وأصبح من الضرورى على المصمم وضع معايير واضحة لتصميم معجم خاص للإتصال بين العنصر البشرى والأنظمة الروبوتية – صياغة الفضاء التشغيلى – داخل بيئات العمل التفاعلية؛ فمن خلال تلك الخطوات الهامة يمكن للمصمم وضع القواعد النظرية لتلك التفاعلات لتبدو منطقية، والتى من خلالها يمكن تصميم تفاعلات بمنظور جديد من أجل ترسيخ مسلمات مستحدثات التكنولوجيا وتصميم الأنظمة الروبوتية؛ فكلما أصبح التفاعل الفيزيائى جزءاً أصيلاً فى تصميم منتجات الروبوت أدت الحاجة إلى دمج علوم الإرجونوميكس إلى ما يعرف بعوامل الروبوت؛ فلا ينبغى أن يكون التركيز على أحد تلك العناصر من الواقعية، بل لابد من إظهار منتجات الروبوت داخل التجربة – بإعتبارهم كائنات سلوكية جديدة – وإعتباره أنه كائن حقيقى له سلوك مُنفرد ويمثل جزءاً راسخاً من الواقع، ويتجلى دور الواقعية الحقيقى عند تكافؤ جميع العناصر المرتبطة بصياغة الفضاء التشغيلى؛ فيظهر ناتج تطبيق بيئة العمل الإستباقية فى بديهية التفاعلات أو ما يعنى الحدس التوقعى لدى البشر، أى حينما يعمل المصمم على صياغة الفضاء التشغيلى لبيئة عمل إستباقية يجعلها تلقائية التفاعلات، بغرض إنجاح تجربة المستخدم وجعلها أكثر تفرداً وجاذبية؛ لذلك يهدف البحث إلى إلقاء الضوء على محددات صياغة الفضاء التشغيلة لتواجد الأنظمة الروبوتية داخل بيئات التفاعل مع العنصر البشرى، وكيفية إدراك المستخدم لها أثناء تجربة التفاعل، ولقد إعتمد الباحث على المنهج الإستقرائى لدراسة مشكلة البحث، وتعزيز تواجد العنصر البشرى داخل تجارب التفاعل، والعمل على كيفية الإرتقاء بالمستوى السلوكى للمنتجات التفاعلية والأنظمة الروبوتية، وإيجاد المحددات الخاصة بتشكيل الحضور الديناميكى وصياغة الفضاء التشغيلى لتلك الأنواع من المنتجات المستقبلية التفاعلية والروبوت.

كلمات دالة Keywords:

الإرجونوميكس
Ergonomics

التصميم التفاعلى
Interaction Design

حالة الوجود
Presence

تفاعل الإنسان/الروبوت
HRI

إرجونوميكس الروبوت
Robot Ergonomics

صياغة الفضاء التشغيلى
Operational Space formulation

Paper received 25th June 2021, Accepted 14th August 2021, Published 1st of September 2021

مقدمة Introduction:

لم تُغير الآلة مجرى التاريخ البشرى فقط (Allen, 2018)، بل أصبحت الآلات هى العنصر الأقيم فى عمليات الإنتاج والتصنيع لإمتلاكها عنصر الدقة والسرعة معاً (Cookson, 2018)، والتى تطورت ضمن تسارع التحولات التكنولوجية فى عصر المعلومات وصولاً إلى المنتجات الرقمية والتفاعلية (Brynjolfsson & McAfee, 2012; Brynjolfsson, McAfee, & Pyka, 2018)، ومنها ظهور جيل جديد من المنتجات المستقبلية كالتفاعلية والروبوت (Davidow & Malone, 2020; Elliott, 2019)، وغالباً ما تنفرد تلك المنتجات والأنظمة الروبوتية بتفضيلات المستخدمين أثناء التفاعلات داخل نطاق حياتهم اليومية، كون الروبوت منتجاً مستقبلياً، فضلاً عن ديناميكية الأداء داخل بيئات العمل المختلفة، والتى تميزه بفارق ملحوظ عن المنتجات التقليدية والتى لها غرض استخدامى محدد (Amer & Dawood, 2020; Lee et al., 2018).

فلا يمكن إنكار أننا نقف على شفا ثورة تكنولوجية من شأنها تغيير الواقع العالمى كما نعرفه نحن الآن، تلك الحقبة ستغير بشكل جذرى الطريقة التى نعمل أو نتواصل مع بعضنا من خلالها (Clark & Cooke, 2015)، سيكون التحول هذه المرة مختلفاً عن أى شئ شاهدته البشرية من قبل؛ فسابقاً استخدمت الثورة الصناعية الأولى طاقة الماء والبخار لميكنة الإنتاج، وإعتمدت الثانية على الطاقة الكهربائية لإنتاج وتخزين كميات كبيرة منها، والثالثة تفوقت فى تواجد الإلكترونيات وتكنولوجيا المعلومات لأتمتة ماكينات خطوط الإنتاج (Sengupta, 2020)، وأتت الثورة الرابعة بتحولات ديناميكية جديدة تندمج فيها التقنيات التى تعمل على طمس الخطوط الفاصلة بين المجالات المادية والرقمية (Philbeck & Davis, 2018) عن طريق تكامل تدفق المعلومات والإتصال متعدد الإتجاهات – إنترنت الأشياء – بين عمليات التصنيع والإنتاج وحتى أثناء الاستخدام (Bakardjieva, 2010)، وتتميز تلك الثورة التى لن تكون الأخيرة ضمن تطور قدرة الآلات بسرعة تطور التفاعلات، وتوسع عام فى نطاق الإنتشار وكذلك توازى الأنظمة معاً (Schwab & Davis, 2018).

وهنا يتضح دخول الثورة الصناعية الحالية حقبة متقدمة بشكل متسارع بدعم من تكنولوجيا المعلومات والذكاء الإصطناعى أو ما يطلق عليه أنظمة المساعدة الذكية (Allen, 2017)؛ فلا تعد مستحدثات التكنولوجيا ولا الإضطرابات التى تصاحبها قوة خارجية لا يتحكم فيها البشر (Fuchs, 2012)، ومع ذلك، يجب علينا تطوير رؤية شاملة ومشتركة عالمياً لكيفية تأثير التكنولوجيا على حياتنا وإعادة تشكيل وتقييم بيئاتنا الإقتصادية والإجتماعية والثقافية من أجل أن تتيح للمستخدم مسارات وظيفية لأداء مهام مرنة ومتنوعة (Argadinata & Gunawan, 2019)، ويتطلب هذا تطور علوم العوامل البشرية والإرجونوميكس بشكل متوازى لترتقى لمستوى جديد يشمل فيه عوامل الروبوت – الكائنات السلوكية الجديدة – ليوفر معياراً جيداً من المورنة لعملية تصميم المنتجات المستقبلية، ومواكبة طفرات حداثة عصر الروبوتات التعاونية، الذكاء الإصطناعى، تعلم الآلة، وبرامج تطوير البيئات الرقمية والتفاعلية.

مشكلة البحث Statement of the problem:

تتمثل إشكالية البحث حول كيفية إدراك البشر للمنتجات المستقبلية التفاعلية والروبوت بشكل مباشر كونها كائنات سلوكية جديدة، وكيفية معالجة القصور الحاصل فى تصميم الأنظمة الروبوتية وتحديدها على مهام محددة؛ فمع زيادة التعقيد التكنولوجى فى الحقبة الحالية أصبح من الضرورى على المصمم وضع معايير واضحة لتصميم معجم خاص للإتصال بين العنصر البشرى والأنظمة الروبوتية داخل بيئات العمل التفاعلية، بداية من الإدراك التام لها – التواجد الفيزيائى – داخل بيئة العمل الحقيقية، وحتى التفاعل المباشر معها – الحضور الديناميكى – بصورة تبدو منطقية، وكيفية إستجابة البشر للتفاعل مع تلك المنتجات المستحدثة، للحد من عبء العمل، إتخاذ القرارات الصحيحة، التنبؤ

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

بسلوك الكيان المقابل، وتحسين نوعية تجارب التفاعل بوجه عام.

فرض البحث Hypothesis:

إثراء عقول المصممين الصناعى والتفاعلى بالتعرف على منهجيات جديدة ومبتكرة لتصميم المنتجات والأنظمة الروبوتية، وكذلك وضع أسس وإعتبارات تواجد مثل تلك الأنظمة داخل بيئات العمل المختلفة، سيؤدى بالضرورة إلى إعطاء منتج الروبوت تواجداً فيزيائياً فى عمليات الإدراك الذهنى والعقلى للمستخدم كإدراك أولى، وحضوراً ديناميكياً أثناء عمليات الاستخدام والتفاعل المباشر، ذلك ما يجعله يتفوق على المنتجات الهندسية التقليدية أو حتى التفاعلية منها.

هدف البحث Objective:

يهدف البحث إلى مناقشة إعتبارات علوم الإرجونوميكس الحديث فى كيفية تواجد الأنظمة الروبوتية داخل بيئات العمل من حيث الحضور الديناميكى على عكس أى من عناصر بيئة العمل التقليدية، وهذا من شأنه تعزيز قدرات المستخدم التفاعلية وتنمية الأداء المهارى له داخل بيئة العمل، من خلال توجيه العمليات المعرفية والسلوك الإنسانى نحو إكتساب نهج تفاعلى جديد يمكن من خلاله دراسة الأبعاد المختلفة لسياق التفاعلات الفيزيائية والمعرفية.

أهمية البحث Significance:

ترسيخ مفهوم الحضور الديناميكى للمنتجات والأنظمة الروبوتية كونها إبداعات هندسية حديثة تحتوى على المعرفة المستقبلية والتقنيات المتقدمة، والتى تميزها عن المنتجات الهندسة التقليدية، وكذلك وضع أسس جديدة لعمليات تصميم وتطوير منتج الروبوت، لدراسة جانب جمالى جديد لمفهوم التفاعل بين البشر والآلات ذات الحضور الديناميكى.

منهج البحث Methodology:

إعتمد البحث على المنهج الإستقرائى لدراسة المشكلة، وتحقيق فرض البحث، وبيان أهميته.

الاطار النظري Theoretical Framework :

1- مراحل تاريخية فى تطور علوم العوامل البشرية والإرجونوميكس:

منذ أن أبدع الإنسان قديماً فى صنع أدواته ومعداته المختلفة، أدرك أثناء عملية الاستخدام ضرورة تناسبها لقياساته التشريحية للجسم البشرى أو الأنثروبومترى Anthropometry، وظهر مصطلح الإرجونوميكس لأول مرة كنظام علمى فى أربعينيات القرن الماضى نتيجة تعقيدات المعدات التقنية (Dianat, Molenbroek, & Castellucci, 2018; Pheasant & Haslegrave, 2005)، وتم تعريفة وفق الجمعية الدولية للإرجونوميكس (IEA, 2019) على أنه دراسة القدرات والخصائص البشرية التى تؤثر على تصميم المعدات والأنظمة والخدمات، وهو النظام العلمى المعنى بفهم التفاعلات بين العنصر البشرى والعناصر الأخرى للنظام، والمهنة التى تطبق النظرية والمبادئ والبيانات والأساليب من أجل تحسين رفاهية الإنسان والأداء العام للنظام (Stensland, 2020).

فى البداية كان الإهتمام الغالب بالإرجونوميكس الفيزيائى Physical Ergonomics والذى يتضمن دراسة المستخدم من خلال فهم الخصائص الفيزيائية والقدرات والقيود والدوافع، وكذلك فهم الوظائف والمهام وتقييم الأنظمة التقنية وإجراءات السلامة بشكل عام؛ فيدور بشكل رئيسى حول دراسة الإستجابات المختلفة لجسم الإنسان لمتطلبات العمل داخل بيئات التفاعل الجسدية والفسيولوجية (Ahram, Karwowski, & Salvendy, 2013)، وهو أحد الجوانب الثلاثة لبيئة العمل: الجسدية والمعرفية والتنظيمية، ويهتم كذلك بتأثير علم التشريح والقياسات البشرية الأنثروبومترية والميكانيكا الحيوية وعلم وظائف الأعضاء والبيئة المادية من حيث صلتها بالنشاط البدنى، وتشمل مجالات الدراسة تحليل عواقب الحركة المتكررة، التعامل مع المواد، سلامة بيئة العمل، الراحة أثناء استخدام عناصر التفاعل المباشر؛ فهو البحث عن الطرق الصحيحة للتفاعلات البشرية (Meidert, Neumann, Ehrensberger-Dow, & Becker, 2016; Bligård & Osvalder, 2014).

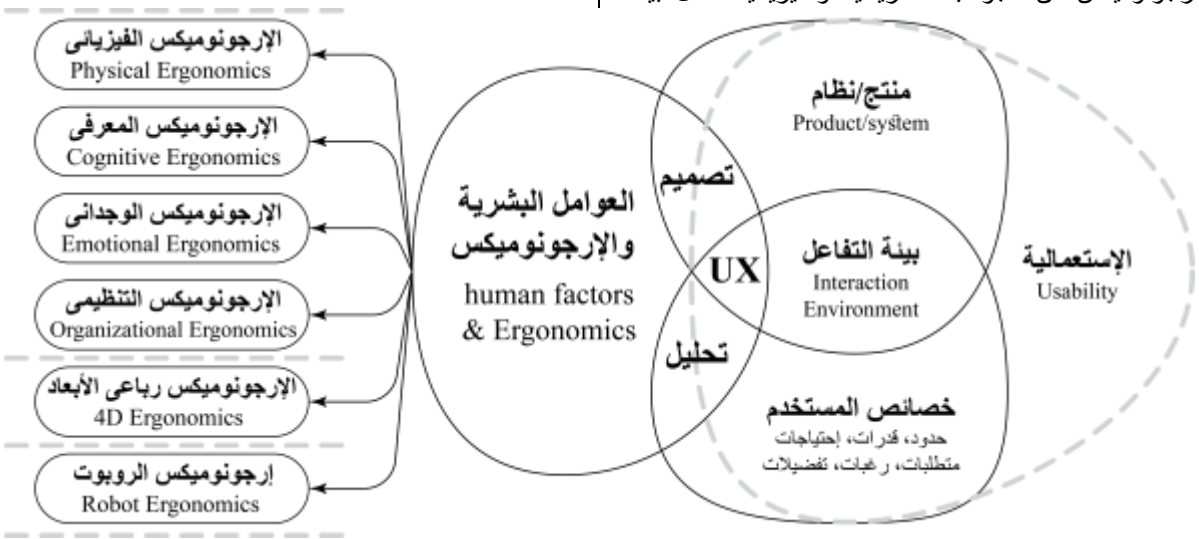
وفى ظل تطور التقنيات الرقمية فى أعقاب الثورة الصناعية الثالثة، ومع زيادة تعقيدات التفاعلات داخل أنظمة العمل المختلفة، كان من الضرورى تحديث علوم الإرجونوميكس لتتناسب مع التطورات الحادثة فى تصميم المنتجات، وإتخاذ المستخدم محوراً لعملية التصميم بديلاً عن المنتج (Still & Crane, 2017)، كان أهداف علوم الإرجونوميكس تعزيز الكفاءة والفاعلية من أجل زيادة سهولة الاستخدام وموثوقية الأداء، والعمل على فهم بعض القيم الإنسانية المرغوبة فى العمل من أجل تحسين نوعية الحياة (Jokela, Iivari, Matero, & Karukka, 2003).

فكانت بداية دراسة السلوك البشرى من خلال الإرجونوميكس المعرفى Cognitive Ergonomics وهو يهتم بدراسة الإدراك الحسى لدى المستخدم، وكذلك العمليات العقلية والذهنية والنفسية التى تساعد العنصر البشرى فى إستقبال ومعالجة المعلومات وتفسيرها وإعطائها معانٍ منطقية تبعاً لخبراته السابقة (Hollnagel, 1997)، وكلّها تعمل على تعزيز عمليات الفهم والتذكر وإتخاذ القرار فى ظروف العمل حتى يكون أداء الإنسان داخل نظام التفاعل أفضل ما يكون، وهو فرع يؤكد على تحليل المعرفة لدى العنصر البشرى من خلال التأكيد على القدرات والحدود العقلية والمعرفية والإدراكية لدى الإنسان داخل بيئة العمل (Long & Whitefield, 2011)؛ فتنقسم دراسة الإرجونوميكس المعرفى إلى خمس محاور أساسية لدراسة بعض الجوانب العقلية والذهنية والنفسية الهامة، والتى تستخدم فى عمليات إستقبال وتحليل المعلومات كالإحساس، الإنتباة، الإدراك، التذكر، وإتخاذ القرار (Sarter & Sarter, 2003).

والإرجونوميكس الوجدانى Emotional Ergonomics وينصب على دراسة شخصية المستخدم كمدخل لدراسة السلوك العام وذلك للوصول إلى أفضل الحلول، ويرتكز على تأثير الجوانب الوجدانية التى يتفاعل بها المستخدم مع الأشياء، وعناصر الجانب الوجدانى داخل بيئة التفاعل لدى البشر تتضمن السلوك، الإتجاهات، الدافعية، الإنفعالات، وخصائص الشخصية (Demirbilek & Sener, 2003)؛ فيصدر الفعل الإنسانى تجاة موقف محدد عن ما يتأثر به فى إطار تجربة المستخدم بوجه عام، ويرتبط فقط على الأداء ولكن على الإنتاجية والتعلم والرفاهية الكلية للمكون الإنسانى لنظام التفاعل، منها يكون مرحل تطور الإرجونوميكس الوجدانى بالإنفعالات المختلفة التى قد يتعرض لها العنصر البشرى مثل: الإحباط والتشويش والغضب والقلق، وتؤثر بدورها ليس خبرات المستخدم نتيجة منطقية (Stefani, Mahale, Pross, & Bues, 2011).

والإرجونوميكس التنظيمى Organizational Ergonomics وهو الجيل الثالث لعلوم الإرجونوميكس ويعمل على التوافق بين نظام تكنولوجيا التفاعل والتركيب التنظيمى للعمل داخل مجموعات والبيئة الخارجية لتناسب الجانب الإجتماعى لسلوك المستخدم داخل بيئة التفاعل (Khedkar & Pawar, 2015)، ويهدف إلى تحقيق أقصى فاعلية من عمليات تواجة الإنسان والآلات مع تطبيق التكنولوجيا الحديثة، ويهتم بدراسة القضايا التنظيمية لتصميم أنظمة بيئات العمل، ومنها تحسين كفاءة إعتبارات العوامل الإنسانية أثناء تفاعلاتهم مع التكنولوجيا وعناصر بيئة التفاعل، وكلها من أجل تصميم نظام عمل متوافق تماماً مع علوم الإرجونوميكس الأخرى كالإرجونوميكس الفيزيائى والمعرفى والوجدانى والوبائى، ومنها تحسين الإنتاجية، الرضاء الوظيفى، الصحة العامة، عامل الأمان، ورفاهية المستخدم بوجه عام

(Cohen, 2011; Salvendy & Karwowski, 2011).
ثم يأتى بعد ذلك دور عمليات القياس التحقق من فاعلية تجربة التفاعل؛ فكان توصيف الإستعمالية Usability والتى هى مقياس لتقييم مدى قدرة المستخدم للتكيف ضمن سياق تفاعلى محدد، ويهدف إلى تحقيق هدف ما بفاعلية وكفاءة، وتتعلق الإستعمالية كونها أمر حيوى لخوض تجارب إستثنائية بالسلوك البشرى العام داخل بيئة العمل وإدراكه التام لعناصر الاستخدام؛ فهى القياس العام لجودة تجربة تفاعل المستخدم داخل بيئة العمل (van Kuijk, Daalhuizen, & Christiaans, 2019)، وهى مصطلح لوصف التجربة الكلية والرضا لدى المستخدمين، وتختص بدراسة نطاق الاستخدام الذى فيه يتم تشكيل التفاعلات بين العنصر البشرى وعناصر النظام المختلفة من أجل تحقيق أهداف محددة، وتعد الإستعمالية هى السمة العامة لتحديد جودة ممارسات بيئة العمل من خلال تقييم الفاعلية، الكفاءة، التفاعل، إكتشاف الخطأ، سهولة التعلم والتذكر (Carey, White, McMahon, & O'Sullivan, 2019; van Eijk et al., 2012)؛ فيمكن للمصمم الإعتماد على مراقبة سلوك المستخدم وتحليل كيفية إدراكه لعملية التفاعل لتحديد المشكلات أو النقاط العالقة وأوجه القصور الموجودة، ومنها وضع الضوابط العامة والإجراءات لتحقيق شامل للأهداف (Falcão & Soares, 2013).
وحينما جائت الثورة الصناعية الرابعة بما فيها من تقنيات تفاعلية وإفتراضية، إمتد دور علوم الأرجونوميكس لأبعد من نطاق تحليل البيانات ووضح الحلول المقترحة، وإنما إلى تصميم تجربة تفاعلية تُكسب المستخدم خبرات جديدة خلال مروره بمراحل تجربة التفاعل بداية من التعارف المبدئى وحتى تعقيدات التفاعل؛ فأدت الحاجة إلى عملية رصد تفاعلات المستخدم بدقة كبيرة خلال إتمام المهام على مدار الوقت الفعلى لذلك (Dawood, 2017)، وكان الإرجونوميكس رباعى الأبعاد 4D Ergonomics الحل الأمثل حيث هو محاولة واقعية لمحاكاة البشر أثناء أداء أنشطتهم المختلفة داخل بيئة العمل؛ كما أن البعد الرابع هو معالجة لمواقف العمل والإرجونوميكس من الجوانب التشريحية والفيزيائية داخل بيئة العمل المادية، بهدف تطوير أساليب تقييم بيئة العمل وتحليل تسلسل مهام العمل، وذلك للمساعدة فى انشطة قياس العبء المتراكم على الجسم البشرى والحمل الحرج، وتعزيز الفهم بين جودة بيئة العمل وتأثيرها فى تحسين الجودة العامة لعناصر التفاعل (Lämkull, Hanson, & Örtengren, 2009).
بعدها تجلى دور الذكاء الإصطناعى وتعلم الآلة فى إستحداث عمليات تصميم المنتجات المستقبلية التفاعلية الروبوت، وأشارت التقديرات إلى ضرورة ابتكار مفهوم جديد ضمن تطوير تطبيقات علوم التصميم والإرجونوميكس – محوره الإنسان ويشمل الروبوت أيضاً – للتركيز على تصميم وتطوير علوم الإرجونوميكس لعمليات تصميم المنتجات المستقبلية بطرق إبداعية للجمع بين مرونة المستخدم ودقة الروبوت، ولتطبيق الضوابط العامة لسياق التفاعل سعى مصمم التفاعل بما لديه من قدرات وأنشطة ابتكارية إلى ظهور فرع جديد أطلق عليه إرجونوميكس الروبوت Robot Ergonomics ليشمل الجوانب البشرية والآلية معاً (Amer & Dawood, 2020).
وإرجونوميكس الروبوت Robot Ergonomics يعد بمثابة فلسفة التوافق بين المنتجات، الروبوت، والعنصر البشرى من أجل تكامل العناصر والمكونات الكلية لنظام التفاعل داخل بيئة العمل (Amer & Dawood, 2020)، وهو "نهج متعدد التخصصات يجمع بين مصممى المنتجات التفاعلية ومهندسى الروبوت، لحل مشاكل بحثية تتعلق بالتوازن بين بيئة عمل تلاءم سلوكيات الروبوت، ولكنها بالدرجة الأولى تراعى العنصر البشرى داخلها؛ ومنها إلى تصميم روبوت يراعى قيود التفاعل بين الإنسان والمنتج التفاعلى؛ والذى يهدف إلى الأداء الأمثل للنظام ككل، وهو نهج تكميلى لعملية تصميم الروبوت وعلاقته بالعنصر البشرى والعناصر الأخرى للنظام عند التفاعل معهم (adapted from: Nof, 1999; Lemaignan, et al., 2017)"، ويوضح شكل (1) المستويات المختلفة لتطور علوم العوامل البشرية والإرجونوميكس، وبيان علاقتها بإستعمالية المنتجات والأنظمة داخل بيئات التفاعل.



شكل (1) تطور علوم العوامل البشرية والإرجونوميكس منذ أربعينيات القرن الماضى

فبعد أربعينات القرن الماضى، وبداية من الثورة الصناعية الثانية منذ 1880م حتى 1910م، تمثل كل تلك الفترات مراحل الإنتقال من القوة العضلية البشرية إلى القوة الآلية الميكانيكية؛ فتم خلالها ابتكار مفاهيم الإرجونوميكس الفيزيائى، الإرجونوميكس المعرفى، الإرجونوميكس الوجدانى، والإرجونوميكس التنظيمى ومنها إلى الإعتماد على الآلة فى الأعمال (Bibri, 2015; Flinn, 2019)، حتى بلوغ الثورة الصناعية الثالثة فى 1965م، وتطور تقنيات التفاعل أدت إلى ظهور الإرجونوميكس رباعى الأبعاد، ثم بعد ذلك بداية من عام 2000م وحتى الآن، وما يعرف بثورة الذكاء الإصطناعى وتعلم الآلة، وهى القوة المعرفية للإنتقال من البدائية إلى الحداثة وثورة التصنيع الرقمى، والتى تعد قفزة كبيرة شهدتها الإنسانية، وابتكار مفهوم إرجونوميكس الروبوت (Endsley, Bolstad, Jones, & Riley, 2003).
وفى ضوء ما سبق يمكن القول أن علوم العوامل البشرية والإرجونوميكس الحديث – علم تصميم الوظيفة – تختص بدراسة تفاعل الإنسان مع المكونات المختلفة لأنظمة التشغيل التفاعلية والروبوت، وكذلك بقدرة الأفراد على أداء وظائفهم بالقدرات الجسدية والعقلية، مع مراعاة القيود والحدود العامة للعنصر

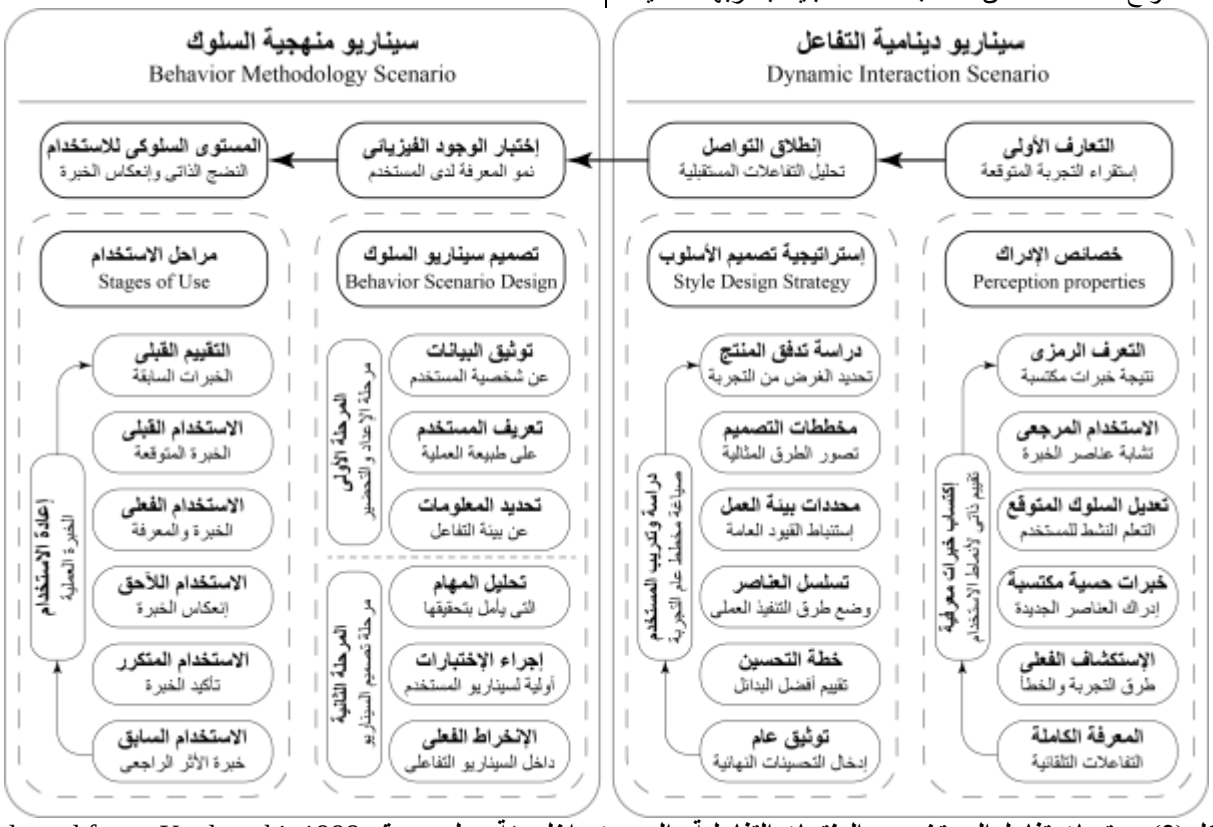
This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License

البشرى وتشمل بدورها عوامل الروبوت أيضاً كونها كائنات سلوكية جديدة داخل بيئة التفاعل، ويتم ذلك تبعاً لمناقشة الأخطاء البشرية وتحليل موقف العمل بوجه عام مع فحص المؤثرات الخارجية التى تؤثر بدورها على العنصر البشرى بشكل مباشر أو غير مباشر داخل بيئة العمل التفاعلية الفيزيائية والسلوكية، وفى كل مرحلة لابد من دراسة أنماط التشغيل كونها أنماط تفاعلية مستحدثة لزيادة عامل الخبرة لدى المستخدم (Dawood, 2021).

2- دور إرجونوميكس الروبوت فى تعزيز تواجه العنصر البشرى والأنظمة الروبوتية:

شهد العصر الحالى الكثير من مستحدثات التكنولوجيا، بداية من المنتجات الهندسية التقليدية ومروراً بالمنتجات التفاعلية وصولاً إلى تصميم الأنظمة الروبوتية، أو ما يمكن أن نطلق عليها الكائنات السلوكية الجديدة؛ فالجانب السلوكى بمثابة مستوى متقدم من التفاعلات المستقبلية داخل بيئة العمل، ولوقت قريب جداً كان السلوك مقتصراً فقط على العنصر البشرى لما يتمتع به من قدرات حركية وإدراكية لكل ما يوجد حوله من عناصر التفاعل؛ فتتسم تلك الأنواع المستحدثة من المنتجات المستقبلية بتقاربها الشديد للسلوكيات المنفردة الحادثة داخل بيئة العمل نتيجة لبرمجتها ووظائفها المحددة لها، وتلك المنتجات التفاعلية هى التى تعد دون شك أكثر المنتجات تقارباً للعنصر البشرى أثناء عمليه الاستخدام والتفاعل.

نجد هنا مفارقه كبيرة بين طرق الاستخدام والتفاعل داخل بيئه العمل بين العنصر البشرى والعناصر التفاعليه المُكونة لها ومنتجات الروبوت المستحدثه طبقاً لخبرات المستخدم السابقة، ولابد أن يدرك العنصر البشرى داخل بيئه العمل مدى واقعية أى من المنتجات تقليديه أو تفاعليه أو سلوكية، وكذلك فهم طبيعة كل من خصائص تلك العناصر بدقة لتجنب أى من المشاهد العبثية التى قد تحدث نتيجة الأخطاء البشرية أو الآلية الصادرة، وتنقسم مراحل التفاعل إلى مستويات مختلفة كما فى شكل (2) يبحث المصمم من خلالها إمكانية تكيف المستخدم ضمن نطاق الاستخدام التقليدى للمنتجات التفاعلية والروبوت بداية من التعارف الأولى وصولاً إلى المستوى التفاعل السلوكى للمنتجات والذى يعمل بدوره على زيادة عامل الخبرة لدى المستخدم.



شكل (2) مستويات تفاعل المستخدم مع المنتجات التفاعلية والروبوت داخل بيئة عمل محددة (adapted from: Kozlowski, 1998; Nakanishi, et al., 2008)

يمر المستخدم خلال التفاعل داخل بيئة العمل مع المنتجات والأنظمة الروبوتية بأربع مستويات أساسية، أولها يكون التعارف الأولى والإدراك التام لجميع عناصر بيئة التفاعل (Levillain & Zibetti, 2017)، ويليها إنطلاق التواصل من خلال تصميم أسلوب التفاعلات المستقبلية التى قد تحدث (Steinfeld et al., 2006)، ويتبعها إختبار حالة التواجد الفيزيائى داخل بيئة عمل يمكن من خلالها دراسة سيناريو السلوك حتى مرحلة الإنخراط الفعلى داخل التجربة، وفى النهاية يكون الاستخدام هو المرحلة العملية لما سبق وتم تحضيره من معلومات مختلفة (Lindegren, 2017)، وللتأكيد على خبرات سابقة وإكتساب أخرى جديدة.

فمنذ أكثر من عقد زمنى، بالكاد أمكن لبعض الباحثين التأكد من نجاح بعض التنبؤات الخاصة ببناء واجهات تفاعلية مباشرة بين العقل البشرى والأجهزة المزودة بالذكاء الإصطناعى مثل الأطراف الروبوتية؛ فبداية من أول عرض تجريبى تم عمله عام 1999م حدثت طفرة كبيرة فى الأبحاث المتعلقة بواجهات الاستخدام بين العقل البشرى والآلة الروبوتية BMIs، والتى من شأنها إيجاد حلولاً متنوعة للتواصل مع عالم المنتجات السلوكية الذى كان غامضاً من قبل (Lebedev & Nicolelis, 2006)، وتعرف هنا تلك الأنواع من التواجه HRI بالتواصل السلوكى بين البشر والمنتجات المستحدثة المستقبلية كالمنتجات التفاعلية والروبوت، ولكن ينقصه بالضرورة دراسة نطاق التفاعلات داخل بيئة العمل لوضع أسس محددة لمعجم التفاعلات الخاصة بتلك المنتجات (Mavridis et al., 2010)، ومن خلال فهم الطبيعة التفاعلية يتمكن المصمم من تسليط الضوء على الطبيعة التركيبية للمنتجات الروبوتية ومناقشاتها فى سياق نهج تصميمى لتحقيق أغراض بحثية (Woods et al., 2006; Yamaoka et al., 2007).

ويركز دراسة التفاعل بين البشر والآلات الروبوتية على توصيف

مشكلة قائمة بالفعل، ودراسة متخصصة فى فهم وتصميم الأنظمة الروبوتية القابلة للاستخدام وتقييمها أثناء عملية التفاعل والتواجه مع العنصر البشرى؛ فهى قضايا متعلقة لفهم ما يحدث بين الروبوتات والأشخاص، وكيفية تشكيل هذه التفاعلات ودراسة تأثيرها على العنصر البشرى، أى التأثير المباشر عليها وتحسينها نحو هدف معين (Goodrich and Schultz, 2007, p. 204, 216)؛ فتتمثل مشكلة التفاعل بين الإنسان والأنظمة الروبوتية فى كيفية فهم وتشكيل التفاعلات بين البشر والكائنات السلوكية داخل تجربة التفاعل، عندها يمكن التشكيك فى الإفتراض السائد بأن الأنظمة الروبوتية يجب أن تكون الهدف النهائى لعملية تصميم تلك الأنواع من المنتجات، وهى مجرد غرض بسيط لاستخدامه كوسيط إجتماعى بين الناس داخل المجتمع.

3- إسهامات المستوى السلوكى للمنتجات فى تشكيل حالة الوجود للأنظمة الروبوتية:

يعد المستوى السلوكى مستوى تفاعلى جديد على المنتجات بوجه عام، ولكن تنفرد به المنتجات والأنظمة الروبوتية (Vukobratovi'c, 2009; Spatola et al., 2018)؛ فالمستوى السلوكى لا يتجاهل الدور الهام الذى يلعبه مظهر المنتجات، ولكنه يوضح الأهمية الكبيرة لتطوير المهارات السلوكية والمعرفية المطلوبة لتوليد الأداء الديناميكى لهذه الأنواع من المنتجات – الذكاء المتجسد – كأحد أهم معايير نجاح المنتج (Paauwe, Hoorn, Konijn, & Keyson, 2015)، ويمكن وصف تلك الأنواع من المنتجات المستقبلية على أنها منتجات تتمتع بتوافر إمكانية الإتصال المباشر وتبادل المعلومات أثناء عملية التفاعل مع المستخدم، وبها آليات مبرمجة لعملية التحكم الذاتى أو عن بُعد مع الحد الأدنى من التدخل البشرى، بما يحقق تطلعات ورغبات البشر وشعورهم بالرفاهية والمتعة الاستخدامية، ولقد أثر التطور السريع لتكنولوجيا المعلومات والإتصالات تأثيراً كبيراً فى واقع تصميم المنتجات فاقت توقعات المصمم والمستخدم، وهذا جيل من المنتجات المتقدمة يمكنه أن يؤدى وظائف غير مسبوقة من قبل.

وتعرف حالة الوجود Presence على أنها حالة التواجد المادى أو الحضور الفيزيائى داخل بيئات التفاعل المختلفة المادية والإفتراضية، ودمج التمثيلات الإفتراضية داخل سياق مشترك بين الأفراد والمنتجات، وهى تُعبِر عن حالة نفسية يُفضِل فيها المستخدم إختبار الأشياء والمنتجات المادية – شبه الأصلية أو الإصطناعية – أو حتى الإفتراضية منها، وذلك بإعتبارها مجسمات فعلية يتم التفاعل معها بطريقة حسية وحركية معاً، وحتى مع ظهور إستراتيجيات للتخطيط الديناميكى لمسارات الحركة الأكثر تعقيداً يجب مراعاة العوامل البشرية؛ فتتسم الأنظمة الروبوتية المادية بحضورها الديناميكى داخل بيئة العمل التفاعلية، وفيها تتم تجربتها على المستوى الجسدى الفيزيائى وكذلك داخل النطاق الإجتماعى بشكل شخصى وذاتى، ويراعى فيها كيفية تأثير ترتيب العناصر السلوكية على جودة تفاعلاتهم داخل بيئة العمل، وتبدو التفاعلات حينها أكثر إقناعاً وجاذبية مقارنة بالتفاعل مع الصور الرمزية (Kostavelis et al., 2017; Dawood, 2021, p. 160).

ولا ينفصل المستوى السلوكى فى الأداء عن عناصر التصميم الأخرى، كالهيئة الخارجية وشكل المنتج وسوكيات الحركة والأصوات الصادرة عنه... وغيرها؛ فهى مجتمعة تعمل على معقولية أداء تلك الأنظمة المستقبلية (Haldane et al., 2013)، ومن غير المعقول أن يتضارب أى من عناصر التصميم للمنتج الواحد، يجد المستخدم نفسه أمام منتج سلوكى متكامل إن توافرت كل تلك العناصر معاً (Phillips et al., 2016)، وقد يشبه كائن حقيقى يتعامل معه يومياً مثل روبوت يحاكى سلوك الحيوانات الأليفة، التى يمكن الإستناد لها كثيراً فى تصميم روبوت إجتماعى لتبدو مألوفة الهيئة ومنطقية التفاعل لدى البشر (Meyer & Wilson, 1991; Svenstrup et al., 2009).

ويلى بعد ذلك المستوى الإنعكاسى للتفاعلات والذى يتعاون فيه التجسيد المادى – الحضور الفيزيائى – مع التواجد السلوكى للعنصر البشرى والأنظمة الروبوتية معاً (Bainbridge et al., 2008)، ويترك أثراً فى خبرات المستخدم وكذلك فى الآلات بالغة التعقيد التى لديها خاصية التعلم الذاتى، والتى تم برمجتها مسبقاً من خلال أساليب التعلم التطورية المعززة وتطوير مهارات سلوكية ومعرفية، من خلال الإعتماد على المدخلات التى توفرها أجهزة الإستشعار الخاصة بهم (Nolfi, 2021)، ويمكن وصف سلوك الروبوت على أنه الإجراءات التى يقوم بها لتحقيق أغراض التجربة بمستوياتها المختلفة من التعقيد، ويوضح شكل (3) مستويات سلوك الأنظمة الروبوتية من حيث درجة التعقيد المتاحة داخل تجربة التفاعل بين عناصر بيئة العمل المختلفة، والتى يمكن إعتبارها على أنها عملية الإدراك الآلى لعناصر بيئة العمل.

شكل (3) مستويات سلوك الأنظمة الروبوتية داخل تجربة التفاعل (adapted from: Peters & Schaal, 2006; Rapp, Tirassa, & Ziemke, 2019)

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

نجد أن العنصر البشرى يتميز دائماً أثناء عملية التفاعل بالسمات الأساسية لمهارات الحركة الحرة داخل نطاقات محددة، والعديد من الدراسات السلوكية تدل على أن هناك تحكم بشرى متوافق مع مساحة الحركة، أى أن العنصر البشرى يركز على متغيرات المهام مع الحفاظ على درجات حرية الحركة قدر الإمكان، متداخلاً فى ذلك الخبرات السابقة لتجارب مشابهه أيضاً؛ فنجد البشر فى حالات مماثلة يتبعون إستراتيجيات قوية ضد الإضطرابات غير المعروفة – فيما يعرف بالإرتجال – التى قد تحدث وتكون آمنة لهم، وتتحول كل تلك البيانات داخل العقل البشرى إلى معلومات وخبرات سابقة يتعامل معها الإنسان بالحدس التوقعى فيما بعد (Lee et al., 2006; Robins et al., 2006; Shin & Choo, 2011).

يمكن تصنيف سلوكيات الروبوت عمومًا إلى مستويات مختلفة من التعقيد (Thellman et al., 2017)؛ فمن الممكن تصنيف مظهر وسلوك الروبوت إلى نوعين: نوع الكائن السلوكى ونوع المنتج التفاعلى، والروبوت الذى يشبه الكائنات السلوكية عامة هو نوع يشبه المظهر والسلوك العام لأى من أنواع الكائنات، والروبوت من نوع المنتج التفاعلى هو نوع له شكل مشابه لمنتج موجود، والمقارنة بين الروبوتات السلوكية والتفاعلية تكون بفحص تأثيرات أنواع الروبوتات على الواقع والأداء الاجتماعى، ورضا خدمة الروبوتات التي يراها البشر (Haring et al., 2016)، لكن بوجع عام تكمن قيمة التفكير فى المستويات المختلفة لسلوكيات الروبوت فى إدراك أن السلوكيات يمكن دمجها أو تقسيمها فى سلوكيات أخرى كنموذج التركيب والذى يمكن من خلاله دمج السلوكيات ذات المستوى الأدنى في تسلسل ينتج سلوكًا أكثر تعقيدًا، والتحلل ومنه يمكن تقسيم السلوك ذي المستوى الأعلى إلى سلسلة من السلوكيات الأكثر بساطة (Kwak, 2014).

كما يهدف تصميم المنتجات ذات المستوى السلوكى كالأنظمة الروبوتية إلى تحقيق خصائص أداء مماثلة للعنصر البشرى أو مضاهاة الكائنات الحية الحركية، وعلى الرغم من العديد من الأبحاث النظرية المماثلة (Beer et al., 2014; Thrun, 2004)، نادراً ما نجد هذا النوع من التحكم المتقدم فى تطبيقات الروبوت الفعلية، ولا سيما أحدث الأنواع كالروبوتات الإجتماعية والعسكرية، والتى من شأنها الإستفادة بقوة من المدخلات والمتغيرات المتنوعة المقدمه لها، وتكوين قاعدة بيانات لمثل تلك العمليات، والإستفادة منها مستقبلاً فى التكيف ضمن تجارب تفاعلية أخرى داخل الفضاء التشغيلى، كشكل من أشكال التكيف مثل التأقلم والتعلم، والإمتثال فى مواجهة الأخطاء التى لا مفر منها (Goodrich & Schultz, 2008; Steinfeld et al., 2006).

4- محددات تشكيل الحضور الديناميكى وصياغة الفضاء التشغيلى لتصميم الكائنات السلوكية:

يتوقف عامل الحضور الديناميكى للمنتجات الروبوتية كونها كائنات سلوكية على عدة محددات سيتم مناقشتها، مثل: تجسيد الواقعية، الحضور الفيزيائى، التوقعات السلوكية، الأنماط الشكلية، المظاهر البصرية، وإدارة الوقت، والتى بدورها تتفاعل وتؤثر على المكون البشرى للنظام؛ لكن لابد أن يسبقها حالة التواجد الفيزيائى داخل نطاق الفراغ، لأن التعامل مع ديناميكية الأداء تكون مع مجسم فعلى وليس برمجيات وواجهات التفاعل.

ويعتبر الجسم موجود عندما يكون له كتلة فيزيائية فى الفراغ، ولكنه يعتبر كائن سلوكى فقط عندما يصدر عنه ردود فعل تبدو منطقية دون توجيه مسبق أو تشغيل؛ فالروبوتات القائمة على السلوك هى المنتجات القادرة على إظهار سلوكيات وتصرفات معقدة بالنسبة لنظيرتها من المنتجات التفاعلية (Arrichiello, 2020)، ويمكن فى حالات التطور أن تصحح أفعالها تدريجياً، ويتميز منتج الروبوت السلوكى عن الذكاء الإصطناعى الكلاسيكى بمحاكاة النماذج الحية البيلوجية كنموذج إسترشادى، ويتبع عادة مجموعة من الخطوات البسيطة لإظهار سلوك معقد بإمكانه حل بعض المشكلات (Matarić & Michaud, 2008; Bonarini et al., 2006)، ويصبح لتلك الأنواع من الروبوتات القدرة على التكيف ضمن نطاق تشغيلى محدد؛ فمعظم الأنظمة الروبوتية القائمة على السلوك هى بالطبع منتجات تفاعلية متقدمة، مما يعنى أنها لا تحتاج لتمثيلات المكونات الأساسية لنظام بيئة التفاعل، ويعتمد فى عمليات التفاعل على تكرار الإجراءات وتحليل الإرتباك حتى يصل لنتيجة تبدو منطقية.

فالتصميم السلوكى بوجه عام هو عنصر التصميم الذى يهدف إلى توليد طرق الاستخدام المناسبة للمنتج، ما يجعلة أكثر كفاءة وجاذبية (Gibson, 1979; Norman, 2002)، ويوضح نورمان **"**ما يهم هنا هو أربعة مكونات للتصميم السلوكي الجيد: الوظيفة، وإمكانية الفهم، وقابلية الاستخدام، والشعور المادى**"** (Norman, 2004, p. 70)، ورائد هذا العلم هو رودنى بروكس (Brooks, 1999) والذى تبنى منتجات الروبوت القائمة على السلوك، والتى كانت تسلك نهج الحس-التفكير-الفعل بدلاً من المنتجات الموجهه لمهام محددة، أنشأ بروكس أنظمة روبوتية تتفاعل مباشرة مع الخصائص المحسوسة من البيئة، متخلياً فى ذلك عن الأفكار المعتادة للتحكم والتوجيه ذاكراً **"**أنها دون أنظمة توجيه منطقية ولا تمثيلات يمكن تغييرها ولا حسابات لامركزية تماماً**"** (Brooks, 1999, p. 170).

تعتبر هنا الروبوتات القائمة على السلوك منتجات هامة لأنها توضح العديد من المبادئ الأساسية لتجسيد العلوم المعرفية، وتستبدل وجه النظر السائدة – العقل كمخطط – بأخرى وهى – العقل كمتحكم – ويذكر كلارك (Clark, 1997) أن **"**ثورة الروبوتات الجديدة ترفض جزءاً أساسياً من الصور الكلاسيكية للعقل، أى أنها ترفض صورة المخطط المركزى المُطلع على جميع المعلومات المتاحة فى أى مكان للنظام، ومخصص لإكتشاف التسلسلات السلوكية المحتملة التى ترضى أهدافاً معينة، والمشكلة مع المخطط المركزى أنه غير عملى إلى حد كبير**"** (Clark, 1997, p. 21).

يدرك حينها المصمم ضرورة دراسة وتحليل الأبعاد المختلفة لسياق التفاعل الحاصل بين البشر والمنتجات السلوكية كتفاعلات فيزيائية ومعرفية، ولتجنب أى مشاهد عبثية أو تداعيات سلبية قد تحدث، ويعمل المصمم على تصميم وصياغة الفضاء التشغيلى لتأصيل مفهوم الحضور الديناميكى داخل بيئة العمل؛ فصياغة الفضاء التشغيلى Operational Space formulation تقوم على توفير المساحات التشغيلية – مساحة المهام البديلة – ويعتمد على وصف السلوك الديناميكى للنظام وعناصره المختلفة لتحديد الإجراءات العامة لمهام التفاعل، كلها من خلال بناء إطار الإمتثال التوافقى لعمليات التجريب التفاعلية من أجل التغلب على قيود منهجية النمذجة المادية التقليدية (Lin et al., 2017)، وبشكل أكثر تحديداً يمكنه تحديد إطار عمل فعلى لتحليل ومراقبة الأنظمة بوجه عام وكذلك التحكم فيما يتعلق بالسلوك المتزامن للعناصر المتفاعلة داخل بيئة العمل الإستباقية؛ فمن خلاله يمكن للمصمم تجنب إضطرابات الحركات الأساسية ومعرفة النتائج التجريبية مسبقاً، ويوضح شكل (4) عناصر صياغى الفضاء التشغيلى لبيئة عمل تفاعلية ذات عناصر ومنتجات سلوكية.

وإنطلاقاً من الأهمية الكبيرة لدى المصمم لجعل بيئة التفاعل بشكل عام تبدو مألوفة ومنطقية للمستخدم؛ فإن تشكيل هيكل بيئة عمل إستباقية من خلال صياغة الفضاء التشغيلى Operational Space formulation لها يعتمد على عدة عناصر متنوعة؛ ففى هذا السياق، تتعامل علوم العوامل البشرية والإرجونوميكس مع مجموعة واسعة من العناصر التى تتفاعل وتؤثر على المكون البشرى للنظام، من أجل إجراء تفاعلات حدسية دون أخطاء لتجربة جيدة وأكثر واقعية، والحضور الديناميكى يعتمد بالمقام الأول على تصميم البيئة التفاعلية وترتيب مفرداتها، وبالرجوع إلى العناصر الأساسية لتشكيل وصياغة الفضاء التشغيلى لبيئة

العمل الإستباقية، التى هى معنية بمراعاة المستخدم كمركزاً للتصميم بالمقام الأول ولكنها تشمل عوامل الروبوت أيضاً، وهى كالتالى:

الوجود الديناميكى Dynamic Presence، ويرتبط بمقاربة عنصران أساسيان، هما:

تجسيد الواقعية Forming of Realism يتحدد بزيادة درجات التجسيد داخل الفراغ كأحد صور التفاعل المادى، وهو متعلق بإدراك تواجد جميع الأجسام، حيث يمكن للبشر الحصول على تفاعلات الفضاء التشغيلى دون حدوث إضطرابات فى ديناميكيات تفاعلات النظام الحالى، ولكى تبدو الروبوتات أكثر واقعية لابد من إظهار قدرتها على التعبير ومشاركتها التعاطف من أجل تنبؤ البشر لأفعالهم بطريقة منطقية، وكذلك واقعية إستخلاص بعض المعايير والمؤشرات الإجتماعية المرتبطة بالبشر؛ فعند أخذ بيئة التفاعل الحقيقية فى الإعتبار يتطلب ذلك تحقيق الحد الأدنى من التكامل مع النموذج الديناميكى للروبوت ذات التفاصيل الغنية (Krach, et al., 2008).

شكل (4) عناصر صياغة الفضاء التشغيلى لتشكيل هيكل التفاعل (adapted from: Dawood, 2021, pp. 166-169)

الحضور الفيزيائى Physical Presence وهو التأثير المباشر للمميزات المتصورة لكائنات سلوكية والمعرفة عن المنتج السلوكى بشكل عام أو معرفة الخصائص تعمل كأساس للإستقراء المبدئى فى المقام الأول، لأن هذه المعرفة يتم إكتسابها في وقت سابق وهى غنية بالتفاصيل أكثر من المعرفة عن العوامل أو الأشياء غير البشرية، وتتمثل فى مقارنة التجسيدات المادية لكائن روبوت ميكانيكى الأكثر تشابهاً فى المظهر أو الحركة والكيانات المقابلة لها فى العالم الحقيقى، وكذلك درجات التشابه والإختلاف بين واقعية كائنات التفاعل، لكن لم يتم التأكيد على العلاقات المتبادلة بين عوامل الإدراك المادى داخل تجربة التفاعل (Hegel et al., 2008)؛ فللتحقق مما إذا كان للتمثيل الفيزيائى تأثير واضح على إدراك التواجد، يجب أن تنظر الدراسات المستقبلية أيضاً فى قياس الوجود الإجتماعى.

النمذجة والمحاكاة Modeling and Simulation وهما يتمثلان بعنصران أساسيان، هما:

تجسيد الشكل هو أحد المفاتيح الرئيسية لفهم توقعات البشر حول ماهية منتج الروبوت (Choi & Kwak, 2014)، وهو يتمثل فى تصميم الأنماط الشكلية Shape Patterns ويتحدد فى مدى إرتباط الواقعية الشكلية بدرجة تقاربها للمظهر الجسدى للروبوت – معرفة واقعية – وتكون بمعنى الواقعية المدركة، وتظهر كنتيجة حتمية للتقييم الذاتى للمستخدم، وأنها لا تتناقض مع الخبرات السابقة له والتى من خلالها يتم تحفيز الذاكرة لإسقاط أوجه التشابه والتضاد بالهيئة العامة للمنتج، كشرط مسبق لدى المستخدم لتفسيرات بيانات التصورات السلوكية والوظيفية لمنتج الروبوت، فترتبط الأنماط الشكلية بمدى تشابه المنتجات والأنظمة الروبوتية السلوكية وتقاربها إلى الأنسنة Anthropomorphism، وذلك يسمح للمصمم بزيادة التفاعل من خلال توظيف الأعراف المادية والإجتماعية المألوفة لدى المستخدم؛ فتقارب الأنماط الشكلية لأذهان البشر يؤدى إلى تفاعلات أكثر منطقية، وينغمس المستخدم مع المنتج السلوكى ذات التجسيد أكثر من النظير البرمجى، وتجعل الروبوت يبدو نابضاً بالحياة تجاة المستخدم (Castelli et al., 2000).

المظاهر البصرية Visual Appearances وتشير إلى مدى الواقعية الفوتوغرافية أو دقة التصورات بوجه عام، وكذلك فيما يعرف بالتخمين خاصة فيما يتعلق بالسمات النمطية (Gilles, 1991) للكيان الإصطناعى، وتعد هى الوسيلة المتعلقة بمستوى التعارف الأولى داخل تجربة التفاعل للعناصر الحديثة على خبرة المستخدم، ونظراً لأن السلوك – التجسيد – والمظهر – التجسيم – يعادلان درجة التشابه حيث تتعلق درجة كفاءة المظاهر البصرية بمدى وقعية التمثيل الظاهرى للجسم الفيزيائى (Goetz et al., 2003)؛ فتقارب الدقة البصرية إلى الواقع وتطابق درجات تنبؤ المستخدم تجاة المنتجات السلوكية يشير إلى تفاعلات إيجابية لكل من عناصر بيئة العمل.

أما عن التوقعات السلوكية Behavioral Expectations فهى التنبؤ المبدئى للتصوير الوظيفى المعتمد على توقع المستخدم لسلوكيات عناصر بيئة العمل القائمة على عوامل عقلانية خاصة بالكائنات السلوكية، وبالطبع تتوقف على الخبرات الذاتية السابقة لمواقف تفاعل مطابقة أو متشابهة، وتتعلق التوقعات بمدى واقعية سلوك الروبوت أى الدرجة التى يتطابق فيها سلوك التجسيد مع ما يفترض أن يشبه (Ghazanfar & Turesson, 2008)؛ فالواقعية السلوكية تشير إلى إشارات الإستجابات المتصورة تجاة تفاعل حقيقى، وإذا كان هناك قصور فى التطابق بين الواقعية السلوكية وردود الأفعال المتوقعة تنخفض درجة الوجود الإجتماعى، ويجب حينها مطابقة الكثير من تعقيدات الأنظمة الحسية والحركية لتكون منتجات سلوكية أكثر كفاءة وفاعلية.

كما أن إدارة الوقت Time Management تُستنبط من سيناريو الخبراء الإستباقى (Amer & Dawood, 2020)، لتحديد وجدولة جميع المهام الأساسية، وتخطيط عام لبدائل الحلول

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

المقترحة لتلافى الأخطاء الصادرة؛ فمن الهام جداً تنسيق كل تلك الإعتبارات لتخدم الكيان الواقعى للأنظمة الروبوتية.
وفى حين أن ثورة الروبوتات ليست قادمة، ولكنها موجودة الأن ولها تأثير ملحوظ، والنظم الديناميكية لا تكفى وحدها لدفع السلوك والتفاعلات، يمكننا القول أن درجة التشابه بين البشر فى الهيئة العامة والسلوك وكذلك الكائنات الحية أيضاً مع الكيانات السلوكية من المنتجات المستحدثة تُعدل تصورات الإنسان تجاة التفاعلات، وتؤثر أيضاً على سلوكيات التواصل داخل بيئة التفاعل، وتجنب إسناد الحالة العقلية تجاه عامل تعديل السلوك الاستخدامى أثناء مثل هذه التفاعلات، والإستجابات السلوكية السريعة داخل بيئة العمل سواء فى التفاعل مع البشر الحقيقيين أو آلات سلوكية، علاوة على ذلك، نظراً لأن التواصل بين الإنسان والروبوت سيلعب دوراً رئيسياً في المستقبل، ستؤثر نتائج دراسة التفاعلات الحالية تجاة الحضور الديناميكى للمنتجات السلوكية على تصميم منتجات الروبوت المستخدمة فى التفاعلات المباشرة بين البشر والروبوت.

النتائج Results :

التأكيد على أهمية دور علوم الإرجونوميكس بصفة عامة، وإرجونوميكس الروبوت بصفة خاصة فى تمثيل التفاعلات المباشرة، والتركيز على محددات تصميم كائن سلوكى للإستباق فى تعديل أنماط الاستخدام والتفاعل التقليدى وإستبدالها بأخرى مبتكرة تشير إلى تفاعل مترابط بين عناصر بيئة العمل.
الإستناد إلى محددات صياغة الفضاء التشغيلى ينتج عنه تفرد فى التفاعلات الحادثة داخل بيئة العمل، مع مراعاة إستقلالية كل من عناصرها الأساسية كالعنصر البشرى والأنظمة الروبوتية كوها كائنات سلوكية مستحدثة، ومرونة التفاعلات المباشرة.
يمكن للمصمم من خلال التعرف على مستحدثات علوم الإرجونوميكس، هذا من شأنه تعزيز القدرات المرتبطة بعمليات تصميم الأنظمة الروبوتية كمنتجات سلوكية جديدة، من خلال محددات صياغة الفضاء التشغيلى، من أجل ترسيخ واقعية الحضور الديناميكى للمنتجات والأنظمة الروبوتية.
صياغة نهج تجريبى لإلقاء الضوء على مبادئ تصميم منتجات الروبوت تتسم بعامل السلوك، ومدى تقاربها إلى الواقعية الشكلية وإظهارها عامل التحكم فى إنتاج بعضاً من السلوكيات المعقدة المتوقفة على عامل الواقعية والتجسيد والحضور الديناميكى.
تحسين إجراءات التفاعل مع منتج الروبوت داخل بيئات التفاعل بمراعاة عناصر التصميم مثل: تجسيد الواقعية، الحضور الفيزيائى، التوقعات السلوكية، الأنماط الشكلية، المظاهر البصرية، وإدارة الوقت، والتى بدورها تتفاعل وتؤثر على المكون البشرى للنظام، من أجل إجراء تفاعلات حدسية لتجربة جيدة وأكثر واقعية.
تجدر الإشارة إلى أن البيانات الحالية للدراسة تساعد على تحديد الإعتبارات العامة التى توصل لها الباحث لمحددات تصميم منتجات الروبوت تتسم بالسلوك، ومحددات مقترحة لتشكيل بيئة عمل تفاعلية من خلال صياغة عناصر الفضاء التشغيلى، للحصول على التكامل بين الأشكال والتصورات المادية للوصول إلى بيئة عمل تكاملية.

الخلاصة Conclusion :

يقف عالمنا الحالى على شفا ثورة تكنولوجية من تصميم المنتجات السلوكية الجديدة، والتى قد تحاكى أى من الكائنات الحية أو حتى القيام بوظائف مشابهة ومهام معقدة، وهو تحدى كبير للعديد من الأفكار الجامدة المتعلقة بأن المنتج الصناعى له غرض استخدامى محدد؛ فى هذا الصدد يبحث المصمم دائماً على تبادل المنفعة داخل بيئة العمل للتكامل بين العنصر البشرى والأنظمة الروبوتية، ويطبق المصمم عوامل الإرجونوميكس على كافة عناصر بيئة العمل لتوافق المستخدم بإعتبارة مركزاً لعملية التصميم، ولكنها فى تلك الحالة تشمل إعتبارات عوامل الروبوت كونه منتجاً سلوكياً جديداً، ويكون حينها منتج الروبوت أداة تعاونية مستحدثة فى إتمام المهام، وتصميم بيئة عمل إستباقية تساعد المستخدم فى التعرف على تقنيات التفاعل الحديثة، ويوجد بها توافق كبير لإمتلاكها إمكانيات نمذجة تطبيقات الروبوت المستقبلى، ومثل هذه النماذج هى اللبنات الأساسية لتطوير إستراتيجيات تعاونية جديدة بين الإنسان والآلات التفاعلية؛ فيستهدف المصمم نمذجة الحركة والسلوك ضمن مهام التفاعل، وتمثيل بعض نماذج التنبؤ الخاص ببيئة عمل الروبوت فى المستقبل القريب فى حالات التفاعل؛ فدمج كل تلك الإعتبارات تؤدى بطبيعة الحال إلى تنظيم سلوك الروبوت بطريقة بديهية، وتعمل على تحسين ظروف عمل العنصر البشرى داخل بيئات التفاعل، مما سبق يتبين لنا مدى الحاجة الماسة لتبني مثل هذه التقنيات بشكل ينعكس إيجابياً على حياة الأفراد والمجتمعات.

المراجع References:

1. Ahram, T. Z., Karwowski, W., & Salvendy, G. (2013). *Advances in physical ergonomics and safety*. Boca Raton, Fla: CRC Press.
2. Allen, R. C. (2017). *The Industrial revolution: A very short introduction*. Oxford, United Kingdom: Oxford University Press.
3. Allen, R. C. (2018). *The British industrial revolution in global perspective*. Cambridge: Cambridge University Press.
4. Amer, Ayman Mouhamed Afifi, & Dawood, Mina Eshaq Tawfilis. (2020). Robot Ergonomics: A cognitive scenario of the new Behavioral Objects. *International Design Journal, 10* (3). Article 26. 319-331. DOI: 10.21608/idj.2020.96353
5. Argadinata, H., & Gunawan, I. (2019). The leadership of Pancasila in EDUCATION: Foundation for STRENGTHENING Student characters in the industrial revolution Era 4.0. *Proceedings of the 4th International Conference on Education and Management (COEMA 2019)*. doi:10.2991/coema-19.2019.2
6. Arrichiello, F. (2020). Behavior-Based Systems. *Encyclopedia of Robotics*, 1–7. https://doi.org/10.1007/978-3-642-41610-1_90-1
7. Bainbridge, W. A., Hart, J., Kim, E. S., & Scassellati, B. (2008). The effect of presence on human-robot interaction. *RO-MAN 2008 - The 17th IEEE International Symposium on Robot and Human Interactive Communication*, 701–706. https://doi.org/10.1109/roman.2008.4600749
8. Bakardjieva, M. (2010). *Internet society: The internet in everyday life*. London: Sage.
9. Beer, J. M., Fisk, A. D., & Rogers, W. A. (2014). Toward a Framework for Levels of Robot Autonomy in Human-Robot Interaction. *Journal of Human-Robot Interaction*, *3*(2), 74. https://doi.org/10.5898/jhri.3.2.beer
10. Bibri, S. E. (2015). *The Human Face of Ambient Intelligence Cognitive, Emotional,*

22. Cookson, G. (2018). *The age of machinery: Engineering the industrial revolution, 1770-1850*. Woodbridge, Suffolk, UK ; Rochester, NY, USA: Boydell Press.
23. Davidow, W. H., & Malone, M. S. (2020). *The autonomous revolution: Reclaiming the future we've sold to machines*. Oakland, CA: Berrett-Koehler.
24. Dawood, M. E. T. (2017). *4D Ergonomics Modeling in the Interaction Design field*. Unpublished Master Thesis. Arab Republic of Egypt: Faculty of Applied Arts, Helwan University.
25. Dawood, M. E. T. (2021). *The Impact of Interaction Design in Innovating a Scenario of Robot Ergonomics*. Unpublished Ph.D. Thesis. Arab Republic of Egypt: Faculty of Applied Arts, Damietta University.
26. Demirbilek, O., & Sener, B. (2003). Product design, semantics and emotional response. *Ergonomics*, *46*(13-14), 1346-1360. doi:10.1080/0014013031000161087 4
27. Dianat, I., Molenbroek, J., & Castellucci, H. I. (2018). A review of the methodology and applications of anthropometry in ergonomics and product design. *Ergonomics*, *61*(12), 1696-1720. doi:10.1080/00140139.2018.1502817
28. Elliott, A. (2019). *The culture of AI: Everyday life and the digital revolution*. New York: Routledge.
29. Endsley, M. R., Bolstad, C. A., Jones, D. G., & Riley, J. M. (2003). Situation awareness oriented DESIGN: From user's Cognitive requirements to creating Effective supporting technologies. *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting*, *47*(3), 268-272. doi:10.1177/154193120304700304
30. Falcão, C. S., & Soares, M. M. (2013). Application of virtual reality technologies in consumer product usability. *Design, User Experience, and Usability. Web, Mobile, and Product Design*, 342-351. doi:10.1007/978-3-642-39253-5_37
31. Flinn, P. (2019). *Managing technology and product development programmes: A framework for success*. Hoboken, NJ: John Wiley & Sons.
32. Fuchs, C. (2012). Capitalism or information society? The fundamental question of the present structure of society. *European Journal of Social Theory*, *16*(4), 413-434. doi:10.1177/1368431012461432
33. Ghazanfar, A. A., & Turesson, H. K. (2008). How robots will teach us how the brain works. *Nature Neuroscience*, *11*(1), 3–3. *Affective, Behavioral and Conversational Aspects*. Paris: Atlantis Press.
11. Bligård, L., & Osvalder, A. (2014). CCPE: Methodology for a COMBINED evaluation of cognitive and Physical ergonomics in the interaction between human and machine. *Human Factors and Ergonomics in Manufacturing & Service Industries*, *24*(6), 685-711. doi:10.1002/hfm.20512
12. Bonarini, A., Matteucci, M., & Restelli, M. (2006). Concepts and fuzzy models for behavior-based robotics. *International Journal of Approximate Reasoning*, *41*(2), 110–127. https://doi.org/10.1016/j.ijar.2005.06.017
13. Brooks, R. A. (1999). *Cambrian Intelligence: The Early History Of The New AI. Cambridge*, MA: MIT Press.
14. Brynjolfsson, E., & McAfee, A. (2012). *Race against the machine: How the digital revolution is accelerating innovation, driving productivity, and irreversibly transforming employment and the economy*. Lexington, MA: Digital Frontier Press.
15. Brynjolfsson, E., McAfee, A., & Pyka, P. (2018). *The second machine age wie die nächste digitale Revolution unser aller Leben verändern wird*. Kulmbach: Plassen Verlag.
16. Carey, M., White, E. J., McMahon, M., & O'Sullivan, L. W. (2019). Using personas to exploit environmental attitudes and behaviour in sustainable product design. *Applied Ergonomics*, *78*, 97-109. doi:10.1016/j.apergo.2019.02.005
17. Castelli, F., Happé, F., Frith, U., & Frith, C. (2000). Movement and mind: A functional imaging study of perception and interpretation of complex intentional movement patterns. *NeuroImage*, *12*(3), 314–325. https://doi.org/10.1006/nimg.2000.0612
18. Choi, J. J., & Kwak, S. S. (2014). The Impact of Robot Appearance Types and Robot Behavior Types on People's Perception of a Robot. *Journal of Digital Design 디지털디자인학연구*, *14*(3), 1-11.
19. Clark, A. (1997). *Being There: Putting Brain, Body, and World Together Again*. Cambridge, Mass.: MIT Press.
20. Clark, W. W., & Cooke, G. (2015). Emerging green industrial revolution technologies. *The Green Industrial Revolution*, 173-190. doi:10.1016/b978-0-12-802314-3.00009-3
21. Cohen, J. (2011). The role of Forensic Organizational ergonomics. *Ergonomics in Design: The Quarterly of Human Factors Applications*, *19*(1), 29-32. doi:10.1177/1064804611401547

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

45. Khedkar, E. B., & Pawar, P. Y. (2015). Review of literature on organizational ergonomics. *International Journal, 3*(4).
46. Kostavelis, I., Kargakos, A., Giakoumis, D., & Tzovaras, D. (2017). Robot's Workspace Enhancement with Dynamic Human Presence for Socially-Aware Navigation. *Lecture Notes in Computer Science*, 279–288. https://doi.org/10.1007/978-3-319-68345-4_25
47. Kozlowski, K. (1998). Robot dynamic models. In: *Modelling and Identification in Robotics. Advances in Industrial Control*. Springer, London. DOI: https://doi.org/10.1007/978-1-4471-0429-2_3
48. Krach, S., Hegel, F., Wrede, B., Sagerer, G., Binkofski, F., & Kircher, T. (2008). Can machines think? Interaction and perspective taking with robots investigated via fMRI. *PloS one, 3*(7), e2597. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0002597
49. Kwak, S. S. (2014). The Impact of the Robot Appearance Types on Social Interaction with a Robot and Service Evaluation of a Robot. *Archives of Design Research, 27*(2), 81–93. https://doi.org/10.15187/adr.2014.05.110.2.81
50. Lämkull, D., Hanson, L., & Örtengren, R. (2009). A comparative study of digital human modelling simulation results and their outcomes in reality: A case study within manual assembly of automobiles. *International Journal of Industrial Ergonomics,39*(2), 428-441. doi:10.1016/j.ergon.2008.10.005.
51. Lebedev, M. A., & Nicolelis, M. A. L. (2006). Brain–machine interfaces: past, present and future. *Trends in Neurosciences, 29*(9), 536–546. https://doi.org/10.1016/j.tins.2006.07.004
52. Lee, K. M., Peng, W., Jin, S.-A., & Yan, C. (2006). Can Robots Manifest Personality?: An Empirical Test of Personality Recognition, Social Responses, and Social Presence in Human–Robot Interaction. *Journal of Communication*, *56*(4), 754–772. https://doi.org/10.1111/j.1460-2466.2006.00318.x
53. Lee, M., Yun, J., Pyka, A., Won, D., Kodama, F., Schiuma, G., . . . Zhao, X. (2018). How to respond to the fourth industrial revolution, or the second information TECHNOLOGY Revolution? Dynamic new combinations between Technology, market, and society through open innovation. *Journal of Open Innovation: Technology, Market, and Complexity, 4*(3), 21. doi:10.3390/joitmc4030021

https://doi.org/10.1038/nn0108-3

34. Gibson, J. J. (1979). *The Ecological Approach To Visual Perception. Boston,* MA: Houghton Mifflin.
35. Gilles, W. (1991). *Form organization: new design procedures for numerical control*. Oxford: Butterworth-Heinemann.
36. Goetz, J., Kiesler, S., & Powers, A. (2003). Matching robot appearance and behavior to tasks to improve human-robot cooperation. *The 12th IEEE International Workshop on Robot and Human Interactive Communication, 2003. Proceedings. ROMAN 2003.*, 55–60. https://doi.org/10.1109/roman.2003.1251796
37. Goodrich, M. A., & Schultz, A. C. (2008). *Human-Robot Interaction: A Survey*. Now Publishers.
38. Goodrich, Michael A. and Schultz, Alan C. (2007): *Human-Robot Interaction: A Survey*. In Foundations and Trends in Human-Computer Interaction, 1 (3) pp. 203-275
39. Haldane, D. W., Peterson, K. C., Garcia Bermudez, F. L., & Fearing, R. S. (2013). Animal-inspired design and aerodynamic stabilization of a hexapedal millirobot. *2013 IEEE International Conference on Robotics and Automation*, 3279–3286. https://doi.org/10.1109/icra.2013.6631034
40. Haring, K. S., Silvera-Tawil, D., Takahashi, T., Watanabe, K., & Velonaki, M. (2016). How people perceive different robot types: A direct comparison of an android, humanoid, and non-biomimetic robot. *2016 8th International Conference on Knowledge and Smart Technology (KST)*, 265–270. https://doi.org/10.1109/kst.2016.7440504
41. Hegel, F., Krach, S., Kircher, T., Wrede, B., & Sagerer, G. (2008). Understanding social robots: A user study on anthropomorphism. *RO-MAN 2008 - The 17th IEEE International Symposium on Robot and Human Interactive Communication*, 574–579. https://doi.org/10.1109/roman.2008.4600728
42. Hollnagel, E. (1997). Cognitive ergonomics: It's all in the mind. *Ergonomics, 40*(10), 1170-1182. doi:10.1080/001401397187685
43. IEA. (2019). What is ergonomics? Retrieved March 19, 2021, from https://iea.cc/what-is-ergonomics/
44. Jokela, T., Iivari, N., Matero, J., & Karukka, M. (2003). The standard of user-centered design and the standard definition of usability. *Proceedings of the Latin American Conference on Human-computer Interaction - CLIHC '03*. (pp. 53-60). doi:10.1145/944519.944525

Optimizing Robot Work. In: Nof, S.Y. (ed.), *Handbook of Industrial Robotics*, John Wiley & Sons, New York. 2nd edn., ch. 32, pp. 603–644.
65. Nolfi, S. (2021). *Behavioral and Cognitive Robotics: An Adaptive Perspective*. Roma, Italy: Institute of Cognitive Sciences and Technologies, National Research Council (CNR-ISTC). https://bacrobotics.com/. ISBN 9791220082372
66. Norman, D. A. (2002). *The Design Of Everyday Things*. New York: Basic Books.
67. Norman, D. A. (2004). *Emotional Design: Why We Love (Or Hate) Everyday Things*. New York: Basic Books.
68. Paauwe, R. A., Hoorn, J. F., Konijn, E. A., & Keyson, D. V. (2015). Designing Robot Embodiments for Social Interaction: Affordances Topple Realism and Aesthetics. *International Journal of Social Robotics, 7*(5), 697–708. doi: 10.1007/s12369-015-0301-3
69. Peters, J., & Schaal, S. (2006). Learning operational space control. *Robotics: Science and Systems II*. doi:10.15607/rss.2006.ii.033
70. Pheasant, S., & Haslegrave, C. M. (2005). *Bodyspace: Anthropometry, ergonomics and the design of work*. London: Taylor and Francis.
71. Philbeck, T., & Davis, N. (2018). The fourth industrial revolution. *Journal of International Affairs, 72*(1), 17-22.
72. Phillips, E. K., Schaefer, K., Billings, D. R., Jentsch, F., & Hancock, P. A. (2016). Human-Animal Teams as an Analog for Future Human-Robot Teams: Influencing Design and Fostering Trust. *Journal of Human-Robot Interaction, 5*(1), 100–125. https://doi.org/10.5898/jhri.5.1.phillips
73. Rapp, A., Tirassa, M., & Ziemke, T. (2019). Cognitive aspects of interactive technology use: From computers to smart objects and autonomous agents. *Frontiers in Psychology, 10*. doi:10.3389/fpsyg.2019.01078
74. Robins, B., Dautenhahn, K., & Dubowski, J. (2006). Does appearance matter in the interaction of children with autism with a humanoid robot? *Interaction Studies, 7*(3), 479–512. https://doi.org/10.1075/is.7.3.16rob
75. Salvendy, G., & Karwowski, W. (2011). *Advances in occupational, social, and organizational ergonomics*. Boca Raton, FL: CRC.
76. Sarter, N., & Sarter, M. (2003). Neuroergonomics: Opportunities and challenges of merging cognitive neuroscience with cognitive ergonomics. *Theoretical Issues*
54. Lemaignan, S., Warnier, M., Sisbot, E. A., Clodic, A., & Alami, R. (2017). Artificial cognition for social human–robot interaction: An implementation. *International Journal of Artificial Intelligence,247*, 45-69. doi:10.1016/j.artint.2016.07.002.
55. Levillain, F., & Zibetti, E. (2017). Behavioral objects: The rise of the evocative machines. *Journal of Human-Robot Interaction, 6*(1), 4. doi:10.5898/jhri.6.1.levillain
56. Lin, H.-C., Ray, P., & Howard, M. (2017). Learning task constraints in operational space formulation. 2017 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA), 309–315. https://doi.org/10.1109/icra.2017.7989039
57. Lindegren, D. (2017). *Designing for user awareness and usability: An evaluation of authorization dialogs on a mobile device*. Unpublished Master thesis. Sweden: University in Karlstad, Karlstad Business School.
58. Long, J. B., & Whitefield, A. (2011). *Cognitive ergonomics and human-computer interaction*. Cambridge: Cambridge University Press.
59. Matarić, M. J., & Michaud, F. (2008). Behavior-Based Systems. *Springer Handbook of Robotics*, 891–909. https://doi.org/10.1007/978-3-540-30301-5_39
60. Mavridis, N., Petychakis, M., Tsamakos, A., Toulis, P., Emami, S., Kazmi, W., Datta, C., BenAbdelkader, C. & Tanoto, A. (2010). FaceBots: Steps Towards Enhanced Long-Term Human-Robot Interaction by Utilizing and Publishing Online Social Information. Paladyn, *Journal of Behavioral Robotics, 1*(3), 169-178. https://doi.org/10.2478/s13230-011-0003-y
61. Meidert, U., Neumann, S., Ehrensberger-Dow, M., & Becker, H. (2016). Physical ergonomics at translators' workplaces: Findings from ergonomic workplace assessments and interviews. *ILCEA*, (27). doi:10.4000/ilcea.3996
62. Meyer, J. A., & Wilson, S. W. (1991). What it means for robot behaviour to be adaptive. *From Animals to Animats*. https://doi.org/10.7551/mitpress/3115.003.0005
63. Nakanishi, J., Cory, R., Mistry, M., Peters, J., & Schaal, S. (2008). Operational space control: A theoretical and empirical comparison. *The International Journal of Robotics Research, 27*(6), 737-757.
64. Nof, S.Y. (1999). Robot Ergonomics:

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

84. Thellman, S., Silvervarg, A., & Ziemke, T. (2017). Folk-Psychological Interpretation of Human vs. Humanoid Robot Behavior: Exploring the Intentional Stance toward Robots. *Frontiers in Psychology*, *8*. https://doi.org/10.3389/fpsyg.2017.01962
85. Thrun, S. (2004). Toward a Framework for Human-Robot Interaction. *Human-Computer Interaction*, *19*(1), 9–24. https://doi.org/10.1207/s15327051hci1901&2_2
86. Van Eijk, D., Van Kuijk, J., Hoolhorst, F., Kim, C., Harkema, C., & Dorrestijn, S. (2012). Design for usability; practice-oriented research for user-centered product design. *Work, 41*, 1008-1015. doi:10.3233/wor-2012-1010-1008
87. Van Kuijk, J., Daalhuizen, J., & Christiaans, H. (2019). Drivers of usability in product design Practice: Induction of a framework through a case study of three product development projects. *Design Studies, 60*, 139-179. doi:10.1016/j.destud.2018.06.002
88. Vukobratovi'c, M. (2009). *Dynamics and robust control of robot-environment interaction*. United States, Singapore: World Scientific Pub. Co.
89. Woods, Sarah N., Walters, Michael L., Koay, Kheng Lee and Dautenhahn, Kerstin (2006). Comparing human robot interaction scenarios using live and video based methods: towards a novel methodological approach. *The 9th IEEE International Workshop on Advanced Motion Control AMC06.* March 27-29, 2006, Istanbul, Turkey. pp. 770-775. https://doi.org/10.1109/amc.2006.1631754
90. Yamaoka, F., Kanda, T., Ishiguro, H., & Hagita, N. (2007). How contingent should a lifelike robot be? The relationship between contingency and complexity. *Connection Science*, *19*(2), 143–162. https://doi.org/10.1080/09540090701371519
in Ergonomics Science, 4(1-2), 142-150. doi:10.1080/1463922021000020882
77. Schwab, K., & Davis, N. (2018). *Shaping the future of the fourth industrial revolution: A guide to building a better world*. London: Portfolio Penguin.
78. Sengupta, R. (2020). Energy, sustainability, and Third industrial revolution. *Entropy Law, Sustainability, and Third Industrial Revolution,* 153-174. doi:10.1093/oso/9780190121143.003.0007
79. Spatola, N., Belletier, C., Normand, A., Chausse, P., Monceau, S., Augustinova, M., … Ferrand, L. (2018). Not as bad as it seems: When the presence of a threatening humanoid robot improves human performance. *Science Robotics, 3*(21). doi: 10.1126/scirobotics.aat5843
80. Stefani, O., Mahale, M., Pross, A., & Bues, M. (2011). SmartHeliosity: Emotional ERGONOMICS through coloured light. *Ergonomics and Health Aspects of Work with Computers,* 226-235. doi:10.1007/978-3-642-21716-6_24
81. Steinfeld, A., Fong, T., Kaber, D., Lewis, M., Scholtz, J., Schultz, A., & Goodrich, M. (2006). Common metrics for human-robot interaction. *Proceeding of the 1st ACM SIGCHI/SIGART Conference on Human-robot Interaction - HRI '06*. doi:10.1145/1121241.1121249
82. Still, B., & Crane, K. (2017). Introduction to user-centered design. *Fundamentals of User-Centered Design,* 1-17. doi:10.4324/9781315200927-1
83. Svenstrup, M., Tranberg, S., Andersen, H. J., & Bak, T. (2009). Pose estimation and adaptive robot behaviour for human-robot interaction. *2009 IEEE International Conference on Robotics and Automation*, 3571–3576. https://doi.org/10.1109/robot.2009.5152690